บทที่ 2
ชีวิตและเซลล์

วัตถุประสงค์ เมื่ออ่านบทนี้ตลอดจนทำแบบฝึกหัดแล้ว นักศึกษาจะต้อง

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

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

2.1 ต้นกำเนิดของชีวิต

คำถามที่เก่าแก่ที่สุดคำถามหนึ่ง ซึ่งมนุษย์พยายามหาคำตอบมานานแล้วก็คือ ชีวิตเกิดขึ้นครั้งแรกได้อย่างไร คำถามนี้แม้จนในปัจจุบันก็ยังไม่มีผู้ใดทราบคำตอบที่แท้จริง คงมีแต่ผู้เสนอแนะแนวความคิดกันไว้ต่าง ๆ นานา ซึ่งพอจะแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

1. พวกที่คิดว่าชีวิตถูกสร้างสรรค์ขึ้นมาอย่างเป็นพิเศษ 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

CM 351 7

ถ้าไปตกอยู่ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะงอก ทำให้เกิดเป็นอาณานิคมของบักเตรีหรือ

ราชนิดนั้น ๆ ขึ้นมาใหม่อีก ด้วยเหตุนี้ Arrhenius จึงเสนอแนะว่า สิ่งมีชีวิตจากส่วนอื่นของจักรวาลอาจจะสร้างสปอร์หรือหน่วยสืบพันธุ์ที่คล้ายกับสปอร์เช่นกัน แล้วหน่วยสืบพันธุ์นี้ก็จะถูกส่งผ่านจากดาวเคราะห์ดวงหนึ่งไปยังดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งโดยใช้แรงดันจากแสงอาทิตย์ ซึ่งแม้แรงนี้จะน้อยก็ตาม แต่ Arrhenius ก็ได้ทำการคำนวณและแสดงให้เห็นว่า แรงดันนี้เมื่อสะสมอยู่เป็นเวลานานแล้ว ก็จะเพียงพอที่จะใช้ผลักดันหน่วยสืบพันธุ์นั้นให้เดินทางผ่านห้วงอวกาศมาได้ นอกจากนี้เขายังได้เสนอแนะต่อไปอีกด้วยว่า บรรพบุรุษของสิ่งมีชีวิตที่เราเห็นอยู่บนพื้นโลกทุกวันนี้มิได้เกิดขึ้นเองที่นี่ แต่จะเกิดขึ้นจากหน่วยสืบพันธุ์ที่เดินทางผ่านอวกาศมาจากส่วนอื่นของจักรวาลนั่นเอง

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

3. พวกที่คิดว่าต้นกำเนิดของชีวิตบนโลกนี้เกิดขึ้นมาเอง (spontaneous generation) ในปัจจุบันแนวความคิดนี้เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าสองแนวแรกที่กล่าวมา ซึ่งบุคคลแรกที่เสนอแนะความคิดนี้ได้แก่ อริสโตเติล (384-322 ปีก่อนคริสตกาล) โดยเขาได้สังเกตว่า ถ้าปล่อยให้ดิน ฟาง หรือเศษขยะที่ปราศจากสิ่งมีชีวิต อยู่เช่นนั้นในระยะเวลาช่วงหนึ่ง จากนั้นเมื่อตรวจดูมักจะพบว่าเกิดมีไส้เดือนซึ่งมีชีวิตขึ้นเป็นจำนวนมาก อริสโตเติลเชื่อว่าสัตว์เหล่านี้เกิดขึ้นมาได้เองเมื่อสิ่งแวดล้อมพอเหมาะ 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 และเสื้อผ้าใช้แล้วจำนวนหนึ่งซึ่งในจำนวนนี้ควรจะต้องมีเครื่องชั้นในรวมอยู่ด้วย 1-2 ชิ้นมารวมกันไว้ จากนี้พรมน้ำลงไปนิดหน่อย แล้วกองสิ่งของทั้งหมดทิ้งไว้ในที่เงียบ ๆ เป็นเวลาหลาย ๆ วัน จะพบว่ามีหนูเกิดขึ้นได้ Van Helmont ได้แสดงให้เห็นต่อไปว่า หนูซึ่งเขาเชื่อว่าเกิดขึ้นมาได้เองจากส่วนผสมของอาหารและเสื้อผ้าใช้แล้วนั้น มิใช่เป็นหนูที่เชื่องซึมหรือพิการแต่ประการใด ตรงกันข้ามกลับเป็นหนูที่ว่องไวและสมบูรณ์แข็งแรงดีทุกประการ

หลังจาก Van Helmont ได้ถึงแก่กรรมแล้ว ก็มาถึงสมัยของ Francesco Redi (ค.ศ. 1626-1697) นักฟิสิกส์ชาวอิตาเลียน ในสมัยของ Redi นี้มีความเชื่อกันอย่างแพร่หลายว่า เนื้อที่เน่าเสียแล้วสามารถที่จะทำให้เกิดหนอนหรือแมลงขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะได้มีผู้ทำการสังเกตว่าถ้านำเอาชิ้นเนื้อซึ่งปราศจากหนอนและแมลงมาวางทิ้งไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างร้อนเป็นเวลา 2-3 วัน แล้วตรวจดูจะพบว่าส่วนมากแล้วมักจะมีหนอนหรือแมลงเกิดขึ้นเสมอ และจากการที่ทราบว่าเดิมในเนื้อนั้นก็ไม่มีสิ่งมีชีวิตพวกนี้อยู่ก่อน 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 คือในคริสตศตวรรษที่ 17 ทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นมาได้เองก็กลับมาอีกครั้งหนึ่ง เมื่อ Anton van Leeuwenhock (ค.ศ. 1632-1723) นักวิทยาศาสตร์ชาวฮอลันดาได้คิดประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ขึ้น ซึ่งก็ได้วิวัฒนาการขึ้นมาเรื่อย ๆ จนถึงในปี ค.ศ. 1683 กล้องจุลทรรศน์ก็มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะส่องเห็นสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ มากมายหลายชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ นี้พบได้ทั่ว ๆ ไป แม้แต่ในน้ำผลไม้ที่ชาวบ้านหมักไว้เพื่อจะทำเหล้าองุ่นหรือเบียร์ แต่เดิมนั้นไม่มีผู้ใดมองเห็นจุลินทรีย์เล็ก ๆ นี้ได้จึงไม่คิดว่าจะมีสิ่งมีชีวิตอยู่ในน้ำผลไม้นั้น แต่เมื่อมีกล้องจุลทรรศน์ ทำให้ทราบว่ามีจุลินทรีย์เกิดขึ้นจริง งนั้นจึงเริ่มมีผู้กลับมาเสนอแนะทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นได้เองอีก ในบรรดาผู้สนอแนะครั้งนี้ ที่สำคัญ ๆ ก็ได้แก่ John Needham (ค.ศ. 1713-1781)

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

ข้อขัดแย้งระหว่างบุคคลทั้งสองนี้ ไม่มีการตัดสินว่าฝ่ายใดผิดฝ่ายใดถูก คงทิ้งให้อยู่เช่นนั้นมาจนกระทั่งถึงกลางคริสตศตวรรษที่ 19 Louis Pasteur (ค.ศ. 1822-1895) นักชีวเคมีชาวฝรั่งเศส จึงได้หยิบยกข้อขัดแย้งระหว่าง Needham และ Spallanzani ขึ้นมาศึกษาใหม่ โดยเขาได้แสดงให้เห็นว่าในอากาศนั้นเต็มไปด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด ซึ่งสามารถที่จะเข้าไปเจริญเติบโตในน้ำต้มเนื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้วได้ จากนั้นเขาได้แสดงให้เห็นต่อไปว่า ถ้าผ่านอากาศที่ฆ่าเชื้อแล้วเข้าไปในน้ำต้มเนื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วเช่นกัน ในกรณีนี้จะไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ถ้ามีการให้อากาศธรรมดาเข้าไปในน้ำต้มเนื้ออันเดียวกันนี้ จะพบว่ามีจุลินทรีย์เกิดขึ้นทันที การทดลองของหลุยส์ ปาสเตอร์ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ เช่น บักเตรี ยีสต์ และราไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองจากสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งผลอันนี้ก็คล้ายคลึงกับที่ Redi ได้ลบล้างความเชื่อที่ว่าสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อน เช่น หนูจะเกิดขึ้นจากสิ่งไม่มีชีวิตเช่นกัน

หลังจากการทดลองของหลุยส์ ปาสเตอร์แล้ว ทฤษฎีชีวิตเกิดขึ้นได้เองก็เสื่อมถอยไปอีกครั้งหนึ่งนานกว่าครึ่งศตวรรษ จนกระทั่ง A.I. Oparin นักเคมีชาวรัสเซีย และ J.B.S. Haldane (ค.ศ. 1892-1964) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ฟื้นฟูทฤษฎีนี้ขึ้นอีก แต่ในครั้งนี้ Oparin และ Haldane เชื่อว่า ช่วงเวลาที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ตามทฤษฎีนี้ได้ต้องใช้เวลายาวนาน มิใช่สั้น ๆ แค่ 2-3 วันหรือเดือนหรือปีเหมือนที่นักวิทยาศาสตร์ผู้ล่วงลับได้เคยกล่าวไว้ เขาเชื่อว่าชีวิตเกิดขึ้นได้จากสิ่งไม่มีชีวิต โดยใช้ขบวนการวิวัฒนาการทางเคมี แต่ระยะเวลาที่ใช้นั้นจะต้องยาวนานเป็นสิบ ๆ หรือร้อย ๆ ล้านปีทีเดียว

ในปัจจุบันนี้ แนวความคิดว่าชีวิตมีต้นกำเนิดอย่างไรที่ดูจะเป็นไปได้มากที่สุด และสามารถค้นคว้าทดลองทางวิทยาศาสตร์ควบคู่ไปด้วยได้นั้น ก็ได้แก่สมมุติฐานของ Oparin - Haldane นี้เอง

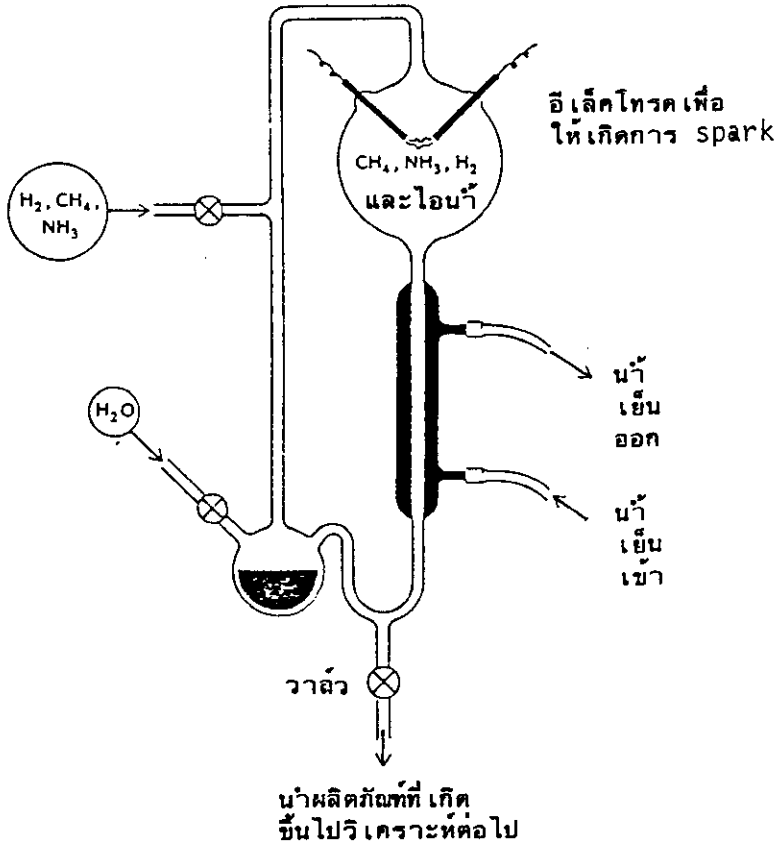
สมมุติฐานวิวัฒนาการเคมีของ Oparin - Haldane กล่าวว่า ชีวิตเกิดขึ้นมาจากสิ่งไม่มีชีวิตจริง แต่อย่างไรก็ตาม ต้นกำเนิดของชีวิตมิใช่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในทันทีทันใดหรือจะติดตามได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ตรงกันข้าม จะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นบนโลกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งใช้เวลานานมาก โครงสร้างของสมมุติฐานนี้เชื่อว่าสิ่งแวดล้อมบนผิวโลกในสมัยแรกเริ่ม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

เนื่องจากบรรยากาศในยุคแรกเริ่มมีไอน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก และอุณหภูมิก็ร้อนจัด ดังนั้นจะทำให้เกิดวัฏจักรของการระเหยและการควบแน่นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งก็หมายถึงว่ามักจะมีพายุฝนฟ้าคะนองอยู่เป็นบริเวณทั่วไปบนพื้นผิวโลก ไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างพายุฝนเหล่านี้ก็ดี หรือจากการที่วัตถุต่าง ๆ เช่น สะเก็ดดาวตกผ่านบรรยากาศลงมา ซึ่งพบว่ามักจะเกิดขึ้นได้เสมอในสมัยนั้นก็ดี รวมกันเข้าแล้วก็สามารถที่จะทำให้มีพายุไฟฟ้าอย่างรุนแรงเกิดขึ้นได้เป็นประจำ ภูเขาไฟก็ระเบิดบ่อยทำให้สภาพผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป และหินละลายก็จะไหลมาสะสมอยู่บนผิวโลกมากกว่าปกติ ทำให้เกิดแหล่งพลังงานความร้อนอยู่ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีด้วย ซึ่งในสมัยนั้นจะมีธาตุจำพวกนี้อยู่เป็นจำนวนมาก และประการสุดท้ายก็คือ พื้นผิวโลกในสมัยนั้นถูกอาบไปด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มสูงมาก จนถ้าเป็นในสมัยนี้แล้วความเข้มจำนวนนั้นจะสามารถทำลายล้างสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งบนและเหนือผิวโลกขึ้นไปได้ทีเดียว แต่เท่าที่ปรากฏในปัจจุบัน จะเห็นว่าความเข้มของรังสีอุลตราไวโอเล็ตก็มิได้อยู่ในขั้นเป็นอันตรายต่อชีวิต ทั้งนี้มิใช่เพราะว่าดวงอาทิตย์ได้ลดอัตราการส่งรังสีนี้มายังโลก แต่เป็นเพราะบรรยากาศของโลกปัจจุบันมีออกซิเจนอยู่มาก ทำให้เกิดชั้นของโอโซนขึ้น ซึ่งสามารถกรองเอารังสีอุลตราไวโอเล็ตที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ออกไปได้ จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่า โลกในยุคแรกเริ่มจะเป็นโลกที่ปราศจากชีวิต อันมีบรรยากาศแตกต่างไปจากปัจจุบัน เต็มไปด้วยแหล่งพลังงานความร้อน ถูกอาบด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ต และมีพายุไฟฟ้าเกิดขึ้นในขนาดที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกับโลกปัจจุบันได้เลย

CM 351 11

จากการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของโลกในยุคแรกเริ่ม ทั้ง Oparin และ Haldane ได้สรุปว่า พลังงานที่มีอยู่ทั้งในบรรยากาศและบนผิวโลกนั้นจะมีจำนวนมากเพียงพอ ที่จะทำให้ก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศทำปฏิกิริยากัน แล้วเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ และต่อไปเมื่อความเข้มข้นของสารต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มขึ้น ก็จะเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเหล่านี้ เกิดเป็นอินทรียสารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งในจำนวนนี้จะมีอยู่หลายชนิดที่พบในระบบของสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างได้แก่ กรดอมิโน (amino acid) อันเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และน้ำตาล เป็นต้น โปรตีนทำหน้าที่หลายอย่างในเซลล์ ที่สำคัญก็เช่น เป็นตัวเร่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต อันจะทำให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ ส่วนน้ำตาลก็เป็นอินทรียสารที่สำคัญ เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานสำหรับชีวิต และยังเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย สารอีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นอินทรียสารที่ซับซ้อน อันเกิดมาจากการรวมตัวกันของอินทรียสารที่มีโมเลกุลเล็กกว่า ได้แก่ กรดนิวคลีอิค (nucleic acid) คือ RNA และ DNA สารประเภทนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดรูปร่างและความประพฤติของสิ่งมีชีวิต โดยจะถูกส่งผ่านจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลาน

สมมุติฐานวิวัฒนาการเคมีของ Oparin และ Haldane อ้างว่า อินทรียสารที่สำคัญเหล่านี้ เกิดขึ้นมาได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมของโลกในยุคแรกเริ่ม จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อินทรียสารทั้งหลายก็จะทำปฏิกิริยาระหว่างกันผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มากมาย จนเกิดเป็นระบบที่มีชีวิตขึ้นมาในที่สุด ในช่วงระยะเวลาที่สมมุติฐานนี้ถูกตั้งขึ้นมาใหม่คือในราวคริสต-ศักราช 1920 นั้น วงการวิทยาศาสตร์ยังไม่ได้ยอมรับในทันที ทั้งนี้เพราะต่างก็มีความสงสัยว่าปฏิกิริยาทั้งหลายที่ Oparin และ Haldane อ้างว่าจะเกิดขึ้นได้เองนั้น จริง ๆ แล้วจะเกิดขึ้นเองโดยมีเพียงธรรมชาติเป็นตัวควบคุมหรือ



รูปที่ 2-1 เครื่องมือที่ Stanley Miller ใช้ในการทดลองสังเคราะห์ชีวโมเลกุลขึ้น จากสารตั้งต้นที่มีในบรรยากาศสมัยก่อน

จนกระทั่งในปีคริสตศักราช 1953 Stanley Miller นักศึกษาชาวอเมริกันจึงได้ทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานของ Oparin - Haldane โดยใช้เครื่องมือตามรูปที่ 2-1 ซึ่งเป็นระบบปิด ภายในบรรจุมีเธน แอมโมเนีย ไฮโดรเจน และน้ำ เพื่อเลียนแบบบรรยากาศในยุคแรกเริ่ม จากนั้นทำการฆ่าเชื้อ โดยให้ความร้อน 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญคือทำให้แน่ใจได้ว่าถ้าก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์จริง สารประกอบเหล่านั้นจะมิได้เกิดมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ภายในเครื่องมือ ต่อไปก็ให้มีการ spark ระหว่างอีเล็คโทรดผ่านอากาศที่อยู่ในส่วนบนของเครื่องมือ แล้วปล่อยให้ขบวนการนี้ดำเนินไปเป็นเวลา 7 วัน จึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ พบว่าผลที่ได้จากการทดลองนี้สนับสนุนสมมุติฐานของ Oparin - Haldane อย่างแจ่มชัด กล่าวคือจะพบสารชีวโมเลกุลหลาย

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

มิลเลอร์ได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่า สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ นั้น เกิดขึ้นจากขบวนการของปฏิกิริยาดังนี้ คือ

$$CH_4 + NH_3 \longrightarrow HCN + 3H_2 \quad \text{------1}$$

$$C_2H_4 + HCN \longrightarrow CH_3CH_2CN \quad \text{------2}$$

nitrile

$$CH_3CH_2CN + 2H_2O \longrightarrow CH_3CH_2COOH + NH_3 \quad \text{------3}$$

propionic acid

$$CH_3CHOHCN + NH_3 \longrightarrow CH_3CHNH_2CN + H_2O \quad \text{------4}$$

aminonitrile

$$CH_3CHNH_2CN + 2H_2O \longrightarrow CH_3CHNH_2COOH + NH_3 \quad \text{------5}$$

alanine

ปฏิกิริยาแรกเป็นการรวมตัวกันระหว่างมีเธนและแอมโมเนียซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศได้ไฮโดรไซยาไนด์ (hydrocyanide, HCN) และในขณะเดียวกันพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนมีเธนให้กลายเป็นเอธิลีน (ethylene, C_2H_4) และไฮโดร์คาร์บอนตัวอื่น ๆ ได้ด้วย จากนั้นไฮโดรไซยาไนด์ก็จะทำปฏิกิริยากับเอธิลีนเกิดเป็นไนไตรล์ (nitrile) ซึ่งจะถูกสลายต่อไปให้ได้กรดโพรพิโอนิค (propionic acid) เกิดขึ้น (ปฏิกิริยาที่ 2 และ 3) ในทำนองเดียวกันอัลฟาไฮดรอกซีไนไตรล์ก็สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นอัลฟาอมิโนไนไตรล์ แล้วถูกสลายต่อจนได้กรดอัลฟา-อมิโนเกิดขึ้นคืออลานีน (ปฏิกิริยาที่ 4 และ 5)

จากนี้เป็นต้นมา ก็มีผู้ทำการทดลองต่อไปอีก เช่น Sidney Fox และผู้ร่วมงานได้แสดงให้เห็นว่า ถ้านำเอาส่วนผสมของกรดอมิโนหลาย ๆ ชนิดมาให้ความร้อน โมเลกุลเหล่านี้จะเกิดการเชื่อมต่อกัน ทำให้ได้สารชนิดใหม่ที่มีลักษณะเหมือนโปรตีน ต่อมา Cyril Ponnamperuma

และผู้ร่วมงานได้แสดงให้เห็นอีกว่า ภายใต้สภาพของโลกยุคเริ่มแรกรวมกับแหล่งพลังงาน รังสีอุลตราไวโอเล็ต และพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมเหล่านี้จะไม่เพียงทำให้เกิดกรดอมิโนขึ้นเท่านั้น แต่น้ำตาลและสารประกอบน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อนก็จะเกิดขึ้นได้ อันรวมทั้งกรดนิวคลีอิคด้วย

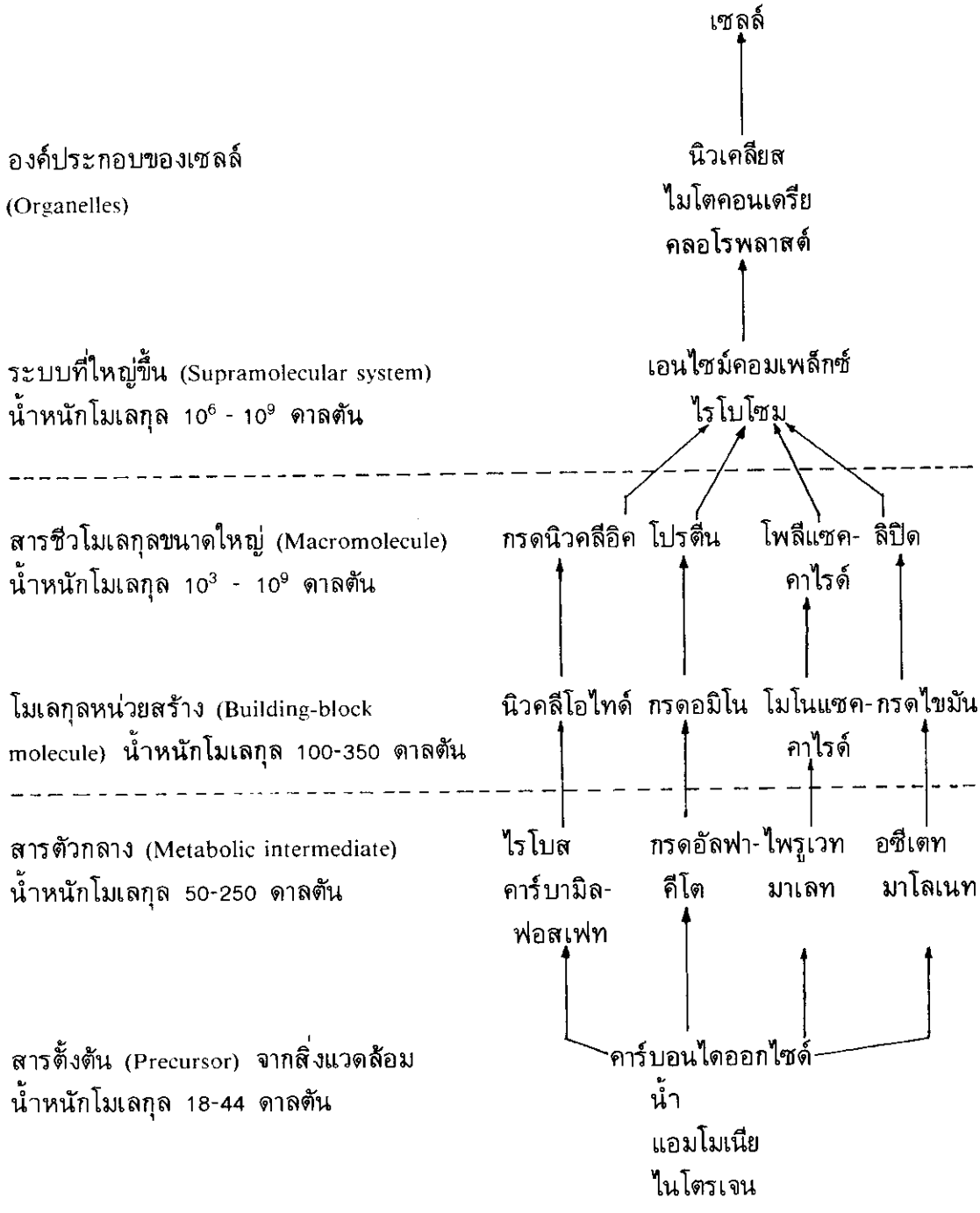
จากการทดลองทั้งหลายในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทำให้สมมุติฐานของ Oparin และ Haldane มีทีท่าว่าน่าจะเป็นคำอธิบายที่ดีที่สุดในเรื่องต้นกำเนิดของชีวิต แม้ว่าทฤษฎีวิวัฒนาการเคมีนี้จะไม่ได้บอกรายละเอียดจนถึงขั้นตอนสุดท้ายในการเกิดเป็นสิ่งมีชีวิตขึ้นมาเลยก็ตาม

2.2 การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์สิ่งมีชีวิต

ชีวโมเลกุลที่พบในสิ่งมีชีวิตจะมีการจัดระบบ จากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำขึ้นไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นด้วย 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) จากนั้นโมเลกุลหน่วยสร้างจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) เพื่อเกิดเป็นชีวโมเลกุลซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไปอีก คือประมาณ 10^3 - 10^9 ดาลตัน โดยที่นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) จะเป็นหน่วยสร้างของกรดนิวคลีอิค กรดอมิโนเป็นหน่วยสร้างของโปรตีน โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) เป็นหน่วยสร้างของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) และกรดไขมัน (fatty acid) เป็นหน่วยสร้างของลิปิด (lipid) ส่วนใหญ่

ชีวโมเลกุลชนิดต่าง ๆ นี้จะมารวมตัวกันเข้าเป็นระบบที่ใหญ่ขึ้น (supramolecular system) มีน้ำหนักโมเลกุล 10^6 - 10^9 ดาลตัน ตัวอย่างเช่น ไรโบโซม (ribosome) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดนิวคลีอิคและโปรตีน โดยใช้พันธะที่ไม่ใช่โควาเลนท์ (noncovalent bond) เช่น พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วอลล์ (Van der Waals force) เป็นต้น

ระดับสูงสุดของการจัดระบบในเซลล์ก็คือ supramolecular system ต่าง ๆ จะรวมตัวกันเข้าเป็นองค์ประกอบของเซลล์ (cell organelles) เช่น นิวเคลียส ไมโตคอนเดรีย และ คลอโรพลาสต์ โดยการรวมตัวนี้ก็อาศัยแรงยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยพันธะที่ไม่ใช่โควาเลนท์อีกเช่นกัน



รูปที่ 2-2 การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยเรียงลำดับจากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและพบในสิ่งแวดล้อม ไปเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีความซับซ้อนและน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นตามลำดับ

2.3 หน้าที่ของสารชีวโมเลกุล

สารชีวโมเลกุลพวกใหญ่ ๆ มี 4 พวก ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือน ๆ กันในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิด คือ

1. กรดนิวคลีอิค 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

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

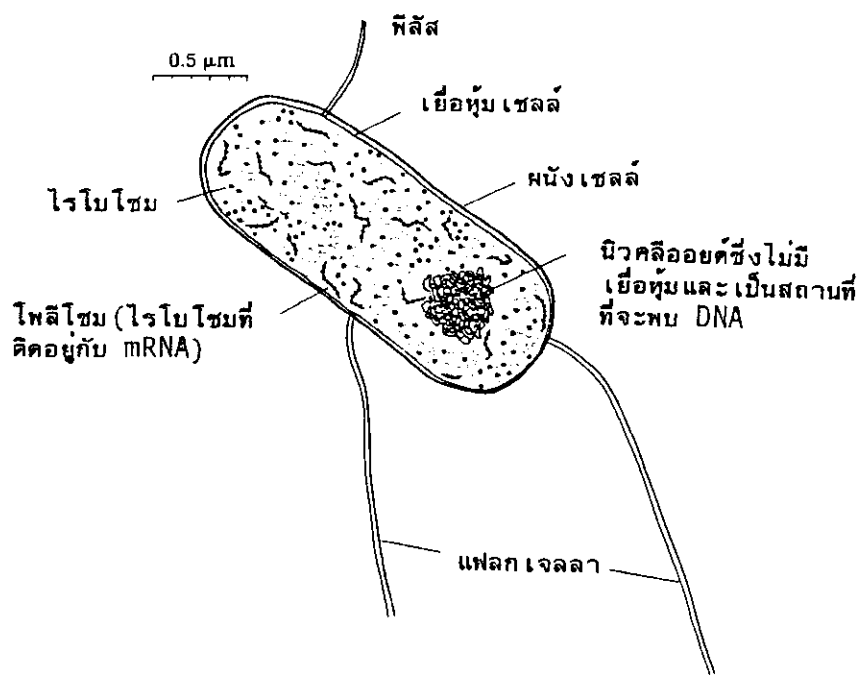
2.4 โครงสร้างของเซลล์

เซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ตามลักษณะการจัดระบบของส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์ คือ

2.4.1 โปรคาริโอติคเซลล์ (procaryotic cells) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่แบ่งส่วนของนิวเคลียสให้เห็นเด่นชัดมีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน โดยปกติแล้วมักจะอยู่ตามลำพังโดยไม่ต้องเกี่ยวข้องกับเซลล์อื่น ๆ เลย ขนาดทั่วไปของเซลล์ อยู่ระหว่าง 0.5-3 ไมโครเมตรและอาจมีรูปกลม เป็นแท่งยาวหรือขดเป็นเกลียวก็ได้

โปรคาริโอติคเซลล์เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และมีจำนวนมากในโลก ตัวอย่างเช่น บางชนิดสามารถทวีคูณได้ทั้งในด้านขนาด น้ำหนัก และจำนวนภายในเวลาเพียง 20 นาที นอกจากนี้โปรคาริโอท (procaryotes) ยังมีความยืดหยุ่นในเรื่องของสารอาหาร (nutrients) อีกด้วย กล่าวคือ สามารถที่จะใช้สารอาหารจากสิ่งแวดล้อมได้หลายประเภท และยังสามารถเลือกใช้สารอาหารที่ดีที่สุดจากที่มีอยู่มากมายหลายประเภทนั้นได้ด้วย ซึ่งความสามารถประการนี้เอง ทำให้โปรคาริโอทปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในสภาวะต่าง ๆ ได้ดี

โปรคาริโอติคเซลล์นอกจากไม่มีนิวเคลียสแล้ว ยังไม่มีเยื่อภายในที่ใช้สำหรับหุ้มห่อส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ด้วย รูปที่ 2-3 จะแสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของโปรคาริโอติคเซลล์ประเภทที่สังเคราะห์แสงไม่ได้ โดยยกตัวอย่างของบักเตรี **Escherichia coli** อันเป็นจุลินทรีย์ที่พบในลำไส้ของมนุษย์ และเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดที่ถูกใช้ในการศึกษาวิจัยมากที่สุด โครงสร้างจากนอกสุดเข้าไป จะเรียงลำดับดังนี้



รูปที่ 2-3 โครงสร้างของเซลล์ E. coli ซึ่งมีขนาดเซลล์โดยประมาณเท่ากับ 0.8×0.8×2.0 ไมโครเมตร

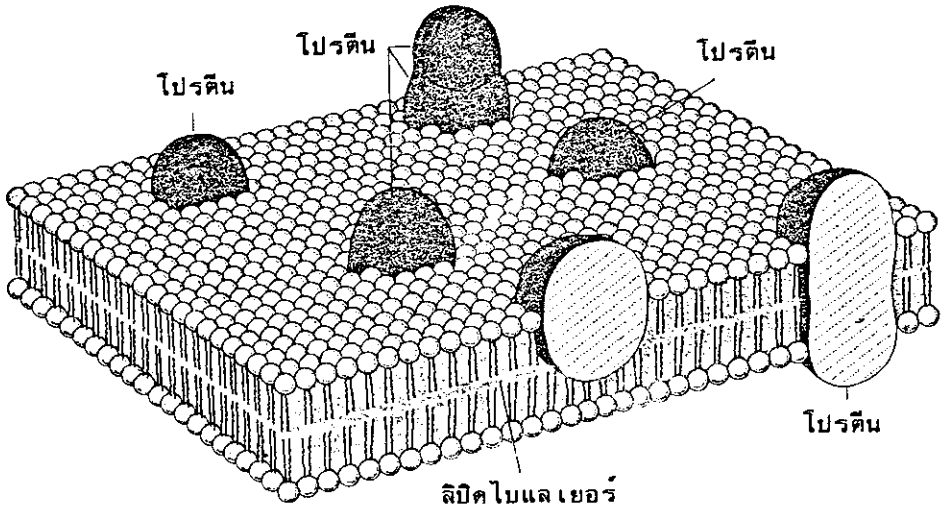
1. **ผนังเซลล์** (cell wall) จะช่วยแยกเซลล์บักเตรีออกจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ประกอบขึ้นจากเปปไทด์และโพลีแซคคาไรด์ มีความหนาอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 นาโนเมตร ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากจึงทำให้เซลล์บักเตรีสามารถคงรูปอยู่ได้ แม้ว่าความเข้มข้นของเมตาบอไลต์ (metabolites) ทั้งหมดภายในเซลล์จะสูงกว่าความเข้มข้นของสารแวดล้อมภายนอกก็ตาม ผนังเซลล์จะมีเยื่อห่อหุ้มอยู่ข้างนอกสุดอีกทีหนึ่ง ซึ่งเยื่อนี้จะเป็นลิปิดและคาร์โบไฮเดรท

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

2. **แฟลกเจลลาและพีไล** (flagella and pili) ที่ผิวหน้าของบักเตรีหลายชนิดจะมีหนวดลักษณะยาวเล็กเหมือนเส้นด้าย เรียกว่า แฟลกเจลลาและพีไล ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 ถึง 18 นาโนเมตร และยาวได้ถึง 20 ไมโครเมตร แฟลกเจลลาประกอบขึ้นจากโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ชื่อแฟลกเจลลิน (flagellin) มีหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ โดยจะทำให้เซลล์วิ่งไปข้างหน้าได้ด้วยอัตราเร็วถึง 50 ไมโครเมตรต่อวินาที อันนับว่าเร็วมากสำหรับบักเตรีซึ่งมีขนาดยาวเพียงประมาณ 1 ถึง 2 ไมโครเมตรเท่านั้น สำหรับพีไลจะสั้นและบางกว่าแฟลกเจลลา และมีหน้าที่ต่างกัน กล่าวคือถ้าเป็นคอนจูกัลพีไล (conjugal pili) เช่นที่พบใน **E. coli** ก็จะใช้ในการรวมตัวแบบมีเพศ (sexual conjugation) แต่ถ้าเป็นโซมาติคพีไล (somatic pili) จะช่วยให้บักเตรีสามารถยึดเกาะกับผิวหน้าที่ต้องการได้

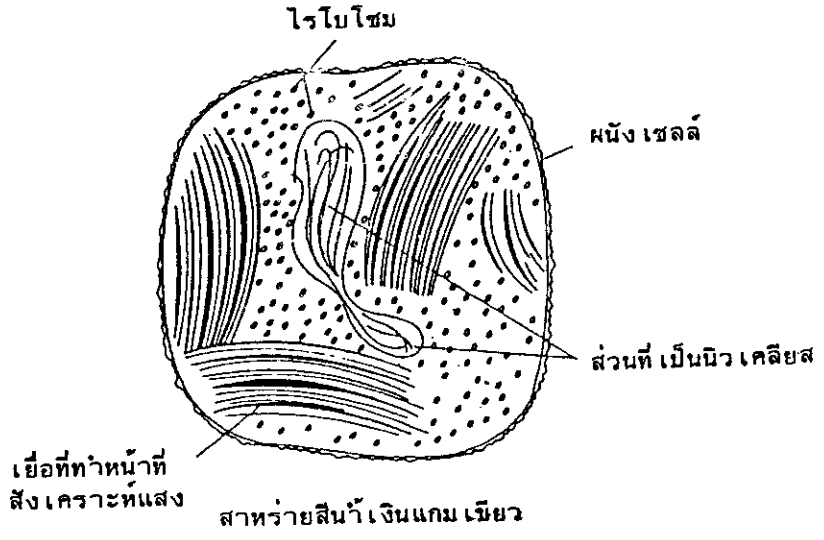
3. **เยื่อหุ้มเซลล์** พบในเซลล์ทุกชนิด และจะมีลักษณะที่เหมือน ๆ กันไม่ว่าจะพบในเซลล์ชนิดใดก็ตาม กล่าวคือ เป็นตัวที่ยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกระหว่างเซลล์และสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ เยื่อหุ้มเซลล์จะหนาประมาณ 9 นาโนเมตร และประกอบขึ้นจากชั้นของลิปิด 2 ชั้น (lipid bilayer) ซึ่งมีโปรตีนฝังตัวอยู่ (รูปที่ 2-4)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

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



รูปที่ 2-4 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์

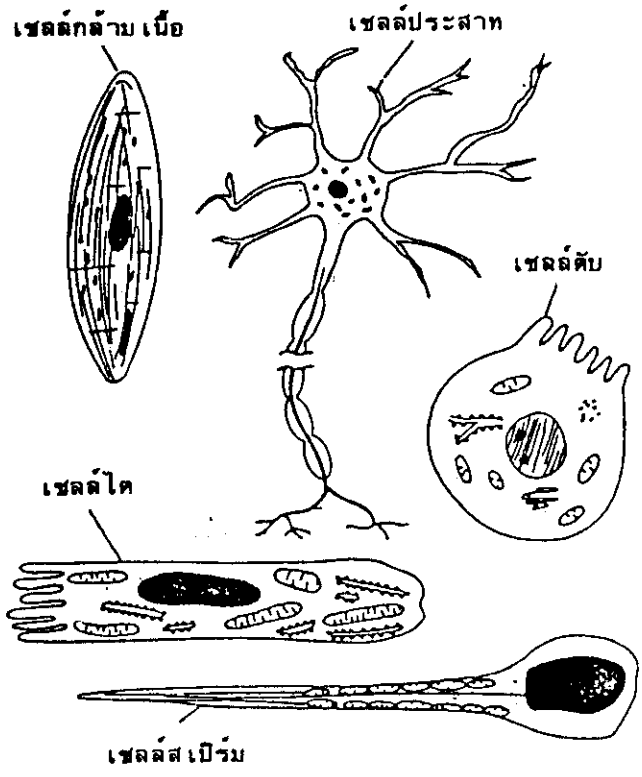
5. **ไรโบโซม** (ribosomes) ข้อความทางพันธุกรรมใน DNA จะถูกถ่ายทอดต่อไปด้วยขบวนการทรานสคริปชั่น (transcription) แล้วเกิดเป็นกรดไรโบนิวคลีอิค หรือ RNA ซึ่งจะถูกแปลรหัสต่อไปได้โปรตีนเกิดขึ้น โดยสถานที่สังเคราะห์โปรตีนก็คือที่ไรโบโซมนั่นเอง ไรโบโซมจะมีลักษณะกลมและขรุขระ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 18 นาโนเมตร ประกอบไปด้วยโปรตีนราว 50 ชนิด และกรดไรโบนิวคลีอิค 2 ชนิด



รูปที่ 2-5 โครงสร้างของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green alga) ซึ่งเป็นโปรคาริโอติคเซลล์ประเภทที่สังเคราะห์แสงได้

ยังมีโปรคาริโอทอีกประเภทหนึ่งซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ (รูปที่ 2-5) พวกนี้จะมีผนังเซลล์ ส่วนของนิวเคลียส และไรโบโซมเหมือนพวกแรก และมีส่วนพิเศษเพิ่มขึ้นมา คือ photosynthetic membranes ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่ดูดพลังงานจากแสง หาสารสำหรับใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง และปล่อยออกซิเจนออกสู่บรรยากาศ

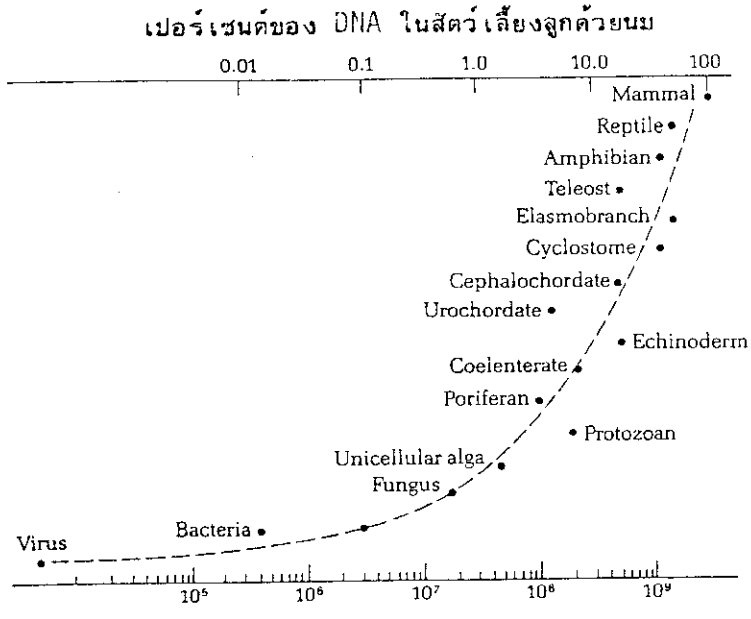
2.4.2 ยูคาริโอติคเซลล์ (eucaryotic cells) มีขนาดใหญ่กว่าโปรคาริโอติคเซลล์ 1,000-10,000 เท่า เซลล์สิ่งมีชีวิตชั้นสูงทุกชนิดจะถูกจัดอยู่ในประเภทนี้ทั้งสิ้น ยูคาริโอติคเซลล์จะมีรูปร่างแตกต่างกันไปหลายแบบ เพื่อทำหน้าที่ในส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ได้อย่างเหมาะสม (รูปที่ 2-6) เซลล์เหล่านี้จะมีการทำงานประสานกัน ดังนั้นแต่ละเซลล์จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อความอยู่รอดมากเหมือนในกรณีโปรคาริโอท ตัวอย่างของยูคาริโอติคเซลล์ ได้แก่ เซลล์พืชและสัตว์ชั้นสูง เป็นต้น



รูปที่ 2-6 รูปร่างต่าง ๆ ของยูคาริโอติคเซลล์ที่พบในมนุษย์

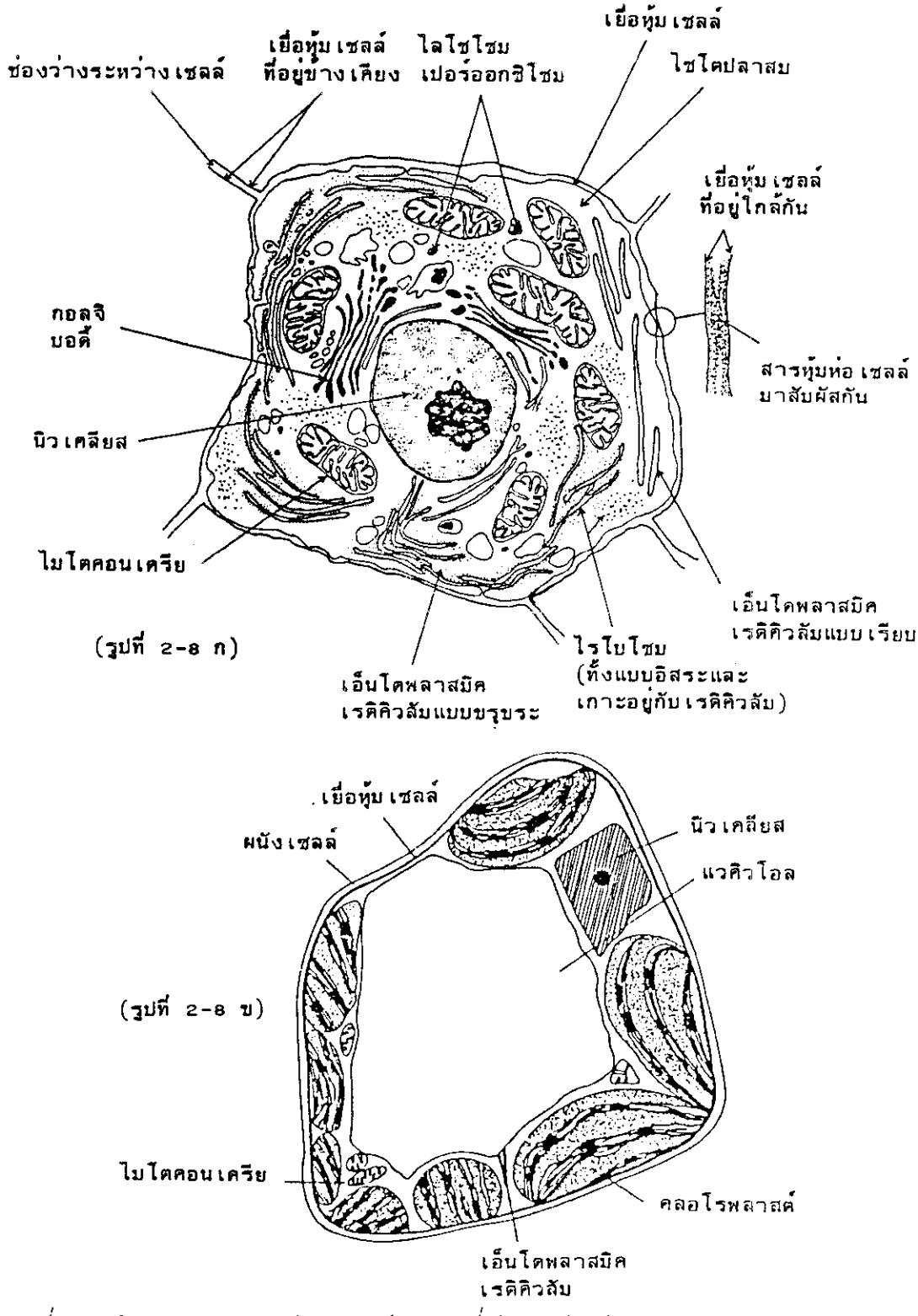
โครงสร้างของยูคาริโอติคเซลล์จะมีความซับซ้อนมากกว่าโปรคาริโอติคเซลล์ โดยดูจากจำนวนส่วนประกอบที่เป็น DNA ซึ่งในขณะที่เซลล์ของ E. coli มี DNA เพียง 1 สาย

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 โครงสร้างของยูคาริโอติคเซลล์ประเภทที่เป็นเซลล์สัตว์ (ก) และเซลล์พืช (ข)

ความพิเศษอีกประการหนึ่งของยูคาริโอติคเซลล์ก็คือ การที่มีระบบเยื่อหุ้มอยู่ภายในเซลล์ด้วย ตัวอย่างเช่น เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัม (endoplasmic reticulum) อันเป็นระบบเยื่อหุ้มที่เป็นทางเชื่อมต่อจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ หรือเยื่อหุ้มนิวเคลียสที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นต้น ถ้าจะเปรียบเทียบความแตกต่างขององค์ประกอบภายในเซลล์ของยูคาริโอทและโปรคาริโอทแล้ว จะได้ดังแสดงในตารางที่ 2-1 คือ

องค์ประกอบของเซลล์	โปรคาริโอท	ยูคาริโอท
นิวเคลียส	ไม่มีและ DNA ไม่ถูกห่อหุ้ม	มี
นิวคลีโอลัส	ไม่มี	มีหนึ่งหรือมากกว่า
เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัม	ไม่มี	มี
กอลจิคอมเพล็กซ์	ไม่มี	มี
ไมโตคอนเดรีย	ไม่มี โดยพลังงานจากขบวนการออกซิเดชั่นจะเกิดที่เยื่อหุ้มเซลล์	มี
คลอโรพลาสต์	ไม่มี โดยการสังเคราะห์แสงจะเกิดที่บริเวณที่เรียกว่าโครมาโตฟอร์ (chromato phore)	มี
ไลโซโซม	ไม่มี	มี
ไรโบโซม	มี	มี
เยื่อหุ้มเซลล์	มี	มี

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงความแตกต่างขององค์ประกอบบางส่วนในยูคาริโอติคและโปรคาริโอติคเซลล์

สำหรับหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ บางส่วนภายในยูคาริโอติคเซลล์จะมีดังนี้ คือ

1. **ผนังเซลล์และสารหุ้มห่อผิวหน้าเซลล์** เซลล์พืชและปักเตรีที่เป็นยูคาริโอทหลายชนิดจะมีผนังเซลล์เหมือนเช่นที่พบในพวกโปรคาริโอท ผนังนี้จะมีความแข็งแรงและประกอบขึ้นจากโพลีแซคคาไรด์ แต่ถ้าเป็นเซลล์พืช ส่วนประกอบสำคัญจะได้แก่เซลลูโลส สำหรับเซลล์สัตว์จะไม่มีผนังเซลล์

ที่ผิวนอกของเซลล์ส่วนมากไม่ว่าจะอยู่ในรูปที่เป็นผนังเซลล์หรือเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ก็ตาม มักจะถูกปกคลุมด้วยสารเหนียว ๆ เรียกว่าสารหุ้มห่อเซลล์ (cell coat) ซึ่งส่วนประกอบของสารนี้จะแปรผันไปในแต่ละเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องเป็นโพลีแซคคาไรด์อยู่ร่วมกับองค์ประกอบอื่น เช่นโปรตีนและลิปิด นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดในส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ยังยื่นออกมาในชั้นผิวหน้านี้ด้วย ในเนื้อเยื่อที่มีเซลล์จำนวนมาก สารหุ้มห่อของเซลล์ที่อยู่ใกล้กันจะบรรจบกัน (ดูรูปที่ 2-8 ก) ซึ่งเชื่อว่าทำให้เซลล์เหล่านี้มีการติดต่อระหว่างกันได้ ทำให้เกิดผลในการควบคุมการเจริญเติบโตและแบ่งตัวของเซลล์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า contact inhibition อันพบในเซลล์ปกติแต่ไม่พบในเซลล์มะเร็ง ได้มีหลักฐานบ่งชี้ว่าถ้าส่วนประกอบของสารห่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไปแล้ว จะทำให้เซลล์ปกติแปรรูปเป็นเซลล์มะเร็ง

2. เยื่อหุ้มเซลล์ มีหน้าที่ทั่ว ๆ ไปเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นในโปรคาริโอทหรือยูคาริโอท กล่าวคือ เป็นตัวแบ่งแยกแต่ละเซลล์ออกจากกัน ป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์ ตลอดจนควบคุมการผ่านเข้าสู่หรือออกจากเซลล์ของสารต่าง ๆ เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการค้นพบหน้าที่ใหม่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งหน้าที่นี้จะแตกต่างกันไปในสิ่งมีชีวิต ขึ้นกับชนิดของสปีชีส์ เซลล์ และสภาพทางกายภาพ หน้าที่ที่กล่าวถึงจะเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงมากชนิดหนึ่งเรียกว่า รีเซปเทอร์โปรตีน (receptor protein) ซึ่งอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนชนิดนี้จะทำงานโดยการรวมตัวกับสารเฉพาะทางด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วผลจากการรวมตัวที่เกิดขึ้น จะไปกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์อื่น ๆ ทางด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ จากนั้นก็เกิดต่อเนื่องไปในเซลล์ อันจะเป็นสัญญาณให้ปฏิกิริยาหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นหรือหยุดลงได้ คือเกิดการควบคุมเมตาบอลิสม (metabolism) ของเซลล์ขึ้นนั่นเอง

3. นิวเคลียส เป็นองค์ประกอบส่วนที่ใหญ่เป็นที่สองของยูคาริโอติคเซลล์ โดยมีขนาดใหญ่กว่า E. coli 10-20 เท่า รอบ ๆ นิวเคลียสจะมีเยื่อ 2 ชั้นหุ้มอยู่ เรียกว่า nuclear membrane หรือ nuclear envelope เยื่อนี้จะมีรูเปิด (pore) อยู่เป็นระยะ ๆ เพื่อให้โมเลกุลของ RNA ทั้งสามชนิดที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในนิวเคลียสสามารถผ่านออกไปสู่ไซโตปลาสมได้ ภายในนิวเคลียสเรียกว่านิวคลีโอปลาสม (nucleoplasm) ส่วนที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมเรียกว่านิวคลีโอลัส (nucleolus) ซึ่งอาจจะมีเพียงหนึ่งหรือถึงสามสี่นิวคลีโอลัสต่อหนึ่งนิวเคลียสก็ได้ นิวคลีโอลัสนี้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและขนส่ง rRNA ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไรโบโซมออกไปยังไซโตปลาสมเพื่อเกิดการรวมตัวเป็นไรโบโซมที่สมบูรณ์ต่อไป ในส่วนนิวคลีโอปลาสมทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่ใกล้เยื่อหุ้มนิวเคลียสนั้น จะมีกรดนิวคลีอิคประเภท DNA อยู่รวมกับโปรตีนพวกฮิสโตน (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 ซึ่งการสังเคราะห์โปรตีนนั้นเกิดในส่วนไซโตปลาสม

3. จะเกิดการลอกแบบแล้วส่งต่อไปยังเซลล์รุ่นต่อไป เพื่อรักษาสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ ให้คงเดิมเสมอ

4. เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัม เป็นระบบเนื้อเยื่อซึ่งเริ่มต้นจากเยื่อหุ้มชั้นนอกของนิวเคลียส ผ่านไปตามไซโตปลาสมแล้วไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ บริเวณใดที่มีไรโบโซมเกาะติดอยู่ด้วยเรียกว่า เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมชนิดขรุขระ (rough endoplasmic reticulum, RER) ที่ได้ชื่อนี้ก็มาจากลักษณะของ RER ที่มองเห็นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์นั่นเอง กับอีกประเภทหนึ่งคือเอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมชนิดเรียบ (smooth endoplasmic reticulum, SER) อันเป็นบริเวณที่ไม่มีไรโบโซมมาเกาะ สำหรับหน้าที่ของทั้งสองส่วนนี้จะต่างกัน โดย RER จะทำหน้าที่ ผลิต เก็บ ดัดแปลง หรือขนส่งโปรตีนที่ถูกผลิตออกมาจากไรโบโซมไปยังส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ รวมทั้งส่งออกสู่ภายนอกเซลล์ด้วย โดยเมื่อโปรตีนถูกสังเคราะห์ขึ้นแล้ว ก็จะผ่านเข้าไปภายในเรติคิวลัมซึ่งเรียกว่า cisternal space เพื่อออกสู่ผิวหน้าของเซลล์ 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 สำหรับเอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมทั้ง RER และ SER ของเซลล์ตับ จะเกี่ยวข้องกับการสลายและดัดแปลงยาบางชนิด ตัวอย่างเช่น ยานอนหลับพวกฟีโนบาร์บิตอล (phenobarbital) ซึ่งจะถูกสลายให้เป็นสารประกอบที่ไม่ว่องไว โดยใช้เอนไซม์ที่มีอยู่ในเอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมของเซลล์ตับนั้น

ถ้าทำให้เซลล์ปกติแตกออกด้วยวิธีการต่าง ๆ ส่วนมากแล้วเรติคิวลัมจะถูกตัดออกเป็นส่วนเล็กลงด้วย ซึ่งส่วนเล็ก ๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกว่าไมโครโซม (microsomes)

5. กอลจิคอมเพล็กซ์หรือกอลจิบอดี้ (golgi complex หรือ golgi body) บางครั้งจะถูกเรียกว่าดิคทีโอโซม (dictyosome) พบในไซโตปลาสมของเซลล์พืชและสัตว์ส่วนมาก ลักษณะเป็น vesicle แบน ๆ ยาว ๆ มีเยื่อหุ้มโดยรอบโดยผิวหน้าของเยื่อจะเป็นชนิดเรียบ กอลจิคอมเพล็กซ์ต่างจากเอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมตรงที่จะมีขนาดค่อนข้างจำกัด และมักจะพบบริเวณใกล้ ๆ นิวเคลียสหรือใกล้ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยสารออกจากเซลล์ ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า หน้าที่หนึ่งของกอลจิคอมเพล็กซ์ก็คือรับเอาโปรตีนมาจากระบบ RER - SER แล้วทำให้โปรตีนเข้มข้นขึ้นและอยู่ในรูปเป็นกลุ่มก้อนเพื่อส่งออกนอกเซลล์ต่อไป อีกหน้าที่หนึ่งจะได้แก่การทำให้โปรตีนบางชนิดเข้มข้นขึ้นแล้วถูกหุ้มห่อด้วยเยื่อหุ้มแต่ยังคงอยู่ในเซลล์ ตัวอย่างได้แก่ไลโซโซม (lysosomes) นอกจากนี้ยังพบอีกว่ากอลจิคอมเพล็กซ์เป็นสถานที่สังเคราะห์คาร์โบไฮเดรทบางชนิดด้วย เช่น เซลลูโลส อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช หรือคาร์โบไฮเดรทบางชนิดที่เป็นเยื่อบุผนังในบริเวณลำไส้ใหญ่ และเมื่อถูกส่งออกจากเซลล์แล้ว สารพวกนี้จะไปสะสมอยู่ที่ด้านนอกของชั้นสารหุ้มห่อเซลล์

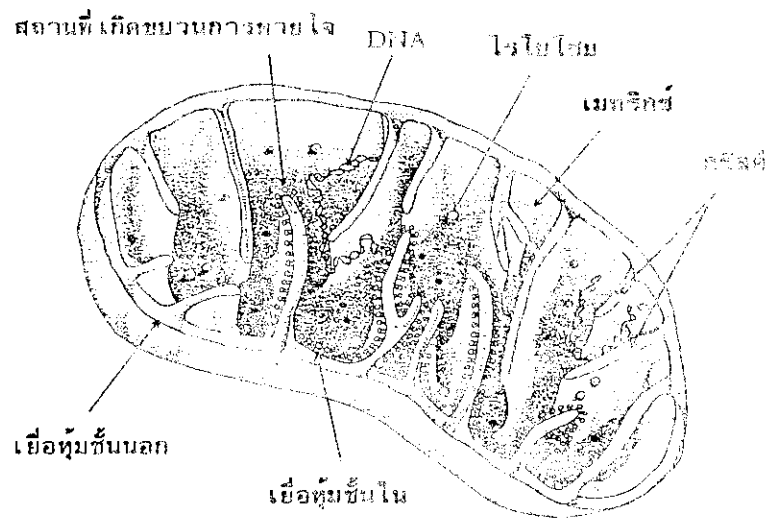
6. ไมโครบอดี้ส์ (microbodies) ยูคาริโอติคเซลล์เกือบทั้งหมดจะมีองค์ประกอบเล็ก ๆ ที่ถูกหุ้มห่อด้วยเยื่อหุ้มชั้นเดียวอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน (10-1,000 ต่อเซลล์) ซึ่งส่วนนี้เรียกรวม ๆ ว่าไมโครบอดี้ส์ อันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 1.5 ไมโครเมตร ภายในจะมีโปรตีนความเข้มข้นสูงอยู่หลายชนิด โดยโปรตีนทั้งหมดเท่าที่พบในไมโครบอดี้ส์จะมีถึงประมาณ 100 ชนิด แต่จำนวนและชนิดของโปรตีนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไมโครบอดี้ส์และเซลล์ ต้นกำเนิดของไมโครบอดี้ส์เกิดได้ 2 ทางคือ เกิดมาจากกอลจิคอมเพล็กซ์หรือระบบ RER-SER

ในปีคริสตศักราช 1952 ได้มีการค้นพบไมโครบอดี้ส์ประเภทที่มีชื่อว่าไลโซโซม ซึ่งบรรจุเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก หลาย ๆ ตัวในจำนวนนี้จะใช้ในการย่อยสลายโปรตีน กรดนิวคลีอิค และคาร์โบไฮเดรท โดยไปเร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะในโพลีเมอร์เหล่านี้ ไลโซโซมจึงมีหน้าที่ในการทำลายส่วนประกอบของเซลล์ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมเช่นบักเตรีที่เม็ดเลือด

ขาวมักจะนำเข้ามาในเซลล์ด้วย นอกจากนี้ยังเข้าใจกันอีกว่า การที่เซลล์ทำลายตัวเองได้ (autolysis) หลังจากที่ตายแล้วนั้น ก็เป็นผลเนื่องมาจากการที่ไลโซโซมแตกตัวออก ทำให้เอนไซม์ย่อยสลาย (hydrolytic enzyme) หลายชนิดถูกปล่อยออกมาและเกิดการทำงานขึ้น ซึ่งความสามารถประการนี้นอกจากจะมีบทบาทที่สำคัญในกรณีที่เซลล์ตายลงแล้ว ยังมีบทบาทในการกำจัดบางส่วนของร่างกายที่สิ่งมีชีวิตไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ในบางขณะของการเจริญเติบโตได้อีกด้วย เช่น การกำจัดหางของลูกอ๊อดออกไปในขณะที่จะกลายเป็นกบ

ต่อมาในปีคริสตศักราช 1966 ก็พบไมโครบอดี้ส์อีกชนิดหนึ่งคือเปอร์ออกซิโซม (peroxisomes) ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือสลายเปอร์ออกไซด์ (เช่นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์)อยู่หลายชนิด ขนาดของเปอร์ออกซิโซมบางครั้งจะใหญ่เท่ากับไลโซโซม แต่บางครั้งก็จะเล็กกว่าโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1-0.5 ไมโครเมตร เอนไซม์ที่พบมากที่สุดจะได้แก่ คะตาเลส (catalase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เป็นพิษให้กลายเป็นน้ำและออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในเมตาบอลิสมของลิปิดและคาร์โบไฮเดรทอีกด้วย สำหรับในเซลล์พืชจะพบไมโครบอดี้ส์ชนิดที่มีเอนไซม์ที่ใช้ในการเปลี่ยนลิปิดให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรท โดยผ่านทางสารตัวกลางชนิดหนึ่งคือกรดไกลออกซาลิค (glyoxalic acid) ดังนั้นจึงเรียกไมโครบอดี้ส์พวกนี้ว่าไกลออกโซโซม (glyoxosomes)

7. ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) จะมีขนาด รูปร่าง และจำนวนแตกต่างกันไปในแต่ละยูคาริโอติคเซลล์ ในเซลล์สัตว์ ไมโตคอนเดรียจะมีลักษณะรูปรี มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1 ไมโครเมตร ยาว 1.5-2 ไมโครเมตร ภายในไมโตคอนเดรียจะเป็นเยื่อที่ที่สารอาหาร



เช่น คาร์โบไฮเดรทและไขมันรวมตัวกับออกซิเจน แล้วได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานเกิดขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งของพลังงานนี้จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานเคมี เพื่อที่เซลล์จะได้นำไปใช้ได้ สำหรับพลังงานที่เหลือก็จะสูญเสียไปเป็นความร้อน เนื่องจากหน้าที่ใหญ่ของไมโตคอนเดรียก็คือ เป็นแหล่งให้พลังงานในการทำงานของเซลล์ ดังนั้นในเซลล์ที่มีการทำงานมากก็จะมีไมโตคอนเดรียอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น เซลล์ตับสามารถที่จะมีไมโตคอนเดรียได้ถึง 1,000 ไมโตคอนเดรียต่อเซลล์ที่เดียว นอกจากนี้จะพบว่าสถานที่ตั้งของไมโตคอนเดรีย จะมีความสัมพันธ์กับบริเวณที่ต้องการใช้พลังงานด้วย ตัวอย่างเช่น ในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานกลนั้น ปรากฏว่าไมโตคอนเดรียจะอยู่ติดกับไฟเบอร์ (fiber) ของกล้ามเนื้อซึ่งเป็นแหล่งที่ใช้พลังงานเลย หรือถ้าเป็นในกรณีของ RER ก็เช่นกัน คือ จะพบว่าไมโตคอนเดรียมักจะอยู่ใกล้กับ RER ซึ่งเป็นสถานที่ที่ต้องการใช้พลังงานเคมีในการสังเคราะห์โปรตีนเป็นจำนวนมาก

เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรียจะเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกเรียบและต่อเนื่องไปตลอด ส่วนชั้นในจะมีการเว้าเข้าไปในบริเวณที่เป็นของเหลวภายในไมโตคอนเดรียซึ่งเรียกว่าเมทริกซ์ (matrix) และส่วนที่ยื่นเข้าไปเรียกว่าคริสตี (cristae) การผลิตพลังงานจะเกิดภายในเยื่อหุ้มชั้นในโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่คริสตีนี้เอง สำหรับเมทริกซ์จะมี DNA และไรโบโซมเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โดยที่ DNA ของไมโตคอนเดรียนี้จะบรรจุข้อความทางพันธุกรรมที่จำเป็นในการลอกแบบของไมโตคอนเดรียเอง แต่อย่างไรก็ตามข้อความทางพันธุกรรมที่มีอยู่ ก็ไม่เพียงพอที่จะใช้ลอกแบบส่วนประกอบทั้งหมดของไมโตคอนเดรียได้ ต้องอาศัยข้อความทางพันธุกรรมจาก DNA ในนิวเคลียสของเซลล์ ที่ไมโตคอนเดรียนั้นเป็นองค์ประกอบอยู่มาช่วยด้วย จึงจะทำให้ได้การลอกแบบที่สมบูรณ์เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกัน ไรโบโซมในไมโตคอนเดรียก็จะเป็นแหล่งสังเคราะห์โปรตีนที่สำคัญต่อการทำงานของมัน แต่โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นมาทั้งหมดนี้ ก็ยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในทุก ๆ หน้าที่ของไมโตคอนเดรียได้ ต้องอาศัยโปรตีนอีกบางส่วนจากการสังเคราะห์ของเซลล์มาช่วยด้วย จึงจะมีโปรตีนใช้อย่างครบบริบูรณ์

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

ในทำนองเดียวกับไมโตคอนเดรีย คลอโรพลาสต์จะมี DNA และไรโบโซมของตัวเอง ซึ่งจะแตกต่างไปจากที่พบในนิวเคลียสและไซโตปลาสมของเซลล์ DNA และไรโบโซมเหล่านี้จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นมาสำหรับคลอโรพลาสต์โดยเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ทำให้คลอโรพลาสต์ต้องอาศัยข้อความทางพันธุกรรมและโปรตีนเพิ่มเติมมาจากเซลล์อีกเช่นกัน

สรุปเนื้อหาสาระสำคัญ

ได้มีผู้เสนอแนะทฤษฎีเกี่ยวกับต้นกำเนิดของชีวิตไว้หลายแนวทาง แต่แนวทางที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ แนวทางที่คิดว่าชีวโมเลกุลชนิดแรกเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของบรรยากาศในยุคแรกเริ่ม ภายใต้สภาวะที่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีหรือจากปรากฏการณ์ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า เมื่อฝนตกสารอินทรีย์ง่าย ๆ เหล่านี้ก็จะถูกชะลงไปรวมกันอยู่ในทะเล เมื่อเวลานานเข้า ทะเลก็จะเต็มไปด้วยสารอินทรีย์มากมาย จนในที่สุดก็เกิดสิ่งมีชีวิตชนิดแรกขึ้นในทะเลนี้เอง

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะประกอบขึ้นจากหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่ยังคงแสดงสภาพการมีชีวิตอยู่คือเซลล์ การจัดระบบในระดับโมเลกุลของเซลล์จะเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก กล่าวคือ สารตั้งต้นจะเป็นสารง่าย ๆ ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแอมโมเนีย สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นโมเลกุลหน่วยสร้างอันได้แก่ กรดอมิโน นิวคลีโอไทด์ น้ำตาล และกรดไขมัน ต่อไปสารทั้ง 4 ประเภทนี้ต่างก็รวมตัวโดยใช้พันธะโควาเลนท์ ทำให้เกิดชีวโมเลกุลชนิดต่าง ๆ ขึ้นคือ โปรตีน กรดนิวคลีอิค โพลีแซคคาไรด์ และลิปิด จากนี้ชีวโมเลกุลก็จะรวมตัวแบบน็อนโควาเลนท์ต่อไปจนเกิดระบบที่ใหญ่ขึ้น อันจะรวมกันเข้าได้อีกจนเกิดเป็นองค์ประกอบของเซลล์ขึ้นในที่สุด

เซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งกว้าง ๆ ตามลักษณะการจัดระบบของส่วนประกอบภายในเซลล์ได้เป็น 2 ประเภทคือ โปรคาริโอติคและยูคาริโอติคเซลล์ โปรคาริโอติคเซลล์จะพบในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ มีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน และอาจจะสังเคราะห์แสงเองได้ด้วย ส่วนยูคาริโอติคเซลล์จะพบในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบมากมาย จึงมีความซับซ้อนมาก นอกจากนี้ภายในเซลล์ยังมีการแบ่งออกเป็นนิวเคลียสอย่างเด่นชัด ยูคาริโอติคเซลล์ยังแยกออกได้อีกเป็น 2 พวกย่อยคือ เซลล์พืชและเซลล์สัตว์ องค์ประกอบบางอย่างเช่นไรโบโซมจะพบทั้งในโปรคาริโอติคและยูคาริโอติคเซลล์ แต่องค์ประกอบบางอย่างเช่น นิวเคลียส ไลโซโซม ไมโตคอนเดรีย จะพบเฉพาะในยูคาริโอติคเซลล์เท่านั้น

คำถามท้ายบท

1. ทำไมข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเรื่องต้นกำเนิดของชีวิตโดย A.I.Oparin จึงเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในปัจจุบัน จงยกหลักฐานที่สนับสนุนแนวคิดนี้มาด้วย

2. อธิบายการจัดระบบในระดับโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต

3. โมเลกุลหน่วยสร้างคืออะไร มีกี่ชนิด และแต่ละชนิดนั้นเป็นส่วนประกอบของชีวโมเลกุลประเภทใด

4. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างโปรคาริโอติคเซลล์ และยูคาริโอติคเซลล์

5. รีเซปเทอร์โปรตีนพบที่ใด มีความสำคัญอย่างไร

6. contact inhibition คืออะไร เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็งอย่างไร

7. อธิบายขั้นตอนการทำโปรตีนให้อยู่ในรูป vesicle เพื่อส่งออกนอกเซลล์ต่อไป

8. ทำไมเยื่อหุ้มนิวเคลียสจึงต้องมีรูเปิดอยู่เป็นระยะ ๆ

9. ส่วนนิวคลีโอลัสของนิวเคลียสมีหน้าที่อย่างไร

10. จงอธิบายความสัมพันธ์ของคำต่อไปนี้ : DNA โครมาติน และโครโมโซม

11. แหล่งพลังงานในยูคาริโอติคเซลล์พวกพืชและสัตว์เป็นชนิดเดียวกัน หรือคนละชนิด และจงอธิบายรายละเอียดของแหล่งพลังงานนั้น ๆ มาด้วย

12. เอ็นโดพลาสมิคเรติคิวลัมชนิดเรียบและชนิดขรุขระ มีลักษณะและหน้าที่ต่างกันอย่างไร จงอธิบาย

13. องค์ประกอบชนิดใดของยูคาริโอติคเซลล์ที่มีหน้าที่ทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต และใช้ปฏิกิริยาใดในการทำลายนั้น

14. ไกลออกโซโซมพบในเซลล์ประเภทใด ทำหน้าที่อย่างไร

15. ใน **E. coli** จะมีประมาณ 10,000 - 15,000 ไรโบโซมกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตปลาสม ถ้าคิดว่ารูปร่างของไรโบโซมในบักเตรีเป็นทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 อังสตรอม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในเซลล์ **E. coli** ที่ถูกครอบครองด้วยไรโบโซมนี้ โดยกำหนดให้อีกว่ารูปร่างของ **E. coli** จะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ไมโครเมตร และยาว 2 ไมโครเมตร