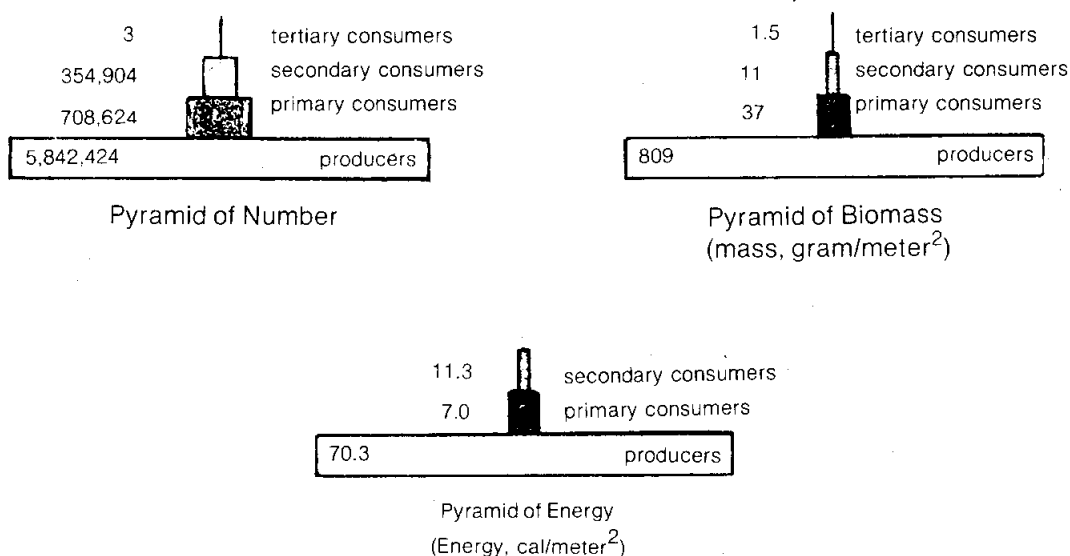


เมื่อมีการถ่ายทอดพลังงานอาหารจากสิ่งมีชีวิตระดับหนึ่งไปยังระดับที่สูงกว่า พลังงานจะถูกถ่ายทอดไปเพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของสิ่งมีชีวิตในแต่ละระดับใช้ไปในกระบวนการหายใจ การให้ความร้อนแก่ร่างกาย หรือใช้สร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ ให้เกิดทดแทนขึ้นมาใหม่เสมอ เป็นต้น ซึ่งลักษณะที่กล่าวนี้เป็นไปตามกฎพลังงานข้อที่ 2 ของเทอร์มอดนามิก (Second Law of Thermodynamics) ซึ่งกล่าวว่าเมื่อพลังงานเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะหนึ่งไปเป็นอีกลักษณะหนึ่ง บางส่วนของพลังงานเดิมจะไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ดังนั้น พลังงานอาหารของสิ่งมีชีวิตในระดับสูงกว่าจะน้อยกว่าพลังงานอาหารที่สะสมไว้ในสิ่งมีชีวิตลำดับต่ำกว่าเสมอ การถ่ายทอดพลังงานอาหารในสิ่งมีชีวิตสามารถจะแสดงได้ในรูปของพีระมิด ดังรูปที่ 11-10



รูปที่ 11-10 แสดงลักษณะพีระมิดของการถ่ายทอดพลังงานอาหาร

1. **พีระมิดของจำนวน (Pyramid of Number)** จำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตจะมีมากที่สุดที่ฐานของพีระมิด และจำนวนของสิ่งมีชีวิตจะลดน้อยลงใน trophic level ที่สูงขึ้น จากตัวอย่างในรูปแสดงจำนวนผู้ผลิตมีมากถึง 5,842,424 หน่วยชีวิต ในขณะที่ผู้บริโภคอันดับแรกมีจำนวน 708,642 อันดับที่สองจำนวน 354,904 และอันดับสุดท้ายมีจำนวน 3 หน่วยของชีวิต พีระมิดของจำนวนไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดของสิ่งมีชีวิต หรือกล่าวถึงมวลชีวภาพเลย ถึงแม้ว่าจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตระดับแรก ๆ จะมีจำนวนมาก ก็ไม่ได้หมายความว่าน้ำหนักสุทธิจะมากตามจำนวนด้วย ดังนั้น พีระมิดของจำนวนจึงไม่แสดงความสัมพันธ์การถ่ายทอดพลังงานทางอาหารที่ดีของสิ่งมีชีวิตในสังคม (community)

2. **พีระมิดของมวลชีวภาพ (Pyramid of Biomass)** พีระมิดชนิดนี้แสดงปริมาณน้ำหนักของสิ่งมีชีวิตในแต่ละลำดับ ในรูปแสดงว่าผู้ผลิต  $809 \text{ gm/m}^2$  เป็นอาหารแก่สัตว์กินพืชที่มีน้ำหนัก  $37 \text{ gm/m}^2$  และสัตว์ที่กินพืชมีน้ำหนัก  $37 \text{ gm/m}^2$  สามารถเป็นอาหารของสัตว์ที่กินเนื้อที่มีน้ำหนัก  $11 \text{ gm/m}^2$  เป็นต้น ยิ่งระดับสูงขึ้น พลังงานที่สัตว์แต่ละชนิดได้มาจะยังมีน้ำหนักน้อยลง จากผู้ผลิต  $809 \text{ gm/m}^2$  เป็นอาหารของสัตว์กินพืชเพียง  $37 \text{ gm/m}^2$  หมายความว่าพลังงานที่ได้มาในระดับสัตว์กินพืชมี  $809 \div 37 = 22\%$  เท่านั้น

3. **พีระมิดของพลังงาน (Pyramid of Energy)** พีระมิดชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับพีระมิดมวลชีวภาพ แต่วัดพลังงานในลักษณะพลังงานศักย์ (potential energy) ของสิ่งมีชีวิตในแต่ละระดับ จากรูปแสดงพลังงานที่ผู้ผลิตสังเคราะห์ได้  $70.3$  แคลอรี ปริมาณพลังงานของผู้บริโภคอันดับหนึ่งมีได้  $7.0$  แคลอรี และของผู้บริโภคอันดับสองมี  $1.3$  แคลอรีเท่านั้น แสดงว่าพลังงานที่สิ่งมีชีวิตได้รับในแต่ละระดับเพื่อนำไปใช้ได้มีน้อยมาก

## วัฏจักรการถ่ายทอดพลังงาน

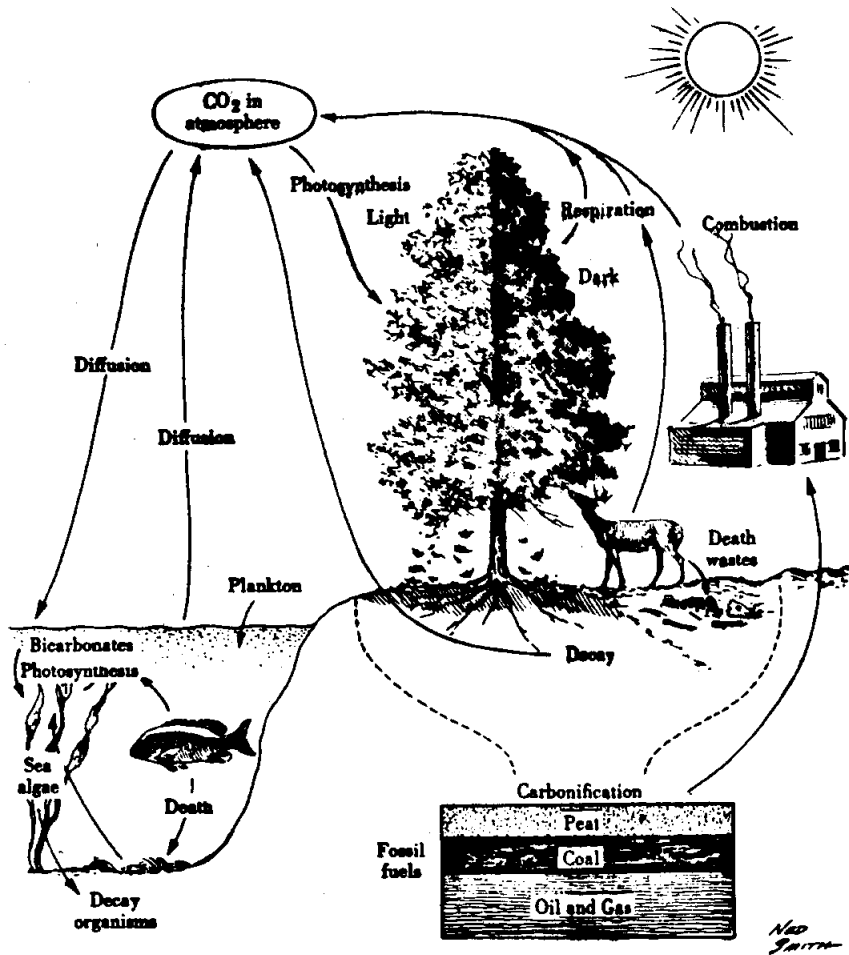
วัฏจักรการถ่ายทอดพลังงานอีกช่วงหนึ่งของสิ่งมีชีวิตในโลก คือ การถ่ายทอดพลังงานสารแร่ธาตุที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สิ่งมีชีวิต และออกจากสิ่งมีชีวิตไปสู่สิ่งแวดล้อม ลักษณะหมุนเวียนของสารแร่ธาตุเป็นวัฏจักรในลักษณะเช่นที่กล่าวนี้เรียกว่า Biogeochemical cycle

วัฏจักรที่จะกล่าวต่อไปเป็นเพียงบางตัวอย่างของวัฏจักรที่สำคัญในธรรมชาติ ยังมีวัฏจักรอีกหลายวัฏจักรที่ไม่ได้กล่าวถึง เช่น วัฏจักรแคลเซียม วัฏจักรแมกนีเซียม วัฏจักรอาหาร และอื่น ๆ (รูปที่ 11-16) แต่ละวัฏจักรจะมีการจัดสมดุลในตัวเอง เมื่อมีการทำลายหรือช่วงใดช่วงหนึ่งในวัฏจักรมีการเปลี่ยนแปลง จะมีผลให้ระบบสมดุลของธรรมชาติสูญเสียทันที

### 1. วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle)

สารคาร์บอนเป็นสารองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตและอินทรีย์สารทุกชนิด การหมุนเวียนของสารคาร์บอนเกิดในลักษณะดังนี้ คือ สารคาร์บอนในธรรมชาติมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและในน้ำ พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารคาร์บอนเป็นรูปของคาร์โบไฮเดรต amino acid และ polysaccharide อื่น ๆ สารในพืชนี้ต่อมาเป็นอาหารของสัตว์ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลคาร์บอนต่อไปอีก บางส่วนจะถูกส่งกลับคืนสู่น้ำหรือบรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจจากบางส่วนถูกขับออกมาในรูปของเสีย เมื่อสิ่งมีชีวิตตายไป แบคทีเรียจะย่อยทับถมลงในดิน

เพื่อเปลี่ยนแปลงให้เป็นอาหารของพืชต่อไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะกลายสภาพเป็นแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน ซึ่งมนุษย์สามารถนำกลับมาใช้ในการเผาไหม้เพื่อใช้เป็นพลังงาน และกลับสู่สภาพคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศอีก (รูปที่ 11-11)

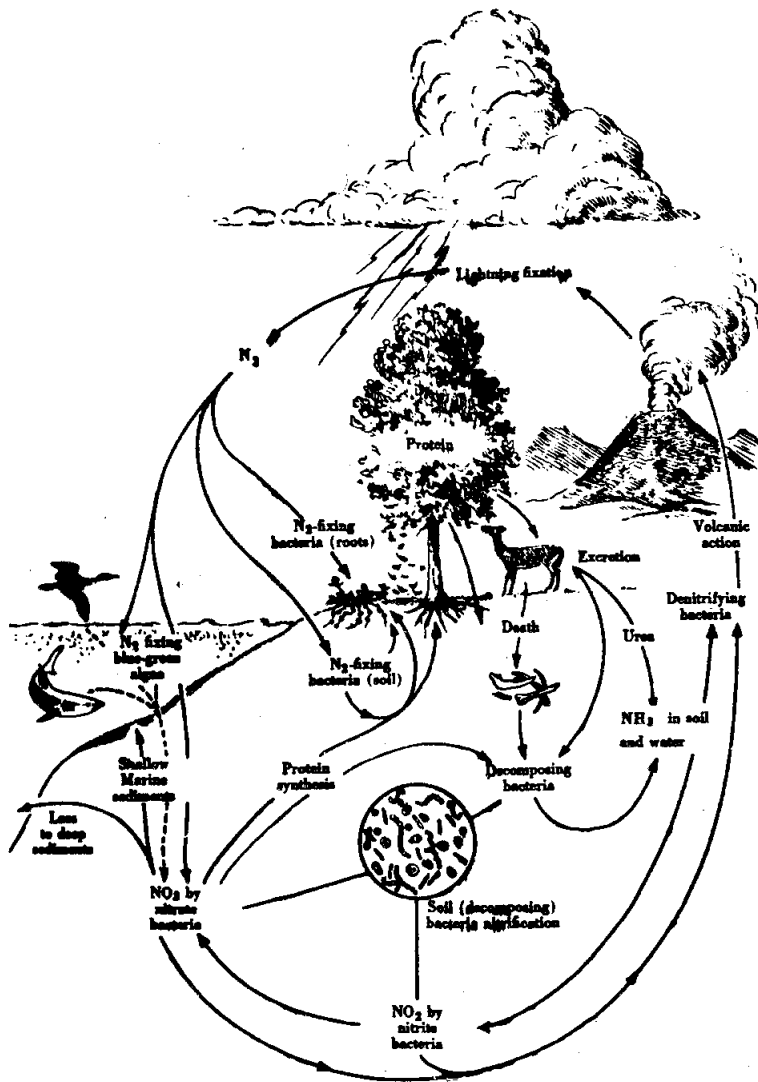


รูปที่ 11-11 วัฏจักรคาร์บอน

## 2. วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle)

ก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศแม้จะมีอยู่จำนวนมาก พืชไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง นอกจากจะมีการเปลี่ยนสภาพโมเลกุลของไนโตรเจนอยู่ในรูปของไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) หรือแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) แบคทีเรียเป็นตัวการสำคัญในการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนให้เป็นไนเตรตได้ (nitrogen fixing bacteria) ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย *Rhizobia* ซึ่งอาศัยที่ปมของรากพืช หรือ *Azobacter* และ *Clostridium* ซึ่งอยู่อย่างอิสระในพื้นดิน

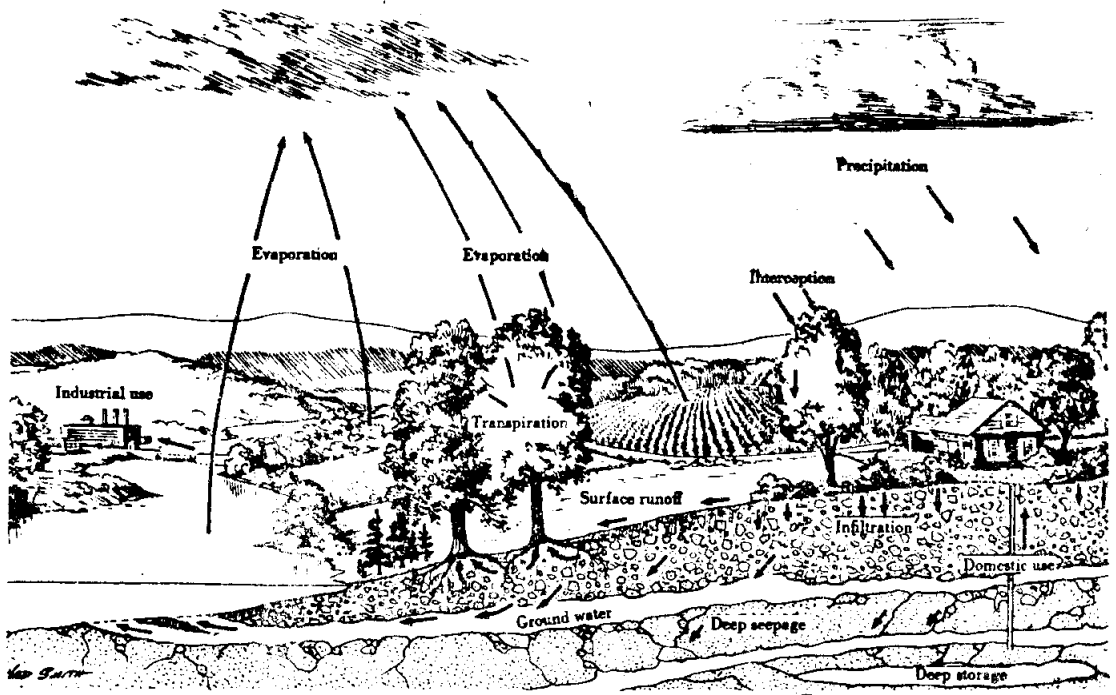
จากพืช ไนโตรเจนจะถูกถ่ายเทสู่สัตว์ในรูปของอาหาร และจากสัตว์ ไนโตรเจนจะถูกขับออกในรูปของ  $\text{NH}_3$ , urea, uric acid และสารไนโตรเจนอื่น ๆ หรือในสัตว์ที่ตายแล้ว จุลินทรีย์จะเปลี่ยนสภาพโมเลกุลของสารประกอบข้างต้นเป็นรูปของ  $\text{NH}_3^-$  ได้ บางส่วนจะสะสมอยู่ในน้ำและดิน บางส่วนจะถูกแบคทีเรียพวก nitrifying bacteria เปลี่ยนสภาพจาก  $\text{NH}_3^-$  เป็น  $\text{NO}_2^-$  หรือเปลี่ยน  $\text{NH}_3$  เป็น  $\text{NO}_2^-$  แล้วเปลี่ยนเป็น  $\text{NO}_3^-$  เพื่อให้พืชนำกลับไปใช้สร้างอาหารต่อไป บางส่วนถูกสะสมในดินและเมื่อนาน ๆ เข้าจะกลับสู่บรรยากาศได้อีก เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ (รูปที่ 11-12)



รูปที่ 11-12 วัฏจักรไนโตรเจน

### 3. วัฏจักรน้ำ (Water Cycle)

น้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในทะเลและมหาสมุทร น้ำจะระเหยจากแหล่งน้ำสู่บรรยากาศ และแปรสภาพอยู่ในรูปของเมฆ ต่อมาจะกลั่นตัวเป็นฝน หิมะ ไอน้ำ ลูกเห็บ และอื่น ๆ ตกสู่พื้นโลก น้ำจากพื้นดินบางส่วนพืชและสัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิต เช่น สังเคราะห์แสง ต็ม และใช้ สิ่งมีชีวิตจะคืนน้ำสู่บรรยากาศในรูปของการคายน้ำในพืช หรือถ่ายออกมาในรูปของไอน้ำจากการหายใจ หรือในรูปของปัสสาวะ บางส่วนของน้ำที่ตกสู่พื้นโลกจะระเหยกลับสู่บรรยากาศโดยตรง หรือไหลสู่แหล่งน้ำ ทะเล และมหาสมุทรก่อนระเหยสู่บรรยากาศ (รูปที่ 11-13)



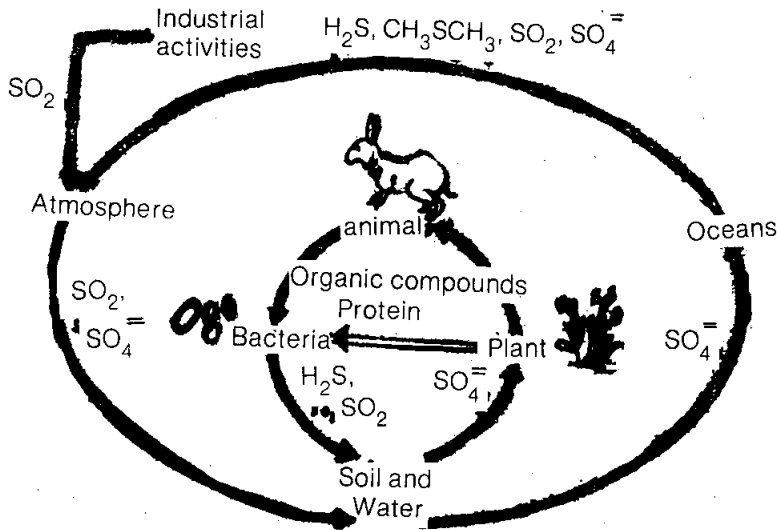
รูปที่ 11-13 วัฏจักรน้ำ

### 4. วัฏจักรซัลเฟอร์ (Sulfur Cycle)

ซัลเฟอร์เป็นสารประกอบอยู่ในโปรตีน และมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต ซัลเฟอร์หมุนเวียนในธรรมชาติเป็น 2 วง (รูปที่ 11-14) โดยเริ่มจากดินและน้ำผ่านสู่พืชและสัตว์ทางวงโซ่อาหาร จากนั้นหมุนเวียนกลับมาสู่ดินและน้ำอีกโดยการย่อยสลายของแบคทีเรีย จากนั้นบางส่วนก็จะถูกนำกลับมาสู่ดินแล้วนำกลับไปให้พืชได้ใช้อีก บางส่วนที่สะสมอยู่ในดินหรือในน้ำถูกนำไปสู่แม่น้ำลำคลอง และท้ายสุดไหลลงสู่ทะเล บางส่วนของซัลเฟอร์ในระยะนี้อาจถูกเปลี่ยนไปเป็น

รูปของก๊าซ  $H_2S$  และ  $SO_2$  และท้ายสุดกลับสู่ผิวโลกอีกโดยตกปนมากับฝนหรือหิมะ หรือพืชบางอย่างสามารถนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ประโยชน์ในรูป  $SO_2$  ได้

แบบที่เรียเป็นสิ่งสำคัญในวัฏจักรซัลเฟอร์ เนื่องจากมีความสามารถที่จะแยกสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นรูปของ  $SO_4^{=}$  (กรณีเมื่อออกซิเจน) และ  $H_2S$  และ dimethyl sulfide ( $CH_3SCH_3$ ) (กรณีขาดออกซิเจน) และเมื่อ  $H_2S$  และ  $CH_3SCH_3$  อยู่ในบรรยากาศ จะถูก oxidize เป็น  $SO_2$  ซึ่งเมื่อปนกับไอน้ำในอากาศ และหรือฝนจะเปลี่ยนสภาพเป็น  $H_2SO_4$  จากบรรยากาศนี้จะไหลกลับสู่ผิวโลกได้อีก วนเวียนเช่นนี้ (รูปที่ 11-14)



รูปที่ 11-14 วัฏจักรซัลเฟอร์

### 5. วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus Cycle)

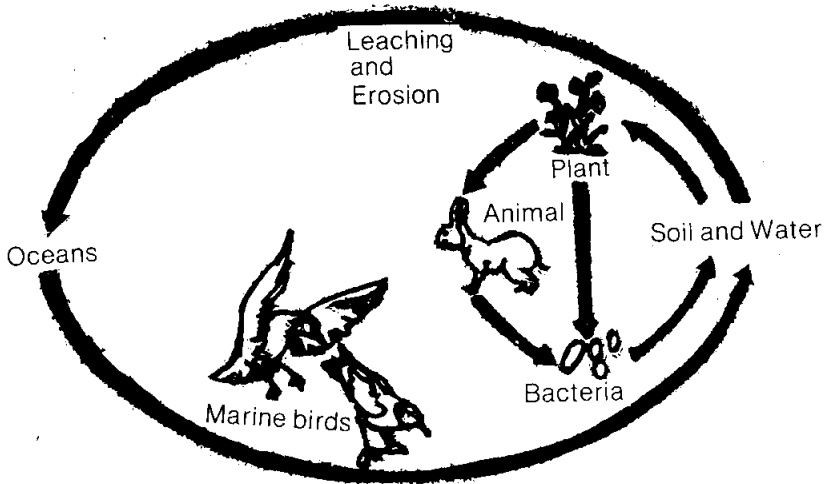
สารฟอสฟอรัสประกอบอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจำนวนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสารอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว โดยที่จะพบอยู่ร่วมกับสาร nucleic acid สารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ จะเห็นว่าถึงแม้จะมีจำนวนน้อยแต่ก็เป็นสารที่จำเป็นของสิ่งมีชีวิตอย่างยิ่ง

วัฏจักรของฟอสฟอรัสเริ่มจากมีในแหล่งดินและน้ำ และพืชนำไปใช้ประโยชน์ ฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งผ่านวงโซ่อาหารไปยังสัตว์ จากพืชและสัตว์แบบที่เรียจะย่อยสลายสารนี้กลับสู่พื้นดิน และน้ำบางส่วนถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตในลักษณะเดิมดังเช่นที่กล่าวมาแล้ว บางส่วนจากดินและน้ำจะไหลลงสู่ทะเล จากทะเลสารฟอสฟอรัสถูกนำกลับไปสู่บนบกโดยนกทะเลซึ่งได้สารทางวงโซ่อาหาร และเมื่อนกขับถ่าย ฟอสฟอรัสจะถูกกลับสู่ผืนแผ่นดินได้ (รูปที่ 11-15) ดังปรากฏ

ที่เกาะ North Guanape ซึ่งอยู่ไม่ห่างจากฝั่งประเทศเปรู เป็นเกาะที่อุดมสมบูรณ์ด้วยปุ๋ย เนื่องจากมีสารฟอสฟอรัสสะสมอยู่มาก

มนุษย์ได้ฟอสฟอรัสจากการทำเหมือง ในขณะที่เดียวกันมนุษย์ได้เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสสู่ผืนดินและแหล่งน้ำโดยการปล่อยน้ำทิ้งของสารผงซักฟอก

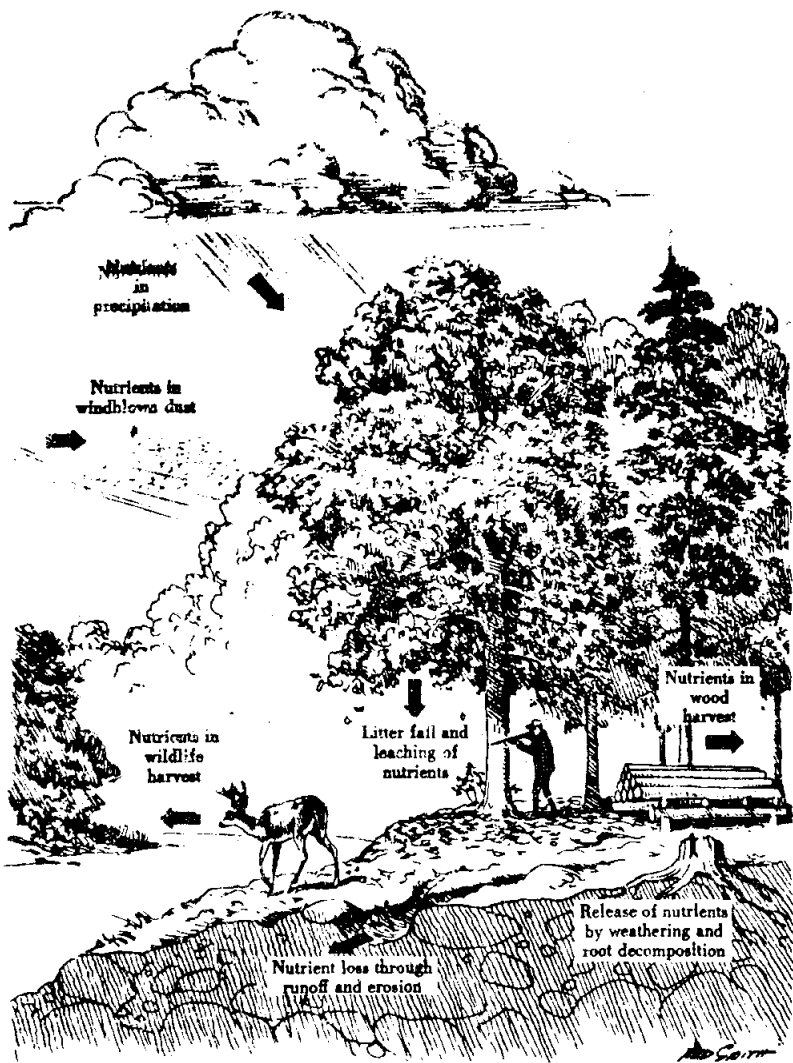
วัฏจักรนี้ต่างกับวัฏจักรอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ตรงที่ไม่มีการหมุนเวียนของสารสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซ



รูปที่ 11-15 วัฏจักรฟอสฟอรัส

จากการศึกษาระบบนิเวศน์ ทำให้เราเข้าใจว่าในโลกของสิ่งมีชีวิต การดำรงชีพและดำรงเผ่าพันธุ์ขึ้นอยู่กับ การหมุนเวียนของพลังงานและวัฏจักรของสารต่าง ๆ หลายชนิด การหมุนเวียนในลักษณะดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญและต้องมีอยู่เรื่อยไป เพราะฉะนั้น จึงเป็นหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องพยายามให้สภาวะเช่นนี้อยู่ในระดับสมดุล เพราะเมื่อใดที่วัฏจักรนี้เสียสภาวะสมดุล จะมีผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งมีชีวิตในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ทันที

ในปัจจุบันเรื่องที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางของทุกประเทศทั่วโลก คือเรื่องความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ชาติ ปัญหาสิ่งแวดล้อมนี้ไม่ใช่ปัญหาเรื่องความสกปรก นำรำคาญ หรือปัญหาความสวยงามดังที่เข้าใจกันทั่วไป หากเป็นปัญหาสำคัญต่อการอยู่รอดของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ สาเหตุแห่งความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมเกิดเนื่องจากมนุษย์ไปเปลี่ยนแปลงและทำลายดุลแห่งธรรมชาติ ซึ่งเป็นโครงข่ายแห่งชีวิต ด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์และหรือความเห็นแก่ได้

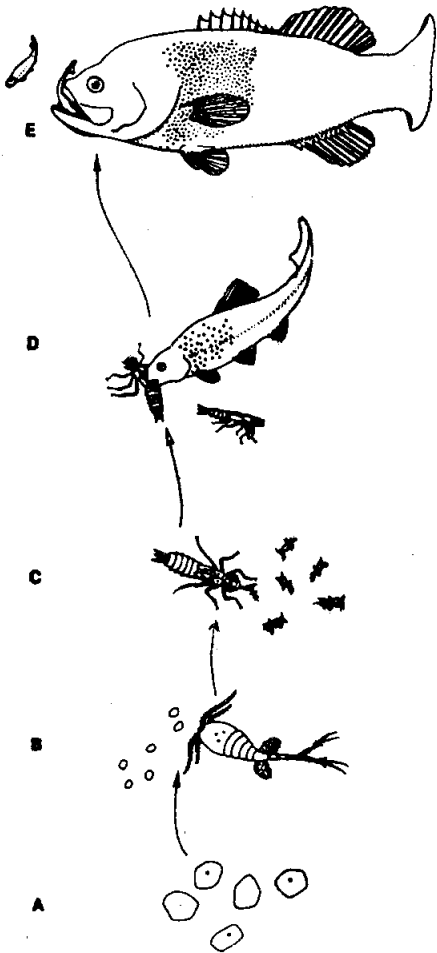


รูปที่ 11-16 วัฏจักรอาหารในระบบนิเวศของป่า

สถานะของความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของมนุษย์ เช่น เรื่องเกี่ยวกับการใช้สารพิษในการกำจัดแมลง โดยเฉพาะสารดีดีที นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Othmor Zeidler เป็นผู้ค้นพบดีดีทีในปี พ.ศ. 2417 ต่อมา พ.ศ. 2482 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวิสชื่อ Paul Mueller ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าต่อ และประกาศว่าดีดีทีที่มีฤทธิ์สามารถฆ่าแมลงได้ และนับตั้งแต่มีการผลิตดีดีทีเพื่อจำหน่ายในสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2488 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนา ยาฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ เป็นจำนวนหลายร้อยชนิด การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดแมลงและศัตรูพืชอื่น ๆ ของมนุษย์เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยไม่มีใครคาดคิดกันมาก่อนว่าสารพิษเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์ พืชชนิดอื่น ๆ จนกระทั่งในปี



พ.ศ. 2504 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ Rachel Carson ได้เขียนหนังสือชื่อ The Silent Spring กล่าวถึงผลร้ายของสารดีดีทีว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้ง คน สัตว์ และพืชอย่างใหญ่หลวง (ปรากฏต่อมาในภายหลังว่า โดยเฉพาะในคนนั้น ดีดีทีสามารถก่อก่อผลร้ายได้หลายอย่าง เช่น โรคมะเร็ง ตับอักเสบ โรคกระเพาะอาหารพิการ เป็นต้น) หลังจากนั้นเป็นต้นมาก็มีการตื่นตัวในเรื่องการใช้ดีดีทีที่กันมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าดีดีทีที่ใช้เป็นเวลานานนับสิบปีมีการสลายตัวได้ยาก และพบแพร่กระจายไปตามอากาศและกระแสน้ำได้ทั่วโลก ดังได้พบไปตกค้างสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์พวกแมวน้ำ นกเพนกวิน ที่อาศัยอยู่บริเวณขั้วโลกใต้ ทั้ง ๆ ที่ไม่เคยมีการนำเอาดีดีทีไปใช้ในบริเวณดังกล่าว หรือพบปริมาณสารดีดีทีที่ตกค้างในผัก ผลไม้ และอื่น ๆ ทำให้สามารถเข้าสู่สมในมนุษย์และสัตว์ได้ทางวงโซ่อาหารตามธรรมชาติอีกด้วย เหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายอันแสดงถึงการทำลายดุลแห่งธรรมชาติซึ่งมีผลต่อสภาวะแวดล้อมและมนุษย์



รูปที่ 11-17 แสดง Biological magnification ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ จุดค่าแสดงปริมาณสารพิษที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับขั้นของชีวิตในวงโซ่อาหาร

สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง เมื่อเข้าสู่วงโซ่อาหารและหรือสายใยอาหารแล้ว ปรากฏว่าในสัตว์ระดับสูงขึ้นมาปริมาณการสะสมของสารพิษนี้จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น การสะสมสารพิษในสิ่งมีชีวิตและขณะเดียวกันเพิ่มปริมาณมากขึ้นนี้ เรียกว่า biological magnification

นอกจากมนุษย์จะทำลายสมดุลของธรรมชาติในลักษณะไม่รู้เท่าดังกล่าวข้างต้นแล้ว มนุษย์บางกลุ่มยังเห็นแก่ได้อีกด้วย เช่น กรณีการทำลายป่าไม้ทั้ง ๆ ที่มนุษย์ทราบดีถึงความสำคัญของป่าไม้ที่มีต่อดุลแห่งสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติต่าง ๆ และหากทำลายลงแล้วจะก่อให้เกิดผลร้ายมาสู่มวลมนุษย์เอง แต่มนุษย์ปัจจุบันก็ยังคงทำลายป่าอยู่ ในประเทศไทย ปัญหาการทำลายป่าไม้และบริเวณต้นน้ำลำธารได้เพิ่มมากขึ้นอย่างน่าวิตก โดยเฉพาะในรอบสิบปีที่ผ่านมา ซึ่งสาเหตุใหญ่คือ การเพิ่มพลเมือง การไม่มีงานทำ ไม่มีรายได้และความยากจน รวมทั้งความเห็นแก่ได้ของบุคคลที่มีอิทธิพลบางกลุ่ม

กรณีการทำลายธรรมชาติที่เป็นป่าไม้และแหล่งต้นน้ำลำธารในประเทศไทยทุกวันนี้ จะส่งผลสะท้อนอย่างร้ายแรงต่อชีวิตของคนไทยทางด้านเศรษฐกิจ ความเป็นอยู่ ตลอดจนความมั่นคงของประเทศไทยโดยส่วนรวม โดยที่ประชาชนคนไทย 80 เปอร์เซ็นต์ของพลเมืองมีอาชีพเป็นเกษตรกร หากป่าไม้หมดไปแล้วการเกษตรไม่สามารถจะดำรงอยู่ต่อไปได้ เพราะขาดน้ำและปุ๋ยธรรมชาติที่ป่าไม้อำนวยให้อย่างสม่ำเสมอตลอดปี นอกจากนี้ ป่าไม้ยังเป็นเกราะกำบังให้แก่พื้นดินด้วย เมื่อปราศจากต้นไม้ การสึกกร่อนของดินก็จะเพิ่มมากขึ้นทำให้หัวหนองคลองบึง รวมทั้งแม่น้ำต่าง ๆ ตื้นเขินในเวลาอันรวดเร็ว และจะเป็นสาเหตุให้กระแสน้ำพัดไหลผ่านท่วมบ้านเมือง ทำความเสียหายและก่อให้เกิดอุทกภัยในฤดูฝน เมื่อฤดูฝนหมด การขาดแคลนน้ำก็จะเกิดขึ้น พื้นดินที่เหมาะสมแก่การเกษตรก็จะแห้ง เมื่อถูกลมพายุผิวดินก็ถูกพัดเป็นฝุ่นไปหมดทำให้เนื้อที่ผิวดินอันเหมาะสมแก่การเพาะปลูกไม่สามารถจะทำการเพาะปลูกต่อไปได้

ปัญหาความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมในประเทศกสิกรรมและกำลังพัฒนาเช่นประเทศไทยนั้น ปัญหาการทำลายป่าไม้เป็นปัญหาที่สำคัญอันดับหนึ่ง ต่างจากประเทศอุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้ว ซึ่งความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมจะเกิดจากการทำลายดุลแห่งธรรมชาติโดยการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากเกินไป ทำให้เกิดปัญหาหามลภาวะของอากาศ น้ำ ดิน เสียง ปัญหาของเสีย (solid waste) ต่าง ๆ อาหาร ยาเป็นพิษ และอื่น ๆ เป็นต้น

การแก้ปัญหาความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมจึงควรเป็นภาวะและหน้าที่ของมนุษย์ทุกคนและรัฐบาลของประเทศจะต้องร่วมกันแก้ไข ทั้งนี้เพราะความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะประเทศหนึ่งประเทศใดเท่านั้น หากแต่สามารถกระจายติดต่อออกไปเป็นความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมทั่วโลก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่หวังกันว่า ปัญหาความเสื่อมโทรม

ของสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นศัตรูสำคัญของมนุษย์ร่วมกันนี้จะทำให้มนุษย์เลิกเห็นแก่ตัว ใช้ความรู้ที่ได้มาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแต่พอสมควร และเลิกเพิ่มจำนวนพลเมืองตามใจชอบ เพื่อว่าจำนวนพลเมืองของโลกจะได้เหลือจำนวนเท่าที่พอเหมาะกับดุลธรรมชาติสิ่งแวดล้อม และกำลังทรัพยากรที่มีอยู่ในโลกนี้

## การจัดระดับความสมดุลของประชากร

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสิ่งมีชีวิตก็คือ ปัญหาที่ว่าทำอะไรจึงจะมีจำนวนประชากรอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ สิ่งมีชีวิตจำเป็นจะต้องมีวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งที่จะสามารถควบคุมจำนวนประชากรในกลุ่มไม่ให้มีจำนวนเพิ่มมากเกินไปหรือลดน้อยเกินไป ทางนิเวศวิทยาเชื่อว่าปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยในการจัดความสมดุลของประชากรของสิ่งมีชีวิตมี 2 ประการ คือ

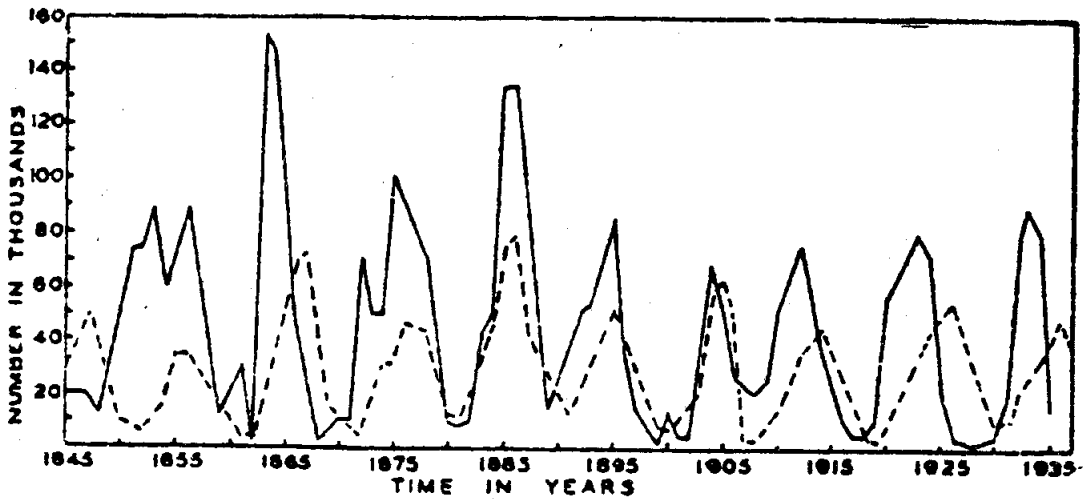
1. ปัจจัยภายนอก ซึ่งคือสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น ฤดูกาล การเกิดโรคภัย และการถูกล่า เป็นต้น
2. ปัจจัยภายใน ซึ่งเกิดภายในกลุ่มประชากรนั้น ๆ เอง เช่น การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม การแสดงพฤติกรรม และความผิดปกติเนื่องจากการทำงานของระบบสรีระในร่างกาย เป็นต้น

Holinshead (ค.ศ. 1893) กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณประชากรจำนวนมาก ๆ ในเวลาหลาย ๆ ปีของสัตว์พวกใดพวกหนึ่งเป็นเรื่องที่ไม่น่าวิตก จากการศึกษาในพวกหนูพบว่า เมื่อมีการเพิ่มประชากรเป็นจำนวนมากในหลาย ๆ ปีต่อมาจะเกิดโรคภัยระบาดและประชากรก็จะลดลง และประชากรที่เหลือจะเริ่มวัฏจักรใหม่เพื่อเพิ่มจำนวนประชากรอีก สัตว์บางชนิดที่มีการเพิ่มจำนวนประชากรได้รวดเร็ว เช่น ตั๊กแตน พบว่าการควบคุมกลุ่มประชากรนอกจากเกิดโรคแล้ว อีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการลดจำนวนประชากรในกลุ่ม คือ ย้ายถิ่น (migration) กรณีย้ายถิ่นนี้จะพบเสมอ ๆ ในพวกสัตว์สังคม เช่น ผึ้ง ต่อ แตน เป็นต้น

การลดจำนวนประชากรของสัตว์ บางครั้งอาจเกิดขึ้นได้จากการที่มนุษย์นำสัตว์ต่างพวกเข้าไปอยู่ในที่ใหม่ ๆ เช่น การนำกระต่ายเข้าไปเลี้ยงในออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ต่อมาสัตว์พวกนี้มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและทำลายพืชจำนวนมาก เมื่ออาหารขาดแคลนในเวลาต่อมา สัตว์เหล่านี้ก็จะลดจำนวนลงอีกเนื่องจากอดอาหาร

ความสัมพันธ์เชิงอาหารในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตจัดเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับสัตว์ที่จะควบคุมปริมาณของประชากร ซึ่งความสัมพันธ์ในลักษณะเช่นนี้ในระบบนิเวศน์เรียกว่าความสัมพันธ์

ของผู้ถูกล่าและผู้ล่า (prey and predator) (รูปที่ 11-18)



รูปที่ 11-18 แสดงความสัมพันธ์ของผู้ถูกล่าและผู้ล่า

ตัวอย่างของ prey และ predator นี้ มีผู้ศึกษาในแถบเทือกเขา Andes บริเวณลุ่มแม่น้ำอะเมซอน และพบว่าในเขตนี้มีประชากรของหนูหลายชนิด นกฮูก และแมลงงู ที่ใดที่ปรากฏมีแมลงงูอยู่เป็นจำนวนน้อย จำนวนของหนูจะน้อยและนกฮูกจะน้อยด้วย ในทางตรงกันข้าม ที่ใดหรือเมื่อใดปรากฏมีแมลงงูจำนวนมาก ก็จะพบจำนวนหนูและนกฮูกมากขึ้นด้วย แสดงว่าเมื่อใดที่ prey เพิ่มหรือลดจำนวนประชากร จะมีผลเกี่ยวข้องถึงการเพิ่มหรือลดจำนวนประชากรในหมู่ผู้ล่าด้วย

ในสัตว์เล็ก ๆ การลดจำนวนประชากรนอกจากขึ้นกับการถูกล่าแล้ว การเพิ่มหรือลดจำนวนประชากรยังเกี่ยวข้องกับความสมดุลในระบบนิเวศน์อีกด้วย โดยเฉพาะถ้าเกี่ยวข้องเป็นศัตรูกับมนุษย์ด้วยแล้ว ความเสียหายย่อมเกิดขึ้นได้ ตัวอย่าง คือ ตักแตนป่าทังก้า เมื่อสิบกว่าปีแล้วมีประมาณ 2-3 แสนตัว ต่อมามีการถางป่าทำไร่ข้าวโพด ทำให้ถิ่นที่อยู่ (habitat) ของสิ่งมีชีวิตที่เคยควบคุมประชากรนี้มีเปลี่ยนแปลง อันเป็นสาเหตุให้สัตว์ที่ควบคุมปริมาณตักแตนมีจำนวนลดน้อยลง ทำให้เกิดการระบาดของตักแตนขึ้น แม้ว่าการระบาดจะไม่ซ้ำที่กัน แต่บริเวณที่มีการระบาดจะอยู่ใกล้เคียงกัน เช่น อำเภอชัยบาดาลและโคกสำโรง ความจริงแล้วตักแตนชนิดนี้มีอยู่นานแล้วแถวจังหวัดเพชรบุรีและราชบุรี แต่ยังไม่มีโอกาสที่จะเพิ่มจำนวนประชากรมากจนถึงขั้นเสียสมดุล

Hewitt กล่าวว่า ศัตรูอาจจะไม่ลดจำนวนประชากรในหมู่สัตว์ชนิดเดียว จากตัวอย่างในสัตว์พวกเหี่ยวซึ่งกินกระต่ายป่าและนกอื่น ๆ ที่ตัวเล็กกว่า เหี่ยวจะเลือกกินขึ้นกับว่าอาหารชนิดใดมีจำนวนมาก ถ้าชนิดหนึ่งน้อยมันจะกินอีกชนิดหนึ่งจนกว่าพวกที่มีจำนวนน้อยจะมีประชากรเพิ่มมากขึ้น ลักษณะเช่นนี้พบเสมอในสังคมของสัตว์ทั่วไป และเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยควบคุมระดับประชากรให้เพิ่มขึ้นภายหลังมีการลดจำนวนลงอย่างมากแล้ว

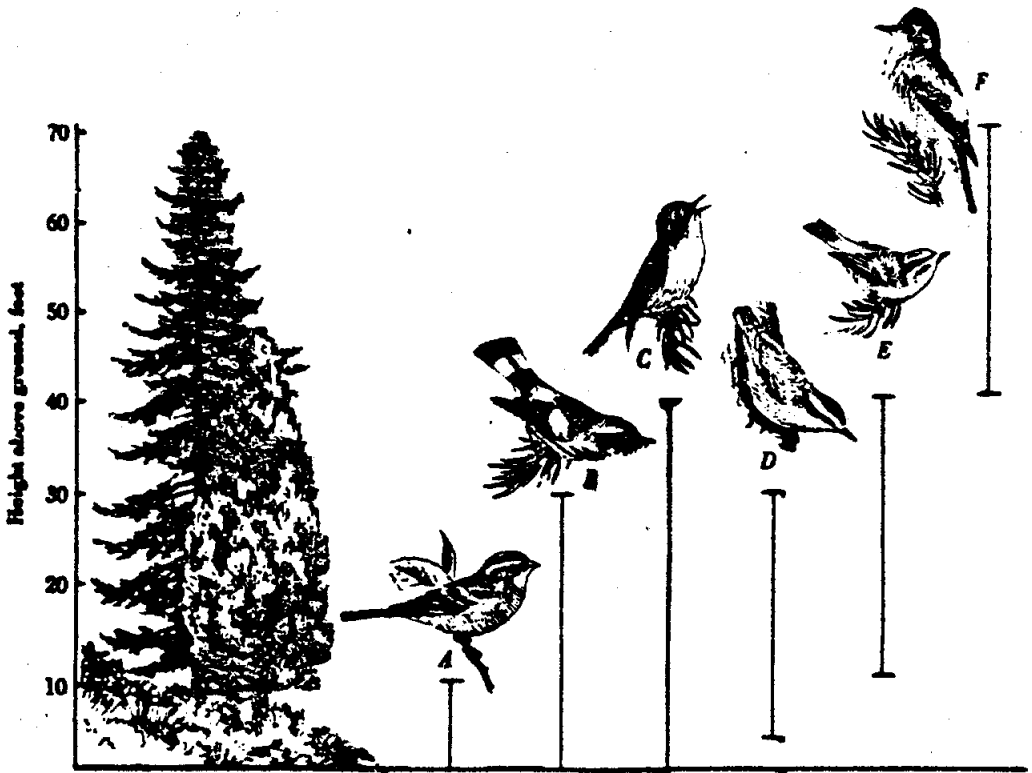
สัตว์ในชั้นสูงของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งปราศจากอิทธิพลของผู้ล่า เช่น มนุษย์ การควบคุมจำนวนประชากรมิได้โดย การเกิดสงคราม ข้ำวยากมากแพง อดอยาก และโรคภัยไข้เจ็บ เป็นต้น สำหรับสัตว์อื่น ๆ โดยเฉพาะพวกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและนกจะมีการปรับระบบสังคมในกลุ่มประชากรของตนเอง เช่น มีการตั้งอาณาบริเวณซึ่งเรียกว่า territory เนื่องจากเมื่อตั้ง territory แล้วจะมีการต่อสู้เกิดขึ้นและสัตว์หลาย ๆ ตัวในกลุ่มจะถูกแบ่งแยกทำให้ต้องอยู่ในสภาวะที่ลำบากอดอยากไม่มีโอกาสได้ผสมพันธุ์หรือมีโรค ทำให้มีชีวิตอยู่ได้ไม่ยืนยาว พวกที่ถูกขับไล่หรือที่ไม่มี territory เราเรียกว่า พวก floating reserve

อาณาบริเวณ territory ของสัตว์อาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากสิ่งแวดล้อมและลักษณะพื้นที่ ส่วนใหญ่อาณาบริเวณมักเป็นรูปกลม territory ของสัตว์ที่อาศัยในน้ำจะอยู่ในลักษณะทางยาว ของนครรวมความกว้างและสูงด้วย (รูปที่ 11-19)

ระบบสังคมนอกจากตั้งเป็นอาณาเขตแล้ว พบว่ายังมีการจัดระบบวัยวุฒิและหรือการเป็นหัวหน้าอีกด้วย เช่น สัตว์พวกสิงโต เมื่อกินอาหารตัวที่แก่หรือที่เป็นพ่อแม่ต้องกินก่อน ถ้าตัวเล็กหรือลูกเข้าแย่งจะถูกตะปบถึงตายได้ พวกผึ้งตัวราชินีต้องกินอาหารก่อนและเป็นอาหารอย่างดี และเมื่ออาหารมีจำกัดในสัตว์พวกผึ้งและปลวก จะมีการทำลายตัวอ่อนโดยที่จะกินตัวอ่อนเป็นอาหาร สัตว์พวกนกนางแอ่นเมื่อประชากรมากจะมีการอพยพย้ายถิ่นและทิ้งลูกไว้ในรัง

การทำงานของระบบสรีระที่แตกต่างไปจากปกติ บางครั้งจัดเป็นกลไกอย่างหนึ่งในการควบคุมปริมาณของประชากร ในการทดลองเลี้ยงหนู เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นจนเกิดสภาวะแน่นขนัด (crowding) หนูจะเกิดความเครียดขึ้น และมีผลทำให้ไม่มีลูกหรือมีลูกลดจำนวนน้อยลง ในสัตว์บางชนิด โดยเฉพาะพวกนกอาจจะเว้นการออกลูกในบางปี ในมนุษย์ การจำกัดจำนวนของประชากรใช้วิธีการคุมกำเนิด

สัตว์ส่วนใหญ่จะมีเพศผู้และเพศเมียจำนวนเท่ากันหรือเกือบเท่ากัน มีสัตว์หลายชนิดที่มีเพศเมียมากและเพศผู้จะปรากฏเพียงบางฤดูกาลเท่านั้น เช่น เพลี้ยและ rotifer ใน rotifer



รูปที่ 11-19 แสดงอาณาบริเวณ (territory) ของนกชนิดต่าง ๆ

และผึ้ง เพศผู้เกิดจากการเจริญของไข่แบบ parthenogenesis แต่เพศเมียเจริญจากการผสมพันธุ์แบบได้รับการผสมของน้ำเชื้อ การเกิดเป็นเพศของสัตว์ที่มีช่วงชีวิตสั้น ๆ อาจขึ้นกับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิหรือแสง หรืออาจเป็นการปรับตัวเฉพาะชนิด เรื่องนี้ยังไม่มีผู้ใดทราบกลไกที่แน่นอน ในสัตว์พวก nematode การอยู่กันแน่นหนาทำให้เกิดเป็นสัตว์เพศผู้มากกว่าเพศเมีย เชื่อกันว่าเพศผู้ยอมให้เพศเมียได้รับอาหารสมบูรณ์กว่า และเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการแก่งแย่งในเรื่องขาดแคลนอาหารตัวอื่น ๆ ที่จะเจริญเป็นเพศเมีย จึงเปลี่ยนแปลงการเจริญกลายเป็นเพศผู้แทน

เมื่อกกล่าวถึงการเพิ่มและลดจำนวนประชากร อาจจะมีปัญหาว่าจำนวนของประชากรในสัตว์แต่ละชนิดควรจะมีจำนวนมากเท่าใดจึงจะอยู่ในสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ ปัญหานี้เป็นปัญหาที่ตอบให้ชัดเจนได้ยาก เชื่อกันว่าเมื่อใดที่ประชากรไม่ลดจำนวนจนเกือบจะสูญพันธุ์หรือสูญพันธุ์ และหรือประชากรไม่เพิ่มจำนวนมากจนเกิดสภาวะแก่งแย่ง (competition) ในเรื่องของอาหารที่อยู่อาศัยและสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีพมากเกินไปจนเกิดเป็นพลังผลักดัน

(selective pressure) ที่จะต้องมีการปรับกลุ่มประชากรดังเช่นที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เมื่อนั้น ประชากรจะอยู่ในสภาวะสมดุล