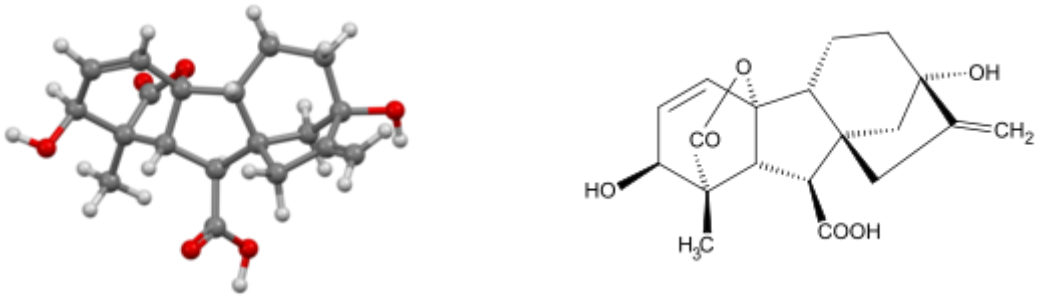
الجبريلين

تاريخ الاكتشاف:

تم التعرف على الجبريلينات، لأول مرة في اليابان في العقد الثالث من القرن العشرين الميلادي، وذلك في دراسة استخدمت فيها نباتات الأرز المصابة التي نمت نمواً طولياً ملفتاً للنظر، وفي أواخر القرن التاسع عشر أطلق اليابانيون على نباتات الأرز المصابة التي تنمو نمواً ضعيفاً اسم "البادرات الغبية" Bakanae disease (Foolish seedling)، ويعود سبب نموها بهذا الشكل إلى إصابتها بفطر *Gibberella fujikuroi*، إذ وجد علماء أمراض النبات في عام 1926 م أن معاملة بادرات الأرز السليمة بمستخلص الفطر، يعطي الأعراض نفسها التي لوحظت على البادرات المصابة بالفطر، مما يشير إلى أن هناك مادة كيميائية مسؤولة عن الحالة. في العقد الثالث من القرن العشرين، عزل T. Yabuta و T.Hyashi مركباً نشطاً من الفطريات أطلق عليه اسم جبريلين (Gibberellin) نسبة للفطر (شكل 1). وأن أول مركب من مركبات الجبريلين تم اكتشافها في نفس المدة التي اكتشفت فيها مركبات الأوكسينات، ولقلة الاتصالات باليابانيين، وظروف الحرب العالمية الثانية، لم يهتم العلماء في الغرب بتأثير مركبات الجبريلينات حتى بداية العقد الخامس من القرن العشرين.



شكل 1. الهيكل البنائي للجبريلين

توزيع مركبات الجبريلينات في النباتات:

منذ عام 1950 م، نفذت بحوث عدة على النباتات البذرية لدراسة دور الجبريلين ذي الأصل الفطري، وخلال المدة نفسها، اكتشفت مواد مشابهة للجبريلين توجد طبيعياً في النباتات البذرية. وعزلت مواد مشابه تعود إلى تسع فصائل، سبعاً منها تعود إلى نباتات مغطاة البذور. عموماً، توجد مركبات الجبريلين في مغطاة وعاريات البذور والسرخسيات وربما في الحزازيات والطحالب وبعض الفطريات، وقد وجدت هذه المركبات، حديثاً في البكتيريا.

خصائص الجبريلينات:

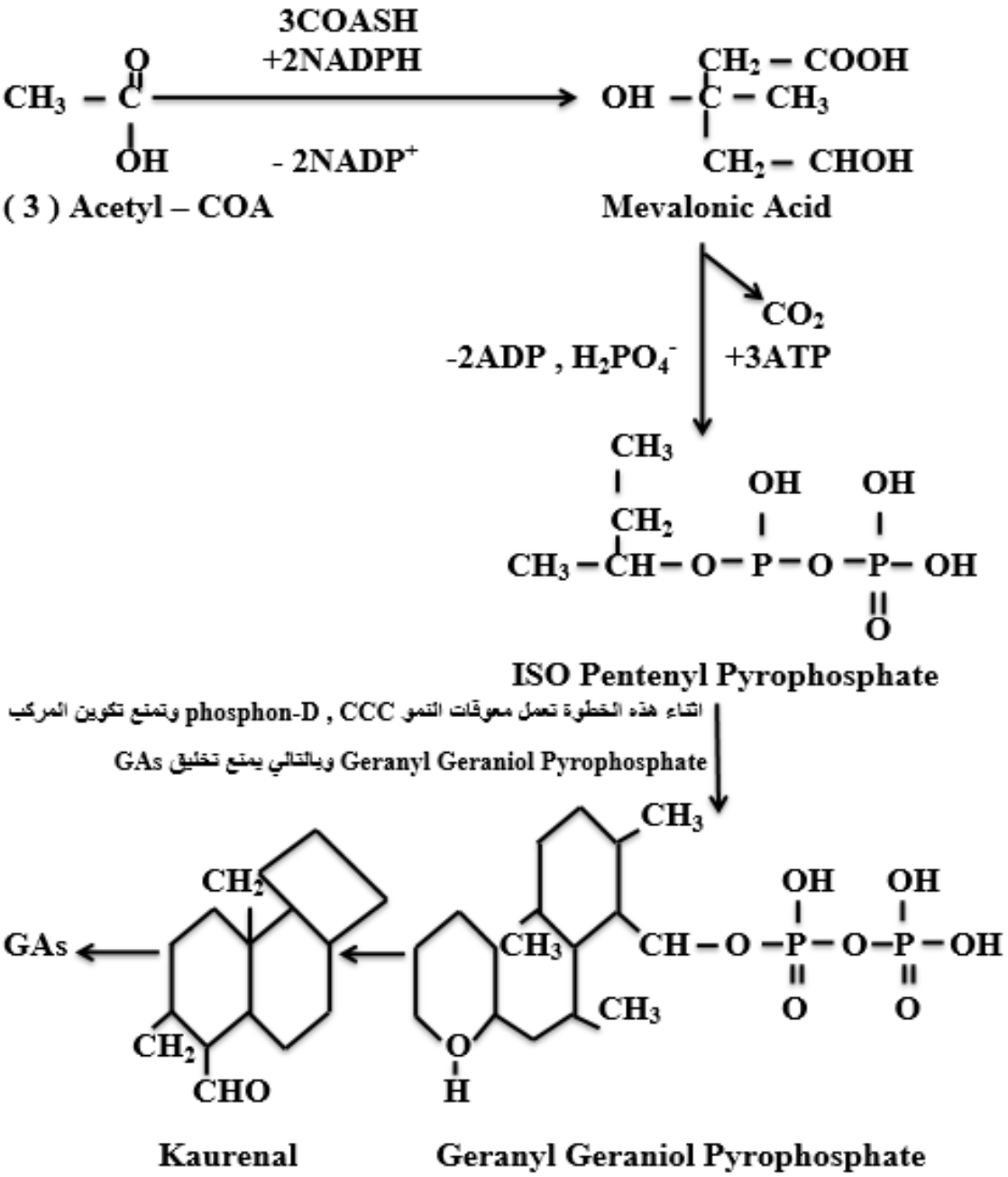
تشتق جميع الجبريلينات من الهيكل العضوي إنت – جبريلين. وجميع مركباتها ذات 19 أو 20 ذرة كربون، مرتبة في نظام حلقي يتكون إما من أربع او خمسة حلقات ولها خاصية حامضية، ويرمز لها بـ GA اختصاراً لاسم حامض الجبريلين مع إعطاء أرقام مختلفة بعد حرف A للتميز بينهما. يوجد في جميع مركبات الجبريلين، مجموعة كربوكسيلية واحدة متصلة بذرة الكربون رقم 7. وفي بعضها الآخر مجموعة كربوكسيلية إضافية متصلة بذرة الكربون رقم 4. وأول مركب نشط وفعال جداً هو GA_3 ويستعمل منذ مدة طويلة نظراً لتوافره بكثرة تجارياً.

الجبريلينات الحرة والمرتبطة:

توجد كثير من مركبات الجبريلينات الحرة التي يمكن استخلاصها بواسطة المذيبات العضوية بسهولة والتي تعد أكثر فعالية في تنظيم عملية النمو من مركبات الجبريلين المرتبطة. عموماً، توجد بعض مركبات الجبريلين المقيدة بصورة خاصة في بذور بعض النباتات، واتضح أن هذه المركبات منها ما هو متحد بسكر الجلوكوز (*B*-D-Glucose) والذي يطلق عليها جليكوسيدات الجبريلين Gibberellin glycosides، ومنها ما هو على شكل استرات الجليكوسيل لحامض الجبريلين.

بناء الجبريلينات:

الجبريلينات مركبات من أشباه الأيزوبرين (Isoprenoid) ثنائية التربينات (Diterpenes) وتبنى من وحدات الخلات (Acetate Units) عن طريق مسار حامض الميفالونيت ليتكون مركب جيرانيل جيرانيول بيروفوسفات الذي يتكون من 20 ذرة كربون والتي تعد الهيكل الأساسي لتركيب الجبريلينات. يتحول مركب جيرانيل جيرانيول بيروفوسفات بالأكسدة في أكثر من خطوة في الشبكة الإندوبلازمية إلى مركب الكورين (Kaurene). يتحول مركب الكورين بالأكسدة لمرات عدة إلى الديهايد حامض الجبريلين 12 الذي تشتق منة الجبريلينات الأخرى (الشكل 2).



شكل 2. البناء الحيوي للجبريلين

نقل الجبريلينات:

تنتقل مركبات الجبريلينات، أساساً عبر نسيج اللحاء تبعاً لنمط النقل اللحائي، مشابهاً بذلك انتقال المواد الكربوهيدراتية والمواد العضوية الأخرى، فضلاً عن انتقالها عبر نسيج الخشب بالحركة الجانبية (Lateral movement). وتجدر الإشارة إلى أن حدوث النقل القطبي لمركبات الجبريلينات لا يحدث إلا نادراً وفي بعض النباتات.

استخلاص مركبات الجبريلينات:

تستخدم المذيبات العضوية في استخلاص مركبات الجبريلينات مثل تلك التي تستخدم في استخلاص الأوكسينات.

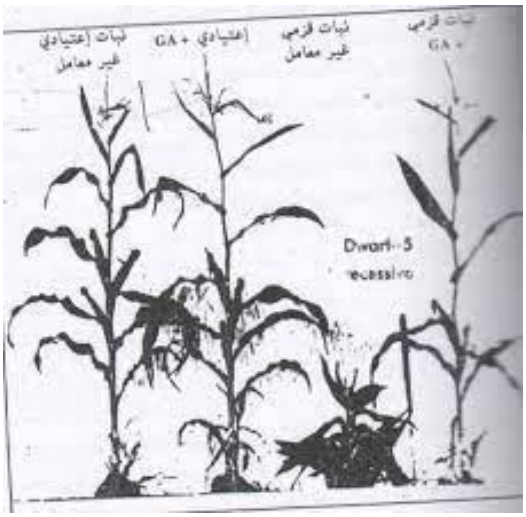
طرق قياس ومعرفة مركبات الجبريلينات:

على الرغم من أن الطرق الكيميائية المستخدمة في استخلاص مركبات الجبريلينات والتعرف عليها قد تحسنت خلال المدة الأخيرة، الا أن الاختبارات الحيوية (Bioassay tests) أدت دوراً مهماً في قياس أنواع الجبريلينات ومعرفتها. وهذه الطرق الحيوية مبنية على أساس استجابات فسيولوجية يمكن بواسطتها التعرف عليها. أهم هذه الطرق الحيوية والتي ما زالت تستخدم إلى وقتنا الحاضر هي طريقة اندوسبيرم الشعير (Barley endosperm). إذ يعد هذا الاختبار من الاختبارات المستخدمة بكثرة، وهو مبني على قابلية الجبريلين على تنشيط وزيادة تكوين الجزء البروتيني لإنزيم ألفا–أميليز. ولحدوث ذلك، تحضن أصناف من حبوب الشعير الخالية من الأجنة في محلول حامض الجبريلين لمدة 24 ساعة. سيساعد وجود حامض الجبريلين على استحثاث نشاط إنزيم ألفا أمليز، مما يؤدي إلى نقص كمية النشأ وزيادة كمية المواد السكرية المختزلة. يمكن باستخدام منحني قياس السكر الجلوكوز من معرفة كمية حامض الجبريلين في النسيج النباتي. بينت العديد من الأبحاث إلى أن مثل هذا النوع من الاختبارات يعد ذو قدرة على كشف كميات قليلة من مركبات الجبريلينات. فضلاً عن اختبار إندوسبيرم الشعير في التعرف وقياس الجبريلينات، توجد اختبارات حيوية كثرة من أهمها اختبار كل من الذرة القزمية والبزاليا القزمية والسويقة الجنينية السفلى لبادرة نبات الخس.

التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين:

أولاً: استحثاث نمو النباتات السليمة:

الجبريلينات، من منظمات النمو النباتية التي لها القدرة على استحثاث نمو النباتات السليمة، خاصة القزمية منها أو الأنواع الحولية ذات الشكل الوريدي (Rosette). عموماً، تحدث الاستطالة في السيقان النباتية السليمة أكثر من قطاعات السيقان المفصولة (المقصوصة) ولذلك نجد أن تأثيرات الجبريلينات مناقض لتأثير الأوكسينات في هذا الصدد. تستجيب معظم النباتات ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة وتنمو سريعاً عند معاملتها بمركبات الجبريلين (شكل 3)، لكن أنواعاً عديدة من الفصيلة الصنوبرية لا تستجيب عندما تعامل بحامض الجبريلين (GA_3)، مع ذلك فهي تستجيب جداً إلى خليط من مركبات الجبريلين الاخرى مثل GA_4 وGA_7، هناك خمس طفرات مختلفة من نبات الذرة القزمية تستجيب للمعاملة بالجبريلين، وتستطيل كما لو كانت نباتات سليمة، وتحتوي هذه الطفرات على مورث مختلف، وتتحكم كل طفرة في إنزيم مختلف ضروري في مسار بناء الجبريلينات. تعد هذه النباتات طافره لبناء الجبريلينات (Gibberellin-synthesis mutants)، التي يعد معظمها قليل التقزم. لقد أوضحت بعض الدراسات أن ضبط استطالة الساق في الذرة القزمية وجميع الطفرات المتقزمة، ينقصها إنزيمات لتحويل الجبريلينات الأخرى إلى هرمون GA_1. إن الذرة الهجينة لها قدرة عالية على النمو لأنها تحتوي على كمية كافية من GA_1 تسمح لها بالنمو. وذكرت العديد من البراهين أن GA_1 هو الجبريلين الأولي اللازم لاستطالة البزاليا القزمية والأرز والطماطم وغيرها. وعندما تعامل النباتات بهرمون GA_3 أو الجبريلينات الأخرى، تحدث الاستطالة، وقد يعزى ذلك إلى تحويل هذه الجبريلينات إلى هرمون GA_1 النشيط. يوجد في نبات الكرنب؟؟ وبعض الأنواع الأخرى ذات الشكل الوريدي سلاميات قصيرة أحياناً تنمو هذه السلاميات إلى طول يقارب 2 مليمتر عند معاملة هذه الأنواع النباتية بالجبريلينات يلاحظ أنها تستطيل وتزهر، مع ملاحظة أن النباتات غير المعاملة تبقى قصيرة (متقزمة).



شكل 3. يبين دور الجبريلين في الاستطالة

ثانياً: استحثاث إنبات البذور ونمو البراعم الكامنة:

تصبح براعم الأشجار والشجيرات التي تنمو في أوقات معينة من السنة ساكنة عادة في أواخر فصل الصيف، أو في بداية فصل الخريف. وتصبح هذه البراعم ضئيلة النمو نسبياً أثناء فصل الشتاء القارص، أو أثناء فترات الجفاف. كما تصبح بذور كثير من الانواع النباتية غير المزروعة كامنة (ساكنة) وتبقى ساكنة عند ازالة القشرة ولا تنمو حتى لو توفرت الظروف البيئية الملائمة. من الممكن كسر هذا الكمون (السكون) بزيادة مدة البرودة في الشتاء مما يسمح لحدوث عملية النمو في فصل الربيع عندما تكون الظروف البيئية مناسبة. كما يمكن كسر سكون البذور في بعض الأنواع النباتية عن طريق إطالة مدة الإضاءة التي تحدث في أواخر فصل الشتاء، وفي بعضها الآخر يمكن كسر السكون بتعريض البذور المبللة لمدة قليلة والتعريض للضوء الأحمر. يمكن التغلب على جميع حالات سكون البذور التي ذكرت فضلاً عن سكون البراعم في كثير من الأنواع النباتية باستخدام الجبريلينات، لأن هذه المركبات تعمل بديلاً عن درجة الحرارة المنخفضة (أي أنها تحل محل المعاملة الباردة) أو طول النهار والتعريض للضوء الأحمر. يوجد في حالة البذور، تأثير واحد لمركبات الجبريلينات، هو استحثاث استطالة الخلايا مما يساعد الجذير على الاندفاع عبر السويداء وغلاف البذور.

ثالثاً: دور الجبريلين في الإزهار:

يعتمد الوقت الذي يكون فيه النبات أزهاراً على العديد من العوامل، بما في ذلك عمر النبات وبعض الخصائص البيئية. وكمثال على ذلك تعد المدة النسبية بين الإضاءة والظلام ذات تأثير مهم في كثير من الأنواع النباتية، إذ لوحظ أن بعض الأنواع النباتية تزهر فقط إذا كانت الفترة الضوئية في النهار تزيد عن الفترة الحرجة، وفي أنواع أخرى من النباتات تزهر فقط إذا كانت الفترة الضوئية في النهار أقل من طول الفترة الحرجة. تستطيع الجبريلينات أن تعمل بدلاً من متطلبات طول الفترة الضوئية في النهار لبعض الأنواع النباتية، وهي بذلك تعطي عملاً متداخلاً مع الضوء، كذلك فالجبريلين يمكن أن يساعد النبات في تغلب على متطلبات الفترة الباردة لحدوث عملية الإزهار، وهذا ما يعرف بعملية الإرتباع. التي تؤدي إلى تقصير دورة حياة النباتات وتبكير أزهارها وبذلك تسبب إسراع في أطوار النمو التي تؤدي إلى الانتقال من النمو الخضري إلى النمو التكاثري.

رابعاً: استحثاث استطالة الساق الزهري:

لوحظ في بعض النباتات أن نمو السلاميات محدود ونشوء الأوراق يكون كثيراً، مما ينتج عنه تكون نبات قصير ظاهرة التورد (Rosette)، وهذا النوع يعد من النباتات ذات النهار الطويل (Long Day Plant) التي تتطلب عدداً معيناً من ساعات الاضاءة لكي يستطيل ساقها الزهري وتزهر. ووجد أن بعض النباتات الشبيهة بالوردة تحتاج إلى مدة من الوقت تكون فيها درجة الحرارة منخفضة لكي تزهر، وعرف عن هذه النباتات (المحتاجة للبرودة) أنها إذا بقيت في ظروف النهار القصير أو ظروف الحرارة الدافئة ولم تتعرض الى ساعات برودة كافية لإكمال متطلبات ازهارها فإنها تبقى خضرية لا تزهر، ولكن إذا عوملت هذه النباتات بالجبريلينات، فإن المعاملة تؤدي إلى استطالة الساق الزهري والإزهار، مما يشير إلى أن المعاملة بالجبريلينات أدت إلى تعويض المتطلبات الضوئية والبرودة.

خامساً: استحثاث تكوين الثمار اللابذرية:

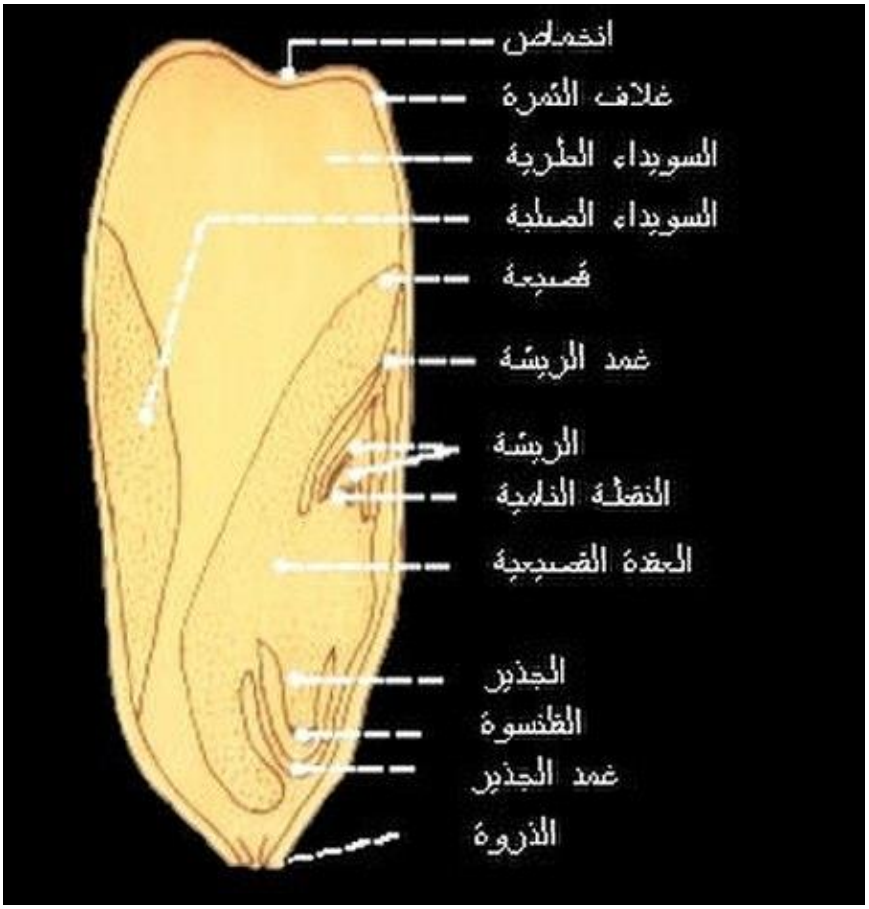
وجد أن الجبريلينات تستحث تكوين الثمار اللابذرية في بعض النباتات وهي بذلك تتشابه مع الأوكسينات، إذ وجد أن المعاملة بمركبات الجبريلينات تعطي ثماراً من دون بذور كما في نبات العنب، مما يدل على فعاليتها في نمو وتحسين إنتاج الفواكه. عرف كذلك أن المعاملة بالجبريلينات يؤدي إلى تأخير شيخوخة أوراق وفواكه بعض نباتات الموالح؟؟ مما يساعد في زيادة إنتاج المحصول الغذائي.

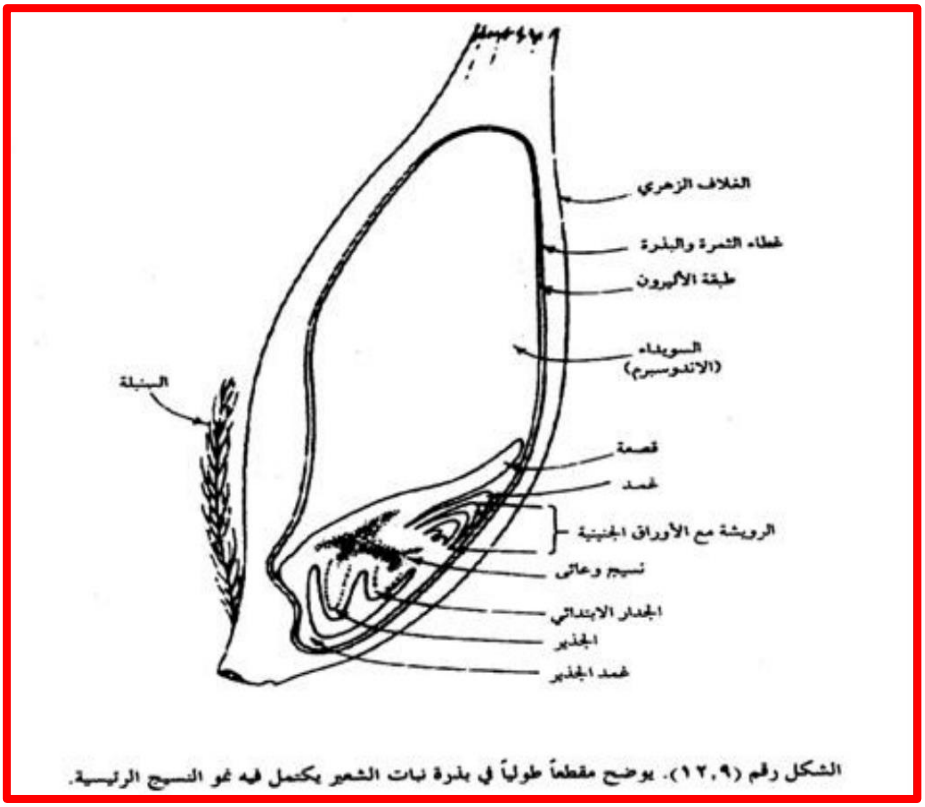
سادساً: استحثاث نقل الغذاء والعناصر المعدنية:

يبدأ المجموع الخضري والجذري بعد الانتهاء من عملية الإنبات مباشرة في استعمال المواد الغذائية والدهون والنشأ والبروتينات الموجودة في مناطق تخزينها في البذرة. تعتمد البادرات الصغيرة في الحقيقة على هذا الغذاء المخزون قبل أن تستطيع امتصاص الأملاح المعدنية من التربة وقبل أن يتكشف المجموع الخضري ويتمدد فوق سطح التربة ويستقبل الضوء. ومما لا شك فيه أن معظم الأملاح المعدنية قابلة للانتقال بسهولة عبر نسيج اللحاء خلال المجموع الجذري والخضري للبادرات الصغيرة. ومن المعروف أن البادرات الصغيرة تواجه صعوبة بالغة في انتقال الجزئيات الكبيرة مثل الدهون والسكريات المتعددة والبروتينات كونها عديمة او صعبة الانتقال، ولكن كيف يمكن التغلب على هذه المشكلة؟

أوضحت الكثير من الدراسات إلى أن معظم المركبات الكبيرة متعدد الوحدات والمخزونة تتحول إلى سكريات وأحماض أمينية أو أميدات قابلة للانتقال (متحركة)، ووجد أن الجبريلينات تستحث هذا التحول خاصة في النباتات النجيلية مثل القمح. من المعروف أن جنين نبات القمح يحاط بالغذاء المخزون الموجود في شكل خلايا غير نشطة يطلق عليها السويداء. تحاط السويداء بطبقة رقيقة يتراوح سمكها بين 2 و4 خلايا سميكة، وتسمى بطبقة الأليرون (Aleurone Layer) كما في الشكل 4. بعد حدوث عملية الانبات، نتيجة لزيادة الرطوبة في بداية الامر، تتحرر الإنزيمات المحللة من خلايا الاليرون لتهضم النشأ والبروتينات والحامض النووي (RNA) وبعض مواد الجدار الخلوي الموجودة في خلايا السويداء. يعد إنزيم ألفا أمليز من الإنزيمات الضرورية لحدوث عمليات هدم النشأ، فعند إزالة الجنين من بذرة القمح، لا تنتج ولا تفرز معظم الإنزيمات المحللة بما في ذلك إنزيم إلفا أمليز، ويشير هذا إلى أن جنين القمح يكون عادة بعض الهرمونات التي تنقل إلى طبقة الأليرون، وأن هذه الهرمونات (الجبريلين) تستحث خلايا الأليرون لتصنيع هذه الإنزيمات المحللة. يستحث إفراز الإنزيمات المحللة إلى طبقة السويداء التي يتم فيها تحلل الغذاء المخزون وجدران الخلايا، وبذلك تصبح العناصر الغذائية المخزونة متوافرة بسهولة نتيجة لفعالية الجبريلين (شكل 4) تهضم طبقة السويداء في أنصاف حبوب المحاصيل (من الحبوب التي أزيل منها الجنين)، وذلك استجابة لتزايد بسيط من تركيز حامض الجبريلين (GA_3). ويمكن استخدام الزيادة في تركيز ألفا أمليز في طبقة الأليرون لأنصاف الحبوب لتقدير كمية حامض الجبريلين (GA_3) حيوياً، وهي ناتجة أساساً من استحثاث نسخ المورث المستخدم كشفرة لإنزيم ألفا أمليز، من المعتقد أن الجبريلين يبنى في قصعة (Scutellum) بذور

نباتات الحشائش، بما فيها نبات القمح، وقد يبنى أيضاً في أجزاء أخرى من الجنين. ومن المحتمل أن تعتمد أنواع الجبريلين المبنية على نوع النبات، ولكن في بذور نبات القمح، يبدو أن الجبريلين GA_1 وGA_3 هما المهمان. مع أن طبقات الأليرون في الشعير والقمح والشوفان البري تستجيب لحامض الجبريلين (GA_3) المضاف خارجياً، أو لبعض مركبات الجبريلين المعنية ببناء ألفا أميليز وبعض الإنزيمات الأخرى، إلا أن بعض أنواع الشوفان الزراعية ومعظم أنواع الذرة الزراعية لا تستجيب (أي لا تحدث زيادة في إنزيم ألفا أميليز). وعلى الرغم من أن طبقة الأليرون تعد مسؤولة عن الإنزيمات المحللة لبعض المواد الغذائية المخزونة في السويداء، فإن هناك دلائل منذ أكثر من 100 عام تشير إلى أن القصعة (Scutellum) تفرز إنزيمات تهضم الغذاء المخزون أيضاً.





شكل 4. يبين مقطع طولي في البذرة

سابعاً: تأثيرات أخرى للجبريلين:

تتسبب مركبات الجبريلين، وخاصة GA_4 وGA_7 في تكوين الثمار اللابذرية لبعض الأنواع النباتية، مما يشير إلى حدوث فعالية طبيعية في نمو الثمار. وربما يجدد الجبريلين المتكون في الأوراق الصغيرة نشاط المنشئ الحزمي في النباتات الخشبية. من التأثيرات المهمة الأخرى للجبريلينات، تأخير الشيخوخة (الاصفرار) في الأوراق النباتية وثمار الموالح، فضلاً عن تأثيرها في أشكال الأوراق. أما من ناحية التحكم في عملية الإزهار بواسطة الجبريلينات فما زالت المعلومات المتوافرة في السنوات الأخيرة قليلة جداً، ولكن عرف حديثاً أن لها تأثيراً قوياً جداً في نمو التويجيات في بعض الأنواع النباتية.

الاستخدامات التجارية للجبريلينات:

لا يزال يعتمد إلى الآن على الفطر *Gibberella sp.* في بناء مركب حامض الجبريلين GA_3 بتكلفة معقولة، حتى من أجل التجارب الفسيولوجية. ومع ذلك فإن GA_3 يستخدم بكثرة في بعض المزارع للحصول على زيادة في بعض الصفات، إذ تستطيل عناقيد العنب عند رشها بالجبريلين خاصة في الوقت المناسب وبالتركيز الملائم مما يؤدي إلى أن يصبح العنب غير متراص تماماً عندما يعبأ، فضلاً عن انها

تصبح أقل عرضة للإصابات الفطرية. يستخدم حديثاً خليط من الجبريلينات GA_4 وGA_7 لاستحثاث إنتاج البذور في نباتات الصنوبر وOrchids وإحداث غير ذلك من التأثيرات. ترش هذه المركبات أيضاً على ثمار نبات البرتقال وأوراقه (خاصة عندما تفقد الثمار لونها الأخضر) من أجل حماية القشرة من التشوه الذي يظهر خلال عملية التخزين. تستخدم حالياً الجبريلينات تجارياً في هاواي (Hawaii) لزيادة نمو قصب السكر، ومن ثم زيادة إنتاج السكر.