

บทที่ 11

การดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อม

Living Environment

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. อธิบายความหมายและคุณสมบัติของประชากรสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงขนาดและการเจริญเติบโตของประชากร
3. บอกองค์ประกอบของระบบนิเวศ
4. อธิบายระบบนิเวศแบบต่าง ๆ บนพื้นดิน น้ำจืด และน้ำเค็ม
5. อธิบายการถ่ายทอดพลังงานและสารในกลุ่มสิ่งมีชีวิต
6. อธิบายการหมุนเวียนของสารในระบบนิเวศ
7. อธิบายการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ
8. อธิบายความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบต่าง ๆ
9. อธิบายการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมที่เกิดจากการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดเมื่อเกิดขึ้นมาแล้วย่อมจะต้องมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมทั้งที่มีชีวิตและไร้ชีวิตจนตลอดชีวิต สิ่งแวดล้อมเหล่านี้จะเป็นทั้งที่อยู่อาศัยและอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยเกื้อหนุนให้ชีวิตดำรงอยู่และดำเนินต่อไปได้ กระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ และร่างกายของสิ่งมีชีวิตล้วนถูกควบคุมด้วยปัจจัยของสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น พืชมีกระบวนการสร้างอาหารด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ มีพลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้กระบวนการดำเนินไปได้ ทั้งพืชและสัตว์ต่างก็ใช้แก๊สออกซิเจนในการสันดาบอาหารให้เกิดพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมของชีวิต สิ่งมีชีวิตในธรรมชาติต่างดำรงชีวิตด้วยการพึ่งพากันในลักษณะของสายใยอาหาร คือการกินต่อกันเป็นทอด ๆ และมีการหมุนเวียนสารระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไร้ชีวิตเป็นวัฏจักรที่ทำให้เกิดความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสารต่าง ๆ ในธรรมชาติตลอดไป มนุษย์ได้เรียนรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไร้ชีวิตมาเป็นเวลานาน

แล้ว แต่เนื่องจากในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เจริญมาก มีการใช้เพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์จนขาดการควบคุม อาจจะทำให้สมดุลในธรรมชาติเสียไปและมีผลเสียกับมนุษย์เอง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม และปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมให้มากขึ้น

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมาเป็นเวลานาน จนพัฒนาขึ้นเป็นสาขาวิชาหนึ่งในชีววิทยา โดยในปี 1869 Ernst Haeckel นักชีววิทยาชาวเยอรมันเสนอให้วิชาที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต (Organisms) กับสิ่งแวดล้อม (Environment) เป็นนิเวศวิทยา (Ecology) มีขอบเขตของการศึกษาตั้งแต่ระดับย่อยถึงระดับใหญ่ คือ สมาชิกแต่ละตัวในชนิดเดียวกัน (Individual) ชนิดของสิ่งมีชีวิต (Species) ประชากร (Population) สังคมหรือกลุ่มประชากร (Communities) ระบบนิเวศ (Ecosystem) และโลกของสิ่งมีชีวิตหรือชีวนภาพ (Biosphere)

11.1 ประชากร (Population)

ในนิเวศวิทยา ประชากร หมายถึง สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่อาศัยร่วมบริเวณเดียวกันในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ผึ้งนกเปิดน้ำที่อพยพมาจากประเทศจีนมาอาศัยอยู่ที่อ่างแก้วในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เดือนธันวาคม-มกราคมของทุกปี ก็จะเป็นประชากรคนละกลุ่มกับนกเปิดน้ำที่อาศัยอยู่ในประเทศจีน หรือที่อื่น ประชากรทางนิเวศวิทยาจึงต่างจากประชากรทางสถิติ คือ ต้องมีชีวิตอยู่ในเวลานั้น เป็นชนิดเดียวกัน (Single Species) ทั้งหมด มีบริเวณที่อยู่อาศัยที่เดียวกัน มีช่วงระยะเวลาที่อาศัยตลอดจนมีกิจกรรมร่วมกัน

การที่สิ่งมีชีวิตมาอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มจำนวนหนึ่ง ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของกลุ่มหลายลักษณะ ได้แก่ มีขนาด หรือความหนาแน่นประชากร ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยขนาดประชากรเพิ่มขึ้นหรือลดลง ประชากรแต่ละกลุ่มมีการกระจายของอายุ คือ ประชากรมีอายุต่างกันอยู่ปะปนกัน สมาชิกในกลุ่มมีความสัมพันธ์กันทั้งในด้านการช่วยเหลือเกื้อกูล และแก่งแย่งแข่งขันกัน ตลอดจนมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับประชากรอื่น ๆ ในหลายรูปแบบ

ความหนาแน่นประชากร (Population Density)

ประชากรแต่ละกลุ่มจะมีขนาดประชากร (Population Size) คือ มีจำนวนสมาชิกทั้งหมดในกลุ่มที่แตกต่างกัน เช่น ตั๊กแตนป่าทั้งป่า 1,500 ตัว ข้าวโพด 2,000 ต้น พารามีเซียม 850 เซลล์ เป็นต้น การบอกขนาดประชากรด้วยจำนวนหน่วยประชากรทำให้มองภาพประชากรได้ไม่ชัดเจน จึงมักใช้ค่าความหนาแน่นประชากร (Population Density) แทนจำนวนประชากร

ความหนาแน่นประชากร คือ จำนวนประชากรต่อหน่วยพื้นที่สำหรับสิ่งมีชีวิตบนพื้นดิน และต่อหน่วยปริมาตรสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ตั๊กแตนป่า 500 ตัวต่อตารางกิโลเมตร แพลงก์ตอนสัตว์ (Zoo Plankton) 10,000 ตัวต่อน้ำทะเล 1 ลิตร เป็นต้น การใช้ค่าความหนาแน่นประชากรในการเปรียบเทียบ ทำให้เห็นความแตกต่างของขนาดประชากรแต่ละกลุ่มได้ชัดเจน

การหาความหนาแน่นประชากร

การหาความหนาแน่นประชากรทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดและพฤติกรรมของประชากร

1. การนับจำนวนจริง (Total Count) เป็นการนับจำนวนสมาชิกทั้งหมดของประชากร เช่น นับจำนวนต้นสักทั้งป่า ช้างในป่า สำนะโนประชากร เป็นต้น เป็นวิธีที่ใช้เวลามาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่เป็นความหนาแน่นของประชากรที่แท้จริง (True Density)

2. การสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling Method) เป็นวิธีการนับประชากรจากกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาจำนวนหนึ่ง แล้วนำมาคำนวณเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด วิธีนี้ผู้ศึกษาต้องไม่มีอคติ (Bias) โดยไม่ทำการเลือกสุ่มเฉพาะสิ่งที่ต้องการนับเท่านั้น การสุ่มตัวอย่างมีหลายรูปแบบ แล้วแต่ชนิดของประชากรและลักษณะการแพร่กระจายของประชากรว่าสม่ำเสมอหรือไม่

2.1 สุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (Quadrat Sampling Method) ทำโดยแบ่งพื้นที่ที่ต้องการสำรวจเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสแปลงละ 1 ตารางเมตร ให้หมายเลขตารางแล้วจับฉลากมาจำนวนหนึ่ง วางแปลง (Quadrat) นับประชากรเฉพาะตารางที่จับฉลากได้ นำมาหาค่าเฉลี่ยของแปลงหนึ่งว่ามีประชากรเท่าใด นำไปคูณกับพื้นที่ทั้งหมดจะได้จำนวนประชากรในพื้นที่ที่สำรวจ

ถ้าประชากรมีการแพร่กระจายไม่สม่ำเสมอ อาจใช้การแบ่งนับประชากรตามความหนาแน่น เช่น แบ่งเป็นบริเวณประชากรหนาแน่นมาก ปานกลาง และน้อย โดยสุ่มตัวอย่างทั้ง 3 บริเวณ นำมาหาค่าเฉลี่ยของแปลงแล้วคูณด้วยพื้นที่ทั้งหมด

การสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลงเหมาะกับการหาความหนาแน่นของพืช ซึ่งไม่เคลื่อนที่ หรือใช้กับสัตว์ที่เคลื่อนที่ช้า ในสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่ได้เร็วอาจต้องใช้การสุ่มแบบอื่น

2.2 วิธีทำเครื่องหมายและจับใหม่ (Marking and Recapture Method) เป็นวิธีการสุ่มที่เหมาะสมกับสัตว์ที่มีการแพร่กระจายในวงกว้าง เช่น ปลา เต่า นก ทำโดยจับสิ่งมีชีวิตที่ต้องการสำรวจมาติดเครื่องหมาย แล้วปล่อยกลับไปในธรรมชาติ เป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วไปสุ่มจับมาใหม่ ซึ่งจะมีทั้งตัวที่มีเครื่องหมายและไม่มีเครื่องหมาย นำมาคำนวณประชากรจากสูตร

$$\frac{P}{M} = \frac{p}{m}$$

เมื่อ	P	=	จำนวนประชากรทั้งหมดที่ต้องการสำรวจ
	M	=	จำนวนประชากรที่ทำเครื่องหมายแล้วปล่อยไป
	p	=	จำนวนประชากรที่จับได้ใหม่ทั้งหมด
	m	=	จำนวนประชากรที่จับได้และมีเครื่องหมาย

$$\text{หรือ จำนวนประชากร} = \frac{\text{จำนวนที่ติดเครื่องหมาย} \times \text{จำนวนที่จับได้ทั้งหมด}}{\text{จำนวนที่ติดเครื่องหมายที่จับได้}}$$

ตัวอย่าง จับปลามาจากสระ 50 ตัว ติดเครื่องหมายทั้ง 50 ตัว แล้วปล่อยลงสระเก่า จากนั้นอีก 6 เดือน จับปลาขึ้นมาใหม่ได้ 30 ตัว มีพวกติดเครื่องหมาย 5 ตัว ประชากรของปลาในสระมีเท่าใด

$$\text{ประชากรของปลา} = \frac{50 \times 30}{5} = 300 \text{ ตัว}$$

ข้อควรระวังในการทำเครื่องหมาย

- 1) ระยะเวลาห่างระหว่างการวัดจำนวนประชากรครั้งแรกและครั้งหลังไม่ควรห่างกันมากนัก คือ ประชากรจะต้องไม่มีการเพิ่มหรือลดในระหว่างช่วงเวลานั้น
- 2) ใช้ระยะเวลาในการปล่อยมากพอ เพื่อให้สัตว์ที่มีเครื่องหมายเข้าปะปนกระจายอยู่ทั่ว ๆ ไปในกลุ่มประชากร
- 3) สัตว์ที่ติดเครื่องหมายและไม่มีเครื่องหมายติด ต้องมีโอกาสถูกจับได้เท่ากัน
- 4) เครื่องหมายที่ติดไว้จะต้องไม่หลุดหรือมองเห็นได้ยาก
- 5) ถ้ามีการตายเกิดขึ้นในกลุ่มประชากร สัตว์ที่ติดเครื่องหมายและไม่มีเครื่องหมายติด ต้องมีโอกาสตายเท่ากัน

นอกจากนี้ยังมีการหาความหนาแน่นประชากรในเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งไม่สามารถบอกความหนาแน่นประชากรเป็นจำนวนได้ เรียกว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของประชากร ซึ่งศึกษาได้หลายวิธี ได้แก่

1. นับจำนวนร่องรอยที่เกิดจากสัตว์ เช่น ขี้ใส่เดือน จำนวนปลอกดักแด้ของแมลง จำนวนรูของปู จำนวนรอยเท้าของสัตว์ที่ลงมาหาอาหาร
2. จำนวนสัตว์ที่จับได้ในแต่ละครั้ง เช่น จำนวนปลา กุ้ง หมึก ปู หอย ที่จับได้แต่ละครั้ง สามารถชี้บอกขนาดประชากรของสัตว์น้ำเหล่านั้นว่ามีมากหรือน้อย
3. จำนวนสิ่งขับถ่าย เช่น มูลของสัตว์ที่ขับถ่ายไว้ เป็นตัวชี้วัดขนาดประชากรของสัตว์ได้ ถ้ารู้ปริมาณสิ่งขับถ่ายทั้งหมด และอัตราการขับถ่ายของสัตว์
4. จำนวนสัตว์ที่ติดกับดัก เช่น จำนวนหนูนา แมลงที่มาเล่นแสงไฟ จำนวนสัตว์เหล่านี้เป็นตัวชี้ขนาดประชากรได้
5. ปริมาณอาหารที่สัตว์กิน ถ้าต้องการทราบความหนาแน่นประชากร อาจดูจากอาหารที่เตรียมไว้ให้ว่าถูกกินไปมากน้อยเพียงใด
6. ร่องรอยความเสียหาย เช่น พืชที่ถูกแมลงกัดกิน

ความหนาแน่นของประชากร ถ้าเป็นจำนวนประชากรต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรที่เฉลี่ยจากพื้นที่ทั้งหมด เป็นความหนาแน่นของประชากรอย่างหยาบ (Crude Density) แต่ถ้าเป็นจำนวนประชากรต่อหนึ่งพื้นที่หรือปริมาตรที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่จริง เป็นความหนาแน่นของประชากรทางนิเวศวิทยา หรือความหนาแน่นจำเพาะ (Ecological Density หรือ Specific Density)

ตัวอย่าง พื้นที่ป่าแห่งหนึ่งมีพื้นที่ 50 ตารางกิโลเมตร มีต้นสักขึ้นอยู่ 15,500 ต้น เมื่อศึกษาโดยละเอียด พบว่า ต้นสักมีการเจริญเป็นกลุ่มอยู่ในบริเวณเดียวกันในพื้นที่ 30 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น

$$\begin{aligned}\text{ความหนาแน่นของประชากรอย่างหนาแน่น} &= \frac{\text{จำนวนประชากรทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}} \\ &= \frac{15,500}{50} \\ &= 310 \text{ ต้นต่อตารางกิโลเมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความหนาแน่นของประชากรทางนิเวศวิทยา} &= \frac{\text{จำนวนประชากรทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ที่อาศัยอยู่จริง}} \\ &= \frac{15,500}{30} \\ &= 516.6 \text{ ต้นต่อตารางกิโลเมตร}\end{aligned}$$

การกระจายของประชากร (Dispersion)

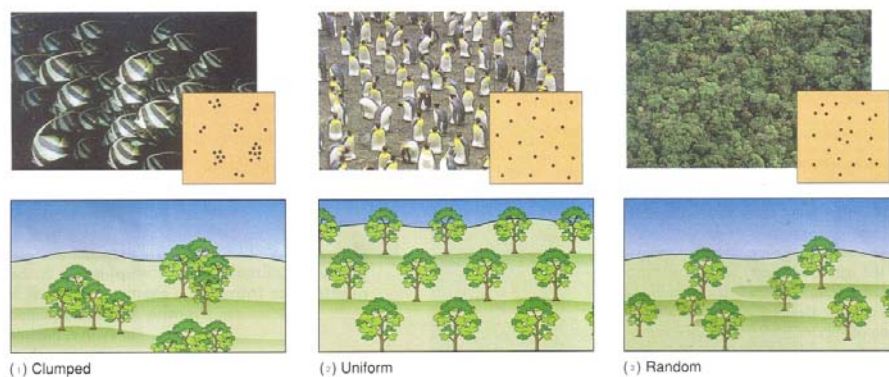
การกระจายของประชากร คือ การกระจายตัวของสมาชิกในกลุ่มประชากรในบริเวณที่อาศัย ลักษณะการกระจายของสิ่งมีชีวิตจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม รูปแบบของการกระจาย มักใช้พืชเป็นเกณฑ์ เนื่องจากพืชมีโครงสร้างถาวร เห็นได้ชัดเจนกว่าสัตว์ รูปแบบการกระจายปกติจะแบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่

1. การกระจายแบบกลุ่ม (Clumped Distribution) เป็นการกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณ มีการกระจุกตัวอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งเป็นกลุ่ม ๆ เป็นการกระจายที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพวกสัตว์ ซึ่งมีพฤติกรรมการอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มหรือสังคม การกระจายแบบนี้เนื่องมาจากปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ

2. การกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) เป็นการกระจายที่มีการจัดระเบียบ เพื่อให้ได้รับปัจจัยการดำรงชีวิตเท่า ๆ กัน เนื่องจากการกระจายตัวแบบนี้มักจะเป็นบริเวณที่มีปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตจำกัด แต่การกระจายของปัจจัยนั้นสม่ำเสมอ เช่น ในทะเลทรายมีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด รากของพืชจะกระจายออกเป็นรัศมี และ

รากแต่ละต้นจะไม่รูก้ากัน ทำให้ช่วงห่างระหว่างต้นเท่า ๆ กัน พืชทะเลทรายบางชนิดปล่อยสารพิษออกมาทางราก เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดของต้นอื่นมางอกใกล้ ๆ เป็นการลดการแก่งแย่ง ในสัตว์ก็เช่นกัน ก็มีการจัดระเบียบในเรื่องที่อยู่อาศัย เช่น นกที่ทำรังตามหน้าผาจะมีระยะห่างของรังพอ ๆ กัน

3. การกระจายแบบสุ่ม (Random Distribution) เป็นการกระจายสิ่งมีชีวิตที่ไม่เจาะจงที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปัจจัยการดำรงชีวิตมากและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ สิ่งมีชีวิตจึงอยู่อาศัยได้ทุกที่โดยมีการแก่งแย่งแข่งขันไม่สูง เช่น ต้นไม้ในป่าเขตร้อนชื้นจะเจริญเติบโตโดยไม่เจาะจงพื้นที่ เพราะพื้นดินมีความอุดมสมบูรณ์และมีความชื้นสูง



รูปที่ 11.1.1 รูปแบบการกระจายของประชากร

(จาก George B. Johnson, 1997. The Living World หน้า 584 และ Campbel et al. 1999)

โครงสร้างอายุประชากร (Age Structure)

ลักษณะเฉพาะของประชากรอย่างหนึ่ง คือ การกระจายของอายุ ซึ่งแต่ละกลุ่มประชากรจะมีโครงสร้างอายุที่แตกต่างกัน คือ มีจำนวนหรือสัดส่วนของกลุ่มสมาชิกอายุต่างกัน ในทางนิเวศวิทยาจะแบ่งโครงสร้างอายุประชากรเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการสืบพันธุ์ ได้แก่

วัยก่อนเจริญพันธุ์ (Prereproductive Age) คือ สมาชิกที่ยังสืบพันธุ์ไม่ได้

วัยเจริญพันธุ์ (Reproductive Age) คือ กลุ่มสมาชิกที่เริ่มต้นสืบพันธุ์ได้จนไม่สามารถสืบพันธุ์ได้

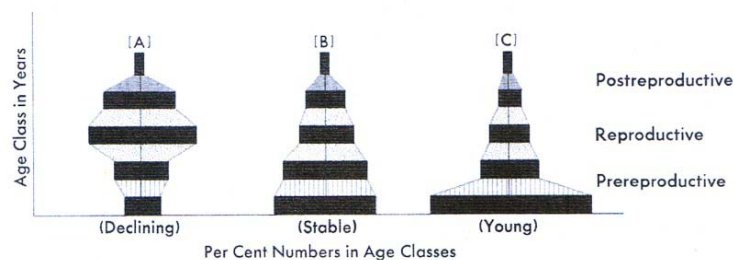
วัยหลังเจริญพันธุ์ (Postreproductive Age) คือ กลุ่มสมาชิกที่ไม่สืบพันธุ์อีกแล้ว สมาชิกทั้ง 3 กลุ่มนี้ ในแต่ละกลุ่มประชากรจะมีจำนวนที่แตกต่างกัน ถ้านำจำนวน

สมาชิกทั้ง 3 กลุ่ม มาแสดงเป็นสัดส่วนโดยใช้พื้นที่แทนจำนวนโครงสร้างอายุประชากรจะเป็นรูปปิรามิด เรียกว่า ปิรามิดอายุ (Age Pyramid) ซึ่งมีรูปแบบหลัก 3 แบบ ได้แก่

1. แบบที่มีฐานแคบ ตอนกลางกว้าง และปลายแคบ เป็นลักษณะปิรามิดอายุที่แสดงว่า ประชากรที่มีอายุน้อย คือ วัยก่อนเจริญพันธุ์น้อย ขณะที่วัยเจริญพันธุ์มีจำนวนมาก และวัยหลังเจริญพันธุ์น้อย แสดงว่าประชากรกลุ่มนี้มีแนวโน้มจะลดลง (Declining) ในอนาคต เนื่องจากวัยก่อนเจริญพันธุ์ที่จะเติบโตไปเป็นวัยเจริญพันธุ์มีน้อย

2. แบบที่มีฐานกว้างพอประมาณ ตอนกลางไม่กว้างมาก แสดงให้เห็นว่าในอนาคตจะมีประชากรคงที่ (Stable) เนื่องจากประชากรที่อยู่ในวัยก่อนเจริญพันธุ์ ซึ่งจะทำหน้าที่สืบพันธุ์มีจำนวนไม่มากและไม่ค่อยเกินไป ซึ่งจะไปทดแทนกับประชากรกลุ่มวัยเจริญพันธุ์ที่จะเปลี่ยนไปเป็นวัยหลังเจริญพันธุ์ได้อย่างพอดี

3. แบบที่มีฐานกว้างมาก ส่วนตอนกลางแคบ แสดงให้เห็นว่า ประชากรนี้ก่อนจะมีประชากรวัยก่อนเจริญพันธุ์มากและก่อนถึงวัยเจริญพันธุ์มีการตายสูง แต่ก็ยังคงมีจำนวนมากอยู่ แสดงว่าประชากรมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในอนาคต



รูปที่ 11.1.2 รูปแบบปิรามิดอายุของประชากร (จาก Boughey, 1973 ในโครงการตำราวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สอน. 2551 ชีววิทยา สัตววิทยา 3 หน้า 119)

การเติบโตของประชากร (Population Growth)

ขนาดของประชากรจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (Population Dynamics) ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเกิด การตาย การอพยพเข้า และการอพยพออก ปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้ประชากรเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากรไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง อาจกล่าวได้ว่าเป็นการเติบโตของประชากร (Population Growth) ดังนั้น การเติบโตของประชากรในช่วงเวลาหนึ่งจึงหาได้จากจำนวนประชากรที่เกิดหรืออพยพเข้าทั้งหมด ลบออกด้วยจำนวนประชากรที่ตาย หรืออพยพออกในช่วงเวลานั้น

รูปแบบการเติบโตของประชากร

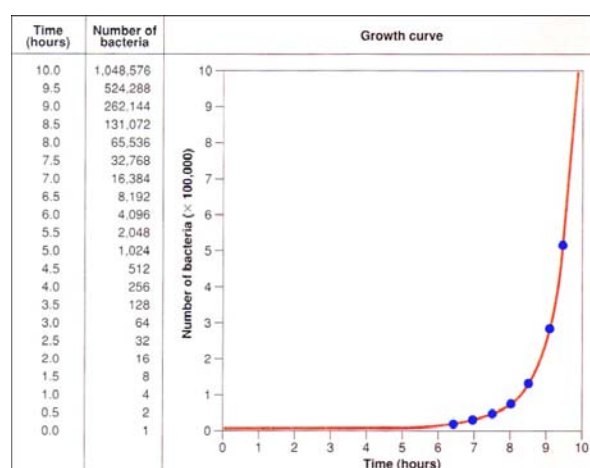
การเติบโตของประชากรจะเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ ซึ่งเป็นผลให้มีการเพิ่มประชากรสูงขึ้นในธรรมชาติ ความถี่ในการมีลูก (Frequency of Breeding) ขึ้นอยู่กับรูปแบบการสืบพันธุ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1) พวกที่สืบพันธุ์ครั้งเดียวในช่วงชีวิต (Semelparity หรือ Single Reproduction) ตัวเต็มวัย เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์จะผสมพันธุ์และออกลูกแล้วก็ตาย เช่น แมลงซีปะขาว ผีเสื้อ และตัวไหม พืชพวกข้าว ผักกาด เป็นต้น 2) พวกที่สืบพันธุ์ได้หลายครั้งในช่วงชีวิต (Iteroparity หรือ Multiple Reproduction) ได้แก่ สัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น คน สุนัข แมว นก ส่วนพวกพืช ได้แก่ พืชยืนต้น เช่น มะม่วง กระท้อน ขนุน เป็นต้น

พวกที่ออกลูกครั้งเดียว จะให้ลูกจำนวนมาก ในขณะที่พวกที่ออกลูกหลายครั้งจะให้ลูกจำนวนน้อยกว่า

จากรูปแบบการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต นำมาใช้อธิบายรูปแบบการเพิ่มของประชากร โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ แสดงด้วยกราฟการเติบโตของประชากร 2 แบบ ได้แก่

1. การเติบโตของประชากรแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Population Growth)

การเติบโตของประชากรแบบเอ็กโปเนนเชียล เป็นการเพิ่มประชากรแบบทวีคูณ เกิดในสิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์ครั้งเดียวในช่วงชีวิต กราฟการเติบโตของประชากร เรียกว่า Exponential Growth Curve มีรูปร่างเหมือนอักษร J จึงเรียกอีกอย่างว่า J-Shaped Growth Curve



รูปที่ 11.1.3 กราฟการเติบโตของประชากรแบบเอ็กโปเนนเชียลของแบคทีเรีย (จาก George B. Johnson, 1997)

การเติบโตแบบเอ็กโปเนนเชียล มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ระยะ คือ

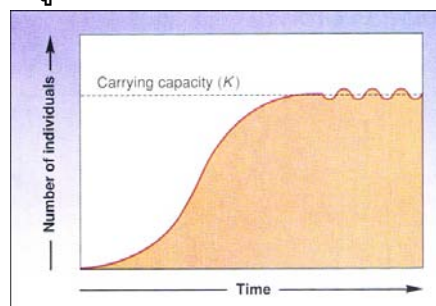
1) Lag Phase เป็นระยะเริ่มต้น เป็นช่วงที่จำนวนประชากรมีน้อย มีการเพิ่มอย่างช้า ๆ

2) Exponential Growth Phase เป็นระยะที่มีการเพิ่มของประชากรอย่างรวดเร็ว เป็นการเพิ่มแบบทวีคูณ เส้นกราฟทางทฤษฎีหรือภาวะเหตุการณ์ทางอุดมคติ (Idealized Circumstances) เส้นกราฟจะพุ่งขึ้นไปไม่มีที่สิ้นสุด โดยสถานการณ์ที่ไม่มีสิ่งขัดขวางการเติบโต แต่ในสถานการณ์ที่เป็นจริง เมื่อนับจำนวนประชากรจริง กราฟจะไม่เป็นเช่นนั้น เพราะในธรรมชาติย่อมต้องมีตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อม (Environmental Resistance) ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อาหาร ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะเป็นสิ่งยับยั้งไม่ให้อาชีพเพิ่มอย่างไม่หยุดยั้ง

ในสถานการณ์ที่เป็นจริง กราฟช่วงทวีคูณจะเป็นรูปตัวเจ ในระยะต่อจากนั้นประชากรจะลดลงอย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นสลับกัน (Irruptive Growth)

2. การเติบโตของประชากรแบบลอจิสติก (Logistic Population Growth)

การเติบโตของประชากรแบบลอจิสติก เป็นการเติบโตภายใต้ปัจจัยของสภาพแวดล้อม หรือตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อม ในธรรมชาติปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตมักมีอยู่จำกัด จำนวนสมาชิกในประชากรจึงถูกจำกัดด้วยปัจจัยต่าง ๆ นั้น ขนาดประชากรสูงสุดที่จะมีได้ในแต่ละสภาพแวดล้อมนี้เรียกว่า ความจุที่รับได้สูงสุด (Carrying Capacity) ใช้สัญลักษณ์ K ระยะแรกของการเติบโต ประชากรจะมีอัตราการเพิ่มค่อนข้างสูง เมื่อถึงจุดหนึ่ง อัตราการเติบโตเริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับคงที่ คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เท่ากับระดับความจุที่รับได้สูงสุด เป็นระดับที่สภาพแวดล้อมสามารถเลี้ยงดูประชากรได้มากที่สุดนั่นเอง กราฟการเติบโตของประชากรแบบนี้เรียกว่า Logistic Growth Curve มีลักษณะเป็นรูปอักษรเอส (S-Shaped Growth Curve)



รูปที่ 11.1.4 กราฟการเติบโตของประชากรแบบ Logistic Population Growth
(จาก George B. Johnson, 1997)

การเติบโตของประชากรแบบ Logistic Growth ในธรรมชาติ ประชากรไม่ได้คงที่ อยู่ในระดับความจุที่รับได้สูงสุดตลอดเวลา แต่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นลดลง (Population Fluctuation) ที่มีรูปแบบแน่นอนเป็นวัฏจักร (Population Cycle) ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อประชากรเติบโตมีสมาชิกเพิ่มขึ้นทำให้อาหารและที่อยู่ขาดแคลน ย่อมมีการแก่งแย่งแข่งขัน (Competition) กันในสมาชิกด้วยกัน ตลอดจนมีการสะสมของเสียมากขึ้น จึงทำให้ประชากรลดลง เมื่อมีอาหารเพิ่มขึ้น มีพื้นที่มากขึ้น ประชากรก็กลับมาเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของประชากร

ปัจจัยที่ควบคุมขนาดของประชากรให้มีขนาดพอดี เรียกว่า ปัจจัยจำกัด (Population Limiting Factor) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่ขึ้นกับความหนาแน่นของประชากร กับ ปัจจัยที่ไม่ขึ้นกับความหนาแน่นของประชากร

ปัจจัยที่ขึ้นกับความหนาแน่นของประชากร (Density Dependent Factor) ส่วนใหญ่เป็นปัจจัยทางชีวภาพ เช่น อาหาร เมื่อประชากรมีความหนาแน่นสูง การแก่งแย่งแข่งขันในเรื่องอาหารจะสูงขึ้น และเมื่ออาหารขาดแคลน ประชากรจะอ่อนแอ ล้มตาย การสืบพันธุ์จะลดลง อาหารจึงเป็นปัจจัยจำกัดอัตราการเติบโตของประชากร ในพืชก็เช่นกัน เมื่อมีประชากรหนาแน่นจะแย่งกันใช้แร่ธาตุในดิน เมื่อแร่ธาตุลดน้อยลง จะมีผลต่อการสร้างเมล็ด นอกจากนี้ยังมีเรื่องของพื้นที่สำหรับการอยู่อาศัย ในสัตว์จะมีพื้นที่อาศัยที่เป็นอาณาเขตของตนเอง (Territory) เมื่อประชากรมีความหนาแน่น ทำให้พื้นที่อาศัยลดน้อยลง พื้นที่หากินก็น้อยลงด้วย ทำให้มีการแก่งแย่งสูง จนสัตว์อาจไม่สามารถมีที่สำหรับเลี้ยงดูลูกอ่อน เช่น นกไม่มีพื้นที่ทำรัง ทำให้ไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ เป็นผลให้ประชากรลดขนาดลง

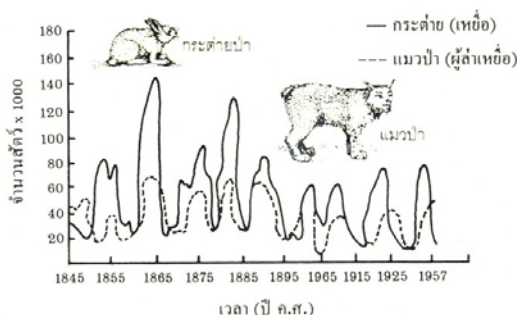
ปัจจัยที่ไม่ขึ้นกับความหนาแน่นของประชากร (Density Independent Factor) ส่วนใหญ่เป็นปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ภัยธรรมชาติ ความรุนแรงของปัจจัยเหล่านี้ ไม่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของประชากร แต่ส่งผลกระทบต่อสมาชิกของประชากรทุกตัว

บางครั้งไม่อาจจะระบุได้ชัดเจนว่า ปัจจัยใดเป็นปัจจัยที่ควบคุมขนาดของประชากร เช่น สัตว์ที่ตายจำนวนหนึ่งในช่วงที่มีอากาศหนาวเย็นจัด ซึ่งสัตว์ต้องการพลังงานสูง ในขณะที่ความหนาวเย็นก็ทำให้หาอาหารขาดแคลน การตายของสัตว์จึงมีทั้ง 2 สาเหตุ

คือ สัตว์จำนวนหนึ่งตายด้วยสาเหตุของความหนาแน่น แล้วขาดอาหาร ส่วนอีกจำนวนหนึ่งตาย เนื่องจากร่างกายขาดพลังงานเพราะอากาศเย็นจัด

ขนาดของประชากรถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางชีวภาพ และปัจจัยทางกายภาพ ดังที่ John Emlen ได้ทำการทดลองให้อาหารหนู จำนวน 250 กรัมทุกวัน หนูจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วจนอาหารที่กินทุกวันไม่เพียงพอ หนูเริ่มอพยพออกจนอัตราการเกิดเท่ากับ อัตราการอพยพ ประชากรคงที่ แสดงว่า ถ้าอาหารขาดแคลนหนูจะอพยพออก อาหารจึงเป็นปัจจัยจำกัด ต่อมาทำการทดลองเหมือนเดิมแต่ไม่ให้มีการอพยพออก เมื่อหนูเพิ่มมากขึ้นจนไม่มีอาหารกิน อัตราการเกิดลดลง ทำให้ประชากรไม่เพิ่มขึ้นอีก ครั้งสุดท้ายทดลอง โดยให้อาหารหนูมากเกินไป และไม่ให้อพยพออก เมื่อหนูเพิ่มจำนวนมากขึ้น หนูจะเริ่มฆ่ากัน เพราะที่อยู่อาศัยไม่พอ ลูกอ่อนที่เกิดใหม่จะตายหมด ประชากรเริ่มลดลง แสดงว่าที่อยู่อาศัยเป็นปัจจัยจำกัดของหนู

ในธรรมชาติสิ่งมีชีวิตมีวิธีการควบคุมขนาดประชากรของกลุ่มตัวเอง เมื่อประชากรเพิ่มถึงระดับหนึ่งแล้วจะไม่เพิ่มอีก เช่น มอดแป้งบางชนิด เมื่อมีจำนวนมาก มันจะปล่อยแก๊สออกมาทำลายตัวอ่อนและตัวแก่ ในขณะเดียวกันก็ลดอัตราการผสมพันธุ์ เป็นการควบคุมขนาดประชากรของกลุ่ม



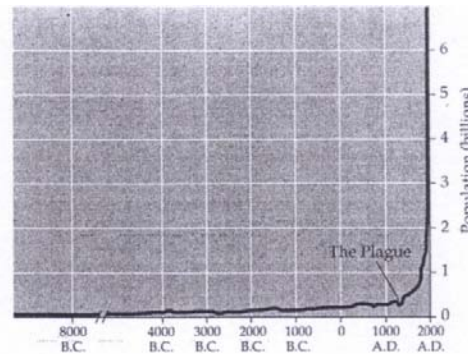
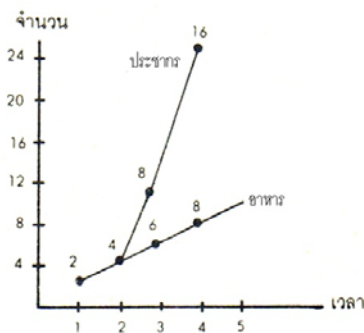
รูปที่ 11.1.5 กราฟแสดงจำนวนประชากร กระต่ายป่า กับ แมวป่า

สัตว์บางชนิดควบคุมขนาดประชากรโดยความสัมพันธ์กันเชิงอาหาร เช่น กระต่ายป่ากับแมวป่าจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดประชากรเพิ่มขึ้นและลดลงตามกัน เมื่อประชากรกระต่ายป่า ซึ่งเป็นเหยื่อลดลง แมวป่าซึ่งเป็นผู้ล่าจะขาดแคลนอาหาร จำนวนแมวป่าจึงลดลง

อาจสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากรขึ้นอยู่กับปัจจัยจำกัดที่สำคัญ 3 อย่าง คือ 1) อาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยที่สิ่งมีชีวิตต้องการเพื่อเป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต 2) พื้นที่ เป็นปัจจัยที่จำเป็นสำหรับทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เป็นแหล่งอาหาร ที่อยู่อาศัย สืบพันธุ์ เลี้ยงดูตัวอ่อน 3) สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ปริมาณน้ำ ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-เบส เป็นต้น

การเติบโตของประชากรมนุษย์

ประชากรมนุษย์ปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 6 พันล้านคน โดยมีอัตราการเพิ่มปีละ 80 ล้านคน มีการเติบโตแบบ Exponential Growth ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Thomas Malthus ที่เขียนบทความเกี่ยวกับประชากรของมนุษย์ไว้ในปี ค.ศ. 1798 ว่า “สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนตามอาหารที่มีอยู่” แต่อาหารและเครื่องยังชีพต่าง ๆ มีการเพิ่มแบบอันดับเลขคณิต (Arithmetic Progression) ในขณะที่ประชากรมีอัตราการเพิ่มแบบอันดับเรขาคณิต (Geometric Progression) ถ้าเพิ่มในอัตรานี้อาหารและเครื่องยังชีพจะไม่พอสำหรับประชากร จึงต้องมีการเตรียมการเพิ่มผลผลิตให้รองรับการบริโภคของประชากร



รูปที่ 11.1.6 กราฟแสดงการเพิ่มจำนวนของประชากรแบบอันดับเรขาคณิตและการเพิ่มจำนวนอาหารแบบลำดับเลขคณิต (ก) และกราฟการเติบโตของประชากรมนุษย์ (ข) (จาก Campbel et al, 1999)

จากกราฟการเติบโตของประชากรมนุษย์ จะเห็นว่าเดิมประชากรมนุษย์มีการเพิ่มเพียงเล็กน้อย เนื่องจากวิถีชีวิตของมนุษย์แตกต่างจากปัจจุบันมาก มนุษย์ในสมัยโบราณดำรงชีวิตด้วยการล่าสัตว์และเก็บพืชกินเป็นอาหารมีความเป็นอยู่อย่างง่าย ประชากรมีไม่มาก จนถึงประมาณศตวรรษที่ 17-18 ซึ่งเป็นช่วงหลังยุคปฏิวัติทางอุตสาหกรรม ประชากรมนุษย์เริ่มมีการเพิ่มแบบ Exponential Growth เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน พบว่ามนุษย์มีอัตราการตายต่ำ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม ทำให้มีการเพิ่มผลผลิตด้านอาหาร การขนส่งเจริญขึ้นทำให้การกระจายอาหารครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ตลอดจนมีการพัฒนาด้านการแพทย์และสาธารณสุข อัตราการตายของประชากรจึงต่ำลง ประชากรมีอายุยืนขึ้น นอกจากนี้มนุษย์ยังรู้จักควบคุมการเกิดโดยการคุมกำเนิด ทำให้อัตราการเกิดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่อัตราการตายต่ำมาก จึงทำให้อัตราการเติบโตของประชากรมนุษย์สูงมาก

โครงสร้างของประชากรมนุษย์

โครงสร้างของประชากรมนุษย์ใช้เกณฑ์อายุที่สามารถสืบพันธุ์ได้ คือ

ระยะก่อนสืบพันธุ์ (Prereproductive Age) คือ ช่วงอายุ 0-14 ปี เป็นช่วงวัยเด็ก

ระยะสืบพันธุ์ (Reproductive Age) คือ ช่วงอายุ 15-44 ปี เป็นช่วงวัยหนุ่มสาว

ระยะหลังสืบพันธุ์ (Post Reproductive Age) คือ อายุตั้งแต่ 45 ปีขึ้นไป เป็นช่วงวัยชรา

ตัวอย่าง ปิรามิดอายุของประเทศต่าง ๆ

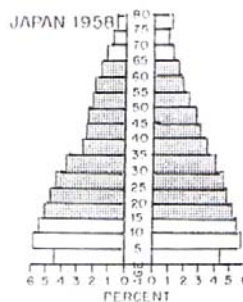
1. แบบที่ประชากรช่วงก่อนสืบพันธุ์มีจำนวนมาก ส่วนระยะสืบพันธุ์และหลังสืบพันธุ์มีน้อย แสดงว่าแนวโน้มประชากรจะเพิ่มมากขึ้น เช่น อินเดีย จีน

2. แบบที่ประชากรทั้ง 3 ระยะมีจำนวนใกล้เคียงกัน แสดงว่าจำนวนประชากรคงที่ เช่น ญี่ปุ่น

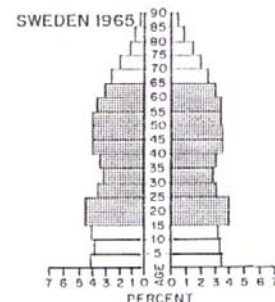
3. แบบที่ประชากรระยะสืบพันธุ์มีน้อย ระยะสืบพันธุ์มีมาก แสดงว่าแนวโน้มประชากรจะลดลง เช่น สวีเดน



ก.



ข.



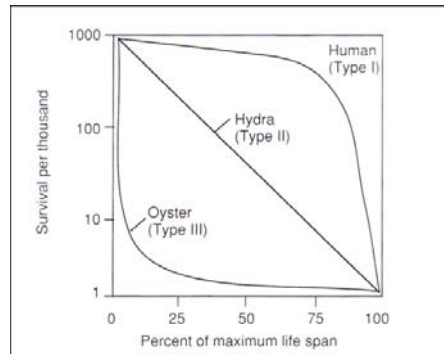
ค.

รูปที่ 11.1.7 ปิรามิดอายุของประชากรแบบต่าง ๆ แบบประชากรช่วงก่อนสืบพันธุ์มีจำนวนมาก (ก) แบบประชากรทั้ง 3 ช่วงอายุมีจำนวนใกล้เคียงกัน (ข) และแบบประชากรช่วงอายุก่อนสืบพันธุ์มีจำนวนน้อย (ค)

การอยู่รอดของประชากร

การอยู่รอด (Survivor) เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของประชากร เป็นการมีชีวิตรอดของสมาชิกในแต่ละช่วงอายุ ตลอดอายุขัย (Life Span) ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

การศึกษาการอยู่รอด ทำให้รู้ว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีช่วงชีวิตใดที่มีอัตราการตายสูงหรือต่ำ โดยการศึกษาจากประชากร 1,000 หรือ 500 นำผลการเปลี่ยนแปลงมาเขียนเป็นกราฟของการอยู่รอด (Survivorship Curve) โดยทั่วไปมี 3 แบบ



รูปที่ 11.1.8 กราฟการอยู่รอดของประชากร (จาก Campbell et al, 1996.)

รูปแบบที่ 1 สิ่งมีชีวิตมีอัตราการตายค่อนข้างต่ำในช่วงอายุน้อย ๆ จึงมีอัตราการอยู่รอดสูงในช่วงวัยแรกเกิด และจะมีอัตราการตายสูงเมื่อมีอายุมากขึ้น เช่น การอยู่รอดของคนและสัตว์เลี้ยงลูกขนาดใหญ่

รูปแบบที่ 2 สิ่งมีชีวิตมีอัตราการอยู่รอดเท่ากันในทุกช่วงอายุ คือ มีอัตราการตายหรือ อัตราการอยู่รอดค่อนข้างคงที่ เช่น ไฮดรา ไส้เดือนดิน นก เต่า เป็นต้น

รูปแบบที่ 3 สิ่งมีชีวิตมีอัตราการอยู่รอดต่ำในช่วงแรกของชีวิต มีอัตราการตายสูงมากในช่วงแรกเกิด เมื่อมีอายุมากขึ้น อัตราการอยู่รอดจะสูง สัตว์พวกนี้จึงมักออกลูกคราวละมาก ๆ เพื่อทดแทนจำนวนลูกที่ตายไปมากก่อนที่จะโตเต็มวัย เช่น หอยนางรม ปลา และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่

สัตว์หลายชนิดอาจมีการอยู่รอดไม่เป็นไปตามรูปแบบนี้ เช่น สัตว์ที่มีการลอกคราบเพื่อการเติบโตพวกปู แมลงที่มีการถอดรูปสมบูรณ์ (Complete Metamorphosis) มีกราฟการอยู่รอดเป็นแบบขั้นบันได เนื่องจากช่วงชีวิตที่เป็นตัวอ่อนมีการลอกคราบ ซึ่งร่างกายอ่อนแอ เสี่ยงต่อการตายสูง ทำให้อัตราการตายสูงไปด้วย

11.2 ระบบนิเวศ (Ecosystem)

ระบบนิเวศ (Ecosystem) หมายถึง ระบบความสัมพันธ์ของกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Community) กับปัจจัยทางกายภาพ (Physical Factors) ในบริเวณหนึ่ง ซึ่งจัดเป็นหน่วยหนึ่งของนิเวศวิทยา (Ecology)

สิ่งมีชีวิตที่มาอาศัยอยู่ร่วมกันในบริเวณหนึ่ง สมาชิกแต่ละหน่วยย่อมจะต้องมีความสัมพันธ์กันโดยมีบทบาทและหน้าที่ (niche) ของตนเองต่อกลุ่มในกระบวนการ (process) ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบ ซึ่งเป็นผลให้ระบบนิเวศดำรงอยู่ได้อย่างปกติในสภาพที่มีความสมดุล กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศกับปัจจัยทางกายภาพที่ทำให้คงความเป็นระบบนิเวศอยู่ได้ คือ กระบวนการถ่ายทอดพลังงาน (energy flow) และการหมุนเวียนของสาร (material cycle) ในระบบนิเวศนั่นเอง

โครงสร้างของระบบนิเวศ

ในระบบนิเวศประกอบด้วย กลุ่มสิ่งมีชีวิตและปัจจัยทางกายภาพ ดังนี้

1. กลุ่มสิ่งมีชีวิต (Biotic component) ประกอบด้วย สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่มีบทบาทและทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

ผู้ผลิต (Producer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์อาหารได้ด้วยตนเอง (autotrophic organisms) เป็นพวกที่เซลล์มีสารคลอโรฟิลล์ สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ คือ พืช สาหร่าย และแบคทีเรียบางชนิดที่มีแบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์สำหรับจับพลังงานแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผู้บริโภค (Consumer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้ด้วยตนเอง (heterotrophic organisms) ต้องกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร ได้แก่ สัตว์ชนิดต่าง ๆ

ผู้ย่อยอินทรีย์สาร (Decomposer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตด้วยการย่อยสลายซากอินทรีย์ โดยปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยเนื้อเยื่อที่เน่าเปื่อย แล้วดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ จึงจัดเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สาร ได้แก่ พังไจและแบคทีเรีย

2. ปัจจัยทางกายภาพ (Physical factors) ได้แก่ อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น ความกดดัน ความขุ่น ตัวกลาง และพื้นผิว ซึ่งเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศต่างก็มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพ ก่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ เช่น มีการระเหยของน้ำ การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยใช้น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นวัตถุดิบในปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์สร้างเป็นโมเลกุลของน้ำตาล กระบวนการกินและย่อยอาหารของสัตว์ การเปลี่ยนสารอาหารเป็นพลังงานในกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต กระบวนการย่อยสลายซากอินทรีย์ของพวกจุลินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุที่พืชดูดซึมนำกลับมาใช้ได้ใหม่ เกิดกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน และการหมุนเวียนของสาร ทำให้ระบบนิเวศดำรงอยู่ได้ด้วยเหตุนี้ระบบนิเวศจึงไม่จำกัดด้วยขนาด แต่เป็นระบบที่สามารถควบคุมการถ่ายทอดพลังงานภายในระบบที่เป็นอิสระจากระบบอื่น เช่น ภายในสระน้ำจืดที่มีสาหร่าย จอก แหน บัว กก เป็นผู้ผลิต มีกิ้ง หอย ปู ปลา แมลง เป็นผู้บริโภค แบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยอินทรีย์สารภายในได้สิ่งแวดล้อมที่มีอิฐมีส น้ำ แสงสว่าง อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่ควบคุมกิจกรรมการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตให้ดำเนินได้ตลอดไป สระน้ำจืดนี้จึงจัดเป็นระบบนิเวศแบบหนึ่งได้

ประเภทของระบบนิเวศ

นักนิเวศวิทยาแบ่งระบบนิเวศในธรรมชาติเป็น 2 กลุ่ม คือ พื้นดินกับแหล่งน้ำ ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้มีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันมาก ลักษณะพื้นดินบนโลกจะแยกจากกันเป็นส่วน ๆ ซึ่งต่างจากพื้นน้ำที่ติดต่อกันทั่วโลก การที่พื้นดินแยกจากกันทำให้มีการแบ่งเขตตามลักษณะสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันของบริเวณต่าง ๆ ของโลกมีผลให้พืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณต่าง ๆ มีความแตกต่างกันด้วย ระบบนิเวศบนพื้นดินจึงมีการแบ่งตามชนิดของสังคมพืช โดยดูจากลักษณะโครงสร้างของพรรณพืชในแต่ละบริเวณเป็นหลัก เรียกการแบ่งแบบนี้ว่า ชีวนิเวศหรือไบโอม (biome) แต่ละไบโอมจะแตกต่างกันทั้งภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน และระดับความสูงจากน้ำทะเล กลุ่มสิ่งมีชีวิตในแต่ละไบโอมมีการแพร่กระจายที่มีแบบแผนเฉพาะและเป็นสังคมสุดยอด (climax community) แล้วทั้งสิ้น

ชีวนิเวศมีทั้งบนพื้นดินและในแหล่งน้ำ แต่เนื่องจากการแบ่งระบบนิเวศบนพื้นดินเป็นชีวนิเวศต่าง ๆ ใช้ลักษณะของสังคมพืชเป็นหลัก ซึ่งจะแตกต่างจากแหล่งน้ำ ที่มีสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นผู้ผลิตเหมือน ๆ กันทุกแห่ง จึงมักใช้ลักษณะทางกายภาพของ

แหล่งน้ำเป็นหลักในการแบ่ง เช่น ความเค็ม กระแสน้ำ และความลึกของน้ำ ระบบนิเวศแหล่งน้ำจึงมีบางคนที่เรียกว่าชีวนิเวศ

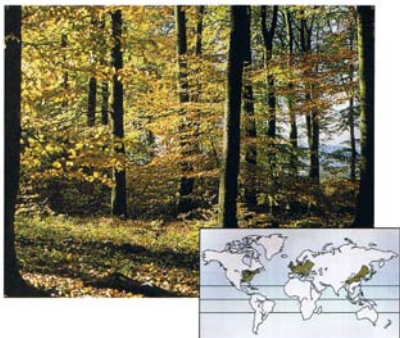
ระบบนิเวศบนพื้นดิน (Terrestrial Ecosystem)

สภาวะแวดล้อมบนพื้นดินมีความรุนแรงและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สิ่งมีชีวิตต้องมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับปัจจัยที่จะทำให้ชีวิตอยู่รอดค่อนข้างมาก ปัจจัยจำกัดที่สำคัญได้แก่ ความชื้น ซึ่งจะแตกต่างกันทั้งช่วงเวลาของวัน และฤดูกาล อุณหภูมิก็เช่นเดียวกันที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ระบบนิเวศบนพื้นดินแบ่งเป็นชีวนิเวศแบบต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 11.2.1 ป่าร้อนชื้น
(จาก George B. Johnson, 1997)

1. ป่าร้อนชื้น หรือป่าดิบชื้น (Tropical rain forest) เป็นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่ละติจูด 0-20 องศาเหนือและใต้ มีอุณหภูมิและความชื้นสูงตลอดทั้งปี มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 80 นิ้ว / ปี ได้แก่ ป่าในแอฟริกา อินเดีย เอเชีย บอร์เนียว สุมาตรา ลุ่มแม่น้ำอะเมซอน และประเทศไทยตอนใต้ เป็นป่าไม้ที่มีพันธุ์ไม้ที่หลากหลาย เป็นป่าที่เขียวตลอดทั้งปี (tropical evergreen forest)



รูปที่ 11.2.2 ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น
(จาก George B. Johnson, 1997)

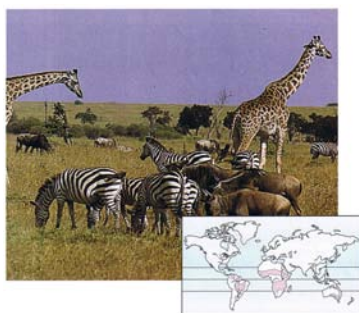
2. ป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น (Temperate deciduous forest) เป็นบริเวณละติจูด 30-60 องศาเหนือและใต้ ปริมาณน้ำฝน 30-40 นิ้ว / ปี พื้นดินแยกกันเป็นส่วน ๆ มีทั้งในทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ บางส่วน ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และอเมริกาใต้ตอนล่าง อุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาว ต้นไม้จะทิ้งใบก่อนจะถึงฤดูหนาว และจะแตกใบอ่อนหลังจากผ่านพ้นฤดูหนาว พรรณไม้มีทั้งไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และไม้ล้มลุก



รูปที่ 11.2.3 ป่าสน
(จาก John.W. Kimball. 1965)



รูปที่ 11.2.4 ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น
(จาก John.W. Kimball. 1965)



รูปที่ 11.2.5 ทุ่งหญ้าเขตร้อนสะวันนา
(จาก George B. Johnson, 1997)

3. ป่าสน (Coniferous forest) ป่าไทกา (Taiga) และป่าบอเรียล (Boreal) เป็นป่าไม้ประเภทเดียวกัน เป็นพื้นดินบริเวณละติจูด 45-67 องศาเหนือ เป็นเขตติดต่อกันรอบโลก พบได้ตอนใต้ของแคนาดา ตอนเหนือของทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นบริเวณที่มีอากาศเย็นและแห้ง มีฤดูหนาวยาวนาน ป่าไม้เขียวตลอดทั้งปี พืชพวกไม้สน (pine) มีลักษณะใบเป็นเส้นปลายแหลม (needle) พื้นดินมีฮิวมัสต่ำ เนื่องจากอากาศเย็น การย่อยสลายช้า

4. ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น (Temperate grassland) อยู่ที่ละติจูด 10-30 องศาเหนือและใต้ มีปริมาณน้ำฝน 10-30 นิ้ว / ปี พื้นดินปกคลุมด้วยหญ้าชนิดต่าง ๆ ที่มีความสูงของลำต้นตั้งแต่ 0.5-8 ฟุต มีพืชตระกูลถั่ว และทานตะวันขึ้นปะปน เป็นบริเวณที่คนเข้าไปบุกกรุกเพื่อใช้พื้นที่ทำการเกษตร ความชื้นต่ำจึงคงสภาพของทุ่งหญ้า สัตว์ที่อาศัยอยู่มักเป็นพวกสัตว์ฟันแทะ (Rodents) ซึ่งกินพืชเป็นอาหารและเป็นเหยื่อของสัตว์กินเนื้อพวกสุนัขป่า

5. ทุ่งหญ้าเขตร้อนสะวันนา (Tropical Savanna) เป็นเขตที่มีอากาศร้อน มีปริมาณน้ำฝน 40-60 นิ้ว / ปี เป็นพืชพวกหญ้าที่มีไม้พุ่มและไม้ยืนต้นขึ้นกระจายเป็นหย่อม ๆ ได้แก่ ทุ่งหญ้าในแอฟริกา อเมริกาใต้ และออสเตรเลีย เป็นที่อยู่ของพวกกวาง ม้าลาย ยีราฟ และสิงโต ในฤดูฝนจะมีแมลงมาก ในฤดูร้อนมักเกิดไฟป่า



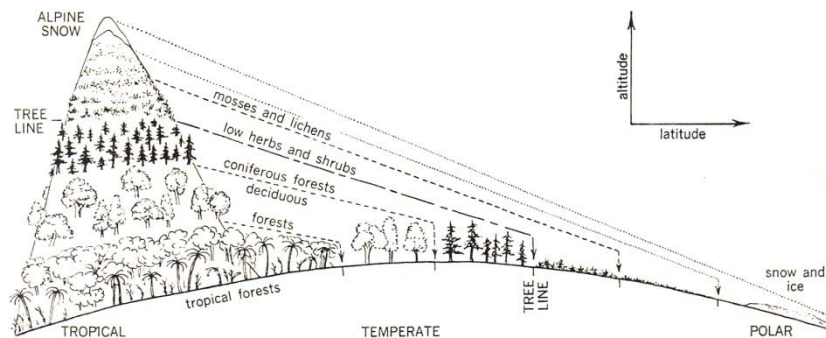
รูปที่ 11.2.6 ทะเลทราย
(จาก John.W. Kimball. 1965)

กระบองเพชร กุหลาบหิน บางชนิดมีรากลึก มีใบลดรูปหรือเปลี่ยนเป็นหนาม เพื่อลดการคายน้ำ สัตว์ทะเลทรายมีการปรับตัวหลายรูปแบบ เช่น อูฐมีที่เก็บน้ำและไขมัน แมลงและสัตว์เลื้อยคลานมีผิวหนังหรือเปลือกลำตัวป้องกันการระเหยน้ำ สัตว์เลื้อยคลานมีไตกำจัดของเสียในรูปของแข็ง เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากร่างกาย สัตว์พวกหนูมีนิสัยหลบซ่อนตัวอยู่ในรูในเวลากลางวัน และออกหากินตอนกลางคืน



รูปที่ 11.2.7 คาร์บูที่หากินอยู่ในเขตทุนดรา
(จาก John.W. Kimball. 1965)

ทั้งปี ได้แก่ หมิซัวโลก คาร์บู สุนัขจิ้งจอก เป็นต้น ในฤดูร้อนอาจมีนกและแมลงเข้ามาหากิน



รูปที่ 11.2.8 ชีวนิเวศของระบบนิเวศบนพื้นดินในแนวราบ (latitude) และแนวตั้ง (altitude)

(จาก John.W. Kimball. 1965 Biology. P.630)

ระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Aquatic Ecosystem)

ระบบนิเวศแหล่งน้ำ แบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ ตามความเค็มของน้ำ คือ แหล่งน้ำจืดและแหล่งน้ำเค็ม ซึ่งทั้ง 2 แหล่งใหญ่ ๆ ยังแบ่งเป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะเฉพาะตัวอีกหลายแบบ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ น้ำกร่อยปากแม่น้ำ ชายฝั่งทะเล เป็นต้น

ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด (Freshwater Ecosystem)

แหล่งน้ำจืดเป็นแหล่งน้ำบนผิวดิน มีพื้นที่น้อย เมื่อเทียบกับพื้นผิวโลกทั้งหมด แต่นับว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญต่อพืชและสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์ ซึ่งต้องใช้น้ำจืด เพื่อการอุปโภคและบริโภคในการดำรงชีวิต

ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดมีปัจจัยทางกายภาพ ที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตอยู่หลายประการ ได้แก่

1. อุณหภูมิ (Temperature) เนื่องจากแหล่งน้ำจืดเป็นแหล่งน้ำขนาดเล็กและตื้น อุณหภูมิของน้ำจึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจืดเป็นพวกที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ในช่วงแคบ (stenothermal) มักเกิดมลพิษ (water pollution) ได้ง่าย อุณหภูมิของน้ำอาจแบ่งได้เป็น 3 ระดับชั้นของน้ำ คือ ชั้นบน อุณหภูมิสูงค่อนข้างคงที่ ชั้นกลาง มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และชั้นล่างอุณหภูมิต่ำและคงที่

2. การส่องผ่านของแสง (Transparency) ความขุ่นของน้ำจะมีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ น้ำที่มีตะกอนน้อยแสงจะส่องลงไปได้ลึกกว่าน้ำที่มีตะกอนมาก มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย ซึ่งเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในแหล่งน้ำ ในแหล่งน้ำขุ่นมาก ๆ จึงมักมีผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ตะกอนยังจับกับเหงือกทำให้ขัดขวางการหายใจของสัตว์น้ำ

3. กระแสน้ำ (Current) แหล่งน้ำจืดแต่ละแบบจะมีการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน แหล่งน้ำเปิดจะมีการไหลของน้ำทำให้มีกระแสน้ำเชี่ยว กระแสน้ำเป็นปัจจัยช่วยให้มีการละลายของแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ช่วยพัดพาสารอินทรีย์และแร่ธาตุหมุนเวียนกลับมาข้างบน ทำให้พืชและสัตว์ได้ใช้ นอกจากนี้กระแสน้ำยังช่วยให้เกิดการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต เกิดการเคลื่อนย้ายกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Community move) ในระยะทางไกล ๆ ได้ นอกจากนี้แหล่งน้ำยังมีปัจจัยทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่

1. ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ปกติแหล่งน้ำต้องมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ 6 ppm เมื่อใดที่ปริมาณออกซิเจนลดลงจนไปอยู่ที่ 2 ppm ถือว่าเป็นภาวะขาดแคลนออกซิเจน สิ่งมีชีวิตจะดำรงชีวิตอยู่ไม่ได้

ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญต่อแหล่งน้ำโดยควบคุมความเป็นกรดเบสของน้ำ ปกติในช่วงเวลาของวัน น้ำจะมีค่าความเป็นกรด-เบส เปลี่ยนแปลงไปได้ เนื่องจากในเวลากลางวันสิ่งมีชีวิตมีการหายใจปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แต่ส่วนหนึ่งพืชและสาหร่ายจะนำกลับไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้น้ำมีสภาพเป็นเบส ในเวลากลางคืนไม่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่มาก สภาพน้ำจึงเป็นกรด อย่างไรก็ตามสภาพของน้ำปกติจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จะอยู่ในช่วง 6.4-8.5

2. เกลือแร่ น้ำจืด มีเกลือแร่น้อยเมื่อเทียบกับเซลล์ของร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำจืด ทำให้สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวจนถึงปลา ต้องมีกลไกควบคุม สมดุลของน้ำและ เกลือแร่ในร่างกาย เนื่องจากต้องอยู่ในน้ำที่มีสภาพเป็นสารละลายเจือจางที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าในร่างกาย (hypotonic solution) น้ำจึงแพร่เข้าสู่เซลล์ร่างกายในปริมาณที่เกินความต้องการ สัตว์น้ำจืดมีกระบวนการควบคุมสมดุลของน้ำและรักษาระดับเกลือแร่ในร่างกาย (osmoregulation) โดยการกำจัดของเสียทางไตในรูปสารละลายที่มีเกลืออยู่น้อยมาก

ชนิดของระบบนิเวศในแหล่งน้ำจืด (Type of Freshwater Ecosystem)

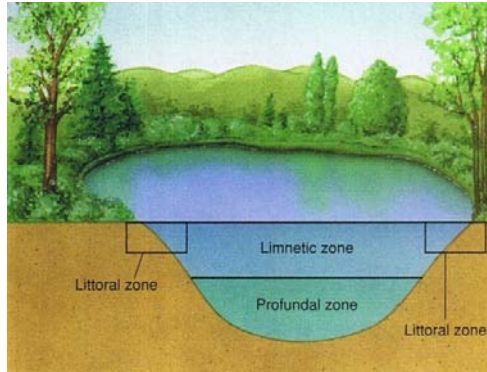
แหล่งน้ำนิ่ง (Lentic or standing water) เป็นแหล่งน้ำระบบปิด มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ได้แก่ บ่อน้ำ หนองน้ำ บึง สระน้ำ และทะเลสาบ แหล่งน้ำนิ่งมีลักษณะเป็นแอ่งท้องกะทะ แบ่งเขตตามความลึกที่แสงส่องลงไปถึงเป็น 3 เขต

1. เขตน้ำตื้นขอบสระ (Littoral zone) เป็นบริเวณจากผิวน้ำชายฝั่งลึกลงไปสุดเขตที่แสงส่องถึง คือ เป็นบริเวณที่มีพืชและสัตว์อาศัยอยู่มาก ผู้ผลิตมีทั้งสาหร่ายและพืช ผู้บริโภคเป็นสัตว์ที่ว่ายน้ำอิสระและสัตว์ที่อาศัยอยู่บนหน้าดิน

2. เขตท้องน้ำนอกชายฝั่ง (Limnetic zone) เป็นบริเวณกลางสระต่อจากเขตน้ำตื้นขอบสระ มีความลึกตั้งแต่ผิวน้ำไปถึงระดับที่มีความเข้มของแสง 1 % ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นพื้กสาหร่าย และพืชลอยน้ำ สัตว์เป็นพวกที่ว่ายน้ำเก่ง ไม่มีสัตว์หน้าผิวดิน

3. เขตพื้นสระ (Profundal zone) เป็นบริเวณพื้นน้ำที่อยู่ด้านล่างต่อจากเขตท้องน้ำนอกชายฝั่งจนถึงพื้นดินก้นสระ เป็นบริเวณที่แสงส่องไปไม่ถึงจึงไม่มีทั้งพืชและสาหร่าย

มีสัตว์อาศัยอยู่น้อย ส่วนใหญ่เป็นพวกที่กินเศษอินทรีย์เป็นอาหาร มีทั้งที่ว่ายน้ำอิสระและอาศัยอยู่ผิวดิน มีแบคทีเรียทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ



ก.

ข.

รูปที่ 11.2.9 ลักษณะแหล่งน้ำนิ่ง (ก) และแหล่งน้ำจืดธรรมชาติ (ข)

(จาก George B. Johnson, 1997)

แหล่งน้ำไหล (Lotic water) เป็นแหล่งน้ำระบบเปิดมีการไหลของกระแสน้ำ ได้แก่ ลำธาร แม่น้ำ มีลักษณะที่แตกต่างจากแหล่งน้ำนิ่งหลายอย่าง ดังนี้

1. กระแสน้ำไหลเชี่ยว โดยเฉพาะบริเวณต้นน้ำลำธาร กระแสน้ำไหลเร็วและแรงมาก ความเร็วจะค่อย ๆ ลดลง มีลำธารเล็ก ๆ มารวมกันเป็นแม่น้ำ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำไหลต้องปรับตัวในหลายเรื่อง ได้แก่ การมีโครงสร้างที่ใช้เกี่ยว (hook) หรือดูด (sucker) รวมถึงการสกัดเมือก เพื่อใช้ยึดเกาะกับพื้นผิวได้อย่างเหนียวแน่น มีรูปร่างแบน เปรี้ยว เพื่อลดแรงต้านของกระแสน้ำ นอกจากนี้ยังมีพฤติกรรมว่ายทวนน้ำ เพื่อดักจับอาหารที่ไหลมากับน้ำ ชอบซุกซ่อนตัวตามก้อนหิน หรือรากไม้ เป็นต้น

2. แรงปะทะของน้ำกับชายฝั่ง ทำให้เกิดการพังทลายของดิน พืชและสาหร่ายหลุดลอยไปตามกระแสน้ำ ผลผลิตมีน้อย เนื่องจากสัตว์กินพืชมีน้อย สัตว์ส่วนใหญ่เป็นพวกกินเศษอินทรีย์ใต้น้ำ

3. น้ำมีปริมาณออกซิเจนมาก เนื่องจากการไหลของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำจากด้านล่างขึ้นมาสัมผัสกับอากาศ ออกซิเจนในอากาศจึงแพร่กระจายลงสู่ น้ำ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำไหลจึงเป็นพวกที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนได้ในช่วงแคบ

ระบบนิเวศแหล่งน้ำเค็ม (Marine Ecosystem)

แหล่งน้ำเค็ม มีขนาดกว้างใหญ่ไพศาล มีอาณาบริเวณติดต่อถึงกันทั่วโลก คิดเป็นร้อยละ 71 ของพื้นที่ผิวโลกทั้งหมด มีความลึกมากเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร จึงทำให้เป็นแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำมาก มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่จำนวนมาก จึงนับได้ว่าเป็นแหล่งอาหารและทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของมนุษย์

การแบ่งเขตของทะเล แบ่งได้ 2 แบบ ตามเกณฑ์ความลึกที่แสงส่องไปถึง และเกณฑ์ความลาดชันของพื้นดินชายฝั่งทะเล

เขตของทะเลตามระดับความลึกที่แสงส่องไปถึง แบ่งได้ 2 เขต

1. เขตทะเลที่แสงส่องถึง (Photic zone) นับตั้งแต่ผิวน้ำทะเลลึกลงไปประมาณ 500 เมตร ทะเลตื้นบนที่ระดับความลึกประมาณ 200 เมตร เป็นบริเวณที่มีแสงเข้ม มีสาหร่ายซึ่งเป็นผู้ผลิตที่สำคัญจำนวนมาก จัดเป็นแหล่งที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ ระดับความลึกตั้งแต่ 200 เมตร ลงไปถึง 500 เมตร เป็นบริเวณที่มีแสงสลัว ความเข้มของแสงมีน้อย จึงไม่มีสาหร่าย

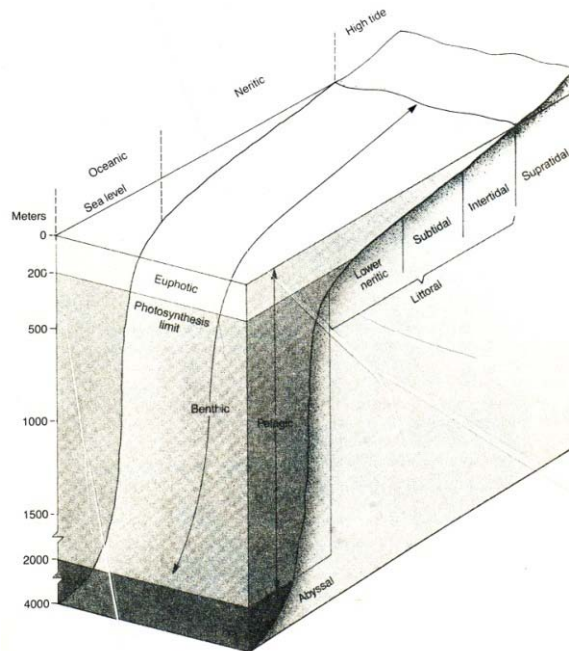
2. เขตทะเลที่ไม่มีแสง (Aphotic zone) เป็นบริเวณตั้งแต่ความลึก 500 เมตร ไปถึงพื้นทะเล เป็นบริเวณที่มีดิสก์กลางวันและกลางคืน เป็นบริเวณที่มีความหนาวเย็น มีสิ่งมีชีวิตอยู่น้อย เป็นพวกสัตว์ที่กินเศษอินทรีย์ที่ร่วงหล่นไปจากทะเลชั้นบน สัตว์มีการแก่งแย่งสูง

เขตทะเลตามระดับความลาดชันของพื้นดิน แบ่งเป็น 3 เขต

1. เขตไหล่ทวีป (Continental shelf) เป็นบริเวณพื้นดินชายฝั่งที่ค่อย ๆ ลาดลงไปถึงระดับความลึกประมาณ 1,000 เมตร ทะเลช่วงบนเป็นเขตน้ำขึ้นน้ำลง (Intertidal zone) และยังแบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ เขตชายฝั่ง (Neritic) กับทะเลหลวง (oceanic)

2. เขตลาดทวีป (Continental slope) เป็นพื้นดินชายฝั่งที่มีลักษณะลาดชัน โค้งลึก ลงไปเป็นทางยาวจากที่ระดับ 1,000 เมตร ไปถึงระดับ 4,000 เมตร เป็นท้องทะเลที่ไม่มีแสงสว่าง

3. เขตที่ราบบาดาล (Abyssal plain) เป็นบริเวณพื้นราบก้นสมุทร มีทั้งบริเวณที่เป็นพื้นราบ สันแนวยาว ภูเขาไฟ และหุบเหวลึก (Trench)



รูปที่ 11.2.10 ลักษณะเขตของทะเล
(จาก ปรีชา สุวรรณพินิจ และ นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2537 ชีววิทยา 2)

กลุ่มสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเค็ม (Marine Community)

1. ผู้ผลิตที่สำคัญในแหล่งน้ำเค็ม ได้แก่ สาหร่ายชนิดต่าง ๆ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว ส่วนใหญ่เป็นพวกเซลล์เดียวและมีจำนวนมาก สาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีน้ำตาล โดยเฉพาะพวกไดอะตอมจัดเป็นผู้ผลิตที่มีความสำคัญในขณะที่มีชีวิตเป็นอาหารของสัตว์ เมื่อตายลงซากจะสะสมน้ำมันและชันหิน (diatomaceous earth) น้ำมันเป็นแหล่งเชื้อเพลิงและหิน นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทำไส้กรอง ยาสีฟัน และเครื่องสำอาง เป็นต้น

2. สัตว์น้ำเค็ม มีตั้งแต่สัตว์ขนาดเล็ก พวกฟองน้ำที่เกาะอยู่กับที่ตามชายฝั่ง จนถึงสัตว์ขนาดใหญ่ที่ว่ายน้ำอิสระ (Pelagic) ในเขตทะเลหลวง พวกปลา หมึก เต่า และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม พวกพะยูน และวาฬ นอกจากนี้ยังมีสัตว์หน้าดิน (Benthos) อาศัยอยู่ตามผิวดินใต้ทะเล ตั้งแต่ชายฝั่งจนถึงพื้นทะเล ได้แก่ หอย กุ้ง ปู ดาวทะเล เม่นทะเล และปลากะเบน เป็นต้น

3. ผู้ย่อยอินทรีย์สาร ได้แก่ แบคทีเรีย มีมากบริเวณชายฝั่งทะเล โดยอยู่ในตะกอนที่เกิดจากการย่อยอินทรีย์วัตถุ มีแบคทีเรียหลายชนิดที่ทำให้เกิดโรคในปลาและคนรวมอยู่ด้วย

ชนิดของระบบนิเวศในแหล่งน้ำเค็ม (Type of Marine Ecosystem)

แหล่งน้ำเค็ม มีกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเฉพาะ และสามารถควบคุมการเคลื่อนย้ายพลังงาน (Energy Flow) ภายในระบบให้เป็นอิสระจากระบบอื่นได้หลายแบบ ได้แก่

1. ระบบนิเวศหาดทราย (Sandy beach Ecosystem) ลักษณะเป็นพื้นเรียบของทรายหรือทรายปนโคลนนับตั้งแต่ชายฝั่งลงไปทะเล เป็นที่โล่ง ไม่มีที่หลบกำบังภัย มีคลื่นพัดเข้าหาฝั่งตลอดเวลา มีช่วงเวลาที่แห้งแล้งและชุ่มชื้น ซึ่งเกิดจากการขึ้นลงของน้ำ ในช่วงน้ำลง พื้นทรายจะแห้ง ได้รับแสงและอุณหภูมิสูง สิ่งมีชีวิตจึงต้องปรับตัวโดยการขุดรูหรือฝังตัวในพื้นทรายในช่วงเวลาน้ำลด สัตว์ดังกล่าวได้แก่ ดอกไม้ทะเล (Sea anemone) หอยเสียบ สัตว์บางชนิดจะสร้างเปลือกหุ้มตัว เช่น เพรียงดอกไม้ บางชนิดมีโครงสร้างลำตัวที่เอื้อต่อการฝังตัวในทรายได้รวดเร็ว เช่น ปูม้า และปลากะเบน เป็นต้น

2. ระบบนิเวศหาดหิน (Rocky Shore Ecosystem) มีลักษณะพื้นผิวเป็นหินแข็ง มีแอ่งขังน้ำกระจายทั่วไป สิ่งมีชีวิต ได้แก่ สาหร่ายทะเล เพรียง หอยนางรม สัตว์บางชนิดมีนิสัยชอบซ่อนตัวตามซอกหิน เช่น ปูไข่ กุ้งคืด บางชนิดใช้ชีวิตโดยการว่ายน้ำ หรือคืบคลานไปมาพร้อมกับการขึ้นลงของน้ำทะเลอยู่เป็นประจำ

3. ระบบนิเวศป่าชายเลน (Mangrove swamp Ecosystem) มีลักษณะเป็นพื้นดินอ่อนของโคลนตม ซึ่งเกิดจากการพัดพาตะกอนของกระแสน้ำจืดมาสะสมกันที่ปากแม่น้ำ พืชที่ขึ้นในบริเวณนี้มีการปรับตัวในเรื่องของรากลำต้น รากหายใจ ได้แก่ โกงกาง แสม ลำแพน และจาก เป็นต้น เนื่องจากอยู่บริเวณที่มีน้ำ พืชพวกนี้มีการปรับตัวโดยการงอกรากของเมล็ดแก่ตั้งแต่มียังอยู่บนต้น เพื่อที่จะได้มีรากยึดดินไว้เมื่อเมล็ดร่วงลงมา เป็นการป้องกันการลอยไปกับกระแสน้ำไปในทะเลลึก สัตว์หลายชนิดอาศัยเกาะอยู่ตามรากไม้ บางชนิดฝังตัวอยู่ในเนื้อไม้ ป่าชายเลนนับเป็นระบบนิเวศที่มีความอุดมสมบูรณ์ เพราะมีอินทรีย์วัตถุมาทับถมกันเป็นปริมาณมาก มีที่กำบังภัยจึงเป็นแหล่งเจริญเติบโตของตัวอ่อนก่อนที่จะเป็นตัวเต็มวัยที่แข็งแรงที่จะออกไปดำรงชีวิตในทะเล

4. ระบบนิเวศแนวปะการัง (Coral reefs Ecosystem) เป็นระบบนิเวศที่มีอยู่ตามชายฝั่งทะเล และพื้นดินรอบเกาะในเขตร้อนและเขตอบอุ่นในระดับที่ลึกไม่เกิน 200 ฟุต ระบบนิเวศนี้ปะการังบางชนิดมีสาหร่ายสีเขียวบางชนิด เช่น zooxanthellae เจริญอยู่ใน

เนื้อเยื่อ ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต ปะการังบางชนิดเจริญอยู่ในโครงสร้างที่เป็นหินปูน ระบบนิเวศแนวปะการังจึงเป็นระบบของความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์กับสาหร่ายแบบภาวะพึ่งพากัน (mutualism) ในลักษณะที่ถาวร มีวิวัฒนาการร่วมที่ทั้งสองฝ่ายมีการปรับตัวที่อยู่ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพและคงที่แล้ว เป็นสังคมขั้นสุด (climax community) แล้วทั้งสิ้น

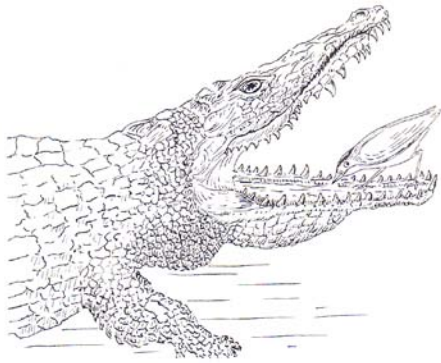
ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด (Interspecific Interaction)

ในระบบนิเวศย่อมมีสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดมาอยู่ร่วมกัน และมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เอื้อประโยชน์ หรือเบียดเบียนกันก็ตาม สิ่งเหล่านี้เป็นผลของการมีวิวัฒนาการร่วม (coevolution) ของสิ่งมีชีวิตตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่ร่วมกันทั้งสองฝ่ายต่างก็มีวิวัฒนาการของตนเองในการที่จะอยู่ร่วมกัน แต่ละฝ่ายจะต้องปรับตัวให้มีสมรรถนะที่เหมาะสมกับบทบาทของตนเอง เช่น ผู้ล่ากับเหยื่อมีวิวัฒนาการร่วม โดยผู้ล่าต้องปรับตัวให้มีประสิทธิภาพในการจับเหยื่อ ในขณะที่เหยื่อก็จะต้องปรับตัวให้สามารถรอดพ้นจากการถูกจับกินมากที่สุด เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การอยู่ร่วมกันโดยที่ไม่มีผู้เสียประโยชน์ คือ ซิมไบโอซิส (Symbiosis) และการอยู่ร่วมกัน โดยมีฝ่ายที่เสียประโยชน์ คือ แอนตาโกนิซึม (Antagonism)

ซิมไบโอซิส (Symbiosis) เป็นการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตสองชนิดที่ฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายได้รับประโยชน์ โดยไม่มีฝ่ายที่เสียประโยชน์ แบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ได้แก่

1. ภาวะพึ่งพา (Mutualism, +/+) เป็นการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตที่แต่ละหน่วย (Symbiont) ต่างได้รับประโยชน์ การอยู่ร่วมกันแบบนี้ แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

1) การอยู่ร่วมกันอย่างถาวร เป็นความสัมพันธ์ที่แต่ละฝ่ายต้องอยู่ด้วยกันไปตลอด ไม่สามารถแยกกันดำรงชีวิตอิสระได้ ต้องมีวิวัฒนาการร่วมอย่างยิ่ง การปรับตัวของแต่ละหน่วยต่างก็มีผลต่อการอยู่รอดและการสืบพันธุ์ของอีกหน่วย เช่น ไลเคนส์ (Lichen) ซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันของสาหร่ายและรา ไรโซเบียม (Rhizobium) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อาศัยในปมรากถั่ว ซูโอแซนเทลลี (zooxanthellae) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อปะการัง จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และไตรโค นิมฟา (Trichonympha) ซึ่งเป็นโปรโตซัวในลำไส้ปลวก เป็นต้น



รูปที่ 11.2.11 การอยู่ร่วมกันแบบภาวะพึ่งพา
(จาก John.W. Kimball. 1965 Biology. P.643)

2) การอยู่ร่วมกันแบบชั่วคราว หรือ การได้รับประโยชน์ร่วมกัน (Protocooperation) เป็นการอยู่ร่วมกันแล้วเสริมประโยชน์ซึ่งกันและกัน โดยที่สามารถแยกกันดำรงชีวิตที่เป็นอิสระได้ เช่น นกเอี้ยง เมื่อมาอยู่กับควาย ช่วยจับเห็บกินเป็นอาหาร นกพรานฝั่งที่มาร้องบอกให้คนไปตีรังผึ้งแล้วตัวมันเองได้เซาะรังผึ้งเป็นอาหาร นก Egyptian plover จับปลิงที่เหงือกของจระเข้แม่น้ำไนล์เป็นอาหาร เป็น cleaning symbiosis เป็นต้น

2. ภาวะอิงอาศัย (Commensalism, 0/+) เป็นความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่ฝ่ายเจ้าบ้าน (host) ไม่ได้และไม่เสียประโยชน์ในขณะที่ฝ่ายผู้อาศัย (commensal) ได้รับประโยชน์ การอยู่ร่วมกันแบบนี้อาจเป็นการอยู่ร่วมกันอย่างถาวรตลอดชีวิต เช่น กล้วยไม้ที่เกาะบนต้นไม้ เปรียงหินที่เกาะอยู่กับเปลือกหอย เป็นต้น หรือเป็นการอยู่ร่วมกันแบบชั่วคราว เช่น ปลาเหาฉลามที่เกาะปลาฉลาม วาฬ และเต่าไปหาอาหาร ปลาการ์ตูนที่อาศัยอยู่กับหนวดของดอกไม้ทะเล เพื่อหลบภัยและได้รับอาหาร เป็นต้น

แอนตาโกนิซึม (Antagonism) เป็นการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตที่มีฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายเสียประโยชน์ มีแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาวะปรสิต (Parasitism, +/-) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตที่ฝ่ายหนึ่งเป็นตัวเบียนหรือปรสิต (Parasite) เป็นฝ่ายได้ประโยชน์ กับผู้ให้ที่อยู่หรือเจ้าบ้าน (host) เป็นฝ่ายเสียประโยชน์ เป็นการอยู่ร่วมกันแบบชั่วคราว (Partial parasitism) เช่น ยุง ปลิงน้ำจืด เห็บ เหา จะมาอยู่กับเจ้าบ้านเฉพาะเวลาที่ต้องการอาหารคือ เลือด และการเป็นปรสิตถาวร (Complete parasitism) เช่น พยาธิในสัตว์ ไวรัสในแบคทีเรีย (bacteriophage)

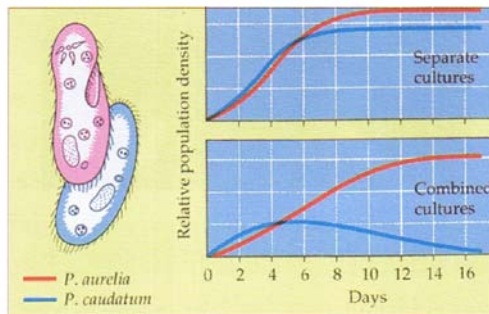
ปรสิตส่วนใหญ่มักมีความเจาะจงต่อเจ้าบ้าน แต่มีปรสิตบางชนิดที่ไม่จำเพาะต่อเจ้าบ้าน เช่น ยุงที่ดูดเลือดสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิด ปรสิตบางชนิดอยู่กับเจ้าบ้านมากกว่าหนึ่งชนิด โดยมีเจ้าบ้านหลัก (Primary host) เป็นที่อาศัยของปรสิตตัวเต็มวัย หรือมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และมีเจ้าบ้านรอง (Secondary host หรือ Intermediate host) เป็นที่อาศัยของปรสิตตัวอ่อน หรือมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น พลาส-

โมเดียม (plasmodium) ซึ่งเป็นโปรโตซัว เชื้อไข้มาลาเรียมียุงเป็นเจ้าบ้านรอง และคนเป็นเจ้าบ้านหลัก

ภาวะปรสิตแบบหนึ่ง คือ Parasitoidism เป็นปรสิตในแมลงกลุ่มแมลงวัน (Diptera) และกลุ่มผึ้ง ต่อ แตน (Hymenoptera) ที่ตัวเต็มวัยจะวางไข่ในตัวอ่อนของแมลงชนิดอื่นเพื่อเป็นแหล่งอาหาร เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอนและเจริญเป็นตัวเต็มวัย ตัวอ่อนแมลงเจ้าบ้านก็จะตายไป

ความสัมพันธ์แบบภาวะปรสิต มีวิวัฒนาการร่วมทั้ง 2 ฝ่าย คือ ปรสิตจะพัฒนารูปร่างให้มีขนาดเล็กกว่าเจ้าบ้าน พัฒนาอวัยวะต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพ เช่น อวัยวะดูดเกาะ และไม่ทำให้เจ้าบ้านตายทันที ในขณะที่เจ้าบ้านก็มีการปรับตัวให้สามารถอยู่ร่วมกับปรสิตได้ โดยการสร้างสิ่งป้องกัน เช่น สารเคมีที่เจ้าบ้านปล่อยออกมา เป็นต้น

2. ภาวะการล่าเหยื่อ (Predation, +/-) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่า (Predator) เป็นฝ่ายได้ประโยชน์กับเหยื่อ (Prey) ที่เป็นฝ่ายเสียประโยชน์ สิ่งมีชีวิตทั้งสองฝ่ายต่างมีวิวัฒนาการร่วมซึ่งกันและกัน โดยปรับตัวให้มีประสิทธิภาพในการเป็นผู้ล่าและเหยื่อ ผู้ล่าจะพัฒนาด้านร่างกายให้มีขนาดใหญ่กว่าเหยื่อ มีอวัยวะที่แข็งแรงหรือมีลักษณะพิเศษ เช่น มีเขี้ยวเล็บที่แหลมคม นอกจากนี้ยังปรับตัวด้านพฤติกรรม เช่น มีนิสัยเดินเบา จดจ้องเหยื่อ และจับเหยื่อในตำแหน่งที่ทำให้เหยื่อตายทันที ผู้ล่าที่มีขนาดเล็กกว่าเหยื่อจะมีพฤติกรรมรวมกลุ่มล่าเหยื่อ ฝ่ายที่เป็นเหยื่อมีการปรับตัวเพื่อการป้องกันตนเอง เช่น การปรับด้านรูปร่าง (morphology adaptation) ให้กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสีของลำตัว ถ้าเป็นสัตว์ไม่มีพิษจะเป็นสีพรางตัว ในสัตว์มีพิษจะมีสีที่เด่นชัดเป็นสีเตือนภัย สัตว์บางชนิดจะมีสีเลียนแบบ เช่น แมลงวันผึ้ง ที่มีลักษณะและสีเหมือนผึ้ง ผีเสื้อดอกกรักที่มีสีเหมือนมวนดอกกรักที่นกไม่ชอบกิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังปรับตัวด้านพฤติกรรม เช่น แกล้งตาย การอยู่รวมกลุ่มกัน เช่น ม้าลาย เมื่ออยู่รวมกลุ่มทำให้ศัตรูของมันตรวจสอบรูปร่างไม่ได้ การส่งเสียงร้องดัง ๆ เรียกให้สัตว์พวกเดียวกันมาช่วย เป็นต้น



รูปที่ 11.2.12 การแข่งขันของ *P. aurelia* และ *P. caudatum* (จาก Campbell et al, 1999)

3. ภาวะการแข่งขัน (Competition, -/-) เป็นความสัมพันธ์ที่สิ่งมีชีวิต 2 ชนิดที่อยู่ร่วมกันแล้วต่างฝ่ายเสียประโยชน์ เนื่องจากทั้งสองฝ่ายมีความต้องการปัจจัยในการดำรงชีวิตอย่างเดียวกัน แต่ปัจจัยมีไม่เพียงพอ ความสัมพันธ์แบบนี้มีทั้งที่ต้องต่อสู้เพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยที่ต้องการ (Interference competition) เช่น เสือและสิงโต ต้องต่อสู้กันเพื่อล่ากวางที่มีน้อย และ

การแข่งขันที่ไม่ต้องมีการต่อสู้ (Exploitative competition) เช่น การอยู่ร่วมกันของพารามีเซียม 2 ชนิด กอซ (Gause) ทดลองเลี้ยงพารามีเซียม 2 ชนิดในอาหารชนิดเดียวกัน คือ เมื่อเลี้ยง *P. aurelia* และ *P. caudatum* แยกกัน พบว่า พารามีเซียมทั้ง 2 ชนิด เจริญได้ตามปกติ แต่เมื่อนำมาเลี้ยงรวมกัน พบว่า *P. aurelia* เติบโตตามปกติ แต่ *P. caudatum* กลับลดจำนวนลงเรื่อย ๆ และหมดไปในที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามีเซียมทั้งสองชนิดใช้อาหารชนิดเดียวกัน เมื่อ *P. caudatum* แข่งขันสู้ไม่ได้ จำนวนจึงลดลงและหมดไป

4. แอนติไบโอซิส (Antibiosis, 0/-) เป็นความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่ฝ่ายหนึ่งไม่ได้และไม่เสียประโยชน์ แต่อีกฝ่ายเสียประโยชน์ เช่น มีการหลั่งสารปฏิชีวนะ (Antibiotic) หรือสารยับยั้ง (Inhibitory substance) ออกจากตัวของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง โดยไม่ได้หวังผลใด ๆ แต่ไปทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตอื่นที่อยู่ร่วมกัน เช่น *Gymnodinium brevia* ซึ่งเป็นโปรโตซัว กลุ่ม dinoflagellate มีการหลั่งสารชนิดหนึ่งออกมาในน้ำทะเล ทำให้น้ำเป็นพิษปลาและสัตว์ทะเลที่อยู่ในบริเวณนั้นตาย สาหร่ายสีเขียวพวง *microcystis* ในแหล่งน้ำจืดมีการหลั่งสาร *hydroxylamine* ออกมาในน้ำ ถ้ามีมากจะทำให้ น้ำเป็นพิษ ถ้าสัตว์ไปกินน้ำนี้จะตาย และราบางชนิดมีการหลั่งสารออกมายับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ เช่น รา *Penicillium notatum* ที่หลั่งสาร *Penicillin* ออกมา ทำให้แบคทีเรียที่อยู่รอบ ๆ ไม่เจริญเติบโต

การถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนสารในระบบนิเวศ

ความสัมพันธ์เชิงอาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ก่อให้เกิดการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของสารอาหาร (Nutrient) จากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้น สารอาหารจึงถ่ายทอดไปพร้อมกับพลังงาน เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง สารอาหารไม่ได้สูญหาย ตามไปด้วย แต่จะถูกแปรสภาพเป็นอินทรีย์สารที่พืชนำกลับมาใช้สร้างอินทรีย์สารหรือ สารอาหารได้ใหม่ เกิดการหมุนเวียนสารเป็นวัฏจักรที่ทำให้ระบบนิเวศเกิดสมดุลธรรมชาติ และคงอยู่ได้

การถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ (Energy Flow in Ecosystem)

สิ่งมีชีวิตจะดำรงชีวิตอยู่ได้จำเป็นต้องใช้พลังงาน แหล่งพลังงานใหญ่ที่สุด คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะแปรรูปไปเป็นสารอาหารในผู้ผลิต และจากผู้ผลิตเข้าสู่ ผู้บริโภคตามลำดับชั้นต่าง ๆ พลังงานแสงที่ผู้ผลิตนำมาสร้างเป็นสารอาหารซึ่งเป็น สารอินทรีย์ จึงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี เรียกว่า อัตราการผลิตซึ่งแบ่งเป็น 2 ลำดับ คือ อัตราการผลิตปฐมภูมิ และอัตราการผลิตทุติยภูมิ

อัตราการผลิตปฐมภูมิ (primary productivity : PP) คือ ปริมาณพลังงานแสงที่ เปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในอินทรีย์สารต่อหน่วยเวลา แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. อัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (Gross primary productivity : GPP) คือ อัตราการ สังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมด รวมถึงพลังงานที่ใช้ไปเพื่อการหายใจด้วย

2. อัตราการผลิตปฐมภูมิสุทธิ (Net primary productivity : NPP) คือ อัตราการ สะสมพลังงานในสารอินทรีย์ของผู้ผลิตที่เหลือจากกระบวนการหายใจ

อัตราการผลิตทุติยภูมิ (Secondary productivity : SP) คือ พลังงานส่วนที่เก็บ สะสมอยู่ในร่างกายของผู้บริโภค เป็นส่วนที่ถูกนำไปสร้างมวลชีวภาพ (biomass) เพื่อการ เจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ พลังงานส่วนนี้จึงเรียกว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงที่คงอยู่ (Apparent Photosynthesis)

ในระบบนิเวศ อัตราการผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวชี้วัด ความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศได้ ระบบนิเวศที่มีโครงสร้างต่างกันจึงมีอัตราการผลิตที่ ต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ของระบบจึงต่างกันด้วย เช่น ป่าเขตร้อนชื้นจะมีอัตราการผลิต ปฐมภูมิสูงกว่าเขตอื่น ๆ บนพื้นดิน เนื่องจากมีปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมกว่า เช่น มี น้ำ อุณหภูมิ และแสงสว่างตลอดจนแร่ธาตุที่จำเป็นของพืชในปริมาณที่มากกว่า

พลังงานจากผู้ผลิตจะถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นในกลุ่มผู้บริโภคที่สร้างอาหารเองไม่ได้ในลำดับต่าง ๆ คือ สัตว์กินพืช (herbivore) สัตว์กินเนื้อ (carnivore) สัตว์กินซากอินทรีย์ (detritivore หรือ scavenger) และผู้ย่อยอินทรีย์สาร (decomposer) พวกแบคทีเรียและเห็ดรา (Fungi)

ลำดับการถ่ายทอดพลังงาน (Food chain Food web and Trophic levels)

เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงาน เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายพลังในรูปของการกินอาหารเป็นทอด ๆ ตามลำดับชั้น ซึ่งสามารถแสดงลำดับชั้นการกินด้วยแผนภาพของโซ่อาหาร (Food Chain) ได้เป็น 2 แบบ คือ

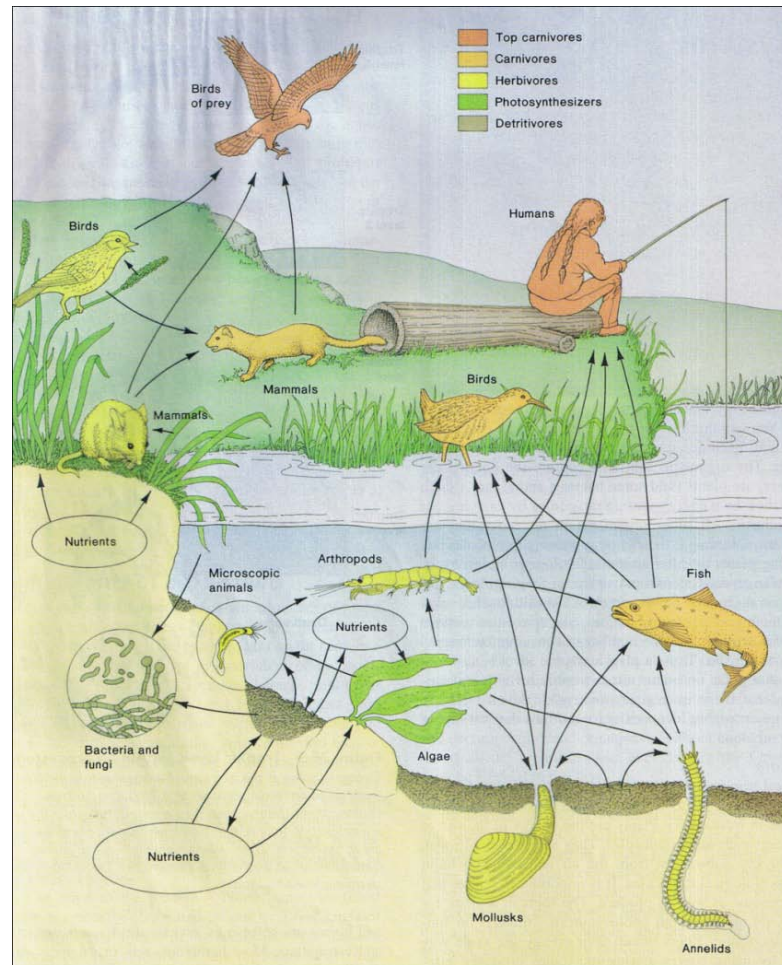
1. โซ่อาหารแบบการจับกิน (Grazing Food chain) ได้แก่ โซ่อาหารแบบล่าเหยื่อ (Predator chain) และโซ่อาหารแบบปรสิต (Parasitic chain)

โซ่อาหารแบบล่าเหยื่อ : หญ้า → แมลง → นก → งู → เหยี่ยว

โซ่อาหารแบบปรสิต : หนู → หมัด → โปรโตซัว → แบคทีเรีย → ไวรัส

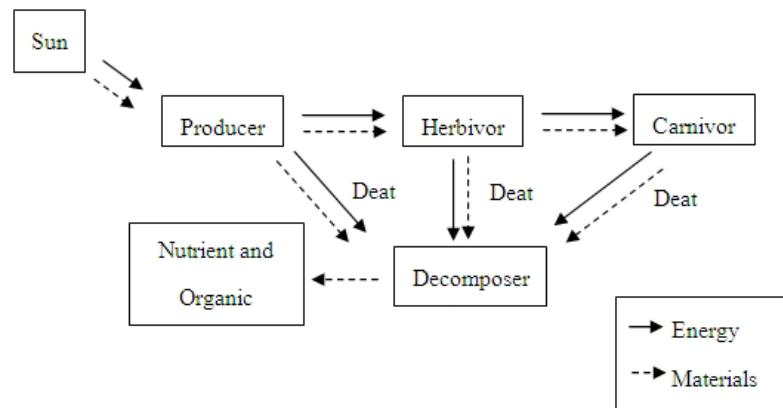
2. โซ่อาหารแบบเศษอินทรีย์ (Saprophytic or Detritus Food Chain) เริ่มจากซากพืชและสัตว์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และสัตว์ที่กินเศษอินทรีย์ให้แปรสภาพไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์

ในธรรมชาติสิ่งมีชีวิตมักมีการกินที่ไม่เรียงลำดับอย่างโซ่อาหาร แต่จะกินกันอย่างสลับซับซ้อน เนื่องจากสัตว์แต่ละตัวอาจเป็นได้ทั้งผู้ล่าและผู้ถูกล่า ดังนั้นการกินกันของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ จึงมีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงไปมาเป็นเส้นใยที่เรียกว่า สายใยอาหาร (Food web)



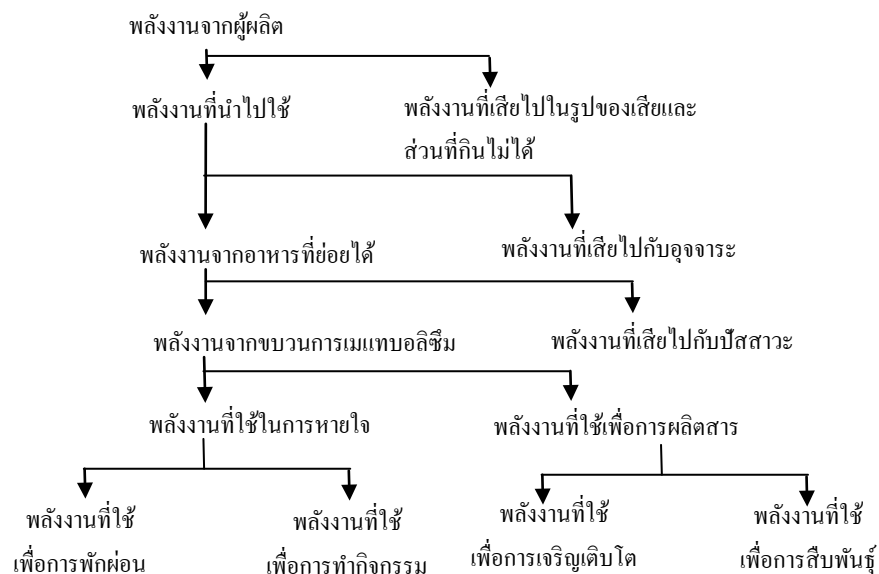
รูปที่ 11.2.13 สายใยอาหาร (จาก George B. Johnson, 1997)

การถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ โดยผ่านทางผู้ผลิตและผู้บริโภคจะไปถึงขั้นสุดท้ายที่ผู้สลายอินทรีย์สาร กล่าวคือ เมื่อพืชและสัตว์ตายลงผู้ย่อยสลายอินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยซากเหล่านั้น แปรสภาพของเนื้อเยื่อไปเป็นสารอาหาร (nutrient) ที่พืชสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่ ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนย้ายพลังงานจึงเป็นไปในทิศทางเดียวไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic) ซึ่งต่างจากการเคลื่อนย้ายสารที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เป็นการเคลื่อนย้ายที่เป็นวัฏจักร เรียกว่า วัฏจักรสารอาหาร (nutrient cycling)



รูปที่ 11.2.14 การถ่ายทอดพลังงานและสารอาหาร

พลังงานจากผู้ผลิตจะถูกถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคลำดับแรก ลำดับสอง และลำดับถัดไป พลังงานเคมีในอาหารจะนำไปสร้างเป็นมวลชีวภาพของผู้บริโภค แต่เนื่องจากอาหารที่กินไม่ได้กินทั้งหมด ทั้งตัว และส่วนที่กินเข้าไปก็จะถูกนำไปใช้ในกิจกรรมของชีวิตส่วนหนึ่ง คงเหลือเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกนำไปสร้างเป็นเนื้อเยื่อของร่างกาย ดังแผนภาพนี้



รูปที่ 11.2.15 แผนภาพการใช้พลังงานของผู้บริโภค

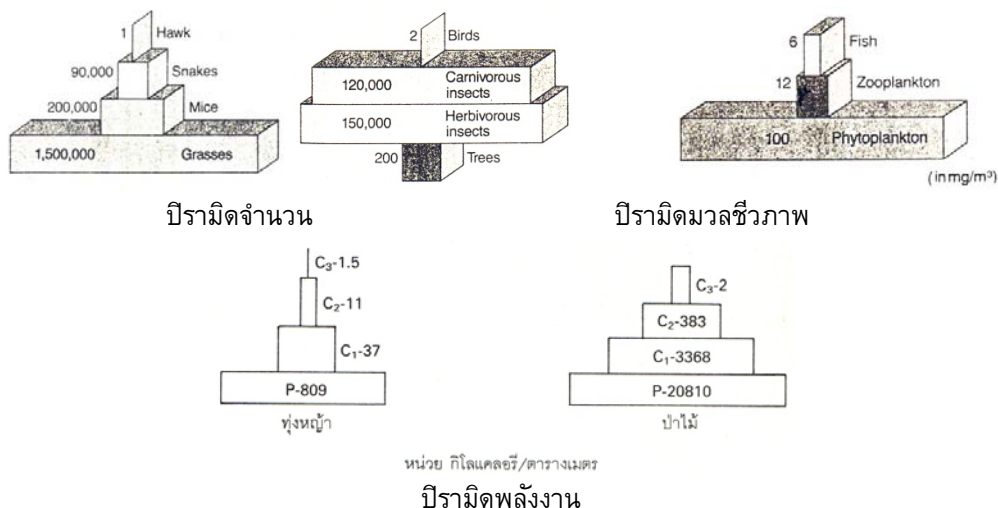
พลังงานทั้งหมดในสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งจะถ่ายทอดและสะสมเป็นเนื้อเยื่อในมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในลำดับต่อมาได้ประมาณ 5-20 % ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยอย่างหยาบ ๆ

คือ ประมาณ 10 % พลังงาน 80-90 % เป็นส่วนที่ไม่ได้ถ่ายทอด จะสูญเสียไปในรูปแบบต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าพลังงานเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถ่ายทอดจากลำดับที่หนึ่งไปสู่ลำดับถัดไป เรียกว่า ประสิทธิภาพทางนิเวศวิทยา (Ecological efficiency) ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานระหว่างลำดับชั้นต่าง ๆ ในโซ่อาหาร แสดงได้ด้วยแผนภาพของปิรามิดนิเวศ (Ecological Pyramid) ซึ่งมี 3 แบบ คือ

1. ปิรามิดจำนวน (Pyramid of number) เป็นปิรามิดที่แสดงจำนวนของสิ่งมีชีวิตในแต่ละลำดับชั้นของการถ่ายทอดพลังงาน ใช้หน่วยต้นหรือตัวต่อหน่วยพื้นที่หรือปริมาตร

2. ปิรามิดมวลชีวภาพ (Pyramid of biomass) เป็นปิรามิดแสดงมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิต โดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) หรือน้ำหนักสด (wet weight) หรือจำนวนแคลอรี (Calory value) ของสิ่งมีชีวิต ต่อหน่วยพื้นที่หรือปริมาตร

3. ปิรามิดพลังงาน (Pyramid of Energy) เป็นปิรามิดแสดงพลังงานหรืออัตราการผลิตของแต่ละลำดับชั้นการถ่ายทอด โดยคิดเป็นหน่วยพลังงานต่อหน่วยพื้นที่หรือหน่วยปริมาตรต่อหน่วยเวลา เช่น กิโลแคลอรี/ตารางเมตร/ปี



รูปที่ 11.2.16 ปิรามิดนิเวศแบบต่าง ๆ

ปิรามิดพลังงานมีลักษณะหัวตั้งเสมอ เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานในแต่ละลำดับชั้นเป็นอัตราการผลิต (productivity) คือ ปริมาณของพลังงาน (หรือน้ำหนักแห้ง) ที่

สะสมไว้ต่อหน่วยน้ำหนักชีวภาพ (Biomass) ต่อหน่วยพื้นที่ ต่อหน่วยเวลา เช่น อัตราผลิตเท่ากับ 5 กิโลแคลอรี/ตารางเมตร/ปี เป็นต้น

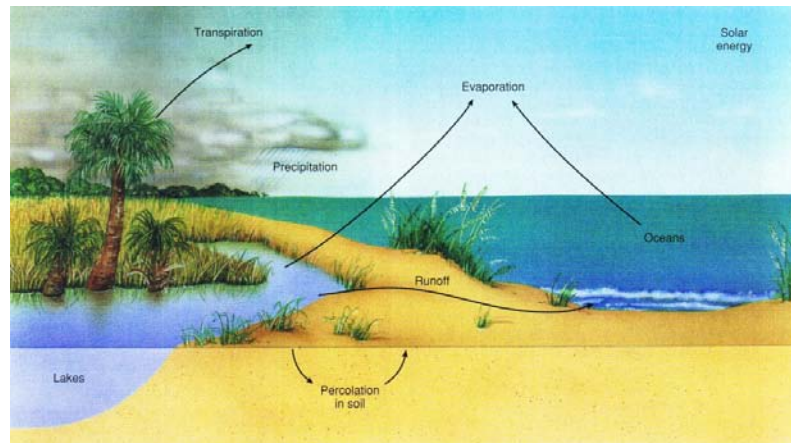
ปิรามิดจำนวน และปิรามิดน้ำหนักอาจมีลักษณะหัวตั้งหรือหัวกลับก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของโซ่อาหาร เช่น โซ่อาหารในทะเลที่มีแพลงค์ตอนพืชเป็นผู้ผลิต มีกุ้งฝอยและปลาใหญ่เป็นผู้บริโภคตามลำดับ ปิรามิดจำนวนจะมีลักษณะหัวตั้ง แต่ปิรามิดน้ำหนักจะเป็นหัวกลับ หรือโซ่อาหารแบบปรสิต ปิรามิดจำนวนจะเป็นหัวกลับ แต่ปิรามิดน้ำหนักจะเป็นหัวตั้ง เป็นต้น

การหมุนเวียนสารในระบบนิเวศ (Material Cycle in Ecosystem)

สารอาหาร (Nutrients) ในไซโตพลาสซึมของสิ่งมีชีวิตก็มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน แสดงถึงการหมุนเวียนของสารจากสิ่งแวดล้อมไปสู่สิ่งมีชีวิต และออกจากสิ่งมีชีวิตกลับสู่สิ่งแวดล้อม เป็นวัฏจักรสารไม่สิ้นสุด วัฏจักรสารดังกล่าวมีการเปลี่ยนรูปของสารที่เกี่ยวข้องกับธาตุทางเคมี อินทรีย์ทางชีวภาพ และธรณีเปลือกโลก เป็นการหมุนเวียนแบบวัฏจักรธรณีเคมี (Biogeochemical Cycle) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ วัฏจักรแก๊ส (Gaseous Nutrient Cycle) สารจะปรากฏอยู่ในรูปของแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ไออน้ำ โดยมีบรรยากาศเป็นแหล่งรองรับ และวัฏจักรการตกตะกอน (Sediment Nutrient Cycle) สารจะปรากฏอยู่ในรูปของแข็ง มีเปลือกโลกหรือพื้นดินเป็นแหล่งรองรับโดยไม่หมุนเวียนเข้าสู่บรรยากาศ เช่น ฟอสฟอรัส และแคลเซียม เป็นต้น

วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle)

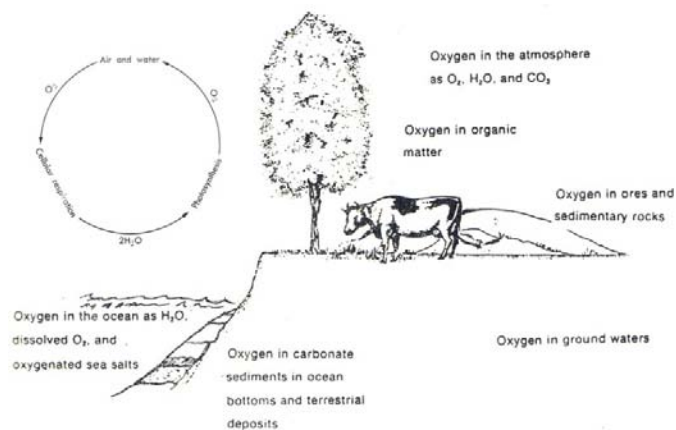
วัฏจักรของน้ำ มี 2 แบบ คือ วัฏจักรระยะสั้น เป็นวัฏจักรที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เป็นการหมุนเวียนระหว่างแหล่งน้ำกับอากาศ โดยการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำรวมตัวเป็นเมฆในอากาศ แล้วกลั่นตัวตกเป็นฝนลงสู่แหล่งน้ำ และวัฏจักรระยะยาว เป็นวัฏจักรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต พืชดูดน้ำจากดินทางราก แล้วคายน้ำทางใบรวมกับ ไออน้ำจากการหายใจของพืชและสัตว์ เป็นไออน้ำในบรรยากาศ รวมตัวเป็นเมฆและกลั่นตัวตกเป็นฝนตกลงสู่พื้นโลก



รูปที่ 11.2.17 วัฏจักรของน้ำ (จาก George B. Johnson, 1997)

วัฏจักรของออกซิเจน (Oxygen Cycle)

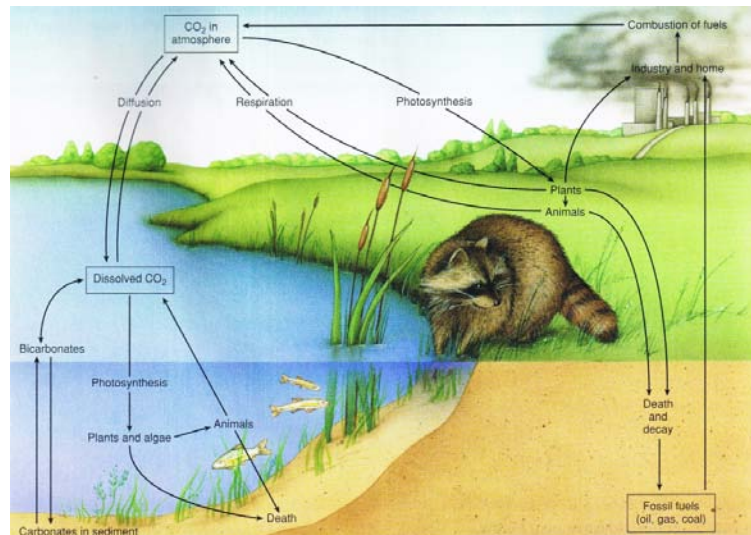
ออกซิเจนพบอยู่ในรูปแก๊สและโมเลกุลของสารประกอบมากชนิด เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์พวกแป้ง โปรตีน ไขมัน ในรูปของอ็อกไซด์ เช่น ไนเตรต คาร์บอเนต อยู่ในแร่ธาตุ เช่น หินปูน (CaCO_3) ควอร์ซ (SiO_2) บอกไซต์ (Al_2O_3) เฮมาไทต์ (Fe_2O_3) ออกซิเจนในบรรยากาศทั้งที่เป็นโมเลกุลอิสระและสารประกอบ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการหายใจ



รูปที่ 11.2.18 แหล่งออกซิเจนและวัฏจักรออกซิเจน (จาก John.W. Kimball. 1965 Biology. P.635)

วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon Cycle)

คาร์บอนเป็นธาตุในสารประกอบอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต และสารประกอบอินทรีย์พวกถ่านหิน น้ำมัน หิน และแก๊ส คาร์บอนหมุนเวียนระหว่างสิ่งมีชีวิตกับอากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ



รูปที่ 11.2.19 วัฏจักรของคาร์บอน (จาก George B. Johnson, 1997)

วัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen Cycle)

ไนโตรเจนในรูปแก๊ส เป็นส่วนประกอบในอากาศประมาณร้อยละ 78 ในสิ่งมีชีวิตไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก การหมุนเวียนของไนโตรเจนต้องอาศัยแบคทีเรียหลายชนิดเป็นตัวเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ดังนี้

1. กระบวนการสร้างแอมโมเนีย (Ammonification)

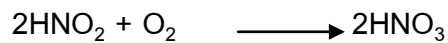
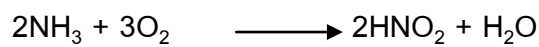
ในกระบวนการเมแทบอลิซึม สารประกอบอินทรีย์พวกไนโตรเจนทำให้เกิดยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) และ แอมโมเนีย (NH_3) ขับถ่ายออกจากร่างกายของสัตว์ แอมโมเนียอีกส่วนหนึ่งได้จากการสลายสารประกอบอินทรีย์พวกไนโตรเจนที่เป็นเนื้อเยื่อของร่างกายพืชและสัตว์ โดยจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียและฟังไจ จนได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อโดยกลุ่ม Aminifying bacteria ได้เป็นแอมโมเนีย นอกจากนี้ในธรรมชาติยังได้แอมโมเนียจากการระเบิดของภูเขาไฟอีกด้วย แอมโมเนียจากแหล่งต่าง ๆ นี้ บางส่วนจะ

ถูกพืชดูดไปใช้ บางส่วนจะแปรสภาพไปโดยกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้อะมโมเนียเป็นแหล่งพลังงาน

2. กระบวนการสร้างไนเตรท (Nitrification)

แบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (Nitrifying bacteria) มีทั้งพวกที่ใช้อะมโมเนีย และพวกที่ใช้ไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ได้ไนเตรทที่พืชนำไปใช้ได้ ดังนี้

แบคทีเรียพวก Nitrosomonas มีการออกซิไดส์อะมโมเนีย ได้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และแบคทีเรียพวก Nitrobacter จะออกซิไดส์ไนไตรท์ ได้เป็นไนเตรท (NO_3^-) ดังนี้



3. กระบวนการเปลี่ยนไนเตรทเป็นแก๊สไนโตรเจน (Denitrification)

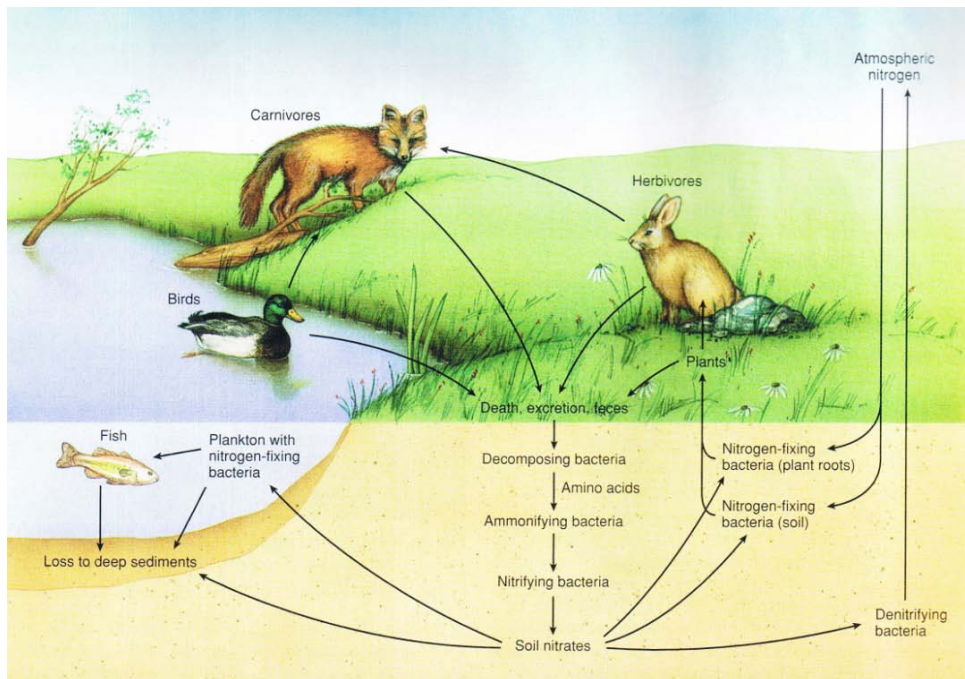
ในธรรมชาติมีกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้ไนเตรทเป็นแหล่งพลังงาน คือ Denitrifying bacteria ได้แก่ Pseudomonas และ Achromobacter ซึ่งเป็นพวกที่เจริญได้ทั้งสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจน (facultative bacteria) ทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนโตรเจนกลับเข้าสู่บรรยากาศได้อีกครั้ง

4. กระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation)

จุลินทรีย์หลายกลุ่มดำรงชีวิตโดยใช้แก๊สไนโตรเจนในอากาศเป็นแหล่งพลังงาน สร้างเป็นสารไนเตรท ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่ม Nitrogen fixing bacteria เช่น Clostridium และ Azotobacter สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พวก Nostoc Oseillatoria และ Anabaena จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตแบบภาวะพึ่งพา (Symbiosis nitrogen fixers) พวก Rhizobium ในปมรากถั่ว และราพวก Actinomycetes ที่อาศัยกับพืชชั้นสูง

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการตรึงกระแสไฟฟ้าและเคมีแสง (Electrification and Photo Chemical Fixation) ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติเป็นกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ เช่น การเกิดฟ้าแลบ ฟ้าผ่า

ไนเตรทบนพื้นโลกบางส่วนจะถูกชะล้างให้พัดพาไปทับถมอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล บางส่วนอาจกลับมาอยู่บนพื้นดินได้ใหม่ โดยสาหร่ายทะเลใช้ไนเตรทเหล่านั้นมีปลาและนกทะเล เป็นตัวหมุนเวียนสาร ไนเตรทบางส่วนจะสูญเสียไปในทะเลลึกยากที่จะกลับมาสู่วัฏจักรได้อีก



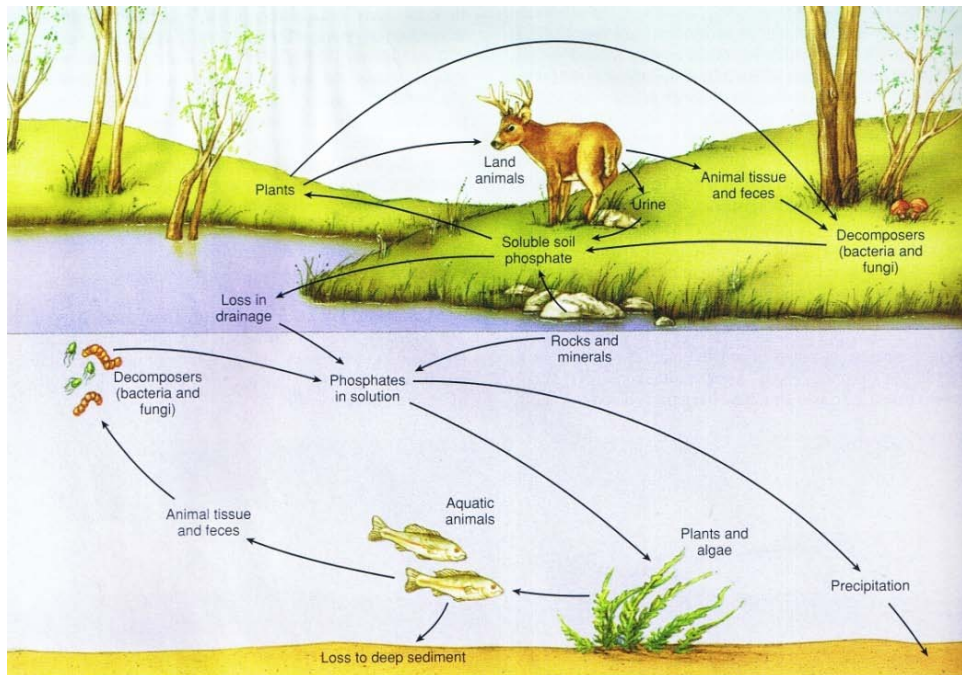
รูปที่ 11.2.20 วัฏจักรของไนโตรเจน (จาก George B. Johnson, 1997)

วัฏจักรของฟอสฟอรัส (Phosphorus Cycle)

ฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิตอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต คือ กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นสารประกอบในสารพันธุกรรม และ Adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งเป็นสารที่เซลล์ใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนในการดำรงชีวิต

ในธรรมชาติแหล่งสะสมฟอสฟอรัสจะอยู่ในดิน ดินตะกอนใต้ทะเล และหินภูเขาซึ่งมีอายุนับล้านปี ฟอสฟอรัสเหล่านี้จะสลายออกมาโดยกระบวนการกัดเซาะ (Erosion) ของลมและน้ำ เป็นสารละลายฟอสเฟตซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้

การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิต โดยซากพืชและสัตว์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (Phosphatising bacteria) เป็นฟอสเฟตที่ละลายน้ำ รวมถึงฟอสเฟตจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์ด้วย ที่พืชนำไปใช้ได้โดยตรง ฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจะถูกชะล้างลงสู่ทะเล แล้วตกตะกอนอยู่ก้นทะเล ซึ่งสะสมอยู่เป็นเวลานานและอาจกลับเข้าสู่ระบบนิเวศได้ใหม่ โดยการยกตัวขึ้นมาของแผ่นดินกลายเป็นภูเขา อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสที่สะสมบริเวณชายฝั่งทะเลอาจหมุนเวียนกลับไปเป็นซากทับถมบนแผ่นดินได้ โดยนกที่กินปลาทะเลแล้วไปขับถ่ายหรือตายทับถม ที่เรียกว่า แหล่งสะสมกาวโน (Guano deposits)

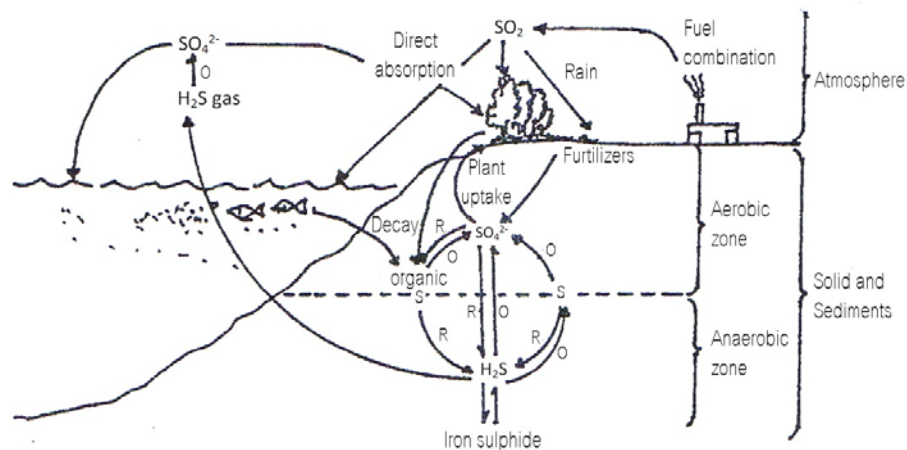


รูปที่ 11.2.21 วัฏจักรของฟอสฟอรัส (จาก George B. Johnson, 1997)

วัฏจักรของซัลเฟอร์ (Sulfur Cycle)

ซัลเฟอร์ในสิ่งมีชีวิตอยู่ในรูปสารประกอบโปรตีนบางชนิด ในธรรมชาติซัลเฟอร์อยู่ในรูปสารประกอบหลายชนิด เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และซัลเฟต (SO_4)

การหมุนเวียนของสารซัลเฟอร์ ผ่านกระบวนการกระทำของจุลินทรีย์ การเผาไหม้ (Combustion) รวมถึงปรากฏการณ์ในธรรมชาติที่เปลี่ยนเป็นสารชนิดต่างผ่านสิ่งมีชีวิตสู่สิ่งแวดล้อมที่เป็นดิน น้ำ และบรรยากาศ เมื่อสิ่งมีชีวิตตายจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและฟังไจ เป็นซัลเฟอร์ที่สะสมในดิน หรือเป็นตะกอนทับถมในแหล่งน้ำ ส่วนบนพื้นดินการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทจะได้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าสู่บรรยากาศ ฝนจะชะล้างแก๊สนี้ละลายลงสู่ดินและน้ำ ซึ่งสิ่งมีชีวิตในดินจะเปลี่ยนให้เป็นซัลเฟตซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ นอกจากนี้ซัลเฟตยังได้จากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ในดินชั้นบน ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์พวกแอโรบิก การใช้ซัลเฟตของแบคทีเรียบางชนิดทำให้ได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในขณะที่แบคทีเรียบางชนิดใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้เปลี่ยนเป็นซัลเฟต



รูปที่ 11.2.22 วัฏจักรซัลเฟอร์

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Succession)

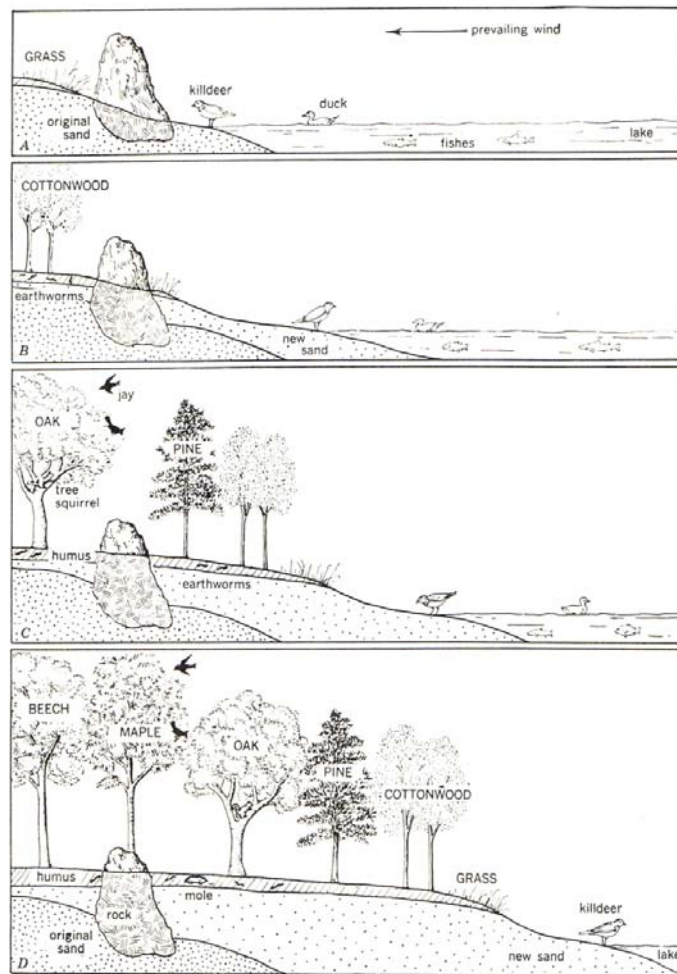
ในระบบนิเวศที่สมดุลจะมีกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่คงที่ แต่ถ้าสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไปจนไม่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของกลุ่มเดิม ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มสิ่งมีชีวิตจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป มีลำดับขั้นจนถึงกลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มสุดท้าย ซึ่งจะอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อไป สิ่งมีชีวิตกลุ่มสุดท้ายนี้เรียกว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (Climax Community) และเรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา (Ecological Succession) หรือการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (Succession) ซึ่งมี 2 แบบ คือ การเปลี่ยนแปลงแทนที่ปฐมภูมิ (Primary Succession) และการเปลี่ยนแปลงแทนที่ทุติยภูมิ (Secondary Succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ปฐมภูมิ เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เริ่มจากบริเวณที่ยังไม่มีดิน และยังไม่เคยมีสิ่งมีชีวิตมาก่อน ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งบนพื้นดิน แหล่งน้ำ และขอนไม้ เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงแทนที่บนก้อนหิน (Rock Succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบริเวณที่เป็นหิน ซึ่งยังไม่เคยมีสิ่งมีชีวิตมาก่อน (Rock-Vergin) จนกลายเป็นพื้นที่ป่า เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่จากสภาพแห้งแล้งไปสู่สภาพชุ่มชื้น มีขั้นตอนการแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ดังนี้

1. ขั้นหินปราศจากสิ่งมีชีวิต (Rock-vergin stage) สภาพแวดล้อมเป็นหินที่ไม่มี ความชื้น น้ำยังไม่สามารถซึมผ่านได้ จึงไม่มีสิ่งมีชีวิตเข้ามาอาศัย ในเวลาต่อมาหินจะเริ่ม ถูกกัดเซาะและผุกร่อน กลายสภาพเป็นหินก้อนเล็ก ๆ และเปลี่ยนสภาพเป็นพื้นทราย
2. ขั้นสิ่งมีชีวิตกลุ่มบุกเบิก (Pioneer organism stage) สภาพของพื้นทรายแรก เกิดจะเริ่มดูดซับความชื้น ทำให้เริ่มมีสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำเข้ามาอาศัย ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่าย ไลเคน และฟังไจ เรียกสิ่งมีชีวิตพวกนี้ว่าผู้บุกเบิก เมื่อจุลินทรีย์ตายทับถม คลุกเคล้ากับพื้นทราย ทำให้พื้นดินมีอินทรีย์วัตถุมากขึ้น ดูดซับน้ำได้มาก จึงมีความชุ่มชื้นมากขึ้น
3. ขั้นกลุ่มสิ่งมีชีวิตตระกูลหญ้า (Grass dominance stage) สภาพแวดล้อม เปลี่ยนเป็นพื้นดินที่มีความหนาแน่นมากขึ้น อีวมีมากขึ้น ความชื้นสูง เป็นสภาพที่เหมาะสม กับพืชชั้นสูงที่จะเข้ามาครอบครองแทนที่ ได้แก่ พืชตระกูลหญ้า และพืชล้มลุก แต่มีหญ้า เป็นชนิดเด่น จึงเรียกเป็นยุคของกลุ่มสิ่งมีชีวิตตระกูลหญ้า
4. ขั้นกลุ่มสิ่งมีชีวิตไม้พุ่ม (Shrub dominance stage) สภาพพื้นดินระยะนี้มีอีวมี สมากขึ้น อันเนื่องจากการตายทับถมของหญ้า พื้นดินชุ่มชื้นเหมาะสมกับการอาศัยของไม้ พุ่ม
5. ขั้นกลุ่มสิ่งมีชีวิตไม้ยืนต้น (Tree dominance stage) หรือกลุ่มสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (Climax community stage) เมื่อมีไม้พุ่มเป็นกลุ่มเด่นทำให้บังแสงมากขึ้น เมล็ดของไม้ ยืนต้นจึงงอกและเจริญได้ดี จนมีความหนาแน่นและกลายสภาพเป็นป่าไม้ ซึ่งเป็น สภาพแวดล้อมที่คงที่มากที่สุด



รูปที่ 11.2.23 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ปฐมภูมิในสภาพแห้งแล้ง

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบ่อน้ำ (Pond Succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบ่อน้ำเกิดใหม่ที่ยังไม่เคยมีสิ่งมีชีวิตมาก่อน จนกลายเป็นพื้นดินที่มีป่าไม้ เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่จากสภาพที่มีความชุ่มชื้นสูงไปสู่ระดับปานกลาง มีขั้นตอนการแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ดังนี้

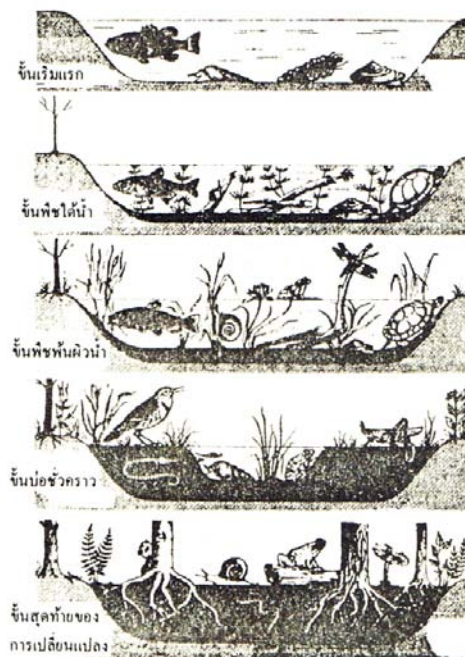
1. ระยะก้นบ่อว่างเปล่า (Bare bottom stage) เป็นระยะที่บ่อเกิดใหม่ ที่พื้นก้นบ่อน้ำเป็นทรายไม่มีชีวิต ยังไม่มีพืชที่มีรากยึดดิน ส่วนใหญ่เป็นพวกลอยน้ำ (floating life forms) ได้แก่ แพลงก์ตอนต่าง ๆ

2. ระยะพืชใต้น้ำ (Submerged vegetation stage) พื้นก้นบ่อเริ่มมีชีววัสถะสมอัน เนื่องจากการตายทับถมของแพลงค์ตอน ระยะนี้เริ่มมีพื้กสาหร่ายแคร่า (Chara) เกิดขึ้นที่ก้นบ่อ

3. ระยะพืชพ้นผิวน้ำ (Emerging vegetation stage) การที่มีสาหร่ายเกิดขึ้นมาก ทำให้เกิดซากทับถมก้นบ่อมากขึ้น ชันชีววัสถ์ที่ก้นบ่อจึงหนามาก จึงเหมาะสมกับการเจริญของพืชขนาดใหญ่ เช่น หญ้า กก ที่ขึ้นตามชายฝั่ง ส่วนบริเวณกลางบ่อมีพื้กบัว และพลับพลึง ซึ่งเป็นพื้กที่มีใบและยอดโผล่พ้นผิวน้ำ

4. ระยะบ่อชั่วคราว และทุ่งหญ้า (Temporary pond and prairie) เมื่อบ่อตื้นเขินจนเป็นพื้นดินที่มีแอ่งขังน้ำอยู่ตรงกลาง ในฤดูแล้งจึงไม่มีน้ำขัง และมีหญ้าขึ้นแทนที่พืชน้ำอื่น ๆ จึงกลายสภาพเป็นทุ่งหญ้า

5. ระยะป่าไม้ (Forest climax stage) เป็นระยะที่บ่อกลายสภาพเป็นพื้นดินทั้งหมด พืชที่เกิดขึ้นเป็นพื้กหญ้า แล้วแทนที่ด้วยไม้พุ่มและไม้ยืนต้นเป็นกลุ่มสุดท้าย ทำให้พื้นดินกลายสภาพเป็นป่าไม้โดยสมบูรณ์ สภาวะอากาศคงที่ เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (climax community)



รูปที่ 11.2.24 ลำดับขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบ่อน้ำ

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทุติยภูมิ เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบริเวณที่เคยมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่มาก่อนแล้ว แต่ถูกรบกวนหรือถูกทำลายไป แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ขึ้นมาใหม่อีกครั้ง เช่น ป่าไม้ถูกแผ้วถางทำไร่เลื่อนลอย การเกิดไฟป่า พื้นที่ป่าจะรกร้างอยู่ระยะหนึ่ง ในเวลาต่อมาจะเริ่มมีหญ้าขึ้นและสะสมความชื้น พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของพืชกลุ่มต่อไปจนถึงไม้ยืนต้นก็จะกลับไปคงตัวที่ป่าไม้ได้ดังเดิม

แนวคิดเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่เดิม เชื่อว่าเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตเข้ามาครอบครองพื้นที่แล้วทำให้สภาพแวดล้อมที่อยู่那儿ค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไป และเหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นที่จะเข้ามาเจริญในพื้นที่นั้น จึงเกิดการแทนที่ขึ้น ปัจจุบันมีแนวคิดที่เปลี่ยนไป นักนิเวศวิทยาเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงแทนที่ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลาเนื่องจากมีเหตุปัจจัยจากภายนอกเป็นสัรบกวน กลุ่มสิ่งมีชีวิตในแต่ละช่วงเวลาจึงเปลี่ยนแปลงได้ตลอด และไม่มีกลุ่มสิ่งมีชีวิตขั้นสุดที่ชัดเจน การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตจึงขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ

11.3 มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม (Human and Environment)

สิ่งแวดล้อม (Environment)

สิ่งแวดล้อม หมายถึง สรรพสิ่งที่อยู่รอบตัว ทั้งที่มีชีวิต คือ สิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ (Biotic Environment) และสิ่งไร้ชีวิต คือ สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Environment) สิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว เช่น ลักษณะของดิน น้ำ พืชและสัตว์ เป็นต้น อยู่ร่วมกัน และมีความต้องการและสัมพันธ์กัน การทำลายสิ่งแวดล้อมหนึ่งย่อมมีผลกระทบไปถึงสิ่งแวดล้อมอื่นด้วย และเนื่องจากสิ่งแวดล้อมแต่ละอย่างมีความคงทนที่แตกต่างกัน จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ในธรรมชาติจึงเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (Succession) ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตอยู่ตลอดเวลา

เนื่องจากสิ่งแวดล้อมเป็นทุกสิ่งในธรรมชาติจึงมีขอบเขตกว้างมาก เพื่อการศึกษาได้อย่างละเอียด จึงจัดกลุ่มสิ่งแวดล้อมโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ สิ่งแวดล้อมที่เป็นทรัพยากร (Resources) เทคโนโลยี (Technology) ของเสียและมลพิษ (Pollution) และสังคมมนุษย์ (Human Society)

ทรัพยากร (Resources) มีทั้งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น มีความสำคัญต่อมนุษย์อย่างยิ่ง

1. ทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resources) มีทั้งทรัพยากรที่ไม่สูญสิ้น เช่น อากาศ น้ำ และแสงอาทิตย์ ทรัพยากรที่ทดแทนได้ เช่น พืช สัตว์ ป่าไม้ และทรัพยากรที่สูญสิ้น เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ

2. ทรัพยากรที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ การดัดแปลงธรรมชาติ หรือ สร้างกลไกควบคุม เช่น การพัฒนาที่ดินเพื่อการเกษตร การใช้พลังงานน้ำ พลังงานลม เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า สิ่งเหล่านี้จัดเป็นทรัพยากรชีว-กายภาพ

เทคโนโลยี (Technology) หมายถึง การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ได้ผลดี มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีในงานต้องก่อให้เกิดผล 3 ประการ ได้แก่ มีประสิทธิภาพ (Efficiency) เป็นการทำงานให้บรรลุจุดประสงค์ได้รวดเร็ว การประหยัด (Economy) เป็นการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่า และมีประสิทธิผล (Productivity) เป็นการทำงานที่ได้ผลสูงสุด การใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสมจึงมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างย้ง ก่อให้เกิดการสูญเสีย สิ้นเปลืองทรัพยากรและเกิดมลภาวะ เทคโนโลยีจึงเป็นสิ่งแวดล้อมรูปแบบหนึ่งที่ต้องใช้อย่างระมัดระวัง

ของเสียและมลพิษ (Pollution) เป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ทรัพยากร และเทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจจะแสดงผลทันที หรือมีการสะสมและปรากฏผลเสียในเวลาต่อมา แหล่งสะสมมีทั้งบนพื้นดิน ในน้ำ และในบรรยากาศ มีผลเสียต่อระบบการทำงานของอวัยวะในร่างกาย โดยเข้าสู่ร่างกายโดยตรงด้วยการบริโภค หรือหายใจ และทางอ้อม เช่น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น

สังคมมนุษย์ (Human Society) มนุษย์เป็นสิ่งแวดล้อมที่อยู่รวมกลุ่มกันเป็นสังคม มีการจัดระเบียบความเป็นอยู่ ทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ได้แก่ การศึกษา สาธารณสุข กฎระเบียบของสังคม ประเพณี วัฒนธรรม สิ่งก่อสร้างทั้งที่เป็นโบราณวัตถุ และโบราณสถาน มนุษย์เป็นกลุ่มสิ่งแวดล้อมกลุ่มเดียวที่เป็นทั้งผู้ใช้ ผู้ทำลาย ผู้รักษา และเป็นกลุ่มที่ใช้ทรัพยากรอื่นในปริมาณมากในการผลิต (Maximum Production) ในขณะที่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เป็นผู้ใช้ทรัพยากรโดยการป้องกันสูงสุด (Maximum Protection) ดังนั้น

ผลเสียที่มนุษย์ได้รับในปัจจุบันจึงเป็นผลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์โดยตรงนั่นเอง

สภาพแวดล้อมเป็นพิษ (Pollution)

โลกปัจจุบันมีประชากรมนุษย์เพิ่มมากขึ้น การใช้ทรัพยากรย่อมมากตามไปด้วย ประกอบกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้มีการผลิตได้มากและรวดเร็ว ทรัพยากรธรรมชาติถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันก็เกิดของเสียจากขบวนการผลิตมากขึ้นด้วย ซึ่งจะย้อนกลับมาทำอันตรายต่อการดำรงชีพของมนุษย์

มลพิษของน้ำ (Water Pollution)

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ทั้งการบริโภคและอุปโภคในครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การประมง การเกษตร ตลอดจนเป็นแหล่งพักผ่อน

แหล่งที่มาของน้ำเสีย ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมมาจากแหล่งใหญ่ ๆ 3 แหล่ง ได้แก่

1. อาคารบ้านเรือน เป็นแหล่งผลิตน้ำเสียจากขยะมูลฝอย การขับถ่าย การทำความสะอาด การประกอบอาหาร การซักล้าง ผ่านทางท่อระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
2. โรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานเครื่องดื่ม โรงงานอาหารกระป๋อง โรงกลั่นน้ำมัน น้ำเสียจากโรงงานเหล่านี้มีทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร รวมถึงการระบายความร้อนที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักรกล ถ้าน้ำจากโรงงานปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการกำจัดของเสีย จะทำให้แหล่งน้ำมีอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารมาก และมีอุณหภูมิสูง ทำให้ออกซิเจนในน้ำมีน้อยกว่าปกติ
3. พื้นดินที่ทำเกษตรกรรม มีการใช้สารเคมี พืชปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืชและสัตว์ รวมถึงสิ่งปฏิกูลทั้งที่เป็นสิ่งขับถ่าย และเศษอาหารสัตว์ สิ่งเหล่านี้จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ

น้ำเสียอาจมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี หรือทางฟิสิกส์ เช่น การระบายความร้อนจากโรงงานทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีมาก เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ความเป็นกรด-เบสของน้ำเปลี่ยนไป จนสิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ น้ำเสียอาจเกิดจากมีเชื้อโรคที่มากับสิ่งปฏิกูล พืชขยะ อุจจาระ ปัสสาวะ เช่น เชื้ออหิวาตกโรค ไทฟอยด์ บิด และท้องเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำเสียเนื่องจากการปนเปื้อนของสารพิษ เช่น โลหะพวก

ตะกั่ว ปรอท สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ รวมถึงน้ำมันจากเครื่องยนต์ ที่เคลือบผิวหน้าปิดกันไม่ให้ออกซิเจนจากอากาศแพร่ลงน้ำได้

จากสาเหตุที่ทำให้น้ำเสีย จึงอาจแบ่งน้ำเสียได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. น้ำเสียที่เกิดจากมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อย เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของพวกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนหายใจ (aerobic bacteria) ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง จนไม่เหมาะกับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ออกซิเจนเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำ ดังนั้นการวิเคราะห์คุณภาพของแหล่งน้ำจึงทำได้โดยการวัดปริมาณออกซิเจน ได้แก่

1.1 Dissolved Oxygen (D.O) คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติ ปกติน้ำจะต้องมีออกซิเจนละลายอยู่ 8 ppm ถ้าค่า D.O ต่ำกว่า 3 ppm เป็นน้ำเสีย

1.2 Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้เพื่อการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ ค่า BOD สูง แสดงว่าแหล่งน้ำมีน้ำเสียมาก เพราะจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนมาก เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีจำนวนมากให้หมดไป โดยทั่วไปค่า BOD ของน้ำที่สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นน้ำเสีย

1.3 Chemical Oxygen Demand (C.O.D.) เป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้เพื่อการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำ ทั้งส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ เป็นวิธีที่ใช้สารเคมีใส่ลงในแหล่งน้ำ เพื่อทำหน้าที่แทนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด สารที่ใช้ส่วนใหญ่ คือ โพแทสเซียมไดโครเมต ค่า COD จึงมีค่าสูงกว่า BOD เสมอ

การย่อยสลายสารของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น แต่ถ้าแหล่งน้ำมีอินทรีย์สารมาก ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดน้อยลง แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนก็จะน้อยลงด้วย สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) และเหลือแบคทีเรียที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจน (facultative bacteria) ทำให้เกิดแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น เช่น มีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย เป็นต้น จึงทำให้น้ำเสียมีกลิ่นเหม็น

2. น้ำเสียที่เกิดจากมีสารพิษละลายอยู่ ได้แก่ สารกำจัดศัตรูพืช โลหะหนัก พวกปรอท และแคดเมียม ผงซักฟอก รวมถึงเชื้อโรค เป็นต้น

น้ำเสียมีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของผู้คนทั้งส่วนบุคคลและสังคมอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผลเสียต่อสุขภาพ อนามัย ทั้งนี้เพราะแหล่งน้ำเสียเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค และสัตว์ที่เป็นพาหะ เช่น เชื้ออหิวาตกโรค เชื้อไข้ไทฟอยด์ โรคบิด เป็นที่เกิดของยุง ซึ่งเป็นพาหะของโรคหลายชนิด ได้แก่ มาลาเรีย ไข้เลือดออก เป็นต้น น้ำเสียนอกจากไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคแล้วยังไม่เหมาะในการเกษตร ในการประมงน้ำเสียเป็นแหล่งที่มีสัตว์น้ำน้อย ในทางนิเวศวิทยาน้ำเสียจัดเป็นแหล่งน้ำที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ และอาจเสียสมดุลได้ นอกจากนี้แหล่งน้ำเสียยังทำให้ขาดทัศนียภาพที่สวยงาม และไม่สามารถใช้เป็นที่พักผ่อนได้

มลพิษอากาศ (Air Pollution)

อากาศบริสุทธิ์ ประกอบด้วย ไนโตรเจน 78.09 % และออกซิเจน 20.94 % โดยประมาณ อีก 0.97 % ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม คริpton ซีนอน นอกจากนี้มีไอน้ำและฝุ่นละออง ส่วนอากาศเสียจะมีมลสารที่มีผลเสียต่อสุขภาพปะปนอยู่ ได้แก่ แก๊สพิษไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละออง และ/หรือ สารกัมมันตรังสี แก๊สและฝุ่นละอองจะรวมตัวกันเป็นหมอกควัน (Smog) บดบังแสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันก็ขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากผิวโลกเข้าไปในบรรยากาศที่สูงขึ้นไปด้วย เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดสภาพเรือนกระจก (Green house effect)

แหล่งกำเนิดของอากาศเสีย

1. รถยนต์และยานพาหนะ แก๊สเสียจากท่อไอเสียรถยนต์ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และแก๊สไฮโดรคาร์บอน
2. โรงงานอุตสาหกรรม มีการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านหิน ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นละอองในอากาศ
3. การเผาไหม้เชื้อเพลิงในบ้านเรือนและการเผาขยะ ขยะบางอย่างเมื่อเผาไหม้จะเกิดแก๊สพิษ เช่น ขยะพลาสติก เมื่อเผาไหม้จะเกิดกรดไฮโปคลอริก ซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อเมื่อสูดดม

ผลของอากาศเป็นพิษ

ในอากาศเสียมีสารพิษที่มีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย มีผลต่อการทำงานของระบบอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงบางอย่างในโรงงานอุตสาหกรรม และจากท่อไอเสียรถยนต์ แก๊สนี้จะลดปริมาณลงเมื่อรวมกับน้ำฝน กลายเป็นกรดซัลฟิวริกตกลงสู่ดิน แก๊สนี้ทำให้ระบบหายใจผิดปกติ เช่น หลอดลมอักเสบ มีอาการหายใจหอบ คลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ และมีผลไปถึงระบบสมอง ปอดและหัวใจ ถ้ามีปริมาณ 630-650 ppm จะทำให้เสียชีวิตได้

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และรส เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงสารประกอบคาร์บอน โดยเฉพาะพวกน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมหลายอย่างเป็นแหล่งผลิตแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากกรรมวิธีการผลิตและการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น โรงกลั่นปิโตรเลียม โรงหล่อเหล็ก โรงงานผลิตผงคาร์บอน เป็นต้น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีผลต่อมนุษย์ โดยการจับตัวกับฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง โดยแย่งจับกับออกซิเจน เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (HbCO) ซึ่งมีความคงตัวสูงและแย่งจับได้ดีกว่าออกซิเจนจับกับฮีโมโกลบินเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (HbO₂) ถึง 200 เท่า ทำให้คนขาดอากาศหายใจได้ ถ้ามี HbCO อยู่ในเลือดเกินกว่า 20 % จะเกิดอาการปวดศีรษะ ตาลาย

แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ชนิดที่เป็นมลพิษที่สำคัญต่อชีวิต ได้แก่ แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซึ่งเป็นแก๊สที่เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติจากปรากฏการณ์ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ภูเขาไฟระเบิด จุลินทรีย์ในดิน และจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับการผลิตในอุตสาหกรรม

ไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลเสียต่อร่างกายทางระบบหายใจ ถ้าได้รับแก๊สที่มีความเข้มข้นสูง จะมีอาการไอ หายใจไม่ออก แน่นอึดอัด และอาการอาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นสารประกอบของธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนทุกชนิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ มี 3 ประเภท คือ aliphatic, alicyclic และ aromatic การกลายเป็นไอของไฮโดรคาร์บอนขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอม คือ ถ้ามีจำนวนคาร์บอน 1-4 จะอยู่ในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิปกติ ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดตามธรรมชาติ เช่น แก๊สมีเทน (CH₄) เกิดจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ และในแก๊สธรรมชาติที่เป็นเชื้อเพลิง กิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์ที่เป็นควันขาวจากท่อไอเสีย ไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจนและ

ออกซิเจนในอากาศเกิดหมอกควัน ไอของสารประกอบพวกนี้จะระคายเคืองเยื่อบุ โดยเฉพาะระบบหายใจทำให้เป็นมะเร็งปอด

ตะกั่ว (Lead) เป็นโลหะสีเทาเงิน เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แหล่งสำคัญ คือ หินอัคนีและหินแปร สารตะกั่วที่เป็นผลจากสภาวะมลพิษ เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนเตรตคลอเรต ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เมื่อมีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ จึงเกิดสารตะกั่วออกมากับไอเสียเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้การถลุงแร่ตะกั่ว และการหลอมเศษตะกั่ว เช่น แบตเตอรี่ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารตะกั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ผลของสารตะกั่วต่อมนุษย์ ได้แก่ การบริโภคอาหารและน้ำที่มีสารตะกั่วปนเปื้อน การหายใจนำอากาศที่มีสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ตลอดจนการดูดซึมตะกั่วอินทรีย์เข้าทางผิวหนัง สารตะกั่วจะสะสมในปอดและกระแสเลือด มีผลต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ ระบบประสาท ทำให้เกิดโรคสมองอักเสบ ระบบขับถ่าย ทำลายไต ระบบโลหิต ตะกั่วขัดขวางการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง และยังพบว่าตะกั่วเป็นสาเหตุของมะเร็งปอด โรคหัวใจ หอบหืดอีกด้วย

มลพิษของดิน (Soil Pollution)

ดินเสีย อาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ ได้แก่ น้ำท่วมขังเป็นเวลานาน ทำให้ดินเปลี่ยนสภาพความเป็นกรดเบส การเกิดพายุพัดทำให้หน้าดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้ไม่เหมาะต่อการเพาะปลูกพืช นอกจากนี้ดินเสียยังอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยกิจกรรมการดำรงชีพของมนุษย์มีการดัดแปลงพื้นดินธรรมชาติและการทำอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ผลที่เกิดจากสภาพดินเป็นพิษ

1. ผลผลิตทางการเกษตรลดลง หรือไม่ได้ผล
2. เกิดโรคระบาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นดินที่มีขยะสะสม เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เป็นแหล่งอาศัยของสัตว์พาหะของโรค เช่น แมลงสาบ แมลงวัน หนู ชุกชุมมาก
3. ระบบโซ่อาหารเสียไป พืชจะดูดซึมสารพิษจากดินและถ่ายทอดไปสู่สัตว์ โดยสะสมในเนื้อเยื่อ ซึ่งจะสะสมสูงสุดในคน ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย

นอกจากนี้ยังมีมลพิษอื่น ๆ ได้แก่ มลพิษทางเสียง (Noise Pollution) คือ เสียงที่รบกวน ก่อความรำคาญ ซึ่งเป็นเสียงที่ดังเกินกว่า 8 เดซิเบล เสียงเป็นพิษมีผลต่ออารมณ์ของคน ทำให้หงุดหงิด ประสาทแปรปรวน ซึ่งจะมีผลต่อความผิดปกติของระบบย่อยอาหาร และระบบฮอร์โมนต่าง ๆ มลพิษทางภาพ (Visual Pollution) คือ ความไม่สวยงาม

เมื่อมองเห็น มักเกิดจากการกระทำของมนุษย์ หรือความมั่งคั่ง ได้แก่ การทิ้งขยะมูลฝอย ไม่เลือกที่ การขีดเขียนตามสิ่งก่อสร้าง หรือตามที่สาธารณะ ตลอดจนงานก่อสร้าง บางอย่าง เช่น สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ที่รกรุงรัง ป้ายโฆษณาที่ติดตั้งอย่างไม่มีระเบียบ รวมถึงการตากผ้ารกรุงรังตามอาคารบ้านเรือน เป็นต้น

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environment Conservation)

การอนุรักษ์ (Conservation) หมายถึงการใช้สิ่งของอย่างสมเหตุสมผล เพื่อให้มีใช้ได้อย่างยั่งยืน การอนุรักษ์จึงเป็นการใช้ตามความจำเป็น และใช้อย่างประหยัดเพื่อให้มีใช้ในอนาคต

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงเป็นการใช้สิ่งต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมอย่างมีเหตุผล เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีพอย่างมีคุณภาพของมนุษย์ มีหลักการ ดังนี้

1. การใช้แบบยั่งยืน (Sustainable Utilization) การใช้ทรัพยากรใด ๆ ต้องมีความรู้ธรรมชาติของทรัพยากรประเภทนั้น ๆ เป็นอย่างดี ใช้อย่างระมัดระวัง ไม่ใช้เกินความจำเป็นจนเกิดความเสียหาย ต้องคำนึงถึงความสูญเปล่าที่จะเกิดจากการใช้ เลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเภทของทรัพยากร รู้ช่วงระยะเวลาที่ควรใช้ และต้องมีวิธควบคุมของเสียและมลภาวะที่จะเกิดขึ้น เช่น การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เป็นต้น

2. การเก็บ (Storage) เป็นการเก็บรวบรวมทรัพยากรที่มีแนวโน้มว่าจะขาดแคลนในอนาคต อาจมีวัตถุประสงค์ของการเก็บกักที่แตกต่างกันไป เช่น การเก็บกักน้ำในช่วงมีน้ำมากไว้ใช้ในช่วงเวลาที่จะขาดน้ำ การถนอมอาหารที่มีมากในฤดูการผลิตไว้เป็นอาหารนอกฤดูกาล การเก็บกักอาจกระทำเพื่อความมั่นคงก็ได้ เช่น การรักษาป่าไม้ แร่ธาตุ แหล่งน้ำมัน แหล่งแก๊สธรรมชาติ แหล่งน้ำ เป็นต้น

3. การรักษา และซ่อมแซม (Repair) ทรัพยากรที่ขาดหายไป หรือใช้การไม่ได้เสื่อมสภาพ หรือเกิดปัญหา ต้องมีการดำเนินการซ่อมแซมให้กลับคืนสภาพที่ใช้งานได้ เช่น การเติมอากาศลงในบ่อบำบัดน้ำเสีย การปลูกไม้ทดแทนในป่าเสื่อมโทรม การเพาะขยายพันธุ์สัตว์เพื่อปล่อยสู่ป่าธรรมชาติ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้อาจต้องใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยแก้ไขด้วย

4. การฟื้นฟู (Rehabilitation) สิ่งแวดล้อมที่เสื่อมสภาพต้องดำเนินการฟื้นฟูให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลานานในการฟื้นฟู รวมถึงอาจต้องใช้เทคโนโลยีช่วยด้วย เช่น การฟื้นฟูแหล่งที่อยู่ของสัตว์น้ำ โดยการสร้างปะการัง

เทียมจากวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ การปลูกป่าบกและป่าชายเลนเพื่อเป็นที่อาศัยของสัตว์บกและสัตว์น้ำ เป็นต้น

5. การพัฒนา (Development) สิ่งแวดล้อมที่มีอยู่เดิม ควรมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อผลผลิตที่ดีหรือสูงขึ้น การพัฒนาจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางเทคโนโลยีขั้นสูง และมีการวางแผนที่ดีจึงจะประสบความสำเร็จ

6. การป้องกัน (Prevention) เป็นการปกป้อง คุ้มครองไม่ให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต่อทรัพยากรที่กำลังจะถูกทำลาย หรือป้องกันไม่ให้เกิดการลุกลามไปมากกว่าที่เป็นอยู่ การป้องกันอาจใช้วิธีการประชาสัมพันธ์ ให้ความรู้ หรือการบังคับใช้กฎหมาย เช่น การออกกฎหมายห้ามนำดูปะการังในเขตน้ำตื้น เพื่อการฟื้นตัวของปะการังที่เกิดภาวะฟอกขาว เป็นต้น

7. การสงวน (Preservation) เป็นการเก็บสิ่งแวดล้อมโดยการห้ามใช้ โดยอาจมีการกำหนดระยะเวลาในการเก็บ เช่น การปิดป่าเป็นระยะเวลา 50 ปี เป็นต้น

8. การแบ่งเขต (Zonation) เป็นการจัดแบ่งบริเวณ หรือกลุ่ม ตามคุณสมบัติของทรัพยากร การแบ่งเขตมักใช้เมื่อวิธีการให้ความรู้หรือการบังคับใช้กฎหมายไม่ได้ผล หรือเพื่อที่จะกำหนดขอบเขตให้มีความชัดเจน เพื่อให้การอนุรักษ์ได้ผล เช่น การจัดทำอุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เขตป่าสงวนแห่งชาติ เมืองควบคุมมลพิษ เป็นต้น

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(Environment Conservation with Science and Technology)

วิทยาศาสตร์ (Science) คือ ความรู้ที่ได้จากการศึกษาข้อเท็จจริงจากสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ เป็นการแสวงหาความรู้อย่างเป็นระบบ ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific method) ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตของปัญหา การตั้งสมมติฐาน การตรวจสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล สิ่งที่ค้นพบ คือ ความรู้ หรือข้อเท็จจริงของปรากฏการณ์นั้น ๆ

เทคโนโลยี (Technology) คือ กระบวนการหรือวิธีการ ตลอดจนเครื่องมือที่เกิดจากการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ เทคโนโลยีจึงเป็นปัจจัยที่ช่วยให้มนุษย์ดำรงชีวิตได้อย่างสะดวกสบาย และมีความเป็นอยู่ที่ดี ดังจะเห็นได้จากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ก่อให้เกิดเทคโนโลยีต่าง ๆ มากมาย

เช่น เทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ทางการแพทย์ ในการผลิตยา ทางเภสัชกรรม พันธุวิศวกรรมในการตัดต่อยีน เพื่อปรับปรุงพันธุ์พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เป็นต้น

การใช้เทคโนโลยีต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเภทของทรัพยากร รวมถึงช่วงเวลาการใช้ และสถานที่ มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลเสียและเป็นอันตรายที่ใหญ่หลวงและยากจะแก้ไข ดังตัวอย่าง การเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการปล่อยสาร CFCs เข้าสู่ชั้นบรรยากาศไปทำลายโอโซนจนเกิดรูรั่วของชั้นบรรยากาศ ความร้อนจึงผ่านเข้ามาสู่ผิวโลก ทำให้โลกร้อน ซึ่งมีผลเสียตามมาอีกหลายเรื่อง นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ฝนกรด กากนิวเคลียร์ น้ำเสีย อากาศเสีย เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การควบคุมสิ่งแวดล้อมเป็นพิษที่มีประสิทธิภาพก็จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ดังนั้น จึงควรที่จะต้องทำการศึกษา ทำความเข้าใจ ตลอดจนมีทักษะการใช้ในทุกระดับ ตั้งแต่เทคโนโลยีพื้นฐานไปจนถึงเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เพื่อไม่ให้เกิดผลเสียที่ต้องตามแก้ไขในภายหลัง

สิ่งแวดล้อมกับคุณภาพชีวิต (Environment and Quality of Life)

มนุษย์ใช้ทรัพยากรตลอดชีวิตในหลายรูปแบบ และใช้ในลักษณะที่ได้ผลผลิตสูงสุด (maximum production) การใช้ทรัพยากรของมนุษย์มักก่อให้เกิดผลเสียตามมาด้วยเสมอ จึงเป็นผลย้อนกลับมาเป็นอันตรายต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์ คุณภาพชีวิตอาจพิจารณาจากตัวชี้วัดในเรื่อง สุขภาพอนามัย การศึกษา วัฒนธรรม เศรษฐกิจ ความปลอดภัยในชีวิต และทรัพย์สิน การนันทนาการ การท่องเที่ยว และความผาสุกของครอบครัวและสังคม ดังนั้น คุณภาพของชีวิตจึงต้องประกอบด้วยปัจจัยต่อไปนี้

1. ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ (Sustainable Economy) มนุษย์ใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการดำรงชีวิต และพัฒนาเศรษฐกิจ ทรัพยากรบางอย่างใช้แล้ว สูญสิ้น เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงที่กำลังจะหมดไปจากโลก ทำให้มนุษย์เกิดการตื่นตัวหันมาให้ความสนใจที่จะใช้อย่างประหยัด ขณะเดียวกันก็คิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่น ทรัพยากรที่ใช้แล้วสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่ได้ มนุษย์ก็ต้องใช้อย่างระมัดระวัง ให้การใช้กับการทดแทนอยู่ในระดับที่สมดุลอยู่เสมอ

2. ความยั่งยืนทางความหลากหลายทางชีวภาพ (Sustainable Biodiversity) ความหลากหลายทางชีวภาพ จัดเป็นแหล่งพื้นฐานสำคัญของการดำรงชีวิตของมนุษย์

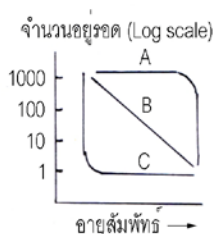
เนื่องจากเป็นแหล่งอาศัย แหล่งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรคที่จำเป็นของมนุษย์ หากมนุษย์ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่เป็นความหลากหลายทางชีวภาพอย่างเกินความจำเป็น จนเป็นการทำลายความหลากหลายทางชีวภาพ มนุษย์ก็จะสูญเสียปัจจัยการดำรงชีพ มีชีวิตที่ยากลำบาก

3. ความยั่งยืนทางคุณภาพชีวิต (Sustainable Quality of Life) คุณภาพชีวิต คือ ระดับสภาพการดำรงชีวิตของมนุษย์ตามองค์ประกอบของชีวิต ได้แก่ ทางร่างกาย ทางอารมณ์ ทางสังคม ทางความคิด และจิตใจ คุณภาพชีวิตควรประกอบด้วยองค์ประกอบต่อไปนี้ คือ การได้รับอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และที่อยู่อาศัยที่เหมาะสม การมีสุขภาพอนามัยที่ดี มีความมั่นคงปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน มีความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต มีการศึกษาที่ดี ครอบครัวมีความสุข มีงานที่ดีและพอใจ มีสภาพแวดล้อมที่ดีและสะอาด มีวัฒนธรรม ขนบธรรมเนียม ประเพณีที่ดี มีศีลธรรมและจริยธรรมประจำใจ มีอิสระในการแสดงความคิดเห็น มีสิทธิและโอกาส เสมอภาค และมีบทบาทในสังคม

จากองค์ประกอบดังกล่าว การมีคุณภาพชีวิตที่ดีจึงเป็นชีวิตที่มีความเป็นอยู่ในระดับที่เป็นกลาง มีความพอดี ไม่ฟุ้งเฟ้อ และยากจนแร้นแค้น อันเป็นสาเหตุของการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ คุณภาพชีวิตจึงเป็นชีวิตที่มีสิ่งแวดล้อมที่ดี มีเศรษฐกิจดี ได้รับความยุติธรรมทางสังคม และเป็นสังคมที่เอื้ออาทร พึ่งพาอาศัยกันได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงบอกความหมายของประชากรในทางชีววิทยา
2. ถ้ามีแบคทีเรียเริ่มต้นที่ 3 เซลล์สืบพันธุ์ไม่อาศัยเพศโดยแบ่งเซลล์แบบ binary fission แต่ละครั้งใช้เวลา 30 นาที ในเวลา 6 ชั่วโมง จะมีจำนวนแบคทีเรียเท่าใด
3. ในการหาขนาดประชากรต้นตอยึดในสนามขนาด 50 ตารางเมตร โดยใช้กรอบไม้ (quadrat) ขนาดหนึ่งตารางเมตร ทำการเลือกตัวอย่าง 10 ครั้ง นับจำนวนต้นตอยึด แต่ละครั้งได้ 20 30 25 40 48 58 70 105 94 และ 210 ต้น ตามลำดับ จากข้อมูลนี้สามารถคาดคะเนได้ว่ามีต้นตอยึดอยู่ในสนามประมาณเท่าใด
4. เจ้าของบ่อปลาอยากทราบว่าในบ่อมีปลาจำนวนเท่าใด จึงสุ่มตัวอย่างปลาขึ้นมา 120 ตัว ติดเครื่องหมายทั้งหมดแล้วปล่อยกลับที่เดิม ต่อมาสุ่มตัวอย่างครั้งที่ 2 พบว่า จากปลาจำนวน 30 ตัว เป็นพวกที่มีเครื่องหมายติด 6 ตัว ดังนั้นปลาในบ่อมีจำนวนประมาณเท่าใด
5. ประชากรแมลงบั่วที่มีการระบาดทำลายต้นข้าวในเขตจังหวัดภาคเหนือ จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 ปีติดต่อกัน พบว่า แมลงระบาดมากที่สุดในเดือนกันยายน ซึ่งเป็นระยะที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27 °C ข้อมูลนี้บ่งบอกถึงอะไร
6. จำนวนอยู่รอด (Log scale) จากกราฟแสดงการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตั้งแต่แรก

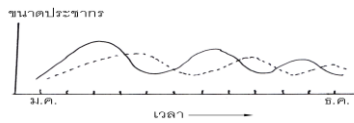


เกิดจนกระทั่งตายไปตามอายุขัย ถ้า A เป็นกราฟการอยู่รอดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม B ของหอยโข่ง และ C ของพืชไม้ล้มลุก จะอธิบายจำนวนการมีชีวิตรอดกับอายุของสิ่งมีชีวิตทั้ง 3 ชนิดว่าอย่างไร

1.

7. สถิติเกี่ยวกับประชากรของประเทศหนึ่งในปี พ.ศ. 2553 มีเด็ก (อายุ 0-14 ปี) 29 % ผู้ใหญ่ (อายุ 15-64 ปี) 67.4 % และคนชรา (อายุ 65 ปีขึ้นไป) 9.6 % นโยบายของรัฐบาล เพื่อตอบสนองต่อประชากรในปี พ.ศ. 2557 ควรเป็นอย่างไร

8. กราฟแสดงประชากรแพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ตลอดปี ในบึงแห่งหนึ่ง กราฟนี้บอกข้อมูลอะไรบ้าง



9. บริเวณรอยต่อของระบบนิเวศ 2 ระบบ ที่เหลื่อมล้ำกัน จำนวนสปีชีส์ของสัตว์จะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

10. ปัจจัยสำคัญทางกายภาพอะไรบ้างที่มีผลจำกัดการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในมหาสมุทร แต่มักไม่มีผลต่อการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตบนบกทั่ว ๆ ไป

11. การใช้ปิรามิดจำนวน (Pyramid of Number) แสดงการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศ มีความไม่เหมาะสมในเรื่องใด

12. เมื่อเกิดการฟอกขาวกับปะการัง คือ สาหร่ายที่เจริญแทรกอยู่ตามเนื้อเยื่อปะการัง มีการตายไป จะทำให้ปะการังลดอัตราการเจริญเติบโตอย่างมาก เหตุใดจึงเป็นเช่นนี้

13. หนอนตัวแบนชนิดหนึ่ง ผังตัวอยู่ในทรายริมฝั่งทะเล ในเนื้อเยื่อของหนอนมีสาหร่ายสีเขียวเล็ก ๆ อาศัยอยู่ เมื่อน้ำลงหนอนจะคลานมาที่พื้นทรายเพื่อรับแสง ทำให้สาหร่ายสามารถทำการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ หนอนจึงได้แบ่งจากสาหร่ายเป็นอาหาร ความสัมพันธ์ของหนอนกับสาหร่ายเป็นแบบใด

14. สาเหตุสำคัญที่ทำให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง คืออะไร

15. การบริโภคทำให้เกิดการถ่ายทอดทั้งสารและพลังงาน เพราะเหตุใดจึงมีแต่การหมุนเวียนของสารเท่านั้น

16. Green House Effect คืออะไร มีสาเหตุมาจากอะไร และมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอย่างไร

17. BOD และ COD ต่างก็เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำ ค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างไร

18. เพราะเหตุใดเราจึงพบการเจริญของไลเคนส์อยู่ตามต้นไม้ในป่ามากกว่าต้นไม้ในเขตเมืองที่เจริญ

19. การเพิ่มปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นพลังงานของโลกปัจจุบันมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร

20. วิธีการเร่งด่วนในขณะนี้ที่จะบริหารทรัพยากรป่าไม้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดควรทำอย่างไร