6

การสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช

การเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด จะต้องเกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์แสง และขบวนการหายใจ การสังเคราะห์แสงเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของพืชที่มีสีเขียว ได้สารประกอบใช้เป็นอาหารของพืช ส่วนการหายใจเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเช่นกัน แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้พลังงานนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ทั้ง 2 ขบวนการมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชทุกชนิด

6.1 ขบวนการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช เป็นขบวนการที่สำคัญ ทำให้พืชได้สารอาหาร มีองค์ประกอบ ปฏิกิริยาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ดังต่อไปนี้

6.1.1 องค์ประกอบของการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสงเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยเกิดขึ้นในเซลล์ของพืชสีเขียว (และแบคทีเรียบางชนิด) เป็นวิธีการสร้างอาหารของพืช โดยใช้ CO_2 และ H_2O เป็นวัตถุดิบ มีคลอโรฟิลล์เป็นเครื่องช่วยดูดเก็บพลังงานแสง นำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง อาหารที่พืชสร้างขึ้นเป็นสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต พืชนำไปใช้ดำรงชีพ บางส่วนจะเก็บสะสมไว้ และเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นต่อไป ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชมีองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

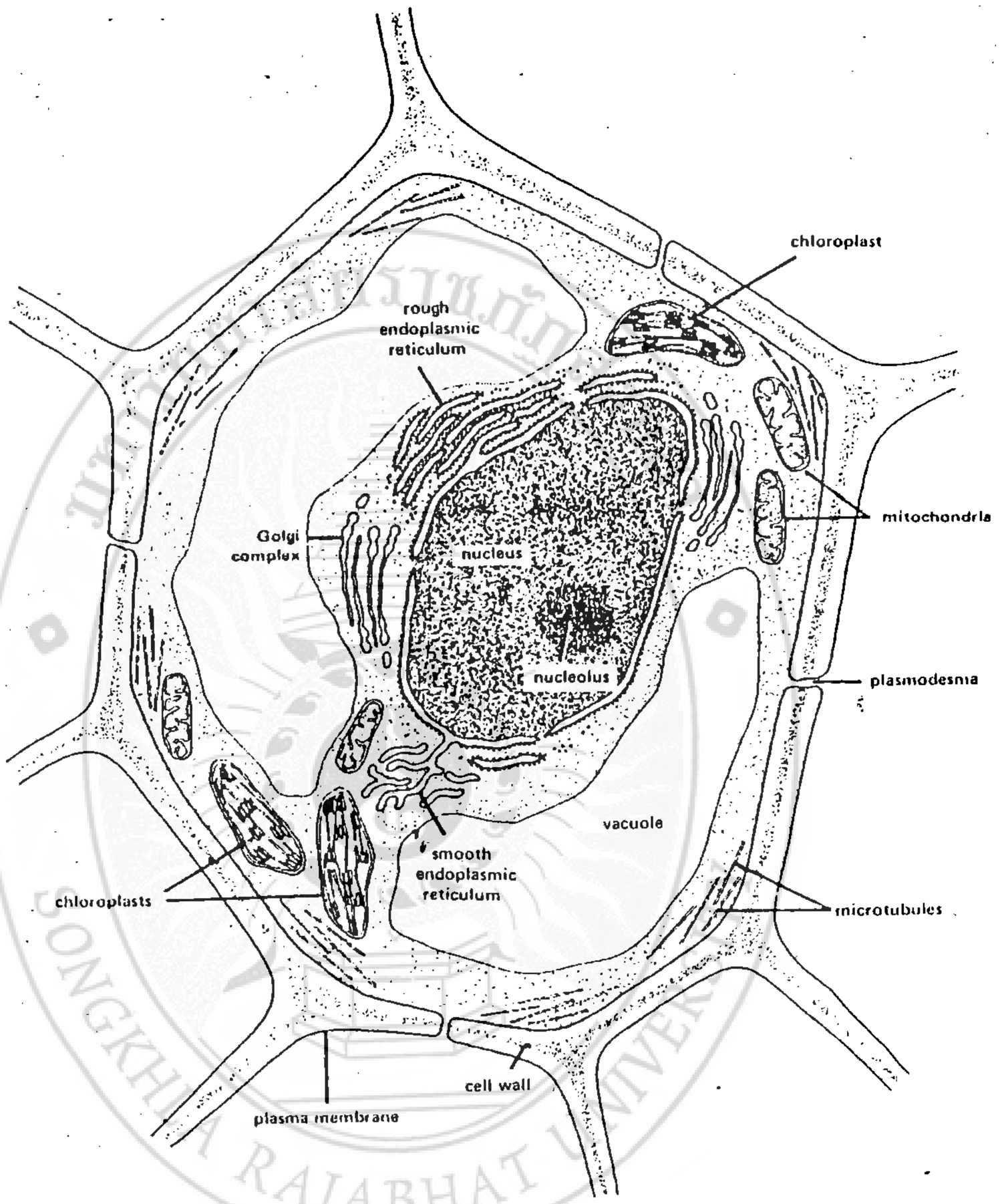
1. น้ำ (H_2O) น้ำจากดินที่รากดูดขึ้นมา พืชใช้เป็นวัตถุดิบในขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นแหล่งของไฮโดรเจน (H) ที่พืชจะนำไปใช้ในการสร้างอาหาร พืชจะต้องได้รับน้ำอย่างเพียงพอ

2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พืชได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยแพร่ผ่านเข้าทางปากใบ ใช้เป็นวัตถุดิบในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยปกติพืชจะได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศซึ่งมีอยู่มากพอ และมักไม่ขาดแคลน

3. พลังงานแสง (light energy) โดยปกติพืชได้รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ พืชนำพลังงานนี้ไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง แต่พืชอาจจะใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ เช่น แสงจากไฟฟ้าแทนได้ถ้ามีชนิดและความเข้มของแสงตรงตามที่พืชต้องการ

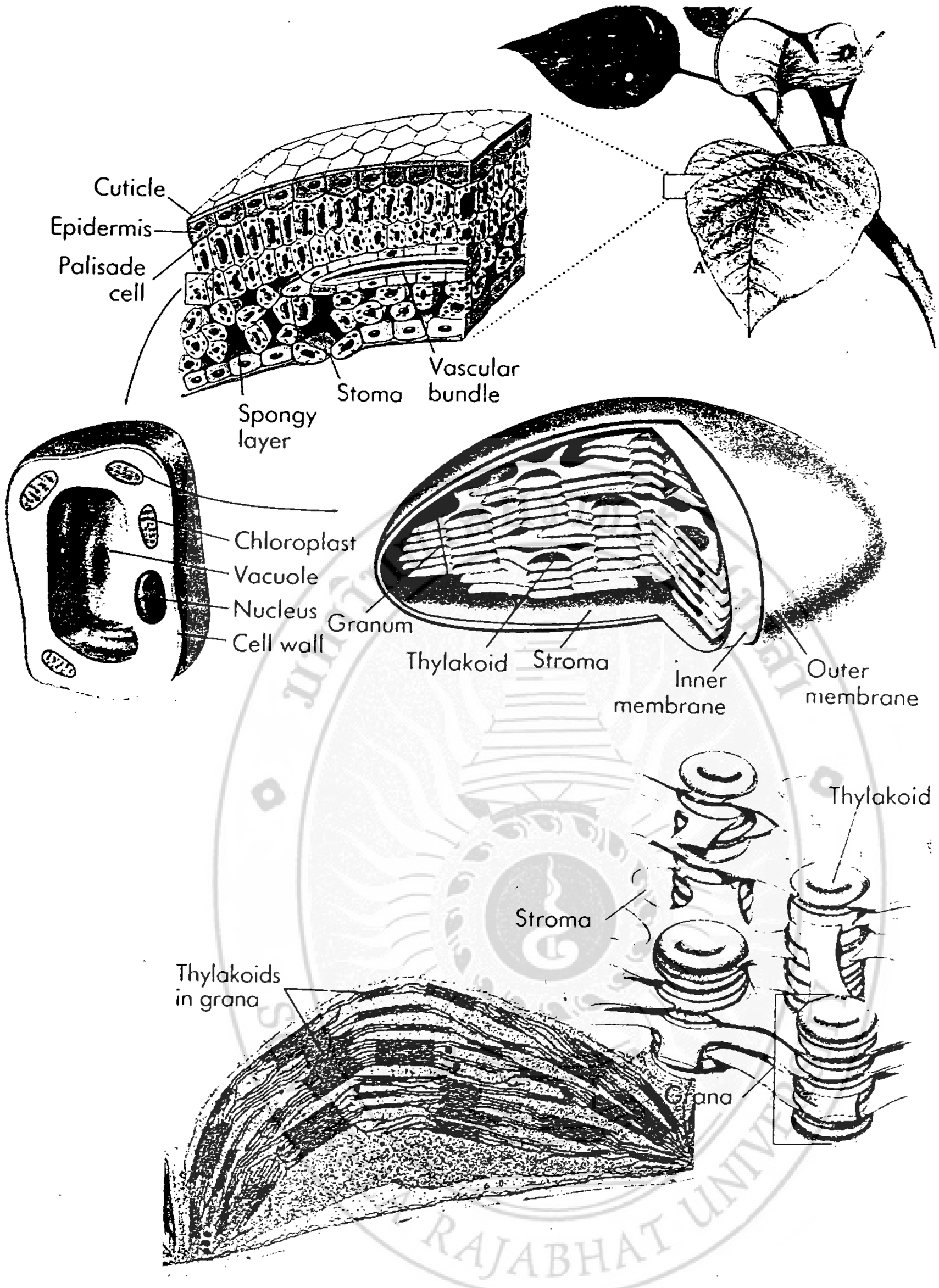
แสงแดดที่เห็นเป็นสีขาวนั้น ประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ มีความยาวคลื่นไม่เท่ากัน เมื่อให้แสงแดดผ่านปริซึม (prism) แสงจะกระจายออกเป็นแถบสีต่าง ๆ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียก visible spectrum มี 7 แถบสีด้วยกัน เรียงตามลำดับจากความยาวคลื่นมากที่สุดลงมาเป็นดังนี้ แดง ส้ม เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม และม่วง มักเรียกกันว่า สีรุ้ง แสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ต่อการสังเคราะห์แสง คือ แสงสีแดง รองลงมา คือ แสงสีน้ำเงิน ฉะนั้นแสงประดิษฐ์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว จึงนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในขบวนการสังเคราะห์แสงได้ เช่น เพิ่มแสงให้แก่ไม้ดอกไม้ประดับบางชนิดในเวลากลางคืน เป็นต้น

4. รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigments) การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในเซลล์พืชที่มีสีเขียวซึ่งเป็นสีที่เกิดจากรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) มีคุณสมบัติดูดแสงสีแดงและสีน้ำเงินมาก สะท้อนสีเขียวจึงทำให้มองเห็นใบไม้เป็นสีเขียว พืชชั้นสูงและสาหร่ายทุกชนิดมีคลอโรฟิลล์ชนิด a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) มีสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นรงควัตถุหลักในขบวนการสังเคราะห์แสง พืชชั้นสูงและสาหร่ายสีเขียวมีคลอโรฟิลล์ชนิด b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) มีสีเขียวแกมเหลือง สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม (diatom) มีคลอโรฟิลล์ชนิด c สาหร่ายสีแดงมีคลอโรฟิลล์ ชนิด d คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดเก็บพลังงานแสง เพื่อนำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง



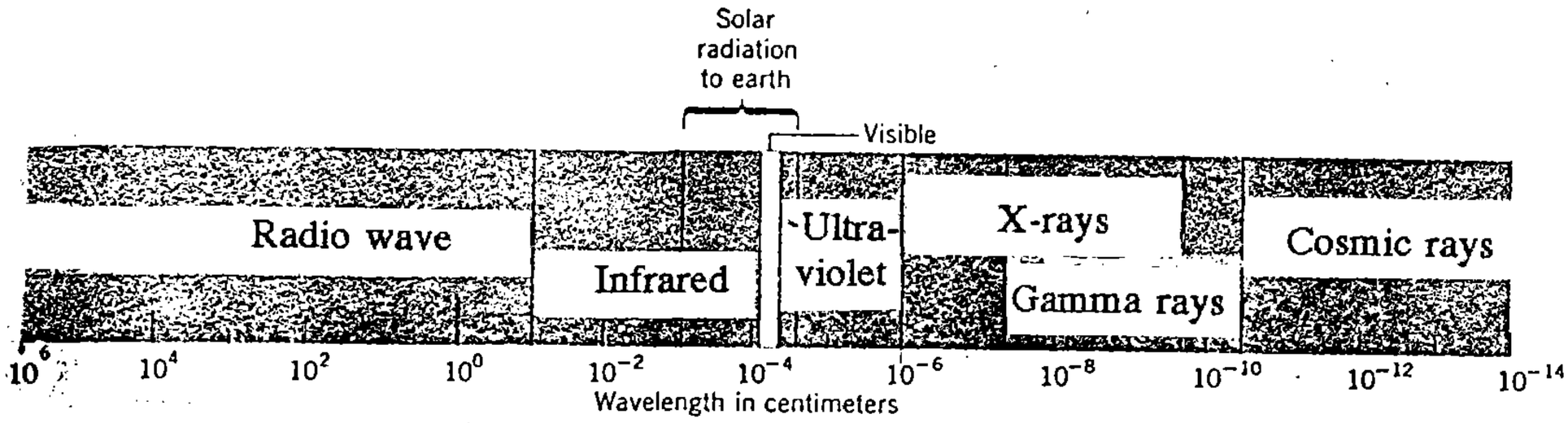
รูปที่ 6.1 *แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของเซลล์พืช*

ที่มา : *De Robertis etal 1975 : 19*

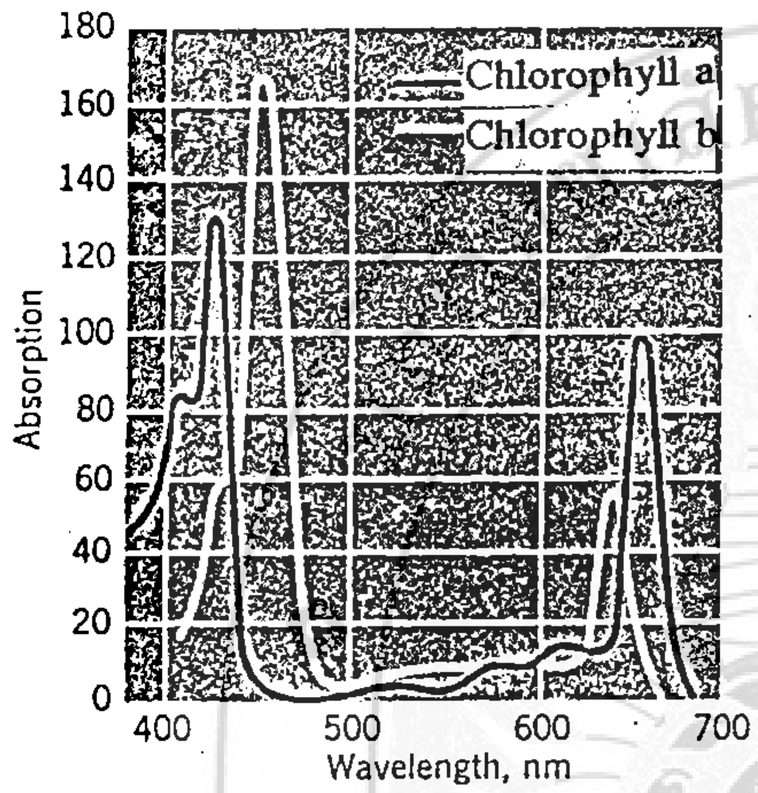


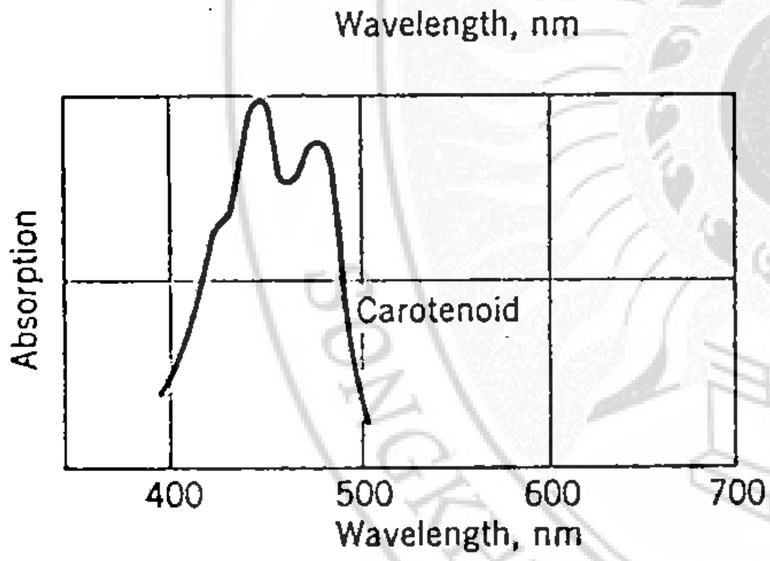
รูปที่ 6.2 *โครงสร้างและการเรียงตัวของผนังชั้นในของคลอโรพลาสต์*

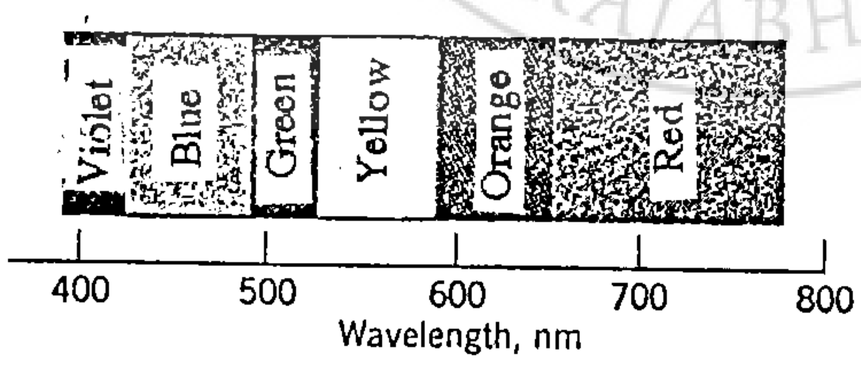
ที่มา : *Raven, Peter H. and Johnson, George B. 1992 : 193*

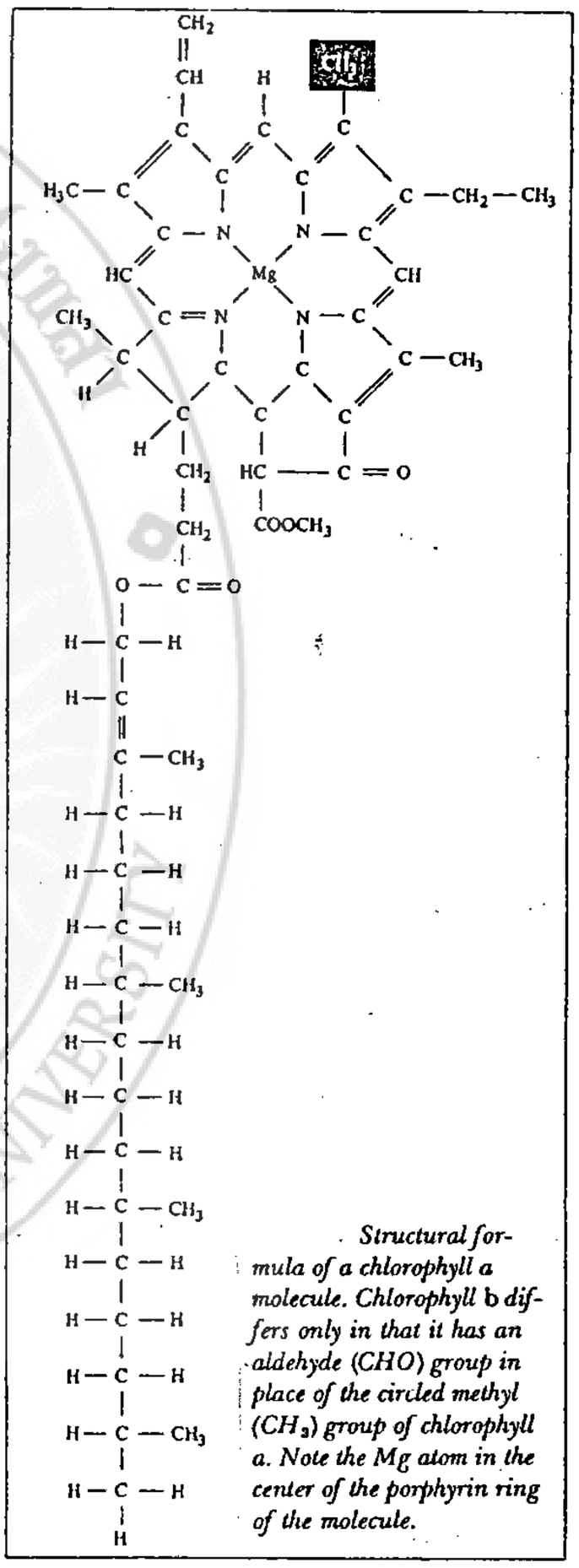


(nm). One nanometer $= 10^{-7}$ *cm.*









Structural formula of a chlorophyll a molecule. Chlorophyll b *differs only in that it has an aldehyde (CHO) group in place of the circled methyl* (CH_3) *group of chlorophyll a. Note the Mg atom in the center of the porphyrin ring of the molecule.*

รูปที่ 6.3 *แสดงคลื่นแสง การดูดคลื่นแสง และโครงสร้างของคลอโรฟิลล์*

ที่มา : *คัดแปลงจาก Greulach, Victor A. and Adams, J. Edison. 1962 : 262,268,357*

นอกจากรงควัตถุชนิดคลอโรฟีลล์แล้ว ยังมีรงควัตถุชนิดอื่นอีก คือ carotene และ xanthophylls มีหลายสี ทำให้พืชมีสีสวยงามมากขึ้น เป็นรงควัตถุเสริม ช่วยดูดเก็บพลังงานแสง แล้วถ่ายทอดให้กับคลอโรฟีลล์ a ในระบบการดูดแสงของพืช รงควัตถุดังที่กล่าวมานี้พบในคลอโรพลาสต์ในเซลล์พืช

การสังเคราะห์แสงหรือการสร้างอาหารของพืชเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) โดยใช้องค์ประกอบที่กล่าวมาแล้ว แต่ละขั้นตอนของการสังเคราะห์แสง ถูกควบคุมด้วย enzyme ผลที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง จะได้สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต คือ น้ำตาลกลูโคส มีก๊าซออกซิเจนเกิดจากการแตกตัวของน้ำเป็นผลพลอยได้ แพร่ออกสู่บรรยากาศและสังเคราะห์น้ำขึ้นมาใหม่ การสังเคราะห์แสงแสดงเป็นสมการ โดยสรุปได้ดังนี้

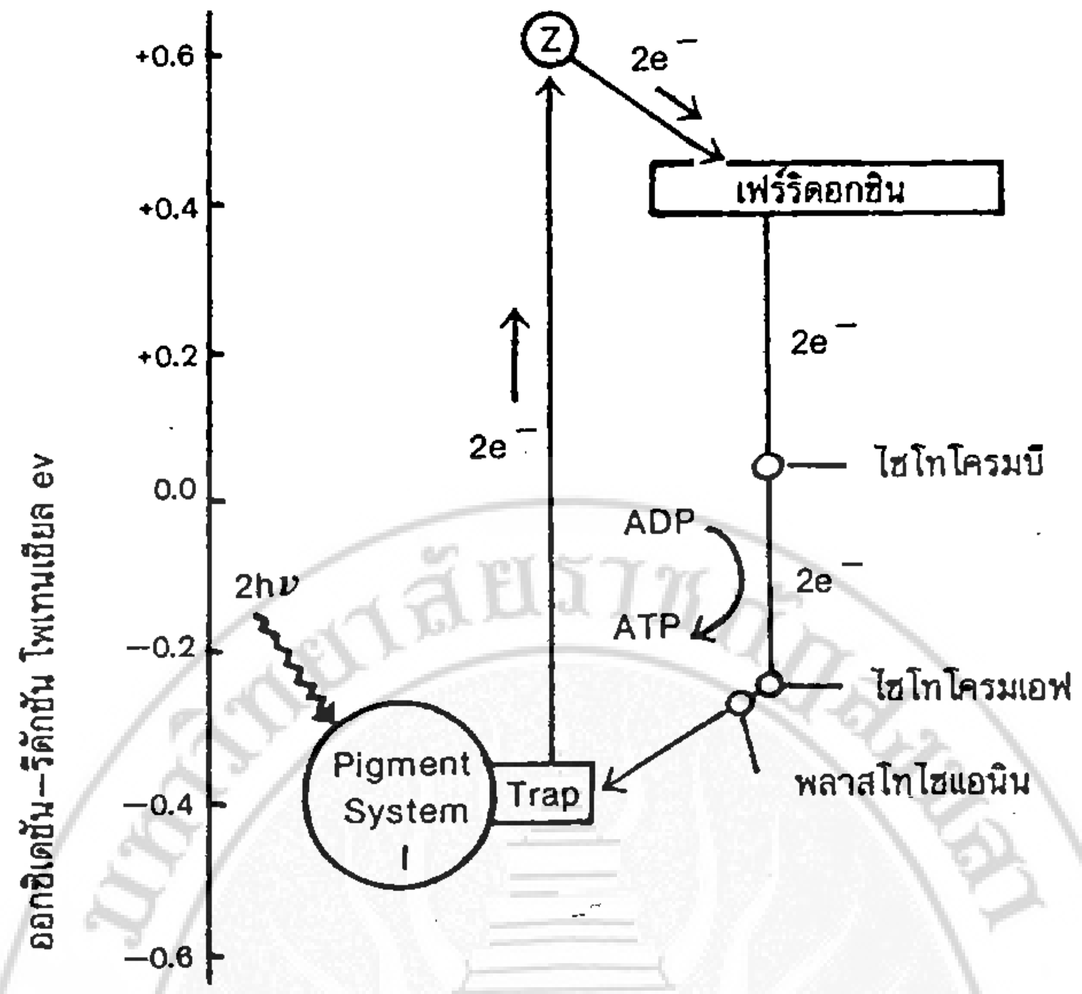
$$6\ CO_2 + 12\ H_2O \xrightarrow[\text{light}]{\text{chlorophyll}} C_6H_{12}O_6 + 6\ 0_2 + 6\ H_2O$$

6.1.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสงหรือการสร้างอาหารของพืช เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดต่อเนื่องกัน แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ตามลำดับ ดังนี้

1. ปฏิกิริยาใช้แสง (light reaction) เกิดขึ้นที่เยื่อของคลอโรพลาสต์ ส่วน grana และ stroma lamellae ปฏิกิริยานี้เกิดในขณะที่มีแสง โดยคลอโรฟีลล์จะรับพลังงานแสงและมีพลังงานเพิ่มขึ้น เมื่อมีพลังงานมากพอ ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลอยู่ในสถานะเร่งเร้า ขยายวงโคจรกว้างออกไป อาจหลุดไปจากโมเลกุลเดิมหรืออาจกลับสู่ตำแหน่งเดิมอีก โดยปลดปล่อยพลังงานออกมา ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ จะมีสารเป็นตัวรับส่งอิเล็กตรอนเป็นทอด ๆ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้ มีทั้งปืนแบบเป็นวัฏจักรและแบบไม่เป็นวัฏจักร ขณะที่ถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานเหล่านั้นจะนำไปสร้างสารประกอบ ATP จาก ADP และ P อีกส่วนหนึ่งจะนำไปสร้าง $NADPH_2$ จาก $NADP^+$ อิเล็กตรอนที่สูญเสียไปจากโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ จะได้รับแทนที่จากการแตกตัว

ของน้ำ เรียก photolysis ระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในขบวนการสังเคราะห์แสง ตามหลักการที่เสนอโดย Hill และ Bendall เป็นดังรูปที่ 6.4 และ 6.5

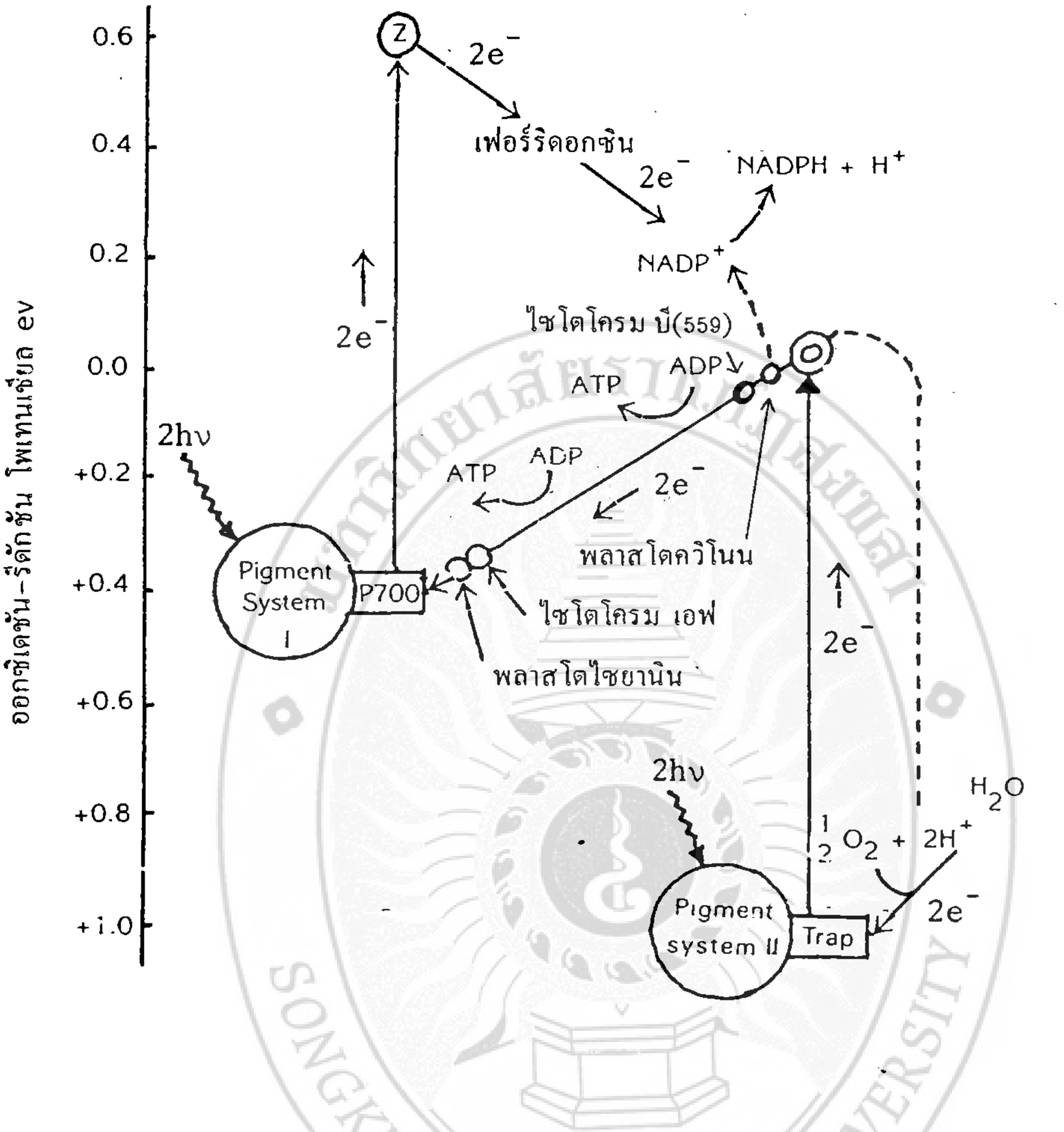


รูปที่ 6.4 *แผนภาพการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร*

ที่มา : *ทบวงมหาวิทยาลัย 2523 : 121*

จากปฏิกิริยาใช้แสงจะทำให้เกิดผลสำคัญ คือ เกิดการแตกตัวของน้ำ ได้ก๊าซออกซิเจนแพร่ออกสู่บรรยากาศ ให้อิเล็กตรอน ($2e^-$) และโปรตรอน ($2H^+$) เกิดการสังเคราะห์ ATP และเกิดการรีดิวซ์ $NADP^+$ ให้เป็น $NADPH_2$ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาไม่ใช้แสงต่อไป

2. ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (dark reaction) เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ส่วน stroma ไม่ต้องใช้แสงในปฏิกิริยาและเกิดต่อเนื่องจากปฏิกิริยาใช้แสง ปฏิกิริยานี้จะใช้สารที่ได้จากปฏิกิริยาใช้แสง คือ ATP และ $NADPH_2$ ไปใช้ตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสร้างสารประกอบพวกน้ำตาล ปฏิกิริยานี้มีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นถูกควบคุมด้วย enzyme, M.Calvin และ A.A.Benson ได้ศึกษารายละเอียดและสรุปว่า การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร ปัจจุบันเรียกว่า วัฏจักรคัลวิน หรือ Calvin-Benson cycle (รูปที่ 6.6) เป็นปฏิกิริยาที่ตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้ (อรรณพ วราอัศวปติ 2526 : 206)



รูปที่ 6.5 *แผนภาพการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร*

ที่มา : *ทบวงมหาวิทยาลัย 2523 : 122*

ก. ระยะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carboxylation phase) โดยมีสารประกอบที่มีคาร์บอน 5 อะตอม (RuBP = ribulose 1,5 biphosphate) เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล คือ PGA (phosphoglyceric acid)

ข. ระยะรีดักชั่น (reduction phase) ขั้นตอนนี้จะเปลี่ยน PGA ที่เกิดขึ้นให้เป็นน้ำตาลฟอสเฟสชนิด PGAL (2-phosphoglyceraldehyde) โดยใช้สาร ATP และ $NADPH_2$ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาใช้แสง

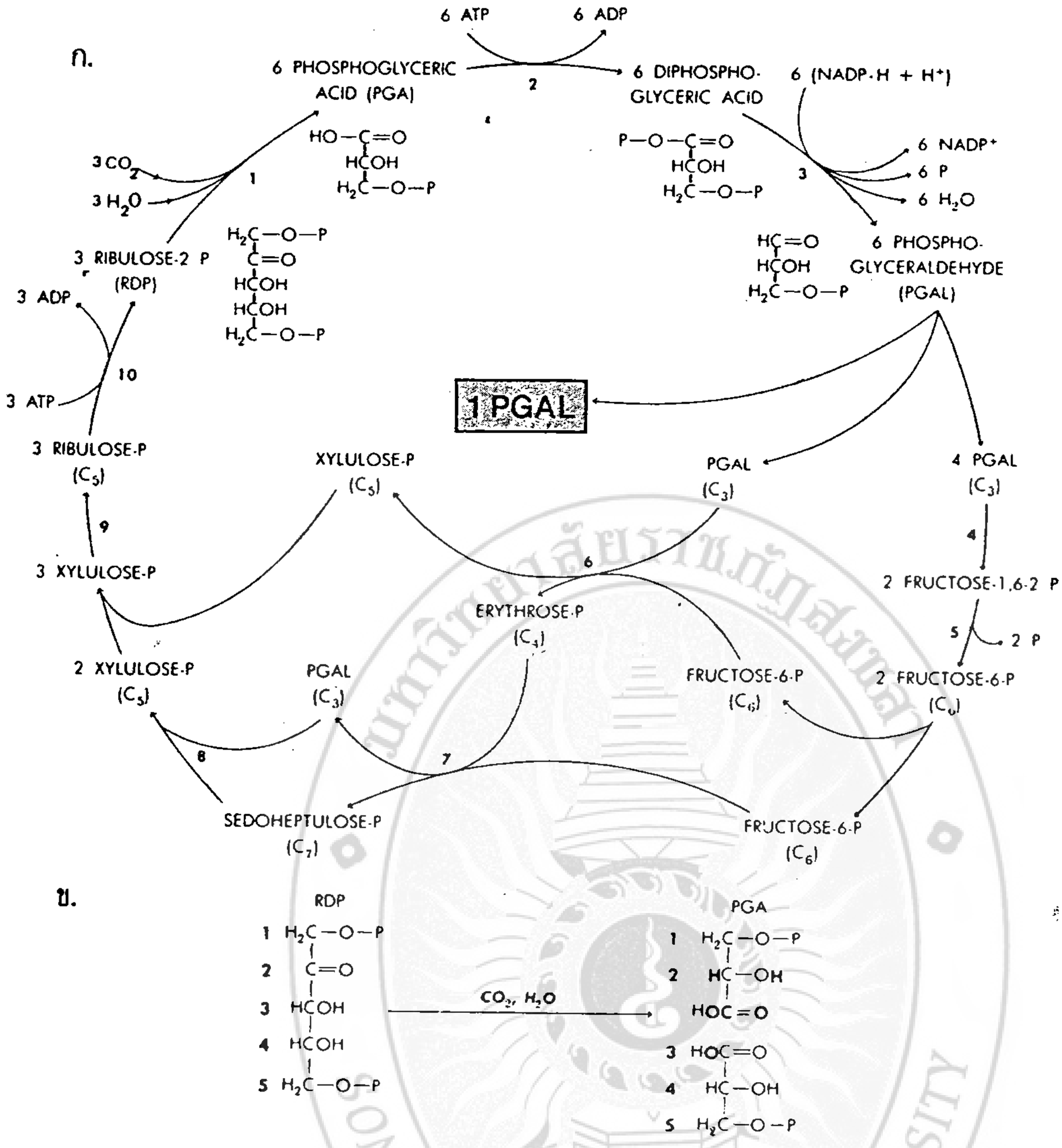
ค. ระยะเกิด RuBP คืนมา (regeneration phase) เป็นระยะที่มีความซับซ้อนหลายขั้นตอน โดยสรุปจะเป็นการเปลี่ยน PGAL ที่ได้ให้เป็น RuBP โดยให้เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม Ru5P (ribulose-5-phosphate) ก่อน แล้วจึงเปลี่ยนให้เป็น RuBP โดยเติมหมู่ฟอสเฟตจากการเปลี่ยน ATP เป็น ADP สุดท้ายจะได้ RuBP คืนมา เพื่อนำไปใช้ในวัฏจักรต่อไป ถ้าเริ่มต้นด้วย RuBP 3 โมเลกุล รวมกับ CO_2 3 โมเลกุล จะได้ PGA 6 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็น PGAL โดยใช้ 6 ATP และ 6 $NADPH_2$ จากนั้น PGAL จำนวน 5 โมเลกุล ถูกเปลี่ยนเป็น RuBP จำนวน 3 โมเลกุล ได้คืนมาอีกโดยใช้ 3 ATP โดยสรุปในการตรึง CO_2 จำนวน 3 โมเลกุล ใช้ 9ATP, 6 $NADPH_2$ จะได้น้ำตาล PGAL 1 โมเลกุล

ง. ระยะสังเคราะห์ผลผลิต (product synthetic phase) น้ำตาล PGAL ที่ได้จากวัฏจักรคัลวิล เมื่อมีปริมาณที่มากขึ้นจะรวมกันเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลใหญ่ เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และรวมตัวกันสะสมไว้ในรูปของแป้งในส่วนต่าง ๆ ของพืช นอกจากนั้นแล้วพืชยังจะใช้ PGAL ในกระบวนการหายใจโดยตรง ได้พลังงานใช้ดำรงชีพ และบางส่วนจะลำเลียงไปส่วนที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ เช่น ราก ในรูปน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น (รูปที่ 6.7)

6.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสงของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยเกี่ยวกับพืช หมายถึง ชนิดของพืช สภาพทางสรีรวิทยาของพืช อายุและช่วงชีวิตของพืช เช่น พืชที่อ่อนเกินไปหรือแก่เกินไป ความสามารถในการสังเคราะห์แสงจะต่ำ เพราะใบที่อ่อนเกินไปการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ยังไม่เต็มที่ และใบที่แก่เกินไปจะมีการสลายตัวของ grana และรงควัตถุในคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง



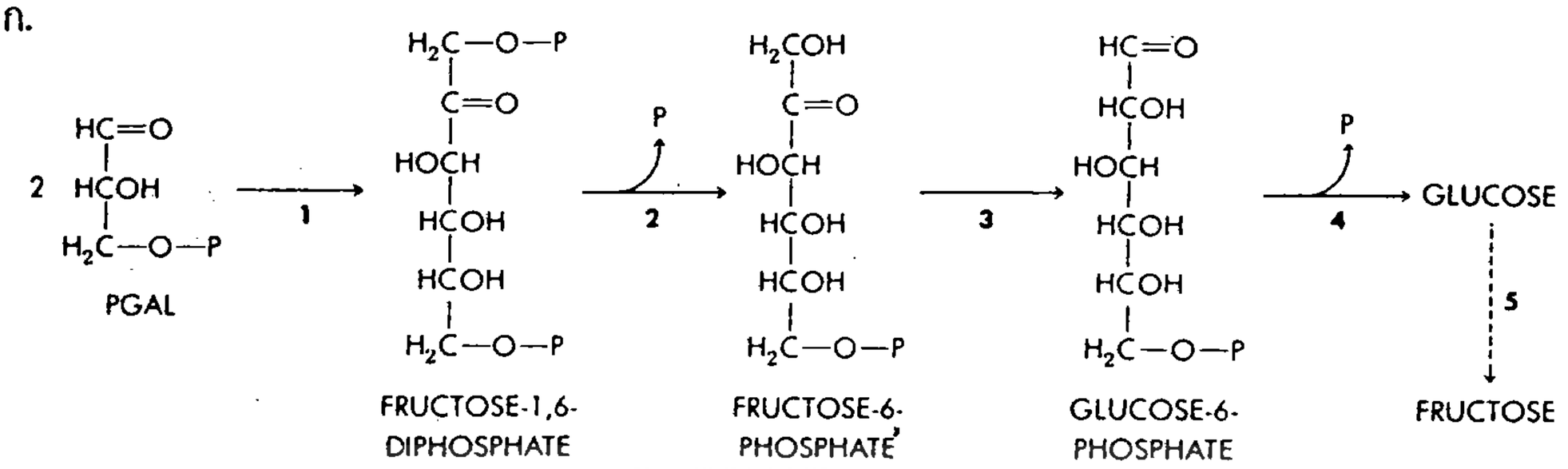
ก. แผนภาพของกระบวนการเคมีในวัฏจักรคัลวิน

ข. ปฏิกิริยาเคมีขั้นแรกที่ CO_2 เข้าสู่กระบวนการพร้อมกับ H_2O ในการเปลี่ยน C_5 (RDP) ไปเป็นสาร C_6 โดยเข้าตรง C ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของ RDP ก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็น 2 โมเลกุลที่เหมือนกันของ C_3(PGA)

รูปที่ 6.6 *แสดงปฏิกิริยาและเอนไซม์ ในวัฏจักรคัลวิน ชนิดของเอนไซม์ 1. ribulosebiphosphate carboxylase 2. phosphoglycerickinase 3. glyceraldehyde-3-phosphate deydrogenase 4. triosephosphate isomerase 5. aldolase 6. phosphatase 7. transketolase 8. epimerase 9. ribose-5-phosphate isomerase 10. phosphoribulokinase*

ที่มา : *อรรณพ วราอัศวปติ 2526 : 206 และทบวงมหาวิทยาลัย 2530 : 105*

ก.



ข.

$$6\ H_2O + 6\ CO_2 + 6\ ADP + 8\ P \longrightarrow 2\ PGAL + 6\ O_2 + 6\ ATP$$ **(CALVIN CYCLE, 6 TURNS)**

$$2\ PGAL \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 2\ P$$ **(GLUCOSE FORMATION)**

$$6\ H_2O,\ 6\ CO_2 \longrightarrow C_6H_{12}O_6,\ 6\ O_2$$

$$6\ ADP,\ 6\ P \longrightarrow 6\ ATP$$

} **NET**

รูปที่ 6.7 *ก และ ข แสดงปฏิกิริยาการสร้างสารกลูโคสจากสาร PGAL*

ที่มา : *ทบวงมหาวิทยาลัย 2530 : 106*

2. แสง โดยปกติพืชจะนำพลังงานแสงมาใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเกี่ยวข้องกับ 3 ลักษณะ ดังนี้

ก. ความเข้มของแสง (light intensity) ที่พืชได้รับ ถ้าหากได้รับแสงที่มีความเข้มสูงหรือต่ำเกินไป อัตราการสังเคราะห์แสงจะน้อย พืชต้องได้รับความเข้มของแสงพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

ข. ความยาวของช่วงแสงที่ได้รับต่อวัน (light duration) อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความยาวของช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่อวัน หากสภาพอื่นๆ คงที่ พืชที่ได้รับแสงเป็นเวลานาน อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการดูแลรักษาไม้ดอกไม้ประดับ อาจเพิ่มแสงในเวลากลางคืน โดยใช้หลอดไฟช่วยได้

ค. คุณภาพของแสง (light quality) โดยปกติแล้วรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังผิวโลก เฉพาะที่มองเห็น คือ เฉพาะช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร พบว่าช่วงคลื่นสีแดง และสีน้ำเงินเท่านั้น ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมากกว่าในช่วงคลื่นอื่น ๆ

โดยทั่วไปแล้วพืชจะนำพลังงานแสงไปใช้ในการสังเคราะห์แสง หากพืชได้รับแสงที่มีความเข้มมากเหมาะสมกับชนิดของพืช อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่เพิ่มสูงขึ้นอีก เมื่อถึงจุดอิ่มตัวของแสง อัตราการสังเคราะห์จะคงที่ ถ้าพืชได้รับแสงน้อย หรือไม่เพียงพอ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดต่ำลง อย่างไรก็ตามความเข้มของแสงที่พืชได้รับจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพืชนั้น ๆ ด้วย

3. อุณหภูมิ ในปฏิกิริยาเคมีของขบวนการสังเคราะห์แสงแต่ละขั้นตอน จะมี enzyme เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยา อัตราการสังเคราะห์แสงจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของ enzyme ซึ่งจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมาก พืชแต่ละชนิดได้ปรับตัวให้เหมาะสมแล้วกับธรรมชาติที่พืชนั้น ๆ อาศัยอยู่ จึงมีอุณหภูมิที่เหมาะสมพอดีที่ทำให้เจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าหากพืชได้รับอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงหรือไม่มีเลย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของพืชทั่วไป ประมาณ 5-40 องศาเซลเซียส พืชเขตร้อนอุณหภูมิที่เหมาะสมค่อนข้างสูง พืชเขตอบอุ่นหรือเขตหนาวอุณหภูมิที่เหมาะสมค่อนข้างต่ำ ฉะนั้นการปลูกไม้ดอกไม้ประดับ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงธรรมชาติความต้องการของพืชนั้น ๆ ด้วย

4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศค่อนข้างคงที่ (ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณ CO_2 ที่พืชได้รับเพิ่มขึ้น จะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น เมื่อมีแสงมาก อัตราการสังเคราะห์แสงจะมากขึ้นด้วย โดยจะเพิ่มขึ้นในระยะแรก ๆ และจะคงที่เมื่อถึงจุดอิ่มตัว แต่หากพืชได้รับ CO_2 น้อย อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดน้อยลง ด้วยมีปริมาณ CO_2 ไม่เพียงพอ

5. ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์แสงต้องใช้คลอโรฟิลล์โดยตรง ใบพืชที่มีสีเขียวอยู่มาก เกิดการสังเคราะห์แสงมากกว่าใบพืชที่มีสีเขียวน้อย ฉะนั้นการบำรุงรักษาต้นพืชให้แข็งแรงสมบูรณ์ จึงเป็นวิธีส่งเสริมให้พืชมีการสร้างอาหารมากขึ้นด้วย

6. เกลือแร่และสภาพของเหลวภายในเซลล์พืช ในเซลล์พืชจะต้องได้รับ น้ำ เกลือแร่ และมี enzyme อย่างเพียงพอ เหมาะสม ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง เช่น N ใช้ในการสร้างคลอโรฟิลล์ Mn เกี่ยวข้องกับการแตกตัวของน้ำ ปฏิกิริยาต่าง ๆ ควบคุมด้วย enzyme หลายชนิดในทุกขั้นตอน ฉะนั้นภายในเซลล์พืชต้องมีน้ำและธาตุอาหารอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะหากพืชขาดน้ำซึ่งพืชใช้เป็นวัตถุดิบในขบวนการสังเคราะห์แสง พืชจะสร้างอาหารไม่ได้เลย จึงต้องให้พืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอตามชนิดของพืช

7. สารเคมีหรือสารพิษ มีสารเคมีบางชนิด เช่น HCN, H_2S, chloroform, ether จะยับยั้งอัตราการสังเคราะห์แสง

6.2 ขบวนการหายใจ

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นต้องได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ขบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น การดูดน้ำ การดูดเกลือแร่ การสังเคราะห์แสง รวมทั้งขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่น ๆ ก็ยังต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น การสังเคราะห์แสงของพืช เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้กลายเป็นพลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้ในรูปของสารอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรต และพืชจะใช้สารอาหารที่สร้างได้นี้ เป็นแหล่งพลังงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้โมเลกุลสารอาหารถูกทำลาย และปลดปล่อยพลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้ออกมา เรียกว่า การหายใจ (respiration) การหายใจเกิดขึ้นทุกเซลล์ที่มีชีวิต ที่ mitochondria เป็นขบวนการสลายโมเลกุลสารอาหารให้ได้พลังงาน เพื่อใช้ในการดำรงชีพ การหายใจแสดงเป็นสมการสรุปได้ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \xrightarrow{\text{enzyme}} 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{energy}$$

(glucose) (ATP)

จากสมการ สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต คือ น้ำตาล glucose จะถูกทำลายโดยใช้ก๊าซออกซิเจนเข้ามาร่วมด้วย ทำให้ได้พลังงาน เซลล์มีวิธีเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของสารประกอบ ATP (adenosine triphosphate) พร้อมกับมี CO_2 และ H_2O เกิดขึ้นด้วย

6.2.1 ปฏิกิริยาการหายใจ

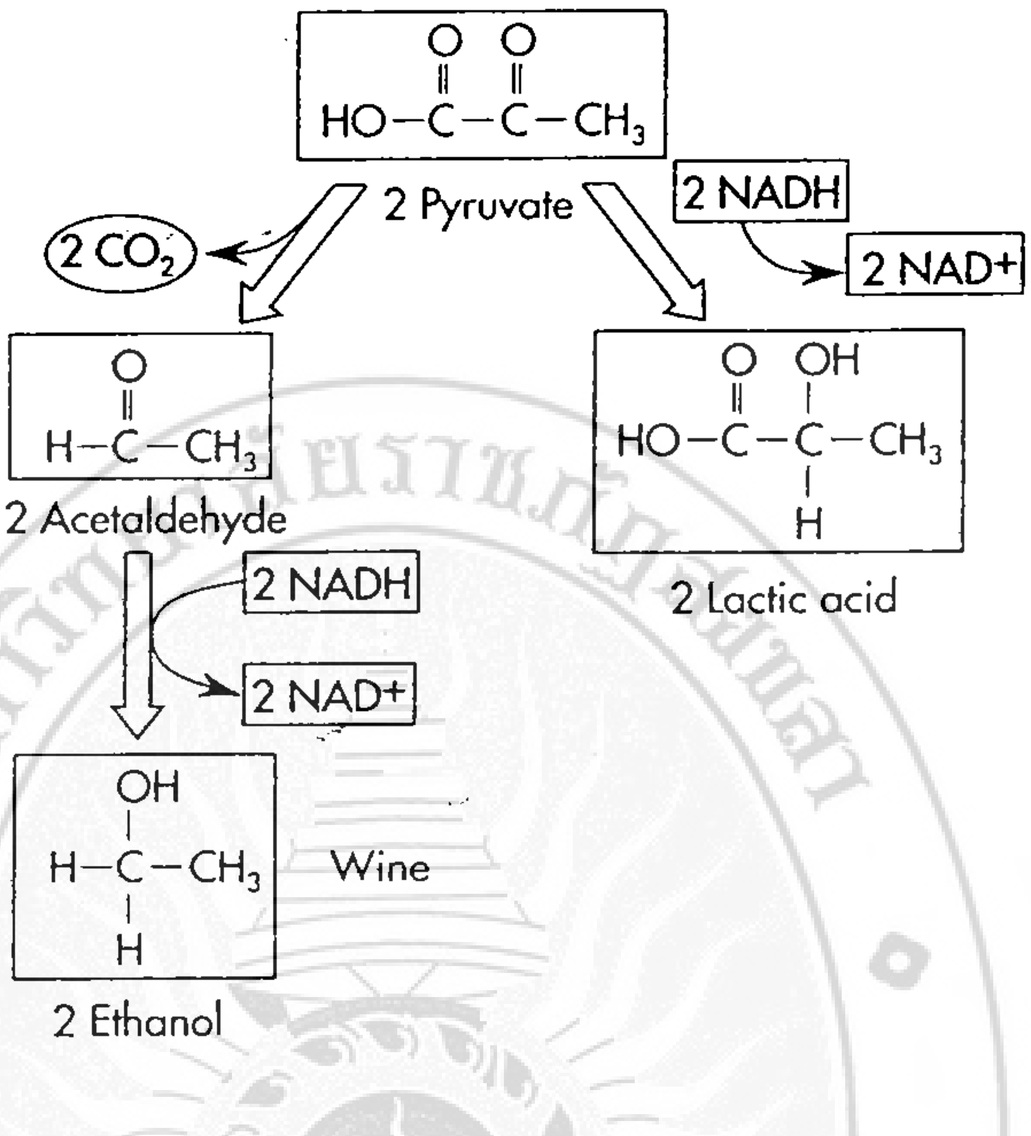
ปฏิกิริยาการหายใจ เป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน และมี enzyme ควบคุม ขบวนการเกิดต่อเนื่องกันดังนี้ (อรรณพ วราอัศวปติ 2526 : 164-172)

1. ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (glycolysis) เกิดใน cytoplasm ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนแปลงน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็น pyruvate ($C_3H_4O_3$) ซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ค้นพบตั้งแต่ศตวรรษที่ 20 โดยนักเคมี 3 คน คือ Embden, Mayerhof และ Parnas มักเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า EMP. pathway ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ค้นพบ (รูปที่ 6.9)

ปฏิกิริยาไกลโคไลซิสมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนถูกควบคุมด้วย enzyme โดยเฉพาะ (รูปที่ 6.9) กล่าวโดยสรุป ปฏิกิริยานี้จะเปลี่ยนสารประกอบพวก glucose ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม ให้กลายเป็น pyruvate ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล ในปฏิกิริยาจะมีการเติมหมู่ฟอสเฟตและได้สารประกอบ ATP เกิดขึ้น อิเล็กตรอนและไฮโดรเจนจะถูกปล่อยออกมา มีสาร NAD เป็นตัวรับไว้ในรูป $NADH_2$

pyruvate หรือpyruvic acid จะเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก ในกรณีไม่มีก๊าซออกซิเจน อาจจะเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก เช่น ในการหมักเพื่อผลิตนมเปรี้ยวและเนยโดยอาศัยแบคทีเรียบางชนิด และอาจเปลี่ยนไปเป็นเอทิลอัลกอฮอล์ เช่น กรณีการหมักเพื่อผลิตอัลกอฮอล์โดยยีสต์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ เรียกว่า การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ซึ่งได้

พลังงานน้อย กรณีการหายใจโดยใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) pyruvate จะเปลี่ยนเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป

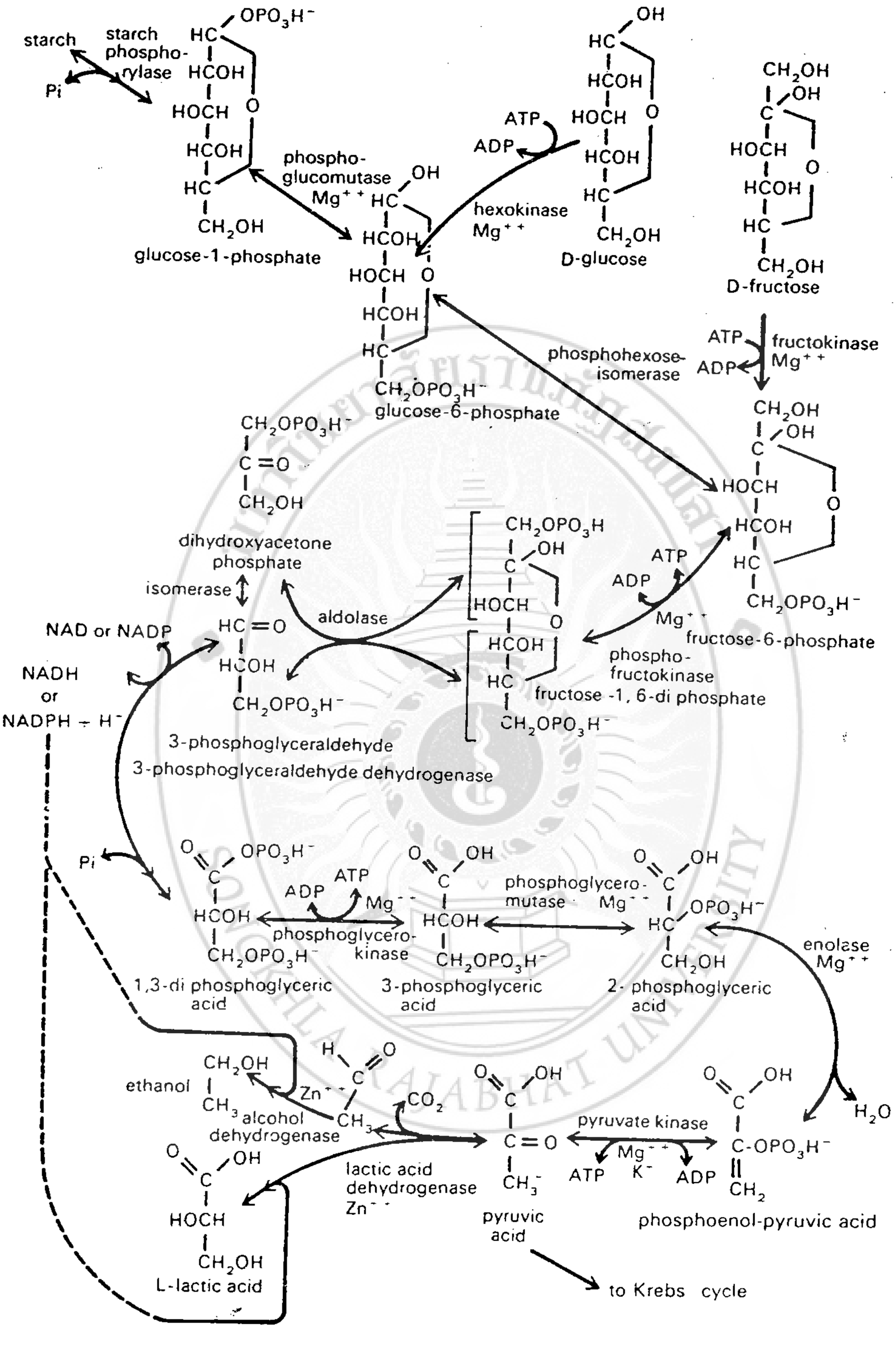


รูปที่ 6.8 *แผนภาพการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน*

ที่มา : *Raven, Peter H. and Johnson, George B. 1992 : 165*

2. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน mitochondria สาร pyruvate จะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็น CO_2 กับ H_2O ได้พลังงานเกิดขึ้นจำนวนมาก วัฏจักรเครบส์มีอยู่หลายขั้นตอน มีสารที่เกี่ยวข้องกันหลายชนิดเกิดขึ้น วัฏจักรนี้ค้นพบเมื่อ ค.ศ. 1935 โดยนักเคมีชาวอังกฤษ ชื่อ H.A. Krebs จึงตั้งชื่อเพื่อเป็นเกียรติแก่ ผู้ค้นพบ แต่อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า TCA cycle (tricarboxylic acid cycle) ดังรูปที่ 6.10

ก่อนที่ pyruvate เข้าสู่ปฏิกิริยานี้ จะถูกออกซิไดซ์ให้ได้เป็นสารที่ชื่อว่า acetyl. Co.A เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม จากนั้น acetyl Co.A จะเข้าสู่วงจรเครบส์ และถูกออกซิไดซ์จนหมดสิ้น จากปฏิกิริยาบางขั้นตอนจะสังเคราะห์ ATP และสูญเสียอิเล็กตรอน



รูปที่ 6.9 *แสดงปฏิกิริยาและเอนไซม์ในปฏิกิริยาไกลโคไลซิส*

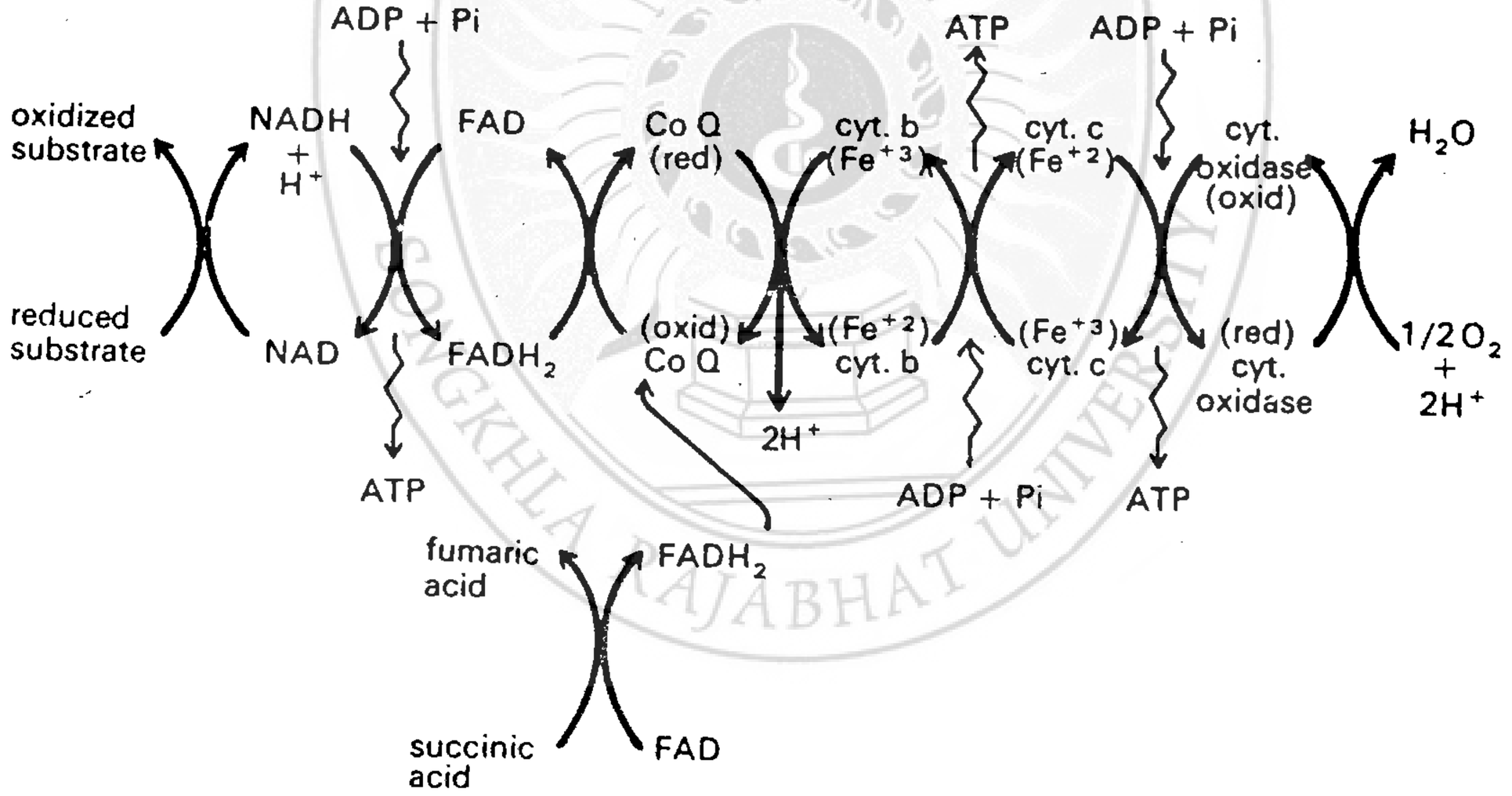
ที่มา : *Salisbery, Frank B. and Ross, Cleon 1969 : 305*

รูปที่ 6.10 *แสดงปฏิกิริยาและเอนไซม์ต่าง ๆ ในวัฏจักรเครบส์*

ที่มา : *Salisbery, Frank B. and Ross, Cleon 1969 : 308*

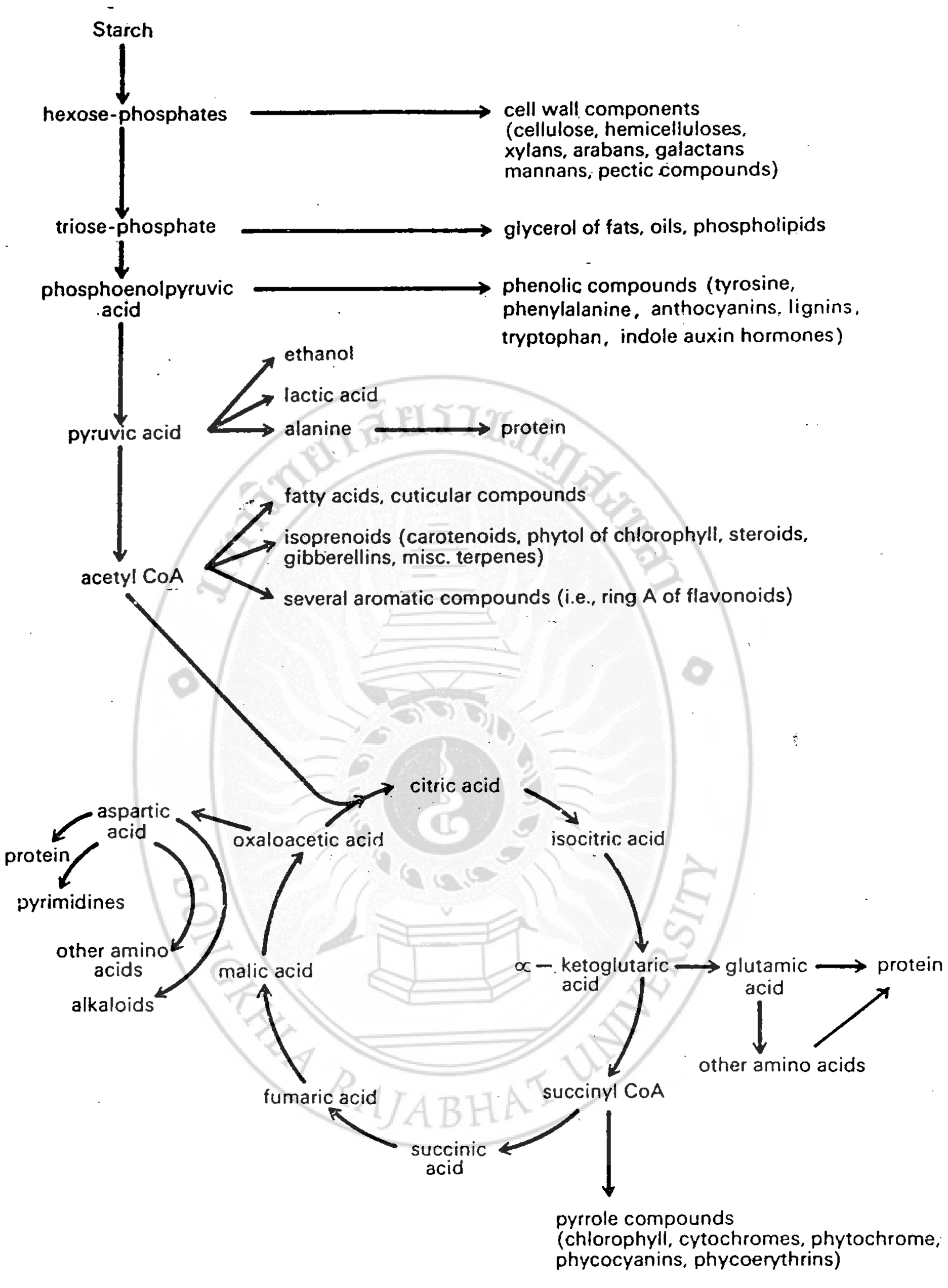
และไฮโดรเจนออกมาจากสารที่ถูกออกซิไดซ์ มีสาร FAD และ NAD เป็นตัวรับอิเล็กตรอน อยู่ในรูป $FADH_2$ และ $NADH_2$ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป

3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (respiratory chain) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรเครบส์ (ซึ่งอยู่ในรูป $FADH_2$ และ $NADH_2$) จะส่งผ่านไปตามระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอน มีสารที่เป็นตัวรับส่งอิเล็กตรอนเป็นทอด ๆ (รูปที่ 6.11) ขณะที่ถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมา เซลล์นำพลังงานนั้นไปสังเคราะห์ ATP ซึ่งเป็นวิธีการเก็บรักษาพลังงานในสิ่งมีชีวิต ในระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ก๊าซออกซิเจนที่พืชได้รับจะทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนในขั้นสุดท้าย โดยรวมกับไฮโดรเจน ได้เป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ซึ่งเป็นการออกซิเดชั่น (oxidation) อย่างสมบูรณ์ ได้พลังงานมาก



รูปที่ 6.11 *แสดงระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในไมโตคอนเดรีย*

ที่มา : *Salisbery, Frank B. and Ross Cleon 1969 : 310*



รูปที่ 6.12 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวกลางในขบวนการหายใจและขบวนการอื่น ๆ*

ที่มา : *Salisbery, Frank B. and Ross Cleon 1969 : 314*

ปฏิกิริยาการหายใจของสิ่งมีชีวิต เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทางเคมี แต่ละขั้นตอนเกิดสารประกอบตัวกลางหลายชนิด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น hexose phosphate จะใช้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์, pyruvic acid หรือสาร pyruvate จะถูกเปลี่ยนเป็น alanine เพื่อใช้สร้างโปรตีนต่อไป (ดูรูปที่ 6.12 ประกอบ)

6.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการหายใจ

การหายใจของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ ปฏิกิริยาเคมีทุกขั้นตอนของขบวนการหายใจจะถูกควบคุมด้วย enzyme เฉพาะการทำงานของ enzyme ต้องการอุณหภูมิที่พอเหมาะ โดยทั่วไปประมาณ 30 องศาเซลเซียส อาจแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืช ถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นจะเร่งอัตราการหายใจ ถ้าอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการหายใจ ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากเกินไป การหายใจจะหยุดลงได้

2. ปริมาณก๊าซออกซิเจน โดยปกติแล้วก๊าซออกซิเจนจะมีอยู่ในบรรยากาศ ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ อัตราการหายใจจะเกิดได้ตามปกติ หากปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง การหายใจจะลดลงด้วย การพรวนดินหรือการทำให้ดินโปร่ง การระบายอากาศในดินดี รากพืชได้รับก๊าซออกซิเจนเพียงพอต่อการหายใจของเซลล์ในรากพืช ช่วยให้รากพืชเติบโตและทำงานได้ดี กรณีที่น้ำท่วมขัง รากพืชขาดก๊าซออกซิเจน พืชจะตายในที่สุด

3. ความชุ่มชื้นของเนื้อเยื่อ เซลล์พืชควรจะต้องได้รับน้ำอย่างเพียงพอ เพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ หากเซลล์ขาดน้ำ อัตราการหายใจจะลดลง

4. บาดแผลและการถูกทำลายของเนื้อเยื่อ บริเวณที่มีบาดแผล พบว่าจะมีอัตราการหายใจสูงในระยะแรก และจะลดลงตามปกติในเวลาต่อมา จึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้พืชเกิดบาดแผล

5. สารเคมี สารเคมีบางอย่าง เช่น carbonmonoxide, cyanide, ether, choroform จะยับยั้งการหายใจ

6.3 สรุป

พืชมีความสามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ ให้กลายเป็นพลังงานเคมีในรูปของสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โดยอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์ คลอโรฟิลล์ น้ำ และเอ็นไซม์หลายชนิดควบคุมปฏิกิริยา สารอาหารที่พืชสร้างขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น สัตว์ทั้งหลายที่กินพืชเป็นอาหาร จุลินทรีย์ พืชได้รับการยอมรับกันทั่วไปว่าเป็นผู้ผลิต (producer) ซึ่งผลิตอาหารใช้เป็นแหล่งพลังงานในระบบนิเวศ ขณะเดียวกันน้ำและออกซิเจนเป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเป็นประโยชน์แก่สิ่งมีชีวิตบนโลก

การสังเคราะห์แสงของพืช มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มาก โดยจะให้สารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นในธรรมชาติ สำหรับต้นพืชเองจะต้องสร้างอาหารให้มากพอ เพื่อใช้ดำรงชีพโดยตรง บางส่วนจะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญที่สุดพืชจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต สร้างดอกและผลต่อไป การดูแลรักษาต้นพืชหรือไม้ดอกไม้ประดับ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่จะอำนวยต่อการสังเคราะห์แสงของพืชนั้น ๆ ด้วย

การสังเคราะห์แสงมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช การปลูกเลี้ยงไม้ดอกไม้ประดับจึงจำเป็นต้องให้พืชได้รับแสง และน้ำอย่างเพียงพอ เหมาะสมกับชนิดของพืช ทั้งนี้จะต้องพิจารณาธรรมชาติของพืชนั้น ๆ เป็นหลัก การจัดปัจจัยแวดล้อมที่ช่วยให้พืชมีการสังเคราะห์แสงมากจะช่วยให้พืชเจริญงอกงามมากด้วย

การหายใจของพืชเกิดขึ้นที่ทุกเซลล์ของพืชที่มีชีวิต เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ทำลายโมเลกุลสารอาหารให้ได้พลังงานนำไปใช้ดำรงชีพ โดยปกติพืชจะหายใจโดยใช้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นวิธีได้พลังงานมาก พืชสามารถสร้างอาหารได้เองจากขบวนการสังเคราะห์แสง และเปลี่ยนแปลงสารอาหารนั้นให้ได้เป็นพลังงานโดยขบวนการหายใจ แต่หากมีอัตราการหายใจมากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง พืชจะเติบโตช้าหรือไม่เจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามการหายใจเป็น

ปฏิกิริยาที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ โดยได้พลังงานและนำสารประกอบที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์สำหรับขบวนการอื่น ๆ ต่อไป บางกรณีควรลดอัตราการหายใจของพืชลง เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพ เช่น เก็บรักษาดอกไม้ไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน เป็นต้น