เอกสารเผยแพร่อิเล็กทรอนิกส์

เรื่อง

“ฮอร์โมนพืช และสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช”

เรียบเรียงโดย

นายวสันต์ ชุณห์วิจิตรา

ฝ่ายส่งเสริมและเผยแพร่

สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
ฮอร์โมนพืช (Plant Hormones หรือ Phytohormones) และสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulators)	1
ออกซิน (Auxins)	4
จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)	12
ไซโทไคนิน (Cytokinin)	14
เอทธิลีน (Ethylene)	16
สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Inhibitors)	20
สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Retardants)	23

ฮอร์โมนพืช (Plant Hormones หรือ Phytohormones) และสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulators)

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช (Plant Growth and Development)

เป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน และมีปัจจัยหลายด้านมาเกี่ยวข้อง ได้แก่

1. ปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่นแสง อุณหภูมิ ความชื้น ระดับความสูง ฯลฯ ปัจจัยเหล่านี้มีผลมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช พืชแต่ละชนิด และการเจริญเติบโตและพัฒนาในแต่ละขั้นตอน ต้องการปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน
2. ปัจจัยภายในต้นพืชเอง ได้แก่
   - สารพันธุกรรม : เป็นตัวกำหนดลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิต
   - สารเคมีภายในเซล: อาจสร้างขึ้นมาเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตภายในเซลนั้น หรือส่งไปควบคุมเซลอื่นๆ เช่น เอนไซม์ วิตามิน และ ฮอร์โมน เป็นต้น

ฮอร์โมนพืชเป็นสารเคมีภายในพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชไม่เพียงแต่การเจริญของพืชทั้งต้นเท่านั้น หากแต่ยังเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชแต่ละส่วนด้วย ในปัจจุบันทราบกันดีแล้วว่าฮอร์โมนพืชมีทั้งชนิดที่กระตุ้นการเจริญเติบโต และระงับการเจริญเติบโต

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

ฮอร์โมนพืช และฮอร์โมนสัตว์มีความแตกต่างกันทั้งในส่วนโครงสร้างและการทำงาน การทำงานของฮอร์โมนพืชไม่ค่อยจำเพาะเจาะจง ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งๆ อาจเกี่ยวข้องกับหลายๆ กระบวนการในต้นพืช หรือฮอร์โมนพืชต่างชนิดกันอาจแสดงผลต่อพืชหนึ่งๆเหมือนกันก็ได้ หรือฮอร์โมนพืชชนิดเดียวกันอาจมีผลต่างกันในพืชต่างชนิดกัน

กลไกที่ฮอร์โมนพืช ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มี 2 ประการ

1) ฮอร์โมนพืชเกี่ยวข้องกับการทำงานของสารพันธุกรรม โดยไปมีอิทธิพล หรือไปกำหนดให้สารพันธุกรรมสร้างสารบางชนิด เช่น เอนไซม์ เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ อีกต่อหนึ่ง
2) ฮอร์โมนพืชไปมีผลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ของเซล ทำให้สารและสารละลายต่างๆ เคลื่อนย้ายผ่านผนังเซลได้ง่าย ทำให้พืชตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว

ฮอร์โมนพืชมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช และมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยภายนอกมักมีผลชักนำ โดยก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการกระจายตัวและการสลายตัวของฮอร์โมนในต้นพืช และยังเป็นตัวหลักในการควบคุมการแสดงออกของความสามารถทางพันธุกรรมที่แท้จริงของพืช

ฮอร์โมนพืชที่เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางนั้นมีอยู่ 5 กลุ่ม ได้แก่

1) ออกซิน
2) จิบเบอเรลลิน
3) ไซโทไคนิน
4) เอทธิลีน และสารปลดปล่อยเอทธิลีน
5) สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

นอกจากฮอร์โมนกลุ่มหลักๆ ทั้ง 5 กลุ่มแล้วนั้น ปัจจุบันยังมีอีก 3 กลุ่ม ที่มีการศึกษากันมาก และยอมรับว่าเป็นฮอร์โมนพืชกลุ่มใหม่ ซึ่งในอนาคตอาจมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางทางการเกษตร ได้แก่

6) บราสซิโนสเตอรอยด์
7) จัสโมเนท
8) ซาลิไซเลท

นอกจากที่กล่าวมาแล้วทั้ง 8 กลุ่ม ยังมีสารอีกกลุ่มที่เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช แต่ไม่จัดว่าเป็นฮอร์โมนพืช เพราะพืชไม่สามารถสังเคราะห์สารในกลุ่มนี้ขึ้นมาได้ แต่มนุษย์สังเคราะห์มันขึ้นมา และนำมาใช้อย่างกว้างขวางทางการเกษตร ได้แก่

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

การแสดงออกถึงลักษณะต่างๆ ของพืชจะเกิดจากพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ซึ่งรวมกับฮอร์โมนด้วย เช่น การปลูกผักกาดขาวปลีบางพันธุ์ในฤดูร้อน ผักกาดขาวปลีจะไม่เข้าหัว ฮอร์โมนบางชนิดสามารถกระตุ้นให้ผักกาดขาวปลีเข้าหัวได้ซึ่งในกรณีนี้ฮอร์โมนจะทดแทนสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมได้

ในประเทศไทยการใช้ฮอร์โมนพืชมีวัตถุประสงค์ในทางการเกษตรเพื่อให้มีผลผลิต เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ และเพื่อความสะดวกในการจัดการฟาร์ม

นอกจากนี้ยังมี**สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Retardants)** ซึ่งการทำงานของสารกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการสังเคราะห์หรือยับยั้งการทำงานของจิบเบอเรลลิน มีการนำมาใช้ในการลดความสูงของพืช ทำให้ปล้องสั้น ช่วยเร่งการออกดอกและการติดผลของพืชบางชนิด

การใช้สารต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วทางการเกษตรนั้น มีปัจจัยหลายอย่างมาเกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้การใช้สารนั้นๆได้ผลดี ไม่ได้ผล หรือเกิดการเสียหายได้ สิ่งที่ควรคำนึงในการที่จะใช้สารเหล่านี้ให้ได้ผลดี ได้แก่

1) ชนิดและพันธุ์พืชที่จะใช้สารฯ : พืชแต่ละชนิด หรือชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์กัน อาจมีการตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด แตกต่างกัน จะต้องมีการทดลองหรือหาข้อมูลที่ถูกต้องก่อนใช้
2) ชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช : สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดจะมีผลต่อพืชชนิดหนึ่งๆแตกต่างกัน จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง และเหมาะสม
3) สภาพแวดล้อม: อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ สภาพที่เหมาะสมจะช่วยให้การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้ผลดียิ่งขึ้น
4) ความสมบูรณ์ของต้นพืช: ต้นพืชที่มีความสมบูรณ์สูง ก็จะตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้ดี
5) ช่วงอายุของพืช หรือช่วงเวลาการใช้สารฯ: การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชนั้น ต้นพืชจะต้องอยู่ในระยะการเจริญเติบโตที่เหมาะสม ซึ่งก็ขึ้นกับจุดประสงค์ในการใช้สารฯ ชนิดของสารฯ และชนิดของพืช
6) วิธีการใช้สารฯ: วิธีการใช้สารฯนั้น ขึ้นกับชนิดและรูปแบบของสารที่ใช้ และชนิดของพืช สารบางชนิดมีความเป็นพิษต่อใบพืช บางชนิดเคลื่อนย้ายได้ดีในท่อลำเลียงน้ำ พืชบางชนิดระบบรากมีความอ่อนแอต่อสารฯ ฯลฯ ดังนั้นจึงต้องเลือกวิธีการใช้ให้เหมาะสม

ออกซิน (Auxins)

เป็นกลุ่มของสารที่สามารถชักนำให้เกิดการยืดตัวของเซลของลำต้น และจะต้องมีคุณสมบัติทางสรีรวิทยาเหมือนกับ กรดอินดอลอะซิติก (IAA) ซึ่งเป็นออกซินธรรมชาติที่พบในพืช ออกซินเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด มีโครงสร้างเป็นวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated ring) คำว่า auxin มาจากภาษากรีก ว่า auxein หมายถึงการเจริญเติบโต

กลไกการทำงานของออกซิน

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

กลไกในการทำงานของออกซินในระยะที่ผ่านมาจะมีแนวความคิดเป็นสองอย่าง คือ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผนังเซลล์เป็นส่วนที่รับผลกระทบของออกซินและขยายตัว ส่วนอีกแนวคิดหนึ่งมุ่งไปที่ผลของออกซินต่อเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค ในปัจจุบันได้นำสองแนวคิดมาวิเคราะห์ ร่วมกันเพื่อศึกษากลไกในการทำงานของออกซิน และยังศึกษาผลของออกซินต่อเยื่อหุ้มเซลล์ด้วย

การขยายตัวของเซลล์จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณและกิจกรรมของเอนไซม์ โดยที่ออกซินจะมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิสม์ของกรดนิวคลีอิค โดยการศึกษาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เป็นไส้ของต้นยาสูบ ซึ่งจะเจริญไปเป็นกลุ่มเนื้อเยื่อ นั้นพบว่ามีปริมาณของ RNA เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะออกซินจะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ RNA มากขึ้น แล้วส่งผลไปถึงการเจริญของกลุ่มเนื้อเยื่อ ถ้าหากใช้สารระงับการสังเคราะห์โปรตีนหรือ RNA ความสามารถในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของออกซินจะหายไป

ดังนั้นจึงเป็นที่ชัดเจนว่าออกซินมีผลต่อระดับเอนไซม์ โดยผ่านทางการสังเคราะห์ RNA นอกจากนั้นออกซินยังมีผลกระทบต่อกิจกรรมของเอนไซม์โดยตรง เช่น การกระตุ้นให้เอนไซม์เกิดกิจกรรมหรือเปลี่ยนรูปมาอยู่ในรูปที่มีกิจกรรมได้แต่ไม่ว่าออกซินจะมีผลกระทบต่อเอนไซม์แบบใดก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ได้มุ่งความสนใจไปสู่เอนไซม์ที่สัมพันธ์กับกระบวนการขยายตัวของเซลล์ เซลล์พืชจะมีผนังเซลล์อยู่ข้างนอกสุด ดังนั้นการเจริญของเซลล์จะเกิดขึ้นได้เมื่อคุณสมบัติของผนังเซลล์เปลี่ยนไปในทางที่ก่อให้เกิดการขยายตัวของโปรโตพลาสต์ จากความจริงดังกล่าวการศึกษาทางด้านนี้จึงมุ่งไปสู่ผลกระทบของออกซินต่อคุณสมบัติของผนังเซลล์

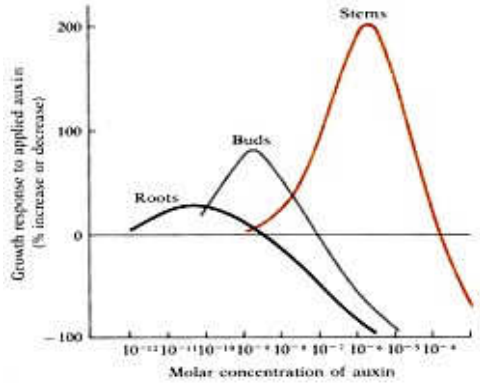
เซลล์พืชทุกชนิดที่ผ่านขั้นตอนของเนื้อเยื่อเจริญมาแล้วจะผ่านขั้นตอนการเจริญเติบโต 2 ขั้น คือ การแบ่งเซลล์และการขยายตัวแวคคิวโอขึ้นภายในเซลล์ (Vacuolation) ในการศึกษาการเจริญเติบโตของโคลีออพไทล์ของข้าวโอ๊ต พบว่าการแบ่งเซลล์จะหยุดเมื่อมีความยาว 10 มิลลิเมตร การเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นหลังจากนั้นจะเนื่องมาจากการขยายขนาดของเซลล์ ดังนั้นในการศึกษาถึงผลกระทบของออกซินต่อการเจริญเติบโต

ของพืชจึงเน้นไปที่ผลต่อการขยายตัวของเซลล์ ในระหว่างการขยายขนาดของเซลล์เพราะการขยายตัวของแวคิวโอ หรืออาจจะเกิดช่องว่างภายในเซลล์ขึ้น ที่ผนังเซลล์จะเกิดการยืดตัวชนิดที่ไม่สามารถหดได้อีก มีการทดลองหลายการทดลองสนับสนุนว่าออกซินเพิ่มการยืดตัวของผนังเซลล์ (Plasticity)

ในระหว่างการขยายตัวของเซลล์นั้น ไม่เพียงแต่ผนังเซลล์ยืดตัวเท่านั้น แต่ยังมีการเพิ่มความหนาของผนังเซลล์เพราะมีสารใหม่ ๆ ไปเกาะด้วย ซึ่งการเจริญดังกล่าวนี้ก็เป็นผลจากการกระตุ้นของออกซิน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการยืดตัวของเซลล์หยุดลงแล้ว

ผลของออกซินต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

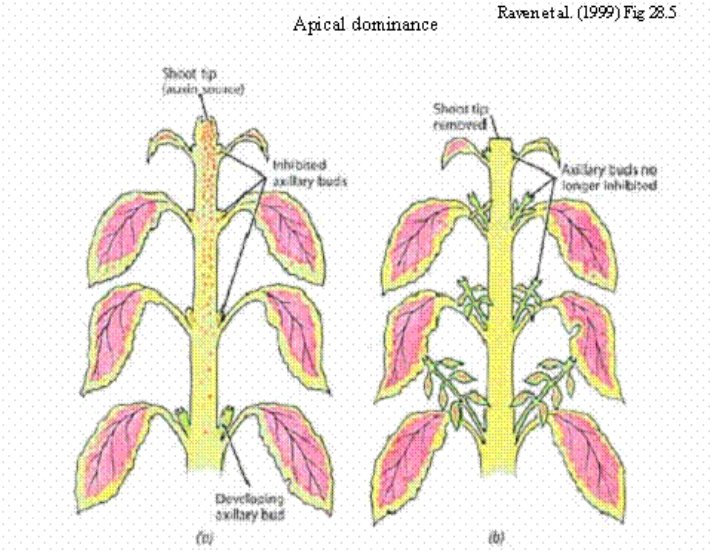
1) เร่งการเจริญเติบโตของพืช : อวัยวะแต่ละส่วนของพืชตอบสนองต่อออกซินต่างกัน โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซินที่เหมาะสมต่อการเจริญ เติบโตของลำต้น จะสูงกว่าความเข้มข้นที่ควบคุมการเจริญเติบโตของตา และของรากตามลำดับ ความเข้มข้นของออกซินที่ควบคุมการเจริญเติบโตของลำต้น ตา และราก โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 10-4 - 10-5, 10-8 - 10-9, และ 10-10 - 10-11 โมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการยับยั้ง การเจริญ เติบโต (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การตอบสนองของเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของพืชต่อออกซิน

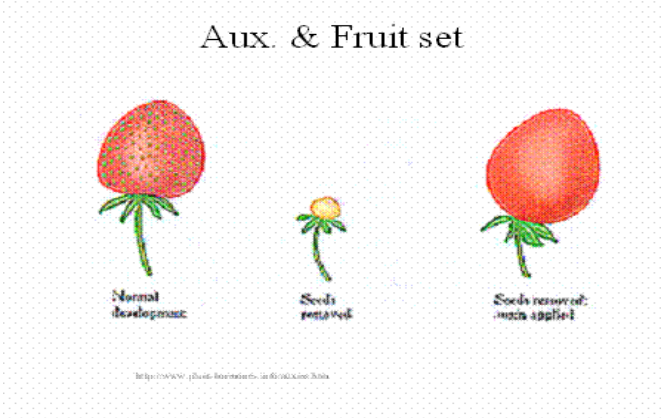
2) ควบคุมการเจริญเติบโตของตาข้างและกิ่ง : ส่วนยอดอ่อน (apical tissue) เป็นแหล่งผลิตออกซินที่สำคัญ แล้วส่งลงมาที่ส่วนต่างๆด้านล่าง เมื่อ ตาข้าง (lateral buds) ได้รับออกซินจากยอดก็ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ หรือไม่เจริญออกมาเลย (เนื่องจากมีระดับของออกซินสูงเกินไป) ออกซินยังมีผลต่อการทำมุมของกิ่งและใบกับลำต้นด้วย กิ่งหรือใบที่อยู่ตอนบนๆใกล้กับยอด จะทำมุมกับลำต้นแคบกว่าใบที่อยู่ส่วนล่าง ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การข่มของตายอด (Apical dominance) (ภาพที่ 2) ความรุนแรงของการข่มของตายอดนี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ภายใต้สภาพดังกล่าว นั้น พืชบางชนิดตาข้างจะไม่เจริญออกมาเลย แต่ในพืชบางชนิดตาข้างอาจเจริญเป็นกิ่งสั้นๆแต่ไม่ยืดยาวออกมา นอกจากนั้นการตอบสนองของตาข้างต่อ การข่มของตายอดยังขึ้นกับระยะห่างของตาข้างกับตายอดด้วย ถ้าตัดส่วนยอดออก อิทธิพลของการข่มของตายอดก็จะหมดไป การที่ออกซินจากตายอดทำใ ห้ตาข้างไม่เจริญนั้นอาจเกิดเนื่องจากว่า เมื่อมีออกซินมากเกินไปจะทำให้สมดุลย์ของฮอร์โมนสำหรับการเจริญเติบโตเสียไปส่งผลให้การพัฒนาของเนื้อเยื่อ

หยุดชะงัก โดยเฉพาะการพัฒนาของระบบท่อลำเลียงอาหารระหว่างลำต้นกับตาเกิดได้ไม่สมบูรณ์ การส่งอาหารไปยังตาก็เกิดไม่เต็มที่ ตาข้างก็ไม่เจริญ การ ให้ไซโตไคนินที่ตาข้างในอัตราที่เหมาะสมอาจทำให้สมดุลย์ระหว่างออกซินและไซโตไคนินดีขึ้น การพัฒนาของเนื้อเยื่อต่างๆก็เกิดได้ดี การลำเลียงอาหารไป ยังตาข้างก็เกิดได้ดี ตาข้างก็เจริญและพัฒนาได้



ภาพที่ 2 การเกิด Apical dominance

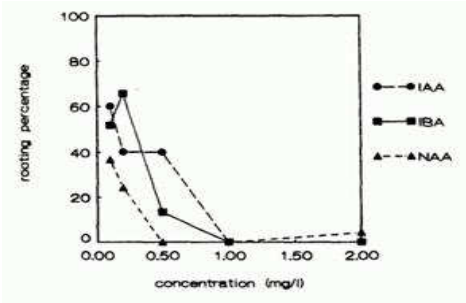
3) การควบคุมการเจริญของผล: หลังจากเกิดการผสมเกสร พืชจะสังเคราะห์ออกซินขึ้นมาเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผล พืชบางชนิดไม่สามารถผลิตออกซินออกมาได้จนกว่าจะมีการปฏิสนธิ หรือการสร้างเมล็ดเกิดขึ้นก่อน เช่น สตรอเบอรี่ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ผลของออกซินต่อการเจริญของผล

4) ควบคุมการเกิดราก: ออกซินในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยให้เกิดรากได้เร็วขึ้นและมากขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไป ก็จะยับยั้งการเจริญเติบโต ของรากได้ ออกซินส่งเสริมการเกิดรากและการพัฒนาใน

ระยะแรกของราก แต่จะยับยั้งการยืดตัวของราก ดังนั้นในระยะหลังของการเกิดรากจึงต้องการ ออกซินในปริมาณที่ต่ำ (ภาพที่ 4)



www.paeon.de/h1/albe/mic.html

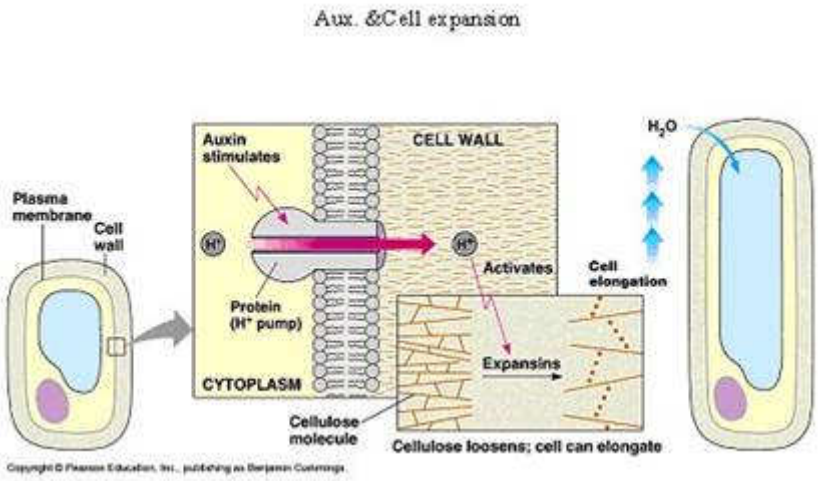
ภาพที่ 4 ผลของ auxin ต่อการเกิดรากของ Paeonia lactiflora

5) ควบคุมการหลุดร่วงของอวัยวะของพืช: ส่วนต่างๆของพืชเช่นใบ ดอก ผล ฯลฯ เมื่อแก่ก็จะหลุดร่วง โดยจะเกิดบริเวณของการหลุดร่วง (abscission zone) ซึ่งเนื้อเยื่อส่วนนี้จะแยกตัวออก ทำให้อวัยวะนั้นๆร่วงหลุดไป พบว่าถ้าให้ออกซินที่ส่วนล่างของชั้นของการหลุดร่วงจะทำให้การร่วงเกิด เร็วขึ้น แต่ถ้าให้ที่ส่วนบนของชั้นการหลุดร่วง การร่วงก็จะเกิดช้าลง

6) เร่งการออกดอกของพืชบางชนิด: เมื่อให้ออกซินแก่สับปะรด จะเร่งให้ออกดอกเร็วกว่ากำหนด แต่จริงๆแล้วออกซินไม่ได้มีผลโดยตรงต่อการออก ดอก แต่มันไปมีผลต่อการสร้างเอทธิลีน แล้วเอทธิลีนจึงไปมีผลต่อการออกดอกของสับปะรด

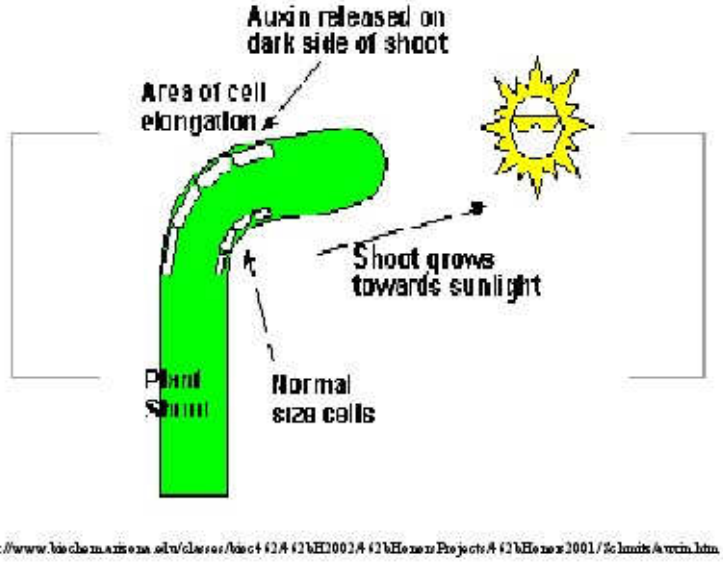
7) การยืดตัวของเซล: การทดลองในเรื่องนี้ส่วนใหญ่ทำใน coleoptile หรือเนื้อเยื่อของรากที่ตัดออกมา เนื้อเยื่อเหล่านี้มี IAA น้อย และเมื่อให้ได้รับ IAA เพิ่มเข้าไปการเจริญเติบโตก็จะเพิ่มขึ้นมาก ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการยืดตัวของเซลที่ตอบสนองต่อออกซิน อาจสรุปได้ดังนี้คือ เกิดการแตกตัวของ non-covalent bond ระหว่าง เซลลูโลสและ xyloglucans ในผนังเซลเพื่อลดแรงต้านทานการยืดตัว ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ความดันของเซลลดลง ส่งผลให้ค่าชลศักย์เป็นลบมากขึ้น น้ำจึงเคลื่อนเข้าไปภายในเซลและเกิดแรงเต่งดันออกภายนอกทำให้เซลยืดตัว หลังจากนั้นก็จะเกิดการจับกันของ non-covalent bond อีก ครั้งหนึ่ง

กลไกที่เกี่ยวข้องกับการคลายตัวของผนังเซลที่ได้รับความสนใจที่สุดคือ Acid-Growth Hypothesis ที่กล่าวว่า ออกซินทำให้ receptive cell ใน coleoptile หรือ ส่วนของลำต้นเกิดการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนเข้าไปในผนังเซลชั้นที่หนึ่ง (primary wall) ที่อยู่รอบๆ ซึ่งทำให้ค่า pH ลดลง และเกิดการคลายตัวของผนังเซล และการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยค่า pH ที่ต่ำอาจกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซล ซึ่งในสภาพ pH สูงมันจะไม่เกิด กิจกรรม (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 2.9 ผลของออกซินต่อการขยายขนาดของเซล

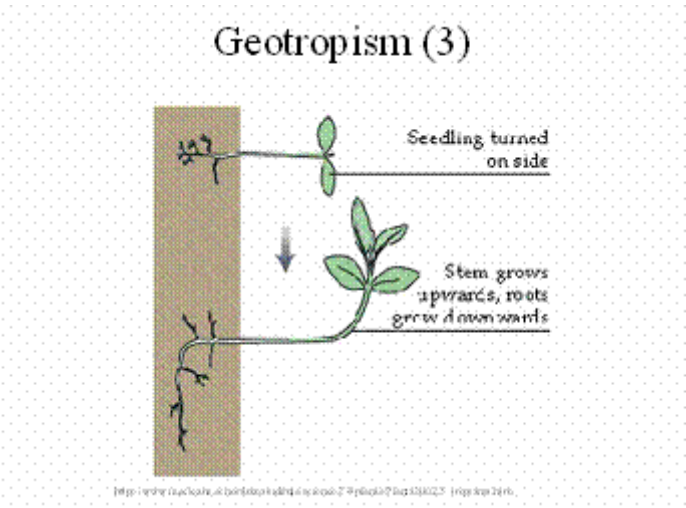
8) การตอบสนองต่อแสง (Phototropism) : เป็นการเคลื่อนไหวของอวัยวะของพืชในทางตอบสนองต่อทิศทางหรือความเข้มแสง จาก ทฤษฎี Cholodny-Went เกี่ยวกับการตอบสนองต่อแสงได้เสนอไว้ว่า แสงจากทางด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของออกซินไปยังอีกด้านที่บังเงา ดังนั้นด้านที่ บังเงาจะมีความเข้มข้นของออกซินสูงกว่าด้านที่ได้รับแสง (ภาพที่ 5) การกระจายตัวที่ไม่เท่ากันของออกซินนั้นคิดว่าเป็นตัวทำให้เกิดการโค้งงอของลำต้น เมื่อการเคลื่อนย้ายไปทางด้านข้างของออกซินถูกขัดขวางก็จะไม่เกิดการโค้งงอ



ภาพที่ 5 ผลของออกซินต่อการตอบสนองต่อแสงของพืช

9) การตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วง (Geotropism): เป็นการเคลื่อนที่ของอวัยวะของพืชทางตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วง (gravity) ถ้าให้ต้นพืชอยู่ในแนวนอน ส่วนยอดจะโค้งชูขึ้นในทางต้านแรงโน้มถ่วง (negative geotropism) แต่รากจะโค้งลงล่าง ไปตามแรงโน้มถ่วง (positive geotropism) (ภาพที่ 6) คาดว่าพืชรับรู้การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงโดย สตาโทลิท ซึ่งเป็นพลาสติดที่มีแป้งอยู่ เช่น อะไมโลพลาสต์ หรือ

คลอโรพลาสต์ เซลที่มี สตาโทลิท อยู่เรียกว่า สตาโทไซต์ สตาโทลิท จะเปลี่ยนตำแหน่งภายในเซลเมื่ออวัยวะมีการปรับตำแหน่ง โดย เทียบกับทิศทางของแรงโน้มถ่วง ทฤษฎีนี้ปัจจุบันก็ยังคงเป็นที่ถกเถียงกัน



ภาพที่ 6 ผลของออกซินต่อการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของต้นพืช

10) การสังเคราะห์เอทธิลีน : ในปี1935 Zimmerman and Wicoxon แสดงให้เห็นว่าออกซินกระตุ้นการสร้างเอทธิลีนในต้นมะเขือเทศจนถึงปัจจุบัน มีรายงานมากมายที่แสดงว่าออกซินกระตุ้นการสร้างเอทธิลีน ทั้งในต้นพืชและส่วนของต้นพืช และพบว่าการตอบสนองของพืชบางประการที่เกี่ยวกับออกซินนั้น ก็เกี่ยวข้องกับการสร้างเอทธิลีน

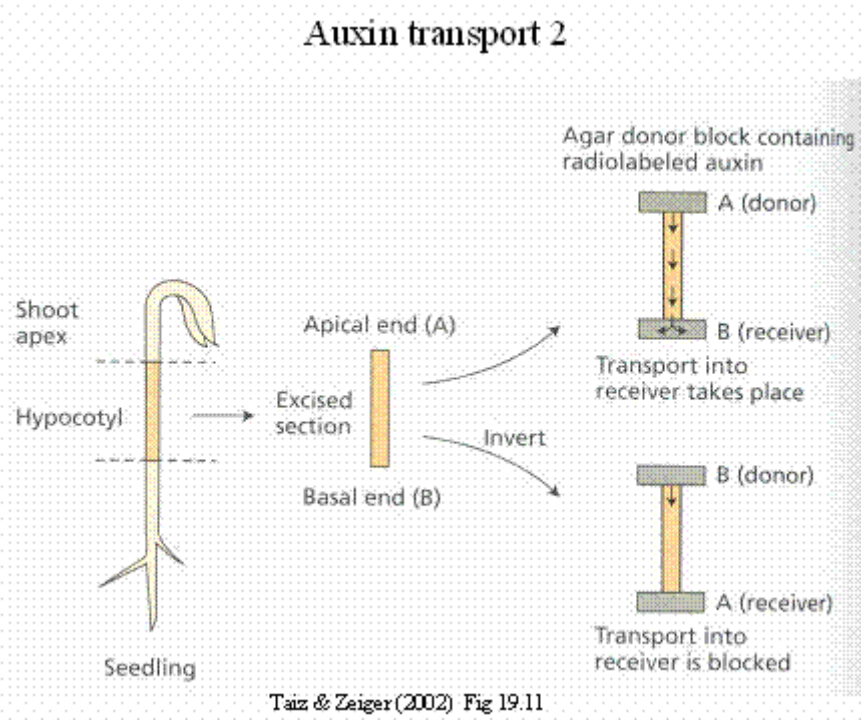
หลักการทำงานของออกซิน

1) ออกซินเพิ่มการยืดตัวของผนังเซล เป็นการยืดตัวแบบถาวร (plasticity) ทำให้เซลขยายขนาดขึ้นได้ (การยืดตัวของผนังเซล เป็นกระบวนการ ที่ต้อง ใช้พลังงาน)
2) ออกซินกระตุ้นการสร้างเอนไซม์บางชนิด การยืดตัวของผนังเซลจะต้องมีเอนไซม์มาย่อยสลาย ไมโครไฟบริลก่อนเมื่อพืชได้รับออกซินก็จะสร้าง เอนไซม์ cellulase ซึ่งจะย่อย เซลลูโลส ไมโครไฟบริล ได้

การเคลื่อนย้ายของออกซิน (Auxin transport)

การเคลื่อนย้ายของออกซินในต้นพืชเป็นแบบ Basipetally polar (ภาพที่ 7) คือเคลื่อนย้ายแบบมีทิศทาง จากยอดลงสู่ฐาน ทั้งในเนื้อเยื่อพาเรนไคมา และในระบบท่อลำเลียง และเป็นการเคลื่อนย้ายที่ต้องใช้พลังงาน (active transport) โดยมีอัตราการเคลื่อนย้าย 6-26 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ออกซินในรากนั้นส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ที่ปลายราก (root tip) และมีการเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ถัดไปแบบ Basipetally polar เช่นกัน ในอัตรา 1-2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ออกซินจากยอดที่เคลื่อนย้ายไปสู่รากนั้นมีน้อยมาก



ภาพที่ 7 การเคลื่อนย้ายของออกซินในพืช

การตอบสนองของพืชต่อออกซิน

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

ความสัมพันธ์ระหว่างออกซินกับการเจริญเติบโต

มีหลายปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดปริมาณของออกซินในแต่ละส่วนของพืช ในระยะต่างๆของการเจริญเติบโต มีการสร้างออกซินในปริมาณมากเพียงไม่กี่จุด แต่จะเคลื่อนย้ายไปทั่วเนื้อเยื่อพืช บริเวณที่สร้างมากที่สุดคือยอดและใบอ่อน เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ IAA นั้นมีอยู่ทั่วไป แต่จะเกิดกิจกรรมได้ดี ในส่วนที่มีกิจกรรมเมแทบอลิกสูงๆ ในทางกลับกัน ในบริเวณที่มีเอ็นไซม์ IAA oxidase สูง ก็จะมีปริมาณของ IAA ต่ำ

คุณสมบัติและการใช้ออกซินสังเคราะห์บางชนิด

NAA : Naphthaleneacetic acid - ใช้เร่งการเกิดราก ป้องกันผลร่วง เปลี่ยนเพศดอกของเงาะ การใช้มักพ่นไปที่ใบ ดอก หรือผลโดยตรง ตัวอย่างสาร NAA ที่มีจำหน่ายได้แก่ Planofix, Agro-plus

IBA : Indole butyric acid - เป็นสารที่เหมาะกับการใช้เร่งราก แต่เป็นพิษต่อใบพืช จึงใช้เร่งรากกิ่งปักชำหรือกิ่งตอน ราคาค่อนข้างสูง ตัวอย่างได้แก่ Seradix, Root-Gro

4-CPA : 4-chlorophenoxyacetic acid - ใช้ช่วยการติดผลในมะเขือเทศ

2,4-D : 2,4-dichlorophenoxyacetic acid - ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชใบกว้างและกก ในพืชปลูกตระกูลหญ้า เช่น ข้าว ข้าวโพด ตัวอย่างเช่น Hedonal, ทูโฟดี

จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)

กลไกในการทำงานของจิบเบอเรลลิน

การศึกษาด้านกลไกในการทำงานของจิบเบอเรลลินเกิดจากการที่พบว่ามีระดับของกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิดมีผลกระทบจากปริมาณของจิบเบอเรลลิน เอนไซม์ซึ่งมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับจิบเบอเรลลิน คือ เอนไซม์ แอลฟาและเบตา-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 ทำกันมากในเอนไซม์ แอลฟา อะมัยเลส ในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ ในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่แห้งที่ยังไม่ดูดซับน้ำจะไม่มีเอนไซม์แอลฟา อะมัยเลสปรากฏอยู่ เอนไซม์นี้จะปรากฏขึ้นและปลดปล่อยออกมาจากชั้นของอะลีโรนของเมล็ด เป็นการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลินซึ่งสังเคราะห์จากต้นอ่อนที่กำลังงอก เนื้อเยื่อชั้นอะลีโรนซึ่งแยกจากเมล็ดที่ไม่งอกจะมีกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลส น้อยมาก แต่ถ้านำเนื้อเยื่อนี้ไปแช่ในจิบเบอเรลลินจะทำให้เกิดการเพิ่มกิจกรรมของแอลฟา อะมัยเลสมากขึ้นโดยเกิดขึ้นหลังจากแช่ไว้นาน 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 จิบเบอเรลลินสามารถกระตุ้นการยืดยาวของช่อดอกไม้บางชนิด และทำให้ผลไม้มีรูปร่างยาวออกมา เช่น องุ่น และแอปเปิล

กะหล่ำปลีซึ่งเจริญในลักษณะต้นเตี้ยเป็นพุ่ม (Rosette) มีปล้องสั้นมาก เมื่อให้ GA3 กับต้นกะหล่ำปลีดังกล่าวจะทำให้สูงขึ้นถึง 2 เมตรได้ ถั่วพุ่มที่ได้รับ GA จะกลายเป็นถั่วเลื้อยได้ พืชซึ่งมีต้นเตี้ยทางพันธุกรรม เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่ว แตงกวาและแตงโมสามารถแสดงลักษณะปกติได้เมื่อได้รับ GA3 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

ไซโทไคนิน (Cytokinin)

เป็นสารประกอบ substituted adenine ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซล ไซโทไคนินนั้นพบในพืชชั้นสูง, มอส, รา แบคทีเรีย และใน tRNA ของจุลินทรีย์และเซลสัตว์จำนวนมาก ปัจจุบันพบว่ามีไซโทไคนินมากกว่า 200 ชนิด ทั้งที่เป็นสารธรรมชาติและสารสังเคราะห์

ผลของไซโทไคนินที่มีต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

1. กระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพใน tissue culture โดยต้องใช้ร่วมกับ Auxin ในการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นหากให้ฮอร์โมน ไซโตไคนินมากกว่าออกซิน จะทำให้เนื้อเยื่อนั้นเจริญเป็น ตา ใบ และลำต้น แต่ถ้าหากสัดส่วนของออกซินมากขึ้นกว่าไซโตไคนินจะทำให้เนื้อเยื่อนั้นสร้างรากขึ้นมา 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

1) การพัฒนาของตาและยอด (Bud and Shoot Development)
2) การงอกของเมล็ด และการขยายขนาดของเซลและอวัยวะ (Seed Germination, Cell and Organ Enlargement)
3) การชะลอการเสื่อมตามอายุ และการส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหาร (Delay of senescence and promotion of translocation of nutrients and organic substances)

การนำไซโทไคนินมาใช้ทางการเกษตร

1) ใช้ในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
2) ใช้ควบคุมทรงพุ่มของต้นไม้ กระตุ้นการเกิดกิ่งแขนง
3) กระตุ้นการเจริญของตา ในการขยายพันธุ์โดยการติดตา
4) ใช้ชะลอการแก่ของผลผลิต ช่วยรักษาพืชผักให้สดอยู่ได้นานกว่าปกติ และยืดอายุดอกไม้

เอทธิลีน (Ethylene)

เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชซึ่งควบคุมการเจริญเติบโตในหลายแง่ เช่น การพัฒนาการเสื่อมสลาย ขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ซึ่งเกิดเอทธิลีนขึ้นมา ผลของเอทธิลีนมีทั้งในแง่ที่เป็นประโยชน์หรือเป็นโทษต่อพืช เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีสภาพเป็นก๊าซซึ่งรู้จักกันมานานแล้ว จากการบ่มผลไม้ ในปี 1934 ได้มีการพิสูจน์ให้เห็นว่าเอทธิลีนเป็นก๊าซที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพืช และสามารถเร่งกระบวนการสุกได้ ต่อมาพบว่าการก่อกองไฟใกล้ๆ สวนมะม่วงและสับปะรดจะกระตุ้นให้ออกดอกได้ ซึ่งสารที่ทำให้เกิดการออกดอก คือ เอทธิลีนนั่นเอง เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในด้านหลังเก็บเกี่ยวด้วย

ต่อมาพบว่า ดอก เมล็ด ใบ และรากพืชสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้ เช่น ใน เซเลอรี่ พันธุ์ซึ่งต้นขาวเอง (Self blanching) พบว่า เซเลอรี่สามารถสร้างเอทธิลีนมากำจัดสีเขียวที่ก้านได้ นอกจากนั้นในปี 1935 ยังพบว่า การให้ออกซินกับพืชอาจจะกระตุ้นให้พืชสร้างเอทธิลีนได้ ซึ่งเป็นคำอธิบายได้ชัดเจนสำหรับกรณีที่เมื่อให้ออกซินกับพืชแล้วพืช ตอบสนองเหมือนกับได้รับเอทธิลีน ออกซินกับเอทธิลีนนั้นเมื่อให้กับพืชมักจะให้ผลส่งเสริมกัน ส่วนของพืชที่พบเอทธิลีนมากคือ ใบแก่ ผลไม้สุก และเนื้อเยื่อที่อยู่ภายใต้สภาพความเครียด (Stress)

การสังเคราะห์เอทธิลีน

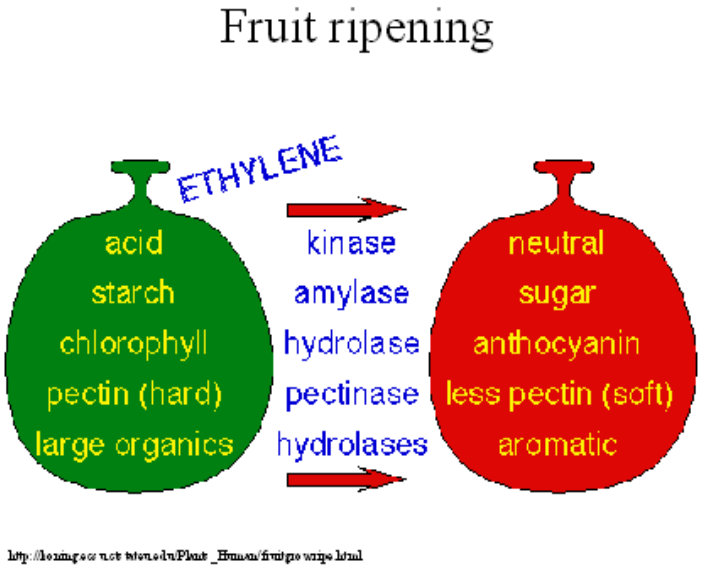
สารเริ่มต้นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์เอทธิลีนคือเมทไธโอนีน (Methionine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่ง พืชชั้นสูงทั้งหมดและเชื้อราบางชนิดสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้ ในต้นอ่อนนั้นยอดอ่อนเป็นส่วนสำคัญที่สังเคราะห์เอทธิลีน ทั้งนี้เพราะมีออกซินอยู่ในปริมาณสูงและเพราะออกซินสามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อสังเคราะห์เอทธิลีนได้ รากสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้บ้าง แต่ในปริมาณไม่มากนักแต่หากให้ออกซินกับรากจะทำให้รากสังเคราะห์เอทธิลีนได้มากขึ้น ใบแก่และกำลังจะตายจะสร้างเอทธิลีนได้มาก ส่วนดอกก็สร้างเอทธิลีนได้และเอทธิลีนจะมีผลทำให้ดอกไม้บางชนิดไม่บาน หรือเหี่ยวและกลีบร่วง ผลไม้สุกสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้มากกว่าผลไม้ที่ไม่สุก การสังเคราะห์เอทธิลีนเกิดโดยที่เมทไธโอนีนจะเปลี่ยนไปเป็น SAM (S-Adenosylmethionine) แล้วเปลี่ยนต่อไปเป็น ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) แล้วจึงเปลี่ยนเป็นเอทธิลีน โดยที่คาร์บอนอะตอมที่ 3 และ 4 ของเมทไธโอนีนจะกลายเป็นคาร์บอนของเอทธิลีน ในการสังเคราะห์นี้จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย การสังเคราะห์ เอทธิลีนจะหยุดชะงักเมื่อบรรยากาศขาด O2 นอกจากนั้นยังมีสารระงับการสังเคราะห์เอทธิลีนชนิดอื่นๆ อีก เช่น AVG (Aminoethoxy vinyl glycine)

เอทธิลีนสามารถถูกทำลายให้เป็นเอทธิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) ใน Vicia faba แต่กลไกในการทำลายนั้นยังไม่ทราบแน่ชัดนัก

ผลของเอทธิลีนต่อพืช

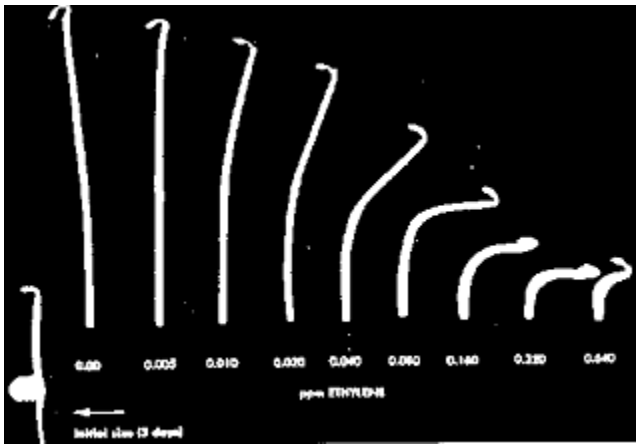
1) การสุกของผลไม้ (fruit ripening) : ผลไม้ที่มีเนื้อ (Fleshy fruits) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

- Non-climacteric fruit : มี 2 กลุ่มย่อย
  - พวกที่มีอัตราการหายใจสม่ำเสมอในระยะสุกแก่ เช่น ส้ม มะนาว ฟิกส์
  - พวกที่มีอัตราการหายใจลดลงตลอดในระยะสุกแก่ เช่น พริกไทย
- Respiratory climacteric fruits : เป็นผลที่ เมื่อมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (สะสมอาหารเต็มที่แล้ว) อัตราการหายใจจะลดลง แต่เมื่อผลไม้ไกล้สุก อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันเมื่อผลไม้สุก การหายใจที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วนี้ เรียกว่า climacteric rise ตัวอย่างเช่น กล้วย มะม่วง ท้อ แอปเปิล เป็นต้น (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ผลของเอทธิลีนต่อการสุกของผล

2) การเจริญเติบโตของต้นกล้า (seedling growth): (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ผลของเอทธิลีนต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วในที่มืด

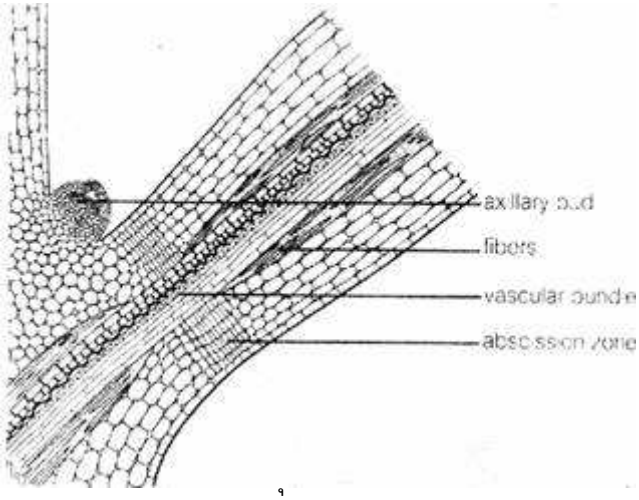
การตอบสนองที่ถูกกระตุ้นโดยเอทธิลีนนี้ทำหน้าที่เป็นกลไกเพื่อความอยู่รอด (Survival mechanism) ของต้นกล้าได้ เช่น เมื่อต้นกล้าถั่วงอกแทงผ่านสิ่งกีดขวาง เช่นชั้นดินที่แน่นแข็ง หิน หรือของบางอย่างซึ่งขัดขวางการโผล่ขึ้นของต้นกล้า มันก็จะใช้ตอบสนอง ต่อเอทธิลีน โดยจะมีการสร้างเอทธิลีนมากในบริเวณ.ใกล้ปลายยอดของต้นกล้า การโค้งงอมีลักษณะเป็นตะขอที่แน่น (tighly hooked) (ใน pea และ bean) และใช้ส่วนที่เป็นตะขอนั้นดันผ่านสิ่งกีดขวางในดินได้โดยไม่เกิดการเสียหายต่อจุดเจริญที่ปลายยอด เมื่อต้นกล้าโผล่พ้นดินและได้รับแสงสีแดงการสร้างเอทธิลีนก็จะลดน้อยลง

3) การหลุดร่วง (Abscission): (ภาพที่ 10) เหตุผล 3 ประการที่สนับสนุนบทบาทของเอทธิลีนต่อการหลุดร่วง

3.1) มีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้นก่อนที่จะร่วงในอวัยวะของพืชที่กำลังจะหลุดร่วงหลายชนิด

3.2) การทดลองให้เอทธิลีนหรือสารปลดปล่อยเอทธิลีนแก่พืชหลายชนิด พบว่าจะเกิดการกระตุ้นการหลุดร่วง

3.3) สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทธิลีน หรือสารยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน จะยับยั้งการเกิดการหลุดร่วง



4) การออกดอก (flowering)
5) การเสื่อมตามอายุ (Senescence)

การนำมาใช้ทางการเกษตร

1) ใช้บ่มผลไม้ให้สุก: ต้องใช้ห้อง หรือตู้ที่ปิดมิดชิด
2) เร่งการออกดอกในสับปะรด
3) ทำลายการพักตัวของไม้หัว มันฝรั่ง
4) ใช้ลดความเหนียวของขั้วผลในไม้ผลบางชนิด ทำให้เก็บเกี่ยวได้ง่าย

สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช
(Plant Growth Inhibitors)

เป็นกลุ่มของสารที่สามารถยับยั้ง หรือชะลอกระบวนการทางสรีรวิทยา หรือทางชีวเคมีในต้นพืชได้ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูกยับยั้ง เช่น กรดแอบซิสสิก (abscisic acid, ABA), สาร phenolics (เช่น cinnamic acid), สารพวก lactones (เช่น coumarin) เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็น secondary products ที่สะสมในพืช ไม่ค่อยมีบทบาทในกระบวนการเมตาโบลิซึมตามปกติ

กรดแอบซิสสิก (Abscisic acid, ABA)

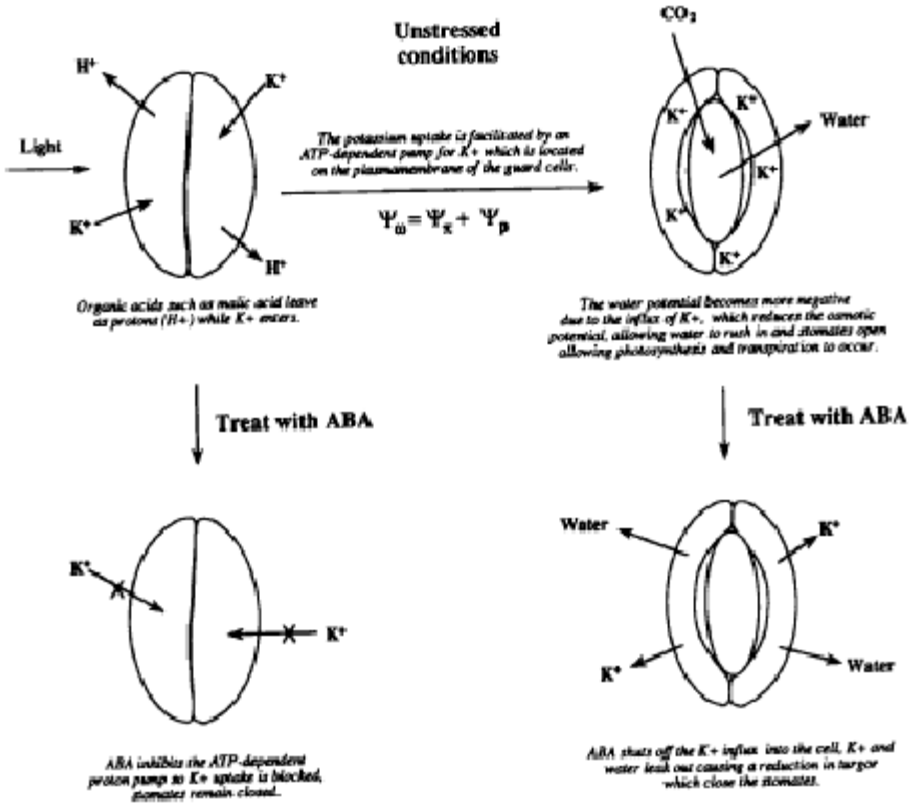
พบในพืชทั่วๆ ไป มีความรุนแรงมากกว่าสาร phenolics และ lactones แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่า กรดแอบซิสสิก เป็นสาร sesquiterpenoid ที่มีคาร์บอน 15 ตัว ซึ่งบางส่วนอาจสร้างขึ้นในคลอโรพลาสท์และพลาสติดอื่นๆ เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชทั้งในแง่การยับยั้ง และ ส่งเสริม มันทำหน้าที่เป็นสัญญาณว่าพืชอยู่ในสภาวะความเครียด แต่มันก็เกี่ยวข้องในกระบวนการทางสรีรวิทยาตามปกติของพืชด้วย นอกจากในพืช ชั้นสูงแล้วยังพบกรดแอบซิสสิก ในมอสส์ สาหร่ายสีเขียว และรา อีกด้วย

ผลของกรดแอบซิสสิกต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

กรดแอบซิสสิกมีบทบาทสำคัญมากในการทำให้พืชดำรงชีวิตอยู่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การทำงานของมันเกี่ยวข้องกับการทำให้พืช รอดพ้นสภาพวิกฤติต่างๆ เช่นการลดการสูญเสียน้ำในสภาวะแห้งแล้ง การพักตัวในสภาวะที่อากาศหนาวจัด เป็นต้น

1) การปิดปากใบ (Stomatal closure) : เป็นที่รู้กันว่ากรดแอบซิสสิกมีความสำคัญ ในฐานะที่เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ถูกสร้างขึ้น มา ในสภาวะความเครียด (Stress-induced Plant Growth Substance) การให้กรดแอบซิสสิกจะทำให้ปากใบปิดในสภาพที่มีแสง และจะปิดจนกว่ากรด แอบซิสสิกจะสลายตัวไป จากการใช้เทคนิค immunoassay สามารถหาปริมาณ ABA ที่ปริมาณน้อยมากๆได้ทำให้พบว่า หลังจากเกิดความเครียดเนื่อง จากน้ำ ระดับของกรดแอบซิสสิกในเซลคุมจะเพิ่มขึ้นถึง 20 เท่า รากที่เกิดความเครียดก็สร้างกรดแอบซิสสิกซึ่งสามารถส่งไปได้ทั่วต้นพืช เมื่อน้ำมีจำกัด ปลายรากจะเกิดสภาพความเครียดและสร้างกรดแอบซิสสิก ซึ่งจะถูกส่งไปยังใบและทำให้ปากใบปิด ทำให้ลดการสูญเสียน้ำและการสังเคราะห์แสง สิ่งนี้เป็นกลไกของความอยู่รอด เมื่อพืชได้รับแสงในสภาพปกติ จะมีการเคลื่อนย้ายโปแตสเซี่ยมเข้าไปในเซลคุม โดยปั๊มของโปแตสเซี่ยมอิออนที่ต้องใช้ พลังงาน (ATP-dependent pump for K+) ซึ่งอยู่ที่พลาสมาเมมเบรนของเซลคุม ในขณะเดียวกันไฮโดรเจนอิออนและกรดอินทรีย์เช่น กรดมาลิก จะถูกเคลื่อนย้ายออกไป เหตุนี้ทำให้ค่าศักย์ออสโมซิส มีค่าเป็นลบภายในเซล ซึ่งจะไปลดค่าชลศักย์ ทำให้น้ำไหลเข้าเซลคุม เกิดการเต่งและปากใบเปิด (ภาพที่ 11) เมื่อพืชเกิดความเครียด กรดแอบซิสสิกจะทำให้โปแทสเซียมอิออนออกจากเซลคุม และไฮโดรเจนอิออน และกรดอินทรีย์จะเข้าไปในเซลคุมเกิดการสูญ เสียน้ำออกไปทำให้

ปากใบปิด เมื่อปากใบปิดแล้ว กรดแอบซิสสิกก็ยังไปป้องกันการเปิดของปากใบที่เกิดจากการกระตุ้นของแสง โดยการไปขัดขวาง กระบวนการดังที่กล่าวข้างต้น จนกว่ากรดแอบซิสสิกจะถูกย่อยสลายไป



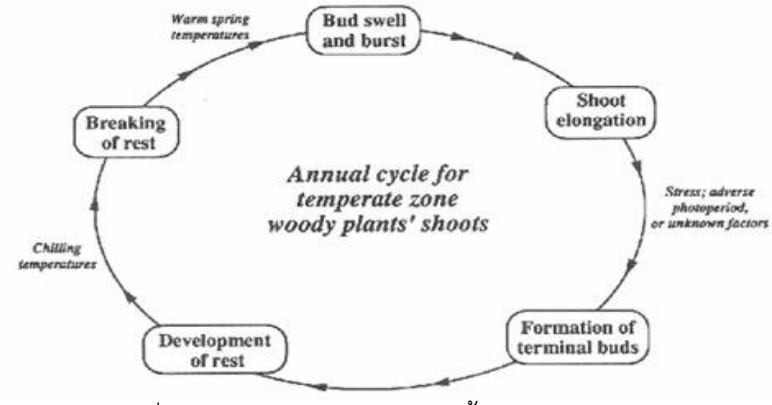
ภาพที่ 11 การเปิด-ปิดของปากใบ

2) การป้องกันสภาวะความเครียดที่เกิดจากเกลือและอุณหภูมิ (Defense against salt and temperature stress): ระดับของกรดแอบซิสสิก จะเพิ่ม ขึ้น ในทางที่ตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดจาก ความเค็ม ความเย็น และอุณหภูมิสูง ซึ่งแต่ละปัจจัยของความเครียดเหล่านั้น ก็มีผลทำให้พืชเกิด การ ขาด น้ำ มีผู้เสนอว่าการสังเคราะห์กรดแอบซิสสิกจะถูกควบคุมที่ระดับของการสร้าง mRNA และหลังจากการเพิ่มขึ้น ของกรดแอบซิสสิก ก็จะเกิดการ ปรับตัวใน การแสดงออกของยีน (gene expression) ในต้นพืชที่เกิด ความเครียด และยังพบว่าการให้กรดแอบซิสสิก จากภายนอกสามารถทำให้ พืชทน ต่อความเสีย หายจาก น้ำค้างแข็ง (frost) และเกลือที่มีมากเกินได้

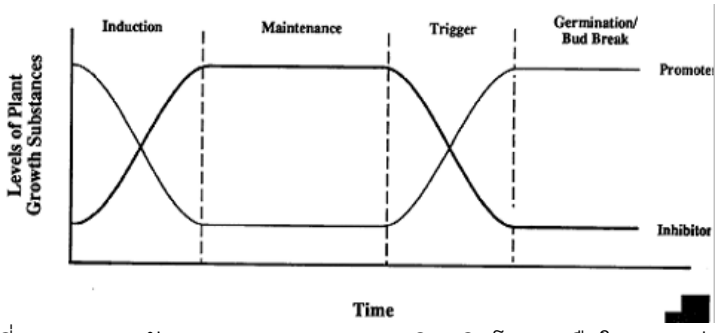
3) การพักตัว (Dormancy): ในระยะแรก พบว่าในสภาพวันสั้นระดับของกรดแอบซิสสิกในใบและ ตาจะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการพักตัว และการให้กรด แอบซิสสิกไปที่ตาก็ทำให้เกิดการพักตัวได้ แต่ก็ยังพบว่าการ ให้พืชได้รับสภาพวันสั้น ซึ่งจะชักนำให้เกิดการพักตัวในพืชบางชนิดนั้น ไม่ได้ส่งเสริมการเพิ่ม ระดับของกรด แอบซิสสิกที่สัมพันธ์กับการชักนำการพักตัว และมีการศึกษาอีกมากที่แสดงให้เห็นว่า การให้กรดแอบซิสสิก จากภายนอกจะส่งเสริมการพัก ตัวของเมล็ดพืชหลายชนิด จากข้อมูลเหล่านี้อาจสรุปได้อย่างหนึ่งว่า ในพืชบาง

ชนิดกรดแอบซิสสิกมีความสำคัญในตัวของมันเอง แต่ในพืชบางชนิด หรือ บางระบบนั้น ปฏิกริยาร่วมระหว่างกรดแอบซิสสิกกับฮอร์โมนพืชชนิดอื่นๆ ก็มีความสำคัญในการแสดงออกของพืช

4) การหลุดร่วง การงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโต (Abscission, Seed germination, and Growth): เริ่มแรกมีการเสนอว่า กรดแอบซิสสิก ทำ ให้เกิดการหลุดร่วงของใบ ผล และดอก แต่ปัจจุบันยอมรับกันว่าไม่ใช่ มีการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับผลของเอทธิลีน และ กรดแอบซิสสิก ต่อการเกิดการ หลุดร่วง และสรุปว่ากรดแอบซิสสิกไม่ได้มีผลโดยตรงต่อกระบวนการหลุดร่วง กรดแอบซิสสิกอาจทำหน้าที่โดยทางอ้อม โดยทำให้เกิดการเสื่อมตามอายุก่อนกำหนด (premature senescence) และมีผลให้เกิดการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นยีนจำนวนมาก ที่เกี่ยวข้องในการเกิดการหลุดร่วงเป็นที่ยอมรับกันว่า กรดแอบซิสสิกมีผลต่อกระบวนการต่างๆ อย่างกว้างขวาง ทั้งทางสรีรวิทยา, ชีวเคมี และระดับโมเลกุล ในเมล็ด และยังพบกรด แอบซิสสิกโดยทั่วไปในเมล็ดที่กำลังพัฒนา อย่างไรก็ตามก็ยังไม่ทราบถึงบทบาทโดยตรงของกรดแอบซิสสิกในกระบวนการเหล่านั้นกรดแอบซิสสิก และสารยับยั้งการเจริญเติบโตอื่นๆ ยังเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์อะลีโลพาธีในพืชด้วย



ภาพที่ 12 วงจรการพักตัวของไม้เนื้อแข็งในเขตอบอุ่น



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงระดับของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในระยะต่างๆของการพักตัว

การใช้ประโยชน์ของสารยับยั้งการเจริญเติบโต

1) ลดความสูงของพืช
2) เพิ่มการแตกตาข้าง
3) ยับยั้งการงอกของไม้หัวหลังการเก็บเกี่ยว

สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช
(Plant Growth Retardants)

สารกลุ่มนี้ไม่ได้สร้างขึ้นมาในพืชตามธรรมชาติ แต่เป็นสารที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาโดยเลียนแบบการทำงานของฮอร์โมนพืช เพื่อใช้ทางการเกษตร ในการชะลอการเจริญเติบโตของพืชสารกลุ่มนี้มีมากมายหลายชนิด แต่ที่รู้จักกันดีและใช้กันมากก็คือ กลุ่มที่ยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน แต่ก็ยังมีสาร ชะลอการเจริญเติบโตของพืชอื่นๆอีกมาก ที่ชะลอการเจริญเติบโตโดยทางอื่นที่ไม่ใช่ยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน

การใช้สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช

การควบคุมการเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นสำคัญมากทางการเกษตร ในไม้ดอกจำนวนมากจำเป็นต้องลดขนาดของต้นเพื่อความเหมาะสมในการขาย แต่จะต้องทำโดยไม่ให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพด้านความงาม ความสูงที่เหมาะสมสำหรับไม้กระถางส่วนใหญ่คือ 20-25 ซม. แต่มันก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ขนาดของกระถาง ความต้องการของตลาด และชนิดของพืช สิ่งสำคัญในการใช้สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช เพื่อลดขนาดของพืชก็คือ ต้องให้แน่ใจว่า ไม่มีผลเสียต่อคุณภาพโดยรวมของพืช และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว มีการใช้สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชมาหลายปีแล้ว ในการควบคุมขนาด รูปร่าง และคุณภาพของไม้ดอก ปัจจุบันมีการใช้สาร CCC, ancymidol และ paclobutazol กันมากในพืชพวก poinsettias และ chrysanthemum สารพวก uniconazol, tetcyclasis ก็สามารถใช้ได้

การใช้สารชะลอการเจริญเติบโตในต้นกล้า หรือ ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของต้นไม้ใหญ่ นั้นปัจจุบันยังไม่ค่อยมี ถึงแม้ว่าจะสามารถใช้ได้ หลายปีมา นี้มีความสนใจที่จะใช้สารชะลอการเจริญเติบโตทดแทนการตัดหญ้าในหญ้าสนาม เพราะสามารถลดค่าแรง ค่าเชื้อเพลิงและเครื่องมือในการจัดการสนาม หญ้าได้ มีการทดสอบสารชะลอการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดในการควบคุมการเจริญเติบโของหญ้าสนาม พบว่า paclobutazol, flurprimidol, mefluidide และ amidochlor นั้นผลดีที่สุด แต่มีปัญหาที่พบคือผลที่ได้ไม่คงที่, ความเป็นพิษต่อต้นหญ้า และทำให้ความสามารถในการฟื้นตัวของ ต้นหญ้า ลดลง ซึ่งจะต้องแก้ไขก่อนจะนำมาใช้อีกประการที่สำคัญคือ การใช้สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชควบคุมการหักล้มของธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าว บาร์เลย์ การหักล้มเป็นปัญหาที่รุนแรงที่ลดผลผลิตและคุณภาพ การใช้สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชไปลดการหักล้ม เป็นการช่วยให้เก็บเกี่ยวได้ง่าย สาร สองตัวที่ใช้กันมากได้แก่ CCC และ ethephon แต่สารอื่นๆก็สามารถใช้ได้ผล maeleic hydrazide เป็นสารที่ใช้ยับยั้งการแตกหน่อ (sprout inhibitor) ในหอม หัวใหญ่และมันฝรั่งในช่วงที่ทำการเก็บรักษาไว้ ทั้ง paclobutazol และ uniconazol สามารถเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกโดยวิธีย้ายกล้าได้ สารชะลอการ เจริญเติบโตของพืชนั้นสามารถใช้ได้หลายด้านในพืชผัก แต่ปัจจุบันยังมีการใช้กันน้อยขนาดและรูปร่างของไม้ผลผลัดใบ และไม้ผลัดใบนั้นก็สำคัญการ ควบคุมขนาดของไม้ผลเหล่านั้นอาจทำได้หลายวิธี การใช้วิธีการทางเขตกรรมเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของไม้ผลผลัดใบและไม้ผลเปลือกแข็ง (nut) นั้น ก็ยังได้ผลจำกัด เพราะมีความผันแปรมากในการผลิตพืชที่มี

อายุหลายปี ในช่วงทศวรรษ 1960s เริ่มมีการสนใจใช้สารเคมีมาควบคุมการเจริญเติบโตของ ไม้ผล โดยเริ่มจาก daminozide ซึ่งสามารถลดการเจริญเติบโตของลำต้น และยังกระตุ้นการชักนำตาดอก ทำให้มีการออกดอกเพิ่มขึ้นในแอปเปิล สาลี่ และ เชอร์รี่ ในปี 1989 สาร daminozide ถูกยกเลิกการใช้ในอเมริกา เกี่ยวกับปัญหาสุขภาพและสิ่งแวดล้อม มีการศึกษาสารใหม่ๆและพบว่า paclobutazol ก็ใช้ได้ผลดีในการชะลอการเจริญเติบโตของไม้ผลผลัดใบ และยังช่วยเพิ่มการสร้างตาดอกด้วย สาร paclobutazol ยังสามารถใช้ในการปลิดผลย่อย (Fruitlet abscission) เมื่อใช้ในช่วงที่ดอกบานเต็มที่ (full bloom) หรือก่อนหน้านั้นเล็กน้อย สารพวก triazoles ควบคุมการเจริญเติบโตในพืชพวก nut ได้ผลดีในระยะ ต้นกล้าอ่อน และในต้นที่โตเต็มที่แล้ว สารpaclobutazol สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางลำต้นขององุ่นโดยไม่เกิดผลเสียต่อผลผลิต คุณภาพผล และการ เจริญของตาที่พักตัว ในส้มที่นิยมปลูกโดยใช้จำนวนต้นต่อพื้นที่สูง เพราะให้ผลตอบแทนเร็ว แต่จะต้องควบคุมการเจริญเติบโต ในปัจจุบันวิธีการควบคุมการ เจริญเติบโตที่ยอมรับกันก็มีเพียงไม่กี่วิธี การใช้สาร paclobutazol ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้ผลดี ใน tangelo seedling, sour orange seedling และ lemon tree

การใช้ประโยชน์ในทางเกษตร

1) ลดความสูงของต้นพืช
2) ป้องกันการหักล้มในธัญพืช
3) เร่งการออกดอกและติดผลของไม้ผลบางชนิด

บรรณานุกรม

ปรารถนา จันทร์ทา, พัชราพรรณ คงเพชรศักดิ์ และสุกานดา ดอกสันเทียะ (2556) **ฮอร์โมนพืช วิชาที่ว่าด้วยการศึกษา ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับพืช.** สืบค้นจาก http://mylesson.swu.ac.th/bi456/Plant%20hormone/Index/Index%20first.html. วันที 11 กันยายน 2556.

ดนัย บุณยเกียรติ (2556) **สรีระวิทยาของพืช.** สืบค้นจาก http://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY10_hormone.htm**.** วันที่ 11 กันยายน 2556.