

organization levels ซึ่งมีตั้งแต่ระดับอะตอมขึ้นไปจนถึงระบบนิเวศ การจัดเริ่มจากระดับอะตอม โมเลกุล เซล เนื้อเยื่อ อวัยวะสิ่งมีชีวิตทั้งตัว organism, population, community ระบบนิเวศและชีวภาพ (biosphere) ระดับที่ถือว่าเป็นหน่วยเล็กที่สุดทางนิเวศวิทยา คือ individual organism

มีศัพท์ 2 คำที่ได้กล่าวถึง ในบทที่ 1 คือ population และ community population ที่คนทั่วไปเข้าใจกันคือประชากรซึ่งหมายถึงจำนวนคนในท้องที่ใดท้องที่หนึ่ง แต่ในความหมายของนักนิเวศวิทยาหมายถึงจำนวนสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด (species) ซึ่งอาจเป็น คน สัตว์ พืช หรือจุลชีวันก็ได้ นักนิเวศวิทยาทางพฤกษศาสตร์อาจพูดถึง population ของต้นสัก ประดู่ ยาง ฯลฯ ส่วนทางสัตววิทยาก็อาจมีการกล่าวถึง population ของกวาง ปลาหมึก จิ้งหรีด ฯลฯ community หมายถึงสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในท้องที่หนึ่ง ๆ community ในสนามหญ้าหน้าบ้านเราอาจจะมีสิ่งมีชีวิตเป็นจำนวนหลายพันหรือมากกว่าตั้งแต่แบคทีเรียในดิน ไล้เดือน ไปจนถึงต้นหญ้า และไม้ยืนต้นที่มีในบริเวณนั้น

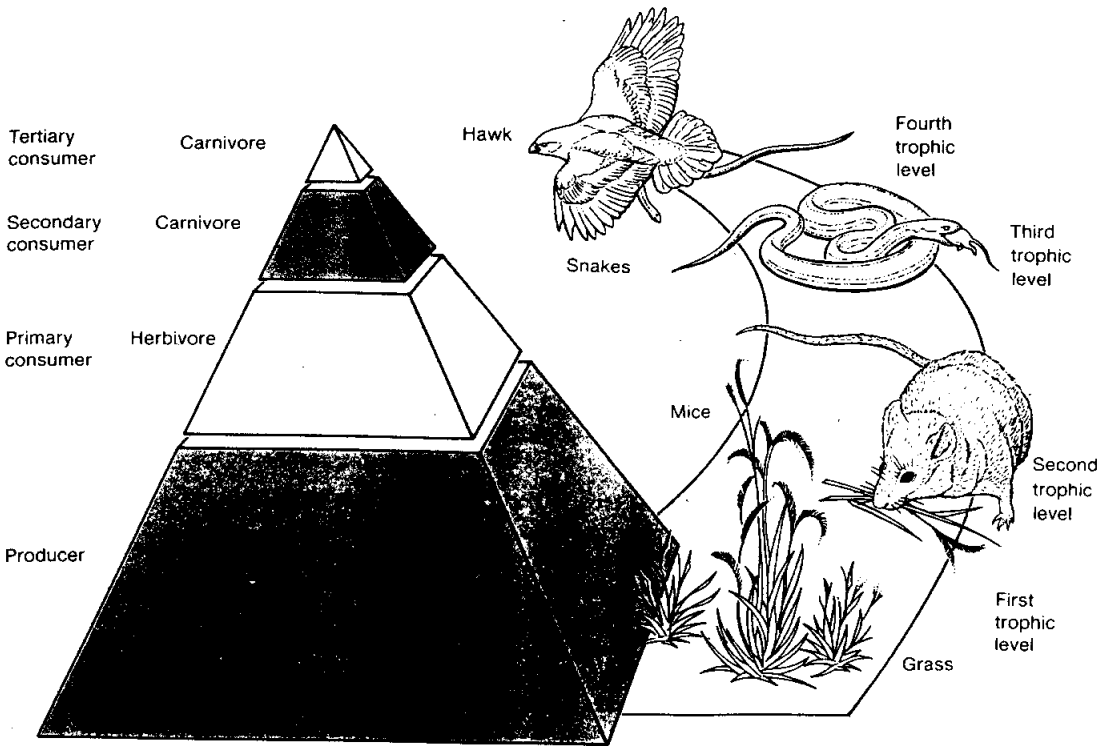
กฎทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับนิเวศวิทยาในแง่ของอาหารและพลังงานคือ Laws of thermodynamics ซึ่งมีอยู่ 2 ข้อ กฎข้อแรกกล่าวไว้ว่าพลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ หรือทำให้สูญหายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปได้ น้ำมัน ถ่านหิน แก๊ส หรือแม้แต่พืชที่ใช้หุงต้มเป็นพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น พลังงานแสงอาทิตย์ถูกพืชเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีไว้ในโมเลกุลของเซลลูโลสโดยขบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าเผาพืชพลังงานเคมีถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อน ถ้าเผ่าถ่านหินพลังงานเคมีในถ่านหินซึ่งเกิดจากซากพืชที่ทับถมกันเป็นเวลายาวนาน ๆ ปีก็ถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนเช่นเดียวกัน ถ้าใช้ความร้อนนี้ต้มน้ำเพื่อให้ไอน้ำไปหมุนเครื่องจักร พลังงานความร้อนก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกล ถ้าพลังงานกลนี้ใช้หมุนเจนเนอเรเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานกลก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าเราเปิดไฟพลังงานไฟฟ้าก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแสง ตัวอย่างที่กล่าวมานี้ใช้ประกอบการอธิบายกฎข้อหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ได้เป็นอย่างดี กฎข้อที่สองกล่าวว่าเมื่อพลังงานรูปหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง จะมีการสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่งไปในรูปของความร้อน แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงและพืชยังไม่สามารถใช้แสง 1 เปอร์เซ็นต์นี้ได้หมด รถที่วิ่งบนถนนใช้พลังงานจากน้ำมันเพียง 25 เปอร์เซ็นต์เพื่อดันลูกสูบและหมุนเพลงให้รถวิ่ง ส่วนน้ำมันที่เหลืออีก 75 เปอร์เซ็นต์สูญเสียไปในรูปของความร้อนโดยไม่มีประโยชน์ ในทางนิเวศวิทยาการถ่ายทอดพลังงานในอาหารโดยการกินและถูกกินเป็นทอดเป็นตอนเรียกว่าลูกโซ่อาหาร (food chain) การถ่ายทอดพลังงานในลูกโซ่อาหารก็เป็นไปตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์คือมีพลังงานสูญเสีย

ไปในการส่งถ่ายพลังงานแต่ละครั้ง ความไม่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในอาหาร เป็นเหตุสำคัญที่ทำให้ลูกโซ่อาหารสั้น และยังเป็นเหตุให้ ecological pyramid ไม่สูง eco - logical pyramid หมายถึงแผนภาพที่แสดงการถ่ายทอดพลังงานในลูกโซ่อาหาร ปริมาตรนี้มี 3 ประเภทด้วยกัน คือ pyramid of energy, pyramid of numbers และ pyramid of biomass ถ้าแผนภาพแสดงการถ่ายทอดพลังงานในรูปของแคลอรีก็จัดเป็น pyramid of energy ถ้าแสดงจำนวนสิ่งมีชีวิตก็เป็น pyramid of numbers ถ้าแสดงการถ่ายทอดพลังงานในรูปของ น้ำหนักสิ่งมีชีวิตก็เป็น pyramid of biomass biomass หมายถึง น้ำหนักสิ่งมีชีวิตทั้งตัว ถ้าเป็นพืชก็เป็นน้ำหนักรวมของทั้งส่วนบนดินและส่วนรากที่อยู่ใต้ดิน เมื่อกล่าวถึง biomass ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกันที่ควรทราบอีกคำหนึ่งคือ standing crop คำนี้หมายถึงน้ำหนักของพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง น้ำหนักนี้ไม่รวมส่วนของพืชที่อยู่ใต้ดิน ศัพท์อีกคำ ที่ได้ยินคุ้นหูคือ yeild หมายถึงอัตราของผลผลิตต่อพื้นที่ คำนี้ใช้กันมากในการเกษตร เรา มักได้ยินเสมอว่า ผลผลิตข้าว 80 ถังต่อปี ผลผลิตอ้อย 5 ตันต่อไร่ ฯลฯ

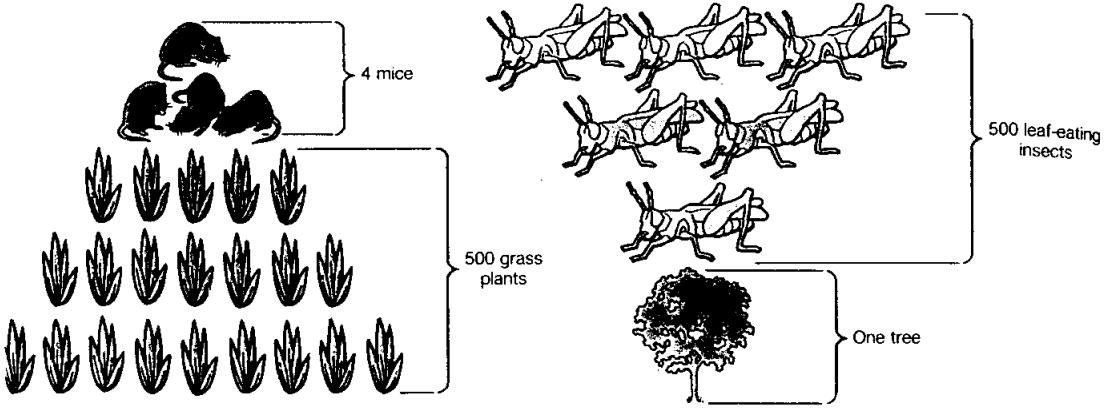
เหตุที่กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้อธิบายแผนภาพปริมาตรได้ เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ มีการสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่งไปในแต่ละครั้งของการถ่ายทอด ฐานปริมาตรจึงกว้างสำหรับชั้นล่างสุดและแคบเข้าในชั้นสูงถัดขึ้นไป แต่ละชั้นของ ปริมาตรจัดเป็นระดับพลังงานหนึ่งมีเรียกกันว่า trophic level ในลูกโซ่อาหารตอนต้นหรือฐาน ชั้นล่างสุดของปริมาตรได้แก่พืชสีเขียวที่ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (producer) อาหารโดยเปลี่ยน พลังงานแสงแดดมาเป็นพลังงานเคมีในต้นพืช ถัดมาในลูกโซ่อาหารหรือในชั้นที่สูงขึ้นมาของ แผนภาพปริมาตรเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องกินพืชหรือกินสัตว์ด้วยกัน เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการดำรงชีพ พวกนี้จัดเป็นผู้บริโภค (consumer) พวกที่กินพืชเรียกว่า herbivore พวกที่กินสัตว์เรียกว่า camivore พวกที่กินทั้งพืชและสัตว์เรียกว่า omnivore วงจร ธาตุอาหารกลับมาสู่พืชโดยพวก decomposers พวกนี้ย่อยซากพืช ซากสัตว์ให้เน่าเปื่อย สลายกลายเป็นอนินทรีย์สารซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืชต่อไป decomposers ส่วนมากเป็นเชื้อราและแบคทีเรีย

ในธรรมชาติลูกโซ่อาหารแต่ละลูกโซ่เกี่ยวพันกัน เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดไม่ได้กิน อาหารชนิดเดียว เสืออาจกินกวาง เก้ง ลิง คน นกกระสาอาจกินปลา กบ หอย ปู วัวไม่ได้กิน หญ้าชนิดเดียวกันเป็นอาหาร ด้วยเหตุนี้ลูกโซ่อาหารจึงเกี่ยวโยงกันเหมือนใยแมงมุม จึงเรียกว่าลูกโซ่อาหารประเภทนี้ว่า food web

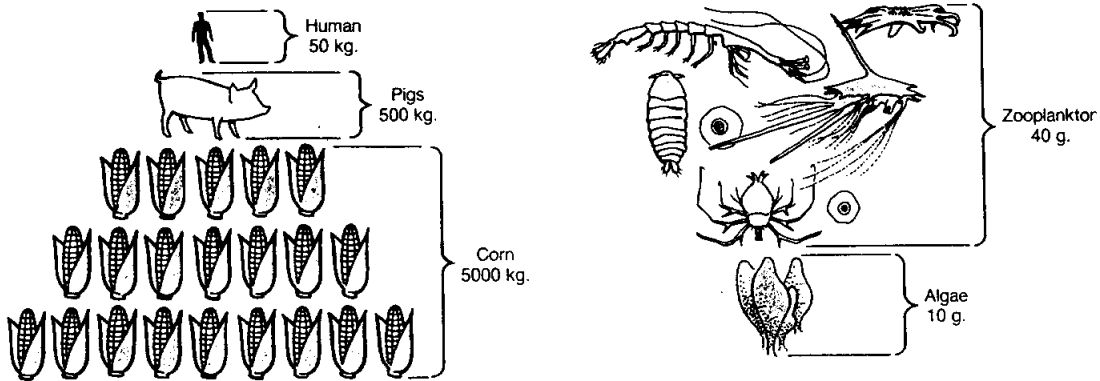
หลักนิเวศวิทยาที่สำคัญและควรทราบอีกข้อหนึ่งคือ Principle of limiting factors เดิมรู้จักกันในชื่อของ Law of minimum นักชีวเคมีชาวเยอรมันชื่อ Justus Liebig เป็นผู้เสนอ



รูป 2.8 พลังงานที่ไหลผ่านระบบนิเวศ พลังงานไหลจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง ประมาณ 90% ของพลังงานหายไป (Enger, et.al., 1988)



รูป 2.9 ปริมาณจำนวน (Enger, et. al., 1988)



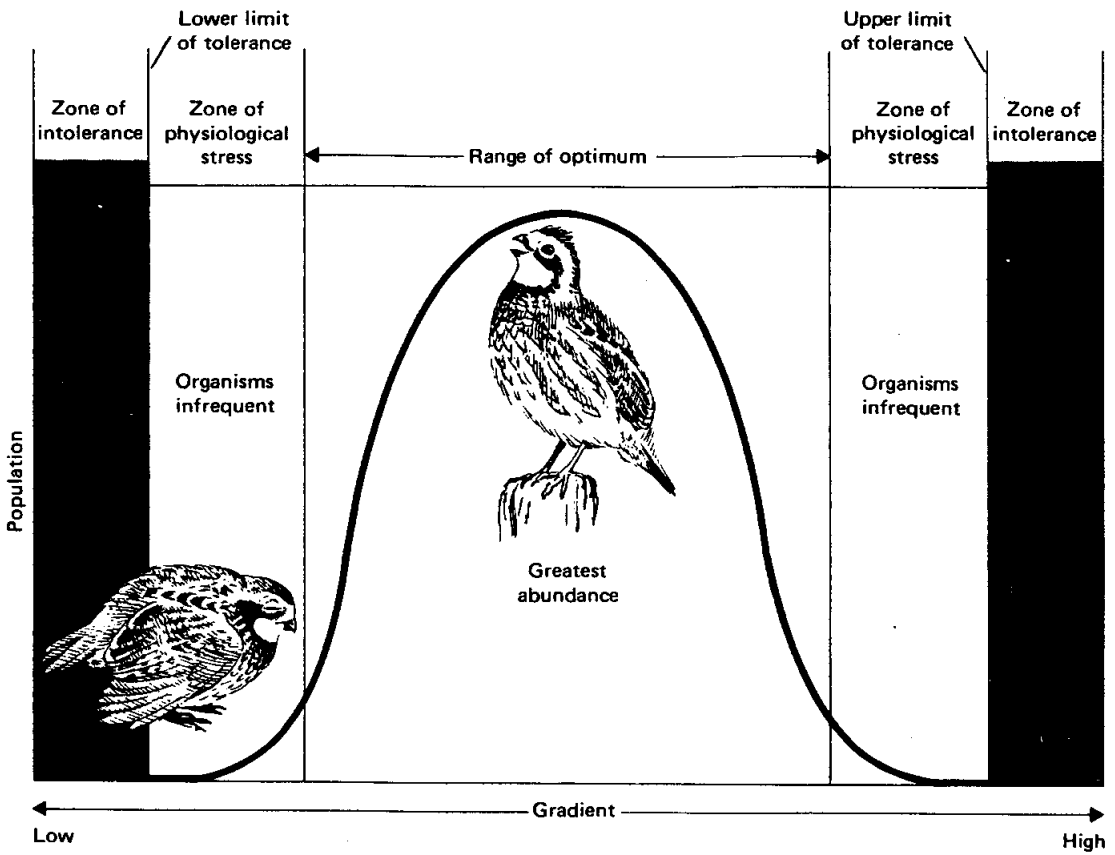
รูป 2.10 ปริมาณน้ำหนัก (Enger, et. al., 1988)

กฎนี้ในปี 1840 เขาพบว่าพืชไม่เจริญเติบโตและแสดงอาการเป็นโรคถ้าขาดธาตุอาหารที่จำเป็น ธาตุอาหารที่จำเป็นบางธาตุพืชต้องการในปริมาณที่น้อยมาแต่ขาดไม่ได้ ต่อมา Victor Shelford นักนิเวศวิทยาหุ่นบุกเบิกของสหรัฐอเมริกา (ประธานคนแรกของ Ecological Society of America) ได้พบว่าสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์จะไม่เจริญเติบโตและเป็นโรคถ้าได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นหรือมีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จำเป็นมากเกินไป ด้วยเหตุนี้สิ่งมีชีวิตจึงมีขีดจำกัดต่ำสุดของการเจริญเติบโตและขบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายที่เรียกว่า lower limit และในขณะเดียวกันก็มีขีดจำกัดสูงสุดที่เรียกว่า upper limit ช่วงระหว่างขีดต่ำสุดและสูงสุดที่สิ่งมีชีวิตแต่ละชีวิตดำรงอยู่ได้เรียกว่า tolerance range ภายใน tolerance range จะมีช่วงที่เหมาะสม (optimum range) สำหรับการดำรงชีวิตซึ่งจะพบจำนวนสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ มากที่สุด ช่วงที่อยู่เหนือและต่ำจากช่วงที่เหมาะสมเป็นช่วงที่ปัจจัยสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการดำรงชีพเป็นเหตุให้เกิดความกดดันทางสรีระช่วงนี้เรียกว่า zone of physiological stress ซึ่งจะมีสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ อยู่เป็นจำนวนน้อย (รูป 2.11)

ที่น่าสังเกตเกี่ยวกับลูกโซ่อาหารในบึงหรือทะเลสาบซึ่ง communities อยู่ในระยะต้นของ succession คือ ลูกโซ่อาหารไม่ได้เป็นอย่างที่เข้าใจกันทั่วไปแบบพืช สัตว์กินพืช สัตว์กินสัตว์ ทั้งนี้เพราะพืชน้ำส่วนมากโดยเฉพาะพวกที่ส่วนยอดอยู่เหนือน้ำและส่วนรากอยู่ในดินใต้น้ำที่เรียกว่า emergent macrophyte มีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ มีอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนสูง (C:N ratio) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของ biomass ของพืชพวกนี้ไม่ผ่าน herbivore แต่กลับผ่านโดยตรงไปยังพวก decomposer ทันทีที่ส่วนของพืชที่ตายล้มลงแช่น้ำ ธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้จะละลายไปกับน้ำเกือบหมด ต่อมาพวกเชื้อราและแบคทีเรียจึงเข้าย่อยทำลายซากพืชให้เปื่อยแตกสลายเป็นชิ้นเล็ก ๆ ที่เรียกว่า detritus detritus นี้กลับมีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้นในระยะหลังของการเน่าเปื่อยซึ่งเป็นผลจาก biomass ของ decomposers ที่อาศัยอยู่บน detritus พวกสัตว์น้ำเล็ก ๆ ที่กินชิ้นส่วนของซากพืชจะได้อาหารจาก biomass ของ decomposers ไม่ใช่จากพืช สัตว์พวกนี้เรียกว่า detritivores แมลงน้ำและปลาเล็ก ๆ จะกิน detritivores ลูกโซ่อาหารจึงเป็นแบบ detritus food chain ไม่ผ่าน herbivores ดังนั้นการจัดการทรัพยากรประเภทบึง ทะเลสาบ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงลูกโซ่อาหารธรรมชาติของพืชน้ำ succession รวมทั้งวงจรธาตุอาหารที่หมุนเวียนในบึงหรือทะเลสาบ (Puriveth, 1979, 1980)

### การหมุนเวียนของธาตุอาหารที่สำคัญ (Nutrient Cycles)

ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าสิ่งมีชีวิตประเภท decomposers เป็นพวกที่เปลี่ยนแปลงสภาพอินทรีย์สารให้กลับเป็นอนินทรีย์สารทำให้แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ หมุนเวียนเป็นวงจร การหมุนเวียนของธาตุอาหารที่สำคัญที่ควรทราบคือ ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และฟอสฟอรัส



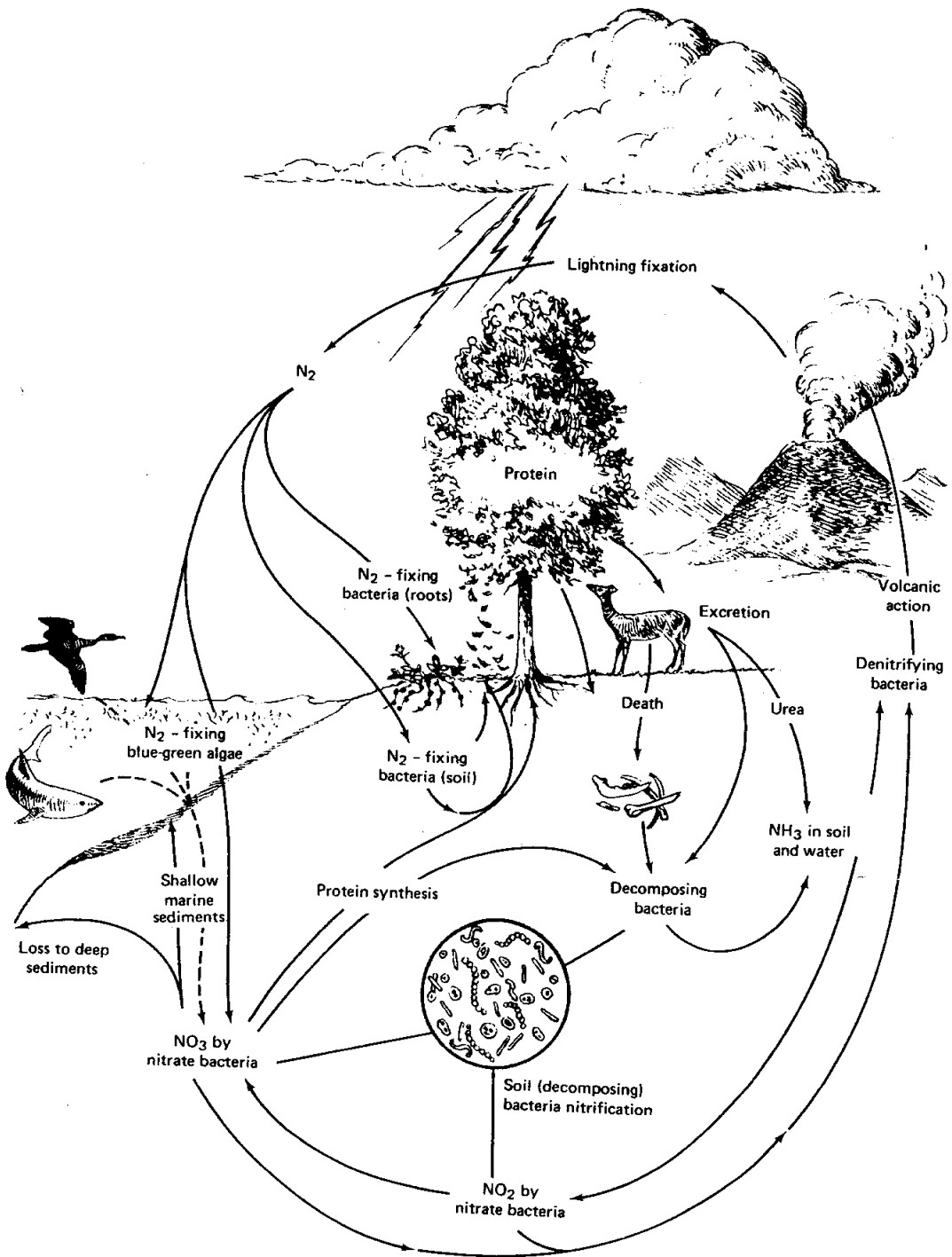
รูป 2.11 แสดงพิสัยความทนทานของสิ่งมีชีวิต (tolerance range) (Smith, 1977)

ปกติธาตุไนโตรเจนมีอยู่ในโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบที่สำคัญ เช่น คลอโรฟิลล์ ฮีโมโกลบิน อินซูลิน และ DNA มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การหมุนเวียนของไนโตรเจนเริ่มจากแก๊สไนโตรเจน ไนโตรเจนซึ่งมีอยู่ในอากาศประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ แก๊สไนโตรเจนถูกเปลี่ยนมาเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย สาหร่ายบลูกรีน และแบคทีเรียในรากพืชตระกูลถั่ว (รูป 2.12) ไนเตรทในดินอาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน (มูลสัตว์ ซากพืช และสัตว์ ชยะมูลฝอย) ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ขบวนการนี้เรียกว่า ammonification ต่อมาไนไตรท์แบคทีเรีย (nitrite bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียมาเป็นไนไตรท์ และไนเตรทแบคทีเรียจะเปลี่ยนไนไตรท์มาเป็นไนเตรท สารประกอบไนเตรทนี้พืชดูดเอาไปใช้ได้ ขบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทเรียกว่า nitrification ขณะเดียวกันมีขบวนการ denitrification เปลี่ยนสารประกอบแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทกลับไปเป็นไนโตรเจนแก๊ส แบคทีเรียที่ทำหน้าที่นี้ (denitrifying bacteria) ได้พลังงานในการดำรงชีพจากการแตกสลายของสารประกอบดังกล่าว ขบวนการฟิกส์ไนโตรเจนอาจเกิดโดยอาศัยกระแสไฟฟ้าในขณะเกิดพายุฟ้าคะนองและจากการระเบิดของภูเขาไฟ แต่ปริมาณไนเตรทที่ได้้น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้จากการฟิกส์ของแบคทีเรียและสาหร่ายบลูกรีน turnover rate ของแก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศช้ากินเวลาเป็นร้อย ๆ ปี อย่างไรก็ตามการใช้ไนโตรเจนของสิ่งมีชีวิตไม่ได้ทำได้ทำให้เปอร์เซ็นต์แก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศลดลง

การหมุนเวียนของออกซิเจนต่างไปจากไนโตรเจน ออกซิเจนเป็นแก๊สที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีจึงเป็นเหตุให้ออกซิเจนมักรวมอยู่กับธาตุอื่น ๆ ในรูปของออกไซด์ แก๊สออกซิเจนในอากาศและในน้ำที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการหายใจมาจากการสังเคราะห์แสงของพืช พืชก็ใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่ออกซิเจนที่เป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสงมากกว่าออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ เมื่อพืชและสัตว์ตายก็จะเน่าเปื่อยโดยการออกซิเดชัน (oxidation) แต่ซากพืชและสัตว์ที่ตายทับถมลึกลงไปในดินไม่ถูกออกซิไดซ์เพราะอยู่ในสภาพที่ขาดอากาศ นานเข้าก็กลายเป็นถ่านหิน น้ำมันที่เราขุดขึ้นมาใช้เป็นพลังงาน เป็นที่น่าวิตกกันว่าถ้าขุด fossil fuel มาใช้กันมากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ต้องใช้ออกซิเจนในอากาศมากจนเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศลดลง แต่ในระยะยี่สิบปีที่ผ่านมาปรากฏว่าออกซิเจนในบรรยากาศไม่ลดลงและไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างที่เรานั่นเกรงกัน

ธาตุสำคัญที่เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารทั้งหมดคือคาร์บอน คาร์บอนในบรรยากาศอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สนี้ต่างไปจากแก๊สออกซิเจน เพราะมีรายงานการวิจัยว่ามีเปอร์เซ็นต์ในบรรยากาศสูงขึ้นซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ fossil fuels ที่เราใช้กันมากขึ้นทุกวัน (Wong, 1978) คาร์บอนไดออกไซด์มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับอุณหภูมิของบรรยากาศเพราะโมเลกุลของแก๊สนี้ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านเข้ามายังผิวโลกได้ แต่กลับรบกวน



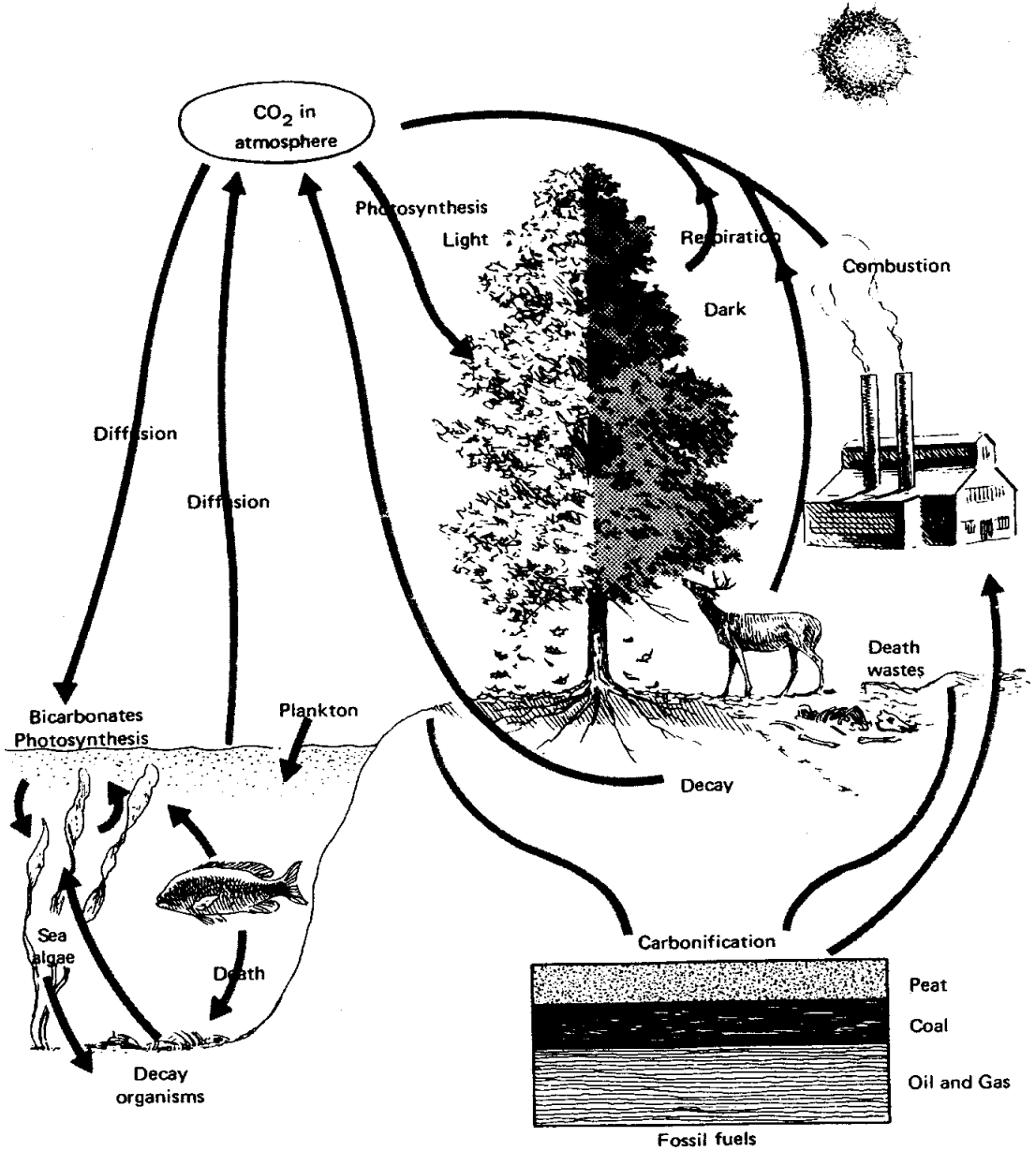


รูป 2.12 วงจรไนโตรเจนในระบบนิเวศ (Smith, 1977)

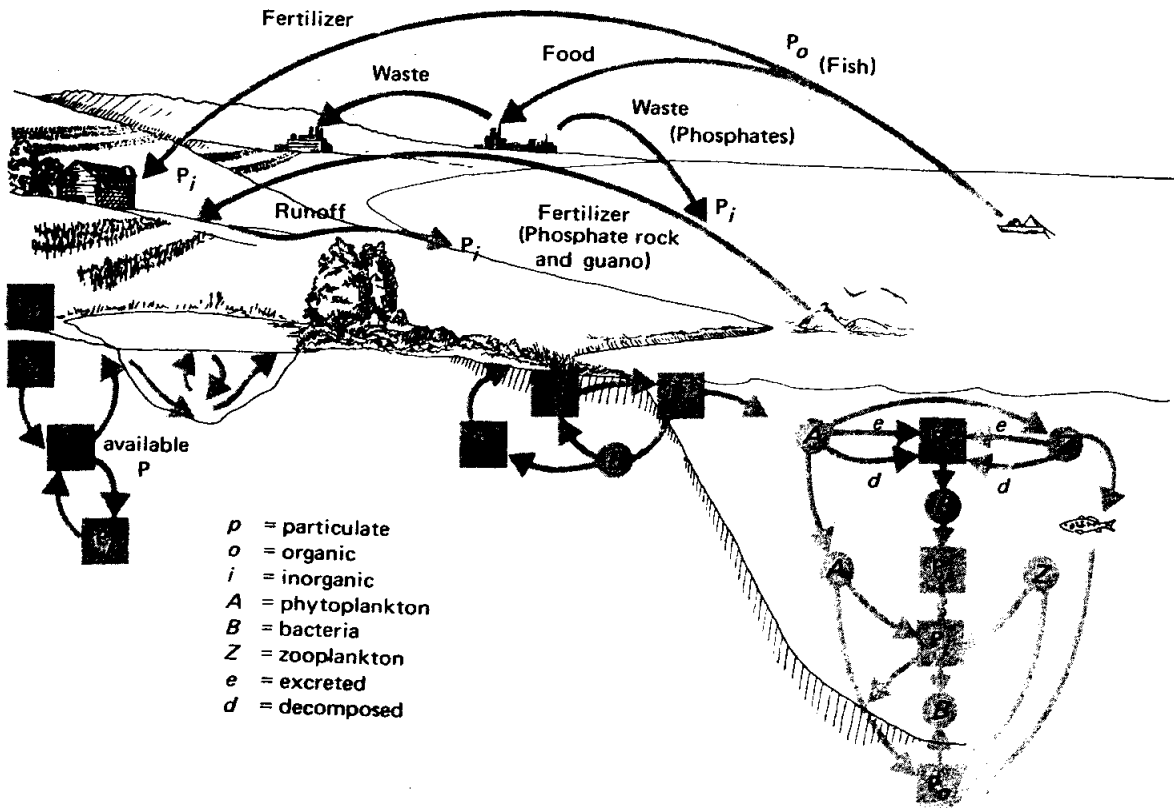
รังสีคลื่นยาวที่ออกจากผิวโลกในรูปของความร้อน ผลข้อนี้เรียกว่า green house effect ดังนั้น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศจึงอาจทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศบางส่วนร้อนขึ้นและบางส่วนเย็นลงกว่าเดิม คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ได้จากการหายใจของสิ่งมีชีวิต จากการเผาไหม้อินทรีย์สารและ fossil fuel ขณะเดียวกันพืชใช้แก๊สนี้ในการสังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนจากขบวนการนี้ (รูป 2.13)

วงจรของธาตุฟอสฟอรัสดูง่ายกว่าวงจรของไนโตรเจนแล้ว ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีในธรรมชาติน้อยกว่ามาก แหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญคือหินซึ่งให้ฟอสเฟตเมื่อสึกกร่อน (weathering) และเมื่อถูกชะล้าง (leaching) ฟอสฟอรัสถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สารโดยพืชเช่นเดียวกับธาตุอื่น ๆ จากพืชฟอสฟอรัสถูกผ่านไปยัง trophic levels ต่างๆ เช่นเดียวกับธาตุอื่นอีกที่ต่อจากอวัยวะที่เรียกว่าเป็นตัวเปลี่ยนให้กลับมาเป็นอินทรีย์สาร มีบางกรณีที่เนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์แตกสลายให้อินทรีย์ฟอสเฟตเองโดยไม่ต้องอาศัยแบคทีเรีย เป็นไปได้ที่เนื้อเยื่อของพืชหรือสัตว์ฉีกขาดหรือเป็นแผลโดยภัยธรรมชาติซึ่งเป็น mechanical breakdown ในกรณีเช่นว่านี้ orthophosphate และ dissolved organic phosphorus ถูกชะล้างละลายไปได้ แบคทีเรียและแพลงตอนสามารถใช้ orthophosphate ได้ทันที ในน้ำ turnover time ของฟอสฟอรัสบางครั้งไม่เกิน 5 นาที วงจรของฟอสฟอรัสในน้ำเกี่ยวข้องกับวงจรฟอสฟอรัสบนบกโดยลูกโซ่อาหาร การที่คนและนกกินปลาและสัตว์น้ำเป็นการนำฟอสฟอรัสจากน้ำกลับมาสู่ส่วนพื้นดิน อย่างไรก็ตามมีฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำบางส่วนจมลงสู่ก้นมหาสมุทร ฟอสฟอรัสส่วนนี้ขาดสูญจากวงจรไปโดยสิ่งมีชีวิตไม่ได้ใช้ การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสแสดงไว้ในรูป 2.14

วงจรธาตุสำคัญที่ยกมากล่าวเป็นตัวอย่างนี้ เชื่อว่าช่วยให้นักศึกษาเข้าใจปัญหาทรัพยากร และมลภาวะ (pollution) ในบทหลังได้ดีขึ้น ทั้งยังช่วยให้แนวคิดทางการทดลองวิจัยธาตุอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต การศึกษาวงจรหรือวัฏจักรธาตุเคมีกำลังเป็นที่สนใจของนักนิเวศวิทยาในปัจจุบัน แนวทางในการศึกษาด้านนี้ทำให้นักนิเวศวิทยาเข้าใจหน้าที่ (function) ของระบบนิเวศละเอียดขึ้น สาขาย่อยของนิเวศวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับวงจรธาตุ ผลผลิต (productivity) รูปแบบหรือโมเดลของระบบนิเวศ การหมุนเวียนของพลังงาน การวิเคราะห์ระบบ (system analysis) และปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างพืช-สัตว์ (plant-animal interactions) เรียกว่า system ecology



รูป 2.13 วงจรคาร์บอนในระบบนิเวศ (Smith, 1977)



รูป 2.14 วงจรฟอสฟอรัสในระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ (Smith, 1977)

## สรุป

ในด้านชีววิทยาขบวนการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้สิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลกมีชีวิตอยู่ได้คือ ขบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์เป็นสารสีเขียวที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ขบวนการสังเคราะห์แสงแบ่งได้เป็น 2 ระยะเวลาใหญ่ ๆ คือ ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง และปฏิกริยาที่เกิดในที่มืด ปฏิกริยาที่เกิดโดยไม่ใช้แสงเป็นขบวนการฟิกส์คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกริยานี้คาร์บอนจะผ่านวงจร  $C_3$  และ  $C_4$  ปกติพืชทั่วไปมีวงจร  $C_3$  แต่พืชบางชนิด เช่น อ้อย พืชในตระกูลหญ้าบางชนิด และพืชทะเลทรายบางชนิดเป็นพืชที่มีวงจร  $C_4$  เพิ่มเข้ามาอีกวงจรหนึ่งในขั้นตอนนี้ ลักษณะที่ดีของพืชที่วงจร  $C_4$  คือสามารถสังเคราะห์แสงได้ทั้ง ๆ ที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีน้อย เมื่อเป็นเช่นนี้ผลผลิตของพืชก็จะสูงขึ้น การปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีวงจร  $C_4$  จึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึง

นิเวศวิทยาเป็นศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากร ระดับทางชีววิทยาที่มีนิเวศวิทยาเกี่ยวข้องโดยทั่วไปเป็นระดับสิ่งมีชีวิตหนึ่งตัวขึ้นไปจนถึงระดับระบบนิเวศ หลักที่สำคัญทางนิเวศวิทยาที่ควรเข้าใจคือหลักของปัจจัยจำกัด (principles of limiting factors) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตและสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีช่วงระดับความทนทานที่เรียกว่า tolerance range สิ่งมีชีวิตจะอยู่รวมกันเป็น community ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ปรากฏการณ์ที่ community หนึ่งเข้าแทนที่อีก community หนึ่ง เรียกว่า succession สัตว์ที่อยู่ในแต่ละ community ได้พลังงานมาโดยการกินเป็นต่อ ๆ หรือทอด ๆ ซึ่งเรียกว่า ลูกโซ่อาหาร ในการกินกันเป็นลูกโซ่อาหารนี้ พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนซึ่งไม่สามารถเอากลับมาใช้ได้อีก ความจริงข้อนี้เป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์กฎที่สอง ธาตุอาหารที่สัตว์กินเข้าไปส่วนใหญ่ได้มาจากพืช ธาตุอาหารต่าง ๆ จะหมุนเวียนกันเป็นวงจร วงจรธาตุอาหารที่สำคัญคือ ไนโตรเจน คาร์บอน และฟอสฟอรัส ความเข้าใจเรื่องวงจรธาตุอาหารและลูกโซ่อาหารทำให้นักนิเวศวิทยาสามารถติดตามสารพิษที่เข้ามาปะปนอยู่ในระบบนิเวศได้ ทั้งยังเป็นแนวทางในการวิจัยศึกษาปัญหาไม่สมดุลย์ของสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ อีก

## คำถาม

1. เหตุใดการสังเคราะห์แสงจึงเป็นขบวนการพื้นฐานของชีวิตในโลก ขั้นตอนในการสังเคราะห์แสงมีอะไรบ้าง
2. พีชที่มี  $C_3$  และ  $C_4$  cycle ต่างกันอย่างไรในเรื่องการสังเคราะห์แสง
3. จากเนื้อหาที่เรียนในบทนี้ ท่านมีแนวทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนอาหารอย่างไร
4. การศึกษาวงจรธาตุต่างๆ นั้นสำคัญอย่างไร ความรู้เรื่องนี้นำมาประยุกต์ใช้กับสังคมมนุษย์ได้อย่างไร
5. เมื่อพิจารณากันในแง่ของระบบองค์ประกอบของชีววิทยา นักนิเวศวิทยาสนใจศึกษาวิจัยสิ่งมีชีวิตตั้งแต่ระดับใด ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
6. population และ community ในทางนิเวศวิทยาต่างจากสังคมวิทยาอย่างไร
7. จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น จากการศึกษาวงจรของธาตุนี้คิดว่าเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด
8. รถยนต์ อาคารบ้านเรือน ตลอดจนสังขาร เราทรุดโทรมไปตามกาลเวลา ท่านคิดว่าเป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์หรือไม่ จงให้เหตุผล
9. โยคีในอินเดียมีชีวิตอยู่ได้โดยกินอาหารน้อยมาก จงอธิบายเรื่องนี้ โดยอาศัยมโนทัศน์ทางนิเวศวิทยาอย่างไร

## บรรณานุกรมและเชิงอรรถ

- Avers, J.C. 1976. Cell biology. D. Van Nostrand Company, New York.
- Enger, E.D., et.al. 1988. Concepts in Biology. Wm. C. Publishers. Dubuque, Iowa.
- Ford, J.M., and J.E. Monroe. 1971. Living system. Harper & Row, Publisher, Inc., New York
- Lehninger, A.L. 1970. Biochemistry. Worth Publishers, Inc., New York
- McIntosh, R.P. 1974. Plant ecology. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 61 : 132-165.-
- Puriveth, P. 1979. Decomposition of emergent macrophytes in Theresa Marsh. PhD. Thesis. University of Wisconsin - Milwaukee
- Puriveth, P. 1980. Decomposition of emergent macrophytes in a Wisconsin marsh. *Hydrobiologia* 72 : 231-242
- Rigler, F.H. 1964. The phosphorus fractions and the turnover time of inorganic phosphorus in different types of lakes. *Limnol. Oceanogr.* 9 : 511-518
- Rusell - Hunter, W.D. 1970. Aquatic productivity. Macmillan Publishing Co., Inc., New York
- Salisbury, F.B., and C. Ross. 1969. Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California.
- Smith, R.L. 1977. Elements of ecology and field biology. Harper & Row, Publishers, inc., New York
- Wong, C.S. 1978. Atmospheric input of carbon dioxide from ooming wood. *Science* 200 : 197-200
- Woodwell, G.M., P.H. Rich, and C.A.S. Hall. 1973. The carbon cycle of estuaries. In: G.M. Woodwell and E.V. Pecan (eds.). Carbon and the biosphere. Pro. 24th Brookhaven Symposium in Biology. Brookhaven, N.Y., U.S. Atomic Energy Commission Symp. Ser. CONF - 720510. pp. 221-240