

11 การตอบสนองต่อสิ่งเร้า (Responsiveness)

นักศึกษาคงจะเคยสังเกตเห็นการเคลื่อนไหวของธาตุปรอทที่บรรจุอยู่ในกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ ปรอทจะเคลื่อนที่ขึ้นลงในหลอดเล็ก ๆ ของก้านเทอร์โมมิเตอร์นั้น สิ่งที่เป็นกระตุ้นให้ปรอทมีการเคลื่อนไหว คืออุณหภูมิที่แวดล้อมกระเปาะอยู่ ตัวอย่างอีกอันหนึ่ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสารเคมีที่เคลือบอยู่บนฟิล์มถ่ายภาพภายหลังจากที่ได้รับแสงสว่างแล้ว อุณหภูมิที่เป็นกระตุ้นให้ปรอทเคลื่อนไหวก็ดี หรือแสงสว่างที่เป็นกระตุ้นให้สารเคมีบนฟิล์มถ่ายภาพเปลี่ยนแปลงไปก็ดี ทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า “ตัวกระตุ้น” หรือ “สิ่งเร้า” (Stimulus หรือ Stimulator หรือ Stimulant) และปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เรียกว่า การตอบสนองต่อสิ่งเร้า (responsiveness) ตัวอย่างที่ยกมาเป็นอุทาหรณ์นี้ เป็นปรากฏการณ์การตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นในสิ่งไม่มีชีวิต

ส่วนในด้านของสิ่งมีชีวิต นักศึกษาจะพบว่าปรากฏการณ์ของการตอบสนองต่อสิ่งเร้าให้พบเห็นอยู่เสมอ ๆ เช่นการจ้องมองภาพหรือวัตถุ การเหลียวเมื่อได้ยินเสียง มีความรู้สึกเจ็บปวด การหดมือถอยหนีเมื่อถูกของแหลมแทงหรือถูกไฟจี้ การบานหรือหุบของดอกไม้ หรือการที่ต้นไม้เอนเข้าหาแสงสว่าง เหล่านี้เป็นการแสดงตอบสนองต่อสิ่งเร้าทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนักศึกษาลองเปรียบเทียบหาเหตุผลจากขบวนการตอบสนองต่อสิ่งเร้านี้ดู จะเห็นว่า การตอบสนองที่เกิดขึ้นในสิ่งไม่มีชีวิตไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมีนั้น อาจหาเหตุผลได้โดยไมยากนัก แต่การตอบสนองที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนและเกี่ยวพันกับปัจจัยต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง สำหรับในที่นี้จะอธิบายเน้นเฉพาะการเปลี่ยนแปลงและการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกิดในสิ่งมีชีวิตเท่านั้น

11.1 การตอบสนองที่มีในโปรโตพลาสซึม (Responsiveness of protoplasm)

การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นนั้น เริ่มมีตั้งแต่ในระดับของโปรโตพลาสซึม ในเรื่องนี้เราทราบได้โดยการทดลองเอาสิ่งมีชีวิตชนิดเซลล์เดียว หรือทำการแยกเอาเซลล์จากสิ่งมีชีวิตชั้นสูง (เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ประสาทของสัตว์) มาทำการทดลอง พบว่าการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นนั้น เป็นการแสดงออกร่วมกันของก้อนโปรโตพลาสซึมนั้นเอง ถ้าในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำประเภทเซลล์

เดียว การรับความรู้สึก การส่งกระแสความรู้สึก และการตอบโต้ต่อสิ่งเร้านั้น กระทำพร้อมเสร็จ ในก้อนโปรโตพลาสซึม แต่ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงขึ้นมา จะมีส่วนซึ่งทำหน้าที่รับความรู้สึก ส่งความรู้สึก และตอบโต้ทำหน้าที่เป็นสัดส่วนแยกออกจากกัน สำหรับสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวนั้น ภายในเซลล์จะมีองค์ประกอบต่าง ๆ ทำหน้าที่เฉพาะอย่าง เช่นองค์ประกอบบางชนิดของเซลล์ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับแสงสว่าง บางชนิดเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่เป็นต้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมนั้น เริ่มมีตั้งแต่ระดับโปรโตพลาสซึมเป็นต้นมา

11.2 การตอบสนองที่มีในสัตว์ (Responsiveness in animals)

ในสัตว์ชั้นสูงขึ้นมา วิธีการและขบวนการเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าจะซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่นการที่มีเนื้อเยื่อหรือกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่รับส่งความรู้สึกจากสิ่งเร้า ซึ่งเรียกว่าเนื้อเยื่อประสาท และมีเนื้อเยื่อทำหน้าที่แสดงการโต้ตอบ ซึ่งเรียกว่าเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ

วงจรของการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในสัตว์ชั้นสูงโดยทั่วไป เรียกว่า รีเฟล็กซ์อาร์ค (reflex arc) ซึ่งจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ประเภทคือ หน่วยรับความรู้สึก (receptor) เส้นทางรับความรู้สึก (sensory pathway) หน่วยแปลความรู้สึก (modulator) เส้นทางส่งการตอบสนอง (motor pathway) และ หน่วยตอบสนอง (effector) การทำงานต่อเนื่องประสานกันระหว่างองค์ประกอบทั้ง 5 ประเภทนี้แยกออกไปเป็น 4 ขบวนการที่สำคัญ คือ ขบวนการรับความรู้สึก (reception) ขบวนการนำความรู้สึก (conduction) ขบวนการแปลความหมายและสั่งการ (modulation) และ ขบวนการกระทำตอบโต้ (effect) ซึ่งต่อไปนี้จะแยกพิจารณาแต่ละขบวนการตามลำดับ คือ

11.2.1 ขบวนการรับความรู้สึก (Reception)

ความรู้สึกที่มีต่อสัตว์ต่าง ๆ นั้น มีอยู่หลายแบบ และแต่ละแบบก็จะมีอวัยวะรับความรู้สึกนั้นโดยเฉพาะ เช่น อวัยวะที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับแสงสว่าง เรียกว่า Photoreceptor ซึ่งได้แก่ตา อวัยวะที่รับความรู้สึกสัมผัสและความเจ็บปวด เรียกว่า Pressoreceptor ได้แก่ผิวหนัง อวัยวะที่รับความรู้สึกรสและกลิ่น เรียกว่า Chemoreceptor อวัยวะที่รับความรู้สึกด้านเสียง เรียกว่า Phonoreceptor ได้แก่หู และอวัยวะที่รับความรู้สึกร้อนเย็น เรียกว่า Thermoreceptor ซึ่งได้แก่ผิวหนัง อวัยวะรับความรู้สึกต่าง ๆ นี้ ประกอบขึ้นด้วยหน่วยหรือกลุ่มของเซลล์รับความรู้สึกชนิดนั้น ๆ หน่วยรับความรู้สึกแต่ละหน่วยมีความสามารถที่จะแปรสภาพความรู้สึกออกเป็นกระแสความรู้สึก (impulse) โดยขบวนการทางเคมีและไฟฟ้า ซึ่งยังไม่เป็นที่เข้าใจแจ่มชัดนัก กระแสความรู้สึกนี้จะถูกนำส่งต่อไปโดยเซลล์ประสาท

11.2.2 ขบวนการนำความรู้สึก (Conduction)

กระแสความรู้สึกซึ่งหน่วยรับความรู้สึกได้แปรไว้เรียบร้อยแล้วจะถูกถ่ายทอดนำไปโดยเนื้อเยื่อที่เรียกว่าเนื้อเยื่อประสาท โดยกระแสความรู้สึกจะเข้าสู่ตัวเซลล์ทาง dendrite และออกจากตัวเซลล์ทาง axon เซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่นำกระแสความรู้สึกจากอวัยวะรับความรู้สึกไปยังระบบประสาทส่วนกลาง เรียกว่า sensory neuron ส่วนเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่นำกระแสการสั่งงานจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังหน่วยตอบสนอง เรียกว่า motor neuron เซลล์ประสาททั้งสองชนิดนี้อาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายเส้นใยยาวก็ได้เรียกว่าเส้นประสาท (nerve) เส้นประสาทบางเส้นทำหน้าที่ทั้งการรับกระแสความรู้สึกและการส่งกระแสการสั่งงาน เรียกเส้นประสาทชนิดนี้ว่า เส้นประสาทรวม (mixed nerve)

นักสรีรวิทยาสันนิษฐานว่า กระแสความรู้สึกจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นประสาทได้ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพของประจุไฟฟ้าของสารเคมีชื่อ อะเซทิลโคลีน (acetylcholine) ซึ่ง axon เป็นผู้สร้างขึ้นมา

11.2.3 ขบวนการแปลความหมายและสั่งการ (Modulation)

อวัยวะซึ่งทำหน้าที่แปลความหมายและสั่งการหลังจากได้รับกระแสความรู้สึก ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งประกอบด้วยสมอง (brain) และไขสันหลัง (spinal cord) ทั้งสมองและไขสันหลังนี้ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาท ซึ่งมาอยู่รวมกันหนาแน่นทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย ทั้งทางนิสัย สัญชาตญาณ และเขาวนปฏิบัติ

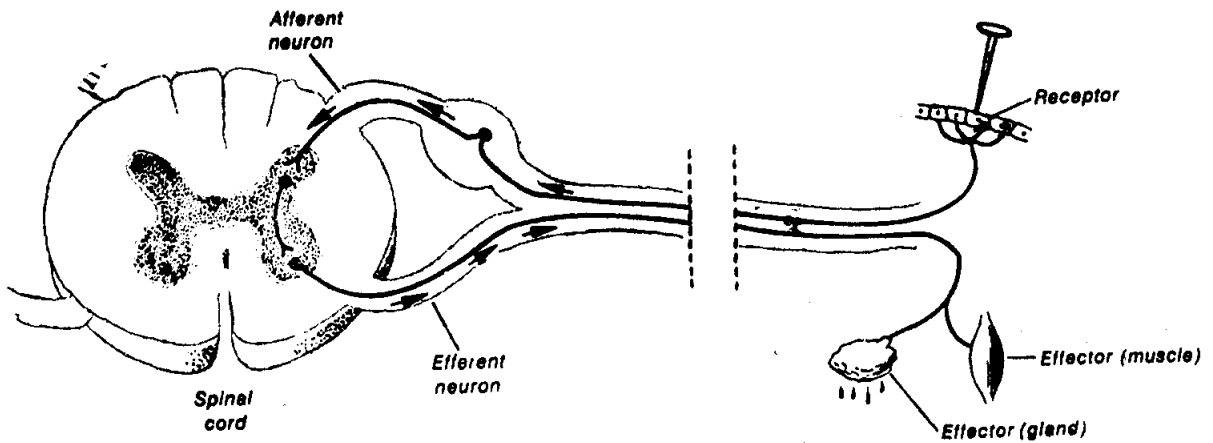
ยังไม่มีผู้ใดให้ความกระจ่างในรายละเอียดการทำงานของระบบประสาทได้อย่างชัดเจนว่ามีกลไกหรือวิธีการอย่างไร

11.2.4 ขบวนการกระทำตอบโต้ (Effect)

ในสัตว์ชั้นสูงนั้น ขบวนการกระทำตอบโต้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างระบบกล้ามเนื้อ กับ motor neuron โดยที่ motor neuron จะส่งกระแสคำสั่งมากระตุ้นให้กล้ามเนื้อในบริเวณใกล้เคียงแหล่งรับความรู้สึกทำงาน การทำงานของกล้ามเนื้อคือการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ การทำงานนี้จะดำเนินตลอดไปจนกว่าจะสิ้นสุดกระแสคำสั่งจากระบบประสาท

นอกจากกล้ามเนื้อจะทำหน้าที่เป็นหน่วยตอบสนองแล้ว อาจมีอวัยวะอื่นทำหน้าที่เป็นหน่วยตอบสนองก็ได้ เช่นต่อมต่าง ๆ ซึ่งสามารถผลิตสารขึ้นมาหลังจากที่ได้รับการกระตุ้นโดยทางใดทางหนึ่งเป็นต้น

reflex arc เท่าที่อธิบายมาอาจสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 11-1 แสดง reflex arc

การตอบสนองที่มีในสัตว์นั้น นอกจากจะเกิดจากระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ ร่วมกันแล้ว ยังประสานงานกับระบบต่อมสร้างฮอร์โมนอีกด้วยซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป

11.3 การตอบสนองที่มีในพืช (Responsiveness in plants)

คนส่วนมากมักจะคิดว่า พืชไม่มีการแสดงออกให้เห็นว่ามีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลง หรือกล่าวสั้น ๆ ว่า ในพืชนั้นไม่มีพฤติกรรมใด ๆ เลย แต่ถ้าหากได้พิจารณาโดยลึกซึ้งแล้วจะเห็นว่า พืชมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าแวดล้อมอยู่อย่างมากมาย การตอบสนองในพืชนี้เราจัดว่าเป็นพฤติกรรมของพืช หากแต่พฤติกรรมเหล่านี้ดำเนินไปอย่างช้า ๆ ไม่รวดเร็วอย่างที่พบใน สัตว์ทั่วไปซึ่งมีระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ พฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าของพืชนั้น แสดงออกมาในรูปของการเคลื่อนไหว (movement)

สิ่งเร้าที่ทำให้เกิดพฤติกรรมตอบสนองในพืช แยกออกได้เป็นสองประเภท คือ

(1) สิ่งเร้าภายใน ได้แก่ฮอร์โมนของพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวโดยอัตโนมัติ (autonomic movement)

(2) สิ่งเร้าภายนอก เช่น แสงสว่าง แรงดึงดูดของโลก อุณหภูมิ น้ำ ฯลฯ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะต่าง ๆ กัน

11.3.1 พฤติกรรมการตอบสนองที่เกิดจากสิ่งเร้าภายใน เป็นผลต่อเนื่องมาจากการทำงานของสารฮอร์โมนพืช ซึ่งเป็นสารเคมีที่พืชผลิตมาจากส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นแล้ว ถูกลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ นักสรีรวิทยาทางพืชพบว่าฮอร์โมนพืชนั้นมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ออกซิน (auxin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโต ยิบเบอเรลลิน (giberellin) ช่วยขยายความยาวของต้นพืชและการออกดอก ไคนิน (kinin) ทำหน้าที่เร่งการแบ่งเซลล์ ในที่นี้จะยกตัวอย่างการตอบสนองของพืชที่เกิดจากการทำงานของฮอร์โมนออกซิน ซึ่งช่วยส่งเสริมและควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในหลาย ๆ ด้าน

จากการค้นคว้าศึกษากันมานาน (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1923 โดยนักสรีรวิทยาชาวเยอรมันชื่อ H. Soding แต่การศึกษาผลของการทำงานโดยไม่รู้จักชื่อสารทำครั้งแรกใน ค.ศ. 1880 โดย Charles Darwin) พบว่าตำแหน่งที่มีการสร้างออกซินได้มากที่สุดคือปลายยอดและส่วนที่ยังอ่อนของพืช แล้วจึงถูกลำเลียงไปที่ส่วนล่างของพืชเพียงทิศทางเดียว ไม่มีการย้อนกลับ การลำเลียงนี้จะหนีแสงสว่าง ทั้งแสงสว่างมีอำนาจทำลายออกซินได้อีกด้วย แม้ว่าออกซินจะช่วยให้พืชมีความเจริญเติบโต แต่ส่วนต่าง ๆ ของพืชนั้นต้องการปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซินไม่เท่ากัน ทำให้การเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันไปด้วย ถ้าได้รับปริมาณของออกซินมากเกินไปแทนที่จะทำให้การเจริญเติบโตมีมาก กลับจะไปยับยั้งการเติบโตนั้นเสีย

การที่ยอดพืชโค้งเบนเข้าหาแสง และปลายรากโค้งเบนหนีแสง เกิดจากยอดพืชด้านที่

รับแสง เป็นเหตุให้ยอดพืชโค้งหรือเบนเข้าหาแสง ส่วนรากพืชด้านที่อยู่ตรงข้ามกับทิศทางของแสง จะมีออกซินอยู่มากเกินไปจึงไปยับยั้งการเติบโตของเซลล์ ด้านที่อยู่ใกล้แสงจึงเติบโตมากกว่าและเร็วกว่า ทำให้รากเติบโตโค้งหนีแสง

ส่วนในพืชที่ทอดราบกับพื้น จะเจริญโค้งชูยอดในแนวตั้ง และรากเจริญโค้งลงในแนวตั้งนั้น เป็นเพราะว่าเมื่อพืชทอดราบลง ออกซินจะถูกลำเลียงลงตอนล่างมากกว่าทางด้านบน ลำต้นทางด้านล่างจึงยืดตัวได้เร็วและมากกว่า ลำต้นจึงโค้งขึ้น ส่วนรากนั้น เมื่อด้านล่างมีออกซินมากกว่าด้านบน จะเป็นปริมาณที่มากเกินไปจนไปยับยั้งการเติบโตของเซลล์ ทำให้เซลล์ด้านบนยืดตัวได้เร็วกว่าและมากกว่า รากจึงโค้งลง

นอกจากออกซินมีบทบาทช่วยให้เกิดการโค้งงอของปลายต้นพืชดังกล่าวมาแล้ว ยังมีอิทธิพลร่วมในการทำให้เกิดการเลื้อยพันหลักยึด ในพันธุ์ไม้เลื้อยต่าง ๆ อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนไหวตอบสนองในพืชซึ่งมีต่อสิ่งเร้าภายในต้นพืชเองเช่นนี้ เป็นการตอบสนองโดยอัตโนมัติ จึงเรียกการเคลื่อนไหวนี้ว่า การเคลื่อนไหวแบบอัตโนมัติ (autonomic movement)

11.3.2 พฤติกรรมการตอบสนองที่เกิดจากสิ่งเร้าภายนอก มีผลการตอบสนองเป็นความเคลื่อนไหวเช่นกัน เป็นการตอบสนองที่มีสิ่งที่มาเร้า จำแนกการเคลื่อนไหวนี้ออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. *Nastic movement* เป็นการเคลื่อนไหวตอบสนองของพืช ซึ่งทิศทางของการเคลื่อนไหวไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า แม้ว่าสิ่งเร้านั้นจะไปกระตุ้นส่วนต่าง ๆ ของพืชเท่า ๆ กัน แต่การตอบสนองของพืชกลับมีไม่เท่ากัน ตัวอย่างของการตอบสนองแบบนี้ได้แก่การหุบและการบานของดอกไม้ ดอกไม้บางชนิด เช่น ดอกบัว ดอกบานเช้า ดอกบานเย็น จะบานและหุบโดยมีแสงสว่างเป็นสิ่งเร้า เรียกการเคลื่อนไหวแบบนี้ว่า *Photonastic* ส่วนดอกไม้บางชนิด เช่น ดอกมณฑา ดอกราตรี ดอกสายหยุด อาศัยอุณหภูมิเป็นสิ่งเร้า เรียกการเคลื่อนไหวแบบนี้ว่า *Thermonastic*

2. *Tropic movement* หรือ *Tropism* เป็นการเคลื่อนไหวเนื่องมาจากการเจริญเติบโตโดยมีความสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า ถ้าส่วนของพืชมีทิศทางการเจริญเติบโตมุ่งเข้าหาสิ่งเร้า เรียกว่าเป็น *positive tropism* แต่ถ้าหนีไปในทิศทางตรงข้ามกับสิ่งเร้า เรียกว่าเป็น *negative tropism* การเคลื่อนไหวแบบ *tropism* นี้ มีอยู่หลายแบบตามลักษณะของสิ่งเร้า คือ

ถ้ามีแสงเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *phototropism*

ถ้ามีแรงดึงดูดของโลกเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *geotropism*

ถ้ามีสารเคมีเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *chemotropism*

ถ้ามีน้ำเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *hydrotropism*

ถ้ามีอุณหภูมิเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *thermotropism*

ถ้ามีสิ่งสัมผัสเป็นสิ่งเร้า เรียกว่า *thigmotropism*

3. *Taxic movement* เป็นการเคลื่อนไหวที่เคลื่อนไปหมดทั้งตัว หรือเรียกได้ว่าเป็นการเคลื่อนที่ การตอบสนองแบบนี้พบในพืชชั้นต่ำ หรือโปรติสต์ การเคลื่อนไหวหรือการเคลื่อนที่นี้ อาศัยการเคลื่อนไหวของ *cilia* หรือ *flagellum*

การเคลื่อนไหวตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกต้นพืชนี้เรียกว่าเป็นการเคลื่อนไหวแบบ *paratonic movement* หรือ *stimulus movement*

มีการเคลื่อนไหวอีก 2 แบบซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าเป็นผลของขบวนการทำงานมากกว่าที่จะเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้า การเคลื่อนไหวแบบนั้นก็คือ การเคลื่อนไหวที่เกิดจากความเต่งของเนื้อเยื่อ (Turgor movement) ซึ่งเกิดจากขบวนการ osmosis ทำให้ใบเต่งหรือเหี่ยวเฉาเมื่านองหุบเข้าหากัน พบมากในใบของพืชตระกูลถั่ว เช่น กระจงดิน ไมยราบ จามจุรี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนไหวของเนื้อเยื่อที่ไม่มีชีวิต ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของเซลล์ภายหลังที่ได้รับความชื้น เช่น การแตกของฝักหรือผลแห้ง การแตกของฝักต้อยติ่ง เป็นต้น

11.4 ฮอโมน (Hormone)

ฮอโมนเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกลไกการทำงานของขบวนการดำรงชีวิต อาจมีสภาพเป็นโปรตีน กรดอะมิโน สเตอรอยด์ หรือสารเคมีรูปใดรูปหนึ่ง ฮอโมนพบทั้งในพืชและในสัตว์จะถูกสร้างขึ้นโดยอวัยวะเฉพาะส่วนเท่านั้น แล้วจึงถูกลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ

11.4.1 ฮอโมนในสัตว์ (Animal Hormone)

ฮอโมนในสัตว์จะถูกสร้างขึ้นโดยเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่าต่อม (gland) ส่วนใหญ่จะเป็นต่อมไม่มีท่อ (ductless gland หรือ endocrine gland) แล้วจึงถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตไหลเวียนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย แต่มีฮอโมนบางชนิดถูกสร้างขึ้นโดยต่อมมีท่อซึ่งทำหน้าที่สร้างสารอื่นด้วย

ต่อมต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ผลิตฮอโมน ที่สำคัญคือ

1. ต่อมพิทูอิทารี (pituitary gland)
2. ต่อมไทรอยด์ (thyroid gland)
3. ต่อมพาราไทรอยด์ (parathyroid gland)
4. ต่อมอะดรีนัล (adrenal gland)
5. ต่อมไอสเล็ต ออฟ ลางเกอร์ฮานส์ (islets of Langerhans)
6. ต่อมอัณฑะ (testes)
7. ต่อมรังไข่ (ovary)

ต่อมพิทูอิทารี (Pituitary gland)

ต่อมพิทูอิทารี หรือต่อมใต้สมอง อยู่ตรงฐานของสมองบริเวณหน้ากอกหู ฮอโมนที่สร้างจากต่อมนี้ จะควบคุมการทำงานของต่อมอื่น ๆ ด้วย จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า master gland ต่อมนี้นั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ตอน คือตอนหน้า (anterior lobe) ตอนกลาง (intermediate lobe)

และตอนท้าย (posterior lobe) แต่ตอนหน้ากับตอนกลางมักรวมกัน และทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนหลายชนิด เช่น

1. Growth Hormone (GH) ทำหน้าที่ควบคุมและกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกายและโครงกระดูก ถ้ามีน้อยจะทำให้ร่างกายแคระแกร็น การเจริญเติบโตของโครงกระดูกลดน้อยลง ถ้ามีมากจะทำให้ร่างกายใหญ่โตผิดปกติ

2. Lactogenic Hormone (LTH) ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมน้ำนมให้สร้างน้ำนม

3. Thyroid Stimulating Hormone (TSH) ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้ทำงาน

4. Follicular Stimulating Hormone (FSH) ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของควบคุมการเจริญเติบโตของรังไข่

5. Luteinizing Hormone (LH) กระตุ้นให้ไข่สุก

6. Melanocyte Stimulating Hormone (MSH) หรือ intermidine สร้างโดยต่อมใต้สมองส่วนกลาง มีหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์ที่มีสีดำปรากฏขึ้น

7. Adrenocorticotropic Hormone (ACTH) ทำหน้าที่กระตุ้นให้ต่อมอะดรีนัลส่วนนอกให้ทำงาน

8. Oxytocin สร้างโดยต่อมใต้สมองส่วนท้ายทำหน้าที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อดลูก

9. Vassopressin สร้างโดยต่อมใต้สมองส่วนท้ายทำหน้าที่ควบคุมการหดตัวของเส้นเลือดพวกฮอร์โมนนี้ออกฤทธิ์เกี่ยวกับการดูดน้ำกลับ เรียกว่า reabsorption

10. Antidiuretic Hormone (ADH) สร้างโดยต่อมใต้สมองส่วนท้าย ทำหน้าที่บังคับให้ปัสสาวะมีน้ำน้อย ถ้าขาดฮอร์โมนนี้ จะทำให้เป็นโรค ซึ่งเรียกว่าเบาจืด (Diabetes insipidus) ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)

อยู่บริเวณคอตอนล่างใต้กระดูก สร้างฮอร์โมนชื่อไทร็อกซิน (Thyroxin) ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไอโอดีนเป็นองค์ประกอบ ฮอร์โมนไทร็อกซินนี้ช่วยควบคุมการใช้พลังงานและการเจริญเติบโตของร่างกายและสติปัญญา ถ้าร่างกายขาดฮอร์โมนชนิดนี้ จะทำให้ต่อมไทรอยด์โตทำให้เกิดเป็นคอหอยพอก (goiter) ถ้าเกิดในเด็กจะทำให้ร่างกายแคระแกร็น แต่ถ้าร่างกายได้รับฮอร์โมนมากเกินไปจะทำให้เกิดคอหอยพอกชนิดร้ายแรง (toxic goiter) มีอาการตาโปน หิวง่าย น้ำหนักลด

ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid gland)

อยู่ที่ขอบบนและล่างของต่อมไทรอยด์มี 2 คู่ สร้างฮอร์โมนชื่อ parathormone ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในโลหิต ถ้ามีฮอร์โมนน้อยจะทำให้ปริมาณของแคลเซียมน้อย เลือดแข็งตัวช้า และกล้ามเนื้อกระดูก ถ้ามีฮอร์โมนมาก จะทำให้แคลเซียมสลายตัวจากกระดูกมาอยู่ในเลือดมากขึ้น เกิดโรคกระดูกอ่อน ปวดกระดูก กล้ามเนื้อล้า

ต่อมอะดรีนัล (Adrenal gland)

ติดอยู่บริเวณเหนือไตจึงเรียกต่อมเหนือไตหรือต่อมหมวกไต ต่อมนั้นแบ่งออกเป็นสองตอนคือตอนนอกเรียก คอร์เท็กซ์ (cortex) กับตอนในเรียก เมดัลลา (medulla) Adrenal cortex สร้างฮอร์โมนชื่อ cortin ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของธาตุโซเดียมและโปตัสเซียมในโลหิต และควบคุมการใช้คาร์โบไฮเดรต ถ้ามีฮอร์โมนน้อยจะทำให้ผิวต่าง ความดันโลหิตต่ำ อ่อนเพลีย

Adrenal medulla สร้างฮอร์โมนชื่อ adrenalin ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นประสาทอัตโนมัติทำให้เส้นเลือดหดตัว ความดันโลหิตสูงขึ้น และช่วยให้ตับเปลี่ยนสารไกลโคเจนให้เป็นกลูโคสทำให้ร่างกายเกิดกำลังในทันที ฮอร์โมนชนิดนี้จะถูกปล่อยออกมาเมื่อร่างกายและอารมณ์ตกอยู่ในภาวะตื่นตันฉุกเฉิน เช่น ไฟไหม้ หรืออุบัติเหตุ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกต่อมอะดรีนัลได้อีกชื่อหนึ่งว่า gland of emergency

ต่อมไอส์เล็ทออฟลาנגเกอร์ฮานส์ (Islets of Langerhans)

เป็นกลุ่มเซลล์ที่กระจายอยู่ในตับอ่อน (pancreas) สร้างฮอร์โมนชื่อ insulin ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด และควบคุมการใช้น้ำตาลในร่างกาย ถ้าขาดฮอร์โมนนี้จะทำให้ร่างกายใช้น้ำตาลในเลือดไม่ได้ น้ำตาลถูกขับออกมาทางปัสสาวะมาก ทำให้เกิดโรคเบาหวาน (Diabetes mellitus) แต่ถ้ามีฮอร์โมนนี้มากจะทำให้ปริมาณของน้ำตาลในเลือดมีน้อย จะเกิดอาการหิว อ่อนเพลีย ถ้าขาดน้ำตาลมากจะทำให้สมอง ประสาท หัวใจ ตับ ไต และกล้ามเนื้อเสื่อม ชัก หหมดสติ และอาจถึงตายได้

ต่อมอัณฑะ (Testes)

ต่อมชนิดนี้นอกจากเชื้อเพศชายแล้ว ยังสร้างฮอร์โมนเพศชายหลายชนิดรวมเรียกว่า androgen ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ และควบคุมลักษณะทางเพศของเพศชาย เช่น ร่างกายแข็งแรง เสียงห้าว มีมัดกล้ามเนื้อ มีหนวดเครา และขนตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ต่อมรังไข่ (Ovary)

ต่อมชนิดนี้นอกจากสร้างเชื้อเพศหญิงแล้ว ยังสร้างฮอร์โมนเพศหญิงที่สำคัญอีกสองชนิดคือ estrogen และ progesterone ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของอวัยวะเพศและควบคุมลักษณะทางเพศของเพศหญิง เช่น กระตุ้นต่อมน้ำนมให้เจริญเติบโต สะโพกผาย มีทรวงทรวงดี ผิวละเอียด เสียงเล็กแหลม และการเตรียมรับการตั้งครรภ์ทุก ๆ เดือน

ต่อมอวัยวะและต่อมรังไข่นี้บางครั้งเรียกว่าต่อมเพศ (gonad gland)

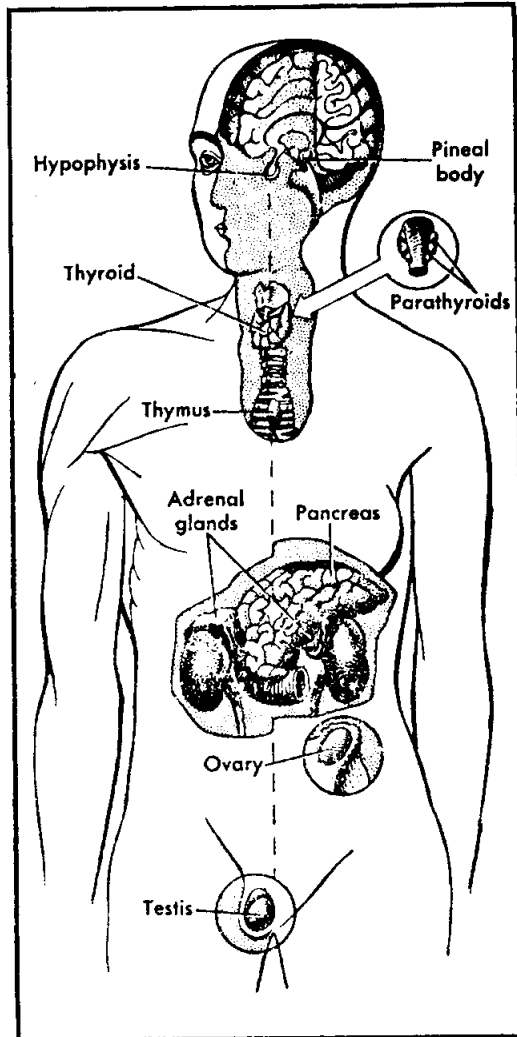
นอกจากต่อมที่สำคัญตามที่ได้กล่าวมานี้แล้ว ยังมีต่อมอื่น ๆ อีก คือ

1. ต่อมไพเนียล (pineal body) อยู่ตอนบนของสมอง
2. ต่อมไทมัส (thymus gland) อยู่ตอนบนของหน้าอก และจะมีขนาดเล็กมากเมื่อร่างกาย

เติบโต

3. รก (placenta) อยู่ในมดลูกขณะตั้งครรภ์
4. คอร์ปัส ลิวเตียม (Corpus luteum) อยู่ในรังไข่
5. ผนังกระเพาะอาหาร
6. ผนังลำไส้เล็กตอนต้น

วิชาที่ศึกษารายละเอียดของต่อมสร้างฮอร์โมนเรียกว่า วิทยาเอนโดไครน์ (Endocrinology)



ภาพ 11-12 แสดงตำแหน่งของต่อมผลิตฮอร์โมน

สรุปเรื่อง Endocrine และ Hormones

ต่อม	ฮอร์โมน	หน้าที่	ถ้าน้อย/มาก
Thyroid	Thyroxin	กระตุ้น cell respiration ห้าม Thyrotropin, ควบคุมการเจริญทางเพศ	คอหอยพอก Cretinism , Myxedema ความจำเสื่อม
	Parathormone	ควบคุม Ca^{++} Mg^{++} metabolism ฉีดฮอร์โมน เลือดจะมี Ca^{++} สูง	การสร้างกระดูกผิด ปรกติ ชักกระดูก
Stomach	Gastrin	กระตุ้น Gastric gland	
Duodenum	Secretin, pancre- ozymin Cholecystokinin	กระตุ้น Pancreas ให้ สร้างน้ำย่อย กระตุ้นถุงน้ำดีให้ปล่อย น้ำดีเข้าลำไส้	
Islets of Langerhans	Insulin Glycagon	เปลี่ยนกลูโคสให้เป็น ไกลโคเจน เปลี่ยนไกลโคเจนให้เป็น กลูโคส	Diabetes mellitus ป้องกันการลดปริมาณ น้ำตาลในเลือด ถ้าขาด ฮอร์โมนน้ำตาลในเลือด จะสูง
Pituitary	Human growth (HGH)	สร้างกระดูกและ ร่างกาย	dwarfism*, Giantism
Anterior lobe	Lactogenic (LTH)	กระตุ้น Mammary gland	
	Thyroid stimula-	กระตุ้น Thyroid	Goiter

ต่อม	ฮอร์โมน	หน้าที่	ถ้าน้อย/มาก
	Andrenocotico-tropic (ACTH)	กระตุ้น Adrenal-Cortex	
	(FSH) Follicular stimulating	กระตุ้น Ovary ให้ไข่สุก กระตุ้น Testes สร้าง Sperm	
	(LH) Luteinizing	กระตุ้นให้ไข่หลุดจาก follicle ให้ Follicle สร้าง Corpus luteum, ให้ Testes ปล่อย Androgen	
Pituitary Intermediate lobe	Intermedin (MSH)	กระตุ้น Melanocyte เช่น มีสีดำเป็นจ้ำ ๆ ในหญิง มีครรภ์	
Pituitary. Posterior lobe	Oxytocin	ให้กล้ามเนื้อเรียบของมดลูกหดตัว	ถ้าฉีดทำให้เด็กคลอดง่าย
	Vessopressin Antidiuric	ทำให้กล้ามเนื้อเส้นเลือดแดงหดตัว, เพิ่มความดันโลหิต H ₂ O-reabsorbtion ในท่อไต	ถ้าขาดร่างกายจะเสียน้ำในไตมาก เรียกเบาจืด Diabetes insipidus

ต่อม	ฮอร์โมน	หน้าที่	ถ้าน้อย/มาก
Adrenal Cortex	Glucosteroid	เปลี่ยนไขมัน โปรตีน ให้เป็นกลูโคส	ถ้าขาด Na^+ ฮอร์โมนจะมาก ถ้ามี Na^+ มาก ฮอร์โมนจะน้อย
	Mineralcorticoid Na^+, Cl^-	Na^+, Cl^- -reabsorbtion ในท่อไต	
	Androgen	ผู้หญิงมีหนวด มีขน หน้าข้าง	
Adrenal Medulla	Adrenalin	กระตุ้นเส้นเลือดให้หดตัว ความดันสูง สร้างเมื่อดกใจโกรธ	
Testes	Androgen	เร่งให้เป็นหนุ่มเร็วกระตุ้น Secondary sexual characteristics กันไม่ให้มีการสะสมไขมัน	
Ovary	Estrogen	เร่งให้เป็นหนุ่มเร็วกระตุ้น Secondary sexual characteristics, genital organ กระตุ้นให้มีการสะสมไขมัน	
Corpus luteum	Progesterone	เตรียมตัวรับการตั้งท้อง	
Placenta	Extrogen	ช่วยทำหน้าที่แทน Corpus luteum และ Pituitary gland เมื่อตั้งครรภ์	

ต่อม	ฮอร์โมน	หน้าที่	ถ้าน้อย/มาก
Thymus	Thymus hormone	สร้าง Antibody เมื่อ เยาวิวย	
Pineal body	Pineal hormone	ทำหน้าที่ตรงข้ามกับ MSH และ Sex hormone เช่นทำให้สีผิวหนังกบจาง, หรือทำให้ Oestrous cycle ช้าลง	

- HGH : Human growth hormone
 LTH : Lactogenic hormone
 TSH : Thyroid Stimulating hormone (Thyrotropin)
 ADH : Antidiuric hormone
 ACTH : Adrenocorticotropic hormone
 FSH : Follicular Stimulating hormone

11.4.2 Pheromone

ดังได้อธิบายในตอนต้นแล้วว่าฮอร์โมนคือสารเคมีที่ต่อมสร้างขึ้นแล้วจึงปล่อยเข้าสู่กระแสโลหิต ไหลเวียนไปทั่วร่างกาย มีสารเคมีอีกประเภทหนึ่งซึ่งสร้างโดยต่อมมีท่อ แล้วถูกขับออกมาใช้งานภายนอกร่างกาย เพื่อการติดต่อสื่อสารกับสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน สารเคมีชนิดนี้เรียกว่า pheromone สิ่งมีชีวิตที่พบว่ามี pheromone ได้แก่แมลงต่าง ๆ การที่แมลงต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลกันสามารถติดตาม หรือติดต่อกันได้ก็โดยอาศัยสาร pheromone นี้

11.4.3 ฮอร์โมนในพืช (Plant Hormone)

ฮอร์โมนในพืชถูกสร้างโดยส่วนของพืชที่กำลังมีการเจริญเติบโต ฮอร์โมนที่สร้างขึ้นมักมีหน้าที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตแต่เพียงอย่างเดียว ฮอร์โมนพืชที่รู้จักกันดี ได้แก่ออกซิน (auxin) ซึ่งทำให้เกิดผลขึ้นในพืชหลายประการ เช่น การตอบสนองต่อสิ่งเร้าประเภทต่าง ๆ ยับยั้งการเจริญเติบโตของตาอ่อนข้างลำต้น เร่งการเจริญเติบโตของผลการร่วงของใบและการแตกรากแขนง ฮอร์โมนชนิดอื่นได้แก่ยิบเบอเรลลิน (gibberellin) ช่วยในการขยายขนาดของลำต้น การพักตัวของเมล็ด การเร่งการออกดอก ฮอร์โมนไคนิน (kinin) ช่วยในการแบ่งเซลล์ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น ฮอร์โมนไคนินนี้ประกอบด้วยสารพิวรีนและอะดีนีน เหมือนดังที่พบในการคินิวคลีอิด