الأوكسينات النباتية Phytohormones

==========

لوحظ أن معظم الإستجابات الفسيولوجية فى النباتات ترجع إلى مركبات ذات نشاط أوكسينى ومن هذه الإستجابات: أستطالة خلايا السيقان والأوراق والجذور ، تكشف الخلايا والأعضاء فى تكوين الأزهار ونمو الجنين ، تساقط الأوراق ، الإنتحاءات ، تكوين الثمار اللابذرية ، السيادة القمية.

والهرمونات والأوكسينات مواد عضوية كيمائية تتواجد بصورة طبيعية فى الأنسجة النباتية ومنها ما هو منشط ومنها ما هو مثبط. كما أمكن أيضاً أستحداث مركبات كيمائية لها نشاط مشابه للهرمونات الطبيعية. ونظراً لكثرة عدد هذه المواد أمكن وضع بعض التعريفات العلمية والتى تحدد نشاط تلك المواد ومن هذه التعريفات:ـــ

١ ــ منظمات النبات Plant regulators

هى مركبات عضوية غير المغذيات والتى بكميات صغيرة تشجع promote أو تثبيط inhibit أو تحور modify العلميات الفسيولوجية فى النبات.

٢ ــ الهرمونات النباتية Phytohormones

هى مواد تنتجها النباتات والتى بكميات صغيرة تنظم العمليات الفسيولوجية النباتية وهى تتحرك خلال النبات من أماكن تخليقها إلى أماكن عملها.

٣ ــ منظمات النمو Growth regulators أو مواد النمو Growth substances هى مواد تؤثر على النمو.

٤ ــ هرمونات النمو Growth hormones هى الهرمونات التى تنظم النمو.

٥ ــ منظمات التزهير Flowering regulators هى المنظمات التى تؤثر على الأزهار.

٦ ــ **هرمونات التزهير Flowering hormones** هى الهرمونات التى تشجع منشئات الأزهار وإنمائها.

٧ ــ **الأوكسين Auxin** هى مواد لها القدرة على تنشيط إستطالة الخلايا فى الإتجاه الطولى زيادة غير عكسية.

الأكسينات Auxins

الأكسينات هى أول نوع من الهرمونات تم إكتشافة. وكلمة أوكسين auxin يونانية معناها ينمو To grow. ثم أطلق هذا اللفظ على هرمون النمو الذى ينتج فى قمة غمد الشوفان. ولقد ثبت أن الأوكسينات توجد فى جميع النباتات الراقية وليس فى بادرات النجيليات فقط.

ويمكن تعريف الأوكسين طبقاً للعالم Thimann. 1969 كالآتى:

يستعمل لفظ أوكسين للدلالة على المادة العضوية التى تزيد النمو زيادة غير عكسية على طول المحور الطولى إذا أعطيت تركيزات ضئيلة (أقل من ٠.٠٠١ مول) لسيقان نباتات أمكن تخليصها أو خالية بقدر الإمكان من مسببات النمو الداخلية.

ولقد وجد Kogl أن البول الأدمى يحتوى على IAA حيث أمكن إستخلاص ٤٠ ملليجرام IAA من٣٠ جالون بول أدمى. كما أمكن للعالم Thimann إستخلاص IAA من مزارع الفطر *Rhizopus suinus* ومن الثابت حالياً أن الأوكسينات توجد فى جميع النباتات الراقية. ويعتبر الطرف القمى المرستيمى المصدر الرئيسى لإنتاج الأوكسين، كما تعتبر الأجنة نوعاً أخر من المرستيمات التى تنتج كميات كبيرة من الأوكسين ولقد أوضح العالم Nitsch أن الأجنة تعتبر الموقع الرئيسى لإنتاج الأوكسين فى ثمار التفاح والشليك. كما أوضح العالم Hemberg أن أجنة البذور تعتبر مصدراً هاماً لإنتاج الهرمونات النباتية.

ويطلق لفظ أوكسين على مجموعة من المركبات تتشابه كثيراً فى تأثيرها الفسيولوجى رغم تباينها فى تركيبها الكيميائى ومن بين هذه المواد الأحماض الأتية ومشتقاتها:

Indole acetic acid , Benzoic acid , Naphyl acetic acid and phenoxy acetic acid.

Synthetic auxins

الأكسينات المخلقة تتنوع فى تركيبها الكيماوى وللسهولة يمكن وضعها فى خمسة مجموعات رئيسية هى:

١ ـ **Indol acids**: ومن أمثلتها IAA – IBA – IPyA.

٢ ـ **Naphthalene acids**: ومن أمثلتها NAA – Naphthoxy acetic acid.

٣ ـ **Chlorophenoxy acids**: ومن أمثلتها 2.4-D والمركبان الأتيان:

- 2.4.5-T (Trichlorophenoxy acetic acid).
- MCPA (2- methyl 4- Chlorophenoxy acetic acid).

٤ ـ **Benzoic acids**.

٥ ـ **Picolonic acids**.

المجموعة الثالثة: مركبات هذه المجموعة لها نفس تأثير IAA المنشط عند إستخدام التركيز الفسيولوجى الأمثل ويمكن أستخدامها كمبيدات حشائش عند إستخدام التركيزات المرتفعة منها.

المجموعة الرابعة: وهى مركبات البنزويك مثل – 2.3.6 & 2.4.6 trichlorobenzoic acid Dicamba تعتبر من مبيدات الحشائش القوية وخاصة المركب الأخير Dicamba والذى يصبح فعالاً ومؤثراً فى حالة النباتات المعمرة ذات الجذور المتعقمة مثل – Cirslum arvense Convolvulus arvensis والذى يفشل المركب 2.4-D فى مقاومتها.

المجموعة الخامسة: ومنها مركبات هرمونية وفى نفس الوقت مبيـــدات حشـــائش مثـــل picloram ويعرف أيضاً بإسم Tordon ويعتبر من أهم مبيدات الحشائش المتخصصة ذات الفعالية القوية.

ولقد لوحظ 2.4.D , 2.4.5-T من مبيدات الحشائش المتخصصة فهى فعالة جداً فـــى حالـــة النباتات ذوات الفلقتين وغير فعالة فى معظم نباتات ذوات الفلقة الواحدة حيث وجد أن التركيز الفعـــال من 2.4.D كمبيد حشائش والذى يسبب قتل النباتات ذوات الفلقتين لا يسبب أضرار لـــذوات الفلقـــة الواحدة، ويلزم رفع هذا التركيز كلى يصبح ضاراً بالمجموعة الأخيرة من النباتات.

<u>الأوكسنات المرتبطة</u>:

من أمثلة الأوكسينات المرتبطة فى الأنسجة النباتية

- معقد الأوكسين والأحماض الأمينية.
- معقد الأوكسين والسكريات.
- معقد الأوكسين والكحولات السكرية.
- معقد الأوكسين والمركبات البروتينية.

<u>وتتميز الأوكسينات المرتبطة بالأتى</u>:

- تنطلق منها الأوكسينات الحرة بعد تعرضها للتحلل المائى أو التحلل الإنزيمى.
- ترتبط مع مركبات الخلية وتمثل مخزوناً غير سام للأوكسين.
- تتكون هذه المركبات أصلاً من إتحاد IAA الزائد مع بعض مكونات الخلية.
- هذه المركبات غير نشطة أوكسينيا إلا إذا تم إنطلاق IAA منها.

العلاقة بين نشاط الأوكسين وتركيبة الجزيئى

لكى يطلق على مادة ما أوكسينا أو تظهر نشاطاً مشابهاُ للأوكسين يجب أن يتوفر فى تركيبها الجزيئى عدة شروط هى:

١ ــ أن تكون ذات تركيب حلقى.

٢ ــ أن توجد بالحلقة رابطة زوجية غير مشبعة على الأقل وأن تكون مجاورة للسلسلة الجانبية وتمثل الحلقة الجزء غير القطبى ولها خواص سطحية نشطة.

٣ ــ يرتبط بالحلقة سلسلة جانبية تنتهى بمجموعة كربوكسيل حمضية (COOH) أو أى مجموعة أخرى يسهل تحويلها إلى مجموعة كربوكسيل أو تنتهى بمجموعة سلفونيك أو فوسفات.

٤ ــ وجود ذرة كربون واحدة على الأقل بين الحلقة ومجموعة الكربوكسيل.

٥ ــ يجب أن تتصف بتركيب بنائى ووضع فراغى محدد بين السلسلة الجانبية والحلقة يسمح له بإجراء التفاعل.

قد تنطبق الشروط السابقة على الأوكسينات المخلقة إلا أن الأبحاث الحديثة تدل على أن الشروط السابقة ليست شروطاً مطلقة وهناك العديد من الإستثناءات مثل:

<u>أولاً: التركيب الحلقى:</u>

أوضح الكثير من العلماء أنه ليس بالضرورة وجود حلقة البنزين غير المشبعة كما فى مركبات الإندول والبنزويك والفينوكس والبيكولونيك، بدليل وجود بعض المركبات الأليفاتية حيث توجد فى صورة سلسلة ولا يوجد بها تركيب حلقى ويظهر لها نشاط أوكسينى مثل المركب Carboxy methyl N-N-dialkyldithio – Carbamate.

وقد يوجد التركيب الحلقى فى المركب وأيضاً تكون الحلقة غير مشبعة ولكن لا يظهر نشاط لهذا المركب نظراً لدخول المجاميع الاستبدالية على الحلقة ومثال ذلك مركبات الفنيوكس حيث نجد

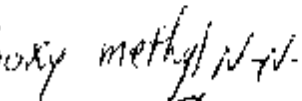
أن مركب Phenoxy acetic acid ، الإستبدال به الوضع Meta يزيد النشاط بدرجة كبيرة وكـــذلك الوضع Para بينما الوضع Ortho يكون أقل نشاطاً وينعدم النشاط إذا تم الإستبدال فى الوضـــعين Ortho كما فى 2.6-D .

*** الخلاصة:ـــ**

مما سبق يتضح ضرورة وجود وضع Ortho واحد على الأقل خال فى مركبات الفينـــوكس لكى يكون الأوكسين نشطاً.

أما فى مركبات البنزويك فيلاحظ العكس تماماً لما يحدث فى مركبات الفينوكسى حيث يلـــزم شغل كل الأوضاع وخاصة وضعى Ortho بالكلور أو المثيل أو غيرة من المجاميع الإستبدالية لكـــى يحدث النشاط الأكسين.

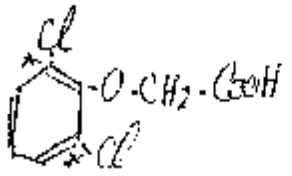
Carboxy methyl N,N- dialkyldithio - Carbamate مركب



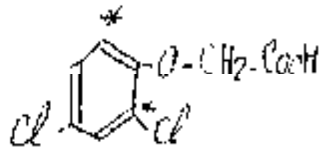
له صورة مسلة : لديه مركب حلقي وطويلة تشابه زيتين

الارتباط على الحلقة لمركبات الفينوكسي والبنزويك

((* ortho))

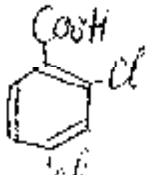


(Inactive) غير نشط
يلاحظ أن المستبدل ortho
يحول المستبدل بدرة
كلور

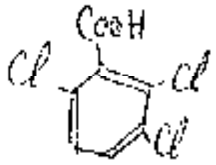


2,4-D
(Active) نشط
يلاحظ أن أحد مستبدل ortho حلقي
بينما المستبدل الآخر من الوضع
Para

يتضح ضرورة وجود وضع ortho واحد على الأقل
حلقي من مركبات الفينوكسي لكن يكون بروتين نشط



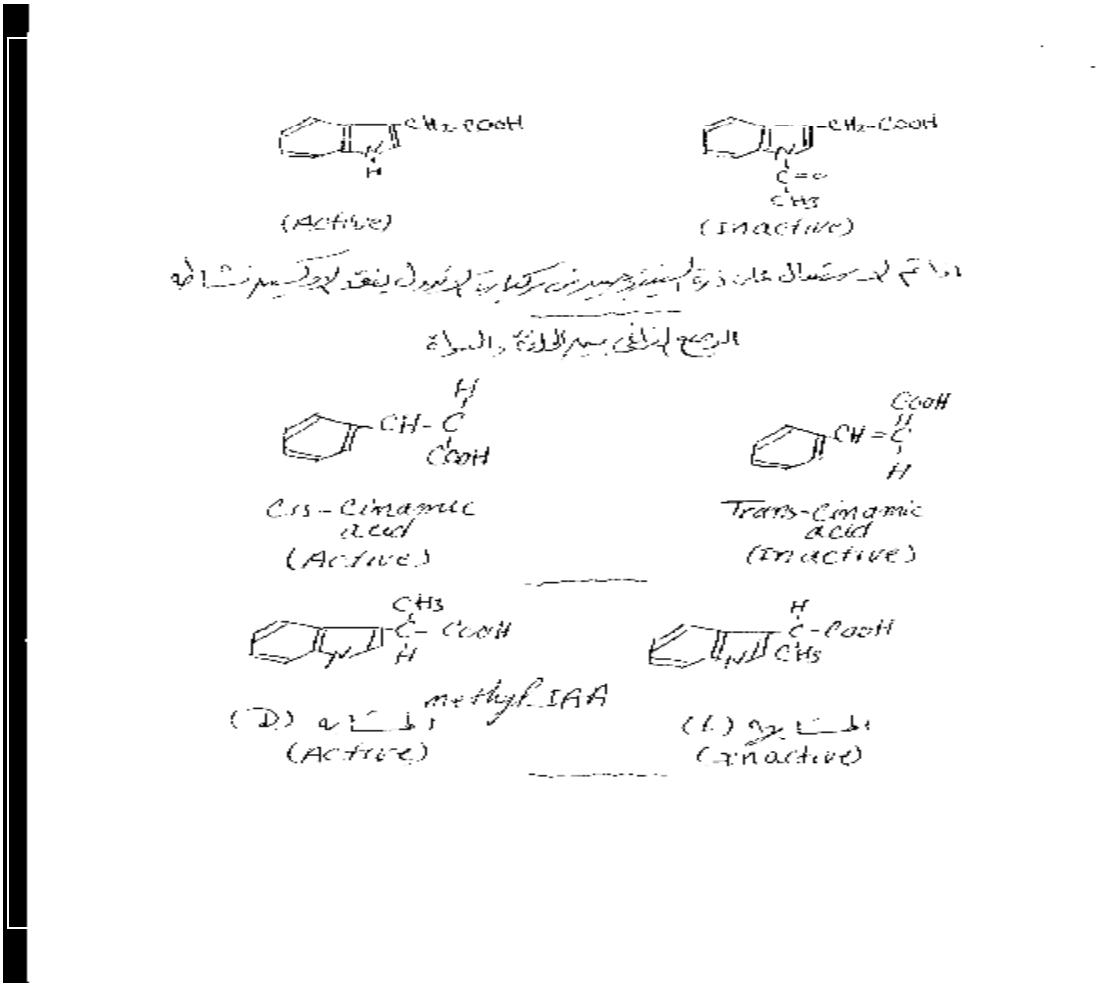
2,4-Dichlore
benzoic acid
(Inactive)
ortho غير نشط لديه أحد مستبدل
ما زال نشاط



2,3,6-Trichlore
benzoic acid
(active)
يلاحظ ortho مستبدل

في مركبات الفينوكسي يلزم مشغل وضع ortho لكي يعطي النشاط الأوكسيني

وفى مركبات Indol ، إذا تم إستبدال على ذرة النتروجين يفقد الأكسين نشاطه ولذلك يلـــزم عدم دخول مجاميع إستبدالية على نواه IAA وخاصة على ذرة النتروجين ومثال ذلك:



ثانياً: السلسلة الجانبية:

لوحظ أنه لكى يحدث النشاط الأوكسين للمركب يجب أن توجد ذرة كربون واحدة على الأقل كقنطرة بين الحلقة ومجموعة الكربوكسيل. ومن المعروف أيضاً أنه كلما زاد طول السلسلة الجانبيـــة كلما قل النشاط الأوكسينى للمركب فنجد أن IAA أقوى من IPA وهذا أقوى من IBA وهكذا. كمـــا لوحظ أن المركبات إلى بها عدد فردى من ذرات الكربون تفصل بين الحلقة والمجموعـــة الحامضـــية ذات تأثير أقوى من التى تحتوى على عدد زوجى.

ولكن وجدت بعض المركبات التى بها مجموعة الكربوكسيل الحامضية تتصل مباشرة بالحلقة غير المشبعة دون وجود ذرات كربون تفصل بينهما وهذه المركبات لها نشاط أوكسينى مثال ذلك مركبات البنزويك:

كما يلاحظ أيضاً أن السلسلة الجانبية لابد وأن تنتهى بمجموعة كربوكسيل أو مجموعة حامضية أخرى مثل السلفونيك أو يسهل تحويلها إلى حامضية.

ويلاحظ أيضاً أن دخول مجاميع إستبدالية فى السلسلة الجانبية يؤثر على نشاط الأوكسين.

ثالثاً: الوضع الفراغى بين النواة (التركيب الحلقى) والسلسلة الجانبية:

يجب أن تتوفر شروط معينة فى التركيب الجزيئى حتى يصبح للمركب تأثير الأكسين فقد تتوفر جميع الشروط السابقة فى تركيب الأكسين لمركب ما ولكن لا يظهر له نشاطاً أكسينياً بينما نفس المركب ولكن المشابه له يظهر له خواص الأكسين ونشاطه ومثال ذلك المركبات ذات المشابهات الضوئية والهندسية.

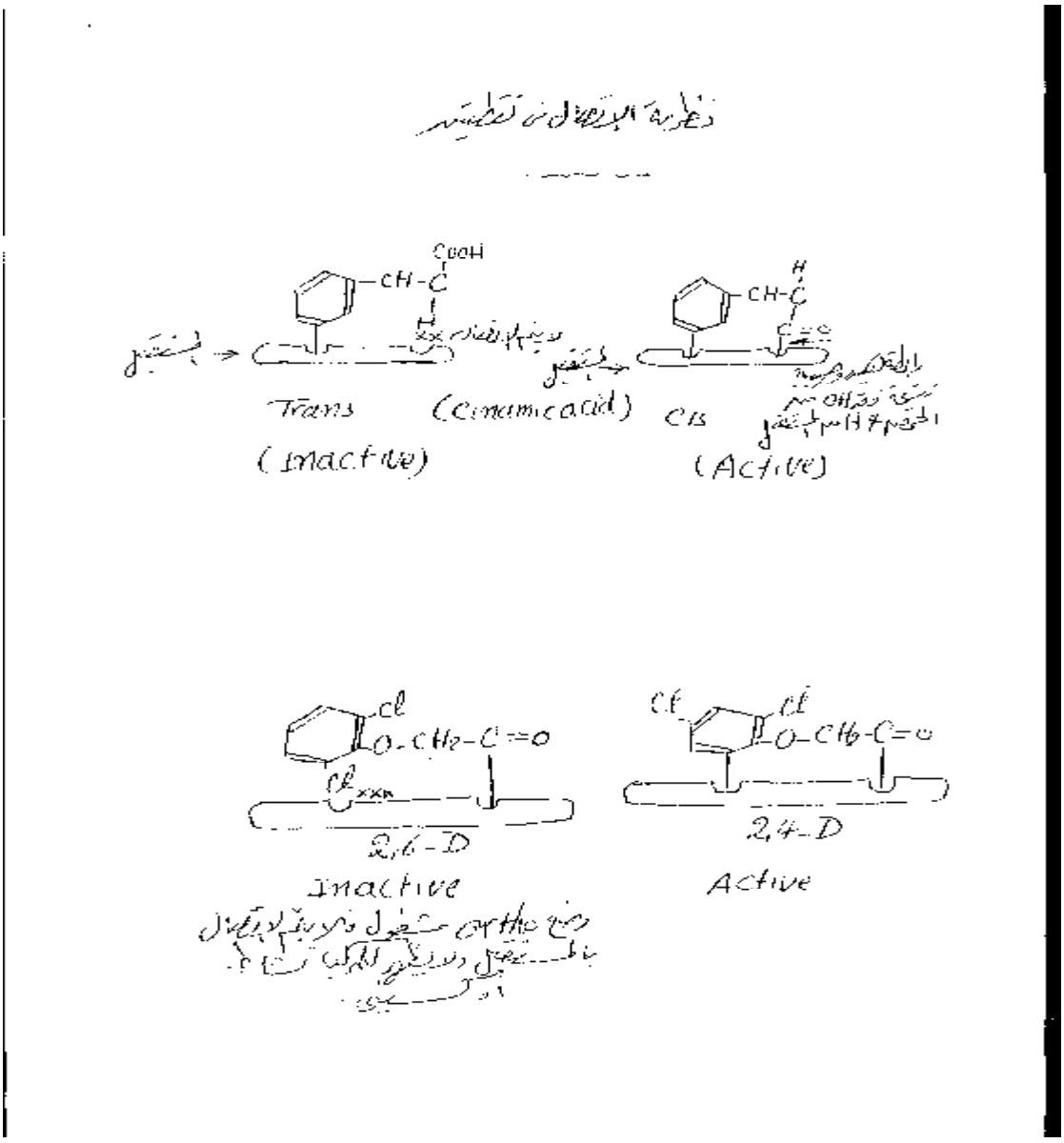
وسوف نذكر بعض الأمثلة مع التعليل لفاعلية أو عدم فاعلية هذه المركبات طبقاً لنظريات إتصال الأوكسينات بالمستقبلات الخاصة بها داخل هذه الخلية والمقصود بالمستقبلات هنا هى الأجسام البروتينية داخل الخلية والتى يلتصق بها الأكسين لكى يظهر نشاطه بعد ذلك.

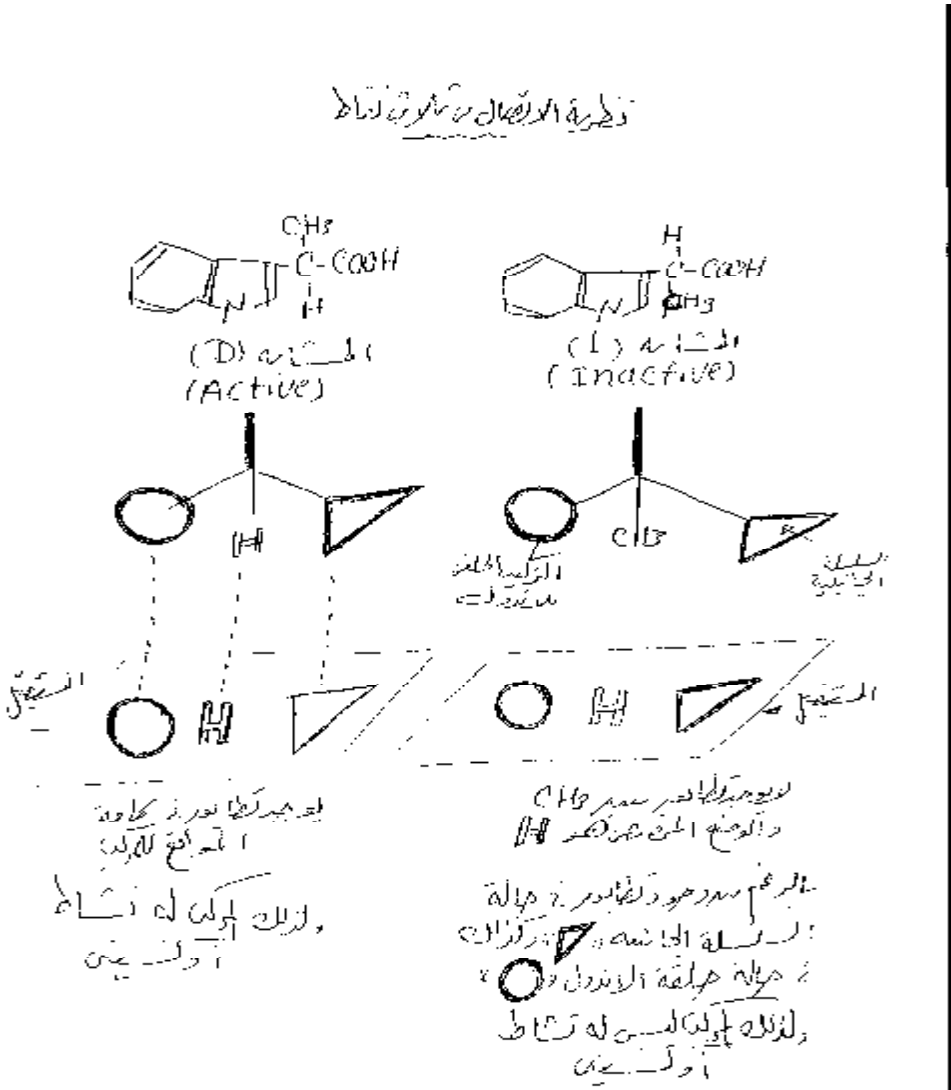
*** لماذا يظهر النشاط الأوكسينى لمشابه بينما لا يظهر للمشابه الآخر لنفس المركب؟**

للإجابة على هذا السؤال يجب معرفة أنه طبقاً لبعض النظريات فإن الأكسجين لكى يكون مؤثراً وحيوياً يتحتم عليه أن يرتبط بجزئى بروتينى (**مستقبل خلوى**) بواسطة رابطتين كيميائيتين وتكون إحدى هاتين الرابطتين عند نهاية السلسلة الجانبية من ناحية مجموعة الكربوكسيل والأخرى عند الوضع ortho فى الحلقة وعرفت بنظرية الإرتباط فى نقطتين Two point attachement

Three point attachement وبعض المركبات ترتبط بالمستقبل فى ٣ نقاط طبقاً لنظريـــة theory وقد يكون السبب راجعاً لنظرية ٥.٥A theory

وطبقاً لنظرية Three point attachement theory فإنه يتم الإتصال بـــين الأكســـين والمســـتقبل لتطابق الوضع الفراغى للأكسين مع التجاويف ونقط الإتصال فى المستقبل كما يظهر فى المثال.





وطبقاً لنظرية Three – point attzch فإنه يتم الإتصال بين الأوكسين والمستقبل لتطابقـــه الوضـــع الفراغى للأوكسين مع التجاويف ونقط الإتصال فى المستقبل كما يظهر فى المثال.

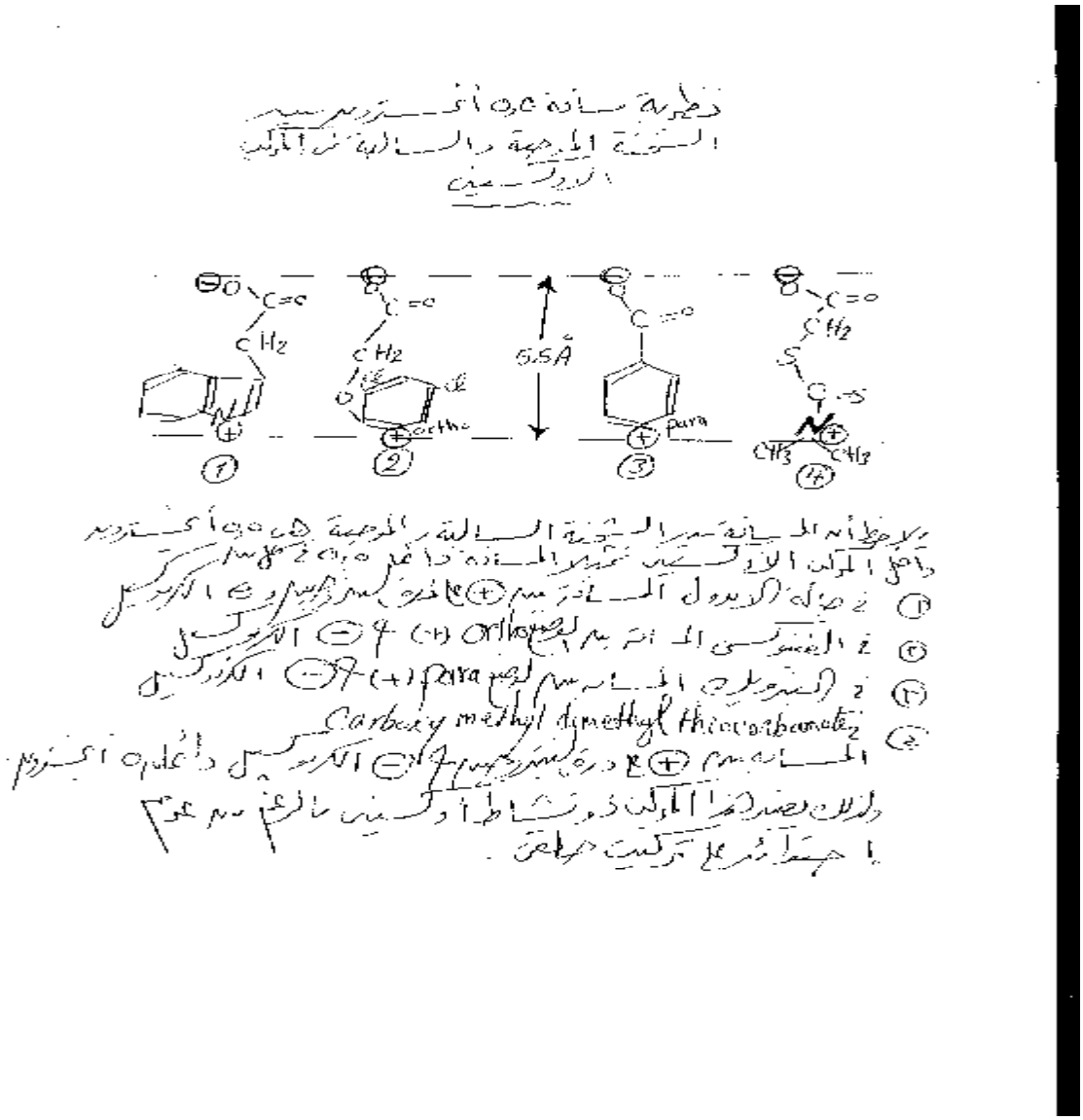
مسافة ٥.٥ أنجستروون بين الشحنة الموجبة والسالبة.

Theory of 5.5 A° distance between the negative and positive charge

لقد أفترض أنه لكى يكون الأوكسين نشيطاً لابد وأن يحمل شحنة سالبة وخاصة فى الموضع الذى به مجموعة الكربوكسيل COOH– والتى يسهل تأينها COO^- وتحمل شحنة سالبة وأخرى موجبة وخاصة فى الوضع ortho الخالى **(غير مشغول بمجموعة إستبدالية)** فمثلاً فى المركب 2.4-D أو IAA نجد أن المسافة بين منطقة الشحنة الموجبة والسالبة هى (5.5 A°) وهذه الظاهرة موجودة فى معظم المركبات الأكسينية (Picolonic , Benzoic , phenoxy , Indoles).

طبقاً لهذه النظرية يعتبر المركب dimethyl – dithio carbamate أوكسينا على الرغم من عدم وجود حلقة بنزين غير مشبعة وأنه عبارة عن سلسلة وذلك لوجود مسافة 5.5 A° بين الشحنة الموجبة على ذرة النتروجين والسالبة على مجموعة الكربوكسيل (Thiman, 1963).

كما يتضح بالشكل التوضيحى للنظرية..



* إذا السؤال المطروح سابقاً وهو لماذا يظهر النشاط الأكسينى لمشابه بينما لا يظهر لمشـــابه أخـــر يمكن الإجابة علية من خلال النظريات الثلاث الآتية:

(1) Two point attachment.

(2) Three point attachment.

(3) 5.5 A° distance. مسافة ٥.٥ أنجستررون

تخليق الأوكسين Auxin biosynthesis:

من الرسم التوضيحى يمكن معرفة خطوات تخليق IAA مـــن مصـــادرة المختلفـــة وكـــذلك الإنزيمات والعوامل المساعدة فى خطوات التخليق المختلفة فى الأنسجة النباتية.

التمثيل الحيوى لا تدول حمض الخليك

Free and Bound Auxin:

يوجد الأكسين الطبيعى IAA على عدة صور كيماوية فى الأنسجة النباتية. والأوكسين الحر هو الذى يمكن إستخلاصة من الأنسجة بواسطة الداى إيثيل Diethyl ether علـــى درجـــة الصـــفر المئوى فى الظلام خلال ساعتين بينما الأوكسين المرتبط هو ذلك الأوكسين الذى يتحرر من الأنســـجة بواسطة تعرضه للتحلل الإنزيمى أو التحلل المائى أو التحلل الذاتى.

الأكسين الحر هو الصورة المفيدة للنمو بشكل مباشر. الأكسين المرتبط يمكن أن يوجـــد فـــى عدة صور مختلفة وهذه الصور تختلف بإختلاف نوع النبات. وبصفة عامة فإن الأوكســـين المـــرتبط يعتبر صور مخزونة والذى منه يمكن إنفراد IAA.

Auxin glycosyl esters:

يوجد مخزن بوفرة فى البذور وأعضاء التخزين وهذا النوع من الأوكسين المرتبط يكون فـــى صورة غير فعالة، ويمكن تحللها إنزيمياً وينفرد IAA.

Glucobrassicin , Ascorbigen: يعتبران أيضاً من الصور المرتبطة للأوكســـين فـــى بعـــض أنواع العائلة الصليبية.

Auxin – peptides: أى الأكسين المرتبط بالبيتيدات مثل Indole acetyl aspartiv acid ويعتبر من المركبات غير السامة أو المانعة للسمية وهى من المواد الثابتة والتى لا تتغيـــر ولا تتحـــول إلـــى صور أخرى ولا ينفرد فيها الأوكسين وهذه المركبات تحمى الأنسجة من التراكم المكثف للأوكســـين

ومن المعروف أن معقد الأوكسين والبروتين مـرتبطين بواسـطة روابـط هيدروجينيـة بـين IAA والبروتين المتخصص.

ـ بعض الأكسينات الصناعية الأخرى يمكنها تكوين صور مرتبطة ومثال ذلك:

2.4-D , benzoic acid , Indolebutyric and indolepropionic وفى حالـة 2.4-D فإنـه لا يتكون منه صوراً مرتبطة ولا يهدم إلا بنسبة ضئيلة جداً وهذا الأوكسين مقاوم جداً للهدم إنزيميـاً أو الإرتباط بمواد أخرى لتكوين معقد. NAA يمكنه أيضاً تكـوين glycosylester فـى العديـد مـن النباتات وكذلك يمكنه تكوين معقد مع البروتين وخاصة مع Aspartate.

Auxin Metabolism

* التحولات التى يمكن أن يتعرض لها IAA فى النبات تنحصر فى ٤ نقاط هى:

(١) الإرتباط ببعض مكونات السيتوبلازم.

(٢) التحول إلى مشابهات أخرى.

(٣) الهدم إنزيميا.

(٤) يمكن استخلاصه مرة أخرى من النباتات.

Destruction of IAA

يمكن تحويل IAA عن طريق الهدم إلى صور غير نشطة هرمونياً فى أنسجة النبات ويمكن هدم IAA فى الأنسجة النباتية عن طريقتين هما:

أولاً: الأكسدة الإنزيمية: ـ

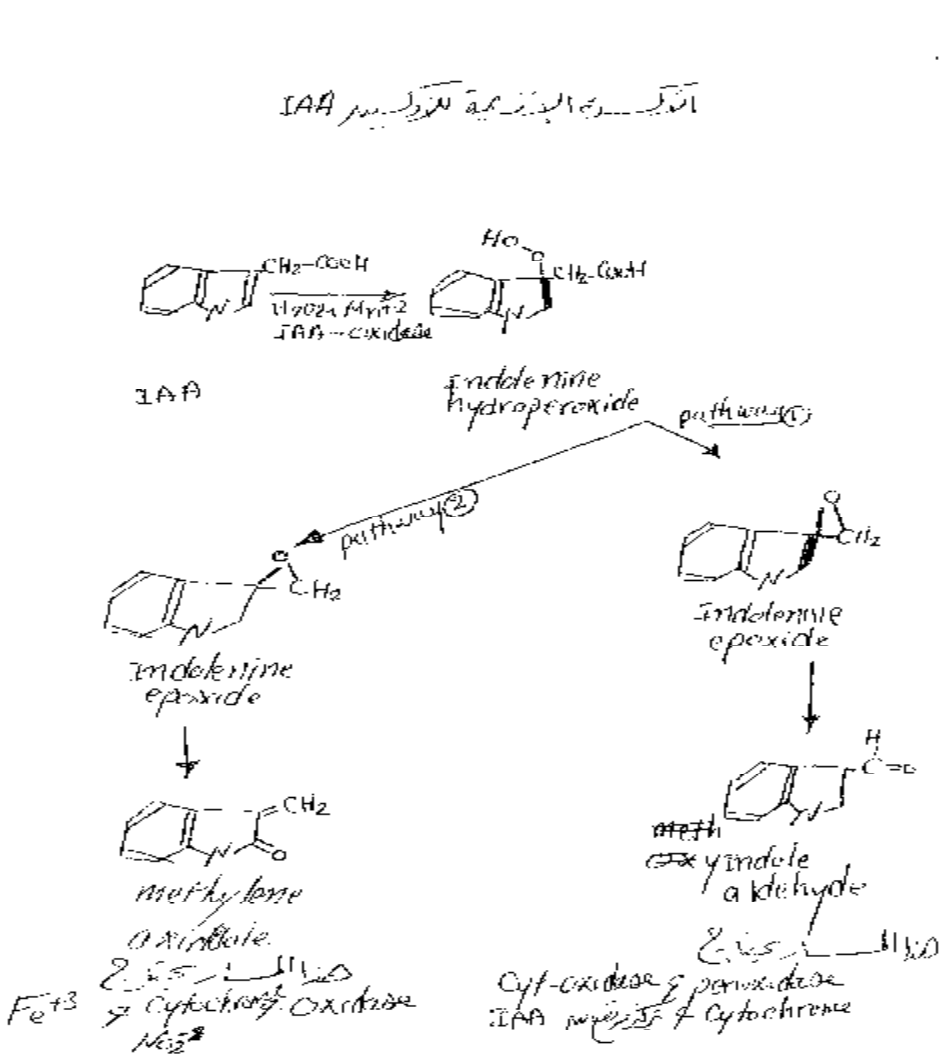
لوحظ من التجارب على الإنزيمات المحللة والهادة للهرمون IAA ما يأتى: ـ

(١) وجود تلازم عكسى بين سرعة النمو والمحتوى من الإنزيمات المؤكسدة للهرمون IAA.

(٢) كلما تقدم النسيج فى العمر (فى طور الشيخوخة) يزداد نشاط الإنزيمات المؤكسدة للهرمون IAA.

(٣) إحتواء أنسجة الجذر على تركيزات منخفضة من IAA مع نشاط مرتفع جداً للإنزيمات المؤكسدة للهرمون IAA.

ويتم هدم IAA عن طريق أكسدته إنزيمياً بواسطة إنزيمات IAA-Oxidase قد يكون هذا الإنزيم فى صورة Peroxidase ومن المعروف أن هذا الإنزيم يحتاج إلى O_2 خارجى وينشط فى وجود Mn^{+2} وبعض المركبات الفينولية.



فى حين وجد العلماء Ray (1960) , Lang , Hinman (1965) أن النظام الإنزيمى الســـابق لهدم الهرمون قد يحتاج إلى O_2 خارجى فى صورة H_2O_2 ومن هنا أمكن وضع تصور أن الأكسدة تتم عن طريقتين:

الأول: وينتج عنه ظهور مادة Methylene oxindol.

الثانى: وينتج عنه ظهور مادة Indole aldefyde كما فى الشكل.

وعموماً تنشط الأكسدة الإنزيمية بواسطة المركبات أحادية الحلقة الفينولية مثـل 2.4-D وتثـبط بواسطة ثنائية الفينول مثل الكاتيكول والبيروجالول.

Oxiditive metabolism of IAA Catalysed by peroxidase and IAA. Oxidase (Hinman , Long , 1965)

يحتاج pathway 1 إلى الإنزيمات التالية:

١ ــ إنزيم البيروكسيديز

٢ ــ إنزيم Cyt – Oxidase ويحتاج أيضاً.

ــ تركيز عال من IAA. ــ السيتوكروم.

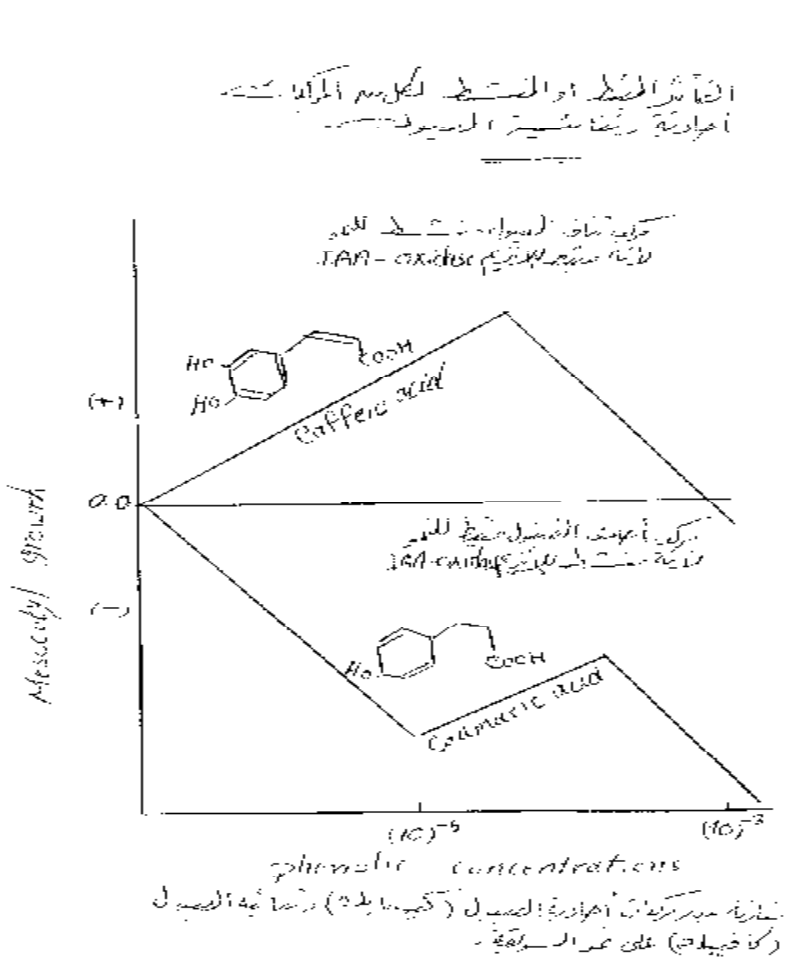
* بينما يحتاج Pathway 2 إلى:

١ ــ إنزيم Oxidase ٢ ــ Fe^{3+} ٣ ــ NO^{-}_{2}.

وفى النباتات وجد أن بعض الفينولات الأحادية مثـل أحمـاض Coumaric , Ferulic تعتبـر مرافقات إنزيمية طبيعية للإنزيم IAA- Oxidase وأيضاً المواد Hydroxybenzyl Kaempferol alco تعتبر من الـ Co-enzymes للإنزيم IAA- Oxidase وبالتالى تكون منشطات للإنـزيم أى مثبطات للنمو.

بينما توجد بعض المواد المثبطة للإنزيم IAA- Oxidase مثل المركبات ثنائيـة الفينـول مثـل Caffeic acid , Quercitin , Chlorogenic acid.

قام كل من Nitsch , Nitsch (1962) بإجراء تجربة لبيان الدور المثبط والمنشـط لكـل مـن المركبات أحادية الفينول **(تحتوى على مجموعة OH واحـدة)** ومنهـا Coumaric acid وثنائيـة الفينول تحتوى على مجموعتى OH ومنها Caffeic acid على إنـزيم IAA- Oxidase وتتضـح نتائجها من خلال الرسم البيانى الموضح لذلك.



ثانياً: الأكسدة الضوئية:

يختلف هذا الطريق تماماً فى تفاعلاته عن طريق الأكسدة الإنزيمية. ولقد لـوحظ أن المـواد Fluorescont dyes , Eosin , Riboflavin ذات فعالية كبيرة ومؤثرة فى هـدم الهرمـون IAA وكذلك من العوامل التى تسرع فى عملية الأكسدة الضوئية. الصـبغات النباتيـة مثـل Riboflavin , Phycoxanthin لوجودها بتركيزات مرتفعة نسبياً وهذه الصبغات تمتص الضـوء الأزرق الـذى يتمتع بقدرة عالية جداً على إحداث الأكسدة الضوئية. ولقد لوحظ أن الضوء ينشط بشدة إنزيم IAA-

Oxidase وأهم نـــواتج الأكســـدة الضـــوئية مركبـــات 3- indole aldehyde و 3- methylene oxindol تماماً كما فى الأكسدة الإنزيمية بواسطة IAA- Oxidase.

وفى تجارب على البسلة وجدت نواتج أخرى مثل 3- hydroxymethyl Oxidase وهـــذا المركب يسهل تحوله إلى methylene oxindol كما يمكن أكسدة IAA ضوئياً بواســـطة أشـــعة X جاما كما أن الأشعة فوق البنفسجية تمتص فى التركيب الحلقى للأوكسين IAA مما يوقف نشاطه.

Auxin Transport

يمكن للأكسين الإنتقال خلال أى نسيج حى ويمكنه الإنتقال خلال كل مـــن أوعيـــة الخشـــب واللحاء ولكن بالدراسة وجد أن اللحاء فى الساق وعنق الزهرة كانا أنشـــط مـــن غيرهـــا فـــى نقـــل الأوكسين.

ولقد أثبتت الدراسات كثير من العلماء أن محصلة إنتقال الأوكسين تكون فى إتجاه قطبـــى أى لأنه يتميز بالخاصـــية القطبيـــة Polarity أى الإنتقـــال مـــن القمـــة المورفولوجيـــة إلـــى القاعـــدة المورفولوجية. وأوضح مثال لذلك تجربة Went والتى أستعمل فيها أقراص الآجار والمنطقة القريبـــة من طرف غمد الشوفان. وتتلاشى ظاهرة الإنتقال القطبى فى الأنسجة بالإنتقال عن القمـــة الطرفيـــة للساق بإجراء دراسات عديدة، تم فيها إستخدام مثبطات حركة الأكسين مثل مـــادة 2.3.5-T (2.3.5- Triiodobenzoic acid) TIBA، وعلى ضوء ميكانيكية التثبيط لحركة الأوكسين يتضح أن إنتقال الأوكسين نشط Active transport وليس إنتشاراً عادياً ويمكن تأييد هذا الرأى كالآتى:

(١) لوحظ أن سرعة IAA تتراوح بين ١ ــ ١.٥ سم/ساعة فى الساق وغمـــد الريشـــة وهـــذه السرعة تعادل عشرة أضعاف سرعة الإنتشار Diffusion.

(٢) وجد أن الطاقة الناتجة عن التحولات الغذائية ترتبط بإنتقال الأوكسين.

(٣) كما يحدث فى إنتقال المحاليل والعناصر ضد فروق التركيز، وجد العالم Weig أن الأوكسين ينتقل كلياً من مكعب الآجار الموضوع عند قمة قطاع غمد الريشة إلى المكعب الموضوع فى قاعدة القطاع، ويصبح الوضع فى نهاية التجربة كالأتى: المكعب المشبع بالأكسين والموضوع فى قمة قطاع غمد الشوفان أصبح خالياً من الأوكسين وأنتقل كل ما به من أوكسين إلى المكعب الذى كان خالياً من الأوكسين والموضوع أسفل قطاع غمد الشوفان. وما يلاحظ هنا أن هذا الإنتقال ضد فروق التركيز وخاصة فى مراحله الأخيرة وهذا دليل على أن أنتقال IAA لابد وأن يكون نشطاً ويحتاج إلى طاقة ناتجة من التحولات الغذائية لكى ينتقل.

(٤) فى المركبات ذات المشابهات مثل Indolpropionic acid لوحظ أن المشابة Indol (+) α- propionic acid كان أكثر نشاطاً فى الإنتقال من الصورة (ـــ) وكذلك المركب NAA، ففيه وجد أن حدوث إستبدال فى الوضع α يكون المركب أكثر نشاطاً فى الإنتقال تعادل سرعته تقريباً IAA ، أما حدوث إستبدال فى B فإن المركب لا ينتقل. وهذا دليل على أن الإنتقال لهذه المواد ليس بالإنتشار ولكنه إنتقالاً نشطاً.

ومن التجارب لوحظ أن الأوكسين ينتقل قطبياً من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية ليس فقط فى قطاعات غمد الريشة أو فى الساق، ولكن أيضاً فى عروق الأوراق حيث ينتقل الأوكسين قطبياً فى كل من: الأنسجة البارنشيمية والأوعية الناقلة.

* لكن السؤال الهام هو كيف يتحرك الأوكسين فى النبات الكامل؟

للإجابة على السؤال فإنه هناك عدة اعتبارات يجب معرفتها وهى:

ـ الأوكسين الداخلى ينتقل غالباً فى اللحاء، وبصورة غير مباشرة يمكن للأوكسين الإنتقال والحركة خلال كامبيوم الأشجار.

ـ حركة الأوكسين القطبية تقل ـ أو تكاد تنعدم ـ فى الأعضاء المسنه.

ـ حركة الأوكسين من القاعدة إلى القمة لوحظت فى سيقان الشعير والبقوليات وهذا الإنتقال لا يعتمد على التحولات الغذائية ولكنة انتشارا.

وفى تجارب غمد الريشة وجد أنه ليس فقط IAA هو الذى يتميز بخاصيته الإنتقال القطبى ولكنها لوحظت فى العديد من الأوكسينات مثل 2.4-D, NAA, IBA.

وعموماً فإنه منظمات النمو مثل IAA , 2.4-D المضافة إلى الجذور أو السيقان المفصولة لوحظ أنها تنتقل فى كل من الخشب واللحاء ولكن هذه الحركة ليست قطبية وكانت سرعة الأوكسينات 50 mm\h أو أكثر. حركة الأوكسينات فى الجذور غير معروفة تماماً وغير مفهومة تماماً وإن كانت الحركة القطبية فى الجذر أقل بكثير جداً منها حالة الساق.

ولتفسير الحركة القطبية يجب معرفة أن هذه الحركة القطبية عبارة عن عملية حيوية نشطة تعتمد على الطاقة وهى تختلف تماماً عن عملية الإنتشار من حيث السرعة. والخاصية القطبية تعتمد على درجة الحرارة بدرجة كبيرة ولا تتأثر بدرجة كبيرة بالأوكسين فى حالة تركيزه الأمثل. كما لوحظ أن الإنتقال القطبى يتم حتى ضد فروق التركيز. ويجب معرفة أن ظاهرة الإنتقال القطبى تتناقص مع زيادة عمر الساق والأوراق والجذور وغمد الريشة.

<u>ولتفسير ظاهرة القطبية هناك العديد من النظريات والافتراضات:</u>

أقدم النظريات هى نظرية القطبية الكهربائية ففى سنه ١٩٣٢ وجد Went الإنتقال الجانبى للإكسين والذى يسبب الإنحاءات. ويعتمد الإنتقال الجانبى هذا على الشحنات الكهربية أو الحقل

الكهربى. وعدت هذه النظرية بواسطة العديد من العلماء بعد ذلك بعديد من السنين ومـــنهم Shrank (1945 – 1951) حيث درس الإنتقال القطبى الكهربى ووجد عدة إختلافات فى الجهد الكهربى مـــن القمة للقاعدة فى غمد الشوفان. كذلك عند تعريض الساق أو غمد الريشة للإضاءة من جانـــب واحـــد فوجد أن الجانب المظلم يكتسب شحنات كهربائية موجبة. ولقد وجد Shrank أن IAA فى المحلـــول الفسيولوجى يسلك سلوك الإنيونات **(أى أيون ذو شحنة سالبة)** وهذا يفسر الإنتقال القطبى للأوكســـين فى حقل كهربى يتميز بوجود فارق فى الجهد الكهربى.

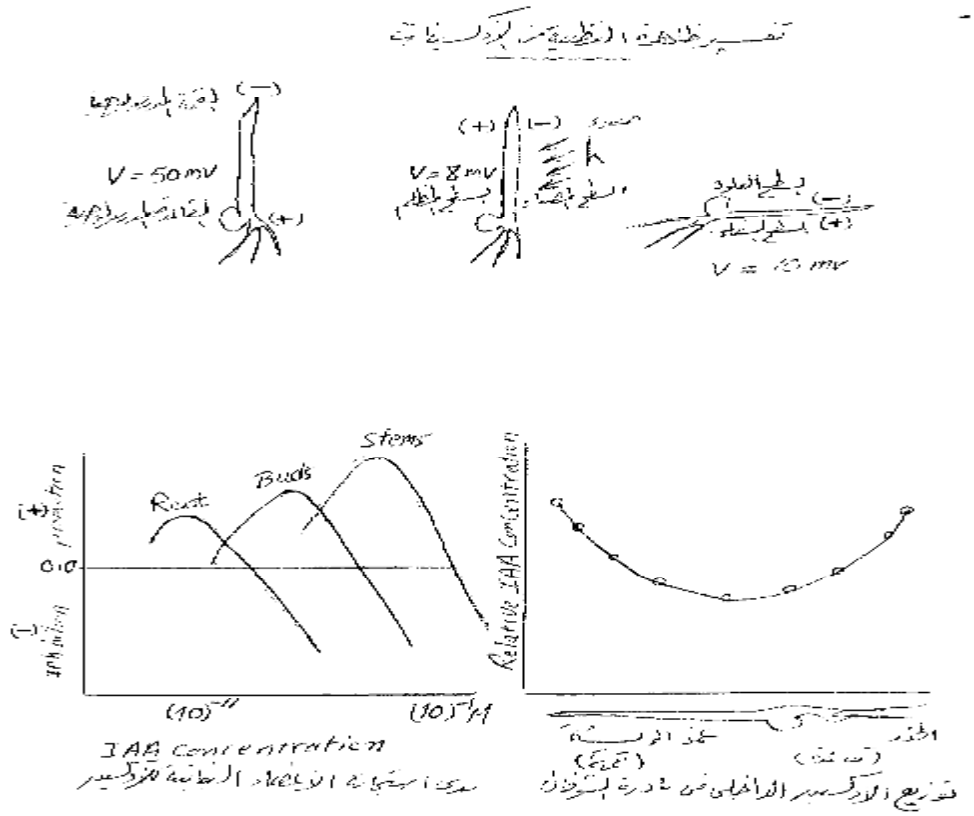
وفى تجارب Scott على الإنتقال القطبى للأوكسين، وجد ٣ عوامل رئيسية يتوقـــف عليهـــا درجة الإنتقال القطبى وهى الحقل الكهربى (مجال إنتقال الأوكسين)، درجـــة تركيـــز IAA ونفاذيـــة الجدر الخلوية. وقرر كل من Leopold , Hall أن ميكانيكية الإنتقال القطبى للأوكسين عبر الغشـــاء السيتوبلازمى للجدار الخلوى يتوقف على الإنتقال النشط.

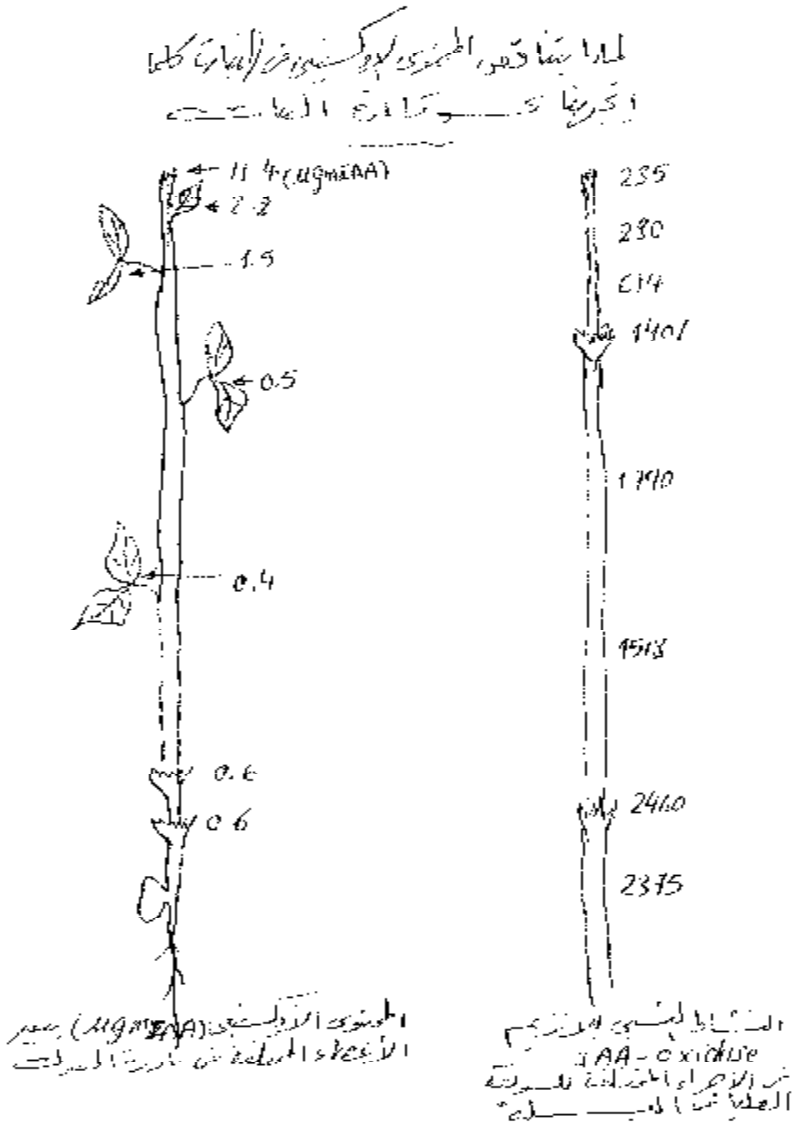
Relation between auxin Content and growth

تتركز الإنزيمات التى تحول الترتبوفان إلى IAA فى النباتات الراقية فـــى المنـــاطق التـــى تتميز بنشاط كبير فى التحولات الغذائية مثل الأنسجة المرسيتمية ، الأوراق المنبسطة ، الأزهار وقمم الجذور. وعموماً يمكن إيجاد علاقة بين المحتوى النسبى للهرمـــون IAA ومعـــدل النمـــو النســـبى للأعضاء النباتية المختلفة.

ويجب الأخذ فى الإعتبار أن هناك إختلافات جوهرية بين الأعضاء النباتيـــة المختلفـــة فـــى درجة أستجابتها للأكسين.

ومن الأشكال التوضيحية التالية يمكن القول أن هناك علاقة بين النشاط الإنزيمى والمحتـــوى من الأوكسين. وأيضاً الإنزيم الهادم IAA – oxidase فينخفض نشاطه بدرجة ملحوظة فى المنـــاطق التى تحتوى على تركيز مرتفع من الأوكسين.


Stems
Buds
Root
(+)
0.0
(−)
(10)⁻¹¹
(10)⁻⁵
IAA concentration
Relative IAA Concentration



وكذلك من الجدول المرفق يلاحظ أن المناطق التى ينشط فيها إنتاج الأوكسين هـــى: البـــرعم الطرفى ــ المنطقة من الساق أسفل البرعم الطرفى ــ الأوراق الحديثة الصغيرة وبالعكس فـــإن أقـــل المناطق إنتاجاً للأوكسين هى السيقان المتقدمة فى العمر ــ الأوراق الكبيرة ــ قمم الجذور.

ولقد لوحظ أن بذور البسلة أثناء النضج تحتوى على كمية من الأوكسين المخلق أكثـر مـن البرعم الطرفى أى أن سعة البذور التخليقية للأوكسين IAA كبيرة جداً، أكبر من أو تساوى البـرعم الطرفى.

وبإختصار فإنه يمكن إيجاد علاقة جيدة بين درجة تخليق **(معـدل تخليـق)** الأوكسـين مـن التربتوفان ومحتوى الأنسجة الخضراء الحديثة فى البادرات من الأوكسين الحر Free auxin.

مقارنة بين كمية IAA المخلقة والتى أمكن أستخلاصها من خلايا الأجزاء المختلفة فى نبـات البسـلة (Moor , 1969) ، لاحظ كذلك المحتوى من النتروجين والمحتوى الأكسينى.

Plant part (S)	IAA/gm F wt 2h	F.wt of part/plant	Mg N/g F.wt
(1) Terminal bud	61.1	24	6.3
(2) Stem above s th node	40.1	98	1.5
(3) Leaves above s th node	51.7	77	4.9
(4) Shoot tip (all above s th node)	38.9	305	3.5
(5) Stem below s th node	19.2	478	0.6
(6) Leaves below s th node	10.2	545	1.6
(7) Apical 2cm of primary root	7.7	34	0.9
(8) Developing seeds	89.2	-	-

-Correlative differences in auxin relations between etiolated and light grown and dwarf and normal plant .

وجدت عدة إختلافات فى المحتوى من الأوكسين فى كل من البـادرات الشـاحبة والأخـرى الخضراء لنفس النوع من النبات وكذلك بين الأصناف الطويلة والقزمية لنفس النوع النباتى.

بسلة الزهور تعتبر من النباتات العشبية الحولية ويوجد منها نوعـان: الأول قزمـى وراثيـاً والآخر طويل. الصنف القصير عند النضج يصل إلى ٣٠ سم أو أقل بينما الأصناف العاديـة يصـل طولها إلى ١٠٠ سم.

وفى تجربة للعالم Moor (1967) لمقارنة كمية الأكسين IAA المخلقة من التربتوفان بواسطة الإنزيم المستخلص من قمم السوق لكل من Light grown etiolated للأصناف Dwarf و Tall ولقد أوضحت التجربة أن كمية الأوكسين المخلقة كانت أكثر ما يمكن فى الأصناف الطويلة النامية فى الضوء ثم القزمية النامية فى الضوء ثم الطويلة النامية فى الظلام ثم القزمية النامية فى الظلام.

Mechanism of auxin action:

يجب أولاً معرفة فى التعبير بين المصطلحين Mechanism of &Mode of action

Mechanism of action :the direct and specific monlecular interaction .

Mode of action :the succeeding series of stepes (events ,processes)which result in the measurable biochemical or physiological response (Moore,1979).

وبصفة عامة يمكن القول أن ميكانيكية تأثير الأوكسين وطريقة تأثيرة تنحصر فى عدة نقاط أهمها:

(١) وجد أن IAA يعمل على زيادة إستطالة خلايا غمد الريشة، زيادة معدل النمو خلال ١٠ ق أو أقل.

(٢) تعمل الأوكسينات على زيادة نشاط الإنزيمات ــ تخليق الإنزيمات ــ إحداث تغيرات فى نفاذية الأغشية.

(٣) التأثير المنشط للأوكسين على إستطالة الخلايا يكون من خلال تأثيرة على تنشيط تخليق m-RNA وكذلك البروتين.

(٤) من التجارب لوحظ أن بعض الأوكسينات يظهر تأثيرها من خلال تداخلها فى تنشيط فعل الجين gene action وهذا يفسر الإستجابة السريعة جداً للأوكسين. ومثال ذلك إستجابة خلايا غمد الريشة للإستطالة فى فترة أقل من ١٠ق. وكذلك تعزى الإستجابة السريعة

للأوكسين لتأثيره على حركة البروتوبلازم ويظهر هذا التأثير فى خلال ٢٠ ث فقط وقد يمتد إلى بضع دقائق قليلة. وأن التأثير على النفاذية يظهر خلال ١٥ق أو أقل.

Water relations in auxin – induced cell enlargement

من التجارب يتضح أن دور الأوكسين ينحصر على وجه الخصوص فى إحداث مرونة ومطاطية للجدار الخلوى وليس العمل على إستطالة الجدر مباشرة.

وبالرجوع إلى معادلات الجهد المائى للخلية نجد أن

ψ(Water potential) = ψ(Osmotic potential) + ψ_p (Pressure potential)

ولكى ينشط دخول الماء إلى داخل الخلية بواسطة الأوكسين، فإن جهد الماء داخل الخلية لابد أن يكون أكثر سالبيه من جهد الماء خارج الخلية، وعلى ذلك فإن ψ لابد أن تكون بالسالب كالآتى:

- جهد الإسموزية ψ يصبح أكثر سالبيه.
- أو جهد الضغط ψ_p **(ضغط الإمتلاء)** ينقص.

ولكن ما الذى يحدث حقيقة نتيجة الإستجابة للأوكسين، ذلك ما سنتعرض له فى الخطوات المتتالية اللاحقة وهى:

١ ــ الأوكسين يؤدى إلى زيادة مرونة الجدار وهذا يؤدى إلى نقص مقاومة الجدار الخلوى للمطاطية، وذلك أيضاً للجدار الخلوى بسرعة التأثر بضغط الماء.

٢ ــ الأوكسين يؤدى إلى نقص أى نقص ضغط الإمتلاء Pressur potential.

٣ ــ يعمل الأوكسين على جعل قيمة بالسالب وهذا يؤدى إلى مزيد من الضغط الإسموزى ودخول المزيد من الماء إلى داخل الخلية.

٤ ــ نتيجة للخطوات السابقة يزيد حجم الخلية وتزيد المطاطية والليونة غير العكسية للجدار الخلوى.

ـ عموماً لوحظ أن الأوكسين يعمل على تنشيط حدوث كل من ظاهرتى: المرونة (elasticity) والمطاطية (plasticity) وكلاهما مفيد فى عملية إستطالة الجدر الخلوية ولكن الظاهرة الثانية هى المهمة بدرجة كبيرة لأنها تعبر عن النمو الحقيقى للجدار لأنها ظاهرة غير عكسية -أما الظاهرة الأولى فهى غالباً عكسية.

The nature of auxin – induced cell wall loosening

طبيعة إحداث الأوكسين لمرونة الجدر الخلوية وكيف تحدث المرونة فى الجدر الخلوية نتيجة المعاملة بالأوكسين هو ما سنعرضه فى الآتى:

من المعروف أن الجدار الخلوى الإبتدائى يتكون من لويفات من السليلوز والتى تتداخل وترتبط بالعديد من السكريات العديدة polysaccharides.

أثناء إلتصاق وإلتحام المواد فى الجدار الخلوية الحديثة ومنها البكتين والهيميسليلوز يحتمل أن يكون دور الأوكسين هنا هو أنه يعمل على زيادة حركة أيونات الكالسيوم والتى تقوم بربط مجاميع الكربوكسيل لهذه المواد المتلاحمة. ولكن من ناحية أخرى وجد فى بعض التجارب عدم حدوث تنشيط لأيونات الكالسيوم نتيجة المعاملة بالأوكسين.

من الإحتمالات الهامة والتى يقوم بها الأوكسين هو تنشيط عملية المثيلة methylation لحمض البكتيك. ولقد وجد أن Ethionine والذى يعتبر مثبط قوى لعملية المثيلة، يثبط أيضاً بقوة نمو غمد الريشة فى الشوفان ولكن فى تجارب أخرى وجد أن الأوكسين قام بتنشيط نمو السويقة المتوسطة فى الذرة بالرغم من عدم حدوث عملية المثيلة.

وبالتجارب وجد أن الأوكسين يؤثر مباشرة فى لويفات السليلوز وكذلك إنزيم السليوليز فى سيقان البسلة المعاملة. وكذلك وجد أن المعاملة بالأوكسين تنشط فعل وكفاءة الإنزيم – glaconase B,1.3 والذى له دور كبير فى تنشيط النمو.

وجد العديد من العلماء أن المعاملة بالأوكسين أدت إلى زيادة المكونات التى تدخل فـــى بنـــاء جدار الخلية مثل السليلوز ــ الهيميسليلوز، وذلك فى ساق البسلة وكذلك زيادة البكتين والهيميســـليلوز والبكتين الذائب فى تجارب على غمد الشوفان.

وأتضح أن الأوكسين يقوم بمهاجمة مكونات اليبيدات Lipids فى الأغشية الخلوية يؤثر على نفاذية الأيونات من خلال تلك الأغشية ولقد وجد أن الأوكسين النشط يـــرتبط بـــالمواقع ذات الشـــحنة السالبة فى الأغشية (**الليبيدات**) وبالتالى فإن الأوكسين يتحكم فى إسموزية الخلايا عن طريق تحكمـــه فى النفاذية وبالتالى يعمل على زيادة الضغط الأسموزى لمحتويـــات الخليـــة وزيـــادة قـــدرتها علـــى إمتصاص الماء (زيادة دخول الماء إلى الخلايا) مما يعمل على زيادة حجم الخليـــة نظـــراً لإمتلائهـــا وانتفاخها.

Sites of auxin action

هناك إقتراحان هامان يوضحان موقع التأثير للأوكسين وهما:

(١) أن الأوكسين يعمل من خلال تأثيره على الجدار الخلوى (الأغشية الخلوية بصفة عامة).

(٢) أن الأوكسين يعمل من خلال تأثيره على الأحماض النووية وتحولاتهـــا الغذائيـــة mucleic acid metabol.

ولقد أتضح من التجارب أنه يمكن دمج الإقتراحين السابقين فى إقتراح واحد لأنهما مرتبطان ببعضـــها بشدة.

Effect of auxins on nucleic acids and protein metabolism

فى تجارب عديد الدراسة تأثير الأوكسين على النمو وإستطالة الخلايا فى أنسجة عديدة: غمد الريشة ــ الساق ــ الدرنات، تم قياس معدل النمو للخلايا وكذلك معدل دخول العناصر المشعة فى تخليق RNA والبروتين. ومن التجارب أتضح زيادة التخليق المستمر للحمض النووى RNA والبروتين وهما لازمان لإستمرار نمو وإستطالة الخلايا.

ووجد أن معاملة البادرات بواسطة 2.4-D أو بعض الأوكسينات الأخرى، أدى إلى زيادة المحتوى من DNA والبروتين RNA وأيضاً زيادة النسبة RNA / DNA . والنسبة RNA / protein.

كما لوحظ أن RNA يتراكم فى صورة Ribosomal RNA (r-RNA) ومن التجارب Key et al على قطاعات السويقة السفلى لبادرات فول الصويا، وجدوا أن الأوكسين يعمل بصفة عامة على تنشيط تخليق جميع أنواع RNA مع حدوث زيادة واضحة على وجه الخصوص فى النوع r. RNA.

لقد اتضحت أهمية الحاجة المستمرة لتخليق RNA والبروتين وذلك لإستمرار حدوث الإستطالة فى الخلايا. وعرفت أهمية تلك العلاقة من إستخدام مثبطات تخليق RNA والبروتين أو مثبطات الجينات الخاصة بعمليتى النسخ والترجمة translation and transcription ومن هذه المواد المثبطة Actinomycin-D وهو مثبط لتخليق RNA من DNA. ولقد وجد أن هذه المادة المثبطة تعمل على تثبيط نمو وإستطالة خلايا قطاعات السويقة السفلى وكذلك تثبيط دخول العناصر المشعة الداخلة فى تركيب RNA.

وفى تجارب أخرى إستخدام المثبط المتخصص فلوريوراسيل 5-Florouracil والذى يثبط تخليق كل أنواع RNA ماعدا النوع m-RNA ، فوجد أن هذه المادة المثبطة عملت على تثبيط وتخليق total RNA بنسبة ٧٠% دون التأثير على إستطالة الخلايا.

من هذه التجارب يمكن إستنتاج أن RNA ضرورى لإستطالة الخلايا. وأن النوع الهام جداً والضروري واللازم لهذه العملية هو m-RNA ويتضح ذلك من العلاقة البيانية:

من نتائج التجارب السابقة يلاحظ ضرورة الحاجة المستمرة لتخليق RNA البروتين وخاصته RNA وكذلك نوعيات معنية من البروتين لإستمرار حدوث الإستطالة فى الخلايا المعاملة بالأوكسين.

وفى تجارب أخرى للعلماء Brien et al (1968) ، حيث قاموا بمعاملة الكروماتين المعزول من أنوية خلايا E. coli بواسطة الأوكسين 2.4-D فوجدوا حدوث زيادة واضحة وكبيرة من الإنزيم RNA – polymerase .

وفى تجارب Matthysse & Phillips ، يمكن القول إجمالاً أن الأوكسين ينشط ويرتبط بالبروتين، ويعمل هذا المعقد من البروتين والأوكسين على التأثير على الكروماتين فى النواه لكى يعمل على زيادة كمية القالب DNA – template والذى يستخدم فى عملية النسخ transcription.

Rapid responses to auxins

من الأمثلة التى تحدث فيها إستجابة سريعة جداً للأوكسين:

(١) إستطالة غمد الريشة وخلايا الساق وذلك فى فترة زمنية أقل من ١٥ق من بدء المعاملة بالتركيز المنشط من الأوكسين.

(٢) حركة سيولة البروتوبلازم والتى تستجيب للأوكسين فى خلال ٢ق أو أقل.

(٣) زيادة معدل التنفس وتحدث هذه الظاهرة بعد حوالى ٣٠ق من المعاملة بالأوكسين.

وظاهرة الإستجابة السريعة للأوكسين تحدث فى وقت قصير جداً وهذا الوقت فى الغالب أقل بكثير جداً عن الوقت اللازم لحدوث عمليات النسخ والترجمة وحدوث العمليات التى من شأنها قيام

الجين المختص بإنتاج الإنزيمات. وللمعرفة فإن عملية النسخ منفردة تحتاج من ٢ ــ ١٠ق وعملية الترجمة تحتاج أيضاً إلى وقت إضافى من ١.٥ ــ ٥ق.

The acid growth – theory of auxin action

المقصود بإختصار بهذه النظرية أن الأوكسين يحدث حالة من التأثير الحامضى والإحتمال هنا أنه يعمل على حدوث مضخة لأيونات الهيدروجين فى مناطق من الجدار الخلوى – membrane boand – Hpump. وفى هذه الحالة فإن المحلول فى وسط التفاعل أو مادة التفاعل فى الجدار الخلوى يصبح حامضياً أى منخفض فى رقم pH.

ولقد وجد العلماء أن غمد الريشة عند وضعة فى محلول منخفض الـ pH (pH = 3.0) فإن ذلك أدى إلى سرعة ليونة ومرونة الجدر وحدوث تنشيط فورى للنمو. وقد أوحى ذلك للعلماء أن دور الأوكسين فى تنشيط النمو قد يرجع إلى تنشيط الأوكسين لمضخة البروتونات proton – pump فى الصفيحة الوسطى (**أى سرعة إنطلاق أيونات الهيدروجين**) أن النقص المستمر فى رقم الـ pH فى هذه المنطقة من الجدار الخلوى يجعلها أكثر المناطق إستجابة للنمو.

وإستناداً إلى نظرية proton – pump ، وجد العالم Hager (1971) أن دور الأوكسين المبكر فى عملية التحولات الغذائية هو الإمداد بالطاقة لمضخة أيونات H^+ وينتج عن ذلك نقص فى رقم الـ pH المنخفض يعمل مباشرة على ليونة الجدار الخلوى مباشرة وليس على الإنزيمات المختصة بذلك.

ولقد وجدت عدة أدلة للربط بين الإنخفاض فى رقم الـ pH وتنشيط النمو:

- وجد Cleland (1973) ، أن إيقاف عمل الأوكسين المنشط بواسطة بعض المثبطات مثل cccp يوقف أيضاً الإنخفاض فى رقم الـ pH.

- Kamisaka and Masuda (1970) ، وجدا أن هناك علاقة قوية بين دورة AMP والنمو المنشط نتيجة المعاملة بالأوكسين (وذلك نظراً لأنه كلما زاد النقص فى رقم الـ pH زاد إنطلاق البروتونات H^+ وكذلك زيادة إستهلاك جزيئات الطاقة ATP).

يالإستعانة بالرسم الموضح لتركيب الجدار الخلوى نلاحظ أن هناك طبقات من xyloglucan مرتبطة بروابط هيدروجينية باللويفات الدقيقة للسليلوز. ومن المعروف أن إنتقال xyloglucan للإرتباط بالسليلوز يتم بطريقة إنزيمية أو غير إنزيمية ثم يرتبط كل منهما بالآخر بروابط هيدروجينية. ومن المعروف أن هذه العملية تنشط إلى أقصى حد لها إذا زاد تركيز أيونات الهيدروجين فى الوسط. ولقد سبق شرح دور الأوكسين فى تنشيط مضخة الهيدروجين Hydrogen ion – pump – فى الصفيحة الوسطى وبالتالى خفض قيمة pH ومن ثم ينشط إنسياب xyloglucan (حيث يؤدى الإنخفاض فى قيمة الـ pH إلى تفكيك xyloglucan polymers إلى Free xyloglucan والذى ينساب ويتحرك إلى إرتباطة بلويفات السليلوز) ويؤدى هذا إلى سهولة حدوث مطاطية وليونة Loosening فى الجدار الخلوى.

ولقد إقترح Caland , Rayle (1970) ، أن تأثير الأوكسين يكون من خلال تأثيرة على الـ pH والأدلة على ذلك:

(١) خلايا غمد الشوفان، ساق البسلة وفول الصويا تستطيل بدرجة سريعة جداً فى وسط ذو pH منخفض.

(٢) ليونة ومطاطية الجدر الخلوية فى الشوفان وعباد الشمس تزداد بدرجة كبيرة فى درجة pH منخفض.

(٣) الأوكسين أدى إلى تنشيط الإستطالة عن طريق إحداث إنطلاق H^+.

(٤) بعض الإنزيمات المرتبطة بالجدر الخلوية مثل glycosidase تعمل بدرجة مثلى عند pH منخفض.

ـ وفى قطاع غمد الشوفان لوحظ أن الإستجابة للأوكسين والتى تؤدى إلى حدوث الإستطالة تكون خلال ١٠ق فقط من إضافة الأوكسين وتصل الخلايا للمعدل الأمثل فى الإستطالة عند pH = ٣.

ـ ولقد إكتشف العلماء Cleland , Rayle (1977) مادة Fusicoccin (FC) وهذه المادة تعتبر Fungal toxin تعمل عمل الأوكسين من حيث إحداث الحموضة وإنطلاق H^+ وبالتالى مرونة الجدار الخلوى. وإختبرت هذه المادة فى حالة قطاعات ساق البسلة وغمد الشوفان.

ـ عموماً فإن كل من الأوكسين و (FC) يعمل على خفض رقم الـ pH ولكن الطريقة مختلفة فى الحالتين، ولكن النتيجة واحدة وهى حدوث مطاطية وإستطالة للجدر الخلوية.

كما يمكن إجمالى النظرية الحامضية The "acid – growth" theory of auxin action والتى تفسر النمو ما يلى:

- يُحدث الأوكسين وسطاً حامضياً نتيجة لمضخة الأيدروجين (H^+) المرتبطة بالجدار.
- نتيجة لزيادة حموضة مادة الجدار الخلوى يحدث نقص فى رقم pH.
- الإنزيمات المتخصصة فى ليونة Loosening الجدار الخلوى تنشط فى pH منخفض أى درجة حموضية مرتفعة وبالتالى تحدث Loosening وتستطيل الخلايا نتيجة لضغط الإمتلاء.

- Auxin promoted cell elongation by induc H^+.
- Certain wall – bound enzymes, gly cosidases have relatively low pH optima.

- Auxin – induced H^+ excretion and the capacity of H^+ to promote growth of Avena coleoptile segments actually had been known "acid growth theory".

ميكانيكية إنتاج H^+ بواسطة الأوكسين
The mechanism of auxin causes wall acidification

الميكانيكية على وجه الخصوص غير معروفة ولكن هناك عدة إعتبارات يجب معرفتها وهى:

- Primary action of is auxin the plasmalemma:

حيث يزداد نشاط إنزيم RNA – polymerase وهذا الإنزيم يتأثر بشدة بالأوكسين وبالتالى تتأثر عملية نسخ DNA وتحدث تغيرات نوعية وكمية فى تخليق RNA من DNA ويمكن التأكد على أن تفاعل الأوكسين مع المستقبل ينتج عنه إنطلاق H^+ من plasmalemma إلى داخل الجدار الخلوى الذى يؤثر مباشرة على مرونة Loosening الجدار الخلوى.

- درس تأثير الأوكسين على الشبك الأندوبلازمى (ER) Ray 77. وأمكن ملاحظة أن الأوكسين له موقع إستقبال على الشبك الأندوبلازمى Receptor sites وينطلق +H من السيتوبلازم إلى التجاويف الموجودة بالشبك الأندوبلازمى حتى يصل إلى الجدار الخلوى وقد يكون هذا الإنتقال للبروتينات (+H) من خلال أجهزة جولجى.

يمكن إجمالى نظريات ميكانيكية عمل الأوكسين فيما يلى:

(Mechanism of auxin action)

أقترحت عدة نظريات لتفسير عمل الأوكسين على إستطالة الخلية فمثلاً.

- الأوكسين يعمل على زيادة الجهد الإسموزى للخلية.
- الأوكسين يعمل على زيادة نفاذية الخلية للماء.

- الأوكسين يشجع تخليق الإنزيمات التى تعمل على تكوين مواد الجدار الخلوى.
- الأوكسين يسبب نقص فى الضغط الجدارى.
- الأوكسينات ربما تعمل على المستوى الجينى وذلك يؤثر مباشرة فى نقص الضغط الجدارى.

ويتم تفسير زيادة إستطالة الخلايا نتيجة لزيادة مطاطية الجدار الخلوى من خلال عدة خطوات:

١ ــ زيادة مرونة الجدار وبالتالى نقص مقاومة الجدار لعملية المطاطية وبالتالى يسمح بدخول كمية أكبر من الماء.

Auxin increases wall loosening, thus decreasing the resistance of the wall to stretching and allowing the wall to yield to pressure.

٢ ــ نقص الضغط الجدارى The pressure potential thus decreases.

٣ ــ دخول كمية كبيرة من الماء إلى داخل الخلية نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى الداخلى.

More water osmosis in because of the more negative internal water potential.

٤ ــ يزداد تبعاً لذلك حجم الخلية وتكون مطاطية الجدار فى هذه الحالة غير عكسية.

The cell volume is thereby increased and the wall is irreversibly stretched.

٥ ــ الأوكسين يعمل أيضاً على تشجيع بعض الإنزيمات المؤدية إلى زيادة وتغيير نفاذية الجدار الخلوى.

Activating certain enzymes stimulating the synthesis of certain enzymes evoking a change in membrane permeability.

٦ ــ يعمل الأوكسين على تنشيط الجينات التى تؤدى إلى زيادة تخليق m-RNA وكذلك تخليق البروتين مما يؤدى إلى زيادة إستطالة الخلايا.

<u>كيف تحدث عملية Loosening بواسطة الأوكسين:</u>

يعمل الأوكسين على تخليق وإنسياب مادة Xyloglucan فى مادة الجدار مما يــؤدى إلـــى زيادة مرونة الجدار الخلوى الذى يكون أساساً من لويفات السليلوز Cellulose microfibrils والتى تتماسك وترتبط بواسطة polysaccharids (**مواد عديدة التسكر**).

Auxin may activate a hydrogen ion pump in the plasmalmma low pH of the wall, enhance xyloglucan creep and thereby increase cell wall loosening.

Site of auxin action

ـــ من خلال تأثيرة على m-RNA وبالتالى تخليق البروتين nucleic acid metabolism

ـــ من خلال تأثيره على مطاطية ومرونة الجدار الخلوى Cell wall.

Effect of auxins on nucleic acids and protein metabolism

من المعروف أنه لكى تستطيل الخلية وتزداد فى الطول لابد من إســتمراية وزيــادة تخليــق RNA والبروتين وخاصة m-RNA.

Auxin increased the rate of RNA synthesis – auxin interacts with a binding protein, the IAA – protein complex then interacting with chromatin to cause an increase in DNA template available for transcription.

بعض الظواهر الفسيولوجية للأوكسينات

كفاءة عملية البناء الضوئى Effect of auxins on photosynthesis activity

بإختصار شديد، وجد العديد مــن العلمــاء (Szaliq, 1968 – Nato, 1979 – Choudhuri, 1978 – Wild, 1981). أن الأوكسينات وخاصة IAA , NAA تؤدى إلى تنشــيط كفــاءة عمليــة البناء الضوئى وذلك لحدوث تنشيط الإنزيمات المختصة أو تنشيط تخليق الصبغات المختصة بتفاعــل الضوء. وعموماً وجد حدوث تنشيط للآتى:

(١) تخليق الصبغة P700 (وهى المركز الرئيسى للتفاعل 1 photosystem فى تفاعل الضـــوء Hill reaction).

(٢) إستهلاك CO2 عن طريق تنشـــيط إنـــزيم: Rubulose-Biphosphate Carboxylase (Ru. BpCase)

أى تنشيط تفاعل بلاكمان (تفاعل الظلام أو دورة كالفن).

٢ ــ الإنتحاءات Tropisms:

يطلق على حركات العضو النباتى التى تنشأ عن إستجابتة للمنبه البيئى بالإنتحاء واتجاهه يتوقف على الحالة الفسيولوجية للخلايا وعلى مدى العلاقة بين المنبه البيئى والجزء النباتى المستجيب.

وهناك العديد من الإنتحاءات التى تختلف بإختلاف المنبه البيئى ومنها:

المنبه البيئى		الإنتحاء	
١ ــ الجاذبية	Gravity	الإنتحاء الأرضى	Geotropism
٢ ــ الضوء	Light	الإنتحاء الضوئى	Phototropism
٣ ــ الحرارة	Temperature	الإنتحاء الحرارى	Thermotropism
٤ ــ اللمس	Touch	الإنتحاء اللمسى	Thigmotropism
٥ ــ الكيماويات	Chemical	الإنتحاء الكيماوى	Chemotropism
٦ ــ الماء	Water	الإنتحاء المائى	Hydrotropism

وسوف نتناول كل منها بالتوضيح مع التمثيل بالتجارب والمشاهدة والتعليل الفسيولوجى لما يحدث.

٣ ــ السيادة القمية Apical dominance:

من المعروف أن البرعم الطرفى يؤثر بقوة على نمو البراعم الجانبية حيث لوحظ أنـــه عنـــد إزالة أو غياب البرعم الطرفى فإن البراعم الجانبية تنشيط فى النمو كما لـــوحظ أن أقـــرب البـــراعم

الجانبية الذى يقترب من القمة النامية يظهر نوعاً من السيادة بعد فترة قصيرة علـــى ســـائر البـــراعم الأخرى حيث يجعلها غير نشطة مرة أخرى وذلك لأن البرعم الطرفى ينتج ويحتوى على تركيـــزات مرتفعة وعند إنسياب هذه التركيزات المرتفعة وإنتقالها فإنها تثبط نمو البراعم الجانبيـــة وفـــى نفـــس الوقت تنشط نمو الساق بينما الجذور فإنها تحتاج إلى تركيز منخفض جداً حتى تنشط فى النمو.

٤ ــ الثمار اللابذرية Parthenocarpy:

- أثبت العالم Gustafon & Massart أن نمو الثمار اللابذرية من الممكن أحداثة بإضـــافة IAA إلى عجينة الانولين إلى ميسم الزهرة.
- لاحظ Muir زيادة طارئة فى كمية الأوكسين فى مبايض نبات الدخان عقب عملية التلقيح مباشرة ولكن غياب عملية التلقيح لا يحدث أى زيادة فى كمية الأوكسين.
- عموماً فإنه بمجرد نمو أنبوبة اللقاح فإنه يتحرر إنـــزيم مســـئول عـــن تخليـــق الأوكســـين مـــن التربتوفان.
- من المعروف أن مبايض بعض أنواع النباتات القادرة طبيعياً على إنتاج الثمـــار اللابذريـــة فـــإن المحتوى الأوكسينى يكون أكثر منه فى مبايض الأنواع التى تحتاج إلى الإخصـــاب لكـــى تنـــتج الثمار.

٥ ــ التساقط Abscission & Shedding:

- لفهم أهمية دور الأوكسينات فى تساقط الأوراق قام كل مـــن Addicatt & Lynch (1951) بوضع عجينة اللانولين المضاف إليها IAA على الطرف القريب أو البعيـــد لأعنـــاق أوراق الفاصوليا المنزوعة النصل ولوحظ أن عند إضافتها إلى الطرف البعيد للعنق عن الساق فإنه لا يحدث تساقط للعنق أما إضافة العجينة إلى الطرف القريب من الساق يشجع التساقط.

- قام كل من (Chatterjee & Leopold (1965 بعدة تجارب استخلصوا منهـا أن النظريـة السابقة ــ ليست كافية لتفسير عملى وعلمى لفعل الأوكسين على تساقط الأوراق. كما أوضحوا أن بعد تقدم الورق فى العمر فإنه معاملة الطرف البعيد للعنق يشجع التسـاقط وهـذا التـأثير الأخير يرجع إلى أن الأوكسين يسبب تخليق الإثيلين.
- كما أقترحوا أن الورقة الصغيرة السن تقاوم التساقط وعندما تكبر يحدث لهـا تسـاقط نتيجـة حدوث تغير فى قوة تثبيطية معينة.
- وجدوا أن أهم عامل يشجع على التساقط هو الإثيلين فعند تعريض النبات إلى هـواء يحتـوى على غاز الإثيلين بتركيز منخفض (1 mg/1) فإنه يحدث تساقط للأوراق كبيـرة السـن أمـا الأوراق الصغيرة السن فإنها تقاوم التساقط بالرغم من وجود الإثيلين لإنها قادرة علـى إنتـاج الأوكسين بتركيز مرتفع يمكنها من مقاومة التساقط.
- وجد العلماء أيضاً أن الأوراق الصغيرة حديثة السن تنتج كمية كبيرة من الإثيلين وهذا الإثيلـين ربما ينتشر إلى الأوراق المسنه والتى تنتج الإثيلين أيضاً ويسبب تساقط الأوراق المسنه. ومما يؤيد هذا الإتجاه أن قطع الأوراق الصغيرة يمكن أن يؤخر تساقط الأوراق المسنه وهذا التأخير من الممكن أن يكون راجعاً إلى خفض تركيز الإثيلين حول الأوراق المسنة.
- يمكن القول أن الأوكسين والإثيلين هما الهرمونان الرئيسيان اللذان يتحكمان فى عملية تسـاقط الأوراق. حيث أن الأوراق بتقدمها فى العمر فإن إنتاج الأوكسين يقـل بينمـا يتزايـد تخليـق الإثيلين المنشط لعملية التساقط.

- من المعروف الآن أن الإثيلين يشجع التساقط وذلك للتأثير المباشر لتشجيع تخليق إنزيم سليلوليز Cellulase الذى يحلل السليلوز فى منطقة التساقط وأيضاً إنزيم بكتينيز الذى يحلل الصفيحة الوسطى لخلايا منطقة التساقط.
- هناك إقتراح أن السيتوكينين يعمل ضد الشيخوخة فى الأوراق فمقدارها يتناقص وبالتالى فإن مسببات الشيخوخة تأخذ فى الظهور. وعند إضافة السيتوكينين إلى طبقة التساقط فإنه يعيق حدوث الشيخوخة أما إذا أضيف السيتوكينين خارج منطقة التساقط فإن التساقط سرعان ما يحدث. وتعليل ذلك أن السيتوكينين تعمل على تخزين وتراكم المواد الغذائية.
- عند إضافة الأوكسين إلى الأوراق المسنه فإن ذلك يؤدى إلى إسراع التساقط لأن الأوكسين يؤدى إلى زيادة تخليق الإثيلين.

٦ ــ التنفس Respiration:

- الأوكسينات لها دور مهم فى تنشيط تمدد الخلايا وهذه تحتاج إلى طاقة ATP من هدم المواد الغذائية عن طريق التنفس.
- IAA ينشط تخليق RNA والبروتين وكلا منها يحتاج إلى طاقة مما يؤدى إلى زيادة التنفس.
- الإنزيمات المخلقة والمنشطة بواسطة IAA تحتاج إلى طاقة تأتى من التنفس.

مما سبق فإن الأوكسين له دور غير مباشر فى تنشيط التنفس.

٧ ــ تكوين الكالوس Callus formation:

- لوحظ أن إضافة عجينة اللانولين المحتوية على ١% IAA إلى أعناق أوراق الفاصوليا منزوعة الإتصال يؤدى ذلك إلى حدوث إنتفاخ المكان الذى وضع عليه الأوكسين.

o الإنتفاخ الناتج يسمى كالوس وهو عبارة عن خلايا بارانشيمية منقسمة بسرعة وتزداد أيضـــاً فـــى الطول بفعل الأوكسين أى أن الأوكسين فى هذه الحالة يعمل على زيادة أنقسام وإستطالة الخلايا.

إذا قطع ساق نبات أسفل ورقة ناضجة ووضعت عجينة الانولين المحتوية علـــى IAA عنـــد ســـطح القطع يلاحظ تكون نسيج الكالوس وأيضاً ظهور الجذور العرضية بعد فترة.

الجبريلين Glbberelln

تم اكتشاف الجبريلنيات فى مرحلة تالية لإكتشاف الأوكسينات وتم اكتشافها بواسطة العلمـــاء اليابانيون حيث وجدوا أن الفطر Gibberella fujikuroi وهو الطور الجـــنس للفطـــر Fusarium moniliforme يسبب المرض Foolish seedling لبادرات الأرز، ووجد أن سبب هذا المـــرض هو إفراز ماده الجبريلين.

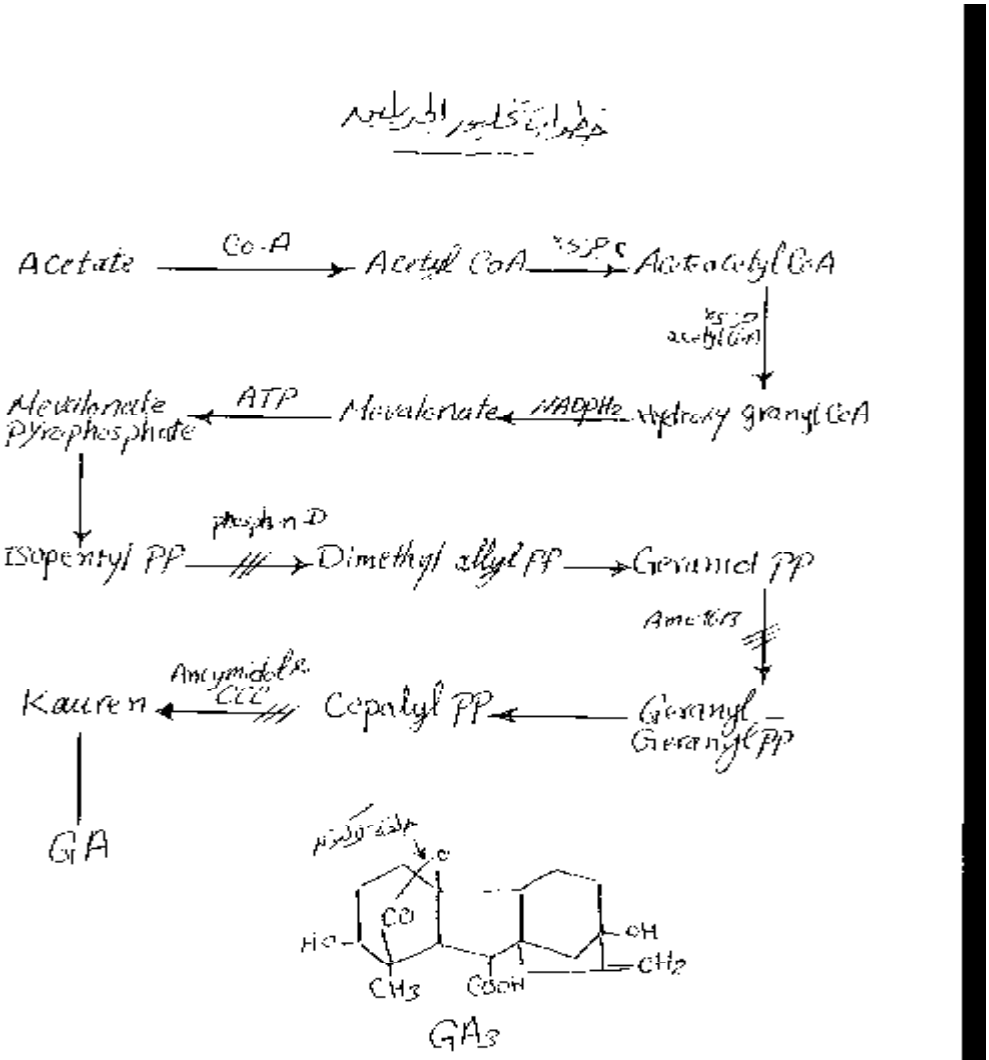
وتعتبر الجبريلنيات من المواد المنشطة للنمو ويوجد العديد من مركبات الجبريلين ولقد عرف منها حتى الآن ٦٠ نوعا، وتختلف هذه الأنواع فيما بينها من حيث عدد ذرات الكربـــون (١٩ ــ ٢٠) وكذلك وجود أو عدم وجود مجاميع (OH-) وتعتبر المادة من الجبريلينات إذا إحتوت على الهيكـــل الكربونى Gibbane.

توجد بعض المواد التى لها نفس تأثير الجبريلين ولكنها لا تعتبر جبريلينا لأنهـــا لا تحتـــوى على حلقة Gibbane ومن أمثلة هـــذه المـــوادHelmenthosporic acid & Helmenthosporal وهاتان المادتان تفرزان من فطر Helmenthosporium sativum وكذلك المادتـــان Sclerolide & Sclerin وتفرزان بواسطة الفطر Sclerotinia libertiana.

تخليق الجبريلين

فى مستخلص الإندوسوم للبذور غير الناضجة لنبات الخيار أو البسلة تمت دراسة خطـــوات تخليق الجبريلين إنزيمياً كما هو موضح فى الشكل التوضيحى.

ولقد وجدت عدة مواد تعمل على تثبيط خطوة أو أكثر من خطوات تخليق الجبــريلين مثــل Ancymidol & Phosphon – D & Amo 1618. والشكل الخاص بخطوات تخليــق الجبــريلين موضح به بعض الخطوات التى يمكن تثبيطها بواسطة مؤخرات النمو المذكورة.



تأثير الضوء على تخليق الجبريلين

وجد أنه عند تعريض بادرات الشعير الشاحبة Etiolated للضوء الأحمر لمدة ٢٠ق فإن ذلك يؤدى إلى تنشيط تخليق الجبريلين وكذلك زيادة نشاط الجبريلين وتخليق الصور النشطة بيولوجياً. ولقد وجد من تجارب العلماء أن الإضاءة المستمرة لمدة ساعة تكون ضرورية لإنتاج أقصى معدل من المركب Kaurene فى قمة الساق الخضرية **(تعتبر مادة Kaurene المؤشر الحقيقى لمستوى الجبريلين فى النبات)**.

ولقد وجد أن هناك إرتباط كبير جداً بين نشاط صبغة الفيتوكروم ومستوى ونشاط الجبريلين، وبما أن صبغة الفيتوكروم تنشط بتعرضها للضوء الأحمر فإن ذلك يؤدى إلى زيادة تخليق نشاط GA.

ووجد أيضاً بالتجارب أن مستوى Kaurene فى البادرات الخضراء كان أعلى بكثير منه فى البادرات الشاحنة etiolated.

التغير فى المحتوى الداخلى للجبريلين أثناء النمو
Quantitative changes in GA content during development

فى تجربة على نبات البسلة Alaska المعاملة بإضافة GA3 بتركيز 10 mg لكل نبات عوملت بعض النباتات عند عمر ٣ أيام وأخرى عند ٦ أيام وأخرى عند ٩ أيام من الزراعة. ولقد وجد أن إستجابة النباتات تنقص من ناحية النمو وخاصته المعاملة عند ٩ أيام وكانت الزيادة فى النمو ضئيلة عن نباتات المقارنة ولقد أخذت هذه القراءات بعد ١٣ يوماً من الزراعة ولم تحدث أى إستجابة للنباتات عند معاملتها بعد ١٤ يوماً **(أسبوعين)**.

ولقد وجد من التجارب بإستخدام GA3 & Amo 1618 أن نباتات البسلة تستجيب للجبريلين كمعاملة خارجية فى فترتين من النمو، الأولى هى مرحلة النمو السريع والثانية قبل حدوث الشيخوخة بقليل.

من التجارب التى يمكن الحكم بها على المحتوى الداخلى فى GA هى تقدير الزيادة فى الوزن الجاف للنبات فكلما زاد معدل النمو كلما كان المحتوى من الجبريلين مرتفعاً والعكس إذا ما وجدت كميات كبيرة من مضادات الجبريلين فإن معدل النمو ينخفض لإنخفاض المحتوى من GA.

مكان تخليق الجبريلين فى النباتات الراقية
Sites of GA biosynthesis in seed plants

وجد Phillips & Jones (1966 , 1967) بعد عمل العديد من التجارب على نبات عباد الشمس من حيث دراسة إنتقال وانتشار واستخلاص GA وكذلك المعاملة بمثبطات تخليق GA. وتمكنوا فى النهاية من إثبات أن GA يتم تخليقه فى الأوراق الصغيرة والحديثة للبرعم الطرفى.

كذلك وجد أن قمم الجذور تعتبر مواقع لتخليق GA وتتركز منطقة التخليق فى المنطقة الطرفية للجذور وهى حوالى ٣ ــ ٤ مم. والدليل على تخليق GA فى قمم الجذور هو ما قام به كل من Vaadia & Sitto (1967) حيث أزالوا القمة الطرفية للساق فى نبات عباد الشمس ثم حفظت قمم الجذور فى مادة Mevalonate مشعة (تحتوى على C^{14}) فأدى ذلك إلى إنتاج مواد وسيطة فى تخليق الجبريلين مثل Kaurene.

كذلك بالتجارب وجد أن البذور أثناء التكوين تكون غنية جداً بمحتواها من GA وهذا دليل على أن البذور نشطة جداً فى تخليق الجبريلين. ولوحظ أيضاُ أن البذور لا تحتوى فقط على GA بمعدل مرتفع ولكنها تحتوى كذلك على كمية كبيرة من مثبطات تخليق الجبريلين وذلك لمنع تراكم الجبريللين فى البذرة. كذلك وجد أن البذور أثناء الإنبات يحدث بها تخليق للجبريلين وذلك فى خلال اليومين الأولين من الإنبات ويتم التخليق فى القصعة Scutellum لجنين الشعير Radley (1967).

إنتقال الجبريلين Transport of GA

كان العالم Mc Comb (1964) أول من درس إنتقال GA_3 فى النباتات المعاملة بالجبريلين حيث إستخدم الكربون المشع فى الجبريلين GA (C^{14}) لهذا الغرض ووجد أن الجبريلين ينتقل فى اللحاء بنفس ميكانيكية إنتقال الماء وباقى المواد الناتجة من التحولات الغذائية. ولقد وجد كل من Lockart & Chin (1965) إن إنتقال GA_3 مرتبط بإنتقال الكربوهيدرات فى النبات.

وحديثاً وجد العلماء بإستخدام الكربون المشع فى الجبريلين أن الجبريلين ينتقل فى كل أوعية النبات سواء اللحاء أو الخشب أى مع العصارة الناضجة أو مع الماء والأملاح.

وفى تجربة الإنتقال القطبى كما يحدث فى الأوكسين بإستخدام الآجار وغمد الشوفان لوحظ أن الجبريلين لا ينتقل بطريقة قطبية Non-polar كما يحدث فى الأوكسين. ومن التجارب وجد أن معدل إنتقال الجبريلين ٥ ــ ٢٥مم/١٢ ساعة.

بعض التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين وميكانيكية التأثير

١ ــ تنشيط إستطالة ونمو النباتات:

يؤدى الجبريلين إلى زيادة إستطالة الساق عن طريق التأثير على منطقة الخلايا تحت القمية حيث يعمل على تنشيط إستطالة خلايا هذه المنطقة وكذلك زيادة معدل الإنقسام الميتوزى لها.

والدليل على أن الجبريلين له دور كبير فى إحداث الإستطالة هو زيادة محتوى الجبريلين الطبيعى فى خلايا الشمراخ الزهرى أثناء الإستطالة فى نباتات النهار الطويل.

من المعروف أن الجبريلين لا يعمل منفرداً فى إحداث عملية الإستطالة للخلايا حيث أن تأثيره منفرداً محدود للغاية بينما يكون التأثير نشيطاً للغاية فى وجود الأوكسين وعرف ذلك من خلال التجارب على ساق البسلة.

تستجيب الأوراق النباتية للمعاملة بالجبريلين حيث يزيد المحور الطولى للورقة بمعدل أكبر من المحور العرضى. وفى حالة الأوراق المركبة يقل عدد الوريقات نتيجة المعاملة بالجبريلين.

ولقد تمت دراسة تأثير GA على تنشيط إستطالة الساق فى البسلة القزمية وكذلك بعض أصناف الذرة القصيرة.

فلقد لوحظ عند رش البسلة القزمية بالجبريلين بعد ١٠ أيام من الزراعة بتركيزات متصاعدة، ٠.٠٠١٥ ــ ١٥ جزء فى المليون، أن الطول يتضاعف عدة مرات قد تصل إلى ٥ ــ ١٠ مرات قدر الكنترول فى مدة حوالى ١٨ يوماً (Moor, 1968).

ولقد درس العلماء تأثير GA على النمو ووجد أن الهرمون (GA) يشجع وينشط كل من إنقسام الخلايا وكذلك إستطالتها، ولوحظت هذه الظاهرة عند معاملة الفاصوليا. ولكن من الملاحظ أن تنشيط إستطالة الخلايا هو السائد. ولوحظت هذه الظاهرة أيضاً نتيجة لمعاملة الأنسجة بالجبريلين ومثال ذلك خلايا المرستيم البينى فى ساق الشوفان وخلايا نسيج Mesocarp البارنشيمية فى ثمار الخوخ.

وكان تأثير GA سائد نحو إنقسام الخلايا فى بعض الحالات منها المنطقة المرستيمية تحت القمية فى النباتات الزهرية مثل: Samolus & Hyoscyamus niger & parviflorus & Dwarf peas.

ومن الواضح أن تأثير الجبريلين من حيث إنقسام الخلايا وإستطالتها يتوقف على عمر النبات ومرحلة النمو التى يمر بها. وعموماً فإن الخلايا الحديثة صغيرة العمر تميل فى إستجابتها نحو الإنقسام بينما الخلايا الأكبر تميل إلى الإستجابة نحو الإستطالة وعلى ذلك فإن محصلة الإستطالة فى النباتات المعاملة بالجبريلين تكون ناتجة عن كل من زيادة إنقسام وكذلك إستطالة الخلايا.

ومن التجارب أيضاً لوحظ أن GA ليس ضرورياً لنمو الجذور ولم يتضح من التجارب أن GA ينشط أو يثبط إنقسام أو إستطالة خلايا الجذور.

ووجد Cleland , 1968 أن كل من GA & IAA يؤدى إلى حدوث إستطالة الخلايا فى الخيار ولكن دور كل منهم يكاد يكون مختلفاً عن الأخر حيث لوحظ أن الدور الأساسى فى إحداث إستطالة فى حالة IAA عن طريق أحداثة مرونة فى الجدر الخلوية Plasticity بينما يكاد لا يكون للجبريللين دور فى إحداث المرونة بينما Adams (1975) وجد أن GA أدى إلى حدوث زيادة واضحة فى مرونة جدر الخلايا فى ساق الشوفان.

وعموماً فإنه من دراسة عديد من العلماء وبإجراء العديد من البحوث الحديثة لوحظ أن GA يؤدى إلى زيادة وتنشيط الإستطالة فى النباتات من خلايا تأثيره على عدة عمليات هى:

- Cell growth.
- Cell extensibility.
- Membrane permeability
- Ezymatic activity.
- Osmotic potential.
- Mobilization of potassium and sugars.

ولوحظ أيضاً فى بعض النباتات القزمية مثل البسلة ، الذرة والفول ، وجودة طفرة فى جين معين يؤثر على الإنزيمات الهامة فى تخليق الجبربلبن مما يؤدى إلى نقص محتوى GA وكذلك عند معاملة هذه النباتات بالجبريلين فإنها تستعيد إستطالتها ويلاحظ أن هذا النوع من التقزم يكون فقط نقص فى طول السلاميات وليس فى عددها.

- من الطفرات المعروفة طفرة نبات الذرة وتسمى (d-5) وتظهر هذه الطفرة قزمية بسبب نقص الجبريلين. وتحدث الطفرة بسبب إيقاف بعض خطوات تحليق GA وخاصة بين Copalyl. P.P والكوارين Kourerne ويكون حجم النبات ١/٥ حجم النبات العادى.
- لذلك فإن إستعمال GA لهذه الطفرة أو إحدى طفرات البسلة أو الفول أو الفاصوليا القزمية يتسبب فى إستطالتها حتى تصير مثل النباتات العادية.

§ بعض النباتات المتقزمة لا تستجيب لإضافة GA ولم يلاحظ أى خلاف فى المحتوى الجبريلينى عن النباتات العادية ويقترح العلماء أن مثل هذه النباتات تحتوى على كمية زائدة من المثبطات الطبيعية.

٢ ــ تأثير GA على تحلل الغذاء المخزن فى طبقة الأليرون:

كان يعتقد أن الجنين هو مصدر النشاط الإنزيمى اللازم لتحليل النشا إلى مواد سكرية بسيطة تفيد عمليات النمو المختلفة ولكن أتضح فيما بعد أن طبقة الأليرون نفسها هى المسئولة عن ذلك. وبالتجارب وجد أن الجنين مسئول مسئولية مباشرة عن إنتاج هرمون GA والمنشط لهذا النظام الإنزيمى. والدليل على أهمية طبقة الأليرون كمصدر للإنزيمات تجربة تمت فيها إزالة طبقة الأليرون وعوملت باقى أنسجة الحبة بالجبريلين فلم تظهر إستجابة للجبريلين.

ومن الواضح أن GA_3 يؤدى إلى تحرر الجين الخاص بتخليق ∝- amylase , Protease وكذلك بعض الإنزيمات المحللة الأخرى فى طبقة الأليرون فى الشعير. ومع ذلك فإنه ليس من الواضح تماماً كيف يتم تحكم الهرمون فى عملية النسخ Transcription وخاصة أثناء تخليق m-RNA وكذلك أثناء عملية الترجمة Trans Lation وتخليق البروتين.

ومن تجارب Varner & Evins (1972) وجد أنه عند معاملة طبقة الأليرون بالجبريلين وفى المرحلة التى يتكون فيها amylase -∝ بأقصى معدل ، فى هذه المرحلة بالذات وجد العلماء زيادة واضحة فى تكوين Polyribosome وكذلك زيادة فى تخليق Ribosomes وكذلك زيادة واضحة فى تخليق أغشية الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum membrane.

ولقد ظهرت كل هذه التأثيرات خلال ٢ ــ ٤ ساعات من بداية المعاملة بالجبريلين ومن التجارب أيضاً أتضح وجود إنزيمات جديدة وذلك لنشاط Polyribosome فى وجود GA_3. كل ذلك

أدى إلى الأعتقاد أن GA يؤدى إلى تنشيط وزيادة عدد monoribsomes وكـذلك نسـبتها المئويـة والتى تؤدى إلى تشجيع تخليق البروتين.

ومن التجارب وجد أيضاً أن (ABA) abscisic يثبط التأثير المنشط للجبريلين حيث يثـبط تخليق RNA وخاصة m-RNA وكذلك يثبط تكوين Polyribosomes.

ولقد وجد أنه من التأثيرات المبكرة جداً لفعل GA_3 هو تنشيط إنزيمين يتداخلان أو يؤثران فـى تخليق Lecithin وهو من المركبات التى تدخل فى تكوين الأغشية الخلوية وهذين الإنزيمين هما:

- Phosphoryl choline gleceride transferase.
- Phosphoryl choline cytidyl transferase.

وكل من هذين الإنزيمين يزيد نشاطه خلال ساعتين فقط من معاملة طبقـة الأليـرين المعزولـة بواسطة الجبريلين.

كذلك أدت المعاملة بالجبريلين إلى زيادة نشاط بعض الإنزيمات المؤدية إلى زيـادة بنـاء مـادة الجدار الخلوى وذلك بعد ٤ ساعات من المعاملة حيث لوحظ أن P^{32} (الفوسفور المشع) زادت نسـبة دخولة فى بناء مركب Cytidle triphosphate (CTP) . وكذلك لوحظ زيـادة دخـول مجموعـة Choline فى microsomal lipid وكذلك زيادة دخول P^{32} فى بناء Phosphlipids.

ووجد العالمان Johnson & Kende ظهور نوع جديد من الشبكة الإندوبلازمية (E.R.) وذلـك نتيجة المعاملة بالجبريلين وذلك لحدوث تغيرات فى عملية النسخ Transcription وهـذه الظـاهرة تحدث بعد ٤ ــ ٨ ساعات من المعاملة بالجبريلين.

وجد كل من العلماء Zwar & Jacobson (1972) و Higgins (1976) ظهور أنواع جديـدة من RNA نتيجة المعاملة بالجبريلين. ولقد لوحظ أن هناك إرتباط وثيق بين تنشـيط GA_3 لتخليـق الإنزيمات ومعدل ظهور m-RNA. ولإثبات ذلك قام العلماء بعزل RNA من خلايا طبقة الأليـرون

وكذلك تم تقدير amylase -∝ وكذلك نواتج عملية الترجمة Translation. ومن نتائج هذه التجربة وجد أن المحتوى من amylase -∝ الناتج من عملية الترجمة عن طريق m-RNA يزيد نتيجة المعاملة بالجبريلين.

من ذلك كله يتضح أن GA_3 يؤدى إلى إستحداث وظهور نوع معين من m-RNA والمخصص لتخليق نوعية معينة من الإنزيمات فى خلايا طبقة الأليرون وكذلك زيادة نشاط إنزيم Ribonuclease.

كما أظهرت الدراسات أن معاملة طبقة الأليرون المفصولة بالجبريلين يسبب تخليق إنزيمات: ــ

Ribonuclease	B- amylase
B- gluconase	∝- amylase
Protease	Phosphatase

Site and mechanism of action & GA in the aleurone system

- GA يؤدى إلى تحرر الجين الخاص بتخليق إنزيم amylase -∝ وكذلك الإنزيمات الأخرى المحللة مائياً فى اليرون الشعير وقد يكون ذلك يفضل الهرمون GA الذى يتداخل مباشرة فى عملية Transcription وخاصة فى أثناء تكوين (تخليق) m-RNA أو فى عملية Translation وخاصة أثناء تخليق البروتين.
- Evin & Varner (1971 , 72) فى تجارب على إنتاج إنزيم amylase -∝ بواسطة المعاملة بـ GA من طبقات الأليرون لوحظ الآتى: ــ

١ ــ زيادة فى تكوين Polyribosome

٢ ــ زيادة فى تخليق Ribosomes

٣ ــ زيادة فى تخليق Endoplasmic reticulum membrane

- لاحظ العالمان أيضاً أن ABA يزيل الأثر المنشط للجبريلين GA على نظام الأليـــرون فـــى الشعير مما يؤدى إلى تثبيط تخليق RNA وبالتالى تثبيط تخليق وتكوين Polyribosomes.
- من التجارب السابقة لوحظ أن GA_3 يختص بنشاط نوع معين من RNA وهـــو m-RNA وهو بالتالى المسئول عن تنشيط تخليق Polyribosomes وهـــذا الأخيـــر بالتـــالى مـــرتبط بتنشيط وتخليق الإنزيمات المحللة فى طبقة الأليرون.
- لوحظ أيضاً أن GA ينشط زيادة تخليق الأغشية وخاصـــة الشـــبك الأنـــدويلازمى الخشـــن Rough Endoplasmic Reteculum وهى المرتبطة بتخليق البروتين فى الخلايا.
- لوحظ أيضاً أن المعاملة بالجيريلين GA ينشط نوعين أخرين من الإنزيمات يتداخلان (لهمـــا علاقة مباشرة) بتخليق مركب Lecithin وهو المركب المشترك فى تكوين الأغشية وهـــذان الأنزيمان هما:

Phosphoryl choline gleceride transferase.

Phosphoryl choline cytidyl transferase.

وكل من هذين الإنزيمين يزداد نشاطه ٣ مرات فى أول ساعتين فى الأليرون المعامل بالجيريلين.

- لوحظ أن GA_3 ينشط تخليق RNA فى أنوية خلايا البسلة القزمية.
- لوحظ أن GA_3 ينشط إستطالة الساق فى البسلة القزمية.
- لوحظ أيضاً أن GA_3 ليس له تأثير على إستطالة ساق البسلة القزمية والسبب فـــى ذلـــك إنه لا يؤثر على نشاط تخليق RNA فى أنوية البسلة القزمية.
- Paleg (1972) قرر أن GA له علاقة قوية بالأغشية حيث أن ينظم نفاذية الأغشية.

٣ ــ كسر طور السكون:

وجد أن الجبريلين يؤدى إلى كسر سكون البذور التى يرجع السكون فيها إلى الإحتياج لدرجات حرارة منخفضة وبالتالى يمكن للجبريلين تعويض عملية التنضيد وهى عملية Stratification وكذلك يؤدى إلى كسر طور السكون فى البذور الحساسة ضوئياً أى التى تحتاج الضوء لإنباتها أو تحتاج للتعرض للضوء الأحمر كى يحدث الإنبات مثل بذور الدخان ــ الخس.

وللجبريلين دور فى كسر سكون البراعم الخضرية حيث أن معاملة درنات البطاطس الساكنة بالجبريلين تؤدى إلى كسر طور السكون وتعويض الإحتياجات الحرارية المنخفضة للدرنات والبراعم. كما أدت معاملة نباتات البطاطس فى الحقل قبل أسبوعين من الحصاد إلى عدم دخول الدرنات أصلاً فى طور سكون وبالتالى يمكن الإستفادة بهذه الدرنات فى الزراعة مباشرة ولعدة عروات.

يتضح أن سبب السكون هو وجود مثبطات النمو بتركيزات مرتفعة مثل ABA والذى يؤدى إلى تثبيط كل العمليات الحيوية اللازمة لنمو البرعم الساكنة أو لإنبات البذور الساكنة وهذا بعكس الجبريلين الذى ينشط جميع هذه العمليات.

يتضح دور الجبريلين GA فى كسر طور السكون سواء فى البذور أو البراعم عن طريق تنشيطه للجينات الخاملة مما يؤدى إلى تنشيط بناء RNA. وبالتالى تكوين الإنزيمات اللازمة للتحولات الغذائية البيوكيماوية الخاصة بالنمو.

ــ ويمكن كسر طور السكون للبراعم فى درنات البطاطس الحديثة بغمرها فى محلول 10-50 mg/l GA_3 لمدة 10 ــ 20 ق.

<u>٤ ــ تأثير GA على الإزهار والإثمار:</u>

لوحظ أن الجبريلين يعوض النباتات ذات النهار الطويل والشتوية والتى تحتاج إلى إحتياجات ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة كى تزهر، فلقد وجد أن GA يعوض عملية الإرتباع والتى تحتاجها هذه النباتات لكى تزهر.

ووجد أن الجبريلين بتركيز ١٠ ــ ٢٠ ميكروجرام / نبات يعوض نبات الجــزر احتياجاتــه من الحرارة المنخفضة الخاصة بالإرتباع.

ولقد أدت الجرعات القليلة من GA إلى تكوين الشمراخ الزهرى دون حدوث الإزهار بينمــا أدت التركيزات المرتفعة منه إلى أستطالة الشمراخ الزهرى وحدوث الإزهار ممــا يــرجح معــه أن الإزهار ليس نتيجة مباشرة لمعاملات الجبريلين فى هذه النباتات المتوردة وأن تأثير GA ينحصر فى تنشيط إستطالة الشمراخ وما يتبع ذلك من إنتاج مواد تؤدى إلى تكوين الأزهار.

ويؤدى الجبريلين إلى دفع النباتات ذات النهار الطويل للإزهار إذا ما وضعت تحت ظــروف النهار القصير. ويجب ملاحظة أن الجبريلين لا يمكنه دفع نباتات النهار القصير للإزهار بــل تــؤدى المعاملة به إلى عدم إزهار هذه النباتات.

النباتات ذات النمو المتورد Rosette تكوين غزيرة الأوراق قصيرة السلاميات. وقبل مرحله التكــاثر مباشره تسطيل السلاميات بدرجه كبيره جدا وعاده تكون هذه النباتات ذات نهار طويل متورده. وجــد أن معامله تلك النباتات بالجبريلين يؤدى إلى إزهارها إستطاله الشمراخ الزهرى.

أما النباتات قصيرة النهار الموضوعة تحت ظروف غير مواتيه لا يشجع GA على إزهارها.

لوحظ فى النباتات المتورده والغير معامله بالجبريلين أنه أثناء إستطاله الشمراخ الزهــرى وحــدوث الإزهار لوحظ إرتفاع محتواها من GA والمواد الشبيهة له.

يعمل GA على إستطاله الشمراخ الزهرى(**الحنبطه**) من خلال عمليتى إنقسام وإستطاله الخلايا Cell division& elongation وخاصة فى المنطقة المرستيمية التحت قمية Subapical meristem وليس الجبريلين وحده مسئولا عن الجنس بالنبات بل يشاركه هرمونات نباتيه أخرى مثل الأوكسين والستيوكينين، ويتحدد الجنس فى الغالب تبعا لمستوياتها معا بالنسيج النباتى حيث يغلب تكوين الأعضاء الأنثويه فى وجود مستوى عال من الأوكسين ، كما أدت المعاملة بالكينيتين إلى تحول طفره العنب المذكره إلى خنثى (Cargiuto, 1968) بينما أدت معامله سلالات الخيار المؤنثة فى طور البادرة المبكر بالجبريلين (2000 mg/1) إلى إنتاج أزهار مذكره. ومن ناحية أخرى فشل الجبريلين فى تكوين أزهار مذكرة فى نباتات الخروع والذرة بل أنه أدى إلى الحصول على أزهار مؤنثه فى هذه النباتات (Lansen, 1969).

ومن نواتج المعاملة بالجبريلين أن يغلب تكوين الأعضاء الذكريه (**الطلع**) بالنبات عند إرتفاع مستوى GA بالأنسجة ثنائيه المسكن (**العائلة القرعيه**) ، كما سبق ذكره ، وبعضا من أحاديه المسكن وحيده الجنس لكنها فشلت فى تحويل النباتات الحاملة للأزهار الخنثى إلى نباتات حامله الأزهار أحاديه الجنس (Street& Opik, 1970)

وتؤدى المعاملة بالجبريلين لبعض النباتات إلى حدوث ظاهره العقد البكرى وفى هذا المجال فإن الجبريلين بالأشتراك مع بعض الهرمونات الأخرى كالسيتوكينين والأوكسنات ونتيجة لحدوث توازن بينهما . وتظهر هذه الظاهرة فى الأصناف التى يكون عندها الإستعداد الوراثى لتكوين ثمار بكريه العقد . وفى حالات أخرى يستطيع الجبريلين إحداث ظاهره العقد البكرى بالرغم من فشل الهرمونات الأخرى فى هذا المجال مثال ذلك الخوخ ، المشمش ، التفاح ، الكمثرى ، والموالح .

وبإعتبار دور الجبريلين المباشر فى النمو والتطور فإنه يساعد الثمرة ويهيئها لإستقبال (sink) نـــواتج التمثيل والعناصر الغذائية وبذلك يساعد الثمرة على منافسة المجموع الخضرى فى الحصـــول علـــى الغذاء المخزن.

٤ ــ Parthocarpy:

- فى حالات كثيرة وجد أن الجبريلينات أكثر نشاطاً عـــن الأوكســـينات فـــى إحـــداث الثمـــار اللابذرية.
- فى حالات كثيرة ثبت فيها أن الأوكسينات غير فعالة أما الجبريلينات فكانت فعالة ومن أمثلـــة ذلك الثمار التفاحية والحجرية التى لا تستجيب للأوكسينات.
- لم يعرف على وجه التحديد هل دور الجبريلين يرجع لتأثير الجبريلين نفسه أو يمثل تفـــاعلاً بين GA والأوكسين الطبيعى بالنبات.
- ولقد أدت معاملة نباتات العنب بالجبريلين قبل التزهير **(قبل التفتح)** بتركيز mg/L ٥٠ إلـــى زيادة طول حامل الحبات إلى حوالى الضعف، بينما أدت المعاملة عند التساقط الثمرى الأول (بعد أسبوع من العقد) إلى زيادة حجم الثمار. بينما المعاملة أثناء الإزهار تؤدى إلـــى زيـــادة نسبة العقد.

٥ ــ تثبيط الضوء لنمو الساق:

بمقارنة نمو الساق فى الضوء أو فى الشحوب الظلامى نستخلص أن الضـــوء مثـــبط لنمـــو الســـاق وإستخدام GA يؤدى إلى زيادة كبيرة فى نمو سيقانها.

- من ذلك يتضح أن الضوء يسبب تثبيطاً لنمو الساق عن طريق تخفيض مســـتوى GA فـــى النباتات وهذا التثبيط الضوئى يمكن التغلب علية بإستخدام GA الخـــارجى علـــى النبـــات. ولوحظ أيضاً أن GA يبطل تأثير الضوء فى نقص مرونة الجدر الخلوية Plasticity.

§ أمكن إثبات أن Red light يثبط تخليق الجبريلين وكذلك لوحظ أن الضوء الأحمر يثبط نمو الساق وأمكن التغلب على ذلك بإستخدام GA الخارجى.

§ يوجد إحتمال أن الضوء يشجع إنتاج المثبطات inhibitors والتى تتعارض وتتداخل مع نشاط GA فى إستطالة الساق.

تفسير ميكانيكية التأثير للجبريللين فى إحداث بعض الظواهر الفسيولوجية الأخرى بالنبات:

١ ــ وجد (Briggs, 1963) أن المعاملة بالجبريلين تؤدى إلى إنتاج إنزيمات: B- gluconase , phosphatase and protease.

٢ ــ وجد Paleg (1972) أن GA يساعد على تنظيم عملية النفاذية للأغشية الخلوية.

٣ ــ وجد Kuraishi & Muir (**1964**) أن الجبريلين يتضح تأثيرة ونشاطه من خلال تأثيرة على زيادة المحتوى الأوكسينى فى الأنسجة النباتية.

٤ ــ الجبريلين يعمل على حدوث نقص واضح فى نشاط إنزيم IAA-Oxidase (Pilet, 1957).

٥ ــ GA يؤدى إلى زيادة نشاط إنزيم RNA ase الذى يؤدى إلى زيادة تخليق RNA جديد ، Chrispeels & Varner (1967) و Johri (1968).

٦ ــ GA يؤدى إلى زيادة نشاط إنزيم Cellulase فى البقوليات Leather (1971) & Abeles.

٧ ــ GA يؤدى إلى زيادة النشاط الإنزيمى للإنزيم RNA polymerase والذى يؤدى إلى زيادة إنتاج RNA.

٨ ــ من دراسة حديثة قام بها العديد من العلماء للمقارنة بين تأثير GA ومؤخراً النمو Amo 1618 على نشاط بعض الإنزيمات فى الأوراق النباتية وجد الآتى:

أ ــ أن هناك ٣ أنواع من الإنزيمات يتم تنشيطها بالجبريلين بينما ينقص نشـــاطها بمـــؤخرات النمـــو وهذه الإنزيمات هى malate dehydrogenase & RuBpcase & Amylase.

ب ــ بينما أعطى alanine transferase إستجابة عكسية للإنزيمات الثلاث السابقة.

ج ــ إستجابت ٣ أنواع من الإنزيمات بالزيادة لـــأثرها لكـــل مـــن GA & Amo 1618 وهـــذه إنزيمات هى : Peroxidase و Aspartate transferase و Acid phosphates ويمكن تلخيص النتائج السابقة فى الشكل التالى:

	GA	**AMO1618**
Total amylase	+	-
Acid phosphatase	+	+
Aspartate aminotransferase	+	+
Alanine transferase	-	+
Malate dehydrogenase	+	-
Peroxidase	+	+
Rubcase	+	-
Protein (stimulated by leucine incorporation)	–	-

ويتضح من الجدول أن كل من مؤخرات النمو والجبريلين يؤدى إلى نقـــص المحتـــوى مـــن البروتين وهذا نتيجة زيادة تراكم الأحماض الأمينية الحرة.

٩ ــ بدراسة تأثير GA على المحتوى من صبغات البناء الضوئى ونشاطها فى عملية البناء الضوئى وكذلك البلاستيدات أجمع العديد من العلماء على الآتى:

أ ــ تؤدى المعاملة بالجبريلين إلى حدوث إصفرار chlorosis فى بادرات البسلة والخـــس ويرجـــع ذلك إلى:

١ ــ تنشيط تخليق الكلوروفيل وتنشيط تكوين الكلوروبلاست.

٢ ــ هدم الكلوروفيل وهدم الكلوروبلاست.

٣ ــ تقليل كمية الكلورفيل نتيجة لحدوث تخفيف للكلورفيل حيث يؤدى الجبريلين إلى زيادة فـــى حجم الخلايا وكذلك فى معدل إستطالتها.

٤ ــ تقليل نشاط إنزيم الكلوروفيلليز.

بينما فى بعض التجارب الأخرى لوحظ زيادة فى معدل تخليق الكلوروفيل والكاروتين.

ب ــ تؤدى المعاملة بالجبريلين إلى تنشيط تفاعل الضوء (Hill reation) فى عملية البناء الضـــوئى حيث لوحظت زيادة إنطلاق وتصاعد الأكسجين أثناء التفاعل.

ج ــ يؤدى GA_3 إلى تنشيط تفاعل الظلام **(دورة كالفن)** حيـــث لـــوحظ زيـــادة تثبيـــت CO_2 فـــى البلاستيدات المعزولة.

د ــ زيادة نشاط الإنزيم RuBpcase (رايبولوز ثنائى الفوسفات).

بعض الإختلافات بين الجبريلين والأوكسين

	Auxin	GA
١ ــ الإنتقال القطبى	نعم	لا
٢ ــ تنشيط الجذور العرضية	نعم	لا
٣ ــ منع إستطالة الجذور	نعم	لا
٤ -يؤثر على تساقط الأوراق	نعم	لا
٥ -يمنع البراعم الجانبية	نعم	لا
٦ - ينشط تكوين الكالوس	نعم	لا

٧- ينشط نمـــو النبـــات الكامـــل وخاصـــه القرمزيـــه والأوراق الفلقه الواحده	لا	نعم
٨- ينشط الإنبات ويمنع السكون	لا	نعم
٩- ينشط إستطاله الشمراخ الزهرى فى ذات الحـــولين غير المرتبعه وفى النباتات ذات النهار الطويل	لا	نعم

هل تعمل الجبريلينيات من خلال الأوكسينات

أى هل تعمل الجبريلينات على تشجيع تخليق أو إنتقال أو عمل أو تثبيط الأوكسين فى النبات ؟

فى تجربه على نبات البسلة المتقزمه لوحظ الآتى

- § GA يسبب إستطاله السلاميات بدرجه كبيره عند رشه على النبات
- § IAA عديم الأثر عند رشه للنبات
- § عند فصل سلاميات ساق البسلة فإن إستجابه السلاميات إلى كل من GA& IAA على حـــده تكون طفيفة.
- § عند إضافه IAA + GA معا إلى السلاميات يظهر أثر واضح على إستطاله السلاميات.

<u>لتفسير ذلك:</u>

حمض GA يعتمد على IAA فى إظهار أثره وإن السلاميات المفصولة قـــد تـــم إبعادهـــا عـــن المرستيم القمى وهو مصدر الأوكسين وبإضافة الأوكسين إلى محلول البيئة قد خفـــف مـــن هـــذا النقص . إضافه إلى ذلك فإن النباتات منزوعة القمة لا تستجيب لاستخدام GA .

أثبت العديد من العلماء أن GA ، الأوكسينات مختلفة تماما ويعمل كل منها باستقلاليه تامة عـــن الآخر . حيث لاحظ أن قطع ساق البسلة ذات الشحوب الظلامى تستجيب لكل من IAA& GA كل بمفرده وإستعمالها سويا يؤدى إلى زيادة نسبيه وهذا دليل على أن كل منهم يعمل مستقلا.

لاحظ العلماء أن تأثير GA على إنتقال الكربوهيدرات المخزونة فى الأندوسبرم الموجود بالشعير لا يحتاج إلى توفر أو وجود IAA الداخلى .

يعتقد كثير من الباحثين أن GA ربما يكون له أثر على إنزيم IAA - Oxidase فقد وجد Galston & Mc. Cune (1961) أن معامله نبات البسلة والذرة القزميين بالجبريلين يقلل نشاطه IAA – oxidase فى كلا النباتين وهذه الظاهرة تعمل على حماية المحتوى من IAA .

كما لوحظ العديد من العلماء زيادة المحتوى من IAA فى النبات المعامل بـGA كما أن GA يعمل على الأسراع من تحويل التريتوفان إلى IAA أيضا .

يبدو أن GA &IAA يعملان أما بإستقلال أو مع بعضهم وهذا يعتمد على نوع النبات وظروف نموه ونوع الإستجابه تحت الدراسة .

Anatomical and Biophysical basis of GA- induced Growth

من المعروف أن GA يعمل على إستطالة الساق وخاصة فى العديد من النباتات القزمية وكذلك إستطالة الشمراخ الزهرى فى النباتات ذات الحولين والعديد من النباتات الأخرى التى تحتاج إلى عملية الإرتباع أو الإحتياج الضوئى للإزهار. ومن المعروف أن سبب إكتشاف GA هو الإستطالة الواضحة فى سيقان نبات الأرز.

- الدراسات المبكرة أثبتت أن GA ينشط كل من عملية إنقسام الخلايا وإستطالتها.
- فى ساق الفاصوليا لوحظ أن GA ينشط كل العمليتين ولكن التأثير الأكثر وضوحاً كان على إستطالة الخلايا.
- لوحظ أيضاً فى العديد من التجارب أن الأثر الواضح بعد إستخدام GA هو إستطالة الخلايا سواء خلايا شعيرات الساق أو بارانشيما النسيج الوسطى mesccarp parenchyma للثمار فى الخوخ أو الخلايا المرستيمية فى منطقة العقد لسيقان النجيليات.

- أما الأثر الأكثر وضوحاً نتيجة للمعاملة بالجبريلين كان تنشيط إنقسام الخلايا خاصة فى المناطق Subapical regions لمنطقة المرستيم القمى للنبات القصيرة مثل نبات السكران ونبات البسلة القزمية.
- عموماً تختلف إستجابة الخلايا للمعاملة بالجبريلين حسب عمرها ومكان تواجدها.

ـ حيث لوحظ أن الخلايا المرستيمية الصغيرة تكون إستجابتها بزيادة الإنقسام.

ـ أما الخلايا القديمة ربما تكون إستجابتها فقط بزيادتها فى الإستطالة.

- من التجارب أتضح أيضاً أن GA ليس له دور أساسى فى نمو الجذور.
- أيضاً GA ينشط إستطالة الخلايا مثل الأوكسين حيث تزداد Plasticity ولكن الميكانيكية فى حالة GA تختلف عنها فى حالة الأوكسين ولكنها غير معروفة.

Cytokinins

مـــقدمة

- لاحظ العلماء قديماً أن مستخلص الخميرة بما يحتويه من مواد نشطة تعمـــل علـــى تنشـــيط انقسام الخلايا وأتضح أن هذه المواد النشطة هى الأدنين وهى من البيورينات.
- أكتشف Skoog أن الأدنين يظهر تشجيعاً لإنقسام خلايا نخاع الدخان.
- أكتشف فيما بعد مصادر غنية للبيورينات وهى DNA والتى وجد إنها تحتوى علـــى منشـــط قوى جداً لإنقسام خلايا نخاع الدخان.
- DNA الطازج لم يكن له نشاط فى هذا الشأن إلا أن DNAالمعتق أو المخزن أو المعقم فـــى الأوتوكلاف ينتج مواد نشطة فى إستحثاث إنقسام الخلايا.
- تمكن (1956) Miller من عزل مركب بيورينى من DNA وتوصلوا إلى تركيبة الكيميائى ووجدوه 6- Furfuryl amino purine والذى أطلق عليه أسم Kinetin.

ولقد حاول علماء فسيولوجيا النبات إطلاق أسماء أخرى بدلاً مـــن Kinin مثـــل , cytokinin phytokinin , cytonin وأخيراً تم الإتفاق على تسمية واحدة يتم تداولها لهذه المواد وهذا الإسم هو cytokinin ويطلق على مجموعة المركبات التى تنشط إنقسام الخلايا بالإضافة إلى تأثيرهـــا المـــنظم Regulatory لبعض الوظائف فى نفس الوقت مثل Kinetin.

وكان العالم skoog أول من أكتشف Kinetin وذلك بإستخلاص DNA من الحيوانات المنويـــة للرنجة ثم وضعها فى الأوتوكلاف وبذلك ينفرد Kinetin من DNA. كما أمكن تخليق Kinetin فى المعمل عن طريق خلط adenine مع Furfuryl alcohol وتركها فى الأوتوكلاف لفتـــرة. وبـــذلك أمكن التأكد من إنتاج Kinetin (in vivo) طبيعياً فى النباتات وأيضاً أمكن تخليقه صـــناعياً خـــارج الخلية (in vivo).

وعن إكتشاف cytokinin فى أنسجة النباتات الراقية، فلقد أمكن إستخلاص مـــادة Zeatin مـــن حبوب الذرة غير الناضجة، ومادة BA (Benzl adenine) من ثمار البرقـــوق فـــى بـــدء مراحـــل نموها.

ويلاحظ أم مجموعة البيورين وخاصة الأدينين هى المجموعة الفعالة فى مركبات cytokinins ، إلا أنه أمكن الحصول على بعض المركبات التى لها نفس نشاط cytokinins ولكن لا تحتوى علـــى مجموعة adenine مثل:

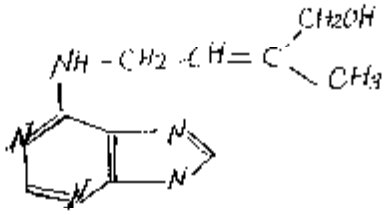
N,N- Diphenyl urea, Benzimidazok and Azakinetin

وعموماً يمكن تخليق السيتوكينين فى الأنسجة المرستيمية أو الأنسجة التى لها القدرة على استعادة النشاط فى النمو فى النباتات الراقية. ولقد أمكن التأكد أن السيتوكينين يتم تخليقه جزئيـــاً (**أى بعـــض السيتوكينين وليس كله**) فى قمم الجذور وينتقل لأعلى النبات عن طريق أوعية الخشب. ولوحظ ذلك فى نباتات عباد الشمس، العنب والدخان. أما معظم السيتوكينين فيتم تخليقه فـــى المجـــوع الخضـــرى للنبات ثم ينتقل إلى أجزاء النبات الأخرى بما فيها الجذر. كما يمكن للسيتوكينينات الإرتبـــاط بنـــواتج عمليات التحول الغذائى داخل النبات وتكوين zeatin glycosides.

- أدى إكتشاف Kinetin إلى تشجيع التخليق الصناعى لمئات المركبات المشـــابهة لـــه إلا أن مركبات الكينتين، البنزيل أدنين ، الزيتين هى الأكثر شـــيوعاً والتـــى تخـــتص بالتـــأثيرات الفسيولوجية للسيتوكينينات . مع ملاحظة أن الكينتين والبنزيل أدنين هى مركبـــات صـــناعية ولا توجد بصورة طبيعية فى الخلايا أما المركب زيتين هو مركب طبيعى يوجد بكثرة أثنـــاء نضج حبوب الذرة وخاصة الصفراء.

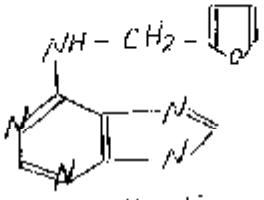
تعتبر كاينيتين السيتوكينين

Cytokinin



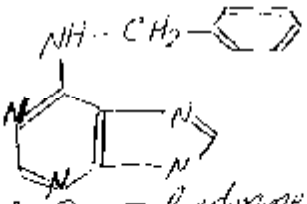
Zeatin

يتم تصنيعه من الذيبوزيد الدايزونة



Kinetin

يوجد بصورة طبيعية في الأنسجة النامية بالإضافة



BA (Benzel adenine)

يوجد بصورة طبيعية في الأنسجة بالإضافة

السيتوكينينات المرتبطة:

- لا يوجد دليل مباشر على إرتباط السيتوكينين مع الأحماض الأمينية أو البيتيدات أو البروتينات كما هو الحال مع الأوكسينات.
- وجد أن Zeatin يرتبط بالجلوكوز فى نبات الفجل Raphanus Sativum وسميت هذه المادة بإسم Raphanatin رافاناتين.
- كما وجد أن Zeatin يرتبط بسكر الرايبوز مكوناً Zeatin riboside

توزيع السيتوكينين فى النبات

- عموما تنتج السيتوكينينات فى المناطق المرستيمية ذات النمو المستمر.
- فى مرحله البادرة وفترة النمو الخضرى يتم تخليق السيتوكينين فى الجذور ثم ينتقل إلى الأجزاء العلوية فى النبات من خلال أوعيه الخشب.
- توجد السيتوكينينات بوفرة فى الجذور ــ الأوراق حديثه التكوين والعمر ــ الثمار النامية.

ــ النشاط الهرمونى للسيتوكينينات الحرة
Hormonal activity of free cytokinins

- يعتبر مركب Dihydrazeatin هو المركب الرئيسى للسيتوكينينات الحرة فى الفاصوليا ولكنه لا يتواجد ضمن تركيب t-RNA فى الفاصوليا.
- بعض النباتات والتى تحتوى على سيتوكينين مرتبط بالحمض النووى RNA وجد أنها تحتاج إلى سيتوكينين خارجى حتى يحدث النمو فى تجارب المعمل.
- وجد أن المستقبل للسيتوكينين فى الخلية عبارة عن allosteric protein والذى يرتبط بالهرمون. (Kende & Gardner1976).

- فى تجارب (Fox&Erion1977) وجد أن السيتوكينين يرتبط بدرجة عالية التخصص بالريبوسومات Ribosomes وتم التأكد من ذلك عند عزل ريبوزومات من القمح. هذا النوع من الإرتباط ربما ينظم عملية تمثيل وتخليق البروتين.

Metabolic Consequences Of the presence of Cytokinins in t-RNA

- من الواضح والمؤكد أن السيتوكينين يمثل شطرا أو حصة من التركيب الجزيئى للحمض النووى t-RNA.
- يتضح من ذلك أن شطر السيتوكينين يلعب دورا هاماً فى وظيفة t-RNA.

Cytokinins in t-RNA:

لوحظ أن السيتوكينين يدخل أساساً فى تركيب t-RNA وأمكن التأكد من وجود نيوكليوتيدات (وهى أساس تركيب السيتوكينين ، فى t-RNA والخاص بالحمض الأمينى tyrosin وذلك فى الخميرة. وفى النباتات الراقية ، عند إجراء عمليه تحليل للحمض النووى RNA وخاصة t-RNA أمكن الحصول على السيتوكينين. ومن ذلك أمكن للعلماء التأكد من تأثير السيتوكينين والداخل فى تركيب t-RNA على حدوث تحوير فى الشفرة الوراثية عن طريق التأثير على anticodon كما أمكن التأكد من تأثير t-RNA على إنتاج نوعيات معينة من الإنزيمات. وفى بعض التجارب على تأثير BA على t-RNA المستخلص من فلقات فول الصويا ، أمكن التأكد أن BA يؤدى إلى حدوث زيادة فى t-RNA والخاص بالحمض الأمينى Leucyl وهذا ناتج عن التأثير على anticodon بواسطة t-RNA.

Some Physiological effects on Seed Plants

كما فى الأوكسينات والجبريلينات والهرمونات الأخرى فإن السيتوكينينات تؤدى إلـــى عـــدة تأثيرات فسيولوجية مختلفة فى النباتات البذرية. وسوف نتناول أهم تلك التأثيرات.

تأثير الأوكسينات والسيتوكينين على التكوين الشكلى فى كالوس أنسجة الدخان:

1- Effect of auxins and cytokinins on morphogenesis in tobacco callus tissues

من البحوث التى أجراها (١٩٥٧) Skoog & Miller أتضح أنه لكى نتحكم فـــى تكـــوين البـــراعم والجذور من النخاع لابد من إضافة كميات متوازنة بالتداخل بين الأوكسين والســـيتوكينين. وبـــالتحكم فى النسبة بين الأوكسين والكينتين يمكننا بنجاح توجيه النمو نحو تكوين البراعم أو تكوين الجذور.

وأثناء عملية التكوين يمكن، تغيير النسبة بين كل من IAA & Kinetin دفع النسيج المنمى لتكـــوين زيادة من البراعم أو الجذور (Skoog, 1978).

تأثير السيتوكينين على نمو الأوراق والشيخوخة:

2- Effect of cytokinins on leaf growth and Senescence:

* من أهم مظاهر الشيخوخة فى الأوراق النباتية هو نقص فى المحتوى مـــن البـــروتين والأحمـــاض النووية والاصفرار غير العكسى نتيجة لفقد الكلوروفيل وكذلك زيادة معدل الهدم عن معدل البنـــاء ـــ إنتقال الذائبات من الأوراق القديمة إلى الأجزاء النباتية الأخرى ـــ نقص واضح فى كل من عمليتـــى البناء الضوئى وكذلك التنفس ـــ زيادة نفاذية الأغشية ـــ هدم وتكسير Polyribosomes ـــ وكـــذلك تحدث تأثيرات ضارة للنواه.

ومن المعروف أن ألأوراق السفلى فى النبات تدخل فى طور الشيخوخة وتسقط وتعتبر عضو غير فعال فى النبات من حيث عملية البناء الضوئى وذلك لحدوث تظليل عليها من الأوراق الأعلى.

وعند فصل أوراق النبات ووضعها فى الماء بحيث يلامس الجزء القاعدى للورقة، لوحظ أن الورقة تدخل فى طور الشيخوخة بسرعة. وإذا حدث تكوين جذور عرضية للأوراق المفصولة فإن ذلك يؤخر من دخولها فى طور الشيخوخة لأن السيتوكينين يتكون فى قمم الجذور وينتقل خلال أوعية الخشب إلى الورقة. كما لوحظ أن البروتين فى الأوراق المفصولة والتى ليس لها القدرة على تكوين جذور عرضية يكون أقل من النصف فى خلال أيام قليلة. ونفس هذه الظاهرة تحدث لأقراص الأوراق الموضوعة فى الماء فى أطباق بترى.

أكتشف Lang (1957) أن الكينتين يؤدى إلى تأخير حدوث الشيخوخة فى أوراق الشبيط Xanthium المفصولة. Mothes (1959) وجد أن رش الكينتين مباشرة على الأوراق كان له تأثيراً موضعياً بمعنى أن الأجزاء التى تم رشها أصبحت خضراء والأجزاء الصفراء المعاملة أصبحت خضراء تدريجياً.

ومن التجارب التى أجريت لمعرفة ميكانيكية تأثير الكينتين أمكن معرفة أن الكينتين أدى إلى حدوث إنتقال نواتج التحولات الغذائية metabolites من الأجزاء غير المعاملة بالهرمون إلى الأجزاء المعاملة من الأوراق.

ولتأييد هذا البحث قام العالمان Leopold and Kawase, 1964 بإجراء بحث فى منتهى الأهمية عن دور الكينتين فى النمو والشيخوخة، حيث إستخدم نبات منزوع منه الجذر **(فرع نباتى)** من بادرة نبات فاصوليا وتمت المعاملة بواسطة Benzyl adenine فوجد العلماء أن (BA) يشجع

نمو الأوراق السليمة والحديثة. كذلك كان للمعاملة تأثير موضعى فـــى تـــأخير الشـــيخوخة لـــلأوراق الكبيرة والمعاملة. أيضاً لوحظ أنه عند معاملة ورقة واحدة من الفرع النباتى بالسيتوكينين فـــإن ذلـــك يؤدى إلى تثبيط النمو وإسراع الشيخوخة للأوراق الأخرى على الفرع والغير معاملة بالسيتوكينين.

* لوحظ عند نمو البراعم الموجودة على الأوراق المسنه والمعرضة للشيخوخة والتساقط فإنـــه عنـــد نمو البراعم وتكوين الجذور العرضية فإن الأوراق لا تسقط والسبب فى ذلك هو تخليق الســـيتوكينين فى الجذور وإنتشارة فى أوعية الخشب إلى الورقة مما يمنع تساقطها أو حدوث الشيخوخة.

* لوحظ أن المعاملة بالكينتين BA ومشتقات السيتوكينينات الأخرى تؤخر حـــدوث الشـــيخوخة فـــى الأوراق المفصولة من النبات وذلك فى العديد من الأنواع النباتيـــة. وإذا كانـــت الأوراق المفصـــولة حديثة التكوين (صغيرة) فإن السيتوكينين ينشط نمو الأوراق.

* لاحظ العالم Mothes أن رش الكينتين مباشرة على الأوراق يكون تـــأثيرة موضـــعياً والمنـــاطق المعاملة من الورقة أصبحت أكثر إخضراراً.

* فى تجربة تم الرش بأحماض أمينية بها كربون مشع وكذلك كينتين عادى ليس بـــه كربـــون مشـــع فلوحظ تجمع تلك الأحماض الأمينية فى المناطق المعاملة بالكينتين فى الورقة ويمكن تفسير ذلك بـــأن السيتوكينين يؤدى إلى تحريك وإنتقال الذائبات ونواتج التحول الغذائى مـــن المنـــاطق المعاملـــة مـــن الورقة وبذلك تعمل على إستبقاء الكلوروفيل وتراكمه فى مناطق تراكم السيتوكينينات.

<u>دور السيتوكينين والأوكسين فى السيادة القمية:</u>

3- Role of cytokinins and Auxins in apical dominance:

- السيادة القمية للبرعم الطرفى (**القمى**) على البراعم الإبطية ومنعها من النمو قد تكون قويـــة جداً فى بعض النباتات مثل عباد الشمس والبسلة وقد تكـــون ضـــعيفة كمـــا فـــى الطمـــاطم والبطاطس حيث يزداد التفرع.

- التفسير الواضح للسيادة القمية غير معروف حتى الآن ولكن هناك بعض الإجتهادات ومنها ما أقترحه العلماء Thimann & Sachs حيث أوضحوا أن السيادة القمية تكون نتيجة للتضاد بين السيتوكينين والأوكسين حيث يتم إنتاج auxins فى قمة الساق وينتقل قاعدياً قطبياً وبذلك يتم تثبيط البراعم الجانبية نتيجة للتركيز المرتفع للأوكسين وهذا التأثير يضاد بواسطة السيتوكينين الذى يخلق فى البراعم المتوقفة عن النشاط والتى ينتقل جزء منها **(السيتوكينين)** خارج البرعم إلى الأوعية الخشبية.

ويمكن تفسير ميكانيكية حدوث التثبيط أو التنشيط للبراعم الإبطية نتيجة لتأثير الأوكسين الناتج من السيادة القمية أو السيتوكينين من خلال تأثيرهما على تكشف أنسجة الأوعية الخشبية بين البراعم الإبطية والساق الرئيسية.

وأظهرت الدراسات التشريحية فى البراعم الإبطية المثبطة أنه ينقص وجود الأوعية الخشبية النامية والمتكشفة والتى تربط بين البرعم وأوعية الساق الرئيسية.

وهده الدراسات التشريحية أثبتت أن البراعم الإبطية المثبطة تعانى من نقص واضح فى الإمداد بنواتج التمثيل الغذائى وهذا دليل واضح لتفسير هذه الظاهرة.

ولقد أدى فصل القمة الطرفية **(البرعم الطرفى)** من قمة الساق الخضرية إلى سرعة نمو وتكوين الأوعية الخشبية والتى تربط بين البرعم الإبطى والأوعية الخشبية للساق الرئيسية. وإذا أضيف الأوكسين مرة أخرى إلى قمة الساق منزوعة البرعم الطرفى فإن ذلك يؤدى إلى تثبيط تكوين الأوعية الخشبية الرابطة بين البرعم والساق. أما إضافة السيتوكينين موضعياً للبرعم الإبطى، فإن ذلك يؤدى إلى تنشيط تكشف الأوعية الخشبية الرابطة بين البرعم والساق.

- فى تجربة Wickson & Thimann عن دراستهما على الفعل المشترك لكل من Kinetin & IAA على السيادة القمية أن نمو البراعم الجانبية فى قطع سيقان البسلة قد تم تثبيطها عند وضعها فى مزرعة تحتوى على IAA ولم يحدث هذا التثبيط عند إضافة IAA + Kinetin بل حدث نشاط للبراعم الجانبية.
- فى تجربة أخرى للعالمين السابقين عند وضع غصن كامل فى محلول Kinetin فإن فعل البرعم الطرفى يزول إلى حد كبير.
- فى قطع جذور نبات العليق وجد أن Kinetin ينشط البراعم الأولية.
- مما سبق يمكن القول أن السيادة القمية تُحكم بالتوازن والإتزان بين التركيزات الداخلية لكل من Cytokinins & IAA.
- أقترح العالمان Cytokinins يحتمل أن يكون لها تأثير مثبط على تخليق إنزيم IAA – Oxidase وبمعنى أخر فإن Cytokinins يثبط تحلل IAA أى تحدث زيادة فى تركيز المحتوى من IAA فى البراعم الجانبية وربما يؤدى ذلك إلى تحفيز نشاطها.
- يحتمل أن يكون فعلها (**السيتوكينين**) فى البراعم الجانبية هو تحفيز سرعة إنتقال المغذيات إلى البراعم وكذلك مواد نمو أخرى وفيتامينات وعناصر معدنية غذائية لازمة لنمو تلك البراعم.

4- Translocation of cytokinins:

هناك تعارض واضح فى الآراء والنتائج التى تتناول عملية إنتقال السيتوكينين فى النبات:

* فمن ناحية نجد نتائج غزيرة عن معاملة أوراق النبات بالسيتوكينين وكذلك معاملة الساق والبراعم. وأظهرت النتائج أن حركة السيتوكينين من مكان المعاملة كان قليلاً جداً. ويتميز السيتوكينين فى أنسجة النبات بالثبات النسبى Relative immobility.

ــ وقد لوحظ أنه عند المعاملة الموضعية بالسيتوكينين على جزء من ورقة نبات، فإن ذلك يؤدى إلى تأخير الشيخوخة فى هذا الجزء المعامل من الورقة. ويعمل السيتوكينين على خلق مستقبل لنواتج التمثيل الغذائى حيث يساعد على إنتقال هذه المواد الغذائية من الأجزاء الغير معاملة بالسيتوكينين ــ وقد يكون هذا الإنتقال من الأوراق الأخرى ــ إلى الجزء من الورقة والمعامل بالسيتوكينين.

* ومن ناحية أخرى أمكن التأكد من إحتواء العصارة فى أوعية الخشب وكذلك اللحاء على السيتوكينين. ولقد أمكن التأكد من ذلك عندما تم إكتشاف السيتوكينين فى عصارة الخشب المتجهة إلى أعلى فى النبات وخاصة فى النباتات التى نزعت فيها قمم الجذور.

ــ ولقد وجد أن Cytokinin – glycosides موجودة فى عصير أوعية اللحاء. ويتحرك السيتوكينين سلبياً Passively مع العصارة وباقى المكونات فى الأوعية الناقلة. ويتحرك السيتوكينين من المصدر إلى المستقبل فى الأنسجة النباتية والمستقبل فى هذه الحالة هو الأنسجة المرستيمية أو التى لها القدرة على معاودة النشاط فى الإنقسام. ومن أمثلة مستقبلات السيتوكينين: الأوراق الحديثة الصغيرة ، البراعم ، المرستيمات البنية الحديثة والبذور والثمار أثناء تكونها. وهذه الأجزاء النباتية تعتبر فى نفس الوقت مراكز لإنتاج السيتوكينين، فإنهم يعاملون تلك الأجزاء المذكورة سابقاً. وهى فى نفس الوقت تعتبر مستقبلات السيتوكينين لأنها الأجزاء الأكثر حساسية للسيتوكينين من أى أجزاء أخرى فى النبات.

إنبات بذور الخس:

5- Lettuce seed Germination

الضوء الأحمر يشجع إنبات بذور الخس بينما الأحمر البعيد Far-Red يثبط إنباتها وأمكن إستخدام الكينتين للتغلب على الفعل المثبط للضوء الأحمر البعيد ويصبح التأثير كما لو تمت المعاملة بالضوء الأحمر Red.

إنتقال المغذيات والمواد العضوية:

6- Translocation of nutrients and organic substances:

- فى تجارب Englebrecht & Sutte and Mathes أثبتوا أن الكينتين يسبب إنتقال النيتروجين الذائب من أوراق نبات الدخان إلى أماكن أخرى على نفس النبات.

_ كما لاحظوا أيضاً أن الحمض الأمينى جليسين المعلم **(به ذرة كربون مشع)** والموجود فى جزء معين من نصل الورقة قد أنتقل إلى جزء أخر من الورقة سبق رشه بالكينتين.

- أفترض الباحثين أن الأوراق النشطة فسيولوجياً وكذلك البراعم تحتوى على تركيزات عالية من السيتوكينينات وهذه تعمل على سريان وتدفق المغذيات بإستمرار أى يتم سحب هذه المغذيات إلى القمم النامية والأوراق الحديثة أثناء طور النمو الخضرى.

ـ أما عند نضج الأوراق فإنها تفقد مقدرتها على إنتاج وتراكم السيتوكينينات وبذلك تحدث التغيرات فى بناء كل من RNA والبروتين والكلوروفيل.

- يبدو أن الشيخوخة وفقد الكلوروفيل ونقص السيتوكينين فى الأوراق الكبيرة القديمة تتعلق وترتبط بنمو الأوراق الصغيرة المتفتحة حديثة العمر والتى يتراكم بها السيتوكينين والمغذيات الضرورية.
- لوحظ أثناء طور النضج اللبنى لحبوب الذرة تراكم Cytokinins بتركيزات أعلى بكثير جداً من السيقان وهذا التركيز المرتفع من السيتوكينين يتسبب فى نقل المغذيات من المناطق الخضرية للنبات إلى أغماكن التخزين (**الحبوب**).
-

Mechanism of action

- فى تجارب على لبن ثمره جوز الهند ، لوحظ أنه كما فى حاله المعاملة بالأوكسين أو الجبريلين فإن الكينيتين تسبب فى زيادة تخليق RNA وكذلك يقوم بدور تنظيمى لعمليه إنسياب RNA للسيتوبلازم.
- ولقد أعزى تنشيط النمو بسبب المعاملة بالكينتين إلى الزيادة الكبيرة فى المحتوى من t-RNA وكان ذلك متبوعا بنشاط فى تخليق البروتين.
- وبالإضافة إلى تأثيرات Cytokinin على الأحماض النووية وتخليق البروتين فإن هذا الهرمون يؤدى إلى حدوث بعض التغيرات فى تخليق الهرمونات الأخرى. فلقد وجد Skoog and Armstrong (1970) أن المعاملة بالسيتوكينين أدت إلى حدوث زيادة فى المحتوى من الأوكسين . كما أثبت Loveys & Warieng (1971) زيادة الجبريلين GA نتيجة المعاملة بالسيتوكينين. وكذلك وجد العلماء Fuchs and Lieberman(1968) زيادة فى المحتوى من Ethylene نتيجة المعاملة بالسيتوكينين.

<u>بعض التطبيقات العملية للكينتين:</u>

١ ــ من المعروف أن Kinetin يثبط السيادة القمية وينشط تكوين البراعم الجانبية فى الورد الذى له أهميه تجارية كبيره.

٢ ــ السيتوكينين مركبات لها القدرة على إنهاء طور الراحة عندما تكون إحتياجات البرودة أثناء الشتاء غير كافيه. فقد أمكن معامله نبات الخوخ فى نوفمبر وديسمبر ويناير ومنتصف فبراير بتركيزات ١٠٠ ــ ٢٠٠ ملليجرام/لتر فأدى ذلك للحصول على نتائج جيدة.

٣ ــ إستخدم Kinetin بتركيزات أقل من ١٠٠ مجم/لتر، أدت إلى مضاعفه عدد الحبات فى عنقود العنب النباتى.

٤ - أمكن الحصول على ثمار مانجو عديمة البذور بإستعمال مخاليط من:

Kinetin + Naphthoxy acetic acid + GA

250 + 10 + 250 mg/L

ولقد أدى ذلك إلى الحصول على ثمار الجنين بها مختزل داخل الغطاء البذرى الرقيــق وأدى ذلك أيضا إلى زيادة محتويات اللحم فى الثمرة وكذلك السكريات الذائبة والمختزلة.

٥ - نظرا لأن الكينتين يعمل على الإحتفاظ بماده الكلوروفيل فى المســاحات ألمعاملــه فقــد أمكــن إستخدام الكينتين للمحافظة على إخضرار المحاصيل الورقية والخيار بالمعاملة بالكينتين بتركيــز ١٠-١ جزء فى المليون وأدى ذلك إلى تقليل التنفس أيضاً.

Ethylene

- لم ينظر أحد إلى هذا المركب العضوى البسيط على أنه هرمون إلا حديثاً. ولقد وجد أن الإثيلين يخلق فى جميع الأنسجة النباتية ويؤثر فسيولوجيا وبتركيزات ضئيلة جداً.
- وأثبتت الأبحاث أن الإثيلين له دور منظم لكثير من العمليات الفسيولوجية فى جميع مراحل نمو النبات منذ إنبات البذرة إلى أن يدخل النبات فى دور الشيخوخة ويموت.
- فمثلاً، وجد أن الإثيلين يؤثر على إنبات البذور ونمو البادرات ويؤثر على دور السكون فى بعض البذور والبراعم. أيضاً له القدرة على تشجيع تكوين ونمو الجذور والشعيرات الجذرية إلا أنه يثبط إستطالة الجذور. وللإثيلين دور كذلك فى تساقط الأوراق.
- يتداخل الإثيلين مع الأوكسين وإنتقالة وبالتالى يؤثر ذلك على الإنتحاء الأرضى والضوئى والسيادة القمية، يشجع الإزهار فى بعض النباتات ويثبطه فى بعضها الآخر، يعمل على تغيير النسبة الجنسية فى الأزهار حيث يزيد من عدد الأزهار المؤنثة على حساب المذكرة فى القرعيات، يسرع من دخول النبات فى طور الشيخوخة ، يزيد معدل التنفس ونفاذيه الأغشية الخلوية، يتحكم فى النضج الطبيعى لكثير من الثمار، يثبط من إنقسام الخلايا ويزيد من تمدد الخلايا جانبياً.

Ethylene and fruit ripening:

- لقد وجد أن الأوكسين ضرورى جداً لعمل الإثيلين بينما CO_2 يعمل على تثبيط نشاط الإثيلين. ولقد لوحظت عدة تغيرات تحدث للثمار اللحمية أثناء النضج وهذه التغيرات هى:

١ - الليونه Softening

٢ - تحلل المواد المخزنة Hydrolysis of storage material

٣ - تغير فى الصبغات والطعم Changes in pigmentation & flavor

٤ - تغيير فى معدل التنفس Changes in respiration rate

ــ ولقد لوحظ أن الإثيلين ينتج بكميات كبيره أثناء النضج الطبيعى للثمار. ولقد أدت المعاملة بالإثيلين تؤدى إلى التبكير فى النضج والإسراع منه. ولقد وجدت علاقة بين وقت حدوث قمة إنتاج الإثيلين فى أنسجه الثمار وبين وصول معدل التنفس إلى القمة.

Interaction in between auxin and Ethylene

وجد Zimmerman (1935) أن المعاملة الخارجية بالأوكسين تنشط إنتاج الإثيلين فى نباتات عديدة. وحديثاً قام العلماء بالعديد من التجارب وتمت معاملة النباتات بتركيزات فسيولوجية من IAA وكذلك أوكسينات أخرى وكانت النتيجة هى تنشيط تكوين الإثيلين فى كل من الجذور ، السيقان ، الأزهار ، الثمار والأوراق .

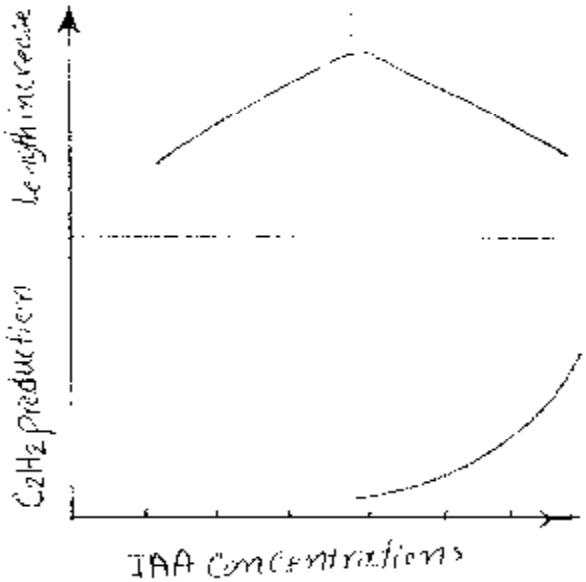
وقد لوحظ أن إستجابه الأنسجة النباتية للمعاملة بالأوكسين تختلف بإختلاف التركيز المستخدم فى المعاملة. وفى معظم الحالات فإن التركيز الأمثل للأوكسين هو التركيز المنخفض وهو منشط بينما التركيز المرتفع من الأوكسين يصبح مثبطاً. ولم يعرف السبب فى أن التركيز المرتفع من الأوكسين يعتبر مثبطا وظل السبب غير معلوم لمده طويلة جداً.

ولكن Burg (1966) وجد أن إستخدام التركيزات المرتفعة من الأوكسين تؤدى إلى إنتاج الإثيلين وهذا بدوره يؤدى إلى تثبيط النمو. ولوحظ ذلك فى تجارب على قطاعات ساق البسلة ، قطاعات ساق عباد الشمس وكذلك فى تجارب على الجذور.

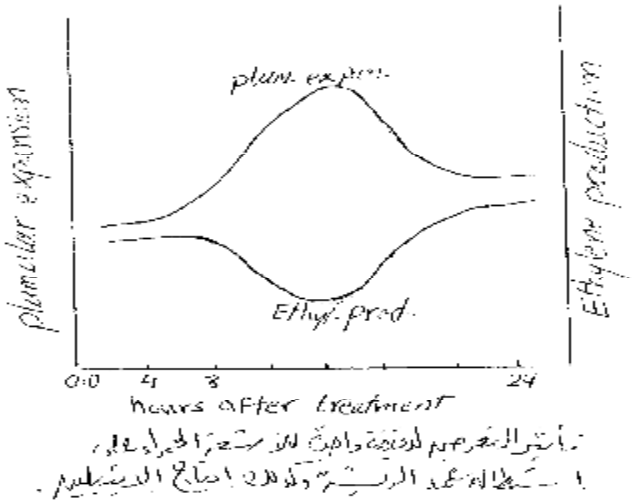
كما وجد العلماء أيضاً أن تركيز الإثيلين يزيد فى المناطق التى تحتوى على كمية من الأوكسين أكبر من التركيز الطبيعى مثل الجانب السفلى من البادرات فى حالة الانتحاء الأرضى والجانب المظلم منها فى حاله الإنتحاء الضوئى. كما أثبت العلماء أيضاً أن التأثير المانع للنمو فى حالة التركيزات المرتفعة للأوكسين يرجع إلى زيادة إنتاج الإثيلين من الأنسجة المعاملة.

يلاحظ فى هذا الشكل التوضيحى أنه عند إستخدام التركيزات المرتفعة من الأوكسين والتى تعتبر مثبطه للنمو يبدأ إنتاج الإثيلين وهو المثبط للنمو.

Interaction between
auxin and ethylene



عند استخدام الكلزات المرتفعة من الأوكسين والتي
تعتبر منشطة لعملية إصناع الإيثيلين وهو
منشط للنمو



ولكن يجب الإشارة إلى وجود إختلافات عديدة فى الإستجابه الفسيولوجية والكيماوية بين الأوكسينات والأثيلين وأنه لا يجب تفسير جميع تأثيرات الأوكسين على أنها تتم من خلال زيادة إنتاج الإثيلين Abeles (1972).

Inhibition of root growth and role in root geotropism

ـ من المعروف أن الجذور حساسة جداً للأوكسينات وكذلك من المعروف أن التركيزات المثبطة لنمو الجذور تعتبر فى نفس الوقت منشطه لنمو الساق. وأن التركيزات المثبطة لنمو الجذر كانت

مرتبطة بإنتاج الإثيلين وهذا هو السبب فى تثبيط نمو الجذر وأثبتت هذه الظاهرة بواسطة التجارب التى أجرها العلماء Chadwick and Burg (1970).

قد يعتبر أن الإثيلين هو المادة المؤثرة مباشره فى حدوث ظاهره الإنتحاء الأرضى فى الجذور وأن تأثيره قد يكون أكثر من تأثير الأوكسين. وهذه الظاهرة فى الجذر فقط ولا يمكن تطبيقها على الساق.

طبقا لنظريه Cholodny-Went الخاصة بالإنتحاء الأرضى، نلاحظ أن الإنتحاء يكون نتيجة لعدم التماثل فى توزيع الأوكسين الداخلى تحت تأثير الجاذبية الأرضية وتصل النسبة فى المحتوى من الأوكسين الداخلى إلى ٣٠ جزء أوكسين داخلى فى النصف العلوى إلى ٧٠ جزء أوكسين داخلى فى النصف السفلى من الجذر. وبما أن الجذر حساس لتركيز الأوكسين ، فنجد أن الأوكسين فى الشطر العلوى للجذر يكون منشطا بينما فى الشطر السفلى يكون تأثيره مثبطا لأنه مركز وبالتالى ينحنى الجذر ويتجه فى نموه نحو الجاذبية الأرضية ، يمكن تفسير هذه الظاهرة من خلال الإثيلين حيث يزداد تركيزه فى السطح السفلى أو الشطر السفلى ــ والذى يزداد فيه تركيز الأوكسين. وبالتالى يحدث تثبيط فى النمو للشطر السفلى من الجذر بينما يحدث تنشيط للنمو فى الشطر العلوى من الجذر.

ولكن يجب عدم الحسم أو الحسم أو الجزم على أن التثبيط فى الشطر السفلى من الجذر **(فى الإنتحاء الأرضى)** يكون راجعاً للإثيلين والذى ينتج من تأثير التركيز المرتفع للأوكسين.

ولكن هناك إعتراضات شديدة وقاسية لنظرية Cholodny-Went وهذه الإعترضات كانت على مستويين هما :

(١) قام العديد من الباحثين بإجراء تجارب على الإنتحاء الأرضى للجذر ولم يكشف أن هناك فاروق فى تركيز IAA بين كل من الشطرين العلوى والسفلى للجذر.

(٢) هناك دليل واضح على إشتراك واحد أو أكثر من مثبطات مثل ABA ومن المعروف أن ABA موجود فى قلنسوه الجذر ويمكن أن يتحرك قاعديا ويعاد توزيعه فى منطقه الإستطاله بالجذر وبالتالى يحدث تثبيط لنمو خلايا منطقه الإستطاله. ومما يفيد هذا الرأى أن ABA يتكون فقط فى Root Cap **(قلنسوه الجذر)** ويتحرك جانبا فقط فى قلنسوه الجذر ولا ينتقل جانبيا فى منطقه الإستطاله. ومن خلال وجهة النظر هذه يمكن القول بأن دور IAA وتأثيره على إنتاج الإثيلين فى الجذر يعتبر فى الوقت الحالى أمرا مشكوكا به.

Role in emergence of. Dicot, seedlings:

حماية قمة الساق **(الريشة)** الطرية من التلف أثناء الإنبات والظهور فوق سطح التربة هو من أهم ملامح وصفات النباتات الراقية.

فى النباتات أرضيه الإنبات نجد أن السويقة الجنينيه السفلى لا تستطيل بينما تستطيل الريشة وتنحنى قرب الطرف ثم تقوم قمة الساق بدفع سطح التربة ، هذا الإنحناء يعمل على حماية قمة الساق (الريشة). بينما فى الإنبات الهوائى يلاحظ إستطاله السويقة تحت الفلقيه وهذه تدفع قمة الريشة إلى أعلى سطح التربة وهذا يؤدى إلى حماية قمة الريشة.

ويمكن القول أن للإثيلين دخلاً فى هذه العمليات. ففى حاله البادرات الشاحبة للبسلة etiolated pea seeding ، وجد أن هناك إنتاج للإثيلين فى مناطق محدده فى الريشة فى حالة الإنبات الأرضى أو السويقة تحت الفلقيه فى حالة الإنبات الهوائى. وقد لوحظ أن كميه الإثيلين

المنتجة لها تأثير فسيولوجى على الأنسجة ولها القدرة على إحداث إستطاله السويقة السفلى فى البادرات الشاحبة. لوحظ أن تعرض هذه البادرات الشاحبة للضوء الأبيض ، يؤدى إلى نقص إنتاج الإثيلين فى السويقة السفلى.

وفى تجارب على إستخدام الأطوال الموجيه المختلفة وتأثير على إستطاله السويقه تحت الفلقيه ، وجد أن الضوء الأحمر (660nm) هو أكثرها فاعليه بينما الضوء الأحمر البعيد (730nm) يلغى تماما أثر الضوء الأحمر.

من هذه التجارب أمكن التوصل إلى أن هناك علاقة قوية بين ميكانيكية تأثير الإثيلين وإنتاجه وبين صبغه الفيتوكروم. وأن الإثيلين كهرمون يعمل على التحكم فى عمل صبغه الفيتوكروم وتحكمها وبالتالى فى إستطاله السويقه تحت الفلقية.

وقد لاحظ كثير من العلماء أن الإثيلين الناتج من البادرات نفسها ينظم نمو البادرة وزيادة حجم الأوراق الصغيرة ولو أنها علاقة عكسية بمعنى أن إنحفاض معدل تخليقه حيوياً يكون مصحوباً بزيادة معدل النمو (Holm, 1968).

وللإثيلين تأثير آخر فى فتره نمو البادرة وهو تنظيمه للنمو العرضى Radial expansion للأنسجة الواقعة تحت منطقه الأوراق. وأفترض (Goesch (1966) ،أن الإثيلين يساعد البادرات على تحمل الضغط الواقع عليها من حبيبات ألتربه أثناء الإنبات وذلك بزيادة سمكها وبالتالى زيادة قوتها الميكانيكية والتقليل من ضرر الإحتكاك بحبيبات التربة.

Effect of ethyleneon planes of cell expansion:

تؤدى المعاملة بالإثيلين إلى حدوث Radial swelling أى زيادة فى السمك وذلك نتيجة لزيادة إستطاله الخلايا لكن فى الاتجاه الأفقي (**القطرى**) وليس فى الإتجاه الطولى. ومما يجدر بالذكر أن

هرمون الإثيلين يعمل على إعادة توجيه لويفات السليلوز الدقيقة ووضعها بطريق معينه فـــى الجـــدار الخلوى . والوضع الجديد هذا والخاص باللويفات السليلوزيه الدقيقة هو وضع أفقـــى بالنســـبة للخليـــة وليس كالوضع العادى للويفات السليلوز فى الجدار الخلوى. وهذا الوضع يؤدى إلـــى تقييـــد أو منـــع إستطاله الخلايا بينما يسمح بالنمو العرضى أو النمو الجانبى **(زيادة السمك)** (Moor, 1969)

وقد لاحظ Burg (1967) أن الإثيلين يزيد من سمك القشرة والبشرة فى جذور بادرات البســـلة. وفى دراسة للعالم Hillman (1969) وجد أن الإثيلين يمنع النمو الطولى ويزيد مـــن ســـمك خلايـــا الأجزاء النامية لنبات البطاطس. وتفسير هذه الإستجابه على أساس أن الإثيلـــين يعـــدل مـــن طبيعـــة وخواص جدر الخلايا وإتجاه الألياف السليلوزيه بالتمدد فى الإتجاه الأفقى من الإتجاه الرأسى الطبيعى (Burg, 1971)

وقد أفترض Marinos (1960) أن الإثيلين يشجع على تخليق إنزيمات محلله تعمـــل علـــى تحليل المواد السليلوزيه والبكتينيه فى جدر الخلايا مما يجعلها أكثر مرونة.

Other effects of ethylene:

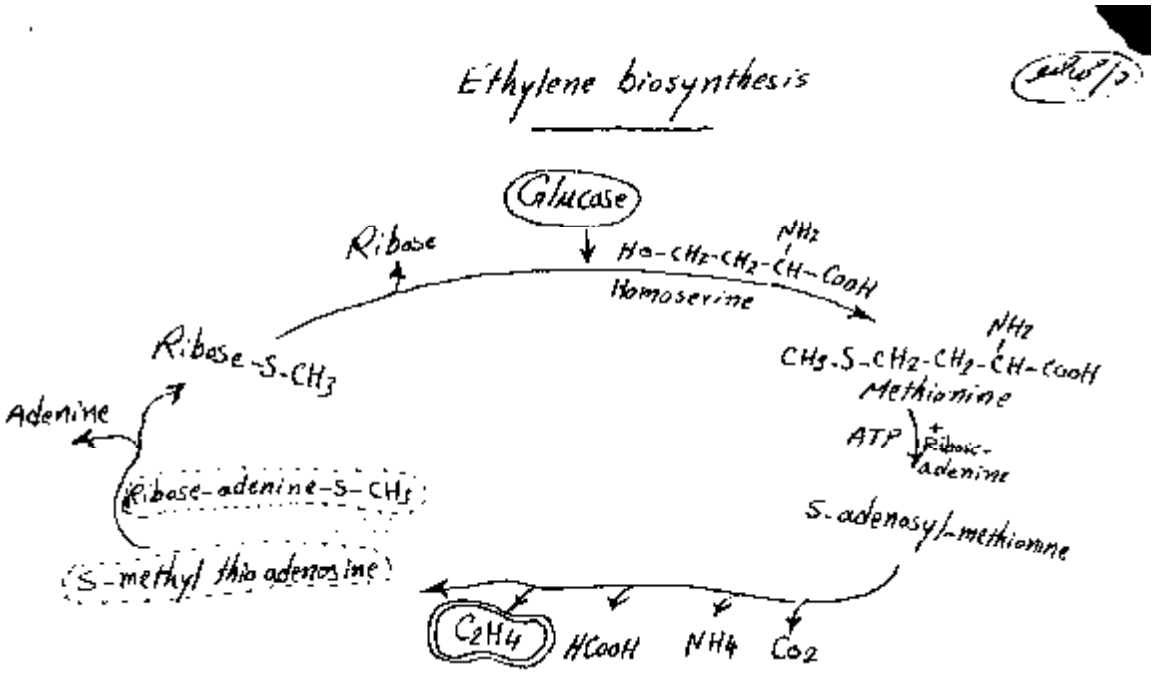
- توجد العديد من التأثيرات الفسيولوجية لهرمون الإثيلين ومن التأثيرات الهامة إقتصـــادياً هـــو تنشيطه لإزهار المانجو والأناناس. لوحظ أن رش حقول الأناناس بواســـطة NAA يشـــجع الإزهار بينما NAA هو فى نفس الوقت مشجع قوى لتخليق الإثيلين المؤثر فى هذا الشأن.
- ومن الظواهر الأخرى التى تستجيب وتنشط نتيجة المعاملة بالإثيلين هـــى تســـاقط الأوراق. وتلك الظاهرة تنشط أيضا نتيجة المعاملة ببعض المواد الكيماوية والتـــى تســـمى مســـقطات الأوراق ومنها بعض الأوكسينات والتى تعتبر مبيدات حشائش مثل 2,4-D وتأثيرها كتـــأثير المعاملة بالإثيلين من الخارج.

- وفى ظاهره تساقط الأوراق تم التأكد من أنه ليس الإثيلين الداخلى فقط هــو المســئول عــن حدوث عمليه التساقط ولكن هرمونات أخرى وأكثر أهميه لها دخل كبير فــى حــدوث هــذه العملية مثل الأوكسينات ، الجبريلينات ، السيتوكينينات .
- وأمكن تصنيع ماده كيماويه تجاريا يمكن بها معامله النباتات وهذه تتحلــل داخــل الأنســجة النباتية وينفرد منها الإثيلين وتسمى هذه المادة Ethrel أو ethephon

(2-chloroethyl phosphonic acid) ، والذى من خواصه أنه محلول ثابت فى الوسط الحامضى وعند دخوله إلى الأنسجة النباتية وهى أقل حموضة يتحلل إلى غاز الإثيلين وأيون الكلور والفسفور.

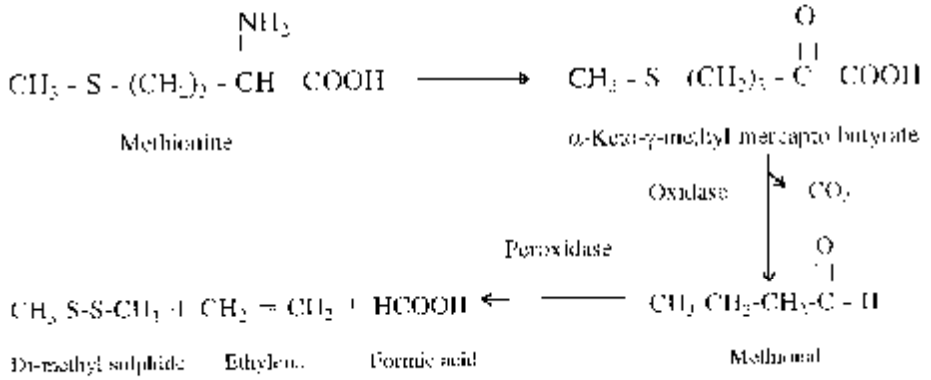
$$Cl - CH2 - CH2 - P(=O)-O \longrightarrow Cl^- + CH2 = CH2 + H2PO^-_4$$
$$O \quad H_2O$$

وأيضاً المادة β-hydroxy ethyl hydrazine تؤدى نفس الدور الــذى تقــدم بــه مــادة ethephon..



Proposed scheme of methionine metabolism in relation to ethylene biosynthesis in apple (Redrawn ,1977).

وهناك مسار آخر يتم من خلاله إنتاج الإثيلين في الأنسجة النباتية و المصدر أيضا في هذا المسار هو الحمض الأميني ميثونين. و أوضح هذا المسار العالم (1975) Leopold



(After Leopold, 1975)

ـــ من الملاحظ أن المادة الأساسية لتخليق الإثيلين هى الحمـــض الأمينـــى مثيـــونين ولـــو أن هنـــاك

إقتراحات أخرى، فمثلاً قد يكون المصدر مواد أخرى بالإضافة إلى الميثونين مثل الأحماض الدهنية Linolenic كما فى حالة بذور الخروع أثناء الإنبات. ولوحظ أيضاً أن Lipoxidase مرتبط أيضاً بتكوين الإثيلين فى التفاح. أيضاً قد يكون الحمض الأمينى B- alanine يؤدى إلى زيادة تخليق الإثيلين فى وجود مستخلص بعض الأنسجة.

ـ وينتقل الإثيلين عن طريق الإنتشار وذلك لصغر الحجم الجزئى وسرعة ذوبانه فى الماء والغرويات.

ـ والمواد الآتية تنشط تخليق الإثيلين وتساعد أيضاً على حدوث التساقط:

Iodoacatate – cycloheximide – Ascorbic acide

Mode of action:

تنحصر ميكانيكية عمل هرمون الإثيلين فى ثلاث نظريات هى:

١ ـ أن الإثيلين يهاجم بعض مواقع البروتين metaloprotein فى الخلية وهذه المواقع يكون لها دور فى العملية التنظيمية فى الخلية.

٢ ـ يظهر نشاط الإثيلين من خلال مهاجمته لطبقات الأغشية فى الخلية مؤثراً على نشاطها بالتغييرات أو بالإفساد.

٣ ـ أن للإثيلين دور فى تنظيم العمليات الحيوية فى الخلية من خلال تأثيرة على RNA وبالتالى على نظام تخليق البروتين وبعض الإنزيمات.

النظرية الأولى: (Burg and Burg, 1967) metal adsorption theory

ـ ترتكز هذه النظرية على:

- التغيير فى النشاط الحيوى كما يحدث فى حالة إدمصاص الغاز (**الإثيلين**) على أسطح المعادن الثقيلة مثل الفضة والنحاس والزنك الموجود فى تركيب البروتين.

- مهاجمة الإثيلين للمعادن الثقيلة أمكن تثبيطه بواسطة غاز Co_2 حيث يتداخل فعل غاز Co_2 مع نشاط غاز الإثيلين.
- النقص فى كمية O_2 يؤدى إلى تثبيط فعل الإثيلين لأن الأكسجين هام جداً وضرورى لأكسدة المعادن المستقبلة للإثيلين، هى موقع المهاجمة للإثيلين وهى موجودة بالبروتين.

ـ ومما سبق يتضح لماذا يمكن تخزين الثمار لفترات طويلة عند مستوى أكسوجين منخفض و CO_2 مرتفع فى الجو المحيط بالثمار فى المخزن.

النظرية الثانية: نقص نفاذية الأغشية الخلوية (Lyons and pratt, 1964):

الإثيلين يظهر تأثيره نتيجة لمهاجمة الجدر والأغشية بالخلية وخاصة طبقة الليبيدات **(الفوسفوليبيدات)**، وبالتالى فإن الغاز يعمل على نقص فى درجة نفاذية الأغشية الخلوية. ولكن هذه النظرية ليست مقنعة بدرجة كبيرة لأنه عند إختيار عدة مواد أخرى على أغشية صناعية، وجد أن للإثيلين تأثير أقل من مواد أخرى كثيرة على درجة نفاذية الأغشية.

النظرية الثالثة: التأثير على جهاز تخليق البروتين فى الخلية:

ـ الإثيلين يؤثر على نشاط RNA وبالتالى على نوع البروتين المخلق وخاصة تكوين ونشاط أنواع معينة من الإنزيمات ولوحظ زيادة نشاط إنزيم peroxidase.

ـ كما أمكن إثبات دور الإثيلين فى زيادة إنتاج peroxidase عن طريق إستخدام Co_2 تم وقف نشاط الإنزيم بها نتيجة للتغلب على تأثير الإثيلين بواسطة Co_2.

ـ عند إستخدام بعض مثبطات RNA، الذى يقوم بالتخليق الحيوى للبروتين، مثل Cyclohexamid – Actinomycin – D ، أمكن منع زيادة إنزيم Peroxidase.

* كذلك لوحظ أن الإثيلين يؤثر بدرجة كبيرة على الإنزيمات التى لها علاقة بالتحولات الغذائية للمواد الفينولية:

ــ لوحظ أن تعريض جذور الجزر للإثيلين أدى إلى تنشيط تخليق Isocumarin ، وأمكن وقف ذلك بتعريض الجذور إلى تركيز مرتفع من Co_2 (Chalutz, 1969).

ــ فى الموالح، يؤدى الإثيلين إلى زيادة فى إنزيم.

Phenyl alanine ammonlase والذى أمكن منعة بواسطة التعرض لتركيز مرتفع من Co_2 أو Cyclohexamide. وهذا الإنزيم له دور محدد فى تخليق الفينولات فى النبات.

ــ بعض الإنزيمات لوحظ زيادتها فى الأنسجة بعد التعرض للإثيلين مثل الفوسفاتيز (Olsen, 1968) وكذلك بعض الإنزيمات التى لها دور فى عملية نضج الثمار.

ــ لوحظ زيادة إنزيم Cellulase وخاصة فى منطقة الإنفصال التى تؤدى إلى حدوث التساقط بعد تعرض أوراق البقوليات للإثيلين.

ــ تنشيط α – amylase فى طبقة الأليرون فى النجيليات.

* كما أمكن وقف التأثيرات العديدة والناتجة من المعاملة بالإثيلين بواسطة مثبطات تخليق البروتين. فعند تعريض hypocotyls فى فول الصويا للإثيلين، لوحظ زيادة فى المحتوى من DNA والذى يتحول تلقائياً إلى RNA.

Abscisic acid and related compounds:

ــ من المعروف أن أهم مثبطات النمو الرئيسية والتى تم إكتشافها هو هرمون حمض الأبسسيك (ABA) والذى تم عزلة وتعريفة فى عام 1965 بواسطة العلماء Cornforth and Ohkuma وقد سبقهم العلماء Bennet and Kefford (1953) ، فى إكتشاف مثبط نباتى يؤثر فى نمو

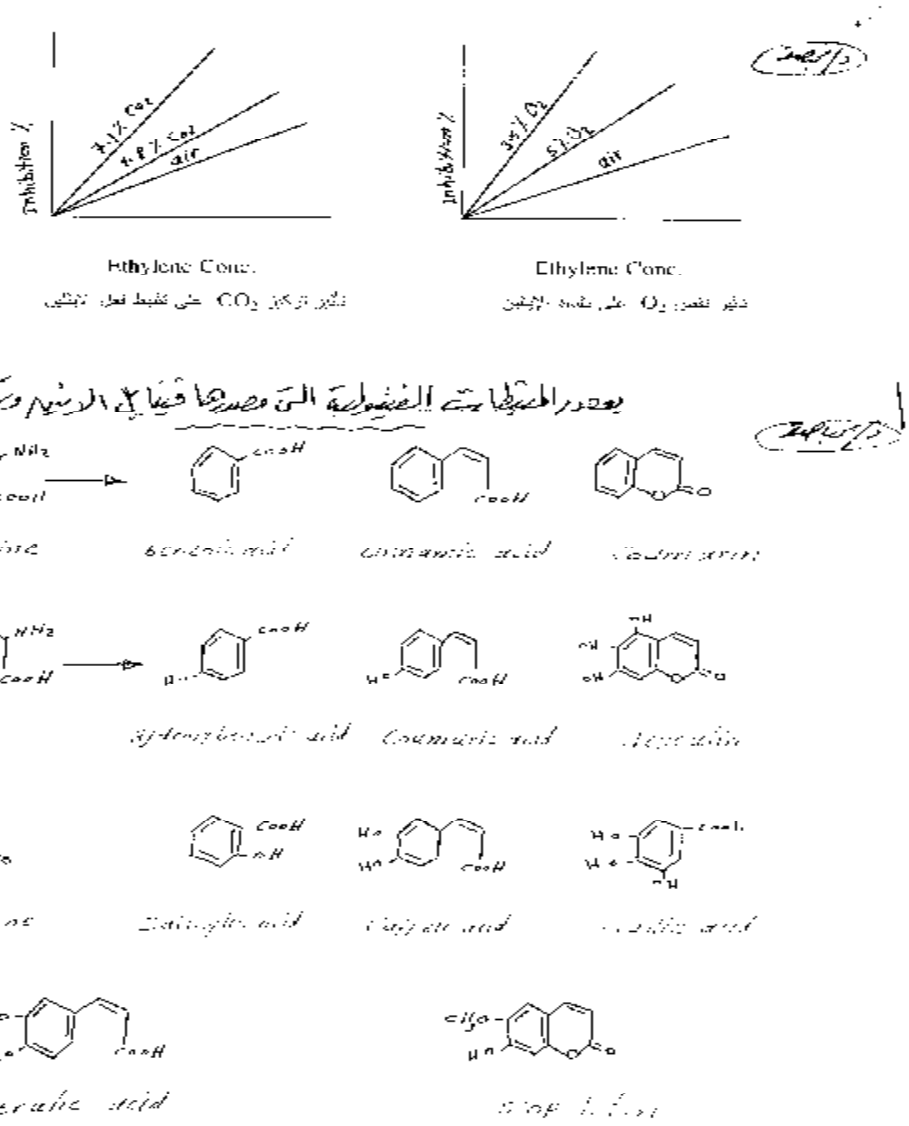
النباتات وتم تعريفة فى صيغة على أنه Inhibitor B ، والذى تم تعريفة فيما بعد أنه ABA. وهذا الهرمون منتشر فى النباتات ويظهر تأثيره عند وجودة بتركيزات منخفضة جداً. فمثلاً عند إجراء أختبار على بذور الخس، وجد أن تأثير ABA يعادل أكثر من ١٠٠ مرة قدر تأثير مركبات اللأكتون المثبطة مثل Coumarin.

ـ وهناك مجموعة أخرى من مثبطات النمو وأهمها مركبات فينولية وتشمل:

١ ـ مجموعة الأحماض الفينولية Phenolic acids: مثل حمض البنزويك والسيناميك.

٢ ـ مجموعة مركبات اللأكتون لحمض الكيوماريك Lactons of coumaric.

٣ ـ الفلافونويدات Flavonoids.

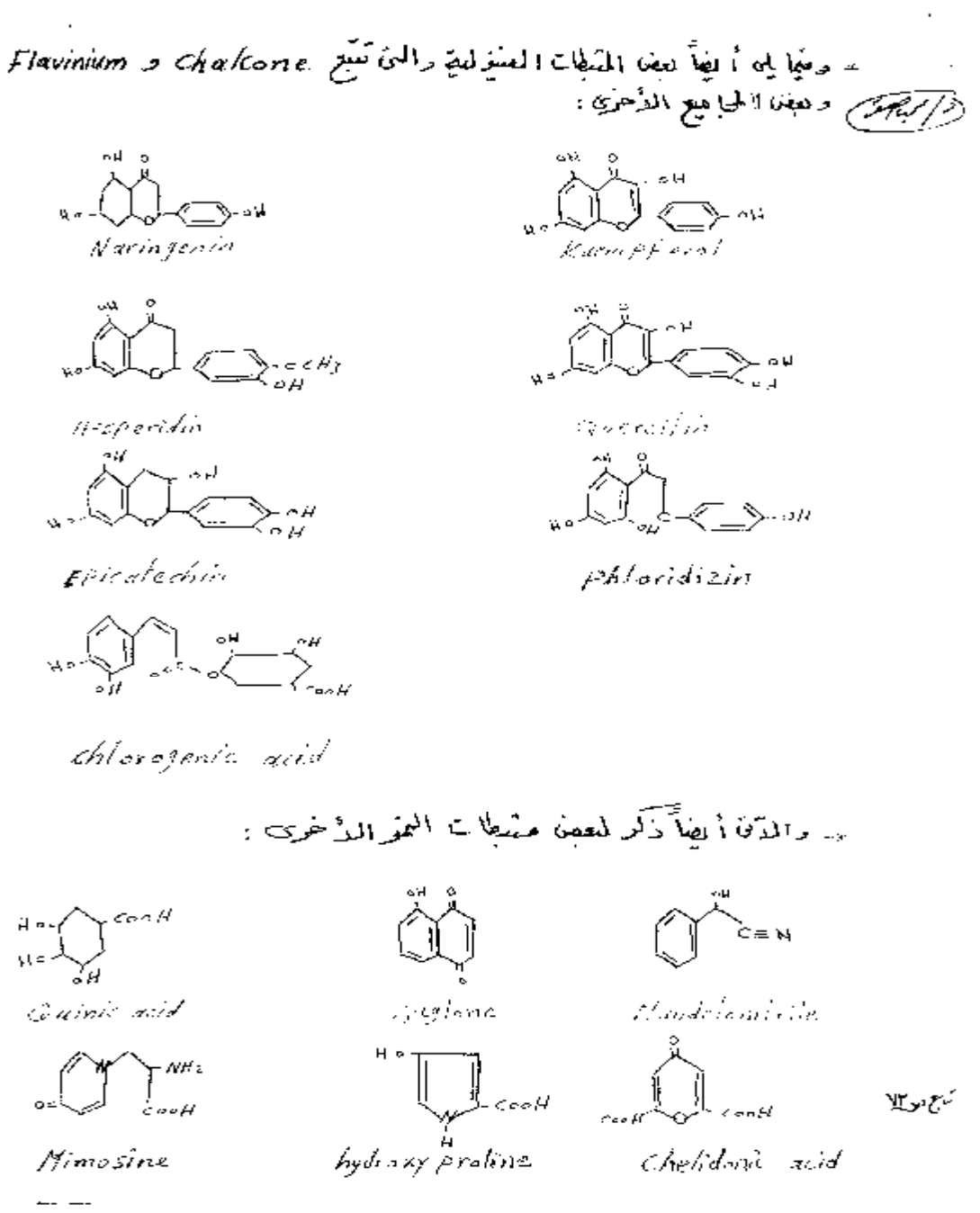


ــ على عكس الهرمونات النباتية فإن المثبطات الفينولية توجد بتركيزات عالية فى النباتات، إما علـــى صورة فينولات حرة أو مرتبطة مع مواد أخرى مثل الجليكوسيدات. ولقـــد أشـــار العـــالم (1965) Pridham إلى أن الفينولات تمثل أكبر المحتويات فى النبات بعد المـــواد الكربوهيدراتيـــة مباشـــرة. ولكن هذه المركبات الفينولية لا يظهر أثرها المثبط إلا عند وجودها بتركيزات مرتفعة.

ــ وتظهر الفينولات غالباً فى النبات من خلال دورة حمض الشكميك Shikimic acid، وأنها تتخلق غالباً من Phenyl alanine أو Tyrosine . وقد توجد طرق أخرى لتخليق الفينولات فى النبات.

ــ أما باقى المثبطات وهى تعتبر من المواد الكيماوية الثانوية فى النباتات فإنها تقسم إلى عدة مجموعات صغيرة من بينها quinines – duglone وكذلك مركبات قريبة الشبه من الأحماض الفينولية ومنها chlorogenic acid , quinic acid. وكذلك مجموعة مركبات تعتبر مركبات وسيطة بين اللاكتونات والكيتون مثل chlorogenic acid وكذلك مجموعة cyano genic وهذه المركبات تشمل زيت الخردل mustard oil ، مشتقات مركبات mandelonitrile وهذه توجد بتركيزات مرتفعة فى بعض النباتات، مجموعة التربينات ومنها بعض الزيوت العطرية والتى تعتبر من مثبطات النمو (Muller, 1964) ، مجموعة الأحماض الدهنية حيث منها ما يعتبر مثبطاً للنمو (poidevic, 1965) مجموعة الأحماض الأمينية والبعض منها مثبطات نمو مثل hydroxyl praline و memosin (Cleland, 1963) ومجموعة البروتينات وعديدة الببيتيدات ومنها مثبطات النمو العديدة (Elliott and Leopold, 1953).

ــ وفيما يلى الرموز النباتية لبعض المثبطات الفينولية والتى مصدرها كل من , Tyrosin phenylalanine كما هو موضح على اليسار فى أول المركبات:



ـ من المعروف أن مثبطات النمو الفينولية والتى تنتج من مركبات ثانوية داخل النبات يـتم تخليقهـا عن طريق دورة حمض Shikimic acid عن طريق عملية Deamination لكل من , Tyrosine Phenyl alanine . وقليل من هذه الفينولات يتم تخليقة من وحدات حمض الخليك. ويمكـن للعديـد

من وحدات حمض السينامیك أن تتحول إلى Benzoic acid وذلك عن طريق أكسدتها فـــى الوضـــع بيتا β-oxidation . وتنتج اللاكتونات من التحلل المائى للجليكوسيدات أما مركبـــات , Chalcones Flavinium فهى مشتقات لحمض السينامیك مع إضافة مجموعة أسيتات للحلقة.

ـــ ويرجع التأثير المثبط للمركبات الفينولية على النمو إلـــى أن الفينـــولات تقـــوم بتنشـــيط IAA – oxidase. ولكن من المحتمل أيضاً أن الفينولات تتـــداخل بشـــدة فـــى عمليـــة الفســـفرة التأكســـدية Oxidative phosphorylation . ويرجع تنشيط الفينولات للإنزيم IAA – oxidase ، أنها تعتبر مرافقات إنزيمية لهذا الإنزيم ولكن بدرجة عالية من التخصص حيث وجد أن بعض الفينولات الثنائية مثل Caffeic acid والأحادية مثل Coumaric acid ، تعتبر مثبطات للإنزيم IAA – oxidase ، وبالتالى فإن هذان المركبان يعتبران من منشطات النمو تحت ظروف معينة. ويجمع العلماء أن تـــأثير الفينولات يكون أولاً من تأثيرها على نظام التحولات الغذائية ولا يعتبر تأثيرها كتأثير الهرمونات.

ـــ ولقد وجد أن الضوء هام جداً ويساعد على تنشيط تخليق المثبطات الفينولية وكذلك تنشـــيط تخليـــق الإنزيمات المساعدة فى هذه العملية.

Biosynthesis and metabolism of ABA:

١ ـــ **Biosynthesis**:

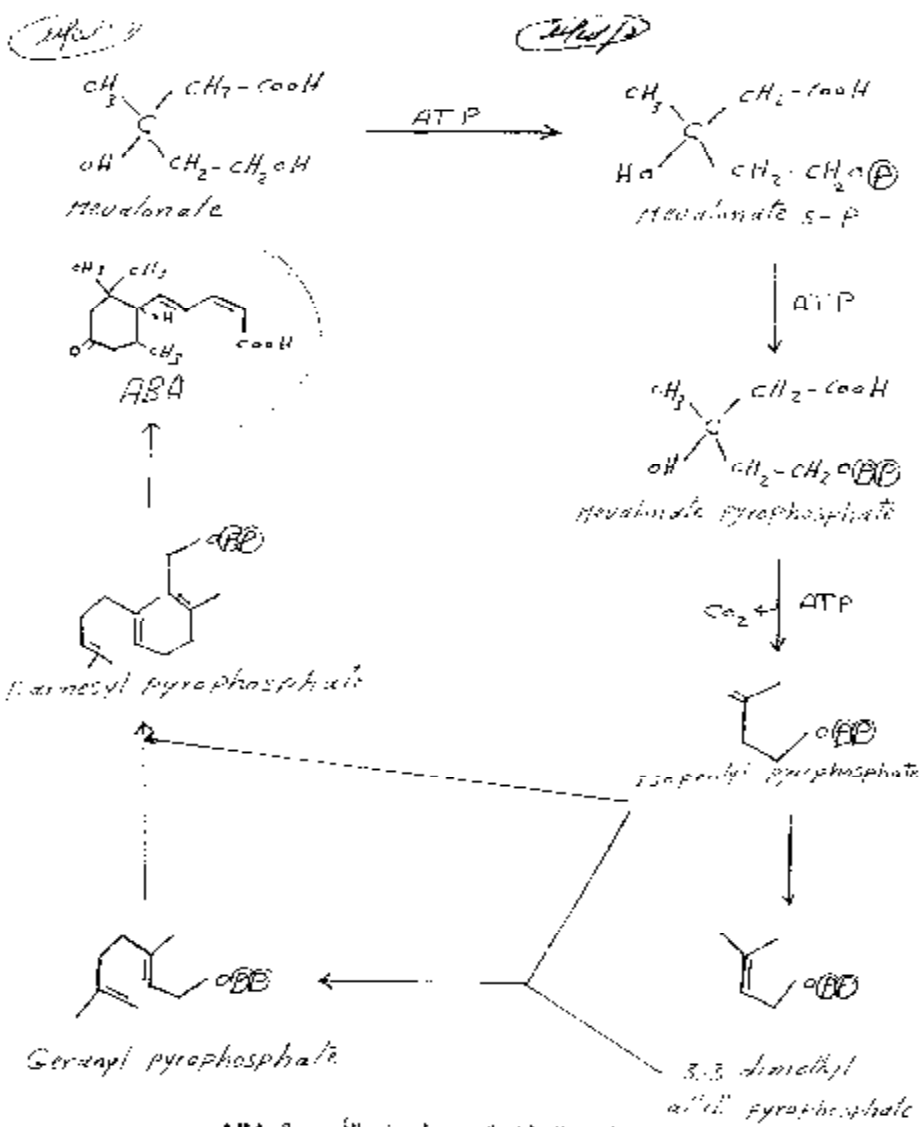
ـــ مـــن المعـــروف جيـــداً أن ABA يـــتم تخليقـــه مـــن Mevalonate مـــن خـــلال Farnesyl pyrophosphate ، وهى المادة الوسيطة فى دورة تخليق الأيزوبرينات isoprenoids ، وهو نفـــس المسار الذى يتم من خلاله تخليق الجبريلينات مع أن التأثيرات الفسيولوجية، الكيماوية والحيوية لكـــل من ABA , GA عموماً متعارضة. وتلعب الإنزيمات دوراً هاماً فى تنظيم عملية التخليـــق الحيـــوى لكل من ABA – GA من المادة الوسيطة Farnesyl pyrophosphate.

ـ ومن الواضح أيضاً أن ABA يتم تخليقة فى الكلوروبلاست كما هو الحال فى عملية تخليق الجبريلينات (Milborrow, 1974).

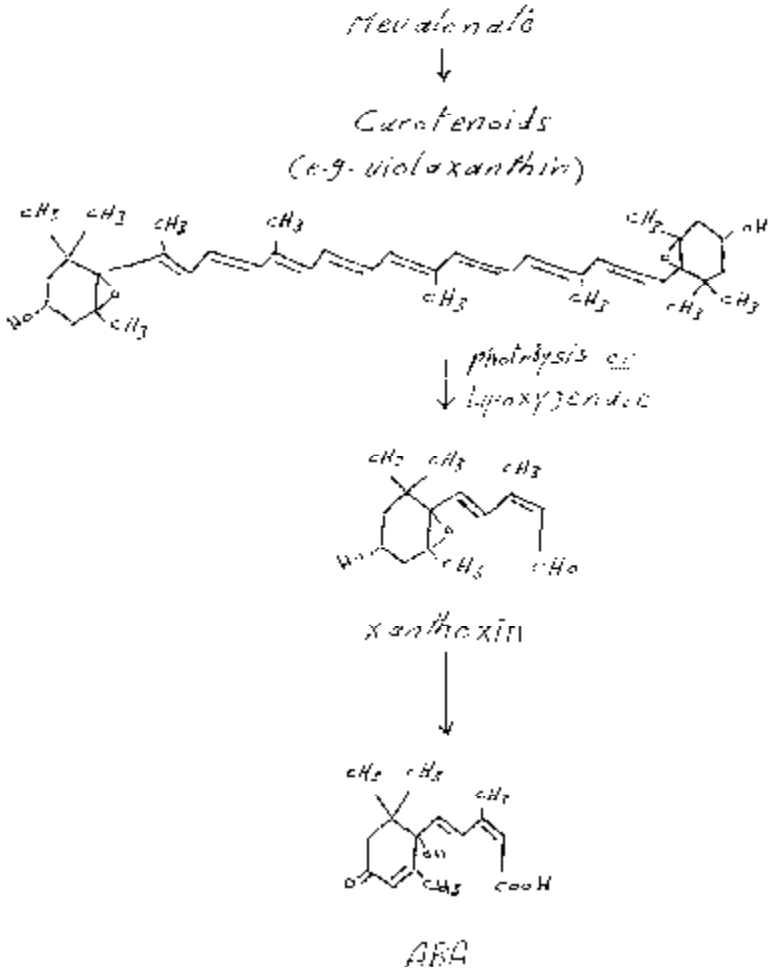
ـ وقام العالم Milborrow (1974) بإثبات ذلك بعمل تجربة تم فيها إستخلاص الإنزيمات من الكلوروبلاست المتحللة وكذلك من Etioplast من ثمار نبات الأفوكادو والفاصوليا وأضيف إليها حمض Mevalonic فينتج ABA.

ـ ولا يمكن الجزم والقطع بأن كل كمية ABA يتم تخليقها فى الكلوروبلاست ولكن يمكن التأكد على أن معظم كمية ABA يتم تخليقها فى الكلوروبلاست.

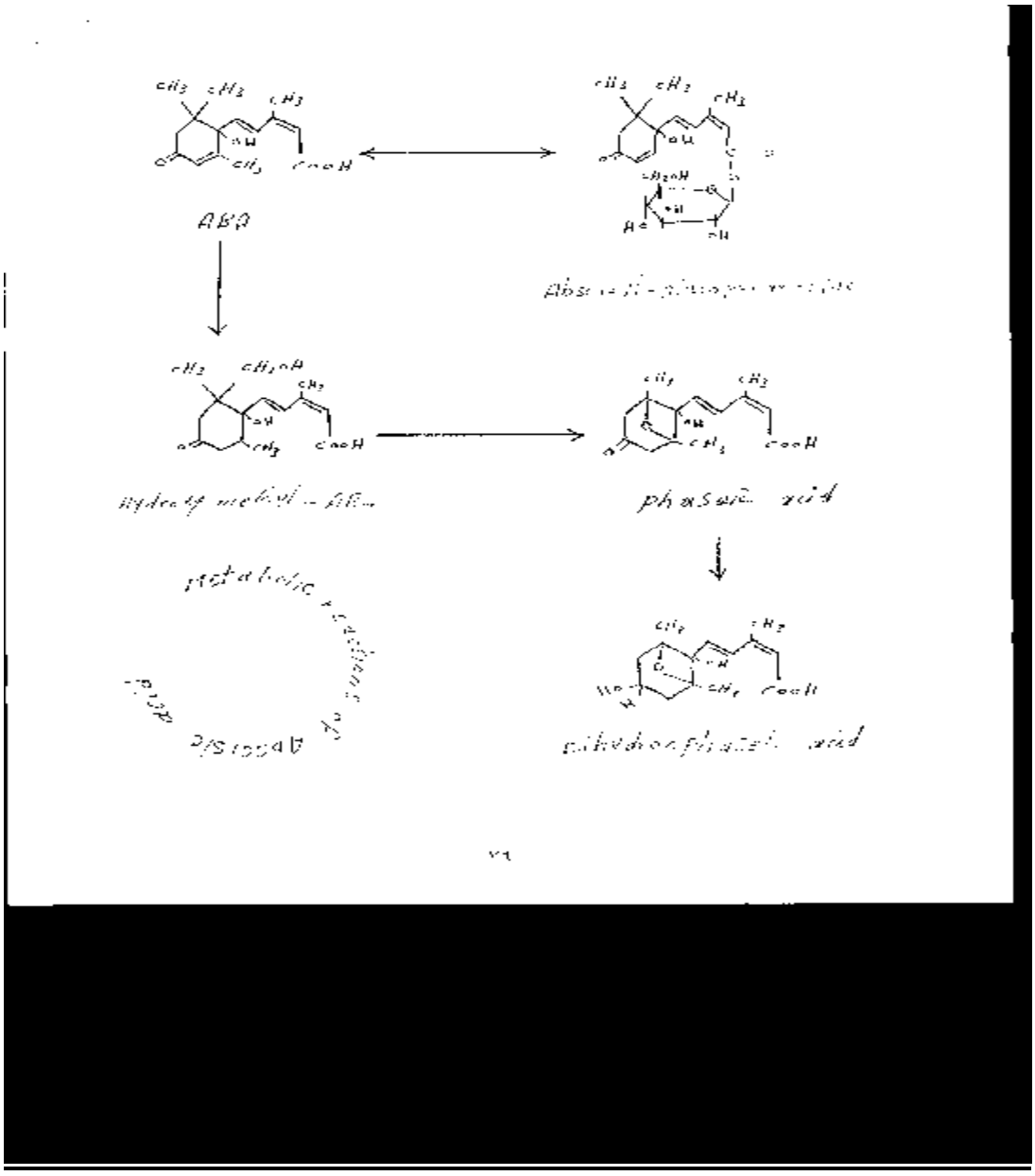
ـ كذلك يمكن تخليق ABA من الكاروتينويدات وخاصة Violaxanthin من خلال المادة الوسيطة xanthoxin ، وهذه المادة الوسيطة يمكنها التحول مباشرة إلى ABA كما فى الطماطم.



المسار المقترح للتخليق الحيوي لحمض الأبسيسيك ABA
من الميفالونيت (Milborrow, 1974)



المسار المقترح للخطوات المتتالية للتخليق الحيوي
لحمض الأبسيسيك من الكاروتينويدات (Redrawn, 1976)



Metabolic reaction ــ ٢

ــ تم حصر تفاعلات التحولات الغذائية لحمض الأبسسيك فى النباتات من خلال ٣ تفاعلات رئيسية أولها هو التحلل العكسى لإسترات الجلوكوز وتكوين abscisyl – glucopyranoside. أما

التفـــاعلان الآخـــران منهمـــا تكـــوين الصـــور المؤكســـدة لمركـــب phaseic acid والمركـــب dihydrophaseic وكلاهما مركبات غير فعالة وهـــذه المركبـــات تتكـــون مـــن خـــلال المركـــب Hydroxy methyl - ABA

ـــ من العلامات البارزة لسلوك حمض ABA من خلال تحولاته الغذائية فى النبات زيـــادة محتوهـــا الداخلى فى النبات وخاصة فى الأوراق فى حاله تعرض النبات إلى أى ظروف stress (**إجهـــاد**) مثل : نقص العناصر – التغريق – حدوث أذى أو ضرر للنبات – الجفاف

ـــ وزيادة ABA فى هذه الحالاتيؤدى إلى زيادة مقاومه النبات لظروف الإجهاد . وتحت هذه الزيـــادة لحمض ABA فى خلال دقائق من بداية الذبول . وتزداد كميه ABA إلى حوالى عشـــره مـــرات قدر ABA فى أوراق النباتات غير الذابلة . ولكن هذه الزيادة فى ABA تـــنقص بســـرعة عنـــد إمداد النباتات الذابلة بالماء (**عند الرى**). وكـــذلك لـــوحظ زيـــادة Dihydrophaseic acidو phaseic acid فى النباتات الواقعة تحت ظروف الإجهاد.

ـــ وكانت الزيادة فى المحتوى من ABA فى الأوراق الذابلة نتيجة لزيادة تخليق ABA حيوياً أكثـــر من إنسياب ABA من الصورة المرتبطة مثل ABA- glucose estsr .

ـــ ومفتاح التغيرات فى التحولات الغذائية والتى تحدث أثناء التعطيش (Water stress) فـــى أوراق البقوليات هى :

١ - الإجهاد المائى يؤدى إلى زيادة فى معدل ABA عن معدل Dihydrophaseic acid-phaseic acid

٢ - يزداد تركيز ABA وتصبح كميته تقريبا ثابتة.

٣ - عند إمداد النباتات بالماء ، ينخفض مستوى ABA وتعود حاله الإمـــتلاء للخلايـــا (Harrison and Walton,1975).

Milborrow (1974) ، شرح الدور التنظيمى لحمض ABA فى الأعضاء النباتية المختلفة لنبات Avocado كالآتى :

ـ فى الأوراق العادية يوجد حمض ABA بنسبه منخفضة (20mg/Kg) بينما يصل المحتوى من ABA إلى معدل مرتفع جدا فى الأوراق الذابلة نتيجة لزيادة تخليقه حيويا ويصل محتواه إلى 2600mg/Kg

ـ فى الثمار الناضجة يوجد بالطبع تركيز مرتفع من ABA (400-6000ug/Kg)

ـ فى الجذور ، فإنها تحتوى بالطبع على محتوى منخفض من ABA (27mg/Kg) ولم يتأثر المحتوى فى الجذور بدرجه ملحوظة فى حاله الذبول .

ـ أوضح العلماء أن تراكم ABA فى الجذور النباتات المعرضة لنقص الماء ونقص مقاومه الجذور لإمتصاص الماء ، فإن ذلك يعطى حماية للأوراق ضد الجفاف .

ـ Zeevuart (1977) ، أوضح بأبحاثه الأماكن التى يتم فيها تخليق ABA فى الخروع . وأضاف أن زيادة ABA تكون ناتجة عن تحلل كل من phaseic, dihydrophaseic acid فى قمة الساق والأوراق الناضجة وفى عصير اللحاء فى كل من النباتات المعرضة وغير المعرضة للإجهاد المائى. ولقد وجد نفس العالم، أن الإجهاد المائى يزيد من المركبات الثلاث السابقة.

ـ وعاده يحدث تراكم للمادة Dihydrophaseic acid وليس ABA فى قمة الساق ،، وهذا دليل على ظهور ABA فى الحال وبسرعة والذى ينتقل فى اللحاء .

ـ كذلك أجريت تجارب على الأوراق المفصولة سواء كانت أوراق ناضجة أو أوراق حديثه وتركت لتذبل ، فلوحظ زيادة من حمض ABA فى كليهما . ومعنى أن لكل منهما الكفاءة على تخليق ABA حتى فى مراحل النمو الأولى .

-:Physiological effects

* هذا الهرمون كغيره من الهرمونات له تأثيرات فسيولوجية فى النباتات من أهمها :

١ ــ Stomatal regulation

ــ لقد عرف أن لحمض ABA دور هام ورئيس فى تنظيم قفل الثغور وبالتالى فإنه يوفر ميكانيكيه الحماية ضد الإجهاد المائى . ولقد أجريت تجارب قديمه **(عام ١٩٦٨)** ثم عام ١٩٧١ لإثبات هذا الدور ، حيث تم رش ABA بتركيز منخفض (IUM) فأدى ذلك إلى نقص التنفس نتيجة لغلق الثغور وهذا يؤدى إلى الافتراض أن زيادة المحتوى الداخلى منABA تلعب دورا فى تنظيم غلق الثغور ، وذلك من خلال الأثير على العلاقات المائية للنبات .

ــ ولقد وجد أن الإستجابه للمعاملة الخارجية بحمض ABA تكون سريعة جدا ، فهى تؤدى إلى غلق الثغور فى خلال ٩-٣ ق بعد المعاملة مباشره وأجريت هذه التجربة على نباتات Beta vulgaris. Zea mays, Rumex obtusifolia

ــ يعمل ABA على فقد الخلايا الحارسة لعنصر البوتاسيوم وكذلك فقها لحاله الإمتلاء ، وهذا يؤدى إلى غلق الثغور .

ــ ويجدر الذكر أن تنظيم الثغور يتداخل فيه عاملان مهمان وهما : تركيز ABA وتركيز Co_2 فى الخلايا الحارسة. وتختلف إستجابه الخلايا الحارسة حسب إختلاف تركيز كل منهما ، فمثلا الإجهاد المائى يؤدى إلى زيادة تركيزABA فى الخلايا الحارسة وبالتالى فقدها لعنصر البوتاسيوم وحاله الامتلاء وهذا يؤدى إلى غلق الثغور . وتؤدى هذه الميكانيكية إلى حماية النباتات ضد الجفاف وفى هذه الحالة يزيد تركيز Co_2 والعكس يحدث إذا ما تم إمداد النباتات بالماء مره أخرى ، حيث ينخفض تركيز ABA فى الخلايا الحارسة ويعود تركيز البوتاسيوم إلى حالته الطبيعية وكذلك حاله الإمتلاء وينخفض تركيز Co_2 فى الخلايا الحارسة وتنفتح الثغور ويؤدى ذلك إلى سهوله دخول Co_2 لأنسجه الورقة وبالتالى حدوث عمليه البناء الضوئى.

Bud dormancy ــ ٢

ــ كان العالم Hemberg (**1949**) ، هو أول من أشار إلى العلا قه بين السكون فى براعم Potato tubers , Fraxinus وبين إحتوائها على تركيز مرتفع من مثبطات النمو. وقد تحصل العالم (**1961**) Kawasa على نتائج مشابهه فى تجاربه على أشجار البتيولا *Berula pubescens* ولاحظ أيضا تأثير النهار القصير (**١٠ساعات**) والليل الطويل على تنشيط السكون فى البراعم كما فى الرسم التوضيحى التالى :

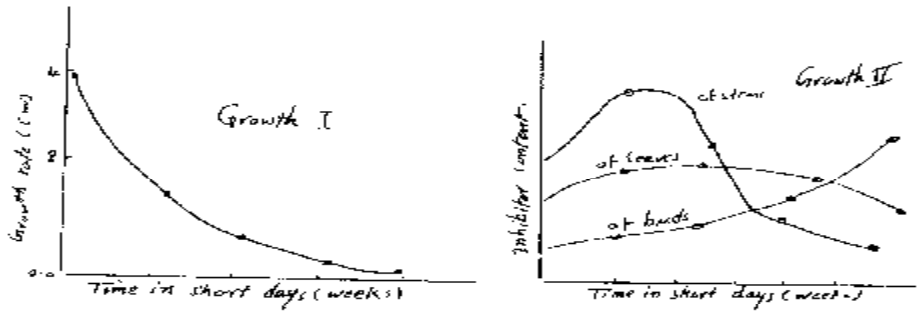
ــ فى الأشجار المعمرة يلاحظ أنه خلال دوره حياتها السنوية فإنه يحدث سكون للبراعم وخاصة فى نهاية الصيف وأثناء الخريف ثم يلى ذلك دخول الأفرع كليه أو الشجرة كلها فى دور السكون .

ــ ومن العوامل الهامة والمؤثرة والمتحكمة فى إحداث السكون فى البراعم أشجار المنطقة المعتدلة (**الأشجار الخشبية**)، طول النهار. ففى النباتات الخشبية الهامة سواء مغطاة البذور أو معراه البذور نجد أن النهار الطويل ينشط النمو الخضرى بينما النهار القصير يؤدى إلى توقف النمو ودخول البراعم فى دور السكون . وهذا التوقيت الضوئى والمؤدى إلى سكون البراعم ، أمكن ملاحظه أيضا فى النباتات الحولية (**العشبيه**). ويمكن القول أن المستقبل الضوئى فى هذه العملية هو صبغه الفيتوكروم ، والتى تتميز بالإستجابات المنعكسة لتعرضها للأطوال الموجيه Red/far وللتخصيص، فإن الأوراق هى المستقبل الحقيقى للضوء وقد تقوم الحراشيف البرعميه بإستقبال الضوء والتأثر به فى بعض الأصناف.

ــ وفى تجارب Wareing على كل من Betula Pabescens , Acer pseudoplatanus وجد أن تعرض هذه الأشجار لفترة ضوئية قصيرة وليل طويل يعمل على دخول البراعم فى طور السكون. ويمكن كسر طور السكون بتعريض النباتات لفترة نهار طويل وليل قصير دون المعاملة بالحرارة

المنخفضة. ولقد وجد warieng وآخرون أن النهار القصير الذى يسبب السكون أدى أيضاً إلى زيادة المثبطات **(مثبطات النمو)** فى الأوراق والبراعم.

ـــ وحدث التثبيط فى البراعم ودخولها فى دور السكون نظراً لإنتقال مثبطات النمو من الأوراق إلى البراعم. وأمكن إستخلاص هذه المثبطات وتم تعريفها والتأكد من أنها ABA. وفى بعض النباتات أمكن كسر طور السكون بالمعاملة بالجبريلين GA_3 إذا ما كان السكون بسبب التواقت الضوئى أو بسبب المعاملة الخارجية بحمض ABA.



Induction of bud dormancy, I, by short days (10 h.) and long night (14 h.) in *Betula pubescens*, and correlated changes in growth inhibitor content, II, of leaves, stems and buds (Kawase, 1961).

من هذه التجارب ، أمكن التأكد من أن ABA يتداخل ، وله دور كبير فى تنظيم دورة النمو والسكون. كما أ،ضح Wareing أيضاً أن الدورة السنوية لنمو وسكون البراعم يتم تنظيمها عن طريق حدوث إتزان بين المحتوى الداخلى من مثبطات النمو والجبريلين. ويحدث السكون فى بعض الحالات إذا زاد المحتوى الداخلى من ABA وإنخفض مستوى GA_3. والعكس صحيح لإنعكاس هذه الظاهرة والخروج من دور السكون.

وكل ما سبق شرحه نحو تأثير النهار القصير على حدوث السكون لا ينطبق فى كل الحالات حيث أن تعرض بعض الأشجار لظروف النهار القصير لا يسبب زيادة المحتوى من ABA.

٣ ــ Seed dormancy:

ــ قد يحدث سكون فى بذور معراة البذور أو مغطاة البذور بعد النضج ولا تنبت حتى إذا تم توفير جميع شروط الإنبات من رطوبة وحرارة وإضاءة. وقد تم حصر أسباب السكون فى البذور فى عدة حالات منها:

- عدم نفاذية قصرة البذرة للماء والهواء.
- عدم نضج الجنين.
- الحاجة إلى التخزين فترة بعد النضج (after ripening).
- المقاومة الميكانيكية لقصرة البذرة.
- وجود مثبطات سواء فى قصرة البذرة أو التركيبات المساعدة أو وجود المثبطات فى اللحم المحيط بالبذرة كما فى الثمار اللحمية الطازجة.
- إحتياجات ضوئية خاصة أو عدم حاجتها للتعرض للضوء.
- الإحتياج لدرجة حرارة منخفضة (صفر ــ ١٠م) مع التعرض للرطوبة (Chilling).

وتسمى هذه العملية Stratification.

ــ وقد أمكن كسر طور السكون للبذور الناتجة من الأشجار الخشبية النامية فى المنطقة المعتدلة وذلك بإجراء عملية Stratification.

ـ وفى تجربة أجراها العالم Sendheomer (1968) على نوعين من Fraxinus الأول يتبع المنطقة المعتدلة وهو *F. Americana* والثانى يتبع منطقة البحر المتوسط. ويحتاج النوع الأول إلى إجراء عملية Stratification نظراً لدخول بذورة فى دور سكون، بينما لا يحتاج النوع الثانى هذه المعاملة . وأثناء الإنبات لوحظ الآتى:

	Biological material	**Germination %**	**ABA content (ug/1000 seed or pericarps)**
1- *F. Americana*	1- Dormant seeds	0.3 %	11.0
	2- Chilled seeds	70 – 95 %	3.3
	3- Pericarp from dormant samara	-	24.0
	4- Pericarp from chilled samara	-	15.0
II- F. Ornus لا يحتاج للـ chilling	1- Seed	75 %	2.6
	2- Pericarp	-	1.6

ـ وأثناء عملية chilling (Stratification) لبذور النوع *F. americana* لوحظ انخفاض المحتوى من ABA فى Pericarp بنسبه ٣٧% بينما أنخفض فى البذور بنسبة ٨٦%. وأن محتوى ABA فى البذور بعد إجراء عملية chilling يعتبر مماثلاً للمحتوى من ABA فى بذور *F. ornus* وهو معدل منخفض.

ـ وبالتالى يمكن القول أن ABA له دور منظم فى عملية إنبات البذور. وأقر العالم Sondheimer أن ABA ليس هو الهرمون الوحيد المتحكم فى عملية الإنبات ولكن من المحتمل وجود هرمونـــات

أخرى مؤثرة فى عملية الإنبات ونمو بادرات *F. americana* فمثلاً وجد نفس العالم أن المعاملة الخارجية بالجبريلين أدت إلى إبطال مفعول أو إلغاء مفعول ABA فى عملية الإنبات عند معاملة البذرة به. ولكن فى هذه الحالة فإن نمو الأوراق وكذلك معدل تخليق الكلورفيل كان أقل من النباتات غير المعاملة.

ـ وعند معاملة تلك النباتات بالكينتين Kinetin فى خليط مع GA ، فإن ذلك أدى حدوث نمو طبيعى للأوراق ومحتوى عادى من الصبغات وذلك فى النباتات التى سبق وأن عوملت بحمض ABA . ولكن يجب معرفة أن Kinetin منفرداً ليس له المقدرة على إحباط أو إنعكاس تأثير ABA على الإنبات وكذلك وجد أن إنبات البذور غير الكامنة أو التى ليست فى دور سكون عند معاملتها بحمض ABA.

ـ ولقد وجد Redrawn (1967) فى تجاربه على بذور نبات Corylus avellana والتى تحتاج إلى Stratification كى تنبت بذورها، زيادة المحتوى من GA الداخلى فى البذور بعد إجراء عملية Stratification ولذلك فلقد أمكن الإستغناء عن إجراء هذه العملية. وعلى ذلك فإن معاملة البذور مباشرة بالجبريلين، يعمل على تعويض البذور الحاجة لعملية chilling.

ـ وفى تجارب على مادة Amo 1618، وهى مادة مثبطة لتخليق GA_3 ، وجد أنها تؤدى إلى إبطال مفعول عمليةchilling .

ـ وعلى ذلك فإنه يمكن تفسير كسر السكون فى البذور والتى تحتاج إلى chilling عن طريقتين: الأولى هو نقص المثبط ABA ، كما فى حالة *F. Americana* ، والثانى فهو زيادة المنشطات كالجبريلين، كما فى حالة Corylus avellana وقد يحدث التغيير فى الإثنين معاً فى بعض الحالات الأخرى.

ـ ومن المعروف أيضاً أن ABA يثبط الإنبات فى العديد من بذور النباتات الحولية الأخرى. فمثلاً وجد العالم Baleg (1960) ، أن حمض ABA يثبط تخليق إنزيم α - amylase فى أليرون بذور الشعير خلال الإنبات، وهى العملية التى ينشطها GA_3 بينما يمكن إبطالها بتركيز منخفض جداً من ABA. كما يعمل ABA على تثبيط تخليق إنزيمات تحليل البروتينات، الريبونيوكليوتيدات وربما جميع إنزيمات التحلل المائى، والتى يشجع حمض GA تخليقها فى طبقة الأليرون.

ـ كما أدى ABA أيضاً إلى تثبيط تخليق الأحماض الدهنية بشدة عند إنبات بذور الخروع.

ـ كما أوضح العالم Van Overbeek (1967) ، أن حمض ABA يعوق تخليق DNA وكذلك RNA. ويمكن القول أن حمض ABA يطيل فترة السكون بتثبيط تكوين أنواع معينة من m-RNA ، وبالتالى تكوين بروتينات معينة.

٤ ـ Abscission:

ـ وجد العالم Bornman (1967) ، أن حمض ABA ينشط عملية التساقط حيث يعمل ABA على الإسراع من تحلل الصفيحة الوسطى ومكونات الجدار الخلوى. وأيضاً يعمل ABA على سرعة تكوين وتخليق إنزيمات البكتينيز ، السليوليز والبروتيز.

ـ كما وجد العديد من العلماء (Sakr, 1985 , Sankhila, 1967) ، أن المعاملة بحمض ABA تسرع من فقد الكلورفيل فى الأوراق النباتية.

ـ كما وجد أن أوراق الموالح والتى تم رشها بحمض ABA صيفاً قد تساقطت.

Abscisic acid and related compounds

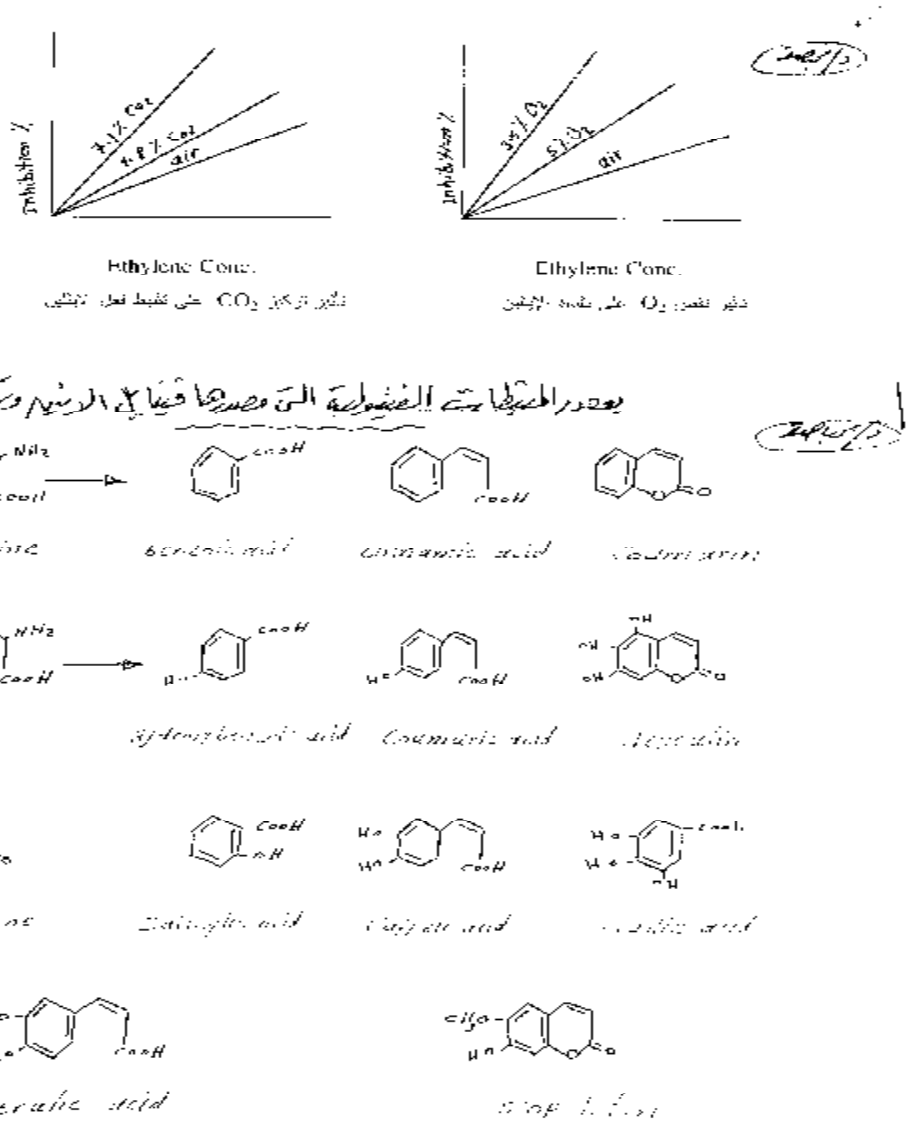
ـ من المعروف أن أهم مثبطات النمو الرئيسية والتى تم إكتشافها هو هرمون حمض الأبسسيك (ABA) والذى تم عزلة وتعريفة فى عام 1965 بواسطة العلماء Cornforth and Ohkuma وقد سبقهم العلماء Bennet and Kefford (1953) ، فى إكتشاف مثبط نباتى يؤثر فى نمو النباتات وتم تعريفة فى صيغة على أنه Inhibitor B ، والذى تم تعريفة فيما بعد أنه ABA. وهذا الهرمون منتشر فى النباتات ويظهر تأثيره عند وجودة بتركيزات منخفضة جداً. فمثلاً عند إجراء أختبار على بذور الخس، وجد أن تأثير ABA يعادل أكثر من ١٠٠ مرة قدر تأثير مركبات اللأكتون المثبطة مثل Coumarin.

ـ وهناك مجموعة أخرى من مثبطات النمو وأهمها مركبات فينولية وتشمل:

١ ـ مجموعة الأحماض الفينولية Phenolic acids: مثل حمض البنزويك والسينامك.

٢ ـ مجموعة مركبات اللأكتون لحمض الكيوماريك Lactons of coumaric.

٣ ـ الفلافونويدات Flavonoids.

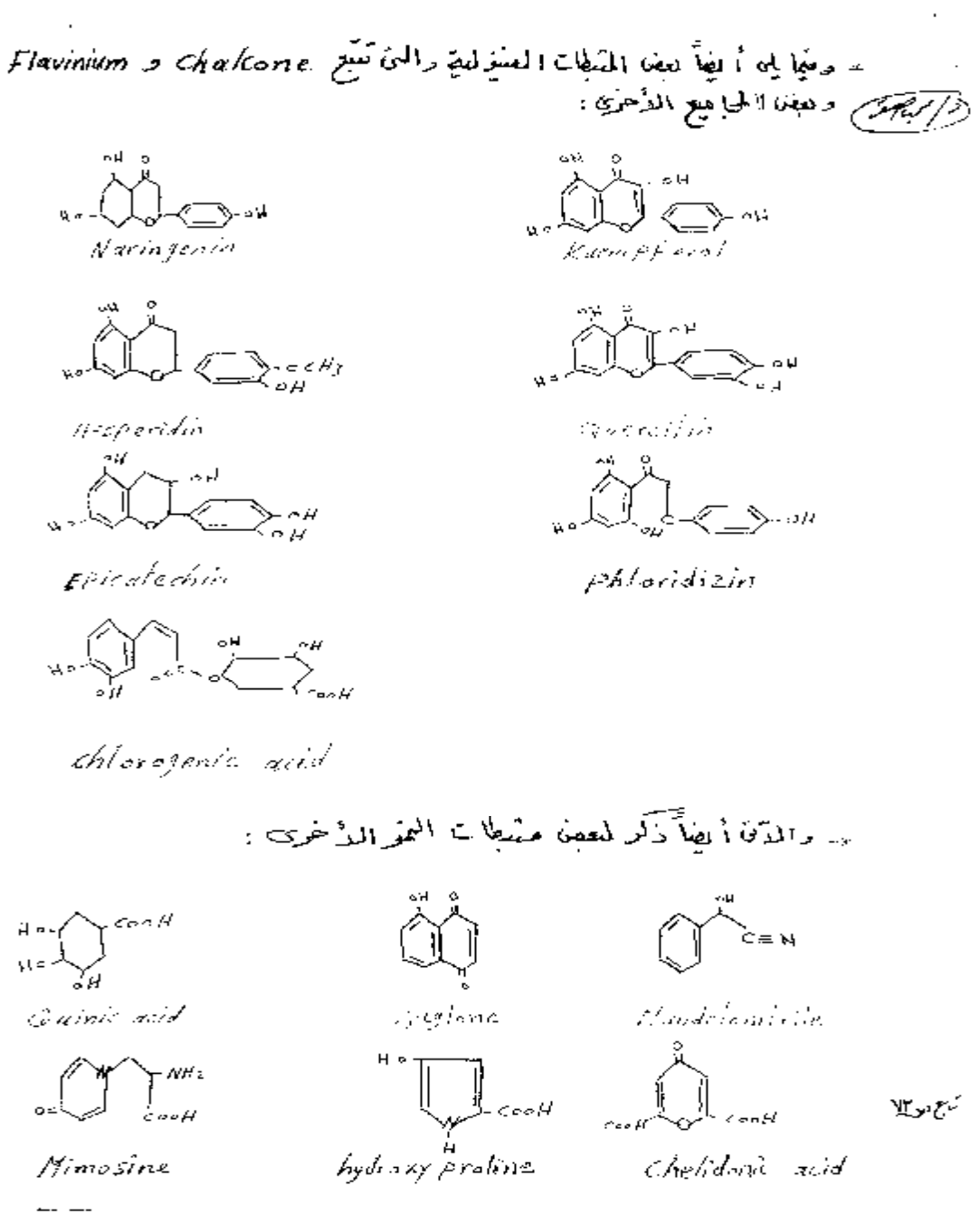


ـ على عكس الهرمونات النباتية فإن المثبطات الفينولية توجد بتركيزات عالية فى النباتات، إما علـــى صورة فينولات حرة أو مرتبطة مع مواد أخرى مثل الجليكوسيدات. ولقـــد أشـــار العـــالم (1965) Pridham إلى أن الفينولات تمثل أكبر المحتويات فى النبات بعد المـــواد الكربوهيدراتيـــة مباشـــرة. ولكن هذه المركبات الفينولية لا يظهر أثرها المثبط إلا عند وجودها بتركيزات مرتفعة.

ـ وتظهر الفينولات غالباً فى النبات من خلال دورة حمض الشكميك Shikimic acid، وأنها تتخلق غالباً من Phenyl alanine أو Tyrosine . وقد توجد طرق أخرى لتخليق الفينولات فى النبات.

ـ أما باقى المثبطات وهى تعتبر من المواد الكيماوية الثانوية فى النباتات فإنها تقسم إلى عدة مجموعات صغيرة من بينها quinines – duglone وكذلك مركبات قريبة الشبه من الأحماض الفينولية ومنها chlorogenic acid , quinic acid. وكذلك مجموعة مركبات تعتبر مركبات وسيطة بين اللاكتونات والكيتون مثل chlorogenic acid وكذلك مجموعة cyano genic وهذه المركبات تشمل زيت الخردل mustard oil ، مشتقات مركبات mandelonitrile وهذه توجد بتركيزات مرتفعة فى بعض النباتات، مجموعة التربينات ومنها بعض الزيوت العطرية والتى تعتبر من مثبطات النمو (Muller, 1964) ، مجموعة الأحماض الدهنية حيث منها ما يعتبر مثبطاً للنمو (poidevic, 1965) مجموعة الأحماض الأمينية والبعض منها مثبطات نمو مثل hydroxyl praline و memosin (Cleland, 1963) ومجموعة البروتينات وعديدة الببيتيدات ومنها مثبطات النمو العديدة (Elliott and Leopold, 1953).

ـ وفيما يلى الرموز النباتية لبعض المثبطات الفينولية والتى مصدرها كل من , Tyrosin phenylalanine كما هو موضح على اليسار فى أول المركبات:



ـ من المعروف أن مثبطات النمو الفينولية والتى تنتج من مركبات ثانوية داخل النبات يـتم تخليقهـا عن طريق دورة حمض Shikimic acid عن طريق عملية Deamination لكل من , Tyrosine Phenyl alanine . وقليل من هذه الفينولات يتم تخليقة من وحدات حمض الخليك. ويمكـن للعديـد

من وحدات حمض السينامیك أن تتحول إلى Benzoic acid وذلك عن طريق أكسدتها فـــى الوضـــع بيتا β-oxidation . وتنتج اللاكتونات من التحلل المائى للجليكوسيدات أما مركبـــات , Chalcones Flavinium فهى مشتقات لحمض السينامیك مع إضافة مجموعة أسيتات للحلقة.

ـــ ويرجع التأثير المثبط للمركبات الفينولية على النمو إلـــى أن الفينـــولات تقـــوم بتنشـــيط IAA – oxidase. ولكن من المحتمل أيضاً أن الفينولات تتـــداخل بشـــدة فـــى عمليـــة الفســـفرة التأكســـدية Oxidative phosphorylation . ويرجع تنشيط الفينولات للإنزيم IAA – oxidase ، أنها تعتبر مرافقات إنزيمية لهذا الإنزيم ولكن بدرجة عالية من التخصص حيث وجد أن بعض الفينولات الثنائية مثل Caffeic acid والأحادية مثل Coumaric acid ، تعتبر مثبطات للإنزيم IAA – oxidase ، وبالتالى فإن هذان المركبان يعتبران من منشطات النمو تحت ظروف معينة. ويجمع العلماء أن تـــأثير الفينولات يكون أولاً من تأثيرها على نظام التحولات الغذائية ولا يعتبر تأثيرها كتأثير الهرمونات.

ـــ ولقد وجد أن الضوء هام جداً ويساعد على تنشيط تخليق المثبطات الفينولية وكذلك تنشـــيط تخليـــق الإنزيمات المساعدة فى هذه العملية.

Biosynthesis and metabolism of ABA:

١ ـــ **Biosynthesis**:

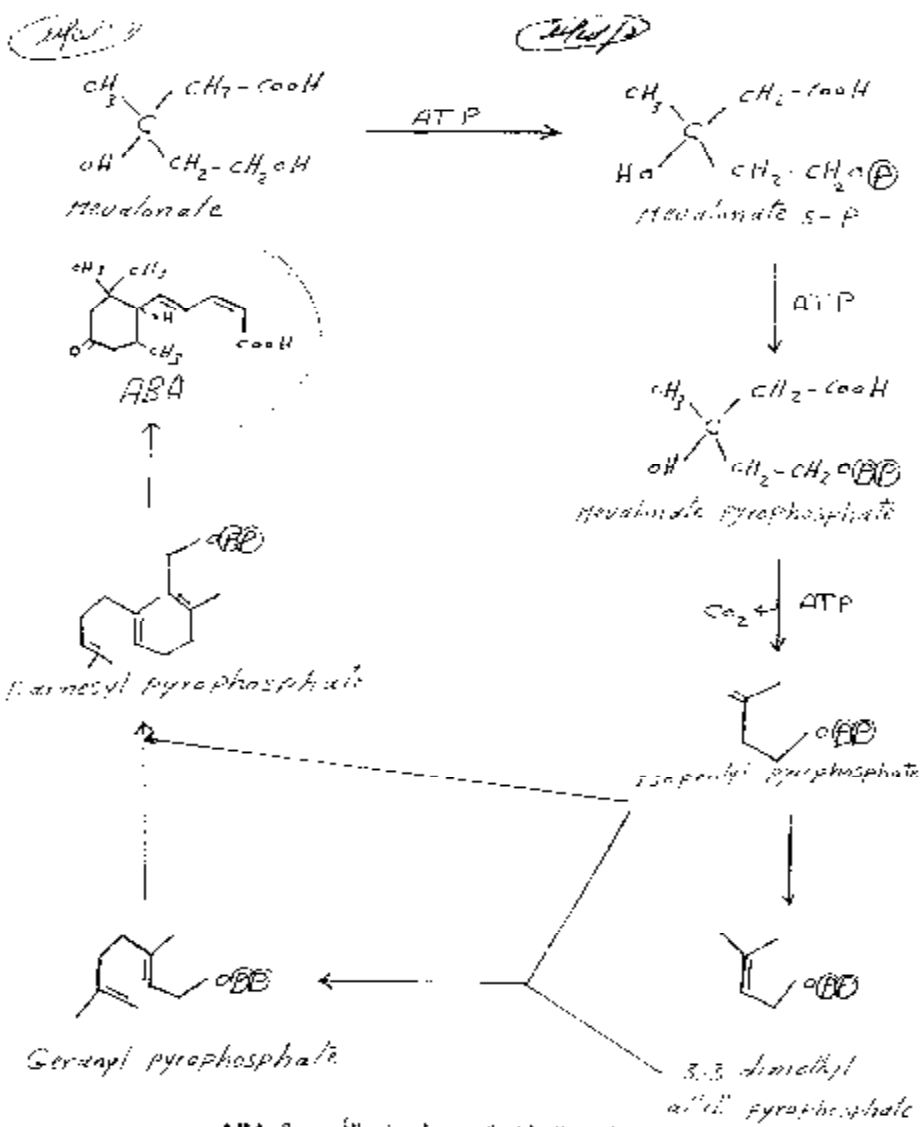
ـــ مـــن المعـــروف جيـــداً أن ABA يـــتم تخليقـــه مـــن Mevalonate مـــن خـــلال Farnesyl pyrophosphate ، وهى المادة الوسيطة فى دورة تخليق الأيزوبرينات isoprenoids ، وهو نفـــس المسار الذى يتم من خلاله تخليق الجبريلينات مع أن التأثيرات الفسيولوجية، الكيماوية والحيوية لكـــل من ABA , GA عموماً متعارضة. وتلعب الإنزيمات دوراً هاماً فى تنظيم عملية التخليـــق الحيـــوى لكل من ABA – GA من المادة الوسيطة Farnesyl pyrophosphate.

ـ ومن الواضح أيضاً أن ABA يتم تخليقة فى الكلوروبلاست كما هو الحال فى عملية تخليق الجبريلينات (Milborrow, 1974).

ـ وقام العالم Milborrow (1974) بإثبات ذلك بعمل تجربة تم فيها إستخلاص الإنزيمات من الكلوروبلاست المتحللة وكذلك من Etioplast من ثمار نبات الأفوكادو والفاصوليا وأضيف إليها حمض Mevalonic فينتج ABA.

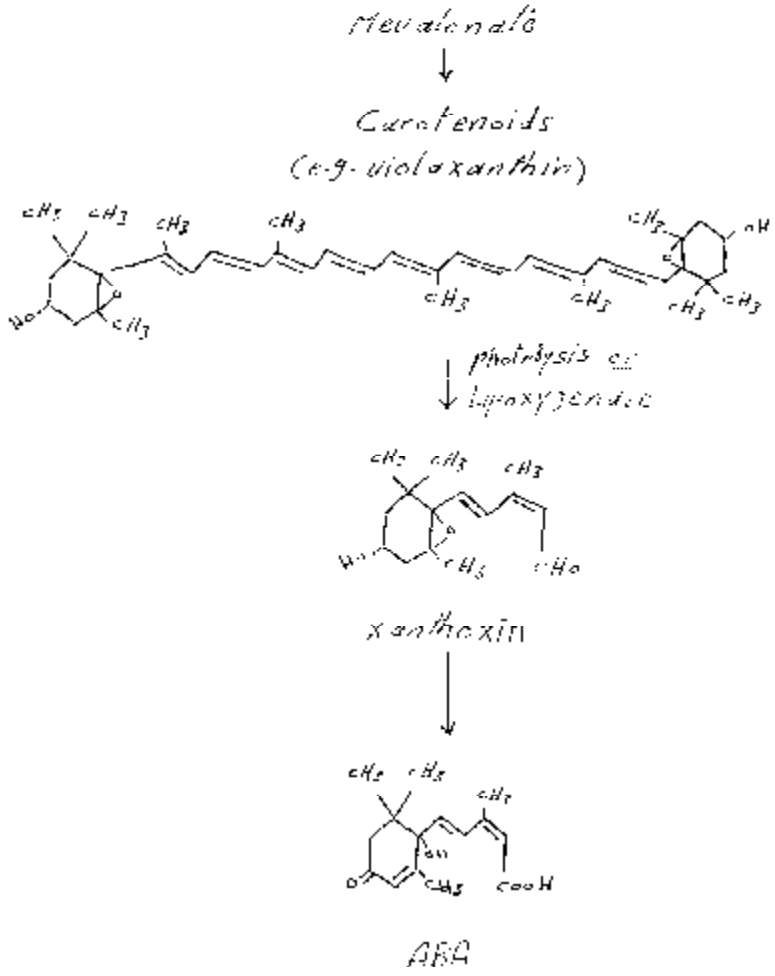
ـ ولا يمكن الجزم والقطع بأن كل كمية ABA يتم تخليقها فى الكلوروبلاست ولكن يمكن التأكد على أن معظم كمية ABA يتم تخليقها فى الكلوروبلاست.

ـ كذلك يمكن تخليق ABA من الكاروتينويدات وخاصة Violaxanthin من خلال المادة الوسيطة xanthoxin ، وهذه المادة الوسيطة يمكنها التحول مباشرة إلى ABA كما فى الطماطم.

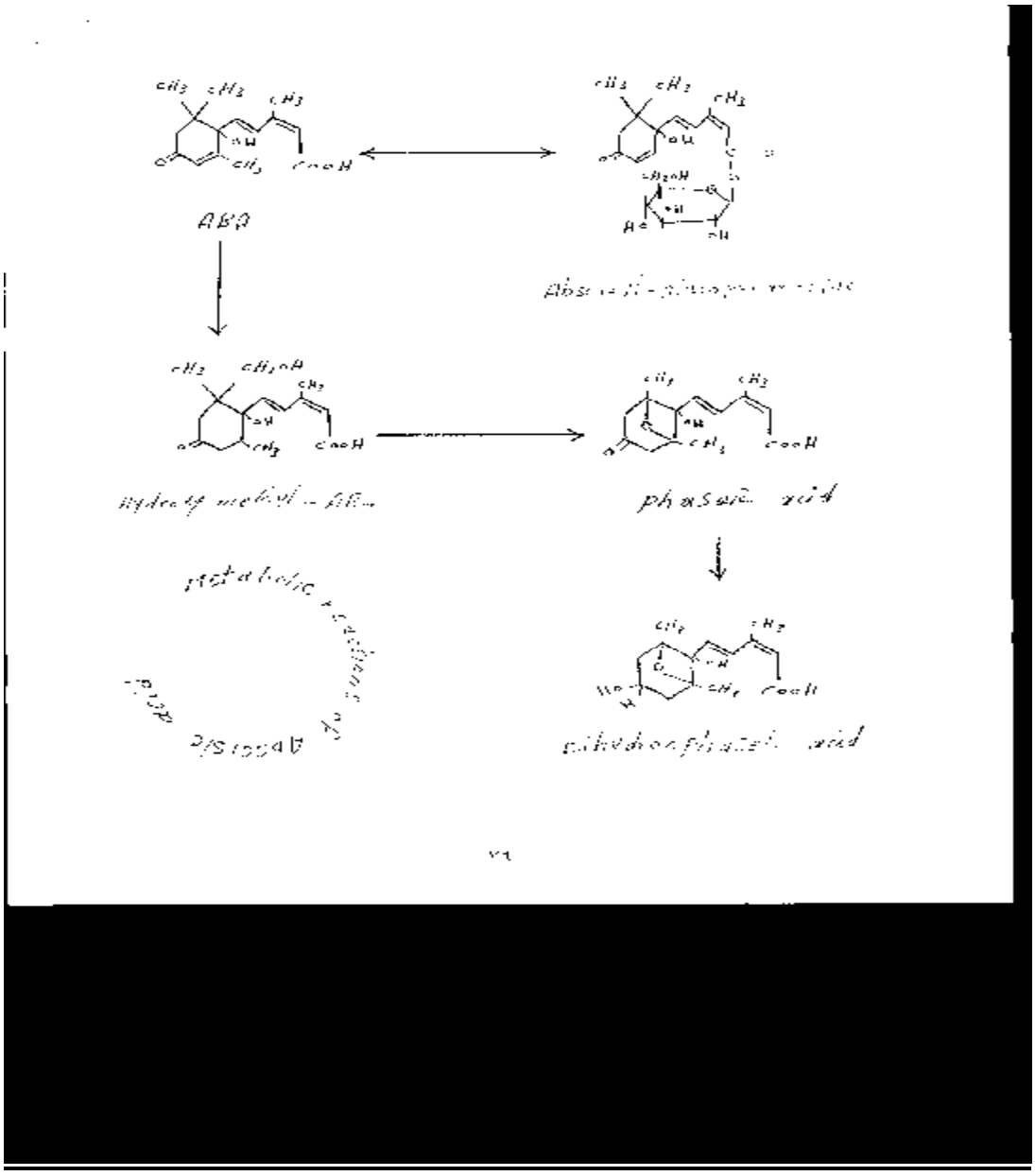


المسار المقترح للتخليق الحيوي لحمض الأبسيسيك ABA

من الميفالونيت (Milborrow, 1974)



المسار المقترح للخطوات المتتالية للتخليق الحيوي
لحمض الأبسيسيك من الكاروتينويدات (Redrawn, 1976)



Metabolic reaction ــ ٢

ــ تم حصر تفاعلات التحولات الغذائية لحمض الأبسسيك فى النباتات من خلال ٣ تفاعلات رئيسية أولها هو التحلل العكسى لإسترات الجلوكوز وتكوين abscisyl – glucopyranoside. أما

التفـــاعلان الآخـــران منهمـــا تكـــوين الصـــور المؤكســـدة لمركـــب phaseic acid والمركـــب dihydrophaseic وكلاهما مركبات غير فعالة وهـــذه المركبـــات تتكـــون مـــن خـــلال المركـــب Hydroxy methyl - ABA

ـــ من العلامات البارزة لسلوك حمض ABA من خلال تحولاته الغذائية فى النبات زيـــادة محتوهـــا الداخلى فى النبات وخاصة فى الأوراق فى حاله تعرض النبات إلى أى ظروف stress (**إجهـــاد**) مثل : نقص العناصر – التغريق – حدوث أذى أو ضرر للنبات – الجفاف

ـــ وزيادة ABA فى هذه الحالاتيؤدى إلى زيادة مقاومه النبات لظروف الإجهاد . وتحت هذه الزيـــادة لحمض ABA فى خلال دقائق من بداية الذبول . وتزداد كميه ABA إلى حوالى عشـــره مـــرات قدر ABA فى أوراق النباتات غير الذابلة . ولكن هذه الزيادة فى ABA تـــنقص بســـرعة عنـــد إمداد النباتات الذابلة بالماء (**عند الرى**). وكـــذلك لـــوحظ زيـــادة Dihydrophaseic acidو phaseic acid فى النباتات الواقعة تحت ظروف الإجهاد.

ـــ وكانت الزيادة فى المحتوى من ABA فى الأوراق الذابلة نتيجة لزيادة تخليق ABA حيوياً أكثـــر من إنسياب ABA من الصورة المرتبطة مثل ABA- glucose estsr .

ـــ ومفتاح التغيرات فى التحولات الغذائية والتى تحدث أثناء التعطيش (Water stress) فـــى أوراق البقوليات هى :

٤ - الإجهاد المائى يؤدى إلى زيادة فى معدل ABA عن معدل Dihydrophaseic acid-phaseic acid

٥ - يزداد تركيز ABA وتصبح كميته تقريبا ثابتة.

٦ - عند إمداد النباتات بالماء ، ينخفض مستوى ABA وتعود حاله الإمـــتلاء للخلايـــا (Harrison and Walton,1975).

Milborrow (1974) ، شرح الدور التنظيمى لحمض ABA فى الأعضاء النباتية المختلفة لنبات Avocado كالآتى :

ـ فى الأوراق العادية يوجد حمض ABA بنسبه منخفضة (20mg/Kg) بينما يصل المحتوى من ABA إلى معدل مرتفع جدا فى الأوراق الذابلة نتيجة لزيادة تخليقه حيويا ويصل محتواه إلى 2600mg/Kg

ـ فى الثمار الناضجة يوجد بالطبع تركيز مرتفع من ABA (400-6000ug/Kg)

ـ فى الجذور ، فإنها تحتوى بالطبع على محتوى منخفض من ABA (27mg/Kg) ولم يتأثر المحتوى فى الجذور بدرجه ملحوظة فى حاله الذبول .

ـ أوضح العلماء أن تراكم ABA فى الجذور النباتات المعرضة لنقص الماء ونقص مقاومه الجذور لإمتصاص الماء ، فإن ذلك يعطى حماية للأوراق ضد الجفاف .

ـ Zeevuart (1977) ، أوضح بأبحاثه الأماكن التى يتم فيها تخليق ABA فى الخروع . وأضاف أن زيادة ABA تكون ناتجة عن تحلل كل من phaseic, dihydrophaseic acid فى قمة الساق والأوراق الناضجة وفى عصير اللحاء فى كل من النباتات المعرضة وغير المعرضة للإجهاد المائى. ولقد وجد نفس العالم، أن الإجهاد المائى يزيد من المركبات الثلاث السابقة.

ـ وعاده يحدث تراكم للمادة Dihydrophaseic acid وليس ABA فى قمة الساق ،، وهذا دليل على ظهور ABA فى الحال وبسرعة والذى ينتقل فى اللحاء .

ـ كذلك أجريت تجارب على الأوراق المفصولة سواء كانت أوراق ناضجة أو أوراق حديثه وتركت لتذبل ، فلوحظ زيادة من حمض ABA فى كليهما . ومعنى أن لكل منهما الكفاءة على تخليق ABA حتى فى مراحل النمو الأولى .

-:Physiological effects

* هذا الهرمون كغيره من الهرمونات له تأثيرات فسيولوجية فى النباتات من أهمها :

١ ــ Stomatal regulation

ــ لقد عرف أن لحمض ABA دور هام ورئيس فى تنظيم قفل الثغور وبالتالى فإنه يوفر ميكانيكيه الحماية ضد الإجهاد المائى . ولقد أجريت تجارب قديمه (**عام ١٩٦٨**) ثم عام ١٩٧١ لإثبات هذا الدور ، حيث تم رش ABA بتركيز منخفض (IUM) فأدى ذلك إلى نقص التنفس نتيجة لغلق الثغور وهذا يؤدى إلى الافتراض أن زيادة المحتوى الداخلى منABA تلعب دورا فى تنظيم غلق الثغور ، وذلك من خلال الأثير على العلاقات المائية للنبات .

ــ ولقد وجد أن الإستجابه للمعاملة الخارجية بحمض ABA تكون سريعة جدا ، فهى تؤدى إلى غلق الثغور فى خلال ٩-٣ ق بعد المعاملة مباشره وأجريت هذه التجربة على نباتات Beta vulgaris. Zea mays, Rumex obtusifolia

ــ يعمل ABA على فقد الخلايا الحارسة لعنصر البوتاسيوم وكذلك فقها لحاله الإمتلاء ، وهذا يؤدى إلى غلق الثغور .

ــ ويجدر الذكر أن تنظيم الثغور يتداخل فيه عاملان مهمان وهما : تركيز ABA وتركيز Co_2 فى الخلايا الحارسة. وتختلف إستجابه الخلايا الحارسة حسب إختلاف تركيز كل منهما ، فمثلا الإجهاد المائى يؤدى إلى زيادة تركيزABA فى الخلايا الحارسة وبالتالى فقدها لعنصر البوتاسيوم وحاله الامتلاء وهذا يؤدى إلى غلق الثغور . وتؤدى هذه الميكانيكية إلى حماية النباتات ضد الجفاف وفى هذه الحالة يزيد تركيز Co_2 والعكس يحدث إذا ما تم إمداد النباتات بالماء مره أخرى ، حيث ينخفض تركيز ABA فى الخلايا الحارسة ويعود تركيز البوتاسيوم إلى حالته الطبيعية وكذلك حاله

الإمتلاء وينخفض تركيز Co_2 فى الخلايا الحارسة وتنفتح الثغور ويؤدى ذلك إلى سهوله دخول Co_2 لأنسجه الورقة وبالتالى حدوث عمليه البناء الضوئى.

Bud dormancy ــ ٢

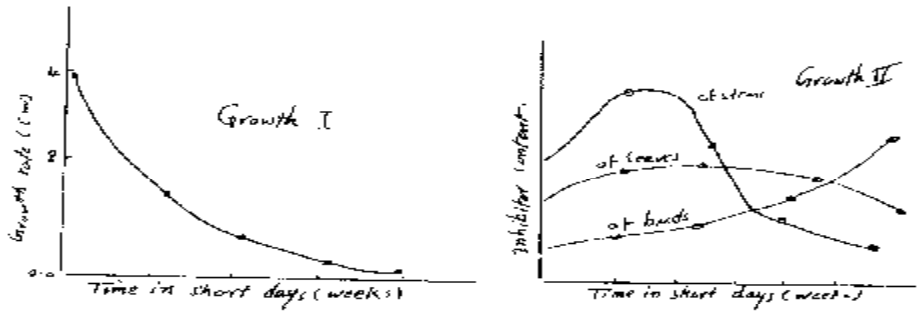
ــ كان العالم Hemberg (**1949**) ، هو أول من أشار إلى العلا قه بين السكون فى براعم Potato tubers , Fraxinus وبين إحتوائها على تركيز مرتفع من مثبطات النمو. وقد تحصل العالم (**1961**) Kawasa على نتائج مشابهه فى تجاربه على أشجار البتيولا *Berula pubescens* ولاحظ أيضا تأثير النهار القصير (**١٠ساعات**) والليل الطويل على تنشيط السكون فى البراعم كما فى الرسم التوضيحى التالى :

ــ فى الأشجار المعمرة يلاحظ أنه خلال دوره حياتها السنوية فإنه يحدث سكون للبراعم وخاصة فى نهاية الصيف وأثناء الخريف ثم يلى ذلك دخول الأفرع كليه أو الشجرة كلها فى دور السكون .

ــ ومن العوامل الهامة والمؤثرة والمتحكمة فى إحداث السكون فى البراعم أشجار المنطقة المعتدلة (**الأشجار الخشبية**)، طول النهار. ففى النباتات الخشبية الهامة سواء مغطاة البذور أو معراه البذور نجد أن النهار الطويل ينشط النمو الخضرى بينما النهار القصير يؤدى إلى توقف النمو ودخول البراعم فى دور السكون . وهذا التوقيت الضوئى والمؤدى إلى سكون البراعم ، أمكن ملاحظه أيضا فى النباتات الحولية (**العشبيه**). ويمكن القول أن المستقبل الضوئى فى هذه العملية هو صبغه الفيتوكروم ، والتى تتميز بالإستجابات المنعكسة لتعرضها للأطوال الموجيه Red/far وللتخصيص، فإن الأوراق هى المستقبل الحقيقى للضوء وقد تقوم الحراشيف البرعميه بإستقبال الضوء والتأثر به فى بعض الأصناف.

ـــ وفى تجارب Wareing على كل من Betula Pabescens , Acer pseudoplatanus وجد أن تعرض هذه الأشجار لفترة ضوئية قصيرة وليل طويل يعمل على دخول البراعم فى طور السكون. ويمكن كسر طور السكون بتعريض النباتات لفترة نهار طويل وليل قصير دون المعاملة بالحرارة المنخفضة. ولقد وجد warieng وآخرون أن النهار القصير الذى يسبب السكون أدى أيضاً إلى زيادة المثبطات (**مثبطات النمو**) فى الأوراق والبراعم.

ـــ وحدث التثبيط فى البراعم ودخولها فى دور السكون نظراً لإنتقال مثبطات النمو من الأوراق إلى البراعم. وأمكن إستخلاص هذه المثبطات وتم تعريفها والتأكد من أنها ABA. وفى بعض النباتات أمكن كسر طور السكون بالمعاملة بالجبريلين GA_3 إذا ما كان السكون بسبب التواقت الضوئى أو بسبب المعاملة الخارجية بحمض ABA.



Induction of bud dormancy, I. by short days (10 h.) and long night (14 h.) in *Betula pubescens*, and correlated changes in growth inhibitor content. II. of leaves, stems and buds (Kawase, 1961).

من هذه التجارب ، أمكن التأكد من أن ABA يتداخل ، وله دور كبير فى تنظيم دورة النمو والسكون. كما أ،ضح Wareing أيضاً أن الدورة السنوية لنمو وسكون البراعم يتم تنظيمها عن طريق حدوث إتزان بين المحتوى الداخلى من مثبطات النمو والجبريلين. ويحدث السكون فى بعض الحالات إذا زاد المحتوى الداخلى من ABA وإنخفض مستوى GA_3. والعكس صحيح لإنعكاس هذه الظاهرة والخروج من دور السكون.

وكل ما سبق شرحه نحو تأثير النهار القصير على حدوث السكون لا ينطبق فى كل الحالات حيث أن تعرض بعض الأشجار لظروف النهار القصير لا يسبب زيادة المحتوى من ABA.

٣ ــ Seed dormancy:

ــ قد يحدث سكون فى بذور معراة البذور أو مغطاة البذور بعد النضج ولا تنبت حتى إذا تم توفير جميع شروط الإنبات من رطوبة وحرارة وإضاءة. وقد تم حصر أسباب السكون فى البذور فى عدة حالات منها:

- عدم نفاذية قصرة البذرة للماء والهواء.
- عدم نضج الجنين.
- الحاجة إلى التخزين فترة بعد النضج (after ripening).
- المقاومة الميكانيكية لقصرة البذرة.
- وجود مثبطات سواء فى قصرة البذرة أو التركيبات المساعدة أو وجود المثبطات فى اللحم المحيط بالبذرة كما فى الثمار اللحمية الطازجة.
- إحتياجات ضوئية خاصة أو عدم حاجتها للتعرض للضوء.
- الإحتياج لدرجة حرارة منخفضة (صفر ــ ١٠م) مع التعرض للرطوبة (Chilling).

وتسمى هذه العملية Stratification.

ــ وقد أمكن كسر طور السكون للبذور الناتجة من الأشجار الخشبية النامية فى المنطقة المعتدلة وذلك بإجراء عملية Stratification.

ـــ وفى تجربة أجراها العالم Sendheomer (1968) على نوعين من Fraxinus الأول يتبع المنطقة المعتدلة وهو *F. Americana* والثانى يتبع منطقة البحر المتوسط. ويحتاج النوع الأول إلى إجراء عملية Stratification نظراً لدخول بذورة فى دور سكون، بينما لا يحتاج النوع الثانى هذه المعاملة . وأثناء الإنبات لوحظ الآتى:

	Biological material	**Germination %**	**ABA content (ug/1000 seed or pericarps)**
1- *F. Americana*	1- Dormant seeds	0.3 %	11.0
	2- Chilled seeds	70 – 95 %	3.3
	3- Pericarp from dormant samara	-	24.0
	4- Pericarp from chilled samara	-	15.0
II- F. Ornus لا يحتاج للـــ chilling	1- Seed	75 %	2.6
	2- Pericarp	-	1.6

ـــ وأثناء عملية chilling (Stratification) لبذور النوع *F. americana* لوحظ انخفاض المحتوى من ABA فى Pericarp بنسبه ٣٧% بينما أنخفض فى البذور بنسبة ٨٦%. وأن محتوى ABA فى البذور بعد إجراء عملية chilling يعتبر مماثلاً للمحتوى من ABA فى بذور *F. ornus* وهو معدل منخفض.

ـــ وبالتالى يمكن القول أن ABA له دور منظم فى عملية إنبات البذور. وأقر العالم Sondheimer أن ABA ليس هو الهرمون الوحيد المتحكم فى عملية الإنبات ولكن من المحتمل وجود هرمونـــات

أخرى مؤثرة فى عملية الإنبات ونمو بادرات *F. americana* فمثلاً وجد نفس العالم أن المعاملة الخارجية بالجبريلين أدت إلى إبطال مفعول أو إلغاء مفعول ABA فى عملية الإنبات عند معاملة البذرة به. ولكن فى هذه الحالة فإن نمو الأوراق وكذلك معدل تخليق الكلورفيل كان أقل من النباتات غير المعاملة.

ـ وعند معاملة تلك النباتات بالكينتين Kinetin فى خليط مع GA ، فإن ذلك أدى حدوث نمو طبيعى للأوراق ومحتوى عادى من الصبغات وذلك فى النباتات التى سبق وأن عوملت بحمض ABA . ولكن يجب معرفة أن Kinetin منفرداً ليس له المقدرة على إحباط أو إنعكاس تأثير ABA على الإنبات وكذلك وجد أن إنبات البذور غير الكامنة أو التى ليست فى دور سكون عند معاملتها بحمض ABA.

ـ ولقد وجد Redrawn (1967) فى تجاربه على بذور نبات Corylus avellana والتى تحتاج إلى Stratification كى تنبت بذورها، زيادة المحتوى من GA الداخلى فى البذور بعد إجراء عملية Stratification ولذلك فلقد أمكن الإستغناء عن إجراء هذه العملية. وعلى ذلك فإن معاملة البذور مباشرة بالجبريلين، يعمل على تعويض البذور الحاجة لعملية chilling.

ـ وفى تجارب على مادة Amo 1618، وهى مادة مثبطة لتخليق GA_3 ، وجد أنها تؤدى إلى إبطال مفعول عمليةchilling .

ـ وعلى ذلك فإنه يمكن تفسير كسر السكون فى البذور والتى تحتاج إلى chilling عن طريقتين: الأولى هو نقص المثبط ABA ، كما فى حالة *F. Americana* ، والثانى فهو زيادة المنشطات كالجبريلين، كما فى حالة Corylus avellana وقد يحدث التغيير فى الإثنين معاً فى بعض الحالات الأخرى.

ـ ومن المعروف أيضاً أن ABA يثبط الإنبات فى العديد من بذور النباتات الحولية الأخرى. فمثلاً وجد العالم Baleg (1960) ، أن حمض ABA يثبط تخليق إنزيم α - amylase فى أليرون بذور الشعير خلال الإنبات، وهى العملية التى ينشطها GA_3 بينما يمكن إبطالها بتركيز منخفض جداً من ABA. كما يعمل ABA على تثبيط تخليق إنزيمات تحليل البروتينات، الريبونيوكليوتيدات وربما جميع إنزيمات التحلل المائى، والتى يشجع حمض GA تخليقها فى طبقة الأليرون.

ـ كما أدى ABA أيضاً إلى تثبيط تخليق الأحماض الدهنية بشدة عند إنبات بذور الخروع.

ـ كما أوضح العالم Van Overbeek (1967) ، أن حمض ABA يعوق تخليق DNA وكذلك RNA. ويمكن القول أن حمض ABA يطيل فترة السكون بتثبيط تكوين أنواع معينة من m-RNA ، وبالتالى تكوين بروتينات معينة.

٤ ـ Abscission:

ـ وجد العالم Bornman (1967) ، أن حمض ABA ينشط عملية التساقط حيث يعمل ABA على الإسراع من تحلل الصفيحة الوسطى ومكونات الجدار الخلوى. وأيضاً يعمل ABA على سرعة تكوين وتخليق إنزيمات البكتينيز ، السليوليز والبروتيز.

ـ كما وجد العديد من العلماء (Sakr, 1985 , Sankhila, 1967) ، أن المعاملة بحمض ABA تسرع من فقد الكلورفيل فى الأوراق النباتية.

ـ كما وجد أن أوراق الموالح والتى تم رشها بحمض ABA صيفاً قد تساقطت.