

บทที่ 13

การควบคุมภายในสัตว์และพืช

เค้าโครงเรื่อง

13.1 การควบคุมภายในสัตว์

13.1.1 การควบคุมด้วยระบบประสาท

13.1.2 การควบคุมด้วยระบบภูมิคุ้มกัน

13.1.3 การควบคุมด้วยฮอร์โมน

13.2 การควบคุมภายในพืช

13.2.1 ฮอร์โมนพืช

13.2.2 การเคลื่อนไหวของพืช

13.2.3 ไฟโตเพอริโอดีซึม

สิ่งมีชีวิตนอกจากถูกควบคุมลักษณะต่าง ๆ ตลอดจนกลไกการผลิตเอนไซม์ด้วยยีนแล้ว ยังมีระบบควบคุมภายในเพื่อให้สัตว์มีความเหมาะสมต่อการอยู่รอดของตนเอง การควบคุมภายในของสัตว์มีความซับซ้อนมากกว่าของพืช เนื่องจากสัตว์มีระบบประสาทและอวัยวะต่าง ๆ ที่ทำงานซับซ้อนมากกว่า จึงมีระบบควบคุมภายในมาจากหลายแหล่ง ที่ควรทราบมี 3 แหล่งหลักคือ ระบบประสาท ระบบภูมิคุ้มกัน และฮอร์โมน ทั้ง 3 ระบบส่วนใหญ่จะทำงานประสานกัน ในกรณีของพืชจะถูกควบคุมด้วยฮอร์โมนและความเข้มของแสง

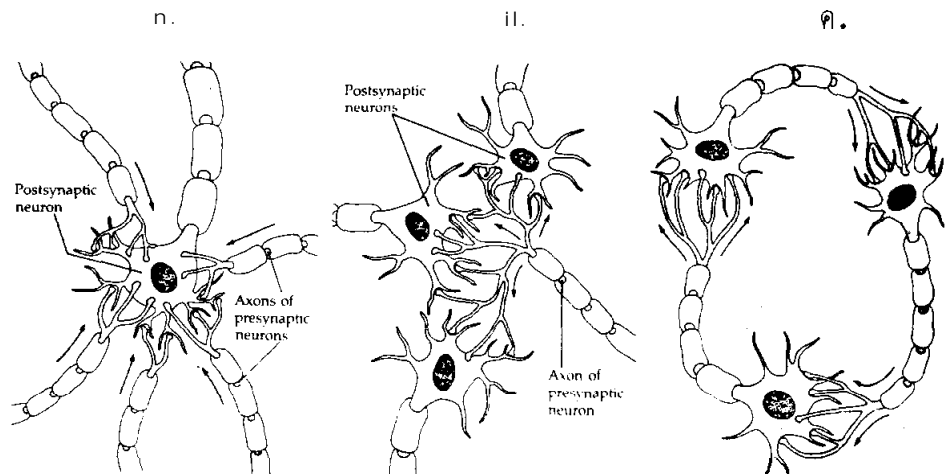
13.1 การควบคุมภายในสัตว์

สัตว์มีระบบควบคุมภายในตนเองเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกด้วยระบบประสาท เพื่อตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายด้วยระบบภูมิคุ้มกัน และเพื่อการเจริญการสืบพันธุ์ ตลอดจนกลไกการทำงานตามคำสั่งของระบบประสาทด้วยฮอร์โมน การทำงานควบคุมสมดุลของร่างกายทุกระบบส่วนใหญ่มีได้ทำงานเพียงระบบเดียว มักมีการประสานกันตั้งแต่ 2 ระบบขึ้นไป และทำงานประสานกับการควบคุมของระบบประสาท

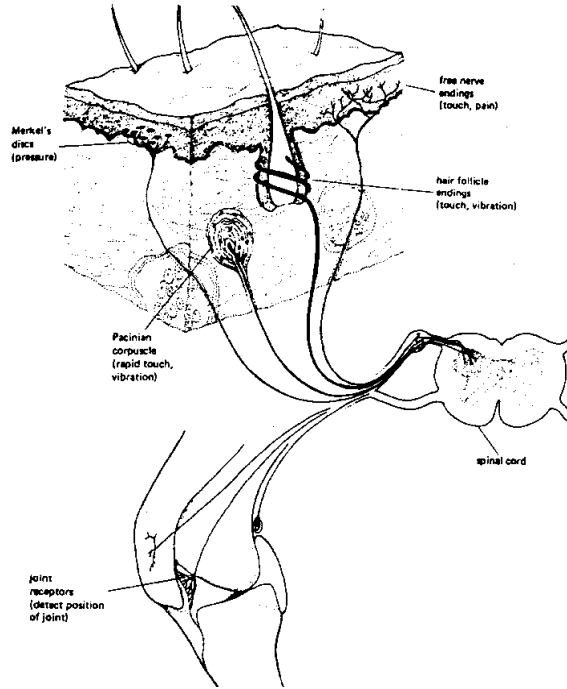
13.1.1 การควบคุมด้วยระบบประสาท ระบบประสาทของสัตว์ชั้นสูง โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ประกอบด้วย (1) ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) คือสมองและไขสันหลัง และ (2) ระบบประสาทอัตโนมัติ (ANS) คือปมประสาทซิมพาทิกและพาราซิมพาทิก ระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่รับและส่งกระแสความรู้สึกผ่านเข้าทางเส้นประสาทรับความรู้สึกซึ่งมีปมรับการกระตุ้นอยู่ที่อวัยวะต่าง ๆ ทั้งที่อยู่ภายนอก (ได้ผิวหนัง กล้ามเนื้อ) และที่อยู่ภายใน การรับและส่งกระแสความรู้สึกเป็นคลื่นไฟฟ้าเคมีเรียก **neurotransmitter** ผ่านจุดเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนของเซลล์ประสาทแรกกับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทถัดไปเรียกจุดเชื่อมต่อนี้ว่า **ซินแนปส์ (sinaps)** การเชื่อมต่อนี้อาจจากเซลล์หนึ่งไปยังหลายเซลล์ หรือจากหลายเซลล์เข้าสู่เซลล์เดียวหรือครบเป็นวงจรแล้วแต่กรณี ตามลักษณะการทำงานของระบบประสาทในสัตว์แต่ละชนิด (รูป 13-1) เมื่อการกระตุ้นเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางแล้วการตอบสนองจะออกผ่านทางเส้นประสาทรับความรู้สึก (**sensory nerve**) หรือ เส้นประสาทสั่งการ (**motor nerve**) แล้วแต่กรณี เช่น การกระตุ้นด้วยการกดหรือใช้เข็มจี้ที่ผิวหนังบริเวณหัวเข้าปลายประสาทรับความรู้สึกจะส่งกระแสความรู้สึกเข้าไปยังไขสันหลังแล้วสั่งการมายังกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อหดตัวกระตุ้นให้ต้นขาช่วงล่างออกไปข้างหน้า (รูป 13-2)

รูป 13-1 การเชื่อมต่อของวงจรเซลล์ประสาท ก. แบบรับการกระตุ้นจากหลายเซลล์เข้าสู่เซลล์เดียว ข. แบบรับการกระตุ้นจากเซลล์เดียวกระจายไปยังหลายเซลล์ ค. แบบรับจากเซลล์กระตุ้นแล้ววนกลับมายังเซลล์ที่ถูกกระตุ้นอีกซึ่งเชื่อว่าเป็นแบบการทำงานของ ความจำ

จาก Campbell, Neil A. 1990



รูป 13-2 แผนภาพบริเวณรับการกระตุ้นที่ผิวหนังซึ่งกระแสรับความรู้สึกเข้าสู่สันหลังและสั่งการออกมายังกล้ามเนื้อทำให้ตัวเข้ากระดูก



จาก Audesirk. G. & Teresa Audesirk 1986

การทำงานของระบบประสาทเป็นเรื่องซับซ้อนมาก นอกจากจะทำงานโดยระบบประสาทส่วนกลางแล้ว ระบบประสาทอัตโนมัติยังควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในและควบคุมการตอบสนองนับพันต่อสิ่งเร้า เช่นการหรีม่านตาทำงานโดยระบบประสาท พาราซิมพาเทติก แต่การขยายม่านตาทำงานโดยระบบประสาทซิมพาเทติก (รูป 13-3)

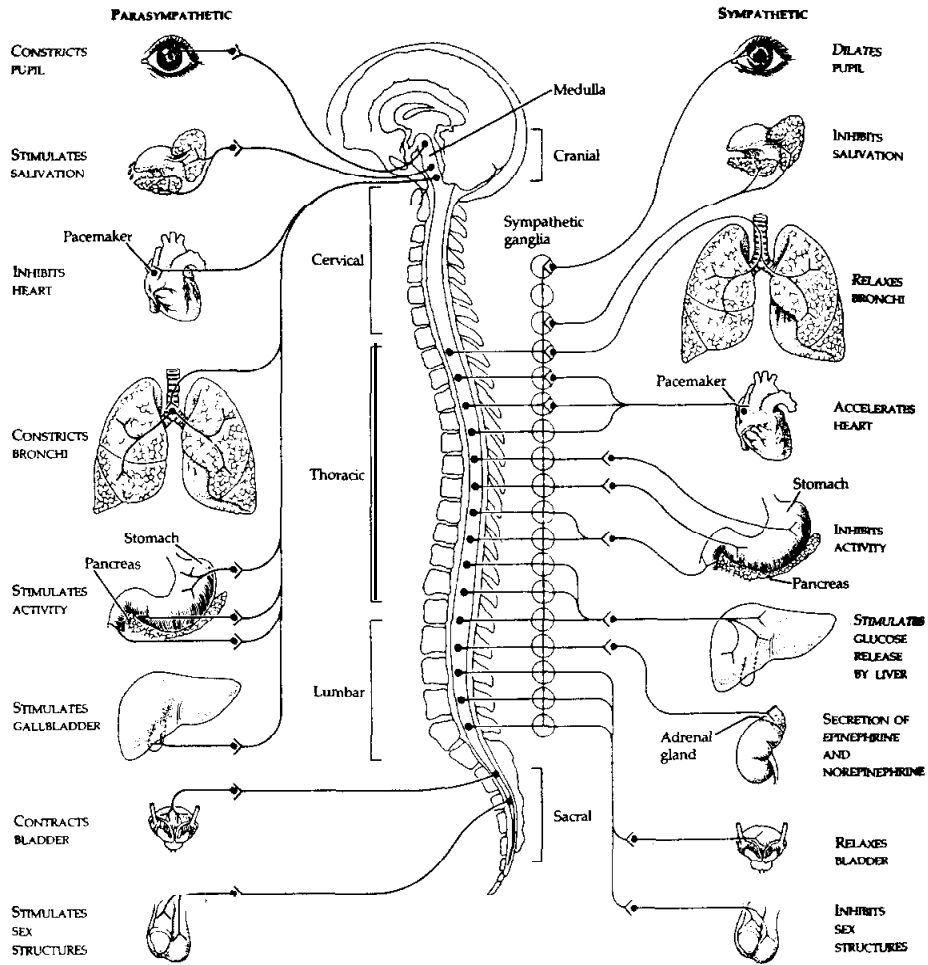
ระบบประสาทมีอวัยวะรับการกระตุ้น 5 ประเภทคือ (1) รับการกระตุ้นเชิงกล (mechanoreceptor) เช่นรับการสัมผัสที่ขน การรับรู้แรงดึงดูดของโลก การรับรู้แรงสั่นสะเทือนของเสียง (2) รับการกระตุ้นของแสง (photoreceptor) เช่นการมองเห็น การตอบสนองต่อแสง (เข้าหาหรือหนีแสง) (3) รับการกระตุ้นของอุณหภูมิ (thermoreceptor) เช่น สัตว์ขาปล้องดูดเลือดไวต่ออุณหภูมิของสัตว์เลือดอุ่นที่มาอยู่ใกล้ หรือหูล้อมรับรู้อุณหภูมิของสัตว์เลือดอุ่นได้ในระยะไกล สัตว์เลือดอุ่นควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกโดยมีศูนย์ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ไฮโปทาลามัสของสมอง ทำให้เหงื่อออกเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น และหนาวสั่นเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลงเป็นการช่วยให้เลือดหมุนเวียนได้

มากขึ้น (4) รับการกระตุ้นของสารเคมี (chemoreceptor) เช่น อาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฮอร์โมน และนิวโรทรานสมิตเตอร์ (5) รับการกระตุ้นของไฟฟ้า (electroreceptor) เช่น ปลากระดูกอ่อน และปลากระดูกแข็งบางชนิดมีอวัยวะเส้นข้างตัวที่ปรับเปลี่ยนสำหรับรับการกระตุ้นจากกระแสไฟฟ้าของน้ำ เพื่อประโยชน์ของการล่าเหยื่อหรือหนีศัตรูในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น ตุ่นปากเป็ด (*Platypus*) มีอวัยวะรับการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าอย่างอ่อนที่ปาก ทำให้ทราบว่ามีเหยื่ออยู่ในที่ใด ด้วยระบบประสาทที่พัฒนาจนเหมาะสมในสัตว์แต่ละชนิดทำให้สัตว์สามารถควบคุมกลไกการทำงานของตนเอง ให้สามารถมีชีวิตรอดอยู่ในสภาพแวดล้อมของตนเองได้

13.1.2 การควบคุมด้วยระบบภูมิคุ้มกัน ระบบภูมิคุ้มกันเป็นระบบที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบควบคุมภายในสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพื่อป้องกันมิให้สิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำลายอวัยวะภายในแล้วลุกลามไปทั่วร่างกาย สิ่งแปลกปลอมได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย เซลล์ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เซลล์มะเร็ง อนุภาคของสาร สารเคมีประเภทสารก่อกำเนิดภูมิคุ้มกัน สิ่งก่อกำเนิดไฮเพอร์เซนซิวิตี (hypersensitivity agent) แม้กระทั่งเซลล์หรือผลิตภัณฑ์ของเซลล์ของตัวเองบางครั้งอาจกลายเป็นสารก่อกำเนิดภูมิคุ้มกันขึ้นมาได้ การควบคุมประกอบด้วยกลไกหลัก 2 ระบบคือ (1) กลไกป้องกันไม่เฉพาะ (nonspecific defense mechanism หรือ cellular defense system) และ (2) กลไกป้องกันเฉพาะ (specific defense mechanism หรือ humoral immunity)

(1) กลไกป้องกันไม่เฉพาะ เป็นกลไกป้องกันสิ่งแปลกปลอมด้วยเซลล์พิเศษทำหน้าที่กินสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ถือเป็นด่านแรกที่ป้องกันไม่ให้สิ่งแปลกปลอม โดยเฉพาะเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจหรือทางบาดแผลแพร่กระจายไปยังส่วนอื่น ประกอบด้วยกลไก 2 ระบบคือ การตอบสนองต่อการอักเสบ (inflammatory response) ด้วยเซลล์ทำหน้าที่กินและ natural killer cell อีกระบบหนึ่งก็คือ การตอบสนองด้วยภูมิคุ้มกัน (immune response) ซึ่งทำงานด้วยโปรตีนป้องกันจุลชีพที่เรียกว่า อินเตอร์เฟอรอน (interferon)

รูป 13-3 แผนภาพแสดงหน้าที่การทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกและซิมพาเทติก ต่ออวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย ให้สังเกตปมประสาทของพาราซิมพาเทติกอยู่ที่ส่วนต้น และส่วนท้ายของไขสันหลังต่างจากซิมพาเทติกที่ออกจากบริเวณส่วนกลาง

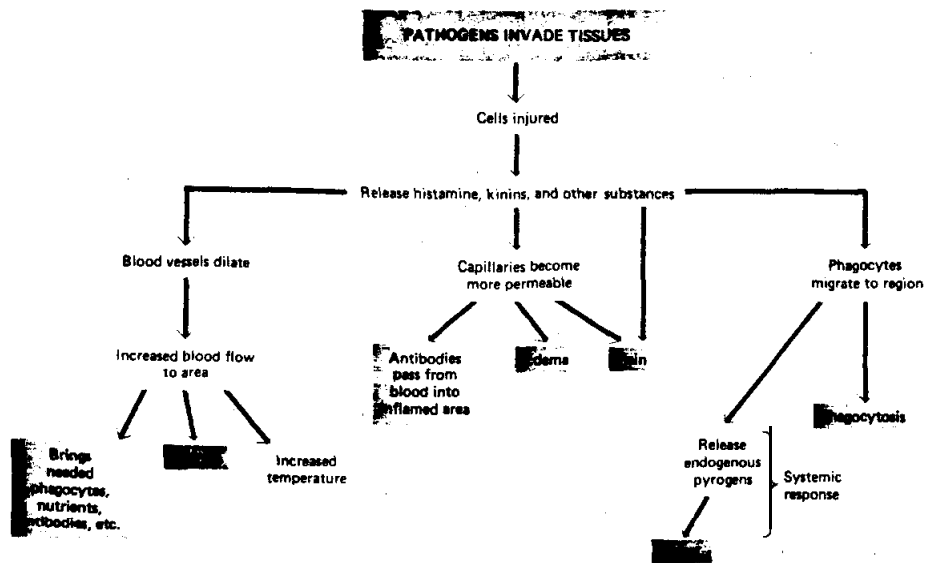


จาก Campbell, Neil A. 1990

ก. การตอบสนองต่อการอักเสบ การอักเสบเริ่มจากมีบาดแผลที่เนื้อเยื่อ และมีแบคทีเรียหรือไวรัสผ่านเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันข้างเคียงจุดที่เกิดบาดแผล เซลล์ที่ถูกทำลายจะปล่อยสารฮีสตามีน ไคนิน และสารอื่นออกมา ทำให้หลอดเลือดขยายตัวเลือดจะไหลสู่บริเวณบาดแผลข้างลง ขณะเดียวกัน หลอดเลือดฝอยมีสภาพซึมผ่านได้มากขึ้น จึงทำให้มีของเหลวออกไปสู่เนื้อเยื่อมากเรียกว่า บวมน้ำ (edema) มีอาการปวดแสบปวดร้อน เซลล์ทำหน้าที่กินซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ แมโครฟาจ (macrophage) และนิวโทรฟิล (neutrophil) จะ

กินแบคทีเรียหรือไวรัสแล้วย่อยให้ตายด้วยเอนไซม์ในไลโซโซม (รูป 13-4) การป้องกันเฉพาะที่อาจกำจัดสิ่งแปลกปลอมได้หรือไม่ได้แม้กระทั่ง ถ้ากำจัดได้ขาดแผลจะได้รับการซ่อมแซมด้วยเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ถ้ากำจัดไม่ได้แบคทีเรียหรือไวรัสปล่อยสารพิษออกมาทำให้เกิดอาการไข้ ซึ่งต้องใช้กลไกป้องกันเฉพาะต่อไป สำหรับแอนเชอร์เซลล์เลอร์ เซลล์ ไม่ได้กินจุลชีพโดยตรง แต่จะเข้าไปทำลายเซลล์โดยปล่อยเอนไซม์มาย่อยเซลล์ที่กินจุลชีพเข้าไปแล้ว

รูป 13-4 แผนภาพแสดงการตอบสนองต่อการอักเสบซึ่งเกิดขึ้น ณ บริเวณที่มีบาดแผล การอักเสบก่อให้เกิดผื่นแดง (redness) การบวม น้ำ ปวดแสบปวดร้อน และถ้าสาเหตุของการอักเสบไม่ถูกกำจัดในเวลาอันควรจะทำให้มีอาการไข้



จาก Vilee, Claude A., et al. 1989

ข. การตอบสนองด้วยอินเทอร์เฟอรอน อินเทอร์เฟอรอนเป็นสารประเภทโปรตีนกลุ่มหนึ่งผลิตโดยเซลล์เฉพาะของตนเอง ทำหน้าที่ป้องกันจุลชีพที่เข้าสู่เนื้อเยื่อ เมื่อจุลชีพเข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อจะกระตุ้นให้ยีนที่ควบคุมการผลิตอินเทอร์เฟอรอนผลิตอินเทอร์เฟอรอนออกมาแล้วเข้าไปในเซลล์อื่นทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้จุลชีพเข้าไปโจมตีเซลล์อื่น กลไกป้องกันนี้ไม่เฉพาะต่อจุลชีพชนิดใดชนิดหนึ่งแต่สามารถป้องกันจุลชีพชนิดอื่นที่สายพันธุ์ใกล้เคียงกันได้ด้วย แต่สารอินเทอร์เฟอรอนที่กระตุ้นให้เกิดในสัตว์ชนิดหนึ่งนำไปประยุกต์ใช้ป้องกันในสัตว์ชนิดอื่นไม่ได้

(2) กลไกป้องกันเฉพาะ ระบบภูมิคุ้มกันเป็นระบบที่สามารถจดจำแยกได้ว่าสารใดเป็นของตนเองสารใดไม่ใช่ของตนเอง สารที่ไม่ใช่ของตนเองเรียกว่า แอนติเจน ซึ่งสามารถ

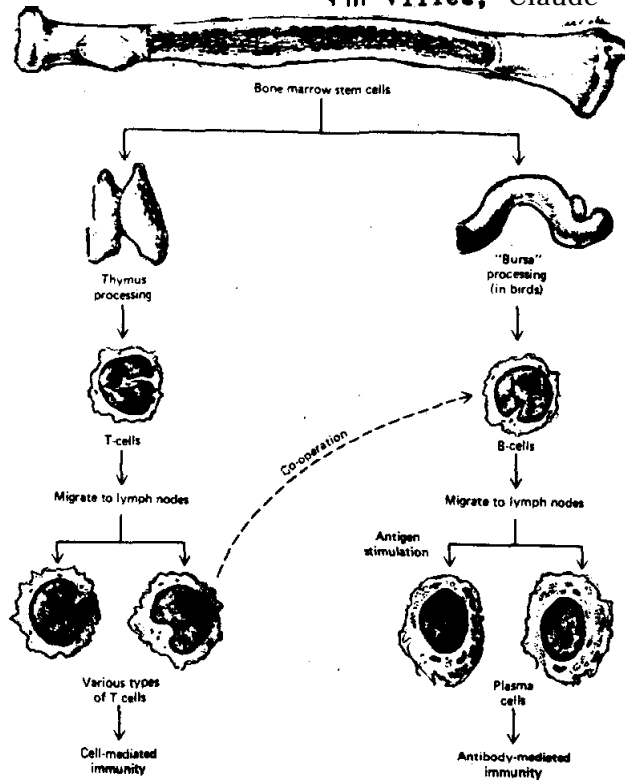
ก่อให้เกิดการสร้างสารต้านเฉพาะที่เรียกว่า แอนติบอดี แอนติบอดีสามารถจำแอนติเจนเฉพาะของตนเองได้เมื่อร่างกายได้รับแอนติเจนเข้ามาอีก การก่อให้เกิดการสร้างแอนติบอดีอาจเห็นย่นำได้ด้วยการฉีดวัคซีน (vaccination) โดยนำเชื้อโรคมารทำให้พิษอ่อนลงแล้วฉีดเข้าไปในคนปกติเพื่อกระตุ้นให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีเฉพาะสำหรับแอนติเจนที่มีอยู่ในวัคซีนนั้น เมื่อร่างกายได้รับเชื้อโรคที่มีชีวิตอยู่เข้ามา แอนติบอดีจะจำแอนติเจนที่มีอยู่ในเชื้อโรคได้และมีปฏิกิริยาต่อต้าน เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดโรค

แอนติเจนอาจเข้าสู่ร่างกายตามธรรมชาติ (เช่น ได้รับเชื้อใช้หวัดใหญ่จากผู้ป่วยอื่น) หรือได้รับโดยการฉีดวัคซีน ภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นเรียกว่า **active immunity** เนื่องจากร่างกายสร้างแอนติบอดีขึ้นเอง ในกรณีของ **passive immunity** ร่างกายไม่ได้สร้างขึ้นเองแต่รับมาจากแหล่งอื่น เช่น ในกรณีของทารกในครรภ์มารดาได้รับแอนติบอดีจากแม่โดยผ่านทางน้ำนม แอนติบอดีที่ได้รับมาจากแหล่งอื่นนั้นอยู่ได้ชั่วคราวทั้งหมดไปเพราะร่างกายทารกไม่ได้สร้างแอนติบอดีขึ้นมาเอง

กลไกการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันมี 2 ส่วนคาบเกี่ยวกันคือ ส่วนที่เรียกว่า **humoral immunity** ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเซลล์ลิมโฟไซต์ของร่างกายถูกกระตุ้นด้วยแอนติเจนแล้วสร้างแอนติบอดีคัดหลังออกมาอยู่ในเลือด อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า **cell-mediated immunity** ซึ่งเป็นเซลล์พิเศษอยู่ในเนื้อเยื่อเยื่อและกระแสโลหิต ระบบฮิวมอรัลทำหน้าที่ด้านด่านแรกเนื่องจากจำส่วนที่เป็นแอนติเจนของเชื้อโรคได้จึงเข้าไปจับแบคทีเรียหรือไวรัสที่เพิ่งเข้ามาใหม่ ส่วนที่เป็นระบบเซลล์เม็ดเลือด จะมามีปฏิกิริยาต่อต้านเซลล์ที่ติดเชื้อแล้ว นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ด้านการติดเชื้อจากโปรโตซัว ฟังไจและเซลล์ของเนื้อเยื่อที่ได้รับมาจากการถ่ายปลูก (transplant tissue) แม้กระทั่งเซลล์ของตนเองที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์มะเร็งด้วย

เซลล์ของระบบภูมิคุ้มกันคือเซลล์เม็ดเลือดขาวที่เรียกว่า ลิมโฟไซต์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ บีเซลล์ (B lymphocyte) ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดี และ ทีเซลล์ (T lymphocyte) ทำหน้าที่โจมตีเซลล์ที่ติดเชื้อแล้ว เซลล์ทั้งสองชนิดมีต้นกำเนิดมาจากเซลล์ของไขกระดูก (รูป 13-5) เช่นเดียวกับกับเซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดอื่น

รูป 13-5 แผนภาพแสดงการเจริญของบีเซลล์และทีเซลล์จากเซลล์ไขกระดูก ที่เซลล์
เจริญต่อไปในต่อมไทมัส ก่อนที่จะออกมาอยู่ในกระแสโลหิตและน้ำเหลือง
จาก Villee, Claude A. et al. 1989



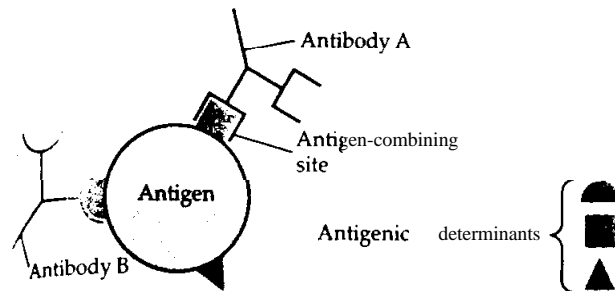
หลักการทํางานของระบบภูมิคุ้มกันอยู่บนพื้นฐานที่ว่า สิ่งมีชีวิต (แบคทีเรีย ไวรัส ฯลฯ) ที่ถือว่าแปลกปลอมต่อร่างกาย มีบริเวณที่มีคุณสมบัติเป็นแอนติเจนอยู่ที่ส่วนผิวนอกเรียกว่า แอนติเจนิก ดีเทอร์มิแนนท์ (antigenic determinant) แต่ละแอนติเจนิก ดีเทอร์มิแนนท์ ก่อให้เกิดการสร้างแอนติบอดีที่เฉพาะของตนเอง เมื่อแอนติบอดีพบกับแอนติเจนิก ดีเทอร์มิแนนท์อีกจะจำได้และมีปฏิกิริยาเฉพาะของตนเอง (รูป 13-6)

ในสัตว์ที่โตเต็มวัย บีเซลล์เจริญมาเป็น พลาสมาเซลล์ (plasma cell) ขนาดเซลล์ใหญ่มีเอนโดพลาสมิก เรททิคูลัมมาก จึงทำหน้าที่ผลิตโปรตีนที่เป็นแอนติบอดีได้ดี แอนติบอดีจะจำแอนติเจนิก ดีเทอร์มิแนนท์ ได้จึงมีปฏิกิริยาพันธะด้วย อาจจะทำผิวนอกของจุลชีพโดยตรงหรือสารพิษที่มีแอนติเจนิก ดีเทอร์มิแนนท์ประกอบอยู่ด้วยก็ได้ ทีเซลล์มีระบบการทำงานควบคู่ไปกับบีเซลล์ กล่าวคือ เฮลเปอร์ทีเซลล์ (helper T cell) ทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นการทํางานของทีเซลล์ชนิดอื่นและกระตุ้นบีเซลล์ให้ทํางานตอบสนองต่อแอนติเจน ไชโททอกซิกทีเซลล์

(cytotoxic T cell หรือ killer T cell) ทำหน้าที่จำแอนติเจนแปลกปลอม เมื่อพบจะเข้าไปทำลายเซลล์ติดเชื้อทันที ตามมาด้วย ซัพเพรสเซอร์ทีเซลล์ (suppressor T cell) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน กลไกการทำงานซับซ้อนมากและจะไม่กล่าวถึง ณ ที่นี้

รูป 13-6 แผนภาพแสดงแอนติเจนที่มี 3 แอนติเจนิกดีเทอร์มิแนนท์ ซึ่งทำให้แอนติบอดีหลายชนิดมาสัมพันธ์กับแอนติเจนชนิดนี้ได้

จาก Campbell, Neil A. 1990



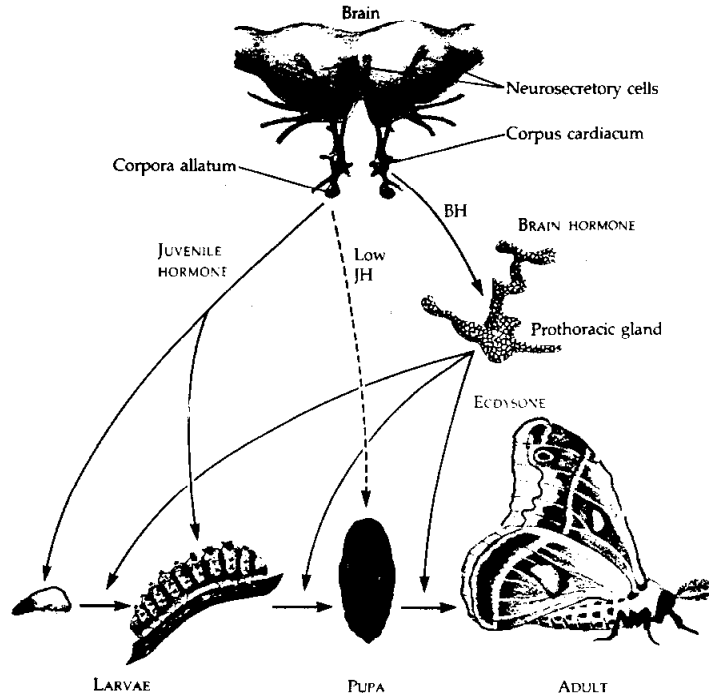
13.1.3 การควบคุมด้วยฮอร์โมน ฮอร์โมนคือสารเคมีที่ทำหน้าที่ควบคุมกลไกการทำงานทางสรีรวิทยาของสัตว์ มีธรรมชาติเป็น โปรตีน อนุพันธ์ของโปรตีน โปรตีนเชิงซ้อนสเตอรอยด์ และสารเคมีอื่น จำนวนชนิดและหน้าที่ต่างกันในระยะเอียตในสัตว์แต่ละไฟลัม แต่โดยทั่วไปฮอร์โมนที่มีชื่อเดียวกันทำหน้าที่อย่างเดียวกัน แม้ว่าจะพบในสัตว์ต่างชนิดกัน การทำงานของฮอร์โมนชนิดหนึ่งมักควบคุมไปกับฮอร์โมนชนิดอื่นอาจเป็นการทำงานแบบเสริม หรือทำงานแบบย้อนกลับ (feed back) ก็ได้

(1) ฮอร์โมนในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีกลไกการทำงานหลากหลายมากเช่น ฮอร์โมนควบคุมการเจริญและแบ่งตัวของไฮดรา (สี่พันธุแบบไม่อาศัยเพศ) จะทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (แบบอาศัยเพศ) หนอนทะเลพวกแม่เพรียง (*Nereis*) ผลิตฮอร์โมนทำหน้าที่กระตุ้นการผลิตไข่ขณะเดียวกันก็ไปยับยั้งการเจริญของตัวหนอนเอง ฮอร์โมนสำคัญที่ควรทราบคือ เบนฮอร์โมน (BH) ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้ผลิตฮอร์โมนเอคไคโซน (ecdysone) ซึ่งเป็นสารพวกสเตอรอยด์ทำหน้าที่ควบคุมการลอกคราบและเสริมการเจริญตามปกติเข้าสู่ภาวะตัวเต็มวัย ขณะเดียวกันก็มีกลไกควบคุมการเจริญเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการทำงานของ จูวีไนล์ฮอร์โมน (juvenile hormone) หรือ JH ฮอร์โมนทั้ง

3 ชนิดผลิตจากสมองของแมลง (และสัตว์ขาปล้องอื่นที่มีการเจริญเปลี่ยนแปลงรูปร่าง) (รูป 13-7)

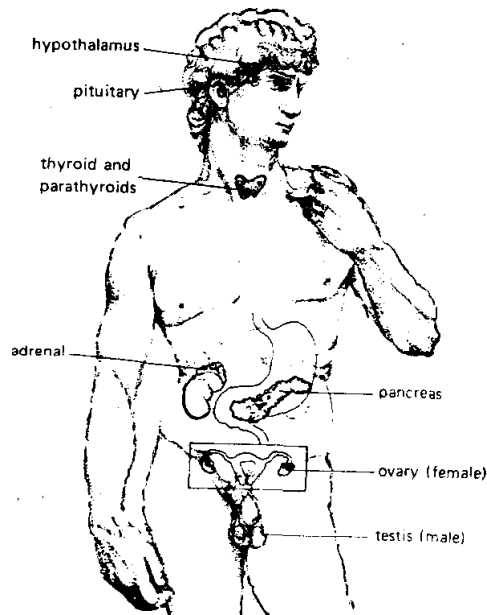
รูป 13-7 การเจริญเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผีเสื้อควบคุมโดยฮอร์โมน 3 ชนิด คือ เบรินฮอร์โมน จูวีไนล์ฮอร์โมน และ เอคไดโซน

จาก Campbell, Neil A. 1990



(2) ฮอร์โมนในสัตว์มีกระดูกสันหลัง เนื้อเยื่อและอวัยวะของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนมีอยู่แทบทุกส่วนของร่างกาย (รูป 13-8) ฮอร์โมนที่ผลิตออกมาทำหน้าที่ต่างกันหรือทำหน้าที่ร่วมกัน เพื่อให้ระบบสรีรวิทยาของร่างกายดำเนินไปตามปกติ ฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมไร้ท่อที่สำคัญ (ตาราง 13-1) ส่วนใหญ่ผลิตมาจากไฮโปทาลามัส และต่อมใต้สมอง (รูป 13-9) ฮอร์โมนที่ผลิตจากไฮโปทาลามัส ผลิตโดยเซลล์พิเศษที่เรียกว่า neurosecretory cell คัดหลังฮอร์โมนออกมาแล้วปล่อยเข้าสู่หลอดเลือดฝอยผ่านมาทางต่อมใต้สมองส่วนหลังแล้วจึงเข้าสู่กระแสโลหิตของร่างกายไปยังอวัยวะเป้าหมาย (target organ) เพื่อควบคุมกลไกการทำงานต่อไป

รูป 13-8 อวัยวะที่มีต่อมไร้ท่อทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนสำคัญของมนุษย์



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1966

ตาราง 13-1 ต่อมไร้ท่อที่ผลิตฮอร์โมนสำคัญของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

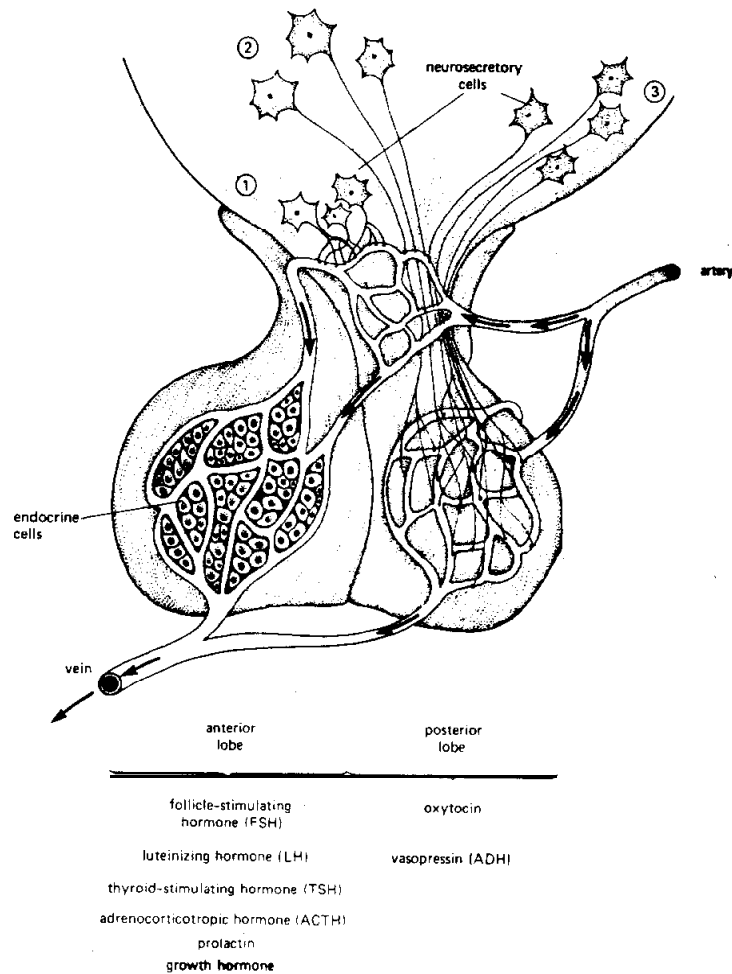
แหล่งผลิต (ต่อม)	ฮอร์โมน	ชนิดของสารเคมี	หน้าที่
hypothalamus (ผ่านทางต่อมใต้สมอง ส่วนหลัง)	antidiuretic hormone (ADH)	เพปไทด์	ดูดน้ำกลับจากหลอดเลือดช่วย ให้หลอดเลือดแดงเล็กหดตัว ควบคุมออสโมซิสของเลือด
hypothalamus (ผ่านทางต่อมใต้สมอง ส่วนหน้า)	ฮอร์โมนเสริมหรือ ยับยั้งการคัดหลั่ง	เพปไทด์	เสริมหรือยับยั้งการคัดหลั่ง ฮอร์โมนของต่อมใต้สมอง ส่วนหน้า
adenohypophysis (ผ่านทางต่อมใต้สมอง ส่วนหน้าหรือ anterior lobe of	growth hormone (GH)	โปรตีน	กระตุ้นการเจริญ การ สังเคราะห์โปรตีน เมแท- บอลิซึมของน้ำตาล
	prolactin	โปรตีน	กระตุ้นการสังเคราะห์และ

แหล่งผลิต (ต่อม)	ฮอร์โมน	ชนิดของสารเคมี	หน้าที่
Pituitary)			คัดหลั่งน้ำนม
	adrenocortico- trophic hormone (ACTH)	พอลิเพปไทด์	กระตุ้นการคัดหลั่งฮอร์โมน ของต่อมหมวกไตส่วนนอกโดย เฉพาะ glucocorticoid
	follicle- stimulating hormone (FSH)	ไกลโคโปรตีน	ในเพศหญิงกระตุ้นการเจริญ ของฟอลลิเคิล การคัดหลั่ง estrogen ในเพศชาย กระตุ้นการสร้างอสุจิและ การคัดหลั่ง testosterone
	luteinizing hormone (LH)	ไกลโคโปรตีน	ในเพศหญิงกระตุ้นการตกไข่ การสร้าง corpus luteum การคัดหลั่ง estrogen และ progesterone ในเพศชายกระตุ้นการคัดหลั่ง testosterone
	thyroid- stimulating hormone (TSH)	ไกลโคโปรตีน	กระตุ้นการคัดหลั่งฮอร์โมน ของต่อมไทรอยด์
ไทรอยด์ (thyroid)	triiodothyronine (T ₃) และ thyroxine(T ₄)	กรดอะมิโน ที่มีไอโอดีน	เร่งกระบวนการเมแทบอลิซึม ของเซลล์ อุณหภูมิของ ร่างกายสูงขึ้น ควบคุมการ เจริญปกติ
	calcitonin	เพปไทด์	ยับยั้งการปล่อยแคลเซียม

แหล่งผลิต (ต่อม)	ฮอร์โมน	ชนิดของสารเคมี	หน้าที่
พาราไทรอยด์ (parathyroid)	parathormone (PTH)	โปรตีน	ออกจากกระดูก กระตุ้นการปล่อยแคลเซียม จากกระดูกเพิ่มการดูดกลืน แคลเซียมของเยื่อลำไส้ และหลอดเลือด
ต่อมหมวกไตส่วนนอก (adrenal cortex)	glucocorticoid	สเตียรอยด์	เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึม ของน้ำตาล ลิมิต ป้องกัน การอักเสบ
	aldosterone	สเตียรอยด์	เพิ่มการดูดกลืนของเกลือใน หลอดเลือด
	testosterone	สเตียรอยด์	ควบคุมการเจริญลักษณะของ เพศชาย
ต่อมหมวกไตส่วนใน (adrenal medulla)	adrenalin และ noradrenalin	catecholamine (อนุพันธ์ของกรดอะมิโน)	เพิ่มปริมาณน้ำตาลใน เลือด เพิ่มอัตราการ เมแทบอลิซึมทำให้หลอดเลือด หดตัว หัวใจเต้นเร็วขึ้น
ตับอ่อน (จากต่อม islets of Langer- hans)	insulin	โปรตีน	ลดปริมาณน้ำตาลในเลือด เพิ่ม การดูดกลืนน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ แล้วเปลี่ยนให้เป็นไกลโคเจน โดยเฉพาะในเซลล์ตับ ควบคุม กระบวนการเมแทบอลิซึม ของไขมัน

แหล่งผลิต (ต่อม)	ฮอร์โมน	ชนิดของสารเคมี	หน้าที่
	glucagon	โปรตีน	เปลี่ยนไกลโคเจนให้เป็นกลูโคส เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด
	somatostatin	เพปไทด์	ยับยั้งการหลั่งอินซูลินและกลูคากอน
รังไข่ (ส่วนฟอลลิเคิล)	estrogen	สเตอรอยด์	การเจริญของลักษณะเพศหญิงวัยเจริญพันธุ์ การเจริญของไข่ในฟอลลิเคิล ช่วยให้เยื่อบุภายในผนังมดลูกเจริญมากขึ้นเพื่อรับการตั้งครรภ์ มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมทั่วไป
รังไข่ (ส่วนคอร์ปัสลูเทียม)	progesterone	สเตอรอยด์	กระตุ้นการเจริญของเยื่อบุภายในผนังมดลูกและการสร้างรก
อัณฑะ	testosterone	สเตอรอยด์	การเจริญของลักษณะเพศชายวัยเจริญพันธุ์ การสร้างตัวอสุจิ และกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมทั่วไป
ต่อมไทมัส (thymus)	thymosin	เพปไทด์	กระตุ้นการเจริญของเซลล์ระบบภูมิคุ้มกัน

รูป 13-9 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮโปทาลามัสและต่อมใต้สมอง
 ฮอร์โมนที่คัดหลังจาก neurosecretory cell ถูกปล่อยผ่านผนังหลอดเลือดฝอยเข้าสู่ต่อมใต้
 สมองทั้งส่วนหน้าและส่วนหลัง ลูกศรแสดงทิศทางการไหลของเลือด



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

กลไกการทำงานของฮอร์โมนบางชนิดจะกล่าวถึงในบทที่ 14

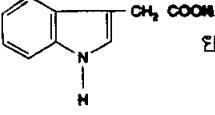
13.2 การควบคุมภายในพืช

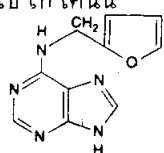
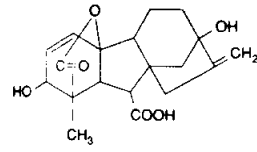
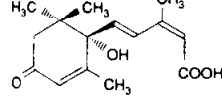
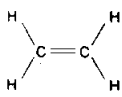
พืชมีระบบควบคุมภายในเพื่อตอบสนองต่อการกระตุ้นจากสภาพแวดล้อมได้เช่นเดียวกับสัตว์ แต่กลไกการตอบสนองต่างจากสัตว์ซึ่งเคลื่อนที่ได้จึงอาจหนีหรือเข้าหา แต่พืชหยั่งรากลง ณ ที่แห่งเดียวหนีไปไหนไม่ได้ การเติบโตและการเจริญจึงปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่พืช

ขึ้นอยู่กับบางครั้งอาจเข้าใจผิดว่าเป็นพืชต่างชนิดกันเนื่องจากลักษณะรูปร่างต่างไปจากชนิดมาตรฐาน การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกด้วยกลไกการทำงานของสารเคมีภายในต้นพืชที่เรียกว่า ฮอว์โมน ช่วยให้พืชสามารถปรับตัวเจริญมีชีวิตรอดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้อย่างได้ชีวิตจำกัดของแต่ละชนิด

13.2.1 ฮอว์โมนพืช ฮอว์โมนคือสารเคมีที่ทำหน้าที่ประสานการทำงานทางสรีรวิทยาของพืช นักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตการงอกของเมล็ดพืชที่จะจัดยอดอ่อนหันเข้าหาแสงเสมอ จึงเชื่อว่าน่าจะมีบางสิ่งควบคุมให้เป็นเช่นนั้น คาร์วินและบุตรชายได้ทำการทดลองพิสูจน์ให้เห็นว่า ถ้าตัดปลายยอดอ่อนออก พืชจะไม่หันยอดเข้าหาแสง นักวิทยาศาสตร์รุ่นต่อมาพบว่า ฮอว์โมนออกซิน (auxin) ที่ปลายยอดอ่อนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญตามแนวยาวของพืช นอกจากนี้ยังมีการค้นพบฮอว์โมนพืชต่อมาเรื่อย ๆ ส่วนใหญ่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อ (ตาราง 13-2) ฮอว์โมนพืชสร้างขึ้นมาในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถควบคุมการเจริญตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ ฮอว์โมนมีกลไกการทำงานได้หลายแบบกล่าวคือ อาจเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีน มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เปลี่ยนคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ สิ่งเหล่านี้เป็นผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญต้องเปลี่ยนแปลงตามจำนวนโมเลกุลของฮอว์โมนที่มีอยู่ตามมาด้วย ปฏิกริยาของฮอว์โมนพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของฮอว์โมนแต่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนความเข้มข้นของฮอว์โมนแต่ละชนิดที่มีอยู่ในต้นพืช

ตาราง 13-2 ชนิดและหน้าที่ของฮอว์โมนพืชที่สำคัญ

ชนิดของฮอว์โมน	แหล่งผลิตหรือแหล่งที่พบ	หน้าที่
ออกซิน Auxin (such as IAA) 	เอ็มบริโอและเอ็นโดสเปิร์มของเมล็ด เยื่อเจริญที่ปลายยอดอ่อน และปลายยอดอ่อน	กระตุ้นการเจริญตามแนวยาวของลำต้นและราก การเจริญเป็นเนื้อเยื่อและการแตกแขนง การเจริญที่ส่วนปลาย การเจริญของผล ป้องกันการหลุดร่วงของใบและผล ผลิต ethylene ในผล ช่วยให้มีการหันเข้าหาแสงและการเจริญตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของ

Cytokinins (such as kinetin)		โลก
ไซโทไคนิน 	สังเคราะห์ขึ้นที่รากและส่งไปยังส่วนอื่นของพืช	ช่วยให้มีการแบ่งเซลล์ การเจริญของราก และตาต้นข้าง การงอกของเมล็ด การออกดอก ชลอการหลุดร่วงของใบ
กิบเบอเรลลิน	เนื้อเยื่อเจริญที่ตา ยอด ราก และใบอ่อน เอ็มบริโอ	ช่วยให้มีการงอกของเมล็ดและแตกตา การยืดยาวของลำต้น การเจริญของใบ กระตุ้น
Gibberellins (such as GA ₁) 	ใบ ลำต้น ผลสีเขียว	การออกดอกและการติดผล มีผลต่อการเติบโตและการเจริญของราก
กรดแอบไซซิก	ใบ ลำต้น ผลสีเขียว	ยับยั้งการเจริญ ปิดรูใบในช่วงเกิดความ
Abscisic acid 	เนื้อเยื่อของผลไม้สุก	ต้นของน้ำ ทำให้เมล็ดและตาอยู่ในระยะพัก อาจช่วยให้รากเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก
เอทิลีน	ข้อของลำต้น ใบที่กำลัง	ช่วยให้ผลไม้สุก ต้านหรือลดการทำงานของออกซิน ช่วยให้มีการหลุดร่วงของผล ดอก
Ethylene 	จะหลุดร่วง	และอาจช่วยให้ใบหลุดร่วงได้ นอกจากนี้ยังอาจเสริมหรือยับยั้งการเจริญของราก ใบ และดอกแล้วแต่ชนิดของพืช

13.2.2 การเคลื่อนไหวของพืช พืชเคลื่อนไหวได้ในขอบเขตจำกัด สามารถศึกษาได้โดยใช้การถ่ายภาพในช่วงระยะเวลาต่อเนื่อง การเคลื่อนไหวมี 2 ประเภท คือตอบสนองต่อแสงหรือแรงโน้มถ่วงของโลก หรือการสัมผัส และต่อความเต่ง

(1) การตอบสนองต่อแสง (phototropism) เป็นการเคลื่อนไหวของพืชอาจเข้าหาหรือหนีแสง มีกลไกเนื่องมาจากการยืดยาวของเซลล์ไม่เท่ากันในแต่ละส่วนของพืช

เซลล์ด้านที่ไม่ถูกแสงมีอัตราการยืดยาวรวดเร็วกว่าด้านที่ถูกแสง เนื่องจากฮอร์โมนออกซิน เคลื่อนที่จากปลายยอดมาอยู่ส่วนที่ไม่ถูกแสงหรือถูกแสงน้อย ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าแสงมีบทบาทต่อการเคลื่อนที่ของออกซินอย่างไร อาจเนื่องมาจากสารรับแสงซึ่งอยู่ที่ปลายยอดไวต่อช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินมากที่สุด และเชื่อว่าสารรับแสงนี้คือสารสีเหลืองที่คล้ายไรโบเฟลวิน

(2) การตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก (**gravitropism**) เป็นการเคลื่อนที่ของพืชที่ส่วนรากจะเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก และส่วนยอดจะหนีแรงโน้มถ่วงของโลก ทดลองโดยนำต้นอ่อนข้าวโพดที่เพิ่งงอกได้ 3 วันมาวางในแนวนอน หลังจากนั้น 20 ชั่วโมงจะเห็นยอดอ่อนตั้งขึ้นและส่วนรากลดลงสู่แนวโน้มถ่วงของโลก กลไกการทำงานเนื่องมาจากการสะสมของก้อนหินปูน (**statolith**) ในเซลล์ทวมรากและหน่ออ่อน ซึ่งเป็นพาหะเคมีมาส่วนที่ติดอยู่กับระบบท่อลำเลียง ก้อนหินปูนทำให้มีการสะสมฮอร์โมนทางด้านล่างของส่วนของพืช ในส่วนของลำต้นเซลล์ด้านล่างยืดยาวเร็วกว่าเนื่องจากการสะสมของออกซินและกับเออเรลลิน ในส่วนของรากเนื่องมาจากการสะสมของออกซินซึ่งยับยั้งการยืดยาวของรากเมื่อความเข้มข้นปานกลาง เมื่อมาสะสมที่ส่วนล่างของรากในแนวนอน จึงทำให้ส่วนบนของรากยืดยาวได้เร็วกว่าทำให้ส่วนปลายของรากวกกลับลงสู่แนวโน้มถ่วงของโลก

(3) การตอบสนองต่อการสัมผัส (**thigmotropism**) เป็นการเคลื่อนที่ของส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชเมื่อสัมผัสกับข้างสเตรท พบในพืชพวกเถา และไม้เลื้อยที่มีหนวดยึดเกาะ การสัมผัสของหนวดเกาะทำให้เซลล์ด้านตรงข้ามยืดยาวได้เร็วกว่าจึงทำให้ลำต้นโค้งมาม้วนพันข้างสเตรท พืชที่ขึ้นอยู่ในที่สูงลมแรงตลอดเวลา จะมีลำต้นแคระแกรนอ้วนสั้นเรียกว่า **thigmomorphogenesis** เนื่องจากการผลิตเอทิลีนตอบสนองต่อแรงลม

(4) การตอบสนองต่อความเต่ง เป็นการตอบสนองของเซลล์พิเศษที่ได้รับการกระตุ้นจากความเต่ง เช่น การหุบของใบไมยราบ (*Mimosa*) เมื่อถูกสัมผัสเนื่องจากการสูญเสียความเต่งของเซลล์ภายในโครงสร้างที่เรียกว่า **pulvinus** ซึ่งอยู่ที่ข้อของใบ

13.2.3 โฟโตเพอริโอดิซึม (**photoperiodism**) ฤดูกาลมีบทบาทสำคัญต่อวัฏจักรของพืช การงอกของเมล็ด การออกดอก การแตกตา มักเกิดขึ้นตามฤดูกาล การตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยช่วงเวลาของการได้รับแสง เรียกว่า โฟโตเพอริโอดิซึม

การออกดอกของพืชจำเป็นต้องอาศัยการได้รับแสงติดต่อกันในช่วงเวลาหนึ่ง พืชแต่

ละชนิดต้องการแสงมากน้อยต่างกัน แบ่งได้ 3 กลุ่มคือ (1) พวกที่ต้องการแสงน้อยกว่าช่วงเวลาวิกฤตที่จะทำให้พืชออกดอก (12 ชั่วโมงต่อวัน) เรียกพืชกลุ่มนี้ว่า **short-day plants** เช่นต้นเบญจมาศ (chrysanthemum) ต้นคริสมาส (poinsettia) และถั่วบางชนิด พืชพวกนี้ออกดอกในช่วงปลายฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง หรือฤดูหนาว (2) พวกที่ต้องการแสงมากกว่า 14 ชั่วโมงต่อวัน เรียกว่า **long-day plants** มักออกดอกปลายฤดูใบไม้ผลิหรือต้นฤดูร้อน เช่น พืชพวกหัวไชเท้า (radish) ผักสลัดแก้ว (lettuce) ไอริน (iris) และพืชพวกข้าวบางชนิด (3) พืชพวกที่ไม่ได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาของแสง เรียกว่า **day-neutral plants** เช่น มะเขือเทศ ถั่วกินผัก ข้าว และดอกแดนดีเลียน (dandelion)

ความหมายของคำว่า **short-day** หรือ **long-day plants** เป็นความหมายเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการได้รับแสงต่อวันต่อเนื่องกันน้อยกว่าหรือมากกว่าเวลาไม่ได้รับแสง (กลางคืน) ในช่วงเวลาหนึ่งของวัฏจักรชีวิตพืช ช่วงเวลาดังกล่าวอาจสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย

พืชบางอย่างต้องการความเย็นเช่น ข้าวสาลี ถ้าอุณหภูมิไม่ลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสติดต่อกันเป็นเวลาหลายสัปดาห์ ก็จะไม่ออกดอก ความต้องการอุณหภูมิมานี้เป็นปัจจัยเพิ่มของไฟโตเพอริโอดิซึมด้วยเรียกว่า **vernalization** เมื่อข้าวสาลีผ่านการเวอร์นัลไลเซชันแล้ว จึงจะเหนี่ยวนำให้เกิดการออกดอก

ช่วงเวลากลางคืนมีบทบาทต่อการออกดอก เพราะต้องสัมพันธ์กับช่วงเวลากลางวันที่พืชได้รับแสง และยังมีกลไกภายในที่จะควบคุมการออกดอกด้วยสารสีที่เรียกว่า **ไฟโตโครม (phytochrome)** ซึ่งเป็นโปรตีนมีโครโมฟอร์ (chromophore) ทำหน้าที่ดูดคลื่นช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นนอกแสงสีแดง ไฟโตโครมจึงทำหน้าที่รับแสงเพื่อบอกให้พืชได้รับการกระตุ้นว่าช่วงใดเป็นเวลากลางวัน ช่วงใดเป็นเวลากลางคืน รายละเอียดกลไกการทำงานยังไม่ทราบแน่ชัด