ตอนที่ 4
นิเวศวิทยา พฤติกรรม และวิวัฒนาการ

บทที่ 15
นิเวศวิทยา

เค้าโครงเรื่อง

15.1 โครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศ

15.1.1 การถ่ายทอดพลังงาน

15.1.2 วัฏจักรของแร่ธาตุ

15.2 ความหลากหลายของระบบนิเวศของโลก

15.2.1 ระบบนิเวศบนบก : ชีวนิเวศ

15.2.2 ระบบนิเวศทางน้ำ

15.3 ประชากรและการควบคุมประชากร

15.3.1 รูปแบบของประชากร

15.3.2 ประชากรมนุษย์

15.4 กลุ่มสิ่งมีชีวิต

15.4.1 อันตรกริยาของกลุ่มสิ่งมีชีวิต

15.4.2 การเปลี่ยนแปลงแทนที่

15.5 นิเวศวิทยาประยุกต์

15.5.1 การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

15.5.2 มลพิษและหลักการควบคุมมลพิษ

นิเวศวิทยาเป็นวิทยาศาสตร์ว่าด้วยการศึกษาอันตรกริยาระหว่าง**สิ่งมีชีวิต**กับ**สภาพแวดล้อม** จึงมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ **ส่วนของสิ่งมีชีวิต** และ **ส่วนของสิ่งไม่มีชีวิต** สภาพแวดล้อมหมายถึงสิ่งที่อยู่รอบตัวของสิ่งมีชีวิต อาจเป็น **สภาพแวดล้อมทางกายภาพ** หรือ **สภาพ**

แวดล้อมทางชีวภาพ ก็ได้ มนุษย์อาศัยอยู่ในบ้านและมีอาชีพเป็นเกษตรกร บ้าน ที่ดิน อากาศ แสงอาทิตย์ในครอบครองและบริเวณใกล้เคียงถือเป็นสภาพแวดล้อมทางกายภาพ สิ่งมีชีวิตตั้งแต่ขนาดเล็กสุดคือ แบคทีเรีย ไส้เดือนดิน ขึ้นมาจนถึงนก และสัตว์เลี้ยง ในบริเวณเดียวกันถือเป็นสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ บ้านและที่ดินทำกินถือเป็น **ถิ่นที่อยู่อาศัย (habitat)** ครอบครัวของเขาตลอดจนครอบครัวของเพื่อนบ้าน รวมเรียกว่า **ประชากร (population)** สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในบริเวณนั้นแต่ละชนิดจะมีจำนวนตัว (ต้นในกรณีของพืช) น้อยหรือมาก ก็ถือว่าเป็นประชากรของแต่ละชนิด เมื่อนับจำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ของเกษตรกรดังตัวอย่างมากกว่า 2 ประชากรขึ้นไป เรียกว่าเป็น **กลุ่มสิ่งมีชีวิต (community)** หลายกลุ่มสิ่งมีชีวิตประกอบกันเป็น **ระบบนิเวศ (ecosystem)** ระบบนิเวศที่มีอาณาบริเวณกว้าง (และ/หรือมีระบบนิเวศขนาดเล็กที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน) รวมเรียกว่า **ชีวนิเวศ (biome)** ซึ่งประกอบกันเป็น **นิเวศวิทยาบนบก (terrestrial ecology)** และเมื่อรวมเข้ากับ**นิเวศวิทยาทางน้ำ (aquatic ecology)** เข้าด้วยกันรวมเรียกว่า **โลกของสิ่งมีชีวิต (biosphere)**

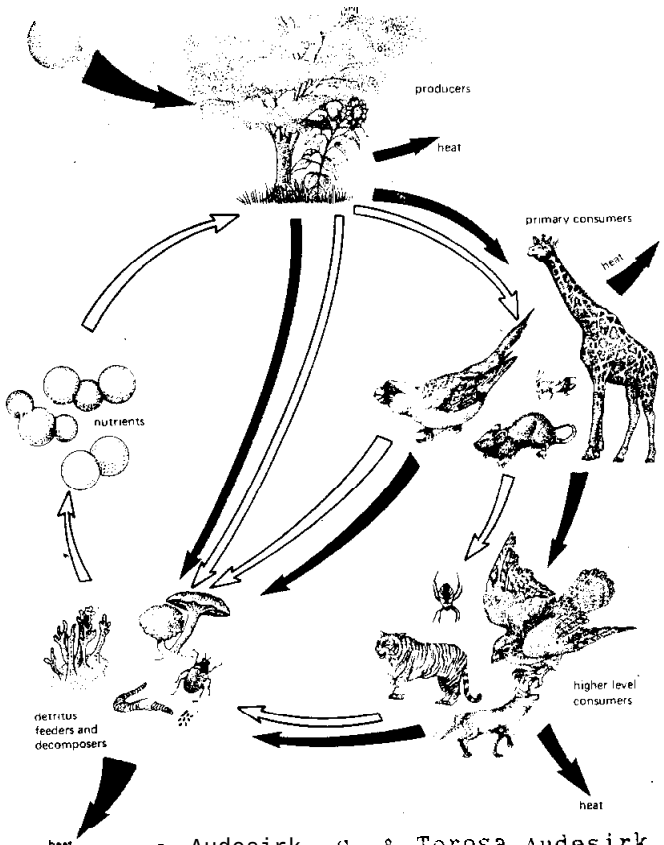
15.1 โครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศ

บุคคลทั่วไปมักมีแนวคิดเกี่ยวกับนิเวศวิทยาในเรื่องของสิ่งมีชีวิต (มนุษย์) กับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจนมีผลกระทบต่อมนุษย์ให้เป็นที่สังเกตได้ เช่น **มลพิษ (pollution)** หลายรูปแบบ ตลอดจนพิษภัยอันเกิดจากมลพิษ ความเข้าใจเช่นนั้นมีส่วนถูกบ้าง คือเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ แต่ไม่ใช่ความหมายที่แท้จริงของนิเวศวิทยาตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ หลักสำคัญของการศึกษานิเวศวิทยาอยู่ที่การศึกษากลไกต่าง ๆ ที่ทำให้มีอันตรกริยา ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมอยู่ในสภาวะสมดุล กลไกเหล่านี้เป็นอันตรกริยาต่อเนื่องสัมพันธ์กันทั้งระหว่างปัจจัยที่ไม่มีชีวิตและปัจจัยที่มีชีวิต จะกล่าวถึงกลไกหลักที่สำคัญ 2 ประเภท คือ **การถ่ายทอดพลังงาน (energy flow)** และ **การหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient** หรือ **biogeochemical cycle)**

15.1.1 การถ่ายทอดพลังงาน พลังงานจากดวงอาทิตย์เพียงร้อยละ 2 ของพลังงานทั้งหมดจะถูกจับแล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของสารอาหารในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (ดู ข้อ 6.1) พลังงานที่เข้าสู่ระบบนิเวศผ่านทาง**ผู้ผลิต** (คือพวกสังเคราะห์อาหารได้เอง)

นี้จะถูกถ่ายทอดต่อไปถึง**ผู้บริโภค** (พวกสังเคราะห์อาหารเองไม่ได้) ไปตามลำดับของ **ลำดับชั้นอาหาร (trophic level)** ผ่านทาง **ห่วงโซ่อาหาร (food chain)** และ **สายใยอาหาร (food web)** พลังงานสูญเสียออกไปจากระบบนิเวศในทุกขั้นตอนของการถ่ายทอดในรูปของความร้อน (ดูข้อ 5.1) และรูปอื่นจึงทำให้เหลือพลังงานสำหรับใช้ในลำดับถัดไปเพียงประมาณร้อยละ 10 ขณะเดียวกันสารอนินทรีย์ที่นำมาใช้ในการสร้างสารอาหารเพื่อประกอบกระบวนการถ่ายทอดพลังงานที่นำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ได้ใหม่ (รูป 15-1)

รูป 15-1 แผนภาพการหมุนเวียนพลังงานและแร่ธาตุในระบบนิเวศ ลูกศรทึบแทนการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศรวมทั้งพลังงานที่ออกจากระบบนิเวศในรูปของความร้อน ลูกศรโปร่งแสดงการหมุนเวียนแร่ธาตุของสารอาหาร

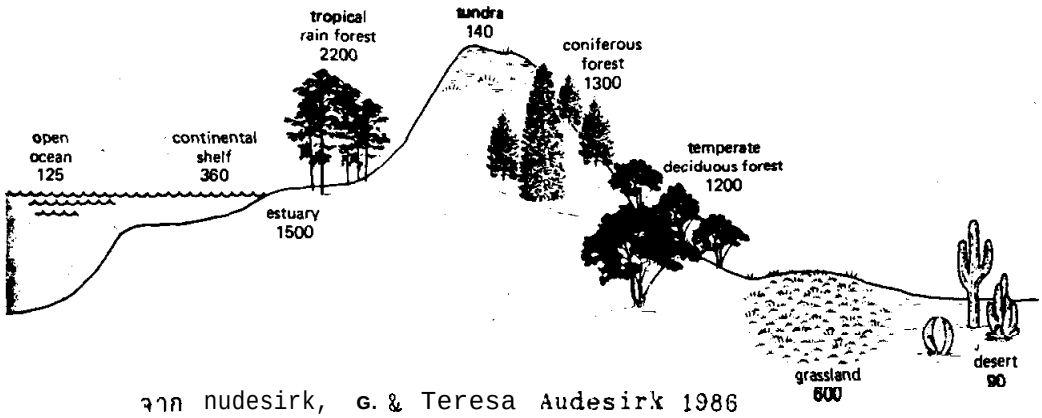


จาก Audesirk. G. & Teresa Audesirk 1986

พลังงานทั้งหมดที่จับไว้โดยผู้ผลิตด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่อยู่ในรูปของสารอาหารสำหรับถ่ายทอดต่อไปในระบบนิเวศได้ เรียกว่า **ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary**

productivity) แสดงให้เห็นเป็นรูปธรรมได้ในรูปของ **มวลชีวภาพ (biomass)** มีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่ต่อระยะเวลา เช่นผลผลิตปฐมภูมิสุทธิของทะเลทรายเป็น 90 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี (รูป 15-2) พลังงานจากผู้ผลิตเมื่อถ่ายทอดสู่ผู้บริโภคตามลำดับชั้นอาหารสามารถนำเสนอให้เห็นได้ 2 รูปแบบคือ รูปแบบของห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหาร (รูป 15-3) เป็นการนำเสนอให้เห็นเพียงว่าพลังงานถูกถ่ายทอดไปยังชนิดของสิ่งมีชีวิต อาจนำเสนอได้ในรูปของพิรามิดอาหาร (food pyramid) โดยแสดงทั้งชนิดของสิ่งมีชีวิตตลอดจนจำนวนชนิด ปริมาณพลังงานหรือปริมาณของมวลชีวภาพประกอบด้วย (รูป 15-4) เพื่อให้เกิดภาพรวมการสูญเสียพลังงานออกไปจากระบบนิเวศตามกฎร้อยละ 10 ดังกล่าวแล้ว แต่ละขั้นตอนของการถ่ายทอดพลังงานอาจไม่ใกล้เคียงกฎนี้เสมอไปขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบนิเวศ

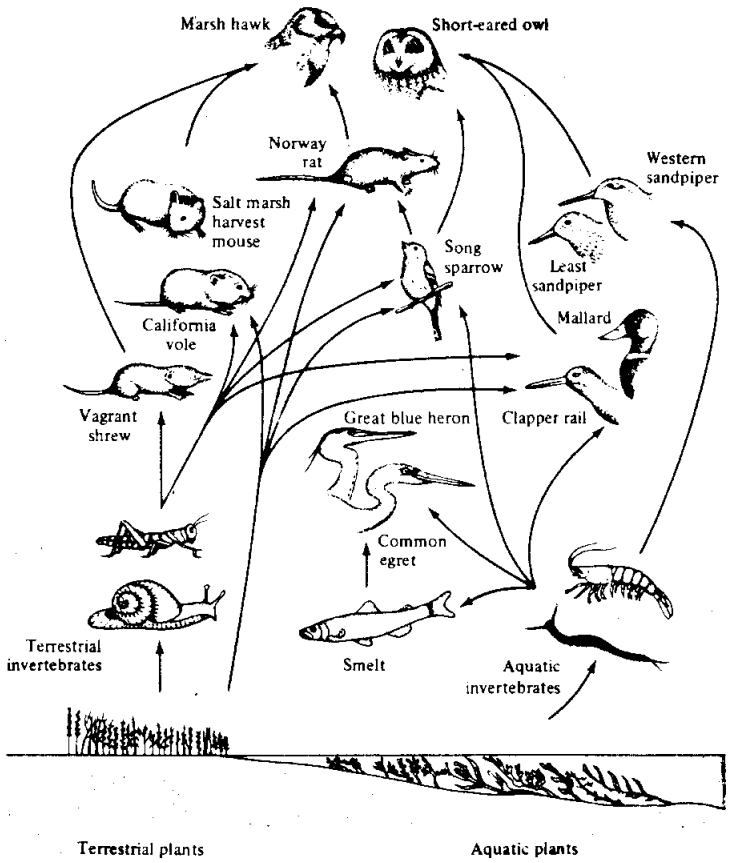
รูป 15-2 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิของระบบนิเวศบนบกแบบต่าง ๆ ตัวเลขมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตรต่อปี ให้สังเกตว่าระบบนิเวศป่าเขตร้อนชื้นให้ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิสูงสุด



จาก nudesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

15.1.2 **วัฏจักรของแร่ธาตุ** ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของสารอินทรีย์คือ C H O N P และ S ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในโมเลกุลของสารอาหารและสารพันธุกรรม (ดูข้อ 2.3) ธาตุเหล่านี้หมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศระหว่างสถานะสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จึงทำให้ระบบนิเวศ (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบปิด) มีการหมุนเวียนแร่ธาตุและพลังงานอยู่ตลอดเวลา การที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือไม่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างผลผลิตต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (P/R) ถ้ามีค่ามากกว่าหนึ่งจะเป็นระบบนิเวศที่อยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าน้อยกว่าหนึ่ง ระบบนิเวศนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (succession) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป วัฏจักรของแร่ธาตุที่ควรทราบคือ

รูป 15-3 ห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหารของระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางน้ำที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นลักษณะปกติที่ระบบนิเวศใกล้เคียงกันย่อมมีอันตรกริยาต่อกันในหลายรูปแบบเสมอ

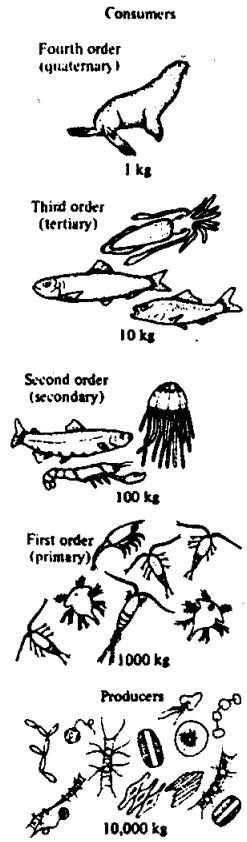


จาก Barrett, James M., et al. 1986

(1) **วัฏจักรของน้ำ** H และ O ที่หมุนเวียนใช้ในระบบนิเวศอยู่ในรูปของน้ำ ซึ่งเป็นวัฏจักรที่ง่ายมีความซับซ้อนน้อยกว่าวัฏจักรอื่น น้ำจากแหล่งน้ำภาคพื้นดินหรือ มหาสมุทรระเหยเป็นไอกลับคืนมาสู่พื้นดินและน้ำอีกในรูปของฝน หิมะ ความชื้น พืชและสัตว์สามารถนำมาใช้ได้แล้วปล่อยกลับคืนสู่วัฏจักรผ่านทางการคายน้ำ การหายใจและการถ่ายของเสีย

(2) **วัฏจักรของคาร์บอน** ธาตุ C ที่นำมาใช้หมุนเวียนในระบบนิเวศอยู่ในรูปของ CO_2 ในบรรยากาศมีประมาณร้อยละ 0.04 และในแหล่งน้ำมีประมาณร้อยละ 0.03 คาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงร่วมกับน้ำโดยผู้ผลิต ได้สารประกอบอินทรีย์ซึ่งจะถ่ายทอดต่อไปผ่านทางห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหาร แล้วกลับคืนสู่บรรยากาศใน

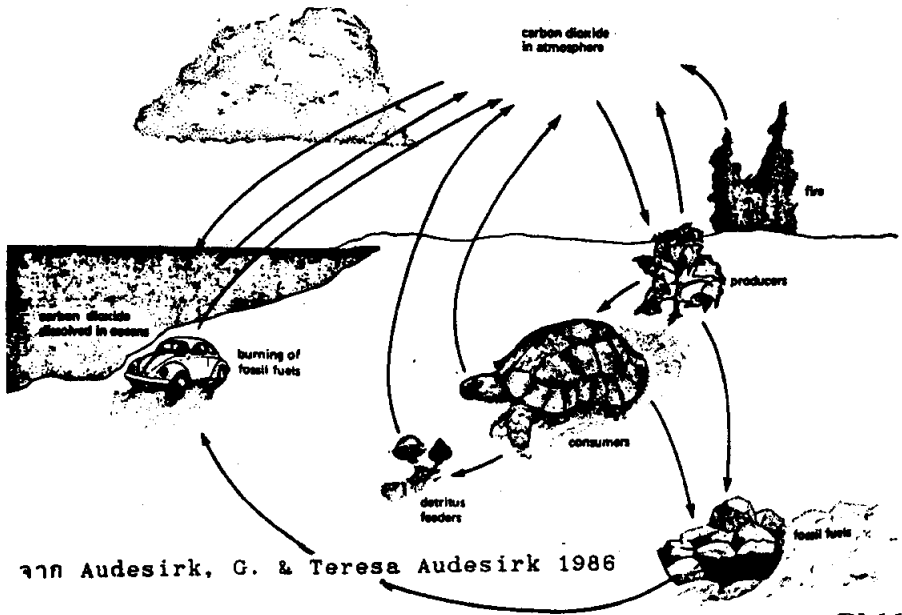
รูป 15-4 พิรามิดอาหารของระบบนิเวศทางทะเล แสดงลำดับระดับชั้นอาหาร 4 ชั้น หน่วยนั้นหนักเป็นมวลชีวภาพ จะเห็นได้ว่าต้องใช้แพลงตอน 10,000 กิโลกรัมเพื่อที่จะถ่ายทอดพลังงานมายังแมวน้ำ 1 กิโลกรัม



รูปของคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งจากกระบวนการเมแทบอลิซึม ในแหล่งน้ำคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ซึ่งพืชน้ำสามารถนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ (รูป 15-5)

จาก Barrett, James M., et al. 1986

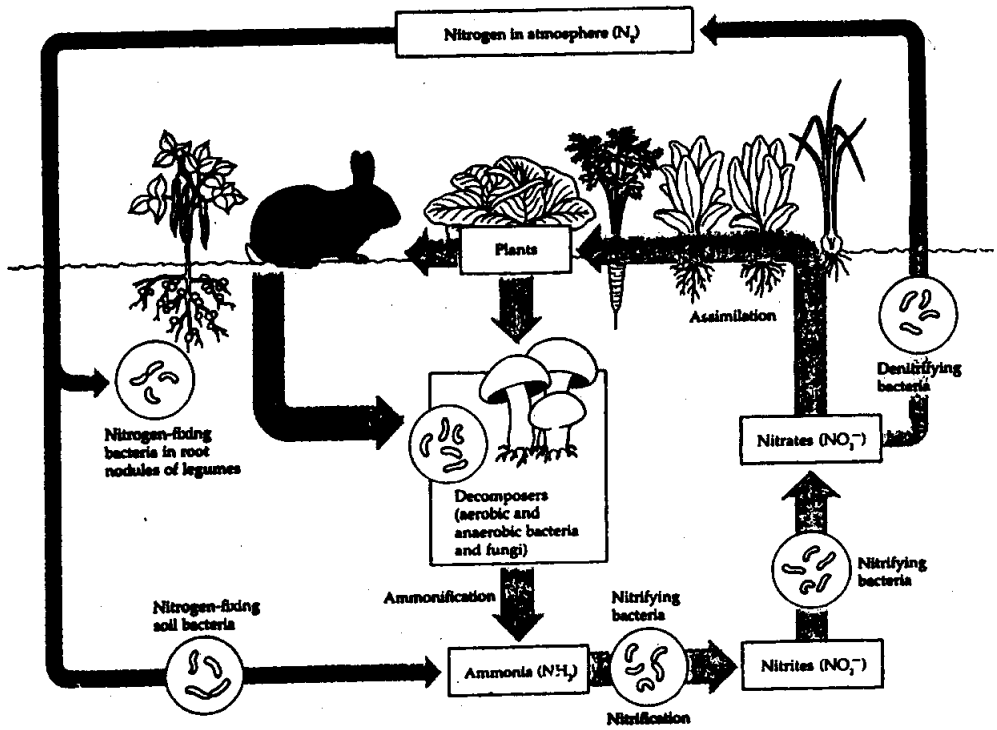
รูป 15-5 แผนภาพแสดงวัฏจักรของคาร์บอนอย่างง่าย



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

(3) **วัฏจักรของไนโตรเจน** ไนโตรเจนที่นำมาใช้ในระบบนิเวศอยู่ในรูปของ NH_3 หรือ NO_3^- แก๊สไนโตรเจนนำมาใช้ได้น้อย จุลชีพพวกแบคทีเรีย (เช่น *Rhizobium*) และไซแอโนแบคทีเรีย (เช่น *Anabaena*) เท่านั้นที่สามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนได้ ดังนั้นวัฏจักรของไนโตรเจนจึงมีความซับซ้อนมากกว่าวัฏจักรแร่ธาตุอื่น แบคทีเรียหลายชนิดมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียหรือไนเตรทเพื่อที่พืชสามารถนำเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนได้ แล้วมีแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศ (รูป 15-6)

รูป 15-6 แผนภาพแสดงวัฏจักรของไนโตรเจนอย่างง่าย



จาก Campbell, Neil A. 1990

15.2 ความหลากหลายของระบบนิเวศของโลก

โลกของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางน้ำ ระบบนิเวศบนบกมีความหลากหลายเห็นชัดทั้งในระบบนิเวศขนาดเล็ก (ทุ่งนา สวนหย่อม) และในระบบ

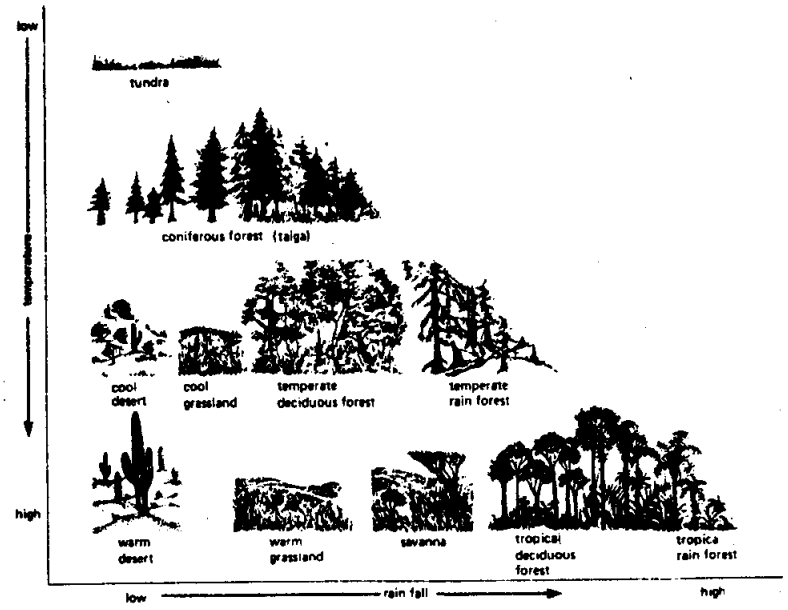
นิเวศขนาดใหญ่ที่เรียกว่าชีวนิเวศ (ป่าเขตร้อนชื้น ทะเลทราย) ระบบนิเวศทางน้ำสังเกตเห็นความหลากหลายได้น้อยกว่าด้วยการมองของผู้ที่ไม่ได้เรียนวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามความหลากหลายก็มีให้เห็นได้ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

15.2.1 ระบบนิเวศบนบก : ชีวนิเวศ ชีวนิเวศเป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับแสดงให้เห็นความหลากหลายของระบบนิเวศบนบก ปัจจัยที่ทำให้เกิดชีวนิเวศและควบคุมลักษณะของชีวนิเวศคือ อุณหภูมิและความชื้น (ฝนและอื่น ๆ) (รูป 15-7ก) ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อความชื้นในดินเพื่อพืชจะสามารถดูดกลืนแร่ธาตุอาหารและน้ำได้ การกระจายของชีวนิเวศตามส่วนต่าง ๆ ของโลกจึงมีทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ (รูป 15-7ข) มิได้กระจายตามลักษณะการแบ่งทางภูมิศาสตร์ ชีวนิเวศตามแนวราบจึงมีหลายลักษณะได้ตามแนวเส้นรุ้งของการแบ่งทางภูมิศาสตร์ ชีวนิเวศหลักคือ ป่าเขตร้อนชื้น (tropical rain forest) ป่าไม้ผลัดใบเขตร้อนชื้น (tropical deciduous forest) ป่าเขตอบอุ่น (temperate rain forest) ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น (temperate deciduous forest) ซาวานนาและป่าโปร่ง (savannah and tropical scrub forest) ชัปพาร์รัล (chaparral หรือ scrub land) ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น (temperate grassland) ป่าสน (coniferous forest หรือ taiga) ทุนดรา (tundra) และทะเลทราย (desert)

15.2.2 ระบบนิเวศทางน้ำ น้ำเป็นตัวกลางที่ไหลไปมาได้ จึงทำให้น้ำในทะเลเปิดและมหาสมุทรติดต่อถึงกันและสัมพันธ์กับน้ำจืดจากแหล่งน้ำบนบกที่ไหลลงสู่ทะเลด้วย สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำจึงต้องพัฒนาอวัยวะเพื่อการเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กับการไหลของกระแสน้ำหรือยึดติดกับวัสดุเพื่อพยุงตัวไม่ให้ไหลตามกระแสน้ำ ดังนั้นปัจจัยกำหนดลักษณะระบบนิเวศทางน้ำจึงต่างไปจากระบบนิเวศบนบก ปัจจัยสำคัญคือ แสง อุณหภูมิ (และความเค็มสำหรับระบบนิเวศทางทะเล และน้ำกร่อย) เป็นตัวกำหนดลักษณะและการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ปัจจัยอื่นเช่นกระแสน้ำและความลึกก็มีบทบาทสำคัญ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในที่ลึกมากต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแสงของเขตแสงส่องไม่ถึง (aphotic zone) และยังต้องปรับตัวเข้ากับแรงกดสูงของน้ำด้วย (รูป 15-8)

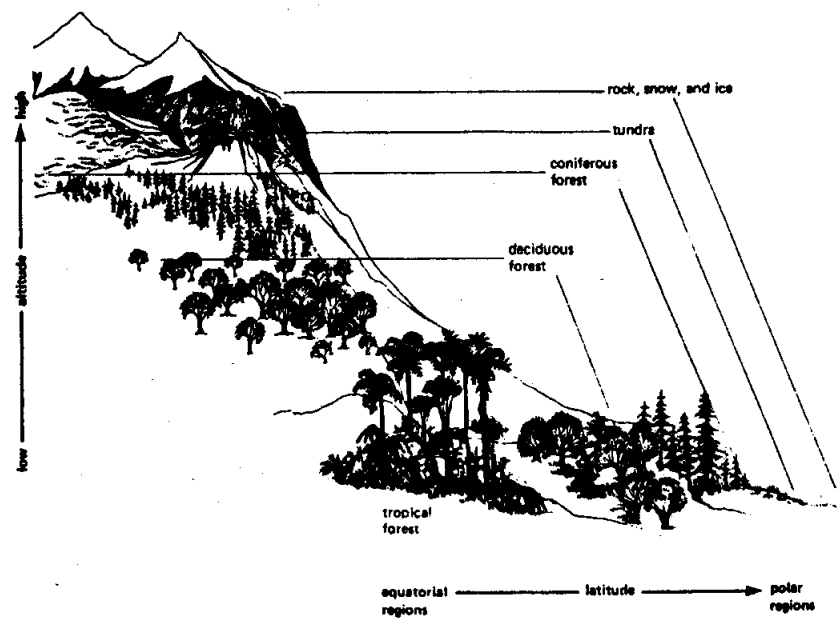
รูป 15-7 ลักษณะและการกระจายของชีวนิเวศตามส่วนต่าง ๆ ของโลก ก. อุณหภูมิและความชื้น (ฝน) ที่กำหนดลักษณะของชีวนิเวศ ข. การกระจายของชีวนิเวศตามแนวดิ่ง (เช่นบนเทือกเขารอกกี) และตามแนวราบตามเส้นรุ้ง

ก.

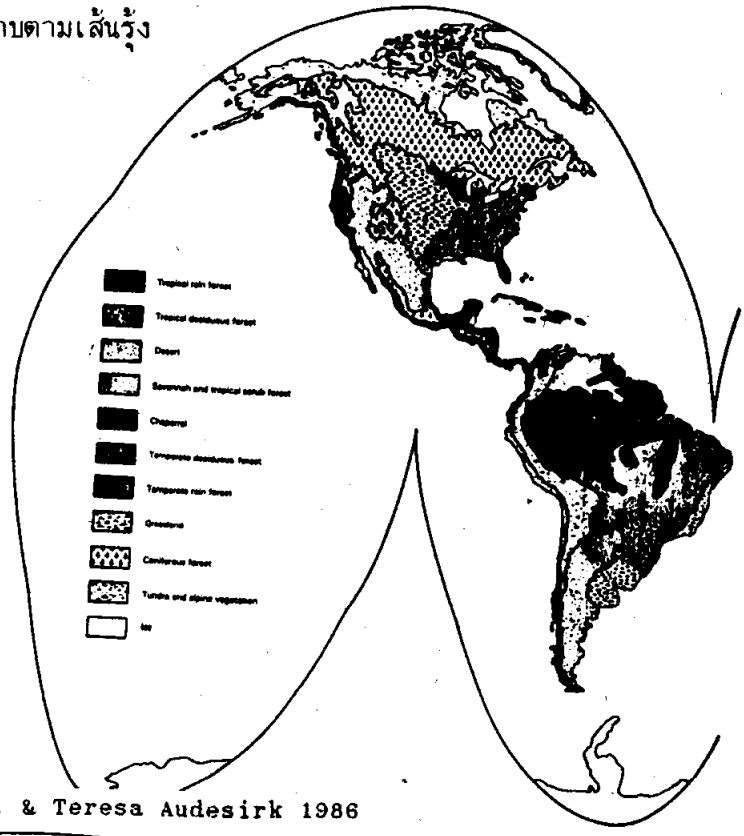


จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

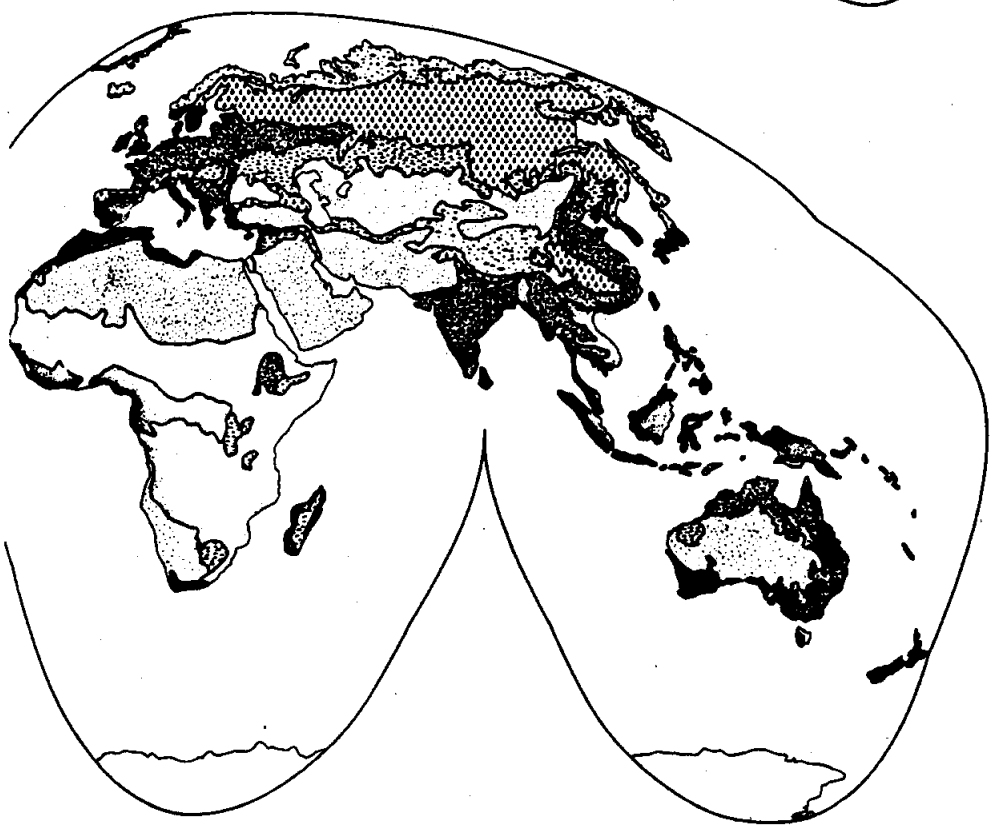
ข. ตามแนวดิ่ง



ตามแนวราบตามเส้นรุ้ง

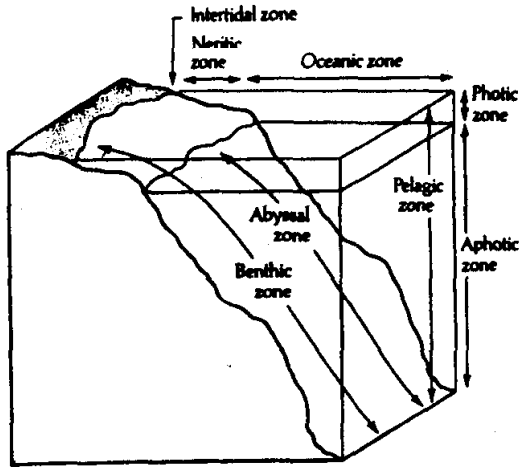


จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986



รูป 15-8 แผนภาพการแบ่งเขตนิเวศทางน้ำของมหาสมุทร โดยใช้การส่องทะลุของแสงเป็นหลัก ส่วนที่แสงส่องทะลุได้คือ photic zone ส่วนที่แสงส่องทะลุไม่ได้คือ aphotic zone ระยะทางห่างจากชายฝั่งและความลาดชันของไหล่ทวีป ก็ใช้แบ่งระบบนิเวศได้

จาก Campbell, neil A. 1990



15.3 ประชากรและการควบคุมประชากร

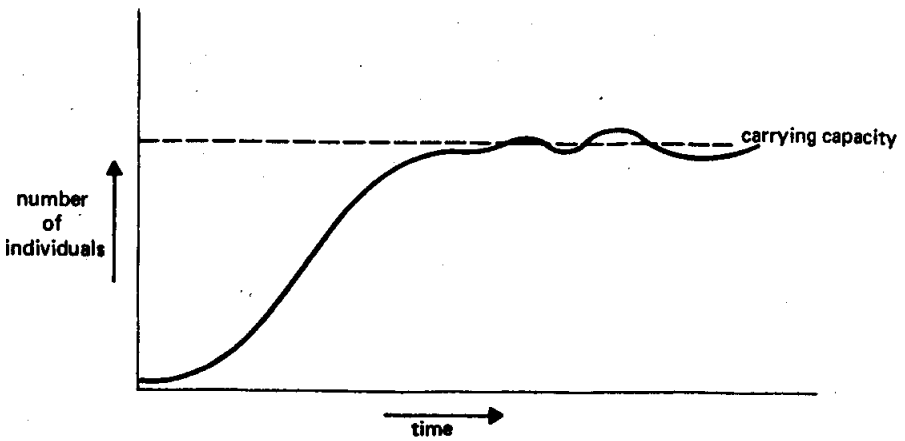
ความหมายของคำว่าประชากรในนิเวศวิทยาคือ สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันแต่ละตัวที่อาศัยอยู่ในถิ่นที่อยู่อาศัยเดียวกัน และสามารถผสมพันธุ์กันได้ ในธรรมชาติอาณาบริเวณหนึ่ง (เช่น สระน้ำ) ย่อมมีจำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดอยู่รวมกัน และมีอันตรกริยากันเรียกว่าเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิต เช่น กลุ่มสิ่งมีชีวิตของสระน้ำ ในกรณีของระบบนิเวศขนาดเล็กอาจมีกลุ่มสิ่งมีชีวิตเพียงอย่างเดียวกันกับตัวแทนของระบบนิเวศ ในกรณีของระบบนิเวศขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มสิ่งมีชีวิตหลายแบบ ลักษณะของกลุ่มสิ่งมีชีวิตชนิดเด่นจะเป็นตัวแทนลักษณะของระบบนิเวศนั้น การศึกษานิเวศวิทยาจึงศึกษาได้หลายระดับเริ่มตั้งแต่ระดับประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวในสภาพแวดล้อม เรียกว่า **ออทอีโคโลยี (autecology)** ซึ่งสามารถทำได้ในสภาวะสร้างขึ้น (เช่นการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดหนึ่งในจานเพาะเลี้ยง) ในธรรมชาติการศึกษานิเวศวิทยาต้องศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากอันตรกริยาระหว่างประชากรของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดและระหว่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตหลายกลุ่ม ลักษณะการศึกษาแบบนี้เรียกว่า **ซินอีโคโลยี (synecology)**

ลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของประชากรคือ ขนาดและการเปลี่ยนแปลงขนาดตามระยะเวลา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ **อัตราการเกิด อัตราการตาย** และ **การอพยพ (migration)** อาจเป็นการอพยพเข้า **(immigration)** หรือ อพยพออก **(emigration)** ขนาดของประชากร

จะอยู่ในสภาวะเสถียรหรือไม่ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลักดังกล่าว

ขนาดของประชากร (N) ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง **อัตราการเจริญ (rate of growth)** หรือ R และ **แรงต้านของสภาพแวดล้อม (environmental resistance** ซึ่งทำหน้าที่ลดหรือเพิ่มอัตราการเกิด (b) หรืออัตราการตาย (d) เขียนออกมาได้เป็นสูตร คือ R = (b–d)N ถ้าไม่มีการอพยพและไม่มีแรงต้านของสภาพแวดล้อม (เช่นการแข่งขัน ปรสิต การขาดอาหาร) อัตราการเจริญจะมีลักษณะเป็น **แบบทบทวี (exponential growth)** ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของสิ่งมีชีวิตที่อัตราการเกิดสูงกว่าการตายเสมอไม่ว่าการผลิตลูกจะครั้งละนับล้านตัว เช่นหอยนางรม หรือเพียงตัว (คน) เดียวเช่นมนุษย์ เพราะในช่วงชีวิตหนึ่งสามารถผลิตลูกได้หลายครั้ง ดังนั้นแรงต้านของสภาพแวดล้อมจึงทำหน้าที่ควบคุมอัตราการเติบโตของประชากรให้สูงถึงระดับหนึ่งเรียกว่า **carrying capacity** (รูป 15-9) ซึ่งเป็นระดับที่อัตราการเกิดและอัตราการตายไม่ต่างกันมาก ทำให้การหมุนเวียนและการใช้ทรัพยากรในระบบนิเวศอยู่ในสภาวะสมดุล ขนาดของประชากรที่ระดับ carrying capacity นี้ถือว่าอยู่ในสภาวะเสถียร

รูป 15-9 S-curve หรือ logistic growth curve แสดงขนาดของประชากรที่เหมาะสมโดยอัตราการเติบโตไม่พุ่งแบบทบทวี และถูกควบคุมไว้ในระดับ carrying capacity



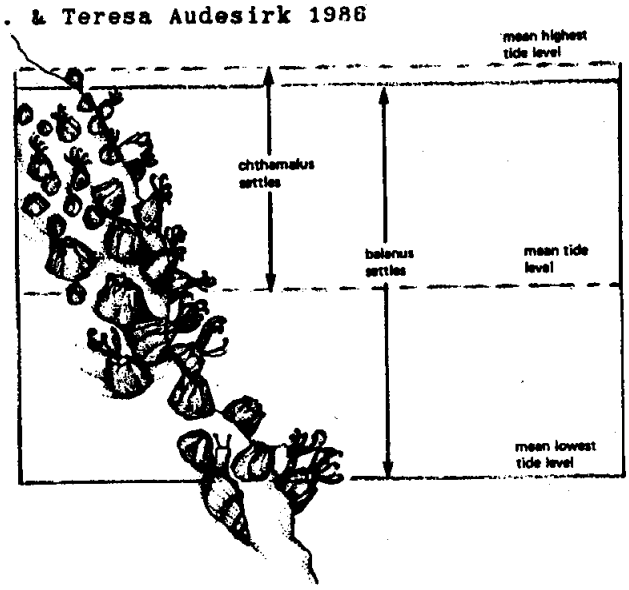
carrying capacity ของประชากรและของระบบนิเวศในช่วงแรกถูกกำหนดโดย **ปริมาณอาหาร** และ **พื้นที่** ถ้าปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลให้ขนาดของประชากร

เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น อาหารลดลงขนาดประชากรจะลดลงเนื่องจากอดอาหารตาย ถ้าไม่ขาดแคลนอาหารมากขนาดของประชากรจะคืนกลับสู่ระดับของ carrying capacity ได้ใหม่ ในธรรมชาติประชากรของสิ่งมีชีวิตมักมีขนาดต่ำกว่า carrying capacity เล็กน้อย โดยมีผลเนื่องมาจากแรงต้านของสภาพแวดล้อมทั้งที่เป็นแบบกายภาพและชีวภาพ ประชากรใดเมื่อมีขนาดเล็ก แรงต้านของสภาพแวดล้อมไม่มีผลกระทบต่อขนาดของประชากรมากนัก จะมีผลกระทบก็ต่อเมื่อประชากรมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกแรงต้านของสภาพแวดล้อมว่าเป็นแบบ**อิงความหนาแน่น (density-dependent)** ถ้าแรงต้านสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อขนาดของประชากรไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่เรียกว่าเป็นแบบ**อิสระจากความหนาแน่น (density-independent)**

ปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของประชากรแบบอิงความหนาแน่น ได้แก่ สภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ซึ่งเป็นอันตรกริยาระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกัน เช่น **การล่าเหยื่อ (predation)** **สภาวะปรสิต (parasitism)** และ **การแข่งขัน (competition)** ทั้งที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน (รูป 15-10)

รูป 15-10 การแข่งขันระหว่างเพรียงเกาะหินสกุล *Balanus* ซึ่งขนาดใหญ่กว่าสกุล *Chthamalus* แต่ทนความแห้งได้น้อยกว่า จึงทำให้ขนาดของประชากรทั้งสองสกุลถูกจำกัดและการแพร่กระจายอยู่ต่างระดับช่วงน้ำขึ้น-น้ำลง โดยสกุลแรกอยู่ระดับล่างและสกุลหลังอยู่ระดับบน

จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986



ปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของประชากรแบบอิสระจากความหนาแน่น ได้แก่สภาพแวดล้อมทางกายภาพ ที่สำคัญคือ ภูมิอากาศ เช่นแมลงและพืชล้มลุก ขนาดของประชากรขึ้นอยู่กับจำนวนสิ่งมีชีวิตที่จะสืบพันธุ์ได้ในช่วงก่อนฤดูหนาวหรือฤดูแห้งแล้ง จึงทำให้มีเส้นแสดงการเติบโตของประชากรขึ้นลงตามช่วงฤดูกาลและไม่สามารถเข้าสู่ระดับ carrying capacity พฤติกรรมของมนุษย์มีส่วนอย่างมากต่อการจำกัดการเติบโตของประชากร เช่นการใช้สารกำจัดวัชพืชหรือสัตว์ที่มนุษย์ไม่ต้องการ การที่มนุษย์ทำให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมทั้งทางบก ทางอากาศและทางน้ำ การทำลายถิ่นที่อยู่อาศัย (การทำถนน การปลูกสิ่งก่อสร้าง การทำเกษตรกรรม) ล้วนเป็นสิ่งที่ทำให้ประชากรของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติไม่สามารถเติบโตเข้าสู่ carrying capacity ทั้งสิ้น

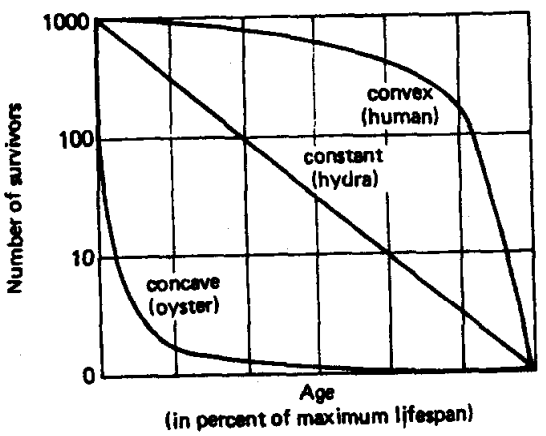
15.3.1 **รูปแบบของประชากร** การแพร่กระจายของแต่ละตัวในหมู่ประชากรสัมพันธ์กับ 2 ปัจจัย คือ พื้นที่และช่วงเวลา

(1) **รูปแบบของประชากรในพื้นที่** โดยทั่วไปการแพร่กระจายของแต่ละตัวของหมู่ประชากรสัมพันธ์กับ**หน้าที่ทางนิเวศ (ecological niche)** ซึ่งรวมหมายถึงหน้าที่การกินอาหารและอื่น ๆ ภายในถิ่นที่อยู่อาศัย ลักษณะการแพร่กระจายอาจกระจายอยู่ค่อนข้าง**สม่ำเสมอ** ซึ่งมักจะได้แก่พวกดำรงชีพแบบหากินโดดเดี่ยวมีอาณาบริเวณหากินของตนเองและปกป้องถิ่นครอบครองของตนไว้ บางชนิดอาจอยู่**รวมกันเป็นฝูง** มีการรวมหลายครอบครัวที่เกี่ยวข้องทางสายพันธุ์ เช่น ฝูงปลา ฝูงนก ฝูงสุนัขป่า ฝูงสิงห์โต และโขลงช้าง การรวมฝูงมีประโยชน์ด้านการป้องกันตัวและช่วยรักษาลักษณะสายพันธุ์ตลอดจนเป็นการปกป้องแหล่งอาหาร ลักษณะที่พบน้อยคือ **กระจายแบบสุ่ม (random distribution)** ทรัพยากรอาหารมักพบได้ทั่วไปในพื้นที่เฉพาะที่เป็นถิ่นที่อยู่อาศัย แต่ละตัวในหมู่ประชากรจึงกระจายได้มีขอบเขตจำกัด มักไม่พบในหมู่ประชากรของสัตว์มีกระดูกสันหลังซึ่งต้องเข้ามาจับคู่ผสมพันธุ์หรือมารวมกลุ่มกันเป็นครั้งคราวเพื่อเลือกคู่ ลักษณะกระจายแบบสุ่มจึงพบได้ในกลุ่มของพืชที่อยู่ในป่าดงดิบที่มีฝนตกชุกตลอดปีและมีการหมุนเวียนแร่ธาตุในดินได้อย่างรวดเร็ว

(2) **รูปแบบของประชากรในช่วงเวลา** ช่วงเวลาเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ช่วยกำหนดจำนวนและการแพร่กระจายของแต่ละตัวในหมู่ประชากร เช่นในฤดูผสมพันธุ์ ปลาหลายชนิดมารวมกันเป็นฝูง หรือปลาบางชนิดซึ่งเคยอยู่รวมกันเป็นฝูงอาจแยกกระจายออกไปครอบครองพื้นที่

สร้างรังเพื่อผสมพันธุ์และเลี้ยงดูตัวอ่อนที่จะเกิดขึ้น จึงทำให้ขนาดและการเติบโตของประชากรขึ้น-ลงตามฤดูกาล ประชากรของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดย่อมต้องมีรูปแบบของการมีชีวิตรอด (survivorship) เมื่อนำจำนวนตัวในแต่ละช่วงอายุมาสร้างเส้นโค้งที่เรียกว่า **survivorship curve** (รูป 15-11) ซึ่งมีรูปแบบปกติ 3 แบบคือ เส้นโค้งลง (concave) เช่นประชากรของหอยนางรมที่มีการผลิตไข่จำนวนมาก ตัวอ่อนจะถูกกินเป็นอาหารหรือตายเป็นจำนวนมากก่อนที่จะเกาะยึดติดกับวัตถุเพื่อเจริญเป็นตัวโตเต็มวัย เส้นโค้งตรง (constant) พบในประชากรของสิ่งมีชีวิตที่ช่วงอายุการเกิดและการตายใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจพบได้ไม่บ่อยนัก จะพบได้ในพวกที่มีการสืบพันธุ์แบบแตกหน่อ เช่น ไฮดรา เส้นโค้งขึ้น (convex) พบในประชากรของสิ่งมีชีวิตที่ตัวอ่อนมีอัตราการรอดตายสูง มีช่วงอายุยืนยาว และมีโอกาสสืบพันธุ์ได้หลายครั้ง เช่นประชากรมนุษย์

รูป 15-11 รูปแบบเส้นโค้งของการรอดชีวิตในประชากรหอยนางรม ไฮดรา และมนุษย์



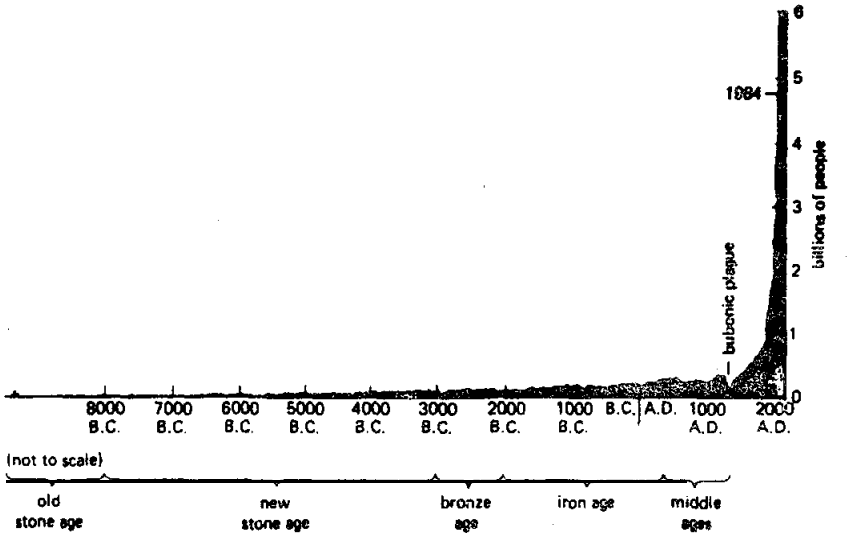
จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

15.3.2 **ประชากรมนุษย์** การเติบโตของประชากรมนุษย์มีลักษณะเป็นแบบทบทวีติดต่อกันมานานหลายศตวรรษ โดยที่ไม่มีประชากรของสัตว์ขนาดใหญ่ชนิดใดสามารถควบคุมอัตราการเติบโตแบบนี้เป็นเวลานานได้ ประชากรมนุษย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าจนปี ค.ศ.1650 มีประมาณ 500 ล้านคน (รูป 15-12) ภายในเวลา 2 ศตวรรษ ประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 1 พันล้านคนแล้วเพิ่มอีกหนึ่งเท่าตัวเป็น 2 พันล้านคนในช่วงปี ค.ศ.1850-1930 ต่อจากนั้นเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัวเป็น 4 พันล้านคนนับตั้งแต่ปี ค.ศ.1975 เป็นต้นมา ปัจจุบันประชากรทั่วโลกมีเกือบถึง 6 พัน

ล้านคน ถ้าการเติบโตยังไม่สามารถทำให้ชลอลงได้ คาดว่าประชากรทั่วโลกจะมีถึง 8 พันล้านคนในปี ค.ศ.2017

การเติบโตของประชากรมนุษย์ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดและอัตราการตายตลอดจนแรงต้านของสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกันกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น อัตราการเกิดเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันอัตราการตายลดลงเมื่อมนุษย์เริ่มเปลี่ยนการดำรงชีพจากการล่าสัตว์มาดำรงชีพรวมกันทำเกษตรกรรมเมื่อประมาณ 10,000 ปีมาแล้ว เมื่อเข้าสู่ยุคการปฏิวัติทางอุตสาหกรรมการเติบโตของประชากรแบบทบทวีดำเนินต่อไป เนื่องจากอัตราการรอดชีวิตของเด็กแรกเกิดสูงขึ้นแม้กระทั่งในประเทศด้อยพัฒนา การแพทย์ โภชนาการ ตลอดจนสุขอนามัยที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นเป็นผลให้ทารกรอดชีวิตและเติบโตจนถึงวัยเจริญพันธุ์ และยังช่วยยืดอายุขัย (life span) ของมนุษย์ให้มากขึ้น ซึ่งทำให้ระดับ carrying capacity ของประชากรมนุษย์เพิ่มตามขึ้นมา ไม่มีประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดใดที่จะเติบโตแบบทบทวีโดยไม่มีขีดจำกัด เพราะทรัพยากรและพื้นที่ของโลกมีขีดจำกัด ในสมัยโบราณ ความอดอยาก โรคระบาด และสงครามเป็นปัจจัยหลักในการหยุดยั้งการเติบโตของประชากรมนุษย์ ปัจจุบันปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญน้อยลง มนุษย์เล็งเห็นอันตรายของการเติบโตแบบทบทวี จึงนำการวางแผนครอบครัวมาใช้เพื่อกำหนดสัดส่วนช่วงอายุในกลุ่มของประชากรให้เหมาะสม การลดจำนวนช่วงอายุในวัยเด็ก จะเป็นการช่วยลดช่วงอายุวัยเจริญพันธุ์ ในระยะยาวจะมีผลช่วยให้อัตราการเกิดและอัตราการตายใกล้เคียงกัน (เนื่องจากมนุษย์มีอายุยืนยาว และช่วงเวลาสืบพันธุ์นานจากอายุ 15-45 ปี) ประเทศที่พัฒนาทางด้านการศึกษาและอุตสาหกรรมจะมีอัตราการเกิดและอัตราการตายใกล้เคียงกัน เช่นสวีเดน (รูป 15-13) แต่การเติบโตของประชากรโลกก็ยังเพิ่มโดยไม่หยุดยั้งเนื่องจากประเทศด้อยพัฒนาเช่น เมกซิโก (รูป 15-13) มีอัตราการเกิดสูง เช่นเดียวกันกับประเทศด้อยพัฒนา (ประเทศโลกที่สาม) อื่นซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้และกลาง และบางส่วนของทวีปเอเชีย เพราะประเทศเหล่านี้ไม่ประสบผลสำเร็จในการวางแผนครอบครัวตลอดจนความล้มเหลวในการใช้และพัฒนาทรัพยากร

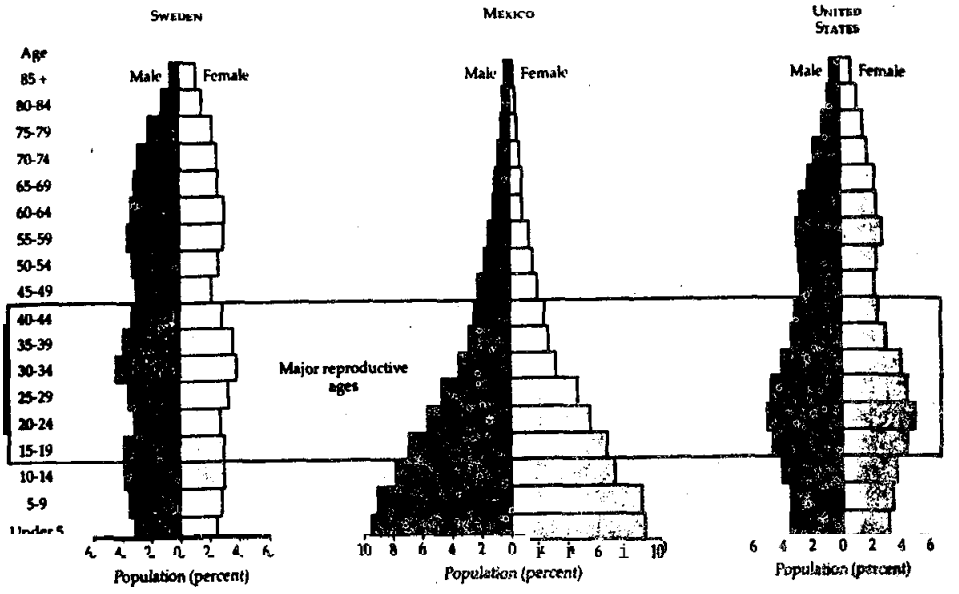
รูป 15-12 เส้นโค้งแสดงการเติบโตของประชากรมนุษย์นับตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์จนถึงปัจจุบัน ประชากรมนุษย์ลดลงเล็กน้อยในช่วงปี ค.ศ. 1300 เนื่องจากการระบาดของกาฬโรค (bubonic plague)



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

รูป 15-13 โครงสร้างอายุของประเทศที่พัฒนาแล้ว (สวีเดน และสหรัฐอเมริกา) และประเทศด้อยพัฒนา (เมกซิโก) ให้สังเกตว่าประเทศด้อยพัฒนามีช่วงอายุวัยเด็กมาก (ซึ่งทำให้มีการใช้ทรัพยากรสูง) ขนาดของประชากรที่เหมาะสมควรมีโครงสร้างแต่ละช่วงอายุใกล้เคียงกัน

จาก Campbell, Neil A. 1990



15.4 กลุ่มสิ่งมีชีวิต

ระบบนิเวศตามธรรมชาติย่อมประกอบด้วยประชากรของสิ่งมีชีวิตอยู่ในบริเวณเดียวกันรวมเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิต แต่ละตัวของประชากรชนิดหนึ่งนอกจากจะมีอันตรกริยาต่อกันเองแล้วยังมีอันตรกริยาต่อตัวอื่นในประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นด้วย

ปัจจัยที่แสดงลักษณะของประชากรคือความหนาแน่นที่กระจายอยู่ในพื้นที่ในช่วงเวลา แต่ปัจจัยที่แสดงลักษณะของกลุ่มสิ่งมีชีวิตมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น สืบเนื่องมาจากอันตรกริยาของประชากรหลายชนิดที่ประกอบกันเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิต ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ (1) ความมากชนิด ความทัดเทียมกันของชนิด และความหลากหลายของชนิด (2) ลักษณะรูปทรงของพืช (3) โครงสร้างอาหาร และ (4) ความเสถียร

15.4.1 **อันตรกริยาของกลุ่มสิ่งมีชีวิต** การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมทั้งที่เป็นแบบกายภาพและชีวภาพถือเป็นลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การคัดเลือกตามธรรมชาติโดยเฉพาะต่อองค์ประกอบที่เป็นชีวภาพมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการ อันตรกริยาของสิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมและนำไปสู่วิวัฒนาการที่สำคัญคือ การแข่งขัน การล่าเหยื่อและการอยู่ร่วมกัน

(1) **การแข่งขันระหว่างชนิด** สิ่งมีชีวิตไม่เพียงแข่งขันกันใช้ทรัพยากรภายในชนิดเดียวกันเท่านั้น เมื่อมีหลายชนิดมาอยู่ร่วมกันย่อมจะต้องแข่งขันกันเพื่อใช้ทรัพยากรสิ่งเดียวกันด้วย โดยเฉพาะถ้าทรัพยากรมีจำนวนจำกัด เรียกการแข่งขันแบบนี้ว่า **interspecific competition** การแข่งขันมีหลายรูปแบบเช่นการแข่งขันที่ต้องใช้ **ความเหมาะสมพื้นฐาน (fundamental niche)** อย่างเดียวกัน (รูป 15-10) ตัวอ่อนของเพรียงสกุล *Balanus* สามารถเกาะหินได้ทัดเทียมกับเพรียงสกุล *Chthamalus* กล่าวคือทั้งในระดับสูงสุดของน้ำและในระดับต่ำสุดของน้ำ แต่ *Balanus* ไม่สามารถทนความแห้งได้ในช่วงเวลาน้ำลง จึงทำให้สามารถเจริญได้เพียงระดับล่างของก้อนหินที่มีน้ำอยู่ตลอดเวลา ณ ระดับนี้ถือว่าเป็น **ความเหมาะสมที่แท้จริง (realized niche)** ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความเหมาะสมพื้นฐานของถิ่นที่อยู่อาศัยสำหรับสกุล *Balanus* และเนื่องจากมีขนาดใหญ่และเติบโตได้เร็วกว่าจึงครอบครองพื้นที่ระดับล่างของก้อนหินได้หมด มีผลกระทบต่อสกุล *Chthamalus* ที่ถูกกีดกันให้เติบโตอยู่เฉพาะระดับบนของก้อนหิน ถ้าไม่มีสกุล *Balanus* สกุล *Chthamalus* จะครอบครองพื้นที่ก้อนหินทั้งระดับ

บนและล่าง

(2) **การล่าเหยื่อ** การที่สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งไล่ล่ากินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร ผู้ทำหน้าที่กินเรียกว่าผู้ล่า **(predator)** ผู้ถูกกินเรียกว่า ผู้ถูกล่า หรือ **เหยื่อ (prey)** พบได้ทั้งในกลุ่มของสัตว์และพืช (พืชพวกหยาดน้ำค้าง หม้อข้าวหม้อแกงลิง) สัตว์ที่เป็นผู้ล่ามักมีการปรับตัวให้เหมาะเช่นมีการดมกลิ่นได้ดีในระยะทางไกล เคลื่อนที่ได้ว่องไว มีเขี้ยว กรงเล็บ ต่อมพิษ เพื่อป้องกันการหนีของผู้ถูกล่า ตลอดจนมีการพรางตัวให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมเพื่อซุ่มจับเหยื่อที่ผ่านเข้าใกล้ ในกรณีของผู้ถูกล่าต้องมีการปรับตัวเช่นกัน อาจมีการสร้างต่อมผลิตกลิ่นระคายเคืองต่อผู้ล่า เปลี่ยนสีให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมจนผู้ล่าไม่เห็น หรือเลียนแบบสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่เป็นอาหารหรือเป็นพิษต่อผู้ล่า ดังนั้นในธรรมชาติจึงพบได้ทั้งประชากรของผู้ล่าและผู้ถูกล่า โครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิตควบคุมโดยผู้ล่าที่เป็นกุญแจสำคัญ **(keystone predator)** ทำหน้าที่ดำรงความหลากหลายของชนิดไว้ในกลุ่มสิ่งมีชีวิตด้วยการคุมความหนาแน่นของประชากรผู้แข่งขันที่ดีไว้ในระดับต่ำ เป็นการป้องกันมิให้ขจัดประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นออกไปจากกลุ่มสิ่งมีชีวิต แนวคิดนี้พิสูจน์ได้ด้วยการทดลองโดยกำจัดปลาดาวสกุล *Pisaster* ซึ่งชอบกินหอยแมลงภู่สกุล *Mytilus* ออกไปจากแอ่งน้ำริมชายหาด เมื่อไม่มีปลาดาว หอยแมลงภู่ซึ่งเป็นผู้แข่งขันที่ดีจึงขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วครอบครองก้อนหินบริเวณแอ่งน้ำทำให้จำนวนหอยชนิดอื่นที่เคยมีถึง 15 ชนิดลงเหลือแค่ 8 ชนิด เพราะไม่สามารถแข่งขันกับหอยแมลงภู่ได้ ความซับซ้อนของอันตรกริยาของกลุ่มสิ่งมีชีวิตจึงควรดำรงไว้เพื่อรักษาสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ

(3) **การอยู่ร่วมกัน (symbiosis)** มีหลายรูปแบบได้แก่ **แบบปรสิต (parasitism)** ซึ่งหมายถึงสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง (ตัวเบียนหรือตัวปรสิต) ทำอันตรายหรือได้ผลประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น (ตัวถูกเบียนหรือโฮสต์) **แบบภาวะอิงอาศัย (commensalism)** ซึ่งหมายถึงสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งได้ผลประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นแต่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย **แบบภาวะพึ่งพา (mutualism)** ซึ่งหมายถึงสิ่งมีชีวิตสองชนิดอำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน การอยู่ร่วมกันไม่ว่ารูปแบบใดมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรซึ่งจะส่งผลต่อโครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิตด้วย

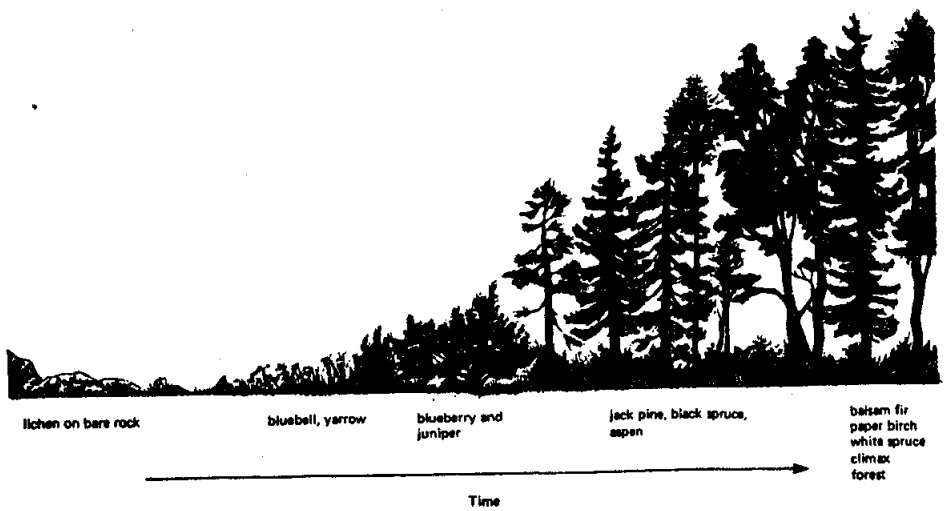
15.4.2 **การเปลี่ยนแปลงแทนที่** ในระบบนิเวศบนบกที่เจริญเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ย่อมประกอบด้วยประชากรของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด มีอันตรกริยาซึ่งกันและกัน และกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพด้วย ความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิตที่สัมพันธ์กันหลายรูปแบบมิได้เกิดขึ้นทันทีจากพื้นดินหรือหินว่างเปล่า แต่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอนโดยใช้เวลานาน การเปลี่ยนจากลักษณะทางกายภาพแบบหนึ่งควบคู่ไปกับการเปลี่ยนสัดส่วนและชนิดประชากรภายในกลุ่มสิ่งมีชีวิตเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแทนที่ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่คือ **การเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบก้าวหน้า (progressive succession)** เป็นการเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินและหินที่ว่างเปล่าจนเป็นระบบนิเวศที่สมบูรณ์ และ **การเปลี่นแปลงแทนที่แบบถอยหลัง (retrogressive sucession)** เป็นการเปลี่ยนแปลงจากระบบนิเวศที่สมบูรณ์มาสู่ระบบนิเวศที่ไม่สมบูรณ์ อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรุนแรงของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ หรือโดยการกระทำของมนุษย์

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแทนที่สืบเนื่องมาจากหลายปัจจัยที่สัมพันธ์กัน **สิ่งมีชีวิตชนิดเริ่มแรก (pioneer species)** ต้องมีคุณสมบัติการกระจายพันธุ์ดี ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง (ไม่อำนวยต่อการเจริญ) สามารถเจริญรวมกลุ่มเพื่อครอบครองพื้นที่ได้เร็ว และต้องเติบโตได้เร็วด้วย เช่นพืชพวกหญ้ากระจายพันธุ์และทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าพืชพวกผักพืชพวกผักเจริญเร็วกว่าพืชยืนต้น แต่ละขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงแทนที่เรียกว่า **เซียร์ (sere)** โดยมีการเหนี่ยวนำให้โครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากอันตรกริยาระหว่างชนิดของสิ่งมีชีวิต ทำให้สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น นอกจากนี้ยังทำให้องค์ประกอบทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปเป็นการเอื้ออำนวยให้สิ่งมีชีวิตชนิดที่เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเข้ามาแทนที่ การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตจะเข้าสู่ **ขั้นสมบูรณ์ (climax)** สามารถวัดได้ในรูปของกระบวนการเมแทบอลิซึม กล่าวคืออัตราส่วนของผลผลิตรวมต่อกระบวนการหายใจ (P/R) มีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง

(1) **การเปลี่ยนแปลงแทนที่ปฐมภูมิ** เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบก้าวหน้าที่เริ่มจากพื้นที่ (ดิน หิน หรือน้ำ) ว่างเปล่าไม่มีสิ่งมีชีวิตชนิดใดมาก่อน เช่นการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของระบบนิเวศบนบกเริ่มต้นจากไลเคนที่ทนต่อสภาพแวดล้อมไม่อำนวยต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตอื่น ไลเคนเจริญได้บนก้อนหินโดยอาศัยความชื้นเพียงเล็กน้อยและสามารถหาอาหารได้จากการดำรงชีพแบบพึ่งพาระหว่างแอลจีกับฟังไจ เมื่อไลเคนตายสารอินทรีย์จากไลเคนจะอำนวยประโยชน์

ให้พืชล้มลุกที่มีการเจริญเร็วและสืบพันธุ์เร็วเข้ามาแทนที่ เมื่อมีสารอินทรีย์มากขึ้นทั้งที่สะสมอยู่บนหินและรอยแยกของหิน จะเป็นการอำนวยให้พืชไม้พุ่มเข้ามาแทนที่ พืชพวกนี้จะเบียดบังและแย่งอาหารจากพืชล้มลุกซึ่งต้องตายในช่วงขาดน้ำ (ฤดูแล้งหรือฤดูหนาว) พืชไม้พุ่มจะอำนวยให้ต้นอ่อนของพืชยืนต้นและพืชที่ให้เนื้อไม้เจริญได้ และเมื่อเป็นพืชที่มีอายุยืนยาว แผ่สาขาได้ไกล ลำต้นสูง จึงแย่งอาหารและบดบังแสงของพืชไม้พุ่มจนแทนที่ได้หมด ทำให้การเปลี่ยนแปลงแทนที่เข้าสู่ขั้นสมบูรณ์ (รูป 15-14)

รูป 15-14 การเปลี่ยนแปลงแทนที่บนก้อนหินเริ่มจากไลเคนจนถึงขั้นป่าสมบูรณ์ด้วยไม้ยืนต้นหลายชนิด ระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงแทนที่ต่างกันในแต่ละระบบนิเวศ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือสภาพแวดล้อมทางกายภาพและชีวภาพ



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

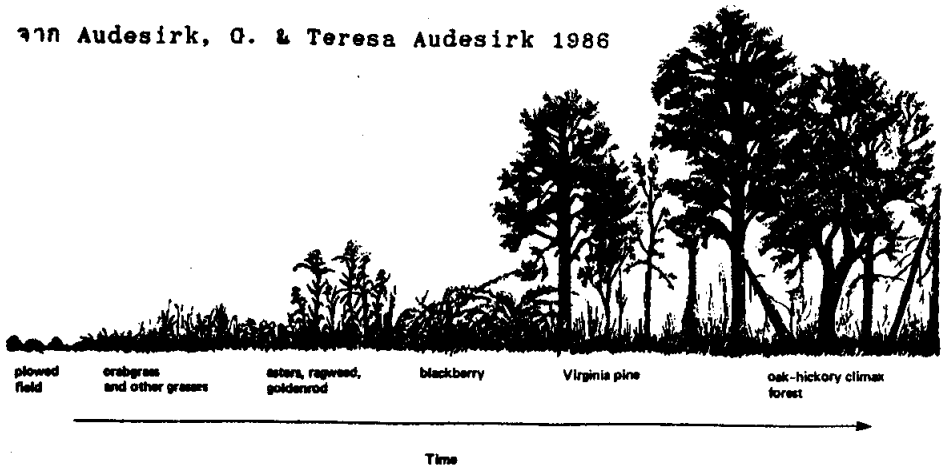
(2) **การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทุติยภูมิ** เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบก้าวหน้าที่เกิดขึ้นหลังจากระบบนิเวศถูกรบกวนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบถอยหลัง เช่นการตัดไม้ทำลายป่าจนทำให้เกิดสภาพป่าเสื่อมโทรม การปล่อยให้พื้นที่เกษตรกรรมรกร้าง (รูป 15-15) พืชที่เข้ามาแทนที่จะเป็นพืชเจริญเร็วทนทานต่อความแห้งแล้งและดินขาดธาตุสารอาหาร ได้แก่ พืชพวกหญ้า ต่อมาจะถูกแทนที่ด้วยพืชล้มลุกและพืชยืนต้นในที่สุด

15.5 นิเวศวิทยาประยุกต์

การศึกษานิเวศวิทยาให้เข้าใจถึงกลไกและอันตรกริยาระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต มีประโยชน์อย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และการดำรงสภาพแวดล้อมให้คงลักษณะตามธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศเป็นอันตรายต่อการความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดสภาวะสมดุลในโลกของสิ่งมีชีวิต จึงจำเป็นต้องนำหลักการของนิเวศวิทยามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 2 กรณีคือ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการควบคุมมลพิษ

รูป 15-15 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในทุ่งนาที่ปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ทำเกษตรกรรม

จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986



15.5.1 **การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ** ทรัพยากรธรรมชาติมี 2 ประเภทคือ ทรัพยากรหมุนเวียน (renewable natural resources) ได้แก่สิ่งที่เป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ทรัพยากรไม่หมุนเวียน (nonrenewable resources) ได้แก่ทรัพยากรที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แร่ธาตุบางชนิดที่ไม่สามารถหมุนเวียนเข้ามาใช้ในระบบนิเวศหรือนำมาใช้ได้ช้า (เพชร ทองคำ ทองแดง เหล็ก ฯลฯ)

หลักการใช้ทรัพยากรธรรมชาติแยกตามประเภททรัพยากร ถ้าเป็นประเภทหมุนเวียนจะต้องใช้ให้สามารถมีผลผลิตต่อไปได้ในอนาคตโดยไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศหรือสภาพแวดล้อม รายละเอียดการอนุรักษ์และการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของทรัพยากร เช่น ทรัพยากรป่าไม้ เมื่อต้องการตัดไม้มาใช้ประโยชน์ต้องมีการศึกษาวงชีวิตของไม้ที่จะตัดตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นและสภาพแวดล้อมทางกายภาพด้วย อาจตัดแบ่งเป็น

แปลงสลับเว้นพื้นที่ในกรณีที่ไม้มีขนาดไล่เลี่ยกัน เพื่อเปิดโอกาสให้ไม้กล้าเจริญเข้าไปแทนที่จากบริเวณใกล้เคียง นิยมทำในป่าโกงกาง หรืออาจเลือกตัดเฉพาะไม้ขนาดใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และไม่ว่าจะใช้วิธีใดต้องมีการปลูกไม้ทดแทนเพื่อรักษาสภาพป่าให้คงที่

การใช้ทรัพยากรประเภทไม่หมุนเวียน มีหลักการสำคัญคือต้องใช้แบบประหยัด และถ้าเป็นไปได้ต้องนำมาแปรรูปใช้ได้อีก น้ำมันและถ่านหินเมื่อใช้แล้วจะหมดไป ไม่สามารถแปรรูปกลับมาใช้ได้อีก จึงจำเป็นต้องมีมาตรการใช้อย่างประหยัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทรัพยากรทั้ง 2 ชนิดนำมาใช้สร้างพลังงาน จึงต้องมีการวางกฎระเบียบการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ ลักษณะทางสังคมและพัฒนาเทคโนโลยีให้ได้พลังงานจากทรัพยากรสูงสุด พร้อมทั้งการวางแผนงานและการวิจัยเพื่อแสวงหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนด้วย ในกรณีของทรัพยากรแร่ธาตุ เมื่อนำมาจากแหล่งแร่ตามธรรมชาติเพื่อทำการถลุงให้เป็นแร่บริสุทธิ์แล้ว พื้นที่แหล่งแร่เดิมควรพัฒนาให้กลับเป็นระบบนิเวศเดิมเท่าที่จะสามารถทำได้ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงแทนที่ แร่ธาตุที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมแล้ว ต้องมีเทคโนโลยีนำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่หมดอายุใช้งานแล้วมาใช้ได้อีก เช่นเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล ยวดยาน และสิ่งประดิษฐ์อื่น ควรนำมาหลอมทำให้บริสุทธิ์ใหม่

15.5.2 **มลพิษและหลักการควบคุมมลพิษ** มลพิษคือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต การเกิดมลพิษมักเนื่องมาจากมีการปล่อย**สารมลพิษ (pollutant)** ออกมาสู่สภาพแวดล้อมในเวลารวดเร็ว และไม่สามารถขจัดออกไปได้ทันด้วยกลไกทางธรรมชาติ สารมลพิษมีทั้งที่เป็นอินทรีย์สาร เช่นของเสียจากสิ่งมีชีวิต (คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ยูเรีย กากสารอินทรีย์ในอุจจาระ) และอนินทรีย์สารที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง (ออกไซด์ของธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน ธาตุโลหะหนัก สารเคมีสลายตัวช้า และสารพิษอื่น ๆ) สารเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมโดยไม่มีการควบคุมและจำกัดพิษ ก่อทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน น้ำ และอากาศ หลักการควบคุมมลพิษขึ้นอยู่กับประเภทของสารมลพิษ

(1) **สารมลพิษที่ไม่สลายตัว (nondegradable pollutant)** คือสารที่ไม่สลายตัวหรือสลายตัวช้ามาก ได้แก่ผลิตภัณฑ์พลาสติก ผลิตภัณฑ์โลหะผสมที่ไม่ผุกร่อนหรือไม่เป็นสนิม สารกำจัดแมลงหรือศัตรูพืช สารบางชนิด เช่น DDT ซึ่งสลายตัวช้ามากจะสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ เข้าสู่แพลงตอนและสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหารเรียกว่า แว่น

ขยายทางชีววิทยา (biological magnification) เมื่อสะสมอยู่ในผู้บริโภคระดับสูงสุด (สัตว์กินเนื้อ) จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์และการรอดชีวิตของตัวอ่อน ทำให้ปริมาณลดลง เช่นสัตว์พวกนกแร้ง นกกาที่ปริมาณลดลงทั่วโลก เนื่องจากได้รับผลกระทบจากสารมลพิษสะสม ทำให้เปลือกไข่ไม่แข็งแรง ตัวอ่อนตายขณะอยู่ในไข่หรือขณะเยาว์วัย

หลักการควบคุมที่สำคัญคือ การออกกฎระเบียบควบคุมหรือห้ามการผลิตสารบางประเภท เช่นห้ามการผลิตและจำหน่าย DDT ในประเทศที่พัฒนาแล้ว การใช้เทคโนโลยีเพื่อให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ให้กลับมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ผลิตในอุตสาหกรรมได้ อาจใช้วิธีกลหรือวิธีทางเคมีร่วมด้วย ในกรณีของสารเคมีที่เป็นพิษนอกจากจะควบคุมหรือห้ามการใช้แล้วยังต้องใช้วิธีการทางเคมีเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้อยู่ในสภาพนำกลับมาใช้ได้อีกหรือเปลี่ยนให้เป็นสารที่สลายตัวได้ วิธีการเผาทำลายได้รับการคัดค้านว่าเป็นการเพิ่มมลพิษเข้าสู่บรรยากาศ วิธีเก็บใส่ในบรรจุภัณฑ์ออกแบบพิเศษป้องกันการรั่วซึม แล้วฝังดินในระดับลึก หรือทิ้งลงร่องลึกของมหาสมุทร ซึ่งประเทศอุตสาหกรรมบางประเทศนำมาใช้ก็ได้รับการคัดค้านว่ายังไม่ปลอดภัยเพียงพอ เพราะเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวโลกโอกาสที่สารพิษจะรั่วซึมออกสู่สภาพแวดล้อมย่อมเกิดขึ้นได้

สารกัมมันต์และออกไซด์ของโลหะหนักถึงแม้จะมีครึ่งชีวิต (half life) และสลายได้ แต่ก็ช้ามากจึงเป็นสารมลพิษต่อสภาพแวดล้อมทั้งหมด ผลิตภัณฑ์เคมีที่เป็นแคตาลิสต์และทำลายชั้นโอโซนของบรรยากาศ (ออกไซด์ของไนโตรเจน คลอโรฟลูออโรมีเทน และเคมีสังเคราะห์อื่น) มีหลักการควบคุมเช่นเดียวกับพวกที่ไม่สลายตัว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่มาทำให้เกิดอันตรายน้อยลง เช่น การพัฒนาแคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ เพื่อกำจัดออกไซด์ของไนโตรเจนให้หมดจากท่อไอเสียรถยนต์ การรณรงค์เพื่อยุติหรือหลีกเลี่ยงการใช้ออกไซด์ของตะกั่ว (ซึ่งเป็นโลหะหนัก) ในอุตสาหกรรมผลิตสารแอนติน็อค การหลีกเลี่ยงสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้าด้วยการสันดาปของสารกัมมันต์จนกว่าจะทำให้สังคมในแหล่งผลิตนั้นยอมรับได้ว่ามาตรการรักษาความปลอดภัยมีเพียงพอและเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

(2) **สารมลพิษที่สลายตัวได้ด้วยกระบวนการทางชีววิทยา (biodegradable pollutant)** ได้แก่ซากสิ่งมีชีวิต ของเสียจากบ้านเรือน ความร้อนที่เกิดจากปฏิกริยาย่อยสลาย สารเหล่านี้ถ้ามีปริมาณพอเหมาะตามธรรมชาติ สามารถถูกย่อยสลายหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีกโดยผ่านทางวัฏจักรการหมุนเวียนแร่ธาตุ แต่เนื่องจากมนุษย์มาอยู่ร่วมกันในเมืองใหญ่หรือ

ประกอบการเกษตรกรรมที่ให้ผลผลิตสูงซึ่งมีของเสียจากการผลิตสูงตามมาด้วย มนุษย์จึงจำเป็นต้องออกเทศบัญญัติหรือจัดการด้านสุขาภิบาล เพื่อควบคุมของเสียด้วยวิธีกลและวิธีชีวเคมี เช่น สร้างโรงงานกำจัดขยะ หรือโรงงานบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ของเสีย หมุนเวียนเข้าสู่สภาพแวดล้อมตามปกติได้เร็วขึ้น