

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (1) الثلاثاء 2012/10/23

فسلجة نمو وتطور النبات

Pattern in Plant Development

انماط في تطور النبات

Growth ,development ,differentiation هي ثلاث عبارات تستخدم بصورة روتينية لوصف عدة نواحي من التغيرات التي تحصل للنبات خلال دورة حياته وهذه العبارات هي النمو، والتطور والتغيير او التكشف.

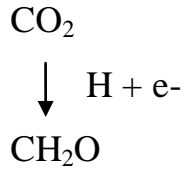
ولغرض فهم عملية نمو وتطور النبات كيفية تنظيم هذه العملية فإنه من الضروري ان نوضح ماهو المقصود بهذه العبارات الثلاث:-

Development :- عبارة شاملة تطلق على مجموع جميع التغيرات التي يمر بها الكائن الحي خلال دورة حياته من الانبات، النمو، البلوغ، التزهير واخيرا الشيخوخة.

- ❖ Plant development is the sum of growth and differentiation.
- ❖ Development is all the changes that organisms go through-germination , growth , maturation , flowering and senescence.
- ❖ أمثلة على التطور :- مثل التحول من النمو الخضري الى التزهير وكذلك تحول مبادئ الاوراق الى اوراق تامة النمو والتوسع .
- ❖ Examples of development include the transition from vegetative growth to flowering, and leaf primordium to expanded leaf.
- ❖ Development can also be at subcellular or biochemical levels (for example when chloroplast is exposed to light for first time and photosynthetic enzymes are activated).

عبارة التطور يمكن ايضاحها على المستويات تحت الخلوية (عضيات الخلية) وكذلك المستويات البايوكيميائية كما يحدث عند تكون البلاستيدات الخضراء في الورقة عند تعرض النبات للضوء تبدا الاوراق بالاحضرار وتصبح الانزيمات المسؤولة عن عملية البناء الضوئي وخصوصا انزيم

Rubisco وهو المسؤول عن اختزال CO₂ الى كاربوهيدرات في جميع النباتات حيث يصبح فعال عند تعرض النبات للضوء.



Growth

- ❖ A quantitative term related to changes in size and mass.
- ❖ Sometimes measured as increase in cell number of fresh weight of packed cells.
- ❖ In higher plants, dry weight is a more accurate measurement of growth than is fresh .
 - * most tissues are 80% water and this can fluctuate greatly.
 - * sometimes dry weight can be misleading.

Growth :- عبارة كمية لها علاقة بالتغيرات في الحجم والكتلة ويمكن للنمو ان يقيم او يقاس باستخدام العديد من المقاييس الكمية . فمثلا الخلايا في المزارع النسيجية يمكن قياس نموها على اساس الزيادة في عدد الخلايا او الوزن الطري للخلايا المظغوظة pack cell volume . ولكن في النباتات الراقية higher plants فان الوزن الطري او الطازج لايعتبر مقياس يعتمد عليه بالرغم من ان معظم الانسجة النباتية تحتوي على ماء (80%) من وزنها ماء او اكثر ماعدى (البذور والدرنات والابصال) الا ان المحتوى المائي كمية شديدة التغير وبالتالي فان الوزن الطري يتغير بدرجة كبيرة مع تغيرات المحتوى المائي للنبات .

Question:- Would dry weight or fresh weight be a better measure for growth of 10-day old dark-growth bean or pea?

جواب السؤال :-

الوزن الجاف هو مقياس لكمية البروتوبلازم او المادة الجافة وهو الاكثر استخداما للتعبير عن النمو من الوزن الطري ولكن حتى الوزن الجاف احيانا قد يعطي صورة غير صحيحة لمقياس النمو . على سبيل المثال :- الوزن الجاف للبادرة بما في ذلك وزن البذرة النامية في الظلام هو في الواقع اقل من

الوزن الجاف للبذرة لوحدها بالرغم من اننا نلاحظ حدوث كمية لاباس بها من النمو ان الفقد في الوزن الجاف يحدث في مثل هذه الظروف نظرا لان الباذرة النامية في الظلام تقوم بعملية التنفس واستنفاد المواد الكربونية المخزنة في البذرة حيث انه في الظلام فان هذا الكربون المفقود بالتنفس لا يمكن تعويضه بعملية البناء الضوئي وبالتالي فان الباذرة تعاني من الفقد في المادة الجافة وفي مثل هذه الحالة فان الوزن الطري قد يكون افضل مقياس للنمو .

بالنسبة للورقة التي هي في توسع واستطالة فان طول او عرض الورقة قد يكون هو المقياس المناسب للنمو ويجب ان نشير هنا الى ان هناك العديد من المقاييس التي يمكن ان نستخدمها للتعبير عن النمو وهذا يعتمد الى حد كبير على احتياجات الشخص الباحث وبغض النظر عن المقاييس المستخدمة للتعبير عن النمو فان جميع المحاولات التي تهدف الى التعبير عن النمو كمقياس كمي عادة ما يعكس المبدأ الاساس الذي يقول ان النمو هو عبارة عن زيادة غير عكسية في الكتلة والحجم .

growth is irreversible increase in volume or size or mass.

❖ نمو بدون انقسام خلايا. **Growth can occur without cell division**

- * in grass coleoptiles, cell division is completed very early but subsequent leaf growth is due to cell enlargement
- * wheat seeds irradiated with gamma rays to block DNA synthesis and cell division still germinate and grow in to small seedlings, they can survive 2-3 weeks.

❖ انقسام الخلايا بدون نمو . **Cell division can occur without growth**

- * in embryos, cell division produces more but smaller cells with no overall increase in embryo size.

وبالرغم من ان عملية انقسام الخلايا وتوسعها cell division and enlargement عادة تحدث سوياً الا انه من المهم ان نذكر ان بان النمو يمكن ان يحدث بدون انقسام الخلايا وان انقسام الخلايا يمكن ان يحدث بدون حدوث نمو . على سبيل المثال :- عملية انقسام الخلية عادة ماتكتمل في المراحل المبكرة من تطور غمد الرويشة coleoptiles في الحشائش وبعد ذلك يحدث التوسع enlargement لهذا العضو والتوسع يعود بالكامل الى عملية استطالة الخلايا وعندما يتم تعريض بذور نبات الحنطة الى اسعة كما بدرجة تكفي لايقاف عملية بناء الDNA وانقسام الخلايا ، فان

عملية انبات البذور لا تتاثر بل تستمر والنتيجة هي بادرات صغيرة ناتجة فقط من عملية استطالة الخلايا لوحدها. مثل هذه البادرات لا تستمر بالبقاء اكثر من اسبوعين او ثلاث الا ان مظهرها الخارجي يكون اغلب الاحيان طبيعي. ومن ناحية اخرى فانه خلال المراحل الاولية او المبكرة من تطور الجنين في الزهرة فان الجنين يمر خلال مرحلة التي فيها عملية انقسام الخلية تستمر لانتاج عدد كبير من الخلايا الا ان هذه الخلايا تكون صغيرة بحيث لا تحدث أي زيادة واضحة في حجم الجنين.

Differentiation

- ❖ Differentiation is a qualitative term relating to things other than size .
- ❖ Occurs when dividing cell gives rise to daughter cells destined for different anatomical roles.
- ❖ Differentiation is a two-way street.
 - * most differentiated cells may be stimulated to undergo cell division and grow as undifferentiated callus , eventually giving rise to new plants (transformation).
- ❖ Totipotent is term used to describe cells that contain a complete genetic program, even though most information is not used at a given time.
- ❖ Most plant cells are totipotent with the exception of certain highly specialized cells (such as cell walls, etc.) whose development has been locked in.
 - * see fig.15-1 and color panel.
- ❖ Genetic program can be determined by position effects.

التمايز differentiation :- عبارة نوعية وهي تطلق على التغيرات التي لا تشمل التغيرات في الحجم التي تظهر بين الخلايا والأنسجة والأعضاء التمايز يحدث عندما تعطي الخلية المنقسمة خليتين كل منهما تسمى الخلية البنت وهما يختلفان من النواحي التشريحية والوظيفية وفي مراحل التطور الاولي على سبيل المثال فان انقسام الزايكوت (البيضة المخصبة) سوف يعطي خلايا تصبح اما جذر او ساق او

مجموع خضري لذلك النبات وكذلك فان الخلايا البرنكيمية غير المتخصصة سوف تبدأ بالتخصص او التمايز مكونة اما اوعية خشبية او انابيب غربالية و عائية لكل منها مظهره الخارجي ووظيفته المعينة .
التمايز والتخصص ليس من السهولة تفسيره على اساس كمية ولكن عادة يمكن وصفه على اساس سلسلة من التغيرات النوعية . ان التمايز ظاهرة ذو اتجاهين او طريقتين .

وبالرغم من ان الخلايا النباتية في النبات البالغ قد تبدو على درجة عالية من التمايز او التخصص الا انه غالباً يتمكن من تحفيزها لكي تعود الى حالة اثر جنينية . بعبارة اخرى فان مثل هذه الخلايا تفقد التميز وكما يبدو فان هذه الخلايا الفاقدة للتمييز مبرمجة جينياً بحيث تسمح لها بان تعود وتعكس العملية وبعد ذلك تتخصص باتجاه مسالك مختلفة جديدة . وعلى هذا الاساس فان الخلايا الماخوذة من لب ساق نبات التبغ او الخلايا الماخوذة من نبات فول الصويا يمكن تشجيعها من جديد على الانقسام او النمو مكونة كتلة غير متخصصة من الخلايا تسمى الكالس un differentiation mass of cell وفي النهاية فان هذا الكالس سوف يعطي نبات جديد . هذه القابلية والتي نعني بها قابلية الخلايا المتخصصة على اخلاف Regeneration واعطاء نبات جديد توضح لنا بان معظم الخلايا النباتية هي totipotent وهذه الظاهرة Totipotency بمعنى انها تحتوي على برنامج جيني كامل يهيئ لها ان تكون نبات كامل وهذا يطلق عليه القدرة الكامنة الخلوية . وبالرغم من ان المعلومات الوراثية لا تستخدم في جميع الاوقات

وعلى هذا الاساس فان التطور لا يعبر عن فقد زمني في المعلومات الوراثية وانما فقط باستخدام انتقائي لتلك المعلومات الوراثية بهدف تحقيق نواحي تطويرية معينة . وبالطبع ليس جميع الخلايا النباتية هي totipotent حيث ان بعضها على درجة عالية من التخصص مثل جدران الخلايا في الانسجة مثل الخشب واللحاء وهذه الخلايا حدثت لها تطورات في مادة البروتوبلازم بحيث جعلها غير قادرة على تجديد عملية التخصص او التمايز .

Control of growth and development :-

- ❖ Orderly growth and development is controlled by three types of signals
 - * intracellular (genetic control and gene expression)
 - * intercellular (hormones)
 - * environmental signals

السيطرة او تنظيم نمو النبات وتطوره:-

ان ضبط عملية النمو والتطور في النبات تقع تحت تاثير ثلاث انواع من المؤشرات او الاشارات

1- الاشارات داخل الخلايا intracellular signals

(genetic control and gene expression) السيطرة الجينية والتعبير الجيني.

2- الاشارات بين الخلايا intercellular signals

intercellular signals among cells

3- الاشارات الخارجية extra cellular signals

environmental signals

بالرغم من ابعض الباحثين يميلون الى التاكيز على واحد او اكثر من هذه المؤشرات او الاشارات الى انه من المهم ان نذكر ان هناك العديد من التداخلات بين هذه الاشارات او المؤشرات او مستويات السيطرة في نمو النبات وتطوره فمثلا التغيرات في عملية التعبير الجيني والتي من خلالها ستكون البروتينات التي هي مسؤولة عن الصفات الوراثية للكائن الحي هذه العملية تؤدي الى احداث تغيرات في كمية الكربوهيدرات النباتية او حساسية الخلايا النباتية للهرمونات ومن ناحية اخرى فان الكثير من الاستجابات للهرمونات النباتية يمكن تثبيتها وسوف نجد انها تؤثر في عملية التعبير الجيني . وفي بعض الحالات حتى العوامل البيئية يمكن تفسيرها على اساس تحولات في النواحي الجينية واخيرا فان السيطرة على نمو النبات وتطوره تحت هذه المستويات الثلاثة تتداخل في عدة طرق لتحديد الصورة الكاملة التي يكون عليها النبات.

Genetic control:-

- ❖ Cells do not lose genes ,rather they are turned of during differentiation and development .
- ❖ Changes in gene expression is principle factor in regulating development at intracellular level.
- ❖ Gene expression can be divided into five principle stages .
 - A - Gene activation
 - ❖ General discussion of DNA, histones, chromatin ,etc
 - B – transcription

السيطرة الجينية في تطور النبات Genetic control of plant development

ان القدرة الكامنة الخلوية Totipotency للخلايا النباتية تعني ان جميع المعلومات الضرورية لتطور نبات كامل هي موجودة في الهيئة الجينية Genome لكل خلية حتى في تلك الخلايا التي هي على درجة عالية من التخصص، بعبارة اخرى فان الخلايا لاتفقد الجينات بالرغم من ان العديد من الجينات لايعبر عنها او تكون غير فاعلة (متوقفة) turned off مع تقدم عملية التميز والتطور.

Gene expression \longrightarrow protein

Gene reexpression \longrightarrow X

ان عملية التطور للنبات تتطلب تسلسل مبرمج لعملية تفعيل الجينات بهدف الحصول على النواتج الجينية (البروتينات) وذلك في الوقت المناسب بالاضافة الى ذلك فان الخلايا النباتية يجب ان تمتلك القدرة على الاستجابة لهذه النواتج الجينية. ومع تطور التقانات الحديثة للوراثة الجزيئية molecular genetics وتأثيرها على معرفتنا العلمية عن تطور النبات اصبح من الواضح ان عملية التعبير الجيني هي العامل الرئيسي والاساسي في تنظيم عملية تطور النبات على مستويات داخل الخلية .

الجينات كما هو معروف مولفة من تعاقب عدد من النيوكليوتيدات nucleotides في جزيئة الDNA وتعاقب كل ثلاث من هذه النيوكليوتيدات تعطي مايسمى بالشفرة الوراثية codon التي تشفر لكل حامض اميني وعلى هذا الاساس فان تعاقب الشفرة الواحدة في الجين يحدد لنا التركيب الرئيس لتسلسل الاحماض الامينية في جزيئة البروتين وخاصة الانزيمات التي تحدد عملية الايض الخلوي cell metabolite .

التعبير الجيني gene expression

هو عبارة تطلق على تخليق او بناء بروتينات معينة مشطورة بواسطة جينات خاصة . الجينات ليست باجمعها اوباكملها تكون فعالة في كل الاوقات الا انها قد تكون فعالة اوفاعلة اعتمادا على الاحتياجات التطورية المبرمجة او استجابة للتغيرات في الظروف البيئية ، ثلا تعرض النبات لظروف الشد الملحي يؤثر في عملية التعبير الجيني ويؤدي الى بناء بروتينات جديدة غير موجودة تحت الظروف الطبيعية.

بالاضافة الى ذلك فان الاختلافات في عملية التعبير الجيني تعتبر الوسيلة الرئيسية المسؤلة عن انواع الانزيمات الموجودة في الخلية وبالتالي مسؤولة عن نمو وتطور ايض الخلية المعينة .

ان عملية التعبير الجيني في الكائنات الحية حقيقية النواة يمكن تقسيمها الى خمس مراحل او خطوات هي :-

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (2) الخميس 2012/11/8

1-الخطوة الاولى :- التنشيط الجيني

هي الخطوة التحضيرية لجزيئات الDNA التي تكون الجينات (الجين عبارة عن قطعة من DNA). الخلايا النباتية عادة تحتوي على كمية كبيرة من الDNA الذي يجب ان يوضع في حيز صغير جدا هو النواة على سبيل المثال اذا قمنا بمد الDNA لخلية مفردة لنبات القمح الشليمي Rye فقد يصل طوله الى 5 امتار ومع ذلك فان هذا الDNA يجب ان يوضع في نواق قطرها لايزيد عن 5 مايكرومتر. ويمكن عمل ذلك الشئ لان جزيئة الDNA ثنائية الشريط (والتي تحتوي على الجينات في خلية حقيقية النواة) تكون ملفوفة او مربوطة حول جزيئات خاصة تسمى Histones هذا التركيب يساعد في تكثيف condense جزيئة الDNA ووضعها داخل مساحة صغيرة (النواة) ويعتبر ان الخطوة الاولى في عملية التعبير الجيني release هو تحرير جزيئة الDNA من هذا البروتين (الهستون) بحيث تصبح جاهزة .

2- الخطوة الثانية:- الاستنساخ transcription

هذه الخطوة من خطوات عملية التعبير الجيني تعني بناء او تخليق جزيئة من الحامض النووي الRNA وترتيب القواعد النيوكليوتيدية الموجودة فيه مكملة لتلك القواعد الموجودة في جزيئة الDNA في الجين. ونظرا لان المعلومات الموجودة في الDNA يتم استنساخها على شكل تسلسل نيوكليوتيدي (sequence) في الRNA فان هذه العملية يطلق عليها عبارة الاستنساخ . هذه العملية يتم تنشيطها بواسطة انزيم نووي يسمى انزيم بلمرة ال RNA (RNA polymerase) ونظرا لان جزيئة الRNA تحمل المعلومات في النواة حيث موقع جزيئة الDNA الى الساييتوبلازم او الساييتوسول حيث تحدث عملية بناء البروتين فان هذا النوع من الRNA يسمى mRNA الرسول وقبل ان يعاد الmRNA الى النواة ويستخدم في عملية بناء البروتين يجب ان تجرى له عملية تعديل او تحويل والتي تسمى ال Processing .

3- الخطوة الثالثة:- الترجمة Translation

هذه الخطوة تحدث في الساييتوبلازم حيث عندما يصل ال mRNA المعدل او المحور الى الساييتوبلازم يرتبط مع الرايبوسومات حيث ان الرسالة التي يحملها يتم ترجمتها الى تسلسل معين من الاحماض الامينية التي تكون البروتين المعين .

4- الخطوة الرابعة:- نقل الاحماض الامينية Transfer of amino acids

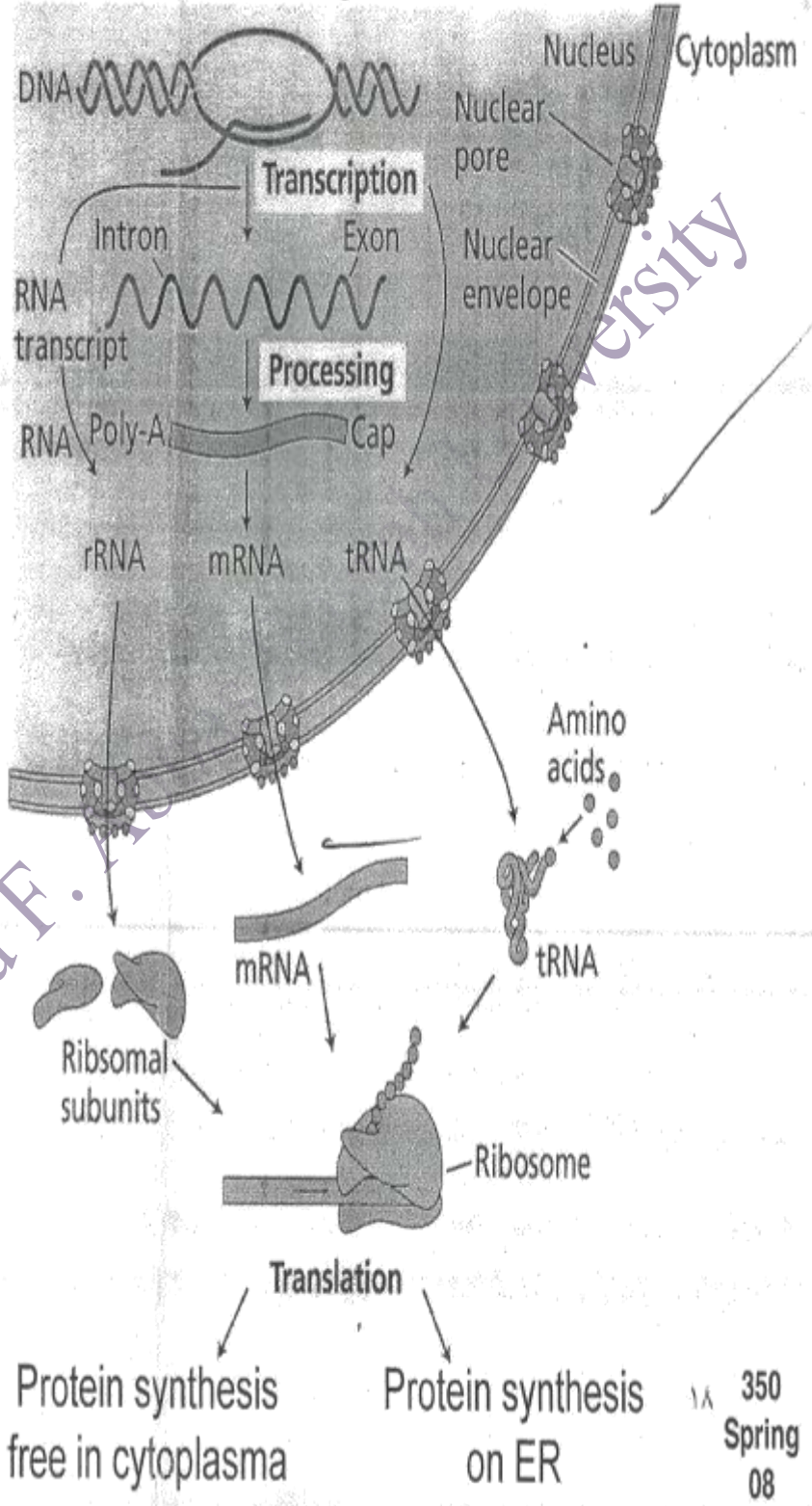
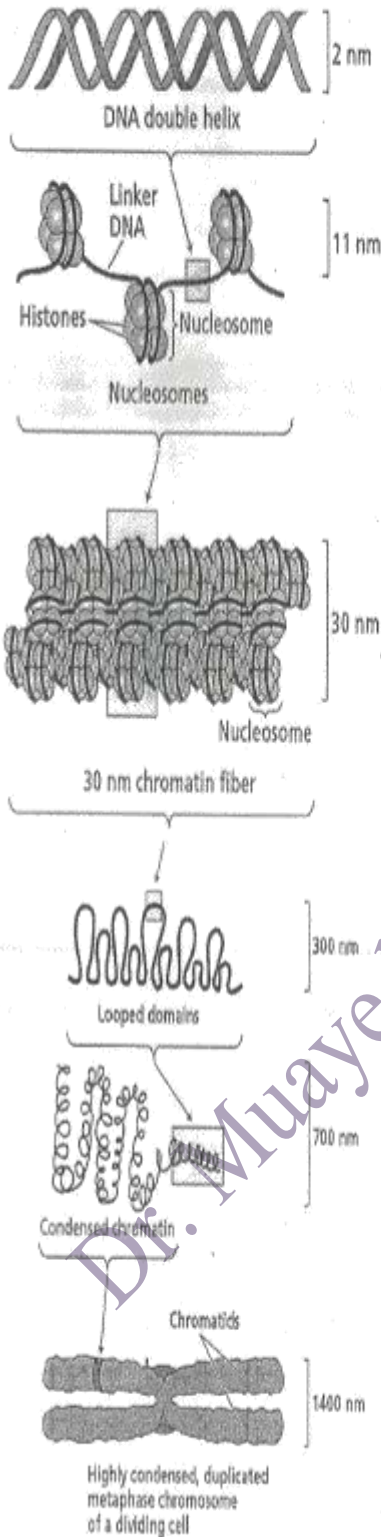
الاحماض الامينية حسب الرسالة التي يحملها mRNA تسلم الى الرايبوسومات واحدا بعد الاخر بواسطة جزيئة خاصة تسمى tRNA (transfer RNA) الناقل هذا ال tRNA يقوم بنقل الاحماض الامينية حتى يصل طول السلسلة الببتيدية (لان الرابطة بين حامض اميني واخر بواسطة مركب الببتايد) الى طول الرسالة الموجودة في ال RNA بعد ذلك يحدث تحرير لهذه السلسلة الببتيدية التي تكون بروتين معين ، ثم يرجع الرايبوسوم ليعيد الدورة مرة ثانية وثالثة وهكذا .

5- الخطوة الخامسة:- تحوير البروتينات الناتجة Modification of protein

ان العديد من البروتينات تكون غير مفيدة عندما تحرر من الرايبوسومات مباشرة ولذلك يجب ان تجرى عليها بعض التعديلات او التحويرات بحيث تصبح نشطة او فعالة .
على سبيل المثال البروتينات التي يجب ان تذهب الى العضيات المحتوية على اغشية مثل البلاستيدات الخضراء يجب ان تحتوي سلسلة من الاحماض الامينية التي تكون كارهة للماء محبة للدهن (لان هذه الاغشية هي عبارة عن مواد دهنية) ويطلق عليها اصطلاح التسلسل الرئيسي وهذه الاحماض الامينية تسهل دخول البروتين خلال الاغشية وحالما يصل البروتين الى موقعه يحصل لها تحلل او انحلال ، وهناك بروتينات تبقى غير فعالة الى ان تقصر السلسلة الببتيدية وذلك بتاثير بعض الانزيمات المحللة . في حين ان بروتينات اخرى تحتاج اضافة كاربوهيدرات اليها لكي تصبح بروتينات سكرية glycoprotein . ومعظم هذه التحويرات تتضمن نشاط انزيمات محددة والتي هي ضرورية لحدوث عملية تعبير جيني ناجحة .

وكل خطوة من هذه الخطوات الخمس تمثل دور مهم في عملية تطور النبات وهناك بعض الادلة التي تشير الى وجود اختلافات في عملية النسخ والترجمة خلال مراحل تطور النبات المختلفة .

Protein synthesis involves transcription and translation



السيطرة الهرمونية لنمو النبات وتطوره

Hormonal regulation of plant growth and development.

ان التداخلات ما بين الخلايا النباتية هي غاية في التعقيد ، فعلى سبيل المثال خلية بالغة في لب نبات التبغ تفقد القدرة على الانقسام وهي متخصصة بالدرجة الاساس على شكل خلية خازنة ولكن اذا تم تحريرها من موقعها بالساق ثم زرعت في وسط صناعي فان نفس هذه الخلية سوف يتم تنشيطها على الانقسام منتجة كتلة على شكل خلايا النباتية غير متخصصة والتي سميت بالكالس ومع التوازن الغذائي المناسب والنوع الصحيح من الهرمونات في الوسط الغذائي سوف تكون جذور ومجموع خضري وفي النهاية تتم عملية اخلاف نبات كامل . ان مثل هذا السلوك يمكن تفسيره على اساس الهرمونات النباتية الي هي عبارة عن رسل كيميائية chemical messenger تحمل المعلومات بين الخلايا intercellular canals وتوجد هناك عدة مجاميع من الهرمونات نباتية التي يمكن ان تشجع او تثبط العديد من العمليات التطورية اما بصورة منفردة او بالتعاون مع بعضها البعض وسوف نتطرق الى هذا الموضوع بصورة مختصرة لاحقا.

النباتات متعددة الخلايا تعد كائنات حية غاية في التعقيد وتطورها المنظم والمنسق يحتاج الى درجة عالية من التنسيق coordination بين الخلايا ولكي تقوم الخلايا النباتية بتنسيق فعاليتها المختلفة فانه من الضروري ان تكون لها القدرة على الاتصال مع بعضها البعض واحيانا على مسافات بعيدة. من الوسائل الرئيسية للتواصل بين الخلايا النباتية هي الهرمونات التي هي عبارة عن رسل كيميائية تحمل المعلومات بين الخلايا وبالتالي تعمل على تنسيق نموها وتطورها ، وفي الوقت الحاضر هناك خمس مجاميع من الهرمونات النباتية المقبولة لدى معظم الباحثين وهناك مجاميع اخرى تعد حديثة الاكتشاف والتي يعتقد بان لها ادوار فسيولوجية في نمو النبات وتطوره كلمة هرمون هي ذات اصل يوناني وتعني باعث النشاط activity arouser وهناك خمس اوقاف يجب ان تنطبق على مركب ما لكي يمكن اعتباره هرمون نباتي وهي:-

- 1- ان الهرمونا النباتية يجب ان تكون فعالة بتراكيز ضئيلة للغاية .
- 2- يجب ان ينتج غي خلية معينة او نسيج معين وينقل الى مكان عمله site of action or target cell .
- 3- الهرمون النباتي لايعتبر مركب ايض وسطي (metabolic intermediates). وعادة يكون مركب بسيط من ناحية التركيب الكيميائي ووزنه الجزيئي قليل ، مثل IAA ووزنه الجزيئي 175 .

4- ان الهرمونات النباتية تسبب العديد من التأثيرات التي عادة ترافقها عملية تضخيم للفعل الفسيولوجي.

5- الهرمونات النباتية يتم استقبالها بواسطة receptor للخلية النباتية المستلمة . وكما ذكرنا سابقا فان هناك خمس مجاميع من الهرمونات النباتية الرئيسية المقبولة هي الاوكسينات والجبرلينات والساييتوكاينينات وحامض الابرسيك والاثلين. وهناك مجموعة اخرى من الهرمونات النباتية المكتشفة حديثا وتشمل الاتي :-

- A. brassinolde
- B. systemin
- C. jasmonic acid
- D. salicylic acid
- E. polyamines

بالاضافة الى ذلك فان هناك هرمونات افتراضية Hypothetical hormones وهي هرمون florigen وهرمون الvernaline وتوصف بانها هرمونات افتراضية لان وجودها يعتمد على ادلة مرفولوجية فقط ولم يتم عزلها من النبات ومعرفة تركيبها الكيميائي وبالنسبة للفلورجين هو هرمون التزهير بالنباتات الحساسة للضوء فان الادلة المتوفرة في الوقت الحاضر تشير الى نوع من البروتينات.

السيطرة البيئية لتطور النبات (خارج الخلايا)

in vivo mental of regulation of plant development (extra-cellular signal)

هناك العديد من العوامل البيئية او الخارجية او المؤثرات stimulus في اوقات مختلفة تستطيع ان تلعب دور مهم في السيطرة او تنظيم عملية تطور النبات.

ومعظم هذه المؤثرات البيئية هي بالواقع مؤثرات فيزيائية كالضوء ودرجة الحرارة والجاذبية والتي تمتاز بان لها تأثير مهم في هذه الخصوص ، وهناك عوامل اخرى مثل المجالات المغناطيسية والرياح والصوت وهذه مؤثرات ميكانيكية قد تكون لها تأثيرات على نمو وتطور النبات ، الا ان هذه العوامل من الصعب دراستها وتوضيحها في تجارب بحثية .

عوامل بيئية اخرى مثل الرطوبة في التربة والجو والتغذية المعدنية ايضا تؤثر في عملية تطور النبات وحياتيا فان العديد من ملوثات الهواء والماء تمثل تحدي بيئي كبير للنباتات وقد تؤثر في تطور النبات بدرجة كبيرة ونظرا لان العوامل البيئية تنشأ خارج النبات فان النبات يجب ان يمتلك بعض

الوسائل التي تقوم باستقبال هذه المؤثرات ثم نقلها او نقل هذه المعلومات الى تغيرات اىضية ثابتة او تغيرات بايوكيميائية . ان فهم طبيعة استقبال المؤثرات البيئية يعد واحدة من اولى الخطوات في فهم سلسلة العمليات التي تؤدي في النهاية الى الاستجابة الفسيولوجية فقد اصبح من الواضح الان ان معظم ان لم يكن جميع تأثيرات العوامل البيئية تؤثر اما في عملية التعبير الجيني او في فعالية الهرمونات النباتية.

الفايتوكروم والتشكل الضوئي phytochrome and photomorphogenesis

الضوء الذي هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية يتالف من جسيمات او ضوينات او فوتونات يؤثر في نمو النبات في العديد من النواحي وهي كالاتي:-

اولا:- الضوء يعد مصدر للطاقة التي تدخل عالم الاحياء وهذه الطاقة يتم اقتناصها بعملية البناء الضوئي حيث تتحول الى طاقة كيميائية.

ثانيا:- الضوء يعد اشارة signal او مؤشر هذه الاشارة تؤثر في نمو النبات وهذا يطلق عليه النمو الاتجاهي directional growth مثال على ذلك ظاهرة الانتحاء الضوئي phototropism والتي نعني بها نمو النسيج النباتي باتجاه مصدر الضوء وخاصة الاعضاء النباتية مثل الاوراق والسيقان حيث تكون موجبة الانتحاء الضوئي في حين ان الجذور سالبة الانتحاء الضوئي .

ثالثا:- التغيرات الموسمية في طول الليل والنهار seasonal changes in day length وهذا التأثير مهم جدا في تطور النبات وخاصة عملية التزهير flowering ويبدو ان النبات يمتلك ميكانيكية لقياس الوقت time measuring mechanisms .

رابعا:- التأثيرات الشكلية للضوء (photomorphogenesis) formative effect of light

التغيرات الناتجة عن الضوء في نمو النبات وتطوره وعملياته الايضية المختلفة

Photomorphogenesis light induced changes in plant growth

development and cellular metabolism

ان نمو النبات وتطوره يعتمد على الظروف البيئية والتركيب الجيني للنبات ، ومن الظروف البيئية هو الضوء الذي لا يحتوي على أي من النباتات وانما يؤثر في الطريقة التي يتم فيها التعبير عن الجينات في الكائن الحي ، **والسؤال الان كيف يمكن للخلايا النباتية ان تستجيب للضوء ؟** والجواب:- نظرا لان الاشارات الضوئية تنشئ خارج الخلايا النباتية فانه يمكن ان تتصور ان هناك

سلسلة من العمليات او الاحداث events التي تتضمن استقبال الاشارة الضوئية ثم نقلها وبعد ذلك تحدث الاستجابة الضوئية.

ان استقبال الاشارة الضوئية او تاثيرات الضوء تحتاج الى صبغة لها القدرة على امتصاص الضوء بحيث تصبح الصبغة منشطة ضوئيا ، الصبغة التي تعمل بهذه الطريقة يطلق عليها اصطلاح المستقبل الضوئي photoreceptor .وبامتصاص الاطوال الموجية للضوء بصورة انتقائية هذا المستقبل الضوئي كأنما يقرأ المعلومات الموجودة في الضوء ثم يفسر هذه المعلومات في الخلية على شكل فعل فسيولوجي معين وهذا الفعل يشمل تغيرات تركيب البروتين او تغيرات كيموضوئية او افعال فسيولوجية اخرى .

وبعض النظر عن طبيعة التاثير الاولي فان امتصاص الضوء بمساعدة المستقبل الضوئي او بسبب initiate او يحدث عدد من التغيرات البايوكيميائية التي تسمى سلسلة انتقال الاشارة الضوئية وفي النهاية فان عملية نقل التاثير الضوئي تؤدي الى الاستجابة التطورية المعينة . ان معظم الاستجابات الشكلية للضوء في النباتات الراقية يبدو انها تحت سيطرة واحدة من ثلاث انواع من المستقبلات الضوئية وهذه المستقبلات هي :-

1- الفايوتوكروم phytochrome

وهي تمتص بالدرجة الاساسية في المنطقة الحمراء او الاحمر البعيد red-far red من الطيف المرئي (الاطوال الموجية فيه معقولة) وتاثيراتها الفسيولوجية هي اكثر التاثيرات دراسة في موضوع التشكل الضوئي .

2- crypochrome

3- uv-receptor

وهاتين الصبغتين مسؤولتان عن امتصاص الضوء الازرق وهي تشمل بعض الظواهر الفسيولوجية مثل الانتحاء الضوئي وعملية فتح الثغور بناء الكلوروفيل والاستجابة للفايتوكروم هي الاكثر اهمية بالمقارنة مع بقية الصبغات فقد حظيت بالاهتمام الكبير في البحوث والدراسات.

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (3) الثلاثاء 2012/11/20

الفائتوكروم Phytochrome

ان الاختلافات الكبيرة في نمو وهيئة النباتات النامية في الظلام وتلك النامية في الضوء جلبت اهتمام الباحثين في مجال فسلجة النبات لعدة عقود من السنين الا ان فهم حقيقة هذه الظاهرة قد حدث نتيجة الابحاث التي قام بها شخصان هما Borthwike و Hendrike من خلال دراستهم على نباتات الخس الحساسة للضوء. هذه البذور لا تنبت في الظلام لكنها تنبت بسرعة اذا عرضت لفترة قصيرة من الاضاءة وعند دراسة هذا الموضوع بصورة تفصيلية وذلك عن طريق تعريض البذور الى مناطق مختلفة من الطيف المرئي وجد ان اكثر مناطق الطيف المرئي تشجيعاً للنبات هي المناطق الحمراء على طول موجي قدره 660 نانوميتر (وحدة قياس الاطوال وتعادل 10^{-9} من المتر) في حين ان تثبيط الانبات او منعه يحدث في منطقة الاحمر البعيد far-red يرمز له (FR) على طول موجي قدره 730 نانوميتر. وعند دراسة التداخل بين تأثيرات الضوء الاحمر والاحمر البعيد (Red and Far-red) وجد ان تأثيرات الضوء الاحمر يمكن ان ينقضها الضوء الاحمر البعيد. ان حدوث الاشعاع او عدمه يعتمد على طبيعة الاشعاع الاخير الذي تتعرض له البذور كما هو موضح بالجدول الاتي:-

نوع الاشعاع Irradiation	النسبة المئوية للانبات % Germination
R	70.0
FR	6.0
R / FR / R	74.0
R / FR / R / FR	6.0
R / FR / FR / R	76.0
R / FR / R / FR / R / FR	7.0
R / FR / R / FR / R / FR / R	81.0

يلاحظ من هذا الجدول ان الضوء الاحمر هو الذي يؤثر وان تأثيرات الضوء الاحمر يعكسها الضوء الاحمر البعيد وهذه الظاهرة يطلق عليها اصطلاح ظاهرة الانعكاس للضوء الاحمر والاحمر البعيد R/FR reversibility ان الاحمر يشجع والاحمر البعيد يثبط الانبات. ومن الحقائق الثابتة انه عندما

تسبب منطقة معينة في الطيف المرئي تأثيراً بايولوجي معين فإنه من الضروري ان تحتوي انسجة النبات على مستقبل ضوئي او صبغة تقوم بامتصاص الضوء في تلك المنطقة . وقد اقترح الباحثان ان هناك صبغة توجد في صورتان متبادلتان وهما two alternative forms Pr and Pfr وان كل صورة لها القدرة ان تتحول الى الصورة الثانية كما هو موضح بالمعادلة البسيطة الالية:-



الفايتوكروم phytochrome :- صبغة نباتية وقد اطلق على هذه الصبغة اسم فايتوكروم وتعني حرفياً phyto تعني نبات و chrome تعني صبغة .

الظواهر الفسيولوجية المسيطر عليها من قبل صبغة الفايتوكروم

بعد توضيح دور الفايتوكروم في انبات بذور الخس الحساسة للضوء وجد ان هناك العديد من الظواهر الفسيولوجية التي تلعب صبغة الفايتوكروم دوراً اساسياً في حدوثها وهذه الظواهر الفسيولوجية تحدث في العديد من النباتات من الطحالب الى النباتات الزهرية ويوضح الجدول الاتي بعض الاستجابات الفسلجية لصبغة الفايتوكروم .

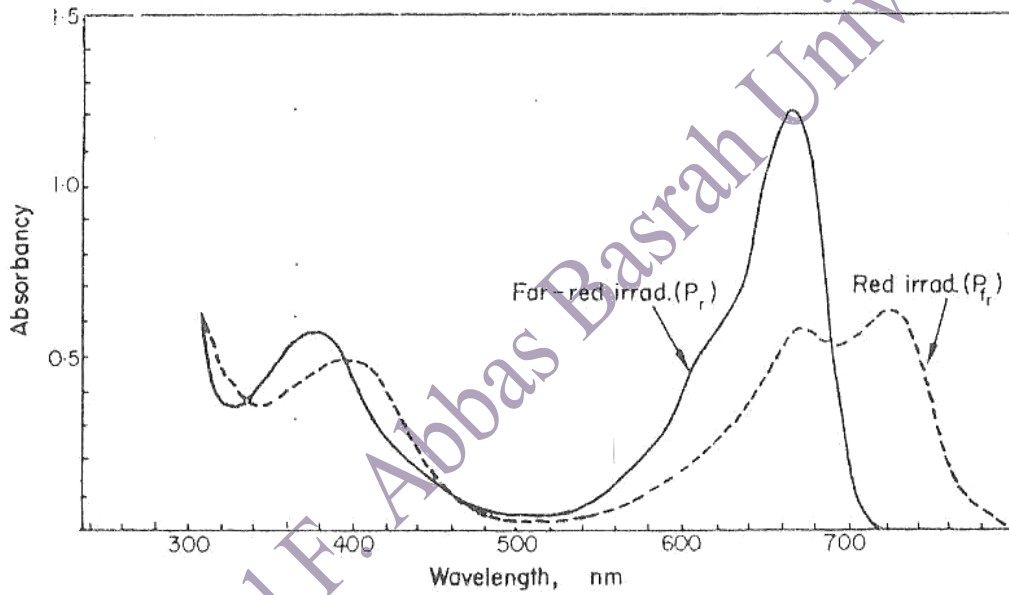
Algae, bryophytes and pteridophytes
Spore germination
Chloroplast movement
Protonema growth and differentiation

Gymnosperms
Seed germination
Hypocotyl hook formation
Internode extension
Bud dormancy

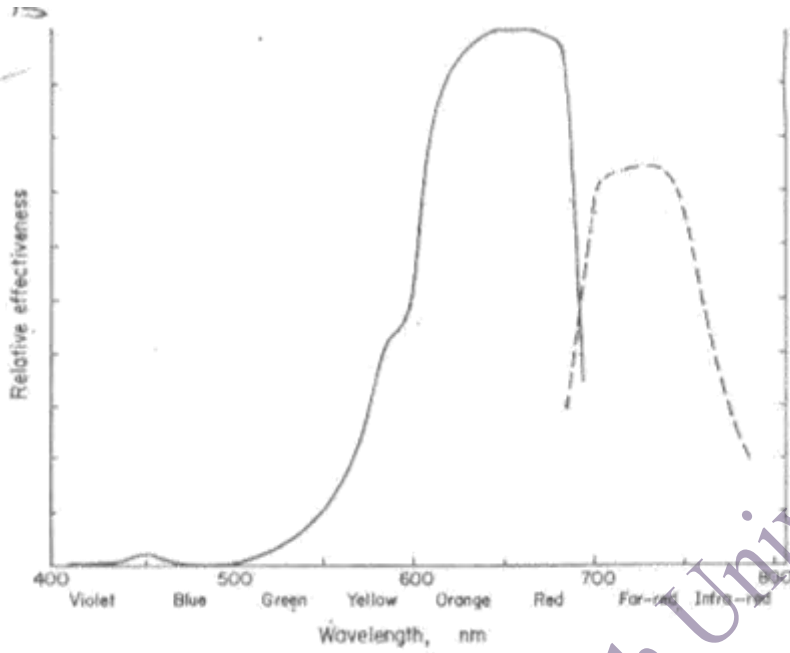
Angiosperms
Seed germination
Hypocotyl hook formation
Internode extension
Root primordia initiation
Leaf initiation and growth
Leaflet movement
Electrical potential
Membrane permeability
Phototropic sensitivity
Geotropic sensitivity
Anthocyanin synthesis

ظاهرة الانعكاس الضوئي R/FR reversibility

ان الانعكاس الضوئي هي من الظواهر الفسيولوجية المسيطر عليها من قبل صبغة الفايثوكروم والتي يتم ايضاحها في العديد من العمليات الفسيولوجية غير انبات البذور على سبيل المثال ظاهرة الازهار flowering في النباتات الحساسة للضوء flowering photo periodic sensitine plants في هذه النباتات الضوء الاحمر يشجع التزهير في حين ان الاحمر البعيد يثبط التزهير ولقد قام الباحثان اللذان اشرنا اليهما سابقاً بدراسة طيف الامتصاص absorption spectrum (كمية مايمتص من الطاقة الضوئية بدليل طول الموجة).



ويوضح الشكل (1) طيف الامتصاص لمحلول صبغة الفايثوكروم الذي تم استخلاصه من نبات الشوفان كما قام الباحثان بدراسة طيف الفعل والاداء action spectrum ويقصد به تعبير بياني يبين فعالية اطوال موجة معينة في ظاهرة فسلاجية). وقد لوحظ ان هناك تطابق بين طيف امتصاص صبغة الفايثوكروم وطيف الفعل والاداء وهذا يعني ان الاطوال الموجية التي تمتص هي نفسها التي تسبب الفعل الفسيولوجي ويوضح الشكل (1-ب) طيف الاداء والفعل لصبغة الفايثوكروم.



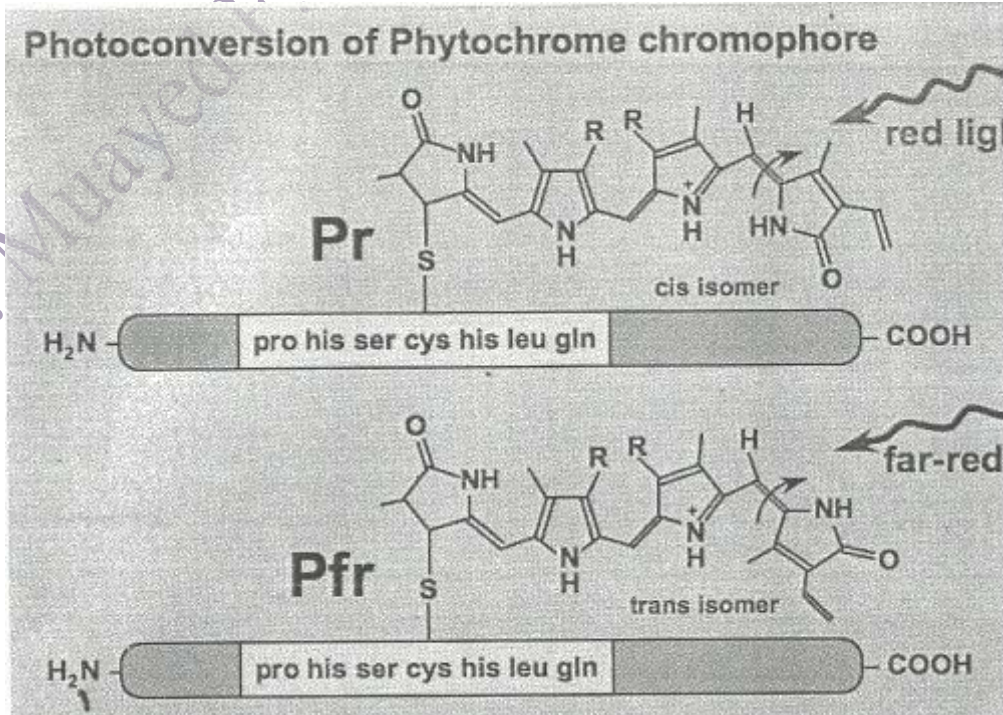
صبغة الفايوتكروم تتحكم بالعديد من عمليات النمو والتطور مثل ظاهرة الشحوب الظلامي etiolation وهذه الظاهرة تحدث عندما تنمو البادرات في الظلام واذا ماقورنت بالبادرات النامية في الضوء فانا نلاحظ اختلافات كبيرة في المظهر الخارجي وبعض النواحي الفسيولوجية فالنباتات النامية في الظلام تمتاز بمايلي:-

- 1- الساق طويلة ونحيفة بدرجة كبيرة واوراقها ضعيفة التكشف او التطور كما تنقوس نهاية ساقها مكونة مايسمى بالخطاف القمي plumular hook .
- 2- تكون خالية من الاصباغ وخاصة الكلوروفيل (تصبح صفراء اللون).
- 3- هذه الاعراض للشحوب الظلامي لاتعود لعدم حوث عملية البناء الضوئي بدليل ان التحول الى مواصفات النباتات النامية في الضوء يحدث بعد تعريض هذه النباتات النامية في الظلام الى فترات وجيزة من الضوء . هذه الاعراض يمكن تقليلها بدرجة كبيرة عند تعريضها للضوء الاحمر لمدة 5 دقائق يومياوتأثيرات الضوء الاحمر هذه يمكن عكسها عن طريق تعريض النباتات الى الضوء الاحمر البعيد far-red مما يدل ان ظاهرة الشحوب الظلامي هي تتحكم بها صبغة الفايوتكروم ونظراً لان بناء صبغة الكلوروفيل يحتاج الى فترات طويلة من الاشعة فان الحصول على افرع خضراء طبيعية يحتاج الى مستويات عالية من الاشعة .

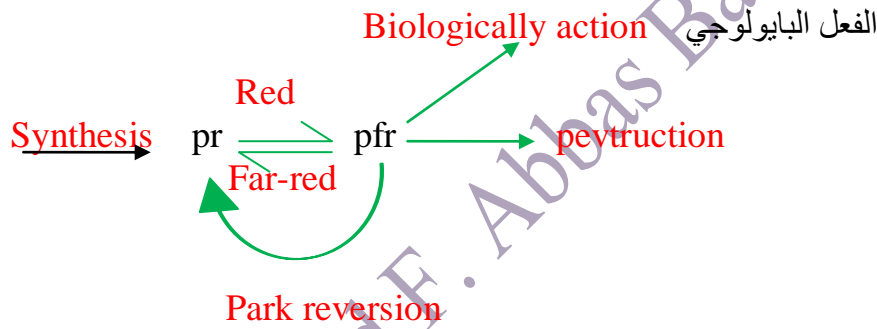
التحول الضوئي للفايتوكروم في الخلية النباتية

photoconversion of phytochrome in plant cells

عند اكتشاف ظاهرة الانعكاس الضوئي او تحول صورتي الفاييتوكروم كان يعتقد بان تحول صورة الفاييتوكروم pfr الى pr يحدث ذاتياً في الظلام ودون الحاجة للتعرض للضوء الاحمر البعيد الا ان مثل هذا التحول في الظلام قد تم ايضاحه في بعض الانسجة في النباتات ذات الفلقتين ولم يوضح في معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة ومع ذلك فأن مستويات pfr (مستويات صبغة الفاييتوكروم التي تمتص الاحمر البعيد) بصورة عامة تقل بسرعة في الظلام في معظم انسجة النبات وتقل معها كمية الفاييتوكروم الكلي فأن هذا الهبوط او الانخفاض في كمية ال pfr يمكن ايقافه وذلك عن طريق تعريض انسجة النبات الى الضوء الاحمر البعيد حيث يتحول الفاييتوكروم الى صبغة pr وعلى هذا الاساس فأن صورة pr هي الصورة المستقرة نسبياً للفايتوكروم relatively stable form في حين ان صورة pfr هي صورة غير مستقرة او قلقة non-stable or able form ويحدث لها انحلال سريع داخل النسيج النباتي وليس من الواضح كيفية حدوث انحلال او تحطم صورة pfr للفايتوكروم ولكن يبدو ان صورة pfr هي الصورة النشطة بايولوجياً biologically active form وهي تشترك في ابتداء سلسلة من العمليات التي تؤدي في النهاية الى حدوث الاستجابة الفسيولوجية . ولذلك فأن طريقة عمل صورة ال pfr للفايتوكروم تتضمن حدوث تحلل او تحطم لها .



وفي معظم التجارب التي تم فيها استخدام الضوء الاحمر والاحمر البعيد فإن المعاملة بالاحمر البعيد قد ثبتت تأثير الضوء الاحمر اذا اعطيت بعد الضوء الاحمر مباشرة ولكن اذا تأخرت المعاملة في الضوء الاحمر البعيد لفترات زمنية فإن هناك نقطة او وقت يكون فيها الضوء الاحمر البعيد غير قادر على عكس تأثيرات الضوء الاحمر مما يدل على ان العمليات الفسيولوجية التي بدنتها صبغة الفايثوكروم قد حدثت وهي مستمرة ولا يمكن ايقافها وهذه الفترة الزمنية او النقطة التي عندها لا يمكن عكس عملية تأثير المعادلة يطلق عليها زمن الهروب من التأثير *Escape time* واذا تركت الانسجة النباتية في الظلام بعد تعريضها للضوء الاحمر لمرة واحدة *single exposure* . فإن الهبوط الاولي في مستويات الفايثوكروم يعقبه بعد فترة حدوث زيادة مما يدل على ان هناك تخليق للفايثوكروم بصورة *pr* من جديد وعلى هذا الاساس فإن الادلة المتوفرة في الوقت الحاضر كثيرة الا ان الفايثوكروم في الانسجة النباتية النشطة يحدث لها عملية تحول مستمر *continuons turnover* وهذه العمليات تشمل البناء *synthesis* والتحول من صورة الى اخرى *inter conversion* والتحلل او التحطم *devtruction* والتحول والتحطم الظلامي *pork reversion* كما في الشكل التالي:-



خواص الفايثوكروم *properties of phytochrome*

أ-الفايثوكروم من النواحي الكيميائية

الفايثوكروم عبارة عن صبغة مزرقة *blue chromo protein* وهي عبارة عن جزء صبغي وجزء بروتيني، الجزء الصبغي *chromophore* عبارة عن تركيب رباعي البايروول *tetrapyrrole* وهو يشبه الصبغة الزرقاء الموجودة في الطحالب الزرقاء وهذا الجزء مرتبط برابطة تساهمية مع البروتين وذلك عن طريق الحامض الاميني السستين *cysteine* والفايثوكروم له ذروة امتصاص على الاطوال الموجية 660 و770 نانوميتر كما ان التحول من صورة *pr* الى صورة *pfr* يتضمن تغيرات في النواحي التركيبية للاجزاء الحلقية الموجودة في تركيب جزيئة الفايثوكروم كما هو موضح بالشكل البروتين له وزن جزيئي قدره 165 كيلوداتن وعادة هذا التركيب الخاص بصبغة الفايثوكروم يتأثر بالطاقة الضوئية مما يؤدي الى حدوث تفاعل ضوئي كيميائي والذي يؤدي في النهاية الى حدوث الفعل

الفسولوجي بالاضافة الى ذلك فأن طيف الامتصاص يختلف وذلك هذه الصورة سواء كانت pr او pfr بالاضافة الى ذلك ففي النباتات الخضراء فأن الفايثوكروم يختلف عن ذلك الموجود في النباتات النامية في الظلام فالنباتات النامية في الضوء تكون الفايثوكروم قليلة من حيث الكمية وهناك اختلاف ايضاً من ذروة الامتصاص للضوء كما ان هناك اختلاف في فترة البقاء للضوء pr pfr half-life وبصورة عامة يوجد نوعين من الفايثوكروم النوع الاول :-

-: Type 1 phytochrome

وهو الفايثوكروم الرئيسي في البادرات النامية في الظلام والمسؤول عن تحسس كمية الضوء light quantity .

-: Type 2 phytochrome

وهو الفايثوكروم الرئيسي في البادرات النامية في الضوء وقد يكون مسؤولاً عن تحسس نوعية الضوء light quality .

وهناك خمس جينات للفايثوكروم تسمى phytochrome genes تسمى جينات الفايثوكروم وهي:-

1- Phytochrome A gene

2- Phytochrome B,C,D,E

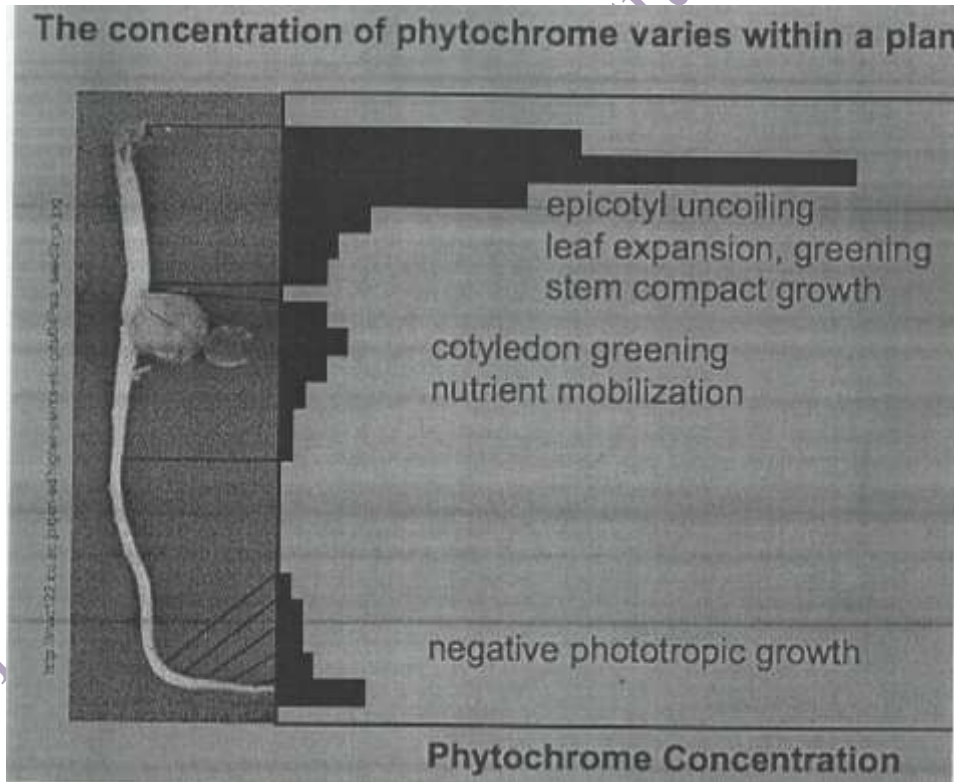
الفايثوكروم A هو ضمن النوع الاول اما الانواع الاربعة الاخرى هي B,C,D,E مسؤولة عن انتاج النوع الثاني للفايثوكروم .

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (4) الخميس 2012/11/29

توزيع وتواجد صبغة الفايثوكروم phytochrome distribution

ان صبغة الفايثوكروم هي موجودة في جميع النباتات الراقية والنباتات الواطئة lower plant وهي موجودة في جميع خلايا النبات بما في ذلك الطحالب الخضراء والحمراء والبنية وهي موجودة في جميع خلايا النبات الا انها تكون موجودة بتراكيز عالية للانسجة النباتية الفتية غير المتخصصة بما في ذلك المرستيمات الموجودة في المجموع الخضري وكذلك الجذور الا انها موجودة في خلايا قنسوة الجذر root cap cells ويوضح الشكل الاتي توزيع صبغة الفايثوكروم داخل نبات البزاليا ويلاحظ ان هناك اختلاف في التوزيع حيث توجد مستويات عالية من الفايثوكروم في القمم النامية وخصوصا المناطق التي يلعب الضوء دورا مهما في نموها ويلاحظ في هذا الشكل ان اعلى تركيز يكون في مناطق القمة النامية للساق.



التوزيع الموضعي لصبغة الفايثوكروم داخل الخلية Local distribution

التوزيع الموضعي لصبغة الفايثوكروم داخل الخلية ايضا يختلف حيث وجد ان هذا التوزيع يعتمد على تحول الصبغة من صورة PR الى PFR فان تواجد الصبغة بصورة PR فان تواجدها بالاساس يكون

داخل الساييتوبلازم اما عندما تكون الصبغة بصورة PFR فهي عادة تكون محجوزة على شكل مجاميع Aggregates مرتبطة بالاغشية البلازمية .

جينات الفايتوكروم والبروتينات phytochrome genes and protein

كما ذكرنا سابقا فان هناك خمس انواع من الجينات المسؤولة عن تخليق او بناء صبغة الفايتوكروم وهي ال A,B,C,D,E وقد اوضحت الابحاث في مجال البايولوجي الجزيئي في نبات Arabidopsis مايلي:-

1- بالنسبة لجين الفايتوكروم A فان هذا الفايتوكروم وهذا النوع الجين A يكون موجودا فقط في نباتات مغطاة البذور وهو المسؤول عن التغيرات الاولية التي تحدث خلال الانبات وكذلك مسؤولة عن ازالة ظاهرة الشحوب الظلامي بالبادرات De-etiolation of seedlings .

وهذا الجين الذي يؤدي الى انتاج الفايتوكروم A يتاثر بدرجة كبيرة بالضوء ، حيث وجد ان تعرض النباتات للضوء يقلل من تركيزه ويبدوا ان الضوء يؤثر في عملية النتح والترجمة وفي الظلام فان الناتج الجيني او الفايتوكروم سوف يتراكم الى مستويات عالية .

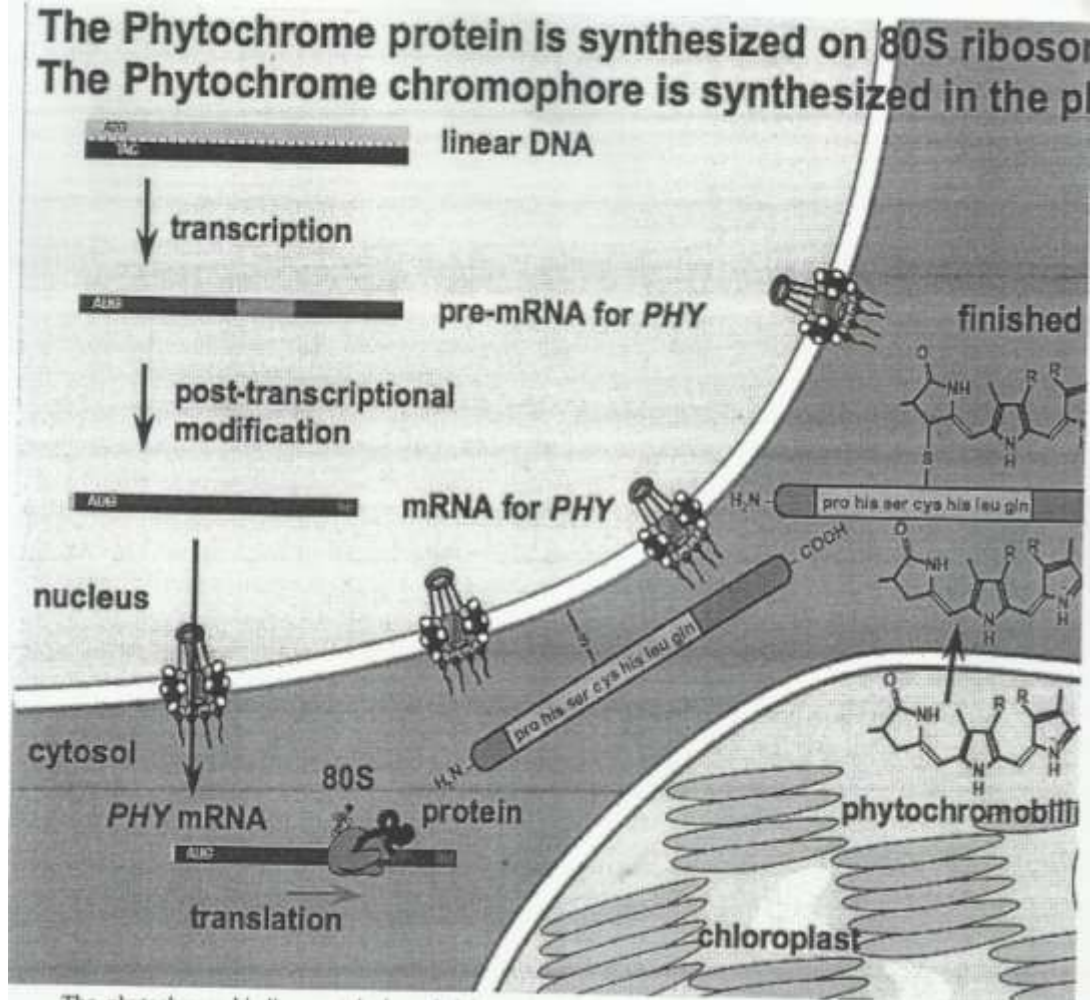
2- اما بالنسبة لعملية التعبير الجيني لانواع اخرى من الفايتوكروم هي من B الى E من مغطاة البذور فان عملية التعبير الجيني لها هي عملية مسقلة عن الضوء أي لا تتاثر بالضوء وان كلتا الصورتين PR وال PFR هي مستقرة stable الفايتوكروم الناتج من B الى E يؤثر على النوع الثاني من الفايتوكروم فقط. والفايتوكروم هنا هو المستقبل الضوئي الذي يلعب دورا اساسيا في تحسس الظل وتجنبه shade detection avoidance هذا النوع من الاستجابة يسمح للعديد من الانواع النباتية بان تزيد بسرعة استطالة الساق بدرجة كبيرة عندما تتعرض النباتات للتظليل من قبل النباتات المنافسة لها .

الكمية النسبية لل PFR عادة يقل بدرجة كبيرة لوجود الاوراق المحتوية على الكلوروفيل نظرا لان هذه الاوراق كثيفة سوف تمتص الضوء الاحمر بدرجة كبيرة وعلى هذا الاساس فان الذي يصل الى الاوراق الضوء الاحمر البعيد . ومن خلال الحساسية للضوء الاحمر والاحمر البعيد فان صبغة الفايتوكروم تحفز النبات بدرجة معينة على استقبال لون الضوء .

الفايتوكروم B يعتبر المسؤول عن تحسس طول اليوم day length في ظاهرة التزهير flowering وتكوين الدرناات tuberization في البطاطا .

اما بالنسبة للفايتوكروم C هذا النوع يعتبر من اقل انواع الفايتوكروم الخمسة تواجدا كمستقبل ضوء في نبات Arabidopsis وهناك بعض الادلة التي تشير الا ان الفايتوكروم قد تكون له بعض الادوار

الفسيولوجية التي هي تختلف عن تلك الموجودة في الانواع A,B في تنظيم استجابة النبات للاشارات الضوئية . اما بالنسبة لانواع الفايتركروم E,D فلا توجد معلومات هامة عنها بالنسبة للعمليات الفسيولوجية التي تنطبق لها .



الاستجابات الفسيولوجية المسيطر عليها من قبل صبغة الفايتركروم

Phytochrome mediated responses

ان التأثيرات الفسيولوجية التي تسيطر عليها صبغة الفايتركروم تعتمد على مستويات الضوء وهذه يمكن تقسيمها الى ثلاث انواع :-

النوع الاول:- Very low light responses

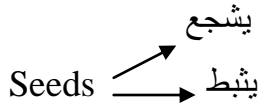
الاستجابات التي فيها شدة الاضاءة قليلة جدا تكون فيها شدة الاضاءة اقل من $<0.001 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ مايكرومول . الضوء الاحمر.

هذه الاستجابات الفسيولوجية تتطلب مستويات قليلة جدا من الفاييتوكروم بصورة PFR وذلك لغرض حدوث الاستجابة وبصورة عامة فان هذا النوع من الاستجابات الفسيولوجية من الصعب دراسته لاغراض البحث العلمي. وكمثال على هذا النوع من الاستجابة Mesocotyl elongation in oat استطالة السويقة الوسطية لنبات الشوفان .

النوع الثاني:- Low light responses

الاستجابات التي تحتاج الى كميات قليلة من الضوء mmol 0.001 -0.1 occurs at light levels $m^{-2} s^{-1}$ red light وهذا النوع من الاستجابات يشمل الاتي:-

أ. انبات البذور مثل بذور الخس حيث تكون الاستجابة اما ايجابية بمعنى ان الضوء يشجع الانبات او قد تكون الاستجابة سلبية بمعنى ان الضوء يثبط الانبات وعادة يطلق على البذور التي يتاثر انباتها بوجود الضوء photoblastic .



ب- تطور البادرات seedling development

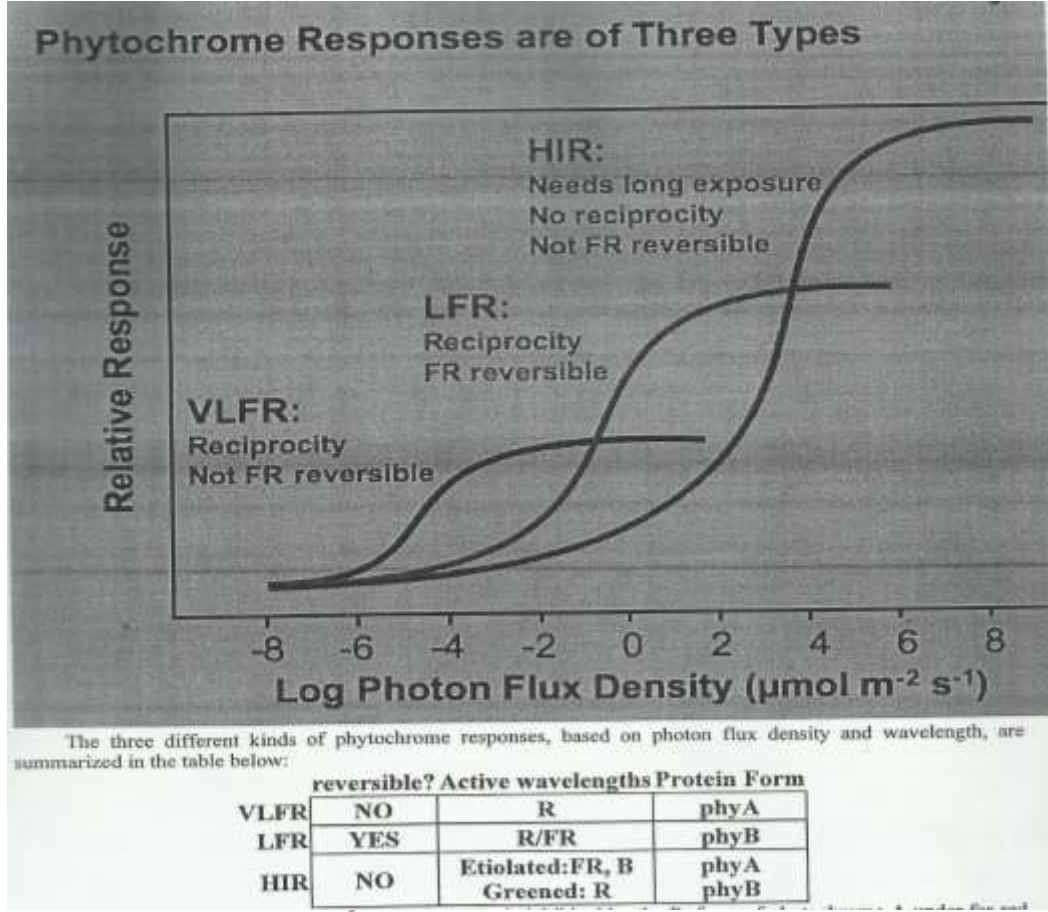
واحدة من هذه الظواهر هي ظاهرة الشحوب الظلامي في البادرات هي ان معظم الفاييتوكروم يكون بهيئة PR وعندما تتعرض البادرات للضوء فان الرويشة تبدأ بالانفراج كما ان سرعة استطالة الساق تتباطئ والبلاستيدات ان تتكون ويبدأ اللون الاخضر بالظهور نتيجة لوجود صبغة الفاييتوكروم حيث ان تعرض البادرات الى الضوء سوف يحول صبغة الفاييتوكروم من ال PR الى PFR .

النوع الثالث :- الاستجابات التي تحتاج الى كميات كبيرة من الضوء

Very high intensity responses $<0.1mmol m^{-2}.s^{-1}$

هذا النوع من الاستجابات يحدث تحت شدة اضاءة عالية وهو يحتاج الى فترات قليلة من التعرض للاضاءة ومن العمليات الفسيولوجية التي تتاثر بهذه المستويات العالية هي توسع الاوراق leaf expansion ، نمو الساق stem growth . وعادة فان هذه التأثيرات الناتجة عن هذا النوع من شدة الاضاءة تكون غير عكسية بصورة تامة كما هو الحال في الاستجابات الفسيولوجية التي اشرنا اليها سابقا فمثلا كلما زادت فترة تعرض البادرات الى مستويات عالية من الضوء الاحمر فان هذه البادرات تصبح اقل حساسية للضوء الاحمر البعيد ويبدو ان كل من صبغة الفاييتوكروم وكذلك صبغة blue-light يشمل الضوء الازرق للفايتوكروم و uv-Areceptors لها دور في هذه الاستجابات الفسيولوجية ويوضح الشكل الاتي العلاقة بين شدة الاضاءة والاستجابات الفسيولوجية الثلاث التي اشرنا اليها ومن

الجدير بالذكر ان النوع الثاني من الاستجابات الفسيولوجية هي الاكثر اهمية من حيث الدراسة من قبل الباحثين.



استجابة النبات للفايتوكروم تحت الظروف الطبيعية

phytochrome mediated responses in nature

هناك استجابتين لصبغة الفايثوكروم هما:-

1- الاستجابة في نهاية اليوم End of day response

هذه الاستجابة لها علاقة بالنمو الطولي لساق النباتات حيث ان عملية النمو الطولي تكون مرتبطة ارتباط مباشر بكمية ال PFR للفايتوكروم الموجود في بداية فترة الظلام .

2- تجنب او تحاشي الظل Shade avoidance response

هذا النوع من الاستجابة يعتمد على نسبة R/FR هذه النسبة تكون قليلة عندما يكون الغطاء النباتي كثيف نظرا لان الغطاء النباتي الكثيف يجعل الضوء غنيا بالضوء الاحمر البعيد لان معظم R هو ممتص على سبيل المثال في حقل نباتات الحنطة النسبة بين R/FR 0.5 wheat yield

photo R/FR 0.15 wood ان النسبة ما بين R/FR ratio هذه النسبة تحدد لنا ما يطلق عليه اصطلاح photo equilibrium phytochrome التوازن الضوئي الكيمائي الذي هو عبارة عن نسبة PFR الى الضوء الكلي P total وهذه النسبة تنظم عملية استطالة الساق stem elongation وعندما تكون هذه النسبة منخفضة PFR/P total = low فان الساق تتمدد طوليا على حساب الاوراق والجذور لكي تتحاشى الظل وتصل الى الضوء وعندما يصل النبات الى ظروف ضوئية ملائمة بمعنى انها ظروف غنية بالضوء الاحمر فان نسبة PFR/P total= high عالية سوف تزداد (لان الضوء الاحمر يحول PR الى PFR وبذلك فان سرعة استطالة الساق سوف تتباطئ ويحدث تشجيع لعملية توسع الورقة وتطور المجموع الجذري .

Dr. Muayed F. Abbas Basrah University

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (5) الخميس 2012/12/6

طريقة عمل الفايوتوكروم Mode of action of phytochrome

كما ذكرنا سابقا فان صورة الPFR للفايتوكروم تكون مرتبطة بالاغشية البلازمية هذا الارتباط بالاغشية من شأنه ان يغير من خواص الغشاء وبالتالي تنشيط عملية تدفق الايونات ion- fluxes وبصورة عامة فان تاثيرات الفايوتوكروم تقسم الى قسمين من حيث طريقة عملها:-

النوع الاول :- الاستجابات السريعة Rapid responses

هذه الاستجابات ناتجة من تحول الفايوتوكروم من صورة PR الى صورة PFR وهي ذات طبيعة تسمى بايوكهربائية bioelectric nature مما يؤثر على خواص الغشاء ولقد اوضحت التجارب ان اطراف الجذور واعمال الرويشة تغير شحنتها الكهربائية السطحية بسرعة عند تعريضها للضوء الاحمر وعادة هذا التغيير يرافقه دخول ايونات البوتاسيوم وخروج ايونات الهيدروجين وتقوم بهذه العملية اعضاء خاصة تسمى motor organs على سبيل المثال اوراق نبات المستحي mimosa وكذلك العديد من نباتات العائلة البقولية Albizzia وهذه تظهر ظاهرة انثناء الاوراق leaf folding هذه العملية تعتمد على تدفق الايونات حيث تنبسط الاوراق في الضوء وتنثني او تنطوي في الظلام وهي تحت سيطرة صبغة الفايوتوكروم وهذه الحركات تتاثر بالضوء الاحمر والاحمر البعيد حيث وجد ان التعرض للضوء الاحمر بسبب انبساط الاوراق وهذا التأثير يمكن عكسه في الضوء الاحمر البعيد وهذه التأثيرات للضوء الاحمر والاحمر البعيد يمكن ملاحظتها خلال 10 دقائق. ان هذه التغيرات تتضمن تغيرات في الضغط الانتفاخي يرافقه حركة ايونات البوتاسيوم وبالتالي التأثيرات على الخواص الازموزي للخلايا. بعض الاستجابات السريعة تحدث خلال 15 ثانية على سبيل المثال تعريض اعمال الرويشة النامية في الظلام الى الضوء الاحمر يغير من خواصها الكهربائية ويؤثر ايضا على حركة الايونات وجميع هذه التغييرات السريعة تتضمن تغيرات في خواص النفاذية للاغشية مما يؤثر على حركة الايونات وخصوصا ايون البوتاسيوم ونظرا لان هذه الاستجابات تحدث بسرعة فمن المستبعد انها تكون لها علاقة بعملية التعبير الجيني او فعل الجينات وهذا التأثير يقع ضمن التأثيرات البطيئة للفايتوكروم.

النوع الثاني :- الاستجابات البطيئة نسبياً Relatively slow responses

من هذه التأثيرات يبدو ان صورة الفايوتوكروم PFR هي الصورة النشيطة فسيولوجيا وهذه الصورة تؤثر في عملية التعبير الجيني حيث ان العديد من العمليات الفسيولوجية والتي لصبغة الفايوتوكروم دور رئيسي

فيها مثل انبات البذور وازالة ظاهرة الشحوب الظلامي وكذلك التحول من النمو الخضري الى الزهري يتضمن تغيرات في عملية التعبير الجيني ومن اكثر الجينات التي تتاثر بالفايتوكروم هي الجينات النووية الموجودة في النواة وهذه الجينات تشفر Mrna المسؤول عن انتاج البروتينات وقد تم انتاج نوعين من البروتينات :-

النوع الاول:-

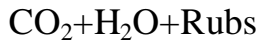
النوع الاول المسؤول عن تكوين تحت الوحدات الصغيرة لانزيم الرابسكو .

النوع الثاني:-

هو المسؤول عن تكوين البروتينات المرتبطة بصبغة الكلوروفيل أ وب الموجود في معقد الحصاد الضوئي (LHC) Light harvesting complex .

هذين النوعين تم دراستهم فالنسبة للرابطسكو الذي هو احد البروتينات الذائبة والموجودة بكميات كبيرة

في البلاستيدات الخضراء والمسؤول عن تحول خطوة الكاربوكسليز Carboxylation اضافة CO_2



وبالنسبة للبروتين الثاني المسؤول عن معقد الحصاد عملية الشفر له تحدث بالنواة ثم يتحرك الى السايوبلازم حيث يتم بناءه على الرايبوسومات ثم يتحرك الى البلاستيدات الخضراء.

ومع تطور معلوماتنا في البايولوجي الجزيئي اتضح ان صبغة الفايتوكروم تؤثر في عملية التعبير الجيني وذلك في خطوة النسخ (في النواة) ويبدو ان صورة الفايتوكروم PFR هي التي تقوم بعملية تنظيم النسخ الجيني وقد اوضحت الدراسات ان ال PFR .

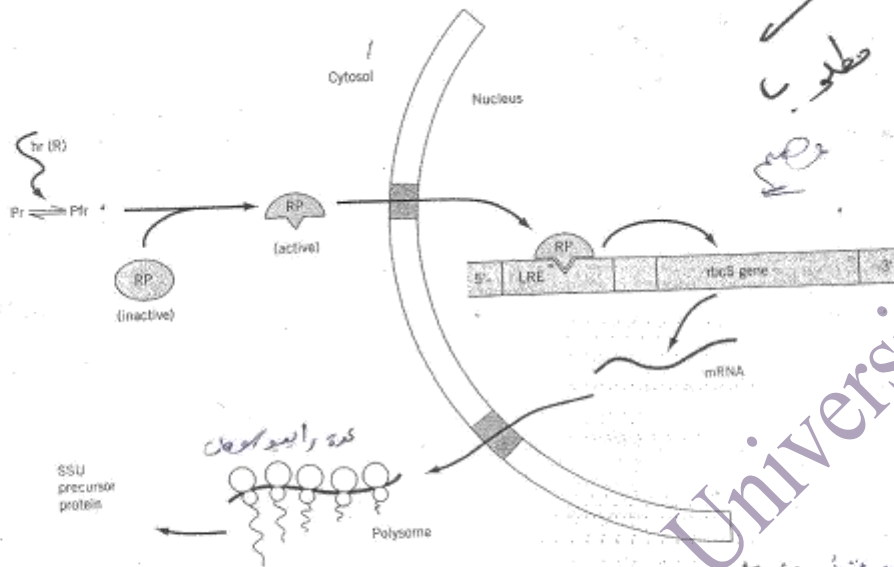


FIGURE 18.19 Schematic model for phytochrome regulation of the Rubisco small subunit gene (*rbcS*). Pfr activates a regulatory protein (RP) that moves into the nucleus and binds with the light regulatory element (LRE). LREs are located in the uncoded promoter region downstream (i.e., toward the 5'-end) of the *rbcS* gene. The LRE stimulates transcription of the gene and the resulting mRNA is exported to the cytosol where it directs the translation of the small subunit (SSU) precursor protein. The SSU precursor protein is then transported into the chloroplast, processed, and combined with the large subunits to form active Rubisco.

تنظيم الجين
عملية تضاريف

نوع تنظيم الجين
التيان المسؤولة عن
العضية لانزيم الـ RbcS
مستقبل تنظيم
لم يوجد
فان ذلك يمكنه ان يدخل النواة ويرتبط

الان عنصر التنظيم الضوئي يكون واقع في الجزء الخاص من الجين الذي هو غير مشفور المسؤول عن انتاج الوحدات الصغيرة CRE الذي هو عنصر التنظيم الضوئي ينشط عملية استنساخ الجين المسؤول عن تكوين الوحدة الصغيرة لانزيم الـ رابيسكو وعملية التنشيط هذه تؤدي الى انتاج mRNA وهذا يتحرك من النواة الى الساييتوبلازم وعندما يصل الى هناك يواجه عملية ترجمة المركب البادئ تحت الوحدة الصغيرة الـ SSU للبروتين العائد للرابيسكو. بعد ذلك هذا المركب البادئ البروتين الوحدة الصغيرة الذي هو SSU ينتقل الى البلاستيدات الخضراء وتحدث له عملية تحويل وبعد ذلك يرتبط مع تحت الوحدات الكبيرة وتتكون لدينا انزيم الـ رابيسكو الفعال .

فسلجة الازهار Physiology of flowering

خلال دورة الحياة الطبيعية للنباتات العشبية فان هناك فترة نمو خضري ويعقبها مرحلة الازهار ، الان هناك اختلافات كبيرة بين النباتات بالنسبة للفرق بين هاتين المرحلتين في النمو على سبيل المثال الحنطة وزهرة الشمس يوجد اختلاف واضح بين مرحلة النمو الخضري والتكاثري في حين نباتات اخرى مثل الطماطا فان مرحلتي النمو الخضري والزهري تحدثان سوية ومع ذلك فانه في كلتا المجموعتين هناك

عدد معين من الايام يكون فيها نمو خضري فقط ، وفي حالة متطرفة extreme في نبات *Chenopodium rubrum* L. هذا النبات يزهر مباشرة بعد الانبات بعد تكوين الاوراق الفلقية استجابة لظروف النهار القصير .ان فترة النمو الخضري تختلف عادة الا ان هناك فترة من النمو التي عندها يتم تكوين العديد من الاوراق في منطقة ال Shoot apex وفي انواع اخرى من النباتات والتي هي معمرة فان عدد الاوراق يكون قد تحدد مسبقا في مرحلة السكون ومرحلة النمو الخضري في هذه النباتات تتضمن اتساع مبادئ الاوراق leaf primordia التي تكونت في السنة السابقة كما هو الحال في العديد من الاشجار الخشبية والابصال.

سؤال مهم:-

ماهو الشيء الذي يجعل المرستيم الخضري يتحول الى مرستيم زهري ؟ هل هناك عوامل داخلية او ميكانيكية داخلية يحددها التركيب الجيني للنبات ؟ ام ان ذلك يعتمد على الظروف الخارجية التي يتعرض لها النبات ؟

الجواب:-

في الواقع ان النباتات تختلف بدرجة كبيرة وذلك في مناسبتها للظروف الخارجية فبعض النباتات غير حساسة نسبيا Relatively insensitive للظروف الخارجية وبشرط ان تكون هذه الظروف الخارجية ملائمة للنمو نوعا ما فان هذه النباتات سوف تزهر على مدى واسع من الظروف البيئية. في بعض الانواع النباتية فان تكوين المبادئ الزهرية flower primordia فان تكوين المبادئ الزهرية حساس جدا للظروف الخارجية وعملية التزهير لم تحدث تحت ظروف معينة من طول اليوم او درجة الحرارة بالرغم من ان كلا العاملين ملائمين للنمو بدرجة مناسبة هذا يعني ان الاحتياجات البيئية في عملية التزهير ليس بالضرورة ان تكون نفسها هي الملائمة لعملية النمو الخضري . ونظرا لان معلوماتنا عن فسلجة الازهار هي كبيرة جدا بالنسبة لتلك الانواع النباتية التي هي حساسة للظروف البيئية فاننا سوف نهتم بدراسة فسلجة الازهار في هذه النباتات الحساسة ثم بعد ذلك نتطرق للازهار في تلك الانواع النباتية غير الحساسة.

القياسات الكمية لظاهرة الازهار Quantitative measurements of flowering responses

ان الفرق بين حالة النمو الخضري والازهار هو فرق نوعي وعلى هذا الاساس فانه من الاهمية في مكان عند دراسة فسلجة الازهار ان نمثلك مقياس حقيقي يمكننا من التعبير عن الاستجابات للتزهير

للعديد من المعاملات التي نجريها وقد استخدمت العديد من الدلائل indices و index دليل للتعبير عن الاستجابات للتزهير وقد تضمنت هذه الأدلة اوسائل القياس مايلي:-

- 1- النسبة المئوية للنباتات المزهرة في مجموعة من النباتات التي تعرضت الى معاملة معينة .
 - 2- العدد الكلي للازهار او النورات الزهرية.
 - 3- الوقت لظهور اول زهرة كلما قصر الوقت كلما زادت الاستجابة للتزهير في معاملة معينة أي ان المعاملة فعالة لظهور اول زهرة.
 - 4- عدد الاوراق التي تتكون قبل عملية تكوين مبادئ الازهار .
 - 5- هذه الطريقة تسمى Scoring method هي الطريقة المعتمدة وتعتمد على التغييرات التشريحية التي تحدث او ترافق عملية تحول البرعم الخضري الى برعم زهري وفي هذه الطريقة عادة تستخدم عندما تكون الازهار ذات ابعاد مجهرية وغير مكتملة التطور وعادة يتم استخدام نظام الترقيم من 1-8 لتوضيح عملية تطور الازهار.
- فلقد اوضحت الدراسات على فسلجة الازهار ان الازهار في بعض النباتات يتاثر بطول الفترة الضوئية وهذه النباتات يطلق عليها اصطلاح ال photo periodic sensitive plants النباتات الحساسة للضوء وقد حضيت هذه النباتات بدراسات موسعة وبحوث . اما المجموعة الاخرى من النباتات فهي النباتات التي يبدو ان لدرجة الحرارة المنخفضة دورا مهما في ازهارها وتسمى بالنباتات الحساسة لدرجة الحرارة المنخفضة Low temperature sensitive plants وسوف نتطرق اولا الى عملية الازهار في النباتات الحساسة للفترة الضوئية.

التوقيت او التأقت الضوئي Photo periodism

من المعروف ان التغييرات في خطوط العرض latitude تؤثر في توزيع النباتات ، وكانت اول الجهود البحثية لدراسة تأثير طول اليوم في عملية التزهير تعود من الباحث الفرنسي Tourinois في عام 1912 حيث وجد ان نباتات مثل Hops و Hemp هذه النباتات ازهرة بغزارة في فصل الشتاء عندما وضعها في بيت زجاجي وقد استبعد هذا الباحث الفرنسي كل من درجة الحرارة والرطوبة وشدة الاضاءة كعوامل بيئية مسؤولة عن هذا الازهار الغزير وفي عام 1914 نفس هذا الباحث استنتج ان قصر النهار او طول الليل كان العامل المسؤول عن الازهار المبكر في هذين النباتين ولسوء الحظ فان حدوث الحرب العالمية الاولى منع استمرار هذا الباحث في تجاربه حيث قتل فيها وفي نفس الوقت كان هناك شخص اخر يدعى klebs هذا الباحث قام بدراسة ازهار بعض النباتات العائدة للعائلة العصارية واحد هذه النباتات كان ينمو على شكل نبات خضري متورد rosette شكله مثل الورد شتاء وعند

وضع هذه النباتات في بيت زجاجي واعطاه اضاءة اضافية فان هذه المعاملة ادت الى استطالة الساق وحدثت عملية التزهير واستنتج هذا الباحث klebs ان طول اليوم هو العامل المشجع للتزهير تحت الظروف الطبيعية ومع ذلك فان هذين الباحثين لم يستطيعا صياغة عبارة التأثير المهم لطول الفترة الضوئية في عملية التزهير.

ان الفضل في صياغة العبارة التي تعبر عن تأثير طول اليوم في التزهير والتي يطلق عليها اصطلاح الفترة الضوئية يعود الى الباحثان Allard و Garner حيث قاموا بصياغة هذه العبارة نتيجة لبحوثهم على نباتي التبغ وفول الصويا وقاما باستخدام عوامل التغذية ودرجة الحرارة والرطوبة واستجابات طول اليوم له تأثير كبير في التزهير ثم صاغوا عبارة الفترة الضوئية وبعد ذلك فان هذين الباحثين قاما بتوسيع دراستهما بحيث تمكنوا من وصف صفات التزهير لانواع نباتية كثيرة واقترحا ان هجرة الطيور لها علاقة بطول اليوم وفي الوقت الحاضر فان طول الفترة الضوئية له تأثير لا يقتصر على ظاهرة التزهير فقط ولكن طول اليوم يعتبر مكون اساسي ومهم في تنظيم العديد من سلوك النباتات والحيوانات .

Dr. Muayed F. Abbas Basrah University

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (6) الخميس 2012/12/13

انواع الاستجابات لطول الفترة الضوئية Photo periodic response types

ان استجابة النباتات لطول الفترة الضوئية بالتزهير قد ادى الى تقسيم النباتات الى ثلاثة مجاميع رئيسية هي :-

1-نباتات النهار القصير Short Day Plants SDP

هي تلك النباتات التي تزهر مبكرا استجابة لطول اليوم (طول النهار) الذي هو اقصر من قيمة معينة خلال دورة ضوئية Photo periodic cycle مقدارها 24 ساعة .

2-نباتات النهار الطويل Low Day Plants LDP

هي تلك النباتات التي تزهر فقط او تزهر بسرعة استجابة لطول اليوم الذي هو اطول من قيمة معينة .

3-نباتات النهار الطبيعية (النباتات المحايدة) Day Neutral Plants DNP

هذه النباتات تزهر بغض النظر عن طول اليوم .
بعض النباتات تبقى في حالة خضرية بصورة دائمية اذا تم زراعتها تحت ظروف طول يوم غير ملائمة او غير مناسبة وهذه المجموعة من النباتات يطلق عليها اصطلاح Obligate photo periodic plants هي النباتات ذات الاحتياجات الضوئية الاجبارية لانها تحتاج الى فترة ضوئية معينة وهذه تشمل مجموعة من النباتات على سبيل المثال نباتات النهار القصير Xanthium وكذلك نبات النهار الطويل Hyoseymous

4-نباتات ذات احتياجات نهار اختيارية Facultative Photo Periodic Plants

هذه المجموعة ازهارها قد يحدث بسرعة تحت ظروف نهار قصير او نهار طويل معين ولكن في النهاية فانها تزهر حتى لو تعرضت الى ظروف نهار غير مناسبة ولذلك فان مثل هذه النباتات عادة تظهر استجابات كمية Quantitative على سبيل المثال نبات الرز كمثال على نبات نهار قصير .والحنطة الذي هو نبات نهار طويل .

ان النباتات ذات الاحتياجات الاجبارية المطلقة obligate او Absolute لطول الفترة الضوئية تمتاز بامتلاكها طول يوم حرج Critical day length اقل منه او اعلى منه فان الازهار سوف لن يحدث في نباتات النهار الطويل والقصير في حين ان النباتات ذات الاحتياجات الضوئية الاختيارية تظهر فقط تدرج محدود في الاستجابة لطول اليوم وليس هناك حد حرج واضح .

الاحتياجات الضوئية تؤثر عليها عوامل خارجية اخرى مثل درجة الحرارة على سبيل المثال نبات قد يمتلك متطلبات نوعية (اما نهار قصير او طويل) قد تستجيب كليا على درجة حرارة اخرى. بالاضافة الى هذه المجاميع الرئيسية للنباتات من حيث النباتات استجابتها لطول الفترة الضوئية هناك العديد من النباتات التي تظهر استجابات لظروف النهار القصير والطويل سوية . كما ان قسما من بعض النباتات استجابتها لطول الفترة الضوئية بدرجة الحرارة . العديد من النباتات العائدة للجنس *Bryophyllum* هي نباتات نهار طويل قصير SDP and LDP أي انها تزهر فقط اذا تعرضت الى عدد محدد من ايام طويلة قبل ان تتعرض الى ظروف نهار قصير والعكس صحيح بالنسبة للنباتات التي هي نباتات نهار قصير نهار طويل مثل نبات البرسيم الابيض *Trifolium* . بعض النباتات مثل محاصيل الحبوب الشتوية تحتاج الى معاملة بدرجة حرارة منخفضة قبل ان تصبح حساسة للفترة الضوئية بينما انواع اخرى لها احتياجات ضوئية نوعية من درجة حرارة معينة او احتياجات ضوئية كمية فقط في درجة حرارة اخرى .

عدد محدد من النباتات لها احتياجات خاصة جدا للتزهير هذه النباتات تسمى *intermediate day length plants* وهي تسمى بالنباتات ذات الاحتياجات الوسطى لطول اليوم هذه النباتات تزهر فقط استجابة الى طول يوم متوسط ولكنها تبقى خضرية اذا كان اليوم طويل جدا او قصير جدا كما ان هناك نوع من السلوك لبعض النباتات يطلق عليه اصطلاح *amphophotoperiodism* مثل نبات *Madia elegans* في هذا النبات التزهير يتاخر اذا تعرضت النباتات الى طول نهار يتراوح من 12-14 ساعة . الان التزهير يحدث بسرعة اذا تعرضت النباتات الى طول نهار بين 8 او 18 ساعة .

وبصورة عامة هناك اختلافات كبيرة بين الانواع النباتية بالنسبة للمجاميع الرئيسية التي اشرنا اليها الان الشئ المهم هو انه مامعروف من الناحية العلمية عن الازهار في النباتات جاء نتيجة للبحوث التي اجريت على عدد صغير نسبيا من نباتات النهار القصير والطويل ويوضح الجدول الاتي امثلة لبعض الانواع النباتية التي تظهر الانواع الرئيسية الثلاثة من الاستجابة لطول الفترة الضوئية.

TABLE 20.1 Representative plants exhibiting the principal photoperiodic response types.

Short-Day Plants	
<i>Chenopodium rubrum</i>	red goosefoot
<i>Chrysanthemum</i> sp.	chrysanthemum
<i>Cosmos sulphureus</i>	yellow cosmos
<i>Euphorbia pulcherrima</i>	poinsettia
<i>Glycine max</i>	soybean
<i>Nicotiana tabacum</i>	tobacco (Maryland Mammoth)
<i>Perilla crispata</i>	purple perilla
<i>Pharbitis nil</i>	Japanese morning glory
<i>Xanthium strumarium</i>	cocklebur
Long-Day Plants	
<i>Anethum graveolens</i>	dill
<i>Beta vulgaris</i>	Swiss chard
<i>Hyoscyamus niger</i>	black henbane
<i>Lolium</i> sp.	rye grass
<i>Raphanus sativus</i>	radish
<i>Secale cereale</i>	spring rye
<i>Sinapis alba</i>	white mustard
<i>Spinacea oleracea</i>	spinach
<i>Triticum aestivum</i>	spring wheat
Day-Neutral Plants	
<i>Cucumis sativus</i>	cucumber
<i>Gomphrena globosa</i>	globe amaranth
<i>Helianthus annuus</i>	sunflower
<i>Phaseolus vulgaris</i>	common bean
<i>Pisum sativum</i>	garden pea
<i>Zea mays</i>	corn

طول اليوم الحرج Critical day length

من المهم ان نفهم بان الفرق او التمييز distinction بين نباتات النهار القصير ونباتات النهار الطويل لايعتمد على الطول المطلق لليوم وعلى سبيل المثال نبات الزانثيوم (*Xanthium* (LDP) ونبات (*Hyoscyamus*(LDP) كلاهما يزهران على فترة ضوئية مقدارها 12-15 ساعة باليوم ولكن نبات الزانثيوم يصنف على اساس انه نبات نهار قصير في حين ان نبات الهايوسايموس يصنف على انه نبات نهار طويل .

ان تصنيف النبات على انه نبات نهار قصير او نبات نهار طويل يعتمد على سلوكه Behavior بالنسبة الى طول اليوم الحرج ، فالنباتات التي تزهر عندما يكون طول اليوم اقصر من طول اليوم الحرج تصنف على انها نباتات نهار قصير اما تلك التي تزهر استجابة الى طول اليوم الذي هو اطول من طول اليوم الحرج فانها نباتات نهار طويل . وعليه فان طول اليوم الحرج لنبات نهار قصير الذي هو الزانثيوم هو 15 ساعة ونصف وهذا يعني ان هذا النبات يزهر عندما يكون طول اليوم اقل من 15 ساعة ونصف في دورة مقدارها 24 ساعة .

في حين ان طول اليوم الحرج لنبات الهايوسايموس (خناق الدجاج والسكران) هو 12 ساعة أي بمعنى انه يزهر عندما يزيد طول الفترة الضوئية عن تلك القيمة . ومن الواضح ان طول اليوم الحقيقي الذي يزهر عنده النبات في حالة عدم وجود معلومات اخرى لايعطينا معلومات واضحة عن نوع الاستجابة . وعليه فانه بالرغم من ان نباتات النهار القصير تميل للازهار في الخريف ونباتات النهار الطويل تميل الى الازهار في منتصف الصيف فان تصنيف نبات على انه نبات نهار قصير او طويل لايعطينا بالضرورة الوقت الحقيقي في السنة الذي يزهر فيه النبات .

يوضح الشكل الاتي فكرة طول اليوم الحرج في نبات الزانثيوم (اطوال اليوم الحرجة موضحة بالخطوط المنقطه ويلاحظ ان نبات الزانثيوم مزهر عندما يكون طول اليوم اقصر الى ان يصل الى 100% وكذلك يزهر عندما يكون طول النهار اطول).

Photoperiodism

419

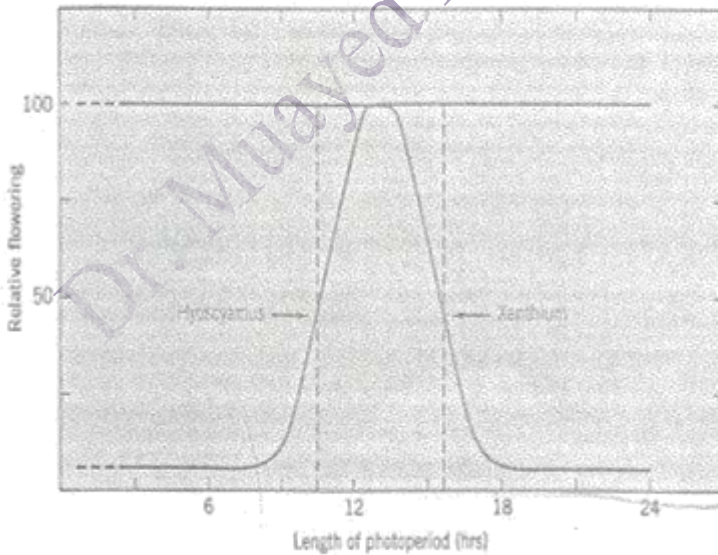


FIGURE 20.3 A diagram to illustrate the concept of critical daylength in populations of *Xanthium strumarium* (cocklebar), a short day plant, and in *Hyoscyamus niger* (black henbane), a long day plant. Critical day lengths are indicated by the vertical dotted lines. Note that *Xanthium* flowers when the daylength is shorter than its critical daylength and *Hyoscyamus* flowers when the daylength is longer than its critical daylength.

الحث الزهري Photoperiodic induction

ان العديد من النباتات تحتاج الى التعرض المستمر نوعا ما لفترة ضوئية مناسبة حتى تبدأ مبادئ الازهار بالتطور ثم تحدث عملية التزهير في هذه النباتات بصورة ناجحة. في حين ان انواع اخرى تتجه نحو التزهير حتى اذا تم تعريضها الى فترة ضوئية مناسبة ولمرة واحدة فقط بالرغم من اعادة النباتات مثل هذه النباتات يقال عنها انها حدث لها عملية حث زهري Flower induction والفترة الضوئية المناسبة التي سببت التزهير يطلق عليها اصطلاح المعاملة الحاثية inductive treatment .

ان ظاهرة الحث الزهري تثير الكثير من الظواهر الفسيولوجية بعضها غير محلول او غير معروف لحد الان بالتاكيد قد حدث تغيير فسيولوجي في النباتات التي حدثت لها عملية الحث induction وهذا التغيير يبقى بالرغم من عدم وجود تغيرات تشريحية او مظهرية في منطقة shoot apex حيث تتكون الزهرة بالاضافة الى ذلك فان حدوث عملية الحث الزهري لها العديد من الفوائد في التجارب الخاصة بالازهار حيث ان احد الاسباب التي جعلت نبات الزانثيوم يستخدم على نطاق واسع في تجارب التأقت الضوئي هو ان دورة نهاره قصيرة short day cycle حيث ان سبب حدوث التزهير بصورة غير قابلة للانعكاس حتى بعد نقل النبات بعد هذه المعاملة الى ظروف النهار الطويل .

ان مثل هذه الحساسية المتطرفة للحث الزهري هي ليست شائعة ولكن تم توضيحها في بعض نباتات النهار القصير مثل نبات *Phorbitis nil* وكذلك نبات النهار الطويل *Lolium (ldp)* عملية الحث الزهري تحدث على درجات وبالرغم من ان نبات الزانثيوم سيستجيب الى دورة ضوئية حاثية واحدة فان تكوين مبادئ الازهار يكون سريعا وغزيرا اذتعرض النبات الى عدة دورات حاثية .

نباتات اخرى قد تظهر حث جزئي او تدريجي بمعنى ان مجموع عدة دورات حاثية بسبب التزهير حتى لو تخللتها دورات غير حاثية وتحدث هذه الظاهرة في نبات *Plantago* .

احيانا الحساسية لطول الفترة الضوئية بتغيير مع العمر على سبيل المثال بعض نباتات النهار القصير مثل فول الصويا هذا النبات يزهر فقط عندما يكون تحت ظروف النهار القصير عندما تكون النباتات فتية young ولكن عندما تتقدم النباتات في العمر فانها تصبح قادرة على التزهير حتى في ظروف النهار الطويل.

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (7) الخميس 2012/12/20

الدور الرئيسي لفترة الظلام

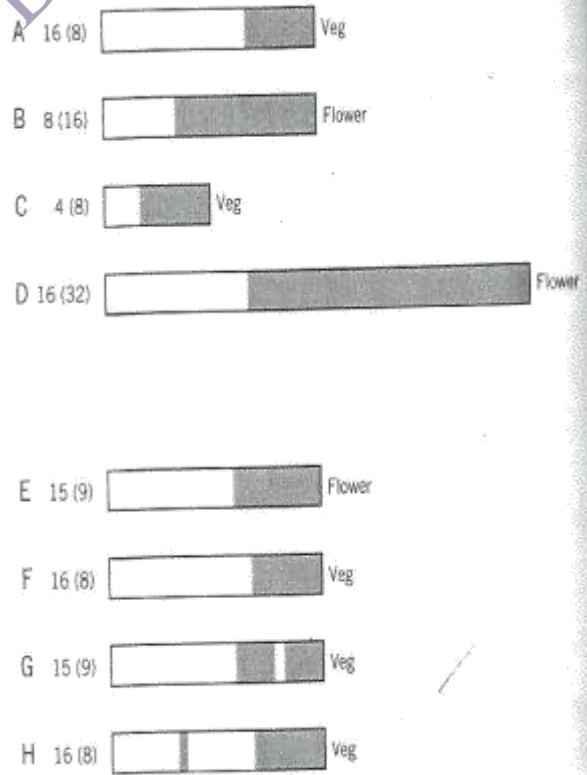
في الابحاث الاصلية للباحثين Allard و Carner افترضوا ان النوات تستجيب للاطوال الموجية للضوء والظلام day and night وعبارة photoperiodism والتي جذورها تعود الى اللغة اليونانية القديمة وتعني (photo تعني ضوء و periodism تعني الفترة) هذه العبارة تبدو مربكة وغير صحيحة نظرا لانها تعني ضمنا بان النبات يقيس فترة الضوء خلال اليوم في الحقيقة ان النباتات لاتقيس لاطول النسبي للنهار او الليل ولاطول الفترة الضوئية بل انها تقيس طول فترة الظلام dark period وهذه النتيجة تم توضيحها بصورة لاتقبل الشك وذلك من خلال البحوث التي اجراها الباحثان Hamner و Bonner وذلك من خلال دراستهم على نبات الزانثيوم Xanthium وذلك باستخدام دورة او دورات cycle=light ,dark مقدارها 42 ساعة من الضوء والظلام ولاحظوا ان هذا النبات ازهر عندما كان طول فترة الظلام اكثر من 8 ونصف ولكن بقي بحالة خضرية على دورات من 16 ساعة ضوء و8 ساعات ظلام اما عند تعريض النبات من 4 ساعات ضوء و8 ساعات ظلام فان النباتات بقيت بحالة خضرية بالرغم من ان الفترة الضوئية هي اقصر بكثير من الفترة الضوئية الحرجة لهذا النبات والبالغة 15 ساعة ونصف. ومن ناحية اخرى فان الدورات المكونة من 16 ساعة ضوء و32 ساعة ظلام سببت زيادة سريعة في التزهير بالرغم من ان الفترة الضوئية اطول من طول اليوم الحرج 15 ساعة ونص لهذا النبات . هذه النتائج ادت الى الاستنتاجات التالية :-

- 1- ان الطول النسبي لليل والنهار هو ليس العامل المحدد في ظاهرة التوافق الضوئي لان نسبة الضوء الى الظلام هي نفسها في المعاملات B,C,D في الشكل التالي:-
 - 2- ان طول فترة الظلام هو المهم .
 - 3- الشيء المميز لهذه التجارب هو ان نبات الزانثيوم سوف يزهر كلما كان طول فترة الظلام اكثر من 8 ساعات ونص ويبقى خضريا كلما كان طول فترة الضوء اقل من 8 ساعات ونص .
- هذان الباحثان قاما باثبات الدور الاساسي او المركزي لفترة الظلام وذلك عن طريق قطع فترة الظلام المستمرة بتعريضه الى فترة بسيطة من الضوء (المعاملات من E الى H) تحت هذه الظروف (فترة قليلة من الضوء) فان تأثير التزهير الناتج من 9 ساعات ظلام وقد تم ابطاله تماما وذلك عندما تخللت فترة الظلام فترة قصيرة من الضوء. ولكن اذا عرضت النباتات الى فترة بسيطة من الظلام هي المعاملة (H) فان الفترة الضوئية الطويلة ليس لها تأثير يذكر على التزهير .

التجارب مع نباتات النهار الطويل اعطت نفس الشيء وعلى هذا الاساس يبدو ان ظاهرة التوافق الضوئي ليس لها علاقة بطول اليوم بحد ذاته دائما الاستجابة هي عبارة عن استجابة الى فترة وتوقيت فترات الضوء والظلام وعليه فان اليوم الحرج لنبات نهار قصير هو في الواقع يمثل لنا اقصر طول من الفترة الضوئية المكونة من 24 ساعة . بحيث يتمكن هذا النبات من تلك الدورة في الحصول على فترة ظلام ذات طول مناسب وفي نباتات النهار الطويل فان فترات الظلام هي مثبطة للتزهير وان طول النهار الحرج هو اقل طول في دورة مقدارها 24 ساعة بحيث يجعل طول فترة الظلام قصيرة بدرجة كافية لكي تسمح بالتزهير .

ان شدة الاضاءة لمعاملة كسر الظلام Night break ليس من الضروري ان تكون عالية وفي نبات الزانثيوم مثلا وجد ان دقيقة واحدة من ضوء المصابيح incandescent light الضوء الابيض ذو شدة اضاءة منخفضة مثلا دقيقة واحدة من ضوء المصابيح ذو شدة اضاءة منخفضة قادر على منع التزهير لنبات الزانثيوم وحتى ضوء القمر الساطع قد يكون كافيا لمنع التزهير في نباتات النهار القصير ويوضح المخطط (الشكل 4-20) الدور الرئيسي لفترة الظلام لنبات النهار القصير .

FIGURE 20.4 The central role of dark period in *Xanthium strumarium*, a SD plant. The photoperiod regime is shown to the left. The number enclosed in brackets indicates the length of the dark period. Note that the plants flower whenever the dark period is uninterrupted for nine hours or more. (The diagram represents the experiments of K. C. Hamner and J. Bonner, 1938.)



مع دور الليل لفترة الظلام لنبات الزانثيوم نباتا
نهار قصير، الفترة الضوئية المطلوبة للتزهير
الشمس المولود داخل انقواسها لعل طول فترة الظلام
لا يتعدى ان نبات يزهر كلما كانت فترة الظلام
تتعدى فترة الاضاءة بالسرعة لا 9 ساعات او اكثر

ونظرا لان نباتات النهار القصير تحتاج الى فترة محددة من الظلام لكي يحدث التزهير فقد **يسأل هل ان التزهير يحدث بسرعة في ظلام تام او ان هذه النباتات تحتاج الى أي فترة من الضوء؟**
الجواب:-

وقد اتضح ان معظم النباتات تحتاج الى تعاقب منتظم من الضوء والظلام لكي يحدث التزهير. وبعد ان عرفنا ان التزهير في نباتات النهار القصير يحتاج الى تعاقب ضوء وظلام **فالسؤال هو هل ان الضوء يسبق الظلام او العكس؟**
الجواب:-

بواسطة عدة تجارب تمكن الباحثان Hamner و Bonner من الاثبات ان فترة الظلام الطويلة لنبات الزانثيوم يجب ان يسبقها فترة مناسبة من ضوء ذو شدة اضاءة عالية high intensity light.
سؤال:-

أي جزء من النبات يستقبل الإشارة استقبال الإشارة الضوئية الدالة على فترة ضوئية محددة
 ؟perception of photoperiodic signal
جواب:-

ان لتغيير الحقيقي في مرحلة النمو الخضري الى التكاثري او الزهري يحدث في مناطق مرستيمية عادة بداية طرف الفرع shoot apex ثم بعد ذلك يظهر في البراعم الجانبية . وعلى عكس ما هو متوقع فان اشارة طول الفترة الضوئية لا يتم استقبالها من قبل shoot apex وانما الورقة leaf هي العضو النباتي الذي يقوم بهذه المهمة وهذا الشيء تم توضيحه في العديد من التجارب . بعض التجارب الاولية اجراها الباحث الروسي chaliakhyon هذا الباحث ذكر ان التزهير في نبات الداوودي الذي هو نبات نهار قصير والذي تم ازالة الاوراق العليا منه ثم عرض الجزء العلوي defoliation ثم تعريضها الى نهار قصير والجزء السفلي المحتوي على اوراق تم تعريضه الى نهار طويل (A) النباتات بقيت بحالة خضرية. وعندما اعيدت التجارب بصورة معكوسة أي ان الجزء العلوي المزلة اوراقه تم تعريضه الى نهار طويل والجزء السفلي الى نهار قصير فان عملية التزهير قد حدثت (B) . التزهير يحدث حتى اذا ورقة واحدة تم تعريضها لظروف نهار قصير (C). **شكل 5-20 يوضح دور الورقة باستقبال المنبه الضوئي للفترة الضوئية في نبات نهار قصير البيرولا .**

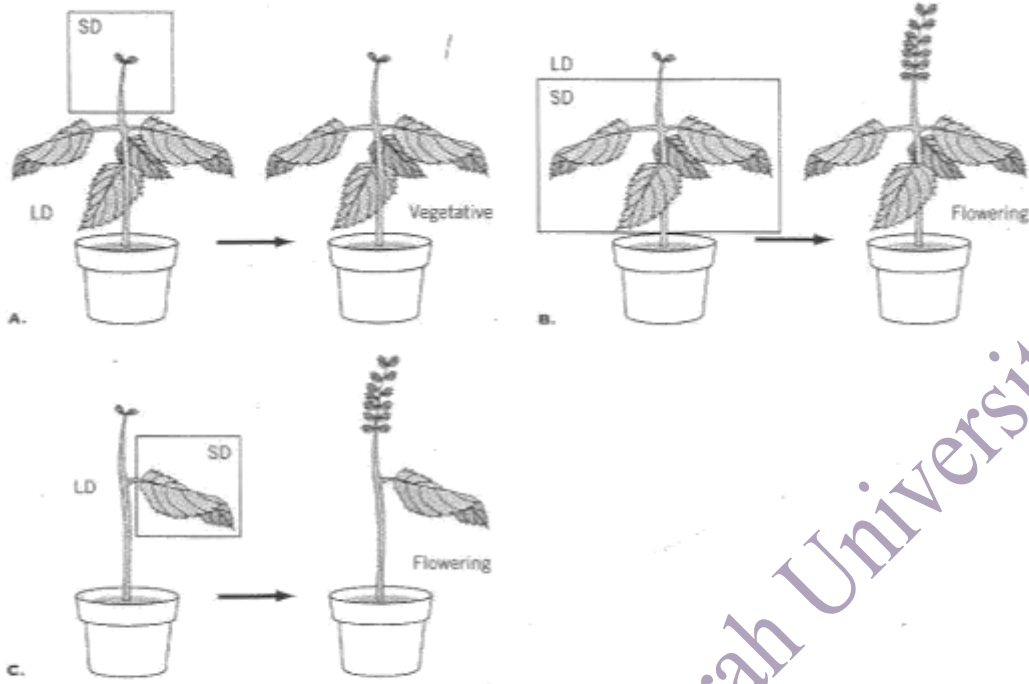


FIGURE 20.5 The role of the leaf in perception of the photoperiodic stimulus in the short-day plant *Perilla*. (A) Plants remain vegetative when the shoot apex is covered to provide short days and the leaves are maintained under long days. (B) Plants flower when the leaves are given short days but the meristem is maintained under long days. (C) Flowering will occur when only a single leaf is provided short days. (Based on the work of M. Chailakhyan, *Canadian Journal of Botany* 39:1817, 1961. Reprinted by permission.)

وفي تجارب لاحقة كما موضح بالشكل مع نباتات اخرى مثل الزانثيوم تم ازالة جميع الاوراق ماعدى ورقة واحدة وعندما عرضت هذه الورقة الى الفترة الضوئية الصحيحة النهار القصير ازهرت النباتات .

تجارب اخرى اوضحت بانه بالامكان ازالة الاوراق من النباتات الذي يتم حثه ضوئيا ثم تطعيمه على نباتات اخرى غير معرضة لمعاملات حائة هذه الاخيرة سوف تزهر وفي احد التجارب وجد ان الاوراق حتى وان كانت غير موجودة على النبات يمكن حثها ضوئيا فعند تعريض اوراق نبات البيرلا نبات نهار قصير وجد ان الاوراق المفصولة من النبات ثم عرضت هذه الاوراق المقطوعة او المفصولة الى نهار قصير وبعد ذلك تم تطعيمها على نباتات غير معرضة الى معاملة حائة فان هذه النباتات ازهرت حتى لو تم وضعها تحت ظروف النهار الطويل هذه التجارب اعطت دليلا قاطعا بان الاوراق هي الاعضاء النباتية التي تقوم باستقبال اشارة الفترة الضوئية بالرغم من ان عملية التحول من الحالة الخضرية الى الحالة الزهرية تحدث في طرف الفرع الذي هو shoot apex . حساسية الاوراق

لاستقبال الاشارة الضوئية ايضا تتغير مع تقدم النبات بالعمر وفي نبات الداودي اتضح ان الاوراق الفتية تامة التفتح هي الاكثر حساسية هذه التجارب وغيرها اوضحت امرين هماك
1- ان الورقة هي المسؤولة بصورة مستقلة عن استقبال او تحسس الاشارة الضوئية الحاتة او المؤدية الى التزهير.

2- ان الورقة تبدا او تسبب سلسلة من المعلومات التي تنقل الى منطقة ال shoot apex مسببة التحول من الحالة الخضرية الى النمو الزهري ويوضح الشكل الاتي انتقال المنبه الزهري floral stimulants في النباتات المطعمة حيث يلاحظ ان العديد من النباتات تم تطعيمها باستخدام طريقة التطعيم باللصق approach grafting وهذه النباتات تم تطعيمها الى نبات واحد يحتوي على ورقة تم حثها ضوئيا نلاحظ ان جميع النباتات ازهرت مما يدل ان المنبه او المحفز الزهري قد انتقل من ورقة الى واحدة تم حثها ضوئيا الى جميع النباتات.



FIGURE 20.6 Transmission of the floral stimulus in grafted plants. Several plants are "approach" grafted and the terminal plant is induced to flower. All plants will flower, indicating that the floral stimulus has been transmitted from the single induced leaf through all of the plants.

دور صبغة الفايثوكروم في الازهار والحث الزهري The role of phytochrome

اذا كانت الورقة النباتية هي العضو النباتي الذي يتحسس او يستقبل الاشارة فهذا يعني ان الورقة يجب

ان تكون لها القدرة على قياس الوقت Measuring time

السؤال الان:- كيف تقوم الورقة بقياس الوقت؟

الجواب:-

غير معروف بالضبط الا اننا نعلم بان صبغة الفايثوكروم لها دور في هذه العملية ومن الواضح ان تأثيرات كسر الظلام التي تعطى خلال فترة الظلام الطويلة اعطتنا بعض المعلومات فقد اوضحت مثل هذه المعاملات ان تأثيرات كسر الظلام لاتعود بالدرجة الاساسية لعملية البناء الضوئي وانما تشمل او تتضمن مشاركة صبغة الفايثوكروم ولقد اوضحت الدراسات الموسعة لطيف الفعل والاداء Action spectrum لتاثي معاملات كسر الظلام في نباتي فول الصويا والزانثيوم اتضح ان طيف الفعل هنا مماثل لطيف الفعل للتأثيرات الفسيولوجية الاخرى المسيطر عليها من قبل صبغة الفايثوكروم مثل انبات البذور وازالة ظاهرة الشحوب الظلامي بالاضافة الى ذلك فقد تم وضع التحول العكسي للضوء الاحمر والاحمر البعيد R/FR reversibility لتأثيرات كسر الظلام وهذا اعطى دليلا قاطعا بان عملية التزهير يسيطر عليها من قبل صبغة الفايثوكروم في غالبية الانواع النباتية التي تم دراستها فان عملية تنشيط التزهير عن طريق التعرض الى فترات قصيرة من كسر الظلام (عدة دقائق) الا ان هناك بعض الانواع تحتاج الى فترات كسر ظلام اطول على سبيل المثال نبات الداوودي يحتاج الى معاملة كسر ظلام مقدارها 4 ساعات.

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (8) الخميس 2012/12/27

دور صبغة الفايثوكروم في قياس الوقت The role of phytochrome measuring time

ان تأثير معاملة كسر الظلام بالضوء الاحمر يمكن عكسها بالاحمر البعيد الا ان الفترة تختلف وهي قد تصل الى 40 دقيقة في نبات مثل الزانثيوم ولكن في نباتات نهار قصير اخرى مثل pharbitis و kalanchie و chenopodium هذه النباتات الثلاثة المعاملة بالاحمر البعيد يجب ان تكون ضرورية لغرض ابطال تأثيرات الضوء الاحمر . ان تأثيرات الضوء الاحمر والاحمر البعيد التي تعطى خلال فترة الظلام تدل بصورة واضحة بان التأثيرات المشجعة للتزهير لفترة الظلام الطويلة تتأثر بدرجة كبيرة بمستويات ال pfr في الورقة . ففي نهاية فترة الضوء الرئيسية main photoperiod فان نسبة عالية من الفايثوكروم تكون موجودة على صورة pfr ولكن بمرور الوقت فان مستويات ال pfr سوف تقل بسرعة خلال فترة الظلام التالية اما بسبب التحلل degradation او التحول reversion ولكن اذا تم التعريض الى فترات قصيرة من الضوء الاحمر بعد عدة ساعات من الظلام فان المستويات العالية

من الـ pfr سوف تتكون مما يسبب تأثيرات مثبتة على العمليات المشجعة للتزهير والتي يبدو انها تحتاج الى مستويات منخفضة من صورة الـ pfr للفائتوكروم كما هو موضح بالشكل (8-9) **شكل يوضح التغيرات الافتراضية في صورة الـ pfr للفائتوكروم في الوراق خلال فترة الظلام والتي تم قطعها بفترات قصيرة من الضوء الاحمر (معاملة كسر الظلام) .**

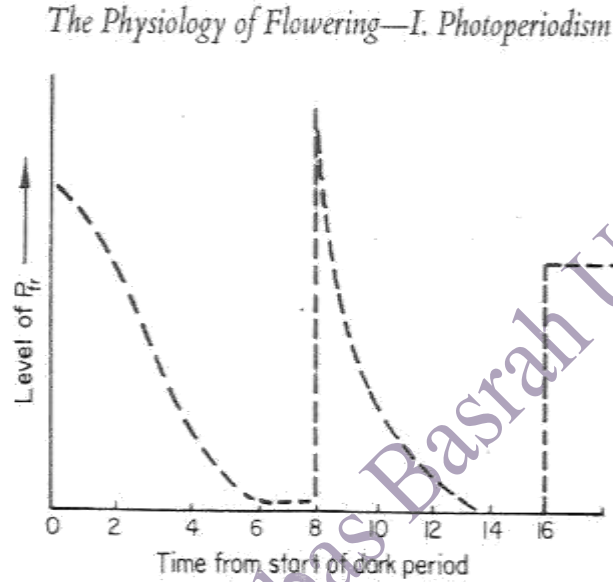


Fig. 9.8. Hypothetical changes in the P_{fr} form of phytochrome in leaves during a dark period which has been interrupted by a short exposure ("night-break") to red light.

كما يوضح الشكل (7-9) تأثيرات معاملة كسر الظلام والتي اعطيت على فترات مختلفة خلال فترة الظلام .

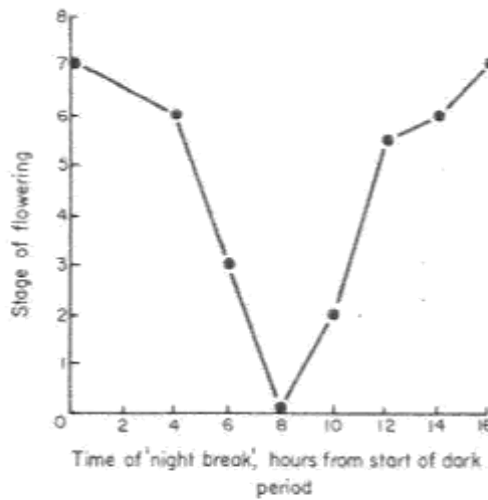


Fig. 9.7. Effect of night interruption, given at various times during dark period, on flowering in *Xanthium*. (From F. Salisbury and J. Bonner, *Plant Physiol.* 31, 141, 1956.)

التأثيرات المشجعة للتزهير بصورة ال pfr للفايتوكروم في نباتات النهار القصير

Flower promoting effect of pfr in short-day plants

هناك من الأدلة التي تشير إلا انه بالرغم من ان المستويات العالية من صور ال pfr للفايتوكروم هي مثبطة للتزهير وذلك عندما تعطى خلال فترة ظلام حادثة طويلة، ففي اوقات اخرى من الدورة الضوئية فان التزهير في نباتات النهار القصير قد يشجع بمستويات عالية من ال pfr . وعليه فان التزهير في بادرات نباتات pharbitis نباتات نهار قصير يقل بدرجة كبيرة عند تعريض النبات الى الضوء الاحمر البعيد FR والذي يقلل من مستويات ال PFR وذلك عندما تعطى معاملة الاحمر البعيد في نهاية الفترة الضوئية الرئيسية . وهكذا يبدو ان هناك مرحلة او وقت خلال الدورة اليومية (ضوء/ ظلام) التي فيها التزهير يتم تشجيعه بمستويات عالية من ال pfr ولكن بعد عدة ساعات من الظلام فان التزهير سوف يثبط كما هو واضح في معاملات كسر الظلام باستخدام الضوء الاحمر التي اشرنا اليها في الفقرات السابقة وعلى هذا الاساس يبدو ان عملية التزهير في نباتات النهار القصير يتم تشجيعها عن طريق المستويات العالية من الفايوكروم على صورة ال pfr وذلك في نهاية فترة الضوء الرئيسية يثبط بواسطة المستويات العالية من ال pfr وذلك في وقت متأخر في فترة الظلام مما يدل على ان صبغة الفايوكروم تأثير مزدوج double action في السيطرة على الحث الضوئي لعملية التزهير في نباتات النهار القصير .

استجابة نباتات النهار الطويل Responses of LD plants

كما هو الحال في نباتات النهار القصير فان تأثيرات فترة الظلام الطويلة على نباتات انهار الطويل ايضا يلغى عن طريق لفترات قصيرة من معاملة كسر الظلام night break ولكن هنا هذه المعاملة تشجع التزهير في نباتات النهار الطويل لانها تطيل فترة الاضاءة ولقد اوضحت الدراسات على طيف الفعل لتأثير معاملة كسر الظلام على نبات الشعير وكذلك نبات Hyoscymous السكران او خناك الدجاج وجد بان المنطقة الحمراء من الطيف ايضا والتي هي على طول موجي قدره 660 نانومتر هي الفعالة وان تأثيرات الضوء الاحمر ينفياها الضوء الاحمر البعيد في بعض الحالات لنباتات النهار الطويل وعلى هذا الاساس فان نباتات النهار الطويل اقل حساسية لمعاملات كسر الظلام مقارنة بنباتات النهار القصير بالرغم من ان معاملة كسر الظلام مقدارها ساعة او ساعتين هي فعالة في بعض نباتات النهار الطويل الا ان التأثير هو كلي يزداد كلما زادت فترة الضوء وان الحصول على اقصى تأثير يحتاج الى فترة اطول وعندما تم استخدام اضاءة اضافية Supplementary illumination بهدف اطالة فترة

الاضاءة القصيرة والمعطة لمعاملة ضوئية فقد وجد ان مزيج من الضوء الاحمر والاحمر البعيد هو اكثر فعالية في تشجيه التزهير في نباتات النهار الطويل مقارنة بالضوء الاحمر لوحده كما موضح بالشكل (9-9) شكل يوضح تأثير الضوء الاحمر والاحمر البعيد ومزيج منهما على نبات النهار الطويل *. Lolium*

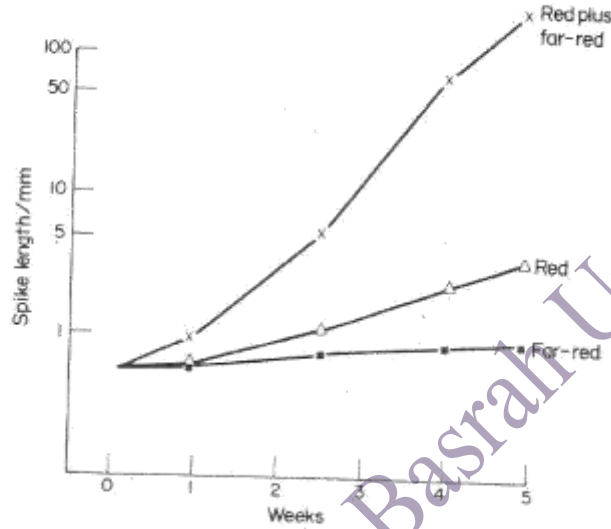


FIG. 9.9. Effect of red, far-red and mixed red plus far-red light on flowering in *Lolium temulentum*. Plants received 8 hours of daylight plus a further 8 hours of supplementary light of restricted wavelengths. (From D. Vince-Prue, *Photoperiodism in Plants*, McGraw Hill, London, 1975.)

النباتات عرضت الى ثمانية ساعات من الضوء اليومي الاعتيادي (ضوء الشمس) بعد ذلك تم تعريضها الى ثمان ساعات ضوء اضافية بعد ذلك عرضت الى ثمان ساعات ضوء اضافية اخرى باستخدام اطوال موجية معينة كما في الشكل الاحمر والاحمر البعيد والمزيج منهما. الضوء الاحمر والاحمر البعيد ليس من الضروري ان تعطى سوية وعلية ففي هذا النبات وجد انه عند استخدام الضوء الاحمر لوحده R بهدف اطالة الـ 8 ساعات من ضوء الشمس او النهار هذه المعاملة كانت غير فعالة في حث التزهير في هذا النبات ولكن اذا تخلل هذا الضوء عدة ساعات من الضوء الاحمر البعيد FR فان عملية التزهير قد حدثت في نبات *Lolium* وقد وجد ان هناك وقت مثالي Optimum time يكون التعرض فيه للضوء الاحمر فعالا **ويبدو** انه بعد حوالي 8 ساعات ضوئية من ضوء الشمس فان المستويات العالية من الفايوكروم على صورة pfr والناجمة من الضوء الاحمر تقلل الاستجابة بالتزهير في حين بعد مدة من فترة الظلام فان مستويات الـ pfr العالية تصبح ملائمة للتزهير وفي هذا الوقت فان التعرض للضوء الاحمر يشجع التزهير وقد وجد ان الضوء الاحمر البعيد يشجع التزهير بعد وصول النبات الى 6 ساعات من الضوء الاعتيادي. ولكن بعد حوالي 16 ساعة من الاحمر

البعيد يكون تأثيره قليل والتزهير الان يتم تشجيعه بالضوء الاحمر وعليه يبدو انه كما هو الحال في نباتات النهار القصير فان المستويات العالية من صورة الفايوتوكروم ال pfr تشجع التزهير في اوقات محددة وتثبطه في اوقات اخرى الا ان تعاقب التنشيط والتثبيط في نباتات النهار الطويل هو عكس ما يحدث في نباتات النهار القصير وهكذا يبدو ان هناك تشابه في سلوك نباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير ولكن في نواحي محددة فان استجابتهم لصبغة الفايوتوكروم هي متعكسة بحيث ان فترات الظلام الطويلة تشجع التزهير في نباتات النهار القصير الا انها تثبطه في نباتات النهار الطويل بالاضافة الى ذلك ففي كلا النوعين من النباتات فترات الظلام يمكن تقسيمها بمعاملة كسر الظلام التي تسبب مستويات عالية من ال pfr .

وخلال المراحل الاولى من الدورة اليومية (ضوء/ظلام) فان التزهير في نباتات النهار القصير يتم تشجيعه بمستويات عالية من ال pfr ولذلك فهو يحتاج الى تعاقب sequence تكون فيه مستويات ال pfr عالية خلال فترة الضوء الرئيسية ومنخفضة خلال فترة الظلام اللاحقة او التالية وعلى العكس من ذلك فان نباتات النهار الطويل لا تحتاج الى مثل هذا التغيير اليومي في مستويات ال pfr لانها تزهر حتى في الضوء المستمر continuous light ضوء المصابيح الذي ينتج مستويات منخفضة من ال pfr ولكن تحت ظروف تجريبية خاصة فان هذا الاختلاف اليومي في الحساسية لصورة ال pfr للفايتوكروم قد تم توضيحه كما في الشكل (9-11) شكل تخطيطي يوضح التفاعلات التي تتطلب مستويات عالية من pfr ومستويات منخفضة من ال pfr. وذلك في تفاعلات ازهار نباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير.

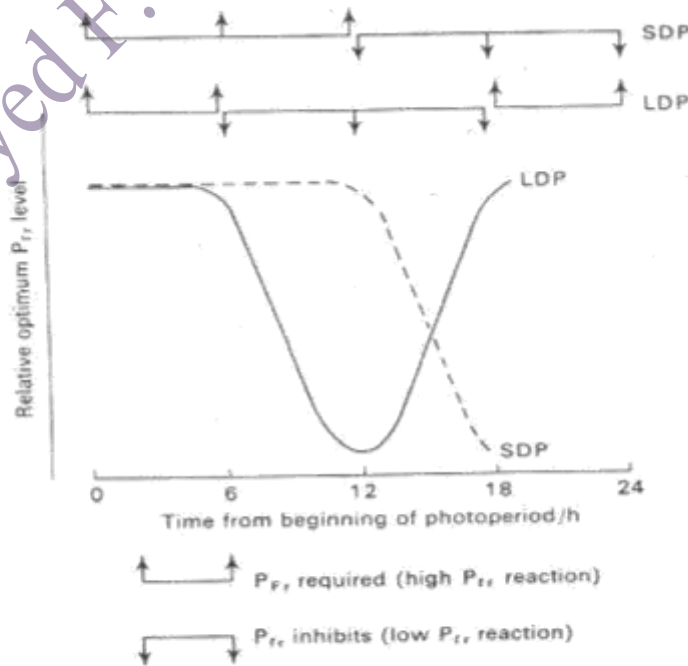


Fig. 9.11. Schematic representation of the "high P_{fr} " and "low P_{fr} " reactions in the flo long-day plants and short-day plants. In the SDP the P_{fr} -requiring process occurs ea photoperiod and is followed by a period when P_{fr} inhibits flowering. In LDP similar are seen, but their timing is markedly different. (From D. Vince-Prue, *Photoperiodism* McGraw Hill, London, 1975.)

في نباتات النهار القصير فان العمليات التي تحتاج الـ pfr تحدث مبكرا في الفترة الضوئية الرئيسية و عادة يعقبها فترة يكون فيها الفايتوكروم مثبطا للتزهير . في نباتات النهار الطويل فان نفس التفاعلات هي موجودة ولكن توقيتها يختلف بدرجة كبيرة عن نباتات النهار القصير .

المنبه او المحفز الزهري The flowering stimulus

لقد اوضحنا ان استجابة النبات لطول اليوم (ضوء/ظلام) يعتمد على الظروف التي تتعرض لها الاوراق بالرغم من ان الاستجابة او التحول من مرحلة النمو الخضري الى النمو الزهري تحدث في طرف الفرع shoot apex هذه الملاحظة تعني انه تحت الظروف المناسبة من طول اليوم فان النوع من المنبه او المحفز للازهار يتكون من الاوراق وينتقل الى المرستيمات القمية حيث تحدث عملية التزهير هذه الفرضية تسمى Hypothesis. قام بطرحها الباحث الروسي chaliakhyon بعد فترة من اكتشافه بان الاوراق هي الاعضاء النباتية التي تقوم باستقبال المعاملة الحاتة للتزهير وقد افترض الباحث بان هناك هرمون flower hormone هو الفلورجين florigene مولد الازهار . وافترض بان هرمون التزهير يتم بناءه في الاوراق تحت الظروف المناسبة من طول اليوم ثم يتحرك الى القمم النامية حيث تحدث عملية التحول الزهري وبالرغم من وجود دليل قوي لدعم هذه الفرضية الا انه وفي الوقت الحاضر لم يتم عزل ودراسة هذا الهرمون بصورة كيميائية ولقد اوضحت الدراسات الحديثة على المستوى البايولوجي الجزيئي ان الفلورجين ربما هو احد البروتينات التي تتكون في الاوراق تحت الظروف المناسبة من طول اليوم وتنتقل الى منطقة الفرع حيث تحدث عملية التحول للمرستيم الخضري الى الزهري ونتطرق الى هذا الموضوع لاحقا .

وبصورة عامة فان هناك العديد من التجارب الفسيولوجية التي اوضحت من دون ادنى شك بان هناك مادة ما تتكون في الاوراق وتنتقل الى طرف الفرع حيث تحدث عملية التحول الزهري ومن هذه التجارب الفسيولوجية تلك التي اجريت على نبات الزانثيوم حيث لوحظ ان تزهير هذا النبات تحت ظروف النهار القصير لا يحدث اذا تمت ازالة جميع الاوراق ولكن ثمن الورقة 8/1 كان كافيا لحدث التزهير في هذا النبات وفي تجارب اخرى التي استخدم فيه نبات مكون من فرعين وجد بان هذا المنبه الزهري او المركب الناتج من ورقة واحدة كافي لان يسبب التزهير ليس فقط في الفرع الذي توجد فيه الورقة وانما ايضا في الفرع الثاني الذي تمت ازالة جميع اوراقه وفي تجارب اضافية اوضحت ان هرمون التزهير يمكن ان ينتقل عن طريق التطعيم فعندما تم تطعيم نباتات من الزانثيوم وعرض احد النباتات الى ظروف النهار القصير فان التزهير ايضا حدث ليس فقط لهذا النبات ولكن في النبات الذي

لم يعرض اطلاقا الى فترة حائة للتزهير واجريت العديد من التجارب التي اوضحت بدون ادنى شك بانتقال هذا المنبه او المحفز عن طريق التطعيم حيث يتكون من الاوراق تحت الظروف الحائة للتزهير وينتقل الى منطقة shoot apex حيث يحدث التزهير .

Dr. Muayed F. Abbas Basrah University

بسم الله الرحمن الرحيم

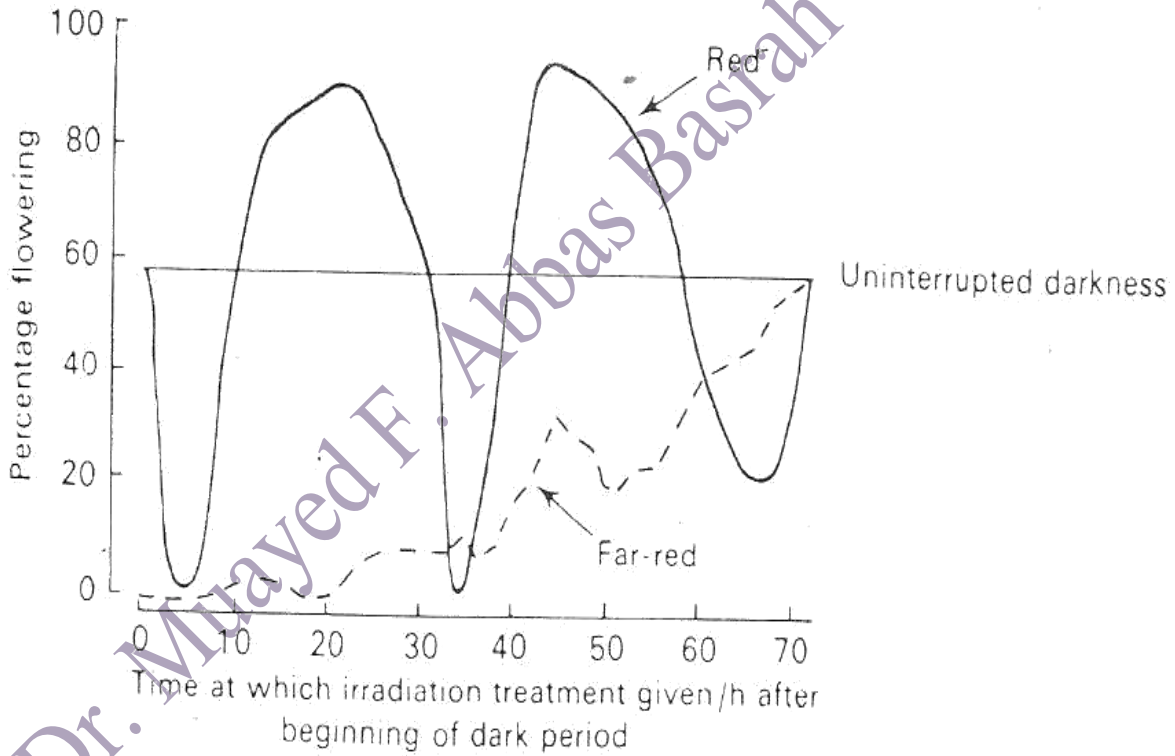
محاضرة (9) الخميس 2013/1/17

قياس الوقت في التأقت الضوئي Time measurement in photoperiodism

لقد أوضحنا ان التزهير في نباتات النهار القصير يحدث عندما توضع النباتات تحت ظروف من طول اليوم (ليل/نهار) يكون فيه طول فترة الظلام يزيد عن فترة الظلام الحرجة $critical\ dark\ period$. وبعض النباتات تستطيع ان تتحسس اختلافات في طول فترة الظلام تصل الى 15 دقيقة وعليه فان بعض النباتات مثل نبات الزانثيوم الذي له فترة ظلام حرجة تبلغ حوالي 8.30 ساعة على درجة حرارة 25م يظهر هذا النوع العالي من الحساسية لطول فترة الظلام ونفس الشيء فأن اختلاف مقدار 15 دقيقة في طول فترة الظلام يمكن ان يحدد هل إن نبات مثل قصب السكر يزهر ام لا من ذلك يبدو ان هذه الأنواع النباتية لها ميكانيكية لقياس الوقت بطريقة مضبوطة جدا وهناك العديد من الآراء او المقترحات التي طرحت لتوضيح طبيعة هذه الميكانيكية لقياس الوقت وقد اقترح ان هناك ساعة Biological clock بايولوجية التي يكون فيها الوقت اللازم اما لتراكم مادة معينة الى مستوى محدد يمثل لنا عملية قياس الوقت ونظرا لان التزهير في نباتات النهار القصير يحتاج ان يكون الفايوتوكروم في الأوراق على صورة Pr وان هناك تحول تدريجي من الفايوتوكروم من صورة pfr الى pr خلال الساعات الأولى من الظلام فقد اقترح بان فترة الظلام الحرجة قد تمثل لنا الوقت الذي يأخذه الفايوتوكروم والذي هو موجود في الأوراق على صورة pfr لكي يصل الى مستوى محدد من الpr ولكن وجد بان هذا التفاعل pfr الى pr يكتمل بعد حوالي 2-3 ساعات من الظلام في حين ان فترة الظلام الحرجة لنبات الزانثيوم هي 8.30 ساعة وكذلك اذا كان طول فترة الظلام الحرجة يتحدد بالوقت الذي يتحول فيه الpr الى pfr فان الاشعاع باستخدام الfr في بداية فترة الظلام يجب ان يقلل من طول فترة الظلام الحرجة الضرورية لازهار نباتات النهار القصير الان هذا التأثير لم يحدث في معظم الاجيان.

على هذا الاساس ولاسباب اخرى يبدو انه من غير المحتمل بان تكون سرعة تحول الفايوتوكروم من صورة الpr الى صورة الpfr هو العامل المحدد لطول فترة الظلام الحرجة في نباتات النهار القصير وعليه فنحن ان نأخذ بنظر الاعتبار تفسير اخر لظاهرة قياس الوقت في التأقت الضوئي واحد اهم هذه التفسيرات هي ان نظرية الايقاع الداخلي في التأقت الضوئي Endogenous Rhythmus in photoperiodisom . للعديد من السنين كان الباحث الالمانى Bünning قد جلب الانتباه الى وجود ايقاعات ثابتة من النباتات حيث قام بدراسة التغيرات اليومية في اوراق نبات الفاصوليا الزاحفة

Runner beans والتي فيها الاوراق الاولية تنبسط او تنفتح اثناء النهار ثم تنثني او تنطوي مساء ومن ثم تبدا باعادة الحركة صباحا. هذه الحركات ناجمة عن تغيرات في الضغط الانتفاخي في قواعد الاوراق الاوانه اذا تم تعريض بادرات الباقلاء الى فترة من الضوء ثم وضعت في ظلام مستمر لعدة ايام فانها سوف تستمر باظهار هذه الحركة اليومية التي هي الانبساط والانشاء على دورة مقدارها 24 ساعة بالرغم من انه لم يتم تعريضها الى فترات متعاقبة من الضوء والظلام بعبارة أخرى فان نبات الباقلاء هذا يظهر إيقاع داخلي ثابت في حركة أوراقه وإذا تم رسم التغيرات في وضعية الورقة من حيث الانفتاح او الانثناء فإننا نحصل على منحنى يطلق عليه sinusoidal curve وتستمر فترة الظلام فان حركة الورقة تصبح قليلة جدا في النبات ومن هذه الحالة نحتاج الى التعرض من جديد بالضوء للبدء بالايقاع الداخلي وهكذا.



هذه الملاحظة عن حركة الاوراق اوضحت ان هناك العديد من العمليات التي تحدث في النبات والتي لها ايقاع يومي منتظم ومن هذه العمليات نذكر الاتي:-

- 1- opening and closing of flower
- 2- root pressure
- 3- growth rate

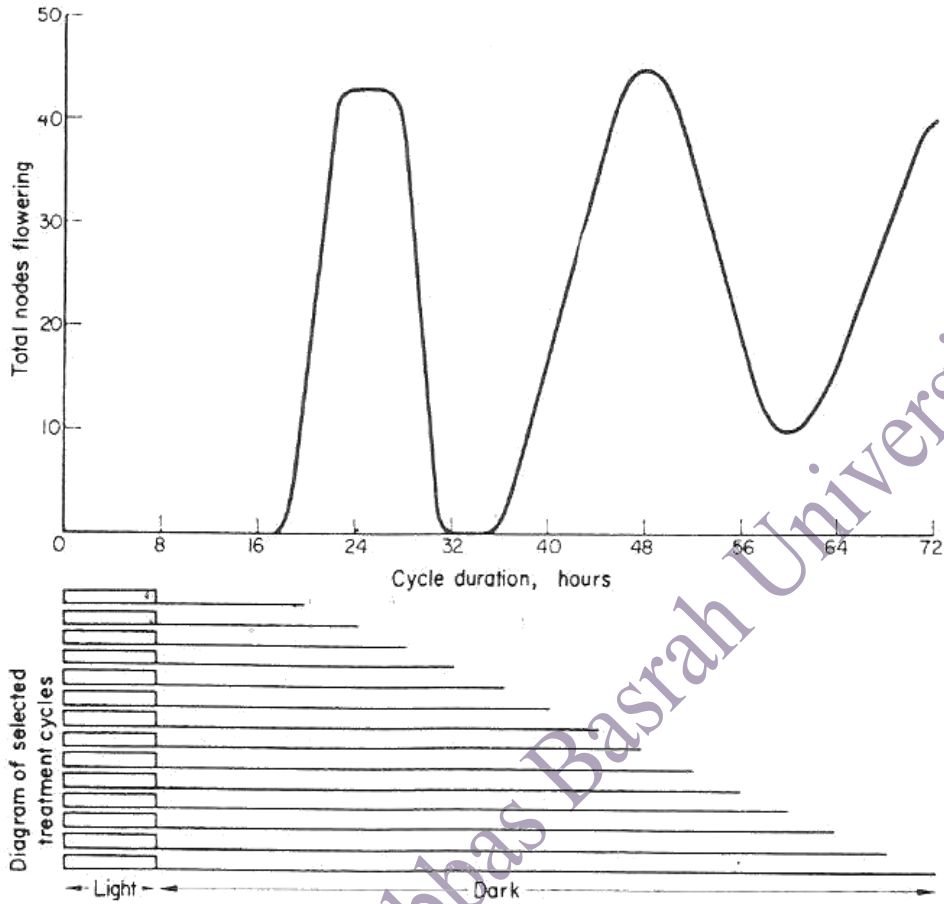
4- respiration and other metabolic processes

5- activity of curtain enzymes

6- mitosis of size of nucleus

طول الفترة المفردة للإيقاع الداخلي هذا تقريبا ومن المهم ان نتذكر بانه تحت الظروف الطبيعية فان الايقاع الداخلي للنبات يجب ان يكون متناسق او متفق مع الدورة اليومية لليل والنهار يبدو ان الضوء يعطي اشارة البدء وعندما يكون الضوء غير موجود والذي يحدث عند الغروب dusk light off ايضا يعطينا اشارة للايقاع الداخلي وعلى هذا الاساس لا يوجد ادنى شك من وجود ايقاع داخلي من النباتات. الباحث الألماني büning اقترح وجود ايقاع داخلي في الحساسة للفترة الضوئية ثم قدم فرضية او نظرية التوافق الضوئي تعتمد على هذا الايقاع الداخلي فقد اقترح بانه اثناء النهار فان نباتات النهار القصير هي في مرحلة اسمها photophile phase أي المرحلة المحبة للضوء وذلك عندما يكون الضوء ملائما للتزهير وانه اثناء الليل فان هذه النباتات هي في مرحلة محبة للظلام والتي اسمها بال skotophile phase (skoto تعني ظلام في اللغة اللاتينية) والتي يكون فيها النبات محب للظلام وفي هذه المرحلة فان الظلام هو ملائم للتزهير في حين ان الضوء مثبط له وعليه يمكننا ان نتصور بان هناك ايقاع منتظم في حساسية النباتات في الفترة الضوئية وذلك عندما تدخل النباتات اولا المرحلة المحبة للضوء ثم بعد ذلك تدخل المرحلة المحبة للظلام. وقد اقترح بان نباتات النهار القصير سوف تزهر وذلك عندما تتطابق فترات الضوء والظلام اليومية مع المراحل التي فيها النباتات محبة للضوء ومحبة للظلام وبعبارة اخرى عندما تكون النباتات تحت ظروف النهار القصير فاذا تعرضت الى ظروف النهار الطويل فان الضوء سوف يمتد الى المرحلة التي يكون فيها النباتات محبة للظلام مما يثبط التزهير.

هناك العديد من الادلة التي تؤيد هذه الفرضية والتي نعني بها وجود ايقاع داخلي للحساسة للفترة الضوئية ومن هذه الادلة تلك التجارب التي اجراها الباحث هامنر مع نباتات النهار القصير فول الصويا حيث قام هذا الباحث على تنمية النباتات على مدى واسع من اطوال الدورات اليومية daily cycles وكل نبات حصل على 8 ساعات من الضوء يعقبها فترات من الظلام يتراوح طولها من 8-62 ساعة وقد وجد هذا الباحث ان الازهار كان اعلى مايمكن عندما كان طول الدورة الحاتة للتزهير هو 24 ساعة او مضاعفاتها 24-48-72 ساعة الا ان النباتات بقيت بحالة خضرية عندما كانت اطوال الدورات تتراوح من 36 او 60 ساعة كما موضح بالشكل (9-15)



استجابة نبات فول الصويا صنف Bioloxi الى دورات حادثة للتزهير مكونة من عدة اطوال. النباتات عرضت الى هذه الدورات كل دورة مكونة من 8 ساعات ضوء ذو شدة عالية يرافقها فترات من الظلام حادثة ذات اطوال مختلفة او معاملات كسر الظلام اعطيت في اوقات مختلفة من دورة واحدة طويلة تطابقت مع الفرضية التي تقول بان هناك بالواقع او بالحقيقة ايضاً داخلي للحساسية للفترة الضوئية كما اقترحها الباحث الالمانى bunning .

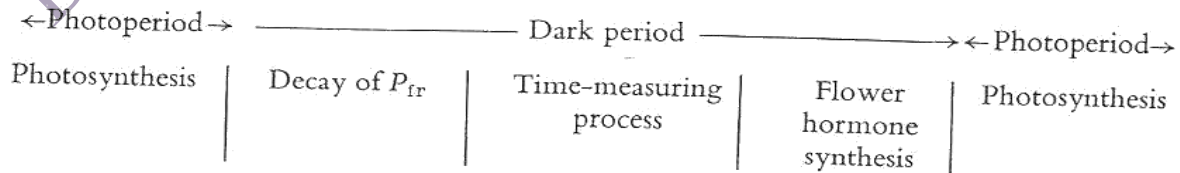
تسلسل العمليات المؤدية الى تخليق او بناء هرمون التزهير

The sequence of processes leading to synthesis of the flowering hormones

من الممكن الآن أن نتعرف على عدد من العمليات المؤدية الى انتاج هرمون التزهير او منبه التزهير Flowering stimulus في نباتات النهار القصير والان نستطيع ان نلخص تسلسل هذه العمليات تداخلاتها:-

أولاً:- وقبل كل شئ هناك حاجة الى تفاعل ضوئي ذو شدة عالية high intensity light redaction (ضروري لحوث عملية البناء الضوئي) وهذا التفاعل يتم الحصول عليه من قبل النباتات خلال الفترة الضوئية ويبدو هنا بان الضوء يجهز ليس فقط الطاقة بل ايضا مواد التفاعل التي هي ضرورية للعمليات التي تحدث خلال فترة الظلام اللاحقة.

ثانياً:- هناك من الاسباب مايدعونا الى الاعتقاد بان تاثيرات صبغة الفايوتوكروم ايضا لها دور خلال الفترة الضوئية نظرا لان ازهار بعض نباتات النهار القصير مثل نبات الكوليوس kalanchoe (نهار قصير) هذه النباتات عندما توضع في ظلام مستمر لفترة طويلة فان ازهارها يتم تشجيعه بفترات قصيرة من الضوء الاخص مما يدل على ان هناك مستوى معين الفايوتوكروم على صورة pfr وذلك من خلال فترة الضوء من اجل حدوث التزهير تحت الظروف الطبيعية وفي نهاية الفترة الضوئية فان الفايوتوكروم يكون موجودا تقريبا بتراكيز متساوية من الpr والpfr وخلال الساعات الاولى من فترة الظلام فان الpfr سوف يتحلل وبذلك فان صورة الpr للفايوتوكروم هي الان السائدة . ان عملية تخليق هرمون التزهير لا تبدأ قبل مرور فترة معينة من الظلام التي اطلقنا عليها مصطلح فترة الظلام الحرجة وبعد ذلك فان عملية تخليق هرمون التزهير تحدث بسرعة فائقة خلال ساعات الاخرى الباقية ومن الظاهر فانه من الضروري ان يكون الفايوتوكروم على صورة pr لغرض حدوث عملية تخليق هرمون التزهير لاننا كما نعلم ان ومضة من الضوء خلال فترة الظلام والذي يحول الpr الى pfr يثبط التزهير . الا ان عملية تخليق هرمون التزهير لا ترتبط بصورة مباشرة او غير مسيطر عليها بصورة مباشرة بتحلل صورة الpfr للفايوتوكروم نظرا لان فترة الظلام الحرجة اطول بكثير من الوقت اللازم لتحلل الpfr وعلى هذا الاساس فقد اقترح بانه لا بد من وجود ميكانيكية لقياس الوقت والتي تسيطر بصورة مباشرة على بداية عملية تخليق هرمون التزهير ولقد أوضحنا بانه من المحتمل ان تكون ميكانيكية قياس الوقت تتضمن ايقاع داخلي وان دور الفايوتوكروم في عملية التزهير قد يعود الى تاثيراته على عملية قياس الوقت بدلا من تاثيراته المباشرة في عملية تخليق هرمون التزهير . ان هذه الافكار يمكن تلخيصها بالمخطط الاتي:-



FURTHER READING

بسم الله الرحمن الرحيم

محاضرة (10) الخميس 2013 / 1/31

طبيعة هرمون أو منبه التزهير The nature of the flowering stimulus

كما أوضحنا سابقا، فإن العديد من تجارب التطعيم اوضحت بقوة بان منبه التزهير يتكون في أوراق نباتات النهار الطويل والقصير تحت الظروف الحاتثة للتزهير وبعد ذلك ينتقل الى المرستيمات الزهرية التي هي اما قميه او طرفيه. حيث يبدأ بتحويل طرف الفرع الذي هو بحاله خضريه الى حاله تزهير ، بالإضافة الى ذلك، يبدو ان منبه التزهير يتكون في كل من نباتات النهار القصير والطويل ، كما توضح تجربته الاتيه نباتات الكالانشيا *kalanchoe*، الذي هو نبات نهار قصير ونبات *sedum* الذي هو نبات نهار طويل ، فلو اخذنا افرع خضريه من نبات ال *sedum* النامي تحت ظروف النهار القصير ثم طعمت على افرع من نبات الكالانشيا النامي تحت ظروف النهار القصير فان التزهير سوف يحدث في كل من الاصل والطعم بالرغم من ان نبات ال *sedum* نفسه لا ينمو تحت ظروف النهار القصير، اذا هناك منبه تم انتاجه في نبات النهار القصير الكالانشيا وهذا هو سبب التزهير في نبات النهار القصير وال *sedum* و لو اجرينا تجربه بصورة معكوسه ، أي اخذنا افرع خضريه من نبات الكالانشيا ناميه تحت ظروف نهار طويل ثم طعمت على نبات ال *sedum* النامي تحت ظروف نهار طويل فان ظروف كل من الاصل والطعم قد ازهر. وعليه، فان نبات النهار الطويل ال *sedum* قام بانتاج هرمون التزهير تحت ظروف النهار الطويل والذي ادى الى تزهير نبات النهار القصير الكالانشيا. هذه التجارب تضمن بان منبه التزهير هو متماثل في كل من نباتات النهار الطويل والقصير. ان مثل هذه التجارب التي وصفت اعلاه عي مطابقه للفرضيه التي تقول بان هناك *stimulus* معين يتكون في الاوراق تحت ظروف اليوم الحاتث للتزهير وينتقل خلال عمليه التطعيم وبالرغم من وجود العديد من الادله الفسيولوجيه عن وجود منبه او هرمون التزهير والذي اطلق عليه اصطلاح ال *florigen*، الان ان جميع المحاولات لعزل هذا الهرمون ودراسته من الناحيه الكيميائيه قد بائت بالفشل الى يومنا الحالي . ان الفشل في عزل هذا الهرمون من نباتات النهار الطويل والقصير محير الا ان هناك بعض التغييرات ومنها:

- 1- الهرمون الافتراضي ال *hypothetical hormone* قد يكون موجودا بتركيز ضئيلة للغاية
- 2- ان هذا الهرمون الافتراضي قد يكون غير ثابت *unstable* حيث ان طرق الاستخلاص والتقدير المتوفرة في الوقت الحاضر غير حساسة لدرجه كافييه.
- نظرا لان الهرمونات الطبيعیه الموجوده في النباتات هي مركبات بسيطه نسبييه فقد افترضنا بان هرمون التزهير المزعوم أيضا هو مادة بسيطه نسبييه، الا انه لا يوجد سبب لاستبعاد الاحتماليه بان هرمون التزهير قد يكون جزيئه معقدة وغير مستقرة . ان الحقيقه بان هذا الهرمون يمكن ان ينتقل بالتطعيم ولكن لايمكن استخلاصه قد تكون متطابقه مع هذه الفرضيه لاننا نحتاج الى تقنيات خاصه لعزله والتعرف عليه.
- 3- قد لا يكون هناك هرمون تزهير وإنما عمليه الحث الزهري للنباتات الحساسه قد تعتمد على اختلافات كمييه في مستويات بعض المواد التي توجد بصورة طبيعييه في الانسجه النباتيه الا ان

الدراسات الحديثة قد اوضحت بان الفلورجين هو موجود ويتم انتاجه في اوراق النبات تحت الظروف المؤدية الى التزهير ثم ينتقل الى منطقه مرستيم الفرع shot apexners ويعمل على حث التزهير . وتشير الدراسات الحديثة عن هذا الموضوع بان هناك مشاركة للعديد من العوامل التي تؤدي في النهاية الى حدوث عملية التزهير . ومعظم الأبحاث الحديثة على الفلورجين قد تركزت على استخدام نبات ال *Arabidopsis thaliana* النبات الذي هو model planet النبات النموذج نبات نهار قصير . وقد اوضحت مثل هذه الدراسات بان عملية التزهير في النباتات يمكن تقسيمها الى ثلاثة مراحل:-

Mechanism of flowering consist of three stages:

1- photoperiod regulated initiation

في نبات ال *Arabidopsis*، ان الإشارة ال signal لبدا عملية التزهير تبدا بانتاج mRNA ويشفر هذا الى عامل نسخ يسمى constans هذا مع ال mRNA يتم انتاجه بعد حوالي 12 ساعه من بزوغ الفجر dawn، ComRNA وعاده هذه الدورة يتم تنظيمها من قبل الساعة اليايولوجيه التي يمتلكها النبات وهذا mRNA بعد ذلك يترجم الى بروتين يسمى Co protein ، وهذا يكون ثابت في الضوء ولذلك مستوياته تكون منخفضة خلال النهار القصير ويصل الى أقصى مستوى عند الغروب وذلك في نهاية اليوم الطويل . هذا البروتين يعمل على تشجيع نسخ جين آخر يسمى flowering locus t (ft).

2- signal translocation via the phloem

في هذه المرحلة فان ال (ft) ، البروتين الناتج من Co، ينتقل عن طريق اللحاء ويصل الى طرف الفرع ال shoot apical.

3-induction of flowering at the shoot apical meristem

في منطقه طرف الفرع فان ال (FT) البروتين الناتج من co والمتكون بتداخل مع عامل نسخ هو ال (FD protein) وهذا التداخل يؤدي الى تنشيط الجينات المسؤولة عن تكوين مبادئ الإزهار مما يؤدي إلى عملية الحث الزهري . ان وصل ال FT protein إلى منطقة طرف الفرع وتداخله مع ال FD ، عادة هذا التداخل سوف ينشط بعض الجينات (تنشيط عملية التعبير الجيني) Soc1, AP1 وهذه النتيجة تؤدي الى التزهير .

FT/ FD → Stimulate flowering gene → flowering