

### الجبريلينات

### GIBBERELLINS

مقدمة تاريخية عن اكتشافها:

يرجع الفضل في اكتشاف الجبريلينات إلى العلماء اليابانيون حيث أنه من أوائل القرن العشرين وحتى عام ١٩٢٦ لاحظ مزارعو الارز اليابانيين أن بعض بادرات الارز تنمو بطول كبير جداً غير عادى بالنسبة للبادرات العادية وقد لاحظوا أيضاً أن هذه البادرات الطويلة تكون قصيرة العمر وتموت ولا تكون نباتات وأحياناً قليلة تكون نباتات طويلة وذات أوراق متميزة الطول لا تزهر أو لا تعطى أزهار بالكمية الكافية كما أن الأزهار تكون عقيمه لا ينتج منها حبوب أو تتكون حبوب أرز ضامرة عديمة القيمة الاقتصادية وقد اشتكى المزارعون من هذه الظاهرة كثيراً وفي سنة ١٩٢٦ تمكن العالم الياباني كوروساوا Kurosawa من اثبات أن هذه الحالة حالة مرضية تنتج عن فطر اسمه *Fusarium moniliforme* وأن هذا الفطر هو الطور الناقص لطور من الفطريات الآسكية وهو الطور الكامل ويسمى *Gibberella fujikorei*. وقد أمكنه اثبات أن جراثيم هذا الفطر ممكن أن تحدث الاصابة للبادرات وتحدث نفس الأعراض وقد سمى هذا المرض باسم foolish seedling disease مرض البادرة الحمقاء كما سمى أيضاً Bakanae disease. وقد وجد هذا العالم علاوة على ذلك أنه عند تنمية هذا الفطر على بيئة سائلة ثم أخذ راشح هذا الفطر في البيئة دون

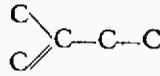
الهيئات أو الجراثيم فأن هذا الراشح يمكن أن يحدث نفس الأعراض المرضية الا أنه لسوء الحظ لم يتمكن من فصل المركب الفعال في صورة نقية حيث أنه كان يختلط دائماً مع هذا المركب مركب يفرزه هذا الفطر وهو حامض الفيوزاريك fu-saric acid ولم يكن يعلم هو بذلك. الا أنه سنة ١٩٣٥ - ١٩٣٨ تمكن Yabuta اليابانى من عزل مركب فعال يحدث نفس الأعراض السابقة وهو في صورة بلورية نقية وسماه بالجبريللين Gibberellin A منسوباً إلى اسم الفطر. وحيث أن جميع هذه الابحاث كانت تجرى في معامل اليابان وبواسطة العلماء اليابانيون فأن نشر هذه البحوث كان كله في مجلات يابانية ولذلك لم ينتبه العلماء الغربيون إلى هذه البحوث الا بعد قيام الحرب العالمية الثانية وانتهائها ففى حوالى سنة ١٩٥٠ تنبه العلماء الغربيون لهذه البحوث القيمة وقد نشط كل من العلماء الامريكان والانجليز واليابانيون أيضاً في هذا الصدد حتى تمكن العلماء الانجليز Curtis وآخرون سنة ١٩٥٥ - ٥٤ من عزل أول مركب في العالم الغربى في صورة نقية وأعطى تركيبة الصحيح، وقد كان هذا التركيب مخالفاً إلى حد ما للتركيب الذى حدده العلماء اليابانيون لهذا المركب وقد سمي العلماء الانجليز هذا المركب باسم حامض الجبريلليك Gibberellic acid، وقد توالت البحوث بعد ذلك حيث أمكن عزل مركبات مختلفة للجبريلينات من فطر الفيوزاريم وأيضاً من النباتات الراقية وفي فترة قصيرة نسبياً وصل عدد هذه المركبات إلى أكثر من ٢٠ مركب وقد سميت هذه المركبات باسم Gibberellin (GA1) و Gibberellin 2 (GA2) وكذلك Gibberellic acid (GA3) وهكذا تسمى هذه المركبات. ولكن بتقدم طرق الفصل وطرق الكيمياء التحليلية فقد قفز هذا العدد الآن في مركبات الجبريللين الى ٦٢ مركب حتى عام ١٩٨٤، وهذه المركبات لها هيكل أساسى واحد ولكنها تختلف في موقع وعدد الروابط المزدوجة الموجودة في الجزيء وأيضاً في موقع مجموعة OH وغيرها وقد وجد أيضاً بعض المركبات الأخرى تشابه في تأثيرها تأثير الجبريلينات ومن هذه المركبات مركب helminthosporic acid الذى يعزل من الفطر Helminthosporium sativum وهو شبيه الجبريللين Gibberellin-like activity حيث أن له نشاط

مشابه الجبريللين، ولكن يختلف هذا المركب في تركيبه الجزيئي عن الجبريللين تماماً.

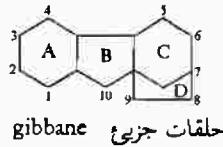
وجد فطر آخر وهو *Sphaceloma manihoticola* وهو فطر أسكى أيضاً يسبب مرض الطول الزائد super elongation disease في الكاسافا cassava وينتج جبريللين GA4 - ٤.

#### تعريف الجبريلينات:

الجبريلينات هي مركبات تسبب استطالة في خلايا الساق السليم. ويوجد تداخل ملحوظ بين تأثير الأوكسينات والجبريلينات حيث أن كل منهما يسبب استطالة لخلايا الساق ولكن توجد فروق هامة بين هاتين المجموعتين من الناحية التركيبية للجزيء. فإن جميع مركبات الجبريلينات المكتشفة لها هيكل skeleton واحد أساسى ومشتقات مختلفة لهذا الهيكل وهذا الهيكل اسمه Gibbane skeleton (شكل ٩٣) وهو مركب عديد الحلقات (٤ حلقات) بالإضافة الى ذلك تأثير الجبريلينات أساساً يختبر على النباتات السليمة ويكون تأثير الجبريلينات ضعيف على الأجزاء الساقية المقطوعة أو معدوم والعكس صحيح في الأوكسينات حيث أنها تختبر على أجزاء ساقية مقطوعة كما سبق شرحه في الأوكسينات.



Isoprene unit (5-C)

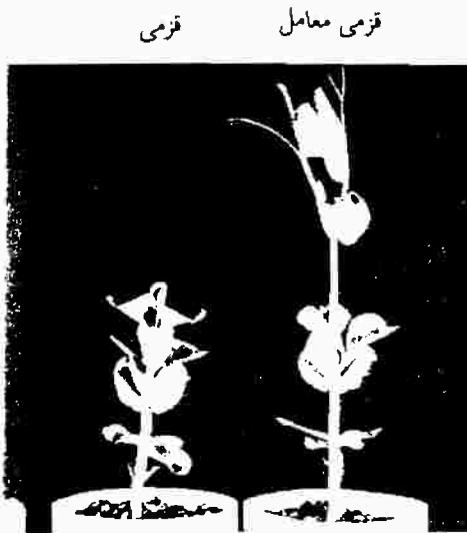
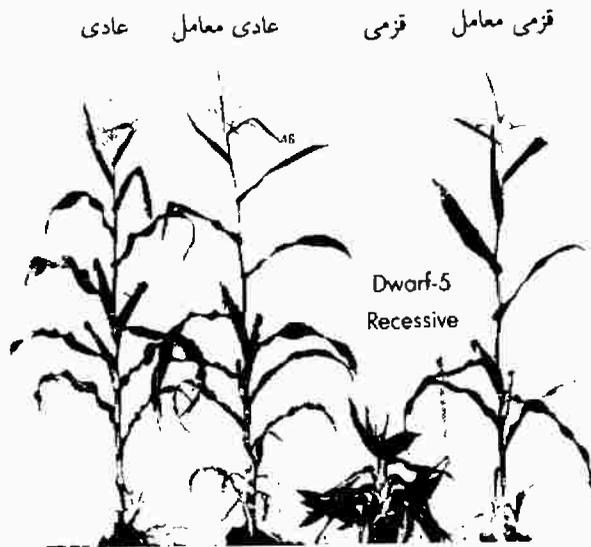


حلقات جزيء gibbane

(شكل ٩٣): هيكل جزيء gibbane وجزيء isoprene

قد تختلف الجبريلينات في تأثيرها على طول النباتات العادية ولكنها عادة تؤثر على زيادة طول النباتات العادية ولكن بدرجة غير كبيرة نسبياً. ولكن تأثير الجبريلينات على النباتات القزمية يكون عظيماً حيث أنه من المعروف في نباتات الذرة والفاصوليا والأرز والبسلة و *Pharbitis* (شكل ٩٤) هي نباتات لها سلالات عادية في الطول ولكن توجد سلالات أخرى من هذه النباتات قزمية وقد وجد أن الاختلاف الوحيد في بعض هذه الحالات هو نتيجة اختلاف في جين واحد فقط بين النبات القزمي والنبات العادي وأن هذا الجين هو المسئول عن تكوين الجبريلين أو عدم تكوينه. والدليل على ذلك أنه عند استعمال نباتات قزمية ومعاملتها بمحلول الجبريلين فقط كمعاملة وحيدة فإن هذه النباتات تستطيل لتصبح في طول النبات العادي فمعنى ذلك أن الفرق بين السلالات الطويلة والسلالات القزمية فرق واحد هو أن السلالات الطويلة قادرة على تخليق الجبريلين والسلالات القزمية غير قادرة على تخليقه وعند إضافة الجبريلين للنباتات القزمية فيصبح لها شكل ظاهري phenotype غير شكلها القزمي الأصلي حيث أنها تصبح سلالات طويلة وتسمى phenocopies. سلالات الذرة القزمية المستعملة في هذه التجارب عبارة عن طفرة في جين واحد single gene mutant من السلالات العادية من الذرة حيث أصبح الجين غير قادر على تخليق الجبريلين بينما في السلالات العادية فإنه قادر على تخليق الجبريلينات أي أن الـ genotype مختلف.

وقد وجد أن الجبريلينات المختلفة قد تختلف في تأثيرها على النباتات المختلفة تبعاً لتركيبها. وقد وجد بتحليل النباتات العادية والقزمية أن النباتات القزمية فعلاً تحتوي على تركيز قليل من الجبريلينات بالمقارنة إلى تركيزها في النباتات العادية الطول ولكن هذه الحالة في بعض النباتات القزمية ولكن في بعض النباتات الأخرى القزمية وجد أن تركيز الجبريلينات في النباتات القزمية ونباتات عادية الطول تقريباً تركيز متساوي وعند تحليل أنواع الجبريلينات الموجودة في النباتات القزمية وجد أنها تختلف عن أنواع الجبريلينات الموجودة في النباتات العادية الطول ومن ذلك يتضح أن نوعية الجبريلين تؤثر أيضاً على الاستطالة بمعنى أن بعض الجبريلينات يكون تأثيرها ضعيف والبعض الآخر ذو تأثير كبير واضح على استطالة النبات.



(شكل ٩٤) : تأثير حامض الجبريلليك على نمو الذره (أعلى) والبسله (أسفل).

ومن ذلك يمكن القول أن تركيز الجبريللينات مهم لتحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول وأيضاً نوعية الجبريللينات مهمة في حدوث هذا التأثير. بالإضافة الى الفرقين الرئيسين بين الأوكسينات والجبريللينات كما سبق ذكره وهما الفرق في التركيب والأختبار على النبات السليم أو المقطوع فإنه توجد فروق رئيسية أخرى أهمها ما يأتي (جدول ٣)

(جدول ٣): ملخص لبعض التأثيرات الكبرى للأوكسينات والجبريللينات.

الجبريللينات	الأوكسينات	نوع النشاط الاستجابي
ليس له تأثير	يشجع	١ - السيادة القمية.
ليس له تأثير	يشجع	٢ - استطالة غمد ريشة الشوفان.
يشجع	ليس له تأثير	٣ - استطالة الساق والأزهار في النباتات ذات النمو المتورد ذات الحولين والغير مرتبعة وكذلك ذات اليوم الطويل.
ليس له أثر	يشجع	٤ - تكوين الكالس في نخاع الدخان.
يشجع	ليس له تأثير	٥ - احتفاظ الأوراق المفصولة بالكلورفيل.
يشجع	يشجع	٦ - نمو السويقة الجنينية السفلى الكاملة الخاصة بنبات الخيار.
ليس له تأثير	يشجع	٧ - نمو قطع ساق نبات البسلة القزمية.
يشجع	ليس له تأثير	٨ - نمو الساق الكامل لنبات البسلة القزمية.
ليس له تأثير	يشجع	٩ - حركة الاستجابة الموضعية العلوية epinasty.
ليس له تأثير	يشجع أو يثبط	١٠ - تساقط الأوراق.
يشجع	يشجع	١١ - تكوين الثمار اللابذرية (الطماطم).
لا	نعم	١٢ - الانتقال القطبي.
ليس له تأثير	يشجع	١٣ - تنشئة الجذور.
ليس له تأثير	يشجع	١٤ - نمو الجذور.
يشجع	ليس له تأثير	١٥ - إنبات البذور وكسر الكمون.

طرق أستخلاص الجبريلينات:

يتم ذلك بطريقتين كما فى الأوكسينات

### ١ - الأنتشار Diffusion

يشابه ما سبق وصفه فى الأوكسينات لأستخلاص الأوكسين الحر. أستخدمت هذه الطريقة لأول مرة عند إستخلاص الجبريلين من قمة نبات عباد الشمس. يتم قطع القمة النامية للنبات ووضعها على طبقة رقيقة من الأجار وذلك لمدة تتراوح بين ١٢ - ٢٤ ساعة. تجرى التجربة فى جو به رطوبة عالية وضوء عادى. ينتشر الجبريلين إلى قطعة الأجار. يعتبر ذلك أيضاً جبريلين حر.

### ٢ - الأستخلاص بالمذيبات العضوية Solvent extraction

يتم أستخلاص الجبريلينات من راسح فطر *Gibberella fujikuroi* والنباتات الزهرية بواسطة مذيبات معينة مثل كحول الميثيل أو الأستون أو حتى بعد تخفيف هذين المذيبين فى الماء. يعتبر الجبريلين المستخلص بهذه الطريقة هو الجبريلين الكلى الحر والمقيد، يمكن حساب كمية الجبريلين المقيد وذلك بطرح الجبريلين الحر المستخلص بالطريقة السابقة من الجبريلين الكلى والذى يقدر بهذه الطريقة.

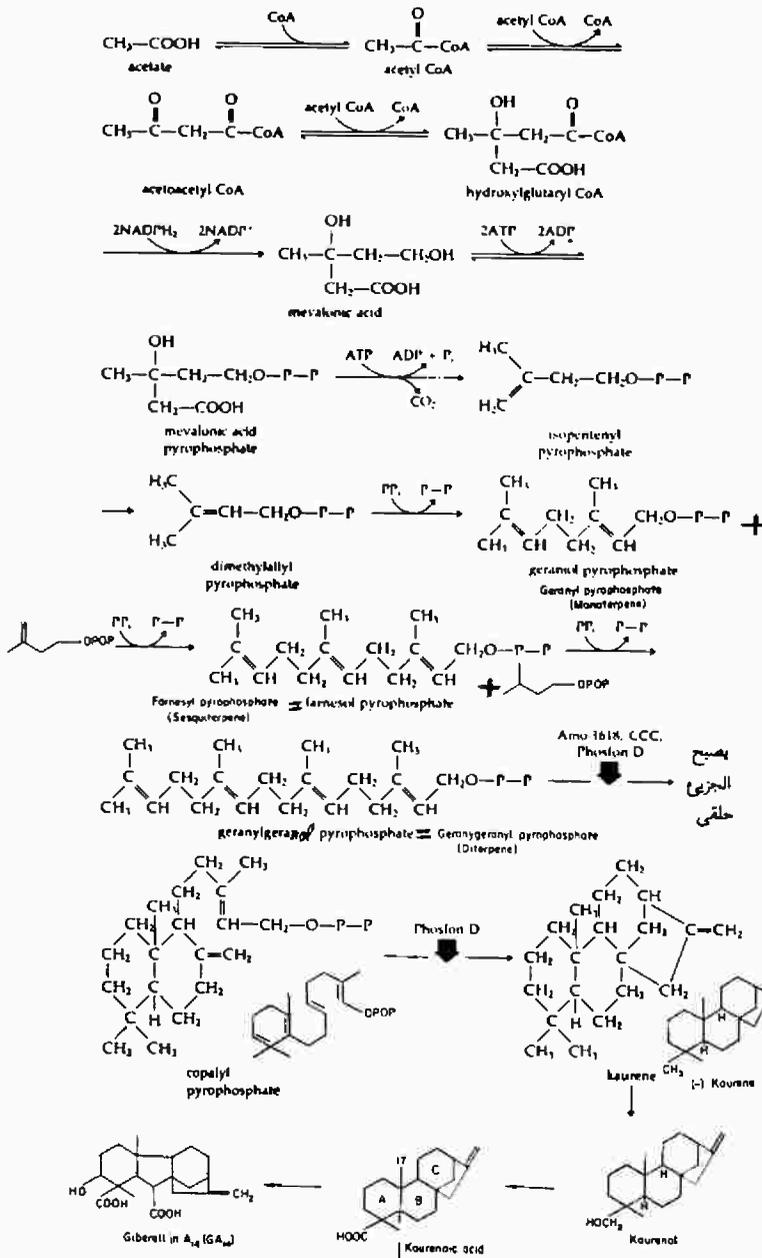
تخليق الجبريلينات:

تم معرفة الكثير عن التخليق الحيوى للجبريلينات عن طريق الدراسات عن الفطر الأسمى *Gibberella fujikuroi* وأيضاً على بعض النباتات الزهرية وذلك بإستخدام الإندوسبرم الغير ناضج لبذور هذه النباتات ومنها *Echinocystis macrocarpa* والقرعيات *Cucurbita pepo* وأيضاً بإستخدام الثمار غير الناضجة لنبات البسلة وبادرات نبات *castor bean*. وجد أن تخليق الجبريلينات متماثل فى الفطريات والنباتات الزهرية.

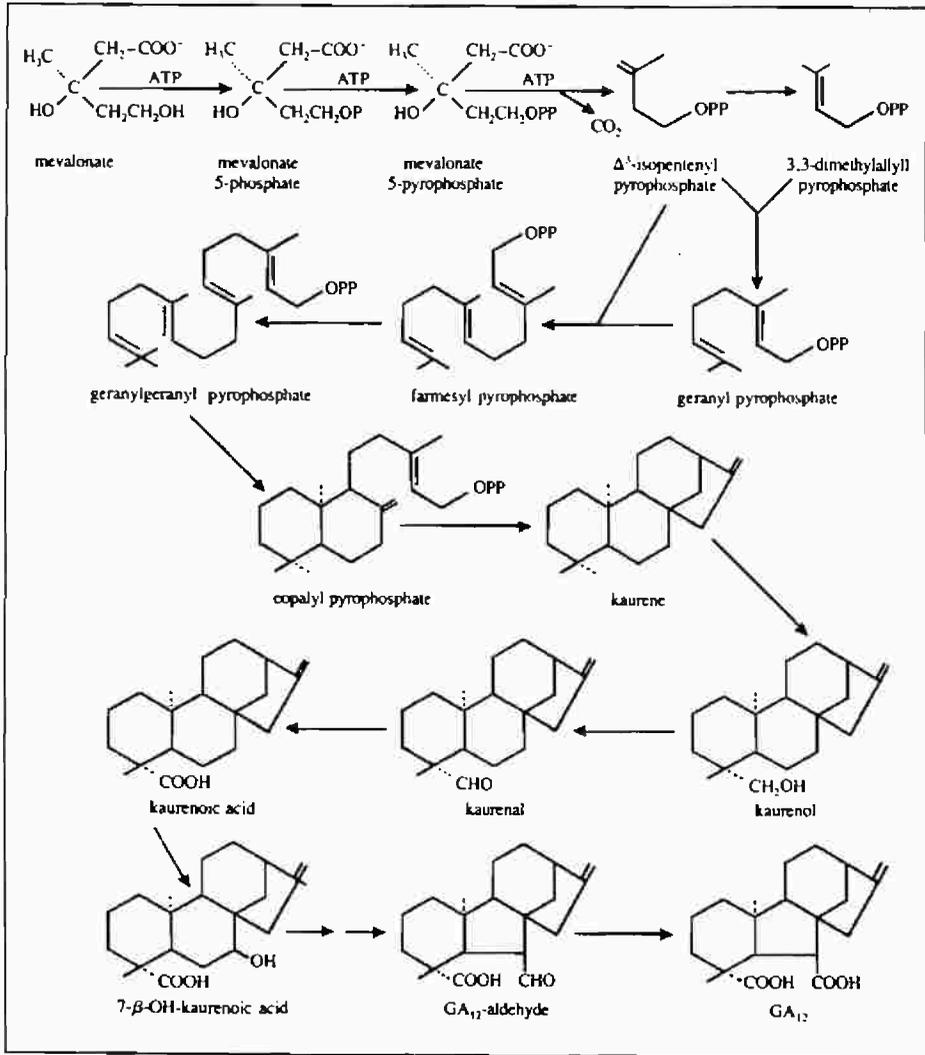
يوجد تشابه فى تركيب المركبات التربينية terpenes أو شبه التربينية terpenoids و تركيب الجبريلينات. تختلف المركبات السابقة فى تركيبها إلا أنها تشترك فى

الوحدة البنائية وهي جزيء يتكون من خمس ذرات كربون يسمى isoprene unit (شكل ٩٣). وكل وحدة تربين terpene تتكون من عشرة ذرات كربون أى من وحدتين isoprene. يتكون جزيء الجبريللين من أربع وحدات isoprene أى وحدتين تربين ولذلك تسمى الجبريلينات أنها ثنائية التربين diterpenoids. ولذلك يتكون جزيء الجبريللين من أربعة حلقات وهي D,C,B,A ويسمى هذا الهيكل بإسم gibbane skeleton (شكل ٩٣). تشترك جميع الجبريلينات فى أنها تتكون من هذا الهيكل. وفيما يلي خطوات تخليق مركبات الجبريللين: نستطيع أن نرى من أول لمحة أن جميع الجبريلينات تتشابه مع بعضها بدرجة كبيرة من الوجهة الكيميائية، فكلها لها نفس الهيكل الكربوني العام وتشابه تركيبياً. والجبريلينات تنتمى كيميائياً إلى مجموعة كبيرة من المركبات الموجودة طبيعياً وتسمى التربينويدات terpenoids، والتي يوجد عدد كبير منها فى النباتات مثل الأستيروولات sterols والكاروتينويدات carotenoids. والتربينويدات terpenoids تبنى من وحدات ذات خمس ذرات كربون وتسمى وحدات أيزوبرين isoprene unit - وتكون الوجدتان من أيزوبرين مركب التربين الأحادى (C-10) monoterpene - والثلاث وحدات تكون ما يسمى التربين مرة ونصف (C-15) sesquiterpene - أما الأربع وحدات فتكون التربين الثنائى (C-20) diterpene. المنشئ الوسطى intermediate precursor للجبريللين مركب ثنائى التربين يسمى كاورين kaurene. والجبريلينات هى مركبات تتكون من هيكل (ent - gibberellane) وهو يتكون من عشرين ذرة من الكربون أو من هيكل (ent - 20 norgibberellane) وهو يتكون من تسع عشرة ذرة كربون - وتتميز أحماض الجبريلين عن بعضها فى وجود أو عدم وجود تركيب اللاكتون (استر داخلى) فى حلقة (A) - والبدائل أو الإحلالات خصوصاً مجاميع الهيدروكسيل (OH) حول التركيب الحلقى ككل - وتتحول الجبريلينات فيما بينها بسهولة فى الكائن الحى عن طريق إحلالات مجاميع الأيدروكسيل (OH) - وهذه العملية ربما تكون مهمة فى إنتاج الصورة النشطة زيادة عن الصور الغير نشطة والعكس بالعكس، ويعتمد هذا على وجود إنزيمات تحفيز مجاميع الهيدروكسيل

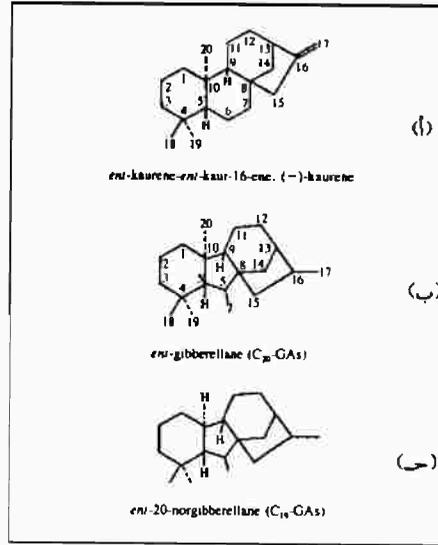
hydroxylating enzymes خلال المراحل التطورية المختلفة للنبات. ترجع معظم معلوماتنا عن البناء الحيوي للجبريلين في النباتات إلى الدراسات الخاصة بالبذور الغير ناضجة - ولقد قام وست West ومساعدوه بتجارب على الإندوسبرم السائل للبذور الغير مكتملة لأنجاز معظم هذا العمل، ولم تترك تجارب النظائر المشعة radioactive isotope أى شك على مشاركة الخلات acetate كمنشئ أولي primary لبناء الجبريلين (شكل ٩٥ أ - د) ودلت الأبحاث أيضاً كما هو الحال في العديد من مسالك البناء الحيوية، أن انتقال مجاميع الخلات النشطة active acetyl groups يقوم به المرافق الإنزيمي A - A Coenzyme (CoA)، وهو المرافق المتخصص في نقل مجاميع الخلات. وتتضمن الخطوات القليلة الأولى للبناء الحيوي للجبريلين تكوين ثلاثة جزيئات من خلات المرافق الإنزيمي - أ (acetyl CoA) وتكثيفهم النهائي لتكوين حمض الميفالونيك mevalonic acid. وفي وجود جزيئين من ATP وأحد إنزيمات التنشيط kinase enzyme يفسر حمض الميفالونيك في خطوتين ليكون حمض الميفالونيك بيروفوسفات mevalonic acid pyrophosphate - وتحدث عملية نزع مجموعة الكربوكسيل لحمض الميفالونيك بيروفوسفات وذلك في وجود ATP وأحد إنزيمات نزع مجموعة الكربوكسيل decarboxylation فينتج مركب إيزوبنتيل بيروفوسفات (IPP) isopentenyl pyrophosphate - وهذا المركب هو وحدة أيزوبرينويد isoprenoid ذو خمس ذرات كربون ويشق منها كل الكاروتنويدات carotenoids والجبريلينات gibberellins وحمض الأبسيسيك (ABA) وجزء من السيتوكينينات cytokinins وتحدث لمركب (IPP) إيزوبنتيل بيروفوسفات «عملية تشابه» isomerization ويتكون مركب ثنائي ميثيل الليل بيروفوسفات di-methylallyl pyrophosphate وهو يكون الخطوة الأولى في إجهاد بناء التربينويدات المتقدمة higher terpenoids.



(شكل ١٩٥) : خطوات تكوين الجيريللين من حامض الخليك، ومكان عمل معوقات النمو فوسفون D وأمو ١٦١٨ و CCC. (التركيب الحلقي بالتفصيل)



(شكل ٩٥ ب) : خطوات تخليق الجيريلينات من حامض الميفالونيك  
 في نبات قريعات *Cucurbita pepo*. (التركيب الحلقي دون كتابة الذرات)



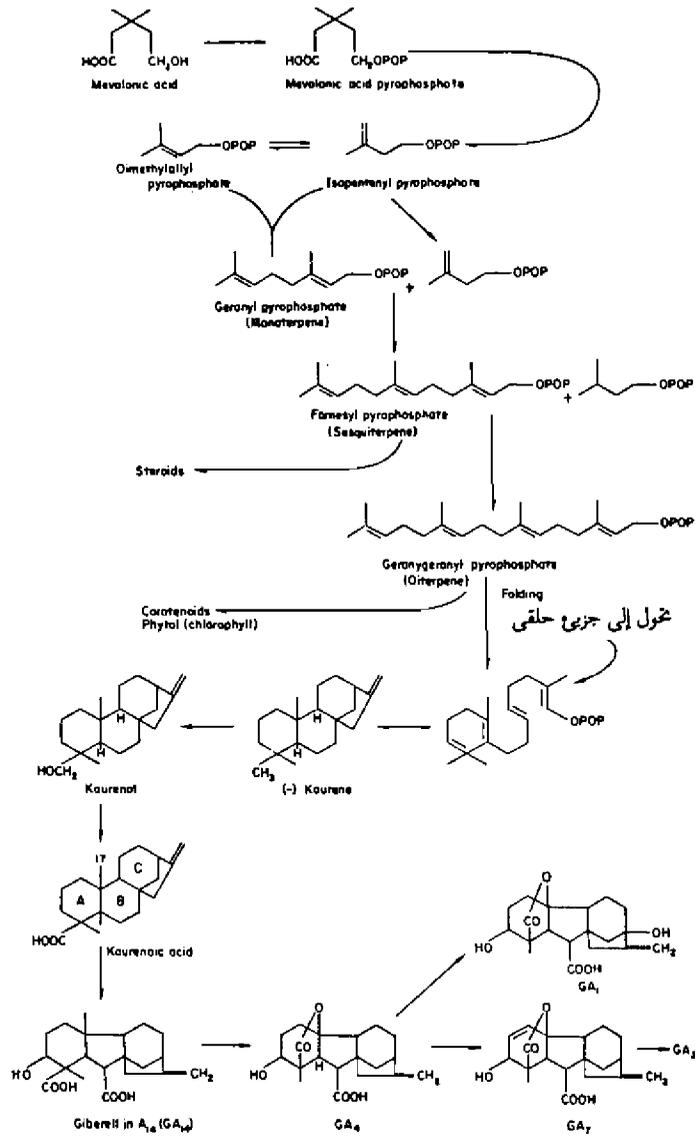
(شكل ٩٥ ج): التركيب الأساسي الهيكلي للجبريلينات.

أ - التركيب الأساسي للجبريلينات عموماً.

ب - التركيب الأساسي للجبريلينات ٢٠ ذرة كربون.

ج - التركيب الأساسي للجبريلينات ١٩ ذرة كربون.

وتفاعل التشابه السابق ذكره يحفزه إنزيم Ipp isomerase ويعمل مركب (Ipp) كمستقبل لمركب آخر من نوعه (Ipp) ويعطى تفاعل التكتيف مركب ذو عشر ذرات من الكربون ويسمى جيرانيول بيروفوسفات geraniol pyrophosphate وبإضافة وحدتان متاليتان من مركب Ipp إلى مركب geraniol pyrophosphate يؤدي إلى تكوين فarnيزول بيروفوسفات C-15 farnesol pyrophosphate أولاً ثم بعد ذلك يتكون مركب (C-20) (diterpene geranylgeraniol pyrophosphate) ويتحول بعد ذلك هذا المركب إلى مركب diterpene alcohol copalyl pyrophosphate أولاً ثم بعد ذلك إلى كاورين kaurene - ويتحول الكاورين kaurene بسهولة إلى جبريلين في النباتات ، وفي النهاية يجب أن نذكر أن ميلبورو Milborow أوضح أن حمض الأبسيسيك abscisic acid وهو مركب sesquiterpenoid يبني



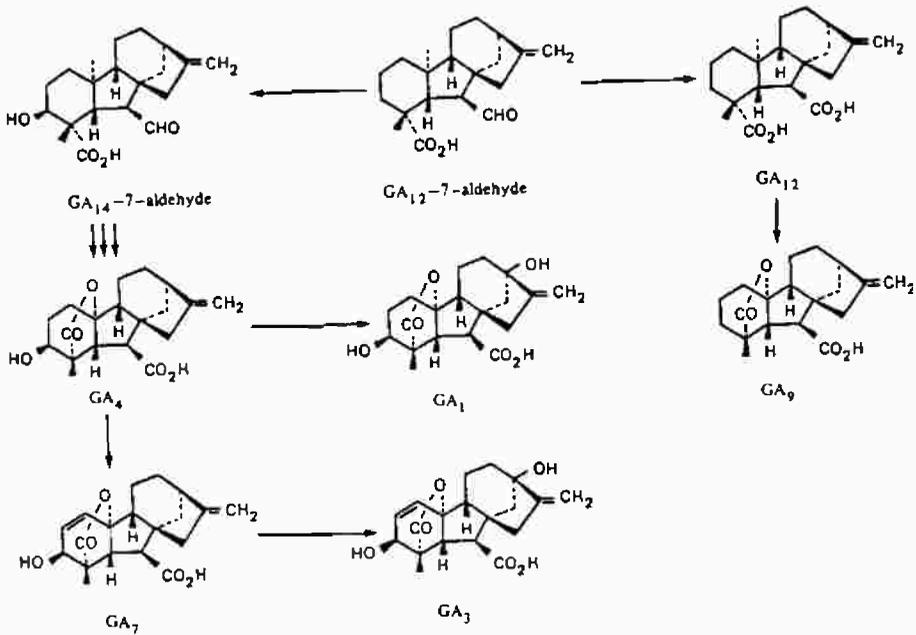
(شكل ٩٥ - د): خطوات تحويل حامض mevalonic إلى الجبرلينات المختلفة في أشكال جزيئية مبسطة.

من الميفالونات mevalonate ويتبع نفس الخطوات المبدئية لمسلك الجبريللين. ومن الجدير بالذكر أن كلا المنظمين regulators يكونان متضادان في بعض نظم النمو النباتية المعينة، هذا وينتج في البلاستيدات الخضراء كميات كبيرة من الجبريللينات وحمض الأبسيسيك.

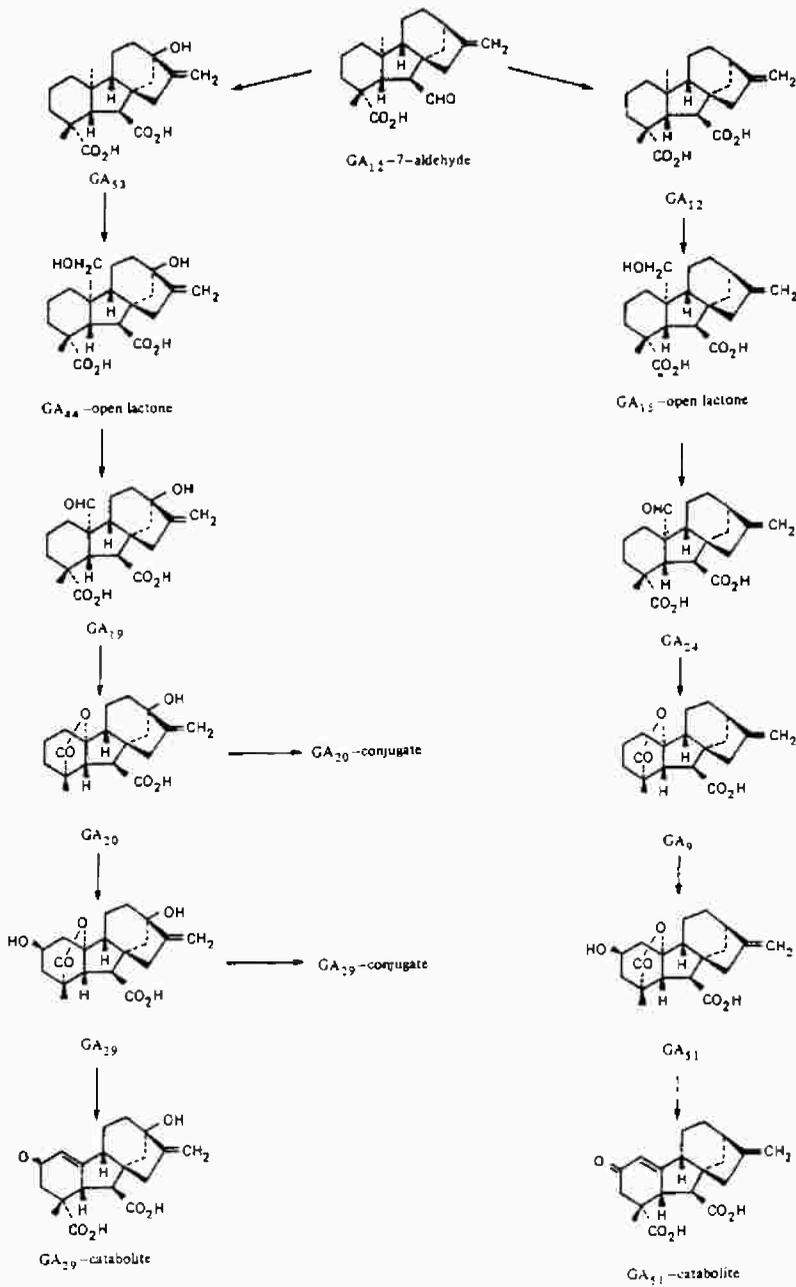
يمكن اختصار طريقة التخليق السابقة وعرضها بطريقة أكثر تبسيطاً وحيث يختصر بعض الخطوات كالاتي. يعتبر حامض الخليك المركب الذي يتكون منه الجبريللينات يتحد ثلاث جزيئات من حامض الخليك ليتكون جزيء حامض ميفالونك mevalonic acid. يتحول الأخير إلى سلسلة مستقيمة أو شبه مستقيمة من مركب isopentenyl pyrophosphate وتوجد خطوات وسطية أثناء ذلك وهي حيث يتحول حامض الميفالونيك إلى ميفالونيك - 5 - فوسفات - 5 - mevalonate phosphate في وجود جزيء ATP ثم يتحول الأخير إلى -5- pyro-phosphate في وجود جزيء ATP ثم يتحول الأخير إلى isopentenyl pyrophosphate في وجود جزيء ATP ويخرج جزيء ك. أ. يمكن أن يتكون من الأخير مركب 3,3 dimethylallyl pyrophosphate. يتحد المركبين الأخيرين ليكونان farnesyl pyrophosphate. ثم يتحول الأخير ليكون مركب geranyl geranyl pyrophosphate. ثم يتحول المركب الأخير لتكوين مركب ثنائي التربين diterpene وهو geranyl geranyl pyrophosphate. يتكون المركب الأخير من عشرون ذرة كربون ويحدث له تحور لكي يصبح مركب حلقي وتسمى هذه الحالة cyclisation ويسمى المركب الناتج كاورين kaurene. يحدث التفاعل الأخير على خطوتين في وجود أنزيم kaurene synthetase حيث يتحول المركب geranyl geranyl pyrophosphate إلى مركب copalylpyrophosphate ثم يتحول الأخير إلى الكاورين. يعتبر المركب الأخير أول مركب حلقي يتكون أثناء تخليق الجبريللينات. يحدث للكاورين أكسدة ويكون مركبات kaurenol ثم kaurenal ثم kaurenoic ومنها مركب 7-kaurene ol-19-oic-acid ويسمى أيضاً المركب الأخير 7-B-oH-Kaurenoic acid ومنه يتكون الجبريللين بعد ذلك. أول جبريللين يتكون هو جبريللين 4 (GA4) في حالة

فطر *Gibberella Fusarium* وجبريلين ١٢ (GA12) في حالة نبات القرعيات *Cucurbita pepo* (شكل ٩٥).

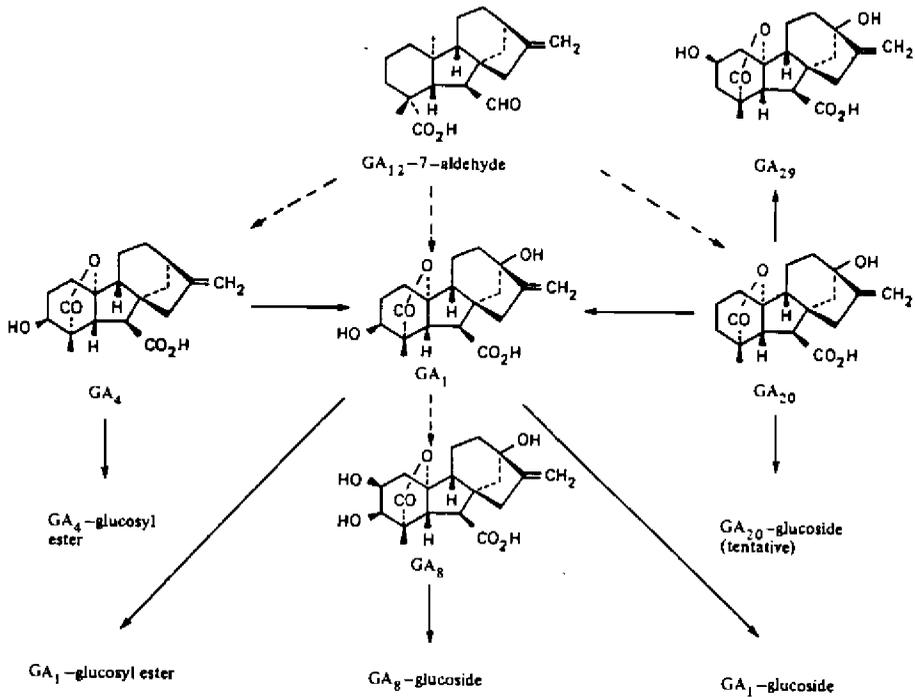
يحدث تكوين مركب الجبريللين من مركب جبريللين آخر وهكذا وتختلف طريقة التخليق ونوع الجبريلينات المتكونة باختلاف الكائن الحي مثل جبريللا (شكل ٩٦) ونبات البسلة (شكل ٩٧) وبذور الفاصوليا (شكل ٩٨) والذرة والسبانخ (شكل ٩٩) وبذور *Cucurbita maxima* (شكل ١٠٠).



(شكل ٩٦) : خطوات تحول جبريللين ١٢ في مزارع الفطر *Gibberella fujikuroi*

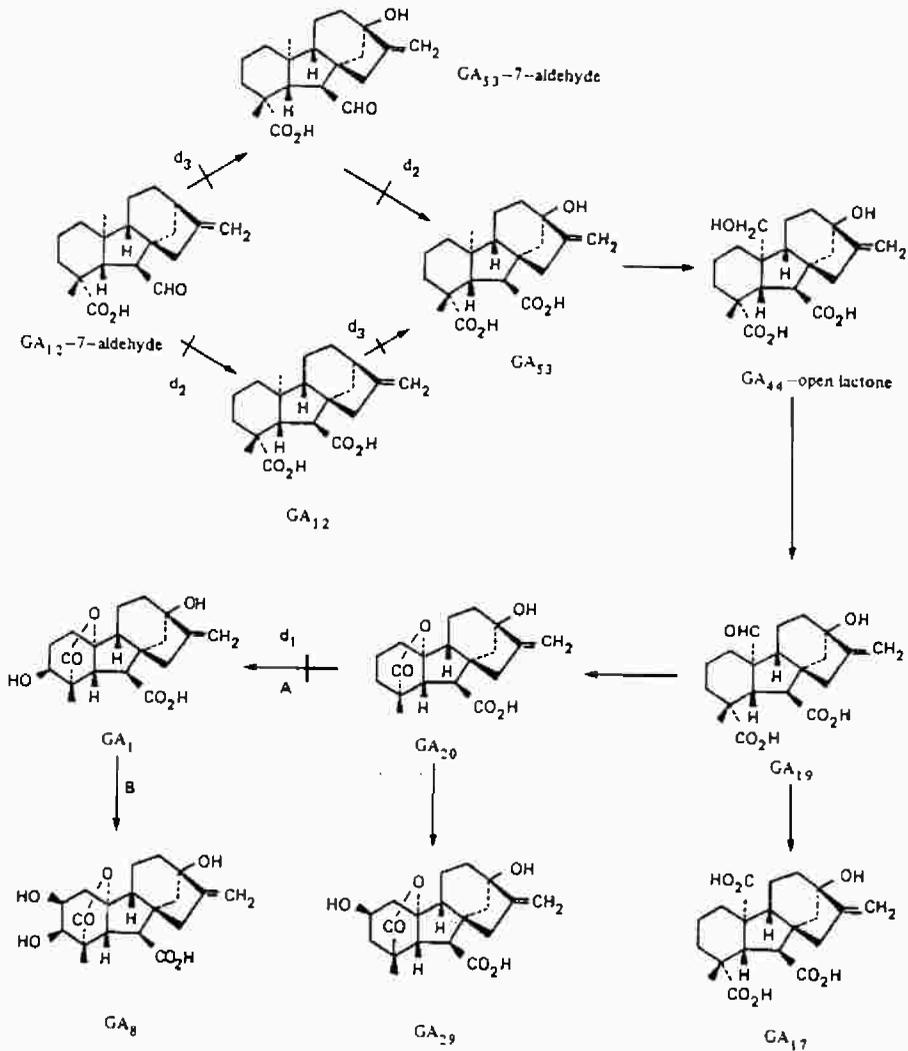


(شكل ٩٧) : تحول جبريللين ١٢ إلى الجبريلينات الأخرى في بذور البسلة.



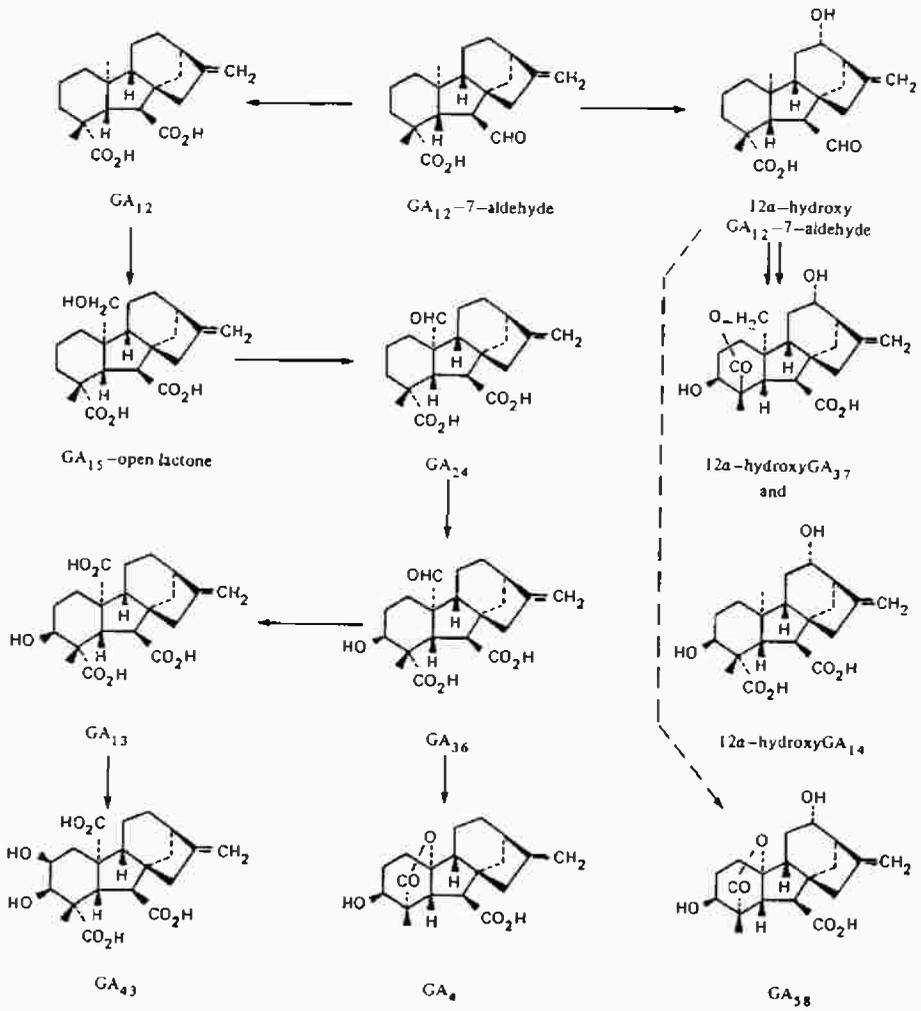
(شكل ٩٨) : خطوات تحول جبريلين ١٢ في بذور الفاصوليا.

أمكن إثبات هذه الدورة وذلك بإستعمال خلاات مشعة بواسطة ك<sup>١٤</sup> وحامض mevalonic حيث تم تنمية الفطر السابق على بيئة تحتوى هذين المركبين فقد نتج عن ذلك تكوين جبريللين مشع وذلك يثبت أن المركبين السابقين يدخلان فى عملية تخليق الجبريللينات. نفس النتيجة عند وضع كاورين مشع بواسطة ك<sup>١٤</sup> فى بيئة الفطر ويوضح ذلك أن الكاورين مركب وسطى فى تخليق الجبريللينات. أمكن أيضاً إستخلاص بعض الأنزيمات من بذور نباتات البسلة و *Cucurbita pepo* و *Echinocystis* لها دور فى عمليه تخليق الجبريللينات.



(شكل ٩٩) : خطوات تحول جيريللين ٥٣ إلى الجيريللينات المختلفة في الذرة والسمبانج.

single gene mutants d1,d2,d3 في جين واحد



(شكل ١٠٠) : خطوات تحول جبريلين ١٢ إلى الجبريلينات الأخرى في بذور *Cucurbita maxima*. خطوات التحول في الخط المتقطع إفتراضية حيث لم يكن إثباتها بالرغم من وجود جبريلين ٥٨ في البذور.

تشارك جميع الجبريلينات فيما يأتي :

١ - لها هيكل gibbane

٢ - حامضية التأثير. جميع الجبريلينات ذات التسعة عشر ذرة كربون لها مجموعة كربوكسيل واحدة وتوجد دائماً على ذرة الكربون رقم ٧. وفي حالة الجبريلينات ذات العشرون ذرة كربون ولها مجموعة كربوكسيل أو أكثر فإن هذه المجموع توجد على ذرة الكربون رقم ٤ و ٧ و ١٠.

٣ - يختلف عدد مجاميع الإيدروكسيد في الجزئيء وأيضاً موقعها . بعض الجبريلينات بها مجموعة إيدروكسيد واحدة والبعض الآخر خال من هذه المجموعة. عند وجود هذه المجموعة تكون في ذرة الكربون ٣ أو ١٣ ، وفي حالة جبريلينات الفطر فإنها توجد في الموقع ٣ وفي حالة جبريلينات النباتات الزهرية فإنها توجد في الموقع ١٣.

٤ - تعتبر الحلقة A غير مشبعة أى بها روابط مزدوجة. تختلف درجة عدم التشبع من مركب إلى آخر.

يوجد بعض الاستثناءات القليلة في الجبريلينات لما سبق ذكره في رقم ٢ و ٣ و ٤.

المركبات الشبيهة بالجبريلينات

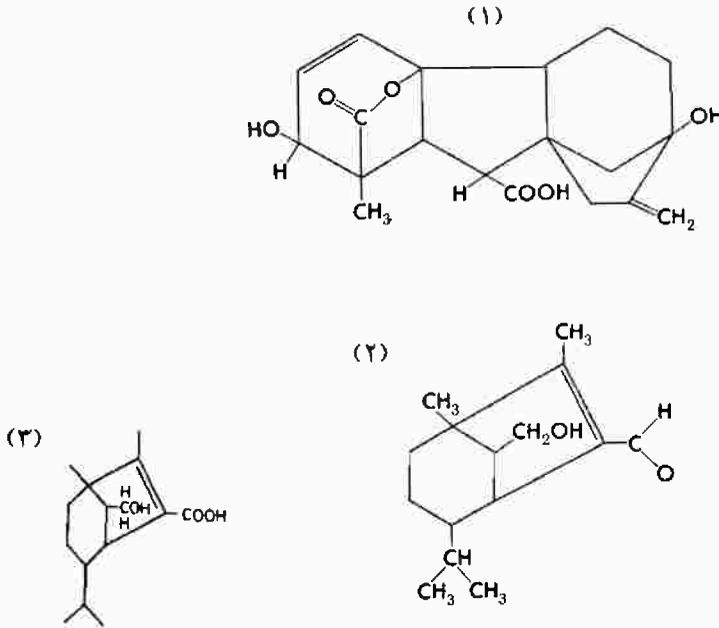
#### • Gibberellinlike activity compounds

هي مركبات لها نشاط حيوى يشابه الجبريلينات أى تشابه الجبريلينات في تأثيرها على النبات وهي مركبات عديدة وتختلف في تركيبها الجزيئى (شكل ١٠١). ومنها ما يأتي:

١ - Helminthosporol

وهو مركب يوجد في صورة كحول ويوجد أيضاً helminthosporic acid وهو يوجد في صورة حامضية (شكل ١٠١). يتم إستخلاصه من راشح فطر

*Helminthosporium sativum*. يعتبر هذا المركب فعال في بعض صفات الجبريللين حيث أنه يسبب تحليل إندوسبرم حبوب الشعير ويشجع نمو وإستطالة السلالات القزمية في الأرز. ولكنه غير قادر على عمل ذلك في سلالات الذرة القزمية، وبذلك يختلف أيضاً عن الجبريللين.



(شكل ١٠٩) التركيب الجزيئي لحمض الجبريلليك (١) ومركب helminthosporol (٢) وحامض helminthosporic (٣).

## Phaseolic acid – ٢

يستخرج حامض الفاصوليك من بذور جنس الفاصوليا *Phaseolus*. يشجع نمو وإستطالة السلالات القزمية من الذرة والبسلة كما أنه يسبب تحليل النشا في إندوسبرم حبوب الشعير.

## Ecdysone – ٣

وهو عبارة عن هورمون من مجموعة steroids يوجد فى الحشرات وهو ينظم عملية الأنسلاخ فى الحشرات. يسبب نمو وأستطالة السلالات القزمية فى الذرة.

## Steviol – ٤

مركب يستخلص من نبات *Stevia rebaudiana* ويظهر نشاط مشابه للجبريللين. يعتقد أن هذا المركب غير فعال ولكن فاعليته لسهولة تحوله فى النباتات المختلفة بواسطة الأنزيمات إلى مركبات الجبريللين ومن هنا تثبت فاعليته.

## أنواع الجبريللينات:

يوجد أنواع عديدة من الجبريللينات وقد تم التعرف على تركيبها الجزيئى وشكلها الجزيئى وذلك بأستخدام أجهزة معينة تستخدم طرق طبيعية physical meth-ods مثل NMR, mass spectrometry, أشعة X. تركيب هيكل gibbane معقد ولم يتمكن أحد من تخليقه حتى الآن، ولذلك فإن جميع الجبريللينات الناتجة تكون طبيعية ناتجة من عمليات التحول الغذائى للنبات أو الفطر، ولذلك فإن جميع الجبريللينات طبيعية natural ولا يوجد جبريللينات تركيبه كما هو الحال فى الأوكسينات والسيستوكينينات. وإنتاج الجبريللينات على نطاق تجارى يكون من مزارع فطر الفيوزاريوم *Gibberella*. وعامة يعتبر جبريللين ٣ أى حامض الجبريلليك و هو المنتشر تجارياً وأيضاً جبريللين مخلوط من ٤ و ٧ أى ٤+٧ هى نواتج فى مزارع الفطر السابق.

وقد وجد أن الجبريللينات تختلف فيما بينها أساساً فى الروابط المزدوجة من حيث عددها ومكانها وأيضاً من حيث عدد مجموعات COOH ومكانها وأيضاً مجاميع CO<sub>2</sub>H من حيث عددها ومكانها وأيضاً مجموعة الأيدروكسيد كما سبق ذكره.

من أهم مركبات الجبريللين المستعملة فى الاغراض الزراعية هو مركب GA3 والذى يسمى باسم حامض الجبريلليك Gibberellic acid حيث انتاج هذا الحامض

يكون بكمية كبيرة وتكاليفه قليلة نسبياً وبذلك انتاجه بكميات كبيرة تفي بحاجه الاغراض التجارية وهذا بالاضافة أيضا إلى أنه فعال كمركب جبريليني. ولكن حديثاً أمكن استخدام بعض من المخاليط من الجبريلينات لأغراض زراعية الا أن هذه المخاليط تكون مكلفة وباهظة التكاليف مثل مخلوط GA4 و GA7.

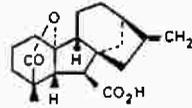
كما سبق القول، الجبريلينات المختلفة تختلف في تأثيرها فقد وجد أن GA1 و GA3 و GA4 تسبب استطالة السويقة الجنينية السفلى لبادرات الخيار في حين أن GA8 ليس له أى تأثير في ذلك. ومثال لحالة أخرى أيضاً فقد وجد أن GA7 يساعد على الازهار لنبات *Silene* في حين أن GA1 ليس له أى تأثير في ذلك كما وجد أن جبريلين ٢ يسبب نمو مبيض زهره الطماطم وأن حامض الجبريلليك ضعيف في ذلك.

يصعب أيضاً الحكم على تأثير جبريلين معين على عملية معينة في النبات حيث أنه وكما سبق القول فإن هذه الجبريلينات قابلة للتحول من مركب إلى آخر في داخل أنسجة النبات. وفي حالة الحكم على أن جبريلين غير فعال في أداء وظيفة معينة في فسيولوجى النبات فإن ذلك قد يكون نتيجة لعدم قدرة النبات على تحويله إلى جبريلين آخر نشط فسيولوجياً.

يمكن تصنيف الجبريلينات على أساس المجموعة الموجودة فيها ( أشكال ١٠٢ - ١٠٥ ).

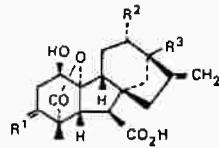
يمكن أن تتحول الجبريلينات من مركب إلى آخر ويختلف مسار التحول من نبات إلى آخر فهو يختلف فى الفطر *Gibberella* عنه فى بذور الفاصوليا عنه فى بذور البسلة عنه فى أندوسبرم *Cucurbita maxima* (أشكال ٩٥ - ١٠٠). يوجد أيضاً التركيب الجزئى لأول ١٣ مركب جبريليني تم اكتشافها (شكل ١٠٦).

I. Non-hydroxylated

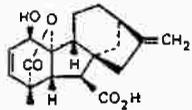


GA<sub>9</sub> (P,F)

II. 1β-Hydroxylated

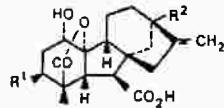


	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>
GA <sub>33</sub> (P)	O	OH	H
GA <sub>34</sub> (P,F)	H,β-OH	H	H
GA <sub>35</sub> (P,F)	H,β-OH	H	OH
GA <sub>60</sub> (P)	H <sub>2</sub>	H	OH
GA <sub>61</sub> (P)	H <sub>2</sub>	H	H



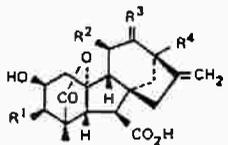
GA<sub>62</sub> (P)

III. 1α-Hydroxylated



	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
GA <sub>16</sub> (P,F)	OH	H
GA <sub>17</sub> (F)	OH	OH

IV. 2β-Hydroxylated



	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>
GA <sub>51</sub> (P)	H	H	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>29</sub> (P)	H	H	H <sub>2</sub>	OH
GA <sub>34</sub> (P)	OH	H	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>8</sub> (P)	OH	H	H <sub>2</sub>	OH
GA <sub>48</sub> (P)	OH	H	H,β-OH	H
GA <sub>49</sub> (P)	OH	H	H,α-OH	H
GA <sub>10</sub> (P)	OH	OH	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>26</sub> (P)	OH	H	O	H

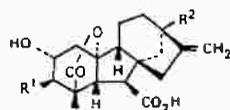
(شكل ١٠٢) : التركيب الجزيئي لجبريلينات ١٩ ذرة كربون مختلفة

وبلاحظ أيضاً أن الذرة رقم ١ و ٢ مختلفان.

F = توجد بالفطريات.

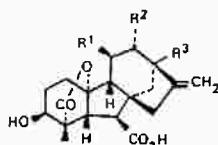
P = توجد بالنباتات الزهرية.

V. 2 $\alpha$ -Hydroxylation

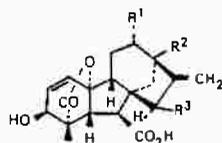


	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
GA <sub>20</sub> (F)	H	H
GA <sub>27</sub> (F)	OH	H
GA <sub>36</sub> (F)	OH	OH

VI. 3 $\beta$ -Hydroxylated



	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>
GA <sub>4</sub> (P,F)	H	H	H
GA <sub>35</sub> (P)	OH	H	H
GA <sub>1</sub> (P,F)	H	H	OH
GA <sub>38</sub> (P)	H	OH	H



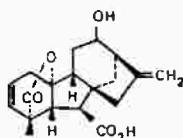
	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>
GA <sub>7</sub> (P,F)	H	H	H
GA <sub>3</sub> (P,F)	H	OH	H
GA <sub>10</sub> (P)	OH	H	H
GA <sub>12</sub> (P)	OH	OH	OH

VII. 11 $\beta$ -Hydroxylation

في جميع مركبات IV و VI

VIII. 12-Hydroxylation

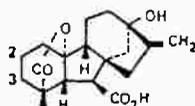
في جميع مركبات II IV و VI



GA <sub>31</sub> (P)	عدا
----------------------	-----

IX. 13-Hydroxylation

في جميع مركبات II و VI



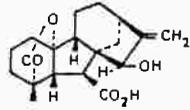
GA <sub>20</sub> (P)	عدا
GA <sub>5</sub> (P)	2,3-double bond

(شكل ١٠٢): التركيب الجزيئي لجبريلينات ١٩ ذرة كربون مختلفة. ويلاحظ أن الذرات ٣ و ٢ و ١١ و ١٢ و ١٣ مختلفة.

F = توجد في الفطريات.

P = توجد في النباتات الزهرية.

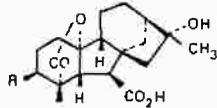
X. 15 $\beta$ -Hydroxylation, included in Groups II and VI في جميع مركبات



GA<sub>45</sub> (P)

عنا

XI. 16 $\alpha$ -Hydroxylated



GA<sub>10</sub> (F)

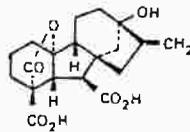
R

GA<sub>2</sub> (F)

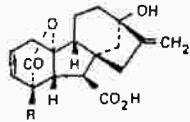
H

OH

XII. 18-Oxygenation



GA<sub>21</sub> (P)



GA<sub>22</sub> (P)

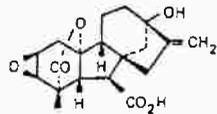
R

GA<sub>39</sub> (P)

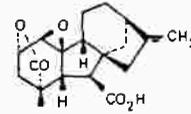
CH<sub>2</sub>OH

CO<sub>2</sub>H

XIII. Epoxides



GA<sub>6</sub> (P)



GA<sub>11</sub> (F)

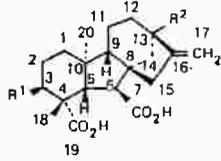
(شكل ١٠٤) : التركيب الجزيئي لجبريلينات ١٩ ذرة كربون مختلفة

وبلاحظ أن الذرات ١٦ و ١٨ مختلفة.

F = توجد في الفطريات.

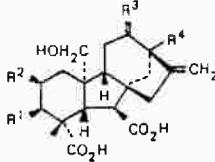
P = توجد في النباتات الزهرية.

I. 10-Methyl



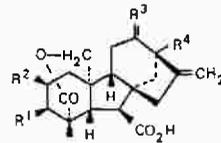
	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
GA <sub>12</sub> (F,P)	H	H
GA <sub>14</sub> (F)	OH	H
GA <sub>53</sub> (P)	H	OH
GA <sub>18</sub> (P)	OH	OH

II. 10-Hydroxymethyl

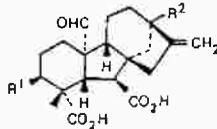


	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>
GA <sub>15</sub> (F,P)	H	H	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>37</sub> (F,P)	OH	H	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>44</sub> (P)	H	H	H <sub>2</sub>	OH
GA <sub>38</sub> (P)	OH	H	H <sub>2</sub>	OH
GA <sub>37</sub> (P)	OH	OH	H <sub>2</sub>	H
GA <sub>52</sub> (P)	OH	OH	H,4-OH	OH

isolated as

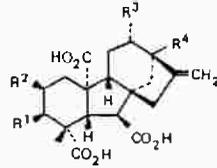


III. 10-Aldehyde



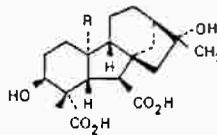
	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
GA <sub>24</sub> (F,P)	H	H
GA <sub>36</sub> (P)	OH	H
GA <sub>19</sub> (P)	H	OH
GA <sub>23</sub> (P)	OH	OH

IV. 10-Carboxylic acid



	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>
GA <sub>25</sub> (F,P)	H	H	H	H
GA <sub>13</sub> (F,P)	OH	H	H	H
GA <sub>46</sub> (P)	H	OH	H	H
GA <sub>17</sub> (P)	H	H	H	OH
GA <sub>43</sub> (P)	OH	OH	H	H
GA <sub>39</sub> (P)	OH	H	OH	H
GA <sub>28</sub>	OH	H	H	OH

V. 16-Hydroxylated



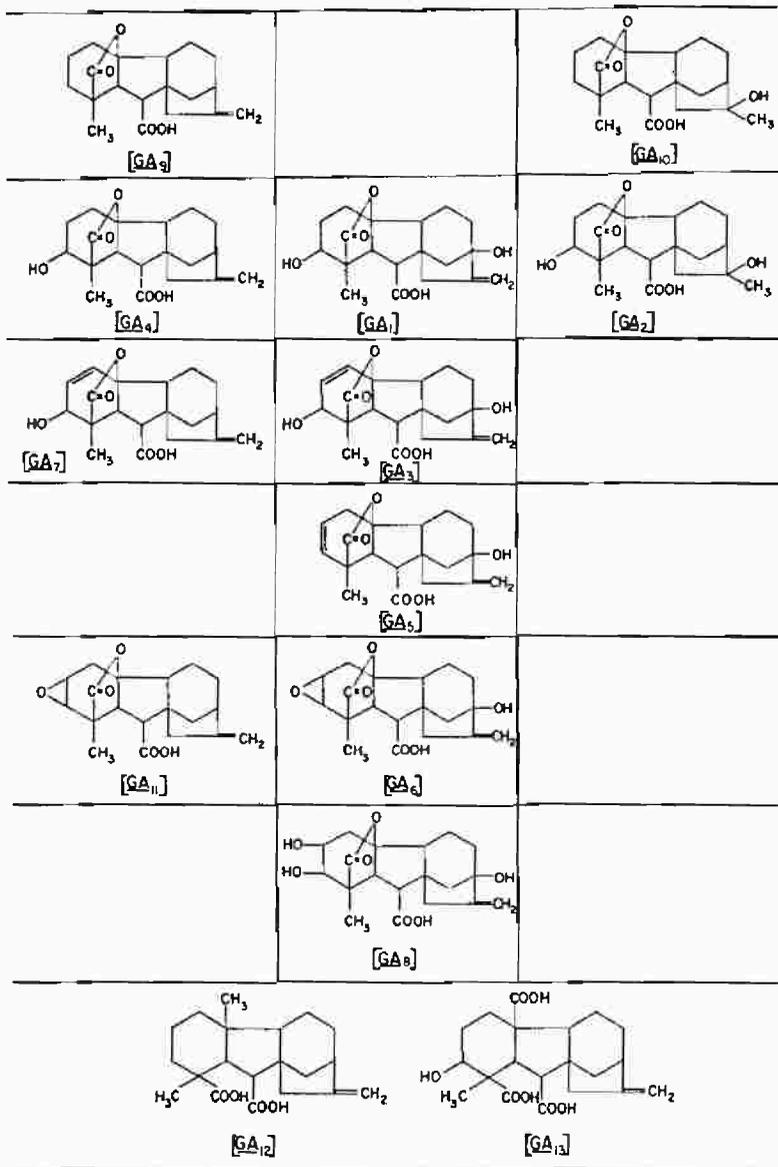
	R
GA <sub>41</sub> (F)	CO <sub>2</sub> H
GA <sub>42</sub> (F)	CH <sub>3</sub>

(شكل ١٠٥)؛ التركيب الجزيئي للجبريلينات ٢٠ ذرة كربون مختلفة. ويلاحظ أن

الذرة رقم ١٠ تختلف من المجموعة وأيضاً الذرة رقم ١٦.

F = توجد بالفطريات.

P = توجد بالنباتات الزهرية.



(شكل ١٠٦) : التركيب الجزيئي لأول ثلاثة عشر مركب جيريلين تم اكتشافهم.  
الصفوف تتشابه في الحلقة A والأعمدة تتشابه في الأحلال علي ذرتي الكربون رقم ٧ ، ٨ في هيكل .gibbane

أماكن تخليق الجبريلينات في النباتات:

تخلق الجبريلينات في أماكن عديدة أهمها القمم النامية للسيقان والأوراق الصغيرة جدا leaf primordia التي تغطي القمم النامية كما تتكون أيضاً بكميات كبيرة نسبياً في البذور أثناء تكوينها في الجنين والفلقات. كما تتكون في الثمار أثناء تكوينها وكبرها في الحجم. كما تخلق أيضاً في الجذور وقد وجد أن إفرازات الجذور يمكن أن تحتوي على جبريلينات وفي بعض الحالات وجد أن تركيز الجبريلينات في إفرازات الجذور تكون كافية تماماً لنمو جميع أجزاء النبات.

أمكن إثبات تخليق الجبريلينات في القمم النامية لساق عباد الشمس بواسطة طريقة الانتشار في طبقة الآجار. حيث أن تركيز الجبريلينات يقل كلما ابتعدنا عن القمة النامية. كما يعتقد أن الأوراق الصغيرة في القمم النامية هي مكان تخليق الجبريلينات وليست النسيج المرستيمي للقمة.

انتقال الجبريلينات:

الجبريلينات ممكن أن تنتقل في أي اتجاه أي أنها لا تظهر خاصية الانتقال القطبي بمعنى أنها تنتقل من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى وذلك بعكس الأوكسينات. كما وجد أيضاً أنها تنتقل في كل من نسيج اللحاء والخشب. يمكن أن تنتقل جانبياً من اللحاء إلى الخشب والعكس، ولذلك فإنها تعتبر منظمات نمو جهازية وعلى العكس تماماً من الأوكسينات. وقد أمكن إثبات ما سبق بإستعمال حامض جبريلليك مشع ك<sup>14</sup> في نباتات الذرة الشامية والصفصاف.

كيفية هدم أو التخلص من تأثير الجبريلينات:

من المعروف أن الجبريلينات عند وجودها بتركيزات كبيرة نسبياً لا تؤثر تأثير ضار على النباتات بينما العكس صحيح في حالة الأوكسينات وكذلك نجد أن سرعة تحول مركبات معينة مثل IAA المعاملة بها النباتات تكون كبيرة وينتهي تأثيرها أو مفعولها في النبات بعد وقت قليل نسبياً بينما في حالة الجبريلينات فإنه يستمر

تأثيرها وفعاليتها لمدة أطول بكثير بالمقارنة بمركبات الأندول الأوكسينية. ومن المعروف أنه توجد تفاعلات عديدة تقلل من تأثير وتركيز وفعالية مركبات الأندول الأوكسينية كما سبق ذكره ولكن هذه التفاعلات غير واضحة أو ملموسة في الجبريلينات حيث أن زيادة التركيز للجبريلينات إلى حد كبير نسبياً لا يؤثر تأثير ضار على النبات ولكن من المعروف أن الجبريلينات ترتبط مع أنواع من السكريات فقد ترتبط مع الجلوكوز. إرتباط السكريات مع الجبريلينات ينتج عنها مركبات تعرف باسم glycosides فمن المعروف أن الجبريلين يرتبط بالجلوكوز ليكون gibberel- lin - glucoside. تسمى عملية الأرتباط بالتزاوج conjugation وتكون النتيجة أن الجبريلين يصبح غير نشط فسيولوجياً وتسمى inactivation في هذه الحالة. وهذه الطريقة من الطرق التي يحدث فيها التحام بين الجبريلين والجلوكوز وبذلك يحدث عملية تثبيط لتأثير Inactivation الجبريلين.

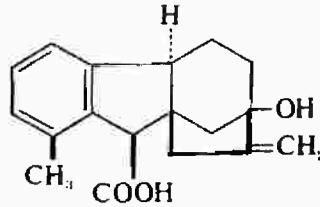
تتحلل الجبريلينات في المحلول في وجود بيئة قلوية أو حامضية عالية أو pH2 وخاصة مع درجات الحرارة العالية ١٠٠ مئوية إلى ثلاثة مركبات وهي:

١ - Gibberic acid

٢ - Allogibberic acid

٣ - Gibberellenic acid

المركب الأول عديم الفاعلية في نشاطه كمركب جبريليني أما المركبين الآخرين فأن لهما نشاط ضعيف كمركبات جبريلينية (شكل ١٠٧).



(شكل ١٠٧) : التركيب الجزيئي لمركب allogibberic acid

مما سبق يتضح أن طرق هدم أو تثبيط إندول حامض الخليك في النبات كثيرة وواضحة والأكثر حدوثاً ونتيجة لذلك يمكن التخلص بسرعة من التأثير الزائد من إندول حامض الخليك، ولكن هذه الحالة لا تحدث بوضوح تام في الجبريلينات حيث أن الزيادة النسبية في تركيز هذه المركبات يمكن أن يتحملها النبات دون وجود تأثير ضار، ولكن لا يعنى أنه لا يوجد في النبات طريقة أو طرق يمكن بها التحكم في تركيز الجبريلينات بل أنه وكما سبق القول تحدث بطرق عديدة وهى:

١ - عملية الأرتباط conjugation بين جزيء سكر جلوكوز والجبريلين ليتكون جلوكسيد الجبريلين. يعتبر المركب الأخير غير نشط فسيولوجياً وبذلك يقل تركيز الجبريلين ولذلك تسمى هذه العملية أيضاً بعدم التنشيط inactivation حيث أن الجبريلين يتحول من مركب نشط فسيولوجياً إلى مركب غير نشط. يوجد نوعين في حالة الجلوكوز وهما GA1 glucosylester و GA29 gluco-syl ether (شكل ١٠٨).

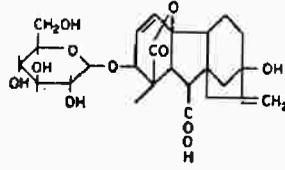
٢ - يمكن أن يرتبط الجبريلين مع البروتينات في بعض الحالات وبذلك يصبح أيضاً مقيد bound وغير نشط فسيولوجياً أى يحدث له عدم تنشيط inactivation.

٣ - تكوين مشتقات الجبريلين derivatives مثل alkyl esters ومنها n-propyl methyl ester GA17 و esters GA1, GA3.

٤ - يمكن أن يتحول الجبريلين النشط إلى مركب جبريلين آخر غير نشط وبذلك يقل تأثيره وهذه حالة شائعة الحدوث في الجبريلينات حيث أن بعض منها يمكن أن يتحول إلى الآخر inconversion يجب توضيح أنه لا يوجد جبريلين غير نشط بل المقصود أنه نشط في تفاعل معين ولكنه يكون خاملاً في تفاعل أو تأثير معين آخر.

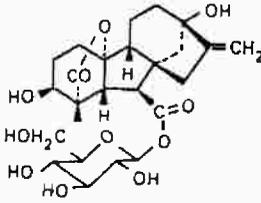
٥ - تحلل الجبريلين وخاصة حامض الجبريليك في البيئة الحامضية وخاصة في درجة الحرارة العالية إلى مركبات منخفضة أو عديمة التأثير فسيولوجياً وكما سبق ذكره.

جلوكسيد حامض الجبريلليك

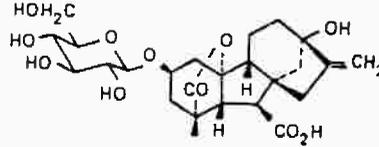


- GA<sub>1</sub> β-D-Glucopyranosyl ester  
 GA<sub>4</sub> β-D-Glucopyranosyl ester  
 GA<sub>9</sub> β-D-Glucopyranosyl ester  
 GA<sub>37</sub> β-D-Glucopyranosyl ester  
 GA<sub>38</sub> β-D-Glucopyranosyl ester

- GA<sub>1</sub> 3-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>3</sub> 3-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>8</sub> 2-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>26</sub> 2-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>27</sub> 2-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>29</sub> 2-O-β-D-Glucopyranosyl ether  
 GA<sub>35</sub> 11-O-β-D-Glucopyranosyl ether



GA<sub>1</sub> β-D-glucosyl ester



GA<sub>29</sub> 2-O-β-D-glucosyl ether

(نكل ١٠٨) : conjugates للجبريللين مع الجلوكوز في النباتات الزهرية.

يتضح مما سبق أن للنبات طرق كثيرة يمكن بها التحكم في تقليل تركيز الجبريلينات في حالة زيادة تركيزها ولكن وللمرة الأخيرة فإن هذه الطرق لا تحدث بنفس السرعة أى أقل في معدل حدوثها بالمقارنة في حالة إندول حامض الخليك.

مدى إنتشار الجبريلينات في النباتات المختلفة:

توجد الجبريلينات في البكتريا والفطريات والطحالب والنباتات الحزازية والسرخسية وعاريات البذور وكاسيات البذور أى النباتات الزهرية. توجد في نباتات ذوات الفلقة

وذوات الفلقتين. يوجد الآن عدد لا يقل عن ٦٢ جبريلين مختلف . تسمى الجبريلينات بإسم جبريلين ١ أو جبريلين ٢ ، وجبريلين ٣ (حامض الجبريلليك) وجبريلين ٤ وهكذا حتى رقم ٦٢. ترجع الأرقام إلى أسقية التعرف على تركيبها حيث أن جميع هذه الجبريلينات لم تكتشف فى وقت واحد بل أنه نتيجة لتقدم طرق الفصل والتحليل الكيماوى فإنه تكتشف تدريجياً أنواع جديدة. ولذلك فالجبريلين رقم ٥ على سبيل المثال أكتشف أو أمكن التعرف على وجوده قبل جبريلين ٢٣ مثلاً. وهكذا فإن كل جبريلين جديد يكتشف يأخذ رقم يلى رقم آخر مركب تم اكتشافه من الجبريلينات. لا يوجد نبات يحتوى على جميع الجبريلينات. يوجد كثير من النباتات تحتوى على أكثر من جبريلين فى آن واحد. توجد بعض الجبريلينات فى الفطريات فقط مثل جبريلين ٢٤ وجبريلين ٢٥ ولا توجد فى النباتات الزهرية إطلاقاً، والعكس صحيح حيث أن جبريلين ١٧ وجبريلين ٢٣ لا يتواجدان إلا فى النباتات الزهرية فقط دون الفطريات. بعض الجبريلينات تتواجد فى النباتات الراقية والفطريات مثل جبريلين ١ وجبريلين ٤. يوضح الجدول التالى مدى وجود الجبريلينات المختلفة فى النباتات المختلفة (جدول ٤).

(جدول ٤): الأنواع المختلفة من الجبريلينات الموجودة فى النباتات المختلفة

أنواع الجبريلينات	النبات أو الفطر
جبريلين ١ حتى جبريلين ٤ والجبريلينات ٧، ٩، ١٦	<i>Gibberella fujikuroi</i>
جبريلين ١ وجبريلين ٢ وجبريلين ٣	<i>Althaea rosea</i> الخطمية
جبريلينات ٣٠، ٣١، ٣٣، ٣٤.	<i>Calonyction aculeatum</i>
جبريلينات ١، ٧	<i>Echinocystis macrocarpa</i>
جبريلينات ١٨، ٢٣، ٢٨	<i>Lupinus luteus</i>
جبريلينات ٣، ٤، ٧	التفاح

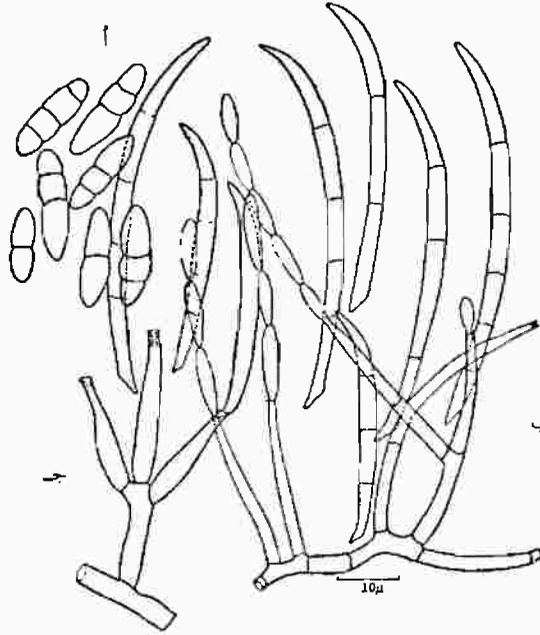
توجد الجبريلينات في جميع أجزاء النبات، ولكنها تختلف في تركيزاتها في الأجزاء المختلفة حيث تكون عالية التركيز في مناطق تخليق الجبريلينات والأجزاء القريبة منها ويقل التركيز كلما إبتعدنا عن هذه المناطق. تعتبر البذور أثناء تكوينها وأيضاً البذور غير الناضجة مركز لتكوين الجبريلينات. تستعمل البذور الغير الناضجة لنباتات الخروع والخيار البرى و *Phaseolus coccineus* و *Pharbitis nil* كمصدر لعزل وأستخلاص الجبريلينات. وجد أنه يمكن إستخلاص خمسة ملليجرام من جبريلين ١ لكل كيلو جرام وزن غض من البذور الغير ناضجة لنبات *P. coccineus* وعلاوة على ذلك فإن هذه البذور الغير ناضجة لهذا النبات تحتوى على تسعة جبريلينات أخرى علاوة على جبريلين ١. لا تحتوى البذور الناضجة على جبريلينات عادة. أثناء نضج البذور يقل تركيز الجبريلين الحر ويزداد تركيز جلوكوسيد الجبريلين. أثناء إنبات البذور يحدث تحليل لجلوكوسيد الجبريلين ويتكون الجبريلين الحر.

#### نبذة عن فطر *Gibberella fujikuroi*:

يمكن تسمية بعض الفطريات بأسمين ومثال ذلك الفطريات الأسكية والتي يتبعها هذا الفطر. تتميز الفطريات الأسكية بوجود كيس أسكى بداخله ثمانية جراثيم أسكية وفي حالة الفطريات التي تسمى بإسمين يكون أحدهما للطور الناقص والأسم الآخر للطور الكامل. يسمى الطور الناقص للفطر لأنه لا يكون أجسام ثمرية أى لا يتكاثر جنسياً ويتكاثر لا جنسياً ولذلك يسمى هذا الفطر -*Fusarium monili*- *forme* وحيث أنه يكون جراثيم كونيدية أثناء التكاثر اللاجنسى ، ولكن يمكن لهذا الفطر في ظروف بيئية معينة أن يتكاثر علاوة على ذلك جنسياً لتتكون أجسام ثمرية أسكية من نوع perithecium وبداخل هذه الأجسام الثمرية توجد أكياس أسكية بداخلها جراثيم أسكية وتعتبر الأكياس الأسكية هي نتيجة حدوث التزواج الجنسى ودليل على وجود الطور الكامل للفطر . ومثال لذلك أن هذا الفطر لا يكون إطلاقاً في مصر الطور الكامل أى الجنسى ولذلك يسمى بإسم الطور الناقص-*F. monili*- *forme*. ولكن في اليابان ودول أخرى يمكن أن يحدث التكاثر الجنسى لهذا الفطر

ويتكون الطور الكامل والأكياس الأسكية ولذلك يسمى بإسم الطور الكامل -*Gibbe-rella fujikuroi* وذلك طبعاً بالإضافة إلى الطور الناقص.

في حالة الطور الناقص تكون الهيفات حوامل كونيديا بسيطة قائمة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة *microconidia*. وكل جرثومة كونيديا صغيرة شفافة وحيدة الخلية متطاولة (شكل ١٠٩). كما تتكون أيضاً حوامل كونيديا في مجاميع وكل مجموعة تتكون من العديد من الحوامل الكونيدية المتزاحمة متراسة أو ملاصقة لبعضها البعض وقد تكون ملتحمة مع بعضها، وتحمل هذه الحوامل جراثيم كونيديا كبيرة *macroconidia* (شكل ١٠٩).



(شكل ١٠٩): أنواع الجراثيم المختلفة لفطر

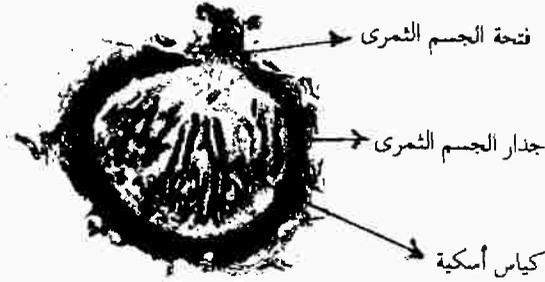
*Fusarium moniliforme* (*Gibberella fujikuroi*)

أ - جراثيم أسكية.

ب - حوامل كونيديا صغيرة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة.

ج - حوامل كونيديا كبيرة تحمل جراثيم كونيديا كبيرة.

الجراثيم الكونيدية الكبيرة متطاولة أو هلالية الشكل عديدة الخلايا أى أكثر من خليتين . وفى حالة الطور الكامل يحدث التزاوج وتتكون أجسام ثمريه أسكية من نوع perithecium (شكل ١١٠) كروية إلى مخروطية الشكل لونها أزرق غامق قطرها حوالى ٢٥٠ ميكرون يوجد بداخلها أكياس أسكية صولجانية الشكل تقريباً . وبداخل كل كيس أسكى من ٤ - ٨ جراثيم أسكية . الجراثيم الأسكية شفافة عديمة اللون متطاولة أهليجية الشكل تقريباً مقسمة إلى خليتين عادة وقد تكون ثلاثة أو أربعة خلايا . لا يتكون الطور الكامل فى مصر .



(شكل ١١٠) : قطاع طولى فى جسم ثمرى لفطر *Gibberella fujikuroi* به أكياس أسكية وجراثيم أسكية .

يعيش الفطر فى التربة على المواد العضوية على هيئة هيفات رقيقة شفافة مقسمة إلى خلايا وتعيش معيشة رمية فى التربة . ويتجرائم بكثرة ويكون جراثيم كونيدية صغيرة وكبيرة . يمكن للفطر أن يصيب عدد كبير من النباتات فى الحقل ويصبح طفيلى ويسبب أمراض لهذه النباتات ومن أمثلة ذلك مرض البادرة الحمقاء فى الأرز ومرض العفن الوردى لحبوب الذرة الشامية .

كما وجد المؤلف أنه يسبب مرض التبقع البنى لأغصان أوراق الذرة الشاميه وهذا المرض عام الانتشار فى جميع حقول الذرة الشاميه فى مصر .

وفى التجارب التى قام بها Kurosawa فإنه قام بتنمية الفطر على بيئة سائلة فى المعمل مثل بيئة البطاطس والدكستروز potato dextrose أو بيئة تشابك Czapek ثم قام بترشيح الفطر للحصول على راشح الفطر. ثم قام بتعقيم الراشح فى مرشح مناسب مثل مرشح زيتس Seitz. أخذ هذا الراشح الفطرى المعقم الخالى من جراثيم الفطر وهيفاته وعامل به نباتات الأرز فنتج عن ذلك نباتات طويلة . تثبت هذه التجربة أن الفطر يفرز مركبات تسبب أستطالة نبات الأرز وهى عبارته عن الجبريلينات .

### مثبطات الجبريلينات :

يوجد مركبان من ثنائى الترينويد diterpenoid موجودان بصفه طبيعيه فى النباتات وهما epiallogibberelic acid و atractyligenin يثبطا نشاط حامض الجبريلليك وغير معروف حتى الآن ميكانيكيه التثبيط .

### تأثيرات معوقات النمو (مضادات الجبريلينات) :

توجد مركبات كثيرة تسمى growth retardants أى معوقات النمو كما تسمى أحيانا بالـ antigibberellins أى مضادات الجبريلينات، وقد وجد أن بعض من هذه المركبات مثل Amo - 1618 ومركب CCC ومركب phosphon أنها تمنع تحول geranyl geranyl pyrophosphate إلى مركب الكاورين kaurine ولهذه المركبات تأثيرات مختلفة أهمها ماأتى :

١ - فى حالة نباتات العائلة النجيلية وعند التسميد الازوتى الغزير فأن هذه النباتات تستطيل لدرجة كبيرة مما ينتج عنه ضعف وطراوة فى أنسجة الساق ولذلك يحدث لهذه السيقان ميل وسقوط أى رقاد وتصبح عديمة القيمة الاقتصادية وعملية السقوط أى الرقاد تسمى lodging وقد أمكن التغلب على هذه الظاهرة بمعاملة النباتات بمركب CCC وهو يمنع عملية الرقاد فى المحاصيل النجيلية حيث أنه يسبب قصر أو إعتدال فى طول النبات وبالتالي متانة نسبية لجدر خلايا الساق وبالتالي لا تحدث حالة الرقاد ويعتبر القمح نبات مثال لذلك .

٢ - بعض أنواع من نباتات الزينة مثل أنواع الكريزانتيمم والليلي lilies وبنبت الفنصل يمكن أن تستطيل لدرجة كبيرة ولكن من المرغوب فيه من الناحية الاقتصادية لهذه الأزهار أن يكون طول الساق بين ٣٠ - ٤٥ سم فمعاملة هذه النباتات بأحد هذه المركبات والمسمى A - Rest يسبب قصر في طول الساق دون أن يؤثر على الأزهار. تعتبر هذه النباتات القصيرة ذات قيمة تسيقية كبيرة حيث تناسب وضعها في الفازات. تعامل أوراق النبات أو التربة بهذا المركب وهو يؤثر على طول النبات دون حجم الأزهار. ترش الأوراق أو يخلط بالتربة.

٣ - بعض مضادات الجبريلينات لها تأثير جيد على نضج الثمار ومن أحد هذه الامثلة مركب Alar وهذا المركب تعامل به ثمار الكريز فيتكون اللون بطريقة أحسن ويعطى نضج بطريقة أحسن وتصبح الثمرة أكثر صلابة وبذلك تحسن من صفات ثمار الكريز الناتج. يسهل نضج الثمار المتماثل عملية جمع الكريز في وقت قصير أى مده محدوده. أتضح أن هذا المركب مسبب للسرطان ويمنع أستعماله.

٤ - استعمال بعض مضادات الجبريلينات فى الأشجار الموجودة على الطرق لتقصير طول الفروع الجانبية مع عدم التأثير على عدد الأوراق أو حجمها. يفيد ذلك كثيراً حيث أنها لا تحتاج إلى عمليات التقليم، وهذا يحدث فى الخارج حيث أن تكاليف العمالة مرتفعة. حيث ترش النباتات عند بدء نشاط البراعم وقبل تفتحها وقبل حدوث استطالة ملحوظة فى الساق فأن الفرع الناتج يكون قصير ويحمل نفس العدد من الأوراق فلا تحتاج إلى إجراء عملية التقليم. عملية التقليم وخاصة الأشجار النامية على جوانب الطرق تحتاج إلى مجهود كبير بالإضافة إلى أنها باهظة التكاليف فى كثير من الدول وخاصة المتقدمة.

مما سبق يتضح أنه توجد مركبات معوقات للنمو كثيرة وهى تعتبر أيضاً منظمات للنمو حيث أنه وكما سبق تعريف منظمات النمو growth regulators أنها مركبات تؤثر على نمو النباتات سواء بزيادة الطول أو زيادة النمو أو حتى التأثير العكسى بتقليل الطول أو تقليل النمو. يفضل تسمية هذه المركبات بمعوقات النمو - growth retar-dants عن مضادات الجبريلينات.

## طرق الكشف عن الجبريلينات:

تنقسم الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين وهى طرق حيوية وطرق كيميائية.

### أولاً : الطرق الحيوية Bioassay

تستخدم فى هذه الطرق الأنسجة أو الأجزاء أو الأعضاء النباتية للكشف عن وجود الجبريلينات وأيضاً لتقدير تركيزها ومن هذه الطرق ما يأتى:

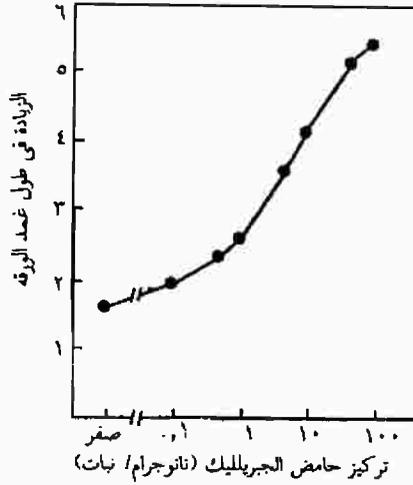
#### ١ - إختبار الذرة القزمية Dwarf maize test .

سلالات الذرة القزمية المستخدمة فى هذه التجارب تتميز بأنها عبارة عن طفرة من جين واحد single gene mutant بالمقارنة بالسلالات العادية. تعتبر طفره فى عدم القدرة على تخليق الجبريللين وحيث يتوقف تحويل copalyl pyrophosphate إلى الكاورين. معاملة النباتات القزمية بالجبريللين تزيد من طول الساق وأيضاً تزيد طول غمد الورقة. كلما زاد تركيز الجبريلينات كلما زاد طول الساق.

يتم نقع حبوب الذرة القزمية فى الماء لمدة يوم ثم تزرع فى أصص فخارية أو صناديق خشبية ويتم تعبئتها بالرمل أو الفرميكيوليت vermiculite. يتم زراعة البذور فى التربة فى سطور. حيث أن صفة التقزم يتحكم فيها جين واحد متنحى فإن حوالى ٢٥٪ فقط من البادرات متقزمة والباقى عادية. بعد ٥ - ٦ أيام يصبح طول البادرات القزمية حوالى ٢ - ٣ سم وبذلك تصبح صالحة لأجراء التجربة. فى هذه المرحلة أيضاً يمكن تمييز البادرات القزمية عن البادرات العادية بسهولة وتكون الورقة الأولى أو الثانية مطوية على هيئة قمع فى قمة البادرات القزمية.

يضاف لهذا الشكل القمعى فى قمة النبات مائة ميكروتر من حامض الجبريلليك أو المحلول المختبر مع توين ٢٠ tween 20 كمركب مبلل. بعد أسبوع من هذه المعاملة يتم قياس طول غمد الورقة الأولى والثانية. توجد علاقة عبارة عن خط مستقيم بين لوغاريتم الزيادة فى الطول ولوغاريتم تركيز الجبريلينات. يمكن التعرف

على تركيز الجبريلينات في المحلول المختبر المجهول التركيز من المنحنى القياسي stan-dard curve والمقدر على أساس تركيزات مختلفة معلومة من حامض الجبريلليك. يمكن استعمال صنف أرز قزمى فى ذلك مثل Tan - Ginbozu بدلا من الذرة القزمية والمنحنى القياسى نتيجة لمعاملة نبات الأرز بحامض الجبريلليك يوضح أن الزيادة فى الطول تتناسب طردياً مع تركيز حامض الجبريلليك (شكل ١١١).



(شكل ١١١) : العلاقة بين تركيز حامض الجبريلليك والزيادة فى طول غمد الورقة.

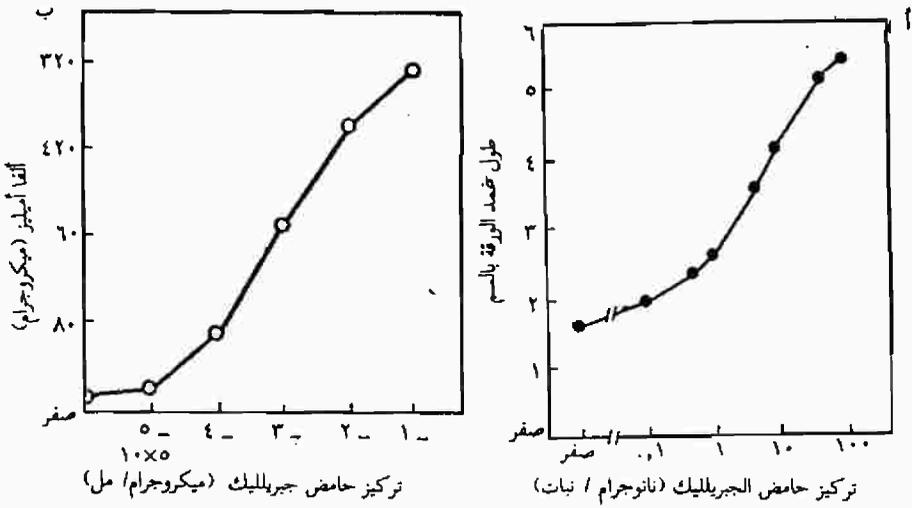
تعتبر هذه الطريقة مرهقة وتحتاج إلى وقت طويل نسبياً والأهم من ذلك أن حساسيتها منخفضة ولذلك يفضل استعمال طريقة اختبار أندوسبرم الشعير عن هذه الطريقة.

يمكن أيضاً استخدام غمد الورقة للنباتات النجيلية القزمية بدلاً من الساق فى هذا الاختبار (شكل ١١٢) يمكن استخدام نباتات الفاصوليا القزمية فى الاختبارات الوصفية.

## ٢ - اختبار أندوسبرم الشعير Barley endosperm test :

(طريقة تقدير السكريات المختزلة reducing sugars)

يتم إجراء هذا الأختبار على بعض من الحبوب النجيلية ولكن يفضل دائماً استعمال حبوب الشعير تستخدم أصناف معينة من الشعير تكون عديمة الغلاف huskless varieties. يمكن استخدام أصناف ذات غلاف وفي هذه الحالة يتم إزالة الغلاف بمعاملة الحبوب بحامض كبريتيك مركز ثم غسيل الحبوب جيداً بالماء لإزالة أى آثار من حامض الكبريتيك. يعتبر الصنف هيمالايا Himalaya من الأصناف المستعملة بكثرة فى هذا الأختبار، والفكرة فى هذا الأختبار يكن تلخيصها فيما يلى:



(شكل ١١٢): تأثير تركيز حامض الجبريلليك على طول غمد الرقعة.

أ - تأثير تركيز حامض الجبريلليك على طول غمد الرقعة.

ب - تأثير تركيز حامض الجبريلليك على تكوين أنزيم ألفا أميليز في خلايا البرون الشعير.

من المعروف أن الحبوب فى نباتات العائلة النجيلية تحتوى على نشا مختزن بكمية كبيرة ومن المعروف أنه عند نقع الحبة فى الماء فإنه يحدث تنبيه وانبات وفى هذه

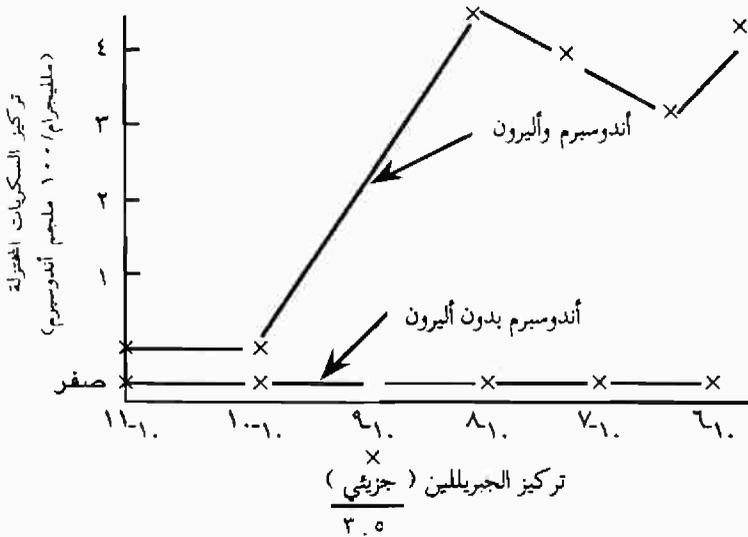
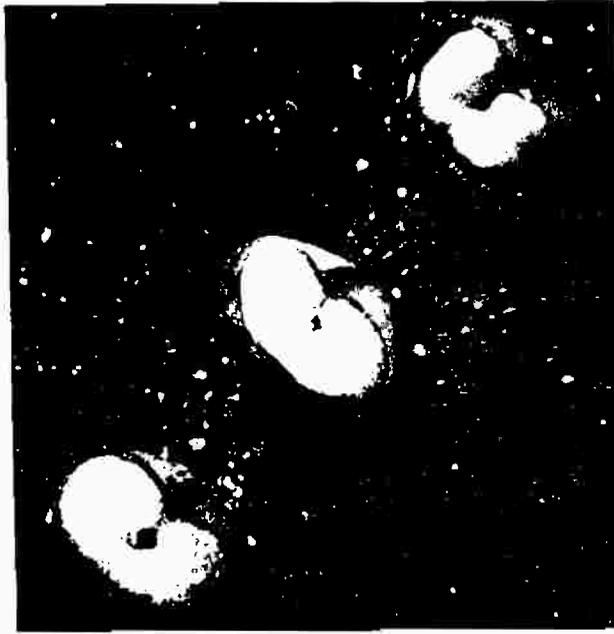
الأثناء يتحلل النشا المختزن في نسيج اندوسبرم الحبة. ولكن وجد أنه عند إزالة جنين الحبة ثم غمرها في الماء لم يحدث أى تحليل للنشا في الحبة، ولكن عندما أزيل الجنين وعملت الحبة المنزوعة الجنين بماء يحتوى على مركب جبريللين فقد حدث تحليل للنشا في عدم وجود الجنين.

ومن التجربة السابقة ثبت أن الجزء الوحيد في الحبة القادر على افراز الجبريللين هو الجنين وقد وجد أن الجبريللين يفرز من الجنين بعد تخليقه وينتقل إلى طبقة الأليرون وفي طبقة الأليرون تتكون إنزيمات عديدة للتحليل المائى وأهم إنزيم مدروس هو أنزيم amylase الذى يقوم بتحليل النشا إلى مواد كربوهيدراتية قليلة التسكر أو سكريات ثم ينتقل إنزيم الاميليز المخلق في طبقة الأليرون إلى نسيج الاندوسبرم حيث يقوم بتحليل حبيبات النشا ونتيجة لذلك تتكون مركبات سكرية قابلة للذوبان في الماء تنتقل إلى منطقة الجنين النشط لكي يحدث النمو. يتضح أيضا أن الجبريللين يسبب تخليق أنزيم ألفا أميليز في خلايا طبقة الأليرون (شكل ١١٣).

وفي هذه الطريقة تستعمل حبوب شعير وينزع منها الجنين ثم تعامل الحبوب بالمركب المراد اختباره (الحبوب المنزوعة الجنين). وفي نهاية التجربة إذا وجد أن تركيز السكريات المختزلة أكبر من تركيزها في حبوب المقارنة أى الغير معاملة كان ذلك دليل على وجود الجبريللينات. ولتقدير التركيز يمكن تقدير تركيز السكريات المختزلة بأى طريقة مناسبة من الطرق الشائعة في الكيمياء الحيوية (شكل ١١٣).

أما عن طريقة إجراء التجربة فهي كما يلي:

تعقم الحبوب سطحيا بغمرها في محلول هيبوكلوريت الصوديوم ثم تغسل جيدا بالماء المقطر لأزالة أى آثار من هيبوكلوريت الصوديوم تزرع الحبوب في رمل رطب معقم لمدة يوم. يتم تكسير الحبوب عرضيا إلى جزئين متساويين أى نصفين. يستبعد نصف الحبة المحتوى عى الجنين ويستعمل نصف الحبة الخال من الجنين يوضع في كل دورق مخروطى صغير عشرة أنصاف مع محلول منظم خللات وكلوريد كالسيوم في وجود  $0.4, \text{pH}$



( شكل ١١٣ ) ٤ تأثير حامض الجبريلليك على نشا أنزيم الأميليز:

أعلى - ثلاثة أنصاف من حبة الشعير العلوية معاملة بتركيز من الجبريللين مائة جزء في المليون والوسطية معاملة بتركيز واحد جزء في المليون والسفلية معاملة بالماء ( الصورة العلوية ) .  
 أسفل - تأثير حامض الجبريلليك على نشاط أنزيم الأميليز.

يوضع فى الدورق كمية وتركيز معلوم من الجبريللين أو العينة المراد إختبارها. يوضع فى الدورق محلول من المضاد الحيوى كلورا مفينيكول وذلك لمنع تلوث التجربة بالبكتريا. تجرى جميع خطوات التجربة فى ظروف معقمه. يكرر ذلك فى دوارق مخروطية مختلفة تحتوى على تركيزات مختلفة أو عينات مختلفة تبعاً لعدد العينات. دورق المقارنة يحتوى على جبريللين أو العينة معقمة فى الأوتوكلاف حيث أن ذلك يسبب تخطيم الجبريليين. يتم رج الدوارق المخروطية باستمرار أثناء وضعها فى الحضان فى درجة حرارة ٢٥م لمدة أربعون ساعة. بعد ذلك يتم تقدير تركيز السكريات المختزلة فى كل دورق باستعمال دليل سموجى Somogyi's reagent يتم قياس درجة تركيز اللون فى العينات باستعمال جهاز spectrophotometer عند طول ٥٦٠ نانومتر. يتناسب تركيز اللون طردياً مع تركيز السكريات المختزلة فى العينات وأيضاً يتناسب طردياً مع تركيز الجبريليين. كلما زاد تركيز السكريات المختزلة فى العينات كلما زاد تركيز الجبريليين فيها فى مدى تركيز الجبريليين بين ١٠<sup>-٥</sup> إلى ١٠<sup>-١</sup> ميكروجرام / مل. يمكن فى هذه الطريقة عمل منحنى قياسى لتركيزات حامض الجبريليك مع تركيزات السكر المختلفة (شكل ١١٣) أو مع تركيز أنزيم ألفا أميليز (شكل ١١٢).

### ٣ - البسلة القزمية Dwarf Pea :

ويستعمل محلولاً من الجبريلين حيث تعامل به البادرات ويتسبب ذلك فى تشجيع استطالة الساق - وقياس طول السويقة الجنينية العليا epicotyl بعد خمسة أيام من بدأ الإختبار وهذا الإختبار حساس لكمية من الجبريلين فى حدود واحد نانو جرام.

### ٤ - السويقة الجنينية السفلى للخس Lettuce hypocotyl :

وفى هذا الإختبار - توضع البادرة بالكامل فى محلول من حمض الجبريليك لمدة ٢ - ٣ يوم - وتؤخذ استطالة السويقة الجنينية السفلى كدليل على الاستجابة لحمض الجبريليك - والكمية الصغرى من حمض الجبريليك الممكن اكتشافها فى هذا الإختبار تكون فى حدود ١, نانو جرام.

٥ - ورقة الشوفان *Avena leaf*

تُحَضَّن القطع الورقية لمدة ثلاثة أيام ثم تقاس الزيادة في الطول والكمية الصغرى الممكن اكتشافها في هذا الاختبار تكون في حدود واحد نانو جرام.

٦ - نبات الحميض *Rumex leaf*:

إذا حُضِنَت أقرص أو قطع أوراق الحميض في محلول من الجبريلين فإنها تحتفظ بالكلوروفيل بكميات معنوية مدة أطول من معاملة المقارنة (الكنترول) - وفترة هذا الاختبار الحيوى تستمر تقريباً لمدة خمسة أيام - وتكشف عن كميات من حمض الجبريليك GA3 في حدود ٢, نانو جرام.

ولقد حور الباحث هذه الاختبارات الحيوية باستعمال خامات نباتية مختلفة - والاستجابات الرئيسية والأساسية المذكورة لكل اختبار حيوى تستعمل بصفة عامة لاكتشاف الجبريلينات في المستخلصات النباتية - وعلى الرغم من أن الباحثين قيموا وجود النشاط الجبريليني في المستخلصات النباتية باستعمال الاختبارات الحيوية - إلا أن التحليل الكيمائى والخصائص التركيبية الكيميائية للمركبات الموجودة قد قدرت أيضاً بتعريض المستخلصات إلى التحليل الكروماتوجرافى الغازى - gas chromatography - وإلى طرق مشتركة بين التحليل الكروماتوجرافى الغازى ومطياف الكتلة - mass spectroscopy كذلك طرق التحليل الكروماتوجرافى السائل تحت ضغط عالى high pressure liquid chromatography وطرق أخرى.

## ثانياً: الطرق الكيماوية.

وفى هذه الطرق يلزم إستخلاص الجبريلينات بواسطة كحول الميثيل أو الأستون أو محلول مخفف من أحدهما. يتم تبخير المذيب تحت تفريغ أى ضغط منخفض. ضبط درجة pH حتى تصبح ٢,٥ ثم تعاد عمله الأستخلاص بواسطة خلاص الإيثيل ethyl acetate ثم بعد ذلك بواسطة بيكربونات الصوديوم. يتم تبخير المذيب تحت تفريغ ويتبقى مخلوط الجبريلينات الغيرنقى أى به شوائب. يمكن فى هذه

الحالة التعرف على الجبريللين في هذا المستخلص الغير نقى بواسطة gas chromatography يلزم في هذه الحالة وجود chart خاصه قياسيه لأنواع الجبريللينات المختلفة reference spectra of gibberellins وخصائصها أثناء التحليل الكروماتوجرافي الغازى chromatographic behaviour وفي عدم توفر ذلك يلزم تنقية الجبريللين بدرجة كبيرة. يمكن تنقية الجبريللين أى العينة بواسطة adsorption chromatography باستخدام عمود سيليت فحم حيواني charcoal - celite يدمص الجبريللين على مادة العمود. ثم يتم غسيل وإزالة elute الجبريللين بواسطة مخلوط من الماء والأسيتون. ثم يتم فصل الجبريللين بواسطة paper أو thin layer كروماتوجرافي. يرش chromatogram بواسطة مخلوط من حامض كبريتيك مركز وكحول الإيثيل ثم يوضع في فرن درجة حرارته مائة وعشرون درجة مئوية لمدة عشرة دقائق. يفحص chromatogram بواسطة الأشعة فوق البنفسجية وفي هذه الحالة تظهر الجبريللينات المختلفة مشعة نتيجة عمله الفلوره fluorescence ويكون لكل جبريللين لون أشعاع معين مميز. أى أن الجبريللينات تختلف في ألوانها في وجود الأشعة فوق البنفسجية.

يمكن إستخدام جبريللين قياسى standard في حالة paper or thin layer chromatography ويقارن جبريللين العينة بهذا الجبريللين القياسى بواسطة Rf . من عيوب هذه الطريقة أن كثير من الجبريللينات لها Rf متماثل وبالتالي لا يمكن فصلها عن بعضها حتى في حالة إستخدام مذيبات مختلفة.

يمكن إستخدام gas liquid chromatography ( GLC ) , mass spectrometry, وتعتبر طريقة مثالية لتقدير تركيزات منخفضة جداً في العينات غير النقية crude extract حوالي مائة ميكروجرام. يمكن أيضا تقدير تركيزات أقل من ذلك واحد ميكروجرام أو أقل. ويمكن معرفة نوع الجبريللين بواسطة mass spectra . وفي هذه الطريقة لا نحتاج إلى عينة نقية من الجبريللين للمقارنة. يمكن أيضا غسيل وإزالة elute الجبريللين من العمود وإختباره بالطرق الحيوية السابقة.

يمكن أيضا استخدام طريقة radio-immunoassay (RIA) وقد سبق شرحها في حالة الأوكسينات ويستخدم الجبريللين بدلا من الأوكسين حيث يتم تكوين أجسام مضادة antibodies بأرتباط الجبريللين مع ألبومين مصل الدم serum albumin .

### التأثيرات المختلفة للجبريلينات على النبات:

يمكن أن يكون للجبريلينات تأثيرات مختلفة على النبات وهو كمايلي:

#### ١ - كمون وإنبات البذور Seed Dormancy:

يمكن أن تساعد معاملة بعض البذور بالجبريللين في إنباتها. توجد حالات كثيرة لذلك. حيث أن بعض البذور تحتاج إلى فترة حرارة منخفضة من صفر إلى خمسة درجة مئوية وذلك لعدة أسابيع لكي يحدث الأنبات مثل التفاح والخوخ. تحدث هذه المعاملة طبيعيا حيث أن البذور تكون مدفونة في التربة أثناء فصل الشتاء القارص البرودة ولذلك تنبت في الربيع أو يمكن عمل ذلك للبذور صناعيا بتعريضها لدرجة حرارة منخفضة لعدة أسابيع وتسمى هذه العملية بالكم البارد stratification . ويمكن عند معاملة البذور بالجبريللين في هذه الحالة أن لا تحتاج البذور إلى درجة حرارة منخفضة أي أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور لدرجة الحرارة المنخفضة . chilling requirements .

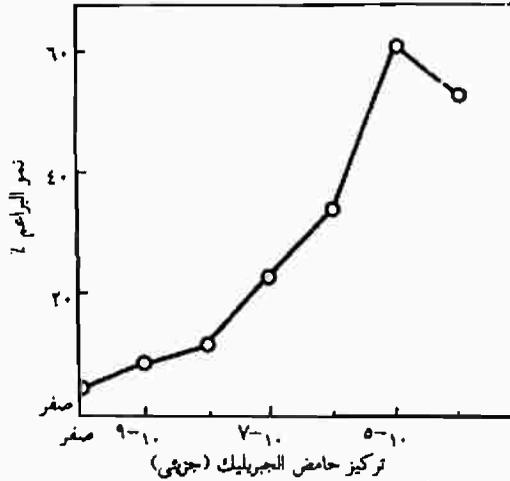
تحتاج بعض البذور إلى الضوء للإنبات ومثال ذلك بذور الخس صنف Grand Rapids . وجد أن الضوء الأحمر هو اللون الوحيد في الضوء الذي يسبب الأنبات. وجد أيضا أن معاملة البذور باللون أو بالضوء الأحمر البعيد far red تسبب تثبيط إنبات البذور. ولذلك فإن تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد يسبب عدم إنبات البذور وعند تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد ثم الأحمر يسبب إنبات البذور وهكذا. يحدث في هذه الأثناء تحول صبغة الفيتوكروم من نوع إلى آخر فعند تعريض البذور للضوء الأحمر يمتص الفيتوكروم هذا الضوء ويتحول من النوع Pr إلى النوع Pfr . حيث أن P هي إختصار لصبغة الفيتوكروم Phytochrome و R إختصار إلى الضوء الأحمر و fr إختصار للضوء الأحمر البعيد. ولذلك فإن النوع من

الفيتوكروم Pfr هو المسئول عن إنبات البذور. وجد أن معاملة هذه البذور بالجبريللين في غياب الضوء العادى أو الضوء الأحمر يسبب الإنبات. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للضوء الأحمر. طول موجة الضوء الأحمر المؤثر فى هذه الحالة هو ٦٦٠ نانومتر.

تحتاج بعض البذور إلى الظلام للإنبات حيث أن الضوء يثبط الإنبات ومثال ذلك بذور نبات *Nemophila insignis* ونبات *Phacelia tanaacetifolia*. وجد أن معاملة البذور بالجبريللين يسبب الأنبات حتى فى وجود الضوء. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للظلام.

## ٢ - سكون البراعم Bud Dormancy:

يساعد الجبريللين على كسر سكون البراعم. تظل البراعم ساكنة فى درنات البطاطس بعد إقتلاعها وذلك لمدة عدة أسابيع. وفى أثناء هذه المدة يزداد تركيز الجبريللين كما تتكون أنواع أخرى من الجبريلينات. أى تزداد الجبريلينات كما ونوعا. عند معاملة الدرنات بالجبريللين فإنها تنبت بعد إقتلاعها مباشرة أو حتى وهى لازالت متصلة بالنبات. أى زيادة تركيز الجبريلينات يساعد على نمو البراعم وكسر السكون (شكل ١١٤).



(شكل ١١٤) : تأثير حامض الجبريليك على كسر سكون براعم البطاطس.

معاملة براعم كثير من النباتات متساقطة الأوراق بالجبريللين تسبب كسر السكون ونمو البراعم كما فى *Betula* و *Acer* و *Fraxinus*. تحتاج هذه البراعم إلى درجة حرارة منخفضة جدا فى الشتاء لكى تنمو فى الربيع كما أنها تحتاج أيضا إلى نهار طويل لكى تنمو فى الربيع. معاملة البراعم بالجبريللين تسبب نموها وكسر طور السكون. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البراعم لدرجة الحرارة المنخفضة والنهار الطويل.

### ٣ - نمو الساق Stem Growth أى أستطالة الساق Stem elongation

تؤثر الجبريلينات على إستطالة الساق حيث أن النباتات المعاملة بالجبريلينات تصبح أكثر طولا. توجد بعض الخواص والمميزات لأستطالة النبات. فى هذه الحالة وهى

أ - إستطالة النبات نتيجة لزيادة سرعة إستطالة السلاميات دون التأثير على عددها. أى أن عدد العقد والسلاميات ثابت فى النباتات المعاملة والغير معاملة بالجبريللين والفرق الوحيد هو درجة إستطالة السلاميات. أى أن الجبريللين لا يؤثر على عدد السلاميات بل يؤثر على طولها.

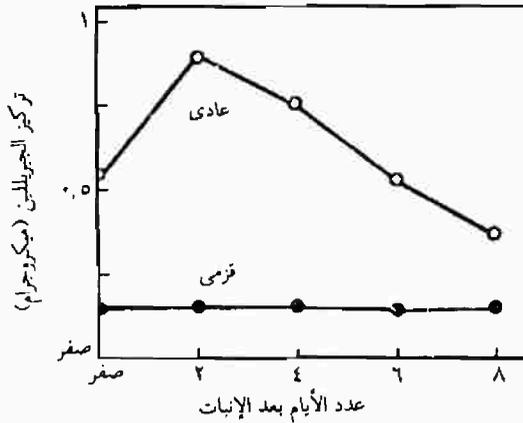
ب - إستطالة السلاميات نتيجة لأنقسام وأستطالة الخلايا وليست نتيجة لأستطالة الخلايا فقط.

ج - تستجيب السلاميات الصغيرة السن younger internodes عن السلاميات الكبيرة السن old internodes لتأثير الجبريللين. أى أن درجة الأستجابة كبيرة فى الحالة الأولى.

د - تستجيب النباتات النامية فى الضوء لتأثير الجبريللين بدرجة أوضح عنه فى حالة النباتات النامية فى الظلام .

تستطيل النباتات نتيجة للمعاملة بالجبريللين وتكون أكثر وضوحا فى حالة النباتات القزمية genetic dwarfs والنباتات المتوردة rosette plants أى تكون فى نموها مشابهة لشكل الوردة والنباتات النامية فى الضوء الأحمر.

في حالة النباتات القزمية فإنه في حالة الذرة تكون نتيجة لوجود طفرة في جين واحد تسبب عدم تكوين الجبريللين. ولذلك فإن معاملة هذه النباتات القزمية بالجبريللين تسبب إستطالة الساق وكلما زاد تركيز الجبريللين كلما زاد طول الساق. نفس القاعدة والحالة تنطبق في حالة النباتات القزمية في *Pharbitis* (شكل ١١٥). تختلف بعض السلالات القزمية في البسلة حيث أن تركيز الجبريللينات فيها يقارب تركيزها في السلالات العادية الطول. ولكن معاملة هذه السلالات القزمية بالجبريللين يسبب زيادة طولها وتصبح في طول النباتات العادية. وتعليل هذه الحالة أن الجبريللينات الموجودة في السلالات القزمية تختلف عن الجبريللينات الموجودة في الحالة العادية وأن الجبريللينات الموجودة في السلالات القزمية غير مؤثرة في الطول. أو تعليل آخر أن السلالات القزمية غير حساسة ولا تستجيب لأنواع الجبريللينات الموجودة بها. أو تعليل ثالث أنه توجد مثبطات لنمو الساق في السلالات القزمية.



(شكل ١١٥) : تركيز الجبريللينات في الأصناف الطويلة والقزمية والقصيرة لنبات *Pharbitis nil*.

في حالة النباتات المتوردة وحيث أن الساق قصيرة تتقارب العقد وتقصّر طول السلاّميات ولذلك تتزاحم الأوراق ويأخذ النبات شكل الوردة. تحدث حالة التورد في نباتات السكران *Hyoscyamus niger* ونبات *Samolus* في وجود نهار قصير وعند تعريض هذه النباتات لنهار طويل فإن الساق يستطيل بسرعة ويصبح عادي الطول

وتسمى هذه الحالة الحنبطه bolting ويعقب ذلك الأزهار. وفي حالات أخرى يحدث التورد نتيجة لتعريض النبات لدرجة حرارة عالية مثل بعض أصناف الفجل والجزر والبنجر ثم تحدث إستطالة سريعة للساق ويصبح النبات عادى الطول أى bolt-ing وذلك عند تعريض النبات لدرجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة وقد يعقب ذلك الأزهار. معنى bolting أى أستطاله سريعة للساق.

جميع الحالات السابقة توضح أن للجبريللين دور كبير فى ذلك لما يأتى :

أ - تركيز الجبريلينات منخفض فى النباتات المتوردة وعند تعريض هذه النباتات للعامل المسبب لحدوث bolting مثل النهار الطويل أو درجة الحرارة المنخفضة فإن تركيز الجبريلينات يزداد ويلى ذلك مباشرة حدوث bolting .

ب - تفضل النباتات المتوردة فى إظهار حالة bolting عند معاملتها بمركبات معوقات النمو أى مضادات الجبريلينات مثل Amo 1618 وCCC وذلك فى وجود النهار الطويل أو درجة الحرارة المنخفضة.

ج - تستجيب النباتات المتوردة للمعاملة بالجبريللين وتظهر حالة bolting حتى فى حالة الظروف البيئية الغير ملائمة مثل النهار القصير أو درجة الحرارة العالية.

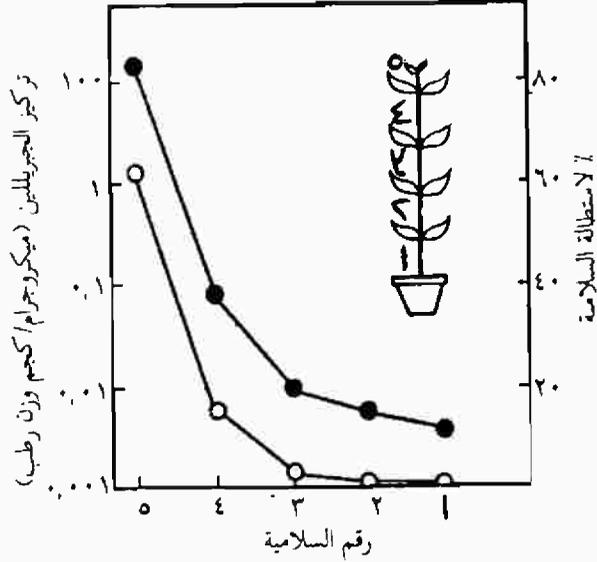
تعتبر النباتات المتوردة المذكورة سابقا ذات تركيز منخفض من الجبريلينات ولذلك تظهر حالة التورد. ولا تعتبر هذه حالة عامة لجميع النباتات حيث أنه على العكس من ذلك فإن كثير من النباتات تحتوى على تركيز مناسب من الجبريلينات لحدوث الأستطالة طبيعيا حتى إذا تعرضت هذه النباتات لظروف بيئية غير ملائمة مثل درجة الحرارة أو مده الإضاءة فإنها لا تكون نباتات متوردة إطلاقا ومثال لذلك نبات عباد الشمس حيث وجد أن تركيز الجبريللين يقل كلما أجهنا إلى قاعدة النبات وأيضا درجة أستطالة السلاميات تقل كلما إجهنا إلى قاعدة النبات. ومثال لذلك أن السلامية القمية رقم ٥ سرعة إستطالتها عالية وأيضا تركيز الجبريللين فيها عال

والعكس صحيح في السلامة القاعدية رقم ١ . تنطبق نفس القاعدة على السلاميات الوسطية.

يلاحظ أنه يوجد تلازم وتطابق تام بين منحني أستطالة سلاميات نبات عباد الشمس وأيضاً تركيز الجبريللين (شكل ١١٦). تم تقدير تركيز الجبريللين في السلاميات المختلفة بطريقة الانتشار في طبقة الآجار أى أنه في هذه الحالة هو تقدير لتركيز الجبريللين الحر وليست التركيز الكلى للجبريللين. ولذلك فإن هذه النباتات ومنها عباد الشمس لا تظهر صفة النباتات المتوردة إطلاقاً لأحتوائها على تركيز كاف من الجبريللين. تسمى النباتات الأخيرة والتي لا تظهر حالة التورد caulescent plants والظاهرة caulescent habit .

يختلف تأثير الضوء الأحمر على النباتات القزمية حيث أن سلالات الذرة القزمية تحتفظ بصفة التقزم في وجود الضوء العادى أى الأحمر والظلام والعكس صحيح في حالة البسلة حيث أن السلالات القزمية والعادية تصبح متساوية الطول في وجود الظلام والعكس صحيح في حالة الضوء تسمى حالة البسلة القزمية بالتقزم الفسيولوجى physiological dwarfness حيث أن التقزم لا يحدث إلا في وجود الضوء وعلى وجه الخصوص الضوء الأحمر. ومن ذلك يتضح أن معاملة السلالات القزمية بالجبريللين يسبب إستطالتها وبذلك يضاعف تأثير الضوء الأحمر في حالة البسلة. لا توجد فروق كميّة أو نوعيّة في الجبريلينات في بعض السلالات القزمية والعادية في حالة البسلة فقط. تفسير حالة السلالات القزمية في البسلة هو أن الساق ينتج مركبات مثبطة لنمو الساق في وجود الضوء أو أن أنسجة الساق تصبح غير حساسة لوجود الجبريلينات في وجود الضوء أى الضوء الأحمر.

ميكانيكية حدوث الأستطالة: يمكن تفسير حالة أستطالة الساق في النباتات المتوردة مثل الجزر والفجل وحيث أن قمة النبات تتكون من ثلاثة أجزاء وهي جزء علوى يسمى المرستيم القمى apical meristem وجزء وسطى عبارة عن المرستيم تحت القمى subapical meristem وجزء قاعدى عبارة عن منطقة الأستطالة.



(شكل ١١٦) : تركيز الجبريلين وأستطالة السلاميات المختلفة.

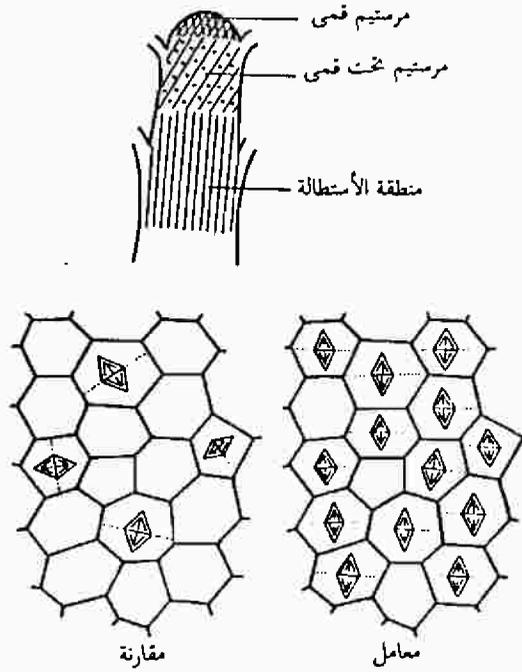
يكون المرستيم القمى الأوراق والبراعم والأزهار بينما المرستيم تحت القمى يتحكم فى أستطالة الساق. وفى حالة النباتات المتوردة فإن المرستيم القمى يكون الأوراق والبراعم والمرستيم تحت القمى يكون غير نشط وذو سرعة إنقسام منخفضة جدا حيث أنه يحتوى على قليل من الخلايا المنقسمة ونتيجة لذلك لا تحدث أستطالة الساق وتحدث حالة التورد. ولذلك فإن معاملة هذه النباتات بالجبريلينات أو تعريضها لظروف بيئية مناسبة تساعد فى سرعة تخليق الجبريلين وزيادة تركيزه وبذلك تحدث إستطالة لساق النبات ويصبح النبات عادى الطول. تكون الأستطالة فى هذه الحالة هى نتيجة زيادة تركيز الجبريلينات والتي تسبب سرعة إنقسام خلايا المرستيم تحت القمى والعكس صحيح فى منطقة المرستيم القمى حيث لا يوجد أى تأثير للجبريلينات على إنقسام خلاياه وذلك كما فى حالة نبات السكران *Hyoscyamus niger* ونبات *Samolus parviflorus* (جدول ٥).

(جدول ٥): تأثير المعاملة بحامض الجبريليك على سرعة الأنقسام غير المباشر في القمة النامية.

المرستيم تحت القمي		المرستيم القمي		النبات
معامل	غير معاملة	معامل	غير معاملة	
٥٦	٢	٨	٩	<i>Hyoscyamus niger</i>
٦٩	٢	٩	٨	<i>Samolus parviflorus</i>

وجد أيضاً أن الجبريللين يسبب تغيير في مستوى إنقسام الخلايا- plane of cell division حيث أن الإنقسام يحدث في أى مستو أو أى إتجاه فى الخلايا فى النباتات المتوردة أما فى حالة معاملةها بالجبريللين فإن مستوى الأنقسام يصبح واحد حيث أن خيوط المغزل تصبح فى الأتجاه الطولى للخلية ونتيجة لذلك فإن الخلايا المنقسمة تسبب زيادة فى الطول لأنها ستكون على هيئة عمود. أما فى حالة النباتات المتوردة العادية فإن الأنقسام يكون قليل وأيضاً فى أى إتجاه مسبياً زيادة فى السمك عنه زيادة فى الطول وذلك فى منطقة المرستيم تحت القمى (شكل ١١٧). يوضح ما سبق تأثير الجبريللين على إستطالة ساق النبات فى النباتات المتوردة.

يجب أيضاً ذكر حقيقة هامة هو أن المعاملة بالجبريللينات لا تسبب إستطالة الخلايا إلا فى وجود الأوكسينات. ومن المعروف أيضاً أن كل من الجبريللينات والأوكسينات يزداد تركيزها فى مناطق الأستطالة. تتميز السلاميات الصغيرة السن بأنها ذات سرعة إستطالة عالية ويرجع ذلك إلى أنها تحتوى على تركيزات عالية من كل من الأوكسينات والجبريللينات. كلما زاد عمر السلامة كلما قلت سرعة إستطالة أو درجة الأستطالة ويرجع ذلك أيضاً إلى قلة تركيز كل من الأوكسينات والجبريللينات. يوجد تأثير تنشيطى كبير cumulative or synergistic عند وجود كل من الأوكسينات والجبريللينات مختلطتين حيث أن وجودهما معاً لازم لأستطالة النبات. ولا تحدث الأستطالة العادية للنبات إلا فى وجود كلاهما متلازمين حيث أن تأثيرهما يكون كبير وذلك بالمقارنة بوجود أحدهما فقط.



(شكل ١١٧) : تأثير الجبريلين على أستطاله الخلايا.

- أ - قطاع طولى فى قمة نامية لنبات.  
 ب - تأثير المعاملة بالجبريلين على إتجاه خيوط المفزل فى خلايا النبات وبالتالى على إتجاه الأنقسام لخلايا النبات.

#### ٤ - نمو الجذور Root growth:

بالرغم من أن القمة النامية فى الجذور هى أحد الأماكن التى تخلق فيها الجبريلينات فإن معاملة الجذور بالجبريلين external application لا تؤثر ولا تنشط نمو الجذور بل أنها تثبط نمو الجذور. وقد وجد أن هذه المعاملة تسبب تثبيط سرعة إنقسام الخلايا وأستطالة الخلايا. يكون التأثير التثبيطى عام على الجذور السليمة والجذور المقطوعة أو أجزاء الجذور كما يحدث ذلك أيضا فى الضوء والظلام. تعليل ذلك غير معروف.

## ٥ - تكوين الجذور العرضية Adventitious Root Formation

تسبب معاملة العقل بالجبريللين تثبيط نمو وتكوين الجذور العرضية وهذه هي قاعدة عامة. ولكل قاعدة عامة شواذ حيث وجد أن عقل *Ipomoea* والبرايوفيللم *Bryophyllum* يتم تنشيط الجذور العرضية عليها بواسطة معاملتها بالجبريللين. وجد أن المعاملة بالجبريللين تثبط تكوين الجذور العرضية في كثير من الحالات ومن أمثلة ذلك أن عقل نبات الصفصاف يتكون عليها مبادئ الجذور root primordia طبيعياً وعند معاملتها بالجبريللين فإنه يحدث تثبيط لهذه الجذور العرضية.

## ٦ - النمو الخضري التي يعقبها الأزهار Juvenility

هي الفترة المبكرة في عمر النبات والتي يعقبها الأزهار حيث أنه عادة تفضل هذه الأجزاء للاستجابة للظروف البيئية المختلفة ويتوقف النمو الخضري ويبدأ الأزهار تسمى هذه الفترة Juvenility وفي حالة الإنسان هي فترة الشباب. تختلف طول هذه الفترة باختلاف النبات.

بعض النباتات يمكن أن تزهر وهي في سن صغير جداً مثل *Pharbitis* و *Chenopodium* حيث أنها تزهر بعد الأنبات مباشرة ولذلك فإن فترة juvenile قصيرة جداً في هذه الحالة وهي تتراوح بين ٢-٣ أيام. تطول فترة juvenility في كثير من النباتات المعمرة الخشبية وهي تتراوح بين عدة أشهر إلى عديد من السنين. وجد في حالة هذه النباتات Juvenility plants أي ذات مدة النمو الخضري القصيرة والسريعة الأزهار أن القمم النامية لهذه النباتات وعلى وجه الخصوص المرستيم القمي ذات قدرة عالية على التحول من تكوين النمو الخضري إلى تكوين الأزهار. أي أن المرستيم القمي في القمم يكون الأزهار بسرعة بدلا من تكوين الأوراق. أما النباتات التي لا تزهر إلا بعد وقت طويل فقد وجد في حالة نبات *Bryophyllum diagre-montianum* أن الأوراق وهي الأجزاء أو الأعضاء المتخصصة لاستقبال منشطات البيئة التي تشجع الأزهار leaves are the sites of perception of environmental stimulus for flowering غير قادرة على الاستقبال وعمل التنشيط اللازم للأزهار

أى أنها غير حساسة لذلك أو قليلة الحساسية أو بطيئة الحساسية ولذلك فإنها تحتاج إلى وقت طويل لكي تصبح حساسة وتستجيب لمؤثرات البيئة المنشطة للأزهار.

وجد أن المعاملة بالجبريللين تقلل من طول فترة juvenility. فى بعض الحالات تحتاج نباتات *Bryophyllum* إلى عامين للأزهار ولكن عند معاملة هذه النباتات بالجبريللين فإنها تزهر بعد ثلاثة شهور فقط. ومثال آخر لذلك من النباتات عاريات البذور وهو نوع من أنواع السرو *Cupressus arizonica* فإنه يكون المخاريط بعد أربعة سنوات وفى حالة المعاملة بالجبريللين فإنه يكونها بعد شهرين. توجد أمثلة كثيرة لذلك فى نباتات العائلتين *Taxodiaceae* و *Cupressaceae* وفى جميع هذه النباتات وجد أن تركيز الجبريللين المستعمل فى الأعمار الصغيرة كبير ويقبل التركيز كلما زاد السن وتعليل ذلك أن الجبريللين فى الأعمار الصغيرة غير كاف وبالتقدم فى السن يزداد تخليق الجبريللين وبالتالي تحتاج النباتات المعاملة إلى كمية أقل من الجبريللين.

تأثير الجبريللين فى هذه الحالة غير عام على النباتات ففى بعض الحالات يحدث العكس حيث أن المعاملة تزيد من فترة juvenility ومثال ذلك نبات حبل المساكين *Hedera helix* و جنس البطاطا وأزهار الإيوميا ومنها ست الحسن *Ipomoea* و جنس *Humulus*. أما عن كيفية تأثير الجبريللين فى ذلك فهو غير معروف. ولذلك عند إستعمال الجبريللين يجب المعرفة التامة بنوع النبات وقابليته للإستجابة وتشبه هذه الحالة معاملة العقل بالأوكسينات فإن أنواع معينة من النباتات هى التى تستجيب.

#### ٧ - الأزهار Flowering:

يمكن تصنيف النباتات تبعاً لأحتياجها للضوء إلى نباتات نهار طويل أو نهار قصير أو متعادلة كما يمكن تصنيف النباتات تبعاً لاحتياجها لدرجة الحرارة المنخفضة إلى نباتات ذات الإرتباع أو عديم الأتباع .

وفيما يلى شرح لكل حالة وعلاقتها بالمعاملة بالجبريللين:

أ - نباتات نهار طويل لها قدرة على التورد Rosette Long-Day Plants : يمكن تصنيف هذه النباتات إلى نوعين نباتات لها القدرة على التورد rosette plants ونباتات ليس لها القدرة على التورد caulescent plants. تتميز المجموعة الأخيرة من النباتات أنها لا تستجيب للأزهار عند معاملتها بالجبريللين مثل الحريق *Urtica* والشعير وعباد الشمس أما المجموعة الأولى فإنها تظهر حالة التورد في النهار القصير مثل السكران *Hyoscyamus niger* والكرنب و *Crepis* والسيلين *Silene* وعند تعريضها لنهار طويل تحدث إستطالة الساق bolting ويعقبها الأزهار. تفيد معاملة كثير من نباتات هذه المجموعة بالجبريللين حيث أنها تسبب لها أستطالة للساق وأحيانا الأزهار وذلك حتى في وجود النهار القصير ومثال ذلك الخس والكرنب (شكل ١١٨) والسكران *Samolus parviflorus*. جميع الجبريلينات غير متماثلة التأثير في ذلك فقد وجد أن بعض الجبريلينات تنتج أستطالة للساق bolting (الحنبطة) بينما البعض سبب الأزهار بينما البعض الآخر ليس له أى تأثير في ذلك وعديم الفاعلية تماما.

ومثال ذلك حالة نبات السيلين حيث أن الجبريللين ٧ يسبب الأزهار بينما جميع الجبريلينات من رقم ١ إلى ٦ غير فعالة تماما في أزهار هذا النبات. يعتبر الجبريللين هام في أزهار هذه الحالات حيث أن تعريض النباتات لنهار طويل فإن تركيز الجبريلينات يزداد تدريجيا مع طول فترة الإضاءة مع احتمال تكون أنواع جديدة من الجبريلينات في هذه الفترة. ومن أمثلة ذلك أيضا أن بعض السلالات الوراثية من *red clover (Trifolium pratense)* عديمة الأزهار تماما تحت أى ظروف بيئية حيث أنها لا تحتوى جبريلينات بتركيز مناسب وعند معاملة هذه السلالات بالجبريللين فإن هذه النباتات تزهر. وقد تمكن الباحثون من فصل عملية الحنبطة bolting عن عملية الأزهار وذلك بالتحكم في كمية الجبريللين المستعملة فإذا كانت جرعة الجبريللين المستعملة صغيرة فإن السيقان تستطيل bolting ولا تزهر النباتات وأذازادت الجرعة فإن النباتات تستطيل وتزهر (شكل ١١٨).



(شكل ١١٨) : تأثير المعاملة بالجيريلين على نباتات تحتاج نهار طويل .  
تسبب المعاملة بالجيريلين زيادة طول الساق بدرجة كبيرة (bolting) وأحيانا يتبع ذلك الأزهار في نبات الكرنب.  
نباتات معاملة (يمين) وغير معاملة (يسار) .

معاملة هذه النباتات مثل *Samolus parviflorus* بمعوقات النمو مثل Amo1618 وCCC يمنع إزهار هذه النباتات ويعتبر ذلك دليل على أهمية الجبريلينات فى إزهار النباتات فى هذه الحالة. يعتبر تركيز الجبريلينات اللازم لإزهار هذه النباتات هو التركيز الذى تكونه هذه النباتات بهد تعريضها لثمانية أيام نهار طويل .

ب - نباتات تحتاج لدرجة حرارة منخفضة Cold-requiring plants : تحتاج بعض النباتات لدرجة حرارة منخفضة تتراوح بين صفر إلى ٧ م لكى تزهر . وفى حالة عدم توفر درجات الحرارة المنخفضة فإن النباتات لا تزهر . يعتبر الشتاء القارص البرودة كاف لأزهار هذه النباتات وجد أن معاملة هذه النباتات بالجبريلين يسبب أزهارها فى حالة وجودها فى درجات حرارة مرتفعة .

تعتبر المعاملة بالجبريلين ودرجة الحرارة المنخفضة متماثلتين فى تأثيرهما على أزهار هذه النباتات ومن أمثلة هذه النباتات الجزر والبنجر والشيكوريا .

ح - نباتات طويلة قصيرة النهار Long-Short Day Plants : معاملة هذه النباتات بالجبريلين تسبب الأزهار بعد فترة النهار القصيرة والعكس غير صحيح. أى أن المعاملة بالجبريلين تحل محل فترة النهار الطويل ولا بد من وجود النهار القصير. ولا يمكن أن تقوم المعاملة بالجبريلين بتأثير النهار القصير . ولذلك فإنه فى حالة هذه النباتات لا بد من تعريضها لنهار قصير والأستعاضة عن النهار الطويل بالمعاملة بالجبريلين ومن أمثلة هذه النباتات *Bryophyllum diageomontianum* .

د - نباتات قصيرة النهار Short-Day Plants : يمكن أن تسبب المعاملة بالجبريلين أزهار هذه النباتات مثل زينيا *Zinia elegans* والداليا و-*Impatiens balsamina* . تركيز الجبريلينات فى هذه النباتات ليس له إتجاه محدد no consistent pattern . وجد أيضا أن معوقات النمو وهى CCC ، Amo1618 ، B-Nine ، phosphon D تسبب تثبيط النمو الخضرى والأزهار فى هذه النباتات . وعامة فإن الجبريلينات غير فعالة فى أزهار هذه المجموعة من النباتات عدا بعض الحالات ومنها ما سبق ذكره .

## ٨ - تحديد ونوعية الجنس Sex Expression:

يزداد عدد الأزهار المذكرة ويقل عدد الأزهار المؤنثة نتيجة للمعاملة بالجبريللين في الأزهار وحيدة الجنس وحيدة المسكن مثل الخيار و muskmelon و ridge gourd الخ. وفي النباتات ثنائية المسكن مثل القنب أى الماريجوانا وباللغة العامية الحشيش *Cannabis sativus* فإن النباتات المؤنثة تبدأ فى تكوين أزهار مذكرة بعد معاملتها بالجبريللين. وتنطبق نفس الحالة عند معاملة نبات السرو *Cupressus* بالجبريللين حيث يزداد عدد المخاريط المذكرة يمكن تحليل ذلك بأن الأزهار المذكرة تحتاج إلى تركيز من الجبريللين أكبر من الأزهار المؤنثة. حيث وجد أن تركيز الجبريللينات فى نباتات الخيار العادية والتي تنتج أزهار مذكرة ومؤنثة أكبر من تركيزه فى النباتات التي تنتج أزهار مؤنثة فقط . كما وجد أن حبوب لقاح النباتات غنية بالجبريللينات ومن أمثلة ذلك نبات البيتونيا *Petunia* و *Mirabilis*. يصل أعلى تركيز فى الجبريللينات فى حبوب اللقاح قبل تفتح الزهرة. ومصدقا لأهمية الجبريللين فى ذلك وجد أن معاملة مجموعة من نباتات القرعيات بمعوقات النمو مثل B-Nine و CCC تسبب تقليل عدد الأزهار المذكرة حيث أنها تثبط تكوين الجبريللينات. والعكس صحيح فى نباتات أخرى حيث وجد أن المعاملة بالجبريللين تزيد من الأزهار المؤنثة ومن أمثلة ذلك الذرة الشامية و castor bean .

ولذلك فإن تأثير الجبريللينات على تحديد نوعية الجنس لا يمكن تعميمه .

## ٩ - تكوين وتكشف الثمار والبذور Development of Fruits and Seeds

توجد الجبريللينات بكثرة فى الثمار والبذور أثناء تكوينها ومثال ذلك ثمار التفاح والخيار والقرعيات المختلفة وبذور البسلة و *Pharbitis*. يمكن القول أن تركيز الجبريللينات فى البذور غير الناضجة يزيد أضعاف المرات عن تركيزها فى الجذور أو السيقان أو الأوراق الكاملة النمو. ولذلك تستعمل البذور غير الناضجة كمصدر لعزل الجبريللينات . يزداد تركيز الجبريللينات أثناء تكوين البذور فى بعض النباتات مثل التفاح والبسلة والقمح الخ. يصبح تركيز الجبريللينات أعلى ما يمكن ثم يليه مباشرة

زيادة سرعة نمو البذور بدرجة أعلى ما يمكن . يزداد تركيز الجبريلينات في الفلقات عنه في القصره أو محور الجنين أى الريشة والجذير . يعتقد أن نقص تركيز الجبريلينات فى البذور الناضجة نتيجة لتحول الجبريلينات من الحالة الحرة إلى الحالة المرتبطة وذلك عن طريق تكوينها جبريللين glucoside وحيث أن هذا المركب الأخير غير فعال كهورمون لذلك يقل نشاط الجبريلينات. يمكن أن يعتبر مركب جلوكوسيد الجبريللين هو عبارة شكل تخزينى storage form للجبريلينات .

تعتبر أيضا البذور أثناء تكوينها وقبل النضج مراكز نشطة لتخليق الجبريلينات .

توجد أيضا تغيرات نوعية فى الجبريلينات فى أثناء تكوين البذور بالإضافة إلى التغيرات الكمية السابق وصفها . يتكون أثناء تكوين البذور فى نبات *Phaseolus coccineus* ثمانية أنواع مختلفة من الجبريلينات وتختفى تماما من البذور الناضجة . وفى أثناء الأنبات يتكون نوعين من الجبريلينات فى البادرة مختلفين تماما عن الثمانية أنواع الموجودة فى البذور غير الناضجة . يتضح من ذلك أيضا أن الجبريلينات يمكن أن تتحول من نوع إلى آخر *interconverted* فى البذور والبادرات . أمكن إثبات ذلك أيضا بواسطة مزارع الأنسجة حيث تم زراعة بذور غير ناضجة على بيئات صناعية فى المعمل وبمعاملة البيئة الصناعية بأحد معوقات النمو وهو Amo1618 فإن تركيز الجبريلينات فى هذه البذور قد إنخفض بدرجة كبيرة وقد صاحب ذلك أيضا بطء فى نمو البذور .

يحدث نمو جدار الثمرة نتيجة تأثير الجبريلينات على الثمار مثل الخوخ والبرتقال المعروف بإسم *naval orange* وغيرها. تحتوى عادة الأصناف البذرية على تركيز عال من الجبريلينات بالمقارنة بالأصناف عديمة البذور كما فى العنب. حيث أن أحد المناطق الرئيسية فى إنتاج الجبريلينات فى الثمار هى البذور . توجد أيضا علاقة مباشرة بين تركيز الجبريلينات فى الثمار أثناء تكوينها وسرعة ودرجة نموها وذلك فى ثمار العنب والبرتقال. تحتوى الأصناف البذرية على ثمار عنب بذرية ذات تركيز عال من الجبريلينات بالمقارنة بالأصناف عديمة البذور. حيث أن ثمار الأصناف

عديمة البذور يتوقف نموها مبكرا بالمقارنة بالأصناف البذرية التي يستمر نمو ثمارها مدة أطول وذلك لقلة تركيز الجبريلينات في الأصناف عديمة البذور . ولذلك فإن معاملة الأصناف عديمة البذور بالجبريلينات فإن الثمار تكبر في حجمها بدرجة كبيرة ملحوظة مما يثبت أنها تحتاج إلى تركيز أعلى أو كمية إضافية من الجبريلينات . والعكس صحيح في حالة أصناف العنب البذرية حيث أن معاملتها بالجبريلينات لا يؤثر على نموها إلا بدرجة محدودة جدا .

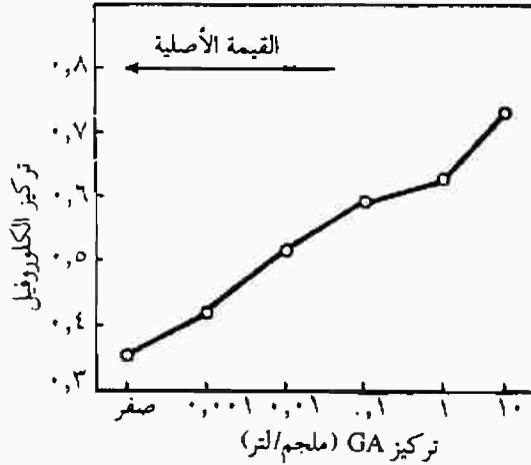
ومن ذلك يتضح أن الأصناف البذرية من العنب تحتوي طبيعيا على تركيز كاف من الجبريلينات ولا تحتاج إلى مصدر خارجي .

ولذلك فإن نمو الثمار في العنب يتحكم فيه الجبريلينات بدرجة كبيرة وأن المصدر الأساسى لهذه الجبريلينات هي البذور أثناء مراحل تكوينها ونضجها . ولذلك فإنه يمكن أن تحل المعاملة بالجبريلينات محل البذور الغير ناضجة في تموين المبيض بالكميات اللازمة من الجبريلينات ولذلك تتكون الثمار الكبيرة الحجم .

يحدث نفس التأثير عن معاملة مبايض أزهار الطماطم بالجبريلينات حيث تتكون ثمار طماطم عديمة البذور . يمكن أيضا أن تحدث نفس الحالة في ثمار التين . ومما هو جدير بالذكر أن الأوكسينات يمكن أن تحل محل الجبريلينات تماما في العنب والطماطم والتين وتتكون الثمار بكريا . يختلف الحال في ثمار الخوخ والمشمش والبرقوق واللوز والتفاح حيث لا يمكن إنتاج ثمار عديمة البذور أى لا يحدث الأثمار البكرى إلا بواسطة المعاملة بالجبريلينات فقط ولا يمكن أن تحل الأوكسينات محل الجبريلينات . يعتبر نمو الثمرة نتيجة للتفاعل بين الهورمونات المختلفة الموجودة في المبيض والثمار الصغيرة ومنها الأوكسينات والجبريلينات والسيتوكينينات . وفي حالة التفاح أثناء مراحل تكوين البذور فإن تركيز السيتوكينينات يزداد أولا ثم يزداد تركيز الأوكسينات والجبريلينات بعد ذلك . وحتى الآن غير معروف بالضبط الدور الذى تقوم به الجبريلينات في تكوين وتكشف الثمار والبذور توجد تفسيرات كثيرة لذلك وكلها غير مؤكدة ومنها أن الجبريلين يمكن أن يسبب تخليق الأوكسينات والتي بدورها تؤثر على تكوين الثمار .

## ١٠. الشيخوخة Senescence:

يمكن أن تسبب المعاملة بالجبريللين تأخير في الشيخوخة في الأوراق المنزوعة في بعض النباتات مثل أبو خنجر *Tropaeolum majus* و *Rumex obtusifolius* و *Ta- raxacum officinale*. تأخير الشيخوخة يكون مصحوب بالتأخير في نقص الكلوروفيل والبروتين و RNA. يكون ذلك نتيجة لبطء في هدم هذه المركبات وأيضا زيادة كفاءة تخليقها أى أن الجبريللين يساعد على بطء هدم المركبات كما يساعد أيضا على تخليقها. يمكن إثبات ذلك بإدخال ليوسين مشع في البروتين وإدخال أدنين مشع في RNA حيث يزداد تركيز البروتين المشع وأيضا RNA المشع نتيجة للمعاملة بالجبريللين. يمكن إثبات نفس الحالة في الكلوروفيل في أوراق نبات *Ta- raxacum* كما وجد أن زيادة تركيز الجبريللين يسبب زيادة في تركيز الكلوروفيل وتستخدم هذه الحقيقة وهذه التجربة في تقدير تركيز الجبريللين بالطرق الحيوية (شكل ١١٩).



(شكل ١١٩) : تأثير المعاملة بالجبريللين على محتوى الكلوروفيل في خلايا أوراق *Taraxacum officinale*.

يعتبر ما ذكر سابقا خاص بالنباتات المذكورة فقط حيث أنه في الغالبية العظمى من النباتات تسبب معاملة الأوراق بالجبريللين لون باهت للأوراق. حيث تصبح الزيادة في حجم خلايا الأوراق غير متناسبة مع تركيز الكلوروفيل ولكن بعد فترة تسترد الأوراق المعاملة بالجبريللين لونها. ولذلك في هذه الحالات لا يوجد دليل مباشر على أهمية الجبريللين في تخليق الكلوروفيل أو بطء هدمه.

وجد أيضا أن معاملة ثمار الموز والبرتقال بالجبريللين أثناء نضجها وتحولها من اللون الأخضر إلى الأصفر أو البرتقالي يؤخر من عملية نضجها ويتأخر ظهور اللون الأصفر أو البرتقالي. وفي حالة نضج ثمار البرتقال تصبح صفراء اللون فإنها تتحول إلى اللون الأخضر مرة أخرى نتيجة لمعاملتها بالجبريللين. يمكن رش أشجار الموالح بالجبريللين ليؤخر سرعه التلون في الثمار على الأشجار وبذلك يزيد موسم التسويق.

#### ١١ - سقوط الأوراق والثمار Abscission:

لا تسبب المعاملة بالجبريللين تأثير على سقوط الأوراق والثمار في الغالبية العظمى من النباتات ولكن توجد حالات قليلة خاصة ومنها ثمار الطماطم. فمن المعروف أن أزهار الطماطم الغير ملقحة يتكون لها طبقة إنفصال وتسقط abscise and fall. وجد أن معاملة هذه الأزهار بالجبريللين تمنع سقوطها وتسبب تكوين ثمار بكرية. يعتبر تأثير الجبريللين في هذه الحالة غير مباشر حيث أنه يسبب تشجيع تخليق الأوكسين وأن الأخير يمنع سقوط الأزهار، أي أن الجبريللين يشجع تخليق الأوكسين في هذه الحالة. وفي بعض الحالات القليلة الأخرى يؤخر الجبريللين سقوط الأوراق في نباتات الأسفندان و *Acer* و *Fraxinus* وهي نباتات غابات متساقطة الأوراق وهو يصاد عمل حامض الأبسيسيك في هذه الحالات.

#### ١٢ - الإنتحاء Tropism:

وجد أن تعريض ساق عباد الشمس للضوء من جانب واحد يسبب إنتحاء الساق ناحية مصدر الضوء. وقد وجد أن تركيز الجبريلينات القابلة للإنتشار diffusible GA في الجزء من الساق البعيد عن الضوء هو حوالي ثمانية أضعاف تركيز هذا

النوع من الجبريلينات في الجزء المواجه للضوء . وجد أيضاً أنه عند وضع نبات عباد الشمس أفقياً يزداد تركيز الجبريلين في الجزء السفلى عنه في الجزء العلوى . غير معروف بالضبط ميكانيكية حدوث ذلك تحت تأثير الضوء والجاذبية الأرضية .

### التقزم الوراثى Genetic Dwarfism

من أهم الخواص الملفتة للجبريلينات هي مقدرتها في التغلب على الطرز المظهرية للتقزم الوراثى في نباتات معينة - وفي بعض الأحيان فإن التقزم الوراثى يرجع إلى طفرة جينية gene mutation ومن أحسن الأمثلة على ذلك هي إحدى طفرات نبات الذرة تسمى dwarf-5 (d 5) والتي ترجع إلى حدوث طفرة في جين واحد single gene mutation ويظهر الطراز المظهرى phenotype لهذه الطفرة قزماً بسبب نقص الجبريلينات - ويحدث التطفر إيقاف المسلك الأيضى لبناء الجبريلين في الخطوة بين copaly pyrophosphate والكاورين kaurene - وكما هو معروف فبدون الكاورين لا تنتج الجبريلينات. وبصفة عامة فإن النباتات التى لها مثل هذا النموذج من التقزم تكون سلامياتها قصيرة ويكون حجمها في حدود (1/5) حجم النباتات العادية. ولهذا السبب فإن استعمال الجبريلين لطفرة (d5) أو إحدى الطفرات الجينية المفردة المتقزمة single gene dwarf mutant مثل البسلة *Pisum sativum* والفول *Vicia faba* وفاصوليا *Phaseolus multiflorus* يتسبب في استطالة هذه الطفرات حتى تصير غير مميزة عن نظائرها من النباتات العادية (الغير مطفورة) وعندما يحدث تغيير الطراز المظهرى phenotype لنبات ما ذو طراز جينى واحد onegenotype وذلك باستعمال المعاملات الكيميائية أو الطبيعية - فإنه يماثل أو يحاكي mimetic الطراز المظهرى لنبات آخر ذو طراز جينى مختلف - تسمى هذه الظاهرة بالنسخة المظهرية phenocopy .

والجبريلينات لها تأثير قليل عندما تستخدم للنباتات العادية ولكن تزداد أستجابة النباتات المتقزمة للجبريلين بزيادة التركيز المستعمل .

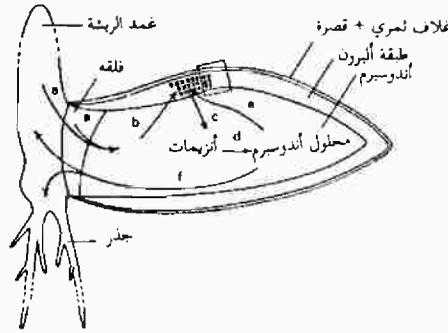
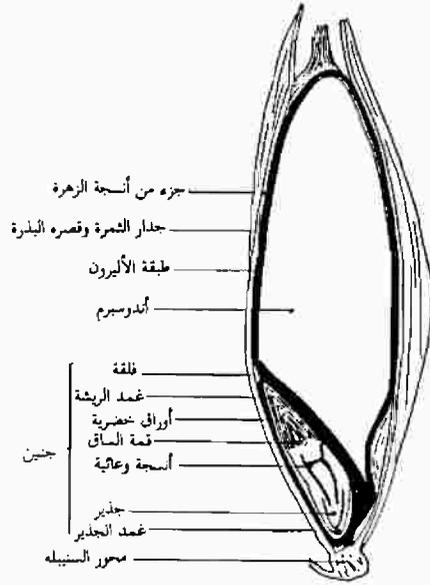
وعلى الرغم من أن تقزم نباتات معينة يرجع إلى نقص الجبريلينات إلا أن بعض النباتات المتقزمة لا تستجيب للأضافة الخارجية للجبريلينات ولا يوجد بينها اختلاف فى المحتوى الجبريليني وبين النباتات العادية - ويقترح بعض الباحثون أن مثل هذه النباتات المتقزمة ربما تحتوى على مستقبلات غير نشطة أو غير فعالة ineffective receptors أو بها إعاقة أيضية metabolic blockage أو من المحتمل أنها تحتوى على كمية زائدة من المثبطات الطبيعية natural inhibitors- وكل هذه الاقتراحات أو الافتراضات مهمة ولكنها ليست لها قيمة بدون الدليل التجريبي الكافي .

ديناميكية (آلية) عمل الجبريلينات :

### Mode of Action (How Gibberillins work?)

أجريت تجارب كثيرة لمعرفة ديناميكية عمل الجبريلينات ومن المعروف أن الجبريلينات لها تأثيرات عديدة مثل استطالة الخلايا وأنقسام الخلايا وتشكل الخلايا وأنبات البذور وكسر طور السكون. إلا أن الحالة الوحيدة المدروسة بالتفصيل لميكانيكية عمل الجبريلينات هي كيفية تأثير الجبريلين على إنبات الحبوب .

يتحكم الجبريلين فى تحليل النشا عن طريق تنظيم إنتاج أنزيم الأميليز . ينتج عن معاملة حبة الشعير المنزوعة الجنين بالجبريلين تكوين أنزيم الأميليز وأيضا أنزيمات أخرى مثل ribonuclease ريبونوكليز كما تتحرر هذه الأنزيمات من أماكن إنتاجها وتنقل إلى أماكن أخرى وخلايا أخرى غير المنتجة فيها لكى تظهر تأثيرها (شكل ١٢٠). يسبب هذا الأنزيم تحليل النشا الموجود فى أندوسبرم الحبة ( يسمى النشا باللاتينى amyllum ولذلك يسمى الأنزيم الذى يقوم بتحليله amylase). يتكون الأنزيم فى طبقة الأليرون تعتبر وظيفة طبقة الأليرون تخليق وإفراز أى تحرر أنزيم الأميليز والذى يسبب هضم الغذاء المخزن فى الأندوسبرم. تعتبر خلايا طبقة الأليرون هى الخلايا الوحيدة التى تتأثر بالجبريلينات حيث يتم فيها تخليق أنزيم الأميليز والذى يتأثر تخليقه بواسطة الجبريلينات .



(شكل ١٢٠): تأثير الجبريللين علي حبوب الشعير أثناء الأنبات.

- قطاع طولي في حبه شعير (علوي)

- خطوات تحليل الأندوسيرم (سفلي)

يتكون حامض الجبريلليك في غمد الريشة والفلقة (a) ثم يهاجر إلي طبقة الأليرون (b) وحيث يحدث تنشيط للأنزيمات وأهمها ألفا أميليز . تنتشر هذه الأنزيمات إلي الأندوسيرم النشوي (c) والتي تستخدم في تحليل النشا في هذا النسيج (d) ويتكون نتيجة لذلك محاليل من نسيج الأندوسيرم . يمكن أن تسبب هذه المحاليل تثبيط في إنتاج الأنزيمات (e) وتستخدم أيضا في تغذية الجنين (f) أثناء نموه .

يسبب الجبريللين تخليق أنزيم ألفا أميليز. حيث يتم تخليق الأنزيم من أحماض أمينية من بداية تخليق بروتين الأنزيم حتى نهاية تكوين البروتين ولذلك فإن للجبريللين دور أساسى فى تخليق البروتين وليست دور ثانوى مجرد تحويل بروتين الأنزيم من حالة خاملة إلى حالة نشطة. أمكن إثبات ذلك بإضافة أحماض أمينية معلمة أى مشعة إلى حبوب الشعير أو طبقة أليرون الشعير المعاملة بالجبريللين حيث تكون بروتين مشع. علاوة على ذلك فإنه أمكن تثبيط تخليق البروتين المشع بإضافة مركبات مثبطة لتخليق البروتين مثل سيكلوهيكسيميد cycloheximid. وجد أيضا أن معاملة الحبة أو طبقة الأليرون بمركب مثبط مثل actinomycin يمنع تخليق ونشوء وتحرر mRNA من DNA وبالتالي فإنه يمنع تخليق البروتين أيضا حيث أن الأخير يتكون من mRNA. ولذلك فإن ميكانيكية عمل الجبريللين فى هذه الحالة هى المساعدة فى تخليق وتكوين mRNA من جزيئى DNA حيث أن الجبريللين فى هذه الحالة يعمل كمانع derepressor لمثبطات أو موانع الجينات repressors. حيث أن مثبطات أو موانع الجينات تمنع تكوين بروتين أنزيمات الأميليز وحيث أن الجبريللين يمنع أى يصاد عمل هذه الموانع فإنه يساعد على تكوين وتحرر جزيئى mRNA من جزيئى DNA وحيث أن mRNA يسبب تخليق البروتين ومنه بروتين أنزيم الأميليز. ولذلك فإن للجبريللين دور أساسى فى تخليق بروتين أنزيم ألفا أميليز.

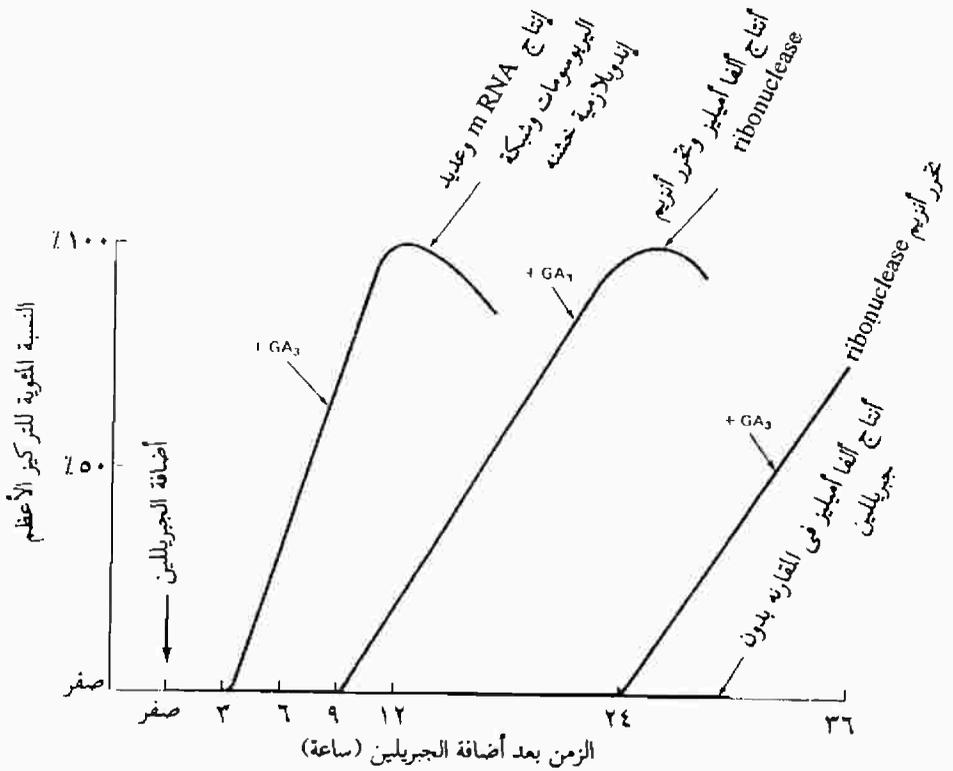
وجدت صعوبة قديماً فى تحديد تركيز نوع معين من mRNA لأن تركيزه منخفض بدرجة كبيرة جداً ولعدم وجود طرق يمكن بها التعرف على نوع mRNA المتكون. ولكن حديثاً نسبياً أمكن اكتشاف أن mRNA له ذيل من جزيئات عديدة من الأدينين كما وجد أيضاً أن الأدينين يلتحم مع uridine بواسطة روابط إيدروجينية، ومن هذه الخاصية الأخيرة يمكن فصل mRNA وذلك بواسطة أستعمال عمود column يحتوى على عديد اليوريدين polyuridine مرتبط بمحتويات العمود ولذلك عند أمرار مستخلص RNA على العمود فإن mRNA سيرتبط بمحتويات العمود بينما الأنواع الأخرى من RNA لن ترتبط بالعمود وتتخلل العمود ويتم تجمعها أسفل العمود. يمكن الحصول على mRNA المرتبط بالعمود وذلك بتغيير محلول

الغسيل للعمود وحيث يوجد محلول مناسب لفك إرتباط mRNA بالعمود ويصبح الأخير موجود في محلول الغسيل الذى يتم تجميعه أسفل العمود. ومن المحلول الأخير يمكن تقدير تركيز mRNA وباستعمال هذه الطريقة يمكن إثبات أن نيكليوسيدات nucleosides ترتبط مع mRNA في وجود وبواسطة نواه طبقة الأليرون وأن ذلك يحدث بعد أربعة ساعات من إضافة الجبريللين . يتم تثبيط إنتاج أنزيم ألفا أميليز باستعمال مركب مثبط وهو cordycepin حيث أن الأضافة المبكرة لهذا المركب تمنع أكتمال تخليق جزيء mRNA . كلما كانت أضافة هذا المركب المثبط متأخرة كلما قل تأثيره المثبط، ولذلك يصبح هذا المركب المثبط عديم الفاعلية تماماً عند أضافته بعد ١٢ ساعة من إضافة الجبريللين. ولذلك فإن الجبريللين ينتج mRNA لأنزيم ألفا أميليز أنتاج تام وكامل بعد ١٢ ساعة وحيث لا يؤثر cordycepin . وقد أمكن التأكد من طبيعة mRNA المخلق حديثاً في وجود الجبريللين وذلك بتنقيه هذا mRNA ثم أضافة *in vitro* إلى جهاز تخليق البروتين والذى يتكون من الريبوسومات tRNA والأنزيمات والأحماض الأمينية اللازمة. وجد أن البروتين الناتج من هذه التجربة يماثل تماماً بروتين أنزيم ألفا أميليز. أمكن التأكد من ذلك باستعمال الطرق السيرولوجية وأستخدام طرق الفصل بالهجرة في مجال كهربائي electrophoresis .

في أثناء ظهور mRNA فإن عدد الريبوسومات وعديد الريبوسومات وكمية الشبكة الأندوبلازمية تزداد في خلايا الأليرون . تحدث هذه التغيرات أيضاً في الخلايا التى يتم فيها تخليق الأنزيمات ثم أفراز هذه الأنزيمات إلى خلايا أخرى such changes are often typical of cells manufacturing enzymes for secretion (شكل ١٢١).

ولذلك فإن الجبريللين يساعد في تخليق الأنزيمات وأيضاً أفرازها. وجد أيضاً أن الجبريللين يساعد في تخليق أنزيمات أخرى (جدول ٦ و جدول ٧) مثل البروتينيز protease والريبونوكلييز ribonuclease وذلك بالأضافة إلى أنزيم ألفا أميليز، ولذلك فإن الهرمون يسبب حدوث سلسلة من التفاعلات ينتج عنها هضم الغذاء المختزن في

البذرة. ليصبح صالح لأستعمال النبات الصغير السن. يساعد الجبريللين أيضاً في إفراز جميع هذه الأنزيمات من طبقة الأليرون إلى الأندوسبرم . يتم تخليق أنزيم ألفا أميليز وإفرازه من خلايا الأليرون بعد تسع ساعات من إضافة الجبريللين وأيضاً يتم تخليق أنزيم ريبونيكلييز بعد تسع ساعات من إضافة الجبريللين ولكن يتم إفرازه من الخلايا بعد مدة أطول من ٢٤ ساعة.



(شكل ١٢١) : تأثير المعاملة بالجبريللين على خلايا أليرون الشعير.

يتضح مما سبق أن الجبريللين يمنع عمل موانع الجينات أى أنه derepressor وبالتالي فإنه أيضاً يساعد على أداء بعض الجينات لعملها turning on certain genes. وأما عن نوع الجينات التي يساعد في عملها فإن ذلك يتوقف على نوع الخلية. وقد أجريت أبحاث قليلة عن تأثير الجبريللين في التحكم في أستطالة الخلايا ومن أمثلة ذلك أن أستطالة السلاميات في نبات الزمير الناضج قبل الأزهار تكون راجعة إلى أستطالة السلاميات. حيث أنه وجد أن هذه الخلايا تستطيل فقط دون أن تنقسم في وجود الجبريللين وفي غياب الأوكسين تماماً ولكن في وجود الأوكسين فإن هذه الخلايا يحدث لها أنقسام للخلايا علاوة على أستطالة الخلايا. وأتضح من التجارب أن الجبريللين يسبب أستطالة الخلايا في وجود زيادة حموضة جدر الخلايا كما سبق ذكره في حالة الأوكسينات وجد أن هذه الخلايا الحساسة للجبريللينات والتي تتأثر بها لا تتأثر بالأوكسينات. يعتقد أن الاختلاف في مدى حساسية خلايا النبات للأوكسينات أو الجبريللينات يتوقف على مدى وجود أماكن مختلفة مستقبلية للهورمونات في هذه الخلايا different hormone-receptors أى أن بعض الخلايا فيها أماكن لأستقبال الجبريللين وخلايا أخرى فيها أماكن لأستقبال الأوكسين وقد يوجد في الخلية الواحدة أماكن لأستقبال الأوكسين والجبريللين.

(جدول ٦) : الأنزيمات التي يشجع تكوينها الجبريللين في ألبرون الحبوب

GA - induced enzymes in cereal aleurone

نوع الأنزيم	حالة التأثير
$\alpha$ - Amylase	نعم
Protease	
Ribonuclease	
B - Glucanase	
Esterase	
Acid phosphatases	
P - nitrophenyl phosphatase	
ATPase	
Phytase	
Naphthol AS - B1 phosphatase	
GTPase	
Pentosanase	
Endoxylanase	
Xylopyranosidase	
Arabinofuranosidase	
Glucosidase	
Peroxidase	
Catalase	لا
Malate dehydrogenase	لا
Malate synthetase	لا
Isocitrate lyase	لا
Citrate synthetase	لا
Phosphorylcholine glyceride transferase	لا
Phosphorylcholine cytidyl transferase	لا

(جدول ٧) الأنزيمات التي يشجع تكوينها الجبريلين في بذور الخروع.

نوع الأنزيم	حالة التأثير	العضية	
Aconitase	نعم	M	
Amino transferase		GM	
Catalase		G	
CDP choline glyceride transferase		ER	
Citrate synthase		M	
Fructose diphosphatase		C	
Fumarase		M	
Hydroxy acyl - COA dehydrogenase		N .D	
Isocitrate lyase		G	
Malate dehydrogenase		C.G	
Malate synthetase		G	
NADH - cytochrome C reductase		ER	
NADH ferricyanide reductase		M	
Phosphoenolpyruvate carboxykinase		C	
Succinic dehydrogenase		M	
NADH oxidase		M	
Acid lipase		لا	N.D
Alkaline lipase			N.D
Choline phosphotransferase			ER
Citrate synthase			G
Cytochrome oxidase	M		
Enolase	C		
Malate dehydrogenase	M		
OH pyruvate reductase	G		
Pyruvate kinase	C		

M = ميتوكوندريا

G = glyoxysome

ER = الشبكة الأندوبلازمية

C = سيتوبلازم