



ชีววิทยา

สัตววิทยา 1

ลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต การกำเนิดและการจัดลำดับสิ่งมีชีวิต การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต :
ระบบย่อยอาหาร ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียน ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบขับถ่าย ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบประสาท หน่วยรับความรู้สึก

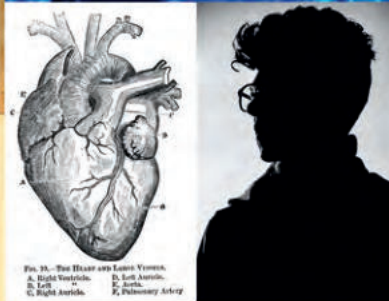


โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.
ฉบับปรับปรุงใหม่



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการ และพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)



รองศาสตราจารย์ ดร.

กิ่งแก้ว วัฒนเสริมกิจ

วท.บ. เกียรตินิยม (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปร.ด. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.

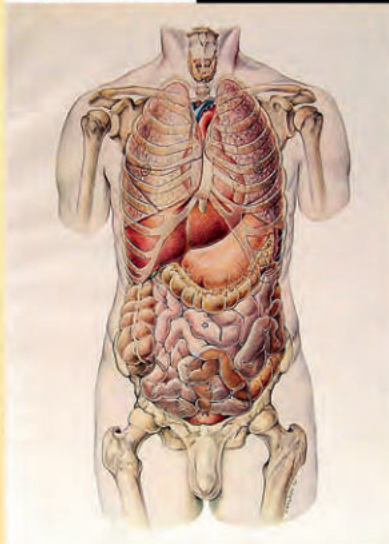
ประคอง ตังประพฤกรกุล

วท.บ. เกียรตินิยม (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Ph.D. (Reproductive Endocrinology)
The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.

พัชนี สิงห์อาษา

วท.บ. (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Ph.D. (Physiology) Queensland University, Australia



ชีววิทยา

สัตววิทยา 1

ลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต การกำเนิดและการจัดลำดับสิ่งมีชีวิต การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต :
ระบบย่อยอาหาร ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียน ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบขับถ่าย ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบประสาท หน่วยรับความรู้สึก



**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกใน พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์ จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณาจารย์มหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยฝึกอบรมรวมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้ รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 5 สาขา จนถึง ปัจจุบัน รวม 14 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียง ได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศอีก 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ โอลิมปิก ระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทย ยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลานานเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุนโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมี ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้ง มูลนิธิสอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ตามความถนัด ทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิก วิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวง นราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และ วิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอน.) ได้ร่วมมือกับคณาจารย์มหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง และกระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ สอน. ในภูมิภาค 12 ศูนย์ และในกรุงเทพฯ 1 ศูนย์ (5 โรงเรียน) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางปัญญาของนักเรียนที่มีความพร้อมในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์จากทั่วประเทศ เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ความสามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากล และพร้อมที่จะสอบคัดเลือกเป็นผู้แทนประเทศไทยไปร่วมการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศในสาขาวิชาต่างๆ ได้ และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอน. มูลนิธิ สอน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของสอน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์สอน. ให้สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย มูลนิธิ สอน. จึงได้มี “โครงการจัดทำตำราส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักเรียนด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์” ขึ้น เพื่อผลิตตำราคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ที่มีเนื้อหาหลักสูตรตามมาตรฐานสากล โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นที่ระลึกในมหามงคลสมัยที่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงเจริญพระชนมายุ 80 พรรษา ซึ่งพระองค์ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศและทรงสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อพัฒนามาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยอย่างหาที่สุดมิได้

2. เพื่อผลิตหนังสือคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายถึงระดับชั้นปีที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพเทียบเท่าสากล เรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีประสบการณ์สูงและที่มีส่วนร่วมในการฝึกอบรมนักเรียนในค่าย สอน. ค่าย สสวท. และควบคุมนักเรียนไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกฝนให้นักเรียนสามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในเชิงทฤษฎีและประยุกต์ได้โดยจัดพิมพ์บนกระดาษอาร์ตอย่างดีและมีภาพสีประกอบคำบรรยาย

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของมูลนิธิ สอน. มีเป้าหมายในการผลิตตำราคณิตศาสตร์ รวม 5 เล่ม คอมพิวเตอร์ 3 เล่ม เคมี 3 เล่ม ชีววิทยา 5 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม โดยหนังสือชุดแรกจะนำขึ้นทูลเกล้าถวายในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลือคาดว่าจะจัดพิมพ์ให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2547 นี้ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาต้นโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

- | | |
|---|------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา | รองประธานมูลนิธิ สอวน. |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมณฑา พรหมบุญ | กรรมการมูลนิธิ สอวน. |
| 3. รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม | กรรมการมูลนิธิ สอวน. |

คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.พินิติ รตะนานุกูล (เลขาธิการมูลนิธิ สอวน.) | ประธาน |
| 2. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร | รองประธาน |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระเดช เกียรติกุล | กรรมการ (คณิตศาสตร์) |
| 4. รองศาสตราจารย์นัฏฐ์วรรณ | กรรมการ (คอมพิวเตอร์) |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จุณวัฒน์กุล | กรรมการ (เคมี) |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ์ | กรรมการ (ฟิสิกส์) |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประพัทธ์สุนทรสาร | กรรมการ (ชีววิทยา) |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นาคะผดุงรัตน์ | กรรมการ (วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ) |
| 9. รองศาสตราจารย์ผ่องศรี จันทน์ | กรรมการ (ภูมิศาสตร์) |

คณะผู้เขียนวิชาชีววิทยา สัตววิทยา 1 ฉบับปรับปรุง

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กึ่งแก้ว วัฒนเสริมกิจ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชนี สิงห์อาษา

คำนำ

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้ เป็นผลจากความพยายามร่วมกันของคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยาในอันที่จะถ่ายทอดสิ่งที่เป็นพื้นฐานของชีวิต การดำรงชีวิตของสัตว์ในสภาพแวดล้อมแบบต่าง ๆ ที่มีผลสะท้อนไปถึงวิวัฒนาการของโครงสร้างและกระบวนการทางสรีรวิทยา ซึ่งเกิดกับสัตว์ชนิดต่าง ๆ รวมถึงมนุษย์ที่ได้ปรับเปลี่ยนไปให้เหมาะกับการทำงานที่จะได้ประโยชน์สูงสุด และอำนวยความสะดวกให้สัตว์สามารถมีชีวิตอยู่ได้นานพอที่จะสืบลูกสืบหลานให้คงอยู่ในโลกได้สืบไป

การเขียนหนังสือทางชีววิทยาเป็นเรื่องยากลำบาก และใช้เวลามาก ซึ่งในระดับนี้มีไขในเชิงเนื้อหาหากเป็นเรื่องการเขียนศัพท์เทคนิค หรือแม้แต่คำที่ใช้เป็นชื่อกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งหากแปลเป็นภาษาไทยก็อาจต้องเขียนกันยืดยาว หรือมีฉะนั้นเมื่ออ่านก็อาจต้องแปลไทยเป็นไทยอีกครั้งหนึ่ง หรืออาจสื่อความหมายในบริบทนั้น ๆ คณาจารย์ที่เขียนจึงตกลงร่วมกันว่าวิทยาศาสตร์นั้นเป็นสากล เราไม่น่าจะกังวลกับภาษามากนัก ควรจะมุ่งที่ความถูกต้องของเนื้อหา อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีกลิ่นหมิ่นหมิ่นเนยอยู่บ้าง ทางคณะผู้เขียนขอยืนยันว่าจะปฏิบัติตามข้อต่อผู้อ่านเป็นอย่างดี และจะทำให้ท่านค้นหาความรู้ในด้านนี้ต่อไปได้ง่ายขึ้น

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้มีอยู่ด้วยกัน 3 เล่ม เล่มนี้เป็นเล่มที่ 1 (สัตววิทยา 1) มี 3 บท ซึ่งเขียนโดยคณาจารย์ที่มีรายนามปรากฏด้านล่างนี้ ทางคณะผู้เขียนหวังว่าความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากหนังสือนี้คงจะเป็นพื้นฐานที่แน่นหนาพอที่จะสามารถศึกษาในระดับสูงต่อไปได้เป็นอย่างดีและคงตอบหรืออธิบายข้อสงสัยทางชีววิทยาให้กับท่านได้ในระดับหนึ่ง

ผู้เขียน บทที่ 1 และ 2

รองศาสตราจารย์ ดร. กิ่งแก้ว วัฒนเสริมกิจ

วท.บ. เกียรตินิยม (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปร.ด. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล

ISBN 978-616-8242-14-8

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนา
มาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษาในพระอุปถัมภ์
สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

พิมพ์ครั้งที่ 14 พ.ศ. 2565 (2022)

ออกแบบปกโดย นายกฤษฎา คทาฐะพูนพันธ์

พิมพ์ที่ บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร.0-2218-9872 โทรสาร 0-2254-9495

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร.0-2255-4433

<http://www.chulabook.com>

facebook page: Chulabook

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1375-6 โทรสาร 0-2374-1374

ผู้เขียน บทที่ 3

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พัทธ์ณี สิงห์อาษา

วท.บ. (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. (Physiology) Queensland University,

Australia

รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพจน์กุล

วท.บ. เกียรตินิยม (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. (Reproductive Endocrinology)

The Weizmann Institute of Science,

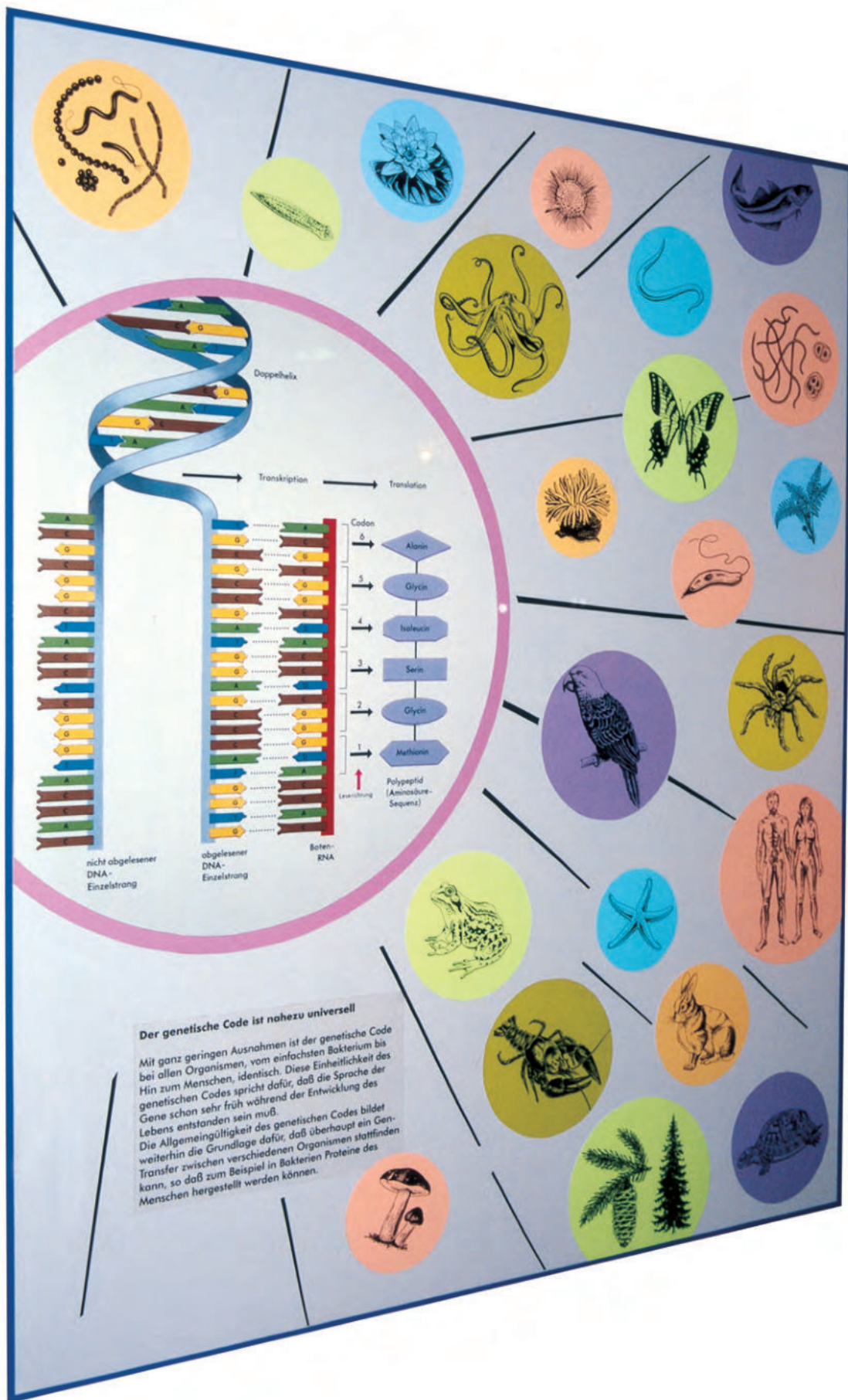
Rehovot, Israel

1. บทนำ	1
1.1 ลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต	1
1.2 โครงสร้างลำดับแรกสุดของสิ่งมีชีวิต	3
1.3 การดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต	3
1.4 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและการทำงาน	4
1.5 ความคล้ายคลึงและความแตกต่างที่สร้างความหลากหลายทางชีวภาพ	4
1.6 สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ	5
2. กำเนิดและการจัดลำดับสิ่งมีชีวิต	7
2.1 ลำดับโครงสร้างสิ่งมีชีวิต	7
2.1.1 อะตอม	7
2.1.2 โมเลกุล	8
2.1.3 สารประกอบเคมีพื้นฐานที่สำคัญของชีวิต	10
2.2 การถ่ายทอดพลังงานในสิ่งมีชีวิต	21
2.2.1 ชนิดของพลังงาน	21
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	22
2.2.3 เอนไซม์	24
2.3 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์	25
2.3.1 หน้าที่ของเซลล์	26
2.3.2 โครงสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์	27
2.4 เนื้อเยื่อสัตว์	48
2.4.1 เนื้อเยื่อผิว	48
2.4.2 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน	56
2.4.3 เนื้อเยื่อเลือด	67
2.4.4 เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ	74
2.4.5 เนื้อเยื่อประสาท	78
3. การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต	93
3.1 ระบบย่อยอาหาร (Digestive system)	95
การจัดหาอาหารของสิ่งมีชีวิต (Nutrient procurement)	95
ความต้องการอาหาร (Nutritional requirement)	95

กระบวนการจัดการอาหาร (Food processing)	97
การย่อยอาหารภายในเซลล์ (Intracellular digestion)	97
การย่อยอาหารภายนอกเซลล์ (Extracellular digestion)	99
ระบบย่อยอาหารของคน (Human digestive system)	101
การย่อยอาหารของคน (Enzymatic digestion in man)	110
การดูดซึมสารอาหาร (Nutrient absorption)	113
การควบคุมการย่อยอาหารโดยฮอร์โมน (Hormonal control of digestion)	114
การควบคุมความหิวและความอิ่ม	114
3.2 ระบบหายใจ (Respiratory system)	116
เหงือก (Gill)	116
ระบบท่อลม (Tracheal system)	119
ปอด (Lung)	119
ระบบหายใจของคน (Human respiratory system)	120
การหายใจ (Breathing)	121
การควบคุมการหายใจ (Control of breathing)	122
การแลกเปลี่ยนแก๊ส (Gas exchange)	124
การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด (Carbondioxide transportation)	126
3.3 ระบบหมุนเวียน (Circulatory system)	127
ระบบหมุนเวียนแบบเปิดและแบบปิด (Open and closed circulatory system)	127
ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular system)	128
หัวใจสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian heart)	131
เสียงของหัวใจ (Heart sound)	132
วัฏจักรหัวใจ (Cardiac cycle)	132
จังหวะการเต้นของหัวใจ (Heart rhythm)	133
โครงสร้างของหลอดเลือด (Structure of blood vessel)	135
การไหลของเลือดและความดันเลือด (Blood flow and blood pressure)	136
หน้าที่ของหลอดเลือดฝอย (Capillary function)	137
องค์ประกอบของเลือด (Blood composition)	139
การแข็งตัวของเลือด (Blood clotting)	142
หมู่เลือด (Blood group)	143
ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system)	144

3.4 ระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system)	146
กลไกการต่อต้านและทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะ (Nonspecific defense mechanism)	147
กลไกการต่อต้านและทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ (Specific defense mechanism)	149
เซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน (Immune cells)	149
โครงสร้างและหน้าที่ของแอนติบอดี (Antibody structure and function)	157
ภูมิคุ้มกันก่อเองและภูมิคุ้มกันรับมา (Active immunity and passive immunity)	160
ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน (Abnormal immune function)	160
ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Immune system in the invertebrate)	163
3.5 การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในร่างกาย (Controlling the internal environment)	164
การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Thermoregulation)	164
การควบคุมระดับน้ำและเกลือแร่ (Osmoregulation)	167
ระบบขับถ่าย (Excretory system)	169
โครงสร้างและหน้าที่ของหน่วยไต (Structure and function of nephron)	173
กลไกการทำให้ปัสสาวะเข้มข้น (Mechanism of urine concentration)	176
กลไกการควบคุมการทำงานของไต (Mechanism of kidney function)	178
วิวัฒนาการของไตสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Evolution of the vertebrate kidney)	180
3.6 ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine system)	182
ต่อมไร้ท่อที่สำคัญของสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Major vertebrate endocrine glands)	182
โครงสร้างทางเคมีของฮอร์โมน (Chemical structure of hormone)	184
การทำงานของฮอร์โมนที่เซลล์เป้าหมาย	184
กลไกการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน	187
ฮอร์โมนควบคุม homeostasis	188
การทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาทกับระบบต่อมไร้ท่อ	189
ฮอร์โมนในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate hormones)	191
3.7 ระบบประสาท (Nervous system)	193
องค์ประกอบของระบบประสาท	193
เซลล์ประสาท (Neuron)	194
วงจรประสาท (Neural circuit)	195
การทำงานของเซลล์ประสาท	196

สารสื่อประสาท (Neurotransmitter)	204
วิวัฒนาการของระบบประสาท (Evolution of nervous system)	206
วิวัฒนาการสมองของสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Vertebrate brain evolution)	210
3.8 หน่วยรับความรู้สึกและหน่วยปฏิบัติงาน (Sensory receptors and effectors)	217
หน่วยรับความรู้สึก (Sensory receptors)	217
ชนิดของหน่วยรับความรู้สึก (Type of sensory receptors)	219
หน่วยปฏิบัติงาน (Effectors)	228
โครงสร้างและการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle structure and contraction)	231
การควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Control of muscle contraction)	233
คำถามท้ายบท	237
สรุประบบต่าง ๆ ในร่างกาย	238
แบบทดสอบ	242
บรรณานุกรม	244
ดัชนี	245
Index	250



Der genetische Code ist nahezu universell

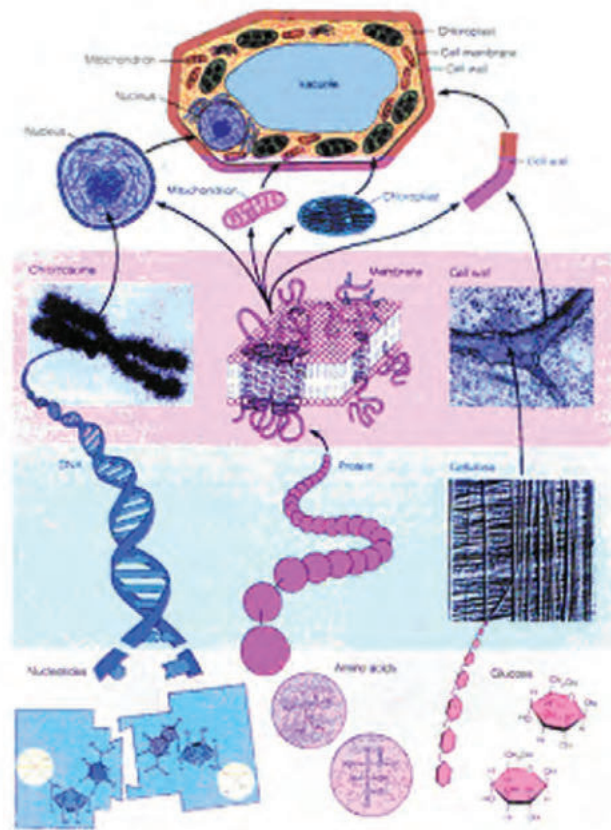
Mit ganz geringen Ausnahmen ist der genetische Code bei allen Organismen, vom einfachsten Bakterium bis hin zum Menschen, identisch. Diese Einheitlichkeit des genetischen Codes spricht dafür, daß die Sprache der Gene schon sehr früh während der Entwicklung des Lebens entstanden sein muß. Die Allgemeingültigkeit des genetischen Codes bildet weiterhin die Grundlage dafür, daß überhaupt ein Gentransfer zwischen verschiedenen Organismen stattfinden kann, so daß zum Beispiel in Bakterien Proteine des Menschen hergestellt werden können.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต

ลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตนั้นเริ่มต้นตั้งแต่อะตอมของธาตุไปจนถึงโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด อะตอมของธาตุต่าง ๆ เมื่อมารวมตัวกันในระดับเริ่มต้นเป็นโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีระดับ โมเลกุลของ สาร และเป็นชีวโมเลกุลต่าง ๆ เช่น ไขมัน โปรตีน แป้ง และน้ำตาล จากนั้น ชีวโมเลกุลเหล่านี้ก็รวมตัวกันขึ้น เป็น โครงสร้างของ ออร์แกเนล (organelle) ของเซลล์ แล้วมีการรวมตัวกันเป็นองค์ประกอบ ส่วนต่าง ๆ ของ เซลล์ เช่น เป็นโครงสร้างของโครโมโซมและเยื่อหุ้มเซลล์ บางส่วนเป็นโครงสร้างของสารเซลล์ลูโลสซึ่งเป็นผนัง เซลล์ของพืช และ organelle ต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต (ใน รูปที่ 1-1)



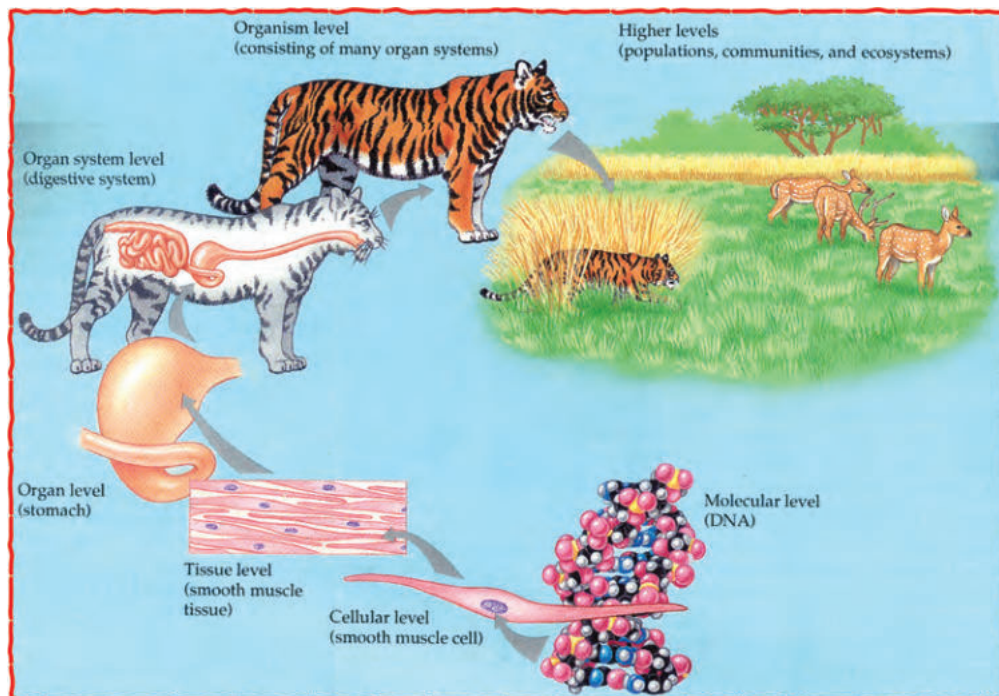
รูปที่ 1-1 แสดงลำดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต (จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

เซลล์หลาย ๆ เซลล์ในสิ่งมีชีวิตรวมตัวกันเป็นเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ รวมกลุ่มกันทำงานเป็น อวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายรวมกลุ่มกันทำงานเป็น ระบบอวัยวะ (organ system)

หลาย ๆ ระบบอวัยวะที่มีอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเป็นส่วนประกอบของ โครงสร้างสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวของแต่ละชนิด เมื่อสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เป็นประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ซึ่งเมื่อประชากรหลาย ๆ ประชากรมาอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิต เมื่อกลุ่มของสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์ร่วมกัน และมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดเป็นระบบนิเวศ ระบบนิเวศหลาย ๆ ระบบที่มีอยู่ในโลก ก็คือ โลกของสิ่งมีชีวิต

Atomic level → Molecular level → Cellular level → Tissue level
 → Organ level → Organ system level → Organism level
 → Population → Community → Ecosystem → Biosphere

ตัวอย่างของการจัดลำดับโครงสร้างของชีวิตเริ่มต้นจาก โมเลกุลชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นชีวโมเลกุล ได้แก่ ดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต DNA นั้นอยู่ภายในนิวเคลียสของเซลล์ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ มีนิวเคลียสซึ่งมี DNA ชีวโมเลกุลอยู่ จากนั้นเซลล์หลาย ๆ เซลล์ของกล้ามเนื้อ มาอยู่รวมกันทำงาน ในระดับเนื้อเยื่อ (tissue level) ซึ่งได้แก่กล้ามเนื้อเรียบเป็นมัด ๆ กล้ามเนื้อเรียบเหล่านี้พบอยู่ภายในอวัยวะต่าง ๆ เช่น กระเพาะอาหาร ซึ่งเป็นองค์ประกอบของระบบทางเดินอาหาร ในระดับ organ system level ซึ่งเป็นระบบอวัยวะที่พบอยู่ในสัตว์ เช่น เสือ เมื่อเสือเหล่านี้อาศัยอยู่รวมกันภายในป่าเป็นประชากรของเสืออยู่รวมกันในพื้นที่ที่มีประชากรของกวางในที่แห่งเดียวกัน สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ในระดับที่เป็นกลุ่ม สิ่งมีชีวิต (community) และ ระบบนิเวศ (ecosystem) ซึ่งจะเป็นโลกของสิ่งมีชีวิต (ในรูปที่ 1-2)



รูปที่ 1-2 แสดงลำดับของโครงสร้างสิ่งมีชีวิตจากชีวโมเลกุลไปจนถึงโลกของสิ่งมีชีวิต
 (จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

1.2 โครงสร้างลำดับแรกของสิ่งมีชีวิต

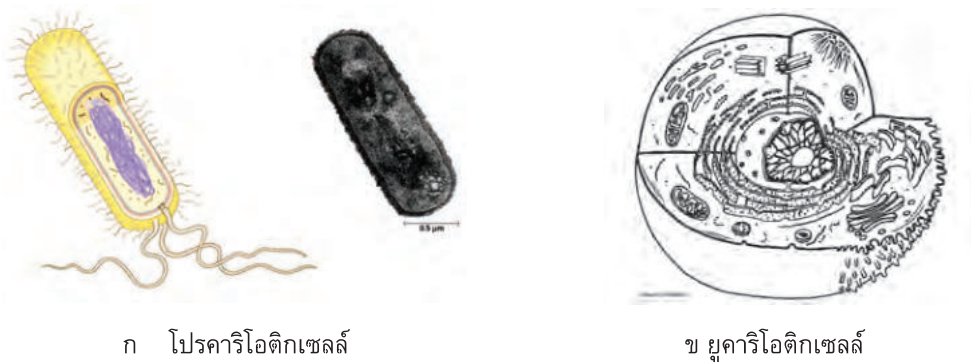
เซลล์เป็นโครงสร้างลำดับแรกของสิ่งมีชีวิตที่มีกิจกรรมต่าง ๆ ตามสมบัติของสิ่งมีชีวิต Robert Hooke เป็นคนแรกที่ตั้งชื่อคำว่าเซลล์ โดยศึกษาชิ้นไม้คอร์กภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ต่อมา Mathias Schleiden และ Theodor Schwann ได้เสนอทฤษฎีเซลล์ “All living things consist of cell” สิ่งมีชีวิตทุกชนิด ประกอบด้วยเซลล์ ซึ่งในเวลาต่อมาก็ได้เพิ่มข้อความว่า “All cell comes from other cells” หมายความว่า เซลล์ต้องเกิดมาจากเซลล์ด้วยกัน

เซลล์จำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. โปรคาริโอติกเซลล์ (Prokaryotic cell)
2. ยูคาริโอติกเซลล์ (Eukaryotic cell)

Prokaryotic cell มีลักษณะที่สำคัญคือ ภายในบริเวณไซโตพลาสซึมไม่มีการแยกสารพันธุกรรมออกเป็นสัดส่วนให้เห็นในสภาพเป็น nucleus และไม่มี organelles อื่นๆ ชนิดที่พบประจำใน Eukaryotic cell (ในรูปที่ 1-3)

Eukaryotic cell ลักษณะสำคัญ มีสารพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วยกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และโปรตีนอยู่ภายใน nucleus ใน cytoplasm มีการแบ่งส่วนต่าง ๆ ออกเป็นส่วน ๆ เพื่อทำหน้าที่สำคัญต่าง ๆ เรียกแต่ละส่วนนี้ว่า organelle เซลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้แม้จะมีโครงสร้างแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่มีสิ่งสำคัญที่เป็นสมบัติของสิ่งมีชีวิตคือ มีโครงสร้างที่ทำให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 1-3 ก. โปรคาริโอติกเซลล์ ข. ยูคาริโอติกเซลล์ (จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

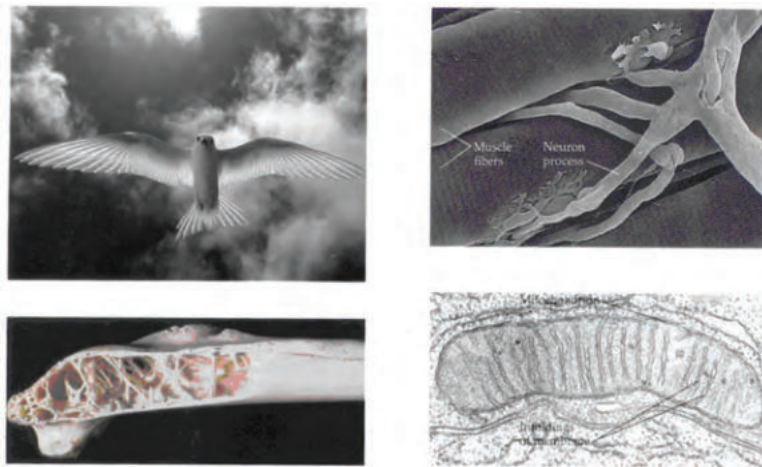
1.3 การดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต

การดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับข้อมูลทางพันธุกรรมที่อยู่ในโมเลกุลของ DNA (Deoxyribonucleic acid) ซึ่งสามารถถ่ายทอดไปยังเซลล์รุ่นต่อไปได้ DNA เป็นชีวโมเลกุลที่ควบคุมการสังเคราะห์สารต่าง ๆ และโครงสร้างต่าง ๆ รวมทั้งควบคุมการทำงานภายในเซลล์ DNA เป็นส่วนประกอบของ gene หรือหน่วยพันธุกรรมที่ถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปยังรุ่นลูก โมเลกุลของ DNA ประกอบด้วยสายโพลีนิวคลีโอไทด์ (polynucleotide) จำนวน 2 สาย จาก nucleotide ทั้งหมด 4 ชนิด ซึ่งมีการเรียงลำดับของนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันไปได้หลาย ๆ แบบ

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดทุกประเภท มีรหัสพันธุกรรม (genetic code) ที่จำเป็นมากเหมือน ๆ กัน แต่สิ่งมีชีวิตแต่ละตัวมีลำดับของ nucleotide แตกต่างกัน ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต เกิดจากการแสดงออกของยีนที่แตกต่างกันไป และมีการถ่ายทอดพันธุกรรมที่ขึ้นอยู่กับกลไกการถอดแบบ DNA ซึ่งเป็นชีวโมเลกุลของบรรพบุรุษ และการนำเอาลำดับของ nucleotide ไปยังลูกหลาน เป็นผลให้เกิดการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ต่อไป

1.4 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและการทำงาน

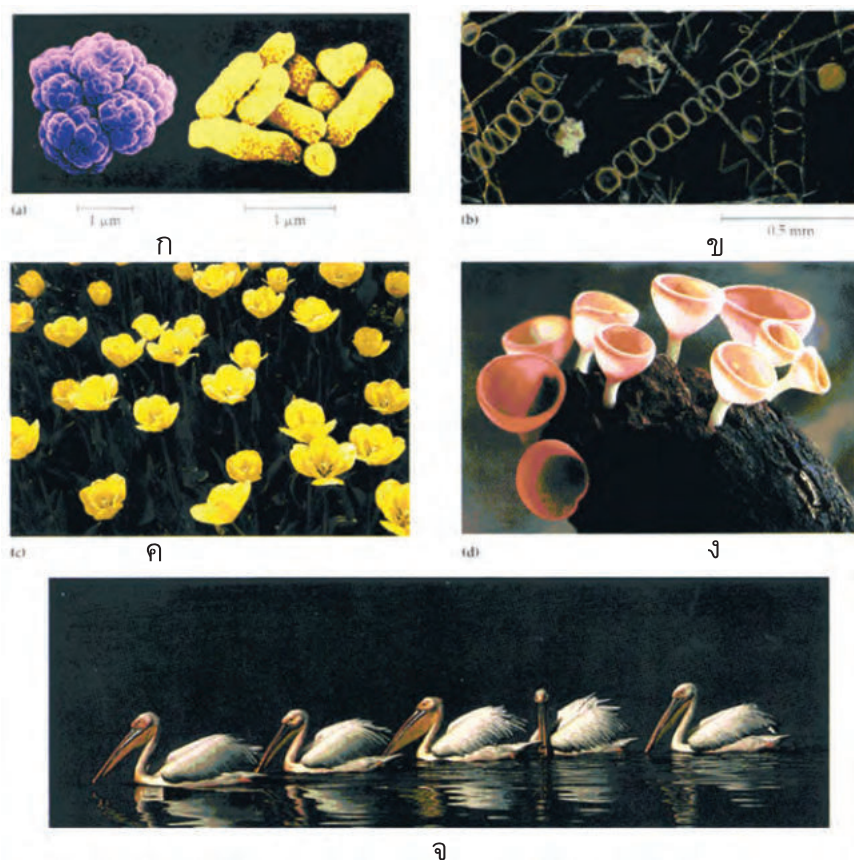
โครงสร้างของสิ่งมีชีวิตและการทำงานมีความสัมพันธ์กันในทุก ๆ ระดับของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่โมเลกุลจนถึง organisms สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีโครงสร้างที่เหมาะสมกับหน้าที่การทำงาน เช่น โครงสร้างของ mitochondria ในเซลล์กล้ามเนื้อของปีกนก มีจำนวน cristae มาก โครงสร้างของปีกนกในระดับเนื้อเยื่อ มีความเหมาะสมในการทำงาน เพราะว่ามีเนื้อเยื่อกระดูกที่โปร่งพรุน และเบา(ในรูปที่1-4) ดังนั้น โครงสร้างที่แตกต่างกันในแต่ละระดับทำให้รู้และเข้าใจหน้าที่การทำงานในทุก ๆ ระดับและทำให้สิ่งมีชีวิตชนิดนั้นมีโครงสร้างที่เหมาะสมในการดำรงชีวิต



รูปที่ 1-4 ความสัมพันธ์ของไมโทคอนเดรียในเซลล์กล้ามเนื้อและกระดูกพรุนของนก
(จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

1.5 ความคล้ายคลึงและความแตกต่างที่สร้างความหลากหลายทางชีวภาพ

สิ่งมีชีวิตต้องมีความคล้ายคลึงและความแตกต่างกันเนื่องจากความหลากหลายซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันพบว่าในโลกมีสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ไม่ต่ำกว่า 100 ล้านชนิด และภายใต้ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตนั้น จะมีสมบัติร่วมกัน คือ สิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างของเซลล์ที่เหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สิ่งมีชีวิตที่มีความแตกต่างกัน ในระดับหนึ่งนั้น ก็ยังคงมีความคล้ายคลึง หรือมีความสัมพันธ์ร่วมกันในอีกระดับหนึ่ง สิ่งที่มีร่วมกันก็คือ มี รหัสพันธุกรรมแบบสากล (universal genetic code) ที่ใช้ร่วมกันทั้งหมด แต่ก็มี การแสดงออกของรหัสพันธุกรรมแตกต่างกันไป จึงทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ความหลากหลายทางชีวภาพเป็นสิ่งที่ดี และถูกเก็บรักษาไว้ ในการศึกษาทางชีววิทยาจึงมีการจำแนกชนิด และ จัดกลุ่มสิ่งมีชีวิตตามแบบแผนที่กำหนด (ในรูปที่ 1-5)



รูปที่ 1-5 แสดงตัวอย่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่จัดอยู่ใน ก. อาณาจักรมอนเนอร่า ข. อาณาจักรโปรติสตา ค. อาณาจักรพืช ง. อาณาจักรเห็ดรา จ. อาณาจักรสัตว์ นักชีววิทยา แบ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตออกเป็น 5 อาณาจักร หรือ Kingdom ซึ่งได้แก่

- Kingdom Monera อาณาจักรมอนเนอร่า
- Kingdom Protista อาณาจักรโปรติสตา
- Kingdom Plantae อาณาจักรพืช
- Kingdom Fungi อาณาจักรเห็ดรา
- Kingdom Animalia อาณาจักรสัตว์

(จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

1.6 สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ

เรื่องราวของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานนับล้านปีตามอายุของโลก จุดเริ่มต้นของสิ่งมีชีวิตแรกเริ่มเป็นพวก Prokaryote ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นในโลก เมื่อประมาณ 3 ล้านปีก่อน สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีความเกี่ยวข้องกัน โดยมีกระบวนการวิวัฒนาการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกันหลากหลายชนิดในปัจจุบัน



ก



ข

รูปที่ 1-6 ก. ฟอสซิลนกโบราณ ข. Charles Darwin (จาก Campbell, Biology 4th, 1996)

นักวิทยาศาสตร์ คนสำคัญ ที่ศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต คือ **Charles Darwin** ซึ่งเสนอผลงานเรื่อง *The origin of Species* ได้เสนอกลไกของวิวัฒนาการว่าเป็นการคัดเลือกโดยธรรมชาติ Natural selection (ในรูปที่ 1-6 ข) ซึ่งมาจากข้อสังเกต 2 ประการได้แก่

1. ความผันแปรภายในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน (Individual Variation)
2. การต่อสู้แย่งชิงเพื่อความอยู่รอด (Struggle for Existence)

Darwin พบว่า ในประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันมีความแตกต่างของลักษณะต่าง ๆ ในแต่ละตัว ซึ่งเป็นลักษณะที่ถ่ายทอดไปได้ยังลูกหลาน เขาพบว่าแต่ละประชากรมีศักยภาพสูงในการผลิตลูกหลานจำนวนมาก ซึ่งทำให้เกิดความไม่พอเพียงของปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพมีผลให้เกิดการต่อสู้ แย่งชิงเพื่อความอยู่รอดและพบว่าพวกที่มีลักษณะที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมในที่นั้น ๆ จึงมีจำนวนเหลือรอดอยู่มาก และมีการสืบพันธุ์มีลูกหลานปกติ ทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมถูกถ่ายทอดไปได้ในรุ่นลูก ซึ่งความสำเร็จนี้เป็นตัวการทำให้เกิดวิวัฒนาการ ดังนั้นการเกิด Natural Selection เป็นการคัดเลือกความแปรผันทางพันธุกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละรุ่น ซึ่งจะเพิ่มความถี่ในแต่ละ generation เมื่อเป็นระยะเวลานาน ๆ ก็ทำให้เกิด new species วิวัฒนาการเป็นแก่นสำคัญของชีววิทยา ที่เป็นตัวเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งจะได้เรียนรู้ในบทต่อ ๆ ไป

บทที่ 2

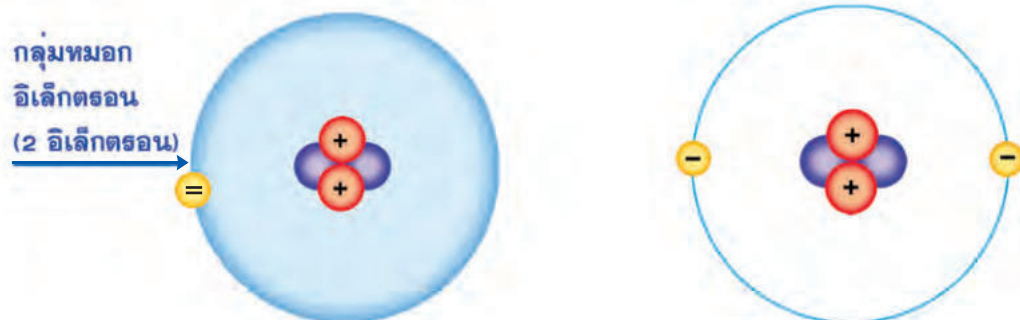
กำเนิดและการจัดลำดับสิ่งมีชีวิต

2.1 ลำดับของโครงสร้างสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างพื้นฐานเริ่มต้น ที่มีองค์ประกอบขั้นแรกทางเคมีที่คล้ายคลึงตั้งแต่ระดับอะตอมของธาตุต่าง ๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลและหรือสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งเป็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต ธาตุที่มีความสำคัญซึ่งสิ่งมีชีวิตต้องการในการจัดลำดับโครงสร้างมีประมาณ 25 ธาตุและในจำนวนข้างต้นนั้นประมาณ 95 % เป็นธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของชีวโมเลกุล นอกจากนั้นก็เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตแต่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ ฟลูออรีน (F) ไอโอดีน (I) และสังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ทองแดง (Cu) กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P)

2.1.1 อะตอม (atom)

ธาตุประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดคือ อะตอมซึ่งยังแสดงสมบัติของธาตุได้ โครงสร้างของอะตอมประกอบด้วยอนุภาคหลัก 3 ชนิด ได้แก่ โปรตอน (proton) อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก อิเล็กตรอน (electron) อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ ส่วนนิวตรอน (neutron) อนุภาคที่เป็นกลางหรือไม่มีประจุไฟฟ้า โปรตอนและนิวตรอนจับตัวกันอยู่ตรงใจกลางอะตอมซึ่งเรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) ส่วนอิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่เป็นวงโคจร (orbital) อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส (ในรูปที่ 2-1) และมีรัศมีของวงโคจรแตกต่างกันตามระดับชั้นพลังงาน (energy level) อิเล็กตรอนมีพลังงานของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับความเร็วของอิเล็กตรอน และมีพลังงานศักย์ขึ้นอยู่กักระยะทางที่อยู่ห่างจากนิวเคลียส ดังนั้นอิเล็กตรอนที่โคจรรอบวงในสุด มีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด ส่วนอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีพลังงานศักย์สูงกว่า อิเล็กตรอนอาจถูกถ่ายทอดทำให้มีจำนวนลดลงไปหรือได้รับเพิ่มขึ้นจากอะตอมอื่น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นได้

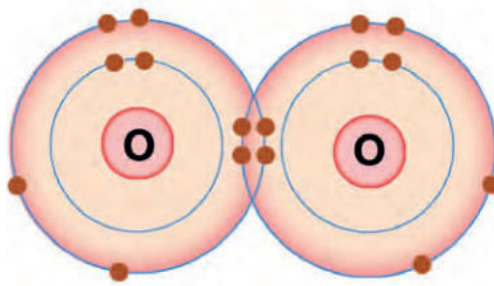


รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของอะตอมฮีเลียมที่มี โปรตอนและนิวตรอนเป็นนิวเคลียสอยู่กลางอะตอม และมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส

2.1.2 โมเลกุล (molecule)

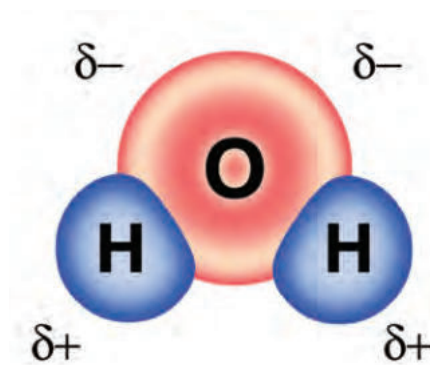
โมเลกุลของสารเกิดจากการเข้ารวมตัวของอะตอมของธาตุตั้งแต่จำนวน 2 อะตอมขึ้นไป โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมซึ่งเรียกว่า พันธะเคมี (Chemical bond) ซึ่งมี 3 ประเภท ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) พันธะไอออนิก (ionic bond) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

covalent bond เป็นพันธะที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันระหว่างอะตอม 2 อะตอม เพื่อให้มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกครบจำนวนมีผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวให้อยู่รวมกันเป็นโมเลกุลของสารใหม่ เช่น ก๊าซออกซิเจน (ในรูปที่ 2-2)



รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน มีการใช้ electron 2 ตัวในวงนอกร่วมกัน

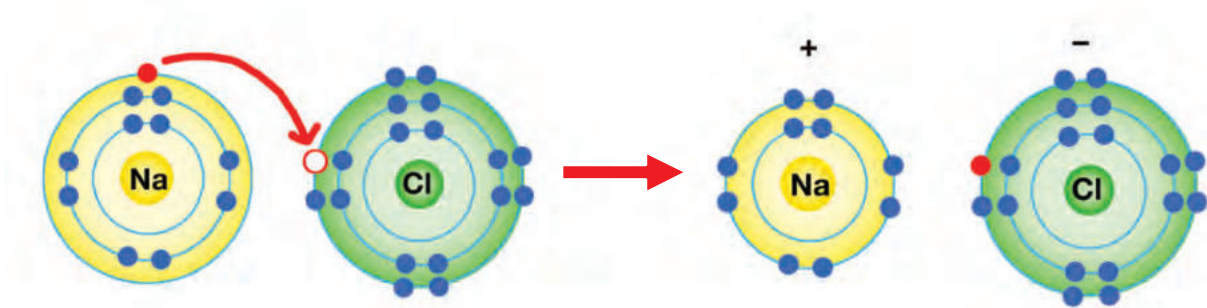
covalent bond ของโมเลกุลน้ำมีลักษณะสมบัติพิเศษเป็น **polar covalent bond** เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีจุดศูนย์กลางของสนามไฟฟ้าบวกและลบอยู่ที่ตำแหน่งต่างกัน ทำให้โมเลกุลมีขั้วบวกและขั้วลบและเกิดแรงดึงดูดระหว่างต่างขั้ว (ในรูปที่ 2-3)



รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลที่มีขั้วของน้ำ ซึ่งมีศูนย์กลางสนามไฟฟ้าบวกที่ไฮโดรเจนอะตอม (δ^+) และศูนย์กลางสนามไฟฟ้าลบที่ออกซิเจนอะตอม (δ^-)

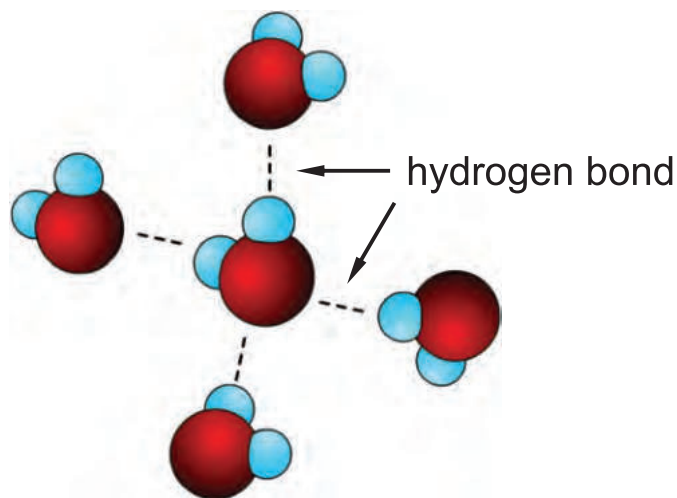
ionic bond เป็นพันธะที่เกิดจากการให้อิเล็กตรอนจากอะตอมชนิดที่มีอิเล็กตรอนวงนอกจำนวนน้อย (electron doner) ได้แก่พวกโลหะ เช่น โซเดียม แคลเซียม ทองแดง เหล็ก ไปยังอะตอมของธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกจำนวนมากที่ใกล้เคียงจำนวนอิเล็กตรอนที่ครบจำนวนในวงโคจร (electron acceptor) ได้แก่พวกอโลหะ เช่น คลอรีน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายทอดใน

ลักษณะการให้และการรับอิเล็กตรอนได้แก่ การให้อิเล็กตรอนจากอะตอมของธาตุ Na ไปยังอะตอมของธาตุ Cl (ในรูปที่ 2-4)



รูปที่ 2-4 แสดงการเกิดพันธะไอออนิก ซึ่งมีการให้ e^- จากอะตอมของโซเดียมไปยังอะตอมของคลอรีน ได้เป็นสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ที่แต่ละอะตอมมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกครบจำนวน

Hydrogen bond เป็นพันธะที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีบทบาทในการยึดโครงสร้างสารประกอบ อินทรีย์พวกชีวโมเลกุลให้มีรูปร่างลักษณะเฉพาะและเกิดการทำงาน เช่น โมเลกุลของโปรตีนต่าง ๆ และ รวมทั้งโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นสารประกอบซึ่งมีโมเลกุลที่มีขั้ว (polar molecule) โมเลกุลน้ำมี H (δ^+) และ O (δ^-) จึงทำให้โมเลกุลของน้ำยึดเหนี่ยวกันได้ดี และมีสถานะต่าง ๆ 3 สถานะคือ เป็นของแข็งของเหลว และสภาพเป็นก๊าซหรือไอน้ำ (ในรูปที่ 2-5)



รูปที่ 2-5 แสดงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง O (δ^-) กับ H (δ^+) ของโมเลกุลของน้ำ โดยน้ำ 1 โมเลกุลมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำอีก 4 โมเลกุล ที่อยู่โดยรอบ