الجبريللينات

GIBBERELLINS

مقدمة تاريخية عن اكتشافها:

يرجع الفضل فى اكتشاف الجبريللينات إلى العلماء اليابانيون حيث أنه من أوائل القرن العشرين وحتى عام ١٩٢٦ لاحظ مزارعوا 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 اشتكي 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 امكنه 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 فى البيئة دون

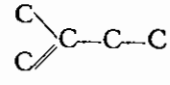
الهيفات أو الجراثيم فأن هذا الراشح يمكن أن يحدث نفس الأعراض المرضية الا أنه لسوء الحظ لم يتمكن من فصل المركب الفعال فى صورة نقية حيث أنه كان يختلط دائماً مع هذا المركب مركب يفرزه هذا الفطر وهو حامض الفيوزاريك fu-saric acid ولم يكن يعلم هو بذلك. الا أنه سنة ١٩٣٥ ـ ١٩٣٨ تمكن Yabuta اليابانى من عزل مركب فعال يحدث نفس الأعراض السابقة وهو فى صورة بلورية نقية وسماه بالجبريللين Gibberellin A منسوبا إلى اسم الفطر. وحيث أن جميع هذه الابحاث كانت تجرى فى معامل اليابان وبواسطة العلماء اليابانيون فأن نشر هذه البحوث كان كله فى 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 فى هذا الصدد حتى تمكن العلماء الانجليز Curtis وآخرون سنة ٥٤ ـ ١٩٥٥ من عزل أول مركب فى العالم الغربى فى صورة نقية وأعطى تركيبة الصحيح، وقد كان هذا التركيب مخالفاً إلى حد ما للتركيب الذى حدده العلماء اليابانيون لهذا المركب وقد سمى العلماء الأنجليز هذا المركب باسم حامض الجبريلليك Gibberellic acid، وقد توالت البحوث بعد ذلك حيث أمكن عزل مركبات مختلفة للجبريللينات من فطر الفيوزاريم وأيضاً من النباتات الراقية وفى فترة قصيرة نسبياً وصل عدد هذه المركبات إلى أكثر من ٢٠ مركب وقد سميت هذه المركبات باسم Gibberellin (GA1) و Gibberellin 2 (GA2) وكذلك Gibbe-rellic acid (GA3) وهكذا تسمى هذه المركبات. ولكن بتقدم طرق الفصل وطرق الكيمياء التحليلية فقد قفز هذا العدد الآن فى مركبات الجبريللين الى ٦٢ مركب حتى عام ١٩٨٤، وهذه المركبات لها هيكل أساسى واحد ولكنها تختلف فى موقع وعدد الروابط المزدوجة الموجودة فى الجزيئ وأيضاً فى موقع مجموعة OH وغيرها وقد وجد أيضاً بعض المركبات الآخرى تشابه فى تأثيرها تأثير الجبريللينات ومن هذه المركبات مركب helminthosporic acid الذى يعزل من الفطر *Helminthospori-um sativum* وهو شبيه الجبريللين Gibberellin - like activity حيث أن له نشاط

مشابه الجبريللين، ولكن يختلف هذا المركب فى تركيبه الجزيئى عن الجبريللين تماماً.

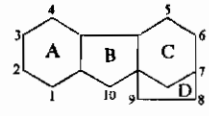
وجد فطر آخر وهو *Sphaceloma manihoticola* وهو فطر أسكى أيضاً يسبب مرض الطول الزائد super elongation disease فى الكاسافا cassava وينتج جبريللين ٤ ـ GA4.

تعريف الجبريللينات:

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



Isoprene unit (5-C)

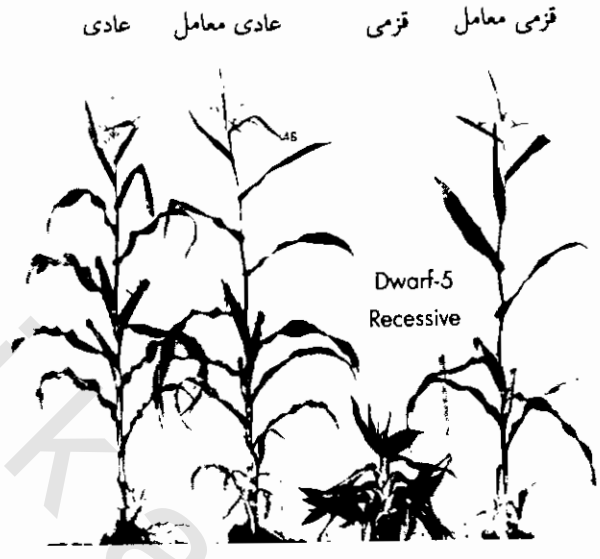


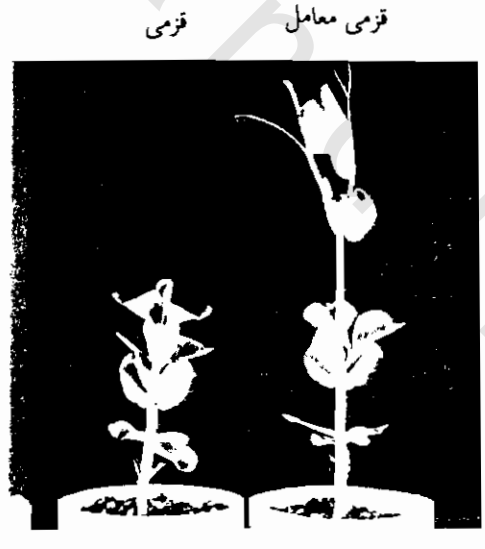
gibbane حلقات جزيء

(شكل ٩٣) : هيكل جزيء gibbane وجزيء isoprene

قد تختلف الجبريللينات فى تأثيرها على طول النباتات العادية ولكنها عادة تؤثر على زيادة طول النباتات العادية ولكن بدرجة غير كبيرة نسبياً. ولكن تأثير الجبريللينات على النباتات القزمية يكون عظيما حيث أنه من المعروف فى نباتات الذرة والفاصوليا والأرز والبسلة و *Pharbitis* (شكل ٩٤) هى نباتات لها سلالات عادية فى الطول ولكن توجد سلالات أخرى من هذه النباتات قزمية وقد وجد أن الاختلاف الوحيد فى بعض هذه الحالات هو نتيجة اختلاف فى جين واحد فقط بين النبات القزمى والنبات العادى وأن هذا الجين هو المسئول عن تكوين الجبريللين أو عدم تكوينه. والدليل على ذلك أنه عند استعمال نباتات قزمية ومعاملتها بمحلول الجبريللين فقط كمعاملة وحيدة فأن هذه النباتات تستطيل لتصبح فى طول النبات العادى فمعنى ذلك أن الفرق بين السلالات الطويلة والسلالات القزمية فرق واحد هو أن السلالات الطويلة قادرة على تخليق الجبريللين والسلالات القزمية غير قادرة على تخليقه وعند أضافة الجبريللين للنباتات القزمية فيصبح لها شكل ظاهرى phenotype غير شكلها القزمى الاصلى حيث أنها تصبح سلالات طويلة وتسمى phenocopies. سلالات الذرة القزمية المستعملة فى هذه التجارب عبارة عن طفرة فى جين واحد single gene mutantمن السلالات العادية من الذرة حيث أصبح الجين غير قادر على تخليق الجبريللين بينما فى السلالات العادية فإنه قادر على تخليق الجبريللينات أى أن الـ genotye مختلف.

وقد وجد أن الجبريللينات المختلفة قد تختلف فى تأثيرها على النباتات المختلفة تبعاً لتركيبها. وقد وجد بتحليل النباتات العادية والقزمية أن النباتات القزمية فعلا تحتوى على تركيز قليل من الجبريللينات بالمقارنة إلى تركيزها فى النباتات عادية الطول ولكن هذه الحالة فى بعض النباتات القزمية ولكن فى بعض النباتات الأخرى القزمية وجد أن تركيز الجبريللينات فى النباتات القزمية ونباتات عادية الطول تقريباً تركيز متساوى وعند تحليل أنواع الجبريللينات الموجودة فى النباتات القزمية وجد أنها تختلف عن أنواع الجبريللينات الموجودة فى النباتات العادية الطول ومن ذلك يتضح أن نوعية الجبريللين تؤثر أيضاً على الاستطالة بمعنى أن بعض الجبريللينات يكون تأثيرها ضعيف والبعض الاخر ذو تأثير كبير واضح على أستطالة 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 فى حدوث هذا التأثير. بالأضافة الى الفرقين الرئيسين بين الأوكسينات والجبريللينات كما سبق ذكره وهما الفرق فى التركيب والأختبار على النبات السليم أو المقطوع فأنه توجد فروق رئيسية أخرى أهمها ما يأتى (جدول ٣) .

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

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

طرق أستخلاص الجبريللينات:

يتم ذلك بطريقتين كما فى الأوكسينات

١ ـ الأنتشار **Diffusion**

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

٢ ـ الأستخلاص بالمذيبات العضوية **Solvent extraction**

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

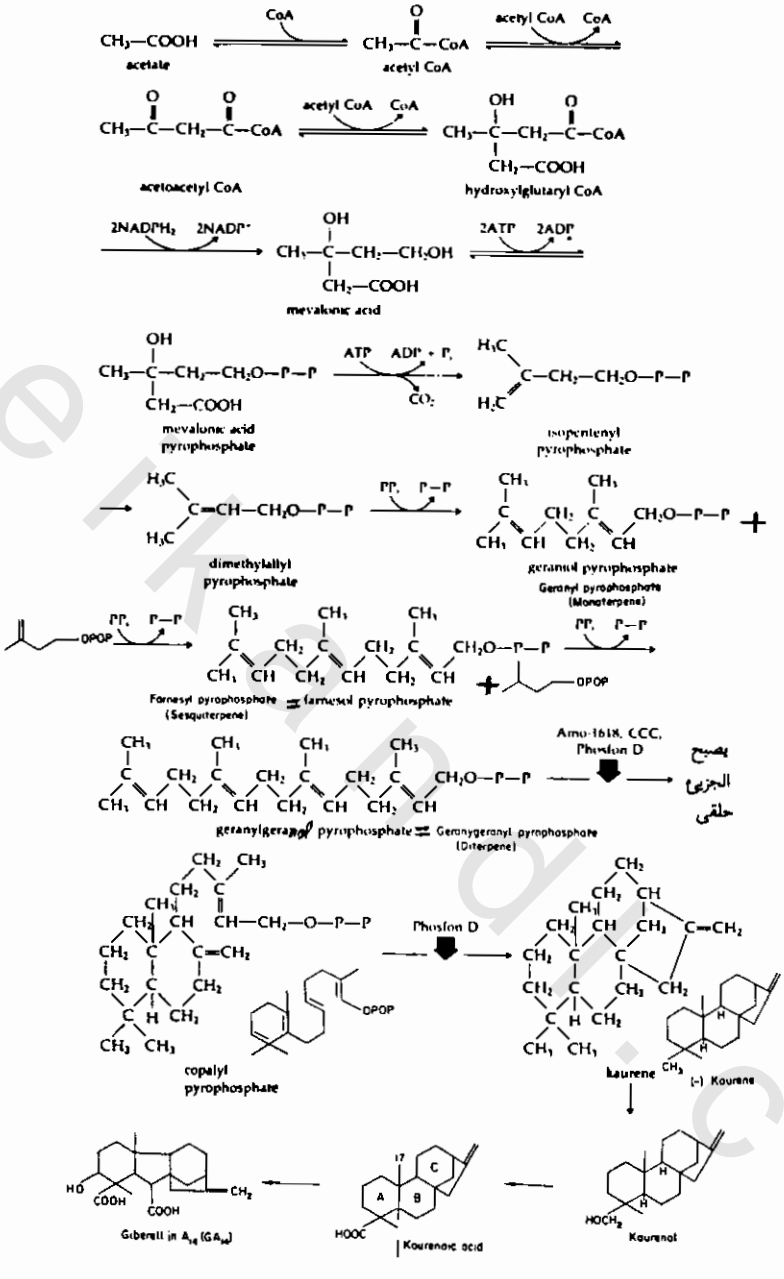
تخليق الجبريللينات:

تم معرفة الكثير عن التخليق الحيوى للجبريللينات عن طريق الدراسات عن الفطر الأسكى *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 الجبريللينات متماثل فى الفطريات والنباتات الزهرية.

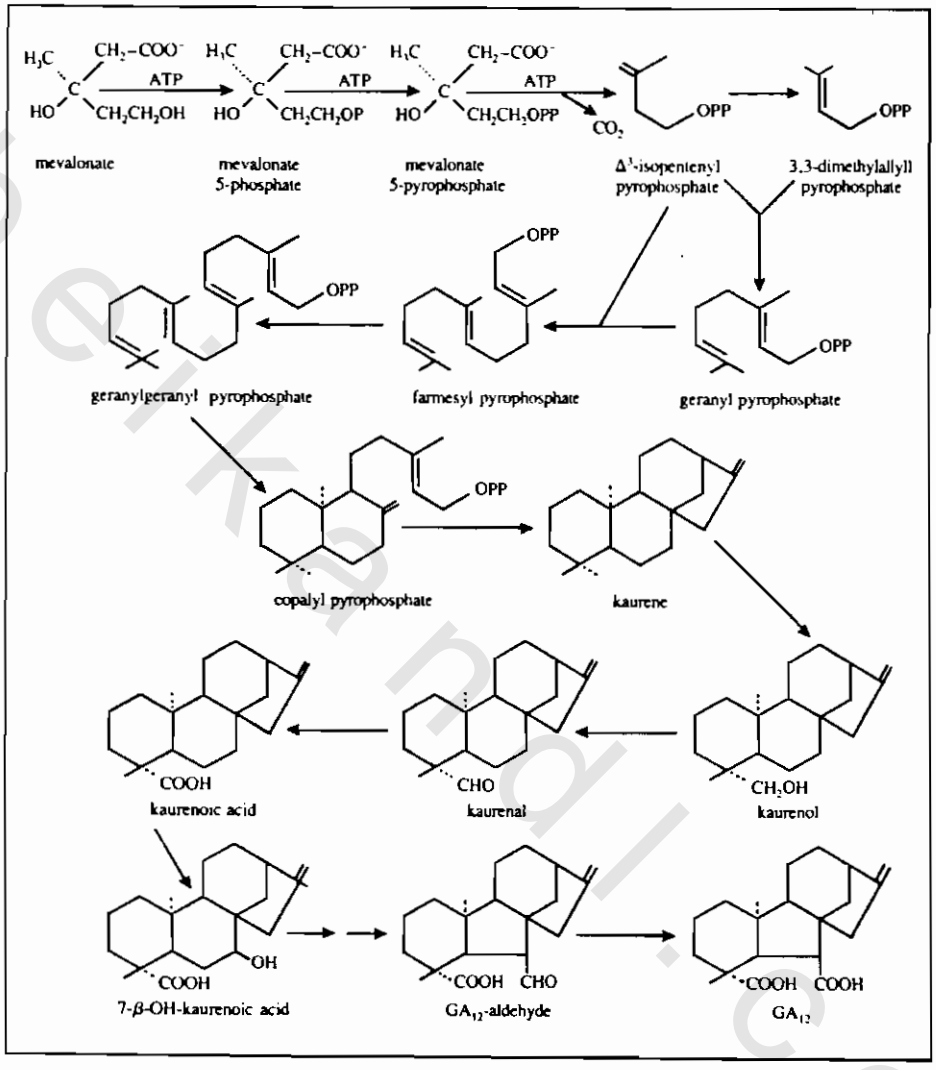
يوجد تشابه فى تركيب المركبات التربينية terpenes أو شبه التربينية terpenoids وتركيب الجبريللينات. تختلف المركبات السابقة فى تركيبها إلا أنها تشترك فى

الوحدة البنائية وهى جزيىء يتكون من خمس ذرات كربون يسمى isoprene unit (شكل ٩٣). وكل وحده تربين terpene تتكون من عشره ذرات كربون أى من وحدتين isoprene. يتكون جزيىء الجبريللين من أربع وحدات isoprene أى وحدتين تربين ولذلك تسمى الجبريللينات أنها ثنائية التربين diterpenoids. ولذلك يتكون جزيىء الجبريللين من أربعة حلقات وهى D,C,B,A ويسمى هذا الهيكل بإسم gibbane skeleton (شكل ٩٣). تشترك جميع الجبريللينات فى أنها تتكون من هذا الهيكل. وفيما يلى خطوات تخليق مركبات الجبريللين: نستطيع أن نرى من أول لمحة أن جميع الجبريللينات تتشابه مع بعضها بدرجة كبيرة من الوجهة الكيمائية، فكلها لها نفس الهيكل الكربونى العام وتتشابه تركيبياً. والجبريللينات تنتمى كيمائياً إلى مجموعة كبيرة من المركبات الموجودة طبيعياً وتسمى التربينويدات terpenoids، والتى يوجد عدد كبير منها فى النباتات مثل الأستيرولات sterols والكاروتينويدات carotenoids. والتربينويدات terpenoids تبنى من وحدات ذات خمس ذرات كربون وتسمى وحدات أيزوبرين isoprene unit ـ وتكون الوحدتان من أيزوبرين مركب التربين الأحادى (C-10) monoterpene ـ والثلاث وحدات تكون ما يسمى التربين مرة ونصف (C-15) sesquiterpene ـ أما الأربع وحدات فتكون التربين الثنائى (C-20) diterpene. المنشىء 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 ـ 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 ـ وتتحول الجبريلينات فيما بينها بسهولة فى الكائن الحى عن طريق إحلالات مجاميع الآيدروكسيل (OH) ـ 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 الحيوى للجبريللين فى النباتات إلى الدراسات الخاصة بالبذور الغير ناضجة ـ 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 كمنشىء أولى primary لبناء الجبريللين (شكل ٩٥ أ ـ د) ودلت الأبحاث أيضاً كما هو الحال فى العديد من مسالك البناء الحيوية، أن انتقال مجاميع الخلات النشطة active acety1 groups يقوم به المرافق الإنزيمى A - Coenzyme A (CoA) ، وهو المرافق المتخصص فى نقل مجاميع الخلات. وتتضمن الخطوات القليلة الأولى للبناء الحيوى للجبريلين تكوين ثلاثة جزيئات من خلات المرافق الإنزيمى ـ أ (acetyl CoA) وتكثيفهم النهائى لتكوين حمض الميفالونيك mevalonic acid. وفى وجود جزيئين من ATP وأحد إنزيمات التنشيط kinase enzyme يفسفر حمض الميفالونيك فى خطوتين ليكون حمض الميفالونيك بيروفوسفات mevalonic acid pyrophosphate ـ وتحدث عملية نزع مجموعة الكربوكسيل لحمض الميفالونيك بيروفوسفات وذلك فى وجود ATP وأحد إنزيمات نزع مجموعة الكربوكسيل decarboxylation فينتج مركب إيزوبنتنيل بيروفوسفات isopentenyl pyrophosphate (IPP) ـ وهذا المركب هو وحدة أيزوبرينويد isoprenoid ذو خمس ذرات كربون ويشتق منها كل الكاروتنويدات carotenoids والجبريلينات gibberellins وحمض الأبسيسيك (ABA) وجزء من السيتوكينينات cytokinins وتحدث لمركب (IPP) إيزوبنتنيل بيروفوسفات «عملية تشابه» isomerization ويتكون مركب ثنائى ميثيل الليل بيرو فوسفات di-methylallyl pyrophosphate وهو يكون الخطوة الأولى فى إتجاه بناء التربنويدات المتقدمة higher terpenoids.

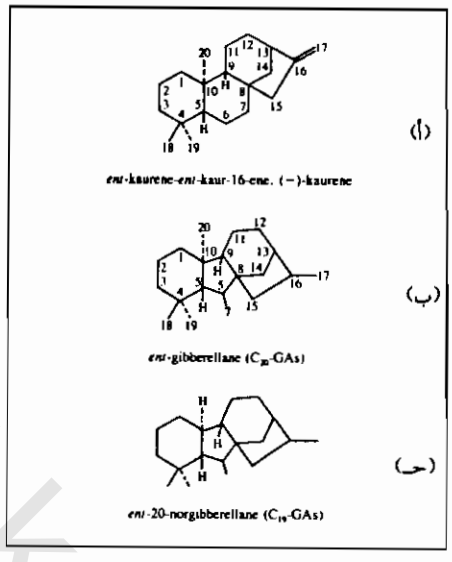


(شكل ٩٥أ) : خطوات تكوين الجبريللين من حامض الخليك.ومكان عمل معوقات النمو فوسفون D وآمو ١٦١٨ و CCC. (التركيب الحلقي بالتفصيل)



(شكل ٩٥ ب) : خطوات تخليق الجبريللينات من حامض الميفالونيك

فى نبات قرعيات *Cucurbita pepo* . (التركيب الحلقى دون كتابة الذرات)



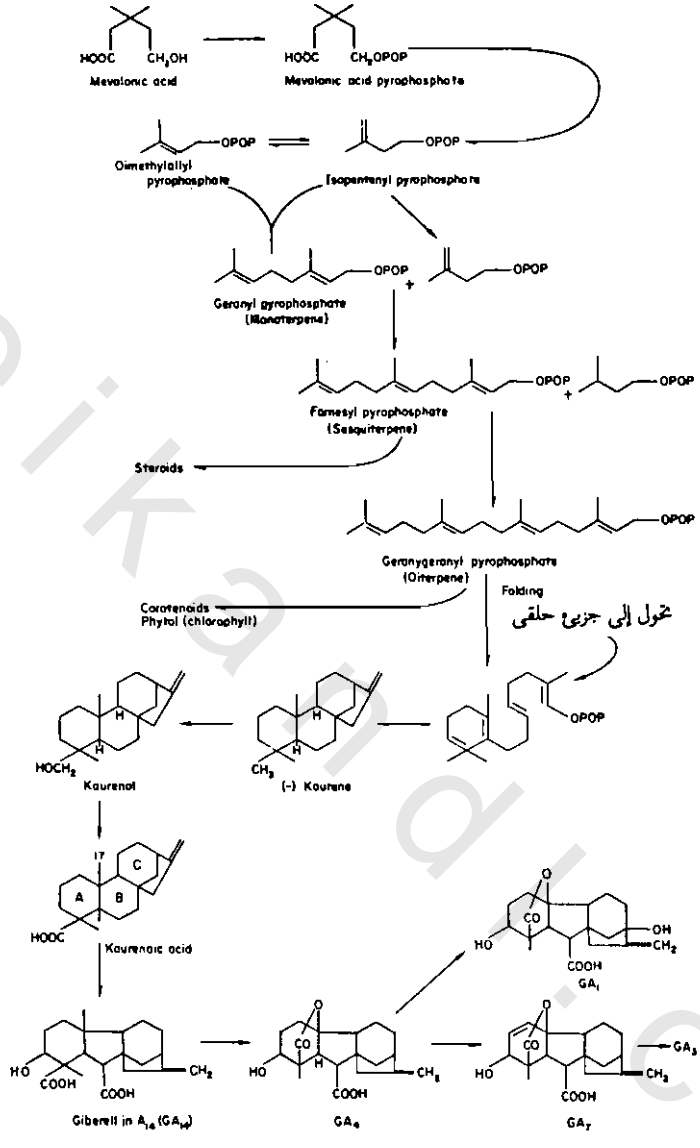
(شكل ٩٥ جـ) : التركيب الأساسى الهيكلى للجبريللينات.

أ ـ التركيب الأساسى للجبريللينات عموما.

ب ـ التركيب الأساسى للجبريللينات ٢٠ ذرة كربون.

حـ ـ التركيب الأساسى للجبريللينات ١٩ ذره كربون.

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



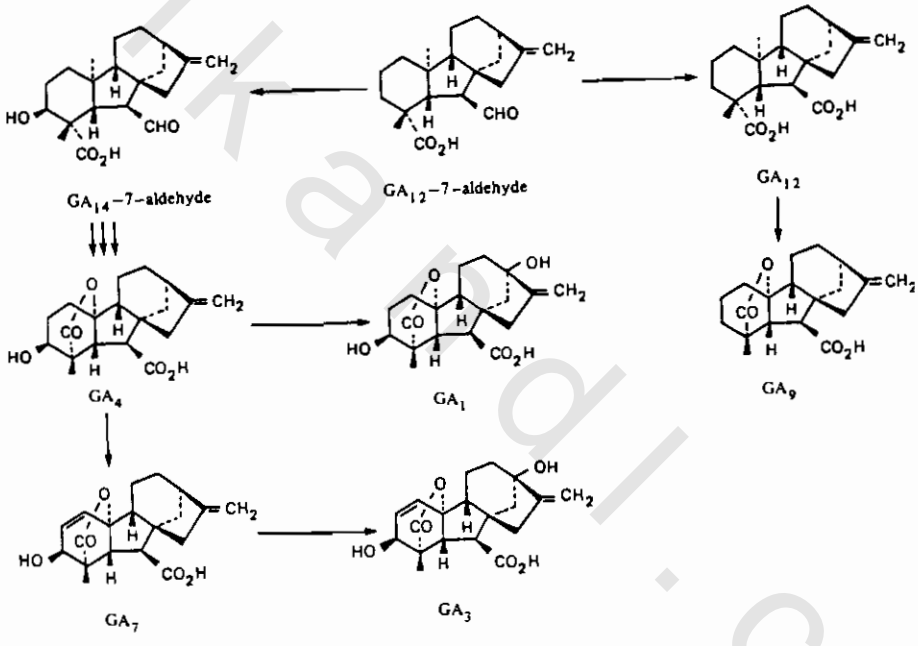
(شكل ٩٥ ـ د) : خطوات تحويل حامض mevalonic إلى الجبريللينات المختلفة في أشكال جزيئية مبسطة.

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

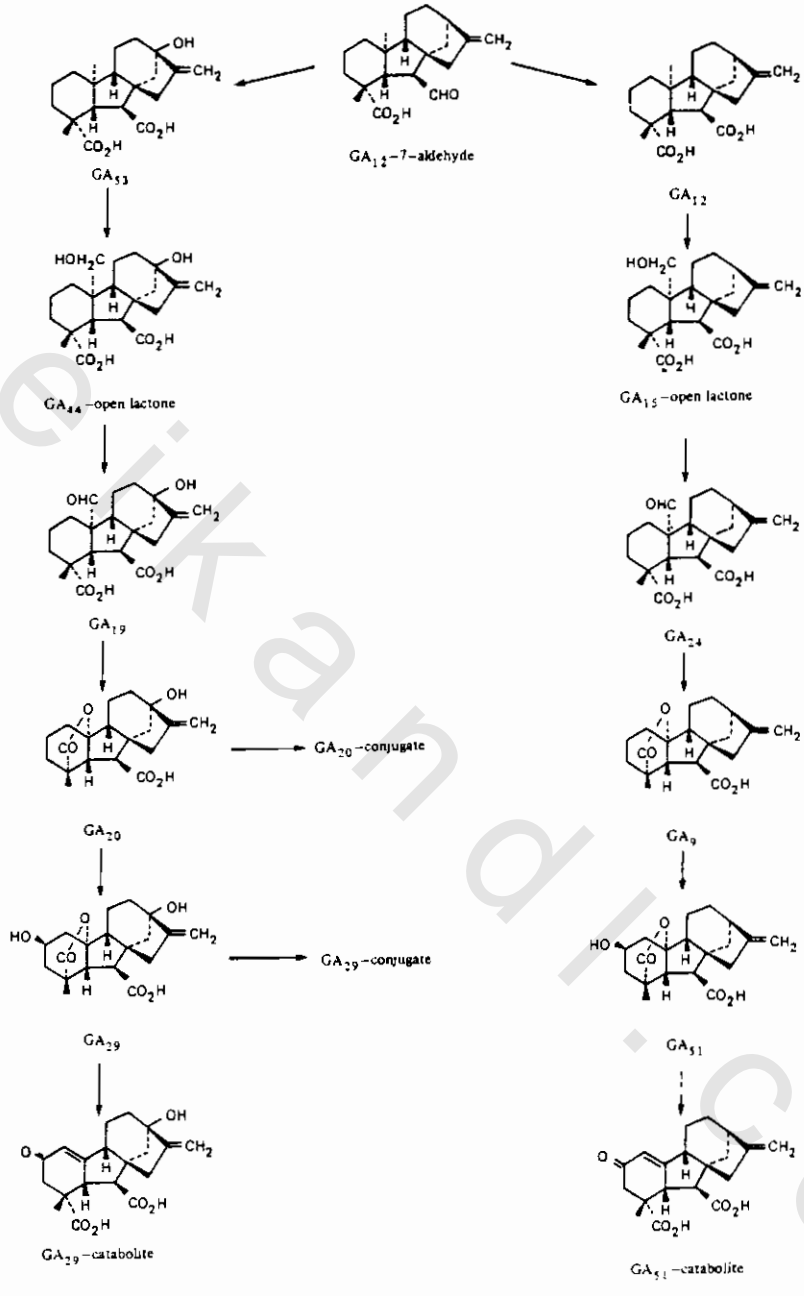
يمكن اختصار طريقة التخليق السابقة وعرضها بطريقة أكثر تبسيطاً وحيث يختصر بعض الخطوات كالآتى. يعتبر حامض الخليك المركب الذى يتكون منه الجبريللينات يتحد ثلاث جزيئات من حامض الخليك ليتكون جزيىء حامض ميفالونك mevalonic acid. يتحول الأخير إلى سلسلة مستقيمة أو شبه مستقيمة من مركب isopentenyl pyrophosphate وتوجد خطوات وسطية أثناء ذلك وهى حيث يتحول حامض الميفالونيك إلى ميفالونيك ـ ٥ ـ فوسفات - 5 - mevalonate phosphate فى وجود جزيىء ATP ثم يتحول الأخير إلى-5- pyro-mevalonate phosphate فى وجود جزيىء ATP ثم يتحول الأخير إلى -isopentenyl pyrophos-phate فى وجود جزيىء ATP ويخرج جزيىء ك أ٢. يمكن أن يتكون من الأخير مركب 3,3 dimethylallyl pyrophosphate . يتحد المركبين الآخيرين ليكونان -ger-anyl pyrophosphate. ثم يتحول الأخير ليكون مركب farnesyl pyrophosphate ثم يتحول المركب الأخير لتكوين مركب ثنائى التربين diterpene وهو -ger-anyl pyrophosphate geranyl. يتكون المركب الأخير من عشرون ذرة كربون ويحدث له تحور لكى يصبح مركب حلقى وتسمى هذه الحالة cyclisation ويسمى المركب الناتج كاورين kaurene. يحدث التفاعل الأخير على خطوتين فى وجود أنزيم -kau-rene synthetase حيث يتحول المركب geranyl geranyl pyrophosphate إلى مركب copalylpyrophosphate ثم يتحول الأخير إلى الكاورين. يعتبر المركب الأخير أول مركب حلقى يتكون أثناء تخليق الجبريللينات. يحدث للكاورين أكسدة ويكون مركبات kaurenol ثم kaurenal ثم kaurenoicومنها مركب-7- kaurene ol -19-oic-acid ويسمى أيضاً المركب الأخير 7-B-oH-Kaurenoic acidومنه يتكون الجبريللين بعد ذلك. أول جبريللين يتكون هو جبريللين ٤ (GA4) فى حالة

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

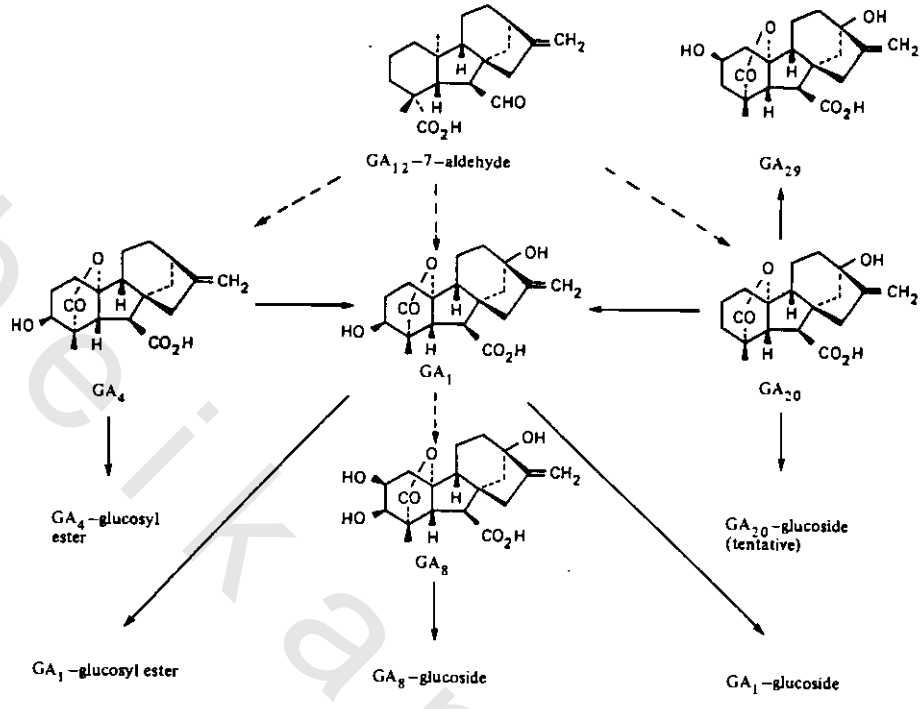
يحدث تكوين مركب الجبريللين من مركب جبريللين آخر وهكذا وتختلف طريقة التخليق ونوع الجبريللينات المتكونة بإختلاف الكائن الحى مثل جبريللا (شكل٩٦) ونبات البسلة (شكل ٩٧) وبذور الفاصوليا (شكل ٩٨) والذرة والسبانخ (شكل ٩٩) وبذور *Cucurbita maxima* (شكل ١٠٠).



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

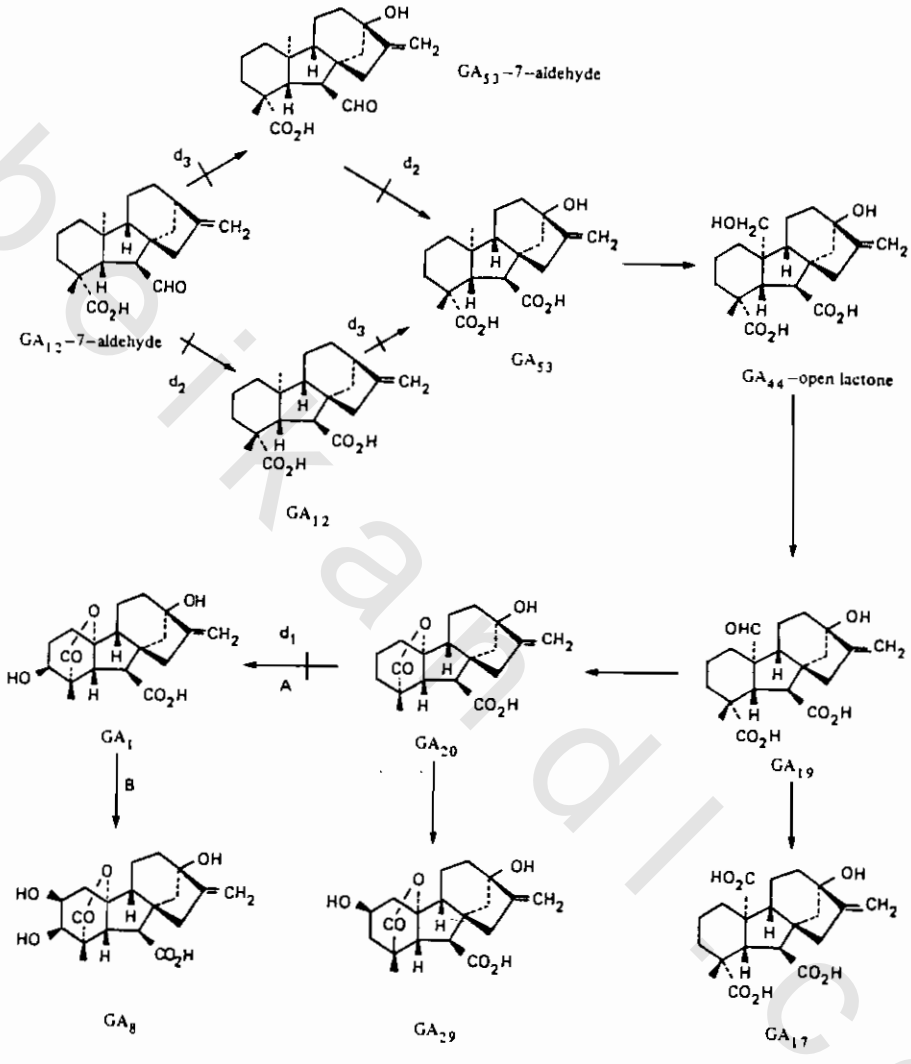


(شكل ٩٧) : تحول جبريللين ١٢ إلى الجبريللينات الأخرى فى بذور البسلة.



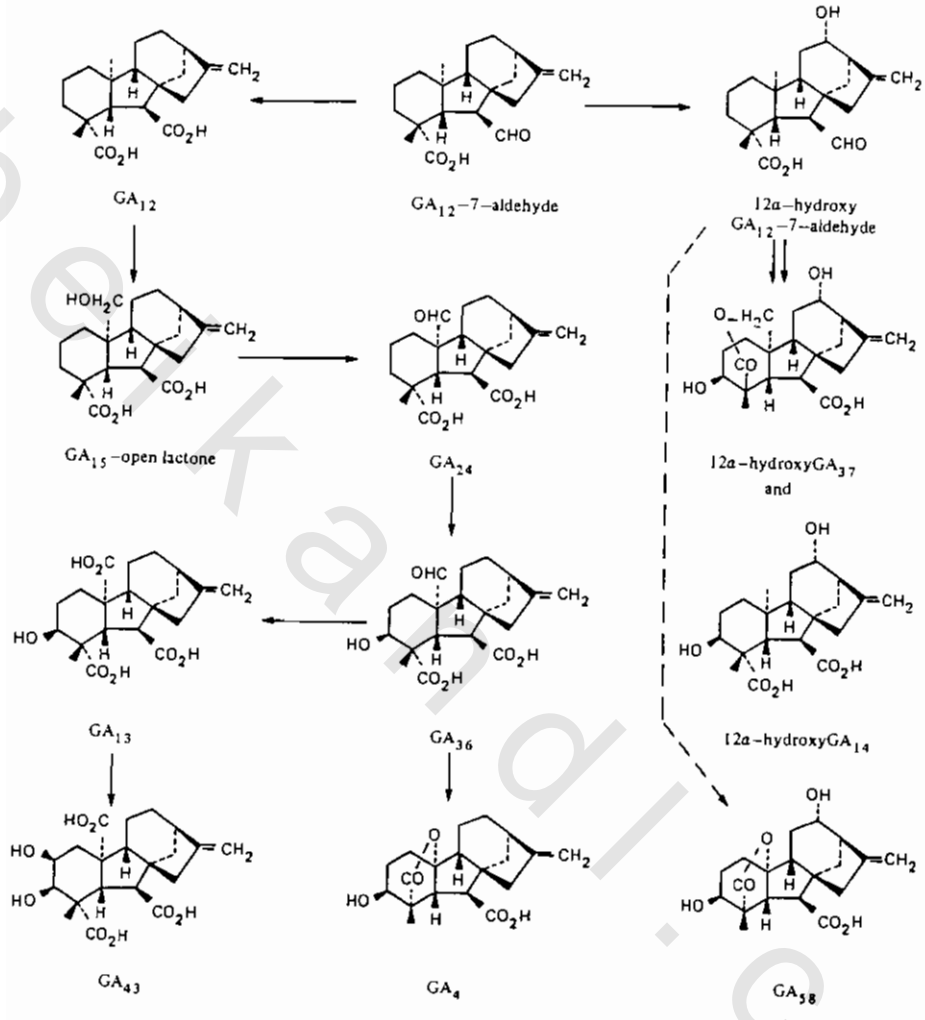
(شكل ٩٨) : خطوات تحول جبريللين ١٢ فى بذور الفاصوليا.

أمكن إثبات هذه الدورة وذلك بإستعمال خلات مشعة بواسطة ك^{14} 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^{14} 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 جبريللين ٥٣ إلى الجبريللينات المختلفة فى الذرة والسبانخ.

d1,d2,d3 طفرات فى جين واحد single gene mutants



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

تشترك جميع الجبريللينات فيما يأتى :

١ ـ لها هيكل gibbane

٢ ـ حامضية التأثير. جميع الجبريللينات ذات التسعة عشر ذرة كربون لها مجموعة كربوكسيل واحدة وتوجد دائماً على ذرة الكربون رقم ٧. وفى حالة الجبريللينات ذات العشرون ذرة كربون ولها مجموعة كربوكسيل أو أكثر فإن هذه المجاميع توجد على ذرة الكربون رقم ٤ و ٧ و ١٠ .

٣ ـ يختلف عدد مجاميع الإيدروكسيد فى الجزىء وأيضاً موقعها . بعض الجبريللينات بها مجموعة إيدروكسيد واحدة والبعض الآخر خال من هذه المجموعة. عند وجود هذه المجموعة تكون فى ذرة الكربون ٣ أو ١٣ ، وفى حالة جبريللينات الفطر فإنها توجد فى الموقع ٣ وفى حالة جبريللينات النباتات الزهرية فإنها توجد فى الموقع ١٣ .

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

يوجد بعض الأستثناءات القليلة فى الجبريللينات لما سبق ذكره فى رقم ٢و٣و٤ .

المركبات الشبيهة بالجبريللينات

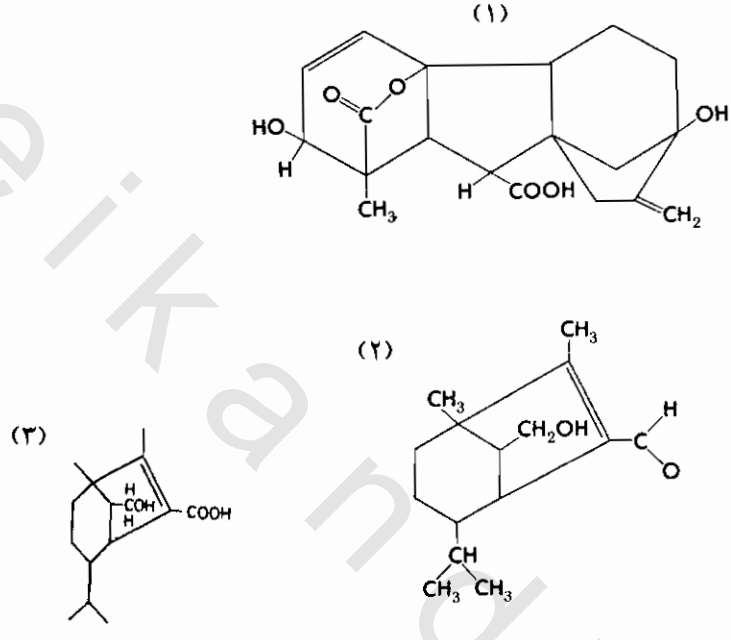
: Gibberellinlike activity compounds

هى مركبات لها نشاط حيوى يشابه الجبريللينات أى تشابه الجبريللينات فى تأثيرها على النبات وهى مركبات عديدة وتختلف فى تركيبها الجزيئى (شكل ١٠١) .ومنها ما يأتى:

١ ـ Helminthosporol

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

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



(شكل ١٠١) : التركيب الجزيئي لحامض الجبريلليك (١) ومركب helminthosporol(٢) وحامض helminthosporic(٣) .

٢ ـ Phaseolic acid

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

٣ ـ Ecdysone

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

٤ ـ Steviol

مركب يستخلص من نبات *Stevia rebaudiana* ويظهر نشاط مشابه للجبريللين. يعتقد أن هذا المركب غير فعال ولكن فاعليتة 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 الجزئيى وشكلها الجزيئى وذلك بأستخدام أجهزة معينة تستخدم طرق طبيعية physical methods 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 تركيبيه كما هو الحال فى الأوكسينات والسيتوكينينات. وإنتاج الجبريللينات على نطاق تجارى يكون من مزارع فطر الفيوزاريوم *Gibberella*. وعامة يعتبر جبريللين٣ 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_2H 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 تفى بحاجه الاغراض التجارية وهذا بالاضافة أيضا إلى أنه فعال كمركب جبريللينى. ولكن حديثاً أمكن استخدام بعض من المخاليط من الجبريللينات لأغراض زراعية الا أن هذه المخاليط تكون مكلفة وباهظة التكاليف مثل مخلوط GA4 و GA7.

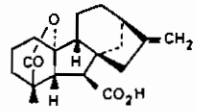
كما سبق القول، الجبريللينات المختلفة تختلف فى تأثيرها فقد وجد أن GA1 و GA3 و GA4 تسبب استطالة السويقة الجنينية السفلى لبادرات الخيار فى حين أن GA8 ليس له أى تأثير فى ذلك. ومثال لحالة أخرى أيضاً فقد وجد أن GA7 يساعد على الازهار لنبات *Silene* فى حين أن GA1 ليس له أى تأثير فى ذلك كما وجد أن جبريللين ٢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

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

يمكن تصنيف الجبريللينات على أساس المجموعة الموجودة فيها (أشكال ١٠٢ ـ ١٠٥) .

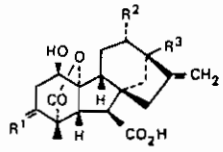
يمكن أن تتحول الجبريللينات من مركب إلى آخر ويختلف مسار التحول من نبات إلى آخر فهو يختلف فى الفطر *Gibberella* عنه فى بذور الفاصوليا عنه فى بذور البسلة عنه فى أندوسبرم *Cucurbita maxima* (أشكال ٩٥ ـ ١٠٠). يوجد أيضاً التركيب الجزيئى لأول ١٣ مركب جبريللينى تم أكتشافها (شكل ١٠٦).

I. Non-hydroxylated

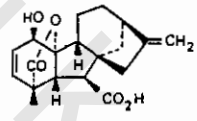


GA_9 (P,F)

II. 1β–Hydroxylated

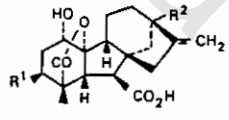


		R^1	R^2	R^3
GA_{33}	(P)	O	OH	H
GA_{54}	(P,F)	H,β–OH	H	H
GA_{55}	(P,F)	H,β–OH	H	OH
GA_{60}	(P)	H_2	H	OH
GA_{61}	(P)	H_2	H	H



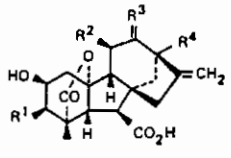
GA_{62} (P)

III. 1α–Hydroxylated



		R^1	R^2
GA_{16}	(P,F)	OH	H
GA_{57}	(F)	OH	OH

IV. 2β–Hydroxylated



		R^1	R^2	R^3	R^4
GA_{51}	(P)	H	H	H_2	H
GA_{29}	(P)	H	H	H_2	OH
GA_{34}	(P)	OH	H	H_2	H
GA_8	(P)	OH	H	H_2	OH
GA_{48}	(P)	OH	H	H,β–OH	H
GA_{49}	(P)	OH	H	H,α–OH	H
GA_{50}	(P)	OH	OH	H_2	H
GA_{26}	(P)	OH	H	O	H

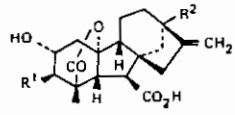
(شكل ١٠٢) : التركيب الجزئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة ويلاحظ أيضاً أن الذرة رقم ١ و٢ مختلفان.

F = توجد بالفطريات.

p = توجد بالنباتات الزهرية.

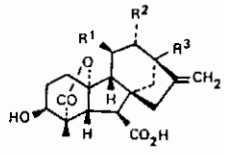
obeikandl.com

V. 2α–Hydroxylation

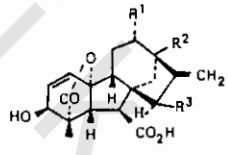


		R^1	R^2
GA_{40}	(F)	H	H
GA_{47}	(F)	OH	H
GA_{56}	(F)	OH	OH

VI. 3β–Hydroxylated



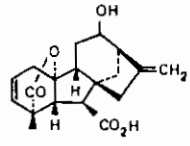
		R^1	R^2	R^3
GA_4	(P,F)	H	H	H
GA_{35}	(P)	OH	H	H
GA_1	(P,F)	H	H	OH
GA_{58}	(P)	H	OH	H



		R^1	R^2	R^3
GA_7	(P,F)	H	H	H
GA_3	(P,F)	H	OH	H
GA_{30}	(P)	OH	H	H
GA_{32}	(P)	OH	OH	OH

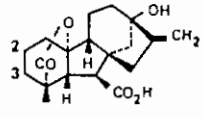
VII. 11β–Hydroxylation — في جميع مركبات VI. و IV

VIII. 12–Hydroxylation — في جميع مركبات VI و IV و II



GA_{31} (P) — عدا

IX. 13–Hydroxylation — في جميع مركبات VI و II



عدا

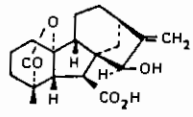
GA_{20}	(P)	
GA_5	(P)	2,3–double bond

(شكل ١٠٣) : التركيب الجزيئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة. ويلاحظ أن الذرات ٢و٣ و١١و١٢و١٣ مختلفة .

F = توجد في الفطريات.

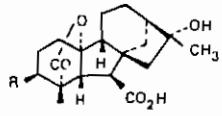
P = توجد في النباتات الزهرية.

X. 15β–Hydroxylation, included in Groups II and VI في جميع مركبات



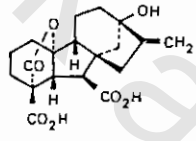
GA_{45} (P) عدا

XI. 16α–Hydroxylated

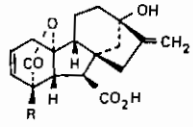


		R
GA_{10}	(F)	H
GA_2	(F)	OH

XII. 18–Oxygenation

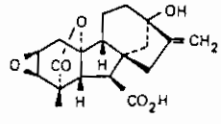


GA_{21} (P)

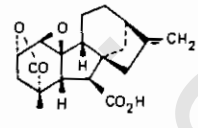


		R
GA_{22}	(P)	CH_2OH
GA_{39}	(P)	CO_2H

XIII. Epoxides



GA_6 (P)



GA_{11} (F)

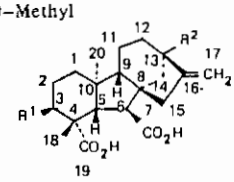
(شكل ١٠٤) : التركيب الجزيئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة ويلاحظ أن الذرات ١٦ و ١٨ مختلفة.

F = توجد في الفطريات.

P = توجد في النباتات الزهرية.

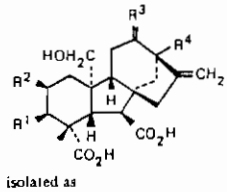
obeikandl.com

I. 10–Methyl

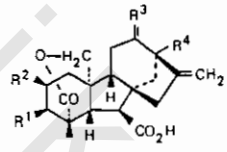


		R^1	R^2
GA_{12}	(F,P)	H	H
GA_{14}	(F)	OH	H
GA_{53}	(P)	H	OH
GA_{18}	(P)	OH	OH

II. 10–Hydroxymethyl

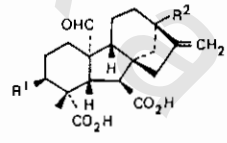


isolated as



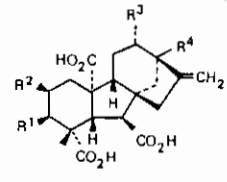
		R^1	R^2	R^3	R^4
GA_{15}	(F,P)	H	H	H_2	H
GA_{37}	(F,P)	OH	H	H_2	H
GA_{44}	(P)	H	H	H_2	OH
GA_{38}	(P)	OH	H	H_2	OH
GA_{27}	(P)	OH	OH	H_2	H
GA_{52}	(P)	OH	OH	H,α–OH	OH

III. 10–Aldehyde



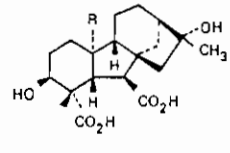
		R^1	R^2
GA_{24}	(F,P)	H	H
GA_{36}	(P)	OH	H
GA_{19}	(P)	H	OH
GA_{23}	(P)	OH	OH

IV. 10–Carboxylic acid



		R^1	R^2	R^3	R^4
GA_{25}	(F,P)	H	H	H	H
GA_{13}	(F,P)	OH	H	H	H
GA_{46}	(P)	H	OH	H	H
GA_{17}	(P)	H	H	H	OH
GA_{33}	(P)	OH	OH	H	H
GA_{39}	(P)	OH	H	OH	H
GA_{28}		OH	H	H	OH

V. 16–Hydroxylated

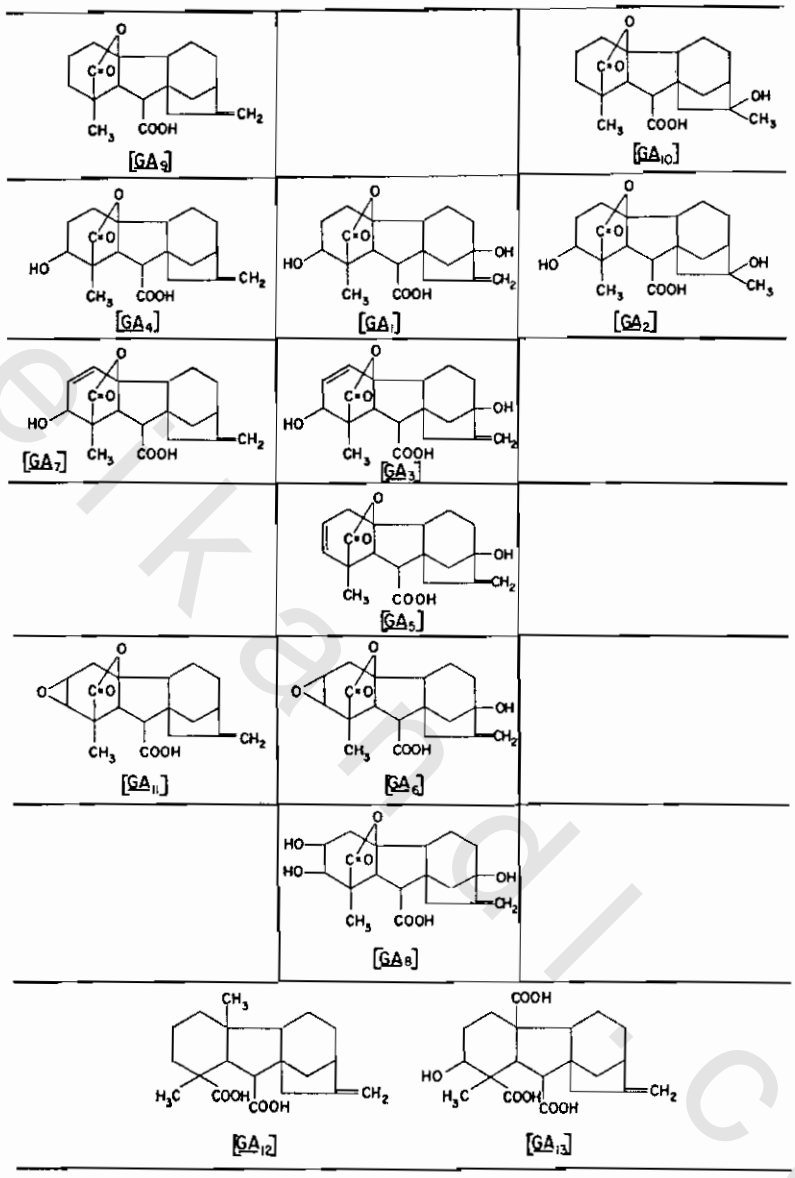


		R
GA_{41}	(F)	CO_2H
GA_{42}	(F)	CH_3

(شكل ١٠٥) : التركيب الجزيئي لجبريللينات ٢٠ ذره كربون مختلفة. ويلاحظ أن الذرة رقم ١٠ تختلف من المجموعة وأيضاً الذره رقم ١٦.

F = توجد بالفطريات.

P = توجد بالنباتات الزهرية.



(شكل ١٠٦) : التركيب الجزيئي لأول ثلاثة عشر مركب جبريللين تم أكتشافهم.

الصفوف تتشابه في الحلقة A والأعمدة تتشابه في الأحلال علي ذرتي الكربون رقم ٧ ، ٨ في هيكل gibbane.

أماكن تخليق الجبريللينات فى النباتات:

تخلق الجبريللينات فى أماكن عديدة أهمها القمم النامية للسيقان والاوراق الصغيرة جدا leaf primordia التى تغطى القمم النامية كما تتكون أيضاً بكميات كبيرة نسبياً فى البذور أثناء تكوينها فى الجنين والفلقات. كما تتكون فى الثمار أثناء تكوينها وكبرها فى الحجم. كما تخلق أيضاً فى الجذور وقد وجد أن افرازات الجذور يمكن أن تحتوى على جبريللينات وفى بعض الحالات وجد أن تركيز الجبريللينات فى أفرازات الجذور تكون كافية تماماً لنمو جميع أجزاء النبات.

أمكن إثبات تخليق الجبريللينات فى القمم النامية لساق عباد الشمس بواسطة طريقة الأنتشار فى طبقة الآجار. حيث أن تركيز الجبريللينات يقل كلما إبتعدنا عن القمة النامية. كما يعتقد أن الأوراق الصغيرة فى القمم النامية هى مكان تخليق الجبريللينات وليست النسيج المرستيمى للقمة.

انتقال الجبريللينات:

الجبريللينات ممكن أن تنتقل فى أى اتجاه أى أنها لا تظهر خاصية الانتقال القطبى بمعنى أنها تنتقل من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى وذلك بعكس الاوكسينات. كما وجد أيضاً أنها تنتقل فى 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^{14} فى نباتات الذرة الشامية والصفصاف.

كيفية هدم أو التخلص من تأثير الجبريللينات:

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

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

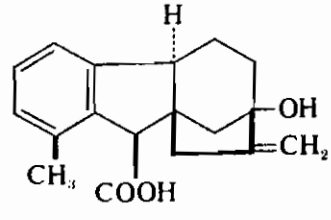
تتحلل الجبريللينات فى المحلول فى وجود بيئة قلويه أو حامضية عاليه أو pH2 وخاصة مع درجات الحرارة العالية ١٠٠ مئويه إلى ثلاثة مركبات وهى:

١ ـ Gibbericacid

٢ ـ Allogibbericacid

٣ ـ Gibberellenicacid

المركب الأول عديم الفاعلية فى نشاطه كمركب جبريللينى أما المركبين الآخرين فأن لهما نشاط ضعيف كمركبات جبريللينية (شكل ١٠٧).



(شكل ١٠٧) : التركيب الجزيئي لمركب allogibberic acid

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

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

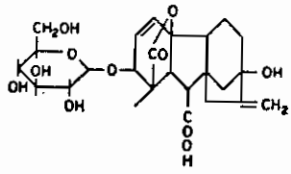
٢ ـ يمكن أن يرتبط الجبريللين مع البروتينات فى بعض الحالات وبذلك يصبح أيضاً مقيد bound وغير نشط فسيولوجياً أى يحدث له عدم تنشيط inactivation.

٣ ـ تكوين مشتقات الجبريللين derivatives مثل alkyl esters ومنها n-propyl esters GA1, GA3 وmethyl ester GA17.

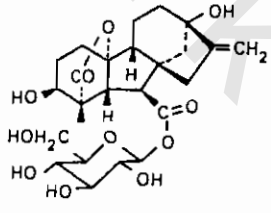
٤ ـ يمكن أن يتحول الجبريللين النشط إلى مركب جبريللين آخر غير نشط وبذلك يقل تأثيره وهذه حالة شائعة الحدوث فى الجبريللينات حيث أن بعض منها يمكن أن يتحول إلى الآخر inerconversion يجب توضيح أنه لا يوجد جبريللين غير نشط بل المقصود أنه نشط فى تفاعل معين ولكنه يكون خامل فى تفاعل أو تأثير معين آخر.

٥ ـ تحلل الجبريللين وخاصة حامض الجبريلليك فى البيئة الحامضية وخاصة فى درجة الحرارة العالية إلى مركبات منخفضة أو عديمة التأثير فسيولوجياً وكما سبق ذكره.

جلوكسيد حامض الجبريلليك

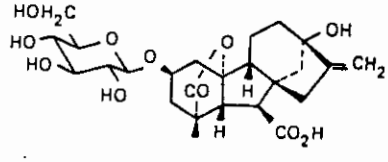


GA_1 β–D–Glucopyranosyl ester
GA_4 β–D–Glucopyranosyl ester
GA_9 β–D–Glucopyranosyl ester
GA_{37} β–D–Glucopyranosyl ester
GA_{38} β–D–Glucopyranosyl ester



GA_1 β–D–glucosyl ester

GA_1 3–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_3 3–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_8 2–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_{26} 2–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_{27} 2–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_{29} 2–O–β–D–Glucopyranosyl ether
GA_{35} 11–O–β–D–Glucopyranosyl ether



GA_{29} 2–O–β–D– glucosyl ether

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

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

مدى إنتشار الجبريللينات فى النباتات المختلفة:

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

وذوات الفلقتين. يوجد الآن عدد لا يقل عن ٦٢ جبريللين مختلف . تسمى الجبريللينات بإسم جبريللين١ أو جبريللين ٢ ، وجبريللين ٣ (حامض الجبريلليك) وجبريللين ٤ وهكذا حتى رقم ٦٢ . ترجع الأرقام إلى أسبقية التعرف على تركيبها حيث أن جميع هذه الجبريللينات لم تكتشف فى وقت واحد بل أنه نتيجة لتقدم طرق الفصل والتحليل الكيماوى فإنه تكتشف تدريجياً أنواع جديدة. ولذلك فالجبريللين رقم ٥ على سبيل المثال أكتشف أو أمكن التعرف على وجوده قبل جبريللين ٢٣ مثلا. وهكذا فإن كل جبريللين جديد يكتشف يأخذ رقم يلى رقم آخر مركب تم أكتشافه من الجبريللينات. لا يوجد نبات يحتوى على جميع الجبريللينات. يوجد كثير من النباتات تحتوى على أكثر من جبريللين فى آن واحد. توجد بعض الجبريللينات فى الفطريات فقط مثل جبريللين٢٤ وجبريللين٢٥ ولا توجد فى النباتات الزهرية إطلاقاً، والعكس صحيح حيث أن جبريللين ١٧ وجبريللين ٢٣ لا يتواجدان إلا فى النباتات الزهرية فقط دون الفطريات. بعض الجبريللينات تتواجد فى النباتات الراقية والفطريات مثل جبريللين١ وجبريللين ٤ . يوضح الجدول التالى مدى وجـود الجبريللينات المختلفة فـى النباتات المختلفة (جدول ٤).

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

النبات أو الفطر	أنواع الجبريللينات
Gibberella fujikuroi	جبريللين ١ حتى جبريللين ٤ والجبريللينات ١٦,٩,٧
الخطمية *Althaea rosea*	جبريللين ١ و جبريللين٢ وجبريللين٣
Calonyction aculeatum	جبريللينات ٣٠,٣١,٣٣,٣٤ .
Echinocystis macrocarpa	جبريللينات ١ ، ٧
Lupinus luteus	جبريللينات ١٨,٢٣,٢٨
التفاح	جبريلينات ٣ ، ٤ ، ٧

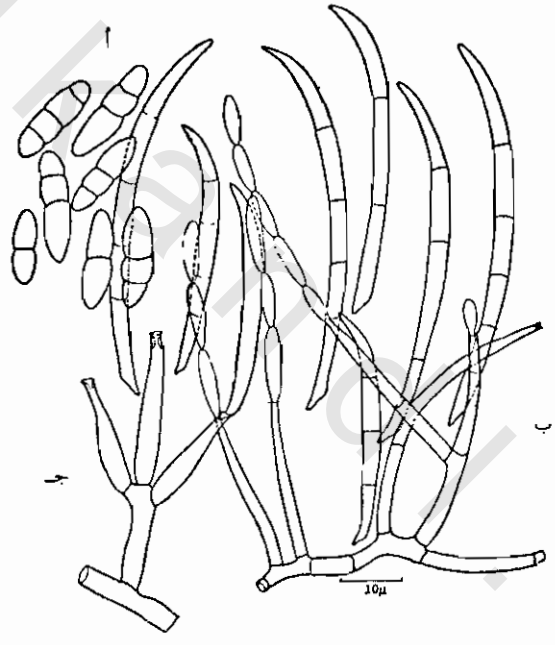
توجد الجبريللينات فى جميع أجزاء النبات، ولكنها تختلف فى تركيزاتها فى الأجزاء المختلفة حيث تكون عالية التركيز فى مناطق تخليق الجبريللينات والأجزاء القريبة منها ويقل التركيز كلما إبتعدنا عن هذه المناطق. تعتبر البذور أثناء تكوينها وأيضاً البذور غير الناضجة مركز لتكوين الجبريللينات. تستعمل البذور الغير الناضجة لنباتات الخروع والخيار البرى و*Phaseolus coccineus* و *Pharbitis nil* كمصدر لعزل وأستخلاص الجبريللينات. وجد أنه يمكن إستخلاص خمسة ملليجرام من جبريللين 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 جبريللينات أخرى علاوة على جبريللين ١. لا تحتوى البذور الناضجة على جبريللينات عادة. أثناء نضج البذور يقل تركيز الجبريللين الحر ويزداد تركيز جلوكوسيد الجبريللين. أثناء إنبات البذور يحدث تحليل لجلوكوسيد الجبريللين ويتكون الجبريللين الحر.

نبذة عن فطر *Gibberella fujikuroi*:

يمكن تسمية بعض الفطريات بأسمين ومثال ذلك الفطريات الأسكية والتى يتبعها هذا الفطر. تتميز الفطريات الأسكية بوجود كيس أسكى بداخله ثمانية جراثيم أسكية وفى حالة الفطريات التى 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 فى 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 هى نتيجة حدوث التزواج الجنسى ودليل على وجود الطور الكامل للفطر . ومثال لذلك أن هذا الفطر لا يكون إطلاقاً فى مصر الطور الكامل أى الجنسى ولذلك يسمى بإسم الطور الناقص *F. monili-forme*. ولكن فى 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 بالأضافة إلى الطور الناقص.

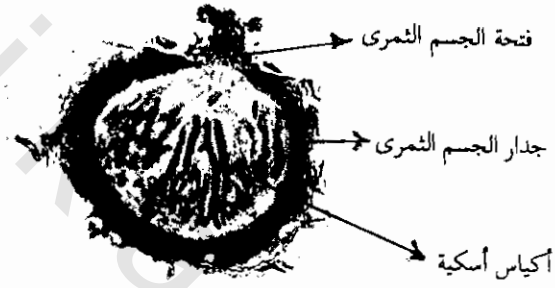
فى حالة الطور الناقص تكون الهيفات حوامل كونيدية بسيطة قائمة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة microconidia. وكل جرثومة كونيدية صغيرة شفافة وحيدة الخلية متطاولة (شكل ١٠٩). كما تتكون أيضاً حوامل كونيدية فى مجاميع وكل مجموعة تتكون من عديد من الحوامل الكونيدية المتزاحمة متراصة أو ملاصقة لبعضها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



(شكل ١٠٩) : أنواع الجراثيم المختلفة لفطر
Fusarium moniliforme (Gibberella fujikuroi)

أ ـ جراثيم أسكية.
ب ـ حوامل كونيدية صغيرة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة.
جـ ـ حوامل كونيدية كبيرة تحمل جراثيم كونيدية كبيرة.

الجراثيم الكونيدية الكبيرة متطاولة أو هلالية الشكل عديدة الخلايا أى أكثر من خليتين. وفى حالة الطور الكامل يحدث التزاوج وتتكون أجسام ثمرية 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 ـ 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 مقسمه إلى خلايا وتعيش معيشة رمية فى التربة. ويتجرثم 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 لأغماد أوراق الذره الشاميه وهذا المرض عام الأنتشار فى جميع حقول الذره الشاميه فى مصر.

وفى التجارب التى قام بها Kurosawa فأنه قام بتنمية الفطر على بيئة سائلة فى المعمل مثل بيئة البطاطس والدكستروز potato dextrose أو بيئة تشابك Czapekثم 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 عباره عن الجبريللينات.

مثبطات الجبريللينات:

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

تأثيرات معوقات النمو (مضادات الجبريللينات) :

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

١ ـ 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 الأقتصادية 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 وبالتالى متانة نسبية لجدر خلايا الساق وبالتالى لا تحدث حالة الرقاد ويعتبر القمح نبات مثال لذلك.

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

٣ ـ بعض مضادات الجبريللينات 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 فى وقت قصير أى مده محدوده. أتضح أن هذا المركب مسبب للسرطان ويمنع أستعماله.

٤ ـ استعمال بعض مضادات الجبريللينات 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 يكوّن قصير ويحمل نفس العدد من الأوراق فلا تحتاج إلى إجراء عملية التقليم. عملية التقليم وخاصة الأشجار النامية على جوانب الطرق تحتاج إلى مجهود كبير بالأضافة إلى أنها باهظة التكاليف فى كثير من الدول وخاصه 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 الجبريللينات.

طرق الكشف عن الجبريللينات:

تنقسم الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين وهى طرق حيوية وطرق كيماوية.

أولاً : الطرق الحيوية Bioassay

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

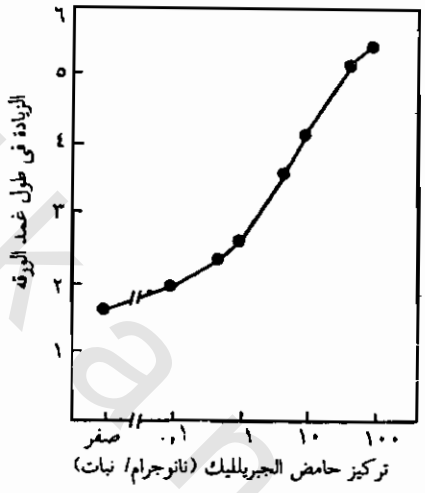
١ ـ إختبار الذرة القزمية Dwarf maize test:

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 الجبريللينات 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 ـ ٦ أيام يصبح طول البادرات القزمية حوالى ٢ ـ 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 ميكرولتر 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 الجبريللينات. يمكن التعرف

على تركيز الجبريللينات فى المحلول المختبر المجهول التركيز من المنحنى القياسى stan-dard curve والمقدر على أساس تركيز ات مختلفه معلومة من حامض الجبريلليك. يمكن أستعمال 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 في طول غمد الورقة.

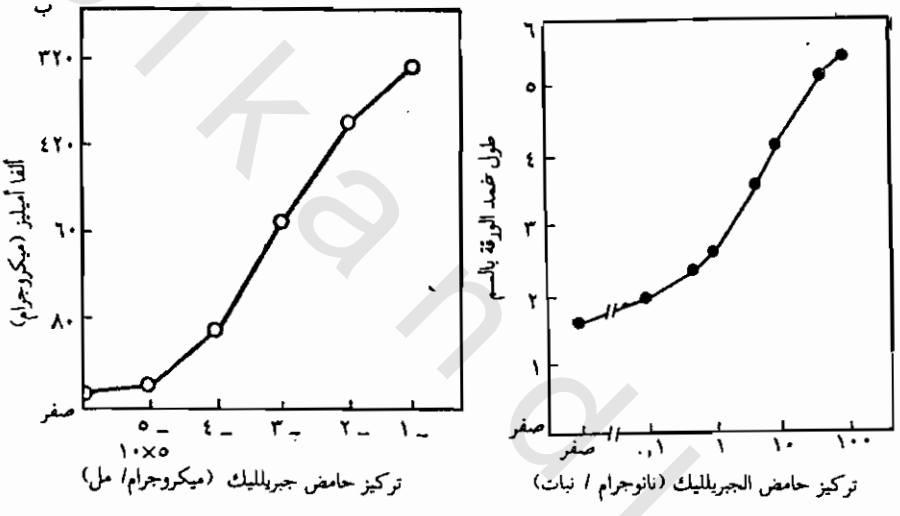
تعتبر هذه الطريقة مرهقة وتحتاج إلى وقت طويل نسبياً والأهم من ذلك أن حساسيتها منخفضة ولذلك يفضل أستعمال طريقة إختبار أندوسبرم الشعير عن هذه الطريقة.

يمكن أيضاً أستخدام غمد الورقة للنباتات النجيلية القزمية بدلاً من الساق فى هذا الأختبار (شكل ١١٢) يمكن أستخدام نباتات الفاصوليا القزمية فى الأختبارات الوصفيه.

٢ - إختبار أندوسبرم الشعير Barley endosperm test:

(طريقة تقدير السكريات المختزلة reducing sugars)

يتم إجراء هذا الأختبار على بعض من الحبوب النجيلية ولكن يفضل دائماً أستعمال حبوب الشعير تستخدم أصناف معينة من الشعير تكون عديمة الغلاف huskless varieties. يمكن أستخدام أصناف ذات غلاف وفى هذه الحالة يتم أزالة الغلاف بمعاملة الحبوب بحامض كبريتيك مركز ثم غسيل الحبوب جيداً بالماء لأزالة 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 علي طول غمد الورقة.

أ ـ تأثير تركيز حامض الجبريلليك علي طول غمد الورقة.

ب ـ تأثير تركيز حامض الجبريلليك علي تكوين أنزيم ألفا أميليز في خلايا ألبرون الشعير.

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

obeikandi.com

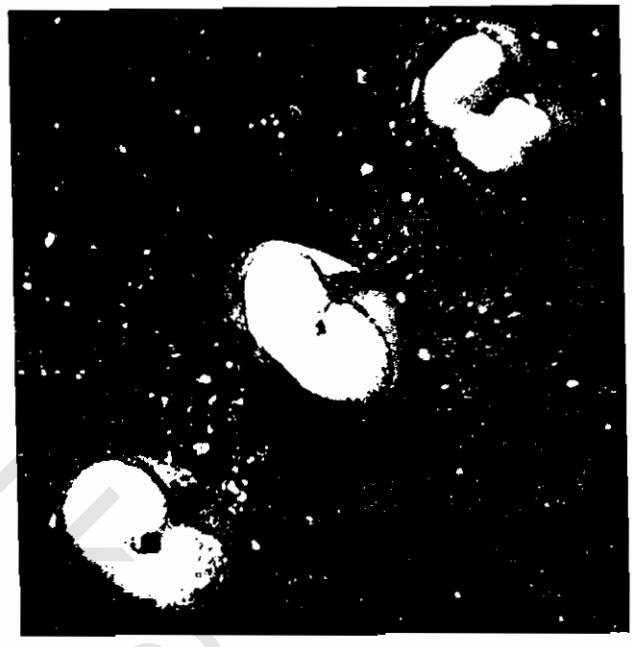
الاثناء يتحلل النشا المختزن فى نسيج اندوسبرم الحبة. ولكن وجد أنه عند أزالة جنين الحبة ثم غمرها فى الماء لم يحدث أى تحليل للنشا فى الحبة، ولكن عندما أزيل الجنين وعوملت الحبة المنزوعة الجنين بماء يحتوى على مركب جبريللين فقد حدث تحليل للنشا فى عدم وجود الجنين.

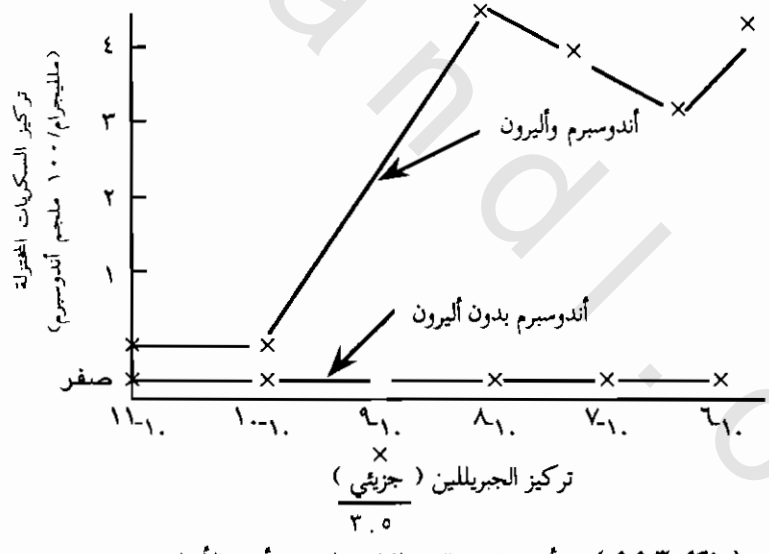
ومن التجربة السابقة ثبت أن الجزء الوحيد فى الحبة القادر على افراز الجبريللين هو الجنين وقد وجد أن الجبريللين يفرز من الجنين بعد تخليقه وينتقل إلى طبقة الاليرون وفى طبقة الاليرون تتكون إنزيمات عديدة للتحليل المائى وأهم إنزيم مدروس هو أنزيم amylase الذى يقوم بتحليل النشا إلى مواد كربوهيدراتية قليلة التسكر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

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

أما عن طريقة إجراء التجربة فهى كما يلى:

تعقم الحبوب سطحيا بغمرها فى محلول هيبوكلوريت الصوديوم ثم تغسل جيدا بالماء المقطر لأزالة أى آثار من هيبوكلوريت الصوديوم تزرع الحبوب فى 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 فى كل دورق مخروطى صغير عشرة أنصاف مع محلول منظم خلات وكلوريد كالسيوم فى وجود pH ٨, ٠٤.





(شكل ١١٣) : تأثير حامض الجبريلليك علي نشا أنزيم الأميليز:

أعلى ـ ثلاثة أنصاف من حبة الشعير العلوية معاملة بتركيز من الجبريللين مائة جزء في البليون والوسطية معاملة بتركيز واحد جزء في المليون والسفلية معاملة بالماء (الصورة العلوية) .

أسفل ـ تأثير حامض الجبريلليك علي نشاط أنزيم الأميليز.

يوضع فى الدورق كمية وتركيز معلوم من الجبريللين أو العينة المراد إختبارها. يوضع فى الدورق محلول من المضاد الحيوى كلورا مفينكول 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 تبعا لعدد العينات. دورق المقارنة يحتوى على جبريللين أو العينة معقمة فى الأوتوكلاف حيث أن ذلك يسبب تحطيم الجبريلليين. يتم رج الدوارق المخروطية بإستمرار أثناء وضعها فى الحضان فى درجة حرارة ٢٥°م لمدة أربعون ساعة. بعد ذلك يتم تقدير تركيز السكريات المختزلة فى كل دورق بإستعمال دليل سموجى Somogyi's reagent يتم قياس درجة تركيز اللون فى العينات بأستعمال جهاز spectrophotometer عند طول ٥٦٠ نانومتر. يتناسب تركيز اللون طرديا مع تركيز السكريات المختزلة فى العينات وأيضاً يتناسب طرديا مع تركيز الجبريللين. كلما زاد تركيز السكريات المختزلة فى العينات كلما زاد تركيز الجبريللينات فيها فى مدى تركيز الجبريللينات بين $١٠^{-٥}$ إلى $١٠^{-١}$ 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 ـ البسلة القزمية Dwarf Pea:

ويستعمل محلولا من الجبريلين حيث تعامل به البادرات ويتسبب ذلك فى تشجيع استطاله الساق ـ وقياس طول السويقة الجنينية العلياepicotyl بعد خمسة أيام من بدأ الاختبار وهذا الاختبار حساس لكمية من الجبريلين فى حدود واحد نانو جرام.

٤ ـ السويقة الجنينية السفلى للخس Lettuce hypocotyl:

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

٥ ـ ورقة الشوفان *Avena* leaf

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

٦ ـ نبات الحميض *Rumex* leaf:

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

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

ثانيا: الطرق الكيماوية.

وفى هذه الطرق يلزم إستخلاص الجبريلينات بواسطة كحول الميثيل أو الأسيتون 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 خلات 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 فى هذا المستخلص الغير نقى بواسطة gas chroma-tography يلزم فى هذه الحاله وجود chart خاصه قياسيه لأنواع الجبريللينات المختلفة reference spectra of gibberellins وخصائصها أثناء التحليل الكروماتوجرافى الغازى chromatographic behaviour وفى عدم توفر ذلك يلزم تنقية الجبريللين بدرجة كبيرة. يمكن تنقية الجبريللين أى العينة بواسطة adsorption chromatogra-phy بإستعمال عمود سيليت فحم حيوانى 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 كروماتوجرافى. يرش chromatogram بواسطة مخلوط من حامض كبريتيك مركز وكحول الإيثيل ثم يوضع فى فرن درجة حرارته مائة وعشرون درجة مئوية لمدة عشرة دقائق. يفحص chromatogram بواسطة الأشعة الفوق بنفسجية وفى هذه الحالة تظهر الجبريللينات المختلفة مشعة نتيجة عمليه الفلوره flourescence ويكون لكل جبريللين لون أشعاع معين مميز. أى أن الجبريللينات تختلف فى ألوانها فى وجود الأشعة فوق البنفسجية.

يمكن إستخدام جبريللين قياسى standard فى 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 وبالتالى لا يمكن فصلها عن بعضها حتى فى حالة إستخدام مذيبات مختلفة.

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

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

التأثيرات المختلفه للجبريللينات على النبات:

يمكن أن يكون للجبريللينات تأثيرات مختلفه على النبات وهو كمايلى:

١ ـ كمون وإنبات البذور Seed Dormancy:

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

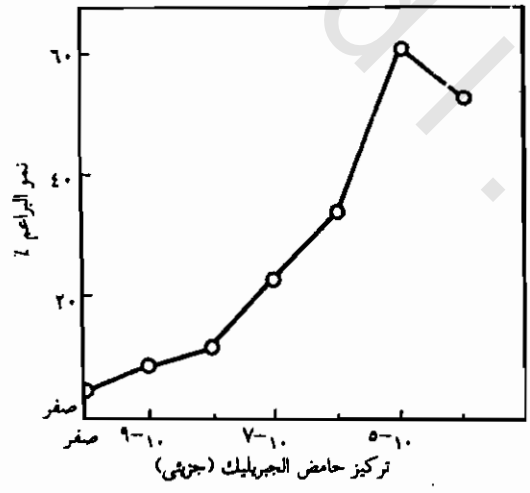
تحتاج بعض البذور إلى الضوء للإنبات ومثال ذلك بذور الخس صنف Grand Rapids. وجد أن الضوء الأحمر هو اللون الوحيد فى الضوء الذى يسبب الأنبات. وجد أيضا أن معاملة البذور باللون أو بالضوء الأحمر البعيد far red تسبب تثبيط إنبات البذور. ولذلك فإن تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد يسبب عدم إنبات البذور وعند تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد ثم الأحمر يسبب إنبات البذور وهكذا. يحدث فى 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 هى 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 فى غياب الضوء العادى أو الضوء الأحمر يسبب الإنبات. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للضوء الأحمر. طول موجه 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 tanaecetifolia*. وجد أن معاملة البذور بالجبريللين يسبب الأنبات حتى فى وجود الضوء . أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للظلام.

٢ ـ 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 الجبريللينات. أى تزداد الجبريللينات كما ونوعا. عند معاملة الدرنات بالجبريللين فإنها تنبت بعد إقتلاعها مباشرة أو حتى وهى لازالت متصلة بالنبات. أى زيادة تركيز الجبريللينات يساعد على نمو البراعم وكسر السكون (شكل ١١٤).



(شكل ١١٤) : تأثير حامض الجبريلليك علي 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 والنهارالطويل.

٣ ـ نمو الساق Stem Growth **أى أستطالة الساق** Stem elongation

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

أ ـ 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.

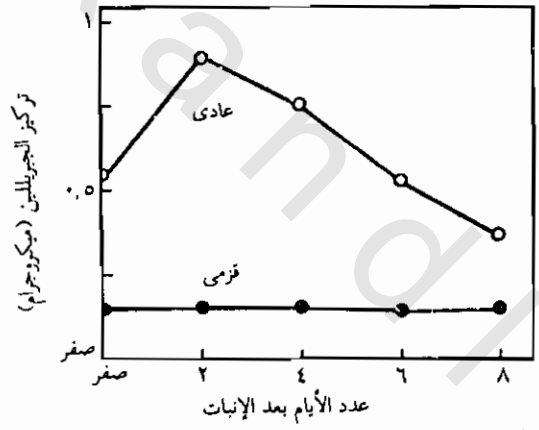
ب ـ إستطالة السلاميات نتيجة لأنقسام وأستطالة الخلايا وليست نتيجة لأستطالة الخلايا فقط.

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

د ـ 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.

فى حالة النباتات القزمية فإنه فى حالة الذرة تكون نتيجه لوجود طفرة فى 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 فى حالة النباتات القزمية فى *Pharbitis* (شكل ١١٥). تختلف بعض السلالات القزمية فى البسلة حيث أن تركيز الجبريللينات فيها يقارب تركيزها فى السلالات العادية الطول. ولكن معاملة هذه السلالات القزمية بالجبريللين يسبب زيادة طولها وتصبح فى طول النباتات العادية. وتعليل هذه الحالة أن الجبريللينات الموجودة فى السلالات القزمية تختلف عن الجبريللينات الموجودة فى الحالة العادية وأن الجبريللينات الموجودة فى السلالات القزمية غير مؤثرة فى الطول. أو تعليل آخر أن السلالات القزمية غير حساسة ولا تستجيب لأنواع الجبريللينات الموجودة بها. أو تعليل ثالث أنه توجد مثبطات لنمو الساق فى السلالات القزمية.



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

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

وتسمى هذه الحالة الحنبطه bolting ويعقب ذلك الأزهار. وفى 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 bolting 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 ـ تركيز الجبريللينات منخفض فى النباتات المتوردة وعند تعريض هذه النباتات للعامل المسبب لحدوث bolting مثل النهار الطويل أو درجة الحرارة المنخفضة فإن تركيز الجبريللينات يزداد ويلى ذلك مباشرة حدوث bolting.

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

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

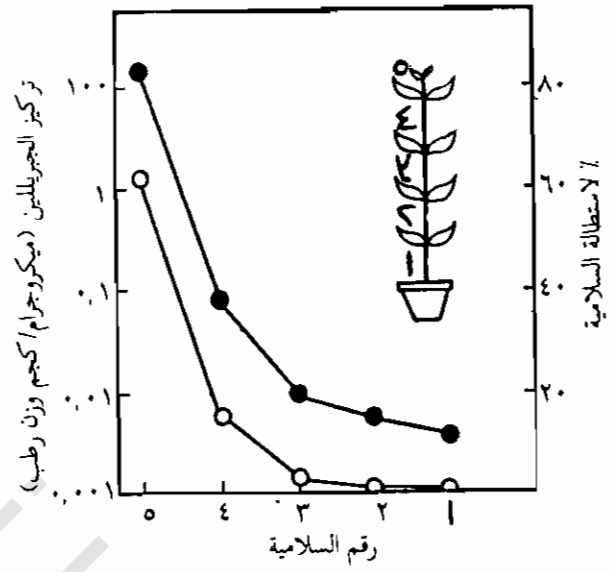
تعتبر النباتات المتوردة المذكورة سابقا ذات تركيز منخفض من الجبريللينات ولذلك تظهر حالة التورد. ولا تعتبر هذه حالة عامة لجميع النباتات حيث أنه على العكس من ذلك فإن كثير من النباتات تحتوى على تركيز مناسب من الجبريللينات لحدوث الأستطالة طبيعيا حتى إذا تعرضت هذه النباتات لظروف بيئية غير ملائمة مثل درجة الحرارة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

والعكس صحيح فى السلامية القاعدية رقم ١ . تنطبق نفس القاعدة على السلاميات الوسطية.

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

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

ميكانيكية حدوث الأستطالة: يمكن تفسير حالة أستطالة الساق فى النباتات المتوردة مثل الجزر والفجل وحيث أن قمة النبات تتكون من ثلاثة أجزاء وهى 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 الجبريللين وأستطالة السلاميات المختلفة.

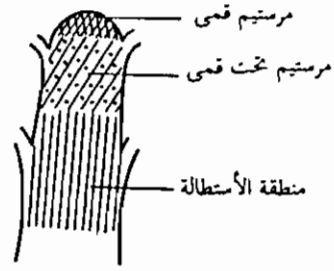
يكون المرستيم القمى الأوراق والبراعم والأزهار بينما المرستيم تحت القمى يتحكم فى أستطالة الساق. وفى حالة النباتات المتوردة فإن المرستيم القمى يكون الأوراق والبراعم والمرستيم تحت القمى يكون غير نشط وذو سرعة إنقسام منخفضة جدا حيث أنه يحتوى على قليل من الخلايا المنقسمة ونتيجة لذلك لا تحدث أستطالة الساق وتحدث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

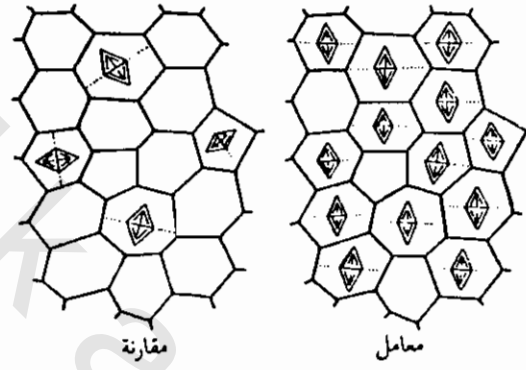
(جدول ٥) : تأثير المعاملة بحامض الجبريلليك على سرعة الأنقسام غير المباشر فى القمة النامية.

النبـــات	المرستيم القمي		المرستيم تحت القمي	
	غير معاملة	معامل	غير معاملة	معامل
Hyoscyamus niger	٩	٨	٢	٥٦
Samolus parviflorus	٨	٩	٢	٦٩

وجد أيضا أن الجبريللين يسبب تغيير فى مستوى إنقسام الخلايا plane of cell division حيث أن الإنقسام يحدث فى أى مستو أو أى إتجاه فى الخلايا فى النباتات المتوردة أما فى حالة معاملتها بالجبريللين فإن مستوى الأنقسام يصبح واحد حيث أن خيوط المغزل تصبح فى الأتجاه الطولى للخلية ونتيجة لذلك فإن الخلايا المنقسمه تسبب زيادة فى الطول لأنها ستكون على هيئة عمود. أما فى حالة النباتات المتوردة العادية فإن الأنقسام يكون قليل وأيضا فى أى إتجاه مسببا 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 أيضا ذكر حقيقة هامة هو أن المعاملة بالجبريللينات لا تسبب إستطالة الخلايا إلا فى وجود الأوكسينات. ومن المعروف أيضا 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 السلامية كلما قلت سرعة إستطالة أو درجة الأستطالة ويرجع ذلك أيضا إلى قلة تركيز كل من الأوكسينات والجبريللينات . يوجد تأثير تنشيطى كبير cumulative or synergistic عند وجود كل من الأوكسينات والجبريللينات مختلطتين حيث أن وجودهما معا 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 الجبريللين على أستطاله الخلايا.

أ ـ قطاع طولى فى قمة نامية لنبات.

ب ـ تأثير المعاملة بالجبريللين على إتجاه خيوط المغزل فى خلايا النبات وبالتالى على أتجاه الأنقسام لخلايا النبات.

٤ ـ نمو الجذور Root growth:

بالرغم من أن القمة النامية فى الجذور هى أحد الأماكن التى تخلق فيها الجبريللينات فإن معاملة الجذور بالجبريللين 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 ـ تكوين الجذور العرضية Adventitous Root Formation

تسبب معاملة العقل بالجبريللين تثبيط نمو وتكوين الجذور العرضية وهذه هى 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 فى كثير من الحالات ومن أمثلة ذلك أن عقل نبات الصفصاف يتكون عليها مبادئ الجذور root primordia طبيعيا وعند معاملتها بالجبريللين فإنه يحدث تثبيط لهذه الجذور العرضية.

٦ ـ النمو الخضرى التى يعقبها الأزهار Juvenility

هى الفترة المبكرة فى عمر النبات والتى يعقبها الأزهار حيث أنه عادة تفشل هذه الأجزاء للأستجابة للظروف البيئية المختلفة ويتوقف النمو الخضرى ويبدأ الأزهار تسمى هذه الفتره Juvenility وفى حالة الأنسان هى فترة الشباب. تختلف طول هذه الفترة بإختلاف النبات.

بعض النباتات يمكن أن تزهر وهى فى سن صغير جدا مثل *Pharbitis* و *Chenopodium* حيث أنها تزهر بعد الأنبات مباشرة ولذلك فإن فترة juvenile قصيرة جدا فى هذه الحالة وهى تتراوح بين ٢–٣ أيام. تطولُ فترة juvenility فى كثير من النباتات المعمرة الخشبية وهى تتراوح بين عدة أشهر إلى عديد من السنين. وجد فى حالة هذه النباتات Juvenility plants أى ذات مدة النمو الخضرى القصيرة والسريعة الأزهار أن القمم النامية لهذه النباتات وعلى وجه الخصوص المرستيم القمى ذات قدرة عالية على التحول من تكوين النمو الخضرى إلى تكوين الأزهار. أى أن المرستيم القمى فى القمم يكون الأزهار بسرعة بدلا من تكوين الأوراق. أما النباتات التى لا تزهر إلا بعد وقت طويل فقد وجد فى حالة نبات *Bryophyllum diagre-montianum* أن الأوراق وهى الأجزاء أو الأعضاء المتخصصة لاستقبال منشطات البيئة التى 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 لكى 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 ويقل التركيز كلما زاد السن وتعليل ذلك أن الجبريللين فى الأعمار الصغيرة غير كاف وبالتقدم فى السن يزداد تخليق الجبريللين وبالتالى 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* وجنس البطاطا وأزهار الإيبوميا ومنها ست الحسن *Ipomoea* وجنس *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 ـ الأزهار Flowering:

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

وفيما يلى شرح لكل حالة وعلاقتها بالمعاملة بالجبريللين:

أ ـ 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 فى 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 فى وجود النهار القصير ومثال ذلك الخس والكرنب (شكل ١١٨) والسكران *Samolus parviflorus*. جميع الجبريللينات غير متماثلة التأثير فى ذلك فقد وجد أن بعض الجبريللينات تنتج أستطالة للساق bolting (الحنبطه) بينما البعض سبب الأزهار بينما البعض الآخر ليس له أى تأثير فى ذلك وعديم الفاعلية تماما.

ومثال ذلك حالة نبات السيلين حيث أن الجبريللين ٧ يسبب الأزهار بينما جميع الجبريللينات من رقم ١ إلى ٦ غير فعالة تماما فى أزهار هذا النبات . يعتبر الجبريللين هام فى أزهار هذه الحالات حيث أن تعريض النباتات لنهار طويل فإن تركيز الجبريللينات يزداد تدريجيا مع طول فترة الإضاءة مع إحتمال تكون أنواع جديدة من الجبريللينات فى 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 جبريللينات بتركيز مناسب وعند معاملة هذه السلالات بالجبريللين فإن هذه النباتات تزهر. وقد تمكن الباحثون من فصل عملية الحنبطة boltingعن عملية الأزهار وذلك بالتحكم فى كمية الجبريللين المستعملة فإذا كانت جرعة الجبريللين المستعملة صغيرة فإن السيقان تستطيل bolting ولا تزهر النباتات وأذازادت الجرعه فإن النباتات تستطيل وتزهر (شكل ١١٨).

(شكل ١١٨) : تأثير المعاملة بالجبريللين على نباتات تحتاج نهار طويل .
تسبب المعامله بالجبريللين زياده طول الساق بدرجه كبيره (bolting) وأحيانا يتبع ذلك الأزهار فى نبات الكرنب.
نباتات معامله (يمين) وغير معامله (يسار).

obeikandl.com

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

ب ـ 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 هذة النباتات وجد أن معاملة هذه النباتات بالجبريللين يسبب أزهارها فى حالة وجودها فى درجات حرارة مرتفعة .

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

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

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

٨ ـ تحديد ونوعية الجنس Sex Expression:

يزداد عدد الأزهار المذكرة ويقل عدد الأزهار المؤنثة نتيجة للمعاملة بالجبريللين فى الأزهار وحيدة الجنس وحيدة المسكن مثل الخيار و muskmelon و ridge gourd الخ. وفى 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 تعليل ذلك بأن الأزهار المذكرة تحتاج إلى تركيز من الجبريللين أكبر من الأزهار المؤنثة. حيث وجد أن تركيز الجبريللينات فى نباتات الخيار العادية والتى تنتج أزهار مذكرة ومؤنثة أكبر من تركيزة فى النباتات التى 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. ومصداقا 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 ـ 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 الجبريللينات فى الفلقات عنه فى القصره أو محور الجنين أى الريشة والجذير . يعتقد أن نقص تركيز الجبريللينات فى البذور الناضجة نتيجة لتحول الجبريللينات من الحالة الحرة إلى الحالة المرتبطه وذلك عن طريق تكوينها جبريللين glucoside وحيث أن هذا المركب الأخير غير فعال كهورمون لذلك يقل نشاط الجبريللينات. يمكن أن يعتبر مركب جلوكوسيد الجبريللين هو عبارة شكل تخزينى storage form للجبريللينات .

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

توجد أيضا تغيرات نوعية فى الجبريللينات فى أثناء تكوين البذور بالأضافة إلى التغيرات الكمية السابق وصفها . يتكون أثناء تكوين البذور فى نبات *Phaseolus coccineus* ثمانية أنواع مختلفة من الجبريللينات وتختفى تماما من البذور الناضجة . وفى أثناء الأنبات يتكون نوعين من الجبريللينات فى البادرة مختلفين تماما عن الثمانية أنواع الموجودة فى البذور غير الناضجة. يتضح من ذلك أيضا أن الجبريللينات 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 الجبريللينات فى هذه البذور قد إنخفض بدرجة كبيرة وقد صاحب ذلك أيضا بطء فى نمو البذور .

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

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

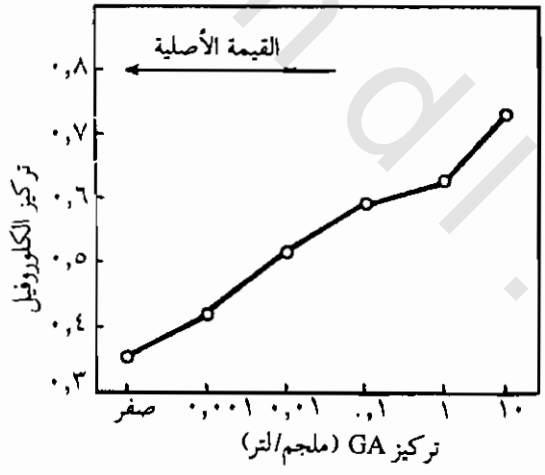
ومن ذلك يتضح أن الأصناف البذرية من العنب تحتوى طبيعيا على تركيز كاف من الجبريللينات ولا تحتاج إلى مصدر خارجى.

ولذلك فإن نمو الثمار فى العنب يتحكم فيه الجبريللينات بدرجة كبيرة وأن المصدر الأساسى لهذه الجبريللينات هى البذور أثناء مراحل تكوينها ونضجها . ولذلك فإنه يمكن أن تحل المعاملة بالجبريللينات محل البذور الغير ناضجة فى تموين المبيض بالكميات اللازمة من الجبريللينات ولذلك تتكون الثمار الكبيره الحجم.

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

١٠ ـ الشيخوخة Senescence:

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



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

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

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

١١ ـ سقوط الأوراق والثمار Abscission:

لا تسبب المعاملة بالجبريللين تأثير على سقوط الأوراق والثمار فى 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 فى هذه الحالة غير مباشر حيث أنه يسبب تشجيع تخليق الأوكسين وأن الأخير يمنع سقوط الأزهار ، أى أن الجبريللين يشجع تخليق الأوكسين فى هذه الحالة . وفى بعض الحالات القليلة الأخرى يؤخر الجبريللين سقوط الأوراق فى نباتات الأسفندان و *Acer* و *Fraxinus* وهى نباتات غابات متساقطة الأوراق وهو يضاد عمل حامض الأبسيسيك فى هذه الحالات.

١٢ ـ الإنتحاء Tropism:

وجد أن تعريض ساق عباد الشمس للضوء من جانب واحد يسبب إنتماء الساق ناحية مصدر الضوء . وقد وجد أن تركيز الجبريللينات القابلة للإنتشار diffusible GA فى الجزء من الساق البعيد عن الضوء هو حوالى ثمانية أضعاف تركيز هذا

النوع من الجبريللينات فى الجزء المواجه للضوء . وجد أيضا أنه عند وضع نبات عباد الشمس أفقيا يزداد تركيز الجبريللين فى الجزء السفلى عنه فى الجزء العلوى . غير معروف بالضبط ميكانيكية حدوث ذلك تحت تأثير الضوء والجاذبية الأرضية.

التقزم الوراثى Genetic Dwarfism

من أهم الخواص الملفتة للجبريلينات هى مقدرتها فى التغلب على الطرز المظهرية للتقزم الوراثى فى نباتات معينة ـ وفى بعض الأحيان فإن التقزم الوراثى يرجع إلى طفرة جينية gene mutaion ومن أحسن الأمثلة على ذلك هى إحدى طفرات نبات الذرة تسمى dwarf-5 (d 5) والتى ترجع إلى حدوث طفرة فى جين واحد single gene mutation ويظهر الطراز المظهرى phenotype لهذه الطفرة قزمياً بسبب نقص الجبريلينات ـ ويحدث التطفر إيقاف المسلك الأيضى لبناء الجبريلين فى الخطوة بين copalyl pyrophosphate والكاورين kaurene ـ وكما هو معروف فبدون الكاورين لا تنتج الجبريلينات. وبصفة عامة فإن النباتات التى لها مثل هذا النموذج من التقزم تكون سلامياتها قصيرة ويكون حجمها فى حدود (١/٥) 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 فى 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 onegeno-type وذلك باستعمال المعاملات الكيمائية أو الطبيعية ـ فإنه يماثل أو يحاكى mim-ic الطراز المظهرى لنبات آخر ذو طراز جينى مختلف ـ تسمى هذه الظاهرة بالنسخة المظهرية phenocopy .

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

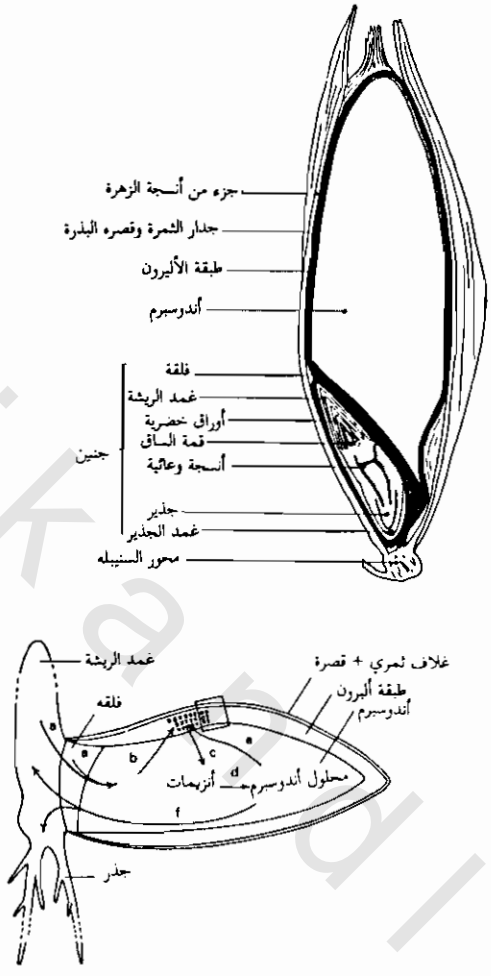
وعلى الرغم من أن تقزم نباتات معينة يرجع إلى نقص الجبريلينات إلا أن بعض النباتات المتقزمة لا تستجيب للأضافة الخارجية للجبريلينات ولا يوجد بينها اختلاف فى المحتوى الجبريلينى وبين النباتات العادية ـ ويقترح بعض الباحثون أن مثل هذه النباتات المتقزمة ربما تحتوى على مستقبلات غير نشطة أو غير فعالة ineffective re-ceptors 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 التجريبى الكافى.

ديناميكية (آلية) عمل الجبريللينات :

Mode of Action (How Gibberillins work?)

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

يتحكم الجبريللين فى تحليل النشا عن طريق تنظيم إنتاج أنزيم الأميليز . ينتج عن معاملة حبة الشعير المنزوعة الجنين بالجبريللين تكوين أنزيم الأميليز وأيضا أنزيمات أخرى مثل ribonuclease ريبونيكلييز كما تتحرر release هذه الأنزيمات من أماكن إنتاجها وتنتقل 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 amylum 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 المختزن فى الأندوسبرم. تعتبر خلايا طبقة الأليرون هى الخلايا الوحيدة التى تتأثر بالجبريللينات حيث يتم فيها تخليق أنزيم الأميليز والذى يتأثر تخليقه بواسطة الجبريللينات.



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

- قطاع طولي في حبه شعير (علوي)
- خطوات تحليل الأندوسبرم (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 الأندوسبرم النشوي(c) والتي تستخدم في تحليل النشا في هذا النسيج (d) ويتكون نتيجة لذلك محاليل من نسيج الأندوسبرم. 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 نشطه. أمكن إثبات ذلك بإضافة أحماض أمينية معلمه 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 وبالتالى 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 يضاد عمل هذه الموانع فإنه يساعد على تكوين وتحرر جزئى mRNA من جزيئ DNA وحيث أن mRNA يسبب تخليق البروتين ومنه بروتين أنزيم الأميليز. ولذلك فإن للجبريللين دور أساسى فى تخليق بروتين أنزيم ألفا أميليز.

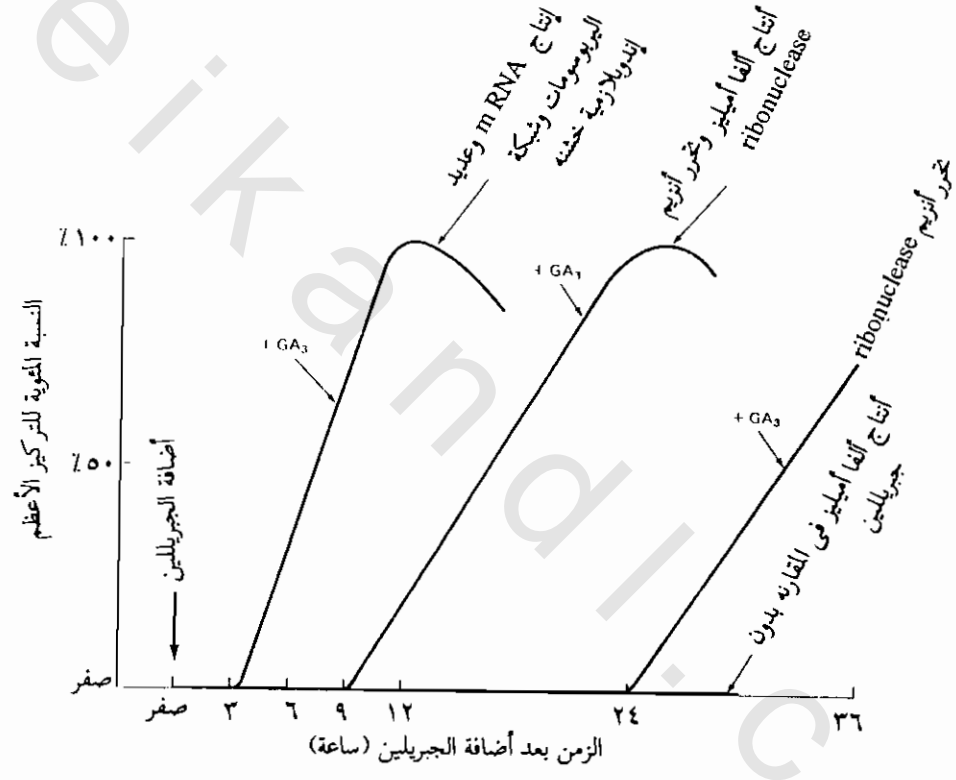
وجدت صعوبة قديماً فى تحديد تركيز نوع معين من mRNA لأن تركيزه منخفض بدرجة كبيرة جداً ولعدم وجود طرق يمكن بها التعرف على نوع mRNA المتكون . ولكن حديثاً نسبياً أمكن أكتشاف أن mRNA له ذيل من جزيئات عديدة من الأدنين كما وجد أيضاً أن الأدنين يلتحم مع uridine بواسطة روابط إيدروجينية، ومن هذه الخاصية الأخيرة 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 يوجدمحلول مناسب لفك إرتباط mRNA بالعمود ويصبح الأخير موجود فى محلول الغسيل الذى يتم تجميعه أسفل العمود. ومن المحلول الأخير يمكن تقدير تركيز mRNA وبإستعمال هذه الطريقة أمكن إثبات أن نيكليوسيدات nucleosides ترتبط مع mRNA فى وجود وبواسطة نواه طبقة الأليرون وأن ذلك يحدث بعد أربعة ساعات من أضافة الجبريللين . يتم تثبيط إنتاج أنزيم ألفا أميليز بإستعمال مركب مثبط وهو cordycepin حيث أن الأضافة المبكره لهذا المركب تمنع أكتمال تخليق جزيىء 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 فى وجود الجبريللين وذلك بتنقيه هذا mRNA ثم أضافتة *in vitro* إلي 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 بإستعمال الطرق السيريولوجية وأستخدام طرق الفصل بالهجرة فى مجال كهربائى electrophoresis.

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

ولذلك فإن الجبريللين يساعد فى تخليق الأنزيمات وأيضاً أفرازها. وجد أيضاً أن الجبريللين يساعد فى تخليق أنزيمات أخرى (جدول ٦ وجدول ٧) مثل البروتييز protease والريبونيوكلييز ribonuclease وذلك بالأضافة إلى أنزيم ألفا أميليز، ولذلك فإن الهورمون يسبب حدوث سلسلة من التفاعلات ينتج عنها هضم الغذاء المختزن فى

البذرة. ليصبح صالح لأستعمال النبات الصغير السن. يساعد الجبريللين أيضاً فى أفراز جميع هذه الأنزيمات من طبقة الأليرون إلى الأندوسبرم . يتم تخليق أنزيم ألفا أميليز وأفرازه 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 وبالتالى فإنه أيضاً يساعد على أداء بعض الجينات لعملها turning on certain genes وأما عن نوع الجينات التى يساعد فى عملها فإن ذلك يتوقف على نوع الخلية. وقد أجريت أبحاث قليلة عن تأثير الجبريللين فى التحكم فى أستطالة الخلايا ومن أمثلة ذلك أن أستطالة السلاميات فى نبات الزمير الناضج قبل الأزهار تكون راجعة إلى أستطالة السلاميات. حيث أنه وجد أن هذه الخلايا تستطيل فقط دون أن تنقسم فى وجود الجبريللين وفى غياب الأوكسين تماماً ولكن فى وجود الأوكسين فإن هذه الخلايا يحدث لها أنقسام للخلايا علاوة على أستطالة الخلايا . وأتضح من التجارب أن الجبريللين يسبب أستطالة الخلايا فى وجود زيادة حموضة جدر الخلايا كما سبق ذكره فى حالة الأوكسينات وجد أن هذه الخلايا الحساسة للجبريللينات والتى تتأثر بها لا تتأثر بالأوكسينات . يعتقد أن الأختلاف فى مدى حساسية خلايا النبات للأوكسينات أو الجبريللينات يتوقف على مدى وجود أماكن مختلفة مستقبلة للهورمونات فى هذه الخلايا different hormone-receptors أى أن بعض الخلايا فيها أماكن لأستقبال الجبريللين وخلايا أخرى فيها أماكن لأستقبال الأوكسين وقد يوجد فى الخلية الواحدة أماكن لأستقبال الأوكسين والجبريللين.

(جدول ٦) : الأنزيمات التى يشجع تكوينها الجبريللين فى أليرون الحبوب

GA - induced enzymes in cereal aleurone

نوع الأنزيم	حالة التأثير
α - Amylase	نعم
Protease	نعم
Ribonucclease	نعم
B - Glucanase	نعم
Esterase	نعم
Acid phosphatases	نعم
P - nitropheny1 phosphatase	نعم
ATPase	نعم
Phytase	نعم
Naphthol AS - B1 phosphatase	نعم
GTPase	نعم
Pentosanase	نعم
Endoxylanase	نعم
Xylopyranosidase	نعم
Arabinofuranosidase	نعم
Glucosidase	نعم
Peroxidase	نعم
Catalase	لا
Malate dehydrogenase	لا
Malate synthetase	لا
Isocitrate lyase	لا
Citrate synthetase	لا
Phosphorylcholine glyceride transferase	لا
Phosphorylcholine cytidyl transferase	لا

obeikandl.com

(جدول ٧) الأنزيمات التى يشجع تكوينها الجبريللين فى بذور الخروع.

نوع الأنزيم	حالة التأثير	العضية
Aconitase		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	نعم	G
NADH - cytochrome C reductase		ER
NADH ferricyanide reductase		M
Phosphoenolpyruvate carboxykinase		C
Succinic dehydrogenase		M
NADH oxidase		M
Acid lipase		N.D
Alkaline lipase		N.D
Choline phosphotransferase		ER
Citrate synthase		G
Cytochrome oxidase	لا	M
Enolase		C
Malate dehydrogenase		M
OH pyruvate reductase		G
Pyruvate kinase		C

M = ميتوكوندريا
glyoxysome = G
ER = الشبكة الأندوبلازمية
C = سيتوبلازم

openkandil.com