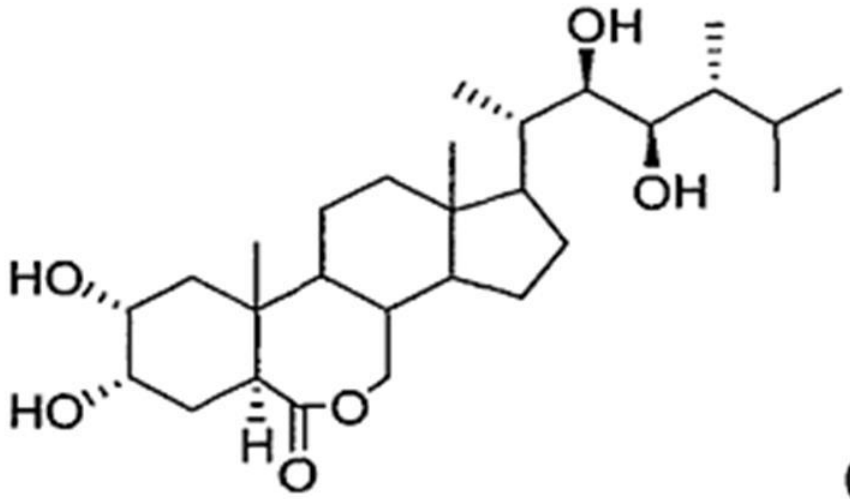
البراسينوستيرويدات Brassinosteroids (BRs)

الصيغة التركيبية Structural Formula:



(II)

عرفت مركبات الستيرويد Steroids منذ مدة طوية في الحيوان والتي تشمل على هرمونات الجنس Sex Hormones منها : Estrogene، Androgenes، Progestins وهرمونات قشرة الكلية Andernal cortex hormones منها : Mineralocorticoids، Glucocorticoids.

اما هرمونات الستيرويد النباتية فقد اكتشفت عام 1970 واستخلصت من حبوب لقاح نبات السلجم *Brassica napus* L. وقد سميت بالبراسينات Brassins وهي تتركب من خليط معقد من الدهون ولها تأثيرات فعالة بيولوجيا وقد ذكر البعض احتوائها على الجبرلينات، لقد وجد ان كل 227 كغم من حبوب لقاح نبات السلجم تحتوي على 10 ملغم من مادة بلورية تم فصلها واستخلاصها واطلق عليها براسينولايد Brassinolide (BL) ان المادة الناقلة التي استخلصت هي عبارة عن ستيرويد لاكتون Steroidal Lacton والذي سمي بالبراسينولايد (BL) وان معرفة تركيبه الكيميائي ادى الى تشخيص 60 نوعا من الفايتوستيرويد Phytosteroids والتي سميت بالبراسينوستيرويدات (BRs).

منذ اكتشاف BRs تم التعرف عليها في 27 عائلة من نباتات مغطاة البذور Angiosperms و 3 عوائل من نباتات عارية البذور Gymnosperms وقد وجد ان BRs موجودة في 64 نوعا نباتيا (حاليا تجاوزت 70 نوعا نباتيا) وكذلك توجد في الطحالب الخضراء Green Algae، توجد البراسينوستيرويدات في نباتات مغطاة البذور بمستويات منخفضة فهي موجودة في حبوب اللقاح، الاسدية، البذور، الاوراق، السيقان، الجذور، الازهار والانسجة الخضرية حديثة النمو لذلك يظهر بأن الـ BRs موجودة في كل اجزاء النبات وهذا يدل على انها قد تسبق غيرها من الهرمونات النباتية بوجودها في النبات وعلى الرغم من وجود البراسينوستيرويدات في انسجة وخلايا واعضاء النبات المختلفة الا ان كميتها تختلف بأختلاف العضور النباتي فحبوب اللقاح والبذور تحتوي على نسبة مرتفعة لاتقل عن 500 ملغم كغم$^{-1}$ والمجموع الخضري يحتوي بين 1-100 ملغم كغم$^{-1}$ والثمار 1-10 ملغم كغم$^{-1}$ اما الاوراق فتحتوي على 5-10 ملغم كغم$^{-1}$ وتوجد الـ BRs في النبات على شكل او هيئة حرة او مرتبطة مع السكريات او الاحماض الدهنية او قد تكون مرتبطة بالبروتينات.

عرفت البراسينوستر ويدات بأنها مركبات طبيعية داخلية تنتج في اجزاء النبات المختلفة وقد ثبت انها تلعب دورا مهما في نمو النبات وتطوره من خلال تأثيراتها ومساهماتها في تنظيم عدد من مظاهر وسمات النمو والتطور في النبات منها : الاستطالة والانقسام الخلوي، البناء الحيوي لمكونات الجدار الخلوي، تكشف وتمايز النظام الوعائي، نمو الافرع، تكوين الجذور العرضية، التزهير، تحفيز حيوية وخصوبة ونمو الانبوب اللقاحي، انبات البذور، مقاومة الاجهادات الحية وغير الحية، تأخير الشيخوخة، تحفيز عملية التمثيل الضوئي، تحفيز انتقال وتوزيع المواد الغذائية المصنعة وامتصاص الايونات المعدنية، تنظيم التعبير الجيني لمئات من الجينات وان قسم من هذه الجينات عالية التنظيم يتوقع لها ان تلعب دورا مهما في عمليات النمو والتطور النباتي فضلا عن ذلك تحفيزها لبناء وتكوين DNA و RNA والبروتينات وتثبيت النتروجين ... وغيرها من الوظائف والتأثيرات الاخرى.

الصيغة الكيميائية للبراسينولايد (BL) $C_{28}H_{48}O_6$ ووزنه الجزيئي 480، ان الاختلاف الكيميائي في انواع البراسينوستر ويدات جعل الباحثين يعطون ارقاما لها كالبراسينوستر ويد BR_1، BR_2، BR_3 .... وهكذا وقد وجد من مجموع 31 نوعا من الـ BRs تم تشخيصها هناك 29 نوعا منها حرة واثنان مرتبطة فقط، ان البراسينوستر ويدات عبارة عن مجموعة من الستير ويدات متعددة الهدروكسيل Polyhydroxyl Steroids وان الفعالية البيولوجية لهذه الانواع يتم الكشف عنها من خلال المركب 24-epibrassinolide (24-epi BL) والمركب 28-Homobrassinolide (28-Homo BL) والمركبات المختلفة يمكن تصنيفها بالبراسينوستر ويدات (C-27، C-28 و C-29) اعتمادا على تركيب السلسلة الجانبية علما ان مركب (24-epi BL) يمكن انتاجه بتكلفة اقل من مركب البراسينولايد (BL) لذلك غالبا مايستعمل (24-epi BL) في البحوث والتجارب الفسلجية الا ان فعاليته قدرت بحوالي (10%) من فعالية الـ BL في معظم التحاليل والاختبارات، ومن الجدير بالذكر ان ليس جميع البراسينوستر ويدات تكون فعالة حيويا وبيولوجيا وتعد المركبات Brassinolide (BL) ، 24-epibrassinolide و 28-Homobrassinolide الاكثر فعالية بيولوجيا.

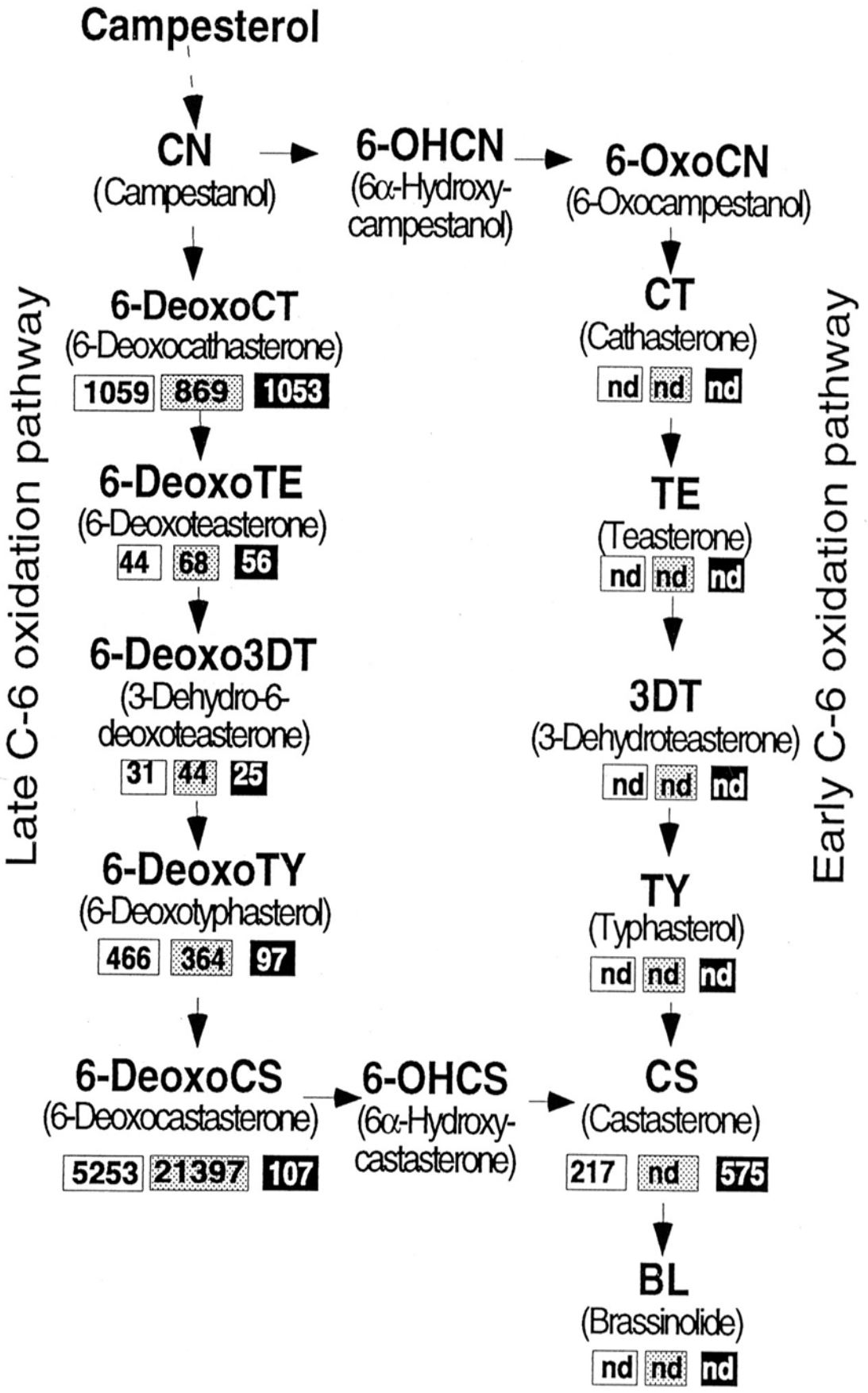
وعليه فأن البراسينوستر ويدات (BRs) هي مجموعة من هرمونات السترويد وقد عدت هذه الهرمونات الجديدة المجموعة السادسة بعد الهرمونات التقليدية : الاوكسينات، الجبرلينات، السايتوكاينينات، الاثيلين وحامض الابسيسيك لكثرة الادلة الدامغة على تأثيراتها الحيوية والفسيولوجية في النبات اذ اظهرت في معظم الحالات تأثيرات متشابهة للأوكسينات والجبرلينات والسايتوكاينينات فالبراسينوستر ويدات تلعب وبمدى واسع دورا رئيسيا في مظاهر النمو والتطور النباتي.

البناء الحيوي للبراسينوستيرويدات Biosynthesis of Brassinosteriods (BRs)

ان مسار البناء الحيوي للبراسينوستيرويدات BRs يتم كتفرع لمسار التربينات Terpenoids كما في الجبرلينات، السايتوكاينينات وحامض الابسيسيك حيث يبدأ مسار التربينات من مركب Isopentenyl diphosphate (IPP , C_5) والناتج من حامض الميفالونك Mevalonic Acid حيث يتكون مركب Farnesyl diphosphate (FPP , C_{15}) لتكوين مركبات تحتوي على 30 ذرة كربون (C-30) ثم يدخل سلسلة من الحلقة المغلقة لتكوين مركب Pentocyclic triterpenoid الذي هو عبارة عن ستيرويد مشتق من مركب Cycloartenol علما ان جميع الستيرويدات في النباتات مشتقة من هذا المركب من خلال سلسلة التفاعلات التأكسدية والتحويرات التي تحصل عليها.

يبدأ المسار الحيوي لبناء البراسينوستيرويدات من المركب Campesterol الذي يعد البادئ او المولد التخليقي لها والذي يشتق من مركب Cycloartenol اذ يتحول الكامبسترول Campesterol اولا الى مركب Campestanol في خطوات يستخدم فيها الجين Deetionlalated (DET2) ثم يتحول المركب Campestanol بعد ذلك الى مركب Castasterone (CS) من خلال احد المسارين اللذين يطلق عليهما مسارات اكسدة الكربون 6 (C-6) المبكر والمتأخر C-6 Oxidatoin Pathway Early and Late ثم يندمج المساران لتكوين مركب الـ Brassinolide (BL) ، كما مبين ادناه:

PGRS


Campesterol
CN
(Campestanol)
6-OHCN
(6α-Hydroxy-campestanol)
6-OxoCN
(6-Oxocampestanol)
CT
(Cathasterone)
nd nd nd
TE
(Teasterone)
nd nd nd
3DT
(3-Dehydroteasterone)
nd nd nd
TY
(Typhasterol)
nd nd nd
CS
(Castasterone)
217 nd 575
BL
(Brassinolide)
nd nd nd
6-DeoxoCT
(6-Deoxocathasterone)
1059 869 1053
6-DeoxoTE
(6-Deoxoteasterone)
44 68 56
6-Deoxo3DT
(3-Dehydro-6-deoxoteasterone)
31 44 25
6-DeoxoTY
(6-Deoxotyphasterol)
466 364 97
6-DeoxoCS
(6-Deoxocastasterone)
5253 21397 107
6-OHCS
(6α-Hydroxy-castasterone)
Late C-6 oxidation pathway
Early C-6 oxidation pathway

انتقال البراسينوستيرويدات Brassinosteroids Transport

1- انتقال البراسينوستيرويدات الخارجية (المضافة)

بينت الدراسات ان الـ BRs تنتقل رأسيا (Acropetally) من الاسفل الى الاعلى اي من الجذر الى الافرع الخضرية اذ لوحظ ان نسبة قليلة من Brassinolide (BL) و Castasteron (CS) المضافة الى جذور نبات الرز قد انتقلت الى الافرع الخضرية وبالطريقة ذاتها عندما اضيف 24-epi BL (C^{14}) الى جذور شتلات الحنطة والخيار لوحظ وجوده في اجزاء النبات كافة وعلى النقيض من ذلك لوحظ ان اضافة الـ (BL) و (CS) الى الانسجة الخضرية للبازلاء فأن كلا النوعين قد تم امتصاصهما ولكنهما لم يتحركا عن موقع الاضافة كذلك لوحظ عند اضافة الـ (BL) و (CS) الى اوراق الرز فأنهما لم يتحركا لمدة 24 ساعة وبالطريقة ذاتها عند اضافة 24-epi BL (C^{14}) الى اوراق الحنطة لوحظ عدم انتقاله حتى بعد 7 ايام من من الاضافة، ان هذه الحركة ليس بالضرورة ان تعمم على الـ BRs الداخلية المنشأ.

2- انتقال البراسينوستيرويدات الداخلية المنشأ

بينت الدراسات ان انتقال جزء بسيط من الـ BRs ممكن ان يكون (Basepetally) اي من الاعلى الى الاسفل (من البراعم القمية الى السلاميات) او من النمو الخضري الى الجذور كما بينت الدراسات ان الـ BRs الداخلية المنشأ الفعالة حيويا لاتنتقل الى مسافات بعيدة.

3- انتقال البراسينوستيرويدات في النمو الخضري

لقد وجد ان ازالة البرعم القمي والاوراق لم تؤدي الى نقصان في مستوى الـ BRs الداخلية المنشأ في بقية الاجزاء الخضرية وهذا يدل على عدم انتقال الـ BRs من البرعم القمي، الا ان معظم الدراسات تشير الى امكانية انتقال الـ BRs لمسافات قصيرة.

ان اضافة (24-epi BL (C14 الى الجذور فأنه ينتقل لمسافات طويلة من الجذر الى الافرع كما لوحظ حدوث استطالة في سويق الورقة، اما عند اضافته الى الاوراق فقد لوحظ انه سهل الامتصاص ولكن انتقاله خارج الورقة كان بطيئاً جدا ويمثل 16% من كميته الممتصة وهذا يوضح سهولة انتقاله من الجذور الى الاوراق وصعوبة او ضعف انتقاله خارج الورقة لذا يمكن الافتراض ان ينتقل من الجذور الى الافرع عن طريق نسيج الخشب مع سريان النتح في حين ان حركته خارج الورقة تكون من خلال نسيج اللحاء لهذا تكون بطيئة، وعلى الرغم من ذلك فأن حركة الـ BRs الداخلية المنشا تختلف عن حركة الـ BRs الخارجية المضافة حيث وجد ان معاملة النباتات المطفرة (التي تنخفض فيها نسبة البراسينوستيرويدات) بـ BRs في منطقة التطعيم لم يظهر اي تحرك للـ BRs سواء كان الى الاعلى او الاسفل عموما ان حركة وانتقال الـ BRs الطبيعية داخل النبات لازالت غير واضحة.

التأثيرات الفسيولوجية للبراسينوستيرويدات Physiological Effects of BRs

1- النمو الخضري Vegetative Growth

لوحظ ان الـ BRs لها دور في تحفيز انقسام واستطالة الخلايا من خلال زيادة فعالية ونشاط انزيم (DNA , RNA Polymerase) ومن ثم تكوين الاحماض النووية والبروتينات فضلا عن

تحفيز نشاط انزيم ATPase الذي بدوره يحفز انزيم Carboxylase المسؤول عن زيادة البروتين الذائب وانخفاض السكريات وهذ يوضح الانقسام والاستطالة الناتجة عن تأثير الـ BRs والتي تشابه تأثير كل من الاوكسين والجبرلين وتعتمد على بناء وتخليق الاحماض النووية والبروتينات.

2- نمو الجذور Roots Growth

ان الـ BRs لها دور في تنظيم نمو وتطور الجذور فهي قد تحفز او تثبط النمو اعتمادا على نوع الـ BRs وتركيزه المستعمل اذ ان التراكيز المرتفعة منها تحفز انتاج الاثيلين لذا فأن التثبيط يعود الى الاثيلين اما التراكيز الواطئة فأنها تحفز تكوين الجذور العرضية وهذا ربما يعود الى تأثيرها التضامني مع الاوكسين (IAA) اذ تعمل البراسينوستروريدات على تحفيز الانتقال القطبي للأوكسين من الاعلى الى الاسفل والذي يؤدي الى تحفيز نمو الجذور العرضية، اما عن التأثير في استطالة الجذور فأن الـ BRs تثبط الاستطالة وهنا تعمل بدون الـ IAA.

3- التزهير Flowering

تعمل على تحفيز التزهير من خلال تاثيرها في تخفيض مثبطات التزهير.

4- نمو الانبوب اللقاحي Pollen Tube Growth

تساعد البراسينوستروريدات في سرعة نمو الانبوب اللقاحي واحداث عملية التلقيح.

5- انبات البذور Seeds Germination

تساعد الـ BRs في انبات البذور لاسيما انها تحتوي على نسبة مرتفعة من الـ BRs، وان تحفيز عملية الانبات يعتمد على تداخلها مع بقية الهرمونات النباتية.

6- زراعة الانسجة النباتية Plant Tissue Culture

لوحظ ان للـ BRs دورا تحفيزيا في الاستطالة في مجال الزراعة النسيجية وان الـ 28-Homo BL هو اكثر الانواع حيوية وتأثيرا.

7- الانسجة الوعائية Vascular Tissues

تؤثر الـ BRs في تطور النسيج الوعائي اذ انها تعمل على تحفيز تخصص نسيج الخشب وتثبيط تخصص نسيج اللحاء وهذا التأثير يكون اكثر وضوحا في النباتات المطفرة وراثيا التي تعاني من نقص البراسينوستروريدات، اذ تتوسط الـ BRs عملية التخصص من الكامبيوم الاولي الى الخشب عن طريق تنظيم التعبير الجيني لجينات يطلق عليها Homeobox والتي تلعب دورا حاسما في عملية التمايز والتطور.

8- التداخل مع الهرمونات النباتية الاخرى Interaction with other Plant Hormones

تتداخل البراسينوستروريدات احيانا مع الاوكسينات بعلاقة تضامنية فعد اضافتها مع الاوكسين ينتج عن ذلك تحفيز تكوين الاثيلين، كما يتفاعل الـ ABA وبقوة مع الـ BRs مسببا تثبيط مشتقات الـ BRs مثل 24-epi BL و 28-Homo BL .

PGRS