

## บทที่ 11

# การรักษาภาวะสมดุล (HOMEOSTASIS)

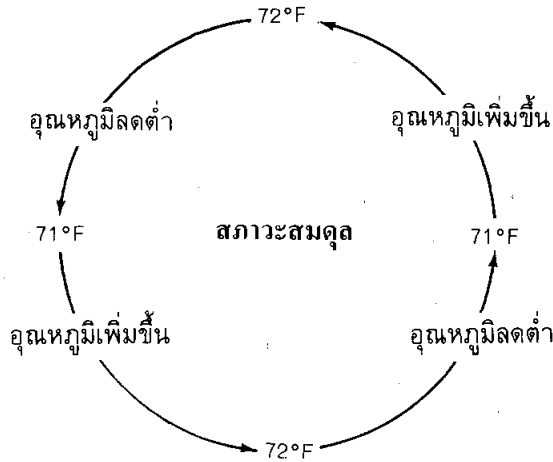
วราภรณ์ กิจวิริยะ

ปัญหาที่สิ่งมีชีวิตต้องเผชิญอยู่เสมอ ๆ คือ ปัญหาเกี่ยวกับการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ การเปลี่ยนสภาวะจากนั่งเป็นนอน ยืน หรือเดิน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมภายนอก และ การเป็นกรดเป็นด่าง การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหาร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสภาวะสิ่งแวดล้อมภายในของร่างกาย เนื่องจากสิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่มีความสลับซับซ้อน และมีความสามารถในการกำหนดระเบียบและสามารถควบคุมตนเองได้ ดังนั้น การรักษาภาวะสมดุลของสิ่งมีชีวิตจึงมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม การเจริญ การสืบพันธุ์ การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นและอื่น ๆ ด้วย

การรักษาภาวะสมดุลของสิ่งมีชีวิต เรียกว่า Homeostasis (Greek; Homeo = alike or the same, stasis = standing or remaining) จากความหมายของการรักษาภาวะสมดุลนี้ Walter B. Cannon (ค.ศ. 1871—1945) กล่าวว่า ไม่ได้หมายความว่าเฉพาะสภาวะคงที่ของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น หากรวมถึงวิธีการย้อนกลับ (feedback mechanism) เพื่อจะรักษาภาวะสมดุลนี้ด้วย นั่นคือ ในการรักษาภาวะสมดุลของสิ่งมีชีวิต จะต้องมึระบบที่เรียกว่าระบบรักษาภาวะสมดุลด้วยตนเอง (self regulating system) เพื่อคอยตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

การทำงานของเครื่อง thermostat ในการที่จะรักษาอุณหภูมิของห้องให้อยู่ในระดับอุณหภูมิ  $71^{\circ}$ — $72^{\circ}$ F จัดเป็นตัวอย่างที่แสดงการควบคุมเพื่อรักษาภาวะสมดุลด้วยตนเองอย่างดี โดยที่เรากำหนดให้ตัว thermostat ตัดไฟฟ้าที่  $72^{\circ}$ F และเครื่องทำงานเมื่ออุณหภูมิ  $71^{\circ}$ F ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นสะพานให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในเครื่องทำด้วยสปริง เมื่อใดที่อุณหภูมิห้องอยู่ใน

ระดับ 71°F กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน thermostat ได้เนื่องจากการเชื่อมติดกันของแผ่นสปริง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่เครื่องทำความร้อน (heater) ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิห้องค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิห้องถึง 72°F thermostat ก็จะตัดไฟโดยที่สปริงหลุดออกจากกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอีกไม่ได้ อุณหภูมิห้องก็จะค่อย ๆ ลดลงอีกจนถึง 71°F สปริงที่เป็นสะพานก็จะกลับมาเชื่อมกันอีกเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ การเกิดเช่นนี้จะหมุนเวียนเรื่อย ๆ ไปเป็นวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 11-1



รูปที่ 11-1 แสดงการทำงานของ Thermostat เมื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิห้องในระดับ 71°-72°F

การรักษาระดับอุณหภูมิของห้องให้อยู่ในระดับ 71°-72°F เป็นการรักษาสภาวะสมดุลแบบไม่อยู่นิ่ง (dynamic equilibrium) การทำงานของ thermostat เพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในระดับที่กำหนด โดยไม่มีระบบอื่นจากภายนอกเข้ามาช่วยควบคุม คือ ระบบการควบคุมสภาวะสมดุลด้วยตนเอง กลไกย้อนกลับที่ทำให้อุณหภูมิห้องอยู่ในระดับที่กำหนดได้นี้ คือ การเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมินั่นเอง

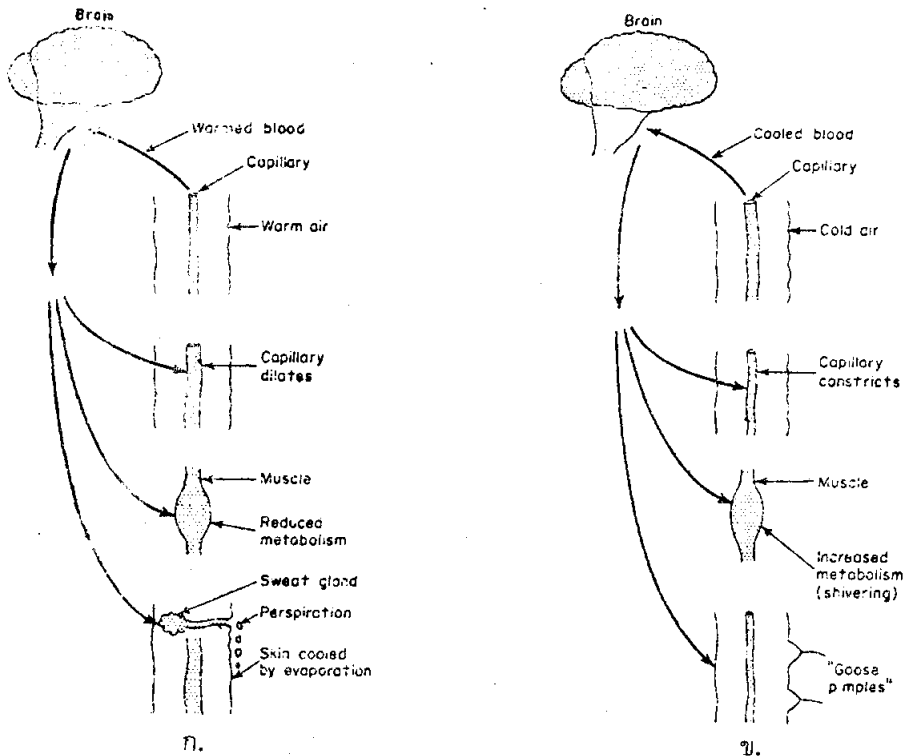
สิ่งมีชีวิตมีกลไกการทำงานในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทำงานของ thermostat เพื่อรักษาสภาวะสมดุลของตนเอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

### 1. การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

อุณหภูมิปกติของมนุษย์จะอยู่ในระดับประมาณ 37°C หรือ 98.6°F เสมอ ศูนย์ที่ควบคุมระดับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่นี้อยู่ที่สมองส่วน hypothalamus เมื่ออากาศร้อน อุณหภูมิภายนอกในร่างกายเพิ่มขึ้นสูง เส้นเลือดที่ผิวหนังจะรับความรู้สึกร้อนไปด้วย เมื่อเลือดไหลผ่านสมองส่วน hypothalamus เนื้อเยื่อที่สมองส่วนนี้ซึ่งมีความไวต่ออุณหภูมิของเลือดที่ไหลผ่านจะส่งกระแสประสาทออกไปที่ต่อมเหงื่อ กระตุ้นให้ต่อมเหงื่อทำงานมากขึ้นทันที เมื่อเหงื่อ

ออกแล้วจะทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลง นอกจากจะกระตุ้นต่อมเหงื่อให้ทำงานเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังมีกระแสประสาทจาก hypothalamus ส่วนหนึ่งส่งกระแสความรู้สึกไปที่ผนังของเส้นเลือดบริเวณผิวหนัง ทำให้เส้นเลือดขยายตัวเป็นการระบายความร้อนอีกวิธีหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ เราจึงเห็นผู้ที่ออกกำลังกาย ออกกำลังกาย หรือผู้อยู่ในสภาวะที่ร่างกายกำลังมีความร้อนมีเหงื่อออกมาก และผิวหนังปรากฏเป็นสีแดงหรือสีเข้มกว่าปกติ ภายหลังกายได้ระบายความร้อนออกแล้ว จะทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลง เลือดที่ไหลผ่าน hypothalamus จะมีอุณหภูมิในระดับปกติ เนื้อเยื่อที่ศูนย์ควบคุมระดับอุณหภูมิจะหยุดส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นให้ทั้งต่อมเหงื่อและผนังเส้นเลือดทำงานช้าลงกว่าเดิม ทำให้ร่างกายหยุดการสูญเสียความร้อน และมีอุณหภูมิร่างกายอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมปกติ

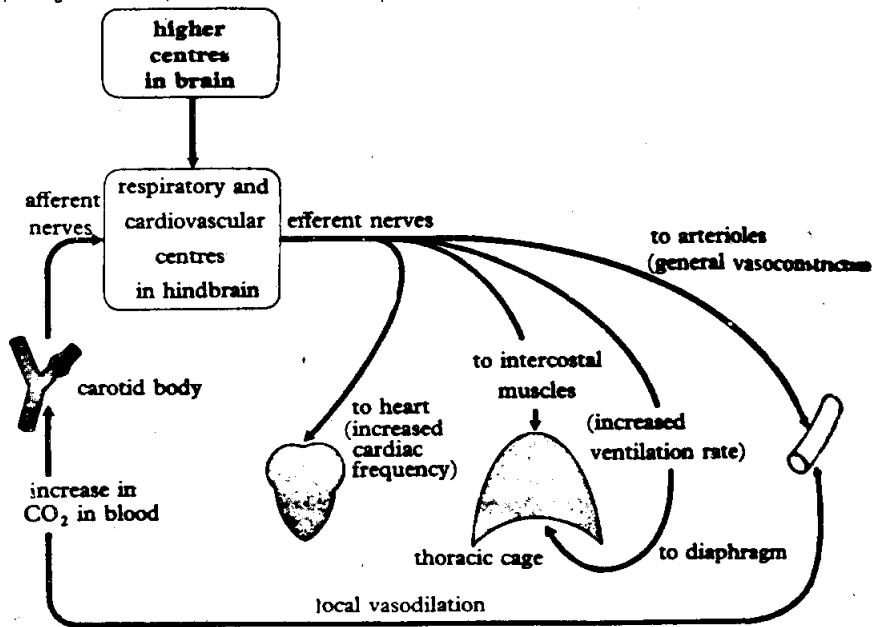
ในกรณีที่ร่างกายได้รับอากาศเย็น สมองส่วน hypothalamus จะส่งกระแสประสาทไปที่ผนังเส้นเลือดที่ผิวหนัง ทำให้เกิดการหดตัวของเส้นเลือด และจะทำให้การรับความรู้สึกหนาวเย็นลดลง นอกจากนี้ hypothalamus ยังส่งกระแสประสาทไปที่กล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว และทำให้ขนลุกด้วย การเกิดในสองกรณีหลังเพื่อช่วยป้องกันมิให้สูญเสียความร้อน และร่างกายจะได้รับการรักษาอุณหภูมิให้อุ่นยิ่งขึ้น



รูปที่ 11-2 แสดงการรักษาอุณหภูมิในร่างกาย ก. เมื่ออากาศร้อน ข. เมื่ออากาศเย็น

## 2. การควบคุมการหายใจ

ปกติมนุษย์จะหายใจในอัตรา 16–18 ครั้ง/นาที ร่างกายขณะนอนหลับอัตราการหายใจจะช้า และเมื่อออกกำลังกาย อัตราของการหายใจจะเร็วกว่าปกติ ศูนย์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหายใจเข้าและออกนี้อยู่ที่สมองส่วน medulla ในการหายใจ ศูนย์ควบคุมการหายใจเข้าจะส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นให้กล้ามเนื้ออกและกระบังลมหดตัว เมื่อเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อและกระบังลม จะทำให้ช่องอกขยายและอากาศจะเข้าไปที่ปอด เมื่อปอดขยายจะมีเนื้อเยื่อบางส่วนในปอดที่ส่งกระแสประสาทต่อไปยังศูนย์ที่ควบคุมการหายใจออกที่ส่วน medulla และจากศูนย์นี้จะมีการส่งกระแสประสาทไปที่ศูนย์ควบคุมการหายใจเข้าอีกครั้งหนึ่ง ให้อยู่ติดการกระตุ้นกล้ามเนื้อและกระบังลม ช่องอกก็จะเล็กลงและอากาศก็ถูกขับออกมา สิ่งกระตุ้นศูนย์หายใจที่ไม่เกี่ยวกับกระแสประสาทตั้งที่กล่าวมาแล้ว คือ ปริมาณของ  $CO_2$  ที่มีอยู่ในเลือดตลอดเวลา โดย  $CO_2$  จะไปกระตุ้นส่วนที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารนี้ที่เรียก chemoreceptor ซึ่งอยู่ที่เส้นเลือด carotid จาก chemoreceptor นี้จะมีกระแสประสาทไปกระตุ้นที่ศูนย์ควบคุมการหายใจกระตุ้นให้มีการหายใจดังกล่ามาแล้วและวนเวียนเช่นนี้



รูปที่ 11-3 แผนภาพสรุปการควบคุมการหายใจ

อัตราการหายใจจะเปลี่ยนไปเมื่อออกกำลังกายหรือมีความรู้สึกและอารมณ์รุนแรง เมื่ออยู่ในสภาวะเช่นนั้น เซลล์จะมีการทำงานเพิ่มมากกว่าปกติ จึงเกิดพลังงานมากขึ้น ทำให้มีการปล่อย  $CO_2$  เพิ่มขึ้นด้วย ในสภาวะเช่นนี้ทำให้การหายใจถี่เร็วขึ้น เพื่อจะได้รับ  $CO_2$  ให้มากขึ้น เพราะขณะนี้เนื้อเยื่อต่าง ๆ กำลังต้องการ  $O_2$  เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณสาร

CO<sub>2</sub> ที่มีมากนี้ยังเร่งการเต้นของหัวใจอีกด้วย ทำให้การหมุนเวียนของเลือดเร็วขึ้น เท่ากับ ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดได้เร็วขึ้นอีก

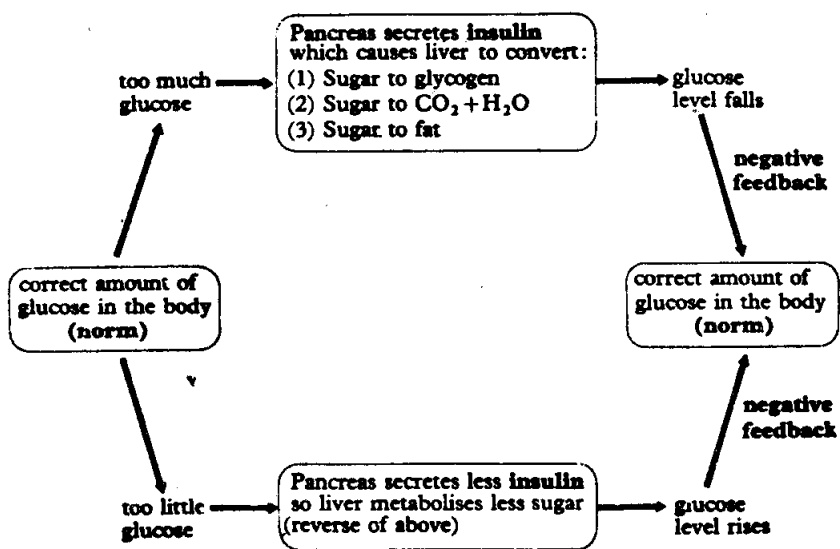
ปริมาณของ CO<sub>2</sub> และ O<sub>2</sub> ที่มีอยู่ในเลือด จะมีผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานของ ศูนย์ควบคุมการหายใจอย่างมากเมื่อมนุษย์อยู่ในที่ ๆ มีความสูงมาก หรืออยู่ใต้น้ำลึก ๆ ด้วยเหตุนี้ เครื่องบินที่บินสูงกว่า 10,000 ฟุต จึงต้องเพิ่มความดันภายในเครื่องบินเพื่อให้ผู้โดยสารหายใจได้สะดวก และนักปีนเขาและหรือนักประดาน้ำที่ต้องใช้ถังอัดอากาศ O<sub>2</sub> และหน้ากากเมื่อปีนเขาสูง ๆ หรือดำน้ำลึก ๆ ก็เพื่อกันการกระทบกระเทือนต่อการหายใจปกตินั่นเอง

ด้วยเหตุนี้จึงพบว่า มนุษย์ที่อาศัยอยู่ในที่ ๆ มีระดับความสูงมาก ๆ มีจำนวนเม็ดเลือดแดงเป็นจำนวนมากกว่าพวกที่อาศัยอยู่ในระดับความสูงต่ำลงมา การมีจำนวนเม็ดเลือดแดงเพิ่มมากขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มสารฮีโมโกลบินในร่างกายเพื่อที่จะได้นำปริมาณ O<sub>2</sub> เพิ่มมากขึ้นกว่าปกตินั่นเอง เคยมีผู้ทำการทดลองนับจำนวนของเม็ดเลือดแดงของนักปีนเขาบนที่สูง 4,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล เขาพบว่าปริมาณของเม็ดเลือดแดงเพิ่มจากระดับปกติ คือ 5.5 ล้าน/ มม.<sup>3</sup> เป็น 8 ล้าน/ มม.<sup>3</sup>

### 3. การรักษาสภาวะสมดุลของน้ำตาลในร่างกาย

ปกติแล้วน้ำตาลจะมีอยู่ในเลือดประมาณ 90 มิลลิกรัม/ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายหลังจากรับประทานอาหารปริมาณของน้ำตาลในเลือดจะมีสูงกว่านี้ แต่จะไม่ถึงระดับ 150 มิลลิกรัม/ 100 ลบ.ซม. แม้ว่าปริมาณสูงสุดที่สามารถมีน้ำตาลในเลือดได้มีถึง 180 มิลลิกรัม/ 100 ลบ.ซม. ก็ตาม ร่างกายมนุษย์มีปัจจัยอะไรหรือในการที่รักษาระดับของน้ำตาลให้อยู่ในระดับปกติได้ จากการศึกษาพบว่า หลังจากที่ยาอาหารถูกย่อยแล้วบางส่วนของอาหารถูกนำไปเลี้ยงเซลล์ และบางส่วนถูกนำไปโดยกระแสเลือดไปสู่ตับ และที่นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น CO<sub>2</sub> และน้ำ (เนื่องจากการหายใจของเซลล์) หรือถูกเปลี่ยนไปเป็น glycogen และไขมันแล้วเก็บไว้ มีบางส่วนจากตับส่งผ่านเข้าสู่กระแสเลือด ระดับของน้ำตาลในเลือดและในส่วนที่เป็นของเหลวในร่างกาย (body fluid) จะมีระดับทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอยู่ ในกรณีที่มีปริมาณน้ำตาล glucose มากในเลือดและ body fluid ตับจะเปลี่ยน glucose ไปเป็น glycogen และไขมัน แต่เมื่อใดที่มีปริมาณ glucose น้อยหรือร่างกายขาดอาหาร ตับจะเปลี่ยน glycogen เป็น glucose ในกรณีที่ต้องการเป็นเวลานาน ตับสามารถที่จะเปลี่ยน protein ให้เป็น glucose ได้อีกด้วย เพราะฉะนั้น จะเห็นได้ว่าตับทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมปริมาณของน้ำตาลในร่างกาย อย่างไรก็ตามก็ดี เมื่อศึกษาโดยละเอียดแล้วพบว่าตับไม่สามารถที่จะทำงานควบคุมสภาวะสมดุลของ glucose ได้อย่างโดดเดี่ยว หากแต่ต้องมีฮอร์โมน insulin เข้ามาช่วยทำงานด้วย ฮอร์โมน insulin ผลิต

จากต่อมไร้ท่อที่เรียกว่า islets of Langerhans ซึ่งอยู่ที่ตับอ่อน (pancreas) เป็นที่ยอมรับกันว่า ปริมาณสาร insulin ถูกควบคุมโดยปริมาณของน้ำตาลในเลือดอีกทอดหนึ่ง เมื่อใดที่ปริมาณ น้ำตาลในเลือดสูง islets of Langerhans จะถูกกระตุ้นให้มีการหลั่ง insulin เป็นจำนวนมาก ผลก็จะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงสู่ระดับปกติ และเมื่อระดับน้ำตาลต่ำลง ระดับน้ำตาลนี้ จะลดการกระตุ้นต่อม islets of Langerhans ทำให้ต่อมลดการผลิต insulin ปริมาณของ glucose ก็จะมีปริมาณมากขึ้น ดังรูปที่ 11-4



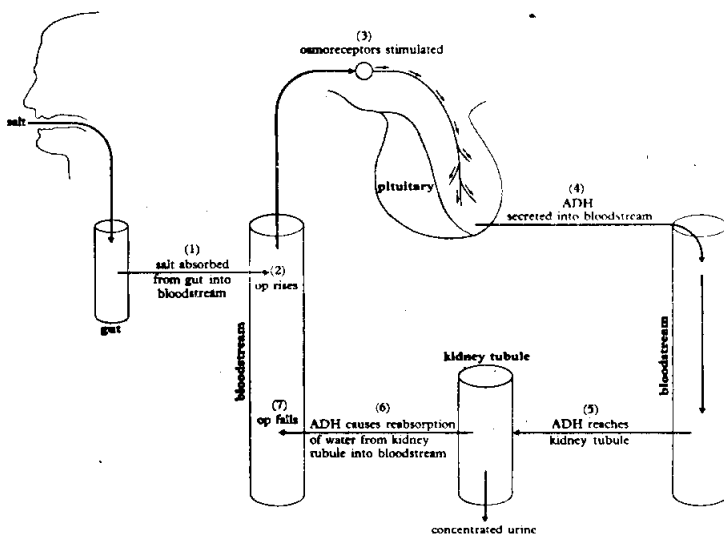
รูปที่ 11-4 แผนภาพแสดงการรักษาภาวะสมดุลของระดับน้ำตาลในร่างกาย

#### 4. การรักษาภาวะสมดุลของน้ำ

ไตเป็นอวัยวะสำคัญที่ทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียที่เป็นของเหลว ซึ่งคือน้ำปัสสาวะ ซึ่งประกอบด้วยน้ำและของเสียพวกสารประกอบไนโตรเจน เช่น ยูเรีย เป็นส่วนใหญ่ และมีสารอื่น ๆ ปนออกมาบ้าง ในขณะที่เดียวกันเซลล์ของผนังหลอดไตจะทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและสารจำเป็นหลายชนิด เช่น กลูโคส วิตามินบางชนิด กรดแอมิโน เกลือฟอสเฟต และเกลือซัลเฟต เป็นต้น เพื่อนำกลับไปใช้ และหรือทำให้ร่างกายอยู่ในสภาวะสมดุล ขณะที่ไตทำหน้าที่ดูดกลับของสารเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันออสโมซิสเกิดขึ้นด้วย

การดูดซึมน้ำกลับของน้ำที่หลอดไตเกิดขึ้นอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ฮอร์โมนดังกล่าว คือ vasopressin หรือ Antidiuretic hormone หรือ ADH โดยมีวิธีการดังนี้ คือ ที่สมองส่วน hypothalamus มีกลุ่มเซลล์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันออสโมซิสของเลือด เมื่อกลุ่มเซลล์นี้ถูกกระตุ้นเนื่องจากความดันออสโมซิสเปลี่ยนแปลง

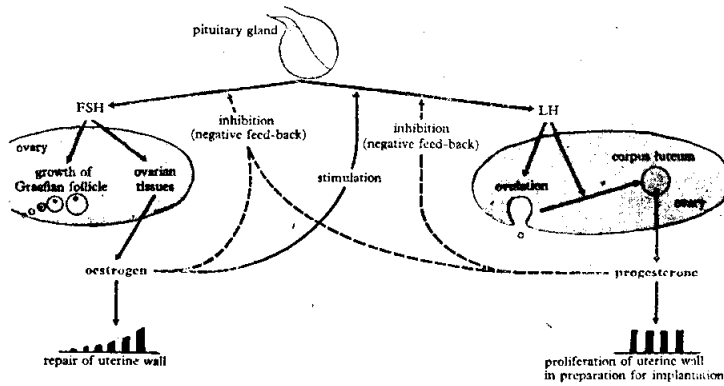
อาจเป็นกรณีที่ร่างกายเสียน้ำ หรือรับประทานอาหารที่มีเกลือมาก เมื่อกลุ่มเซลล์ถูกกระตุ้นแล้วจะมีการหลั่งฮอร์โมนจากส่วน neurosecretory cell ของ hypothalamus ไปสู่ posterior pituitary gland จากนั้นฮอร์โมนจะไปสู่ไตโดยปนไปกับกระแสเลือด ซึ่งที่ไตนี้ฮอร์โมนจะกระตุ้นให้หลอดไตเพิ่มการดูดกลับของน้ำ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของปัสสาวะมีมากขึ้นและแรงดันออสโมซิสลดลง เมื่อแรงดันออสโมซิสลดน้อยลง (อาจเกิดได้อีกเนื่องจากเมื่อดื่มน้ำมาก ๆ กลุ่มเซลล์ที่ hypothalamus จะถูกกระตุ้นน้อยลงกว่าเดิม ทำให้มีฮอร์โมนหลั่งออกมาน้อย ดังนั้นการดูดกลับของน้ำที่หลอดไตจึงเกิดได้น้อยลงด้วย ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันออสโมซิสเปลี่ยนเป็นสูงขึ้น และทำให้น้ำปัสสาวะค่อนข้างเจือจางดังรูปที่ 11-5



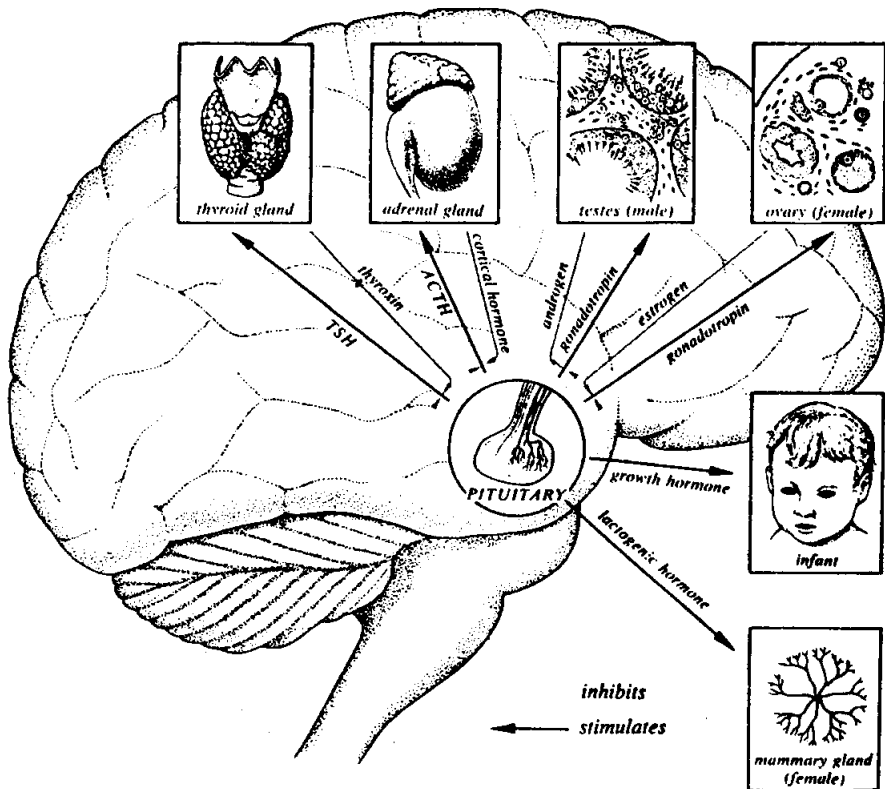
รูปที่ 11-5 แสดงการรักษาภาวะสมดุลของน้ำในร่างกาย

ลักษณะที่สิ่งมีชีวิตจะต้องปรับตนเองเพื่อให้คงภาวะสมดุลภายในตัวมิได้หลายประการ การรักษาภาวะสมดุลดังตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วเป็นเพียงบางลักษณะที่เกิดขึ้นในสัตว์ชั้นสูง เช่น มนุษย์ เป็นต้น ความจริงการเกิดภาวะสมดุลเพื่อปรับตนให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมภายใน มิได้ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตระดับเซลล์เดี่ยวจนถึงพืชและสัตว์ชั้นสูง โดยเฉพาะในสัตว์ชั้นสูง เช่น มนุษย์ พบว่าวิธีการที่จะรักษาภาวะสมดุลในตนเองมีความสลับซับซ้อนและสารปัจจัยที่สำคัญเพื่อรักษาภาวะสมดุลในร่างกาย คือ สารที่เรียกว่า ฮอร์โมน การทำงานของฮอร์โมนอาจจะทำงานเดี่ยว เช่น การทำงานของ insulin เพื่อรักษาระดับน้ำตาล glucose ในเส้นเลือด หรือการทำงานของฮอร์โมน ADH เพื่อที่จะดูดซึมน้ำกลับที่หลอดไต และฮอร์โมนยังอาจทำงานร่วมกัน ดังเช่นกรณีการทำงานของฮอร์โมนเพศ ดังกล่าวไว้ในบทที่ 8 ในเรื่องวงจรประจำเดือน การตกของไข่ และการตั้งครรภ์ สำหรับในบทนี้จะแสดงเพียงแผนภาพ

ดังรูปที่ 11-6 และรูปที่ 11-7 เช่นกรณีการทำงานของต่อมใต้สมอง (pituitary gland) ของมนุษย์ซึ่งผลิตฮอร์โมนต่าง ๆ เพื่อไปกระตุ้นการทำงานของต่อมไร้ท่ออื่น ๆ รวมทั้งการควบคุมปริมาณการหลั่งของสารฮอร์โมนเพื่อทำให้การทำงานของต่อมต่าง ๆ อยู่ในสภาวะสมดุล



รูปที่ 11-6 แสดงอิทธิพลของฮอร์โมน FSH และ LH ในการควบคุมวงจรประจำเดือน



รูปที่ 11-7 แสดงชนิดต่างๆ ของฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมใต้สมอง รวมทั้งสารฮอร์โมนที่เป็นกลไกย้อนกลับ (feedback mechanism) เพื่อควบคุมระดับของฮอร์โมนให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม



ตารางต่อไปนี้จะแสดงถึงชนิดของฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมไร้ท่อในมนุษย์และหน้าที่ของฮอร์โมนชนิดนั้น ๆ รวมทั้งลักษณะอาการที่ปรากฏเมื่อปริมาณของสารฮอร์โมนมีความผิดปกติไปจากสภาวะที่พอเหมาะในร่างกาย

ต่อมไร้ท่อ	ฮอร์โมน	หน้าที่
1. ต่อมใต้สมอง (Pituitary) ส่วน Adrenohypophysis	1. Growth hormone (GM)	ควบคุมและกระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ กระดูก อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย (มีมาก : ใหญ่โตกว่าปกติ, มีน้อย : เตี้ยแคระ)
	2. Thyroid stimulating Hormone (TSH)	กระตุ้นการเจริญ การสร้างและการหลั่งฮอร์โมนของต่อม Thyroid
	3. Adrenocorticotrophic hormone (ATCH)	ควบคุมและกระตุ้น adrenal cortex ในการหลั่งฮอร์โมนของ adrenal cortex
	4. Follicle stimulating hormone (FSH)	กระตุ้นการเจริญของ graffian follicle และ/หรือกระตุ้นหลอดสุจิให้สร้างตัวสุจิ
	5. Luteinizing hormone (LH)	กระตุ้นรังไข่ให้สร้าง corpus luteum และสร้างฮอร์โมน Progesterone และร่วมกับ FSH ช่วยให้ตกไข่ และยังกระตุ้นให้ interstitial cell สร้างฮอร์โมน Testosterone
	6. Lactogenic hormone (LTH)	ร่วมกับ GH กระตุ้นการเจริญของต่อมน้ำนม
	7. Melanophore stimulating hormone (MSH)	ร่วมกับ ACTH ควบคุมการกระจายของเม็ดรงควัตถุ (pigment granule)
ส่วน Neurohypophysis	1. Oxytocin	กระตุ้นกล้ามเนื้อของมดลูกให้บีบตัวดีขึ้น ช่วยในการเคลื่อนที่ของอสุจิภายในช่องคลอด กระตุ้นต่อมน้ำนมให้ฉีดน้ำนม
	2. Antidiuretic hormone (ADH)	ควบคุมการดูดน้ำกลับของหลอดไต
2. ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid gland)	Parathormone (PTH)	ควบคุมเมแทบอลิซึมของแคลเซียมและฟอสฟอรัส (มีมาก : กระดูกงอ อ่อน กล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ย)
3. ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)	Thyroxine	ควบคุมเมแทบอลิซึมของร่างกาย ร่วมกับ GH ควบคุมการเจริญของกระดูก ระบบประสาทและระบบหัวใจ (มีน้อย : ไม่เจริญ, อาการซึม ความคิดอ่านช้า และคอหอยพอก,

ต่อมไร้ท่อ	ฮอร์โมน	หน้าที่
		มีมาก : เมแทบอลิซึมมากกว่าปกติ และคอหอยพอก ตาโปน
4. ต่อมไทมัส (Thymus gland)	Thymic hormone	ในตัวอ่อนเชื่อว่ากระตุ้นการผลิต antibody ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ
5. ต่อมอะดรีนัล (Adrenal gland)		
ส่วน Adrenal Cortex	1. Mineralocorticoids 2. Glucocorticoids 3. sex hormones	ควบคุมสมดุลของน้ำและสาร electrolyte ควบคุมเมแทบอลิซึมของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทำงานเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเพศที่สร้างจากอวัยวะสืบพันธุ์
ส่วน Adrenal Medulla	Adrenalin	กระตุ้น sympathetic nerve ให้ร่างกายเผชิญกับเหตุการณ์เฉพาะหน้าได้
<b>ตับอ่อน (Pancreas)</b>		
<b>Islets of Langerhans</b>		
กลุ่ม P-cells	Insulin	ควบคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน
กลุ่ม A-cells	Glucagon	มีผลต่อการหลั่งของ Insulin และการเปลี่ยนแปลง electrolyte ในเลือด รวมทั้งเพิ่มปริมาณ glucose ในเลือดด้วย
<b>รังไข่ (Ovary)</b>	1. Estrogen 2. Progesterone 3. Relaxin	ควบคุมลักษณะการเป็นเพศหญิง ควบคุมเยื่อชั้นในของมดลูกเพื่อรองรับการฝังตัวของไข่ที่ถูกผสม ควบคุมการขยายตัวของกระดูกเชิงกรานเพื่อให้ลูกคลอดได้สะดวก
<b>อัณฑะ (Testis)</b>	Testosterone and Androgen	ควบคุมลักษณะการเป็นเพศชายและสร้างตัวอสุจิ

สรุปหลักการสำคัญ ๆ ของการรักษาสภาวะสมดุลของสิ่งมีชีวิต

1. การรักษาสภาวะสมดุลไม่ใช่เป็นการรักษาสภาวะที่คงที่ในระดับเดียวกันตลอดเวลา อาจมีความมากบ้างน้อยบ้าง แต่รวมแล้วทำให้สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ อยู่ในสภาวะปกติได้
2. ต้องมีกลไกย้อนกลับในตัวของตนเองซึ่งเรียกว่า feedback mechanism

## การรักษาภาวะสมดุลในธรรมชาติ (Homeostasis in Nature)

ในธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตจะต้องมีการรักษาภาวะสมดุลใน 2 ลักษณะต่อไปนี้ คือ

1. จัดระดับสมดุลของการหมุนเวียนระหว่างพลังงานและสสารในธรรมชาติให้เหมาะสม ซึ่งคือระบบสมดุลที่เรียกว่าระบบนิเวศน์ (Ecosystem) นั้นเอง
2. จัดระดับสมดุลของประชากรในสิ่งมีชีวิตด้วยกัน

### ระบบนิเวศน์ (Ecosystem)

องค์ประกอบที่สำคัญ 2 สิ่งในระบบนิเวศน์ คือ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตนั้นอยู่ ระบบนิเวศน์อาจเป็นหน่วยเล็ก ๆ เช่น ขอนไม้ล้ม (fallen tree ecosystem) สระน้ำ (pond ecosystem) หรือหน่วยใหญ่ ๆ เช่น มหาสมุทร (marine ecosystem) แหล่งน้ำจืด (fresh water ecosystem) และระบบนิเวศน์ของโลก (biosphere) ไม่ว่าจะ มีขนาดเล็กหรือใหญ่ กระบวนการต่าง ๆ เพื่อจะรักษาความสมดุลนั้นเหมือนกัน เพียงแต่ความสลับซับซ้อนต่างกันเท่านั้น

ในระบบนิเวศน์หนึ่ง ๆ ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญดังนี้ คือ

1. สิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic substance)
2. สิ่งมีชีวิต (Biotic substance)

#### 1. สิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic substance)

สิ่งไม่มีชีวิต ได้แก่อนินทรียสาร เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน น้ำ แคลเซียม เกลือฟอสฟอรัส กรดแอมิโนแอซิด และอื่น ๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ในสิ่งแวดล้อมและอยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิต รวมทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (physical environment) ที่มีอิทธิพลต่อการดำรงของสิ่งมีชีวิต เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง อาหาร และดิน เป็นต้น

สิ่งไม่มีชีวิตจัดเป็นปัจจัยทางกายภาพ (physical factor) ที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ ปัจจัยบางชนิดมีความสำคัญมาก บางชนิดก็มีความสำคัญน้อย บางชนิดมีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งสิ่งมีชีวิตจะขาดไม่ได้ ถือว่าเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ของสิ่งมีชีวิตนั้น

#### 2. สิ่งมีชีวิต (Biotic substance)

สามารถจำแนกเป็นระดับต่าง ๆ ตามหน้าที่เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการกินอาหาร (trophic niche) ได้ดังนี้

1) **ผู้ผลิต (Producer)** เป็นพวกพืชสีเขียว รวมทั้งสาหร่ายและ phytoplankton ซึ่งสามารถใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ ทำการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตอาหาร phytoplankton ซึ่ง

เราไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่านี้ จัดเป็นผู้ผลิตที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งผลิตอาหารที่ใหญ่ที่สุดสามารถสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากกว่าพืชชั้นสูง

2) ผู้บริโภค (Consumer) ได้แก่ สัตว์ชนิดต่าง ๆ สามารถจำแนกออกเป็น

(1) ผู้บริโภคอันดับแรก (Primary consumer or herbivore) ได้แก่ สัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารและสามารถที่จะเปลี่ยนเนื้อเยื่อพืชให้เป็นเนื้อเยื่อสัตว์ได้ สัตว์พวกนี้มีความสามารถที่จะย่อยสารเซลลูโลส (cellulose) ในพืช หรือในระบบย่อยอาหารของสัตว์พวกนี้มีแบคทีเรียชนิดที่ย่อยเซลลูโลสให้เป็น fatty acid ได้ เมื่อผนังเซลล์ของพืชถูกทำลายลงแล้ว สารต่าง ๆ ในเซลล์พืช พวกแป้ง ไขมัน โปรตีน จะถูกย่อยได้สะดวกขึ้น และถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

(2) สัตว์ที่กินสัตว์ (Carnivore) สัตว์พวกนี้คือสัตว์ที่กินเนื้อเป็นอาหารนั่นเอง จำแนกออกเป็น primary carnivore ซึ่งคือสัตว์ที่กินสัตว์กินพืช (ผู้บริโภคเนื้ออันดับแรก หรือคือผู้บริโภคอันดับสอง secondary consumer) สัตว์ที่กินสัตว์กินเนื้ออันดับแรก ถือเป็นสัตว์กินเนื้ออันดับสอง (secondary carnivore) หรือคือผู้บริโภคอันดับสาม (tertiary consumer) สัตว์ชนิดสุดท้ายหรือที่อยู่ในระดับสูงที่กินสัตว์อื่นเรียกว่า top carnivore หรือ top consumer ชั้นของ top consumer ปกติแล้วจะมี 3 ถึง 4 ชั้นและจะไม่เกิน 5 ระดับชั้น ลำดับชั้นของเชิงกินอาหารเราเรียกว่า trophic level ซึ่งกำหนดให้พืชเป็นลำดับที่หนึ่งเสมอ

(3) สัตว์ที่กินทุกสิ่ง (Omnivore) สัตว์พวกนี้จะกินทั้งพืชและสัตว์ อาหารของสัตว์พวกนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล หรือระยะเวลาการเจริญของตัวสัตว์ด้วย

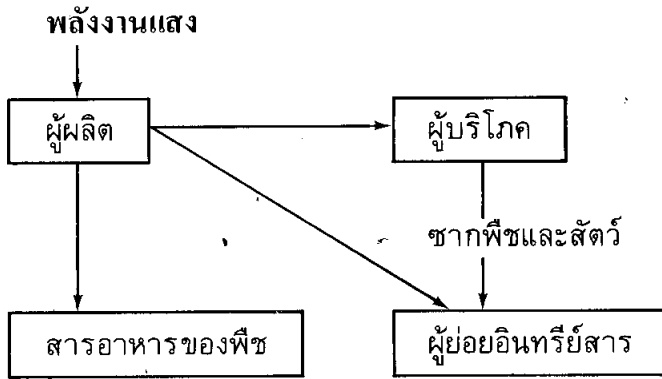
(4) สัตว์กินซากที่เหลือ (Scavenger) สัตว์พวกนี้กินซากสัตว์ที่พวก carnivore กินเหลือและทิ้งไว้

3) ผู้ย่อยอินทรีย์สาร (Decomposer) กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ สิ่งมีชีวิตพวกแบคทีเรียและเชื้อรา สิ่งมีชีวิตพวกนี้จะย่อยสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ดิน อากาศ หรือในซากพืชสัตว์เพื่อให้ดำรงชีพของตัวเอง ส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ซึ่งมีเป็นจำนวนมาก พืชได้นำกลับมาใช้เป็นอาหารต่อไปได้ แม้ว่าแบคทีเรียและเชื้อราจะมีขนาดเล็กมาก แต่ความสามารถในการย่อยสลายมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีจำนวนประชากรมากมาย

มีสัตว์อีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ พวกไส้เดือนดิน กิ้งกือ ปลวก แมลงหางดีดและอื่น ๆ พวกนี้กัดกินซากพืชสัตว์ เราเรียกสัตว์ที่กินซากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ นี้ว่า Detritivore พวกนี้จัดว่าเป็นประโยชน์มากในการช่วยผู้ย่อยสลายให้ทำงานย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น จากการทดลองการ

ย่อยสลายของใบไม้ร่วง ให้พวกย่อยอินทรีย์สารอย่างเดียวย่อยสลาย ปรากฏใช้เวลานานกว่า เมื่อมีพวก detritivore อยู่ด้วย

ผู้ย่อยอินทรีย์สารบางที่เรียกว่า ผู้แปรสภาพสาร (transformer) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตพวกนี้ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างสิ่งไม่มีชีวิตและสิ่งมีชีวิต ในระบบนิเวศน์ที่สมดุล การเชื่อมโยงระหว่าง 2 สิ่งดังกล่าวจะต้องสัมพันธ์ต่อเนื่องเป็นวัฏจักร สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่จะทำให้ระบบนิเวศน์ดำรงอยู่และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุลก็คือ ต้องมีพลังงานเข้าสู่ระบบนั้น ๆ ดังแผนภาพโครงสร้างของระบบนิเวศน์และความสัมพันธ์ทางพลังงานที่เข้าสู่ระบบนิเวศน์เป็นวัฏจักร

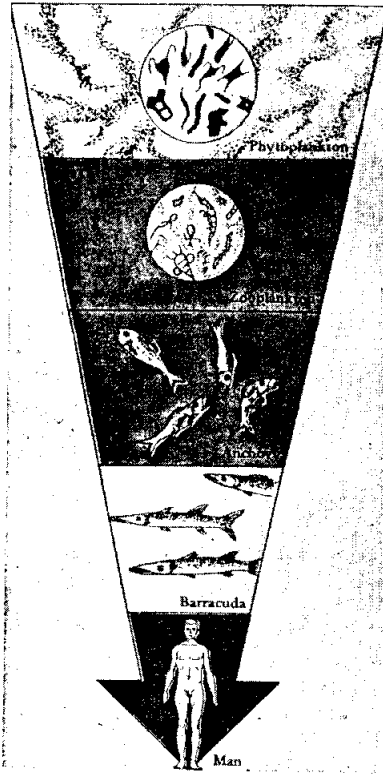


จากแผนภาพ พลังงานที่เข้าสู่ระบบนิเวศน์อันแรก คือ พลังงานแสงซึ่งได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ พลังงานนี้ผู้ผลิตสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารอาหาร จากผู้ผลิตเป็นต้นมา พลังงานที่หมุนเวียนอยู่ในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ อยู่ในรูปแบบของพลังงานอาหารเพียงอย่างเดียว

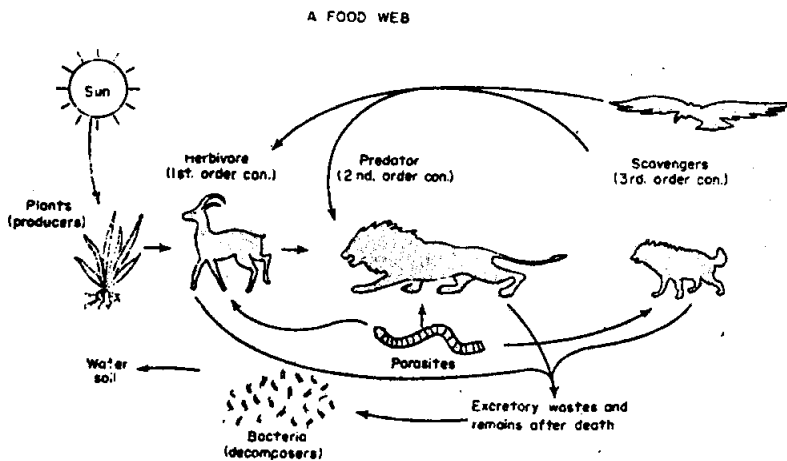
### ความสัมพันธ์เชิงอาหาร (Food relationship)

จากการจำแนกสิ่งมีชีวิตเป็นระดับต่าง ๆ ตามการกินอาหาร จะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตกินอาหารได้แตกต่างกัน ในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนน้อย ชนิดความสัมพันธ์เชิงอาหารจะเป็นในลักษณะง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ห่วงโซ่หรือวงโซ่อาหาร (food chain) (รูปที่ 11-8) ในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนมากชนิด ความสัมพันธ์เชิงอาหารจะมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากขึ้น เราเรียกความสัมพันธ์เชิงอาหารที่ยุ่งยากนี้ว่าสายใยอาหาร (food web) รูปที่ 11-9

ความสัมพันธ์เชิงอาหารของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นแบบง่าย ๆ หรือสลับซับซ้อนเพียงใดก็ตาม ลักษณะทั่วไปจะเป็นแบบพื้นฐานหลักที่กล่าวไว้ คือ ลำดับแรกจะเริ่มจากผู้ผลิต และสิ้นสุดความสัมพันธ์เชิงอาหารที่ผู้ย่อยสลาย เพื่อที่จะแปรสภาพสารกลับมาให้ผู้ผลิตได้ใช้อีก



รูปที่ 11-8 แสดงความสัมพันธ์ของห่วงโซ่อาหาร (food chain) อย่างง่าย ๆ โดยมี phytoplankton เป็นผู้ผลิตหรือลำดับขั้นแรกของ Trophic level เพื่อถ่ายทอดพลังงานอาหาร จนถึงมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสูงสุด



รูปที่ 11-9 แสดงความสัมพันธ์ของสายใยอาหาร (food web) อย่างง่าย ๆ ของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทุ่งหญ้าในทวีปแอฟริกา โดยมีพืชเป็นผู้ผลิต กวางเป็นสัตว์กินพืช สิงโตเป็นสัตว์กินสัตว์ และอื่น ๆ ท้ายสุดมีแบคทีเรียเป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์สะสมไว้ในน้ำและดิน