

## บทที่ 4

### การจัดระเบียบภายในชีวิต (Organization of Life)

#### 4.1 ระบบการทางกายภาพในโปรโตพลาสซึม

##### (Physical Organization of Protoplasm)

โปรโตพลาสซึมภายในเซลล์เป็นสารประกอบที่ละเอียดซับซ้อนมาก และง่ายต่อการเสียสภาพถ้ามีสิ่งมากระทบกระเทือนแม้เพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นจะต้องมีสิ่งห่อหุ้มโปรโตพลาสซึมเพื่อทำหน้าที่ยึดเหนี่ยว ห่อหุ้มและป้องกัน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรโตพลาสซึมเป็นสารที่มีชีวิต และเป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต จึงจำเป็นจะต้องได้รับสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต และมีการขับถ่ายสารที่ไม่ต้องการ สารต่าง ๆ จึงต้องผ่านเข้าออกระหว่างโปรโตพลาสซึมเสมอ แต่เนื่องด้วยโปรโตพลาสซึมในสิ่งมีชีวิตนั้นมีสิ่งห่อหุ้มซึ่งเรียกว่าเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) อยู่ เยื่อหุ้มเซลล์นั้นจึงร่วมมีบทบาทในการผ่านเข้าออกของสารอยู่ด้วย การผ่านเข้าออกของสารที่เกิดกับเซลล์นั้นเป็นไปตามหลักการทางฟิสิกส์ทั่ว ๆ ไป จึงควรที่นักศึกษาจะได้เรียนรู้และพิจารณาขบวนการหรือหลักการนี้ไว้เพื่อเป็นพื้นฐานหรือแนวทางต่อไป

การเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ของสารต่าง ๆ นั้น ตามหลักการทางฟิสิกส์อาจแยกได้เป็น 2 แบบ คือ การแพร่กระจาย (Diffusion) และออสโมซิส (Osmosis) ซึ่งจะขอแยกอธิบายเป็นเรื่อง ๆ ไปด้วย

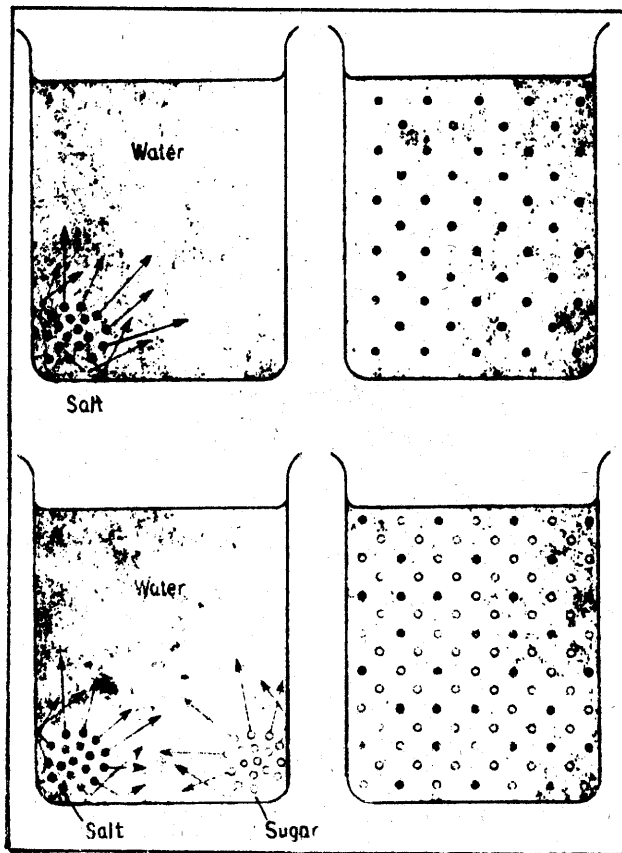
##### การแพร่กระจาย (Diffusion)

การแพร่กระจายเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสารจากบริเวณที่มีปริมาณของอนุภาคของสารนั้นมากไปสู่บริเวณที่มีปริมาณของอนุภาคน้อยกว่า ถ้าปริมาณของอนุภาคของสารในบริเวณทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก อัตราเร็วของการแพร่กระจายจะมีมาก การแพร่กระจายจะหยุดเมื่อบริเวณทั้งสองนั้นมีปริมาณของอนุภาคของสารเท่าเทียมกัน เรียกจุดการหยุดแพร่กระจายนี้ว่าจุดสมดุล ซึ่งเป็นจุดที่อัตราเร็วของการแพร่กระจายของสารทั้งสองบริเวณเท่ากัน

อาจเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของสารได้กับการไหลของน้ำในภาชนะสองใบที่มีท่อติดต่อกันได้ ถ้าภาชนะใบหนึ่งมีน้ำขังอยู่เต็ม ส่วนอีกภาชนะหนึ่งว่างเปล่า เมื่อเปิดท่อน้ำให้ไหลไปหากันได้ น้ำจากภาชนะหนึ่งจะไหลไปสู่ภาชนะที่ว่างอย่างรวดเร็วและแรงในระยะแรก ต่อมาอัตราการไหลจะเริ่มลดลง จนกระทั่งระดับน้ำในภาชนะทั้งสองนั้นเท่ากัน น้ำจะหยุดไหล (ถึงจุดสมดุล)

อัตราเร็วของการแพร่กระจาย มีมากน้อยต่างกันตามสถานะของสาร สารที่มีสถานะเป็น ก๊าซจะมีอัตราเร็วของการแพร่กระจายสูงสุด สารที่มีสถานะเป็นของเหลวมีอัตราเร็วรองลงมาและ สารที่เป็นของแข็งจะมีอัตราเร็วต่ำ

ตัวอย่างของการแพร่กระจายที่เห็นได้ชัดได้แก่ การกระจายของกลิ่นน้ำหอมหรือกลิ่นต่าง ๆ การแพร่กระจายของหยดหมึกหรือหยดน้ำยาที่มีสีลงในน้ำเปล่า การแพร่กระจายของ เกล็ดจุนสี หรือเกล็ดต่างทึบทิม หรือผงครามในน้ำ เป็นต้น



ภาพ 4-1 แสดงการแพร่กระจาย

การแพร่กระจายนี้มีบทบาทต่อการทำงานของสารต่าง ๆ ในโปรโตพลาสซึมเป็นอย่างมาก การซึมแพร่ของก๊าซจากเซลล์ภายในร่างกาย การหายใจทั้งที่เป็นลมหายใจเข้าและลมหายใจออกต่างก็เป็นผลของการแพร่กระจายทั้งสิ้น

## ออสโมซิส (Osmosis)

ออสโมซิสเป็นการแพร่กระจายของอนุภาคของของเหลว จากสารละลายที่เจือจางกว่า (มีปริมาณของน้ำมากกว่า) ไปสู่สารละลายที่เข้มข้นกว่า (มีปริมาณของน้ำน้อยกว่า) โดยผ่านเยื่อบาง ๆ นักศึกษาอาจพิจารณาเห็นได้ว่าในเรื่องของออสโมซิสนี้ มุ่งไปที่การแพร่กระจายของน้ำ จึงอาจแปลความหมายของออสโมซิสในทางชีววิทยาได้ว่า เป็นการแพร่ของอนุภาคของน้ำจากบริเวณที่มีปริมาณของน้ำมากกว่า (สารละลายที่เข้มข้นน้อยกว่า) โดยผ่านเยื่อบาง ๆ

ขบวนการออสโมซิสมีบทบาทอย่างสำคัญในการทำงานของโปรโตพลาสซึมเช่นกัน การขนถ่ายสารต่าง ๆ ภายในสิ่งมีชีวิตจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งเป็นไปโดยวิธีออสโมซิสนี้ เยื่อบาง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของขบวนการออสโมซิสในเซลล์นั้น ได้แก่ เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) นั้นเอง

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อบางซึ่งมีคุณสมบัติที่ยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกได้ เรียกเยื่อบางที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า Semipermeable membrane หรือ Differentially permeable membrane หรือ Selectively permeable membrane เป็นเยื่อที่ยอมให้น้ำ แกลีอแร และสารบางชนิดซึมผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้สารบางชนิดซึมผ่าน ความสามารถหรือคุณสมบัติดังกล่าวนี้ จะมีอยู่ตราบเท่าที่เซลล์ยังมีชีวิตอยู่เท่านั้น ผลของขบวนการออสโมซิสในสิ่งมีชีวิตที่อาจพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันได้แก่ การเหี่ยวเฉาหรืออวบเต่งของต้นพืช การยุบตัวของผลไม้หรืออาหารประเภทแช่อิ่ม หรือ ดองน้ำส้ม น้ำเกลือ เป็นต้น

ในปรากฏการณ์ของขบวนการออสโมซิสนี้ มีศัพท์วิชาการที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายที่นักศึกษาคควรทราบ คือ

*Hypertonic Solution* หมายถึงสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า กล่าวคือมีอัตราส่วนของปริมาณของสารมากกว่า

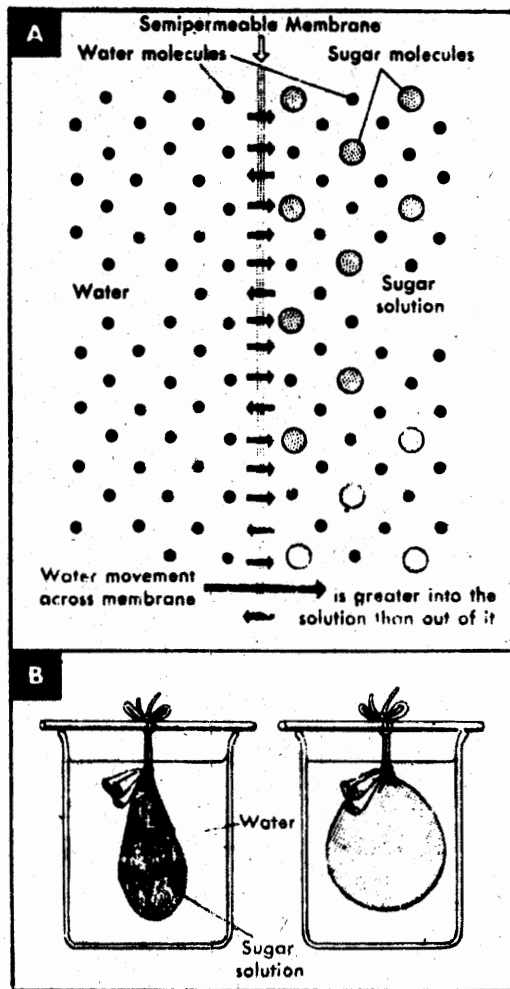
*Hypotonic Solution* หมายถึงสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า หรือมีอัตราส่วนของปริมาณของสารน้อยกว่า

*Isotonic Solution* หมายถึงสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน

---

\* เยื่อบาง (membrane) แบ่งตามคุณสมบัติการยอมให้ซึมผ่านออกเป็น 3 แบบ คือ

1. *Impermeable membrane* เป็นเยื่อที่ไม่ยอมให้สารใด ๆ ผ่านได้เลย
2. *Semipermeable* หรือ *Differentially permeable* หรือ *Selectively permeable membrane* เป็นเยื่อที่ยอมให้สารเพียงบางชนิดผ่านได้
3. *Permeable membrane* เป็นเยื่อที่ยอมให้สารทุกชนิดผ่านได้



ภาพ 4-2 แสดง permeability และออสโมซิส

- A. โมเลกุลของน้ำตาลลอดผ่านเยื่อ semipermeable ไม่ได้เพราะมีขนาดโต ส่วนโมเลกุลของน้ำเคลื่อนผ่านได้
- B. ผลของความสามารถซึมผ่านได้ของโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดขบวนการออสโมซิส

อัตราความเร็วของการออสโมซิสนั้นจะหยุดเมื่อสารละลายทั้งสองด้านของเยื่อบาง มีความเข้มข้นเท่ากันหรือเป็น Isotonic solution

ในกรณีที่เซลล์แช่อยู่ในสารละลาย hypertonic จะทำให้น้ำภายในเซลล์ซึมออกมาจากเซลล์มาก จนทำให้เซลล์เหี่ยวแฟบ โปรโตพลาสซึมจะหดรวมกันเป็นกลุ่มก้อน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Plasmolysis ซึ่งถ้าเกิดนาน ๆ จะทำให้เซลล์หมดสมรรถภาพในการทำงานได้ ถ้าความ

เข้มข้นของ hypertonic solution ลดลงจนต่ำกว่าความเข้มข้นของสารในโปรโตพลาสซึม ทำให้โปรโตพลาสซึมสามารถดูดน้ำกลับเข้าสู่เซลล์ได้อีกครั้งหนึ่ง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Deplasmolysis

ในขณะที่น้ำซึมผ่านเยื่อ semipermeable membrane นั้น อนุของสารใน hypertonic solution ก็อาจจะซึมผ่านเยื่อบางไปสู่ hypotonic solution ด้วยเช่นกัน การซึมผ่านของอนุของสารที่ละลายในสารละลาย hypertonic ไปสู่สารละลาย hypotonic นี้เรียกว่า Dialysis ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับ การแพร่กระจาย (diffusion) จะดูเหมือนว่า Dialysis ก็คือการแพร่กระจายที่ผ่านเยื่อบางนั่นเอง

## 4.2 ระบบการทางเคมีในโปรโตพลาสซึม

### (Chemical Organization of Protoplasm)

ภายในโปรโตพลาสซึมจะมีสารเคมีอยู่มากมายหลายชนิด บางชนิดเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างง่าย ๆ แต่บางชนิดเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างซับซ้อน ปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในโปรโตพลาสซึมของเซลล์หนึ่ง ๆ มิได้มีปริมาณที่แน่นอนเท่ากันโดยตลอด ดังนั้นโปรโตพลาสซึมจึงมีสภาพเป็นของผสม (mixture) ในบรรดาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์นั้น มีธาตุที่นับว่าสำคัญมากและมักพบอยู่เสมอห้าธาตุ ได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ธาตุทั้งห้าธาตุนี้มีปริมาณรวมกันประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของโปรโตพลาสซึม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุออกซิเจนมีมากประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังมีธาตุที่สำคัญรองลงไปอีกประมาณเจ็ดธาตุ ได้แก่ กำมะถัน โซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม โปตัสเซียม แคลเซียม และเหล็ก (ในเวลาต่อมามีการค้นคว้าพบว่ายังมีเพิ่มอีกห้าธาตุคือ โบรอน มังกานีส ทองแดง สังกะสี และโมลิบดีนัม) ธาตุทั้งหมดนี้มีความสำคัญต่อขบวนการทำงานภายในเซลล์เป็นอย่างมาก จึงเรียกดธาตุเหล่านี้รวมกันว่า *Essential element* ส่วนธาตุอื่น ๆ นอกเหนือไปจาก 17 ธาตุนี้แม้จะขาดแคลนไปบ้างก็ไม่ทำให้ขบวนการทำงานภายในเซลล์เสียหายไปมากนัก จึงเรียกดธาตุเหล่านั้นว่า *Non-essential element* ธาตุต่าง ๆ ทั้งที่เป็น essential element และ non-essential element นี้อาจรวมตัวกันขึ้นเป็นสารประกอบต่าง ๆ แล้วละลายหรือลอยปะปนอยู่ในโปรโตพลาสซึม

สารเคมีที่อยู่ในโปรโตพลาสซึมอาจแยกออกได้เป็นสองประเภทคือ *สารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compound)* กับ *สารประกอบอินทรีย์ (organic compound)* ข้อแตกต่างระหว่างสารสองประเภทที่เห็นได้อย่างเด่นชัดก็คือ สารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเสมอ นอกจากนั้นสูตรโครงสร้างทางเคมียังค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนอีกด้วย ส่วน

สารประกอบอนินทรีย์นั้น ไม่จำเป็นว่าจะต้องมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และสูตรโครงสร้างทางเคมีก็เป็นไปง่าย ๆ เมื่อเทียบกับสารประกอบอินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่สำคัญซึ่งพบมากในโปรโตพลาสซึมได้แก่ น้ำ และเกลือแร่

#### น้ำ (Water)

น้ำเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในโปรโตพลาสซึมมากประมาณ 65-90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของโปรโตพลาสซึม สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำจะมีปริมาณของน้ำในโปรโตพลาสซึมมาก ส่วนในมนุษย์นั้นจะมีน้ำอยู่ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของร่างกาย

น้ำมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (solvent) ที่สามารถละลายสารต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง จึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่จะรับส่งสารต่าง ๆ ที่ผ่านเข้าออกระหว่างเซลล์ทั่วร่างกาย และช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้เนื่องจากน้ำเป็นสารเคมีที่มีความร้อนจำเพาะสูง ซึ่งหมายความว่า ในการที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไปนั้น จะต้องใช้ปริมาณความร้อนเป็นจำนวนมาก ดังนั้น น้ำจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางสกัดกั้นมิให้อุณหภูมิภายในโปรโตพลาสซึมเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันซึ่งจะไปกระทบกระเทือนต่อปฏิกิริยาเคมีของสารภายในโปรโตพลาสซึม ด้วยเหตุนี้แม้ว่าอุณหภูมิภายนอกเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิของโปรโตพลาสซึมก็จะเปลี่ยนแปลงตามอย่างช้า ๆ และไม่มากนัก ทำให้อัตราของปฏิกิริยาเคมีในโปรโตพลาสซึมไม่กระทบกระเทือนมากจนเสียกระบวนการ

#### เกลือแร่ (Inorganic mineral salt)

เกลือแร่อนินทรีย์ที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตนั้น มีประมาณ 1-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด เกลือแร่เหล่านี้มีแหล่งที่อยู่และบทบาทหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น เป็นองค์ประกอบของกระดูก ฟัน เปลือก กะดอง ขน ฯลฯ ส่วนเกลือแร่ที่อยู่ในโปรโตพลาสซึม อาจมีสภาพเป็นสารตกตะกอน หรืออยู่ในสภาพของสารละลาย หรืออยู่ในรูปของอะตอมที่มีประจุไฟฟ้า (ion) สิ่งมีชีวิตจำเป็นที่จะต้องใช้เกลือแร่เหล่านี้เพื่อความปกติสุขและการเจริญเติบโตของร่างกาย แม้ว่าธาตุบางชนิดร่างกายต้องการเป็นจำนวนน้อยมาก แต่ก็ขาดเสียมิได้ ธาตุต่าง ๆ ที่ร่างกายต้องการนอกเหนือไปจาก essential element เรียกว่า *trace element* หรือ *non-essential element*

เราอาจสรุปประโยชน์ของเกลือแร่ได้ดังนี้ คือ

1. สร้างโครงกระดูก ฟัน และระบบของเหลวในร่างกาย
2. ควบคุมอัตราความเป็นกรดหรือด่างของของเหลวในร่างกาย

การเคลื่อนย้ายของเกลือแร่ภายในร่างกายเกิดขึ้นได้โดยขบวนการแพร่กระจาย

(diffusion)

## อินทรีย์สารภายในโปรโตพลาสซึม (Organic Compounds in Protoplasm)

ภายในโปรโตพลาสซึมนอกจากจะมีน้ำและสารอนินทรีย์ละลายปะปนอยู่แล้ว ยังมีสารประกอบเคมีซึ่งมีสูตรโครงสร้างยุ่งยากซับซ้อนมาก สารเคมีเชิงซ้อนเหล่านี้ เดิมเข้าใจกันว่าพบเฉพาะในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น จึงเรียกลักษณะนี้ว่า สารประกอบอินทรีย์หรืออินทรีย์สาร (organic compound) แต่ในเวลาต่อมาได้มีการค้นคว้าพบว่า อินทรีย์สารหลายชนิดพบได้ในธรรมชาติของร่างกายของสิ่งมีชีวิต และบางชนิดสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้ความหมายของคำว่า อินทรีย์สาร เปลี่ยนแปลงไปจากความเข้าใจที่มีมาแต่เดิม และจากผลของการศึกษาวิจัย พบว่าอินทรีย์สารทุกชนิดที่พบจะมีลักษณะคล้ายคลึงร่วมกันอยู่อย่างหนึ่ง คือจะมีอะตอมของธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเสมอ จำนวนอะตอมของธาตุคาร์บอน จะมีมากน้อยเพียงใดแล้วแต่ชนิดของอินทรีย์สารนั้น ๆ นอกจากนี้ การเกาะเกี่ยวของอะตอมอาจเกาะยึดต่อเนื่องกันเป็นเส้นยาวหรืออาจเกาะเกี่ยวกันเป็นวงบรรจบก็ได้

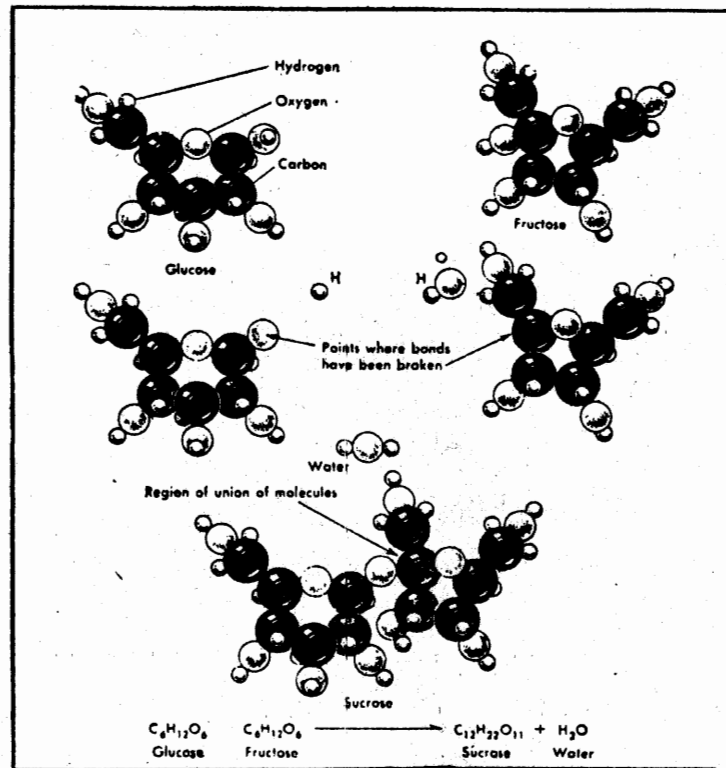
นักชีวเคมี (biochemist) พบว่าในสิ่งมีชีวิตมีอินทรีย์สารอยู่หลายชนิด แต่ที่พบมาก และทำหน้าที่เป็นแหล่งให้กำเนิดพลังงานแก่ร่างกายนั้นมีอยู่สามประเภท อินทรีย์สารทั้งสามประเภทนี้นักสรีรวิทยา (physiologist) เรียกว่า อาหาร (food) โดยได้ระบุความหมายของอาหารไว้ว่าจะต้องทำให้เกิดพลังงานเพื่อนำไปใช้งานได้ จะต้องนำไปใช้ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอเสียหายได้ และจะต้องทำให้ร่างกายมีสภาพเป็นปรกติสุข สำหรับน้ำและเกลือแร่อนินทรีย์นั้น แม้ว่าจะเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต แต่เนื่องจากไม่ได้ให้พลังงาน จึงไม่นับเนื่องเข้าเป็นอาหาร อินทรีย์สารที่จัดว่าเป็นอาหารนั้นมีทั้งในพืช และสัตว์ แยกอธิบายตามความยุ่งยากซับซ้อนของโครงสร้างองค์ประกอบ จากสารที่มีโครงสร้างยุ่งยากน้อยไปหามากได้ ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)
2. ไขมัน (lipid or fat and oil)
3. โปรตีน (protein)

### คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นอินทรีย์สารที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ปริมาณของธาตุไฮโดรเจนจะมีจำนวนเป็นสองเท่าของธาตุออกซิเจนเสมอ อัตราส่วนอย่างต่ำของธาตุทั้งสามเป็น  $\text{CH}_2\text{O}$  โดยทั่วไปนิยมแบ่งสารประกอบคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. **Monosaccharide** หรือ Simple sugar เป็นน้ำตาลที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด โมเลกุลของน้ำตาลประเภทนี้มีหมู่น้ำตาลซึ่งเรียกว่า หมู่ saccharide 1 หมู่ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 6 อะตอม ไฮโดรเจน 12 อะตอม และออกซิเจน 6 อะตอม มีสูตรโมเลกุลว่า  $C_6H_{12}O_6$  น้ำตาลที่มีจำนวนธาตุคาร์บอนอยู่ 6 อะตอมนี้ เรียกว่า น้ำตาล hexose อาจมี monosaccharide บางชนิดที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า 6 อะตอม ถ้ามีเพียง 1 อะตอม เรียกว่าน้ำตาล monose มี 2 อะตอม เรียกว่าน้ำตาล diose มี 3 อะตอม เรียกว่าน้ำตาล triose มี 4 อะตอม เรียกว่าน้ำตาล tetrose และถ้ามี 5 อะตอม เรียกว่าน้ำตาล pentose



ภาพ 4-8 แสดงโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตและการรวมตัวเข้าด้วยกัน

ตัวอย่างของน้ำตาล monosaccharide ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลฟรุคโตส (fructose) น้ำตาลกาแลคโตส (galactose)

2. **Disaccharide** หรือ Double sugar เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วย monosaccharide 2 หมู่มารวมกัน โดยวิธีการทางเคมีที่เรียกว่า condensation ซึ่งจะคายน้ำออกมา 1 โมเลกุล ดังนั้นสูตรโมเลกุลของ disaccharide จึงเป็น  $C_{12}H_{22}O_{11}$



ตัวอย่างของน้ำตาล disaccharide ได้แก่ น้ำตาลทราย (sucrose) น้ำตาลมอลโตส (maltose) น้ำตาลแลคโตส (lactose)

(ตำราบางเล่มถือว่า disaccharide จัดอยู่ในพวก Oligosaccharide หรือ Compound sugar ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เมื่อสลายตัวจะแตกตัวให้ monosaccharide กล่าวคือถ้า oligosaccharide ใดที่แตกตัวให้ monosaccharide 2 โมเลกุลเรียก oligosaccharide นั้นว่า disaccharide ถ้าแตกตัวให้ 3 โมเลกุลเรียกว่า trisaccharide ถ้าแตกตัวได้ 4 โมเลกุลเรียก tetrasaccharide ดังนี้ เป็นต้น)

3. Polysaccharide เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่มาก ประกอบด้วย monosaccharide มาต่อเชื่อมกันนับร้อยนับพันโมเลกุล ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสลายตัวได้ยาก สูตรโมเลกุลเขียนโดยทั่วไปว่า  $(C_6H_{10}O_5)_n$  โดยที่ n หมายถึงเลขจำนวนเต็มใด ๆ ก็ได้

ตัวอย่างของ polysaccharide ได้แก่ แป้งในพืช (plant starch) แป้งไกลโคเจนในสัตว์ (animal starch เช่น แป้งในหอยนางรม) เซลลูโลส (cellulose เช่น เยื่อกระดาษ) เด็กซ์ทริน (dextrin) และไคติน (chitin เช่น เปลือกหุ้มตัวแมลง) เป็นต้น

### ไขมัน (Lipid or Fats and Oil)

ไขมันเป็นอินทรีย์สารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน แต่ปริมาณของธาตุไฮโดรเจนไม่เป็นสองเท่าของธาตุออกซิเจนดังเช่นในคาร์โบไฮเดรต ไขมันประกอบด้วยสารประกอบสองชนิดมารวมกัน คือ กรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล อินทรีย์สารประเภทไขมันนี้จะให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตเมื่อมีน้ำหนักเท่ากัน กล่าวคือ ไขมัน 1 กรัมเมื่อเผาไหม้โดยสมบูรณ์แล้วจะให้พลังงานความร้อน 9.1 กิโลแคลอรี ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงานความร้อนเพียง 4.1 กิโลแคลอรีเท่านั้น

นอกจากไขมันปรกติที่ได้พบเห็นโดยทั่วไปแล้ว ยังมีอินทรีย์สารอีกบางประเภทที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับไขมัน เรียกสารอินทรีย์เหล่านี้ว่า "อนุพันธ์ของไขมัน" (fats derivative) ทั้งไขมันและอนุพันธ์ของไขมันนี้รวมเรียกว่า ลิพิด (lipid) ลิพิดทุกชนิดสามารถละลายในตัวทำละลายได้หลายชนิด เช่น อัลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์มและไซลีน ตัวทำละลายเหล่านี้เรียกว่า "ตัวละลายไขมัน" (fats solvent)

ลิพิดอาจแยกออกตามลักษณะของสารที่มาประกอบได้เป็นสามพวก คือ

1. ลิพิดเชิงเดี่ยว (Simple lipid หรือ True fats) เป็นลิพิดที่มีแต่ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเท่านั้น ได้แก่ ไขมันหรือมัน (fats) น้ำมัน (oil) และสารพวกขี้ผึ้ง (wax)

2. ไลปิดเชิงประกอบ (Compound lipid) เป็นไลปิดเชิงเดี่ยวที่มีธาตุหรือหมู่ธาตุบางชนิดมารวมอยู่ด้วย เช่น มีหมู่อนุมูลกรดฟอสฟอริก ธาตุไนโตรเจน หรือธาตุกำมะถันเป็นต้น สารพวกนี้ได้แก่ ฟอสโฟไลปิดในไข่แดง ในสมอง โกลโคไลปิด และไลโปโปรตีน

3. อนุพันธ์ของไลปิด (Lipid derivative) เป็นไลปิดเชิงเดี่ยวหรือเชิงประกอบก็ตามที่เปลี่ยนแปลงไปโดยปฏิกิริยาทางเคมี สารพวกนี้ได้แก่ กรดไขมัน (fatty acid) สเตอรอล (sterol ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เส้นเลือดเปราะตีบตัน และกระตุ้นให้เซลล์เกิดมะเร็ง) สเตอรอยด์ (steroid เป็นสารประกอบในน้ำดี และเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนเพศ)

### โปรตีน Protein

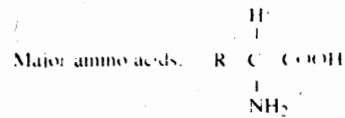
โปรตีนเป็นอินทรีย์สารที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากที่สุด เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทั้งนี้เพราะโปรตีนประกอบขึ้นด้วยหมู่โมเลกุลย่อย ๆ เป็นจำนวนมากรวมกัน โมเลกุลย่อย ๆ ที่มาประกอบกันเป็นโปรตีนนี้เรียกว่า "กรดอะมิโน" (amino acid) ซึ่งประกอบขึ้นด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยที่ธาตุไนโตรเจนจะยึดเกาะอยู่กับธาตุไฮโดรเจน กลายเป็นหมู่ธาตุที่เรียกว่า อนุมูลกรดอะมิโน (amino radical - NH<sub>2</sub>) กรดอะมิโนมีอยู่มากหลายชนิด แต่มีชนิดที่สำคัญ ๆ อยู่ประมาณ 24 ชนิด ซึ่งพบในสิ่งมีชีวิตทั่วไป

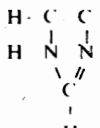

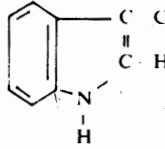

มีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนได้เอง แต่ถึงกระนั้นก็ต้องอาศัยกรดอะมิโนจากแหล่งอาหารอื่นภายนอกอีกมาก ทั้งนี้เพื่อนำไปสร้างเสริมความเจริญเติบโต นอกจากนี้กรดอะมิโนยังเป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยหรือ เอ็นไซม์ (enzyme) ต่างที่ใช้ในขบวนการดำรงชีวิต

โปรตีนเป็นสารที่มีอยู่ในโปรโตพลาสซึมมากเป็นที่สองรองจากน้ำ คือมีอยู่ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในบางกรณี โปรตีนสามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตและไขมันได้ด้วย โปรตีนปรกติจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส แต่สิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อโปรตีนสลายตัวหรือเสียสภาพไป

โปรตีนทั่วไปแยกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. โปรตีนเชิงเดี่ยว (Simple protein) เป็นโปรตีนที่เมื่อแยกสลายแล้วจะได้กรดอะมิโนหรือสารที่เกิดจากกรดอะมิโนเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ไข่ขาว ไข่แดง ซีรัมในน้ำเลือด เอ็น ขน กระดุก เล็บ เขา หนัง



Name	Abbreviation	R	Category
Alanine	ALA	$\text{CH}_3$	Neutral
Arginine	ARG	$\text{NH}_2 - \text{C}(\text{NH}_2) - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2$	Basic
Asparagine	ASP	$\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{CH}_2 -$	Neutral
Aspartic acid	ASP	$\text{COOH} - \text{CH}_2 -$	Acidic
Cysteine	CYS	$\text{SH} - \text{CH}_2 -$	Acidic
Glutamic acid	GLU	$\text{COOH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$	Acidic
Glutamine	GLU	$\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$	Neutral
Glycine	GLY	H-	Neutral
Histidine	HIS	$\text{H} - \text{C}(\text{NH}_2) - \text{CH}_2 -$ 	Basic
Isoleucine	ILEU	$\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -$	Neutral
Leucine	LEU	$\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{CH}_2 -$	Neutral
Lysine	LYS	$\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$	Basic
Methionine	MET	$\text{CH}_2 - \text{S}(\text{CH}_3) - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$	Neutral
Phenylalanine	PHE	 - $\text{CH}_2 -$	Neutral
Proline	PRO	*	Neutral
Serine	SER	$\text{CH}_2\text{OH} -$	Neutral
Threonine	THR	$\text{CH}_3 - \text{CHOH} -$	Neutral
Tryptophan	TRY		Neutral
Tyrosine	TYR	 - $\text{CH}_2 -$	Acidic
Valine	VAL	$\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{CH}_3) -$	Neutral

\*The structure of proline does not fit the prototype. It is as follows:  $\begin{matrix} & \text{CH}_2 & \text{CH} & \text{COOH} \\ & / & | & \\ \text{CH}_2 & & \text{CH}_2 & - \text{NH} \end{matrix}$

ภาพ 4-4 แสดงกรดอะมิโนชนิดต่างๆ

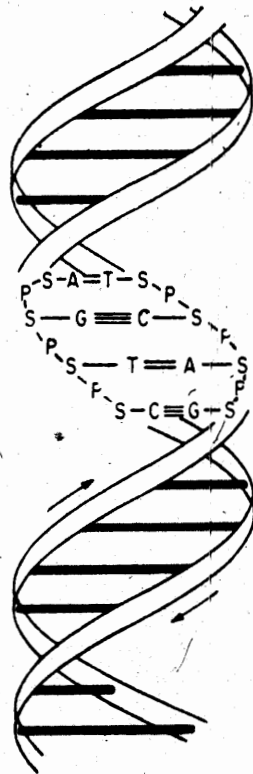
2. โปรตีนเชิงประกอบ (Compound protein หรือ Conjugated protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนเชิงเดี่ยวรวมกับสารที่มีไฮโปรตีน หมู่ของสารที่มีไฮโปรตีนนี้เรียกว่า prosthetic group พบในนิวเคลียสของเซลล์ ในน้ำนม ไข่แดง กระดูก เอ็น ฮอร์โมน

3. อนุพันธ์ของโปรตีน (Derived protein) เป็นโปรตีนที่ได้จากการสลายของโปรตีนเชิงเดี่ยว หรือเชิงประกอบก็ตาม การสลายหรือเสียสภาพของโปรตีนนั้นเกิดขึ้นได้โดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความร้อน แสง พลังงานกล และปฏิกิริยาทางเคมี

#### กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid)

ภายในโปรโตพลาสซึมโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณนิวเคลียสพบว่ามีโปรตีนเชิงประกอบชนิดหนึ่งอยู่มาก โปรตีนนั้นคือนิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein) ซึ่งเมื่อแยกสลายแล้วจะได้โปรตีนเชิงเดี่ยวกับ prosthetic group คือ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) กรดนิวคลีอิกนี้นับได้ว่าเป็นส่วนสำคัญและมีบทบาทในการดำรงชีวิตมาก

กรดนิวคลีอิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยซึ่งเรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) มารวมกัน นิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย อนุมูลฟอสเฟต ( $PO_4$ ) น้ำตาล pentose ( $C_5$ ) และเบสที่มีไนโตรเจน (nitrogenous Base) ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยสรุปจะเห็นได้ว่า กรดนิวคลีอิกเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากนิวคลีโอไทด์หลาย ๆ หน่วยมาเชื่อมต่อกันในลักษณะดังภาพที่ 4-5



ภาพ 4-5 แสดงโครงสร้างของกรดนิวคลีอิกชนิด DNA

กรดนิวคลีอิกแยกออกเป็นสองชนิดตามลักษณะของน้ำตาล pentose ที่มาประกอบเป็นนิวคลีโอไทด์ กล่าวคือ ถ้าน้ำตาลนั้นเป็นน้ำตาลชนิด ribose กรดนิวคลีอิกนั้นเรียกว่า Ribose nucleic acid หรือ Ribonucleic acid หรือเรียกโดยย่อว่า RNA แต่ถ้าน้ำตาลนั้นเป็นน้ำตาลชนิด desoxyribose กรดนิวคลีอิกนั้นเรียกว่า Desoxyribose nucleic acid หรือ Desoxyribonucleic acid หรือเรียกโดยย่อว่า DNA (ตำราบางเล่มเขียนชื่อน้ำตาลว่า deoxyribose ซึ่งถูกต้องทั้งสองคำ)

นอกจาก DNA จะต่างจาก RNA ที่ชนิดของน้ำตาลที่มาประกอบแล้ว ยังต่างกันที่ DNA ประกอบด้วยเบส 4 ชนิด คือ อะดีนีน (adenine) กัวนีน (guanine) ไซโตซีน (cytosine) และไทมีน (thymine) ส่วน RNA ประกอบด้วย อะดีนีน กัวนีน ไซโตซีนและยูราซิล (uracil)

DNA มีหน้าที่ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากบรรพบุรุษไปยังรุ่นลูกหลานได้ ส่วน RNA มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างโปรตีนและหน่วยย่อยหรือเอ็นไซม์ โดยรับคำสั่งจาก DNA

กรดนิวคลีอิกทั้ง DNA และ RNA มีบทบาทและวิวัฒนาการเกี่ยวกับกำเนิดของสิ่งมีชีวิตตามที่ได้กล่าวแล้วในตอนต้น จึงใคร่ขอให้ผู้ศึกษาย้อนกลับไปทบทวนเพื่อความเข้าใจอีกครั้งหนึ่ง

### วิตามิน (Vitamin)

วิตามินเป็นอินทรีย์สารซึ่งแม้ว่ามีโซอาหารที่จะทำให้เกิดพลังงาน และแม้ว่าร่างกายต้องการวิตามินในจำนวนน้อยมาก เมื่อเทียบกับอินทรีย์สารที่เป็นอาหาร แต่ร่างกายจะขาดวิตามินไม่ได้ ถ้าขาดไปจะทำให้เกิดอาการผิดปกติต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะวิตามินทำหน้าที่ส่งเสริมและควบคุมการเจริญเติบโต และควบคุมความเป็นปกติของการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย

ปัญหาเกี่ยวกับความต้องการวิตามินนี้ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมานาน เป็นเรื่องที่ร้ายแรงและต่างก็ตระหนักในความจำเป็นของวิตามิน นักโภชนศาสตร์ทราบดีว่าวิตามินมีบทบาทในการป้องกันโรคซึ่งเกิดจากการขาดอาหาร (deficiency disease) และได้เสนอแนะว่าวิธีที่จะได้รับวิตามินนั้นทำได้โดยการรับประทานอาหารให้ถูกสัดส่วนตามหลักโภชนาการ

ในชั้นเดิมเมื่อมีการค้นพบหรือรู้จักวิตามินชนิดใดชนิดหนึ่งขึ้นมา มักจะกำหนดชื่อวิตามินนั้นเป็นชื่ออักษร แต่ต่อมาในระยะที่วิทยาการทางชีวเคมีก้าวหน้ามากขึ้น ได้มีการกำหนดชื่อของวิตามินในทำนองเดียวกันกับชื่อของสารเคมีอื่น ๆ ที่ค้นพบกันโดยทั่วไป

### ประวัติความเป็นมาเกี่ยวกับวิตามิน

การค้นคว้าเกี่ยวกับวิตามินซึ่งเป็นรากฐานทำให้เกิดการวิจัยทางวิทยาศาสตร์นั้น เริ่มต้นจากการค้นพบวิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) โดยที่บรรดาสกเรือเป็นจำนวน

มากในราชนาวิอังกฤษเกิดป่วยเป็นโรคเลือดออกตามไรฟัน (scurvy) ได้มีการพยายามหาทางแก้ไขกันอยู่ตลอดเวลา จนในปี 1757 นายแพทย์ เจมส์ ลินด์ (Dr. James Lind) แพทย์ประจำกองทัพเรือ ได้ทำการทดลองโดยนำลูกเรือที่ป่วยมาวิเคราะห์และควบคุมอาหาร ในที่สุดค้นพบว่าลูกเรือที่ได้ อาหารที่มีมะนาวและส้มอยู่เป็นประจำ จะหายป่วยอย่างรวดเร็ว จึงได้ทำการแก้ไขโดยสั่งให้ลูกเรือได้รับอาหารประเภทส้มรวมอยู่ด้วยเสมอ ด้วยเหตุดังกล่าว ทำให้ทหารเรือในราชนาวิอังกฤษ ได้รับสมญาพิเศษว่า พวก "limey" มาจนกระทั่งทุกวันนี้

การค้นคว้าอีกเรื่องหนึ่งที่ต้องแก้การกล่าวถึงก็คือ การตั้งข้อสังเกตของนายทหารเรือของราชนาวิญี่ปุ่น ชื่อ ตากากิ (Takaki) ซึ่งได้เสนอแนะว่า ถ้ารับประทานข้าวที่ขัดหรือสี อยู่เป็นประจำแล้ว ควรที่จะเพิ่มปริมาณของอาหารประเภท เนื้อ นม หรือผักมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อ ป้องกันมิให้เกิดโรคเหน็บชา (beriberi) ในปัจจุบันเราทราบว่าข้าวที่ขัดจนขาวจะสูญเสียวิตามิน B<sub>1</sub> หรือ ไธอามีน (thiamine) แม้ข้อเสนอแนะของบุคคลผู้นี้จะมีใช่การค้นพบวิตามิน แต่ก็ เป็น ลู่ทางที่ทำให้เกิดแนวคิดริเริ่มค้นพบวิตามินดังกล่าว

ในเรื่องราวที่เกี่ยวกับวิตามิน มีศัพท์ที่ควรแก่การสนใจอยู่ 3 คำ คือ

*Avitaminosis* หมายถึง สภาพการณ์ที่เกิดการผิดปกติในร่างกายเนื่องจากขาด หรือ ไม่มีวิตามิน

*Hypovitaminosis* หมายถึง สภาพการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับวิตามินน้อยเกินไป ถ้าสภาพการณ์เช่นนี้เกิดนาน ๆ จะทำให้เกิด *avitaminosis* ได้

*Hypervitaminosis* หมายถึง สภาพการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับวิตามินมากเกินไป ซึ่งวิตามินบางชนิดถ้าได้รับปริมาณมากเป็นเวลานานติดต่อกัน จะเกิดเป็นพิษได้

ปัจจุบันมีการค้นพบวิตามินแล้วประมาณ 20 ชนิด วิตามินเหล่านี้สามารถแบ่งออกตาม คุณสมบัติการละลายได้เป็นสองประเภท คือ

1. วิตามินที่ละลายในน้ำ (water soluble vitamin) ที่สำคัญได้แก่วิตามิน B complex และ วิตามิน C
  2. วิตามินที่ละลายในน้ำมัน (fats soluble vitamin) ที่สำคัญได้แก่วิตามิน A, D, E, และ K
- วิตามิน B**

เดิมเชื่อกันว่าวิตามิน B เป็นสารประกอบเพียงชนิดเดียวเท่านั้น แต่ในเวลาต่อมาพบว่า สารประกอบประเภทวิตามิน B มีอยู่หลายชนิด จึงมีการกำหนดลำดับเพิ่มเติมขึ้นมาอีก

วิตามิน B<sub>1</sub> เป็นวิตามินที่พบก่อนวิตามิน B อื่น ๆ มีชื่อทางเคมีว่า Thiamine chloride เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำและถูกทำลายด้วยความร้อน เป็นตัวกระตุ้นให้อยากรับประทานอาหาร ช่วยในการผลิตน้ำนม ควบคุมการทำงานของต่อมผลิตฮอร์โมน ควบคุมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ถ้าร่างกายได้รับวิตามินนี้ไม่เพียงพอ จะทำให้การทำงานของต่อมผิดปกติ ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้เกิดโรคเหน็บชา (beriberi) วิตามินนี้พบมากในข้าวที่ไม่ได้ขัดผิว โปรตีนประเภท เนื้อ หมู ไข่ และมีในผักสดและผลไม้

วิตามิน B<sub>2</sub> มีชื่อทางเคมีว่า Riboflavin ทำหน้าที่ร่วมกับวิตามิน B<sub>1</sub> ในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้เกิดแผลพุพองตามผิวหนังอ่อน (dermatitis) วิตามิน B<sub>2</sub> นี้ ตำราบางเล่มเรียกว่าวิตามิน G

นอกจากนั้นยังมีวิตามิน B ชนิดอื่น ๆ อีกซึ่งมีหน้าที่เฉพาะ คือ

Niacin หรือ Nicotinic acid ถ้าขาดจะทำให้ผิวหนังหยาบแห้ง ลึนบวม

Pyridoxine หรือ วิตามิน B<sub>6</sub>

Pantothenic aid

Biotin

Cyanocobalamine หรือ วิตามิน B<sub>12</sub> ถ้าขาดจะทำให้โลหิตจาง

Folic acid

Choline

Inositol

Para-aminobenzoic acid

วิตามิน B ทั้งหมดนี้รวมเรียกว่า B-complex ผลของอาการที่แน่นอนยังไม่ปรากฏแน่ชัด เพียงแต่อยู่ในขั้นทดลองกับสัตว์บางชนิดเท่านั้น

### วิตามิน C

มีชื่อทางเคมีว่า Ascorbic acid ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้เลือดออกตามไรฟัน (scurvy) เหงือกบวม เลือดออกใต้ผิวหนัง (haemorrhage) อ่อนเพลีย โลหิตจาง น้ำหนักลด ชีพจรสูง วิตามินนี้มีในผลไม้พวกส้ม ต่าง ๆ ผลไม้รสเปรี้ยว ผักสด มะเขือเทศ กะหล่ำปลี

### วิตามิน A

เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน พบมากใน นม เนย ไข่ ดับ และพืชที่มีสีส้มแสดหรือแดง ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้ความต้านทานของร่างกายลดลง ตาแห้งไม่มีน้ำหล่อเลี้ยง อ่อนเพลีย

โลหิตจาง ถ้าได้รับวิตามินไม่เพียงพอจะทำให้ตาบอด และมองไม่เห็นในที่แสงสลัว (night blindness)

#### วิตามิน D

มีชื่อทางเคมีว่า Calciferol พบในแหล่งที่พบวิตามิน A ส่วนมากเกิดขึ้นได้เองเป็นวิตามินที่เปลี่ยนแปลงมาจากไลปิดประเภทสเตอรอล (sterol) ทำหน้าที่ควบคุมการดูดซึมธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้ฟันผุ กระดูกอ่อนคดโค้งงอไม่แข็งแรง กล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ยและชักกระตุก

#### วิตามิน E

มีชื่อทางเคมีว่า Tocopherol เป็นวิตามินที่ช่วยป้องกันไม่ให้เป็นหมัน ช่วยทำให้ตัวอ่อนเกาะติดผนังมดลูกได้เหนียวแน่นขึ้น วิตามินนี้พบใน พืชผักสีเขียว เมล็ดพืช นม และน้ำมันพืช

#### วิตามิน K

เป็นวิตามินที่พบมากในผัก ทำหน้าที่ช่วยสร้างสวรัที่ช่วยให้โลหิตแข็งตัว ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้เลือดแข็งตัวช้า เสียเลือดมาก หรือเลือดไหลหยุดช้า (haemophilia) และทำให้เลือดตกในโดยไม่มีบาดแผล

จากที่ได้กล่าวมานี้ นักศึกษาจะเห็นได้ว่าภายในโปรโตพลาสซึมของเซลล์หนึ่งนั้นมีสารต่าง ๆ สะสมอยู่เพื่อเป็นจักรกลที่จะช่วยให้ขบวนการต่างเพื่อการดำรงชีวิตดำเนินไปได้ด้วยดี ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์มีความปรกติ และส่งผลให้สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สามารถดำรงสภาพของการมีชีวิตอยู่ได้โดยสมบูรณ์

### 4.3 ระบบการทางชีวภาพในโปรโตพลาสซึม

#### (Biological Organization of Protoplasm)

##### 4.3.1 เซลล์และความรู้เกี่ยวกับเซลล์

##### (Cell and Study of Cell)

เซลล์คือก้อนโปรโตพลาสซึมซึ่งมีเยื่อบางห่อหุ้มอยู่ เซลล์เป็นหน่วยโครงสร้างมูลฐานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการดำรงชีวิตจะเกิดขึ้นจากการทำงานภายในเซลล์นั้น สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีเซลล์เป็นองค์ประกอบทั้งทางรูปร่างและหน้าที่

#### ประวัติโดยสังเขปในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องเซลล์

การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์นั้น ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางภายหลังจากมีการ



ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์แล้ว นักประดิษฐ์ที่สร้างกล้องจุลทรรศน์ขึ้นใช้เป็นครั้งแรกคือ ช่างประกอบแว่นชาวดัตช์ ชื่อ *Hans Janssen* และบุตรชายชื่อ *Zacharias Janssen* ร่วมกันสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1590 ต่อมาในปี ค.ศ. 1650 พ่อค้าชาวดัตช์ชื่อ *Antoni van Leeuwenhoek* ได้ปรับปรุงกล้องจุลทรรศน์ของ *Janssen* ให้ดียิ่งขึ้น แล้วนำไปสำรวจดูของเหลวชนิดต่าง ๆ และพบว่าในของเหลวเหล่านั้นมีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก ในปี ค.ศ. 1665 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ *Robert Hooke* ได้สำรวจแผ่นเยื่อไม้คอร์กซึ่งเป็นเปลือกของต้นโอ๊ค พบว่าแผ่นไม้เยื่อไม้คอร์กนั้นประกอบด้วยช่องเหลี่ยมเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก ผนังของช่องเหลี่ยมนั้นค่อนข้างหนา จึงเรียกช่องเหลี่ยมแต่ละช่องนั้นว่า เซลล์ (cell) ซึ่งเป็นภาษาละตินมีความหมายว่าห้องเล็ก ๆ

การค้นคว้ายังคงต่อเนื่องกันมาเรื่อย ๆ ในปี ค.ศ. 1835 นักสัตววิทยาชาวฝรั่งเศสชื่อ *Felix Dujardin* ได้ค้นพบว่าในเซลล์ที่มีชีวิตนั้นจะมีสารชั้น ๆ สีใส ลักษณะคล้ายวุ้น จึงเรียกลายภายในเซลล์นั้นว่า *sarcode* ในปี ค.ศ. 1839 นักสรีรวิทยาชาวโบฮีเมีย (ปัจจุบัน คือ เชโกสโลวะเกีย) ชื่อ *Evangelista Johannes Purkinje* ได้ศึกษาตัวอ่อนของสัตว์หลายชนิดพบว่าภายในเซลล์มีสารเหลวบรรจุอยู่ จึงเรียกลายนั้นว่า *Protoplasm*

ในปีเดียวกันนี้นักสัตววิทยาชาวเยอรมันชื่อ *Theodor E. Schwann* ได้ยืนยันว่า สัตว์ทุกชนิดจะประกอบด้วยเซลล์ และนักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ *Mathias Jakob Schleiden* ยืนยันเช่นกันว่าพืชทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์ ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์เยอรมันทั้งสองนี้จึงร่วมกันตั้งเป็นทฤษฎีว่า สิ่งมีชีวิตทั้งหลายประกอบด้วยเซลล์และมีผลิตภัณฑ์ของเซลล์เป็นองค์ประกอบ ทฤษฎีนี้เรียกว่า *ทฤษฎีเซลล์ (Cell Theory)*

ในปี ค.ศ. 1846 นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ *Hugo von Mohl* ค้นพบว่าในเซลล์ของพืชทั้งหลายมีโปรโตพลาสซึมอยู่ ในปี ค.ศ. 1850 *Ferdinand Cohn* ซึ่งเป็นนักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันเช่นกัน ได้เสนอความเห็นที่ โปรโตพลาสซึมในพืชและในสัตว์นั้น มีลักษณะและองค์ประกอบเช่นเดียวกัน ความเห็นนี้ได้มีการพิสูจน์ว่าเป็นความจริงโดยนักสัตววิทยาชาวเยอรมันชื่อ *Max Schultze* ใน ค.ศ. 1861

ทฤษฎีเซลล์ที่เสนอโดย Schwann และ Schleiden นั้นได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นโดยนักชีววิทยาชาวเยอรมัน ชื่อ *Rodolf Ludwig Carl Virchow* ในปี ค.ศ. 1858 โดยที่ Virchow เพิ่มเติมว่า เซลล์ต่าง ๆ นั้นย่อมเกิดขึ้นจากเซลล์ที่มีอยู่เดิมก่อนแล้ว ซึ่งในเวลาต่อมาพบว่านั่นคือการแบ่งเซลล์นั่นเอง

นอกจากผลงานสำคัญ ๆ ของนักวิทยาศาสตร์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีผลงานอื่น ๆ เกี่ยวกับเซลล์ที่ควรแก่การบันทึก เช่น

ในปี ค.ศ. 1824 *R.J.H. Dutrochet* นักชีววิทยาชาวฝรั่งเศสได้กล่าวว่าเนื้อเยื่อทั้งหลายของพืชและสัตว์ประกอบด้วยเซลล์เล็ก ๆ

ปี ค.ศ. 1831 นักพฤกษศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ *Robert Brown* พบว่าภายในเซลล์จะมีนิวเคลียส (*nucleus*) อยู่

*Edward Straburger* นักชีววิทยาชาวเยอรมัน กล่าวในปี ค.ศ. 1879 ว่านิวเคลียสเกิดมาจากนิวเคลียสเดิมที่มีชีวิตอยู่ ความคิดนี้ได้รับการสนับสนุนในปี 1882 โดยนักชีววิทยาชาวออสเตรียชื่อ *Walter Flemming* และในปี 1882 นี้เช่นกันที่ *August Weismann* นักชีววิทยาชาวเยอรมัน กล่าวว่า เซลล์ในรุ่นหลัง ๆ สามารถจะมีลักษณะย้อนกลับไปหาบรรพบุรุษได้ ขนาดของเซลล์

เซลล์ส่วนมากมีขนาดเล็กมาก จนไม่อาจมองเห็นได้ด้วยตาปรกติและไม่อาจใช้มาตราความยาวที่ใช้กันเป็นประจำได้ จึงกำหนดมาตราวัดขึ้นใหม่โดยกำหนดหน่วยเป็นไมครอน (*Micron*) ใช้สัญลักษณ์  $\mu$  ความยาว 1 ไมครอน เท่ากับ  $1/1,000$  มิลลิเมตร หรือ  $10^{-6}$  เมตร (หน่วยวัดที่ละเอียดยิ่งกว่านี้ได้แก่ *Millimicron* ซึ่งยาวเท่ากับ  $10^{-9}$  เมตร ใช้สัญลักษณ์  $m\mu$  และหน่วย *Angstrom* ซึ่งมีความยาวเท่ากับ  $10^{-10}$  ใช้สัญลักษณ์  $A^\circ$  โดยปรกติเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10-100 ไมครอน มีเซลล์เพียงส่วนน้อยที่มีขนาดใหญ่จนมองเห็นได้เช่น เซลล์ของเส้นประสาทอาจยาวถึง 3 ฟุต เซลล์ของเส้นใยพืชบางชนิดยาวประมาณ 2 ฟุต หรือไขของสัตว์ต่าง ๆ (ส่วนที่เป็นเซลล์ของไขนั้นเป็นจุดเล็ก ๆ ลอยอยู่บนผิวไขแดง ส่วนไขแดงและไขขาวนั้น เป็นผลิตภัณฑ์ของเซลล์)

### รูปร่างของเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตไม่ได้มีรูปร่างเหมือนกันทุกชนิดไป และแม้แต่สิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งเองเซลล์ก็มีรูปร่างต่าง ๆ กัน อาจมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม กลม แบน รี ทรงกระบอก หรือรูปทรงใด ๆ ก็ได้ นอกจากนั้นเซลล์บางชนิดยังสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อยู่เสมอ

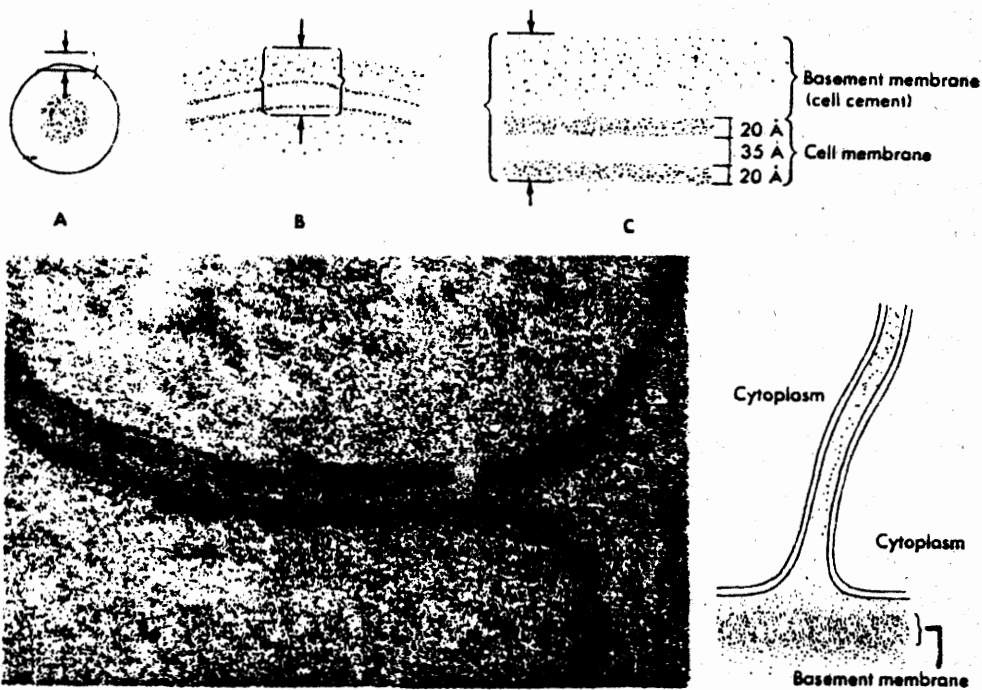
### โครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ (Cell Structure and Function)

จากการศึกษาของนักเซลล์วิทยา (*Cytologist*) พบว่าเซลล์ของพืชและสัตว์นั้นส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จะมีสิ่งแตกต่างกันบ้างเพียงในส่วนปลีกย่อยบางประการเท่านั้น ในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องเซลล์นั้น ในชั้นเดิมมีอุปกรณ์เพียงกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาเท่านั้น จนประมาณกลางปี ค.ศ. 1950 ได้มีการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนขึ้นใช้ ทำให้ความรู้เกี่ยวกับเซลล์ได้รายละเอียดกระจ่างชัดยิ่งขึ้น เนื่องด้วยเหตุที่เซลล์พืชและเซลล์สัตว์มีความแตกต่าง

กันไม่มากนัก จึงนิยมอธิบายลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์รวม ๆ กันไป รูปของเซลล์ที่เขียนขึ้นประกอบคำอธิบายเพื่อการศึกษาเรื่องเซลล์นั้น จึงมีองค์ประกอบครบถ้วน เรียกรูปเซลล์สมมุตินี้ว่า Generalized cell หรือ Typical cell แสดงองค์ประกอบทุกชนิดที่พบในเซลล์ทุกแบบ โครงสร้าง (Structure) และองค์ประกอบ (Organelle) ของเซลล์มีรายละเอียดโดยสังเขปดังต่อไปนี้

**ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell wall and Cell membrane)**

การที่น้ำในโปรโตพลาสซึมมีอยู่ได้ถึงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์และส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในโปรโตพลาสซึมไม่เหือดแห้งสลายไปนั้น เพราะมีเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ห่อหุ้มล้อมรอบอยู่ cell membrane อาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า plasma membrane เป็นส่วนที่มีชีวิตประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทไลปิดและโปรตีน มีคุณสมบัติเป็น Semipermeable membrane ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร เยื่อหุ้มเซลล์นี้มีทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์



ภาพ 4-8 แสดงลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ พิจารณาโดยขยายขนาดขึ้นตามลำดับ

ในเซลล์พืชนั้น นอกจากจะมีเยื่อหุ้มเซลล์แล้วยังมีองค์ประกอบพิเศษเคลือบหุ้มอยู่ทางด้านนอกของเยื่อหุ้ม ส่วนที่เคลือบหุ้มนี้เรียกว่า *ผนังเซลล์ (cell wall)* เป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนที่ค่อนข้างแข็งจึงทำให้เซลล์พืชสามารถรักษารูปร่างอยู่ได้ ผนังเซลล์นับเป็นผลิตภัณฑ์ของเซลล์และเป็นสิ่งไม่มีชีวิตและเสื่อมสภาพยาก การค้นคว้าที่ทำให้ Robert Hooke มีชื่อเสียงนั้น ก็คือส่วนที่เป็นผนังเซลล์นี้เอง ผนังเซลล์มีบทบาทและหน้าที่อย่างสำคัญในการป้องกันอันตรายและการสูญเสียสารภายในเซลล์ พืชบางชนิดผลิตผนังเซลล์ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เมื่อเซลล์นั้นตายแล้วผนังเซลล์ที่ยังคงสภาพอยู่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ไม้คอร์กและเปลือกไม้ต่าง ๆ

### นิวเคลียส (Nucleus)

สิ่งที่อยู่ใต้การหุ้มล้อมของเยื่อหุ้มเซลล์ได้แก่โปรโตพลาสซึม ในก้อนของเหลวโปรโตพลาสซึมนั้น มีองค์ประกอบส่วนหนึ่งซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมหรือรี อาจลอยอยู่ตอนกลางหรือบริเวณใดบริเวณหนึ่ง องค์ประกอบส่วนนี้ เรียกว่า *นิวเคลียส (nucleus)* ค้นพบเป็นครั้งแรกโดย Robert Brown นิวเคลียสเป็นองค์ประกอบของเซลล์ซึ่งมีผนังหุ้มล้อมในทำนองเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกเยื่อนี้ว่า *Nuclear membrane* เยื่อหุ้ม นิวเคลียสนี้จะห่อหุ้มของเหลวซึ่งเรียกว่า *nucleoplasm* ไว้ ใต้เยื่อหุ้มนิวเคลียสจะมีสารที่มีลักษณะคล้ายตาข่ายที่คลุมอยู่โดยตลอด วัตถุที่มีลักษณะคล้ายตาข่ายนี้เรียกว่า *โครมาติน (chromatin)* เป็นส่วนที่ย่อมลึบอัด ในระยะที่เซลล์มีการแบ่งตัว เส้นใยโครมาตินนี้จะขาดออกจากกันเป็นท่อน ๆ ในจำนวนซึ่งคงที่เฉพาะชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้น ท่อนของโครมาตินนี้เรียกว่า *โครโมโซม (chromosome)* ทำหน้าที่เป็นตัวนำลักษณะทางพันธุกรรมจากพ่อแม่ไปยังลูก นอกจากนั้นภายในนิวเคลียสจะมีปมเล็ก ๆ ปรากฏอยู่เรียกปมนี้ว่า *นิวคลีโอลัส (nucleolus)* เชื่อกันว่าเป็นชุมทางของเส้นโครมาติน ปมนี้อาจมีได้หลายอันแต่จะสลายตัวลงเมื่อเซลล์เริ่มแบ่งตัว

จากการศึกษาวิเคราะห์โดยละเอียดพบว่า โครโมโซมประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภท DNA เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมีสารประเภท RNA รวมอยู่ด้วย

นิวเคลียสมีหน้าที่ควบคุมขบวนการทุกอย่างที่เกิดขึ้นในเซลล์ เปรียบเสมือนศูนย์บัญชาการของเซลล์นั่นเอง

### ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

ไซโตพลาสซึม คือโปรโตพลาสซึมส่วนที่อยู่ล้อมรอบนิวเคลียส ถ้าพิจารณาอย่างผิวเผินจะเห็นว่าไซโตพลาสซึมมีลักษณะเป็นของเหลวที่ติดต่อกันเป็นเนื้อเดียว แต่ถ้าพิจารณาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อีเล็กตรอน พบว่าในเนื้อของไซโตพลาสซึมนั้น มีเยื่อบาง ๆ หอดทาบไปมาเป็น

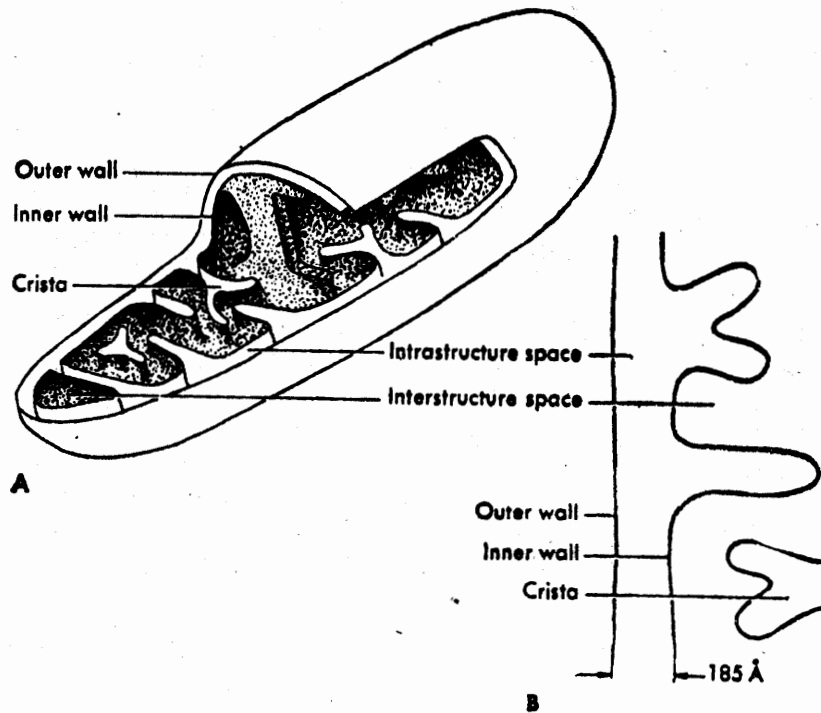
ชอกชอยทั่วไป นอกจากนั้นในเนื้อของไซโทพลาสซึมยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ของเซลล์ลอยอยู่ทั่วไป

**เอ็นโดพลาสมิก เรติคิวลัม (Endoplasmic reticulum)**

เยื่อบางที่ทอดทาบไปมาในส่วนของไซโทพลาสซึมนั้นเรียกว่า *endoplasmic reticulum* การทาบซ้อนของแผ่นเยื่อนี้ทำให้เกิดเป็นช่องคล้ายท่อขึ้น เลยกกลายเป็นทางติดต่อถ่ายเทสารระหว่างนิวเคลียสกับไซโทพลาสซึมชั้นในและชั้นนอก เอ็นโดพลาสมิก เรติคิวลัมมีรูปแบบเป็นสองสภาพ คือเป็นก้อนกลมเล็ก ๆ และเป็นแผ่นเยื่อบาง ๆ ส่วนที่เป็นก้อนกลมเล็ก ๆ นั้นเรียกว่า *ไรโบโซม (ribosome)* มักอยู่ติดกันกับแผ่นเยื่อ ทำหน้าที่เป็นผู้สังเคราะห์โปรตีนให้แก่เซลล์ ส่วนที่เป็นแผ่นเยื่อบางนั้นเข้าใจว่ามีส่วนร่วมในการทำงานของสารประเภท ไลปิด สเตอรอยด์ และโพลีแซคคาไรด์

**กอลจิบอดี (Golgi body)**

กอลจิบอดี เป็นองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งของเซลล์ องค์ประกอบส่วนนี้ค้นพบเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1898 โดยนักเซลล์วิทยาชาวอิตาลีชื่อ Camille Golgi กอลจิบอดี มีลักษณะเป็นเส้นแบบขนานกันแน่น ปรกติมักพบในเซลล์สัตว์เท่านั้น พบมากในเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างสาร เช่น เซลล์ของอวัยวะขับถ่าย ทำให้เชื่อกันว่า กอลจิบอดี มีหน้าที่เกี่ยวกับการขับถ่าย แต่ก็ยังไม่มีผู้ใดยืนยัน



ภาพ 4-7 ไมโทคอนเดรีย A. รูปร่างแสดงให้เห็นส่วนของภายใน B. ส่วนขยายของผนัง

### **ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)**

เป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่พบอยู่ในเซลล์แทบทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเซลล์ที่มีขบวนการทำงานสูง เช่น เซลล์ของตับ ไต และประสาท มีรูปลักษณะต่าง ๆ กัน ประกอบด้วยผนังสองชั้น ผนังชั้นในยื่นล้ำเป็นสันตั้งฉากกับผนังเดิม สันที่ยื่นตั้งฉากเข้าไปนี้ เรียกว่า คริสตา (crista พหูพจน์ *cristae*) ช่องภายในไมโทคอนเดรียจะมีของเหลวขังอยู่ จากการสังเกตพบว่าไมโทคอนเดรียนี้จะยึดหดได้ในขณะที่เซลล์ทำงาน หน้าที่ขององค์ประกอบชนิดนี้คือการสร้างเอ็นไซม์ที่ใช้ในการหายใจหรือเผาผลาญอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน จึงอาจเรียกได้ว่า ไมโทคอนเดรีย เป็นแหล่งสร้างพลังงานให้แก่เซลล์ (house of power of the cell) ในวงการแพทย์ปัจจุบันกำลังให้ความสนใจต่อไมโทคอนเดรียว่าเป็นผู้มีส่วนร่วมในการทำให้เกิดโรคมะเร็งหรือไม่ ผลการศึกษาขณะนี้ยังไม่เป็นที่ยุติ

### **ไลโซโซม (Lysosome)**

ไลโซโซมเป็นองค์ประกอบที่ค้นพบใหม่ ภายหลังมีการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแล้ว ไลโซโซมมีลักษณะภายนอกคล้ายกับไมโทคอนเดรีย ผนังขององค์ประกอบชนิดนี้เป็นสารประเภทไลโปโปรตีน ภายในมีน้ำย่อยหรือเอ็นไซม์สำหรับใช้ย่อยสลายสารต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ให้มีสภาพเป็นโมเลกุลเล็ก เพื่อสะดวกในการถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ถ้าผนังของไลโซโซมถูกทำลาย เอ็นไซม์ที่อยู่ภายในจะทะลักออกมาและย่อยสารอื่น ๆ ในโปรโตพลาสซึม ดังนั้นจึงเป็นที่เข้าใจว่าไลโซโซมมีหน้าที่ทำลายเซลล์ที่มีอายุมากหรือเซลล์ที่ตายแล้ว

### **เซนทริโอลและไคเนโทโซม (Centriole and Kinetosome)**

เซนทริโอลมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกเล็ก ๆ มีจำนวน 2 อัน อยู่ใกล้ ๆ นิวเคลียส จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า เซนทริโอลประกอบด้วยเส้นใยหลอดเล็ก ๆ 9 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีเส้นใยอยู่ 3 เส้น เซนทริโอลแต่ละอันจะทอดตัวตั้งฉากซึ่งกันและกัน

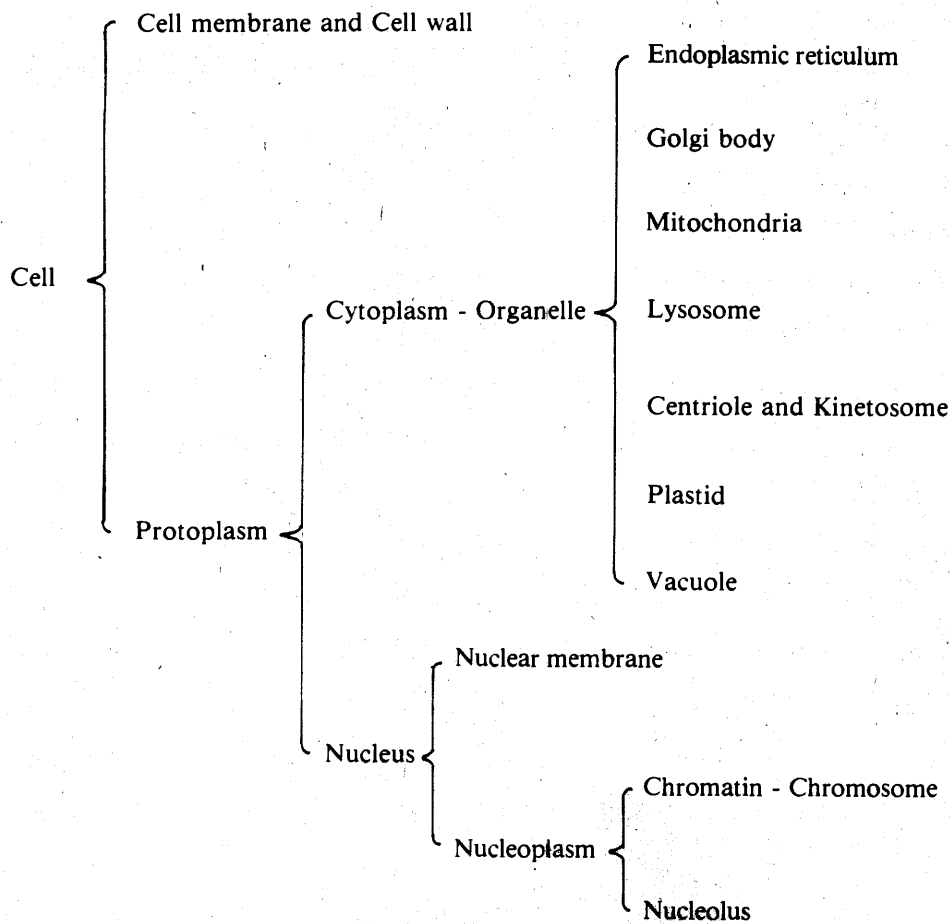
ในเซลล์บางชนิดซึ่งมีเส้นขนละเอียดเล็ก ๆ ซึ่งเรียกว่า cilia ติดอยู่ด้วย จะมีโครงสร้างชนิดหนึ่งติดอยู่ที่โคนสุดของ cilia นั้น โครงสร้างหรือองค์ประกอบชนิดนี้เรียกว่าไคเนโทโซม ซึ่งมีลักษณะและส่วนประกอบเช่นเดียวกันกับเซนทริโอล ทั้งเซนทริโอลและไคเนโทโซมนี้มีความสามารถจะยึดหดได้ จึงเชื่อกันว่าองค์ประกอบทั้งสองอย่างนี้ทำหน้าที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของเซลล์ แต่มีวิธีการแตกต่างจากการยึดหดของกล้ามเนื้อในสัตว์หลายเซลล์อื่น ๆ องค์ประกอบทั้งสองนี้ไม่พบในเซลล์พืช

### พลาสติดและแวคคิวโอล (Plastid and Vacuole)

ในพืชและสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิด จะมีองค์ประกอบพิเศษชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีในเซลล์ของสัตว์ องค์ประกอบนั้นคือ พลาสติดซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนสาร ภายในมีสารที่ทำให้เกิดสีบรรจุอยู่ พลาสติดแบ่งออกตามลักษณะของสีได้เป็น 3 พวกคือ พวกที่มีสารสีเขียวอยู่ภายในเรียกว่า *คลอโรพลาสต์ (chloroplast)* สารสีเขียวนี้เรียกว่า *คลอโรฟิลล์ (chlorophyll)* ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว คือสามารถนำเอาน้ำมารวมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีแสงสว่างเป็นตัวร่วมปฏิกิริยา เกิดเป็นสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ถ้าพลาสติดนั้นมีสารสีอื่นที่มีสีเขียวอยู่ภายใน เรียกพลาสติดนั้นว่า *โครโมพลาสต์ (chromoplast)* ถ้าพลาสติดนั้นไม่มีสารสีอยู่ภายในเรียกว่า *ลิวโคพลาสต์ (leucoplast)* มักพบในเซลล์ของพืชที่ไม่ได้รับแสงสว่าง การที่พืชมีสีเขียวหรือสีเหลือง ส้ม แดง ตลอดจนสีขาวใส ๆ เป็นเพราะองค์ประกอบนี้ของเซลล์

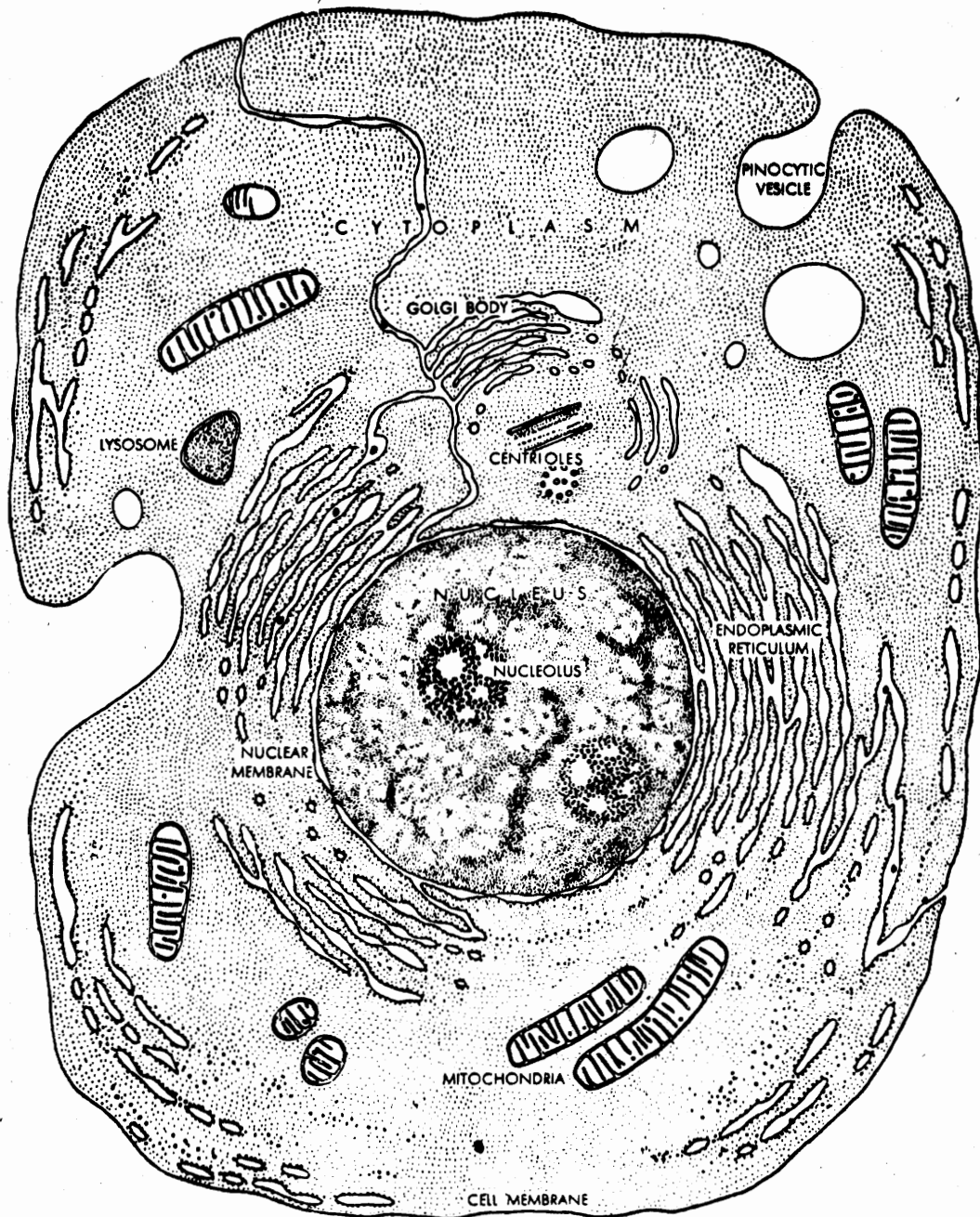
*แวคคิวโอล* เป็นช่องที่อยู่ในไซโตพลาสซึม ช่องนี้จะมีเยื่อบางหุ้มล้อมรอบอยู่ เยื่อหุ้มนี้เรียกว่า เยื่อโทโนพลาสต์ (*tonoplast*) ภายในช่องนี้จะมีน้ำและสารละลายอื่น ๆ บรรจุอยู่ แวกคิวโอลในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอาจแบ่งออกได้เป็นสามประเภทคือ ถ้าเป็นแวคคิวโอลที่อยู่ในมีสารละลายบรรจุอยู่ดังที่ได้กล่าวมา เรียกว่า *sap vacuole* ถ้าเป็นแวคคิวโอลที่มีอาหารอยู่ภายใน เรียกว่า *food vacuole* ถ้าเป็นแวคคิวโอลที่มีหน้าที่กำจัดน้ำและของเสียออกจากเซลล์เรียกว่า *contractile vacuole* ซึ่งแวคคิวโอลชนิดนี้มีความสามารถยืดหดได้ สามารถที่จะแตกและเกิดขึ้นใหม่ได้เป็นคราว ๆ ไป

องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ตามที่ได้อธิบายมานี้ อาจสรุปเป็นแผนผังได้ ดังต่อไปนี้คือ



ถ้านักศึกษาคิดพิจารณาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า เซลล์เปรียบได้กับองค์กรหรือหน่วยงานที่มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์รัดกุมยิ่ง ประกอบด้วยฝ่ายบริหารและควบคุมนโยบาย (นิวเคลียส) ฝ่ายธุรการ (organelle ต่าง ๆ) และฝ่ายบริการ (แวคคิวโอลและเยื่อหุ้มต่าง ๆ) ผลงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกัน ส่งผลให้เกิดการดำรงอยู่อย่างมั่นคง และทำให้เกิดความก้าวหน้าและการเจริญเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพยิ่ง





ภาพ 4-8 แสดง Typical cell หรือ Generalized cell

## ข้อยกเว้นบางประการเกี่ยวกับเรื่องเซลล์

จากทฤษฎีเซลล์ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า สิ่งมีชีวิตประกอบด้วยเซลล์นั้น แม้ว่าจะเป็นข้อความที่ใช้ได้โดยทั่วไป แต่มีกรณียกเว้นบางกรณีซึ่งอยู่นอกเหนือไปจากทฤษฎีนี้แม้ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตเหมือนกัน เช่น

1. ไวรัสซึ่งจัดเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง มิได้มีองค์ประกอบเหมือนเซลล์ทั่วไป ไวรัสประกอบด้วยสารอินทรีย์ ประเภทกรดนิวคลีอิกเท่านั้น ไม่มีองค์ประกอบอื่นใดนอกไปจากนี้เลย

2. จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียและแอลจีสีเขียวแกมน้ำเงินตลอดจนเซลล์ของเม็ดโลหิตแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ไม่มีนิวเคลียสที่เห็นเป็นกลุ่มก้อนที่แน่นอนชัดเจน

3. สิ่งมีชีวิตบางชนิดหรือเซลล์บางชนิด ไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ ที่จะกั้นให้เซลล์แยกออกจากกัน ทำให้เซลล์หนึ่ง ๆ มีนิวเคลียสอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก (เซลล์ที่มีนิวเคลียสอยู่ภายในเป็นจำนวนมากนี้ถ้าเป็นเซลล์พืชเรียกว่า coenocyte ถ้าเป็นเซลล์สัตว์เรียกว่า syncytium)

4. Sieve tube cell ในท่อลำเลียงของพืช เป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส

### 4.3.2 ความเปลี่ยนแปลงของเซลล์ (Cellular Differentiation)

ถ้าเราลองพิจารณาสิ่งมีชีวิตที่เห็นอยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น ต้นไม้ หรือมนุษย์ เราจะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีลักษณะเป็นเอกลักษณ์หรือเฉพาะตัว และในสิ่งมีชีวิตแต่ละสิ่งนั้นยังประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะและหน้าที่แตกต่างกันออกไป เราได้ทราบมาแล้วว่าส่วนต่าง ๆ ทุกส่วนในสิ่งมีชีวิตนั้นประกอบขึ้นด้วยเซลล์ เมื่อเป็นเช่นนี้คงจะเป็นช่องทางให้คิดได้ว่าเซลล์เหล่านี้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปแล้วทำให้เกิดส่วนต่าง ๆ ขึ้นมา ซึ่งในความจริงก็เป็นเช่นนั้น เซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งรูปร่างและหน้าที่ เพื่อไปทำหน้าที่เฉพาะอย่าง (specialize) เช่นเซลล์ที่บริเวณปลายรากจะมีรูปร่างและหน้าที่ต่างไปจากเซลล์ที่พบอยู่ที่ผิวหนัง และเซลล์ที่ผิวใบก็มีรูปร่างและหน้าที่ต่างไปจากเซลล์ที่พบอยู่ในเนื้อใบ ในทำนองเดียวกันในร่างกายของมนุษย์เอง เซลล์ประสาทก็จะมีรูปร่างและหน้าที่แตกต่างออกไปจากเซลล์ของเม็ดโลหิตเช่นเดียวกัน

จากตอนต้นนักศึกษาได้เรียนรู้มาแล้วว่าเซลล์แต่ละเซลล์มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือลำต้นที่เราเห็นอยู่นั้นจึงประกอบด้วยเซลล์เป็นจำนวนมากนับแสนนับล้านเซลล์ โดยที่เซลล์เหล่านั้นมีรูปร่างหน้าที่และคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน เซลล์ที่มีรูปร่างและหน้าที่เหมือนกันมาอยู่และทำงานด้วยกันเป็นกลุ่มเช่นนี้ เรียกว่า "เนื้อเยื่อ" (tissue) ถ้าเนื้อเยื่อใดประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างแบบเดียวกันโดยตลอด เรียกเนื้อเยื่อนั้นว่า "เนื้อเยื่อเชิงเดี่ยว"

(*simple tissue*) ในบางกรณีเนื้อเยื่อประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างต่างกันแต่มาทำหน้าที่อย่างเดียวกัน เรียกเนื้อเยื่อชนิดนี้ว่า “เนื้อเยื่อเชิงประกอบ” (*composite tissue*)

เนื้อเยื่อหลาย ๆ ชนิดเมื่อมาประกอบกันเข้าเป็นส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เรียกส่วนต่าง ๆ นี้ว่า “อวัยวะ” (*organ*) อวัยวะอย่างหนึ่ง ๆ นั้นอาจประกอบด้วยเนื้อเยื่อชนิดใดก็ได้ อวัยวะแต่ละอย่างมีหน้าที่เฉพาะลงไป ถ้าอวัยวะหลาย ๆ ชิ้นมารวมทำงานประสานกันเพื่อกิจกรรมอย่างเดียวกัน เรียกหมู่ของอวัยวะนั้นว่า “ระบบ” (*system*) เช่น ระบบย่อยอาหาร ประกอบด้วยอวัยวะประกอบอื่น ๆ เป็นต้น เมื่อระบบต่าง ๆ ทำงานร่วมกันผลของการรวมกันของระบบทุกระบบนั้นทำให้เกิดการมีชีวิตขึ้น เนื่องด้วยลักษณะและการทำงานของอวัยวะหรือระบบมีความแตกต่างกัน รวมตลอดจนถึงการมีระบบไม่เท่าเทียมกัน จึงทำให้สิ่งมีชีวิตแตกต่างกันออกไปเป็นพืชและสัตว์ ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของความเปลี่ยนแปลงของเซลล์ จึงแยกศึกษาออกเป็นเรื่องของพืชและเรื่องของสัตว์เป็นอย่าง ๆ ไป

#### 4.3.3 เซลล์และเนื้อเยื่อของพืช (*Plant Cell and Tissue*)

ถ้าพิจารณาดูต้นพืชอย่างกว้าง ๆ จะพบว่าพืชประกอบด้วยระบบสองระบบ คือ ระบบราก (*Root System*) และระบบของส่วนพืชนั้น (*Shoot System*) ซึ่งรวมไปถึงลำต้นและใบ ระบบทั้งสองนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่สำคัญ 4 ประเภทคือ เนื้อเยื่อเจริญ (*Meristematic tissue*) เนื้อเยื่อป้องกัน (*Protective tissue*) เนื้อเยื่อสามัญ (*Fundamental tissue*) และเนื้อเยื่อลำเลียง (*Conductive tissue หรือ Vascular tissue*) ในตำราบางเล่มจัดรวมเอาเนื้อเยื่อป้องกัน เนื้อเยื่อสามัญ และเนื้อเยื่อลำเลียงให้รวมกันเรียกว่าเนื้อเยื่อถาวร (*Permanent tissue*)

#### เนื้อเยื่อเจริญ (*Meristematic tissue*)

เนื้อเยื่อเจริญหรือเรียกโดยทั่วไปว่า meristem เป็นกลุ่มเซลล์ที่เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์ใหม่ ๆ ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะอย่าง เซลล์มักจะมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์อยู่เรียงอัดกันแน่น ภายในเซลล์มีนิวเคลียส 1 อัน และไม่มีแวคคิวโอล ผันเซลล์บางอยู่ติดกับเซลล์ข้างเคียงอย่างหนาแน่นจนไม่เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ (*intercellular space*)

บริเวณที่พบเนื้อเยื่อเจริญได้แก่ส่วนปลายของต้นพืช จะเป็นปลายยอด หรือปลายรากก็ตาม ส่วนปลายนี้เรียกว่า growing point เนื้อเยื่อที่พบในบริเวณนี้เรียกว่า Apical meristem ทำหน้าที่เพิ่มขยายความยาวให้แก่รากและลำต้น นอกจากนั้นอาจพบได้อีกบริเวณหนึ่งในบริเวณรอบวงด้านข้าง เรียกเนื้อเยื่อเหล่านี้ว่า Lateral meristem หรือ Cambium ทำหน้าที่เพิ่มขยายความกว้างใหญ่ให้แก่ลำต้นและราก meristem ทั้งสองชนิดนี้เมื่อเกิดมาได้ระยะหนึ่งแล้วจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีหน้าที่เฉพาะอย่างต่อไป

## เนื้อเยื่อป้องกัน (Protective Tissue)

เนื้อเยื่อป้องกันจะปกคลุมอยู่ที่ผิวด้านนอกของส่วนของต้นพืช ทำหน้าที่ป้องกันมิให้เซลล์ที่อยู่ด้านในถัดเข้าไปได้รับอันตรายอันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำหรือการกระทบกระเทือนจากสิ่งอื่น เซลล์ของเนื้อเยื่อชนิดนี้มักจะมีผนังเซลล์หนา และมีการสร้างทดแทนได้อย่างรวดเร็ว เนื้อเยื่อประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ Epidermal tissue กับ Cork tissue

Epidermal tissue หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า epidermis เป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ มักเรียงตัวอยู่ตามผิวนอกของต้นพืช เซลล์เหล่านี้มีผนังด้านนอกซึ่งติดต่อกับดินหรืออากาศค่อนข้างหนาและหนูน ผนังด้านนี้ประกอบด้วยสารประกอบซึ่งมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง มีความสามารถป้องกันการระเหยของน้ำได้ สารประกอบนี้เรียกว่า cutin เป็นสารที่สร้างโดยโปรโตพลาสซึม ตัวเซลล์มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ปรกติมักไม่มีสี หรือบางชนิดอาจมีสีอยู่ด้วยเล็กน้อย

Cork tissue คอร์กเป็นเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญชนิด lateral meristem ชนิดที่เรียกว่า cork cambium เมื่อคอร์กเกิดขึ้นมาแล้วจะถูกดันออกให้มารวมกันกลายเป็นเปลือกอยู่ทางด้านนอกของลำต้นหรือรากที่มีอายุมากกว่า 1 ปี ผนังเซลล์ถูกสร้างโดยโปรโตพลาสซึม ประกอบด้วยสารชื่อ suberin ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันการระเหยของน้ำได้เช่นเดียวกับ cutin เซลล์ของคอร์กนี้จะมีอายุอยู่ได้ระยะหนึ่งแล้วโปรโตพลาสซึมจะสลายตัวไป เหลือแต่ผนัง คอร์กเซลล์นี้เองที่ Robert Hooke ได้นำมาศึกษาในปี ค.ศ. 1665

## เนื้อเยื่อสามัญ (Fundamental tissue)

เนื้อเยื่อสามัญแบ่งออกตามลักษณะของเซลล์ได้เป็น 3 พวกคือ Parenchyma, Sclerenchyma และ Collenchyma

Parenchyma เป็นเนื้อเยื่อสามัญที่พบอยู่ในแทบทุกบริเวณของพืช เซลล์เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญมีรูปร่างได้หลายแบบแต่ส่วนมากมักกลมหรือรี ผนังของเซลล์บาง อาจประกอบด้วยเยื่อหลายเหลี่ยมระหว่างเซลล์ต่อเซลล์จะมีช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) อยู่โดยทั่วไป ภายในเซลล์มีแวคคิวโอล นอกจากนั้น parenchyma บางชนิดยังมีเม็ดคลอโรพลาสต์อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เซลล์นั้นทำหน้าที่เป็นแหล่งสังเคราะห์อาหารตลอดถึงการเก็บสะสมอาหารด้วย

Sclerenchyma เป็นเนื้อเยื่อที่เซลล์แต่ละเซลล์มีผนังค่อนข้างหนาโดยที่ประกอบด้วยสารประเภทเซลลูโลส และลิกนินมาสะสมอยู่ เซลล์ชนิดนี้มีอายุค่อนข้างสั้น โปรโตพลาสซึมจะสลายตัวไปภายหลังที่ได้สร้างผนังเซลล์ให้มีความหนาพอสมควรแล้ว sclerenchyma มีหน้าที่ให้ความมั่นคง

แข็งแรงแก่ต้นพืช นอกจากนี้ยังอาจช่วยทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายอีกด้วย ถ้าพิจารณาตามลักษณะของรูปร่างของเซลล์อาจแบ่ง sclerenchyma ออกได้เป็น 2 พวกคือ พวกที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว หัวท้ายแหลม ผนังหนามากจนเหลือช่องกลางเซลล์เพียงเล็กน้อย เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า *Fiber* เรานำเอาเส้นใย fiber นี้มาทำให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เช่น เส้นใยป่าน เส้นใยฝ้าย ล้าลี ไยมะพร้าว สับปะรด เป็นต้น ถ้าเซลล์มีรูปร่างบวมสั้น มีผนังหนาและแข็งแรง เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่า *Stone cell* หรือ *Sclereid* บริเวณของพืชที่จะพบเนื้อเยื่อชนิดนี้มากได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ด กะลา เป็นต้น

Collenchyma เป็นเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรงเช่นกัน แต่ต่างจาก sclerenchyma ที่ collenchyma ยังเป็นเซลล์ที่มีชีวิต เซลล์มีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายด้าน ผนังแต่ละด้านจะมีความหนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณมุมของเซลล์ อาจมีช่องว่างระหว่างเซลล์อยู่บ้างหรือไม่มีเลย มีความยืดหยุ่นมากกว่า sclerenchyma จึงมักพบในบริเวณที่อ่อนไหวของต้นพืช เช่น ก้านใบ มุมของลำต้น เนื้อเยื่อลำเลียง (Conductive tissue)

เนื้อเยื่อลำเลียงเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งลำเลียงสารต่าง ๆ จากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งในต้นพืช เนื้อเยื่อชนิดนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเชิงซ้อน 2 ประเภท คือ Xylem และ Phloem ซึ่งแต่ละประเภทจะประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดมาประกอบกัน

*Xylem* เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารและวัตถุติดต่าง ๆ จากดินเข้าสู่ราก (โดยขบวนการแพร่กระจายและออสโมซิส) แล้วนำส่งต่อขึ้นยังบริเวณของเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์ เซลล์ที่มาประกอบเป็น xylem นั้นมี 4 ชนิด คือ parenchyma, fiber, tracheid และ vessel สำหรับ parenchyma และ fiber นั้นมีลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนเพียงแต่ทำหน้าที่ลำเลียงสารจากรากสู่ลำต้นและใบเท่านั้น

*Tracheid* เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาวหัวท้ายแหลม เมื่อแก่ตัวโปรโตพลาสซึมภายในจะเสื่อมสลายไป ช่องทางภายในเซลล์จึงกลายเป็นทางผ่านของน้ำ นอกจากนี้ผนังเซลล์ซึ่งมีความหนาмаกยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ต้นพืช ผนังด้านในของเซลล์มีลวดลายเป็นเกลียวซึ่งเกิดจากการสะสมของสารเซลลูโลส เนื้อผนังเซลล์โดยทั่วไปจะมีช่องเล็ก ๆ เป็นทางติดต่อกับเซลล์ข้างเคียง ในพืชที่มีวิวัฒนาการสูงขึ้นมาผนังด้านขวางของเซลล์จะถ่างออกเป็นแผ่นตะแกรง ทำให้เซลล์มีลักษณะคล้ายท่อส่งน้ำติดต่อกันเป็นเส้นยาว เซลล์ที่มีลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า *Vessel* แต่ละเซลล์มีผนังหนาและมีลวดลายต่าง ๆ เช่นเดียวกับ tracheid *vessel* นี้มีหน้าที่เช่นเดียวกันกับ tracheid

*Phloem* เป็นเนื้อเยื่อลำเลียงซึ่งทำหน้าที่ขนถ่ายลำเลียงสารและอาหารที่ต้นพืชได้สังเคราะห์ขึ้นไปยังส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด คือ parenchyma, fiber, sieve tube และ companion cell

*Sieve tube cell* เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาว ยังมีชีวิตอยู่แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นนิวเคลียสภายในเซลล์จะสลายตัวไป พร้อมกันนั้นจะเกิดแวคคิวโอลขึ้นทั่วไปในเซลล์ทำให้โปรโตพลาสซึมถูกดันให้ร่นไปติดผนังเซลล์ ผนังด้านขวางของเซลล์ชนิดนี้จะมีช่องตะแกรงทำให้การขนส่งลำเลียงสะดวกยิ่งขึ้น การทำงานของ *sieve tube cell* นี้เชื่อกันว่าอยู่ในความควบคุมของเซลล์อีกชนิดหนึ่งคือ *companion cell* ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กอยู่ติดกับ *sieve tube cell* เป็นเซลล์ที่มีชีวิต และมีนิวเคลียสอยู่โดยตลอด *companion cell* มีรูปร่างยาวแทรกอยู่ในกลุ่มของ *sieve tube cell* และติดต่อกันโดยช่องเล็ก ๆ ที่มีอยู่ข้างผนังเซลล์

ทั้ง *xylem* และ *phloem* เกิดจากการแบ่งเซลล์ของ *lateral meristem* ชนิดที่เรียกว่า *Vascular cambium* โดย *cambium* นี้จะแบ่งตัวให้ *phloem* ออกทางด้านนอกของต้นพืชและ *xylem* เข้าหาศูนย์กลางของลำต้น แต่ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น พืชจำพวกหญ้าและพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (พืชใบแคบ) ต่าง ๆ จะไม่มีท่อ *xylem* และท่อ *phloem* มักจะทอดคู่ขนานไปด้วยกัน จึงเรียกท่อทั้งสองนี้รวม ๆ ว่า มัดท่อลำเลียง (*Vascular bundle*)

ปรกติแล้ว *cambium* จะสร้าง *xylem* มากกว่า *phloem* และในการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมา นั้นขนาดของเซลล์จะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อม ทำให้มีขนาดแตกต่างกันตามฤดูกาล ถ้าได้น้ำและอาหารมากเซลล์จะมีขนาดใหญ่ ถ้าน้ำและอาหารขาดแคลนเซลล์จะมีขนาดเล็ก ดังนั้นในพืชยืนต้นที่มีอายุมาก ๆ ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ (*wood*) ซึ่งประกอบด้วย *xylem* ล้วน ๆ จะเห็นความแตกต่างของการเจริญเติบโตของ *xylem* ได้ชัดเป็นวงชั้นสีเข้มและจางสลับกัน เรียกววงชั้นในเนื้อไม้ที่ว่า "วงปี" (*annual ring*) ตัวอย่างของวงปีที่เห็นได้ชัดได้แก่ไม้สัก และไม้เนื้อแข็งต่าง ๆ

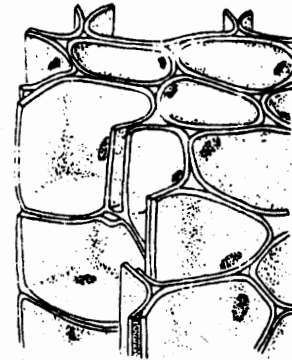
ลักษณะของเนื้อเยื่อของพืชแบบต่าง ๆ เปรียบเทียบได้ดังภาพดังต่อไปนี้



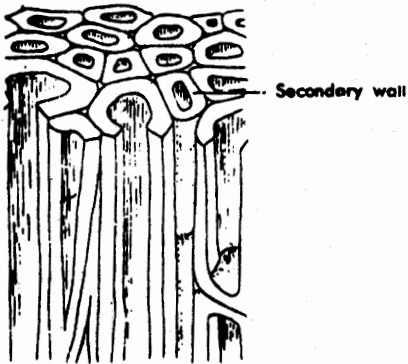
PROTECTIVE



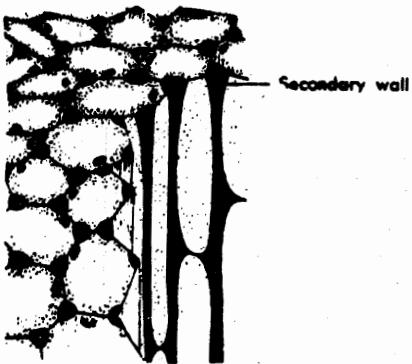
MERISTEMATIC  
770 X



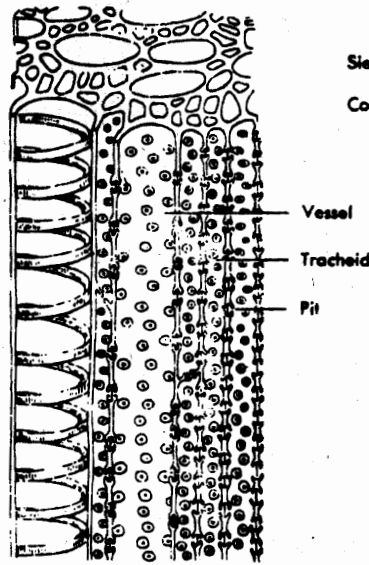
PARENCHYMA



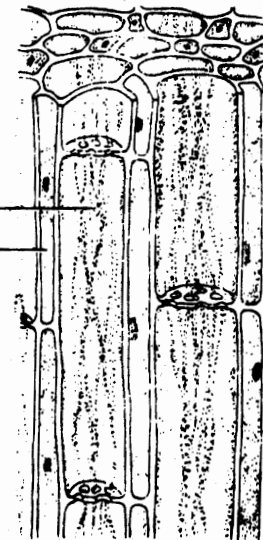
SCLERENCHYMA



COLLENCHYMA



XYLEM



PHLOEM

ภาพ 4-9 แสดงเนื้อเยื่อแบบต่างๆ ของพืช

#### 4.3.4 เซลล์และเนื้อเยื่อของสัตว์ (Animal Cell and Tissue)

ในสัตว์ชั้นสูง อวัยวะต่าง ๆ มีความสลับซับซ้อนมากกว่าที่พบในพืช เซลล์และเนื้อเยื่อที่ประกอบเป็นอวัยวะมีความแตกต่างกันมาก นอกจากนั้นสัตว์แต่ละชนิดยังมีความเปลี่ยนแปลงในเรื่องของเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์อยู่เป็นอย่างมากแม้ว่าจะมีหน้าที่คล้ายคลึงกัน เช่น เกล็ดปลา กระดองเต่า หรือขนนก เป็นต้น

เนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่พบในสัตว์นั้นอาจแบ่งได้ตามลักษณะของโครงสร้างและจุดกำเนิดออกเป็น 4 ประเภท คือ เนื้อเยื่อ (Epithelial tissue) เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Muscular tissue) เนื้อเยื่อประสาท (Nervous tissue) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ ใครขอให้นักศึกษากำหนดไว้ในใจอยู่เสมอว่าเนื้อเยื่อต่าง ๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันกับการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสัตว์

##### เนื้อเยื่อ (Epithelial Tissue)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะต้องมีส่วนของร่างกายติดต่อกับสิ่งแวดล้อมนอกตัว ในสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์เดียวมีเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่นี้ ในพืชและสัตว์ชั้นสูงขึ้นมามีเนื้อเยื่อทำหน้าที่นี้เช่นกัน ในสัตว์เราเรียกว่า เนื้อเยื่อ (epithelial tissue หรือ epithelium) ทำหน้าที่บุผิวป้องกันอันตราย และอาจทำหน้าที่สร้างสารขึ้นมาได้ ตัวอย่างของเนื้อเยื่อ ได้แก่ ผิวหนัง เยื่อบุกระพุ้งแก้ม เยื่อบุทางเดินอาหาร และเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ทั้งภายนอกและภายใน

Epithelium แบ่งออกตามลักษณะของรูปร่างได้เป็นหลายชนิด เช่น ถ้ามีรูปร่างแบนคล้ายแผ่นกระเบื้อง เรียกว่า *Squamous epithelium* พบอยู่ตามอวัยวะที่อ่อนนุ่มทั่วไป เช่น ช่องปาก โพรงจมูก หลอดอาหาร ผังช่องคลอด และหนังกำพริบ ถ้ามีรูปร่างแบบลูกบาศก์ หรือลูกเต๋า เรียกว่า *Cuboidal epithelium* มักจะเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างสารหรือสิ่งต่าง ๆ ขึ้นมา เช่น เยื่อที่พบในหลอดไต และเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่สร้างเชื้อเพศชาย (sperm) และไข่ ถ้าเซลล์มีลักษณะเป็นทรงสูง เรียกว่า *Columnar epithelium* พบได้ในเยื่อบุกระเพาะอาหาร และเยื่อบุลำไส้ *columnar epithelium* บางชนิดมีขนละเอียดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งเรียกเยื่อชนิดนี้ว่า *Ciliated epithelium* พบในหลอดลม และท่อนำไข่ในอวัยวะเพศหญิง

มีเยื่อชนิด *cuboidal* และ *columnar* บางชนิดทำหน้าที่สร้างสารขึ้นมา เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า เซลล์ต่อม (*Glandular epithelium*) ทำหน้าที่สร้างสารขึ้นมา เช่น ฮอร์โมน เอ็นไซม์ น้ำนม น้ำตา น้ำลาย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเยื่อบางชนิดทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกโดยทำงานประสานกันกับประสาทสัมผัส เช่น เยื่อที่จอร์ับภาพของตา เซลล์เยื่อชนิดนี้เรียกว่า *Sensory epithelium*



## เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Muscular Tissue)

ในบรรดาเซลล์ทั้งหลายของสัตว์นั้น เซลล์ที่มีความสามารถที่จะหดตัวได้ดีที่สุด ได้แก่ เซลล์กล้ามเนื้อ การหดตัวของกล้ามเนื้อ (ซึ่งถือเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อ) เกิดจากการหดตัวของโปรโตพลาสซึมภายในเซลล์ ผลของการทำงานของกล้ามเนื้อทำให้สัตว์สามารถเคลื่อนไหวได้

ในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง เช่น มนุษย์เรานั้น เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อแบ่งออกตามลักษณะได้เป็น 3 แบบ คือ กล้ามเนื้อกระดูก หรือ กล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle หรือ Striated muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (Heart muscle หรือ Cardiac muscle) เซลล์กล้ามเนื้อโดยทั่วไปมีรูปร่างยาว การหดตัวก็เกิดตามแนวยาวนี้ การหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการกระตุ้นของระบบประสาท แต่มีเพียงกล้ามเนื้อกระดูกหรือกล้ามเนื้อลายเท่านั้นที่เราสามารถควบคุมการหดตัวได้ จึงเรียกกล้ามเนื้อชนิดนี้ได้อีกชื่อหนึ่งว่าเป็น *voluntary muscle* ส่วนกล้ามเนื้ออีกสองชนิดนั้น เราไม่สามารถควบคุมการหดตัวได้ จึงเรียกว่า *involuntary muscle*

Skeletal muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ปลายข้างหนึ่งยึดติดอยู่กับกระดูกหรือเอ็นกล้ามเนื้อ ชนิดนี้มีอยู่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ยาว หัวท้ายแหลม ภายในมีนิวเคลียสอยู่หลายอัน ที่เยื่อหุ้มเซลล์จะมีลายสีเข้มและจางพาดสลับกันเป็นแถบพาดขวางเซลล์ ตัวอย่างของกล้ามเนื้อพวกนี้ได้แก่ เนื้อสัตว์ที่นำมาเป็นอาหาร (เฉพาะส่วนที่เรียกว่า “เนื้อ” จริง ๆ เท่านั้น)

Cardiac muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบกันเป็นอวัยวะหัวใจ มีรูปลักษณะของเซลล์คล้ายกับ skeletal muscle ต่างกันที่ cardiac muscle มีแขนงหรือสาขาเชื่อมโยงถึงกันได้โดยตลอด การยึดหดตัวของกล้ามเนื้อนี้จะเกิดขึ้นโดยพร้อมเพรียงเป็นจังหวะสม่ำเสมออยู่ตลอดชีวิตของสัตว์ ผลของการยึดหดตัวนี้ทำให้เรารู้สึกได้ และเรียกว่าเป็นการเต้นของหัวใจ

Smooth muscle เป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบกันขึ้นเป็นผนังของอวัยวะภายในโดยทั่วไป กล้ามเนื้อชนิดนี้มีรูปร่างหัวท้ายแหลม กลางป่อง มีนิวเคลียสอยู่ 1 อัน ที่เยื่อหุ้มเซลล์ไม่มีลายพาดขวาง เพียงแต่มีสีเข้มเท่ากันโดยตลอด การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ โดยได้รับการกระตุ้นจากระบบประสาทอัตโนมัติและสารเคมี

## เนื้อเยื่อประสาท (Nervous Tissue)

เมื่อเราถูกมีดบาดหรือถูกของแข็งตกลงมาทับ เราจะมีความรู้สึกเจ็บ ความรู้สึกนี้จะเกิดขึ้นในเวลาที่รวดเร็วมากจนดูเหมือนว่าอาการเจ็บนั้นเกิดขึ้นในทันทีที่เหตุการณ์เกิดขึ้นความรู้สึก

ต่าง ๆ นี้แผ่สำราญไปโดยการนำของเนื้อเยื่อชนิดหนึ่งที่เราเรียกว่า เนื้อเยื่อประสาท (nervous tissue) เนื้อเยื่อชนิดนี้จะแทรกอยู่ทุกส่วนของร่างกายเช่นเดียวกับเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ตลอดถึงการทำงานก็จะประสานงานกับเนื้อเยื่อกล้ามเนื้ออย่างใกล้ชิด

เนื้อเยื่อประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาท (nerve cell หรือ neuron) มารวมกัน เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ประกอบด้วย *cell body* ซึ่งเป็นส่วนที่มีไซโตพลาสซึมอยู่ล้อมนิวเคลียส จาก *cell body* จะมีเส้นใยแขนงเล็ก ๆ ยื่นต่อออกมาตามจุดต่าง ๆ เส้นใยนี้แบ่งออกเป็นสองพวก พวกหนึ่งเป็นเส้นใยที่มีขนาดสั้นเรียกว่า *Dendrite* ทำหน้าที่เป็นทางรับกระแสความรู้สึกเข้าสู่ *cell body* อีกพวกหนึ่งเป็นเส้นใยยาว บางชนิดอาจมีความยาวเป็นฟุต เรียกว่า *Axon* ทำหน้าที่เป็นทางส่งกระแสความรู้สึกและคำสั่งออกจาก *cell body* ตามปรกติแล้ว เส้นใย *axon* จะมีเยื่อไขมันหุ้มอยู่ที่ปลายสุดของ *dendrite* และ *axon* จะมีเส้นใยละเอียดแผ่อยู่เป็นจำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้เรียกว่า *End plate* ทำหน้าที่เป็นตัวเกาะเกี่ยวประสานกับ *end plate* ของเซลล์อื่น การยึดเกี่ยวประสานกันของ *end plate* เรียกว่า *Synapse*

เซลล์ประสาทแบ่งตามหน้าที่การทำงานออกเป็น 2 พวก พวกที่ทำหน้าที่รับกระแสความรู้สึก เรียกว่า *Sensory neuron* พวกที่นำคำสั่งหรือความรู้สึกจากระบบสมอง (ซึ่งเป็นศูนย์รวมของเนื้อเยื่อประสาท) ไปยังกล้ามเนื้อ เรียกว่า *motor neuron*

#### เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissue)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีหน้าที่หลักเกี่ยวกับการเป็นโครงร่างและโยงยึดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เนื้อเยื่อชนิดนี้ทำงานร่วมกับเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อประสาท ทำให้ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหว แม้ว่าเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีลักษณะแตกต่างกันอยู่หลายแบบ แต่ทุกชนิดจะมีลักษณะที่เหมือนกันอยู่อย่างหนึ่ง คือ จะประกอบด้วยส่วนที่มีลักษณะเป็นของเหลวเรียกว่า *Matrix* ทำหน้าที่เป็นส่วนรองรับ และส่วนที่เป็นตัวเซลล์ซึ่งมีรูปลักษณะต่าง ๆ แล้วแต่ชนิดเรียกว่า *Corpuscle* เนื้อเยื่อเกี่ยวพันแบ่งกว้าง ๆ ออกตามหน้าที่ได้เป็นสองพวก คือ พวกที่ทำหน้าที่ค้ำจุนโครงร่าง เรียกว่า *Supportive connective tissue* และพวกที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวและติดต่อเรียกว่า *Binding connective tissue*

*Supportive connective tissue* เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เป็นโครงร่าง หรือโครงกระดูก (skeleton) เพื่อให้สัตว์ต่าง ๆ มีรูปทรงคงที่ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้องกันอีกด้วย ในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมลง หรือหอย โครงกระดูกจะปกคลุมอยู่ภายนอก (exoskeleton) โครงร่างพวกนี้จะถูกสร้างและขับออกมาภายนอกร่างกายโดยเซลล์เยื่อเมือก ส่วนในสัตว์มีกระดูก

สันหลัง จะมีกระดูกอยู่ภายในร่างกาย (endoskeleton) กระดูกของสัตว์พวกนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือกระดูกอ่อน (Cartilage) และกระดูกแข็ง (Bone)

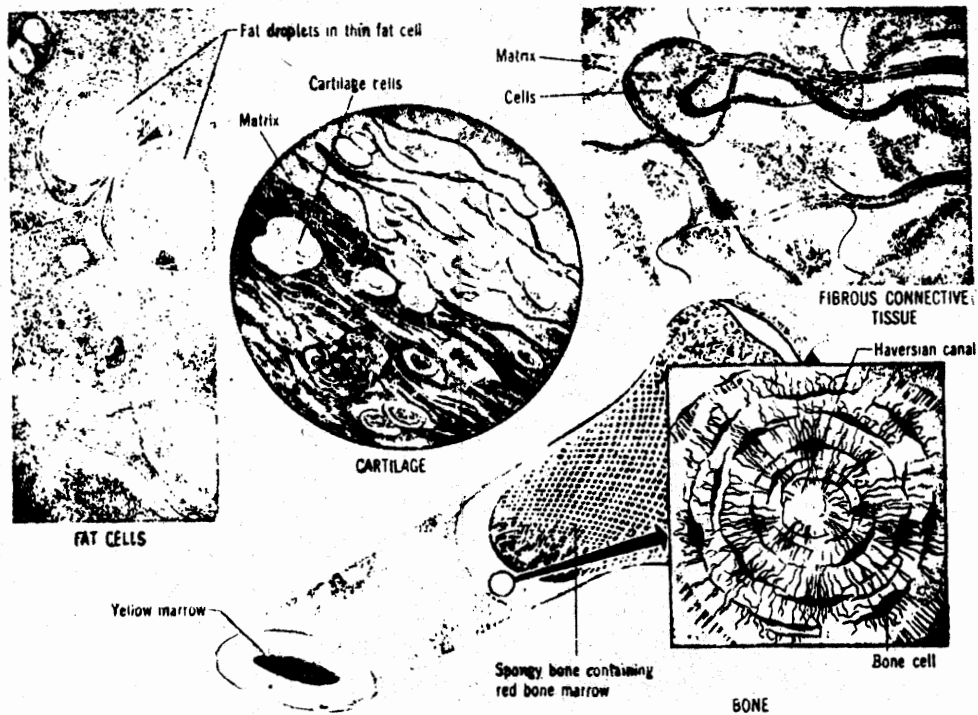
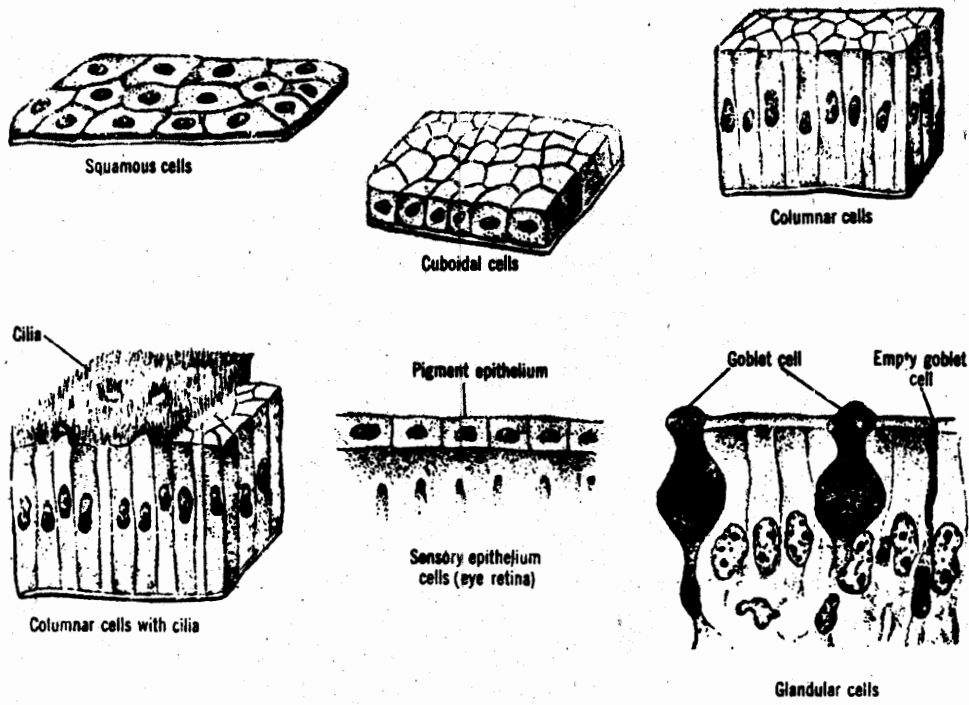
กระดูกอ่อน (cartilage) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ matrix มีลักษณะเหนียวหนืดคล้ายยางชั้น ทำให้เนื้อเยื่อนี้มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงกดกระแทก corpuscle มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ทนต่อการดึงยึดได้ดี ตัวอย่างของกระดูกอ่อน ได้แก่ ตั้งจมูก กระดูกหู และกระดูกของปลากระดูกกรุปบางชนิด เช่น ปลาฉลาม กระเบน

กระดูกแข็ง (bone) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ matrix มีลักษณะแข็งมากจึงทำหน้าที่เป็นโครงร่างพยุ่งร่างกายไว้ให้มีรูปร่างคงที่เสมอ matrix ของกระดูกแข็งประกอบด้วยสารพวกแคลเซียมและฟอสเฟต เป็นส่วนใหญ่ ในสัตว์โดยทั่วไป กระดูกแข็งจะมีน้ำหนักของสารทั้งสองนี้ราวสองในสามของน้ำหนักของกระดูกทั้งหมด matrix จะมีลักษณะเป็นช่องพรุน และมีตัวเซลล์อยู่ในช่องนั้น และมีเส้นเลือดแทรกเข้าไปหล่อเลี้ยงอยู่ด้วย

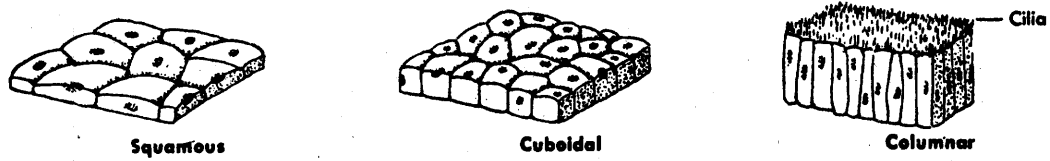
Binding connective tissue เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่โยงยึดให้กระดูกอยู่ในที่เดิมได้ เนื้อเยื่อพวกนี้ได้แก่ เอ็น และพังผืด (tendon, ligament and fascia) เอ็นทนต่อนำหน้าที่ยึดกล้ามเนื้อให้ติดต่อกับกระดูกเมื่อกกล้ามเนื้อหดตัวจะทำให้กระดูกเคลื่อนไหว ลิกกาเมนต์เป็นตัวยึดกระดูกให้เชื่อมต่อกับกระดูก นอกจากนั้นยังมีพังผืดทำหน้าที่หุ้มมัดกล้ามเนื้อเข้าไว้ด้วยกัน

เส้นเลือด เลือด และน้ำเหลือง จัดไว้เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันแบบพิเศษอีกแบบหนึ่ง ทั้งเลือดและน้ำเหลืองมีกำเนิดที่ในโพรงกระดูกและไขกระดูก แล้วจึงถูกลำเลียงเข้าสู่ร่างกายโดยทางเส้นเลือด เลือดประกอบด้วย เม็ดเลือด (blood corpuscle) ซึ่งมีทั้งเม็ดเลือดขาว (white blood corpuscle; WBC) และเม็ดเลือดแดง (red blood corpuscle; RBC) น้ำเลือด (plasma) และเกล็ดเลือด (blood platelet)

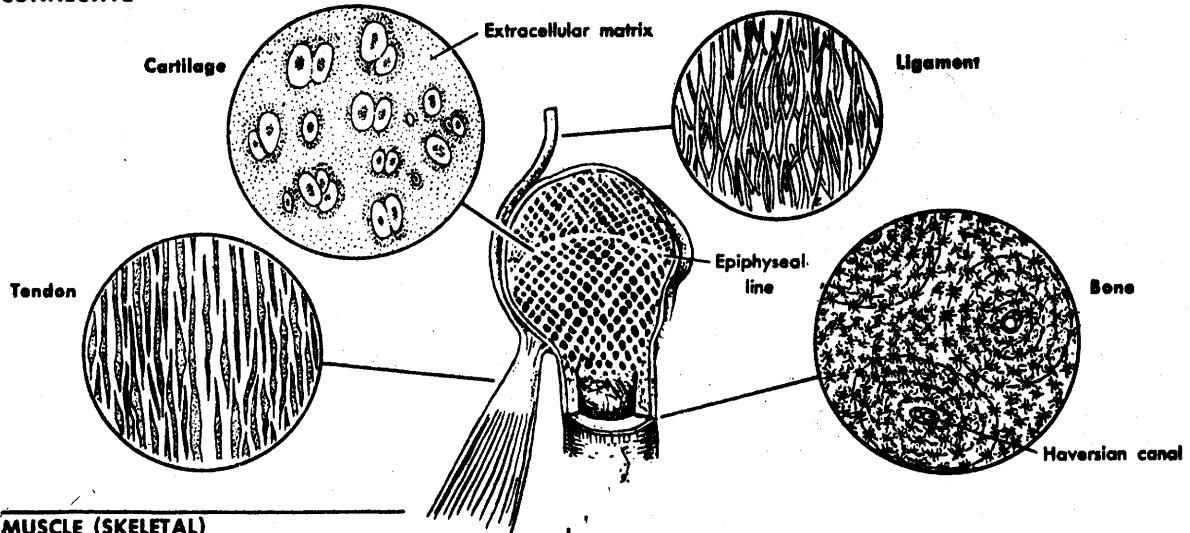
เนื้อเยื่อทุกชนิดตวมที่ได้กล่าวมาทั้งในของพืชและสัตว์ต่างก็มีบทบาทในการดำรงชีวิตเป็นอย่างมาก การที่ชีวิตดำเนินไปได้ว่าเป็นปกติสุขนั้น เกิดจากการทำงานประสานกันของเนื้อเยื่อเหล่านี้ทั้งสิ้น



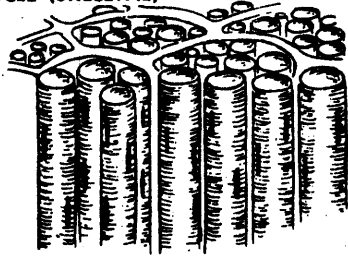
ภาพ 4-10 แสดงเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ของสัตว์



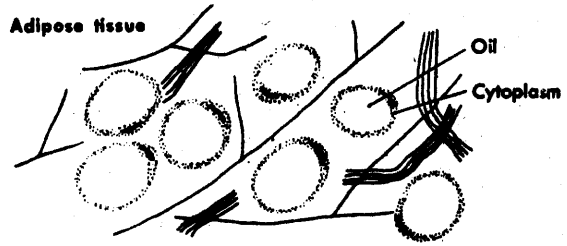
**CONNECTIVE**



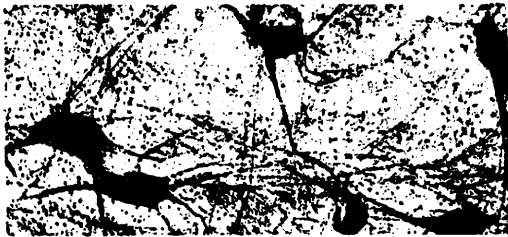
**MUSCLE (SKELETAL)**



**Adipose tissue**

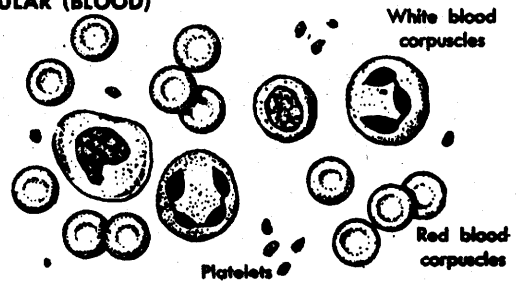


**NERVOUS**



Giant nerve cells from spinal cord of an ox

**VASCULAR (BLOOD)**



ภาพ 4-11 แสดงเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ของสัตว์