

รูป 2.7 ลำดับการจัดระเบียบองค์ประกอบชีววิทยา นิเวศน์วิทยาครอบคลุมตั้งแต่ระดับ organism ถึงระดับ biosphere

การจัดเริ่มจากระดับอะตอม โมเลกุล เซล เนื้อเยื่อ อวัยวะสิ่งมีชีวิตทั้งตัว (organism) population community ระบบนิเวศน์และชีวภพ (biosphere) ระดับที่ถือว่าเป็นหน่วยเล็กที่สุดทางนิเวศน์วิทยาคือ individual organism

มีศัพท์ 2 คำที่ยังไม่ได้กล่าวถึงในบทที่ 1 คือ population และ community population ที่คนทั่วไปเข้าใจกันคือประชากรซึ่งหมายถึงจำนวนคนในท้องที่ใดท้องที่หนึ่ง แต่ในความหมายของนักนิเวศน์วิทยาหมายถึงจำนวนสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด (species) ซึ่งอาจเป็น คน สัตว์ พืช หรือ จุลชีวนก็ได้ นักนิเวศน์วิทยาทางพฤกษศาสตร์อาจพูดถึง population ของต้นสัก ประดู่ ยาง ฯลฯ ส่วนทางสัตวศาสตร์ก็อาจมีการกล่าวถึง population ของกวาง ปลาหม้อ จิ้งหรีด ฯลฯ community หมายถึงสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในท้องที่หนึ่ง ๆ community ในสนามหญ้าหน้าบ้านเราอาจมีสิ่งมีชีวิตเป็นจำนวนหลายพันหรือมากกว่าตั้งแต่ แบคทีเรียในดิน ไส้เดือน ไปจนถึงต้นหญ้าและไม่ย่นต้นที่มีในบริเวณนั้น

กฎทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับนิเวศน์วิทยาในแง่ของอาหารและพลังงานคือ Laws of thermodynamics ซึ่งมีอยู่ 2 ข้อ กฎข้อแรกกล่าวไว้ว่าพลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำให้สูญหายไปได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปได้ น้ำมัน ถ่านหิน แก๊ส หรือแม้แต่หินที่ใช้หุงต้มเป็นพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น พลังงานแสงอาทิตย์ถูกพืชเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีไว้ในโมเลกุลของเซลลูโลสโดยขบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าเผาหินพลังงานเคมีถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อน ถ้าเผาถ่านหินพลังงานเคมีในถ่านหินซึ่งเกิดจากซากพืชที่ทับถมกันเป็นเวลานับล้าน ๆ ปีก็ถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนเช่นเดียวกัน ถ้าใช้ความร้อนนี้ต้มน้ำเพื่อให้ไอน้ำไปหมุนเครื่องจักร พลังงานความร้อนก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจักรกล ถ้าพลังงานจักรกลนี้ใช้หมุนเจเนอเรเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานจักรกลก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าเราเปิดไฟพลังงานไฟฟ้าก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแสง ตัวอย่างที่กล่าวมานี้ใช้ประกอบการอธิบายกฎข้อหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ได้เป็นอย่างดี กฎข้อที่สองกล่าวว่าเมื่อพลังงานรูปหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง จะมีการสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่งไปในรูปของความร้อน แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงและพืชยังไม่สามารถใช้แสง 1 เปอร์เซ็นต์นี้ได้หมด รถที่วิ่งบนถนนใช้พลังงานจากน้ำมันเพียง 25 เปอร์เซ็นต์เพื่อดันลูกสูบและหมุนเพลาลำไ้รถวิ่ง ส่วนน้ำมันที่เหลือ

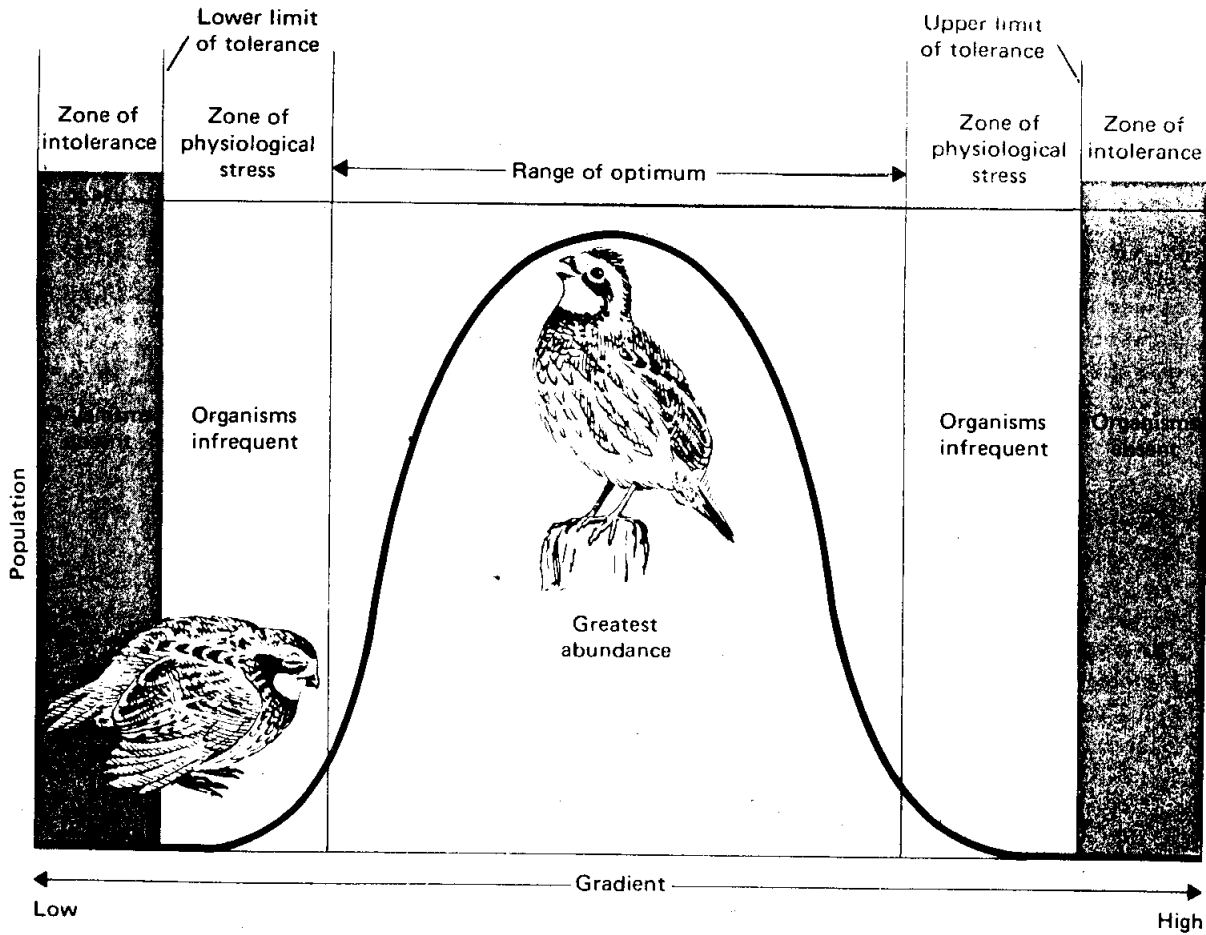
อีก 75 เปอร์เซ็นต์สูญเสียไปในรูปของความร้อนโดยไม่มีประโยชน์ ในทางนิเวศวิทยาการถ่ายทอดพลังงานในอาหารโดยการกินและถูกกินเป็นทอดเป็นตอนเรียกว่าลูกโซ่อาหาร (food chain) การถ่ายทอดพลังงานในลูกโซ่อาหารก็เป็นไปตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์คือมีพลังงานสูญเสียไปในการส่งถ่ายพลังงานแต่ละครั้ง ความไม่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในอาหารเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้ลูกโซ่อาหารสั้น และยังเป็นเหตุให้ ecological pyramid ไม่สูง ecological pyramid หมายถึงแผนภาพที่แสดงการถ่ายทอดพลังงานในลูกโซ่อาหาร ปริมาตรนี้มี 3 ประเภทด้วยกันคือ pyramid of energy, pyramid of numbers และ pyramid of biomass ถ้าแผนภาพแสดงการถ่ายทอดพลังงานในรูปของแคลอรีก็จัดเป็น pyramid of energy ถ้าแสดงจำนวนสิ่งมีชีวิตก็เป็น pyramid of numbers ถ้าแสดงการถ่ายทอดพลังงานในรูปของน้ำหนักสิ่งมีชีวิตก็เป็น pyramid of biomass biomass หมายถึงน้ำหนักสิ่งมีชีวิตทั้งตัว ถ้าเป็นพืชก็เป็นน้ำหนักรวมของทั้งส่วนบนดินและส่วนรากที่อยู่ใต้ดิน เมื่อกล่าวถึง biomass ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกันที่ควรทราบอีกคำหนึ่งคือ standing crop คำนี้หมายถึงน้ำหนักของพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง น้ำหนักนี้ไม่รวมส่วนของพืชที่อยู่ใต้ดิน ศัพท์อีกคำที่ได้ยินคุ้นหูคือ yield หมายถึงอัตราของผลผลิตต่อพื้นที่ คำนี้ใช้กันมากในการเกษตร เรามักได้ยินเสมอว่า ผลผลิตข้าว 80 ถังต่อไร่ ผลผลิตอ้อย 5 ตันต่อไร่ ฯลฯ

เหตุที่กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้อธิบายแผนภาพปริมาตรได้เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ มีการสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่งไปในแต่ละครั้งของการถ่ายทอด ฐานปริมาตรจึงกว้างสำหรับชั้นล่างสุดและแคบเข้าในชั้นสูงถัดขึ้นไป แต่ละชั้นของปริมาตรจัดเป็นระดับพลังงานหนึ่งมีชื่อเรียกกันว่า trophic level ในลูกโซ่อาหารตอนต้นหรือฐานชั้นล่างสุดของปริมาตรได้แก่พืชสีเขียวที่ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (producer) อาหารโดยเปลี่ยนพลังงานแสงแดดมาเป็นพลังงานเคมีในต้นพืช ถัดมาในลูกโซ่อาหารหรือในชั้นที่สูงขึ้นมาของแผนภาพปริมาตรเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องกินพืชหรือกินสัตว์ด้วยกันเพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการดำรงชีพ พวกนี้จัดเป็นผู้บริโภค (consumer) พวกที่กินพืชเรียกว่า herbivore พวกที่กินสัตว์เรียกว่า carnivore พวกที่กินทั้งพืชและสัตว์เรียกว่า omnivore วงจรธาตุอาหารกลับมาสู่พืชโดยพวก decomposers พวกนี้ย่อยซากพืชซากสัตว์ให้เน่าเปื่อยสลายกลายเป็นอนินทรีย์สารซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืชต่อไป decomposers ส่วนมากเป็นเชื้อราและแบคทีเรีย

ในธรรมชาติลูกโซ่อาหารแต่ละลูกโซ่เกี่ยวพันกันเนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดไม่ได้กินอาหารชนิดเดียว เสืออาจกินกวาง เก้ง ลิง คน นกกระสาอาจกินปลา กบ หอย ปู วัชไม้ไม่ได้กินหญ้าชนิดเดียวเป็นอาหาร ด้วยเหตุนี้ลูกโซ่อาหารจึงเกี่ยวโยงกันเหมือนใยแมลงมุมจึงเรียกลูกโซ่อาหารประเภทนี้ว่า food web

หลักนิเวศวิทยาที่สำคัญและควรทราบอีกข้อหนึ่งคือ Principles of limiting factors เดิมรู้จักกันในชื่อของ Law of minimum นักชีวเคมีชาวเยอรมันชื่อ Justus Liebig เป็นผู้เสนอกฎนี้ในปี 1840 เขาพบว่าพืชไม่เจริญเติบโตและแสดงอาการเป็นโรคถ้าขาดธาตุที่จำเป็น ธาตุอาหารที่จำเป็นบางธาตุพืชต้องการในปริมาณที่น้อยมากแต่ขาดไม่ได้ ต่อมา Victor Shelford นักนิเวศวิทยารุ่นบุกเบิกของสหรัฐอเมริกา (ประธานคนแรกของ Ecological Society of America) ได้พบว่าสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์จะไม่เจริญเติบโตและเป็นโรคถ้าได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นหรือมีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จำเป็นมากเกินไป ด้วยเหตุนี้สิ่งมีชีวิตจึงมีขีดจำกัดต่ำสุดของการเจริญเติบโตและขบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายที่เรียกว่า lower limit และในขณะเดียวกันก็มีขีดจำกัดสูงสุดที่เรียกว่า upper limit ช่วงระหว่างขีดต่ำสุดและสูงสุดที่สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดดำรงชีวิตอยู่ได้เรียกว่า tolerance range ภายใน tolerance range จะมีช่วงที่เหมาะสม (optimum range) สำหรับการดำรงชีวิตซึ่งจะพบจำนวนสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ มากที่สุด ช่วงที่อยู่เหนือและต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมเป็นช่วงที่ปัจจัยสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการดำรงชีพเป็นเหตุให้เกิดความกดดันทางสรีระช่วงนี้เรียกว่า zone of physiological stress ซึ่งจะมีสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ อยู่เป็นจำนวนน้อย (รูป 2.8)

สังกัป (concept) ทางนิเวศวิทยาที่มักพบเสมออีกสังกัปหนึ่งคือ biological succession ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนจาก community หนึ่ง (ทั้งพืชและสัตว์) ไปเป็นอีก community หนึ่งอย่างมีระเบียบและเป็นลำดับ succession ที่เกิดบนพื้นที่ที่ไม่เคยมี community ใดเกิดมาก่อนเรียกว่า primary succession พื้นที่ดังกล่าวนี้ได้แก่พื้นที่ที่เป็นหินและพื้นที่น้ำ succession ที่เกิดบนหินเรียกว่า xerach succession ที่เกิดในน้ำเรียกว่า hydrach succession ในทะเลทรายที่มีแต่ทรายปราศจากสิ่งมีชีวิตใด ๆ หรือบนถนนลาดยางอัสน์พลท์หรือบนทางเท้าคอนกรีตถ้ามี community เกิดขึ้นแนวการเปลี่ยน community จะเป็นแบบ xerach succession ทำนองเดียวกันในสระว่ายน้ำถ้าปล่อยทิ้งไว้ไม่ดูแลรักษาหลาย ๆ ปี แนวการ



รูป 2.8 แสดงพิสัยของความอดทนของสิ่งมีชีวิต (tolerance range) (Smith, 1977).

เกิด community ก็จะเป็นแบบ hydrach succession ไม่ว่าจะ เป็นบนภูเขาหินในทะเลทรายหรือในน้ำ แนวทางการเปลี่ยนของ communities ต่าง ๆ จะไปสู่ภาวะที่มีน้ำพอดีไม่มากเกินไปเช่นในน้ำหรือแห้งเกินไปอย่างบนหิน ลักษณะของพืชจะเปลี่ยนจากพืชทนแล้งที่เรียกว่า xerophyte หรือจากพืชน้ำที่เรียกว่า hydrophyte ไปเป็นพืชที่ชอบน้ำพอดี ๆ ที่เรียกว่า mesophyte พร้อมกันนี้พื้นที่ก็จะเปลี่ยนหินหรือทรายหรือน้ำไปเป็นดิน succession ที่เกิดบนพื้นที่ที่มี community อื่นเกิดมาก่อนแล้วเรียกว่า secondary succession community พืชที่พบในเกือบทุกท้องที่ในปัจจุบันเป็นระยะหนึ่งใน secondary succession ทั้งหมด

community สุดท้ายของ succession เรียกว่า climax ใน climax community สิ่งมีชีวิตที่อยู่รวมกันมีความสมดุลย์ในเรื่องของพลังงาน โดยทั่วไปพืชใหญ่ที่เป็น dominant species เป็นตัวควบคุมลักษณะสำคัญของ community ถ้าตัดต้นไม้ใหญ่นี้ทิ้งหรือว่าตายโดยวิธีใดก็ตาม ผลที่ตามมาคือการเสียสมดุลย์ของระบบนิเวศน์ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของ community ในที่สุดสัตว์หลายชนิดและพืชพวก epiphytes ซึ่งเกาะอาศัยอยู่บนต้นไม้ใหญ่ก็จะหายไปจาก community ด้วย พวกที่ต้องพึ่งพาอาศัยต้นไม้ใหญ่ที่เป็น dominant species เพื่อการดำรงชีวิตให้อยู่รอดเรียกว่า dependents

การจัดการทรัพยากรประเภทป่าไม้และสัตว์ป่าจำเป็นต้องอาศัยการควบคุม succession เพื่อให้ได้ community ที่ต้องการ ถ้าต้องการไม้ก็ควรทราบว่าไม้ที่ต้องการอยู่ใน community และระยะใดของ succession ป่าสน (pine forest) ที่ฝรั่งเศสเอาไม้มาทำใยกระดาษเป็นพืชใน community ก่อนถึง climax ที่เรียกว่า subclimax ถ้าต้องการไม้เนื้อแข็ง (hardwood) ก็ต้องรอให้ถึง climax ถ้าต้องการใช้พื้นที่สำหรับเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ก็จำเป็นต้องรักษา succession ให้อยู่ในระยะต้น ๆ โดยการตัดพืชยืนต้นออกทำให้ succession ช้าหรือหยุดอยู่กับที่ ในทำนองเดียวกันการรักษาบึง บ่อ เพื่อให้เป็นที่อยู่ของสัตว์น้ำและนกน้ำต่าง ๆ ก็จำเป็นต้องลอกบึงเพื่อรักษาระดับน้ำไว้ให้พอเหมาะ ความรู้เกี่ยวกับ succession ยังเป็นประโยชน์ในการพิทักษ์สัตว์ป่าที่กำลังจะสูญพันธุ์ (endangered species) โดยพยายามรักษาระยะของ succession ที่สัตว์นั้นสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ที่น่าสังเกตเกี่ยวกับลูกโซ่อาหารในบึงหรือทะเลสาบซึ่ง communities อยู่ในระยะต้นของ succession คือ ลูกโซ่อาหารไม่ได้เป็นอย่างไร้ที่เข้าใจกันทั่วไปแบบพืช 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 ไม่ใช่จากซากพืช สัตว์พวกนี้เรียกว่า detritivores แมลงน้ำและปลาเล็ก ๆ จะกิน detritivores ลูกโซ่อาหารจึงเป็นแบบ detritus food chain ไม่ผ่าน herbivores ดังนั้นการจัดการทรัพยากรประเภทบึง ทะเลสาบ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงลูกโซ่อาหารธรรมชาติของพืชน้ำ succession รวมทั้งวงจรธาตุอาหารที่หมุนเวียนในบึงหรือทะเลสาบ (Puriveth, 1979, 1980)

### การหมุนเวียนของธาตุอาหารที่สำคัญ (Nutrient Cycles)

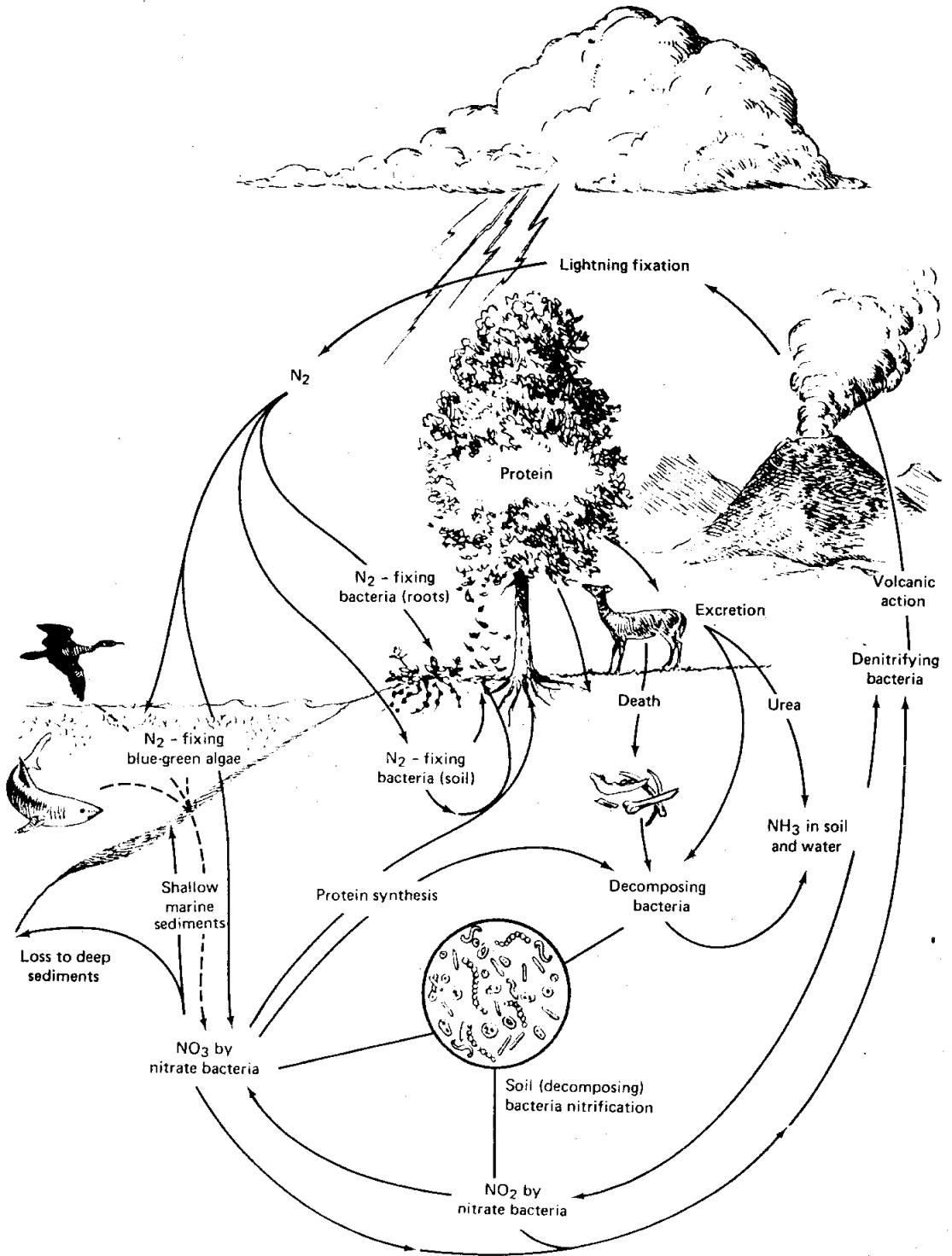
ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าสิ่งมีชีวิตประเภท decomposers เป็นพวกที่เปลี่ยนแปลงพอนินทรีย์สารให้กลับเป็นอนินทรีย์สารทำให้แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ หมุนเวียนเป็นวงจร การหมุนเวียนของธาตุอาหารที่สำคัญที่ควรทราบคือ ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และฟอสฟอรัส

ปกติธาตุไนโตรเจนมีอยู่ในโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบที่สำคัญเช่น คลอโรฟิลล์ ฮีโมโกลบิน อินซูลิน และ DNA มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การหมุนเวียนของไนโตรเจนเริ่มจากแก๊สไนโตรเจน ไนโตรเจนซึ่งมีอยู่ใน

อากาศประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ แก๊สไนโตรเจนถูกเปลี่ยนมาเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียสำหรับบลูกรีน และแบคทีเรียในรากพืชตระกูลถั่ว (รูป 2.9) ไนเตรทในดินอาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน (มูลสัตว์ ซากพืชและสัตว์ ขยะมูลฝอย) มาเป็นแอมโมเนีย ขบวนการนี้เรียกว่า ammonification ต่อมาไนโตรทแบคทีเรีย (nitrite bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียมาเป็นไนไตรท์และไนเตรทแบคทีเรียจะเปลี่ยนไนไตรท์มาเป็นไนเตรท สารประกอบไนเตรทที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ขบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทเรียกว่า nitrification ขณะเดียวกันมีขบวนการ denitrification เปลี่ยนสารประกอบแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทกลับไปเป็นไนโตรเจนแก๊ส แบคทีเรียที่ทำหน้าที่นี้ (denitrifying bacteria) ได้พลังงานในการดำรงชีพจากการแตกสลายของสารประกอบดังกล่าว ขบวนการฟiksไนโตรเจนอาจเกิดโดยอาศัยกระแสไฟฟ้าในขณะที่เกิดพายุฟ้าคะนองและจากการระเบิดของภูเขาไฟ แต่ปริมาณไนเตรทที่ได้้น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้จากการฟiksของแบคทีเรียและสำหรับบลูกรีน turnover rate ของแก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศช้ากินเวลาเป็นร้อย ๆ ปี อย่างไรก็ตามการใช้ไนโตรเจนของสิ่งมีชีวิตไม่ได้ทำให้เปอร์เซ็นต์แก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศลดลง

การหมุนเวียนของออกซิเจนต่างไปจากไนโตรเจน ออกซิเจนเป็นแก๊สที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีจึงเป็นเหตุให้ออกซิเจนมักรวมอยู่กับธาตุอื่น ๆ ในรูปของออกไซด์ แก๊สออกซิเจนในอากาศและในน้ำที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการหายใจมาจากการสังเคราะห์แสงของพืช พืชก็ใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่ออกซิเจนที่เป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสงมากกว่าออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ เมื่อพืชและสัตว์ตายก็จะเน่าเปื่อยโดยการออกซิเดชัน (oxidation) แต่ซากพืชและสัตว์ที่ตายทับถมลึกลงไปในดินไม่ถูกออกซิไดซ์เพราะอยู่ในสภาพที่ขาดอากาศ นานเข้าก็กลายเป็นถ่านหิน น้ำมันที่เราขุดขึ้นมาใช้เป็นพลังงาน เป็นที่ตักกันว่าถ้าขุด fossil fuels มาใช้กันมากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ต้องใช้ออกซิเจนในอากาศมากจนเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศลดลง แต่ในระยะยี่สิบปีที่ผ่านมาปรากฏว่าออกซิเจนในบรรยากาศไม่ลดลงและไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างที่เรารู้กัน

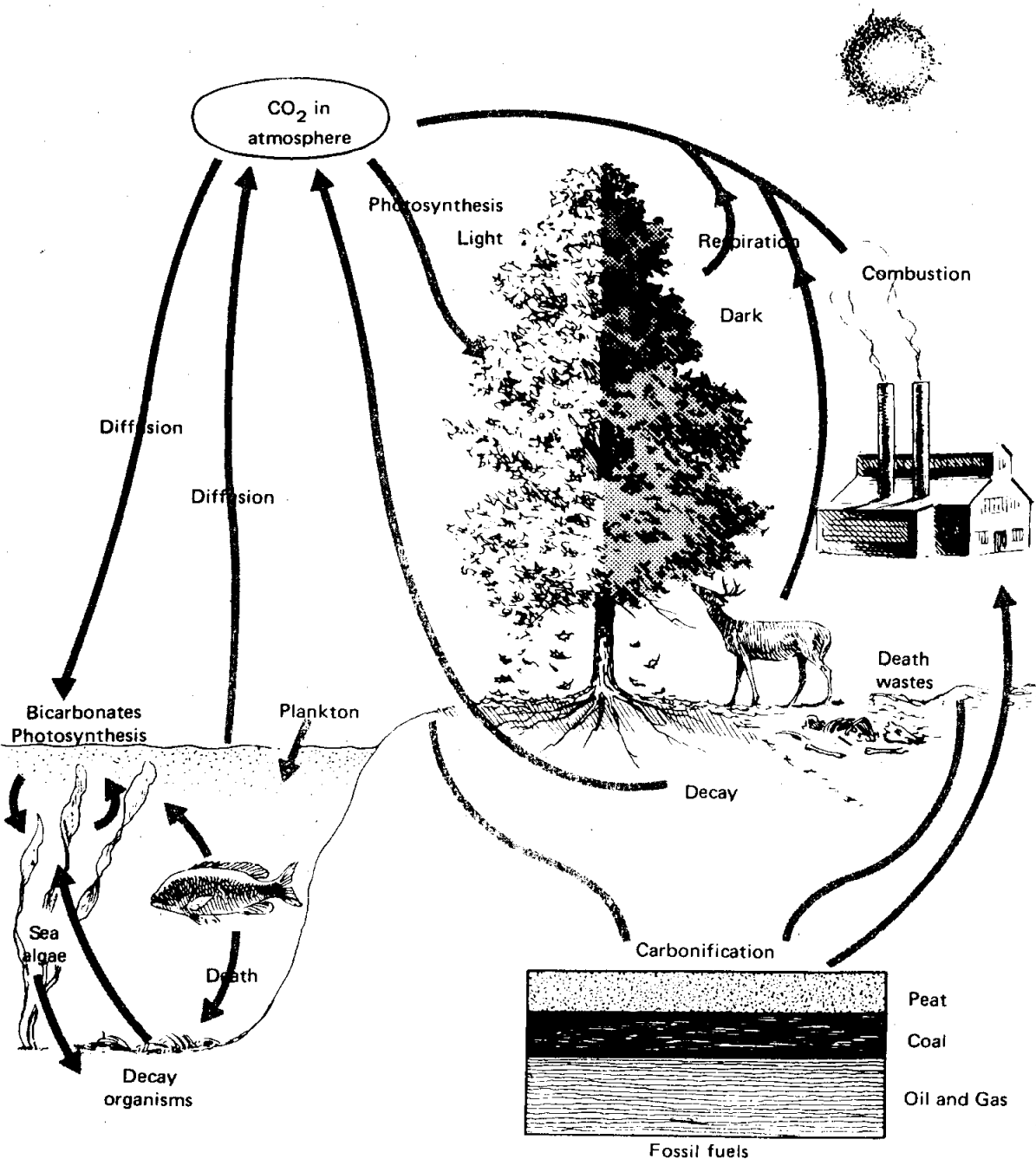




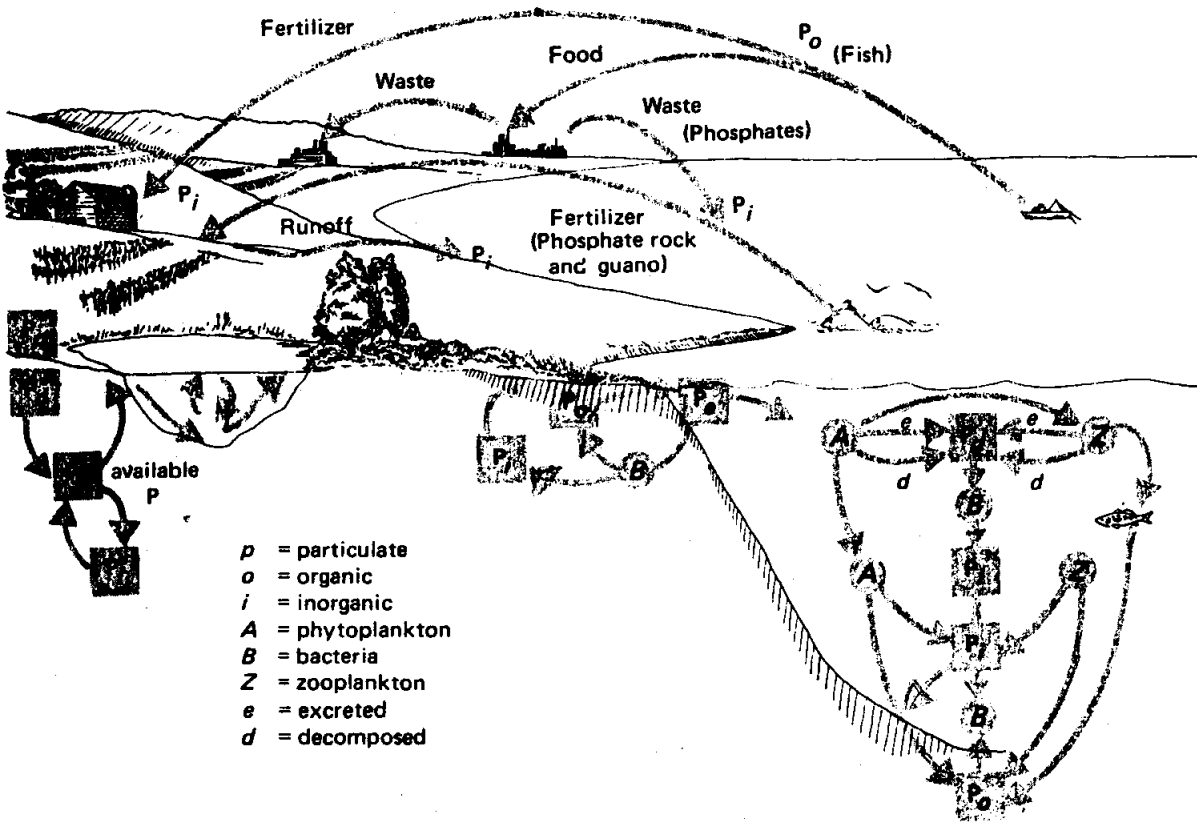
รูป 2.9 วงจรไนโตรเจนในระบบนิเวศน์ (Smith, 1977).

ธาตุสำคัญที่เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารทั้งหมดคือคาร์บอน คาร์บอนในบรรยากาศอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สนี้ต่างไปจากแก๊สออกซิเจนเพราะมีรายงานการวิจัยว่ามีเปอร์เซ็นต์ในบรรยากาศสูงขึ้นซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ fossil fuels ที่เราใช้กันมากขึ้นทุกวัน (Wong, 1978) คาร์บอนไดออกไซด์มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับอุณหภูมิของบรรยากาศเพราะโมเลกุลของแก๊สนี้ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านเข้ามายังผิวโลกได้ แต่กลับรบกวนรังสีคลื่นยาวที่ออกจากผิวโลกในรูปของความร้อน ผลข้อนี้เรียกว่า green house effect ดังนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศจึงอาจทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศบางส่วนร้อนขึ้นและบางส่วนเย็นลงกว่าเดิม คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ได้จากการหายใจของสิ่งมีชีวิต จากการเผาไหม้อินทรีย์สารและ fossil fuel ขณะเดียวกันพืชใช้แก๊สนี้ในการสังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนจากกระบวนการนี้ (รูป 2.10)

วงจรรวมธาตุฟอสฟอรัสดูง่ายกว่าวงจรรวมไนโตรเจน ถ้าเทียบกับไนโตรเจนแล้ว ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีในธรรมชาติน้อยกว่ามาก แหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญคือหินซึ่งให้ฟอสเฟตเมื่อสึกกร่อน (weathering) และเมื่อถูกชะล้าง (leaching) ฟอสฟอรัสถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สารโดยพืชเช่นเดียวกับธาตุอื่น ๆ จากพืชฟอสฟอรัสถูกผ่านไปยัง trophic levels ต่าง ๆ เช่นเดียวกับธาตุอื่นอีกที่ต้องอาศัยแบคทีเรียเป็นตัวเปลี่ยนให้กลับมาเป็นอินทรีย์สาร มีบางกรณีที่เนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์แตกสลายให้อินทรีย์ฟอสเฟตเองโดยไม่ต้องอาศัยแบคทีเรีย เป็นไปได้ที่เนื้อเยื่อของพืชหรือสัตว์ฉีกขาดหรือเป็นแผลโดยภัยธรรมชาติซึ่งเป็น mechanical breakdown ในกรณีเช่นว่านี้ orthophosphate และ dissolved organic phosphorus ถูกชะล้างละลายไปได้ แบคทีเรียและแพลงตอนสามารถใช้ orthophosphate ได้ทันที ในน้ำ turnover time ของฟอสฟอรัสบางครั้งไม่เกิน 5 นาที วงจรรวมฟอสฟอรัสในน้ำเกี่ยวข้องกับวงจรรวมฟอสฟอรัสบนบก โดยถูกโซ่อาหาร การที่คนและนกกินปลาและสัตว์น้ำเป็นการนำฟอสฟอรัสจากน้ำกลับมาสู่ส่วนพื้นดิน อย่างไรก็ตามมีฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำบางส่วนจมลงสู่ก้นมหาสมุทร ฟอสฟอรัสส่วนนี้ขาดสูญจากวงจรไปโดยสิ่งมีชีวิตไม่ได้ใช้ การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสแสดงไว้ในรูป 2.11



รูป 2.10 วงจรคาร์บอนในระบบนิเวศน์ (Smith, 1977).



รูป 2.11 วงจรฟอสฟอรัสในระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ (Smith, 1977).

วงจรรธาตุสำคัญที่ยกมากล่าวเป็นตัวอย่างนี้เชื่อว่าช่วยให้นักศึกษาเข้าใจปัญหา  
ทรัพยากรและมลภาวะ (pollution) ในบทหลังได้ดีขึ้น ทั้งยังช่วยให้แนวคิดทางการทดลอง  
วิจัยธาตุอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต การศึกษาวงจรหรือวัฏจักรธาตุเคมีกำลัง  
เป็นที่สนใจของนักนิเวศวิทยาในปัจจุบัน แนวทางในการศึกษาด้านนี้ทำให้นักนิเวศวิทยา  
เข้าใจหน้าที่ (function) ของระบบนิเวศละเอียดขึ้น สาขาย่อยของนิเวศวิทยาที่ศึกษาเกี่ยว  
กับวงจรรธาตุ ผลผลิต (productivity) รูปแบบหรือโมเดลของระบบนิเวศ การหมุนเวียนของ  
พลังงาน การวิเคราะห์ระบบ (systems analysis) และปฏิกริยาร่วมกันระหว่างพืช-สัตว์ (plant-  
animal interactions) เรียกว่า systems ecology

## สรุป

ในด้านชีววิทยาขบวนการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้สิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลกมีชีวิตอยู่ได้คือขบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์เป็นสารสีเขียวที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ขบวนการสังเคราะห์แสงแบ่งได้เป็น 2 ระยะเวลาใหญ่ ๆ คือ ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสงและปฏิกริยาที่เกิดในที่มืด ปฏิกริยาที่เกิดโดยไม่ใช้แสงเป็นขบวนการฟิกส์คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกริยานี้คาร์บอนจะผ่านวงจร  $C_3$  และ  $C_4$  ปกติพืชทั่วไปมีวงจร  $C_3$  แต่พืชบางชนิดเช่นอ้อย พืชในตระกูลหญ้าบางชนิด และพืชทะเลทรายบางชนิดเป็นพืชที่มีวงจร  $C_4$  เพิ่มเข้ามาอีกวงจรหนึ่งในขั้นตอนนี้ ลักษณะที่ดีของพืชที่มีวงจร  $C_4$  คือสามารถสังเคราะห์แสงได้ทั้ง ๆ ที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีน้อย เมื่อเป็นเช่นนี้ผลผลิตของพืชก็จะสูงขึ้น การปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีวงจร  $C_4$  จึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึง

นิเวศวิทยาเป็นศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากร ระดับทางชีววิทยาที่นิเวศวิทยาเกี่ยวข้องโดยทั่วไปเป็นระดับสิ่งมีชีวิตหนึ่งตัวขึ้นไปจนถึงระดับระบบนิเวศน์ หลักที่สำคัญทางนิเวศวิทยาที่ควรเข้าใจคือหลักของปัจจัยจำกัด (principles of limiting factors) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตและสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีช่วงระดับความทนทานที่เรียกว่า tolerance range สิ่งมีชีวิตจะอยู่รวมกันเป็น community ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ปรากฏการณ์ที่ community หนึ่งเข้าแทนที่อีก community หนึ่งเรียกว่า succession สัตว์ที่อยู่ในแต่ละ community ได้พลังงานมาโดยการกินเป็นต่อ ๆ หรือทอด ๆ ซึ่งเรียกว่า ลูกโซ่อาหาร ในการกินกันเป็นลูกโซ่อาหารนี้ พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของความร้อน ซึ่งไม่สามารถเอากลับมาใช้ได้อีก ความจริงข้อนี้เป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิคกฎที่สอง ธาตุอาหารที่สัตว์กินเข้าไปส่วนใหญ่ได้มาจากพืช ธาตุอาหารต่าง ๆ จะหมุนเวียนกันเป็นวงจร วงจรธาตุอาหารที่สำคัญคือ ไนโตรเจน คาร์บอน และฟอสฟอรัส ความเข้าใจเรื่องวงจรธาตุอาหารและลูกโซ่อาหารทำให้นักนิเวศวิทยาสามารถติดตามสารพิษที่เข้ามาปะปนอยู่ในระบบนิเวศน์ได้ ทั้งยังเป็นแนวทางในการวิจัยศึกษาปัญหาไม่สมดุลย์ของสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ อีก

## คำถาม

1. เหตุใดการสังเคราะห์แสงจึงเป็นขบวนการพื้นฐานของชีวิตในโลก ชั้นตอนในการสังเคราะห์แสงมีอะไรบ้าง
2. พืชที่มี  $C_3$  และ  $C_4$  cycle ต่างกันอย่างไรในเรื่องการสังเคราะห์แสง
3. จากเนื้อหาที่เรียนในบทนี้ ท่านมีแนวทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนอาหารอย่างไร
4. การศึกษาวงจรธาตุต่าง ๆ นั้นสำคัญอย่างไร ความรู้เรื่องนี้นำมาประยุกต์ใช้กับสังคมมนุษย์ได้อย่างไร
5. เมื่อพิจารณากันในแง่ของระบบองค์ประกอบของชีววิทยา นักนิเวศน์วิทยาสนใจศึกษาวิจัยสิ่งมีชีวิตตั้งแต่ระดับใด ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
6. population และ community ในทางนิเวศน์วิทยาต่างจากสังคมวิทยาอย่างไร
7. จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น จากการศึกษาวงจรของธาตุนี้คิดว่าเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด
8. รถยนต์ อาคารบ้านเรือน ตลอดจนขนส่งทางเราทรุดโทรมไปตามกาลเวลา ท่านคิดว่าเป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิคหรือไม่ จงให้เหตุผล
9. โยคีในอินเดียมีชีวิตอยู่ได้โดยกินอาหารน้อยมาก จงอธิบายเรื่องนี้ โดยอาศัยมโนทัศน์ทางนิเวศน์วิทยาอย่างไร

## บรรณานุกรมและเชิงอรรถ

- Avers, J. C. 1976. Cell biology. D. Van Nostrand Company, New York.
- Ford, J. M., and J. E. Monroe. 1971. Living systems. Harper & Row, Publishers, 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 : 23 I-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.
- Russell - 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 carbondioxide from burning 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.