ฮอร์โมนพืช

ฮอร์โมนพืชเป็นสารเคมีภายในพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชไม่เพียงแต่การเจริญของพืชทั้งต้นเท่านั้น หากแต่ยังเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชแต่ละส่วนด้วย ในปัจจุบันทราบกันดีแล้วว่าฮอร์โมนพืชมีทั้งชนิดที่กระตุ้นการเจริญเติบโต และระงับการเจริญเติบโต ฮอร์โมนพืชที่พบในปัจจุบันคือ

1. ออกซิน (Auxin)
2. จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)
3. ไซโตไคนิน(Cytokinins)
4. กรดแอบไซซิก (Abscisic acid) หรือ ABA
5. เอทธิลีน (Ethylene) ซึ่งมีสภาพเป็นก๊าซ

ฮอร์โมนพืชสามารถเคลื่อนย้ายภายในต้นพืชได้และมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและการพัฒนาของเนื้อเยื่อ และอวัยวะของพืชซึ่งได้รับฮอร์โมนนั้น ๆ คำว่า ฮอร์โมน นั้นเริ่มใช้โดยนักสรีรวิทยาของสัตว์ ซึ่งต่อมานักสรีรวิทยาของพืชได้นำมาใช้กับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสามารถมีผลกระทบในปริมาณที่น้อยมาก โดยพืชจะสังเคราะห์ที่ส่วนหนึ่งแล้วเคลื่อนย้ายไปยังอีกส่วนหนึ่ง และมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ค่อนข้างเฉพาะเจาะจง ดังนั้นในการศึกษาทางด้านฮอร์โมนจึงมักศึกษาในแง่ของแหล่งและกระบวนการสังเคราะห์ การเคลื่อนที่และเคลื่อนย้าย และปฏิกิริยาของฮอร์โมนที่มีต่อพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโต (Plant Growth Regulator) เป็นสารเคมีที่สำคัญในการเกษตร เป็นสารอินทรีย์ซึ่งมนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาได้ ซึ่งบางชนิดมีคุณสมบัติเหมือนฮอร์โมนพืช มนุษย์รู้จักการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตมานานแล้ว เช่น กระตุ้นให้มะม่วงหรือสับปะรดออกดอกโดยการจุดไฟข้างสวน เพื่อให้เกิดควันซึ่งมีเอทธิลีนปนอยู่ สามารถกระตุ้นให้เกิดการออกดอกได้ ถึงแม้ว่าในขณะนั้นจะยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงก็ตาม

ออกซิน (Auxin)

ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของโมเลกุลและการมีคุณสมบัติของออกซิน เนื่องจากมีสารที่เกิดในธรรมชาติและสารสังเคราะห์จำนวนมากมีคุณสมบัติของออกซิน จึงจำเป็นต้องรู้โครงสร้างของโมเลกุลที่จะก่อให้เกิดคุณสมบัติของออกซินได้ ซึ่งมีการศึกษากันมาก ในขั้นต้น เข้าใจว่าสารที่จะมีคุณสมบัติของออกซินต้องประกอบด้วยวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว มี side chain เป็นกรด ซึ่งต่อมาพบว่าไม่ใช่สาเหตุที่แท้จริง เพราะมีสารหลายชนิดที่ไม่มีลักษณะ ดังกล่าว แต่มีคุณสมบัติของออกซิน จากการศึกษาของ Thimann ในปี ค.ศ. 1963 ได้สรุปว่า โครงสร้างของโมเลกุลที่สำคัญของสารที่จะมีคุณสมบัติของออกซินคือ ต้องประกอบด้วยประจุลบ (Strong Negative Charge) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของกลุ่มคาร์บอกซิล และประจุลบจะต้องอยู่ห่างจากประจุบวก (Weaker Positive Charge) บนวงแหวนด้วยระยะทางประมาณ 5.5 Angstrom สมมุติฐานของ Thimann นับว่าใช้อธิบายโครงสร้างโมเลกุลของสารที่มีคุณสมบัติของออกซินได้ครบ

การสลายตัวของ IAA

ปริมาณของ IAA ในพืชนั้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัว ซึ่งการสลายตัวของ IAA นั้น สามารถเกิดขึ้นได้หลายวิธี

1. Photo-oxidationIAA ที่อยู่ในสภาพสารละลายจะสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง การเกิด Photo-oxidation ของ IAA จะถูกเร่งโดยการปรากฏของรงควัตถุตามธรรมชาติ หรือที่สังเคราะห์ได้ จึงอาจจะเป็นไปได้ว่าการที่รงควัตถุของพืชดูดซับพลังงานจากแสงแล้วทำให้เกิดการออกซิไดซ์ IAA ซึ่งรงควัตถุที่เกี่ยวข้อง คือ ไรโบฟลาวินและไวโอลาแซนธิน (Riboflavin และ Violaxanthin) สารที่เกิดขึ้นเมื่อ IAA สลายตัวโดยแสงคือ 3-methylene-2-oxindole และ Indoleacetaldehyde

2. การออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ (Enzymic Oxidation of IAA) พืชหลายชนิดมีเอนไซม์เรียกว่า IAA-oxidase ซึ่งจะคะตะไลท์สลาย IAA ได้คาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจน IAA-oxidase มีคุณสมบัติคล้ายเอนไซม์ประเภทเพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และเป็นเอนไซม์ที่ต้องการแมงกานีสเป็นโค-แฟคเตอร์ กระบวนการออกซิไดซ์ โดย IAA-oxidase ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนักจากการทดลอง In vitro พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ 3-methylene-2-oxindole และถูกเมตาโบไลซ์ต่อไป เป็น 3-methyl-2-oxindole มีการทดลองหลายครั้งที่ยืนยันว่า IAA-oxidase จะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของพืชเพิ่มมากขึ้นนอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณของ IAA-oxidase ในเนื้อเยื่อของรากจะมี IAA ในปริมาณต่ำ แต่มี IAA-oxidase เป็นจำนวนมาก

3. รวมกับสารชนิดอื่นในไซโตพลาสต์

4. เปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ชนิดอื่น

การเคลื่อนที่ของออกซินในต้นพืช

จากส่วนของพืชที่มีการสังเคราะห์ ฮอร์โมนจะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนอื่นๆ และมีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อที่ได้รับฮอร์โมน การเคลื่อนที่จะถูกควบคุมอย่างดี การเคลื่อนที่ของออกซินจะเป็นแบบโพลาไรซ์ (Polarized) คือ เคลื่อนที่ไปตามยาวของลำต้นโดยไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งการเคลื่อนที่แบบโพลาร์ (Polar) นี้จะเกี่ยวข้องกับการเจริญและการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของพืชทั้งต้น

การเคลื่อนที่ของออกซินในส่วนที่อยู่เหนือดิน จะเป็นแบบโพลาร์ เบสิพีตัล (Polar Basipetal) คือจะเคลื่อนที่จากแหล่งผลิตที่ยอดไปสู่โคนต้น ซึ่งการทดลองที่แสดงว่ามีการเคลื่อนที่แบบนี้สามารถทำได้โดยใช้ก้อนวุ้นที่เป็นแหล่งให้ออกซินและรับออกซิน (Donor-Receiver Agar Block) คือ ใช้ก้อนวุ้นที่มีออกซินอยู่วางบนท่อนของเนื้อเยื่อส่วนก้อนวุ้นอีกก้อนซึ่งทำหน้าที่รับออกซินอยู่อีกปลายหนึ่งของท่อนเนื้อเยื่อ ออกซินจะเคลื่อนที่จากก้อนวุ้นที่มีออกซินผ่านเนื้อเยื่อลงไปสู่ก้อนวุ้นที่ไม่มีออกซิน ซึ่งจากวิธีการนี้สามารถคำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ของออกซินในเนื้อเยื่อได้ เพราะทราบความยาวของท่อนเนื้อเยื่อ ความเร็วในการเคลื่อนที่แสดงเป็นระยะทางต่อหน่วยเวลา ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของออกซินจะประมาณ 0.5-1.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง

การเคลื่อนที่ของออกซินจะเกิดแบบเบสิพีตัลก็เมื่อท่อนเนื้อเยื่อวางอยู่ในลักษณะปกติของลักษณะทางสัณฐานวิทยาเท่านั้น คือ ก้อนวุ้นที่เป็นก้อนที่รับออกซินจะต้องอยู่ทางด้านโคนของท่อนเนื้อเยื่อ ถ้าหากกลับท่อนเนื้อเยื่อเอาด้านโคนกลับขึ้นเป็นด้านยอด การเคลื่อนที่แบบเบสิพีตัลจะลดลงทันที

อัตราการเคลื่อนที่ของสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติของออกซิน จะช้ากว่าการ เคลื่อนที่ของ IAA แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารสังเคราะห์ เช่น 2,4-D IBA และ NAA ก็เกิดในลักษณะโพลาร์เช่นเดียวกับสาร IAA

การเคลื่อนที่ของออกซินในส่วนที่อยู่เหนือดินของพืช เกิดแบบอะโครพีตัล (Acropetal) ได้บ้างแต่น้อยมาก การเคลื่อนที่แบบโพลาร์จะลดลงเมื่ออายุของพืชเพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่าออกซินเคลื่อนที่ผ่าน

ไปในส่วนใดของเนื้อเยื่ออาจจะเป็นแบบจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งเพราะการเคลื่อนที่ช้ากว่าการเคลื่อนที่ของสารในท่ออาหาร (Phloem) ซึ่งประมาณ 10-100 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และการเคลื่อนที่ของสารในท่ออาหารจะเป็นแบบอะโครพีตัลมากกว่า ดังนั้นออกซินจึงไม่ได้เคลื่อนที่ในท่ออาหาร แต่การเคลื่อนที่ในรากอาจจะเป็นแบบตาม Phloem และเป็นที่เด่นชัดว่าออกซินไม่ได้เคลื่อนที่ในท่อน้ำของพืชเพราะการไหลของน้ำจะเป็นไปในทิศทางที่ขึ้นสู่ยอดและนอกจากนั้นท่อน้ำยังเป็นเนื้อเยื่อที่ตายแล้วไม่มีพลังงานที่จะทำให้ออกซินเคลื่อนที่แบบโพลาร์ได้ในกรณีของโคลีออพไทล์ของพืชนั้นชี้ให้เห็นว่าออกซินเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ทุกเซลล์ลงมาแต่ในกรณีของลำต้นนั้นยังไม่มีหลักฐานชี้ให้เห็นเด่นชัดนัก แต่อาจจะเป็นไปได้ว่าโปรแคมเบียม (Procambium) และแคมเบียม (Cambium) โดยเฉพาะส่วนที่จะกลายเป็นท่ออาหารอาจจะเป็นทางเคลื่อนที่ของออกซิน

การเคลื่อนที่ของออกซินในรากก็มีลักษณะเป็นโพลาร์ แต่เป็นแบบ อะโครพีตัล ซึ่งกลับกันกับกรณีของลำต้น ความเร็วของออกซินที่เคลื่อนที่ไปในรากพืชประมาณ 1 เซนติเมตรต่อ ชั่วโมง โดยคาดว่าเกิดในส่วนของแคมเบียมและท่ออาหารที่เกิดใหม่

การเคลื่อนที่ของออกซินเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานโดยมีหลักฐานที่สนับสนุนดังนี้

1. การเคลื่อนที่เร็วกว่าการซึม 10 เท่า
2. เคลื่อนที่ได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนเท่านั้น และการเคลื่อนที่หยุดได้โดยสารบางชนิด (Inhibitor)
3. เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีปริมาณมากไปสู่บริเวณที่มีปริมาณน้อย (Gradient)
4. เกิด Saturation Effect ได้

กลไกการทำงานของออกซิน

โดยทั่วไปฮอร์โมนจะสามารถก่อให้เกิดผลต่อการเจริญเติบโตได้ในปริมาณที่ต่ำมาก จึงสรุปกันว่าการทำงานของฮอร์โมนต้องเกี่ยวข้องกับการขยายสัญญาณของฮอร์โมน (Large Amplification) แล้วฮอร์โมนสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลจำนวนมากขึ้นได้ โดยทั่วไปฮอร์โมนจะมีผลต่อการเจริญเติบโตโดยผ่านมาทางการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนหรือกรดนิวคลีอิคควบคุม "pace-setter" ของเอนไซม์และควบคุมการยอมให้สารเข้าออกจากเซลล์ของเยื่อหุ้มเซลล์

กลไกในการทำงานของออกซินในระยะที่ผ่านมาจะมีแนวความคิดเป็นสองอย่าง คือ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผนังเซลล์เป็นส่วนที่รับผลกระทบของออกซินและขยายตัว ส่วนอีกแนวคิดหนึ่งมุ่งไปที่ผลของออกซินต่อเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค ในปัจจุบันได้นำสองแนวคิดมาวิเคราะห์ ร่วมกันเพื่อศึกษากลไกในการทำงานของออกซิน และยังศึกษาผลของออกซินต่อเยื่อหุ้มเซลล์ด้วย

การขยายตัวของเซลล์จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณและกิจกรรมของเอนไซม์ โดยที่ออกซินจะมีบทบาทต่อ กระบวนการเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค โดยการศึกษาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เป็นไส้ของต้นยาสูบ (Tobacco Pith) ซึ่งจะเจริญไปเป็นกลุ่มเนื้อเยื่อ (Callus) นั้นพบว่ามีปริมาณของ RNA เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะออกซินจะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ RNA มากขึ้น แล้วส่งผลไปถึงการเจริญของกลุ่มเนื้อเยื่อ ถ้าหากใช้สารระงับการสังเคราะห์โปรตีนหรือ RNA ความสามารถในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของออกซินจะหายไป

การตอบสนองของพืชต่อออกซิน

1. การตอบสนองในระดับเซลล์ ออกซินทำให้เกิดการขยายตัวของเซลล์ (Cell enlargement) เช่น ทำให้เกิดการขยายตัวของใบ ทำให้ผลเจริญเติบโต เช่น กรณีของสตรอเบอรี่ ถ้าหากกำจัดแหล่ง

ของออกซิน ซึ่งคือส่วนของเมล็ดที่อยู่ภายนอกของผล (ผลแห้งแบบ Achene) จะทำให้เนื้อเยื่อของผลบริเวณที่ไม่มีเมล็ดรอบนอกไม่เจริญเติบโต ออกซินทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ได้ในบางกรณี เช่น กระตุ้นการแบ่งเซลล์ของแคมเบียมและกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ เช่น กระตุ้นให้เกิดท่อน้ำและท่ออาหาร กระตุ้นให้เกิดรากจากการปักชำพืช เช่น การใช้ IBA ในการเร่งรากของกิ่งชำ แล้วยังกระตุ้นให้เกิดแคลลัส (Callus) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แต่การตอบสนองในระดับเซลล์ที่เกิดเสมอคือ การขยายตัวของเซลล์

2. การตอบสนองของอวัยวะหรือพืชทั้งต้น

2.1 เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสง (Phototropism) Geotropism ดังได้กล่าวมาแล้ว

2.2 การที่ตายอดข่มไม่ให้ตาข้างเจริญเติบโต (Apical Dominance)

2.3 การติดผล เช่น กรณีของมะเขือเทศ ออกซินในรูปของ 4 CPA จะเร่งให้เกิดผลแบบ Pathenocarpic และในเงาะถ้าใช้ NAA 4.5 เปอร์เซ็นต์ จะเร่งการเจริญของเกสรตัวผู้ทำให้สามารถผสมกับเกสรตัวเมียได้ ในดอกที่ได้รับ NAA เกสรตัวเมียจะไม่เจริญเพราะได้รับ NAA ที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป แต่เกสรตัวผู้ยังเจริญได้ ทำให้การติดผลเกิดมากขึ้น

2.4 ป้องกันการร่วงของผลโดยออกซินจะยับยั้งไม่ให้เกิด Abcission layer ขึ้นมา เช่น การใช้ 2,4-D ป้องกันผลส้มไม่ให้ร่วง หรือ NAA สามารถป้องกันการร่วงของผลมะม่วง

2.5 ป้องกันการร่วงของใบ

2.6 ในบางกรณีออกซินสามารถทำให้สัดส่วนของดอกตัวเมีย และตัวผู้เปลี่ยนไปโดยออกซินจะกระตุ้นให้มีดอกตัวเมียมากขึ้น

จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)

กลไกในการทำงานของจิบเบอเรลลิน

การศึกษาด้านกลไกในการทำงานของจิบเบอเรลลินเกิดจากการที่พบว่ามีระดับของกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิดมีผลกระทบจากปริมาณของจิบเบอเรลลิน เอนไซม์ซึ่งมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับจิบเบอเรลลิน คือ เอนไซม์แอลฟาและเบตา-อะมัยเลส (a และ b-amylase) โปรตีเอส (Protease) และไรโบนิวคลีเอส (Ribonuclease) ซึ่งพบในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ซึ่งกำลังงอก นอกจากนั้นในพืชบางชนิดยังพบว่ากิจกรรมของไนเตรท รีดักเตส (Nitrate Reductase) และ ไรบูโลสฟอสเฟสคาร์บอกซิเลส (Ribulose Phosphate Carboxylase) มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นด้วย ใน ต้นอ้อยนั้น พบว่า ผลของจิบเบอเรลลินจะชะลอการสังเคราะห์อินเวอร์เทส (Invertase) และ เพอรอกซิเดส (Peroxidase) ความสนใจในกลไกการทำงานของจิบเบอเรลลิน จึงเน้นไปที่ การศึกษาว่าจิบเบอเรลลินควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ได้เพราะเป็นผลเนื่องมาจากเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์โปรตีนโดย RNA

การศึกษาตัวอย่างของระดับกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งถูกควบคุมโดยจิบเบอเรลลิน ทำกันมากในเอนไซม์แอลฟา อะมัยเลส ในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ ในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่แห้งที่ยังไม่ดูดซับน้ำจะไม่มีเอนไซม์แอลฟา อะมัยเลสปรากฏอยู่ เอนไซม์นี้จะปรากฏขึ้นและปลดปล่อยออกมาจากชั้นของอะลีโรนของเมล็ด เป็นการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลินซึ่งสังเคราะห์จากต้นอ่อนที่กำลังงอก เนื้อเยื่อชั้นอะลีโรนซึ่งแยก**จากเมล็ดที่ไม่งอกจะมีกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลส น้อยมาก แต่ถ้านำเนื้อเยื่อนี้ไปแช่ในจิบเบอเรลลินจะทำให้เกิดการเพิ่มกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลสมากขึ้นโดยเกิดขึ้น**

หลังจากแช่ไว้นาน 8 ชั่วโมงแล้ว การกระตุ้นให้เกิดการสร้างแอลฟา อะมัยเลสนี้ จะชะงักไปเมื่อใช้สารระงับการสังเคราะห์ RNA และโปรตีน รวมอยู่ในสารละลายจิบเบอเรลลิน ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวแสดงว่าจิบเบอเรลลินควบคุมกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลส ผ่านทางการสังเคราะห์ RNA สารชะงักการสังเคราะห์ RNA เช่น แอคติโนมัยซิน-ดี (Actinomycin-D) จะชะงักกระบวนการกระตุ้นการสังเคราะห์ RNA 2-3 ชั่วโมง หลังจากเติมจิบเบอเรลลิน ในขณะที่สารชะงักการสังเคราะห์โปรตีน เช่น ไซโคลเฮคซิไมด์ (Cycloheximide) จะระงับการปรากฏของกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลส หลังจากช่วง "lag" เริ่มต้น

กลไกในการทำงานขั้นแรกของจิบเบอเรลลินนั้นจะเปลี่ยนระบบเยื่อหุ้มเซลล์แล้วจึงจะไปมีผลในการกระตุ้นการสังเคราะห์ RNA และโปรตีน นั่นคือในการกระตุ้นระยะสั้นจะเกี่ยวข้องกับระบบเยื่อหุ้มเซลล์ ในระยะยาวจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ RNA และโปรตีน กลไกที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนระบบของเยื่อหุ้ม คือ เพิ่มการสังเคราะห์เยื่อหุ้มทำให้เกิดเอนโดพลาสมิคเรตติคิวลัม มากขึ้น และกระตุ้นการสร้างเวสซิเคิลซึ่งมีเอนไซม์อยู่ภายใน นอกจากนั้นยังกระตุ้นให้มีการปลดปล่อย แอลฟา อะมัยเลส ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกมา

บทบาทของจิบเบอเรลลินที่มีต่อพืช

1. กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น จิบเบอเรลลินมีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้นได้โดยทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ ซึ่งผลนี้จะต่างจากออกซินซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของชิ้นส่วนของพืชได้ พืชบางชนิดอาจจะไม่ตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน อาจจะเป็นเพราะว่าในพืชชนิดนั้นมีปริมาณจิบเบอเรลลินเพียงพอแล้ว จิบเบอเรลลินสามารถกระตุ้นการยืดยาวของช่อดอกไม้บางชนิดและทำให้ผลไม้มีรูปร่างยาวออกมา เช่น องุ่น และแอปเปิล

กะหล่ำปลีซึ่งเจริญในลักษณะต้นเตี้ยเป็นพุ่ม (Rosette) มีปล้องสั้นมาก เมื่อให้ GA_3 กับต้นกะหล่ำปลีดังกล่าวจะทำให้สูงขึ้นถึง 2 เมตรได้ ถั่วพุ่มที่ได้รับ GA จะกลายเป็นถั่วเลื้อยได้ พืชซึ่งมีต้นเตี้ยทางพันธุกรรม เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่ว แตงกวาและแตงโมสามารถแสดงลักษณะปกติได้เมื่อได้รับ GA_3 ในข้าวโพดแคระนั้นพบว่าความผิดปกติเกิดจากยีนส์ควบคุม ซึ่งอาจจะเกี่ยวพันกับวิถีในการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ส่วนข้าวโพดปกติหากได้รับจิบเบอเรลลินจะไม่สามารถสูงขึ้นได้อีก ดังนั้นในกรณีข้าวโพดการแคระเกิดจากมีปริมาณจิบเบอเรลลินในต้นน้อยเกินไป แต่อาการแคระของพืชบางชนิด เช่น Japanese Morning Glory พบว่ามีจิบเบอเรลลินมากพอแล้ว แต่เมื่อได้รับ จิบเบอเรลลินเพิ่มก็จะสูงขึ้นได้ ในกรณีนี้อาจจะเป็นเพราะในต้นมีปริมาณของสารระงับการ เจริญเติบโตอยู่สูง

2. กระตุ้นการงอกของเมล็ดที่พักตัวและตาที่พักตัว ตาของพืชหลายชนิดที่เจริญอยู่ในเขตอบอุ่นจะพักตัวในฤดูหนาว เมล็ดของพืชหลายชนิดมีพฤติกรรมเช่นนี้ด้วย ซึ่งการพักตัวจะลดลงจนหมดไป เมื่อได้รับความเย็นเพียงพอ การพักตัวของเมล็ดและตา อันเนื่องมาจากต้องการอุณหภูมิต่ำ วันยาว และต้องการแสงสีแดงจะหมดไปเมื่อได้รับจิบเบอเรลลิน

3. การแทงช่อดอก การออกดอกของพืชเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุ และสภาพแวดล้อม จิบเบอเรลลินสามารถแทนความต้องการวันยาวในพืชบางชนิดได้ และยังสามารถทดแทนความต้องการอุณหภูมิต่ำ (Vernalization) ในพืชพวกกะหล่ำปลี และแครอท

4.จิบเบอเรลลิน สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของอาหารในเซลล์สะสมอาหาร หลังจากที่เมล็ดงอกแล้ว เพราะรากและยอดที่ยังอ่อนตัวเริ่มใช้อาหาร เช่น ไขมัน แป้ง และโปรตีน จากเซลล์สะสมอาหาร จิบเบอเรลลินจะกระตุ้นให้มีการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น ซูโครสและกรดอะมิโน ซึ่งเกี่ยวพันกับการสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดดังกล่าวข้างต้น

5. กระตุ้นให้เกิดผลแบบ Parthenocarpic ในพืชบางชนิด เปลี่ยนรูปร่างของใบพืชบางชนิด เช่น English Ivy และทำให้พืชพัฒนาการเพื่อทนความเย็นได้

6. พืชที่มีดอกตัวผู้ และตัวเมียแยกกันไม่ว่าจะต้นเดียวกัน หรือแยกต้นก็ตาม จิบเบอเรลลินสามารถเปลี่ยนเพศของดอกได้ จิบเบอเรลลินมักเร่งให้เกิดดอกตัวผู้ ส่วนออกซิน เอทธิลีน และไซโตไคนิน มักจะเร่งให้เกิดดอกตัวเมีย ในแตงกวาดอกล่าง ๆ มักเป็นดอกตัวผู้ และดอกบนเป็นดอกตัวเมีย การให้สารอีธีฟอนจะเร่งให้เกิดดอกตัวเมียขึ้น

ไซโตไคนิน (Cytokinins)

ไซโตไคนินที่พบในพืช

แม้ว่าไคเนติน BA และ PBA เป็นสารที่ไม่พบในต้นพืช แต่สารซึ่งพบในอวัยวะของพืชหลายชนิด เช่น ในน้ำมะพร้าว ในผลอ่อนของข้าวโพด ให้ผลทางสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกับสาร BA และ PBA สารที่เกิดตามธรรมชาติและสารสังเคราะห์หลายชนิด ซึ่งมี คุณสมบัติเหมือนไคเนตินนั้น เรียกโดยทั่วๆ ไปว่า ไซโตไคนิน ซึ่งเป็นสารที่เมื่อมีผลร่วมกับออกซินแล้วจะเร่งให้เกิดการแบ่งเซลล์ในพืช

มีหลักฐานเด่นชัดชี้ว่าไซโตไคนินที่เกิดในธรรมชาติเป็นสารประกอบพิวรีนในปี 1964 Letham ได้แยกไซโตไคนินชนิดหนึ่งจากเมล็ดข้าวโพดหวาน และพบว่า เป็นสาร 6-(4-hydroxy-3-methyl but-2-enyl) aminopurine ซึ่ง Letham ได้ตั้งชื่อว่า ซีเอติน (Zeatin)

นับตั้งแต่มีการแยกไซโตไคนินชนิดแรกคือซีเอตินแล้วก็มีการค้นพบไซโตไคนิน อีกหลายชนิดซึ่งทุกชนิดเป็นอนุพันธ์ของอะดีนีน คือ เป็น 6-substituted amino purines ซีเอตินเป็นไซโตไคนินธรรมชาติซึ่งมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

การเคลื่อนที่ของไซโตไคนิน

ยังไม่มีหลักฐานว่าเคลื่อนที่อย่างไรแน่จากการทดลองพบว่าระบบรากเป็นส่วนสำคัญในการส่งไซโตไคนินไปยังใบ และป้องกันการเสื่อมสลายของใบก่อนระยะอันสมควร เป็นหลักฐานที่สำคัญที่ชี้ให้เห็นว่า ไซโตไคนินมีการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ยอด ยิ่งไปกว่านั้นยังพบไซโตไคนินในท่อน้ำ ซึ่งมาจากระบบรากด้วย ในทางตรงกันข้ามไซโตไคนินซึ่งพบที่ผลซึ่งกำลังเจริญเติบโตไม่เคลื่อนที่ไปส่วนอื่นเลย ในทำนองเดียวกันจากการศึกษากับการให้ไซโตไคนินจากภายนอก เช่นให้ไคเนติน พบว่าจะไม่เคลื่อนย้ายเป็นเวลานาน แม้ว่าสารอื่น ๆ จะเคลื่อนย้ายออกจากจุดนี้ก็ตาม มีหลักฐานจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าไซโตไคนินอาจจะเคลื่อนย้ายในรูปที่รวมกับสารอื่น ๆ เช่น น้ำตาล (Ribosides หรือ glucosides) ซึ่งไซโตไคนินในรูปที่รวมกับน้ำตาลนั้นพบเสมอในท่อน้ำท่ออาหาร

ในการให้ไซโตไคนินกับตาข้างเพื่อกำจัด Apical dominance นั้น พบว่าไซโตไคนินจะไม่เคลื่อนที่เลยเป็นระยะเวลานานมาก ในการทดลองกับ BA พบว่า BA สามารถเคลื่อนที่ผ่านก้านใบและมีลักษณะแบบ Polar เหมือนกับออกซิน ในทุกการศึกษาพบว่า ไซโตไคนินในใบจะไม่เคลื่อนที่รวมทั้งในผลอ่อนด้วย ส่วนผลของรากในการควบคุมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินอาจจะอธิบายได้ถึงไซโตไคนินที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำ ซึ่งพบเสมอในการทดลองว่าไซโตไคนินสามารถเคลื่อนที่จากส่วนรากไปสู่ยอด แต่การเคลื่อนที่แบบ Polar ยังไม่เป็นที่ยืนยันการเคลื่อนที่ของไซโตไคนินในพืชยังมีความขัดแย้งกันอยู่บ้าง

ผลของไซโตไคนิน

1. กระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพใน tissue culture โดยต้องใช้ร่วมกับ Auxin ในการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นหากให้ฮอร์โมน ไซโตไคนินมากกว่าออกซิน จะทำให้เนื้อเยื่อนั้นเจริญเป็น ตา ใบ และลำต้น แต่ถ้าหากสัดส่วนของออกซินมากขึ้นกว่าไซโตไคนินจะทำให้เนื้อเยื่อนั้นสร้างราก ขึ้นมา การ differentiate ของตาในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจาก Callus จากส่วนของลำต้นนั้น auxin จะระงับ และไซโตไคนินนั้นจะกระตุ้นการเกิด และต้องมีความสมดุลระหว่างไซโตไคนินและออกซินชิ้นเนื้อเยื่อจึงจะสร้างตาได้

2. ชะลอกระบวนการเสื่อมสลาย เช่น กรณีของใบที่เจริญเต็มที่แล้วถูกตัดออกจากต้น คลอโรฟิลล์ RNA และโปรตีนจะเริ่มสลายตัวเร็วกว่าใบที่ติดอยู่กับต้น แม้จะมีการให้อาหารกับใบเหล่านี้ก็ตาม ถ้าหากเก็บใบเหล่านี้ไว้ในที่มืดการเสื่อมสลายยิ่งเกิดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามหากใบเหล่านี้เกิดรากขึ้นที่โคนใบหรือก้านใบ จะทำให้การเสื่อมสลายเกิดช้าลง เพราะไซโตไคนินผ่านขึ้นมาจากรากทางท่อน้ำ อย่างไรก็ตามการให้ไซโตไคนินกับใบพืชเหล่านี้จะชะลอการเสื่อมสลายได้เหมือนกับรากเช่นกัน นอกจากนั้นไซโตไคนินยังทำให้มีการเคลื่อนย้ายอาหารจากส่วนอื่นมายังส่วนที่ได้รับไซโตไคนินได้ เช่น กรณีของใบอ่อนซึ่งมีไซโตไคนินมากกว่าใบแก่จะสามารถดึงอาหารจากใบแก่ได้

ในกรณีเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคราสนิม ซึ่งทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อแล้วบริเวณเนื้อเยื่อที่ตายจะเกิดสีเขียวล้อมรอบขึ้นมาซึ่งบริเวณสีเขียวนี้มีแป้งสะสมมากแม้กระทั่งส่วนอื่นๆ ของใบตายไปแล้ว ส่วนสีเขียวอาจจะยังคงอยู่ ลักษณะนี้เรียกว่า Green Island ซึ่งบริเวณนี้จะมี ไซโตไคนินสูง คาดว่าเชื้อราสร้างขึ้นมาเพื่อดึงอาหารมาจากส่วนอื่น

3. ทำให้ตาข้างแตกออกมาหรือกำจัดลักษณะ Apical Dominanceได้ การเพิ่ม ไซโตไคนินให้กับตาข้างจะทำให้แตกออกมาเป็นใบได้ ทั้งนี้เพราะตาข้างจะดึงอาหารมาจากส่วนอื่นทำให้ตาข้างเจริญได้ เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างไซโตไคนินกระตุ้นให้พืชเกิดการแตกตาจำนวนมากมีลักษณะผิดปกติ เช่น โรค Fascination นอกจากนั้นยังเร่งการแตกหน่อของพืช เช่น บอน และโกสน

4. ทำให้ใบเลี้ยงคลี่ขยายตัว กรณีเมล็ดของพืชใบเลี้ยงคู่งอกในความมืด ใบเลี้ยงจะเหลืองและเล็ก เมื่อได้รับแสงจึงจะขยายตัวขึ้นมา ซึ่งเป็นการควบคุมของไฟโตโครม แต่ถ้าหากให้ไซโตโคนินโดยการตัดใบเลี้ยงมาแช่ในไซโตไคนิน ใบเลี้ยงจะคลี่ขยายได้เช่นกัน ลักษณะดังกล่าวพบกับ แรดิช ผักสลัด และแตงกวา ออกซินและจิบเบอเรลลินจะไม่ให้ผลดังกล่าว

5. ทำให้เกิดการสร้างคลอโรพลาสต์มากขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพอย่างหนึ่ง เช่น เมื่อ Callus ได้รับแสงและไซโตไคนิน Callus จะกลายเป็นสีเขียว เพราะพลาสติคเปลี่ยนเป็นคลอโรพลาสต์ได้ โดยการเกิดกรานาจะถูกกระตุ้นโดยไซโตไคนิน

6. ทำให้พืชทั้งต้นเจริญเติบโต

7. กระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด

กรดแอบไซซิก (Abscisic acid)

การเคลื่อนที่ของ ABA

การให้ ABA แก่ใบแก่หรือรากจะก่อให้เกิดการหยุดการเจริญเติบโตกับส่วนอื่น ๆ ของพืชได้ จึงแสดงให้เห็นว่า ABA เคลื่อนที่ได้ และจากการศึกษาพบว่าเคลื่อนที่ได้ในทุกทิศทางโดยไม่มีโพลารีตี้ แต่ในราก ABA อาจจะเคลื่อนที่ในลักษณะเบสิพีตัล และโดยทั่ว ๆ ไป ABA อาจจะเคลื่อนที่ไปในท่อน้ำและท่ออาหาร พบ ABA มากที่ใบแก่ ผลแก่ และพืชที่ขาดน้ำ

กลไกในการทำงานของ ABA

ABA มีกลไกการทำงานคล้ายคลึงกับฮอร์โมนพืชชนิดอื่นๆ คือจะเปลี่ยนระดับและกิจกรรมของเอนไซม์ในรูปเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค ABA สามารถชะงักการปรากฏของแอลฟาอะมัยเลสในเซลล์อะลีโรนของข้าวบาร์เลย์ได้

ในทำนองเดียวกันกลไกของการทำงานของ ABA คล้ายคลึงกับฮอร์โมนชนิดอื่นๆ คือ เกี่ยวข้องกับการควบคุมเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค และการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งการควบคุมอาจจะเกิดได้หลายวิธี เช่น ABA กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ไรโบนิวคลีเอส (Ribonuclease) หรือ RNase ซึ่งจะทำลาย RNA ทำให้อัตราการสังเคราะห์โปรตีนลดลง แต่อย่างไรก็ตามมีข้อขัดแย้งว่า ABA สามารถลดการสังเคราะห์ RNA ลงได้ภายใน 3 ชั่วโมง หลังจากที่พืชได้รับ ABA แต่จริงๆ แล้วกิจกรรมของ RNase จะเพิ่มขึ้น หลังจากนั้น 8 ชั่วโมง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลของ ABA ในชั้นต้นไม่ใช่การสังเคราะห์ RNase แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าคืออะไร

ในทางตรงกันข้ามกับสภาวะที่ ABA ก่อให้เกิดการลดปริมาณ RNA รวมของเซลล์ มีการพบว่าในเนื้อเยื่ออะลีโรนของข้าวบาร์เลย์นั้นพบว่า การสังเคราะห์แอลฟาอะมัยเลสถูกหยุดชะงัก โดย ABA ไม่มีผลต่อ RNA รวม หรือการสังเคราะห์โปรตีนรวมเลย ผลของ ABA ที่มีต่อแอลฟา อะมัยเลส อาจจะไม่ผ่านมาทางการสังเคราะห์ m-RNA ซึ่งแปลรหัสเพื่อสร้างแอลฟาอะมัยเลสด้วย คาดว่า ABA จะมีผลต่อ regulator RNA ที่ใช้ในกระบวนการ Translation ของแอลฟา อะมัยเลส

ถึงแม้ว่าจะทราบกันดีว่า ABA มีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีน อย่างไรก็ตามมีผลของ ABA หลายกรณีที่เกิดขึ้นเร็วเกินกว่าที่จะอธิบายโดยกระบวนการนี้ เช่น การปิดของปากใบ ซึ่งเกิดภายในไม่กี่นาทีที่ได้รับ ABA นอกจากนั้นการยืดตัวของโคลีออพไทล์ที่ได้รับออกซิน จะหยุดชะงักภายใน 2-3 นาที เมื่อได้รับ ABA จึงสรุปได้ว่า ABA มีผลต่อพืชโดยไม่ผ่านเมตาบอลิสม์ของ RNA ได้

ผลของ ABA ต่อพืช

1. ลดการคายน้ำโดยกระตุ้นให้ปากใบปิด ซึ่งพืชตอบสนองได้ภายใน 1-15 นาที หลังจากได้รับ ABA ในพืชที่ขาดน้ำจะมีปริมาณ ABA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการลดการคายน้ำของพืช
2. กระตุ้นให้เกิดการพักตัวของตา ซึ่งจะเกิดกับพืชเขตอบอุ่น พบว่าเมื่อให้ ABA กับตาที่กำลังเจริญเติบโต จะทำให้ตาชะงักการเจริญเติบโตและเข้าสู่การพักตัวตามปกติ การให้ GA จะลดผลของ ABA ที่ทำให้ตาพักตัวได้
3. การร่วงของใบและดอก เช่น ในฝ้าย ผลแก่ที่ร่วงเองจะมี ABA สูงมาก
4. เร่งกระบวนการเสื่อมสภาพของใบ

เอทธิลีน (Ethylene)

เป็นฮอร์โมนพืชซึ่งควบคุมการเจริญเติบโตในหลายแง่ เช่น การพัฒนา การเสื่อมสลาย ขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ซึ่งเกิดเอทธิลีนขึ้นมา ผลของเอทธิลีนมีทั้งในแง่ที่เป็นประโยชน์หรือเป็นโทษต่อพืช เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีสภาพเป็นก๊าซซึ่งรู้จักกันมานานแล้ว จากการบ่มผลไม้ ในปี 1934 ได้มีการพิสูจน์ให้เห็นว่าเอทธิลีนเป็นก๊าซที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพืช และสามารถเร่งกระบวนการสุกได้ ต่อมาพบว่าการก่อกองไฟใกล้ ๆ สวนมะม่วงและสับปะรดจะกระตุ้นให้ออกดอกได้ ซึ่งสารที่ทำให้เกิดการออกดอก คือ เอทธิลีนนั่นเอง เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในด้านหลังเก็บเกี่ยวด้วย

การเคลื่อนที่ของเอทธิลีนในต้นพืช

ถึงแม้ว่าเอทธิลีนจะมีสภาพเป็นก๊าซ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุดในจำนวนฮอร์โมนพืชทั้งหลาย จึงอาจจะคาดว่าเอทธิลีนสามารถผ่านเนื้อเยื่อโดยกระบวนการซึมผ่าน (Physical diffusion) แต่ในความเป็นจริงพบว่าเอทธิลีนไม่สามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อ ใน *Vicia faba* นั้น พบว่าการเคลื่อนที่ของเอทธิลีนจะไม่เกิดขึ้นทั้งขึ้นสู่ยอดหรือลงจากยอด ในการให้เอทธิลีนกับใบพืชนั้นพบว่าเอทธิลีนจะเคลื่อนที่ไปสู่ต้นน้อยมาก อาจจะมีบางส่วนเคลื่อนที่ไปสู่ก้านใบได้ ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าเอทธิลีนจะไม่เคลื่อนที่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชในปริมาณที่มากพอที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้ ทั้ง ๆ ที่เอทธิลีนไม่มีการเคลื่อนที่ในพืช แต่พบว่าระดับของเอทธิลีนในส่วนหนึ่งของพืชจะส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์เอทธิลีนในส่วนอื่น ๆ ด้วย เช่น ถ้ามีปริมาณของเอทธิลีนมากในส่วนของรากจะเกิดการกระตุ้นให้มีการเพิ่มระดับของเอทธิลีนที่ยอดด้วย ซึ่งกลไกการกระตุ้นนี้ยังไม่เข้าใจเด่นชัดนัก เอทธิลีนอาจจะเคลื่อนที่ผ่านพืชในรูปของ ACC

คุณสมบัติของเอทธิลีนจะขึ้นอยู่กับลักษณะต่อไปนี้

1. มีแขนแบบ double bond และไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีคุณสมบัติมากกว่า single หรือ triple bond
2. คุณสมบัติจะลดลงเมื่อโมเลกุลยาวขึ้น
3. แขนแบบ double bond จะต้องอยู่ติดกับคาร์บอนอะตอมสุดท้าย
4. คาร์บอนอะตอมสุดท้ายต้องไม่มีประจุบวก

ผลของเอทธิลีนต่อพืช

1. กระตุ้นให้ผลไม้สุก ดังนั้นอาจจะเรียกเอทธิลีนว่า Ripening hormone และใช้ในการบ่มผลไม้ในทางการค้า
2. กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ เช่น กระตุ้นให้เกิด Abcission zone ขึ้น ทำให้ใบและกลีบดอกร่วงได้ กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของราก และลำต้น รวมทั้งกระตุ้นการออกดอกของพืช เช่น สับปะรด กระตุ้นให้เกิด Adventitious root
3. กระตุ้นให้พืชออกจากการพักตัว เช่น กรณีของมันฝรั่ง
4. กระตุ้นให้เกิดดอกตัวเมียมากขึ้นในพืช Dioecious

ฮอร์โมนที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ ในปัจจุบันได้นำมาใช้ในทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย ส่วนสารควบคุมการเจริญเติบโตที่นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันก็มีหลายชนิด เช่น Paclobutrazol ซึ่งใช้

ควบคุมความสูงของพืช ป้องกันการหักล้มของธัญพืชลดความสูงของไม้ประดับ และยังกระตุ้นให้มะม่วงออกผลนอกฤดูส่วน Chlormequat สามารถใช้ป้องกันการหักล้มของธัญพืช Maleic hydrazide ซึ่งใช้ระงับการงอกของหัวมันฝรั่งและหอมหัวใหญ่ Ethephon ใช้ในการเร่งการไหลของน้ำยางของยางพาราเป็นต้น