

## บทที่ 2

### ชีวิตและเซลล์

**วัตถุประสงค์** เมื่ออ่านบทนี้ตลอดจนทำแบบฝึกหัดแล้ว นักศึกษาจะต้อง

1. อธิบายแนวความคิดเกี่ยวกับต้นกำเนิดของชีวิตอันที่เป็นไปได้มากที่สุด รวมทั้งการทดลองที่สนับสนุนแนวคิดนั้น
2. สามารถเขียนแผนผังแสดงขั้นตอนการรวมตัวของสารต่าง ๆ จนเกิดเป็นเซลล์ขึ้น
3. แยกแยะประเภทและหน้าที่ของสารชีวโมเลกุลได้
4. บอกความแตกต่างระหว่างโปรคาริโอติกและยูคาริโอติกเซลล์

สิ่งมีชีวิตประกอบขึ้นด้วยโมเลกุลต่าง ๆ ที่ไม่มีชีวิต ซึ่งถ้าแยกออกมาศึกษาทีละชนิดแล้วจะพบว่า แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่สามารถอธิบายได้ด้วยกฎเกณฑ์ต่าง ๆ แต่เมื่อโมเลกุลเหล่านี้รวมตัวกันเข้าเป็นสิ่งมีชีวิตแล้ว ก็จะมีคุณสมบัติพิเศษขึ้นซึ่งไม่พบในโมเลกุลเดี่ยว ๆ การที่จะศึกษาให้เข้าใจถึงคุณสมบัติพิเศษเหล่านี้ได้ ต้องอาศัยการศึกษาทางชีวเคมี อันจะนำไปสู่ความเข้าใจในสภาพความมีชีวิตต่อไป

#### 2.1 ต้นกำเนิดของชีวิต

คำถามที่เก่าแก่ที่สุดคำถามหนึ่ง ซึ่งมนุษย์พยายามหาคำตอบมานานแล้วก็คือ ชีวิตเกิดขึ้นครั้งแรกได้อย่างไร คำถามนี้แม้จนในปัจจุบันก็ยังไม่มีใครหาคำตอบที่แท้จริง คงมีแต่ผู้เสนอแนะแนวความคิดกันไว้ต่าง ๆ นานา ซึ่งพอจะแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

1. พวกที่คิดว่าชีวิตถูกสร้างขึ้นมาอย่างเป็นพิเศษ โดยจะเกี่ยวพันกับอำนาจวิเศษเหนือวิสัยธรรมดา แนวความคิดนี้ไม่สามารถพิสูจน์ได้ในทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่อาจที่จะยอมรับได้

2. พวกที่คิดว่าชีวิตบนโลกนี้เป็นอาณานิคมหนึ่งของชีวิตจากที่อื่นในจักรวาล บุคคลแรกที่เสนอความคิดนี้ คือนักเคมีชาวสวีเดน ชื่อ Svante Arrhenius (ค.ศ. 1859-1927) ซึ่งได้เสนอเป็นทฤษฎีเรียกว่า panspermia ในปลายศตวรรษที่ 19 โดย Arrhenius พบว่าบักเตรีและราหลาย ๆ ชนิดที่พบบนพื้นผิวโลกนี้ จะสร้างหน่วยสืบพันธุ์ขึ้นในรูปของสปอร์ (spore) ซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบามาก จนกระทั่งสามารถที่จะถูกลมพัดจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ และถ้าไปตกอยู่ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะงอก ทำให้เกิดเป็นอาณานิคมของบักเตรีหรือ

ราชชนิดนั้น ๆ ขึ้นมาใหม่อีก ด้วยเหตุนี้ Arrhenius จึงเสนอแนะว่า สิ่งมีชีวิตจากส่วนอื่นของจักรวาลอาจจะสร้างสปอร์หรือหน่วยสืบพันธุ์ที่คล้ายกับสปอร์เช่นกัน แล้วหน่วยสืบพันธุ์นี้ก็จะถูกส่งผ่านจากดาวเคราะห์ดวงหนึ่งไปยังดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งโดยใช้แรงดันจากแสงอาทิตย์ซึ่งแม้แรงนี้จะน้อยก็ตาม แต่ Arrhenius ก็ได้ทำการคำนวณและแสดงให้เห็นว่า แรงดันนี้เมื่อสะสมอยู่เป็นเวลานานแล้ว ก็เพียงพอที่จะใช้ผลักดันหน่วยสืบพันธุ์นั้นให้เดินทางผ่านห้วงอวกาศมาได้ นอกจากนี้เขายังได้เสนอแนะต่อไปอีกด้วยว่า บรรพบุรุษของสิ่งมีชีวิตที่เราเห็นอยู่บนพื้นโลกทุกวันนี้มิได้เกิดขึ้นเองที่นี้ แต่จะเกิดขึ้นจากหน่วยสืบพันธุ์ที่เดินทางผ่านอวกาศมาจากส่วนอื่นของจักรวาลนั่นเอง

นับแต่ Arrhenius เสนอทฤษฎี panspermia ขึ้นมาแล้ว ก็ได้มีผู้เสนอแนะแนวความคิดของต้นกำเนิดชีวิตบนโลกในรูปแบบที่จินตนาการออกไปอีก เช่น บางรายคิดว่าสิ่งมีชีวิตจากโลกอื่นได้มายังโลกมนุษย์ จึงทำให้เกิดมีชีวิตบนโลกขึ้น บางรายเช่น Eric von Daniken ก็เสนอแนะว่า ผลงานทางสถาปัตยกรรมที่เก่าแก่ เช่น พีระมิดในประเทศอียิปต์และแห่งหินของพวก Toltec ในประเทศเม็กซิโกนั้น แท้จริงแล้วได้ถูกสร้างขึ้นโดยผู้มาเยือนจากต่างดาว ซึ่งถ้าการมาเยือนนี้ได้เกิดขึ้นจริง ก็น่าที่จะเป็นไปได้ว่าชีวิตในโลกนี้ถือกำเนิดมาจากชีวิตในโลกอื่น แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่า ทฤษฎีในแนวของ Arrhenius มีผู้ที่ยอมรับและเชื่อถือเพียงจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น และไม่ว่าทฤษฎีนี้จะได้รับการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ก็ตาม ก็ไม่ได้ตอบคำถามที่ว่าชีวิตเกิดขึ้นได้อย่างไร เนื่องจากทฤษฎีนี้กล่าวแต่เพียงว่า ชีวิตเกิดขึ้นครั้งแรกที่ไหนในจักรวาลเท่านั้น ดังนั้นความคิดในแนวนี้ก็ยังไม่สามารถอธิบายต้นกำเนิดของชีวิตได้

3. พวกที่คิดว่าต้นกำเนิดของชีวิตบนโลกนี้เกิดขึ้นมาเอง (spontaneous generation) ในปัจจุบันแนวความคิดนี้เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าสองแนวแรกที่กล่าวมา ซึ่งบุคคลแรกที่เสนอแนวความคิดนี้ได้แก่ อริสโตเติล (384-322 ปีก่อนคริสตกาล) โดยเขาได้สังเกตว่า ถ้าปล่อยให้ดิน ฟาง หรือเศษขยะที่ปราศจากสิ่งมีชีวิต อยู่เช่นนั้นในระยะเวลาช่วงหนึ่ง จากนั้นเมื่อตรวจดูมักจะพบว่าเกิดมีไส้เดือนซึ่งมีชีวิตขึ้นเป็นจำนวนมาก อริสโตเติลเชื่อว่าสัตว์เหล่านี้เกิดขึ้นมาตัวเองเมื่อสิ่งแวดล้อมพอเหมาะ เขายังเสนอแนะอีกว่าไม่เพียงแต่สัตว์เล็ก ๆ เท่านั้นที่เกิดขึ้นได้เอง แต่สัตว์ใหญ่ ๆ เช่น ปลา สัตว์เลื้อยคลาน และหนู ก็สามารถที่จะเกิดขึ้นมาได้จากหย่อมดินที่เปียกชื้นหรือกองของสกปรกที่เหมาะสม อริสโตเติลเชื่อว่าแม้แต่มนุษย์ก็มีต้นกำเนิดอย่างที่กล่าวมาแล้ว โดยเริ่มต้นจะเกิดขึ้นในรูปที่เป็นสิ่งมีชีวิตคล้าย ๆ หนอน แล้วจึงพัฒนาขึ้นมาเป็นมนุษย์

ความเชื่อแบบอริสโตเติลที่ว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะซับซ้อนเกิดขึ้นมาได้เองจากสิ่งไม่มีชีวิตนี้ ได้สืบเนื่องมาจนถึงยุคกลาง (middle ages) ซึ่ง Van Helmont (ค.ศ. 1577-1644)

นักวิทยาศาสตร์ชาวฮอลันดาได้ทำการทดลองโดยนำเอาข้าวสาลี ฟาง และเส้นผ้าใช้แล้วจำนวนหนึ่งซึ่งในจำนวนนี้ควรจะต้องมีเครื่องชั้นในรวมอยู่ด้วย 1-2 ชั้นมารวมกันไว้ จากนั้นพรมน้ำลงไปนิดหน่อย แล้วกองสิ่งของทั้งหมดทิ้งไว้ในที่เงียบ ๆ เป็นเวลาหลาย ๆ วัน จะพบว่า มีหนูเกิดขึ้นได้ Van Helmont ได้แสดงให้เห็นต่อไปว่า หนูซึ่งเขาเชื่อว่าเกิดขึ้นมาได้เองจากส่วนผสมของอาหารและเส้นผ้าใช้แล้วนั้น มิใช่เป็นหนูที่เชื่องซึมหรือพิการแต่ประการใด ตรงกันข้ามกลับเป็นหนูที่ว่องไวและสมบูรณ์แข็งแรงดีทุกประการ

หลังจาก Van Helmont ได้ถึงแก่กรรมแล้ว ก็มาถึงสมัยของ Francesco Redi (ค.ศ. 1626-1697) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี ในสมัยของ Redi นี้มีความเชื่อกันอย่างแพร่หลายว่า เนื้อที่เน่าเสียแล้วสามารถที่จะทำให้เกิดหนอนหรือแมลงขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะได้มีผู้ทำการสังเกตว่า ถ้านำเอาชิ้นเนื้อซึ่งปราศจากหนอนและแมลงมาวางทิ้งไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างร้อนเป็นเวลา 2-3 วัน แล้วตรวจดูจะพบว่าส่วนมากแล้วมักจะมีหนอนหรือแมลงเกิดขึ้นเสมอ และจากการที่ทราบว่าได้มีเนื้อนั้นที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตพวกนี้อยู่ก่อน แล้วหลังจากนั้นก็ไม่มีผู้ใดนำเอาสัตว์พวกนี้มาปล่อยลงในเนื้อ ดังนั้นเหตุผลเหล่านี้จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า หนอนหรือแมลงเกิดขึ้นได้เอง Redi ได้ทำการทดลองลบล้างความเชื่อนี้ด้วยการแสดงให้เห็นว่า หนอนในเนื้อนั้นเกิดมาจากไข่ที่แมลงวันได้มาวางไว้ การทดลองของเขาทำโดยนำเนื้อมา แล้วแบ่งใส่ภาชนะ 2 ใบ ใบหนึ่งมีฝาปิดกันแมลงวัน ส่วนอีกใบหนึ่งเปิดให้แมลงทั้งหลายมาตอมเนื้อได้ จากนั้นทิ้งเนื้อในภาชนะทั้งสองนี้ไว้เป็นเวลาหลาย ๆ วัน พบว่าเนื้อในภาชนะที่เปิดจะมีหนอนเกิดขึ้น ส่วนเนื้อในภาชนะที่ปิดนั้นไม่มีหนอนหรือแมลงเกิดขึ้นเลย จากการทดลองของ Redi นี้และของผู้อื่นที่คล้ายคลึงกันทำให้แนวความคิดที่ว่า สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะซับซ้อน เช่น หนู แมลงวัน และงู สามารถเกิดขึ้นมาได้เองจากสิ่งไม่มีชีวิตนั้นเสื่อมลงไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง

แต่อย่างไรก็ดีหลังจากนั้นมา คือในคริสต์ศตวรรษที่ 17 ทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นมาได้เองก็กลับมาอีกครั้งหนึ่ง เมื่อ Anton van Leeuwenhoek (ค.ศ. 1632-1723) นักวิทยาศาสตร์ชาวฮอลันดาได้คิดประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ขึ้น ซึ่งก็ได้วิวัฒนาการขึ้นมาเรื่อย ๆ จนถึงในปี ค.ศ. 1683 กล้องจุลทรรศน์ก็มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะส่องเห็นสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ มากมายหลายชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ นี้พบได้ทั่ว ๆ ไป แม้แต่ในน้ำผลไม้ที่ชาวบ้านหมักไว้เพื่อจะทำเหล้าองุ่นหรือเบียร์ แต่เดิมนั้นไม่มีผู้ใดมองเห็นจุลินทรีย์เล็ก ๆ นี้ได้ จึงไม่คิดว่าจะมีสิ่งมีชีวิตอยู่ในน้ำผลไม้เหล่านั้น แต่เมื่อมีกล้องจุลทรรศน์ ทำให้ทราบว่าจุลินทรีย์เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงเริ่มมีผู้กลับมาเสนอแนะทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นได้เองอีก

ในบรรดาผู้เสนอแนะครั้งนี้ ที่สำคัญ ๆ ก็ได้แก่ John Needham (ค.ศ. 1713-1781)

พระสอนศาสนาชาวอังกฤษ ซึ่งทำการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้จะนำเอาน้ำต้มเนื้อแกะไปให้ความร้อนจนเดือดก็ตาม แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ก็ยังคงมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ ดังนั้นเขาจึงสรุปว่าจุลินทรีย์นี้เกิดโดยทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นได้เอง ในสมัยเดียวกันนี้เองก็ได้มีผู้ซึ่งเห็นขัดแย้งกับ Needham ผู้หนึ่งคือ Lazzaro Spallanzani (ค.ศ. 1729-1799) พระสงฆ์ชาวอิตาลี ซึ่งทำการทดลองโดยให้ความร้อนแก่น้ำต้มเนื้อเป็นเวลานานหลายชั่วโมง และขั้นตอนในการทำก็ได้ป้องกันไม่ให้สิ่งมีชีวิตในอากาศปะปนเข้ามาด้วย ผลที่พบก็คือไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้นเลย Needham และ Spallanzani ได้โต้แย้งกันอย่างมากมายถึงผลที่พบต่างกันในนี้ โดย Needham กล่าวว่า Spallanzani ไม่พบจุลินทรีย์ก็เพราะเขาให้ความร้อนแก่น้ำต้มเนื้อนานเกินไป จนกระทั่งความร้อนไปทำลายส่วนที่สำคัญต่อชีวิตที่อยู่ในนั้นเสียหมด นอกจากนี้ยังปิดภาชนะที่บรรจุน้ำต้มเนื้อเพื่อไม่ให้มีสิ่งแปลกปลอมจากอากาศลงไปได้อีก ซึ่ง Needham เชื่อว่าการกระทำนี้เป็นการสกัดกั้นสิ่งที่อยู่ในอากาศบางอย่างที่มีความจำเป็นแก่การเกิดชีวิต ด้วยเหตุผลทั้งสองประการนี้ จึงทำให้ Spallanzani ไม่ได้ผลเหมือนของเขา

ข้อขัดแย้งระหว่างบุคคลทั้งสองนี้ ไม่มีการตัดสินว่าฝ่ายใดผิดฝ่ายใดถูก คงทิ้งให้อยู่เช่นนั้นมาจนกระทั่งถึงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 Louis Pasteur (ค.ศ. 1822-1895) นักชีวเคมีชาวฝรั่งเศส จึงได้หยิบยกข้อขัดแย้งระหว่าง Needham และ Spallanzani ขึ้นมาศึกษาใหม่ โดยเขาได้แสดงให้เห็นว่าในอากาศนั้นเต็มไปด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด ซึ่งสามารถที่จะเข้าไปเจริญเติบโตในน้ำต้มเนื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้วได้ จากนั้นเขาได้แสดงให้เห็นต่อไปว่า ถ้าผ่านอากาศที่ฆ่าเชื้อแล้วเข้าไปในน้ำต้มเนื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วเช่นกัน ในกรณีนี้จะไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้นแต่อย่างไรก็ดี ถ้ามีการให้อากาศธรรมดาเข้าไปในน้ำต้มเนื้ออันเดียวกันนี้ จะพบว่าจุลินทรีย์เกิดขึ้นทันที การทดลองของหลุยส์ ปาสเตอร์ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ เช่น บักتری ยีสต์ และราไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองจากสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งผลอันนี้ก็คล้ายคลึงกับที่ Redi ได้ลบล้างความเชื่อที่ว่าสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อน เช่น หนู จะเกิดขึ้นจากสิ่งไม่มีชีวิตเช่นกัน

หลังจากการทดลองของหลุยส์ ปาสเตอร์แล้ว ทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นได้เองก็เสื่อมถอยไปอีกครั้งหนึ่งนานกว่าครึ่งศตวรรษ จนกระทั่ง A.I. Oparin นักเคมีชาวรัสเซีย และ J.B.S. Haldane (ค.ศ. 1892-1964) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ฟื้นฟูทฤษฎีนี้ขึ้นอีก แต่ในครั้งนี้อparin และ Haldane เชื่อว่า ช่วงเวลาที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ตามทฤษฎีนี้ได้ต้องใช้เวลายาวนาน มีใช้สั้น ๆ แค่ 2-3 วันหรือเดือนหรือปีเหมือนที่นักวิทยาศาสตร์ผู้อื่นเคยกล่าวไว้ เขาเชื่อว่าชีวิตเกิดขึ้นได้จากสิ่งไม่มีชีวิต โดยใช้ขบวนการวิวัฒนาการทางเคมี แต่ระยะเวลาที่ใช้ นั้นจะต้องยาวนานเป็นสิบล้านปีหรือร้อยล้านปีทีเดียว

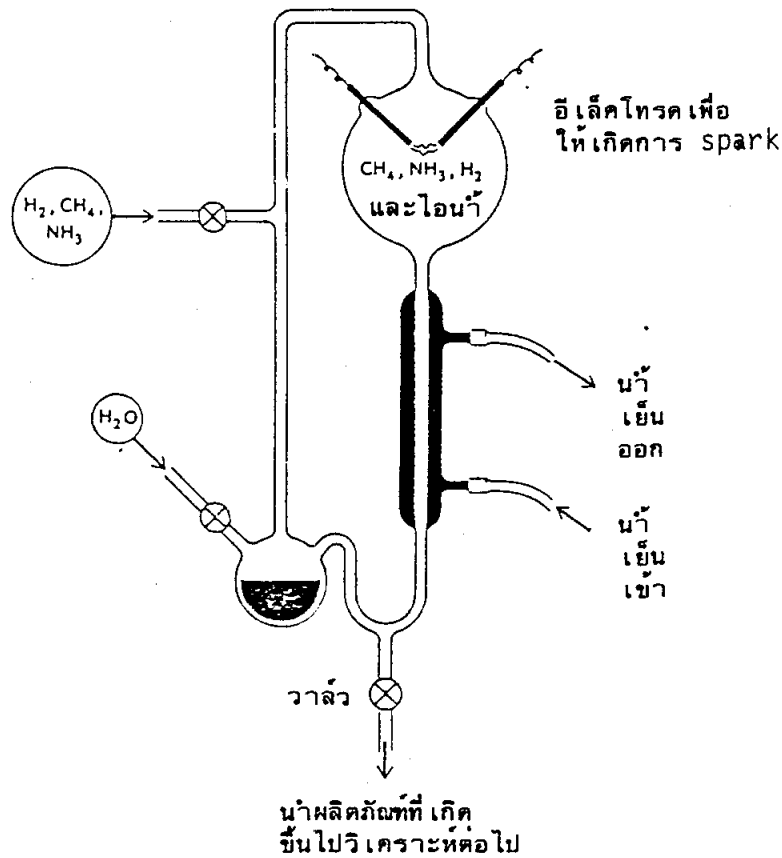
ในปัจจุบันนี้ แนวความคิดว่าชีวิตมีต้นกำเนิดอย่างไรที่ดูจะเป็นไปได้มากที่สุด และสามารถค้นคว้าทดลองทางวิทยาศาสตร์ควบคู่ไปด้วยได้นั้น ก็ได้แก่สมมุติฐานของ Oparin - Haldane นี้เอง

สมมุติฐานวิวัฒนาการเคมีของ Oparin - Haldane กล่าวว่า ชีวิตเกิดขึ้นมาจากสิ่งไม่มีชีวิตจริง แต่อย่างไรก็ตาม ต้นกำเนิดของชีวิตมิใช่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในทันทีทันใดหรือจะติดตามได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ตรงกันข้าม จะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นบนโลกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งใช้เวลานานมาก โครงสร้างของสมมุติฐานนี้เชื่อว่าสิ่งแวดล้อมบนผิวโลกในสมัยแรกเริ่ม แตกต่างกับที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยกล่าวว่า ในสมัยก่อนโลกเต็มไปด้วยความร้อนระอุ ดินฟ้าอากาศรุนแรง สภาพทางภูมิศาสตร์ไม่มีเทือกเขาและมหาสมุทร บรรยากาศก็มีส่วนผสมที่แตกต่างไปจากปัจจุบัน กล่าวคือจะประกอบไปด้วยแอมโมเนีย ไฮโดรเจน มีเทน (methane) และไอน้ำ ส่วนไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของบรรยากาศทุกวันนี้ นั้นจะเป็นเพียงส่วนประกอบปลีกย่อยของโลกในยุคแรกเริ่มเท่านั้น

เนื่องจากบรรยากาศในยุคแรกเริ่มมีไอน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก และอุณหภูมิก็มร้อนจัด ดังนั้นจะทำให้เกิดวัฏจักรของการระเหยและการควบแน่นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งก็หมายถึงว่ามักจะมีพายุฝนฟ้าคะนองอยู่เป็นบริเวณทั่วไปบนพื้นผิวโลก ไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างพายุฝนเหล่านี้ก็ดี หรือจากการที่วัตถุต่าง ๆ เช่น สะเก็ดดาวตกผ่านบรรยากาศลงมา ซึ่งพบว่ามักจะมีเกิดขึ้นได้เสมอในสมัยนั้นก็ดี รวมกันเข้าแล้วก็สามารถที่จะทำให้มีพายุไฟฟ้าอย่างรุนแรงเกิดขึ้นได้เป็นประจำ ภูเขาไฟก็ระเบิดบ่อยทำให้สภาพผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป และหินละลายก็จะไหลมาสะสมอยู่บนผิวโลกมากกว่าปกติ ทำให้เกิดแหล่งพลังงานความร้อนอยู่ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีด้วย ซึ่งในสมัยนั้นจะมีธาตุจำพวกนีโออยู่เป็นจำนวนมาก และประการสุดท้ายก็คือ พื้นผิวโลกในสมัยนั้นถูกอาบไปด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มสูงมาก จนถ้าเป็นในสมัยนี้แล้วความเข้มจำนวนนั้นจะสามารถทำลายล้างสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งบนและเหนือผิวโลกขึ้นไปได้ทีเดียว แต่เท่าที่ปรากฏในปัจจุบัน จะเห็นว่าความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตก็มีได้อยู่ในขั้นเป็นอันตรายต่อชีวิต ทั้งนี้มีไ้เพราะว่าดวงอาทิตย์ได้ลดอัตราการส่งรังสีนี้มายังโลก แต่เป็นเพราะบรรยากาศของโลกปัจจุบันมีออกซิเจนอยู่มาก ทำให้เกิดขึ้นของโอโซนขึ้น ซึ่งสามารถกรองเอารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ออกไปได้ จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่า โลกในยุคแรกเริ่มจะเป็นโลกที่ปราศจากชีวิต อันมีบรรยากาศแตกต่างไปจากปัจจุบัน เต็มไปด้วยแหล่งพลังงานความร้อน ถูกอาบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต และมีพายุไฟฟ้าเกิดขึ้นในขนาดที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกับโลกปัจจุบันได้เลย

จากการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของโลกในยุคแรกเริ่ม ทั้ง Oparin และ Haldane ได้สรุปว่า พลังงานที่มีอยู่ทั้งในบรรยากาศและบนผิวโลกนั้นจะมีจำนวนมากเพียงพอ ที่จะทำให้อำนาจต่าง ๆ ในบรรยากาศทำปฏิกิริยากัน แล้วเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ และต่อไปเมื่อความเข้มข้นของสารต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มขึ้น ก็จะเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเหล่านี้ เกิดเป็นอินทรีย์สารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งในจำนวนนี้จะมีอยู่หลายชนิดที่พบในระบบของสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างได้แก่ กรดอะมิโน (amino acid) อันเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และน้ำตาล เป็นต้น โปรตีนทำหน้าที่หลายอย่างในเซลล์ ที่สำคัญก็เช่น เป็นตัวเร่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต อันจะทำให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ ส่วนน้ำตาลก็เป็นอินทรีย์สารที่สำคัญ เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานสำหรับชีวิต และยังเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย สารอีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่ซับซ้อน อันเกิดมาจากการรวมตัวกันของอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่า ได้แก่ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) คือ RNA และ DNA สารประเภทนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดรูปร่างและความประพฤติของสิ่งมีชีวิต โดยจะถูกส่งผ่านจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลาน

สมมุติฐานวิวัฒนาการเคมีของ Oparin และ Haldane อ้างว่า อินทรีย์สารที่สำคัญเหล่านี้ เกิดขึ้นมาได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมของโลกในยุคแรกเริ่ม จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อินทรีย์สารทั้งหลายก็จะทำปฏิกิริยาระหว่างกันผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มากมาย จนเกิดเป็นระบบที่มีชีวิตขึ้นมาในที่สุด ในช่วงระยะเวลาที่สมมุติฐานนี้ถูกตั้งขึ้นมาใหม่คือในราวคริสต์ศักราช 1920 นั้น วงการวิทยาศาสตร์ยังไม่ได้ยอมรับในทันที ทั้งนี้เพราะต่างก็มีความสงสัยว่าปฏิกิริยาทั้งหลายที่ Oparin และ Haldane อ้างว่าจะเกิดขึ้นได้เองนั้น จริง ๆ แล้วจะเกิดขึ้นเองโดยมีเพียงธรรมชาติเป็นตัวควบคุมหรือ

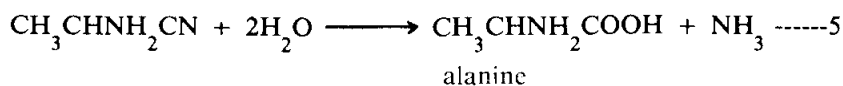
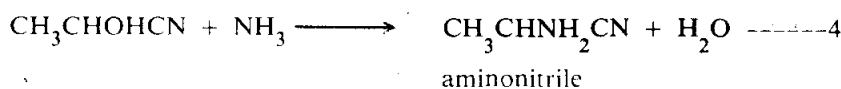
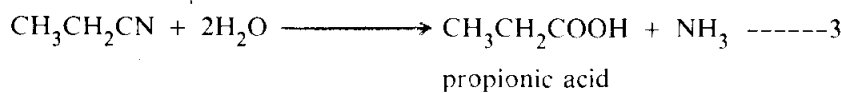
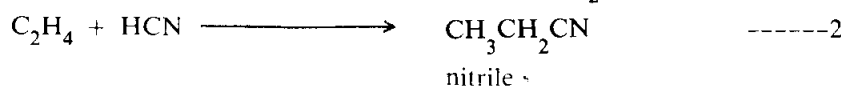


รูปที่ 2-1 เครื่องมือที่ Stanley Miller ใช้ในการทดลองสังเคราะห์ชีวโมเลกุลขึ้น จากสารตั้งต้นที่มีในบรรยากาศสมัยก่อน

จนกระทั่งในปีคริสต์ศักราช 1953 Stanley Miller นักศึกษาชาวอเมริกันจึงได้ทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานของ Oparin - Haldane โดยใช้เครื่องมือตามรูปที่ 2-1 ซึ่งเป็นระบบปิด ภายในบรรจุมีเทน แอมโมเนีย ไฮโดรเจน และน้ำ เพื่อเลียนแบบบรรยากาศในยุคแรกเริ่ม จากนั้นทำการฆ่าเชื้อ โดยให้ความร้อน 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญคือทำให้แน่ใจได้ว่าถ้าก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์จริง สารประกอบเหล่านั้นจะมีได้เกิดมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ภายในเครื่องมือต่อไปก็ให้มีการ spark ระหว่างอิเล็กโทรดผ่านอากาศที่อยู่ในส่วนบนของเครื่องมือ แล้วปล่อยให้ขบวนการนี้ดำเนินไปเป็นเวลา 7 วัน จึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ พบว่าผลที่ได้จากการทดลองนี้สนับสนุนสมมุติฐานของ Oparin - Haldane อย่างแจ่มชัด กล่าวคือจะพบสารชีวโมเลกุลหลาย

ชนิดเกิดขึ้น ซึ่งในจำนวนนี้จะมีกรดอะมิโนถึง 4 ชนิด และยูเรีย (urea) อันเป็นสารประกอบที่พบในระบบของสิ่งมีชีวิตส่วนมากรวมอยู่ด้วย การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าให้ส่วนผสมที่พอเหมาะของก๊าซ พร้อมทั้งพลังงานอย่างเพียงพอ ในเวลาที่มากพอสมควรแล้ว จะสามารถทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่พบในสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นได้เอง

มิลเลอร์ได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่า สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ นั้น เกิดขึ้นจากขบวนการของปฏิกิริยาดังนี้ คือ



ปฏิกิริยาแรกเป็นการรวมตัวกันระหว่างมีเทนและแอมโมเนียซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศได้ไฮโดรไซยาไนด์ (hydrocyanide, HCN) และในขณะที่เดียวกันพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนมีเทนให้กลายเป็นเอทิลีน (ethylene, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) และไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น ๆ ได้ด้วย จากนั้นไฮโดรไซยาไนด์ก็จะทำปฏิกิริยากับเอทิลีนเกิดเป็นไนไตรล์ (nitrile) ซึ่งจะถูกสลายต่อไปให้ได้กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เกิดขึ้น (ปฏิกิริยาที่ 2 และ 3) ในทำนองเดียวกันอัลฟาไฮดรอกซีไนไตรล์ก็สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นอัลฟาอะมิโนไนไตรล์ แล้วถูกสลายต่อจนได้กรดอัลฟาอะมิโนเกิดขึ้นคืออลานีน (ปฏิกิริยาที่ 4 และ 5)

จากนี้เป็นต้นมา ก็มีผู้ทำการทดลองต่อไปอีก เช่น Sidney Fox และผู้ร่วมงานได้แสดงให้เห็นว่า ถ้านำเอาส่วนผสมของกรดอะมิโนหลาย ๆ ชนิดมาให้ความร้อน โมเลกุลเหล่านี้จะเกิดการเชื่อมต่อกัน ทำให้ได้สารชนิดใหม่ที่มีลักษณะเหมือนโปรตีน ต่อมา Cyril Ponnampereuma



และผู้ร่วมงานได้แสดงให้เห็นอีกว่า ภายใต้สภาพของโลกยุคเริ่มแรกพร้อมกับแหล่งพลังงาน รังสี อุลตราไวโอเล็ต และพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมเหล่านี้จะไม่เพียงทำให้เกิดกรดอะมิโนขึ้นเท่านั้น แต่น้ำตาลและสารประกอบน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อนก็จะเกิดขึ้นได้ อันรวมทั้งกรดนิวคลีอิก ด้วย

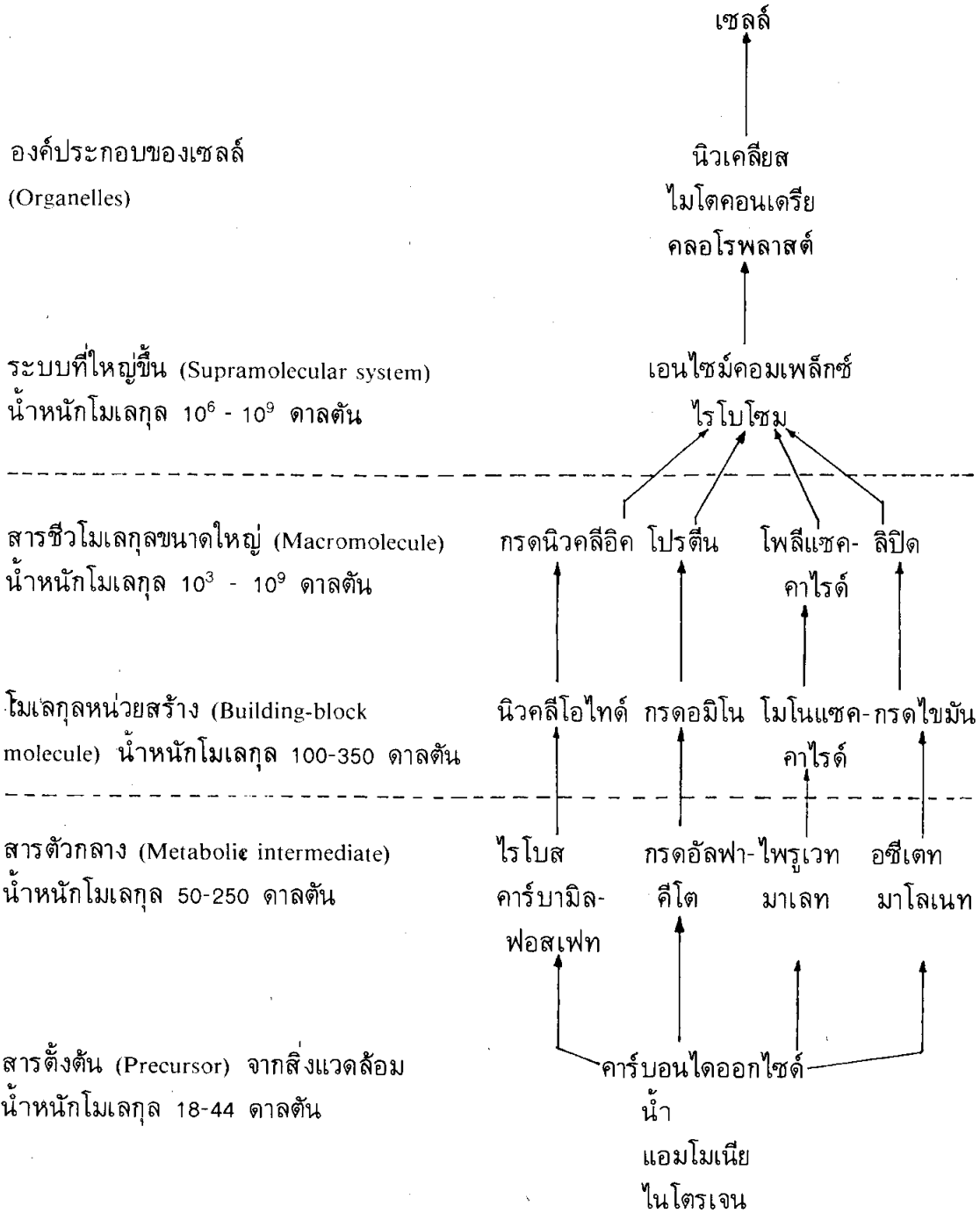
จากการทดลองทั้งหลายในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทำให้สมมุติฐานของ Oparin และ Haldane มีที่ทว่าน่าจะเป็นคำอธิบายที่ดีที่สุดในเรื่องต้นกำเนิดของชีวิต แม้ว่าทฤษฎีวิวัฒนาการ เคมีนี้จะไม่ได้บอกรายละเอียดจนถึงขั้นตอนสุดท้ายในการเกิดเป็นสิ่งมีชีวิตขึ้นมาเลยก็ตาม

## 2.2 การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์สิ่งมีชีวิต

ชีวโมเลกุลที่พบในสิ่งมีชีวิตจะมีการจัดระบบ จากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำขึ้นไป เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-2 สารชีวโมเลกุลทุกชนิดจะถูกสังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้น (precursor) จากสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (18-44 ดาลตัน) อันได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แอมโมเนีย และไนโตรเจน ทำปฏิกิริยากันจนได้สารตัวกลาง (Intermediate) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50-250 ดาลตัน เช่น ไพรูเวท (pyruvate) ซิเตรท (citrate) มาเลท (malate) แล้วเปลี่ยนต่อไปเป็นโมเลกุลหน่วยสร้าง (building-block molecule) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น (100-350 ดาลตัน) จากนั้นโมเลกุลหน่วยสร้างจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) เพื่อเกิดเป็นชีวโมเลกุลซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล สูงขึ้นไปอีก คือประมาณ  $10^3 - 10^6$  ดาลตัน โดยที่นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) จะเป็นหน่วยสร้างของกรดนิวคลีอิก กรดอะมิโนเป็นหน่วยสร้างของโปรตีน โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) เป็นหน่วยสร้างของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) และกรดไขมัน (fatty acid) เป็นหน่วยสร้างของลิพิด (lipid) ส่วนใหญ่

ชีวโมเลกุลชนิดต่าง ๆ นี้จะมารวมตัวกันเข้าเป็นระบบที่ใหญ่ขึ้น (supramolecular system) มีน้ำหนักโมเลกุล  $10^6 - 10^9$  ดาลตัน ตัวอย่างเช่น ไรโบโซม (ribosome) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดนิวคลีอิกและโปรตีน โดยใช้พันธะที่ไม่ใช่โควาเลนต์ (noncovalent bond) เช่น พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) เป็นต้น

ระดับสูงสุดของการจัดระบบในเซลล์ก็คือ supramolecular system ต่าง ๆ จะรวมตัวกันเข้าเป็นองค์ประกอบของเซลล์ (cell organelles) เช่น นิวเคลียส ไมโทคอนเดรีย และ คลอโรพลาสต์ โดยการรวมตัวนี้ก็อาศัยแรงยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยพันธะที่ไม่ใช่โควาเลนต์อีกเช่นกัน



รูปที่ 2-2 การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยเรียงลำดับจากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและพบในสิ่งแวดล้อม ไปเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีความซับซ้อนและน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นตามลำดับ

## 2.3 หน้าที่ของสารชีวโมเลกุล

สารชีวโมเลกุลพวกใหญ่ ๆ มี 4 พวก ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือน ๆ กันในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิด คือ

1. กรดนิวคลีอิก จะทำหน้าที่เก็บ (store) และถ่ายทอด (transmit) ข้อความทางพันธุกรรมจากพ่อแม่หรือบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลาน
2. โปรตีน ทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น ถ้าเป็นโปรตีนพวกเอนไซม์ ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์
3. โพลีแซคคาไรด์ มีหน้าที่ใหญ่ ๆ 2 อย่างคือ
  - ก. เป็นรูปของพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้ เพื่อจะนำไปใช้ในการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์ ตัวอย่างเช่น แป้ง (starch)
  - ข. เป็นโครงสร้างภายนอกของเซลล์ เช่น เซลลูโลส (cellulose)
4. ไขมัน มี 2 หน้าที่เช่นกัน คือ
  - ก. เป็นรูปของพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้
  - ข. เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

กรดนิวคลีอิกและโปรตีนต่างกับโพลีแซคคาไรด์และไขมันประการหนึ่งคือ ชีวโมเลกุลสองชนิดแรกนั้นจัดเป็นโมเลกุลที่มีความหมาย (informational molecule) โดยกรดนิวคลีอิกประกอบขึ้นด้วยนิวคลีโอไทด์อย่างน้อย 4 ชนิด มาจัดเรียงตัวกันเป็นลำดับที่มีความหมาย ในการที่จะถ่ายทอดข้อความทางพันธุกรรมจากสายนิวคลีโอไทด์ ให้ได้เป็นสายโพลีเปปไทด์ของโปรตีน ส่วนโพลีแซคคาไรด์และไขมันจะไม่มีหน้าที่เป็นตัวถ่ายทอดข้อความใด ๆ ทั้งสิ้น และหน่วยสร้างของชีวโมเลกุลทั้งสองนี้ก็มักจะซ้ำ ๆ กัน เช่น แป้งก็คือโพลีเมอร์ (polymer) ของกลูโคสโมเลกุลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

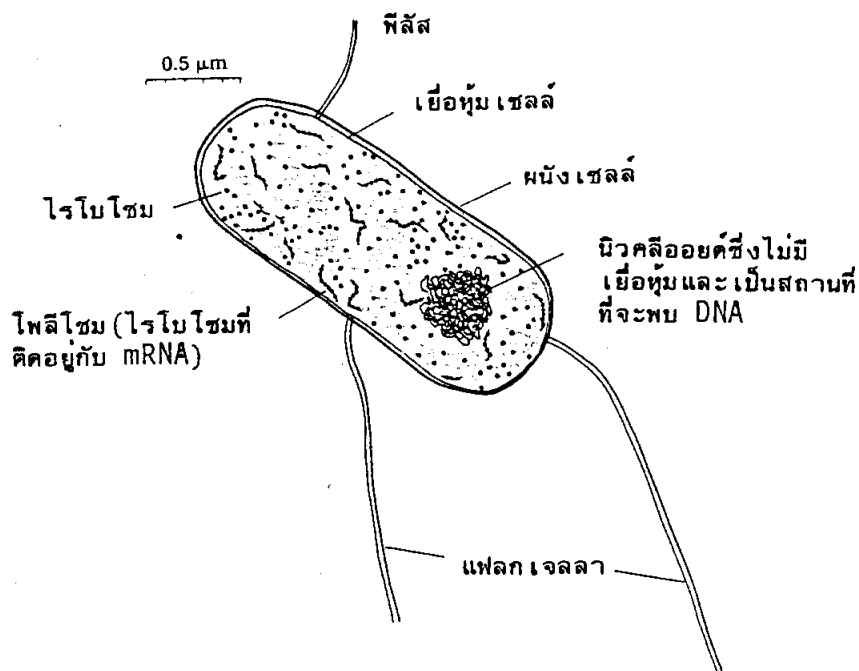
## 2.4 โครงสร้างของเซลล์

เซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ตามลักษณะการจัดระบบของส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์ คือ

**2.4.1 โปรคาริโอติกเซลล์ (prokaryotic cells)** เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่แบ่งส่วนของนิวเคลียสให้เห็นเด่นชัดมีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน โดยปกติแล้วมักจะอยู่ตามลำพังโดยไม่ต้องเกี่ยวข้องกับเซลล์อื่น ๆ เลย ขนาดทั่วไปของเซลล์ อยู่ระหว่าง 0.5-3 ไมโครเมตรและอาจมีรูปกลม เป็นแท่งยาวหรือขดเป็นเกลียวก็ได้

โปรคาริโอตเซลล์เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และมีจำนวนมากในโลก ตัวอย่างเช่น บางชนิดสามารถทวีคูณได้ทั้งในด้านขนาด น้ำหนัก และจำนวนภายในเวลาเพียง 20 นาที นอกจากนี้โปรคาริโอต (prokaryotes) ยังมีความยืดหยุ่นในเรื่องของสารอาหาร (nutrients) อีกด้วย กล่าวคือ สามารถที่จะใช้สารอาหารจากสิ่งแวดล้อมได้หลายประเภท และยังสามารถเลือกใช้สารอาหารที่ดีที่สุดจากที่มีอยู่มากมายหลายประเภทนั้นได้ด้วย ซึ่งความสามารถประการนี้เอง ทำให้โปรคาริโอตปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในสภาวะต่างๆ ได้ดี

โปรคาริโอตเซลล์นอกจากไม่มีนิวเคลียสแล้ว ยังไม่มีเยื่อภายในที่ใช้สำหรับหุ้มห่อส่วนต่างๆ ของเซลล์ด้วย รูปที่ 2-3 จะแสดงลักษณะต่างๆ ไปของโปรคาริโอตเซลล์ประเภทที่สังเคราะห์แสงไม่ได้ โดยยกตัวอย่างของแบคทีเรีย Escherichia coli อันเป็นจุลินทรีย์ที่พบในลำไส้ของมนุษย์ และเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดที่ถูกใช้ในการศึกษาวิจัยมากที่สุด โครงสร้างจากนอกสุดเข้าไป จะเรียงลำดับดังนี้



รูปที่ 2-3 โครงสร้างของเซลล์ E. coli ซึ่งมีขนาดเซลล์โดยประมาณเท่ากับ  $0.8 \times 0.8 \times 2.0$  ไมโครเมตร

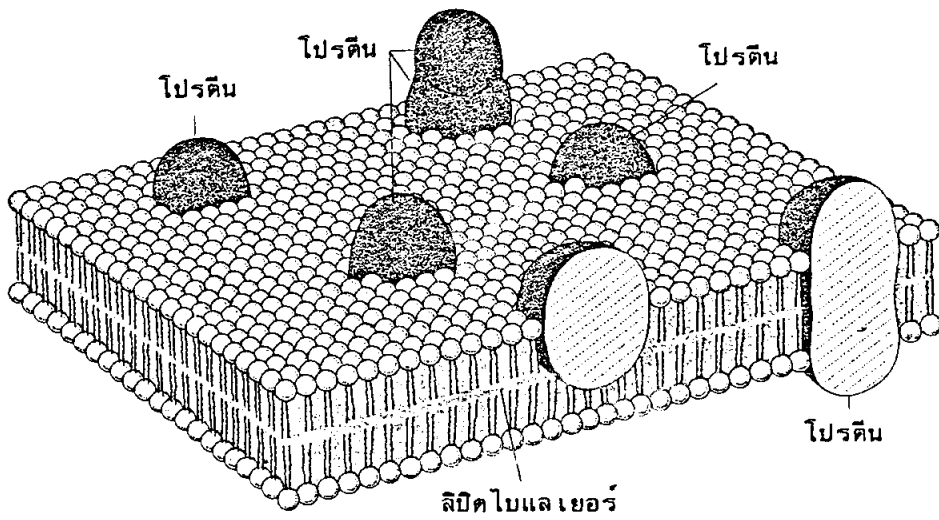
1. ผนังเซลล์ (cell wall) จะช่วยแยกเซลล์แบคทีเรียออกจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ประกอบขึ้นจากเปปไทด์และโพลีแซคคาไรด์ มีความหนาอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 นาโนเมตร ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากจึงทำให้เซลล์แบคทีเรียสามารถคงรูปอยู่ได้ แม้ว่าความเข้มข้นของเมตาบอไลต์ (metabolites) ทั้งหมดภายในเซลล์จะสูงกว่าความเข้มข้นของสารแวดล้อมภายนอกก็ตาม ผนังเซลล์จะมีเยื่อหุ้มอยู่ข้างนอกสุดอีกทีหนึ่ง ซึ่งเยื่อนี้จะเป็นลิปิดและคาร์โบไฮเดรต

ถ้าผนังเซลล์แบคทีเรียถูกทำให้หลุดออกไปด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ (lysozyme) สิ่งที่เหลืออยู่จะเรียกว่า โปรโตพลาสต์ (protoplast) และส่วนที่เป็นของเหลวภายในเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane หรือ plasma membrane) ของโปรโตพลาสต์จะเรียกว่า ไซโตพลาสซึม (cytoplasm)

2. แฟลกเจลลาและพิลไล (flagella and pili) ที่ผิวหน้าของแบคทีเรียหลายชนิดจะมีหน่วยลักษณะยาวเล็กเหมือนเส้นด้าย เรียกว่า แฟลกเจลลาและพิลไล ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 ถึง 18 นาโนเมตร และยาวได้ถึง 20 ไมโครเมตร แฟลกเจลลาประกอบขึ้นจากโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ชื่อแฟลกเจลลิน (flagellin) มีหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ โดยจะทำให้เซลล์วิ่งไปข้างหน้าได้ด้วยอัตราเร็วถึง 50 ไมโครเมตรต่อวินาที อันนับว่าเร็วมากสำหรับแบคทีเรียซึ่งมีขนาดยาวเพียงประมาณ 1 ถึง 2 ไมโครเมตรเท่านั้น สำหรับพิลไลจะสั้นและบางกว่าแฟลกเจลลา และมีหน้าที่ต่างกัน กล่าวคือถ้าเป็นคอนจูกัลพิลไล (conjugal pili) เช่นที่พบใน *E. coli* ก็จะใช้ในการรวมตัวแบบมีเพศ (sexual conjugation) แต่ถ้าเป็นโซมาติกพิลไล (somatic pili) จะช่วยให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะกับผิวหน้าที่ต้องการได้

3. เยื่อหุ้มเซลล์ พบในเซลล์ทุกชนิด และจะมีลักษณะที่เหมือน ๆ กันไม่ว่าจะพบในเซลล์ชนิดใดก็ตาม กล่าวคือ เป็นตัวที่ยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกระหว่างเซลล์และสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ เยื่อหุ้มเซลล์จะหนาประมาณ 9 นาโนเมตร และประกอบขึ้นจากชั้นของลิปิด 2 ชั้น (lipid bilayer) ซึ่งมีโปรตีนฝังตัวอยู่ (รูปที่ 2-4) ชนิดของลิปิดและโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์นี้ จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเซลล์

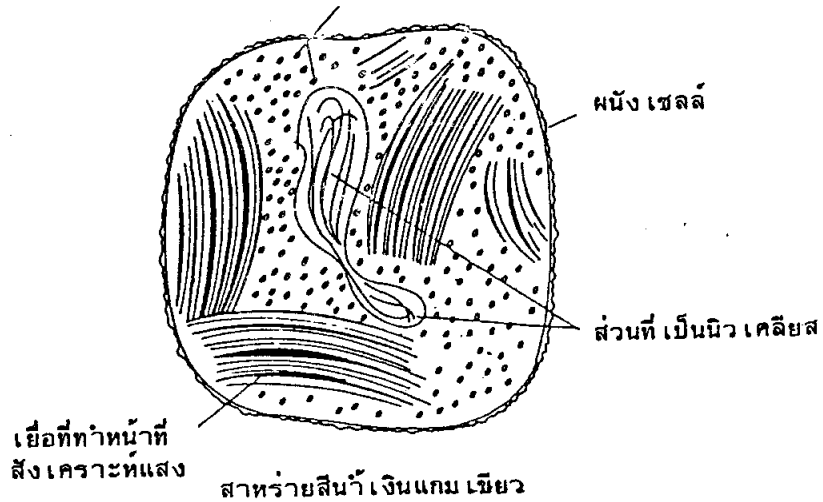
4. จีโนม (genome) คือข้อความทางพันธุกรรมของเซลล์ ซึ่งถูกบรรจุไว้ในกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก หรือ DNA DNA จะมีขนาดยาวมากเมื่อเทียบกับเซลล์นั้น ๆ ตัวอย่างได้แก่เซลล์ของ *E. coli* ซึ่งยาวประมาณ 2 ไมโครเมตร จะมี DNA ยาว 1 มิลลิเมตร ใน DNA จะมีรหัสสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนถึง 4,000 ชนิด และยังมีส่วนที่จะใช้ควบคุมการแสดงออกของโปรตีนเหล่านี้ด้วย



รูปที่ 2-4 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์

5. ไรโบโซม (ribosomes) ข้อความทางพันธุกรรมใน DNA จะถูกถ่ายทอดต่อไปด้วยขบวนการทรานสคริปชัน (transcription) แล้วเกิดเป็นกรดไรโบนิวคลีอิก หรือ RNA ซึ่งจะถูกแปลรหัสต่อไปได้โปรตีนเกิดขึ้น โดยสถานที่สังเคราะห์โปรตีนก็คือที่ไรโบโซมนั่นเอง ไรโบโซมจะมีลักษณะกลมและขรุขระ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 18 นาโนเมตร ประกอบไปด้วยโปรตีนราว 50 ชนิด และกรดไรโบนิวคลีอิก 2 ชนิด

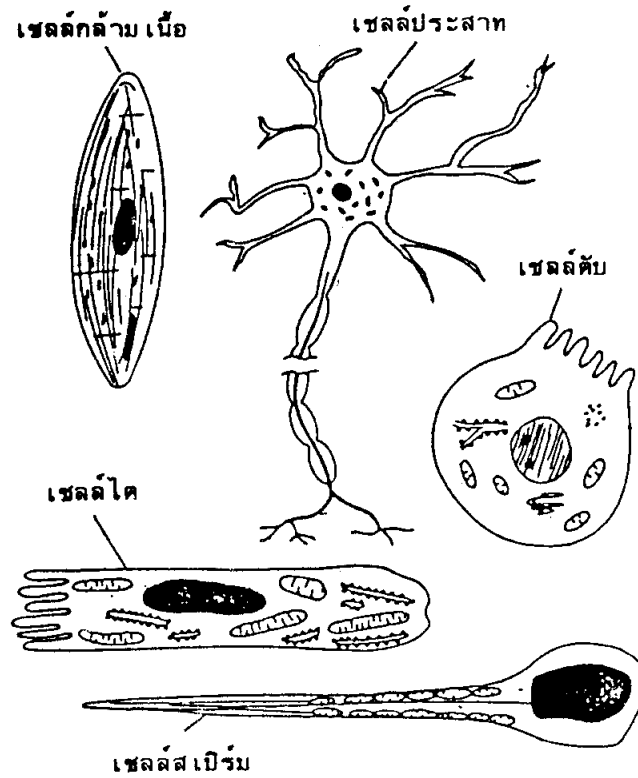
ไรโบโซม



รูปที่ 2-5 โครงสร้างของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green alga) ซึ่งเป็น โปรคาริโอตเซลล์ประเภทที่สังเคราะห์แสงได้

ยังมีโปรคาริโอตอีกประเภทหนึ่งซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ (รูปที่ 2-5) พวกนี้จะมีผนังเซลล์ ส่วนของนิวเคลียส และไรโบโซมเหมือนพวกแรก และมีส่วนพิเศษเพิ่มขึ้นมาคือ photosynthetic membranes ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่ดูดพลังงานจากแสง มาสำหรับใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง และปล่อยออกซิเจนออกสู่บรรยากาศ

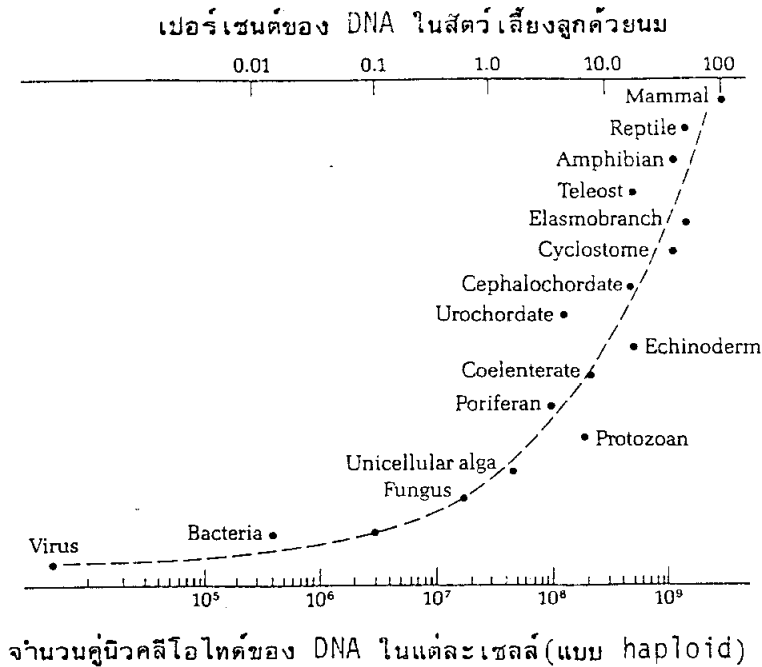
2.4.2 ยูคาริโอติกเซลล์ (eucaryotic cells) มีขนาดใหญ่กว่าโปรคาริโอติกเซลล์ 1,000-10,000 เท่า เซลล์สิ่งมีชีวิตชั้นสูงทุกชนิดจะถูกจัดอยู่ในประเภทนี้ทั้งสิ้น ยูคาริโอติกเซลล์จะมีรูปร่างแตกต่างกันไปหลายแบบ เพื่อทำหน้าที่ในส่วนต่างๆ ของสัตว์ได้อย่างเหมาะสม (รูปที่ 2-6) เซลล์เหล่านี้จะมีการทำงานประสานกัน ดังนั้นแต่ละเซลล์จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อความอยู่รอดมากเหมือนในกรณีโปรคาริโอต ตัวอย่างของยูคาริโอติกเซลล์ ได้แก่ เซลล์พืชและสัตว์ชั้นสูง เป็นต้น



รูปที่ 2-6 รูปร่างต่างๆ ของยูคาริโอติกเซลล์ที่พบในมนุษย์

โครงสร้างของยูคาริโอติกเซลล์จะมีความซับซ้อนมากกว่าโปรคาริโอติกเซลล์ โดยดูจากจำนวนส่วนประกอบที่เป็น DNA ซึ่งในขณะที่เซลล์ของ *E. coli* มี DNA เพียง 1 สาย

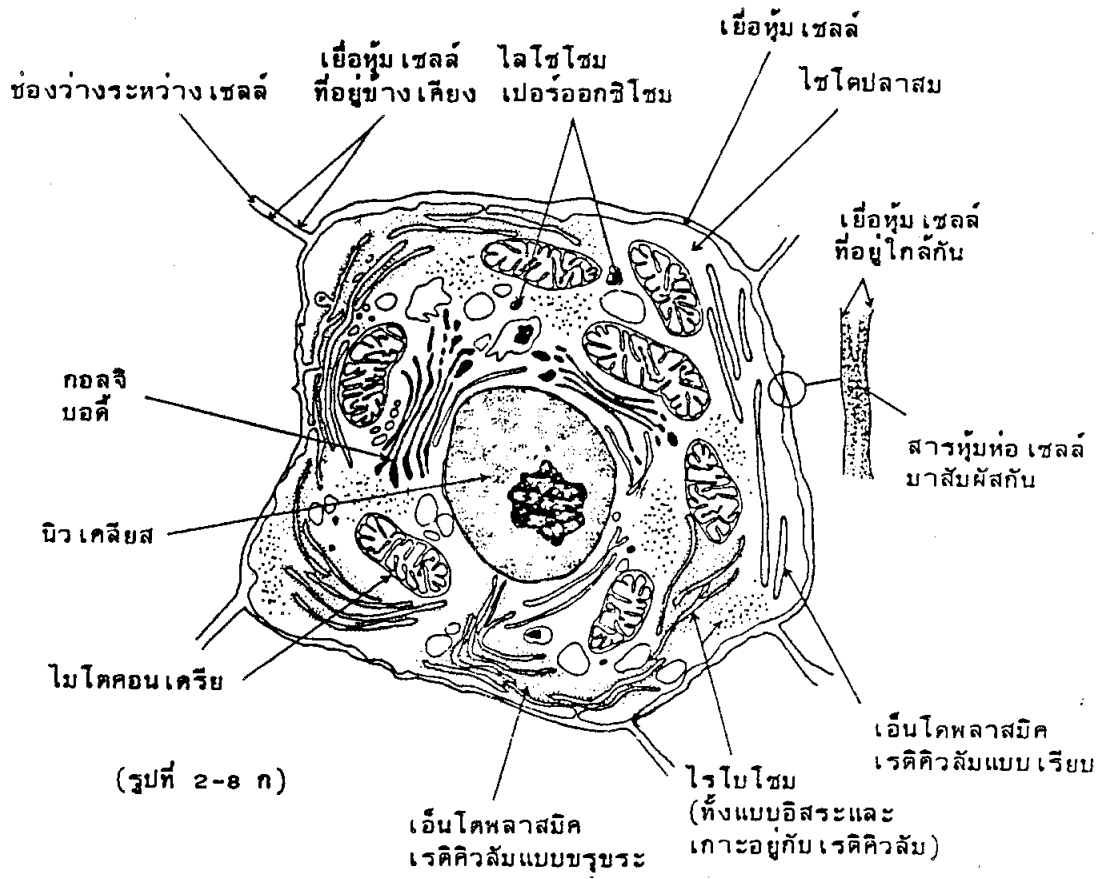
และยาวประมาณ 1 มิลลิเมตรนั้น เซลล์ของมนุษย์จะมี DNA ถึง 46 สาย หรือ 46 โครโมโซม (chromosomes) และแต่ละสายจะยาวถึง 4 เมตร ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบ DNA กับความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิตแสดงในรูปที่ 2-7 โดยเมื่อสิ่งมีชีวิตมีความซับซ้อนมากขึ้นจำนวน DNA ภายในเซลล์ก็จะมีมากขึ้นด้วย



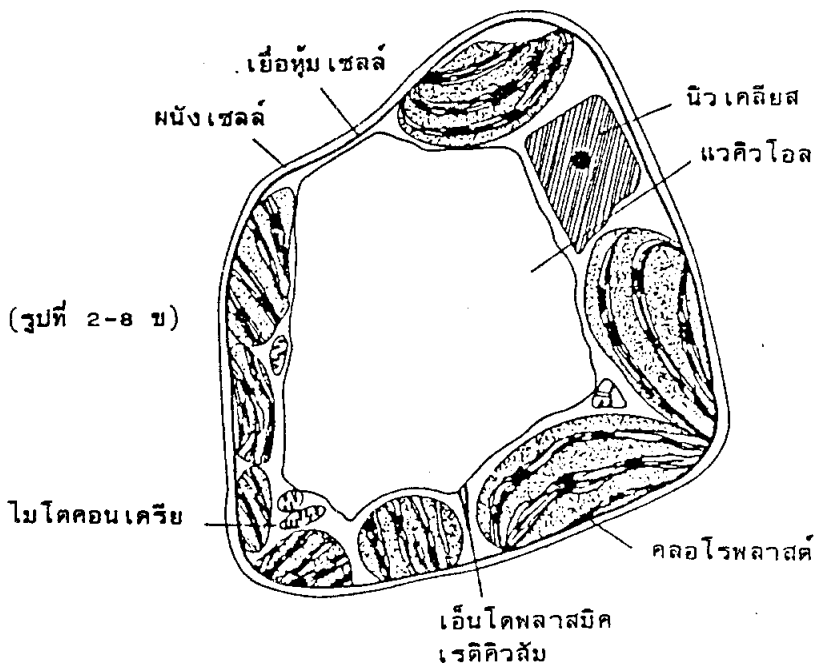
รูปที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน DNA และความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต

นอกจากนี้ ยูคาริโอท (eucaryotes) ยังมีการแบ่งองค์ประกอบ (Organelles) ภายในออกเป็นส่วน ๆ แยกออกจากกันอย่างเด่นชัด (รูปที่ 2-8) โดยที่แต่ละส่วนนั้นก็จะมีรูปร่างและหน้าที่ต่างกันไป





(รูปที่ 2-8 ก)



(รูปที่ 2-8 ข)

รูปที่ 2-8 โครงสร้างของยูคาริโอติกเซลล์ประเภทที่เป็นเซลล์สัตว์ (ก) และเซลล์พืช (ข)

ความพิเศษอีกประการหนึ่งของยูคาริโอติกเซลล์ก็คือ การที่มีระบบเยื่อหุ้มอยู่ในเซลล์ด้วย ตัวอย่างเช่น เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) อันเป็นระบบเยื่อหุ้มที่เป็นทางเชื่อมต่อกับเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ หรือเยื่อหุ้มนิวเคลียสที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นต้น ถ้าจะเปรียบเทียบความแตกต่างขององค์ประกอบภายในเซลล์ของยูคาริโอทและโปรคาริโอทแล้ว จะได้ดังแสดงในตารางที่ 2-1 คือ

องค์ประกอบของเซลล์	โปรคาริโอท	ยูคาริโอท
นิวเคลียส	ไม่มีและ DNA ไม่ถูกห่อหุ้ม	มี
นิวคลีโอลัส	ไม่มี	มีหนึ่งหรือมากกว่า
เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม	ไม่มี	มี
กอลจิคอมเพล็กซ์	ไม่มี	มี
ไมโทคอนเดรีย	ไม่มี โดยพลังงานจาก ขบวนการออกซิเดชันจะ เกิดที่เยื่อหุ้มเซลล์	มี
คลอโรพลาสต์	ไม่มี โดยการสังเคราะห์แสง จะเกิดที่บริเวณที่เรียกว่า โครมาโตพอร์ (chromato phore)	มี
ไลโซโซม	ไม่มี	มี
ไรโบโซม	มี	มี
เยื่อหุ้มเซลล์	มี	มี

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงความแตกต่างขององค์ประกอบบางส่วน ในยูคาริโอติกและโปรคาริโอติกเซลล์

สำหรับหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ บางส่วนภายในยูคาริโอติกเซลล์จะมีดังนี้ คือ

1. ผนังเซลล์และสารหุ้มห่อผิวหน้าเซลล์ เซลล์พืชและแบคทีเรียที่เป็นยูคาริโอทหลายชนิดจะมีผนังเซลล์เหมือนเช่นที่พบในพวกโปรคาริโอท ผนังนี้จะมีคามแข็งแรงและประกอบขึ้นจากโพลีแซคคาไรด์ แต่ถ้าเป็นเซลล์พืช ส่วนประกอบสำคัญจะได้แก่เซลลูโลส สำหรับเซลล์สัตว์จะไม่มีผนังเซลล์

ที่ผิวนอกของเซลล์ส่วนมากไม่ว่าจะอยู่ในรูปที่เป็นผนังเซลล์หรือเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ก็ตาม มักจะถูกปกคลุมด้วยสารเหนียว ๆ เรียกว่าสารหุ้มห่อเซลล์ (cell coat) ซึ่งส่วนประกอบของสารนี้จะแปรผันไปในแต่ละเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องเป็นโพลีแซคคาไรด์อยู่ร่วมกับองค์ประกอบอื่น เช่น โปรตีนและลิปิด นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดในส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ยังยื่นออกมาในชั้นผิวหน้านี้ด้วย ในเนื้อเยื่อที่มีเซลล์จำนวนมาก สารหุ้มห่อของเซลล์ที่อยู่ใกล้กันจะบรรจบกัน (ดูรูปที่ 2-8 ก) ซึ่งเชื่อว่าทำให้เซลล์เหล่านี้มีการติดต่อกันได้ ทำให้เกิดผลในการควบคุมการเจริญเติบโตและแบ่งตัวของเซลล์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า contact inhibition อันพบในเซลล์ปกติแต่ไม่พบในเซลล์มะเร็ง ได้มีหลักฐานบ่งชี้ว่าถ้าส่วนประกอบของสารหุ้มห่อเซลล์เปลี่ยนแปลงไปแล้ว จะทำให้เซลล์ปกติแปรรูปเป็นเซลล์มะเร็ง

2. เยื่อหุ้มเซลล์ มีหน้าที่ทั่ว ๆ ไปเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นในโปรคาริโอตหรือยูคาริโอต กล่าวคือ เป็นตัวแบ่งแยกแต่ละเซลล์ออกจากกัน ป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์ ตลอดจนควบคุมการผ่านเข้าสู่หรือออกจากเซลล์ของสารต่าง ๆ เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการค้นพบหน้าที่ใหม่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งหน้าที่นี้จะแตกต่างกันไปในสิ่งมีชีวิต ขึ้นกับชนิดของสปีชีส์ เซลล์ และสภาพทางกายภาพหน้าที่ที่กล่าวถึงจะเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงมากชนิดหนึ่งเรียกว่า รีเซปเตอร์โปรตีน (receptor protein) ซึ่งอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนชนิดนี้จะทำงานโดยการรวมตัวกับสารเฉพาะทางด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วผลจากการรวมตัวที่เกิดขึ้น จะไปกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์อื่น ๆ ทางด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ จากนั้นก็เกิดต่อเนื่องไปในเซลล์ อันจะเป็นสัญญาณให้ปฏิกิริยาหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นหรือหยุดลงได้ คือเกิดการควบคุมเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ขึ้นนั่นเอง

3. นิวเคลียส เป็นองค์ประกอบส่วนที่ใหญ่เป็นที่สองของยูคาริโอตเซลล์ โดยมีขนาดใหญ่กว่า *E. coli* 10-20 เท่า รอบ ๆ นิวเคลียสจะมีเยื่อ 2 ชั้นหุ้มอยู่ เรียกว่า nuclear membrane หรือ nuclear envelope เยื่อนี้จะมีรูเปิด (pore) อยู่เป็นระยะ ๆ เพื่อให้โมเลกุลของ RNA ทั้งสามชนิดที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในนิวเคลียสสามารถผ่านออกไปสู่ไซโตพลาสซึมได้ ภายในนิวเคลียสเรียกว่านิวคลีโอพลาสซึม (nucleoplasm) ส่วนที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมเรียกว่านิวคลีโอลัส (nucleolus) ซึ่งอาจจะมีเพียงหนึ่งหรือถึงสามสีนิวคลีโอลัสต่อหนึ่งนิวเคลียสก็ได้ นิวคลีโอลัสนี้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและขนส่ง rRNA ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไรโบโซมออกไปยังไซโตพลาสซึม เพื่อเกิดการรวมตัวเป็นไรโบโซมที่สมบูรณ์ต่อไป ในส่วนนิวคลีโอพลาสซึมทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่ใกล้เยื่อหุ้มนิวเคลียสนั้น จะมีการดิวคลีอิคประเภท DNA อยู่ร่วมกับโปรตีนพวกฮิสโตน (histone) ทำให้เกิดเป็นโครมาติน (chromatin) ขึ้น ประมาณ 90-95% ของ DNA

ทั้งหมดที่มีในเซลล์จะพบอยู่ที่โครมาตินนี้เอง ในเวลาปกติโครมาตินจะอยู่ในรูปที่เป็นเหมือนเส้นด้ายยาว ๆ บาง ๆ แต่เมื่อถึงเวลาที่เซลล์จะแบ่งตัวแล้ว โครมาตินจะมารวมกันเข้าและขดตัวเป็นเกลียวแน่นขึ้น จนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่าโครโมโซม (chromosome) ซึ่งจะมีการลอกแบบ (replicate) ตัวเองให้ได้สายใหม่ซึ่งเหมือนสายเดิมขึ้น แล้วจึงถ่ายทอดจากเซลล์รุ่นหนึ่งไปยังเซลล์อีกรุ่นหนึ่ง เพื่อเป็นการรักษาพันธุกรรมเอาไว้ ในแต่ละนิวเคลียสของเซลล์ปกติของมนุษย์จะมีโครโมโซมบรรจุอยู่เป็นจำนวน 46 โครโมโซมด้วยกัน

ถ้ากล่าวโดยสรุป จะได้ว่านิวเคลียสเป็นสถานที่ภายในเซลล์ ซึ่งข้อความทางพันธุกรรม

1. จะถูกเก็บไว้ในรูปของ DNA
2. จะถูกถ่ายทอดต่อไปยังส่วนอื่น ๆ ของเซลล์ โดย DNA จะทำให้เกิด RNA และ RNA จะทำให้เกิดโปรตีน ซึ่งการสังเคราะห์โปรตีนนั้นเกิดในส่วนของไซโตพลาสซึม
3. จะเกิดการลอกแบบแล้วส่งต่อไปยังเซลล์รุ่นต่อไป เพื่อรักษาสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ ให้คงเดิมเสมอ

4. เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม เป็นระบบเนื้อเยื่อซึ่งเริ่มต้นจากเยื่อหุ้มชั้นนอกของนิวเคลียส ผ่านไปตามไซโตพลาสซึมแล้วไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ บริเวณใดที่มีไรโบโซมเกาะติดอยู่ด้วยเรียกว่า เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระ (rough endoplasmic reticulum, RER) ที่ได้ชื่อนี้ก็มาจากลักษณะของ RER ที่มองเห็นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์นั่นเอง กับอีกประเภทหนึ่งคือเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบ (smooth endoplasmic reticulum, SER) อันเป็นบริเวณที่ไม่มีไรโบโซมมาเกาะ สำหรับหน้าที่ของทั้งสองส่วนนี้จะต่างกัน โดย RER จะทำหน้าที่ ผลิต เก็บ ดัดแปลง หรือขนส่งโปรตีนที่ถูกผลิตออกมาจากไรโบโซมไปยังส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ รวมทั้งส่งออกสู่ภายนอกเซลล์ด้วย โดยเมื่อโปรตีนถูกสังเคราะห์ขึ้นแล้ว ก็จะผ่านเข้าไปภายในเรติคูลัมซึ่งเรียกว่า cisternal space เพื่อออกสู่มิวหน้าของเซลล์ และเมื่อถูกปล่อยออกสู่ภายนอกนั้นจะอยู่ในรูปตุ่มหรือถุงเล็ก ๆ (vesicle) นอกจากวิธีนี้แล้ว โปรตีนที่เกิดขึ้นอาจจะถูกส่งผ่าน cisternal space ไปยังกอลจิคอมเพล็กซ์ (golgi complex) ก่อนก็ได้ แล้วจึงถูกทำให้อยู่ในรูปถุงเล็ก ๆ เช่นกัน เพื่อส่งออกนอกเซลล์ต่อไป ตัวอย่างการทำงานของ RER พบได้ที่เซลล์ของตับอ่อน ซึ่งจะต้องผลิตและปล่อยเอนไซม์หลายชนิดในจำนวนมากเพื่อไปช่วยในการย่อยอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ส่วน SER โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮอร์โมนประเภทที่ละลายได้ในไขมัน เช่น สเตียรอยด์ (steroids) คอร์ติโซน (cortisone) และเทสโทสเตอโรน (testosterone) เป็นต้น นอกจากนี้ SER ยังมีเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไขมันอยู่เป็นจำนวนมากกว่าที่พบใน RER ซึ่งหยดไขมันที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกส่งผ่านต่อไปยังองค์

ประกอบของเซลล์อีกส่วนหนึ่งคือกอลจิคอมเพล็กซ์ก่อน แล้วจึงจะถูกขับออกนอกเซลล์ต่อไป สำหรับเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมทั้ง RER และ SER ของเซลล์ตับ จะเกี่ยวข้องกับการสลายและตัดแปลงยาบางชนิด ตัวอย่างเช่น ยานอนหลับพวกฟีโนบาร์บิทัล (phenobarbital) ซึ่งจะถูกสลายให้เป็นสารประกอบที่ไม่ไว โดยใช้อินไซม์ที่มีอยู่ในเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมของเซลล์ตับนั้น

ถ้าทำให้เซลล์ปกติแตกออกด้วยวิธีการต่าง ๆ ส่วนมากแล้วเรติคูลัมจะถูกตัดออกเป็นส่วนเล็กลงด้วย ซึ่งส่วนเล็ก ๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกว่าไมโครโซม (microsomes)

5. กอลจิคอมเพล็กซ์หรือกอลจิบอดี (golgi complex หรือ golgi body) บางครั้งจะถูกเรียกว่าดิคทีโอโซม (dictyosome) พบในไซโตพลาสซึมของเซลล์พืชและสัตว์ส่วนมาก ลักษณะเป็น vesicle แบบ ๆ ยาว ๆ มีเยื่อหุ้มโดยรอบโดยผิวหน้าของเยื่อจะเป็นชนิดเรียบ กอลจิคอมเพล็กซ์ต่างจากเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมตรงที่จะมีขนาดค่อนข้างจำกัด และมักจะพบบริเวณใกล้ ๆ นิวเคลียสหรือใกล้ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยสารออกจากเซลล์ ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า หน้าที่หนึ่งของกอลจิคอมเพล็กซ์ก็คือรับเอาโปรตีนมาจากระบบ RER - SER แล้วทำให้โปรตีนเข้มข้นและอยู่ในรูปเป็นกลุ่มก้อนเพื่อส่งออกนอกเซลล์ต่อไป อีกหน้าที่หนึ่งจะได้แก่การทำให้โปรตีนบางชนิดเข้มข้นขึ้นแล้วถูกหุ้มห่อด้วยเยื่อหุ้มแต่ยังคงอยู่ในเซลล์ ตัวอย่างได้แก่ไลโซโซม (lysosomes) นอกจากนี้ยังพบอีกว่ากอลจิคอมเพล็กซ์เป็นสถานที่สังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตบางชนิดด้วย เช่น เซลลูโลส อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช หรือคาร์โบไฮเดรตบางชนิดที่เป็นเยื่อบุผนังในบริเวณลำไส้ใหญ่ และเมื่อถูกส่งออกจากเซลล์แล้ว สารพวกนี้จะไปสะสมอยู่ที่ด้านนอกของชั้นสารหุ้มห่อเซลล์

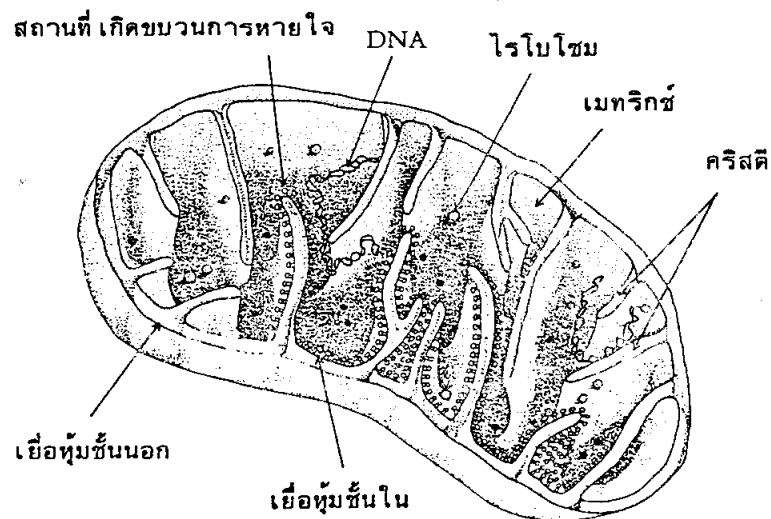
6. ไมโครบอดีส์ (microbodies) ยูคาริโอติกเซลล์เกือบทั้งหมดจะมีองค์ประกอบเล็ก ๆ ที่ถูกหุ้มห่อด้วยเยื่อหุ้มชั้นเดียวอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน (10-1,000 ต่อเซลล์) ซึ่งส่วนนี้เรียกรวม ๆ ว่าไมโครบอดีส์ อันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 1.5 ไมโครเมตร ภายในจะมีโปรตีนความเข้มข้นสูงอยู่หลายชนิด โดยโปรตีนทั้งหมดเท่าที่พบในไมโครบอดีส์จะมีถึงประมาณ 100 ชนิด แต่จำนวนและชนิดของโปรตีนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไมโครบอดีส์และเซลล์ต้นกำเนิดของไมโครบอดีส์เกิดได้ 2 ทางคือ เกิดมาจากกอลจิคอมเพล็กซ์หรือระบบ RER-SER

ในปีคริสต์ศักราช 1952 ได้มีการค้นพบไมโครบอดีส์ประเภทที่มีชื่อว่าไลโซโซม ซึ่งบรรจุเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก หลาย ๆ ตัวในจำนวนนี้จะใช้ในการย่อยสลายโปรตีนกรดนิวคลีอิก และคาร์โบไฮเดรต โดยไปเร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะในโพลีเมอร์เหล่านี้ ไลโซโซมจึงมีหน้าที่ในการทำลายส่วนประกอบของเซลล์ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมเช่นแบคทีเรียที่เม็ดเลือด

ขามักจะนำเข้ามาในเซลล์ด้วย นอกจากนี้ยังเข้าใจกันอีกว่า การที่เซลล์ทำลายตัวเองได้ (autolysis) หลังจากที่ตายแล้วนั้น ก็เป็นผลเนื่องมาจากการที่ไลโซโซมแตกตัวออก ทำให้เอนไซม์ย่อยสลาย (hydrolytic enzyme) หลายชนิดถูกปล่อยออกมาและเกิดการทำงานขึ้น ซึ่งความสามารถประการนี้ นอกจากจะมีบทบาทที่สำคัญในกรณีที่เซลล์ตายลงแล้ว ยังมีบทบาทในการกำจัดบางส่วนของร่างกายที่สิ่งมีชีวิตไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ในบางขณะของการเจริญเติบโตได้อีกด้วย เช่น การกำจัดหางของลูกออดออกไปในขณะที่จะกลายเป็นกบ

ต่อมาในปีคริสต์ศักราช 1966 ก็พบไมโครบอดีส์อีกชนิดหนึ่งคือเปอร์ออกซิโซม (peroxisomes) ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือสลายเปอร์ออกไซด์ (เช่นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) อยู่หลายชนิด ขนาดของเปอร์ออกซิโซมบางครั้งจะใหญ่เท่ากับไลโซโซม แต่บางครั้งก็จะเล็กกว่าโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1-0.5 ไมโครเมตร เอนไซม์ที่พบมากที่สุดจะได้แก่ คอะตาเลส (catalase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เป็นพิษให้กลายเป็นน้ำและออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในเมตาบอลิซึมของลิปิดและคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย สำหรับในเซลล์พืชจะพบไมโครบอดีส์ชนิดที่มีเอนไซม์ที่ใช้ในการเปลี่ยนลิปิดให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรต โดยผ่านทางสารตัวกลางชนิดหนึ่งคือกรดไกลออกซาลิก (glyoxalic acid) ดังนั้นจึงเรียกไมโครบอดีส์พวกนี้ว่าไกลออกซิโซม (glyoxosomes)

7. ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) จะมีขนาด รูปร่าง และจำนวนแตกต่างกันไปในแต่ละยูคาริโอตเซลล์ ในเซลล์สัตว์ ไมโทคอนเดรียจะมีลักษณะรูปรี มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1 ไมโครเมตร ยาว 1.5-2 ไมโครเมตร ภายในไมโทคอนเดรียจะเป็นสถานที่ที่สารอาหาร



เช่น คาร์โบไฮเดรตและไขมันรวมตัวกับออกซิเจน แล้วได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานเกิดขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งของพลังงานนี้จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานเคมี เพื่อที่เซลล์จะได้นำไปใช้ได้ สำหรับพลังงานที่เหลือก็จะสูญเสียไปเป็นความร้อน เนื่องจากหน้าที่ใหญ่ของไมโทคอนเดรียก็คือ เป็นแหล่งให้พลังงานในการทำงานของเซลล์ ดังนั้นในเซลล์ที่มีการทำงานมากก็จะมีไมโทคอนเดรียอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น เซลล์ตับสามารถที่จะมีไมโทคอนเดรียได้ถึง 1,000 ไมโทคอนเดรียต่อเซลล์ทีเดียว นอกจากนี้จะพบว่าสถานที่ตั้งของไมโทคอนเดรีย จะมีความสัมพันธ์กับบริเวณที่ต้องการใช้พลังงานด้วย ตัวอย่างเช่น ในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานกลนั้น ปรากฏว่าไมโทคอนเดรียจะอยู่ติดกับไฟเบอร์ (fiber) ของกล้ามเนื้อซึ่งเป็นแหล่งที่ใช้พลังงานเลย หรือถ้าเป็นในกรณีของ RER ก็เช่นกัน คือ จะพบว่าไมโทคอนเดรียมักจะอยู่ใกล้กับ RER ซึ่งเป็นสถานที่ที่ต้องการใช้พลังงานเคมีในการสังเคราะห์โปรตีนเป็นจำนวนมาก

เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียจะเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกเรียบและต่อเนื่องไปตลอด ส่วนชั้นในจะมีการเว้าเข้าไปในบริเวณที่เป็นของเหลวภายในไมโทคอนเดรียซึ่งเรียกว่าเมทริกซ์ (matrix) และส่วนที่ยื่นเข้าไปเรียกว่าคริสตี (cristae) การผลิตพลังงานจะเกิดภายในเยื่อหุ้มชั้นในโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่คริสตีนี้เอง สำหรับเมทริกซ์จะมี DNA และไรโบโซมเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โดยที่ DNA ของไมโทคอนเดรียนี้จะบรรจุข้อความทางพันธุกรรมที่จำเป็นในการลอกแบบของไมโทคอนเดรียเอง แต่อย่างไรก็ตามข้อความทางพันธุกรรมที่มีอยู่ ก็ไม่เพียงพอที่จะใช้ลอกแบบส่วนประกอบทั้งหมดของไมโทคอนเดรียได้ ต้องอาศัยข้อความทางพันธุกรรมจาก DNA ในนิวเคลียสของเซลล์ ที่ไมโทคอนเดรียนั้นเป็นองค์ประกอบอยู่มาช่วยด้วย จึงจะทำให้ได้การลอกแบบที่สมบูรณ์เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกัน ไรโบโซมในไมโทคอนเดรียก็จะเป็นแหล่งสังเคราะห์โปรตีนที่สำคัญต่อการทำงานของมัน แต่โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นมาทั้งหมดนี้ ก็ยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในททุก ๆ หน้าที่ของไมโทคอนเดรียได้ ต้องอาศัยโปรตีนอีกบางส่วนจากการสังเคราะห์ของเซลล์มาช่วยด้วย จึงจะมีโปรตีนใช้อย่างครบสมบูรณ์

8. คลอโรพลาสต์ (chloroplast) หรือพลาสติด (plastid) เป็นสถานที่ที่เกิดการสังเคราะห์แสง อันเป็นขบวนการผลิตสารประกอบอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนขึ้นมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยมีแสงแดดเป็นตัวช่วย คลอโรพลาสต์เป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยในสิ่งมีชีวิตบางชนิดอาจจะมีคลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่กว่านิวเคลียสก็ได้ ภายในคลอโรพลาสต์จะมีคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่ดูดพลังงานแสง มีเอนไซม์ที่ใช้ในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้เป็นน้ำตาล และในเซลล์พืชบางชนิดยังมีเอนไซม์ที่ใช้เปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งอีกด้วย โดยที่เอนไซม์ประเภทหลังนี้จะอยู่ในไพเรโนอิด (pyrenoid) อันเป็นส่วนหนึ่งของคลอโรพลาสต์

ในทำนองเดียวกับไมโทคอนเดรีย คลอโรพลาสต์จะมี DNA และไรโบโซมของตัวเอง ซึ่งจะแตกต่างไปจากที่พบในนิวเคลียสและไซโตพลาสซึมของเซลล์ DNA และไรโบโซมเหล่านี้จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นมาสำหรับคลอโรพลาสต์โดยเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ทำให้คลอโรพลาสต์ต้องอาศัยข้อความทางพันธุกรรมและโปรตีนเพิ่มเติมมาจากเซลล์อื่นเช่นกัน

### สรุปเนื้อหาสาระสำคัญ

ได้มีผู้เสนอแนะทฤษฎีเกี่ยวกับต้นกำเนิดของชีวิตไว้หลายแนวทาง แต่แนวทางที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ แนวทางที่คิดว่าชีวโมเลกุลชนิดแรกเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของบรรยากาศในยุคแรกเริ่ม ภายใต้สภาวะที่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีหรือจากปรากฏการณ์ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า เมื่อฝนตกสารอินทรีย์ง่าย ๆ เหล่านี้ก็จะถูกชะลงไปรวมกันอยู่ในทะเล เมื่อเวลานานเข้า ทะเลก็จะเต็มไปด้วยสารอินทรีย์มากมาย จนในที่สุดก็เกิดสิ่งมีชีวิตชนิดแรกขึ้นในทะเลนั่นเอง

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะประกอบขึ้นจากหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่ยังคงแสดงสภาพการมีชีวิตอยู่คือเซลล์ การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์จะเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก กล่าวคือ สารตั้งต้นจะเป็นสารง่าย ๆ ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแอมโมเนีย สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นโมเลกุลหน่วยสร้างอันได้แก่ กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ น้ำตาล และกรดไขมัน ต่อไปสารทั้ง 4 ประเภทนี้ต่างก็รวมตัวโดยใช้พันธะโควาเลนต์ ทำให้เกิดชีวโมเลกุลชนิดต่าง ๆ ขึ้นคือ โปรตีน กรดนิวคลีอิก โพลีแซคคาไรด์ และลิพิด จากนั้นชีวโมเลกุลก็จะรวมตัวแบบเนียนโควาเลนต์ต่อไปจนเกิดระบบที่ใหญ่ขึ้น อันจะรวมกันเข้าได้อีกจนเกิดเป็นองค์ประกอบของเซลล์ขึ้นในที่สุด

เซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งกว้าง ๆ ตามลักษณะการจัดระบบของส่วนประกอบภายในเซลล์ได้เป็น 2 ประเภทคือ โปรคาริโอติกและยูคาริโอติกเซลล์ โปรคาริโอติกเซลล์จะพบในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ มีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน และอาจจะสังเคราะห์แสงเองได้ด้วย ส่วนยูคาริโอติกเซลล์จะพบในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบมากมาย จึงมีความซับซ้อนมาก นอกจากนี้ภายในเซลล์ยังมีการแบ่งออกเป็นนิวเคลียสอย่างเด่นชัด ยูคาริโอติกเซลล์ยังแยกออกได้อีกเป็น 2 พวกย่อยคือ เซลล์พืชและเซลล์สัตว์ องค์ประกอบบางอย่างเช่น ไรโบโซมจะพบทั้งในโปรคาริโอติกและยูคาริโอติกเซลล์ แต่องค์ประกอบบางอย่างเช่น นิวเคลียส ไลโซโซม ไมโทคอนเดรีย จะพบเฉพาะในยูคาริโอติกเซลล์เท่านั้น



## คำถามท้ายบท

1. ทำไมข้อเสนอนี้เกี่ยวข้องกับเรื่องต้นกำเนิดของชีวิตโดย A.I.Oparin จึงเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในปัจจุบัน จงยกหลักฐานที่สนับสนุนแนวคิดนี้มาด้วย
2. อธิบายการจัดระบบในระดับโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต
3. โมเลกุลหน่วยสร้างคืออะไร มีกี่ชนิด และแต่ละชนิดนั้นเป็นส่วนประกอบของชีวโมเลกุลประเภทใด
4. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างโปรคาริโอติกเซลล์ และยูคาริโอติกเซลล์
5. รีเซปเตอร์โปรตีนพบที่ใด มีความสำคัญอย่างไร
6. contact inhibition คืออะไร เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็งอย่างไร
7. อธิบายขั้นตอนการทำโปรตีนให้อยู่ในรูป vesicle เพื่อส่งออกนอกเซลล์ต่อไป
8. ทำไมเยื่อหุ้มนิวเคลียสจึงต้องมีรูเปิดอยู่เป็นระยะ ๆ
9. ส่วนนิวคลีโอลัสของนิวเคลียสมีหน้าที่อย่างไร
10. จงอธิบายความสัมพันธ์ของคำต่อไปนี้ : DNA โครมาติน และโครโมโซม
11. แหล่งพลังงานในยูคาริโอติกเซลล์พวกพืชและสัตว์เป็นชนิดเดียวกัน หรือคนละชนิด และจงอธิบายรายละเอียดของแหล่งพลังงานนั้น ๆ มาด้วย
12. เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบและชนิดขรุขระ มีลักษณะและหน้าที่ต่างกันอย่างไร จงอธิบาย
13. องค์ประกอบชนิดใดของยูคาริโอติกเซลล์ที่มีหน้าที่ทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต และใช้ปฏิกิริยาใดในการทำลายนั้น
14. ไกลออกโซโซมพบในเซลล์ประเภทใด ทำหน้าที่อย่างไร
15. ใน *E. coli* จะมีประมาณ 10,000 - 15,000 ไรโบโซมกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม ถ้าคิดว่ารูปร่างของไรโบโซมในแบคทีเรียเป็นทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 อังสตรอม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในเซลล์ *E. coli* ที่ถูกครอบครองด้วยไรโบโซมนี้ โดยกำหนดให้อีกว่ารูปร่างของ *E. coli* จะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ไมโครเมตร และยาว 2 ไมโครเมตร

