บทที่ 1
บทนำชีวเคมี

ชีวเคมีเป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหม่เมื่อเทียบกับวิทยาศาสตร์แขนงอื่นๆ เช่น เคมีอินทรีย์ ชีววิทยา และฟิสิกส์ เป็นต้น โดยองค์ความรู้ของวิชาเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการศึกษา และอธิบายหลักการในวิชาชีวเคมีได้ ชีวเคมีเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวกับกระบวนการทางเคมีในสิ่งมีชีวิต ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย จนถึงสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ เช่น พืชและสัตว์ชั้นสูง ชีวเคมีก่อให้เกิดประโยชน์แก่สิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะมนุษย์มากมายในหลายด้าน และการที่มนุษย์สามารถมีชีวิตได้อย่างปกติสุขนั้น ส่วนหนึ่งก็เป็นผลมาจากการศึกษาชีวเคมี

1.1 ความหมายของชีวเคมี

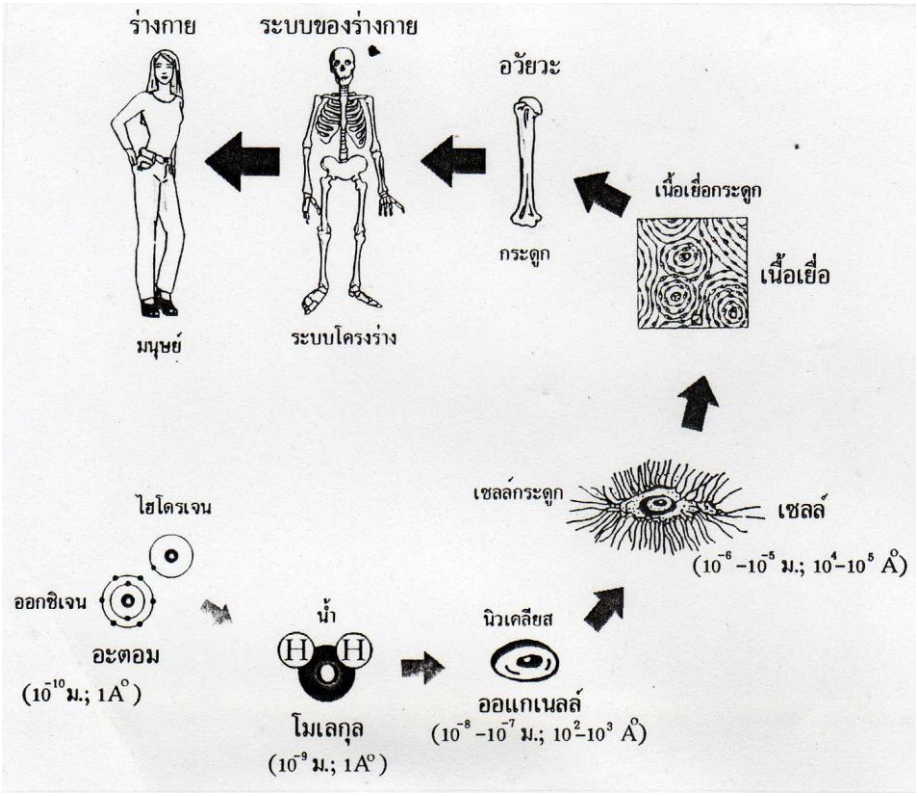
ชีวเคมี มาจากภาษาอังกฤษว่า Biochemistry ได้มีผู้ให้ความหมายของชีวเคมีหลายแบบ เช่น ชีวเคมีเป็นการศึกษาถึงส่วนประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิตรวมไปถึงการศึกษาที่เกี่ยวกับกลไกทางเคมี ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตถือกำเนิด เจริญเติบโต และดำรงอยู่ได้ จนกระทั่งเสื่อมสลายและตายในที่สุด เรียกว่า เมแทบอลิซึม (metabolism) (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 1) ชีวเคมีเป็นวิชาที่ศึกษาสารเคมีที่มีในสิ่งมีชีวิต หรือที่เรียกว่าชีวโมเลกุล และกระบวนการเคมีในสิ่งมีชีวิต ตลอดจนการควบคุมในระดับต่างๆ อย่างเช่นที่เกี่ยวกับการแปรรูปสารอาหารไปเป็นพลังงาน การสร้างและเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ที่เรียกว่า กระบวนการเมตาโบลิสม การทำงานของเอนไซม์และโคเอนไซม์ ระบบของพลังงานในสิ่งมีชีวิต การสลายและการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลต่างๆ (ศุภศิษฏ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, 2552 : 4)

จากความหมายของชีวเคมีข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า **ชีวเคมี** คือ การศึกษาเกี่ยวกับเคมีของสิ่งมีชีวิต โดยเป็นการศึกษาสารประกอบทางเคมีในสิ่งมีชีวิต กระบวนการเมแทบอลิซึม รวมถึงการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้

การกำเนิดของวิชาชีวเคมี ซึ่งเป็นการศึกษาเคมีในสิ่งมีชีวิต และเป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหม่ เนื่องจากความรู้ทางเคมีก่อนหน้านั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเคมีในสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งสิ่งมีชีวิตจะมีความแตกต่างจากสิ่งไม่มีชีวิต ดังนี้

1) สิ่งมีชีวิตมีการจัดเรียงตัวกันของสารต่างๆที่เป็นองค์ประกอบอย่างสลับซับซ้อน และเป็นระเบียบแบบแผน (เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 1) สิ่งมีชีวิตในโลกมีความ

หลากหลายทั้งพืชและสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามสิ่งมีชีวิตจะมีการจัดเรียงตัวของสารที่เป็นองค์ประกอบอย่างมีระเบียบแบบแผน ตัวอย่างเช่น ร่างกายมนุษย์จะมีลำดับการจัดเรียงตัวจากอะตอมของธาตุรวมตัวเป็นโมเลกุลของสาร จากโมเลกุลของสารรวมตัวเป็นนิวเคลียส เซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และเป็นร่างกายในที่สุด ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลำดับการจัดเรียงตัวในโครงสร้างของร่างกายมนุษย์
(ที่มา : เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 2)

2) ส่วนต่างๆของสิ่งมีชีวิตมีหน้าที่และวัตถุประสงค์การทำงานที่จำเพาะ (เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 2) สิ่งมีชีวิตจะมีอวัยวะต่างๆสำหรับทำหน้าที่จำเพาะเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เช่น ร่างกายมนุษย์มีกระเพาะอาหารทำหน้าที่ย่อยอาหาร มีหัวใจทำหน้าที่สูบฉีดโลหิต เป็นต้น หรือแม้แต่ในระดับเซลล์ก็มีออร์แกเนลล์ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น ไรโบโซมทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน เป็นต้น ในขณะที่สิ่งไม่มีชีวิตจะไม่มีอวัยวะต่างๆที่ทำหน้าที่อย่างเฉพาะเจาะจง

3) สิ่งมีชีวิตมีการแลกเปลี่ยนและถ่ายทอดพลังงานกับสิ่งแวดล้อม (เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 2) สิ่งมีชีวิตจะดำรงชีวิตอยู่ได้ต้องมีพลังงาน ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนกับ

สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น พืชมีการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานของตนเองในรูปสารอาหาร เช่น กลูโคส ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานต่างๆเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตของพืช และมีการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกสู่สิ่งแวดล้อม ในขณะที่เมื่อให้พลังงานแก่สิ่งไม่มีชีวิตจะทำให้สิ่งนั้นแตกสลาย

4) สิ่งมีชีวิตมีการสืบพันธุ์ (เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 2) สิ่งมีชีวิตจะมีการสืบพันธุ์เพื่อรักษาสายพันธุ์ของตน และถ่ายทอดลักษณะต่างๆไปสู่ลูกหลาน แต่สิ่งไม่มีชีวิตจะไม่มีกระบวนการดังกล่าว

จากข้อสรุปดังกล่าวจะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตแตกต่างจากสิ่งไม่มีชีวิต ดังนั้นเราจึงไม่สามารถนำความรู้จากสิ่งไม่มีชีวิตมาใช้กับสิ่งมีชีวิตทั้งหมดได้ จึงต้องมีการศึกษาเคมีในสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

1.2 ประวัติชีวเคมี

ในสมัยก่อนเมื่อเอ่ยคำว่า “ชีวิต” ผู้คนจะคิดถึงสิ่งมีชีวิตในรูปแบบที่เห็นกันได้ทั่วๆไป เช่น ต้นหญ้า แมลง นก หนอน ปลา มนุษย์ ซึ่งแต่ละชนิดต่างก็มีวัฏจักรของชีวิต การสืบทอดเผ่าพันธุ์ ตลอดจนการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกตามแบบฉบับของตนเอง จากนั้นมาอีกเป็นพันปี คำว่า“สิ่งมีชีวิต” จึงได้ถูกมองกว้างขึ้น โดยขั้นแรกจะดูถึงลักษณะต่างๆที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และต่อมาก็มีการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าช่วย ในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 Schleiden และ Schwann ได้ค้นพบว่า สิ่งมีชีวิตประกอบขึ้นจากหน่วยย่อยที่เรียกว่า เซลล์ ซึ่งมีขนาดและการแสดงออกต่างๆคล้ายคลึงกัน จากข้อมูลนี้รวมทั้งหลักฐานจากฟอสซิลทำให้ ชาร์ลส์ ดาร์วิน สามารถตั้งทฤษฎีวิวัฒนาการขึ้นมาได้ (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 1)

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เริ่มจากการแจกแจงก๊าซต่างๆที่เป็นส่วนประกอบในบรรยากาศ ต่อมามีการแสดงให้เห็นว่าขบวนการที่สัตว์ให้ออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนได้ออกไซด์ออกมานั้นจะมีความเกี่ยวพันแบบสวนทางกับขบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดในพืชสีเขียว ในปีคริสตศักราช 1785 Lavoisier ค้นพบว่าสิ่งมีชีวิตต้องหายใจโดยใช้ก๊าซออกซิเจน ต่อมา Lavoisier และ Laplace ได้ตั้งกฎการอนุรักษ์พลังงานและสสาร และได้ทำการทดลองพบว่ากฎนี้เกิดขึ้นในระบบชีวภาพด้วย จากนั้นเริ่มแยกสกัดสารต่างๆ ออกจากสิ่งมีชีวิตได้ในรูปที่เป็นสารบริสุทธิ์ รวมทั้งพบว่าสารทั้งหมดจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจุดนี้คือจุดกำเนิดของเคมีอินทรีย์ ในปีคริสตศักราช 1828 Wohler1 ทำการสังเคราะห์ยูเรียเป็นผลสำเร็จ จึงแสดงให้เห็นว่าสารประกอบอินทรีย์ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกสร้างขึ้น โดยสิ่งมีชีวิตเสมอไป ต่อมา Berzelius ได้พบ

กฎทั่วไปของปฏิกิริยาที่ต้องมีตัวเร่ง ทำให้ทราบว่าเปปซินในน้ำย่อย หรืออไมเลสในข้าวมอลต์เป็นตัวเร่งทางชีวภาพ

ความก้าวหน้าทางเคมีและฟิสิกส์ยังคงดำเนินต่อไป แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มากพอที่จะตอบคำถามเกี่ยวกับธรรมชาติของชีวิตได้จนกระทั่งศตวรรษที่ 20 ในช่วงเวลานี้เคมีอินทรีย์ เคมีอินทรีย์ ตลอดจนเคมีเชิงฟิสิกส์ได้เริ่มเฟื่องฟูขึ้น มีกฎของเทอร์โมไดนามิกส์เกิดขึ้น ตลอดจนสามารถทดสอบได้ว่าสิ่งมีชีวิตประพฤติตนตามกฎของเคมีและฟิสิกส์หรือไม่ ทฤษฎีวิวัฒนาการเริ่มเป็นที่ยอมรับ Gregor Mendel พบกฎการถ่ายทอดทางพันธุกรรม สารประกอบที่มีในสิ่งมีชีวิตถูกศึกษามากขึ้น มีการศึกษาถึงระบบประสาทซึ่งซับซ้อน ต่อมา Claude Bernard ก็ได้พบว่ากลูโคสในตับและกล้ามเนื้อจะถูกเก็บไว้ในรูปของไกลโคเจน หลังจากนี้ทฤษฎีในเรื่องเชื้อโรคตลอดจนความรู้ทางจุลชีววิทยาก็เกิดขึ้น

ต่อมา Emil Fischer ได้ศึกษาและพบโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตหลายตัว ตลอดจนสามารถแยกกรดอะมิโนออกมาจากโปรตีนได้ อีกทั้งยังพบสเตอริโอเคมีของคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโน รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วย fischer ได้เริ่มศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างชีวโมเลกุลแต่ละชนิด ซึ่งจากข้อมูลที่ได้รวมกับของ Harden และ Young ที่พบว่ายีสต์สามารถหมักกลูโคสให้เกิดเป็นแอลกอฮอล์ ได้นำไปสู่ยุคของชีวเคมี โดยคำว่า ชีวเคมี ถูกใช้เป็นครั้งแรกในปีคริสตศักราช 1903 โดย Carl Neuberg หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1906 ได้มีการตีพิมพ์วารสารทางชีวเคมีฉบับภาษาอังกฤษ คือ Journal of Biological Chemistry และประมาณปี ค.ศ. 1920 เป็นต้นมาเป็นช่วงระยะเวลาที่สำคัญที่สุดของการค้นพบทางชีวเคมี ในช่วงเวลาดังกล่าวได้มีการค้นพบ สกัดและสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลต่างๆมากมาย มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านในสาขานี้ได้รับรางวัลโนเบล เช่น การค้นพบโครงสร้าง α-helix ของโปรตีนโดย Pauling ในปี ค.ศ. 1954 และการค้นพบเกลียวคู่ของโครงสร้าง DNA โดย Watson และ Crick ในปี ค.ศ. 1953 ทำให้ Crick Watson และ Wilkins ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1962 (เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ และคณะ, 2548 : 4)

1.3 ประโยชน์ของชีวเคมี

วิชาชีวเคมีก่อให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมากในหลายด้าน ยกตัวอย่างเช่น

1.3.1 ด้านการแพทย์ ชีวเคมีทำให้ทราบระบบการทำงานต่างๆในร่างกาย เช่น ระบบย่อยอาหาร ระบบการหายใจ ระบบประสาท และทำให้ทราบกลไกการควบคุมการทำงานของสิ่งมีชีวิตซึ่งจะต้องมีการควบคุมกระบวนเมแทบอลิซึมให้อยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าสิ่งมีชีวิตเสียกระบวนการควบคุมหรือไม่อยู่ในภาวะสมดุลจะก่อให้เกิดโรคต่างๆได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น ซึ่ง

ความรู้ในการควบคุมกระบวนการทำงานต่างๆจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันและการรักษาโรคได้ นอกจากนี้ความรู้ทางชีวเคมีในร่างกายจะสามารถช่วยในการวินิจฉัยโรคในทางการแพทย์ได้

1.3.2 ด้านเภสัชกรรม ชีวเคมีทำให้ทราบสารเคมีที่เป็นประโยชน์และสามารถบำบัดรักษาโรคต่างๆในร่างกาย ทำให้สามารถผลิตยาในทางเภสัชกรรมได้

1.3.3 ด้านโภชนาการ ความรู้ทางชีวเคมีทำให้มนุษย์ทราบถึงการรับประทานอาหารอย่างถูกต้องเช่นการรับประทานอาหารหลักห้าหมู่ ก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านโภชนาการ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรค นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความรู้ทางชีวเคมีในการบรรเทาและบำบัดรักษาโรคต่างๆได้ เช่น โรคเบาหวาน เป็นต้น

1.3.4 ด้านเกษตร ความรู้ทางชีวเคมีที่เกี่ยวกับพืช เช่น การสังเคราะห์แสง การตรึงก๊าซไนโตรเจน การเจริญเติบโต การออกดอกและผล สารเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นำมาซึ่งประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม

1.4 ขอบข่ายของวิชาชีวเคมี

ชีวเคมีเป็นจุดเชื่อมต่อที่สำคัญระหว่างวิทยาศาสตร์พื้นฐานกับวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กล่าวคือ เป็นการรวบรวมเอาความรู้ด้านต่างๆ เข้ามาดัดแปลงผสมผสานกัน ทำให้สามารถเข้าใจถึงปรากฏการณ์ และกระบวนการต่างๆของชีวิตในระดับโมเลกุล โดยขอบข่ายของวิชาชีวเคมีมีดังนี้

1.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิต หรือที่เรียกว่า สารชีวโมเลกุล ชีวิตทุกประเภททุกอาณาจักรประกอบด้วยธาตุต่างๆที่คล้ายคลึงกัน ธาตุที่มีความสำคัญและมีปริมาณมากในชีวิตแทบทุกชนิด คือ ธาตุคาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน(O) และไนโตรเจน(N) ธาตุต่างๆเหล่านี้มีการจัดระบบกันเป็นชีวโมเลกุลขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้าง เพื่อทำหน้าที่ต่างๆภายในร่างกาย นับเป็นความสามารถของชีวิตที่จัดรวมธาตุต่างๆ ซึ่งเป็นสารขนาดเล็กแล้วสังเคราะห์ขึ้นเป็นชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้ชีวิตสมบูรณ์และดำรงอยู่ได้ สารชีวโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ กรดนิวคลีอิก โปรตีน ลิปิด คาร์โบไฮเดรต ฮอร์โมน วิตามิน ส่วนสารชีวโมเลกุลที่มีขนาดเล็กและมีความสำคัญ ได้แก่ เกลือแร่ และน้ำ

1.4.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของสารชีวโมเลกุล (กระบวนการเมแทบอลิซึม) ประกอบด้วยกระบวนการสลาย และกระบวนการสังเคราะห์

1.4.3 การควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ หรือการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึม อย่างเป็นระบบทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิต (ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548 : 2) และทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้อย่างปกติ

1.5 สารชีวโมเลกุล

สารชีวโมเลกุล (biomolecule) หมายถึง สารเคมีที่พบในสิ่งมีชีวิต ส่วนมากเป็นโครงสร้างและสารที่ทำหน้าที่ในเซลล์ สารเหล่านี้ได้แก่ น้ำ สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตมีจำนวนมากมาย บางชนิดมีขนาดโมเลกุลเล็ก มีสูตรโครงสร้างง่ายๆ เช่น กรดอะมิโน กลูโคส เป็นต้น บางชนิดมีขนาดใหญ่ สูตรโครงสร้างซับซ้อนได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรตขนาดใหญ่ ลิปิด กรดนิวคลีอิก

สารชีวโมเลกุลที่มีโครงสร้างง่ายๆ และขนาดเล็กก็มีความสำคัญต่อชีวิตมากพอกับสารโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน เช่น น้ำ เกลือแร่ โคเอนไซม์ วิตามิน และฮอร์โมน ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับโปรตีน เอนไซม์ และกรดนิวคลีอิก

ในเซลล์สิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ แม้เซลล์อย่างง่ายที่สุดก็ยังมีสารชีวโมเลกุลจำนวนมาก เช่น ในเซลล์ของ *E.coli* อาจมีสารชีวโมเลกุลชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบมากมายเป็นหลายพันชนิด ซึ่งมีทั้งโปรตีนและกรดนิวคลีอิก นอกจากนั้นเป็นสารชีวโมเลกุลอื่น ในเซลล์ของพืชและสัตว์ชั้นสูงขึ้นไปก็ยิ่งมีสารชีวโมเลกุลมากมายหลายชนิดเป็นจำนวนมากอยู่ในเซลล์ เช่น ในเซลล์ของมนุษย์

1.6 เซลล์และองค์ประกอบของเซลล์

เซลล์ คือ หน่วยโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีจำนวน โครงสร้าง ขนาด และรูปร่างของเซลล์แตกต่างกันไป สิ่งมีชีวิตบางชนิดมีเซลล์เดียว ขนาดเล็ก โครงสร้างง่ายๆไม่ซับซ้อน เช่น อะมีบา พารามีเซียม ในขณะที่สิ่งมีชีวิตบางชนิดมีเซลล์หลายเซลล์ ขนาดใหญ่ โครงสร้างซับซ้อน เช่น มนุษย์

คำ ว่า เซลล์ (cell) มาจากภาษาละตินที่ว่า “cella” ซึ่งมีความหมายว่า ห้องเล็กๆ ผู้ตั้งชื่อนี้คือ โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) เมื่อเขาเปรียบเทียบเซลล์ของไม้คอร์กเหมือนกับห้องเล็กๆ ซึ่งเป็นที่อยู่ของพระ (วิกิพีเดีย, 2007)

1.6.1 ต้นกำเนิดของชีวิต

ได้มีผู้เสนอแนะแนวความคิดเกี่ยวกับต้นกำเนิดของชีวิตไว้หลายแบบ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1.6.1.1 กลุ่มที่คิดว่าชีวิตถูกสร้างขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยจะเกี่ยวกับอำนาจวิเศษเหนือธรรมชาติ แนวความคิดนี้ไม่สามารถพิสูจน์ได้ในทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่เป็นที่ยอมรับ

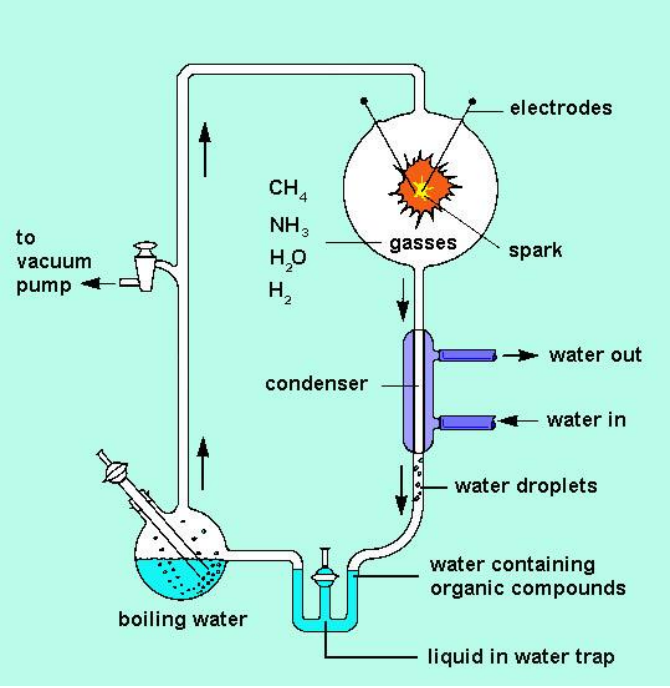
1.6.1.2 กลุ่มที่คิดว่าชีวิตบนโลกเป็นอาณานิคมหนึ่งของสิ่งมีชีวิตอื่นในจักรวาล แนวคิดในกลุ่มนี้มีผู้ที่ยอมรับและเชื่อถือเพียงจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากแนวคิดนี้กล่าวเพียงว่า ชีวิตเกิดขึ้นครั้งแรกที่ไหนในจักรวาลเท่านั้น ยังไม่สามารถอธิบายต้นกำเนิดของชีวิตได้

1.6.1.3 กลุ่มที่คิดว่าต้นกำเนิดของชีวิตบนโลกนี้เกิดขึ้นมาเอง (spontaneous generation) ในปัจจุบันแนวความคิดนี้เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าสองแนวคิดแรก ซึ่งได้มีผู้เสนอแนวคิดในกลุ่มนี้มากมาย แต่แนวคิดที่สามารถทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้นั้นได้แก่ แนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตมีกำเนิดจากสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งได้มีผู้เสนอสมมุติฐาน หรือทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์หลายคน

ตัวอย่างแนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตมีกำเนิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น สมมุติฐานของ โอพาริน (Oparin) และฮอลเดน (Haldane) ได้มีความคิดตรงกันว่า สิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นมาจากสิ่งไม่มีชีวิต โดยเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นบนโลกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งใช้เวลานานมาก สมมุติฐานนี้เชื่อว่าสิ่งแวดล้อมบนผิวโลกในสมัยเริ่มต้นแตกต่างกับที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมาก โดยในสมัยก่อนโลกเต็มไปด้วยความร้อน ดินฟ้าอากาศรุนแรง สภาพทางภูมิศาสตร์ไม่มีเทือกเขาและมหาสมุทร บรรยากาศมีส่วนผสมที่แตกต่างไปจากปัจจุบัน โดยประกอบไปด้วยแอมโมเนีย ไฮโดรเจน มีเทน และไอน้ำ ส่วนไนโตรเจนและออกซิเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของบรรยากาศในปัจจุบันนั้นเป็นเพียงส่วนประกอบปลีกย่อยของโลกในยุคแรกเริ่มเท่านั้น โลกในยุคแรกเริ่มเป็นโลกที่ปราศจากสิ่งมีชีวิต มีบรรยากาศแตกต่างไปจากปัจจุบัน เต็มไปด้วยแหล่งพลังงานความร้อน ถูกอาบด้วยรังสีอุลตราไวโอเลต และมีพายุไฟฟ้าเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งไม่สามารถเปรียบเทียบกับโลกในปัจจุบันได้เลย จากการพิจารณาสภาพแวดล้อมของโลกในยุคแรกเริ่ม ทั้ง Oparin และ Haldane ได้สรุปว่าพลังงานที่มีอยู่ทั้งในบรรยากาศและบนผิวโลกนั้นมีจำนวนมากพอที่จะทำให้ก๊าซต่างๆในบรรยากาศทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ และต่อไปเมื่อความเข้มข้นของสารต่างๆเหล่านี้เพิ่มขึ้นจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งในจำนวนนี้มีหลายชนิดที่พบในระบบของสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างเช่น กรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน เป็นต้น สมมุติฐานวิวัฒนาการเคมีของ Oparin และ Haldane กล่าวว่าอินทรีย์สารที่สำคัญเหล่านี้ เกิดขึ้นภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมของโลกในยุคแรกเริ่ม จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป

ระยะหนึ่ง อินทรีย์สารทั้งหลายจะทำปฏิกิริยาระหว่างกันผ่านขั้นตอนต่างๆมากมาย จนเกิดเป็นระบบที่มีชีวิตในที่สุด (สรุปจาก เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 11)

ตัวอย่างการทดลองในแนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตมีกำเนิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น การทดลองของมิลเลอร์-ยูเรย์ (Miller-Urey) เป็นการทดลองในระบบปิดที่มีโถแก้วบรรจุก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน ก๊าซแอมโมเนีย และน้ำ โดยที่ผู้ทดลองได้สร้างประกายไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และผ่านไฟฟ้าไปในโถแก้วซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น แสดงดังรูปที่ 1.2 ผลิตผลที่ได้คือ สารเคมีอินทรีย์พื้นฐาน เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde; HCHO) และไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ซึ่งปฏิกิริยาเช่นนี้สามารถสร้างกรดอะมิโนซึ่งเป็นมอนอเมอร์ของโปรตีนได้ (Mary K. Campbell and Shawn O. Farrell, 2007 : 8)



รูปที่ 1.2 ชุดเครื่องมือของ มิลเลอร์-ยูเรย์

(ที่มา : http://www.uic.edu/classes/bios/bios100/mike/spring2003/lect04.htm, 19 May 2011)

จากรูปที่ 1.2 ทำการฆ่าเชื้อโดยให้ความร้อน 121 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญคือทำให้แน่ใจได้ว่าถ้าก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์จริง โดยไม่ได้เกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์ภายในเครื่องมือ จากนั้นให้มีการ spark ระหว่างอิเล็กโทรดผ่านอากาศที่อยู่ในส่วนบนของเครื่องมือ ให้มีการดำเนินไปของปฏิกิริยา 7 วัน พบว่าผลการทดลอง

นี้สนับสนุนสมมุติฐานของ Oparin และ Haldane กล่าวคือพบสารชีวโมเลกุลหลายชนิดเกิดขึ้น ซึ่งมีกรดอะมิโน 4 ชนิด และยูเรีย การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าให้ส่วนผสมที่พอเหมาะของก๊าซพร้อมทั้งมีพลังงานอย่างเพียงพอ และในเวลาที่มากพอจะสามารถทำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ที่พบได้ในสิ่งมีชีวิต (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 13-14)

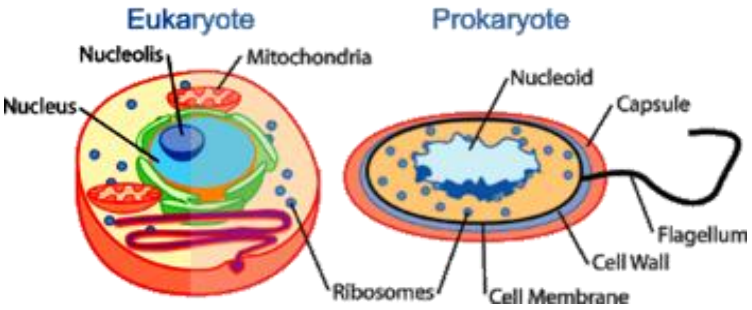
นอกจากนี้ได้มีผู้ทำการทดลองต่อไปอีก เช่น Sidney Fox และผู้ร่วมงานได้แสดงให้เห็นว่า ถ้านำส่วนผสมของกรดอะมิโนหลายๆชนิดมาให้ความร้อน โมเลกุลเหล่านี้จะเกิดการเชื่อมกันทำให้ได้สารชนิดใหม่ที่มีลักษณะเหมือนโปรตีน จากการทดลองทั้งหลายในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทำให้สมมุติฐานของ Oparin และ Haldane มีทีท่าว่าน่าจะเป็นคำอธิบายที่ดีที่สุดในเรื่องต้นกำเนิดของชีวิต (สรุปจาก เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 14-15) แต่อย่างไรก็ตามสมมุติฐานของ Oparin และ Haldane ยังมีข้อโต้แย้งบางประการ เช่น ยังไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดในการบ่งชี้ว่าปริมาณของแอมโมเนียและมีเทนในบรรยากาศของโลกยุคแรกนั้นมีมากพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

1.6.2 ประเภทของเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะและโครงสร้างภายในเซลล์ ดังนี้

1.6.2.1 โปรคาริโอติคเซลล์ (prokaryotic cell) หรือเซลล์โปรคาริโอต เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน โดยปกติมักจะอยู่ตามลำพังไม่เกี่ยวข้องกับเซลล์อื่นๆ โปรคาริโอติคเซลล์เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และมีจำนวนมาก นอกจากนี้โปรคาริโอติคเซลล์ยังมีความยืดหยุ่นในเรื่องสารอาหาร โดยสามารถใช้สารอาหารจากสิ่งแวดล้อมได้หลายประเภท และยังสามารถเลือกใช้สารอาหารที่ดีที่สุดจากที่มีอยู่มากมายหลายประเภทได้อีกด้วย ซึ่งความสามารถประการนี้ทำให้โปรคาริโอติคเซลล์ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในสภาวะต่างๆได้ดี

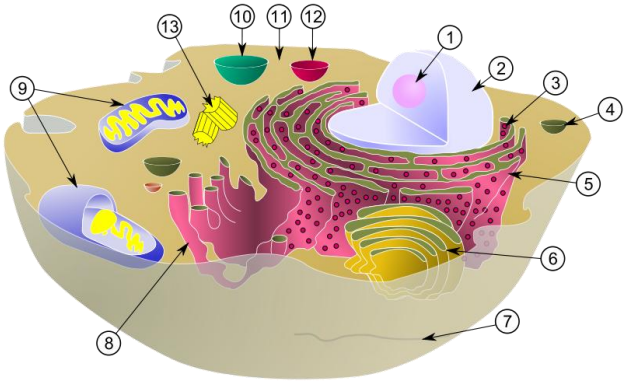
1.6.2.2 ยูคาริโอติคเซลล์ (eukaryotic cell) หรือเซลล์ยูคาริโอต มีขนาดใหญ่กว่าโปรคาริโอติคเซลล์ 1,000-10,000 เท่า เซลล์สิ่งมีชีวิตชั้นสูงทุกชนิดจะถูกจัดอยู่ในประเภทนี้ ยูคาริโอติคเซลล์จะมีรูปร่างแตกต่างกัน เพื่อทำหน้าที่ในส่วนต่างๆ ของสัตว์ได้อย่างเหมาะสม เซลล์เหล่านี้จะมีการทำงานประสานกัน ดังนั้นแต่ละเซลล์จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อความอยู่รอดมากเหมือนในกรณีโปรคาริโอติคเซลล์ ตัวอย่างของยูคาริโอติคเซลล์ ได้แก่ เซลล์พืชและสัตว์ชั้นสูง (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 21) โครงสร้างของเซลล์ยูคาริโอต และเซลล์โปรคาริโอต แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ลักษณะของโปรคาริโอติคเซลล์ และยูคาริโอติคเซลล์
(ที่มา : http://www.bacterialphylogeny.com/eukaryotes.html, 21 March 2013)

1.6.3 โครงสร้างของเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิต จะมีขนาด รูปร่างและหน้าที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้ว เซลล์จะมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกัน โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้ ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียสและไซโทพลาสซึม โครงสร้างของเซลล์แสดงดังรูปที่ 1.4

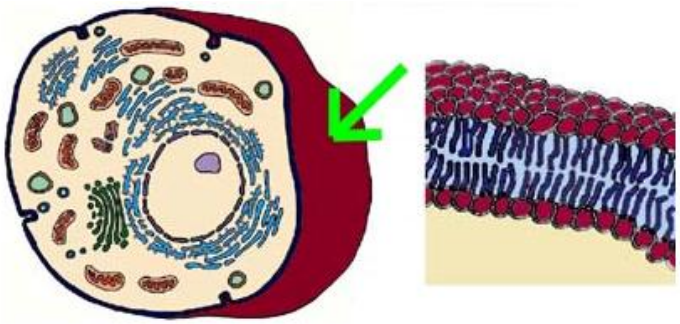


รูปที่ 1.4 โครงสร้างของเซลล์ ประกอบด้วยออร์แกเนลล์ต่างๆดังนี้ 1) นิวคลีโอลัส 2)นิวเคลียส 3) ไรโบโซม 4) เวสิเคิล 5) ร่างแหเอนโดพลาสซึมผิวขรุขระ 6) กอลจิแอพพาราตัส 7) ระบบเส้นใยของเซลล์ 8) ร่างแหเอนโดพลาสซึมผิวเรียบ 9) ไมโทคอนเดรีย 10) แวคิวโอล 11) ไซโทพลาสซึม 12) ไลโซโซม 13) เซนทริโอล (ที่มา : http://caps.nwcreation.net/2008/05/16/2008-may-18-caps-presentation-of-the-wonders-of-the-cell-by-chris-ashcraft/, 21 มีนาคม 2556)

1.6.3.1 ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ส่วนของเซลล์ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มองค์ประกอบภายในเซลล์ให้คงรูปอยู่ได้ มีดังนี้

1) ผนังเซลล์ (cell wall) พบได้ในเซลล์พืชทุกชนิด ไม่พบในเซลล์สัตว์ มีลักษณะเป็นผนังหนาห่อหุ้มเซลล์อยู่ด้านนอกสุดของเซลล์ ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงและป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์ ส่วนประกอบของผนังเซลล์ได้แก่ พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) สำหรับเซลล์พืชจะมีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส

2) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) พบในเซลล์ทุกชนิด เป็นเยื่อบางๆ ที่หุ้มล้อมรอบเซลล์ ดังรูปที่ 1.5 ประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน เป็นตัวแบ่งแยกแต่ละเซลล์ออกจากกัน ป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์ และควบคุมการผ่านของสารเข้าและออกจากเซลล์ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์จะมีรูเล็กๆ จำกัดขนาดของสารที่จะผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้ โมเลกุลของสารบางชนิด เช่น น้ำ ออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถผ่านเยื่อนี้ได้ แต่สารที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น โปรตีน และกรดนิวคลีอิก ไม่สามารถผ่านได้ เยื่อหุ้มเซลล์จึงมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน



รูปที่ 1.5 เยื่อหุ้มเซลล์

(ที่มา : http://www.east-haven.k12.ct.us/dcmoore/ Grade%206/ Cell%20Websites/angelica_files/nucleus.png, 11 November 2008)

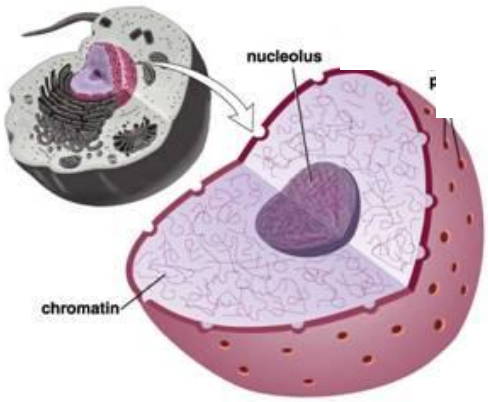
1.6.3.2 นิวเคลียส (nucleus) ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม มักพบอยู่บริเวณกลางเซลล์ ดังรูปที่ 1.6 เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ มีความสำคัญต่อกระบวนการแบ่งเซลล์และการสืบพันธุ์ เซลล์ทั่วไปส่วนมากจะมีเพียง 1 นิวเคลียส ในเซลล์บางชนิดจะสลายไปเมื่อเซลล์เจริญเติบโตเต็มที่ ได้แก่ เซลล์เม็ดเลือดแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

โครงสร้างของนิวเคลียสแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear Membrane) เป็นเยื่อบางหุ้มนิวเคลียส มีรูเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปเพื่อเป็นช่องทางแลกเปลี่ยนของสารระหว่างนิวเคลียสกับไซโทพลาสซึม

2) นิวคลีโอลัส (nucleolus) มีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆ อยู่ในนิวเคลียส เป็นส่วนที่มีการสังเคราะห์กรดไรโบนิวคลีอิก ชนิด rRNA และสารอื่นที่เป็นองค์ประกอบของไรโบโซม โดยสารเหล่านี้จะถูกส่งผ่านรูของเยื่อหุ้มนิวเคลียสออกไปยังไซโทพลาสซึม

3) โครมาทิน (chromatin) เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยโปรตีนและกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม ในขณะที่มีการแบ่งเซลล์โครมาทินจะมีลักษณะเป็นแท่ง ๆ เรียกว่าโครโมโซม (chromosome)

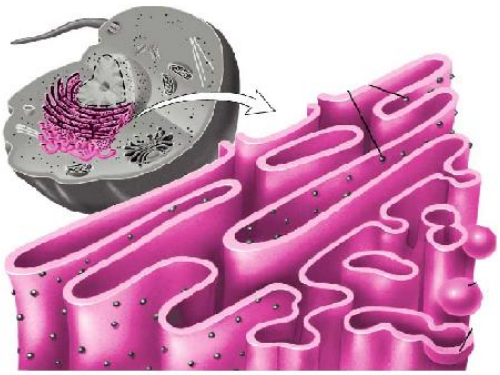


รูปที่ 1.6 นิวเคลียส

(ที่มา : http://kconline.kaskaskia.edu/bcambron/ Biology%20117/ Cells_files/image004.jpg, 11 November 2008)

1.6.3.3 ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีโครงสร้างที่ทำหน้าที่เฉพาะอย่างเพื่อให้เซลล์ดำรงชีวิตอยู่ได้ คือ ออร์แกเนลล์ (Organelle) ออร์แกเนลล์ที่พบเฉพาะในเซลล์พืชได้แก่ คลอโรพลาสต์ และแวคิวโอล ส่วนออร์แกเนลล์ที่พบเฉพาะในเซลล์สัตว์ได้แก่ เซนทริโอล ส่วนออแกเนลล์ที่พบทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ เช่นร่างแหเอนโดพลาสซึม กอลจิบอดี และไมโทคอนเดรีย

1) ร่างแหเอนโดพลาสซึม (endoplasmic reticulum) มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ 2 ชั้น พับไปมา ดังรูปที่ 1.7 แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีไรโบโซมเกาะติดอยู่ เรียกว่า แบบผิวขรุขระ(rough endoplasmic reticulum) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ และขนส่งโปรตีนไปยังส่วนต่างๆ ของเซลล์ ส่วนอีกชนิดหนึ่งไม่มีไรโบโซมเกาะติดอยู่ เรียกว่า แบบผิวเรียบ(smooth endoplasmic reticulum) โดยทั่วไปทำหน้าที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ฮอร์โมนที่ละลายได้ในไขมัน นอกจากนี้ในเซลล์ตับทำหน้าที่กำจัดสารพิษออกจากร่างกาย

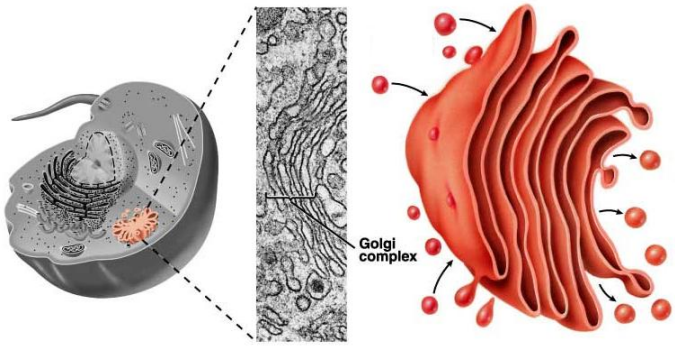


รูปที่ 1.7 ร่างแหเอนโดพลาสซึม

(ที่มา : http://kconline.kaskaskia.edu/bcambron/

Biology%20117/Cells_files/image004.jpg, 11 November 2008)

2) กอลจิแอพพาราตัส (golgi apparatus) มีลักษณะคล้ายถุงซ้อนกันอยู่เป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 1.8 ทำหน้าที่สร้างคาร์โบไฮเดรตบางชนิด นอกจากนี้ยังทำให้โปรตีนเข้มข้นขึ้นเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ

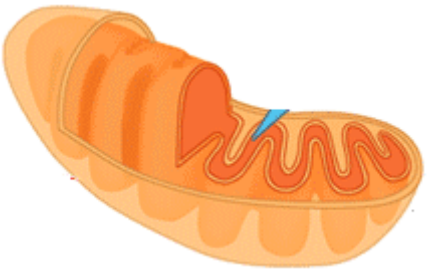


รูปที่ 1.8 กอลจิแอพพาราตัส

(ที่มา : http://kconline.kaskaskia.edu/bcambron/

Biology%20117/Cells_files/image004.jpg, 11 November 2008)

3) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) มีลักษณะยาวรีและยืดหยุ่นได้ ดังรูปที่ 1.9 มีความยาวแตกต่างกันไป ไมโทคอนเดรียเป็นแหล่งผลิตสารที่มีพลังงานสูงให้แก่เซลล์



รูปที่ 1.9 ไมโทคอนเดรีย

(ที่มา : http://www.brecosmeticlab.com/newslet/54/

05_may/mech_aging_02.html, 21 มีนาคม 2556)

4) คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ภายในมีรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสีเขียว เรียกว่า คลอโรฟิลด์ (chlorophyll) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์แสดงดังรูปที่ 2.0

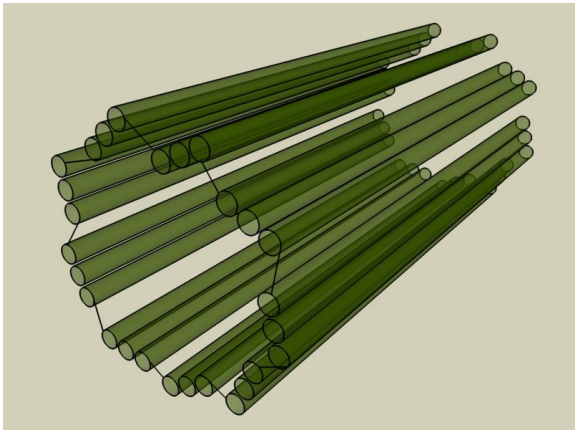
รูปที่ 1.10 คลอโรพลาสต์

(ที่มา : http://kconline.kaskaskia.edu/bcambron/

Biology%20117/Cells_files/image004.jpg, 11 November 2008.)

5) แวคิวโอล (vacuole) มีขนาดและรูปร่างไม่แน่นอนภายในมีของเหลวบรรจุอยู่ พบในเซลล์สิ่งมีชีวิตบางชนิด ในเซลล์พืชทั่วไปแวคิวโอลมักมีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมปริมาณน้ำในเซลล์

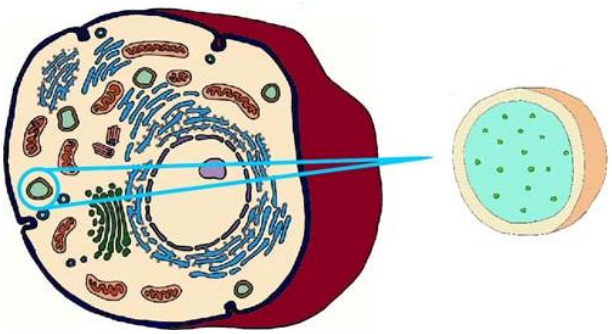
6) เซนทริโอล (centriole) มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ มีลักษณะคล้ายท่อทรงกระบอก แต่ละอันประกอบด้วยหลอดเล็กๆ เรียกว่า ไมโครทูบูล (microtubule) ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 เซนทริโอล

(ที่มา : http://cache.eb.com/eb/ image?id=63511&rendTypeId=4, 11 November 2008)

7) ไลโซโซม (lysosome) มีลักษณะเป็นกระเปาะเล็กๆ ดังรูปที่ 1.12 ภายในมีเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ทำหน้าที่ย่อยสารต่างๆที่นำเข้ามาเก็บในเซลล์และช่วยย่อยส่วนประกอบของเซลล์หลังจากเซลล์ตายแล้ว



รูปที่ 1.12 ไลโซโซม

(ที่มา : http://www.east-haven.k12.ct.us/dcmoore/

Grade%206/Cell%20Websites/angelica_files/nucleus.png, 11 November 2008)

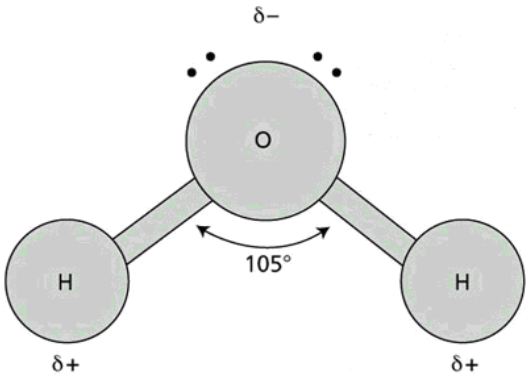
8) ไรโบโซม (ribosome) มีลักษณะเป็นอนุภาครูปทรงกลม หรือ รูปไข่ ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน มี 2 ประเภท คือ ไรโบโซมที่อยู่เป็นอิสระ(free ribosome) เป็นไรโบโซมที่เป็นอิสระอยู่ในไซโตพลาสซึม และไรโบโซมที่ยึดเกาะกับเมมเบรนของร่างแหเอนโดพลาสซึม (bound ribosome)

1.7 น้ำ

น้ำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอย่างมาก เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี และควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย นอกจากนี้น้ำยังเป็นแหล่งกำเนิดของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์อีกด้วย

1.7.1 โครงสร้างของน้ำ

โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยธาตุออกซิเจน 1 อะตอม และธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม โดยออกซิเจนเกิดพันธะเดี่ยวกับไฮโดรเจนทั้งสอง เนื่องจากออกซิเจนเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาทิวิตี (electronegativity, EN) สูงกว่าไฮโดรเจน ทำให้อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะเข้าใกล้ออกซิเจนมากกว่า ส่งผลให้อะตอมของออกซิเจนแสดงความเป็นลบ ส่วนไฮโดรเจนแสดงความเป็นบวก โครงสร้างของน้ำแสดงดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 โครงสร้างของน้ำ

การที่อะตอมไฮโดรเจนเป็นบวก และอะตอมออกซิเจนเป็นลบนี้ ทำให้น้ำเป็นโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) หรือโมเลกุลที่มีขั้ว หรือโมเลกุลที่มีขั้วสูง จึงละลายสารที่มีขั้วเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน เช่น เกลือละลายในน้ำได้ดี

1.7.2 ความสำคัญของน้ำ

น้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอย่างยิ่ง สิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ถ้าไม่มีน้ำ น้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตดังนี้

1.7.2.1 น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ อาจกล่าวได้ว่าสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ยาก ด้วยเหตุผลดังนี้

1) น้ำมีความร้อนจำเพาะ (specific heat) ที่สูงเมื่อเทียบกับของเหลวอื่นๆ (ความร้อนจำเพาะ คือความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำ 1 กรัมมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส) ร่างกายจึงสามารถเก็บความร้อนได้มากโดยอุณหภูมิของร่างกายไม่เพิ่ม หรือเพิ่มเพียงเล็กน้อย

2) น้ำมีค่าความร้อนแฝงแห่งการระเหยสูง เมื่อน้ำระเหยออกไป จะพาความร้อนออกไปด้วยทำให้ผิวกายเย็นขึ้น (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 41)

1.7.2.2 น้ำเป็นส่วนประกอบของร่างกาย น้ำเป็นส่วนประกอบในของเหลวที่อยู่ในเซลล์ และเป็นส่วนประกอบในของเหลวที่อยู่นอกเซลล์ โดยมีบทบาทที่สำคัญคือเป็นตัวทำละลาย

1.7.2.3 น้ำเป็นตัวเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวถูกละลายในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีโอกาสสัมผัสชนกันกับตัวถูกละลายอื่นๆ ทำให้เกิดโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

1.7.2.4 น้ำเป็นตัวช่วยขนส่งสาร การขนส่งสารในร่างกายจะอาศัยเลือดซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายพาสารต่างๆเข้าสู่เซลล์และออกจากเซลล์

1.7.2.5 น้ำเป็นตัวช่วยหล่อลื่น ลดความฝืด (friction) ตามส่วนต่างๆของร่างกาย เช่น ตามข้อต่อ เป็นต้น (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 41)

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2554). **ชีวเคมี**. กรุงเทพฯ : เซนเกจ เลินนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. (2548). **ชีวเคมี**. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ พัชรี บุญศิริ ปีติ ธุวจิตต์ และเสาวนันท์ บำเรอราช. (2548). **ตำราชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 4. ขอนแก่น : คลังนานาวิทยา.

พัชรี บุญศิริ เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ อุบล ชาอ่อน และปีติ ธุวจิตต์. (2550). **ตำราชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 5. ขอนแก่น : คลังนานาวิทยา.

เรืองลักขณา จามิกรณ์. (2544). **ชีวเคมีเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศุภศิษฎ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์. 2552. **ชีวเคมีพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : ท้อป.

Mary K. Campbell and Shawn O. Farrell. (2007). **Biochemistry**. 6th edition. USA : Cengage Learning. บรรณานุกรม