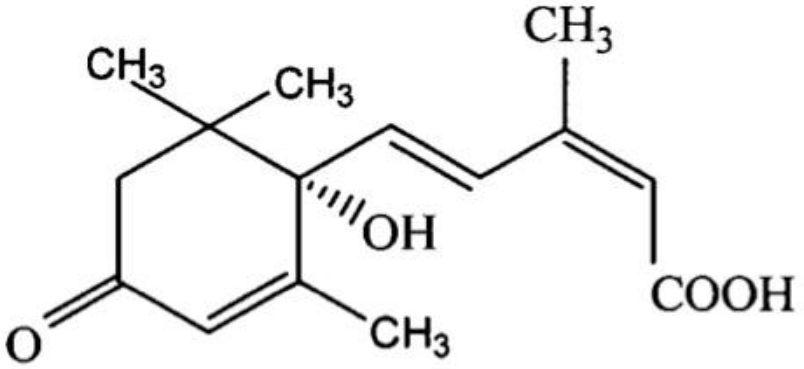
## حامض الأبسيسيك ( ABA ) Abscisic Acid

### الصيغة التركيبية Structural Formula:




تم استخلاص بعض المركبات المثبطة للنمو ومنها الـ Dormin من اوراق شجرة الجميز Sycamore في موسم الخريف وبعد تحديد الصفات الطبيعية والكيميائية لهذا المركب وجد انها مطابقة لمادة اخرى تحفز الانفصال والتساقط في اوراق وثمار القطن اطلق عليها Abscission لذا تمت تسميتها بمركب واحد هو حامض الابسيسيك وذلك لأشتراكها في التركيب الكيميائي والتأثير الفسلجي على الرغم من اختلاف مصدرهما النباتي.

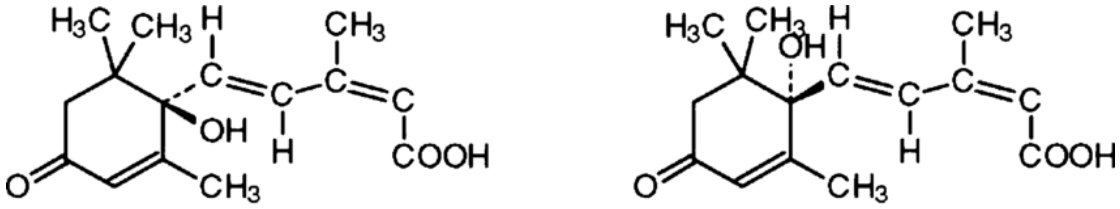
ان حامض الابسيسيك هو هرمون حقيقي يوازي في اهميته الهرمونات الاخرى لدوره المهم في تنظيم النمو من خلال تأثيره الفسلجي في ميكانيكية غلق وفتح الثغور وخاصة عند ظروف الاجهاد المناخي لمقاومة الجفاف اذ يطلق عليه مضاد الجفاف Antistress Hormone ودوره في نضج البذور، سكون البراعم والبذور، تحفيز الشيخوخة وتساقط الاوراق والثمار.

### طبيعة حامض الابسيسيك Nature of ABA:

حامض الابسيسيك هرمون نباتي طبيعي موجود في النباتات الوعائية كما ان عددا من الفطريات تنتج الـ ABA كمركب ايض ثانوي وهو موجود في كافة اعضاء النبات وتكون تراكيزه مرتفعة في الاوراق، الثمار، البذور، الدرنات والاجنة لذا فهو موجود في جميع الخلايا الحاوية على الكلوروبلاست والاميلوبلاست ( Amyloplast ) ويتراوح تركيزه 0.03-4 ملغم كغم$^{-1}$ وزن طري من النسيج النباتي وهو يختلف باختلاف النبات، ففي النباتات المائية 3-5 مايكرو غرام كغم$^{-1}$ وزن طري وفي اوراق نباتات المناطق المعتدلة 50-500 مايكروغرام كغم$^{-1}$ وزن طري بينما يصل تركيزه في ثمار الاوفوكادو الى 10 ملغم كغم$^{-1}$ وزن طري علما ان تركيزه يزداد عند تعرض الجزء النباتي او النبات الى الاجهاد المائي او الجفاف او الشيخوخة.

يعد الـ ABA من مركبات Sesquiterpenes اي التربينات التي تحتوي على 15 ذرة كربون علما ان التربينات الاحادية Monoterpenes تحتوي على 10 ذرات كربون والثنائية Diterpenes تحتوي على 20 ذرة كربون كما في الجبرلينات والتربينات الثلاثية Triterpenes تحتوي على 30 ذرة والرباعية Tetraterpenes تحتوي على 40 ذرة كربون، يتميز حامض ABA بحلقة سداسية ومركزا غير متناظر الذي يكون ستة ذرات من الكربون الاستبدالي غير المشع، ان المركز غير المتناظر هو المسؤول عن وجود صورتين لحامض ABA، الاولى

**(R)-Cis-ABA** وهي الحالة غير الفعالة للهرمون خاصة في عملية غلق وفتح الثغور اما الصورة الثانية فهي **(S)-Cis-ABA** وهي الصورة الفعالة للهرمون والتي يشار اليها بحامض الابسيسيك (ABA).



(S)-Abscisic Acid (R)-Abscisic Acid

عند تعرض اوراق نبات معين الى الاجهاد المائي فأن مستوى الـ ABA يزداد من 10-50 مرة خلال 4-8 ساعات وهذا بسبب زيادة معدل بناءه ولكن عند توفر الماء فانه يعود الى مستواه الطبيعي وبفترة 4-8 ساعات ايضا نتيجة لخروجه الى اجزاء النبات الاخرى كذلك فان البذور والبراعم الساكنة تحتوي على مستوى مرتفع من الـ ABA ثم ينخفض عند تعرض البذور لدرجات الحرارة المنخفضة بعملية التنضيد Stratification.

**البناء الحيوي لحامض الابسيسيك ABA Biosynthesis:**

مسار البناء الحيوي المشترك لكل من الجبرلينات والسايتوكاينينات وحامض الابسيسيك من خلال الـ Mevalonic Acid.

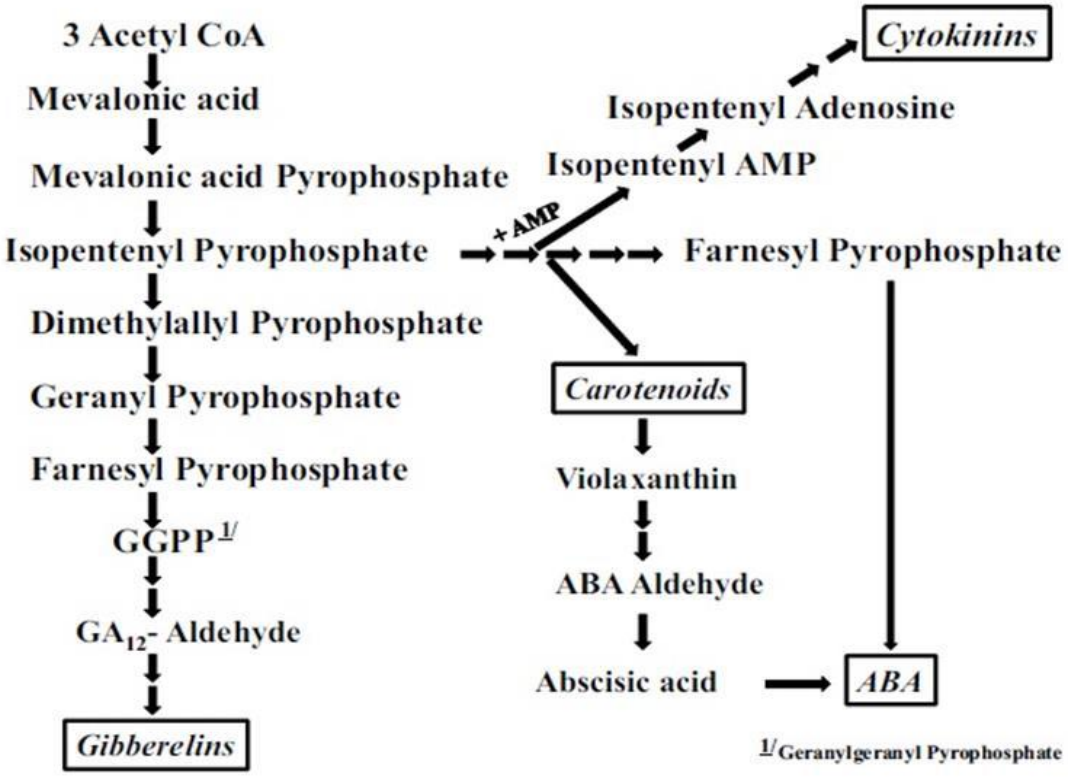



*Figure 2* - Mevalonic acid via for the biosynthesis of gibberellins, cytokinins, and abscisic acid.

**انتقال حامض الابسيسيك ABA Transport:**

ينتقل الـ ABA في كل من نسيج الخشب واللحاء ولكنه غالبا يكون اكثر وفرة وتركيز في عصير اللحاء ان الـ ABA ينتقل في كلا الاتجاهين الى الاعلى والى الاسفل بأتجاه الجذور حيث لوحظ تراكم الـ ABA في الجذور ( ABA المشع ) بعد 24 ساعة كما لوحظ ان اجراء عملية التحليق Girdling للساق منعت تراكم الـ ABA في الجذور وهذا يوضح الانتقال عن طريق اللحاء، من جهة اخرى فأن الـ ABA المصنع في الجذور ينتقل الى الساق والافرع خلال نسيج الخشب، عند بدء عملية الاجهاد المائي او قبلها يتم بناء جزء من الـ ABA في الجذور وينتقل عن طريق الخشب مما يؤثر في الحالة المائية للأوراق ويقلل من عملية النتح من خلال تحفيز غلق الثغور كما وجد ان الاجهاد المائي يحفز تراكم الـ ABA اولا في الانسجة الوعائية للأفرع ويظهر فيما بعد في الجذور والخلايا الحارسة اضافة الى ذلك وجد تركيز 3 مايكرومول من الـ ABA في الابوبلاست Apoplast يعد كافيا لغلق الثغور وليس جميع الـ ABA المتدفق او المنتقل عبر نسيج الخشب يصل الى الخلايا الحارسة فالكثير منه والذي ينتقل عن طريق عملية النتح يتم ايضه وتمثيله في خلايا طبقة الميزوفيل Mesophyll.

من الجدير بالذكر ان سرعة انتقال الـ ABA تختلف بأختلاف النباتات ففي نبات القطن سرعة انتقاله تتراوح 20-30 ملم ساعة$^{-1}$ وتشير المصادر ان حامض ABA يتحرك بصورة سريعة قياسا بالهرمونات الاخرى مثل الاوكسين وان معدل انتقاله يتراوح 2-3 سم ساعة$^{-1}$.

**ميكانيكية عمل حامض الابسيسيك ABA Mechanism of Action:**

ان حامض ABA هو هرمون مثبط للنمو وان تأثيره لم يعرف بشكل دقيق ولكن من خلال هذه التأثيرات الفسلجية يمكن معرفة دوره الفسلجي:

1- التغير في الاغشية الخلوية واشتراكه مع ايونات البوتاسيوم $K^+$ في عملية فتح وغلق الثغور.

2- تثبيط بناء الـ RNA والبروتين وهذا يمثل التضاد مع IAA و GAs في سكون البذور والبراعم وعلى الرغم من كون الـ ABA يعيق تكون m-RNA والبروتينات الا انه لايؤثر في فعالية الـ DNA وانما يؤثر في فعالية الرايبوسومات اثناء تكوين البروتينات وليس على مستوى الاحماض الامينية.

**التأثيرت الفسلجية لحامض الابسيسيك Physiological Effects of ABA:**

**1- غلق الثغور Stomatal Closure:**

الثغور Stomatal عبارة عن فتحات مجهرية توجد في طبقة البشرة للأوراق وتتكون نتيجة لأنقسام احدى خلايا البشرة الى خليتين تعرفان بالخليتين الحارستين Guard Cells اذ تتكون الثغرة Stoma بينهما وتعد الثغور السلك او المسار Pathway الرئيس الذي يسلكه الماء الى خارج النبات في عملية النتح Transpiration وهي عبارة عن عملية فقدان الماء من النباتات الحية على هيئة بخار الماء من اسطحه المعرضة للجو وخاصة الاوراق، فعند امتصاص الماء من التربة ينتقل من الجذور الى اوعية الخشب ثم خلايا الطبقة الوسطى Mesophyll Cells في الورقة التي تتميز بجدرانها الرقيقة وكثرة المسافات البينية Intercellular Space بينها فهي بذلك

تسهل عملية التبخر من اسطح جدرانها فضلا عن ذلك فأن وجود الثغور يجعل عملية فقد الماء الزائد عن الحاجة ممهد للتبخر ولايوجد عائق من تبخره، كما يتم عن طريق الثغور تبادل الغازات $CO_2$ و $O_2$ التي يحتاجها النبات في عملية التمثيل الضوئي والتنفس مع المحيط الخارجي.

تعتبر الخلايا الحارسة الجهاز الذي يتحكم في عملية فتح وغلق الثغور وتتميز الخلايا الحارسة عن بقية خلايا البشرة بأحتوائها على نسبة عالية من البروتين وعلى البلاستيدات الخضراء فضلا عن شكلها المميز قياسا بخلايا البشرة الاخرى ويكون جدران الخلايا الحارسة المجاورة لفتحة الثغر سميك اما الجدار الملاصق لخلية البشرة فيكون صلب وهذا له اهمية ميكانيكية في فتح وغلق الثغور ويختلف عدد الثغور على سطح الورقة بأختلاف نوع النبات والظروف البيئية وكذلك يختلف عددها على السطح العلوي والسطح السفلي وبصفة عامة ان جميع النباتات مغطاة وعارية البذور تحتوي على الثغور.

ان العوامل الاساسية التي تساهم في غلق وفتح الثغور هي **$K^+$ ، $CO_2$ ، ABA والخلايا الحارسة** فعندما يكون النبات تحت تأثير الجهد المائي فأن تركيز ABA و $CO_2$ يزداد في الخلايا الحارسة وينخفض مستوى تركيز $K^+$ ويقل امتلاء او انتفاخ Turgidity الخلايا الحارسة فتغلق الثغور وهذا يحافظ على النبات من الجفاف وبعكسه عندما يحصل النبات على الماء يزول الجهد المائي فينخفض تركيز ABA و $CO_2$ في الخلايا الحارسة ويزداد مستوى $K^+$ فتنتفخ او تمتلئ Full Turgidity الخلايا الحارسة بالماء وبذلك تفتح الثغور اذ تتوافر فرصة لدخول الـ $CO_2$ الخارجي الى الاوراق من خلال فتحات الثغور للقيام بعملية التمثيل الضوئي.

لقد لوحظ ان رش الـ ABA بتراكيز منخفضة ( 1 مايكرومول ) قلل النتح بسبب غلق الثغور وعند معاملة قواعد الاوراق المقطوعة للذرة والبنجر بالـ ABA تتم عملية غلق الثغور بسرعة كبيرة ( 3-9 دقائق ) بعد المعاملة ، كما وجد ان حامض الابسيسيك يزداد تركيزه بسرعة في الاوراق المعرضة للجهد المائي قبل 10 دقائق من غلق الثغور.

## ميكانيكية غلق وفتح الثغور Stomatal Closing and Opening Mechanism:

يعتقد ان هنالك مضخة ايونية (Proton or Ion Pump) هذه المضخة تكون موجودة في اغشية الخلايا الحارسة وتعمل بواسطة الطاقة وهي الـ ATP التي يكون مصدرها عملية الفسفرة الضوئية التي تتم في كلوروبلاست الخلايا الحارسة وعليه فأن هذه المضخة الايونية تقوم بضخ ايون الهدروجين الى الخارج بعملية النقل النشط او الفعال ويرافق هذه العملية دخول تلقائيا لأيون البوتاسيوم ($K^+$) بدون صرف طاقة (لايحتاج الى طاقة) وهذه العملية تؤدي الى فقد ايون الهدروجين من السايتوبلازم وبالتالي فأن الـ pH لهذا السايتوبلازم سوف يرتفع ويصبح 8-9 بدلا من 7 مما يؤدي الى تنشيط انزيم PEP carboxylase والذي يقوم بتحويل مركب PEP (Phospho Enol Pyrovate) الى Malate فينخفض الجهد المائي وبالتالي يؤدي الى فتح الثغور.

1- ان الـ ABA يعمل على خفض امتصاص ايونات البوتاسيوم ($K^+$) من قبل الخلايا الحارسة وبذلك يقلل من ضغط الامتلاء مسببا غلق الثغور.

2- ان وجود الـ ABA في الخلايا الحارسة يسرع من تحرر وانطلاق حامض الماليك (Malic acid) مع ايونات البوتاسيوم ($K^+$) منها وان اهمية حامض الماليك ربما يشكل المصدر الاساس للبروتينات اللازمة لتبادل ايونات البوتاسيوم والهدروجين خلال عملية فتح الثغور.

3- ان الـ ABA يقوم بأيقاف عمل المضخة الايونية (Proton or Ion Pump) الموجودة في غشاء الخلية الحارسة والتي تقوم عادتا بضخ ايون الهدروجين ($H^+$) كما يتوقف دخول ايون البوتاسيوم ($K^+$).

**2- تحفيز بناء البروتينات المخزنة في البذور ABA Induces Storage Protein Synthesis in Seeds:**

ان الـ ABA يكون في اعلى مستوياته خلال المرحلة الوسطى الى الاخيرة من نمو وتطور الجنين فعند بدء نضج البذور فأنها تفقد الماء والرطوبة وتتراكم وتخزن السكريات والبروتينات المتحررة خلال المرحلة الاخيرة من تطور الجنين لذا فأن الـ ABA يعد الهرمون الوحيد الذي يكون مسؤولا عن السيطرة وتنظيم الجينات خلال مراحل التطور الجنيني اذ يعمل على تراكم وخزن البروتينات والحماية من الجفاف في هذه المرحلة.

**3- التساقط Abscission:**

كان الاعتقاد ان الـ ABA له الدور الاول في عملية التساقط ولذا جائت تسميته بـ Abscisic لكن حاليا يعد الاثيلين Ethylene هو المنظم والمسيطر على هذه العملية وكذلك بالنسبة لسكون البذور والبراعم، ان دور الـ ABA في التساقط هو تحفيز سرعة الانقسام الخلوي وتحليل الصفيحة الوسطى ومكونات الجدار الخلوي من خلال تحفيزه لأنزيمات التحلل Pectinase، Cellulase و Protase.

**4- السكون Dormancy:**

لوحظ حدوث تطورات واضحة عن دور الـ ABA في ظاهرة السكون اهمها:

A- ان المعاملة بالـ ABA لاتحفز السكون في بعض النباتات.
B- لاتوجد علاقة بين مستوى الـ ABA وطول الفترة الضوئية والسكون.
C- على الرغم من كون الـ ABA هرمونا مثبطا للنمو الا انه اظهر تأثيرات محفزة للنمو كدوره في تراكم وتخزين البروتين في البذور، تحفيز تجذير العقل وتحفيز استطالة السويقة الجنينية.

**5- السيادة القمية Apical Dominance.**

**6- النمو الزهري والثمري وتكوين البذور.**

**7- تحفيز الشيخوخة Senescence.**

PGRS