

หน่วยที่ 2

หลักนิเวศวิทยาและสมดุลธรรมชาติ

2.1 หลักระบบนิเวศ

2.1.1 ความหมายของระบบนิเวศ

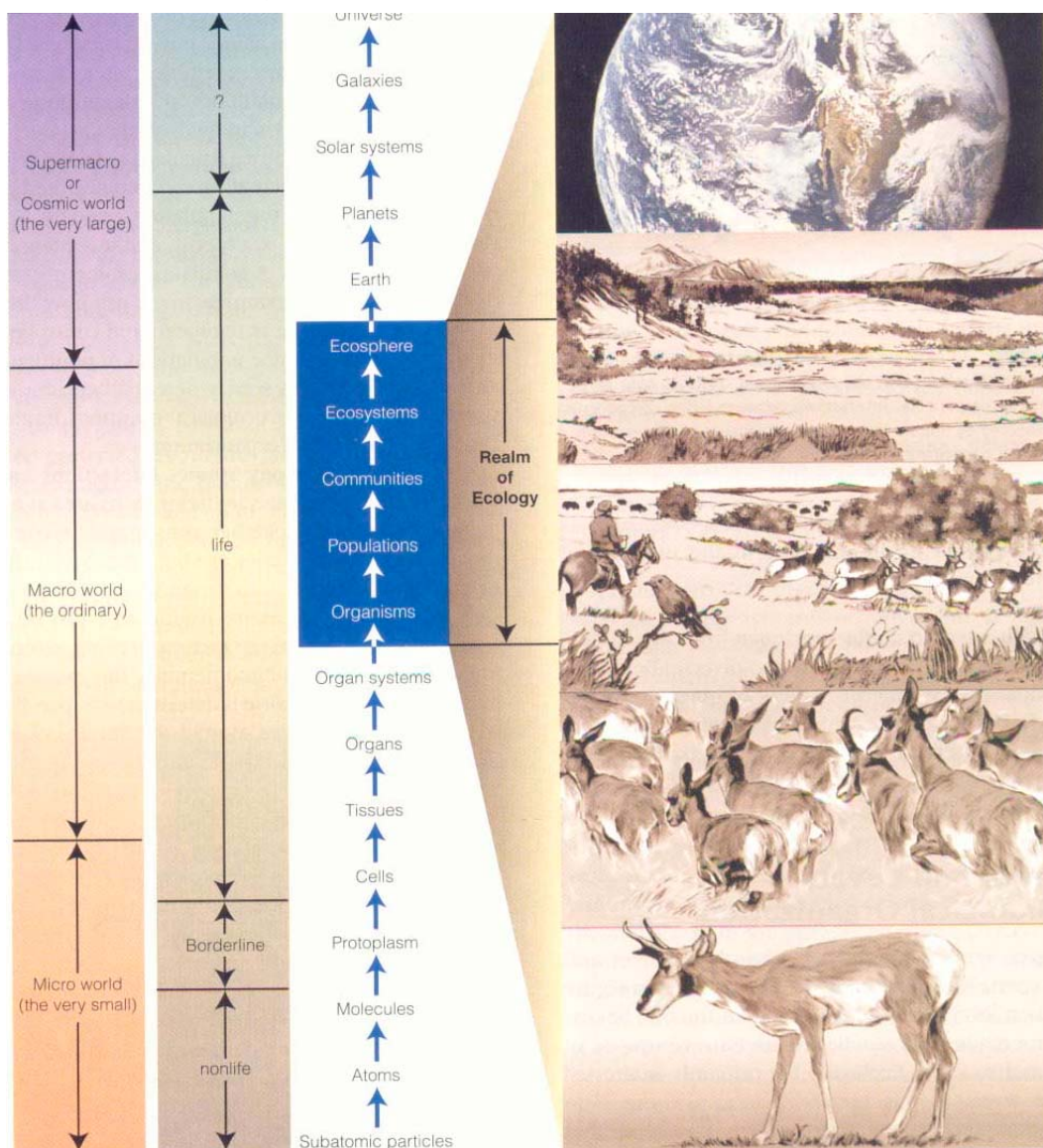
ระบบนิเวศ (Ecosystem) หมายถึงระบบหรือหน่วยของความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งที่อยู่แหล่งใดแห่งหนึ่ง โดยมีการแลกเปลี่ยนสารและถ่ายทอดพลังงานเกิดขึ้นระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ในระบบนิเวศมี 2 ลักษณะ คือ ความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตที่แวดล้อมอยู่ และในขณะเดียวกันก็จะมีความสัมพันธ์อีกลักษณะหนึ่งคือ ความเกี่ยวข้องพึ่งพากัน หรือการส่งผลต่อกันระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันเองความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และมีอยู่ในระบบนิเวศทุกระบบ แสดงว่าชีวิตทั้งหลายไม่อาจอยู่ได้อย่างโดดเดี่ยว โดยปราศจากการเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันที่กล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้บรรดาชีวิตทั้งหลายอยู่รอดได้ ชีวิตหนึ่งจะอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีชีวิตอื่นๆ และ องค์ประกอบอื่นๆ อยู่ด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบนิเวศเป็นเพียงส่วนหนึ่งของนิเวศวิทยา กล่าวโดยสรุป "ระบบนิเวศ หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม"

ระบบนิเวศนั้นมีอยู่ทุกหนทุกแห่งในโลกมากมายหลายระบบ แต่ละระบบมีขนาดใหญ่เล็ก สลับซับซ้อนแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับขอบเขตของการพิจารณา เพียงแต่เศษกระถางแตกที่มีน้ำขังภายในเล็กน้อย มีตะไคร่น้ำ มีลูกน้ำ หรือไรน้ำเพียง 2-3 ตัว ก็เป็นระบบนิเวศได้ ในทำนองเดียวกันแอ่งน้ำหนองน้ำ กลางทุ่ง ทะเลสาบ ป่า มหาสมุทร ต่างก็เป็นระบบ

ความรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศได้จากการศึกษาในสาขานิเวศวิทยา (Ecology) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ในการศึกษาสิ่งมีชีวิตตามขอบเขตของนิเวศวิทยาสมัยใหม่ กำหนดจากการประสานงานของสิ่งมีชีวิตในระดับต่างๆ จากเล็กไปใหญ่ตามลำดับขั้นได้ดังนี้

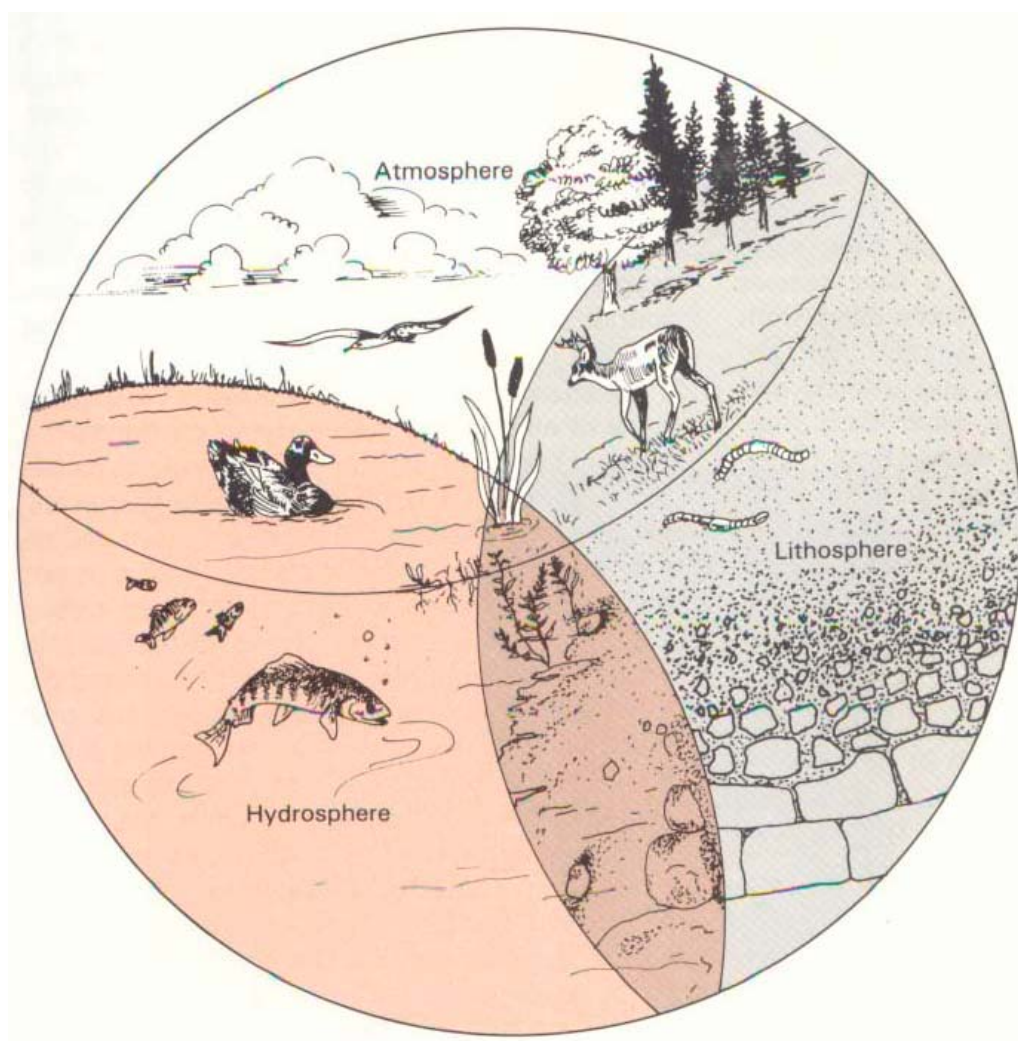
1. สิ่งมีชีวิต (Organism) เป็นการศึกษาความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตแต่ละอย่างว่า การดำรงชีวิต อยู่ได้นั้นต้องอาศัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพอื่นๆ อย่างไรบ้าง และเมื่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไรบ้าง
2. ประชากร (Population) เป็นการศึกษาถึงกลุ่มหรือจำนวนของพืชหรือสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่ทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดจำนวนสัตว์หรือพืชนั้นๆ
3. กลุ่มสิ่งมีชีวิตหรือชุมชน (Community) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประชากรของพืชและสัตว์ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ปกติในธรรมชาติจะมีชุมชนอยู่ 2 ประเภท คือ ชุมชนบนบก และชุมชนในน้ำ เรียกตามลักษณะสิ่งมีชีวิตชนิดเด่น เช่น กลุ่มสิ่งมีชีวิตใต้น้ำหรือเรียกตามที่อยู่อาศัย เช่น หาดทราย
4. ระบบนิเวศ (Ecosystem) รายละเอียดจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

5. เขตนิเวศ (Ecosphere) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในทุกระบบนิเวศ ซึ่งต้องอาศัยทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งที่ไม่มีชีวิตในระบบนิเวศต่างๆ มาเป็นปัจจัยเกื้อหนุนกัน ในเขตนิเวศจะต้องมีสิ่งมีชีวิตเสมอ หากบริเวณใดไม่พบสิ่งมีชีวิต เช่น ก้นทะเลลึกกว่า 5,000 เมตรก็ไม่ถือว่าเป็นเขตนิเวศ เขตนิเวศแบ่งเป็น 3 เขตใหญ่ๆ ดังนี้
- 5.1 เขตนิเวศบรรยากาศ (Atmosphere)
- 5.2 เขตนิเวศน้ำ (Hydrosphere)
- 5.3 เขตนิเวศพื้นดิน (Lithosphere)
6. ชีวภาคหรือชีวลัยหรือโลกของสิ่งมีชีวิต (Biosphere) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในทุกเขตนิเวศ



ภาพที่ 2-1 ลำดับการจัดระเบียบประสานงานของระบบสิ่งมีชีวิตตามขอบเขตของนิเวศวิทยา

(Krohne. 2001 : 8)



ภาพที่ 2-2 เขตนิเวศ หรือส่วนต่าง ๆ ของโลกที่มีสิ่งมีชีวิต

(Kupchella and Hyland. 1989 : 5)

การจัดเรียงลำดับการประสานงานดังกล่าว มิได้หมายความว่าระดับใดระดับหนึ่งจะมีความสำคัญมากกว่าระดับอื่น แต่เป็นการจัดเรียงจากหน่วยที่มีขนาดเล็กไปยังหน่วยที่มีขนาดใหญ่ เท่านั้น และแท้ที่จริงแล้วไม่มีขีดกั้นที่เด็ดขาดระหว่างระดับของการประสานงาน

2.1.2 องค์ประกอบของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศนั้นมีอยู่ทุกหนทุกแห่งในโลกมากมายหลายระบบ แต่ละระบบมีขนาดใหญ่เล็ก สลับซับซ้อนแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการพิจารณา เช่น เศษกระดางแตกที่มีน้ำขังภายในเล็กน้อย มีตะไคร่น้ำ มีลูกน้ำ หรือไรน้ำเพียง 2-3 ตัว ก็เป็นระบบนิเวศได้ ในทำนองเดียวกันแอ่งน้ำหนองน้ำ กลางทุ่ง ทะเลสาบ ป่า มหาสมุทร ต่างก็เป็นระบบนิเวศ กระบวนการต่างๆ ในระบบนิเวศจะเหมือนกัน จะแตกต่างกันตรงความซับซ้อนเท่านั้น และภายในระบบนิเวศหนึ่งๆ จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (Abiotic component) แบ่งออกเป็น

1.1 สารที่ไม่มีชีวิต (Abiotic substance) คือ สารที่อยู่ในสภาพแวดล้อม ได้แก่

1.1.1 สารอนินทรีย์ (Inorganic compound) เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เป็นต้น

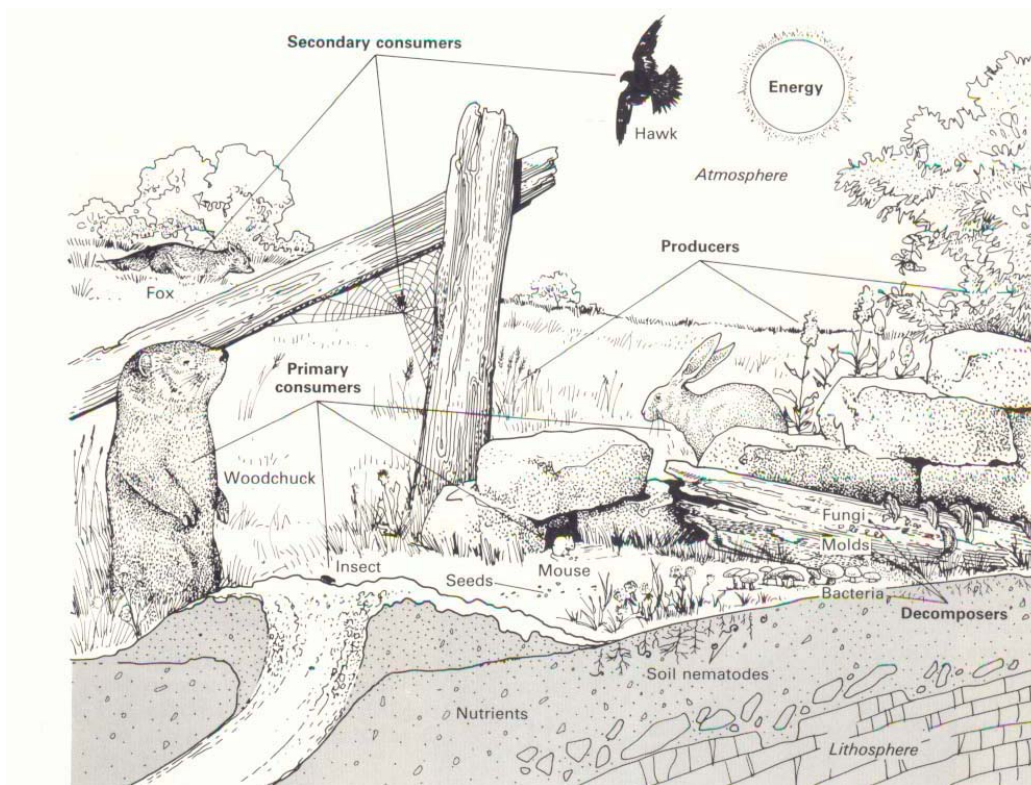
1.1.2 สารอินทรีย์ (Organic compound) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด เป็นต้น

1.2 สภาพแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต (Abiotic environment) ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ (Physical factor) ซึ่งเป็นสภาพดินฟ้าอากาศต่างๆ เช่น แสง อุณหภูมิ ความเค็ม ความชื้น เป็นต้น

2. องค์ประกอบที่มีชีวิตหรือองค์ประกอบทางชีวภาพ (Biotic component)

ในระบบนิเวศมีกลุ่มสิ่งมีชีวิตเป็นองค์ประกอบ กลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะมีสิ่งมีชีวิตที่ทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองและมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

2 กลุ่ม (ดูภาพที่ 2-3 ประกอบ)



ภาพที่ 2-3 องค์ประกอบที่มีชีวิตในระบบนิเวศ

(Kupchella and Hyland. 1989 : 8)

2.1 ผู้ผลิต (Producer) คือ พวกที่สามารถสร้างอาหารได้เอง เรียกว่า พวกออโตทรอป (Autotroph) โดยวิธีการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ได้แก่ พืชสีเขียวซึ่งมีคลอโรฟิลล์สามารถนำเอาสารอนินทรีย์และพลังงานจากดวงอาทิตย์มาสร้างอาหารประเภทสารอินทรีย์ขึ้น หรือพวกสร้าง

อาหารได้เองจากการสังเคราะห์เคมี (Chemosynthesis) ได้แก่ พวกเคโมออโตโทรฟิก แบคทีเรีย (Chemoautotrophic bacteria) ที่อยู่ในทะเลลึก

2.2 ผู้บริโภค (Consumer) คือ พวกที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เอง เรียกว่า พวกเฮเทอโรโทรป (Heterotroph) ต้องกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร จึงได้รับพลังงานในรูปของสารอินทรีย์โดยตรงไม่ต้องสร้างอาหารเอง แบ่งได้หลายลำดับขั้นตอนของการกินหรือการบริโภคดังนี้

2.2.1 ผู้บริโภคลำดับที่ 1 หรือ ผู้บริโภคปฐมภูมิ (Primary consumer) ได้แก่ สัตว์กินพืช (Herbivore) เป็นอาหาร ผู้บริโภคกลุ่มนี้มีกระบวนการในการย่อยเนื้อเยื่อพืชมาใช้ได้ อาจจะมีทั้งพวกเคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย และไม่เคี้ยวเอื้อง เช่น กระต่าย ลิง พวกนี้จะมีฟันบดที่แข็งแรงและมีไส้ดั่งยาวกว่าสัตว์พวกอื่น

2.2.2 ผู้บริโภคลำดับที่ 2 หรือผู้บริโภคทุติยภูมิ (Secondary consumer) ได้แก่ สัตว์ที่กินสัตว์กินพืช (Carnivore) เช่น เสือ สิงโต หมาป่า พวกนี้ต้องมีเขี้ยวแหลมคม ฟันตัดที่คม เล็บยาวแหลมคม

2.2.3 ผู้บริโภคลำดับที่ 3 หรือ ผู้บริโภคตติยภูมิ (Tertiary consumer) ได้แก่ สัตว์ที่กินผู้บริโภคลำดับที่ 2 หรือสัตว์ที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ (Omnivore) เช่น คนซึ่งมีฟันเขี้ยวและ ฟันบดไม่แหลมคม

ถ้ามีผู้บริโภคนำมาบริโภคผู้บริโภคลำดับที่ 3 ก็จัดเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 4 หรือผู้บริโภคจตุรภูมิ (Quaternary consumer)

หากผู้บริโภคลำดับใดไม่ถูกกินต่อโดยสิ่งมีชีวิตอื่น จัดเป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุด (Top consumer)

นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตอีกกลุ่มหนึ่งที่กินซากสัตว์ (Scavenger) เช่น แร้งกินซากสัตว์ที่ตายแล้ว หนอนกินซากหมาเน่า เป็นต้น สำหรับผู้บริโภคที่กินสัตว์ไม่จัดเป็นพวกกินซาก เพราะผู้บริโภคกลุ่มนี้จะล่าสิ่งมีชีวิตอื่นที่เป็น ๆ มาแล้วกินทันที เช่น เสือ สิงโต ฯลฯ ส่วนมนุษย์ถึงแม้จะกินซากสัตว์ที่ถูกฆ่ามานานแล้วก็ตามแต่ไม่จัดเป็นพวกกินซาก เนื่องจากมนุษย์จะทำอาหารให้สุกหรือไม่เน่าเสียก่อนจึงจะกิน โดยการนำไปต้ม ทอด ผัด หรือแช่แข็ง และยังมีผู้บริโภคที่กินเศษอินทรีย์สาร (Detritivore) เช่น ไส้เดือนดิน กิ้งกือ ปลวก มอด ไรดิน (Soil mites) บางชนิดที่จะย่อยเศษเนื้อหนังของสิ่งมีชีวิตให้เล็กลง เพื่อให้ผู้ย่อยอินทรีย์สารทำหน้าที่ย่อยสลายต่อไป

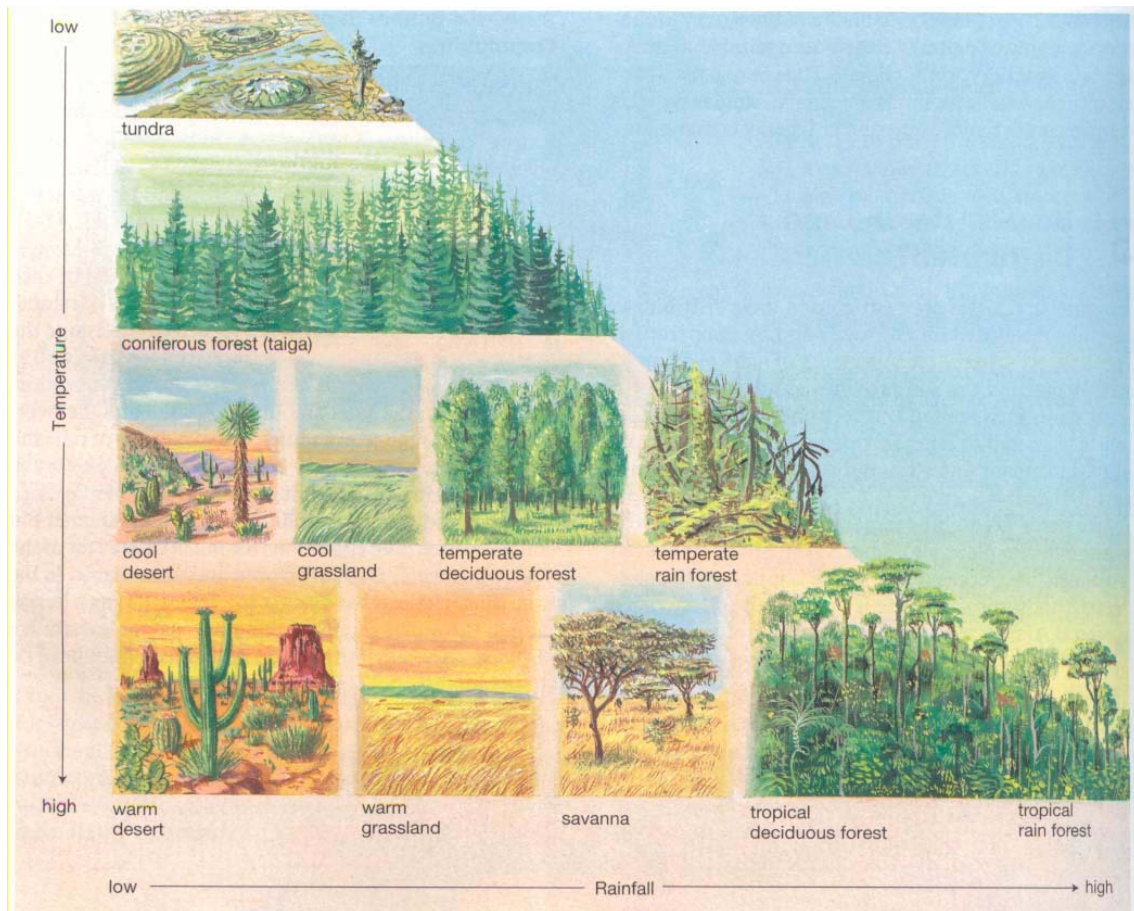
2.3 ผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือ ผู้ย่อยสลาย (Decomposer) คือ พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ต้องกินสิ่งมีชีวิตอื่นด้วยวิธีการย่อยสลายสารอาหารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง แล้วใช้เอนไซม์ย่อยเพื่อดูดซึมเข้าไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ รา แบคทีเรีย บางครั้งเรียกสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้ว่า ผู้แปรสภาพสาร (Transformer) เพราะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างหน่วยสิ่งมีชีวิตกับหน่วย สิ่งที่ไม่มีชีวิต จึงมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นอาจมีความแตกต่างกันบ้างในระบบนิเวศแต่ละแห่ง สภาพแวดล้อมทางกายภาพมีส่วนสำคัญที่จะกำหนดลักษณะของระบบนิเวศ และยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวขององค์ประกอบทางชีวภาพด้วย

2.1.3 ระบบนิเวศภาคพื้นทวีปและพื้นน้ำ

ระบบนิเวศภาคพื้นทวีป

กลุ่มสิ่งมีชีวิตชนิดเด่นบนบกหรือภาคพื้นทวีปจะถูกกำหนดโดยพืช พื้นแผ่นดินขนาดใหญ่ที่มีสิ่งแวดล้อมและกลุ่มสิ่งมีชีวิตพวกพืชที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเรียกว่า ชีวนิเวศ (Biomes) หรืออาจกล่าวได้ว่า ชีวนิเวศเกิดจากการรวมระบบนิเวศแบบเดียวกันไว้ด้วยกัน โดยมีปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อชีวนิเวศที่กระจายอยู่บนภาคพื้นทวีป (ภาพที่ 2-4) ระบบนิเวศภาคพื้นทวีปมีหลายแบบ ที่สำคัญมี 4 แบบดังนี้



ภาพที่ 2-4 อิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่มีต่อการกระจายของชีวนิเวศ

(Audesirk and Audesirk 1999 : 866)

ระบบนิเวศแบบทะเลทราย

ทะเลทราย (ภาพที่ 2-5) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 18 % ของพื้นที่โลก อยู่ในบริเวณเส้นรุ้งที่ 10 องศาเหนือและใต้ มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 10 นิ้วต่อปี มีอัตราการระเหยของน้ำสูงกว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา 5-7 เท่า อุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด บางส่วนของทะเลทรายจะถูกน้ำกัดเซาะเป็นแอ่งทำให้สามารถรองรับน้ำฝนไว้ให้สัตว์ทะเลทรายใช้ได้ ปัจจัยจำกัด

ที่สำคัญของทะเลทรายคือ น้ำ ส่วนแร่ธาตุต่างๆ ในดิน ความเค็ม และสารอินทรีย์บางชนิดอาจเป็นปัจจัยจำกัดได้บ้าง สภาพแวดล้อมโดยทั่วไปไม่เหมาะกับการดำรงชีวิตของ สิ่งมีชีวิต จึงพบจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตค่อนข้างน้อย สิ่งมีชีวิตในทะเลทรายจะต้องปรับตัวทางโครงสร้าง ทางสรีระ และพฤติกรรมเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างกันดาร



- ก. ซาฮาราในแอฟริกา
- ข. ในรัฐยูทาห์และเนวาด้า สหรัฐอเมริกา
- ค. ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา
- ง. สัตว์ที่พบในทะเลทราย ทวีปอเมริกาเหนือ

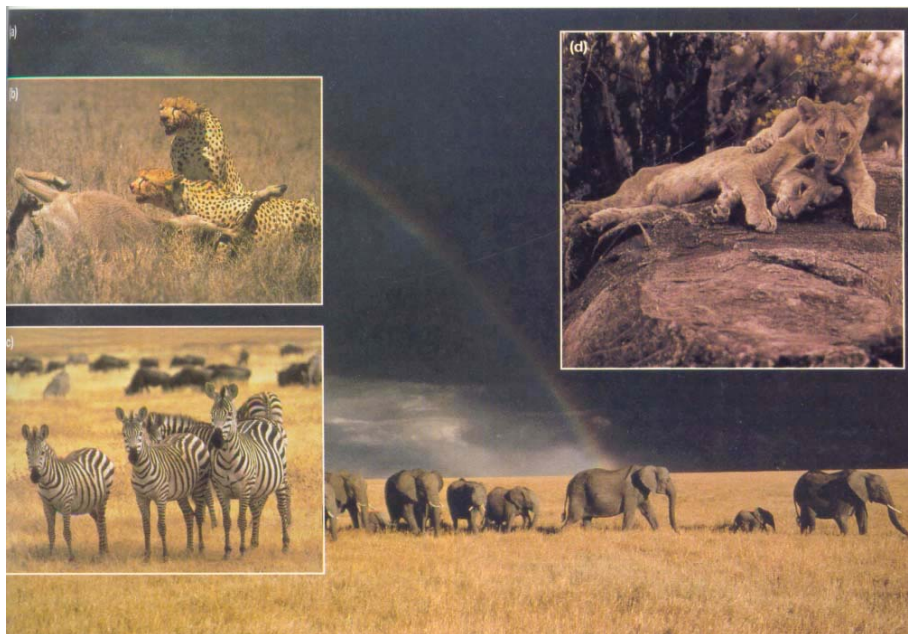
(Audesirk and Gerald Audesirk. 1999 : 866)

พืชในทะเลทรายมีการปรับตัวสองลักษณะคือ ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแห้งแล้งด้วยการเก็บน้ำไว้ในลำต้น หรือมีรากหยั่งลงลึกมากเพื่อหาน้ำใต้ดิน หรือลดรูปของใบให้มีขนาดเล็กและมียางเคลือบผิวใบเพื่อลดการคายน้ำ การปรับตัวอีกลักษณะหนึ่งคือ การผลิตเมล็ดที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ต่อเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมจึงจะงอก และเติบโตอย่างรวดเร็ว หลังจากสร้างเมล็ดแล้วก็จะตายไป ลักษณะพืชในทะเลทรายมักเป็นพืชต้นเตี้ยติดดิน หรือเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก

สัตว์ทะเลทรายมีสองประเภทคือ พวกที่อยู่ในสภาพไข่ คักแค้ หรือรูปอื่นที่ทนต่อสภาวะแห้งแล้งได้ยาวนานนับเดือนนับปี จนกว่าจะมีน้ำเพียงพอจึงจะเจริญอย่างรวดเร็ว บางชนิดจะเริ่มออกหากินเมื่อฝนตกหลังจากที่จำศีล (Aestivation) เป็นระยะเวลายาวนานตลอดช่วงเวลาที่แล้งจัด อีกประเภทหนึ่งเป็น พวกที่มีกิจกรรมตลอดช่วงที่มีชีวิตอยู่ สัตว์พวกนี้มีความสามารถสูงในการปรับตัวทางสรีระ ทำให้มีชีวิตรอดอยู่ได้ในสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงระหว่างกลางวันกับกลางคืน พื้นที่ทะเลทรายอาจเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ในอนาคต ทะเลทรายมีแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอในปริมาณมาก เทคโนโลยีสมัยใหม่อาจช่วยให้มนุษย์นำพลังงานดังกล่าวจากทะเลทรายมาใช้ได้ แต่ต้องพิจารณาให้รอบคอบในแง่ของการลงทุน และผลตอบแทน

ระบบนิเวศแบบทุ่งหญ้า

ทุ่งหญ้า (ภาพที่ 2-6) มีลักษณะเป็นที่ราบ มีอาณาเขตกระจายทั่วไปในส่วนที่เป็นพื้นดินของโลก มีปริมาณน้ำฝน 10-30 นิ้วต่อปี มีอัตราการระเหยสูงทำให้เกิดความแห้งแล้งเป็นครั้งคราว แบ่งเป็นทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น (Temperate grassland) เช่น ในทวีปอเมริกาเหนือ และยุโรปตะวันตกที่เรียกทุ่งหญ้าว่า แพรรี่ (Prairie) รัสเซีย เรียกทุ่งหญ้าว่า สเตปส์ (Steppes) อังกฤษเรียกว่า พัสซา (Pustza) ทุ่งหญ้าเขตร้อน (Tropical savanna grassland) อยู่ในแอฟริกาใต้และตอนเหนือของทวีปออสเตรเลีย เรียกว่า ทุ่งหญ้าสะวันนา (Savanna) ทุ่งหญ้าสะวันนามีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น มีฝนตกประมาณ 40-60 นิ้วต่อปี น้ำและไฟป่าเป็นปัจจัยจำกัดของระบบนิเวศทุ่งหญ้า สิ่งมีชีวิตในทุ่งหญ้าต้องมีความทนทานต่อความแห้งแล้งและไฟป่าได้อย่างดีจึงจะมีชีวิตรอดอยู่ได้



ภาพที่ 2-6 ทุ่งหญ้าสะวันนา ในประเทศแอฟริกา

(Audesirk and Audesirk 1999:869)

หญ้าจัดเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเด่นในทุ่งหญ้า มีความสูงของลำต้นแตกต่างกันตามปริมาณฝนที่ตก ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่นมีความสูงตั้งแต่ 1.5 ฟุต จนถึง 8 ฟุต หญ้าเหล่านี้มีระบบรากหยั่งลึกมาก บาง

ชนิดที่ยังเล็กถึง 6 ฟุต พืชอื่นๆ ที่พบ ได้แก่ ฟอรับ (Forb) ซึ่งเป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่ง พืชอื่นเฉพาะที่ปรากฏในทุ่งหญ้าเขตร้อนไม่ปรากฏในทุ่งหญ้าเขตอบอุ่นคือ ไม้ยืนต้น ไม้ยืนต้นมีประปราย ขึ้นรวมเป็นกลุ่มบ้าง ขึ้นเดี่ยวๆ บ้าง

สัตว์ในทุ่งหญ้ามียังขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์กบิ สัตว์ทะเล สัตว์ในเขตอบอุ่น ได้แก่ วัวไบสัน แอนทีโลป ม้าลาย กระรอก ส่วนในทุ่งหญ้าเขตร้อน ได้แก่ แอนทีโลป ม้าลาย ควายป่า แรด สิงโต สุนัขป่า ในออสเตรเลีย ได้แก่ จิงโจ้

ทุ่งหญ้าเป็นแหล่งอาหารที่ดีของสัตว์ มนุษย์บุกรุกเข้าไปทำเกษตรกรรมในทุ่งหญ้า ด้วยการเพาะปลูกธัญพืช และใช้ทุ่งหญ้าเป็นที่เลี้ยงสัตว์ ถ้าการปลูกธัญพืชและการใช้เป็นทุ่งเลี้ยงสัตว์ กระทำกันจนเกินขนาด (Over grazing) ย่อมมีผลให้ทุ่งหญ้าเปลี่ยนสภาพจากที่ชุ่มชื้นเป็นที่แห้งแล้งขึ้นทุกที และเสียสมดุลของระบบนิเวศไปในที่สุด

ระบบนิเวศแบบป่าไม้

ป่าไม้อาจแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous forest) และป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen forest)

1. ป่าไม้ผลัดใบ

คือป่าไม้ที่ต้นไม้ส่วนใหญ่ต่างผลัดใบหมดในฤดูแล้งและเริ่มผลิใบใหม่ในต้นฤดูฝน

ป่าไม้ผลัดใบในเขตอบอุ่น (ภาพที่ 2-7) พบเขตฝั่งตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรปทั้งหมด บางส่วนของญี่ปุ่น และออสเตรเลีย ได้สุดของทวีปอเมริกาใต้ ปริมาณฝนตก 30-60 นิ้วต่อปี ภูมิอากาศโดยทั่วไปอยู่ในระดับปานกลาง ฤดูร้อนและฤดูหนาวของแต่ละปีแตกต่างกันมาก พืชที่พบได้แก่ ต้นโอ๊ค อิกคอรี่ เซสตันท์ พืชดังกล่าวมีใบกว้างพื้นป่าปกคลุมด้วยไม้พุ่มและไม้ล้มลุก สัตว์ที่พบได้แก่ สุนัขจิ้งจอก สกั้ง แรคคูน คูน หนูผี กวางเวอร์จิเนีย



ภาพที่ 2-7 ป่าไม้ผลัดใบในเขตอบอุ่น

(Audesirk and Audesirk, 1999 : 874)

ป่าไม้ผลัดใบเขตร้อน เช่น ป่าไม้ในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.1 ป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ (Mixed deciduous forest) ป่าชนิดนี้ประกอบด้วยต้นไม้ผลัดใบหลาย ๆ ชนิดขึ้นปะปนกัน ที่สำคัญคือ ต้นไผ่

1.2. ป่าแพะหรือป่าแดงหรือป่าโคก (Dry dipterocarpus forest) ป่าชนิดนี้เกิดที่ราบสูงและตามสันเขาที่เป็นดินปนทราย หรือปนกรวด ลักษณะของป่าค่อนข้างเป็นป่าโปร่ง ต้นไม้ขึ้นกระจัดกระจายมักมีลำต้นเล็ก เตี้ย ไม้พื้นล่างมักเป็นหญ้าแฝกและไม้พุ่ม

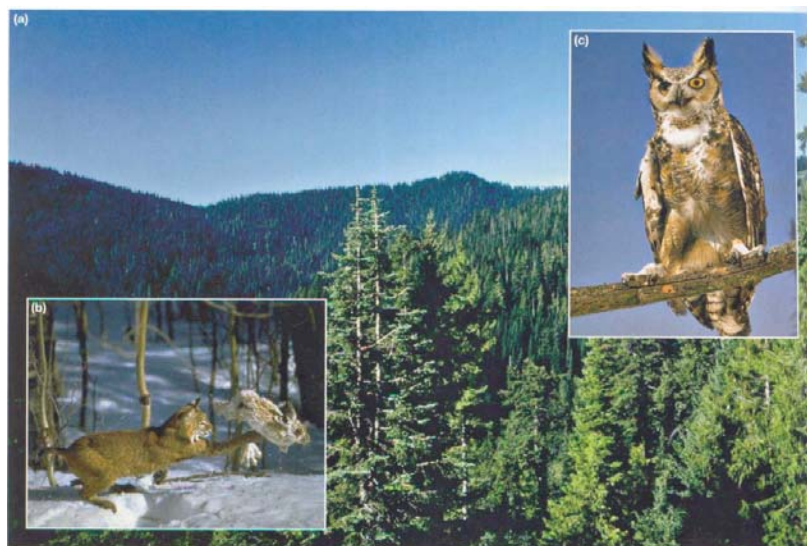
2. ป่าไม้ไม่ผลัดใบ

คือป่าไม้ที่มีต้นไม้ใบเขียวชอุ่มตลอดปี ไม่มีระยะเวลาสำหรับผลัดใบที่แน่นอน เมื่อใบแก่ร่วงหล่นไปใบใหม่ก็ผลิออกมาแทนที่ทันที แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ

2.1 ป่าสนหรือป่าสนเขา (Coniferous forest หรือ Pine forest)

เป็นป่าที่พบทั่วไปตามภูเขาที่สูงกว่า 700-1,000 เมตร อยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 50-60 องศาเหนือ เช่น บริเวณอลาสกา แคนาดา สแกนดิเนเวีย ไซบีเรีย และบางส่วนของประเทศไทย ส่วนบริเวณป่าสนในแถบซีกโลกเหนือ อาจมีชื่อเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ไทกา (Tajga) สภาพอากาศบริเวณที่มีความเย็นสูง (ช่วงฤดูร้อนสั้นแต่ช่วงฤดูหนาวยาว) ฝนตกค่อนข้างมาก การสลายตัวของสารเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดดินแบบพอดซอล (Podsol) คือมีสภาพเป็นกรดและขาดธาตุอาหารเนื่องจากมีอัตราการชะล้างสูง แม้กระนั้นผลผลิตในรอบปีของป่าสนก็ยังมีอัตราค่อนข้างสูงยกเว้นในช่วงอุณหภูมิต่ำ

ประชากรมีหลายชนิด ได้แก่ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น กระต่าย เสือ ฯลฯ นก และแมลงปีกแข็ง เป็นต้น พืชชนิดเด่น ได้แก่ สนชนิดต่าง ๆ เช่น สนสองใบ สนสามใบ ไม้ประเภทนี้มีใบเล็กเรียวยาวมีเรณูยอดปกคลุมตลอดปี เพราะไม้ผลัดใบ จึงทำให้เกิดไม้พุ่มและไม้ล้มลุกได้ช้า ไม้อื่น ๆ ได้แก่ เรดวูด (Red wood) ซึ่งมีขนาดสูงมาก (ภาพที่ 2-8)



ภาพที่ 2-8 ป่าสน

(Audesirk and Audesirk 1999 : 876)

2.2 ป่าดิบชื้น หรือป่าดงดิบ (Tropical rain forest หรือ Tropical evergreen forest)

ป่าดิบชื้น หรือป่าดงดิบในเขตร้อน (ภาพที่ 2-9) กระจายทั่วไปในทวีปต่างๆ บริเวณเส้นศูนย์สูตร และเขตใกล้เคียง เช่นบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน ลุ่มน้ำคองโก และในเกอร์ตอนกลางและตะวันตกของแอฟริกา ในทวีปเอเชีย ได้แก่ บริเวณอินโดนีเซียบอเนียวินิกินี รวมทั้งตอนใต้ของไทย ฝนตกเกือบตลอดปี ในอัตรา 80-90 นิ้วต่อปี ดินฟ้าอากาศค่อนข้างคงที่ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูน้อยมาก อุณหภูมิช่วงกลางวันและกลางคืนแตกต่างกัน

ความแตกต่างของอุณหภูมิในยอดไม้ของป่าดงดิบกับพื้นดินแตกต่างกันประมาณ 10-20 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ความชื้นคงที่ ฉะนั้นอุณหภูมิและแสงแดดในป่าดงดิบจึงค่อนข้างคงที่ ฤดูกาลต่างๆ ไม่มีอิทธิพลต่อชีวิตของพืชและสัตว์ ป่าไม้จึงเขียวตลอดปี ลักษณะเด่นชัดของชุมชนป่าดิบ คือสิ่งมีชีวิตมีการกระจายตัวสูง มีจำนวนชนิดและจำนวนตัวมากกว่าป่าชนิดอื่น จึงเป็นดัชนีแสดงความอุดมสมบูรณ์และความสมดุลของระบบนิเวศ



ภาพที่ 2-9 ป่าดิบชื้นหรือป่าดงดิบ

(Audesirk and Audesirk 1999:875)

พืชในป่าดงดิบมีหลายขนาดโดยมีความสูงตั้งแต่ 20 ฟุต จนถึง 200 ฟุต จนกระทั่งถึงติด พื้นดิน ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่จะมีเรือนยอดแผ่กว้างปรากฏเป็นชั้นหลายชั้นปกคลุมป่าให้ชุ่มชื้นตลอดปี และมีผลให้แสงสว่างส่องลงสู่พื้นป่าได้น้อย ไม้ชั้นล่างจึงมักกระจายกระจาย เพราะแสงไม่เพียงพอ สัตว์ในป่าดงดิบมีมากมาย ทั้งสัตว์เลื้อยคลานด้วยน้ำนม สัตว์เลื้อยคลาน นก สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ และแมลง พืชและสัตว์มีการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกันอย่างเห็นได้ชัด

ป่าดิบชื้นเป็นแหล่งทำประโยชน์จากไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ให้แก่มนุษย์สูงมาก นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการรักษาสมดุลของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศของโลกอีกด้วย

2.3 ป่าดิบภูเขา (Hill evergreen forest)

เป็นป่าดงดิบที่พบอยู่บนภูเขาสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร ขึ้นไป สภาพป่าแตกต่างจากป่าดิบชื้นอย่างเห็นได้ชัด คือไม่มีพันธุ์ไม้วงศ์ยางแต่มีพันธุ์ไม้จำพวกพญาไม้ มะขามป้อมดง สนสาม

พันธุ์ไม้ต่าง ๆ ไม้ชั้นรองได้แก่ ส้มแปะ หว้า ไม้ชั้นล่างเป็นพวกไม้พุ่มรวมทั้งข้าวตอก
ฤาษี มอส สามร้อยยอด เป็นต้น (ภาพที่ 2-10)



ภาพที่ 2-10 ป่าดิบภูเขา

(สุรินทร์ มัจฉาชีพ และสมสุข มัจฉาชีพ. 2539 : 165)

2.4 ป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง (Mangrove forest หรือ Littoral forest)

ป่าชนิดนี้อยู่ตามชายทะเลที่เป็นเลน และตามริมฝั่งแม่น้ำ ปากแม่น้ำมีพันธุ์ไม้โกงกางเป็น
ไม้ชนิดเด่น นอกจากนี้มี กะแต้ โปรง แสม (ภาพที่ 2-11)



ภาพที่ 2-11 ป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง

(Mix, Faber and King. 1992 : 155)

2.5 ป่าพรุ (Swamp forest)

พบในบริเวณที่มีน้ำจืดท่วมขังอยู่เนือง ๆ ดินขาดการระบายที่ดี ในประเทศไทยป่าพรุในภาคกลางมีลักษณะโปร่ง ต้นไม้ขึ้นอยู่ห่างๆ เช่น ต้นอ้อ แคม ระกำ หวายโป่ง หวายน้ำ โมกขำ จิก สนุ่น คร่ำเทียน ป่าพรุในภาคใต้อยู่ในบริเวณที่มีน้ำขังเกือบตลอดปี โดยมีซากพืชและอินทรีย์วัตถุต่างๆ ทับถมกันเป็นเวลานาน ทำให้เกิดพรุ (Peat bog) ขึ้น (ภาพที่ 2-12)



ภาพที่ 2-12 ป่าพรุ

(สุรินทร์ มัจฉาชีพ และสมสุข มัจฉาชีพ. 2539 : 167)

2.6 ป่าชายหาด (Beach forest)

เป็นป่าโปร่งไม้ผลัดใบ ขึ้นอยู่ตามริมหาด น้ำทะเลไม่ท่วม รวมทั้งเชิงเขาริมทะเล ต้นไม้เด่นที่ขึ้น ได้แก่ สนทะเล โพธิ์ทะเล หูกวาง กระถิง ดินเบ็ดทะเล หยน้ำ ไม้พื้นล่าง ได้แก่ ต้นเตย และหญ้าต่างๆ ตามเชิงเขาและฝั่งดินมีพวกไม้เถา มะค่าแต้ ลำปึก กระบองเพชร และ ไม้หอมอื่นๆ เช่น หนามหัน กำจาย (ภาพที่ 2-13)



ภาพที่ 2-13 ป่าชายหาด

ระบบนิเวศแบบทุนดรา

ทุนดราหรือทุ่งหิมะแถบขั้วโลก (ภาพที่ 2-14) มีอาณาเขตตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 60 เหนือขึ้นไปจนถึงขั้วโลก ในเขตพื้นที่นี้อุณหภูมิต่ำมาก พื้นดินปกคลุมด้วยน้ำแข็งตลอดปี ยกเว้นช่วงฤดูร้อนซึ่งมีช่วงสั้นมาก ฝนตกค่อนข้างน้อย ในช่วงฤดูหนาวอันยาวนานเป็นช่วงที่ขาดชีวิตชีวา สัตว์จะจำศีล (Hibernation) หรือหลบอยู่ใต้หิมะ และได้กักน้ำแข็ง พืชหยุดชะงักการเจริญเติบโต ในฤดูร้อนพื้นดินและพื้นน้ำจะสลับกันเป็นลวดลายสวยงาม ชุมชนแบบทุนดราเป็นชุมชนแบบง่าย ๆ ไม่ยั่งยืนและไม่สมดุล เนื่องจากสภาพอากาศที่หนาวเย็นจึงทำให้มีการอัตราการระเหยต่ำ การสลายตัวของธาตุอาหารเกิดอย่างช้าๆ ทำให้ค่อนข้างขาดแคลนอาหาร แม้สภาพแวดล้อมจะไม่มีใครเหมาะสม แต่สิ่งมีชีวิตก็สามารถปรับตัวให้อยู่รอดได้ พืชมีอายุการเจริญสั้นเพียงแค่ 60 วัน พืชชนิดเด่นได้แก่ ไลเคนส์ นอกจากนี้ยังมีมอส กก หญ้าเซดจ์ (Sedge) และไม้พุ่มเตี้ย เช่น วิลโลแคระ

สัตว์ในเขตทุนดราไม่มีกึ่งชนิด ได้แก่ นก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และแมลง สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดเด่น คือ กวางคาริบู กวางเรนเดียร์ กระต่ายป่าขั้วโลก หนูเลมมิง สุนัขป่าขั้วโลก นกชนิดเด่น คือนกทามิกแกน นกเค้าแมวหิมะ นอกจากนี้ยังมีนกจากแหล่งอื่นอพยพเข้ามาในฤดูร้อน แมลง ยุง



ภาพที่ 2-14 ทุนดรา

(Audesirk and Audesirk 1999 : 877)

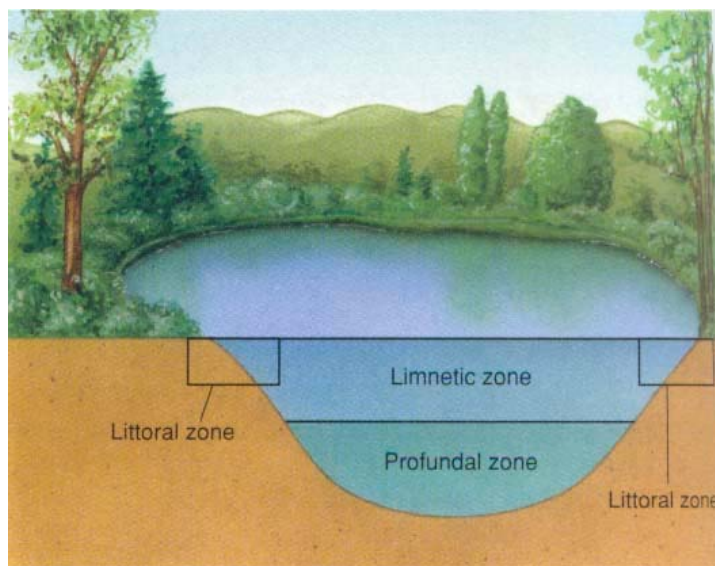
ระบบนิเวศภาคพื้นน้ำ

ระบบนิเวศภาคพื้นน้ำแบ่งเป็น ระบบนิเวศน้ำจืดและระบบนิเวศน้ำเค็ม

ระบบนิเวศน้ำจืด

ระบบนิเวศน้ำจืดแบ่งตามลักษณะของแหล่งน้ำเป็น 2 ประเภทคือ

1. แหล่งน้ำนิ่ง เช่น ทะเลสาบ บึง ถ้าเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ สามารถแบ่งเขตแหล่งน้ำนิ่งได้ 3 เขต คือ (ภาพที่ 2-15)



ภาพที่ 2-15 เขตของแหล่งน้ำ

(Johnson, 1997 : 572)

1.1 เขตชายฝั่ง (Littoral zone) เป็นบริเวณรอบๆ แหล่งน้ำแสงส่องได้ถึงก้นน้ำ เป็นเขตที่มีผู้ผลิตและผู้บริโภคมากกว่าเขตอื่นๆ ผู้ผลิตบริเวณชายฝั่ง ได้แก่ พืชที่มีรากยึดอยู่ในพื้นดินได้ทั้งน้ำ บางส่วนของลำต้นฝังอยู่ในดิน และบางส่วนโผล่ขึ้นเหนือน้ำเพื่อรับแสง ส่วนใหญ่เป็นพืชมะดึก เช่น กก บัว แห้วทรงกระเทียม กระจุย เป็นต้น พืชอีกชนิดในเขตชายฝั่งเป็นพวกที่มีโครงสร้างอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โผล่เฉพาะส่วนของดอกขึ้นเหนือน้ำ เช่น สาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายหางกระรอก ตีปี่น้ำ นอกจากนี้ผู้ผลิตในเขตชายฝั่งยังประกอบด้วยแพลงก์ตอนพืชและพืชลอยน้ำ แพลงก์ตอนพืช ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอม พืชลอยน้ำ ได้แก่ จอก แหน ไช้ น้ำจอก หูกหนู แหนแดง

ผู้บริโภคในเขตชายฝั่งมีจำนวนมากเพราะมีผู้ผลิตอุดมสมบูรณ์สำหรับใช้เป็นอาหาร แหล่งอาศัยและที่หลบซ่อนศัตรู พวกที่เกาะกับวัตถุใต้น้ำ ได้แก่ หอยขม หอยโข่ง ตัวอ่อนแมลงปอ เข็มไฮครา พลานาเรีย โรติเฟอร์ ส่วนพวกที่เกาะพัดตัวตามพื้นท้องน้ำ ได้แก่ แมลงปอยักษ์ ชีปะขาว กุ้งก้ามกราม หอยกาบเดี่ยว หอยสองกาบ หนอนตัวกลมชนิดต่างๆ ยุง ฯลฯ พวกที่ว่ายน้ำอิสระ ได้แก่

แมลงต่างๆ เต่า ปลา แพลงก์ตอนที่พบ ได้แก่ ไรน้ำ โคพีพอด พวกที่ลอยตามผิวน้ำ ได้แก่ ค้างคาวพาบ ค้างคาวงู จิงโจ้น้ำ

1.2 ผิวน้ำหรือเขตกลางน้ำ (Limnetic zone) นับจากชายฝั่งเข้ามาจนถึงระดับลึกที่แสงส่องถึง มีความเข้มของแสงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของแสงจากดวงอาทิตย์ ที่ระดับนี้อัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าเท่ากับอัตราการหายใจ ในแหล่งน้ำขนาดเล็ก หรือแหล่งน้ำตื้นๆ จะไม่ปรากฏเขตนี้

สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่เป็นแพลงก์ตอนและพวกที่ว่ายน้ำอิสระ มีจำนวนชนิดและจำนวนสมาชิกน้อยกว่าเขตชายฝั่ง แพลงก์ตอนพืช ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งเป็นชนิดเดียวกับเขตชายฝั่ง ไดโนแฟลกเจลเลต ยูกลีนา วอลวอกซ์ แพลงก์ตอนสัตว์ ได้แก่ โคพีพอด โรติเฟอร์ ไรน้ำ สัตว์เหล่านี้เป็นสัตว์ต่างชนิดกับเขตชายฝั่ง นอกจากนี้สัตว์อื่นๆ ในเขตกลางสระ ได้แก่ พวกที่ว่ายน้ำได้ เช่น ปลา

1.3 เขตก้นน้ำ (Profundal zone) เป็นส่วนที่อยู่ล่างสุดจนถึงหน้าดินของพื้นท้องน้ำ กล่าวได้ว่า แหล่งน้ำขนาดเล็กจะไม่มีในเขตนี้ แสงส่องไม่ถึง จึงไม่มีผู้ผลิต สิ่งมีชีวิตที่พบ ได้แก่ รา แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน หนอนเลือด ตัวอ่อนของ หอยสองฝา หนอนตัวกลม เป็นต้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น ตัวอ่อนของยุงน้ำชนิดหนึ่ง (Phantom) มีถุงลมสำหรับช่วยในการลอยตัวและสำหรับเก็บออกซิเจนไว้ใช้

2. แหล่งน้ำไหล เช่น แม่น้ำ ลำธาร โครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิตน้ำไหลขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำ แหล่งน้ำไหลนี้จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 เขตน้ำเชี่ยว เป็นเขตที่มีกระแสน้ำไหลแรง จึงไม่มีตะกอนสะสมได้น้ำ สิ่งมีชีวิตในบริเวณนี้มักเป็นพวกที่สามารถเกาะติดกับวัตถุใต้น้ำ หรือคืบคลานไปมาสะดวก พวกที่ว่ายน้ำได้จะต้องเป็นพวกที่ทนทานต่อการต้านกระแสน้ำ แพลงก์ตอนแทบจะไม่ปรากฏในบริเวณนี้

2.2 เขตน้ำไหลเอื่อย เป็นช่วงที่มีความลึก ความเร็วของกระแสน้ำลดลง อนุภาคต่างๆ จึงตกตะกอนทับถมกันหนาแน่นในเขตนี้ มักไม่มีสัตว์เกาะตามท้องน้ำ เขตนี้เหมาะกับพวกที่ขุดรูอยู่ เช่น หอยสองฝา ตัวอ่อนของแมลงปอ ชีปะขาว แพลงก์ตอน และพวกที่ว่ายน้ำได้

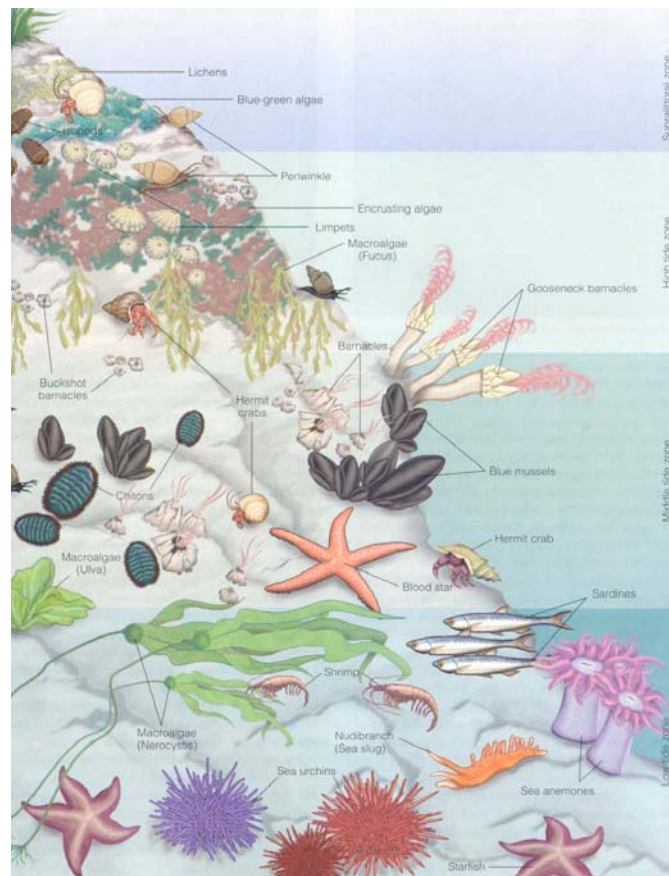
การปรับตัวของสัตว์ในแหล่งน้ำไหลโดยเฉพาะเขตน้ำเชี่ยว สัตว์มีการปรับตัวพิเศษเพื่อการอยู่รอดหลายวิธี เช่น

1. มีโครงสร้างพิเศษสำหรับเกาะหรือดูดพื้นผิว เพื่อให้ติดแน่นกับพื้นผิว สิ่งมีชีวิตที่มีอวัยวะพิเศษเช่นนี้ ได้แก่ แมลงหนอนปลอกน้ำ
2. สร้างเมือกเหนียว เพื่อใช้ยึดเกาะ เช่น พลานาเรีย หอยกาบเดียว
3. มีรูปร่างเพรียว เพื่อลดความต้านทานต่อกระแสน้ำ เช่น ปลา
4. ปรับตัวให้แบน เพื่อยึดติดกับท้องน้ำได้แนบสนิทหรือเพื่อให้สามารถแทรกตัวอยู่ในซอกแคบๆ หลีกเลียงกระแสน้ำแรงๆ

ระบบนิเวศน้ำเค็ม

ได้แก่บริเวณพื้นน้ำที่เป็นทะเล และมหาสมุทรประกอบด้วยชายฝั่งทะเลซึ่งมีทั้งหาดทรายและหาดหิน ชายหาดเป็นบริเวณที่ถูกน้ำทะเลซัดขึ้นมาตลอดเวลา พื้นผิวของหาดทรายและหาดหินจะเปียกและแห้งสลับกันในช่วงวันหนึ่งๆที่เป็นเวลาน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้อุณหภูมิช่วงวันหนึ่งของบริเวณดังกล่าวแตกต่างกันไปด้วย นอกจากนี้ทะเลมีสารประกอบพวกเกลือละลายอยู่หลายชนิดสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเลจึงต้องมีการปรับตัวทางสรีระสำหรับการดำรงชีพอยู่ในน้ำเค็มด้วย

จากชายฝั่งทะเลออกไป จะเป็นบริเวณไหล่ทวีป ทะเล และมหาสมุทร ซึ่งเป็นแหล่งที่มี สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก นับเป็นแหล่งอาหารใหญ่ที่สุดของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วย แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์นานาชนิด หอยทะเล สาหร่ายทะเลที่สัตว์น้ำพวกกุ้ง หอย ปู ปลา พะยูน ปลาวาฬ โลมา และอื่นๆ อาศัยเป็นอาหารในการเจริญเติบโต (ภาพที่ 2-16)



ภาพที่ 2-16 สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล มหาสมุทร

(Krohne. 2001 : 439)

ใต้ท้องทะเลจะมีบริเวณแนวปะการัง หรืออาจเรียกว่า ป่าใต้ทะเล ที่เทียบได้กับป่าบนบก แนวปะการังเกิดจากสัตว์พวกปะการังซึ่งมีสารหินปูนห่อหุ้มลำตัว สืบพันธุ์แบบแตกหน่อเชื่อมติดกันกับ

ตัวเดิมทำให้เกิดเป็นกลุ่มก้อนของปะการัง บริเวณดังกล่าวมีความสำคัญมาก เพราะเป็นแหล่งที่ให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ด้านอาหาร ที่อยู่อาศัย แหล่งอนุบาลลูกอ่อนของสัตว์น้ำ

ปัจจุบันปะการังถูกทำลายลงเป็นอันมากและรวดเร็วจนใกล้ภาวะวิกฤติ นักวิชาการที่เกี่ยวข้องได้ช่วยกันคิดหาแนวทางป้องกันแก้ไข เช่น จัดทำแนวปะการังเทียม ศึกษาวิธีเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนปะการังในระยะยาว แต่ต้องใช้เวลาานมากกว่าจะเกิดเป็นแนวปะการังธรรมชาติ บางแห่งแก้ปัญหาโดยวางทุ่นรอบๆ แนวปะการัง เพื่อป้องกันคนเข้าไปรบกวนหรือทำลาย

3. ปากน้ำ

ปากน้ำเป็นบริเวณที่น้ำมาบรรจบกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ทำให้เป็นบริเวณที่มีน้ำกร่อย เกิดเป็นชุมชนรอยต่อระหว่างชุมชนน้ำจืดและน้ำเค็ม ลักษณะพิเศษที่เกิดขึ้นคือ มีสภาพทางชีววิทยาที่เอื้ออำนวยที่จะให้ผลผลิตอย่างสูงต่อสังคมมนุษย์

ปากน้ำที่เกิดขึ้นมีหลายชนิด มีภูมิประเทศต่างจากที่อื่นๆ และมีลักษณะทางธรณีที่สำคัญเกิดขึ้น มีการเจริญเติบโตไปจากฝั่งทะเลและจมลงไปจากปากน้ำ เช่น ปากน้ำเจ้าพระยา ปากน้ำเดลาแวร์ (Delaware Bay) บางแห่งเจริญเติบโตไปจากฟยอร์ดที่ลึก เช่น แม้โขง ปากแม่น้ำไนล์

ลักษณะที่สำคัญของปากน้ำมีดังนี้

1. ส่วนประกอบของน้ำคังที่ มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามกระแสน้ำขึ้นน้ำลงและการไหลของแม่น้ำที่มาจากแผ่นดิน ความแตกต่างของปากน้ำนั้นมีความเค็มของเกลือที่ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 1/100 ถึง 34/1000 ppm.(น้ำทะเลมี 35 ppm.)
2. ระดับของแร่ธาตุต่างๆ มีสูง เนื่องจากความสมบูรณ์ของสารอินทรีย์และการสะสมของสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรซึ่งมาจากแผ่นดินไหลลงมาในน้ำ
3. อุณหภูมิและกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล วัน และชั่วโมง
4. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำและระดับคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน

ลักษณะต่างๆ เหล่านี้เป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่า ปากน้ำรองรับการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวและความไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากมีความเข้มข้นของสารอาหารต่างๆ และฟองน้ำที่เกิดขึ้น ทำให้มีผลผลิตสูงขึ้น จึงมีชุมชนต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิต คือ แพลงก์ตอน ปู หอย ปลา เช่น ปากน้ำเดลาแวร์ และกลายเป็นปากน้ำใหญ่ ปากน้ำส่วนใหญ่จะเป็นที่เพาะเลี้ยงสัตว์อ่อนของปลาทะเล

ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของปากน้ำจะมาจาก 4 แหล่งใหญ่ๆ คือ

1. แพลงก์ตอนพืช ส่วนมากจะเป็นสาหร่ายเล็กๆ ที่ลอยอยู่ในบริเวณที่มีแสงสว่างส่องไปถึง
2. พืชที่อยู่ในน้ำมีรากฝังอยู่กับพื้นดิน
3. พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำบริเวณที่น้ำขึ้นน้ำลง

4. พืชที่ลอยอยู่ผิวน้ำ สาหร่ายเล็กๆ ที่ติดอยู่กับกิ่งไม้หรือติดกับดินทรายที่พัดมาทับถมดิน มีใบและลำต้นของพืชอยู่ใต้น้ำ

ผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิที่สำคัญในบริเวณปากน้ำคือแพลงก์ตอน ได้แก่ สาหร่ายเล็กๆ ไดอะตอม และพวกไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellate) ซึ่งพวกนี้เป็นอาหารของพวกปลาโดยตรง กุ้ง ปู และแพลงก์ตอนสัตว์

พืชที่จมอยู่ใต้น้ำมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตขั้นแรก ทำให้ปากน้ำนั้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ปากน้ำจะมีพวกต้นพืชมากมาย พืชเหล่านี้จะมีปริมาณลดลงถ้ามีมลพิษเกิดขึ้น หรือมีการรบกวน โดยเฉพาะถ้ากระแสน้ำแรงหรือความเค็มลดลง

ชุมชนสัตว์ในบริเวณปากน้ำเป็นพวกสัตว์ที่หากินอยู่กับพื้นดิน เช่น พวกปู หอยสองฝา และหอยนางรม พวกไส้เดือนและพวกปลาที่มีกรีบรวมทั้งปลาหมึก ปลาฉลาม แดงกวาทะเล หอยม่น ส่วนพวกปลาทะเลนั้นจะเข้ามาหากินในปากน้ำเป็นบางครั้ง

สัตว์ที่อยู่ในปากน้ำนี้แสดงให้เห็นถึงการปรับตัวต่อสภาวะการที่ไม่คงที่และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอย่างน่าสนใจ กล่าวคือมีการปรับตัวในการควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้าและออกจากร่างกายโดยวิธีออสโมซิส นั่นคือความสามารถในการรักษาระดับเกลือและน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลง และยังมีการปรับตัวเกี่ยวกับน้ำจืดน้ำเค็มและสภาพของคลื่นลมต่างๆ สัตว์ที่อยู่ในน้ำลึกๆ จะหลีกเลี่ยงจากคลื่นลมแรงๆ ได้โดยการขุดรูอยู่ในพื้นใต้ทะเล ปลาในบริเวณปากน้ำจะมีเวลาการพัฒนาช้า ตัวอ่อนของปลาจะยังคงอยู่ในไข่จนกระทั่งกลัมน้ำเนื้อเจริญดีพอที่จะว่ายน้ำด้วยตัวมันเองได้ ไข่ของพวกปลาในบริเวณปากน้ำจะมีไข่แดงมากกว่าปลาทะเลอื่นๆ เพื่อใช้เป็นอาหารในขณะที่ระยะพัฒนาการยาวนาน

ปากน้ำในปัจจุบันมีความกดดันจากเรื่องมลพิษมาก และยังมีผลผลิตทางการค้าสูง เมืองใหญ่ๆ ที่สำคัญหลายเมืองในโลกที่ตั้งอยู่บริเวณปากน้ำ เช่น นิวยอร์ก ฟิลาเดลเฟีย บัลติมอร์ ซานฟรานซิสโก กรุงเทพฯ ไซ่ง่อน โตเกียว ซึ่งมีประชากรหนาแน่น และปากแม่น้ำเหล่านี้มีผลผลิตของปลา หอย ซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์ ปากน้ำหลายแห่งได้สูญเสียระบบทางชีววิทยาไปมาก เช่น เดลาแวร์เคยเป็นที่ซึ่งมีปลาและหอยอุดมสมบูรณ์ และสามารถทำเป็นอุตสาหกรรมได้ แต่ในปัจจุบันมีแต่พืชและสัตว์บางชนิดที่พอเหลืออยู่เท่านั้น ดังนั้นจึงมีปัญหว่า ในปัจจุบันปากน้ำเป็นที่รองรับและดูดซึมของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นที่ขยายตัวของประชากร โดยการถมที่ปากน้ำให้เป็นที่อยู่อาศัยของประชากร เป็นต้น โดยไม่รู้คุณค่าของปากน้ำว่าเป็นที่ผลิตอาหารเลี้ยงประชากรของโลกที่สำคัญ

ระบบนิเวศต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ เป็นระบบที่กว้างใหญ่ ยังมีระบบนิเวศแคบๆ เฉพาะเจาะจง ที่มีองค์ประกอบทางกายภาพและสังคมของสิ่งมีชีวิตที่ต่างไป เช่น ระบบนิเวศนาข้าว ระบบนิเวศขอนไม้ผุ ระบบนิเวศริมกำแพง ระบบนิเวศบนต้นไม้ ฯลฯ

2.1.4 ความสัมพันธ์ในระบบนิเวศ

สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งที่อยู่อาศัยเดียวกันทำให้เกิดการอยู่ร่วมกัน เรียกว่า ภาวะซิมไบโอซิส (Symbiosis) สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ต่างก็มีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน โดยมีผลรวมของความสัมพันธ์ 3 แบบ คือ - เมื่อเสียประโยชน์ + เมื่อได้รับประโยชน์ 0 เมื่อไม่ได้รับหรือเสียผลประโยชน์ ซึ่งสามารถแบ่งแบบของความสัมพันธ์ได้หลายแบบดังนี้

1. ภาวะเป็นกลาง (Neutralism 0/0)

เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีผลอะไรต่อกัน ต่างฝ่ายต่างไม่ได้รับประโยชน์และไม่เสียประโยชน์ เช่น ต้นไม้ใหญ่กับไส้เดือนดิน กระต่ายและนกฮูกที่อาศัยอยู่ในป่า เป็นต้น

2. ภาวะการแข่งขัน (Competition -/-)

สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันมีความต้องการปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่งร่วมกัน และปัจจัยนั้นมีจำกัดหรือต่างแข่งขันกันเพื่อแสวงหาปัจจัยที่ต้องการในการดำรงชีพ โดยต่างฝ่ายต่างเสียประโยชน์ด้วยกันทั้งคู่ เช่น ต้นไม้ที่ปลูกรวมอยู่ในเนื้อที่จำกัดพยายามเจริญสูงขึ้นเพื่อรับแสงแดด ฝูงปลาแย่งกันตะครุบเหยื่อ สุนัขแย่งกินอาหาร (ภาพที่ 2-17) เป็นต้น โดยทั่วไปการแข่งขันระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันมักจะรุนแรงมากกว่าระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด



ภาพที่ 2-17 ภาวะการแข่งขันระหว่างลูกสุนัขป่าแอฟริกาแย่งกินอาหารกัน

(“Africa’s Wild Dogs”. 1999 : <http://lava.nationalgeographic.com/pod/>

Photo Of The Day.cgi?day=22&month=5&year=01)

3. ภาวะอะเมนลิซึม (Amenlism 0/-)

ภาวะที่ฝ่ายหนึ่งไม่ได้รับประโยชน์หรือเสียประโยชน์ แต่อีกฝ่ายหนึ่งเสียประโยชน์ เช่น ต้นไม้ใหญ่บังแสงต้นไม้เล็ก ทำให้ต้นไม้เล็กไม่เจริญขณะที่ต้นไม้ใหญ่ไม่ได้รับหรือเสียประโยชน์แต่อย่างใด

4. ภาวะการล่าเหยื่อ (Predation +/-)

ความสัมพันธ์ที่ฝ่ายหนึ่งเป็นผู้ล่า (Predator) ส่วนอีกฝ่ายเป็นผู้ถูกล่า หรือเหยื่อ (Prey) เช่น นกกินแมลง งูกินกบ เสือชีต้าล่ากวางกินเป็นอาหาร (ภาพที่ 2-18)



ภาพที่ 2-18 เสือชีต้าล่ากวางกินเป็นอาหาร

(“Cheetahs : Ghosts of the Grassland”. 1999 : http://lava.nationalgeographic.com/cgi_bin/pod Photo of The Day.cgi?day=25&month=7&year=02)

5. ภาวะอิงอาศัย หรือภาวะมีการเกื้อกูล (Commensalism +/-0)

ความสัมพันธ์แบบนี้เป็นความสัมพันธ์ที่ได้ประโยชน์เพียงฝ่ายเดียว ส่วนอีกฝ่ายหนึ่งก็ไม่เสียประโยชน์แต่อย่างใด เช่น เหาฉลามเป็นปลานชนิดหนึ่งที่มีอวัยวะสำหรับดูดเกาะติดปลาฉลาม อาศัยกินเศษอาหารจากปลาฉลาม โดยไม่ได้ดูดเลือดหรือทำอันตรายใดๆ แก่ปลาฉลาม (ภาพที่ 2-19)



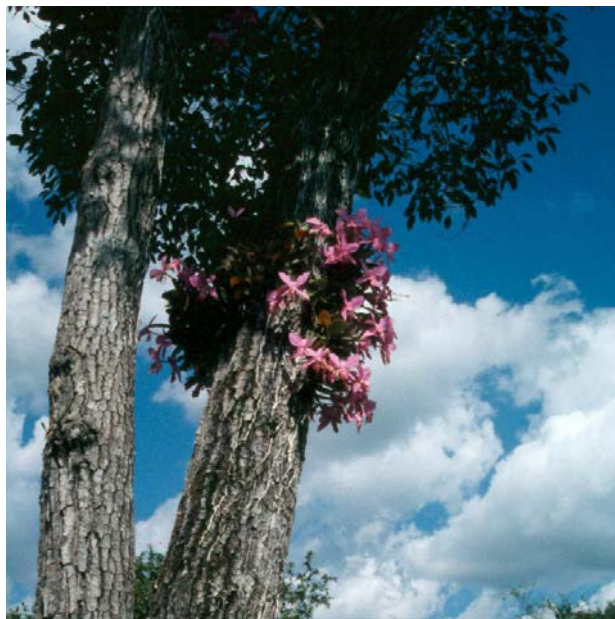
ภาพที่ 2-19 ภาวะอิงอาศัยระหว่างปลาฉลามกับเหาฉลาม

(“ฉลามวาฬ”. 2543 : <http://www.whalesharkthai.com/webboard/00563.html>)

6. ภาวะการได้ประโยชน์ร่วมกัน (Protocooperation +/+)

ความสัมพันธ์ที่ทั้งสองฝ่ายได้ประโยชน์และอยู่แยกกันได้ เช่น ในธรรมชาติเราอาจเห็น เถาวัลย์ พืชต่าง เฟิร์น กล้วยไม้เจริญอยู่บนลำต้นและกิ่งไม้ของต้นไม้ใหญ่ (ภาพที่ 2-20) ลักษณะการเกาะของพืชพวกนี้จะอยู่บริเวณผิวของเปลือกต้นไม้ ไม่ได้มีการเบียดเบียนอาหารจากต้นไม้ใหญ่แต่อย่างใด ใช้ต้นไม้ใหญ่เป็นที่อยู่อาศัย และต้นไม้ใหญ่ได้รับความชื้นจากต้นไม้ที่มาขึ้นอยู่บนต้นไม้ใหญ่เหล่านั้น

นกเอี้ยงที่อาศัยกินแมลงบนผิวหนังควายเป็นอาหาร เนื่องจากควายได้ประโยชน์จากการที่นกช่วยลดจำนวนแมลงที่เป็นปรสิตของควาย จัดเป็นความสัมพันธ์แบบการได้ประโยชน์ร่วมกันระหว่างควายกับนกเอี้ยง



ภาพที่ 2-20 การได้ประโยชน์ร่วมกันระหว่างกล้วยไม้ที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้ใหญ่

(http://www.orchid.or.jp/orchid/people/walke/tree_L.html)

7. ภาวะพึ่งพากัน (Mutualism +/+)

ความสัมพันธ์ที่ทั้งสองฝ่ายได้ประโยชน์และอยู่แยกกันไม่ได้ เช่น ไลเคน (Lichen) เป็น สิ่งมีชีวิตสองชนิด คือ รา กับ สาหร่าย พบตามเปลือกต้นไม้ขนาดใหญ่ การอยู่ร่วมกันนี้ทั้งสาหร่ายและราต่างได้รับประโยชน์ กล่าวคือสาหร่ายสร้างอาหารได้เองแต่ต้องอาศัยความชื้นจากรา ส่วนราก็ได้อาศัยคู่อาหารที่สาหร่ายสร้างขึ้น



ภาพที่ 2-21 ภาวะพึ่งพากันของไลเคนบนต้นไม้ใหญ่

(<http://www.milkmag.org/burckhard%20page.htm>)

8. ภาวะปรสิต (Paratism +/-)

ร่างกายของสิ่งมีชีวิตสามารถเป็นแหล่งที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ดำรงชีพแบบปรสิต ผู้ถูกอาศัย (Host) จะเป็นฝ่ายเสียประโยชน์ ส่วนผู้ที่ไปอาศัย คือ ปรสิต (Parasite) จะเป็นฝ่ายได้รับประโยชน์เนื่องจากปรสิตจะคอยแย่งอาหาร หรือกินส่วนของร่างกายผู้ถูกอาศัย

ปรสิตแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

8.1 ปรสิตภายใน (Endoparasite) คือ ปรสิตที่อาศัยและหาอาหารอยู่ภายในร่างกายของผู้ถูกอาศัย เช่น พยาธิตัวตืด พยาธิใบไม้ พยาธิตัวกลมเป็นปรสิตภายในของมนุษย์

8.2 ปรสิตภายนอก (Ectoparasite) คือ ปรสิตที่อาศัยและเกาะกินอยู่ภายนอกในร่างกายของผู้ถูกอาศัย เช่น เหา ยุง เป็นปรสิตภายนอกของมนุษย์ (ภาพที่ 2-22)



ภาพที่ 2-22 ยุงเป็นปรสิตภายนอกของมนุษย์

(http://gnn.tigr.org/articles/10_02/parasite_mosquito.shtml)

9. ภาวะมีการย่อยสลาย (Saprophytism +/-)

ความสัมพันธ์อีกแบบหนึ่งของพวกเห็ด รา และแบคทีเรียที่อาศัยซากสิ่งมีชีวิตโดยการหลั่งเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ (Exoenzyme) เพื่อย่อยซากเหล่านั้น แล้วจึงดูดซึมสารที่ได้จากการย่อยเข้าสู่เซลล์ในรูปของของเหลว สิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตเช่นนี้เรียกว่า ผู้ย่อยสลาย (Decomposer) ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5.1.2 เช่น ราขึ้นบนผลไม้ที่สุกงอม ตามตอไม้ผุไม้หักขึ้น เป็นต้น

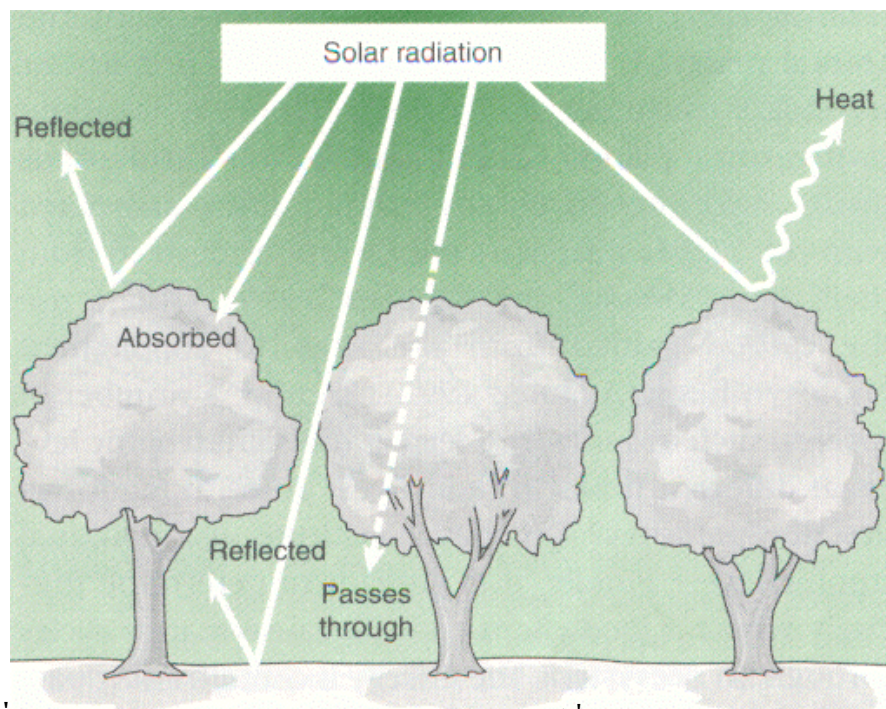
10. ภาวะมีการหลั่งสารห้ามการเจริญ (Antibiosis 0/-)

เป็นภาวะที่สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งหลั่งสารออกมานอกเซลล์ แล้วสารนั้นไปมีผลต่อการ เจริญเติบโต หรือการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง เช่น ราเพนิซิลเลียม (*Penicillium*) สร้างสารปฏิชีวนะ (Antibiotics) ชื่อเพนิซิลลิน (*Penicillin*) ออกมามีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย โดยราเพนิซิลเลียมไม่ได้รับหรือเสียประโยชน์ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Microcystis sp.*) หลั่งสารเคมีชื่อ ไฮดรอกซิลเอมีน (Hydroxylamine) ลงสู่ในบ่อ มีผลทำให้สัตว์ที่ดื่มน้ำนั้นตาย

2.2 การถ่ายทอดพลังงาน

2.2.1 กระบวนการถ่ายทอดพลังงาน

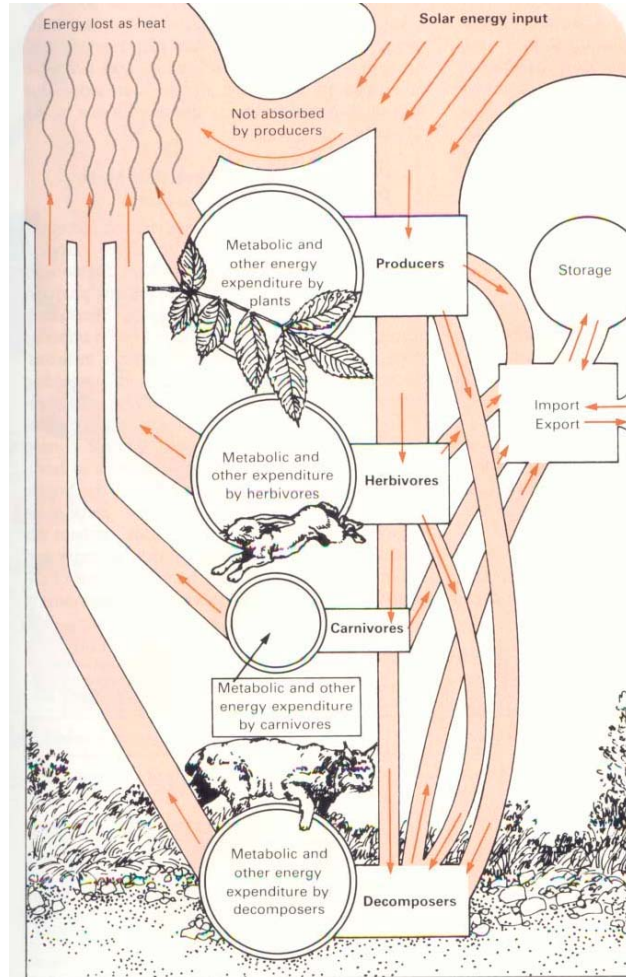
สิ่งมีชีวิตทุกชนิดในระบบนิเวศมีกิจกรรมต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องใช้พลังงาน สำหรับแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของโลกสิ่งมีชีวิต คือ ดวงอาทิตย์ (ประมาณ 99%) นอกจากนั้นก็มาจากแหล่งอื่น เช่น ดวงจันทร์ การเผาไหม้ เป็นต้น พลังงานแสงสว่างจาก ดวงอาทิตย์เข้าสู่ระบบนิเวศ โดยผู้ผลิตจะนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้เพียงส่วนน้อย คือประมาณร้อยละ 1-2 ของพลังงานแสงทั้งหมด (ภาพที่ 2-23)



ภาพที่ 2-23 แผนภาพแสดงพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ที่ผู้ผลิตสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสง

(Krohne. 2001 : 369)

พลังงานศักย์หรือพลังงานเคมีในรูปสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ลิพิด และโปรตีน สะสมในเนื้อเยื่อของผู้ผลิตและจะถูกถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภคตามลำดับขั้นต่อไป (ภาพที่ 2-24)



ภาพที่ 2-24 แสดงการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ

(Kupchella and Hyland. 1989 : 37)

ในระบบนิเวศการกินอาหารต่อกันเป็นทอด ๆ เพื่อการถ่ายทอดพลังงาน (Trophic niche) ของสิ่งมีชีวิต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

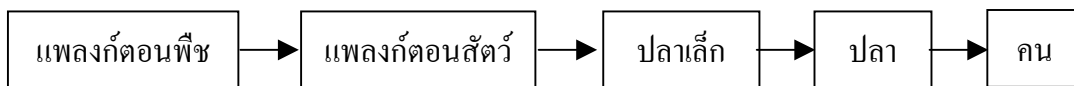
1. ห่วงโซ่อาหาร (Food chain) คือ กระบวนการถ่ายทอดพลังงานโดยการกินอาหารจากสิ่งมีชีวิตระดับหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอีกระดับหนึ่งเป็นแนว หรือทิศทางเดียว นิยมเริ่มต้นห่วงโซ่อาหารจากผู้ผลิต โดยมีรูปแบบของ ห่วงโซ่อาหาร และตัวอย่างของห่วงโซ่อาหารดังนี้ (ภาพที่ 2-25)



ภาพที่ 2-25 แสดงตัวอย่างของห่วงโซ่อาหาร

ห่วงโซ่อาหาร แบ่งเป็น 4 แบบ คือ

1.1 ห่วงโซ่อาหารแบบผู้ล่า (Predator chain หรือ Grazing food chain) เป็น ห่วงโซ่อาหารแบบจับกินเป็นลำดับขั้น โดยเริ่มจากผู้ผลิตหรือพืชถูกกินโดยผู้บริโภคพืช จากนั้น ผู้บริโภคพืชถูกกินต่อโดยผู้บริโภคสัตว์ และผู้บริโภคสัตว์ถูกกินโดยผู้บริโภคสัตว์ลำดับต่อ ๆ ไป ดังนั้นการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหารแบบนี้ จึงประกอบด้วยผู้ล่า (Predator) และเหยื่อ (Prey) (ภาพที่ 2-26)



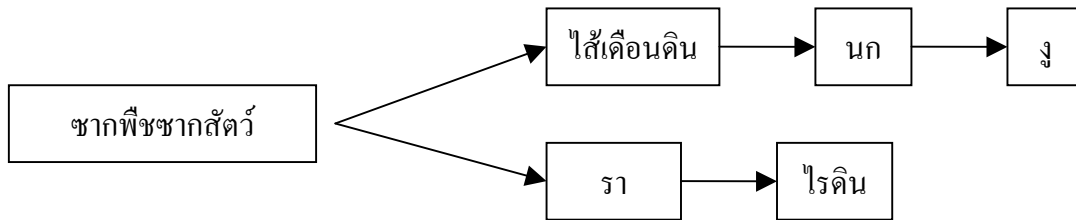
ภาพที่ 2-26 ตัวอย่างห่วงโซ่อาหารแบบผู้ล่า

1.2 ห่วงโซ่อาหารแบบปรสิต (Parasitic chain) เริ่มจากผู้ถูกอาศัย (Host) จะ ถ่ายทอดพลังงานไปสู่ปรสิต และจากปรสิตไปสู่ปรสิตอันดับสูงกว่า (Hyperparasite) โดยมี รูปแบบของห่วงโซ่อาหารและตัวอย่าง ดังนี้ (ภาพที่ 2-27)



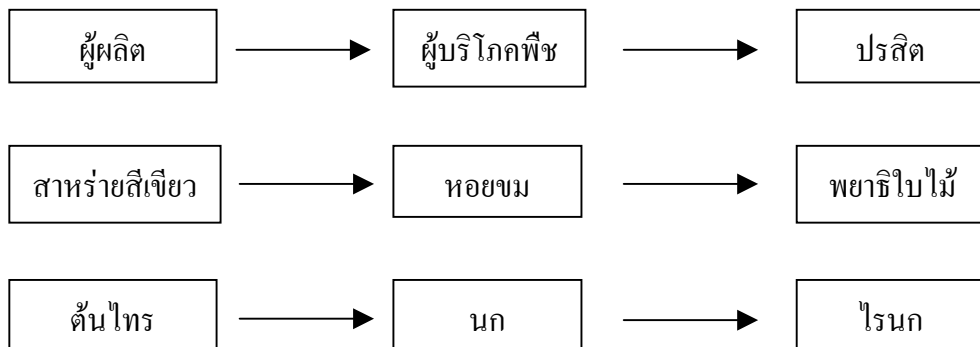
ภาพที่ 2-27 รูปแบบและตัวอย่างห่วงโซ่อาหารแบบปรสิต

1.3 ห่วงโซ่อาหารแบบเศษอินทรีย์ (Detritus chain) เป็นห่วงโซ่อาหารที่เริ่มจากซากพืชหรือซากสัตว์ (Detritus) ถูกกินโดยผู้บริโภครากพืชหรือซากสัตว์ซึ่งจะถูกกินต่อโดย ผู้บริโภคสัตว์ หรือเริ่มจากซากพืชซากสัตว์ถูกย่อยโดยรา และราถูกกินโดยผู้บริโภคเป็นอาหาร ดังตัวอย่างภาพที่ 2-28



ภาพที่ 2-28 ตัวอย่างห่วงโซ่อาหารแบบเศษอินทรีย์

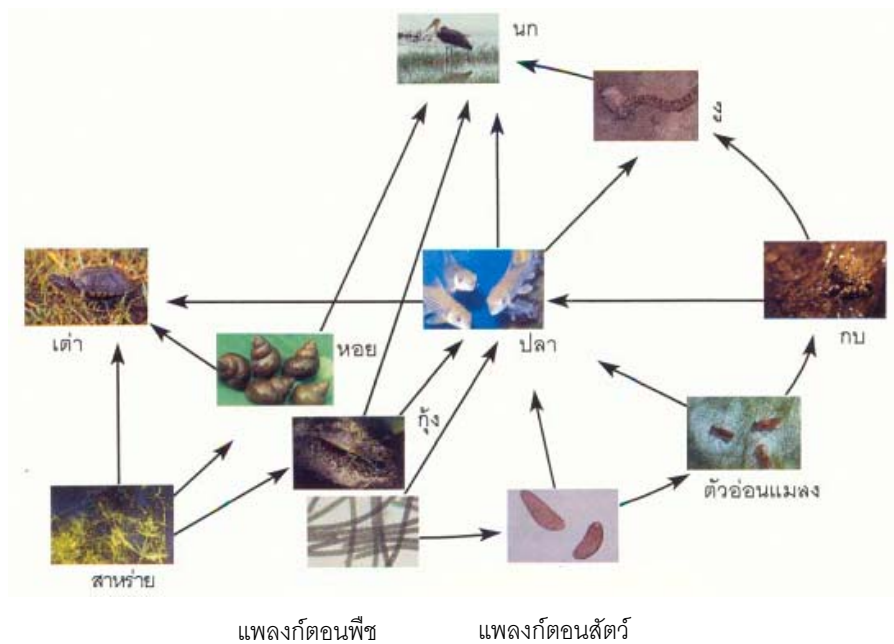
1.4 ห่วงโซ่อาหารแบบผสม (Mixed chain) เป็นห่วงโซ่อาหารที่มีการถ่ายทอดพลังงานระหว่างสิ่งมีชีวิตหลาย ๆ ประเภท ซึ่งในแต่ละห่วงโซ่อาหารอาจมีทั้งแบบผู้ล่า และแบบปรสิต เช่น เริ่มต้นจากผู้ผลิตจะถ่ายทอดพลังงานไปยังผู้บริโภคที่กินพืชซึ่งจะถ่ายทอดพลังงานต่อไปยังปรสิต เป็นต้น (ภาพที่ 2-29)



ภาพที่ 2-29 รูปแบบและตัวอย่างห่วงโซ่อาหารแบบผสม

2. สายใยอาหาร (Food web) หมายถึง ห่วงโซ่อาหารที่ซับซ้อนหลายๆ ชุด (Complex food chain) ซึ่งต่อเนื่องกัน ทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานในรูปอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิตที่มีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อน จึงมีโอกาสถ่ายทอดพลังงานได้หลายทิศทาง

ความสัมพันธ์เชิงอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิต ในลักษณะสายใยอาหารจะเกิดในธรรมชาติจริงๆ มากกว่าในลักษณะห่วงโซ่อาหาร เพราะว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดกินอาหารได้หลายชนิด และสิ่งมีชีวิตบางชนิดเป็นอาหารของสัตว์ได้หลายชนิด จึงเกิดห่วงโซ่อาหารเชื่อมโยงกันคล้ายใยแมงมุม ดังตัวอย่างภาพที่ 2-30



ภาพที่ 2-30 ตัวอย่างสายใยอาหารในระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

(สุรินทร์ มัจฉาชีพ และสมสุข มัจฉาชีพ. 2539 : 10)

หากกลุ่มของสิ่งมีชีวิต ซึ่งแสดงด้วยสายใยอาหาร ในภาพที่ 5-18 นี้สมดุล แสดงว่า

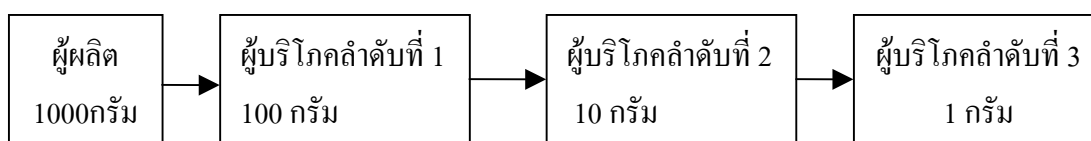
1. สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตได้แก่ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช ควรจะมีปริมาณมากที่สุด สายใยอาหารนี้จึงจะสมดุล

2. ผู้บริโภคบางชนิดอาจจัดเป็นผู้บริโภคได้หลายลำดับ เช่น ถ้าปลากินแพลงก์ตอนพืช ปลาจัดเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 1 ถ้าปลากินแพลงก์ตอนสัตว์ (แพลงก์ตอนสัตว์ เป็นผู้บริโภคลำดับที่ 1 เพราะกินแพลงก์ตอนพืช) ปลาจัดเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 2 และถ้าปลากินตัวอ่อนแมลง (ตัวอ่อนแมลงเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 2 เพราะกินแพลงก์ตอนสัตว์) ดังนั้นปลาเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 3

3. ถ้าปริมาณของผู้บริโภคชนิดใดชนิดหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนอย่างกะทันหัน ไม่ว่าจะเป็นโดยการเพิ่มหรือลดจำนวนในปริมาณมากๆ ทำให้ความสมดุลของสายใยอาหารเปลี่ยนไป เช่น ภูมิประเทศน้อยลงหรือเคลื่อนย้ายไปอยู่แหล่งอื่นจนหมด จะทำให้กบและปลามีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากกบและปลาไม่ถูกจับกิน เมื่อกบและปลาเพิ่มจำนวนมากขึ้นจะทำให้สิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารของกบและปลาในลำดับชั้นอาหารที่ต่ำกว่ามีจำนวนเปลี่ยนแปลงไปด้วย เนื่องจากถูกปลาและกบกินมากกว่าปกติ

2.2.2 ประสิทธิภาพการส่งต่อพลังงาน

ในสภาพอุดมคติประสิทธิภาพการส่งต่อ หรือการถ่ายทอดพลังงานทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต พลังงานเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ที่เก็บสะสมไว้ในพืชสีเขียวจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของสัตว์กินพืช พลังงานส่วนใหญ่ คือประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปในกระบวนการ เมแทบอลิซึม สูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน และในรูปของกากอาหาร ทำนองเดียวกันสัตว์ที่กินต่อกันในลำดับขั้นต่าง ๆ ของห่วงโซ่อาหารจะได้รับพลังงานสะสมที่ถูกเปลี่ยนเป็น มวลชีวภาพเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นพลังงานที่ถูกถ่ายทอดจะลดลงตามลำดับตามความยาวของ ห่วงโซ่อาหาร ดังตัวอย่างภาพที่ 2-31

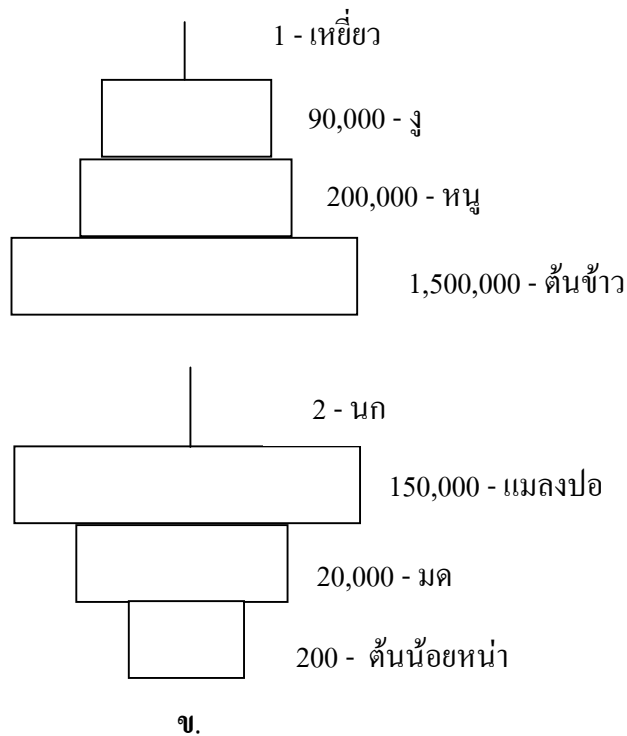


ภาพที่ 2-31 แสดงพลังงานศักย์ในรูปของมวลชีวภาพที่สะสมในเนื้อเยื่อของผู้บริโภค ลำดับต่างๆ

การถ่ายทอดพลังงานในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า “กฎ 10 เปอร์เซ็นต์” (Ten percent law) มีความสรุปว่า “พลังงานศักย์ที่สะสมในรูปเนื้อเยื่อของผู้บริโภคแต่ละลำดับขั้นจะน้อยกว่า พลังงานศักย์ที่สะสมในเนื้อเยื่อผู้บริโภคลำดับขั้นต่ำกว่าที่ถัดกันลงมาประมาณ 10 เท่า”

ในสภาพธรรมชาติการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหารแต่ละลำดับขั้นอาจไม่เป็นไปตามกฎ 10 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งอาจน้อยกว่าหรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร และวิธีการวัด การถ่ายทอดพลังงานสามารถอธิบายในรูปของแผนภาพรูปแท่งซ้อนๆ กัน โดยให้ ผู้ผลิตเป็นแท่งอยู่ในระดับต่ำสุด และสิ่งมีชีวิตที่มีลำดับของอาหารสูงขึ้นจะอยู่สูงขึ้นไปตามลำดับขั้น ทำให้ได้รูปปิรามิด มักเรียกว่า **ปิรามิดอาหาร** (Food pyramid) แบ่งออกเป็น 3 แบบ

1. ปิรามิดแสดงจำนวน (Pyramid of number) เป็นปิรามิดที่บอกจำนวนสิ่งมีชีวิตในแต่ละลำดับขั้นอาหาร ใช้หน่วยเป็น ต้นหรือตัว ต่อหน่วยพื้นที่ หรือปริมาตร วิธีนี้วัดได้ง่ายโดยการนับ แต่มีข้อเสียที่ขนาดร่างกายของสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันมาก แต่ต้องนับเป็น 1 หน่วยเหมือนกัน จึงทำให้รูปร่างปิรามิดแสดงจำนวนของระบบนิเวศเกิดความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันมากจนยากที่จะเปรียบเทียบได้ เพราะให้ความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเกินความเป็นจริง เช่น ต้นสักขนาดใหญ่แต่ละต้นจะนับเป็น 1 หน่วยเหมือนกับต้นหญ้าเล็กๆ ทั้งๆ ที่ต้นสัก 1 ต้นมีพลังงานศักย์สะสมในเนื้อเยื่อมากกว่าต้นหญ้า 1 ต้นหลายเท่า



ภาพที่ 2-32 พีรามิดจำนวนของ

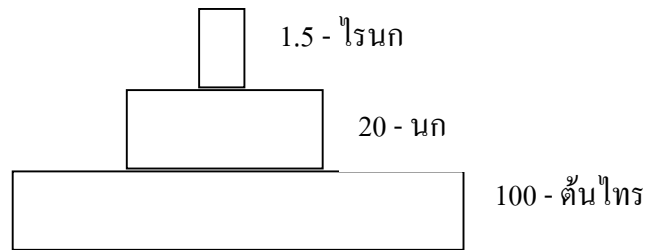
ข. สิ่งมีชีวิตในทุ่งนา

ก. สิ่งมีชีวิตในสวนน้อยหน่า

เมื่อพิจารณาแนวการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหารหนึ่ง ๆ โดยทั่วไปสัดส่วนของจำนวนสิ่งมีชีวิตก็จะมีลักษณะเป็นรูปพีรามิดฐานกว้าง (ภาพที่ 2-32 ก.) โดยผู้ผลิตซึ่งมีจำนวนมากที่สุดอยู่ตรงตำแหน่งฐานพีรามิด ผู้บริโภคลำดับต่าง ๆ อยู่ถัดขึ้นไปตามลำดับจะลดลง

นอกจากนี้พีรามิดของจำนวนสิ่งมีชีวิต อาจไม่จำเป็นต้องมีลักษณะของพีรามิดฐานกว้างอย่างเดียว อาจจะมีลักษณะพีรามิดฐานแคบก็ได้ (ภาพที่ 2-32 ข.)

2. พีรามิดน้ำหนักหรือมวลของสิ่งมีชีวิต (Pyramid of biomass) เป็นพีรามิดแสดงปริมาณสิ่งมีชีวิตในแต่ละลำดับขั้นอาหาร ในหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry weight) หรือน้ำหนักสดของ สิ่งมีชีวิตที่ยังไม่อบแห้ง (Wet weight) หรือจำนวนแคลอรี (Calory value) ต่อหน่วยพื้นที่ หรือปริมาตร (ภาพที่ 2-33)



ก.



ข.

หน่วย : กิโลกรัม

ภาพที่ 2-33 ปิรามิดน้ำหนัก

ก. สิ่งมีชีวิตบริเวณต้นไทร

ข. สิ่งมีชีวิตในทะเลสาบน้ำจืด

น้ำหนักหรือมวลชีวภาพ (Biomass) เป็นน้ำหนักเนื้อเยื่อที่ยังคงมีชีวิตต่อหน่วยพื้นที่ หรือ ปริมาตร หรืออาจเป็นเนื้อเยื่อส่วนที่ตายแล้ว เช่น ท่อลำเลียงน้ำของพืช แต่ยังสามารถทำหน้าที่ ค้ำจุนให้เนื้อเยื่อส่วนที่มีชีวิตยังคงทำหน้าที่เกี่ยวกับการดำรงชีวิตได้ตามปกติ

น้ำหนักแห้ง คือการเอาสิ่งมีชีวิตมาอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ เช่น น้ำหนักแห้งของข้าวต้อง อบจนน้ำหนักไม่เปลี่ยนไป

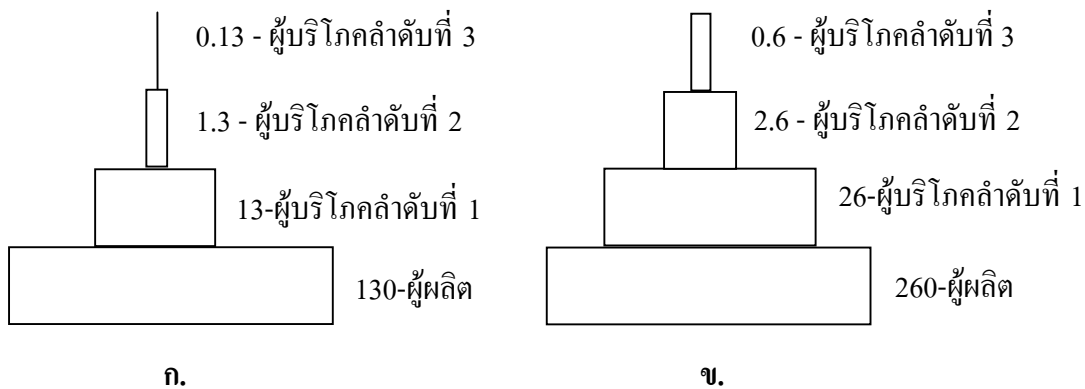
น้ำหนักสด เป็นน้ำหนักสิ่งมีชีวิตที่เก็บเกี่ยวมาชั่งในช่วงนั้น ดังนั้นน้ำหนักสดจะมากกว่า น้ำหนักแห้งเสมอ

เนื่องจากบางกรณีปิรามิดจำนวนมีความคลาดเคลื่อนมาก จึงมีการเสนอปิรามิดในรูปของ ปิรามิดมวลชีวภาพ (Pyramid of biomass) โดยการคาดคะเนมวลรวมของน้ำหนักแห้งของสิ่งมีชีวิตแต่ละลำดับแทนการนับจำนวน ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องตามความเป็นจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จำนวนหรือมวลชีวภาพก็ยังมีเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา นักศึกษาคงเคยสังเกตว่า ในสระน้ำจืดช่วงที่เป็นฤดูร้อนจะมีสีเขียวเข้ม เนื่องจากมีพืชน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก แต่จะไม่พบในช่วงฤดู

ฝนที่มีฝนตกติดต่อกันหลายวัน จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ถ้าศึกษาเฉพาะฤดู สามารถแก้ความคลาดเคลื่อนโดยหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากทุกฤดู

3. พีรามิดแสดงพลังงาน (Pyramid of Energy) เป็นพีรามิดแสดงปริมาณสิ่งมีชีวิตในอัตราของการถ่ายทอดพลังงาน หรือผลผลิตของแต่ละลำดับขั้นอาหาร โดยใช้หน่วยของน้ำหนักหรือพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ หรือปริมาตรต่อหน่วยเวลา เช่น กิโลแคลอรี/ตารางเมตร/ปี

เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันมาก เช่น ต้นสัก แม้ว่าจะมีมวลหรือปริมาณมากกว่าสาหร่ายเซลล์เดียวจำนวนเป็นล้านเซลล์ แต่สาหร่ายเซลล์เดียวเจริญเติบโต ขยายพันธุ์ได้รวดเร็วกว่ามาก ในช่วงเวลา 1 ปี จะให้ผลผลิตที่เป็นอาหารของผู้บริโภคได้มากกว่าต้นสักเสียอีก ดังนั้น จึงมีการเสนอข้อมูลของปิรามิดในรูปของปิรามิดพลังงาน (Pyramid of energy) พีรามิดแบบนี้ให้ภาพความสัมพันธ์ของปริมาณพลังงานในแต่ละลำดับขั้นอาหารได้ดีขึ้น



หน่วย : กิโลแคลอรี/ตารางเมตร

ภาพที่ 2-34 พีรามิดพลังงาน

ก. ในป่าผลัดใบ

ข. ในทุ่งหญ้า

โดยปกติปิรามิดพลังงานเป็นรูปหัวตั้งเสมอ (ภาพที่ 5-22) แต่ปิรามิดจำนวนและน้ำหนักอาจหัวตั้งหรือหัวกลับก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของห่วงโซ่อาหาร ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ประโยชน์ของปิรามิดอาหาร

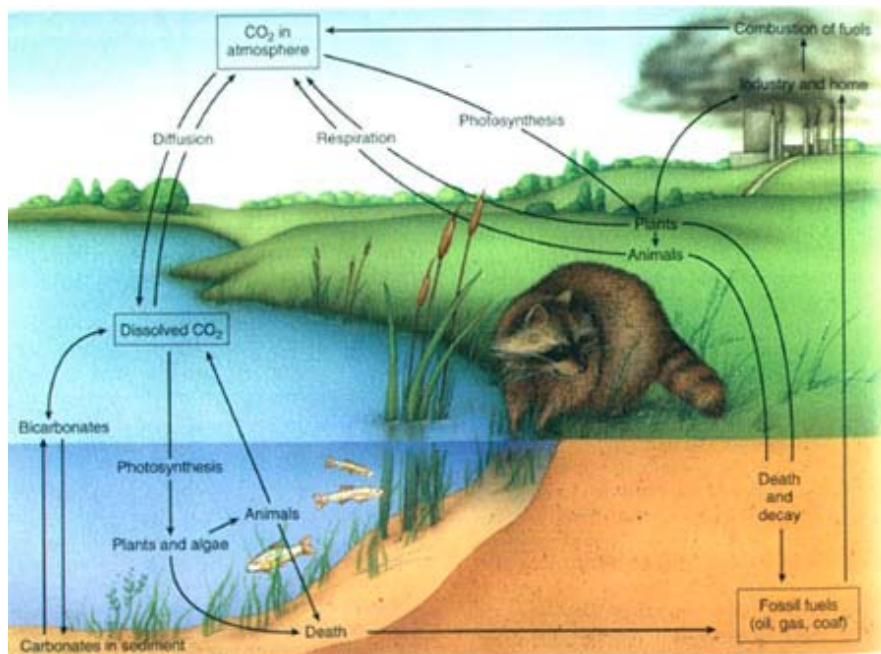
1. แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของลำดับขั้นอาหารในระบบนิเวศได้โดยง่าย และชัดเจน
2. ใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะการถ่ายทอดพลังงานของระบบนิเวศต่างๆ

2.3 การหมุนเวียนของธาตุ

2.3.1 การหมุนเวียนของคาร์บอน

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการธาตุคาร์บอน เพราะเป็นธาตุหลักในสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด คาร์บอนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการหมุนเวียนระหว่างสิ่งไม่มีชีวิตและสิ่งมีชีวิตในรูปของ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งมีอยู่ประมาณ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของ ไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 50 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือน้ำเข้าสู่พืชแล้วถูกสร้างเป็นสารอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง อาหารที่พืชสร้างนี้สามารถถ่ายทอดไปยังสัตว์ได้ทางห่วงโซ่อาหาร พืชและสัตว์ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศด้วยกระบวนการหายใจ เมื่อพืชและสัตว์ตายลงถูกย่อยสลายเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศได้ บางส่วนของพืชที่ตายทับถมกันบนดินกลายเป็นถ่านหิน สิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมในชั้นหินกลายเป็นน้ำมัน และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้คาร์บอนไดออกไซด์คืนสู่บรรยากาศ รวมทั้งการระเบิดของภูเขาไฟเป็นครั้งคราวก็เป็นอีกตัวการหนึ่งที่ทำให้เชื้อเพลิงฟอสซิลเปลี่ยนคาร์บอนกลับคืนสู่บรรยากาศได้เช่นกัน

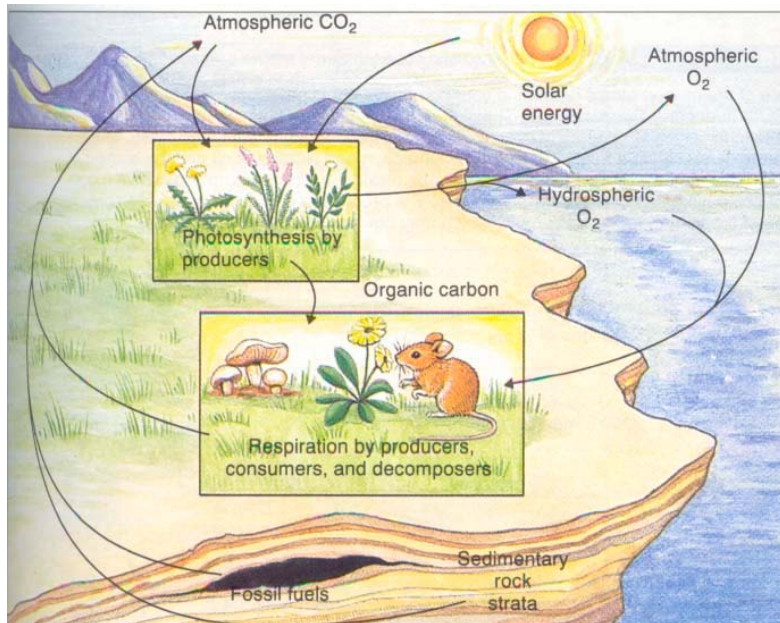


ภาพที่ 2-35 วัฏจักรของคาร์บอน

(Raven and Johnson. 2002 : 574)

2.3.2 การหมุนเวียนของออกซิเจน

ออกซิเจนมักอยู่ในรูปของแก๊สออกซิเจนอิสระทั้งในบรรยากาศ น้ำ และดิน ในรูปของสารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร ดังภาพที่ 2-36



ภาพที่ 2-36 แผนผังแสดงวัฏจักรของคาร์บอน-ออกซิเจน-ไฮโดรเจน

(Mix, Farber and King. 1992 : 113)

แหล่งสะสมของออกซิเจน คือ บรรยากาศ โดยอยู่ในรูปของออกซิเจนโมเลกุลและโอโซน การหมุนเวียนของออกซิเจนระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเกิดโดยกระบวนการหายใจร่วมกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

จากปฏิกิริยาการหายใจ $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ ออกซิเจนอิสระในบรรยากาศถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาได้เป็นองค์ประกอบของน้ำ ส่วนออกซิเจนในสารอินทรีย์ถูกเผาผลาญกลายเป็นองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนกระบวนการสังเคราะห์แสง $CO_2 + H_2O \rightarrow CH_2O + O_2$ จะได้ออกซิเจนออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ (CH_2O) และออกซิเจนอิสระอีกครั้งหนึ่ง ออกซิเจนอิสระได้จากการแตกตัวของน้ำ ส่วนออกซิเจนในสารประกอบอินทรีย์ได้มาจากคาร์บอนไดออกไซด์

นักวิทยาศาสตร์ได้คำนวณไว้ว่า ออกซิเจนอิสระ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการหายใจผลิตโดยสาหร่ายสีเขียวในน้ำ ดังนั้นมนุษย์ไม่ควรทำลายผู้ผลิตออกซิเจน หากทำลายก็เท่ากับเราทำลายตัวเอง

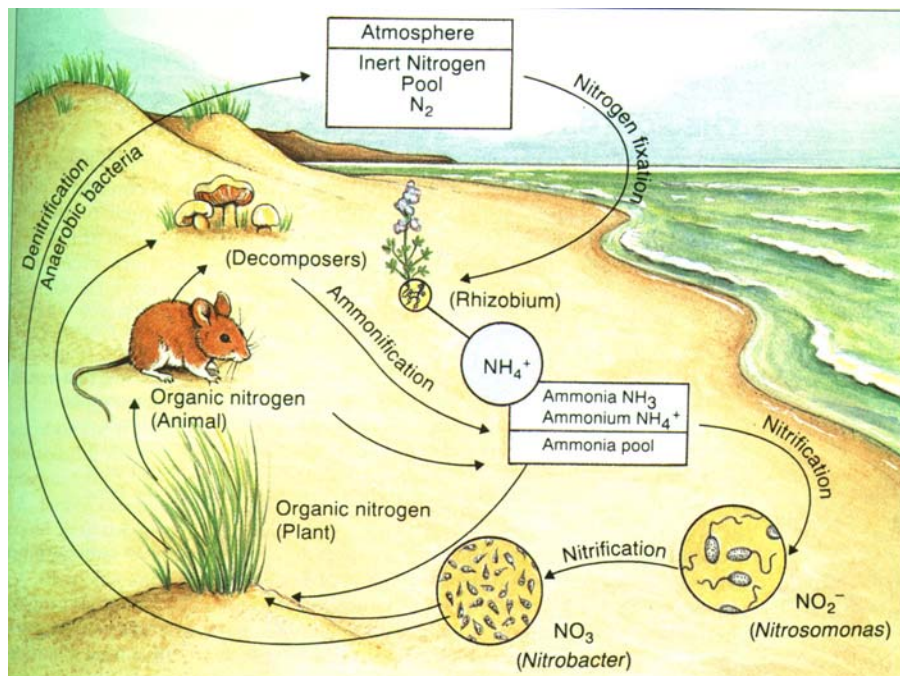
ออกซิเจนในบรรยากาศบางส่วนสูญหายไปในรูปแบบของตะกอน ซึ่งยากต่อการกลับคืนสู่วัฏจักร

ได้อีก ตะกอนก้นทะเลซึ่งถูกออกซิไดส์จะถูกทับถมกันเป็นแถบให้เห็นได้ชัดเจนระหว่างตะกอนส่วนที่มีเหล็กมากและส่วนที่มีเหล็กน้อยสลับกัน ธาตุเหล็กนี้ส่วนใหญ่เป็นไอออน III (Fe^{3+}) ซึ่งอยู่ในรูปออกไซด์ และส่วนน้อยของธาตุเหล็กเป็นไอออน II (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในรูปรีดิวส์ ตะกอนเหล่านี้ทับถมกันเป็นเวลานานนับพันล้านปี ตะกอนอีกรูปหนึ่งของออกซิเจนเกิดขึ้นได้ในก้นทะเลในรูปของหินปูน

2.3.3 การหมุนเวียนของไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่สำคัญและมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก อากาศส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนประมาณร้อยละ 78 แต่ทั้งสัตว์และพืชไม่สามารถนำมาใช้ได้ เพราะการที่จะนำไนโตรเจนมารวมกับธาตุอื่นต้องใช้พลังงานมาก ดังนั้นจึงต้องเก็บไว้ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ไนไตรต์ แอมโมเนีย และเก็บในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ยูเรีย เป็นต้น แต่มีพืชบางชนิด เช่น พืชตระกูลถั่วสามารถนำเอาไนโตรเจนมาใช้ได้โดยตรง พืชชนิดนี้สร้างโปรตีนและกรดนิวคลีอิกได้ โดยใช้ไนโตรเจนที่ได้รับทางรากในรูปของสารประกอบจำพวกเกลือไนเตรต ส่วนสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากพืชอีกต่อหนึ่ง หรือได้รับจากสัตว์ด้วยกันในรูปของกรดอะมิโน

วัฏจักรไนโตรเจนมีลำดับการเปลี่ยนแปลงดังนี้ (ภาพที่ 2-37)



ภาพที่ 2-37 แผนภาพแสดงวัฏจักรของไนโตรเจน

(Mix, Farber and King. 1992 : 115)

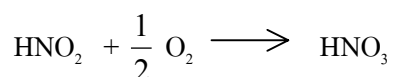
1. ซากพืชซากสัตว์ที่ตายลง ใบไม้ที่ร่วงลงดิน ตลอดจนสิ่งขับถ่าย ซึ่งมีองค์ประกอบของไนโตรเจนจะผ่านลงสู่ดินหรือน้ำ แบคทีเรียในดินหรือน้ำ ซึ่งได้แก่ ยูโรบาซิลลัส (*Urobacillus sp.*) และคลอสตริเดียม (*Clostridium sp.*) จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำบางชนิดยังขับถ่ายแอมโมเนียออกมารวมกัน ด้วยกระบวนการเช่นนี้ จึงเป็นการเปลี่ยนกรดอะมิโนหรือโปรตีนที่อยู่ในซากสิ่งมีชีวิตและในของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึมให้เป็นแอมโมเนีย จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า การสร้างแอมโมเนีย (Ammonification) แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมีชื่อทางการค้าว่า แอมโมนิไฟอิง แบคทีเรีย (Ammonifying bacteria) จะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้แท้ที่จริงแล้วคือการสกัดไนโตรเจนที่มากเกินไปทิ้งนั่นเอง

2. แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในดินได้เกลือแอมโมเนียม ซึ่งเมื่อแตกตัวแล้วจะได้ไอออนแอมโมเนียม (NH_4^+) พืชสีเขียวบางชนิดใช้ไอออนแอมโมเนียมให้เป็นประโยชน์ โดยดูดเข้าทางรากโดยตรงเพื่อนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน เมื่อสัตว์กินพืชมากขึ้น ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นโปรตีนชนิดใหม่

3. ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) แบคทีเรียบางชนิด เช่น ไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas sp.*) และไนโตรคอคคัส (*Nitrococcus sp.*) ทำหน้าที่ออกซิไดส์แอมโมเนียให้เป็นสารประกอบไนไตรต์ (NO_2^-) โดยใช้แอมโมเนียมไอออนเป็นแหล่งพลังงาน



จากนั้นแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter sp.*) และไนโตรคอคคัส (*Nitrococcus sp.*) ซึ่งอาศัยไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) จะออกซิไดส์ไนไตรต์เป็นไนเตรต ดังสมการ



กระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ และการเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรต เรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

ไนเตรตไอออนจะถูกชะล้างได้ง่ายเพราะเป็นตัวยวดยิ่งที่พืชจึงดูดซึมไปใช้หรือเคลื่อนย้ายตามการไหลของน้ำในดิน

4. ดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) เช่น ซูโดโมแนส (*Pseudomonas sp.*) เปลี่ยนไนเตรตให้กลับเป็นแก๊สไนโตรเจนในอากาศ กระบวนการขั้นนี้เรียกว่า การสร้างไนโตรเจน (Denitrification)

5. การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในอากาศให้กลับเป็นองค์ประกอบโมเลกุลของสาร เช่น ยูเรีย โปรตีน และกรดนิวคลีอิก กระบวนการขั้นนี้เรียกว่า การจับไนโตรเจน (Nitrogen fixation) แบคทีเรียที่จับไนโตรเจน (Nitrogen fixing bacteria) คือ แบคทีเรียที่อาศัยในปมรากพืชตระกูลถั่ว ซึ่ง

ได้แก่ ไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) แบคทีเรียพวกนี้เป็นตัวนำเอาไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ในการดำรงชีวิต และเปลี่ยนเป็นสารประกอบ แล้วพืชจึงนำสารประกอบดังกล่าวไปสร้างโปรตีนและกรดนิวคลีอิก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

การจับไนโตรเจนนี้ เกิดจากกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ

5.1 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี ได้แก่ การเกิดฟ้าแลบ ฟ้าผ่า และการตกของอุกกาบาต ทำให้เกิดพลังงานสูงพอที่จะเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่นำไปใช้ได้ต่อไปได้อีก

5.2 กระบวนการทางชีวภาพ ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย สาหร่าย ยีสต์ เป็นต้น สิ่งมีชีวิตที่ทำหน้าที่จับไนโตรเจนแบ่งเป็นสองประเภทคือ สิ่งมีชีวิตที่ต้องมีชีวิตร่วมกับผู้อื่น (Symbiosis nitrogen fixer) ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียสกุลไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) ซึ่งอาศัยแบบภาวะพึ่งพากัน กับปมรากถั่ว สิ่งมีชีวิตอีกประเภทหนึ่งคือ พวกที่ดำรงชีวิตได้อย่างอิสระ (Free living nitrogen fixer) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เช่น อนาบีน้า (*Anabena* sp.) นอสตอค (*Nostoc* sp.)
ออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.)
- แบคทีเรีย ได้แก่ อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* sp.) คลอสตริเดียม (*Clostridium* sp.)
บาซิลลัส (*Bacillus* sp.)
- ยีสต์ ได้แก่ โรโดทอรูลา (*Rhodothorulla* sp.)

นอกจากกระบวนการดังกล่าวแล้ว ตัวการที่มีบทบาทต่อการเกิดวัฏจักรไนโตรเจนก็คือ การระเบิดของภูเขาไฟ และการตกตะกอนของสารต่าง ๆ

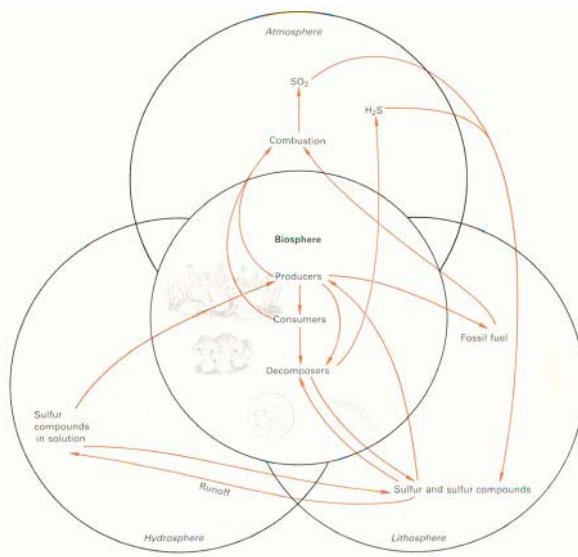
พืชบางชนิด เช่น หม้อข้าวหม้อแกงลิง หยาดน้ำค้าง กาบหอยแครง ได้รับสารประกอบไนโตรเจนแตกต่างจากพืชอื่น โดยมีส่วนของใบเปลี่ยนแปลงไปคล้ายกับดักแมลง เมื่อแมลงตกลงไปจะมีเอนไซม์ย่อยเนื้อเยื่อแมลง ได้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่เซลล์พืชได้

2.3.4 วัฏจักรของกำมะถัน

กำมะถันเป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งในการสังเคราะห์โปรตีนหลายชนิด แหล่งกำมะถันส่วนใหญ่ได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ทับถมในดิน หรือตกตะกอนทับถมกันในดิน ในบรรยากาศพบกำมะถันเป็นจำนวนน้อย กำมะถันที่พบทั้งในดิน น้ำ บรรยากาศ ล้วนอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ตัวการที่เปลี่ยนแปลงและควบคุมกำมะถันให้เป็นสารประกอบรูปต่าง ๆ มีทั้งตัวการทางชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย ตัวการทางกายภาพ ได้แก่ การกักเซาะและการตกตะกอน เป็นต้น

สารประกอบอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ถูกแบคทีเรียทำการย่อยสลายได้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกออกซิไดส์ต่อไปโดย ซัลเฟอร์ ออกซิไดซิง แบคทีเรีย (Sulfer oxidizing bacteria) ได้เป็นซัลเฟตซึ่งจะถูกพืชดูดไปใช้เป็นอาหารได้โดยตรง

ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็วหลังจากเกิดการสลายตัวของโปรตีน พืชและสัตว์เมื่อเกิดการทับถมกันจะทำให้เกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาในระหว่างการเน่าเสีย กำมะถันในซากพืชและสัตว์บางส่วนจะถูกสะสมหรือตกตะกอนทับถมเป็นถ่านหินและน้ำมันปิโตรเลียมเป็นเวลานาน จนกว่าจะมีการนำออกมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้ซึ่งจะได้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมา แก๊สนี้เมื่ออยู่ในบรรยากาศจะรวมตัวกับละอองน้ำซึ่งตกลงมาเป็นเม็ดฝนของกรดกำมะถัน เรียกว่า ฝนกรด (Acid rain) ซึ่งจะกัดกร่อนสิ่งต่าง ๆ ทำให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อการหายใจของมนุษย์ ปริมาณ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกฝนชะล้างให้น้อยลงจากบรรยากาศและเมื่อตกลงสู่ดินสิ่งมีชีวิตในดินจะเปลี่ยนเป็นซัลเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้เป็นอาหารได้โดยตรง แต่เมื่ออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน ซัลเฟตจะถูกซัลเฟอร์ฟิซิง แบคทีเรีย (Sulfur fixing bacteria) ออกซิไดส์ให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ใหม่ ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกโฟโตซินเทติก แบคทีเรีย (Photosynthetic bacteria) เช่น แบคทีเรีย สีเขียว สีม่วง และเคโมซินเทติก แบคทีเรีย (Chemosynthetic bacteria) เช่น ไทโอ-บาซิลลัส (*Thiobacillus sp.*) เปลี่ยนให้เป็นซัลเฟตใหม่ได้อีก (ภาพที่ 2-38)



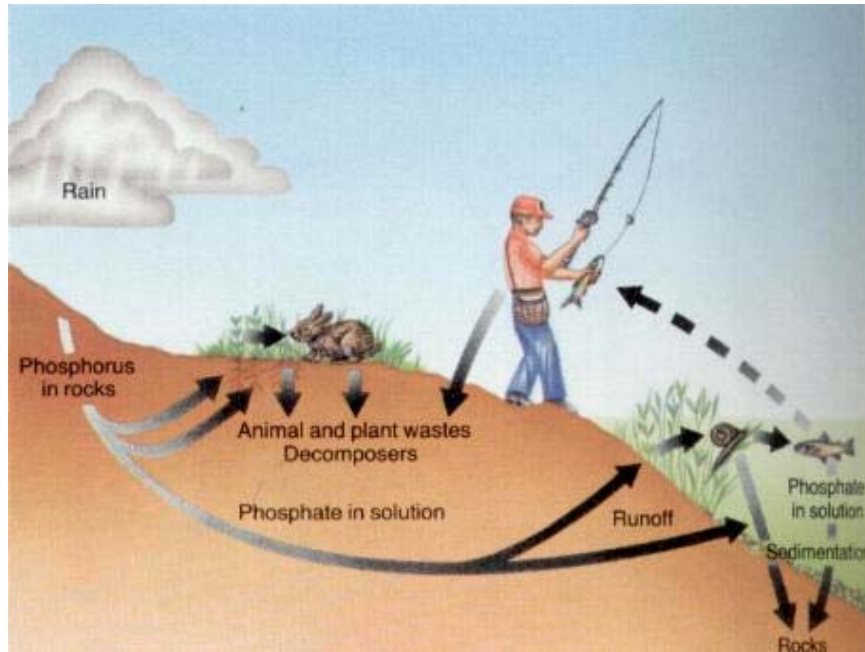
ภาพที่ 2-38 แผนภาพแสดงวัฏจักรของกำมะถัน

(Kupchella and Hyland. 1989 : 58)

2.3.5 วัฏจักรของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด และ ATP ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ฟอสเฟตคือ แคลเซียมฟอสเฟตหรือหินฟอสเฟต เมื่อแร่และหินผุพังหรือสึกกร่อน ฟอสฟอรัสจะสลายตัวตามธรรมชาติละลายในน้ำได้ดิน สิ่งมีชีวิตใช้ฟอสฟอรัสในน้ำมาสร้างโพแทสเซียม เมื่อพืชและสัตว์ตายลงฟอสเฟไทซิง แบคทีเรีย (Phosphatizing bacteria) จะสลายธาตุฟอสฟอรัสกลับสู่ดินและน้ำอีกกลายเป็นฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ เช่น CaHPO_4 ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้นี้จะถูกพืชนำไปใช้โดยตรงหรืออาจตกตะกอนเป็นหินฟอสเฟตในทะเลซึ่งละลายน้ำยาก เช่น $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ นำมาใช้ไม่ได้ สำหรับฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ง่ายนี้บางส่วนจะถูกพัดพาลงทะเล กลายเป็นโพแทสเซียมของสิ่งมีชีวิต

ในทะเลทั้งแพลงก์ตอนและตัวปลา ส่วนที่เหลือจะตกตะกอนในทะเลลึก (ภาพที่ 2-39) ถ้าสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวยนกกินปลาจะมีส่วนอย่างมากในวงจรของฟอสฟอรัสโดยทำให้ฟอสฟอรัสกลับขึ้นมาบนบกได้อีกเกิดเป็นแหล่งฟอสเฟตชนิดกัวโน (Guano) ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของมูลนกและกระดูกนกเช่นเดียวกับมูลค้างคาว ชาติในโตรเจนที่เกิดรวมอยู่ในมูลสัตว์เหล่านี้ละลายน้ำได้ดีมากจึงถูกพัดพาไปหมด คงเหลือไว้แต่ธาตุฟอสฟอรัสที่สลายตัวยากกว่าซึ่งฟอสฟอรัสในส่วนนี้ไม่อาจนำไปใช้ได้ แหล่งฟอสฟอรัสเท่าที่พบในประเทศไทยล้วนแล้วแต่เกิดแบบแหล่งกัวโนทั้งสิ้น เช่น แหล่งฟอสเฟตที่อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน



ภาพที่ 2-39 แผนภาพแสดงวัฏจักรของฟอสฟอรัส

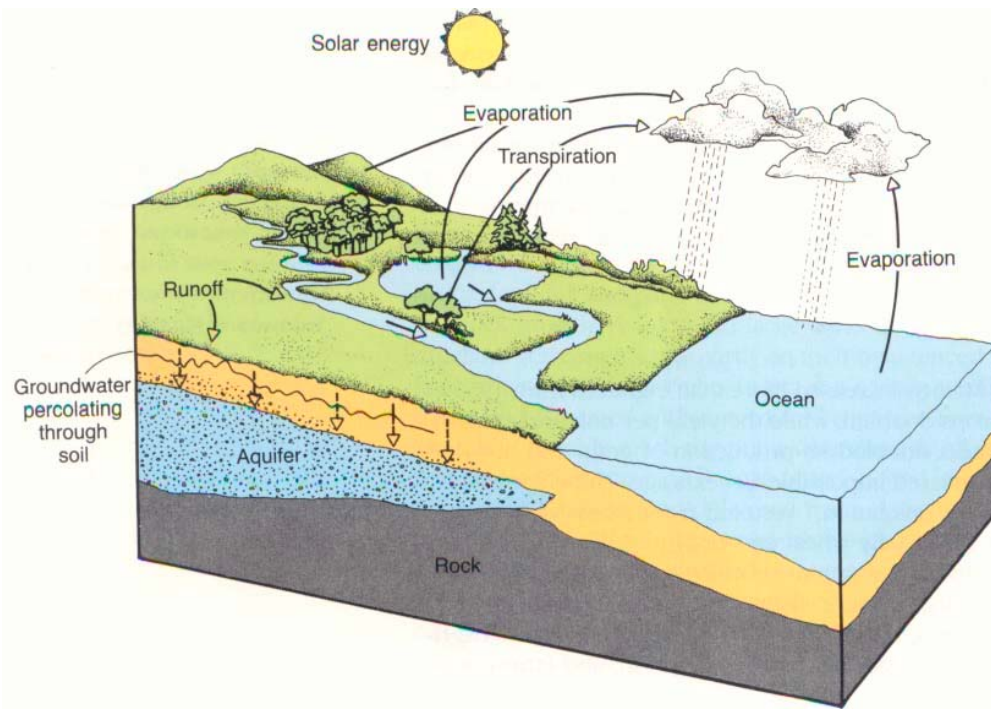
(Arms and Pamela. 1991 : 782)

เนื่องจากฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในสภาพหินฟอสเฟตและถูกนำไปใช้ไม่ได้ จึงทำให้พื้นดินที่มีการกสิกรรมมาก ๆ ขาดฟอสเฟตมากขึ้น

สิ่งที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับฟอสฟอรัสก็คือ ผงซักฟอกซึ่งมีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบนั้นเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง จะปรากฏฟองจากผงซักฟอกให้เห็นชัดเจน ฟองเหล่านี้เป็นตัวสกัดกั้นการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของผิวน้ำและบรรยากาศ นอกจากนี้แหล่งน้ำ ที่มีฟอสเฟตสะสมจะเป็นแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายเพิ่มจำนวนอย่างมากภายในเวลาอันรวดเร็ว ผลที่ตามมาภายหลังจากการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายคือ ภาวะน้ำเน่าเสีย

วัฏจักรของน้ำ

น้ำเป็นสารอนินทรีย์ที่มีมากที่สุดบนโลก คือมีประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมดของโลกจากการวิเคราะห์เซลล์ของสิ่งมีชีวิตพบว่า ในเซลล์สิ่งมีชีวิตบางชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการต่าง ๆ ใน สิ่งมีชีวิต และเกิดการหมุนเวียนเป็นวัฏจักรตลอดเวลา วัฏจักรของน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ (ภาพที่ 2-40)



ภาพที่ 2-40 แผนภาพแสดงวัฏจักรของน้ำ

(Arms and Pamela. 1991 : 822)

1. วัฏจักรระยะสั้น เป็นวัฏจักรที่ไม่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต น้ำจากแหล่งเก็บน้ำใหญ่ ๆ เช่น ทะเล ทะเลสาบ ระเหยสู่บรรยากาศแล้วรวมตัวเป็นเมฆตกลงมาเป็นฝน ไหลกลับลงสู่พื้นดินและแหล่งเก็บน้ำอีก โดยในวันหนึ่ง ๆ น้ำทะเลระเหยกลายเป็นไอน้ำประมาณ 875 ลูกบาศก์กิโลเมตร และจะกลั่นตัวกลับสู่ทะเล 775 ลูกบาศก์กิโลเมตร ในรูปของฝนและหิมะ 100 ลูกบาศก์กิโลเมตร ที่เหลือลมทะเลพัดเข้าสู่แผ่นดิน ในวันหนึ่งฝนตกโดยเฉลี่ยทั่วโลก 260 ลูกบาศก์กิโลเมตร ซึ่งได้จากน้ำที่ระเหยไปจากแม่น้ำลำธาร บ่อ บึง และอื่น ๆ 160 ลูกบาศก์กิโลเมตร ส่วนอีก 100 ลูกบาศก์กิโลเมตรได้จากลมพัดมาจากทะเล น้ำบนพื้นทวีปได้จากฝนตกเฉลี่ย 71 เซนติเมตรต่อพื้นที่ทวีป ต่อปี ในจำนวนนี้มีการระเหย 47 เซนติเมตรต่อพื้นที่ทวีปต่อปี ที่เหลือเป็นส่วนที่ไหลลงสู่ทะเล และซึมลงสู่ใต้ผิวดิน ซึ่งพืชจะนำไปใช้ได้บางส่วน และบางส่วนกลายเป็นน้ำใต้ดิน

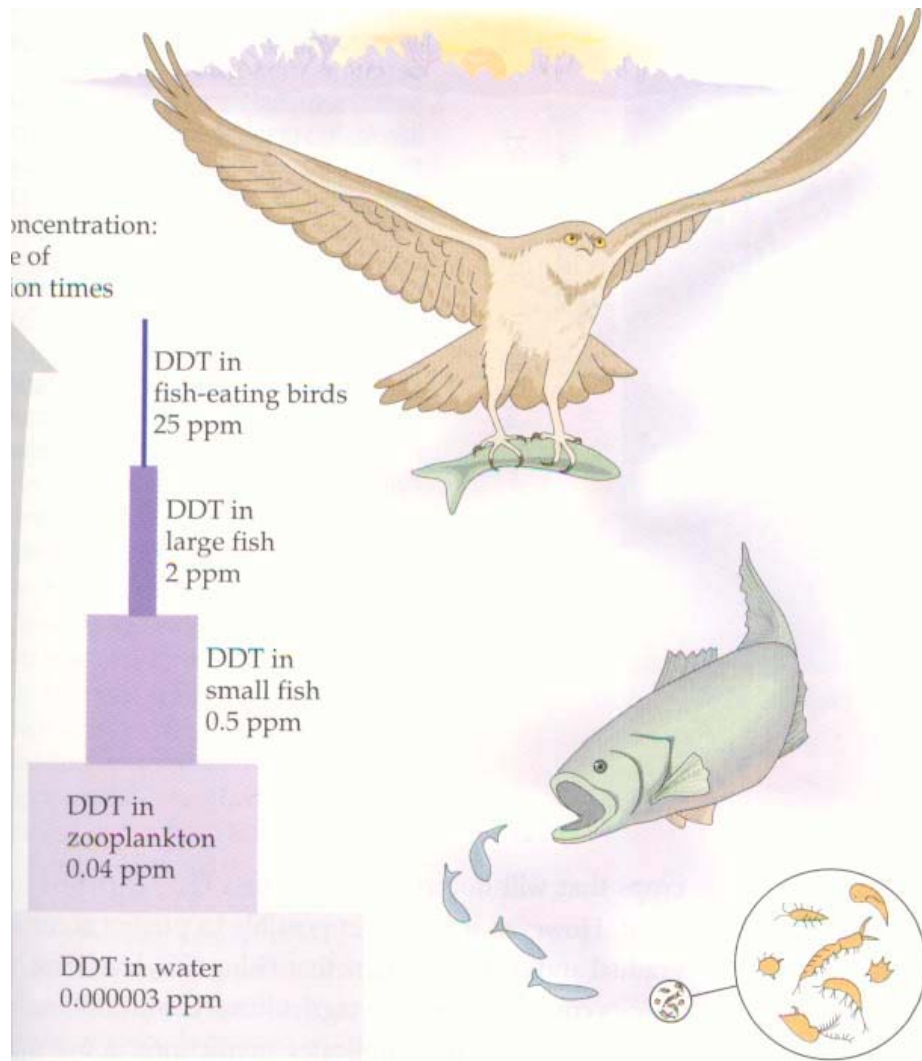
2. วัฏจักรระยะยาว เป็นวัฏจักรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต โดยเริ่มจากพืชดูดน้ำขึ้นไปใช้ทางรากแล้วคายออกทางใบ รวมทั้งไอน้ำที่ได้จากการหายใจของพืชระเหยขึ้นไปรวมกับไอน้ำในบรรยากาศกลายเป็นเมฆ แล้วตกเป็นฝนไหลลงสู่พื้นดินและแหล่งน้ำอีก

วัฏจักรของแคลเซียม

สารประกอบแคลเซียมพบในดิน และละลายอยู่ในน้ำได้บ้าง เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารประกอบแคลเซียมได้ ดังนั้นจึงพบสารประกอบแคลเซียมทับถมอยู่ในดินหรือเป็นตะกอนที่ก้นแหล่งน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปหลายล้านปีทำให้กลายเป็นหิน หรือส่วนหนึ่งของภูเขาไปได้ สิ่งมีชีวิตนำแคลเซียมไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเพื่อให้เกิดความแข็งแรง เช่น หอยนำแคลเซียมไปเป็นส่วนประกอบของเปลือกหอย ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ในมนุษย์ช่วยทำให้เกิดการแข็งตัวของเลือด และช่วยในการนำกระแสประสาท วัฏจักรของแคลเซียมจะสัมพันธ์กับวัฏจักรของฟอสฟอรัส เนื่องจากอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต

2.3.6 การถ่ายทอดสารพิษในระบบนิเวศ

โดยมากเรานึกว่าธรรมชาติจะดูดซับสารพิษได้หมด จึงไม่ค่อยระมัดระวังในการกำจัดสารพิษในสภาพแวดล้อม เช่น การใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ทำให้มีสารตกค้างตามดินพืช และตามผิวดิน จะถูกชะล้างไปกับน้ำฝนและไหลลงสู่แหล่งน้ำ สารพิษเหล่านี้เป็นสารที่สลายตัวช้าจะสะสมในแหล่งน้ำนั้นมากขึ้น ซึ่งจะมีผลกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น สัตว์ที่กินอาหารโดยการกรอง (Filter Feeding) จะสะสมพิษได้สูงมาก (ภาพที่ 2-43) โดยเฉพาะหอยนางรม ซึ่งกินอาหารโดยการกรองอยู่ในน้ำดื่มใกล้ฝั่งที่มีการทิ้งของเสียลงมามาก และยังไม่ทันแพร่กระจาย ดังนั้นหอยนางรมจึงมีสารพิษสูงกว่าในน้ำมาก เช่น พบว่ามียาฆ่าแมลงชนิดคลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbon) ได้แก่ ดีดีที (DDT) ดัลดริน (Dieldrin) เอนดริน (Endrin) อัลดริน (Aldrin) คลอเดน (Chlordane) เป็นต้น ในหอยนางรมสูงกว่าในน้ำถึง 70,000 เท่า ดังนั้นสารจะแพร่กระจายไปตามลำดับชั้นการบริโภคเข้าสู่ผู้บริโภคลำดับสุดท้าย หรือเข้าสู่มนุษย์จนเป็นอันตรายได้นั่นเอง



ภาพที่ 2-43.... การสะสมของดีดีทีในห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ

(Campbell, Recce and Mitchell. 1999 : 1147)