

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กิ่งฟ้า สิ้นธุวงษ์ หัวหน้าภาควิชาการมัธยมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. อาจารย์ ดร.สุภาสินี สุภธีระ หัวหน้าภาควิชาการประถมศึกษา คณะศึกษา-
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกศักดิ์ ธาตุทอง ภาควิชาการมัธยมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. อาจารย์สมพร ภูเคชกล้า หัวหน้าหมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนแก่นนคร-
วิทยาลัย จังหวัดขอนแก่น
5. อาจารย์บุญมี เจยไสย หมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนกัลยาณวัตร
จังหวัดขอนแก่น

ภาคผนวก

การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (difficulty level) และค่าอำนาจจำแนก (discrimination power) ของข้อสอบแต่ละข้อโดยใช้เทคนิคกลุ่มสูงต่ำ 27 เปอร์เซนต์ มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- (1) นำคะแนนสอบของนักเรียนแต่ละคนมาเรียงจากสูงที่สุดไปหาค่าต่ำสุด
- (2) นับคะแนนสูงที่สุดลงมา 27 เปอร์เซนต์เป็นกลุ่มสูงและนับคะแนนต่ำสุดขึ้นไป 27 เปอร์เซนต์เป็นกลุ่มต่ำ
- (3) คำนวณค่าร้อยละของผู้ตอบแต่ละข้อที่ทำถูกในกลุ่มสูงแทนด้วย PH และร้อยละของผู้ตอบแต่ละข้อที่ทำถูกในกลุ่มต่ำแทนด้วย PL
- (4) เทียบค่า PH และ PL ของแต่ละข้อกับตารางสำเร็จรูปของ Fan (1952) เพื่อหาค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบแต่ละข้อ
- (5) คัดเลือกข้อสอบที่มีคุณภาพ ตามเกณฑ์ดังนี้ ค่าระดับความยากง่ายตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.8 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป จากข้อสอบ 90 ข้อ คัดเลือกได้ 75 ข้อ
- (6) คัดเลือกเอาข้อสอบเพียง 50 ข้อ ซึ่งครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้และมีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.34 ถึง 0.78 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป ดังที่แสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ข้อที่	P_L	P_H	P	r
1	47	122	.62	.55
2	44	126	.63	.61
3	54	113	.61	.44
4	73	110	.66	.30
5	56	97	.55	.30
6	18	112	.45	.66
7	38	115	.55	.56
8	41	114	.56	.52
9	51	127	.66	.59
10	31	105	.48	.53
11	40	128	.63	.64
12	47	123	.63	.57
13	40	130	.64	.67
14	80	127	.76	.44
15	46	98	.52	.37
16	25	98	.43	.52
17	38	118	.57	.57
18	48	109	.57	.45
19	46	93	.49	.33
20	52	101	.55	.36
21	21	119	.50	.68
22	47	109	.57	.45
23	39	106	.52	.48
24	36	129	.62	.67
25	41	126	.62	.67
26	25	99	.44	.53
27	52	112	.59	.44
28	60	103	.58	.31
29	39	122	.59	.60
30	40	118	.58	.55
31	43	127	.64	.63
32	46	121	.61	.55
33	38	109	.53	.51
34	37	117	.56	.58
35	47	131	.66	.68
36	45	109	.55	.47
37	33	89	.44	.41
38	36	93	.46	.40
39	26	71	.34	.35
40	43	89	.46	.31

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกรายข้อของแบบวัดสอบวัดผล
สัมฤทธิ์ทางการเรียน (ต่อ)

ข้อที่	P_L	P_H	P	r
41	52	112	.59	.44
42	64	124	.69	.49
43	54	100	.55	.33
44	41	100	.50	.42
45	69	127	.72	.50
46	67	117	.67	.40
47	51	102	.55	.38
48	49	117	.61	.51
49	84	129	.78	.43
50	74	133	.77	.56

การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้ กูเกิ้ล-รีชาร์คสัน
สูตรที่ 20 ทั้งรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ตารางแสดงคะแนนสอบของการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียน

คนที่	คะแนนสอบ	คนที่	คะแนนสอบ
1	29	23	29
2	38	24	31
3	32	25	33
4	43	26	26
5	27	27	30
6	37	28	34
7	32	29	28
8	35	30	28
9	28	31	27
10	35	32	25
11	29	33	25
12	35	34	26
13	30	35	36
14	30	36	12
15	29	37	38
16	48	38	28
17	27	39	32
18	33	40	13
19	31	41	16
20	30	42	45
21	33	43	43
22	37		

$\Sigma x = 1333$
 $\bar{x} = 31$

การหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบ

$$\begin{aligned}
 s^2 &= \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)} \\
 &= \frac{43(43679) - (1333)^2}{43 \times 42} \\
 &= \frac{1878197 - 1776889}{1806} \\
 &= 56.095
 \end{aligned}$$

$$\text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบ} = 56.095$$

ตารางที่ 9 ตารางแสดงการวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ข้อที่	คะแนนที่ทำถูก	p	q	pq
1	34	.791	.209	.165
2	40	.93	.07	.065
3	27	.628	.372	.234
4	21	.488	.512	.25
5	23	.535	.465	.249
6	19	.442	.558	.247
7	28	.651	.349	.227
8	23	.535	.465	.249
9	32	.744	.256	.19
10	30	.698	.302	.211
11	32	.744	.256	.19
12	28	.651	.349	.227
13	29	.674	.326	.22
14	35	.814	.184	.151
15	24	.558	.442	.247
16	30	.698	.302	.211
17	28	.651	.349	.227
18	19	.442	.558	.247
19	18	.419	.581	.243
20	16	.372	.628	.234
21	30	.698	.302	.211
22	18	.419	.581	.243
23	20	.465	.535	.249
24	38	.884	.116	.103
25	36	.837	.163	.136
26	28	.651	.349	.227
27	36	.837	.163	.136
28	31	.721	.279	.201
29	28	.625	.375	.234
30	26	.605	.395	.239
31	30	.698	.302	.211
32	20	.465	.535	.249
33	21	.488	.512	.25
34	31	.721	.279	.201
35	41	.953	.047	.045
36	26	.605	.395	.239
37	24	.558	.442	.247
38	14	.326	.674	.22
39	24	.093	.907	.084
40	15	.349	.651	.227

ตารางที่ 9 ตารางแสดงการวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนที่ทำถูก	p	q	pq
41	30	.698	.302	.211
42	30	.698	.302	.211
43	19	.442	.558	.247
44	12	.279	.721	.201
45	31	.721	.279	.201
46	30	.698	.302	.211
47	16	.372	.628	.234
48	33	.767	.233	.179
49	40	.93	.07	.065
50	39	.907	.093	.084
	1333	31.001	18.999	10.073

คูเคอร์-ริชาร์ดสัน สูตรที่ 20 (K-R 20)

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left(\frac{s_o^2 - \sum P_i q_i}{s_o^2} \right)$$

เมื่อ

r_{tt} = ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

k = จำนวนข้อสอบในแบบทดสอบ

P_i = ค่าความยากของข้อสอบแต่ละข้อ

q_i = สัดส่วนของผู้ที่ตอบข้อสอบแต่ละข้อผิด

s_o^2 = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบ

$$r_{tt} = \frac{50}{49} \left(\frac{56.095 - 10.073}{56.095} \right)$$

$$= 1.020 \times 0.820 = 0.836$$

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน = 0.84

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดย
ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมที่มีตัวแปรร่วม 2 ตัว มีที่มาและรายละเอียดดังนี้

1. ตัวแปรร่วมคือ คะแนนเฉลี่ยการสอบปลายภาควิชาชีววิทยาและวิชาเคมีร่วม 5 ภาคเรียนของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม การสอบปลายภาคนั้นทั้ง 2 วิชามีคะแนนเต็ม 50 คะแนน ทุกภาคเรียนโดยผู้วิจัยรวบรวมจากฝ่ายวิชาการโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย

2. คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคะแนนเต็ม 50 คะแนน ดังที่ปรากฏตามตารางที่

ตารางที่ 10 ตารางแสดงคะแนนเฉลี่ยของตัวแปรร่วมและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

นักเรียน	กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม		
	วิชาชีววิทยา	วิชาเคมี	ผลสัมฤทธิ์	วิชาชีววิทยา	วิชาเคมี	ผลสัมฤทธิ์
	5 ภาคเรียน (x)	5 ภาคเรียน (z)	ทางการเรียน (y)	5 ภาคเรียน (x)	5 ภาคเรียน (z)	ทางการเรียน (y)
1	24	26	37	31	33	43
2	37	33	40	35	32	38
3	24	26	42	22	25	24
4	35	26	45	28	29	37
5	35	31	43	32	32	40
6	29	29	43	34	33	46
7	28	27	46	23	29	16
8	27	22	39	39	33	41
9	32	28	43	29	23	26
10	28	23	34	28	25	38
11	34	33	50	27	24	25
12	28	30	47	22	20	21
13	26	26	31	23	22	16
14	31	35	36	27	25	34
15	29	30	43	27	28	20
16	28	29	47	23	25	13
17	27	29	43	23	22	12
18	26	28	38	37	33	40
19	25	25	35	30	29	21

ตารางที่ 10 ตารางแสดงคะแนนเฉลี่ยของตัวแปรร่วมและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ
กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (ต่อ)

นักเรียน	กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม		
	วิชาชีพวิทยา	วิชาเคมี	ผลสัมฤทธิ์	วิชาชีพวิทยา	วิชาเคมี	ผลสัมฤทธิ์
	5 ภาคเรียน (x)	5 ภาคเรียน (z)	ทางการเรียน (y)	5 ภาคเรียน (x)	5 ภาคเรียน (z)	ทางการเรียน (y)
20	33	33	46	26	22	23
21	27	30	49	32	29	29
22	31	29	41	29	25	25
23	27	30	37	35	36	45
24	35	32	35	24	24	23
25	27	28	47	25	28	34
26	27	24	43	35	33	49
27	33	29	41	26	23	35
28	27	31	48	29	27	29
29	26	24	44	30	26	22
30	27	25	37	26	20	31
31	23	19	32	27	25	26
32	28	24	46	26	26	36
33	26	23	35	24	25	37
34	26	22	40	26	24	32
35	22	20	34	27	24	31
36	29	28	41	23	23	43
37	24	21	31	26	22	27
38	33	29	42	27	22	37
39	22	21	37	22	21	18
40	27	23	41	26	25	27
	$\bar{x}=28.33$	$\bar{z}=27.03$	$\bar{y}=40.73$	$\bar{x}=27.78$	$\bar{z}=26.30$	$\bar{y}=30.25$

กลุ่มทดลอง

$$E_x = 1133$$

$$E_z = 1081$$

$$E_y = 1629$$

$$E_x^2 = 32647$$

$$E_z^2 = 29829$$

$$E_y^2 = 67357$$

$$E_{xy} = 46417$$

$$E_{xz} = 31036$$

$$E_{zy} = 44402$$

กลุ่มควบคุม

$$E_x = 1111$$

$$E_z = 1052$$

$$E_y = 1210$$

$$E_x^2 = 32000$$

$$E_z^2 = 28354$$

$$E_y^2 = 40186$$

$$E_{xy} = 34647$$

$$E_{xz} = 29796$$

$$E_{zy} = 32686$$

$$S_{xx} = \sum \sum x^2 - \frac{(\sum \sum x)^2}{N} = 64647 - \frac{(2244)^2}{80}$$

$$= 1702.80$$

$$S_{yy} = \sum \sum y^2 - \frac{(\sum \sum y)^2}{N} = 107543 - \frac{(2839)^2}{80}$$

$$= 6793.99$$

$$S_{zz} = \sum \sum z^2 - \frac{(\sum \sum z)^2}{N} = 58183 - \frac{(2133)^2}{80}$$

$$= 1311.89$$

$$S_{xy} = \sum \sum xy - \frac{(\sum \sum x)(\sum \sum y)}{N} = 81064 - \frac{(2244)(2839)}{80}$$

$$= 1430.05$$

$$S_{xz} = \sum \sum xz - \frac{(\sum \sum x)(\sum \sum z)}{N} = 60832 - \frac{(2244)(2133)}{80}$$

$$= 1001.35$$

$$S_{yz} = \sum \sum yz - \frac{(\sum \sum y)(\sum \sum z)}{N} = 77088 - \frac{(2839)(2133)}{80}$$

$$= 1393.16$$

$$T_{xx} = \frac{(\sum x_1)^2 + (\sum x_2)^2}{n} - \frac{(\sum x)^2}{N} = \frac{(1133)^2 + (1111)^2}{40} - \frac{(2244)^2}{80}$$

$$= 62950.25 - 62944.2$$

$$= 6.05$$

$$T_{yy} = \frac{(\sum y_1)^2 + (\sum y_2)^2}{n} - \frac{(\sum y)^2}{N} = \frac{(1629)^2 + (1210)^2}{40} - \frac{(2839)^2}{80}$$

$$= 102943.53 - 100749.01$$

$$= 2194.52$$

$$T_{zz} = \frac{(\sum z_1)^2 + (\sum z_2)^2}{n} - \frac{(\sum z)^2}{N} = \frac{(1081)^2 + (1052)^2}{40} - \frac{(2133)^2}{80}$$

$$= 56881.63 - 56871.11$$

$$= 10.52$$

$$\begin{aligned}
 T_{xy} &= \frac{(\sum x_1)(\sum y_1) + (\sum x_2)(\sum y_2)}{n} - \frac{(\sum \sum x)(\sum \sum y)}{N} \\
 &= \frac{(1133)(1629) + (1111)(1210)}{40} - \frac{(2244)(2839)}{80} \\
 &= 79749.18 - 79633.95 \\
 &= 115.23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{xz} &= \frac{(\sum x_1)(\sum z_1) + (\sum x_2)(\sum z_2)}{n} - \frac{(\sum \sum x)(\sum \sum z)}{N} \\
 &= \frac{(1133)(1081) + (1111)(1052)}{40} - \frac{(2244)(2133)}{80} \\
 &= 59838.63 - 5980.65 \\
 &= 7.98
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{yz} &= \frac{(\sum y_1)(\sum z_1) + (\sum y_2)(\sum z_2)}{n} - \frac{(\sum \sum y)(\sum \sum z)}{N} \\
 &= \frac{(1629)(1081) + (1210)(1052)}{40} - \frac{(2839)(2133)}{80} \\
 &= 75846.73 - 75694.84 \\
 &= 151.89
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{xx} &= S_{xx} - T_{xx} &= 1702.80 - 6.05 &= 1696.75 \\
 E_{yy} &= S_{yy} - T_{yy} &= 6793.99 - 2194.52 &= 4599.47 \\
 E_{zz} &= S_{zz} - T_{zz} &= 1311.89 - 10.52 &= 1301.37 \\
 E_{xy} &= S_{xy} - T_{xy} &= 1430.05 - 115.23 &= 1314.82 \\
 E_{xz} &= S_{xz} - T_{xz} &= 1001.35 - 7.98 &= 993.37 \\
 E_{zy} &= S_{yz} - T_{yz} &= 1393.16 - 151.89 &= 1241.27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= E_{xx} E_{zz} - E_{xz}^2 \\
 &= (1696.75)(1301.37) - (993.37)^2 \\
 &= 2208099.5 - 986783.96 \\
 &= 1221315.6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_x &= \frac{E_{zz} E_{xy} - E_{xz} E_{zy}}{d} \\
 &= \frac{(1301.37)(1314.82) - (993.37)(124.27)}{1221315.6} \\
 &= \frac{1711067.3 - 1233040.4}{1221315.6} = \frac{478026.9}{1221315.6} \\
 &= 0.39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_z &= \frac{E_{xx} E_{zy} - E_{xz} E_{xy}}{d} \\
 &= \frac{(1696.75)(1241.27) - (993.37)(1314.82)}{1221315.6} \\
 &= \frac{2106124.9 - 1306102.7}{1221315.6} = \frac{800022.2}{1221315.6} \\
 &= 0.66
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore E_{yy} &= E_{yy} - b_x E_{xy} - b_z E_{zy} \\
 &= 4599.47 - (0.39)(1314.82) - (0.66)(1241.27) \\
 &= 4599.47 - 512.78 - 819.24 \\
 &= 3267.45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= S_{xx} S_{zz} - S_{xz}^2 \\
 &= (1702.8)(1311.89) - (1001.35)^2 \\
 &= 2233886.3 - 1002701.8 \\
 &= 1231184.5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{bx}'' &= \frac{S_{zz} S_{xy} - S_{xz} S_{zy}}{d''} \\
 &= \frac{(1311.89)(1430.05) - (1001.35)(1393.16)}{1231184.5} \\
 &= \frac{481027.5}{1231184.5} \\
 &= 0.39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{bz}'' &= \frac{S_{xx} S_{zy} - S_{xz} S_{xy}}{d''} \\
 &= \frac{(1702.8)(1393.16) - (1001.35)(1430.05)}{1231184.5} \\
 &= \frac{940292.24}{1231184.5} \\
 &= 0.76
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{yy}' &= (T+E)_{yy}' = s_{yy}'' - b_{bx}'' S_{xy} - b_{bz}'' S_{zy} \\
 &= 6793.99 - (0.39)(1430.05) - (0.76)(1393.16) \\
 &= 6793.99 - 557.72 - 1058.8 \\
 &= 5177.47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore T_{yyR} &= (T+E)_{yy} - E_{yy} \\
 &= S_{yy} - E_{yy} \\
 &= 5177.47 - 3267.45 \\
 &= 1910.02
 \end{aligned}$$

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมที่มีตัวแปรร่วม 2 ตัว (Analysis of Covariance, two covariates) (Winer, 1971)

source	SS	df	MS	F
Treatments	T_{yyR}	$k-1$	MS_{treat}	$F = \frac{MS_{treat}}{MS_{error}}$
Error	E_{yy}	$k(n-1)-2$	MS_{error}	
Total	S_{yy}	$kn-3$		

จากการคำนวณได้ว่า

$$\begin{aligned}
 T_{yyR} &= 1910.02 \\
 E_{yy} &= 3267.45 \\
 S_{yy} &= 5177.47
 \end{aligned}$$

source	SS	df	MS	F
Treatment	1910.02	1	1910.02	44.43*
Error	3267.45	76	42.99	
Total	5177.47	77		

* $p < .10$

การหาค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วของกลุ่มทดลอง

$$\begin{aligned}
 \bar{y}'_1 &= \bar{y}_1 - bx(\bar{x}_1 - \bar{x}_0) - bz(\bar{z}_1 - \bar{z}_0) \\
 &= 40.70 - 0.39(28.33 - 28.06) - 0.66(27.03 - 26.67) \\
 &= 40.70 - 0.11 - 0.24 \\
 &= 40.35
 \end{aligned}$$

การหาค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วของกลุ่มควบคุม

$$\begin{aligned}
 \bar{y}'_2 &= \bar{y}_2 - bx(\bar{x}_2 - \bar{x}_0) - bz(\bar{z}_2 - \bar{z}_0) \\
 &= 30.25 - 0.39(27.78 - 28.06) - 0.66(26.3 - 26.67) \\
 &= 30.25 + 0.11 + 0.24 \\
 &= 30.60
 \end{aligned}$$

บทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง
ที่สร้างขึ้นตามหลักการของ Ausubel

กลไกของการสังเคราะห์แสง

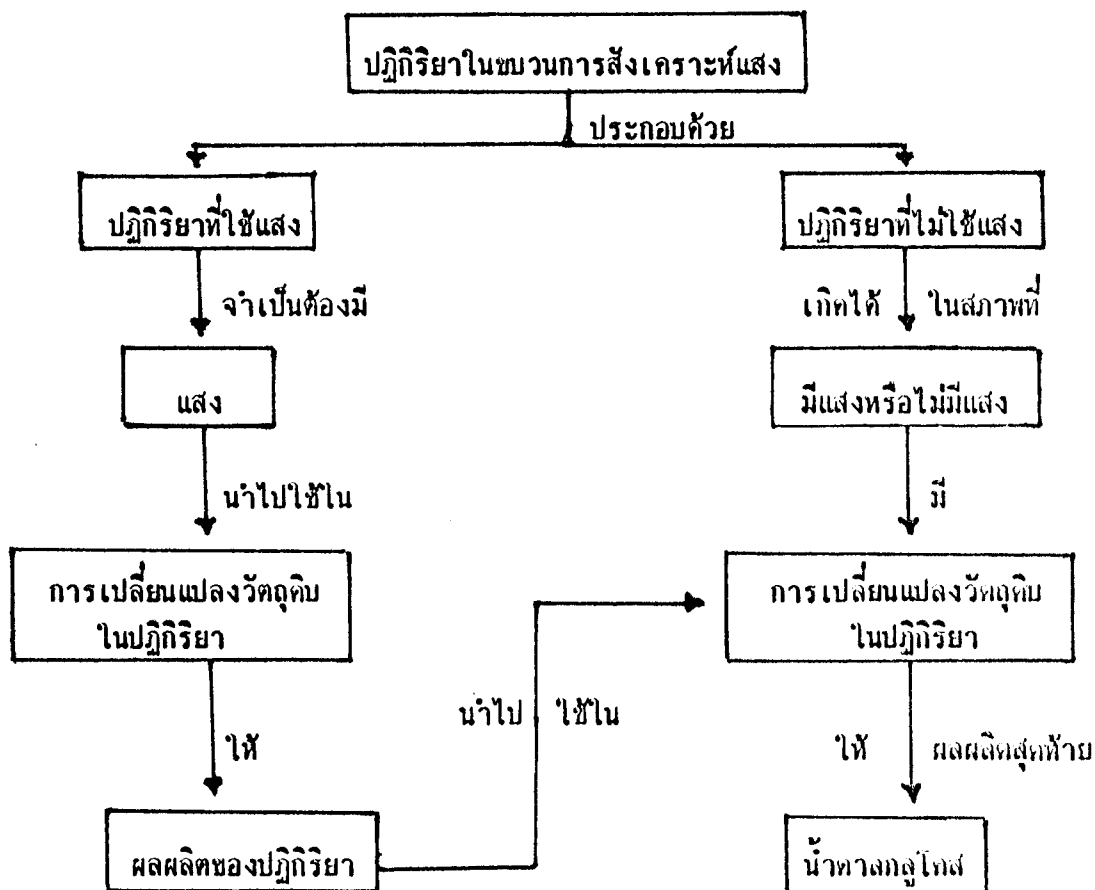
จากบทเรียนเรื่อง การสร้างอาหารของพืช ในชั้น ม.5 ทำให้ทราบว่ากระบวนการสร้างอาหารของพืชนั้นใช้วัตถุดิบ 2 ชนิดคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับพลังงานแสง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ตอนคือ

1. ปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสง (Dark reaction)
2. ปฏิกริยาที่ใช้แสง (Light reaction)

ซึ่งแต่ละตอนมีปฏิกริยาหลายขั้น

1. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์แสง

แผนผังมโนคติ

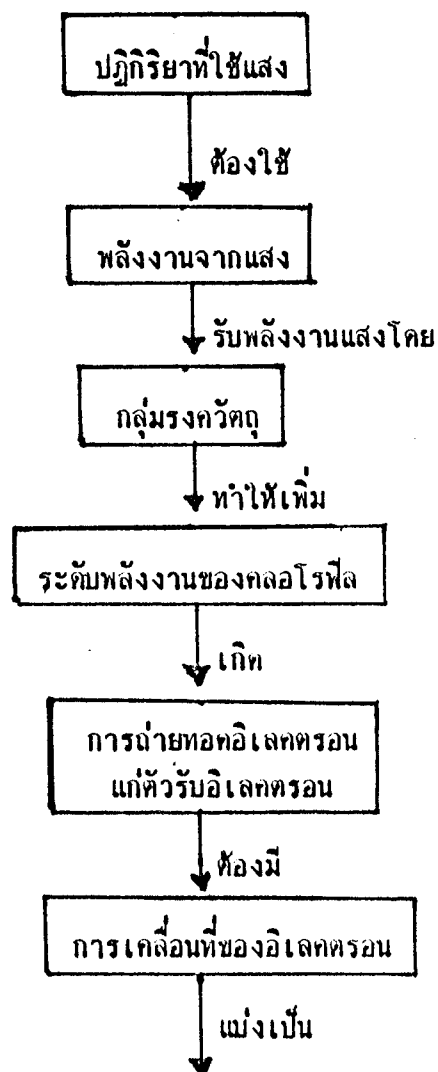


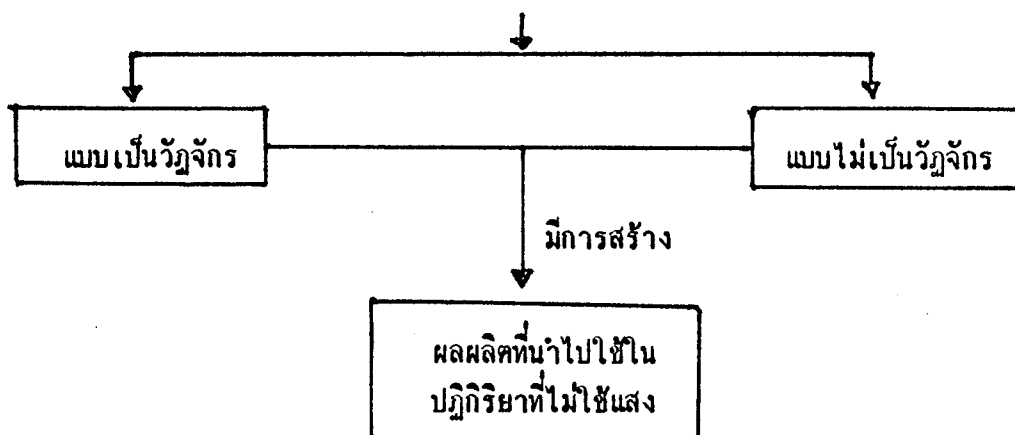
บทสรุปล่วงหน้า

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันทั้งใช้แสงและไม่ใช้แสง ปฏิกิริยาที่ใช้แสงจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีแสงในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เมื่อได้ผลจากปฏิกิริยานี้แล้ว ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงจะเกิดขึ้นตามมาโดยไม่จำเป็นต้องเกิดในที่มืด และในขณะเดียวกันปฏิกิริยาที่ใช้แสงก็ยังดำเนินต่อไป เพื่อนำผลผลิตมาใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงอีก ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการคือ น้ำตาลกลูโคส

1.1 ปฏิกิริยาที่ใช้แสง (Light reaction)

แผนผังมโนคติ





บทสรุปล่วงหน้า

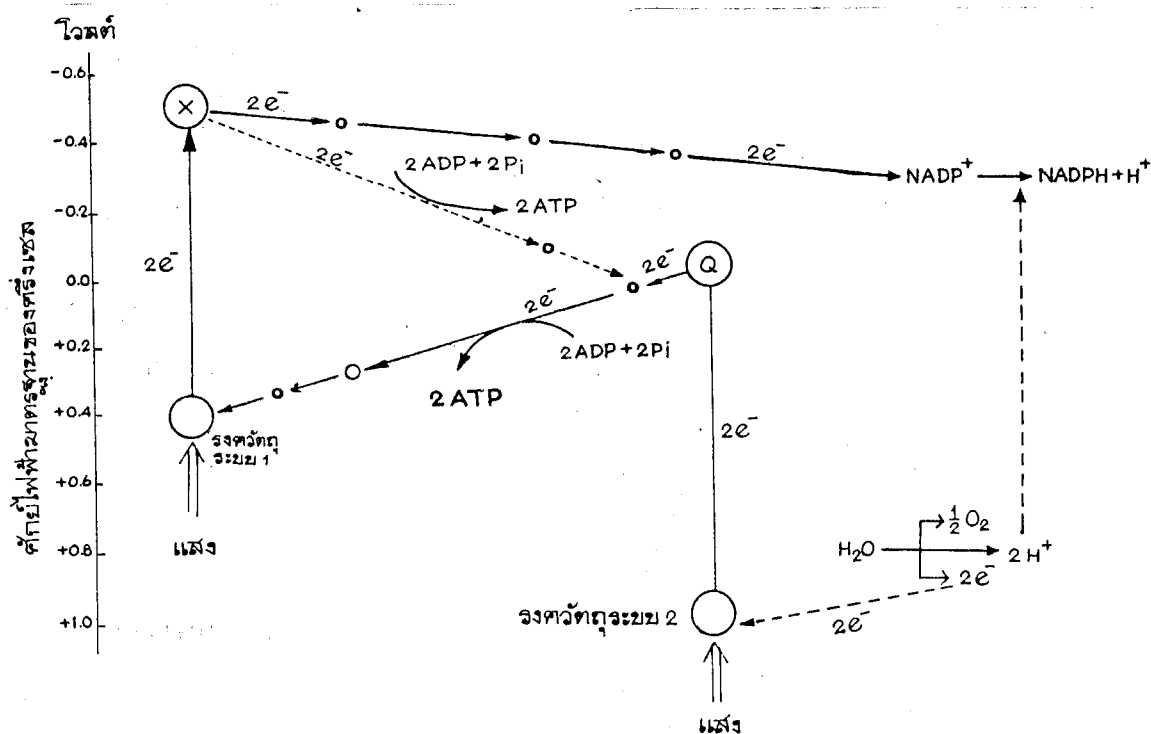
ปฏิกิริยาที่ใช้แสง เป็นขบวนการที่พืชเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี โดยมีกลุ่มรงควัตถุทำหน้าที่รับแสง มีผลทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักร ผลผลิตที่ได้คือ ออกซิเจน ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง

ปฏิกิริยาที่ใช้แสง เป็นปฏิกิริยาที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีในขณะที่มีแสง โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ในคลอโรพลาสต์จะรับพลังงานของแสงเอาไว้ ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีระดับพลังงานสูงขึ้นจนเคลื่อนที่หลุดออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ โดยมีสารหลายชนิด ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมารับและส่งอิเล็กตรอนต่อกันเป็นทอด ๆ

ในคลอโรพลาสต์จะมีกลุ่มรงควัตถุ (Pigment) ที่ทำหน้าที่รับพลังงานแสง เพื่อใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงอยู่มากมาย กลุ่มของรงควัตถุเหล่านี้แบ่งเป็น 2 ระบบคือ

1. รงควัตถุระบบที่ 1 (Photosystem 1)
2. รงควัตถุระบบที่ 2 (Photosystem 2)

การทำงานของระบบรงควัตถุ เป็นไปตามแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักร ในปฏิกิริยาที่ใช้แสง

เริ่มต้นจากรงควัตถุระบบ 1 โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในรงควัตถุระบบ 1 เมื่อได้รับพลังงานจากแสง ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่หลุดไปจากโมเลกุล โดยมีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนชนิดหนึ่ง ซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารชนิดใด สมมติว่าเป็นสาร X มารับอิเล็กตรอนแล้วส่ง อิเล็กตรอนผ่านต่อ ๆ ไปจนถึง NADP^+ ขณะเดียวกันโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในรงควัตถุระบบ 1 ที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปนี้ จะได้รับอิเล็กตรอนกลับคืนมาใหม่จากอิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ในระบบรงควัตถุระบบ 2 โดยถ่ายทอดอิเล็กตรอนมาทางสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนอีกชนิดหนึ่ง สมมติเป็นสาร Q ทำให้โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในรงควัตถุระบบ 1 สามารถรับพลังงานแสงต่อไปได้ใหม่ การที่อิเล็กตรอนจากคลอโรฟิลล์ในรงควัตถุระบบ 1 และรงควัตถุระบบ 2 ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์สูงถ่ายทอดไปยังตัวรับอิเล็กตรอนคือสาร X และสาร Q ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ต่ำกว่าได้นั้น ต้องใช้พลังงานมาก เพื่อทำ

ให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่ไปได้ เนื่องจากการถ่ายทอดอิเลคตรอนเช่นนี้ไม่ได้ดำเนินไปตามกฎเกณฑ์ตามธรรมชาติ พลังงานที่ทำให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงนี้คือพลังงานแสงนั่นเอง

สำหรับโมเลกุลของคลอโรฟิลในรงควัตถุระบบ 2 ที่สูญเสียอิเลคตรอนไปนั้นจะได้รับอิเลคตรอนจากการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำ การเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนจากโมเลกุลของน้ำไปสู่สารต่าง ๆ ตามลำดับจนถึงขั้นสุดท้ายคือ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ตามแผนภาพที่ 1 นั้นเป็นการถ่ายทอดอิเลคตรอนไปทางเดียว และให้ผลผลิตตลอดเวลาขณะที่มีแสง โดยไม่ย้อนกลับมาสู่สารตั้งต้นใหม่ จึงเป็นการถ่ายทอดอิเลคตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Non-cyclic electron transfer)

อิเลคตรอนที่เคลื่อนที่ออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลในรงควัตถุระบบ 1 บางส่วนเมื่อถ่ายทอดไปแล้วอาจย้อนกลับมาสู่สารตั้งต้นใหม่อีกคือ จารงควัตถุระบบ 1 ไปสู่สาร Q แล้ว ย้อนกลับมาสู่รงควัตถุระบบ 1 ใหม่อีก การถ่ายทอดอิเลคตรอนแบบนี้เป็นการถ่ายทอดอิเลคตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer) ในการถ่ายทอดอิเลคตรอนนี้ บางช่วงของการถ่ายทอดมีการปล่อยพลังงานออกมามากพอจนนำไปสร้าง ATP ได้ เรียกขบวนการสร้าง ATP โดยอาศัยพลังงานจากแสงเข้าร่วมในปฏิกิริยานี้ว่า โฟโตฟอสโฟรีเลชัน (Photophosphorylation)

การสลายโมเลกุลของน้ำในปฏิกิริยาที่ใช้แสงนี้เรียกว่า โฟโตไลซิส (Photolysis) โมเลกุลของน้ำที่แตกตัวออกนี้จะปล่อย อิเลคตรอน H^+ และออกซิเจนออกมา อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปให้โมเลกุลของคลอโรฟิลในรงควัตถุระบบ 2 ที่เสียอิเลคตรอนไป ส่วน H^+ จะถูก NADP^+ ที่รับอิเลคตรอนจารงควัตถุระบบ 1 มารับไป กลายเป็น NADPH ส่วนออกซิเจนจะถูกปล่อยออกสู่อากาศทางปากใบ

ทั้ง ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสงนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไปนี้

ปัญหาชวนคิด

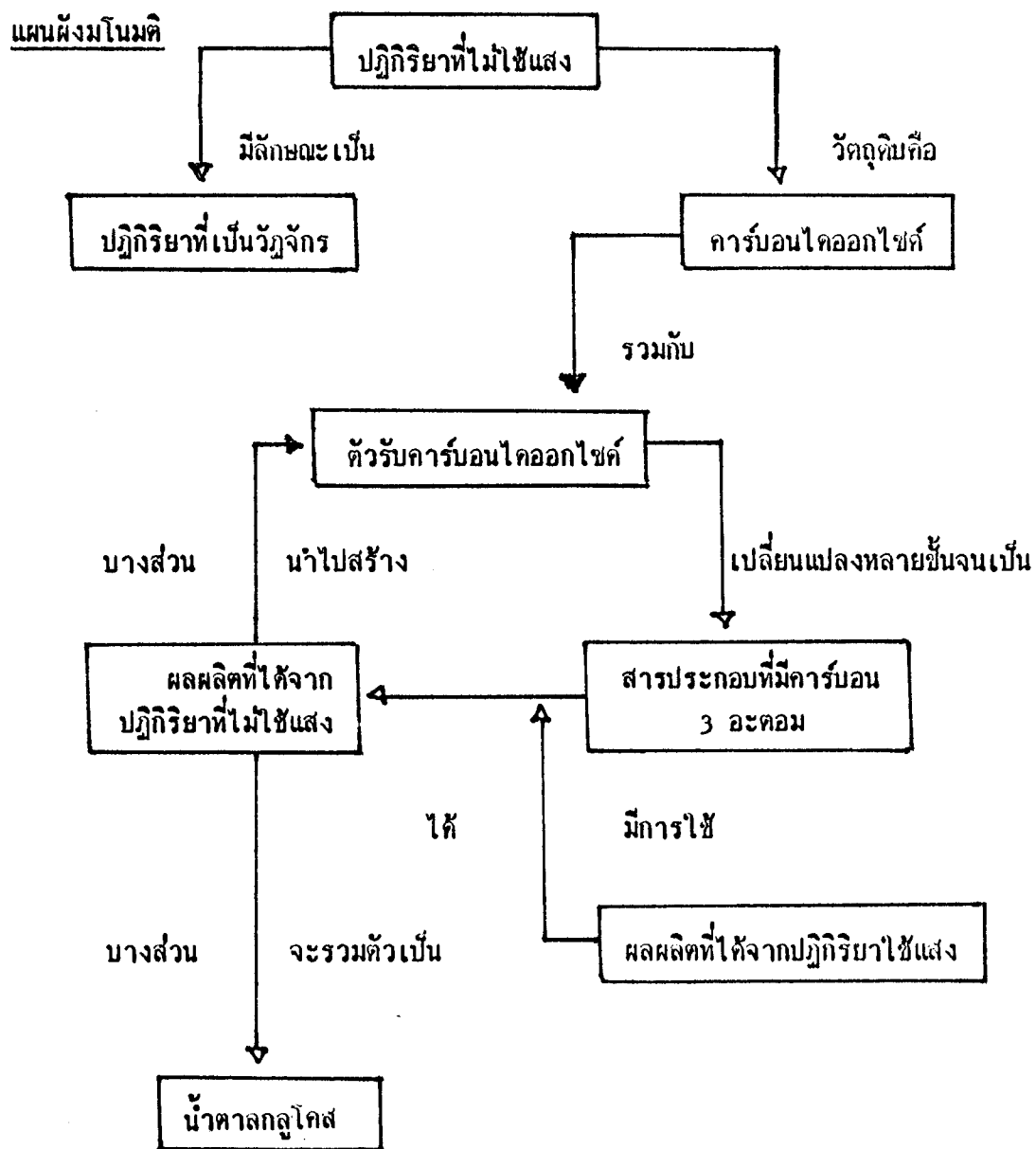
1. ในขบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร ทำให้เกิดสารอะไรบ้าง?
2. ผลผลิตที่ได้จากการถ่ายเทอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรคืออะไร?

ควรเข้าใจว่า ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นปฏิกริยาที่ต่อเนื่องกัน ทั้งใช้แสงและไม่ใช้แสง ปฏิกริยาที่ใช้แสงจะเกิดขึ้นได้จำเป็นจะต้องมีแสงในขณะที่เกิดปฏิกริยา เมื่อได้ผลจากปฏิกริยานี้แล้วปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงจะเกิดขึ้นตามมาโดยไม่จำเป็นต้องเกิดในที่มืด และในขณะเดียวกันปฏิกริยาที่ใช้แสงก็ยังดำเนินต่อไป เพื่อนำผลผลิตไปใช้ในปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงอีก

สรุปปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกริยาที่ใช้แสง

1. ในคลอโรพลาสต์มีกลุ่มรงควัตถุ 2 ระบบทำหน้าที่รับพลังงานแสง
2. พลังงานแสงที่ได้รับจะถูกนำไปใช้ในการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดออกซิเจน H^+ และอิเล็กตรอน เรียกขบวนการนี้ว่า โฟโตไลซิส (Photolysis) หรือ ปฏิกริยาของฮิลล์ (Hill's reaction)
3. H^+ ที่เกิดขึ้นจะมี $NADP^+$ ซึ่งเป็นตัวรับไฮโดรเจนมารับไป กลายเป็น $NADPH+H^+$ และนำไปใช้ในปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไป ส่วนก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ
4. พลังงานที่พืชได้รับจากแสงจะถูกนำไปใช้ในการสร้าง ATP เรียกขบวนการสร้าง ATP โดยอาศัยพลังงานจากแสงเข้าร่วมในปฏิกริยานี้ว่า โฟโตฟอสโฟริเลชัน

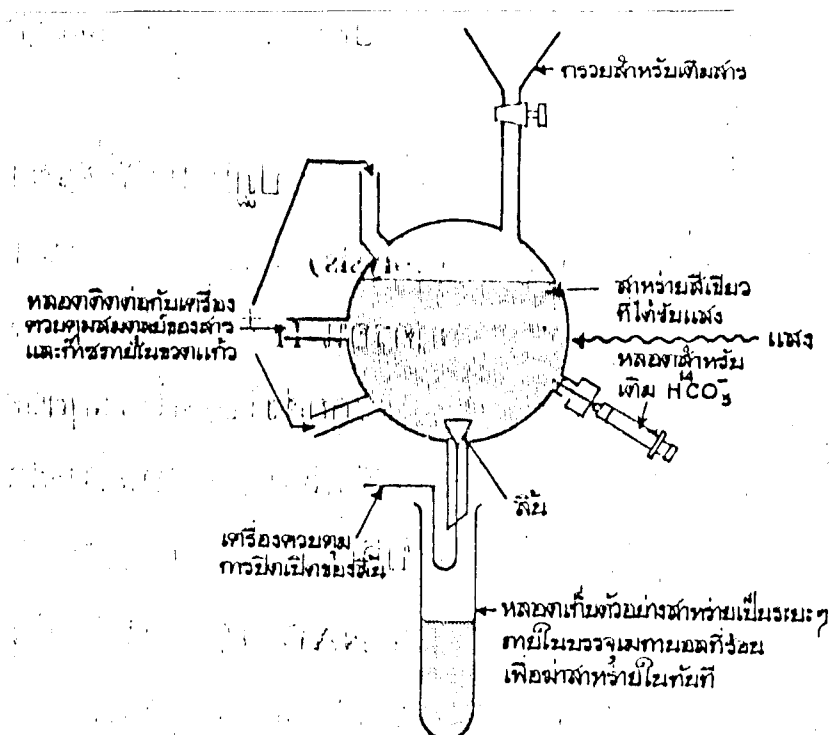
1.2 ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (Dark reaction)



บทสรุปล่วงหน้า

ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง เป็นการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่ง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร โดยมี RuDP (ribulose diphosphate) ทำหน้าที่เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์และมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลายขั้นตอน ขณะเดียวกันมีการใช้ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ จากปฏิกิริยาที่ใช้แสงด้วย ในที่สุดจะได้สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 3 อะตอมคือ PGAL (phosphoglyceraldehyde) ซึ่งบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็น RuDP กลับมาใช้ใหม่ได้อีกและบางส่วนจะนำไปใช้ในการสร้างน้ำตาลกลูโคส

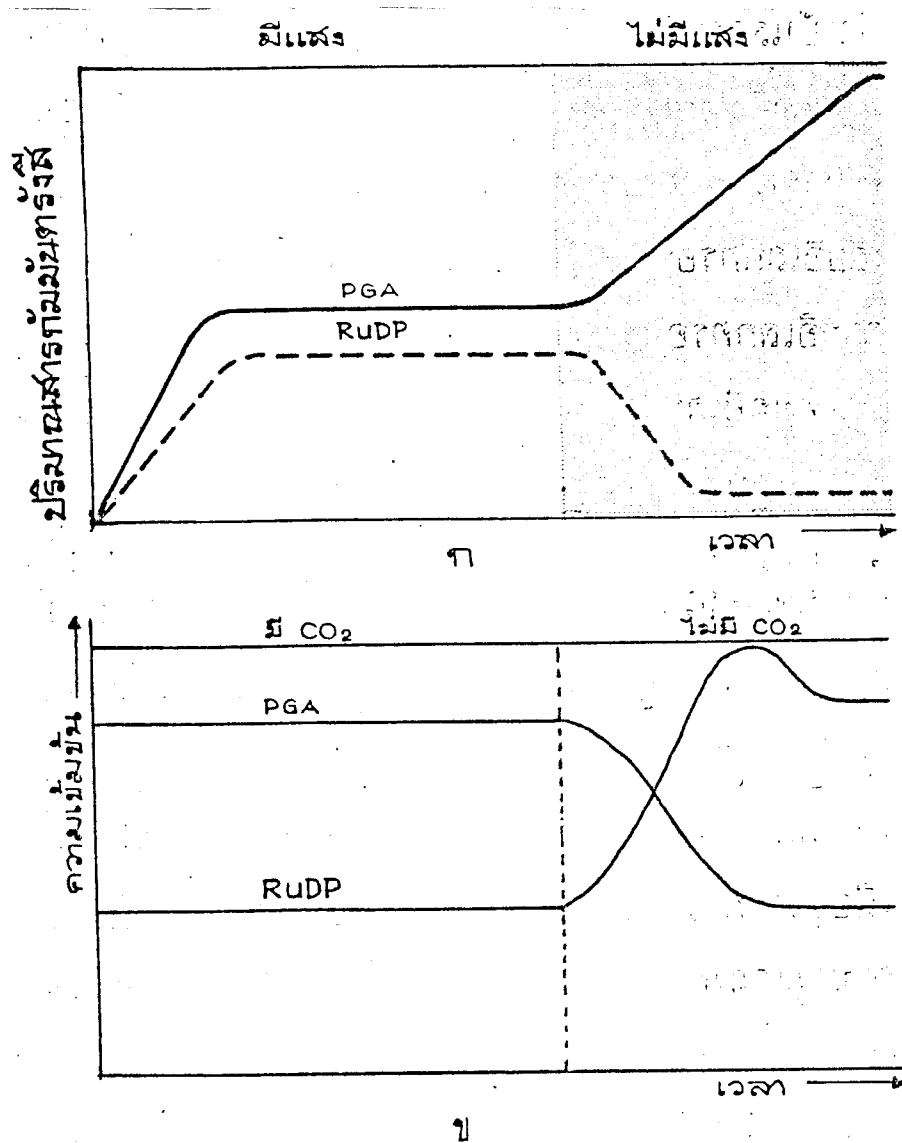
นักชีววิทยาได้ทำการทดลองใช้สารทำสเลี้ยว เซลเดียวชื่อ คลอเรลลา ใส่ในขวดแก้วชนิดพิเศษ ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีใบบรรจุอยู่ เมื่อผ่านแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็น ^{14}C และอยู่ในรูปของไฮโดรเจนคาร์บอนเนตที่ละลายในขวด เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์แสง และโดยอาศัยเครื่องมือที่ต่ออยู่กับขวดทำให้สามารถนำสารทำสเลี้ยวกับน้ำไปวิเคราะห์เป็นระยะ ๆ เพื่อตรวจสอบสารที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ กัน โดยตรวจหา ^{14}C ในสารประกอบที่เกิดขึ้นปรากฏว่า หลังจากระยะเวลาที่เกิดการสังเคราะห์แสงแล้วประมาณ 5 วินาที ตรวจพบอยู่ในสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอมคือ กรดฟอสโฟกลีเซอริก (Phosphoglyceric acid) เรียกย่อว่า PGA แต่คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของ PGA มีเพียงอะตอมเดียวเท่านั้นที่เป็น ^{14}C ส่วนอีก 2 อะตอม เป็นอะตอมของคาร์บอนปกติ (^{14}C 1 อะตอม ซึ่งเป็นองค์ประกอบใน PGA มาจากไหน) เมื่อนำผลจากการสังเคราะห์แสงมาตรวจหลังจากเกิดการสังเคราะห์แสงแล้วประมาณ 60 วินาที จะพบ ^{14}C อยู่ในสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คาร์บอน 5 อะตอม และคาร์บอน 6 อะตอม เมื่อเพิ่มเวลาขึ้นเป็นประมาณ 90 วินาที พบว่ามี ^{14}C ในสารประกอบชนิดอื่นเพิ่มขึ้นอีกหลายชนิด รวมทั้งน้ำตาลกลูโคสและไขมันด้วย



ภาพที่ 2 ชุดทดลองเพื่อวัดผลที่ได้จากการสังเคราะห์แสง

ผลที่ตรวจดูครั้งแรก นักวิทยาศาสตร์คิดว่าจะต้องมีสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม มารวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ PGA เกิดขึ้น จากการที่ศึกษาขั้นต่อไป ปรากฏว่า ไม่พบสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอมอยู่เลย แต่กลับพบว่า มีสารประกอบจำพวกน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมชื่อ ไรบูโลสไดฟอสเฟต (ribulose diphosphate) เรียกย่อว่า RuDP เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้จะเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงขึ้นแล้วเป็นเวลานาน ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงตั้งสมมติฐานว่า RuDP คงจะรวมกับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม แต่สารนี้ไม่อยู่ตัว จะสลายเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอมคือ PGA 2 โมเลกุล

นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองวัดปริมาณของ RuDP และ PGA ที่เกิดขึ้นในขณะการสังเคราะห์แสงในภาวะต่าง ๆ กันคือ ในภาวะปกติที่มีแสงและมี $^{14}\text{CO}_2$ อยู่ตลอดเวลาภาวะที่มีแสงแต่ไม่มี $^{14}\text{CO}_2$ และภาวะที่มี $^{14}\text{CO}_2$ แต่ไม่มีแสง แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟ ดังภาพที่ 3ก และ 3ข



ภาพที่ 3 ก. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ ^{14}C ใน RuDP และ PGA เมื่อมีแสงและไม่มีแสง ขณะที่มีการบอนด์ออกไซด์อยู่ตลอดเวลา

ภาพที่ 3 ข. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ RuDP และ PGA เมื่อมีและไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มีแสงอยู่ตลอดเวลา

ปัญหาถำคิด

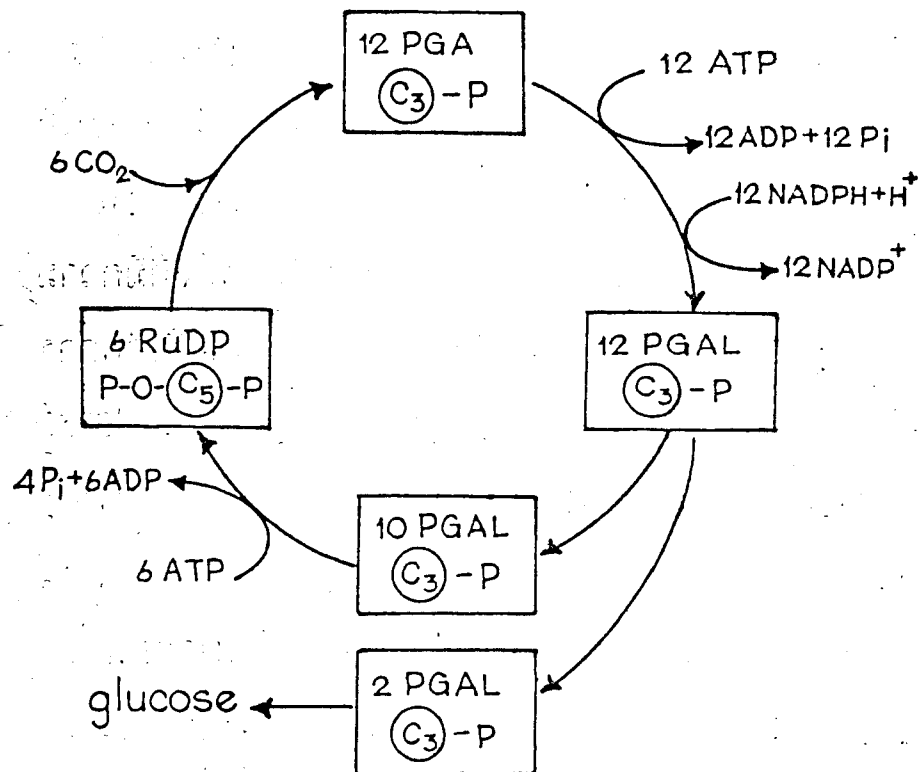
1. จากกราฟในภาพที่ 3 ก. ในช่วงที่มีแสง เหตุใด PGA กับ RuDP จึงมีปริมาณคงที่

2. จากกราฟในภาพที่ 3 ข. ในช่วงที่ไม่มี CO_2 นักเรียนคิดว่าสับสมดุลสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่อย่างไร

3. ในช่วงที่มีแสงแต่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ PGA มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นหรือไม่ เหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

จากกราฟในภาพที่ 3 ก. และ 3 ข. จะเป็นไปได้หรือไม่ว่าขณะที่ไม่มีแสง PGA จะถูกสร้างมาจาก RuDP เมื่อมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วย ผลที่ได้สนับสนุนสมมติฐานที่ว่า RuDP เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้เกิด PGA ขึ้น

เอม คัลวิน (M. Calvin) เอ เบนสัน (A. Benson) และคณะได้ทดลองและศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง ผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงเกิดต่อเนื่องกันเป็นวัฏจักร เรียกวัฏจักรของปฏิกิริยานี้ว่า วัฏจักรของคัลวิน (Calvin cycle) ดังภาพที่ 4



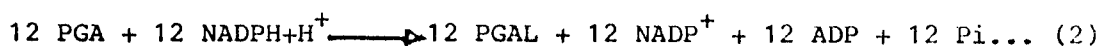
ภาพที่ 4 วัฏจักรของคัลวิน

วัฏจักรของคลอวิน ประกอบด้วยปฏิกิริยาหลายขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญ ๆ 3 ขั้นตอนคือ

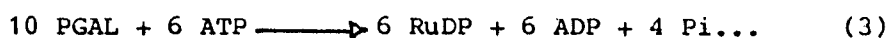
ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 เริ่มต้นจากสารตั้งต้นคือ RuDP ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และหมู่ฟอสเฟต 2 หมู่ RuDP จะรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ ได้เป็นสารประกอบใหม่ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม สารที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารที่ไม่อยู่ตัว จะสลายไปเป็น PGA 2 โมเลกุล ซึ่ง 1 โมเลกุลของ PGA จะมีคาร์บอนอยู่ 3 อะตอมและฟอสเฟต 1 หมู่ ดังนั้น ถ้าเริ่มต้นจาก RuDP 6 โมเลกุล รวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล จะได้ PGA 12 โมเลกุล



ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงจาก PGA จนได้ PGAL (phosphoglyceraldehyde) โดยได้รับไฮโดรเจนจาก $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และพลังงานจากการสลายตัวของ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้แสง PGAL 1 โมเลกุล จะประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และฟอสเฟต 1 หมู่ ดังนั้นจาก PGA 12 โมเลกุล จะเปลี่ยนเป็น PGAL 12 โมเลกุล



ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 PGAL ที่เกิดขึ้น 12 โมเลกุลนั้น จะเปลี่ยนแปลงต่อไป โดย 10 โมเลกุลของ PGAL จะเปลี่ยนแปลงไปเป็น RuDP 6 โมเลกุล ในการเปลี่ยนแปลงนี้ จะต้องใช้พลังงานจากการสลายตัวของ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้แสงและใช้หมู่ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวอีก 2 หมู่ จึงเหลือหมู่ฟอสเฟตที่ได้จากการสลายตัวของ ATP เพียง 4 หมู่



ส่วน PGAL อีก 2 โมเลกุล อาจนำไปใช้ในการหายใจหรืออาจจะรวมเป็นน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล

ดังนั้น ผลผลิตที่สำคัญที่ได้จากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคือ PGAL ซึ่งเซลล์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทางกล่าวคือ นำไปใช้สร้าง RuDP ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในวัฏจักรของคัลวินกลับขึ้นมาใหม่อีกทางหนึ่งนำไปใช้ในขบวนการหายใจ โดยเข้าสู่ช่วงไกลโคไลซิส ดังที่กล่าวมาแล้วในเรื่องการหายใจระดับเซลล์ และถูกนำไปใช้สร้างน้ำตาลกลูโคส หรือสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น เช่น น้ำตาลกลูโคส แป้ง เซลลูโลส เพกติน และไขมัน เป็นต้น

2. ผลที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสงและความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงกับการหายใจ

บทสรุปล่วงหน้า

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมีสารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยาหลายอย่างที่สำคัญคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลผลิตที่สำคัญคือ ออกซิเจนและอาหารในรูปของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารที่มีพลังงานศักย์สูง รวมทั้งยังได้อาหารตลอดจนสารที่พืชต้องการอื่น ๆ ด้วย การสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กับการหายใจคือ มีลักษณะของปฏิกิริยาเคมีเกิดในทิศทางที่สวนกัน

2.1 ผลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง

ผลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงในคลอโรพลาสต์คือ

1. ปฏิกิริยาที่ใช้แสง ให้ผลผลิตดังนี้

1.1 ออกซิเจน จะถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศไปใช้ในการหายใจ

1.2 ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง ช่วงการ

เปลี่ยนแปลง PGA เป็น PGAL

2. ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง ให้ผลผลิตคือ PGAL ซึ่งเซลล์จะนำไปใช้หลายทาง เช่น

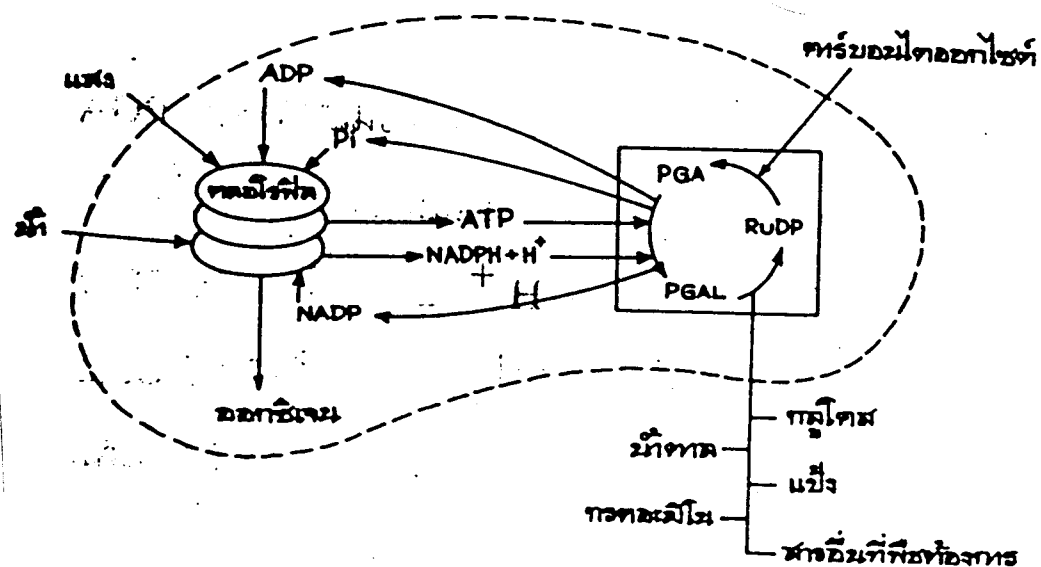
2.1 สร้าง RuDP ขึ้นมาใหม่

2.2 นำไปใช้ในขบวนการหายใจช่วงไกลโคไลซิส

2.3 สร้างน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส แป้ง กรดอะมิโน ไขมัน และสารอื่น ๆ

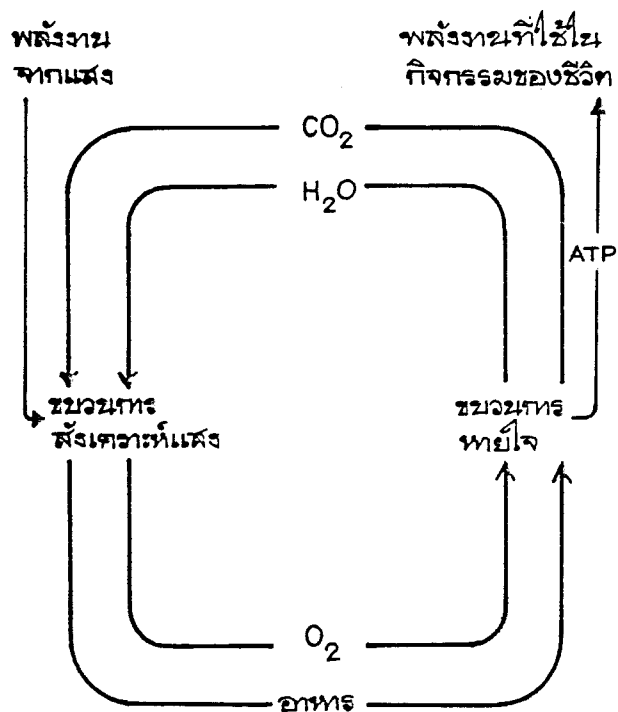
ที่พืชต้องการ

จะเห็นได้ว่าการสังเคราะห์เป็นขบวนการที่นำเอาพลังงานแสงมาเก็บไว้ในอาหารตาม
แผนภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลภาพแสดงผลที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสงในปฏิกิริยาที่ใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงในคลอโรพลาสต์

2.2 ความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงกับการหายใจ

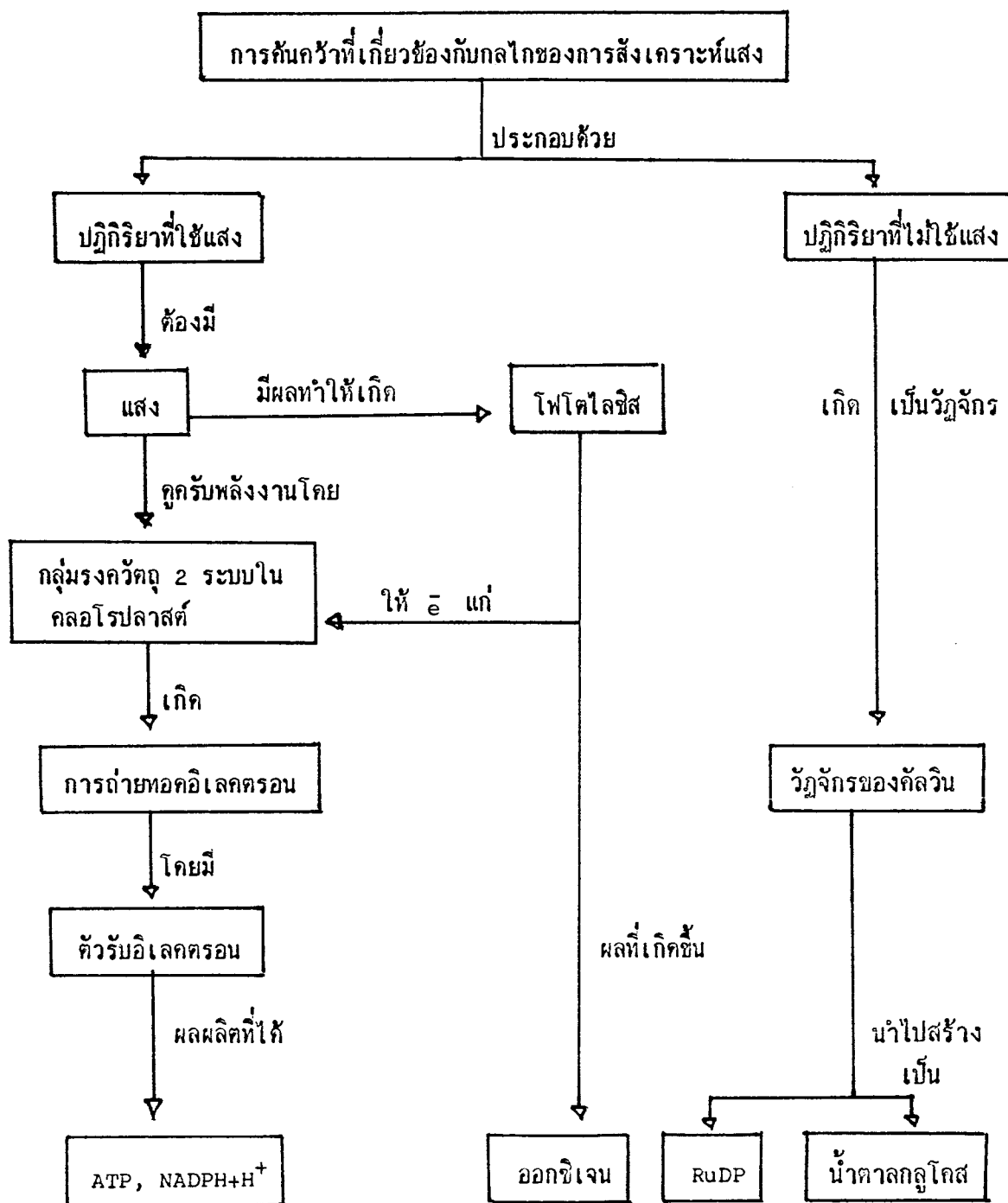


ภาพที่ 6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงกับการหายใจ

จากแผนภาพที่ 6 พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนแปลงมาเป็นพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมของชีวิต ผลผลิตของการสังเคราะห์แสงเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหายใจ หรือโดยกลับกันผลที่ได้จากกระบวนการหายใจเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับการดำเนินไปของปฏิกิริยาก็มีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการสังเคราะห์สารที่มีพลังงานศักย์สูง ซึ่งได้แก่ อาหาร จากสารที่มีพลังงานศักย์ต่ำ คือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการหายใจเป็นกระบวนการสลายสารที่มีพลังงานศักย์สูงคือ อาหาร ไปเป็นสารที่มีพลังงานศักย์ต่ำ ได้แก่ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์

3. การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการสังเคราะห์แสง

แผนผังมโนคติ



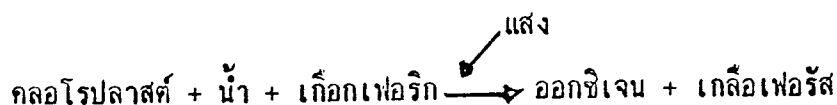
บทสรุปล่วงหน้า

ประจักษ์พยานจากการค้นคว้าทดลองของนักชีววิทยา แสดงว่า ปฏิกริยาในการสังเคราะห์แสงของพืชแบ่งได้เป็น 2 ตอนคือ ปฏิกริยาที่ใช้แสงและปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสง ปฏิกริยาที่ใช้แสงเป็นขบวนการที่ที่ขนนำพลังงานของแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี โดยมีกลุ่มรงควัตถุ 2 ระบบ ซึ่งอยู่ในคลอโรพลาสต์ทำหน้าที่รับพลังงานแสงไปทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน โดยมีสารหลายชนิดทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ได้แก่ NADP^+ เฟอริออกซินและไซโตโครม และใช้พลังงานแสงในการสลายโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ผลที่ได้จากปฏิกริยาที่ใช้แสงคือ ATP , $\text{NADPH}+\text{H}^+$ (ซึ่งเป็นสารที่รับอิเล็กตรอนได้หรือเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี) และออกซิเจน ซึ่ง ATP และ $\text{NADPH}+\text{H}^+$ จะถูกนำมาใช้ในปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไป ส่วนออกซิเจนจะปล่อยออกสู่บรรยากาศและนำไปใช้ในขบวนการหายใจ

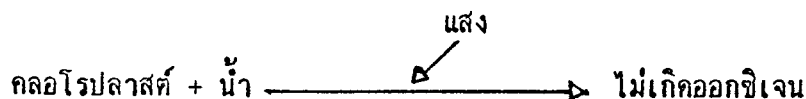
ประจักษ์พยานจากการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสง แสดงว่าปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงเป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันเป็นวัฏจักร โดยมี RuDP เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้เกิด PGA ขึ้น และมีการสร้าง RuDP ใหม่อีก

การค้นคว้าที่เกี่ยวกับกลไกของการสังเคราะห์แสง

ในปี ค.ศ.1973 โรบิน ฮิลล์ (Robin Hill) ได้ทำการทดลองผ่านแสงเข้าไปในของผสมซึ่งมีคลอโรพลาสต์ที่สกัดออกมาจากใบพืชพวกผักโขม และมีเกลือเฟอริกอยู่ด้วย ปรากฏว่าเกลือเฟอริกเปลี่ยนเป็นเกลือเฟอร์รัสและมีออกซิเจนเกิดขึ้น ดังแผนภาพ



แต่ถ้าผ่านแสง เข้าไปในคลอโรพลาสต์ที่ไม่มีเกลียวเฟอร์ริกอยู่ด้วย จะไม่ออกซิเจนเกิดขึ้นดังแผนภาพ



การที่เกลียวเฟอร์ริกจะเปลี่ยนเป็นเกลียวเฟอร์รัสได้ ก็ต่อเมื่อได้รับไฮโดรเจน จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้แสดงว่า เกลียวเฟอร์ริกต้องได้รับไฮโดรเจน ขณะเดียวกันมีออกซิเจนเกิดขึ้นในปฏิกิริยาดังนี้ เกลียวเฟอร์ริกจึงทำหน้าที่เป็นตัวรับไฮโดรเจน

ซึ่งจากการค้นคว้าต่อมาพบว่า มีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับไฮโดรเจนอีกหลายชนิด เช่น เฟอร์ริกไซยาไนด์ และเมธิลีนบลู เป็นต้น

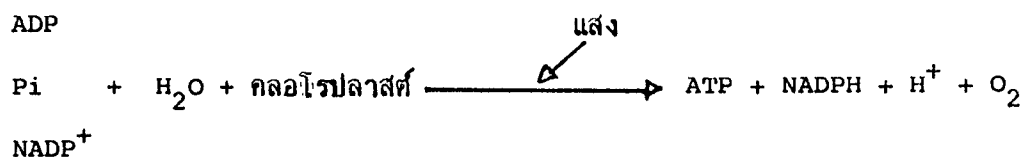
ปัญหาที่น่าสนใจ

1. ไฮโดรเจนที่เกลียวเฟอร์ริกได้รับและออกซิเจนที่เกิดขึ้นได้มาจากไหน?
2. นักเรียนคิดว่าในขบวนการสังเคราะห์แสงจำเป็นต้องมีสารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับไฮโดรเจนอยู่ด้วยหรือไม่ เหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

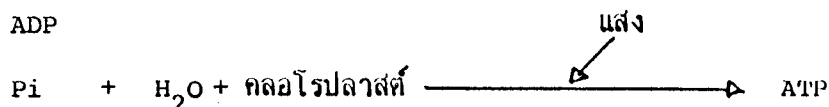
ในที่นี้มีสารประกอบชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็น ตัวรับไฮโดรเจนคือ นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ฟอสเฟต (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) เขียนย่อ ๆ ว่า NADP^+

ในปี ค.ศ.1961 แดเนียล อาร์นอน (Daniel Arnon) และคณะแห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ที่เบิร์กลีย์ ได้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองของฮิลล์ อาร์นอน คิดว่าถ้าให้สารบางอย่าง เช่น ADP หมู่ฟอสเฟต $\text{NADP}^+ \text{CO}_2$ และแสงลงไปคลอโรพลาสต์ที่สกัดมาได้นี้ จะมีปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงจนได้น้ำตาลเกิดขึ้น

อาร์นอน ได้ทำการทดลอง เพื่อติดตามขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา โดยควบคุมปัจจัย-
บางอย่างแล้วสังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้น อาร์นอน พบว่า ถ้าให้สารต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา
แล้ว ยกเว้น คาร์บอนไดออกไซด์ ปรากฏว่า เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น แต่ไม่มีการสร้างคาร์โบ-
ไฮเดรตดังแผนภาพ



อาร์นอน ได้ทำการทดลองต่อไปอีก โดยให้ปัจจัยต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว แก่กลอ-
โรพลาสต์ ยกเว้น คาร์บอนไดออกไซด์ และ NADP^+ พบว่า เกิดจาก ATP อย่างเดียว
เท่านั้น



จากผลการทดลองทั้งสองครั้ง แสดงให้เห็นว่าในขณะที่มีแสง กลอโรพลาสต์สามารถ
สร้าง ATP เพียงอย่างเดียวก็ได้ หรือสร้างทั้ง ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ก็ได้ขึ้นอยู่กับ
ว่าจะให้ปัจจัยอะไรบ้างกับกลอโรพลาสต์

ต่อมา อาร์นอน ได้ทำการทดลองโดยเติม ATP, $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และ คาร์บอนไดออก-
ไซด์ ลงไปในกลอโรพลาสต์ แต่ไม่มีแสง ปรากฏผลว่า มีน้ำตาลเกิดขึ้นดังแผนภาพ

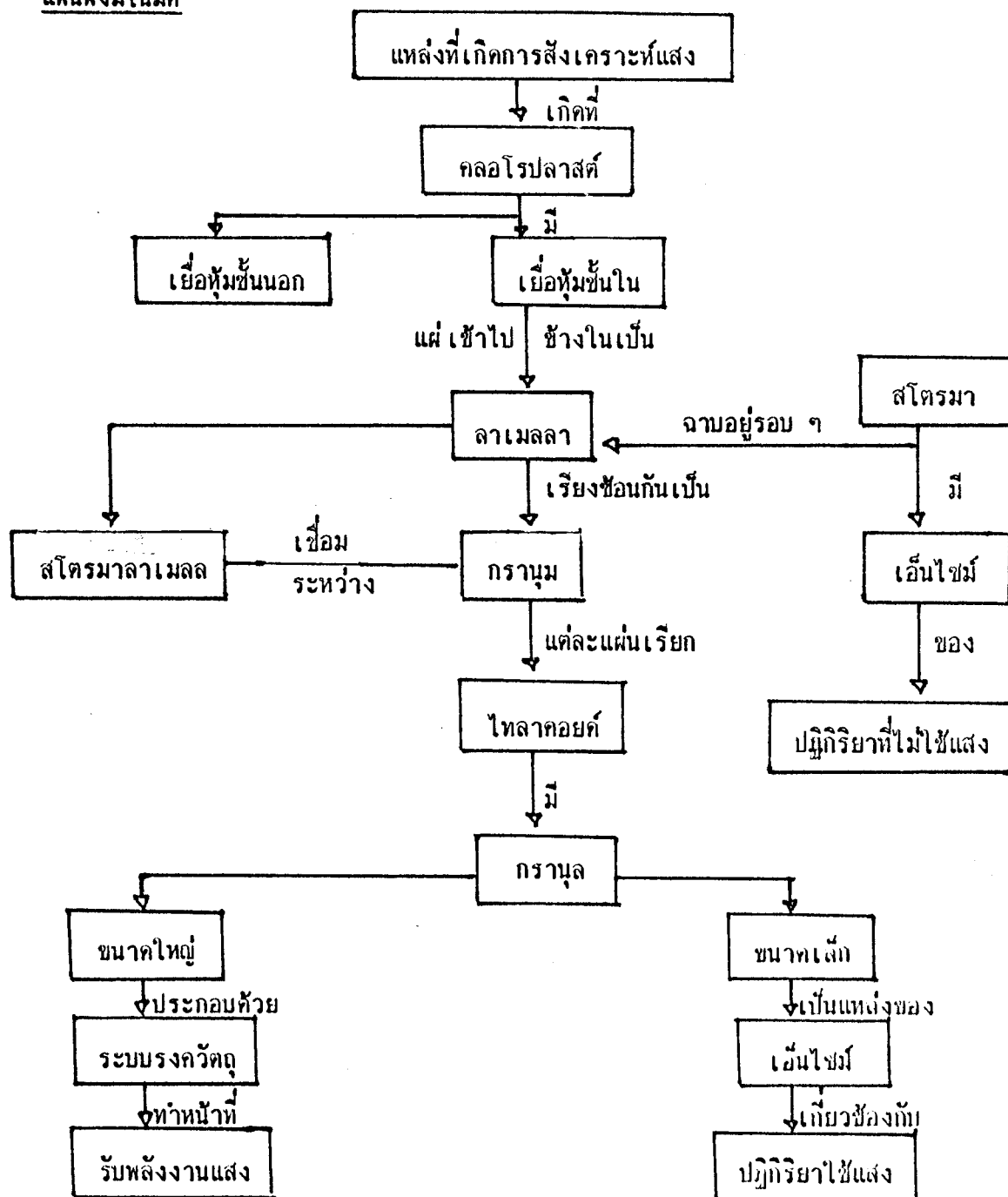


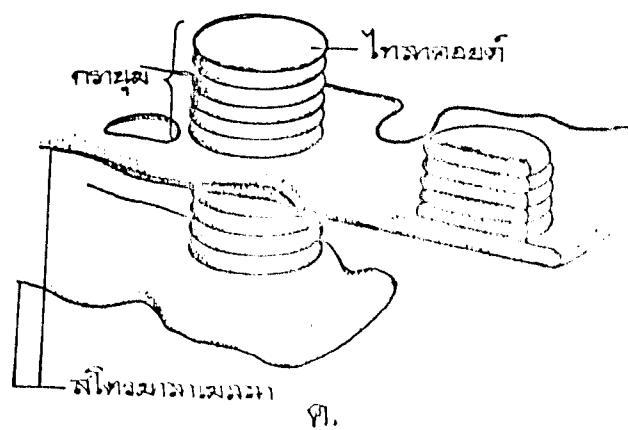
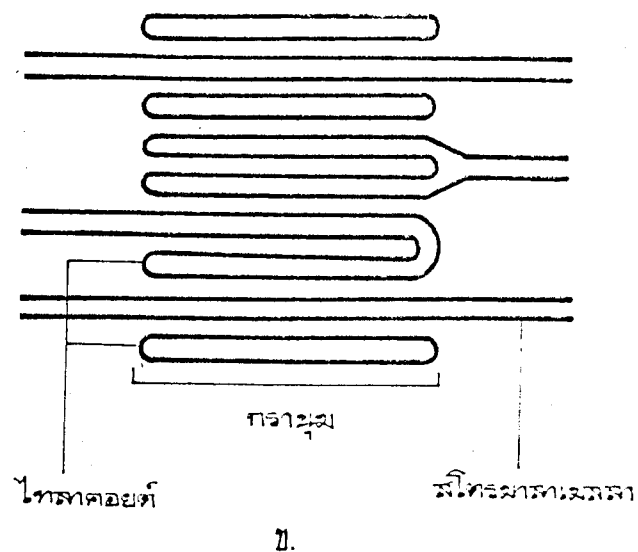
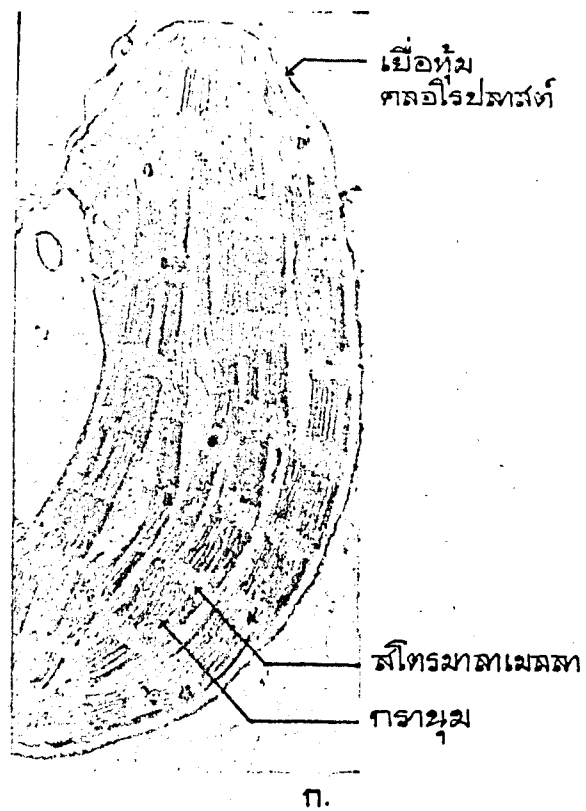
ปัญหานำคิด

1. จากการทดลองของอาร์นอนครั้งหลังนี้ การสร้างน้ำตาลของคลอโรพลาสต์ จำเป็นต้องใช้แสงหรือไม่?
2. แสงมีบทบาทอย่างไรในปฏิกิริยาการสร้างน้ำตาลของพืชที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

4. แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง

แผนผังมโนคติ





ภาพที่ 7 ภาพแสดงโครงสร้างของคอลอโรพลาสติก

บทสรุปล่วงหน้า

แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง คือคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีโครงสร้างที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงขั้นปฏิกิริยาที่ใช้แสงและไม่ใช้แสง เพราะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. กรานุม (Granum) เป็นแหล่งที่มีรงควัตถุที่ใช้ในการรับพลังงานแสงคือคลอโรฟิลล์และรงควัตถุชนิดอื่น ๆ และเป็นแหล่งที่มีเอนไซม์ที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้แสง
2. สโตรมา (Stroma) เป็นแหล่งที่มีเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

จากการศึกษาเรื่องเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและวิธีการต่าง ๆ ทำให้รู้รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นแหล่งที่เกิดขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียวได้มากขึ้น

คลอโรพลาสต์จัดเป็นออร์แกเนลล์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อพืชเป็นอย่างมาก เพราะเป็นแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์การโบไฮเดรต ในพวกลำไส้จะมีคลอโรพลาสต์ที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันออกไป แต่ในพืชส่วนใหญ่คลอโรพลาสต์จะมีรูปร่างกลมรี มีความยาวประมาณ 5 ไมครอน กว้าง 2 ไมครอน หนา 1-2 ไมครอน ในเซลล์ของใบแต่ละเซลล์จะมีคลอโรพลาสต์เป็นสิบ ๆ ขึ้นไป จนถึงเป็นร้อย ๆ คลอโรพลาสต์ ซึ่งขึ้นกับชนิดของพืช คลอโรพลาสต์มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อหุ้มชั้นในจะแผ่เข้าไปข้างในกลายเป็นโครงสร้างย่อย ๆ ที่ประกอบด้วยเยื่อบาง ๆ เรียกว่า ลามัลลา (lamella) บริเวณรอบ ๆ อาบอยู่ โดยรอบลามัลลาส่วนใหญ่มีลักษณะแบนแบนกลม ๆ บาง ๆ เรียงซ้อนกันเป็นตึก เรียกตึกของลามัลลานี้ว่า กรานุม (Granum) และเรียกลามัลลาแต่ละแผ่นในกรานุมนี้ว่า ไทลาคอยด์ (thylakoid) ภายในคลอโรพลาสต์จะมีกรานุมกระจายอยู่เต็มไปหมด ในคลอโรพลาสต์ที่เจริญเต็มที่แล้วจะมีกรานุมประมาณ 40-60 กรานุม ลามัลลาที่เชื่อมระหว่างกรานุมเรียกว่า สโตรมาลามัลลา ลามัลลาประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ซึ่งมีคลอโรฟิลล์และรงควัตถุอื่น ๆ เช่น คาร์โรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ห่อหุ้มด้วย ที่ผิวหน้าของไทลาคอยด์จะมีกรานุมอยู่เป็นจำนวนมาก กรานุมบางอันมีขนาดเล็ก บางอัน

มีขนาดใหญ่ กราฟูลพวกที่มีขนาดใหญ่เป็นแหล่งรับพลังงานจากแสง ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของ-
 รงควัตถุในรงควัตถุระบบ 1 และรงควัตถุระบบ 2 ดังนั้น การรับพลังงานแสงที่ทำให้อิเล็ก-
 ตรอนมีพลังงานสูงขึ้น จึงเกิดขึ้นที่แหล่งเหล่านี้ ส่วนกราฟูลที่มีขนาดเล็กคาดกันว่าจะเป็นแหล่ง
 ที่อยู่ของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาที่ใช้แสง
 ตามภาพที่ 7

เนื่องจากโมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้แสงอยู่ในขอบเขตจำกัดคือ เกาะ
 อยู่เฉพาะที่ผนังของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์เท่านั้น จึงทำให้โมเลกุลของสารเหล่านี้อยู่รวมกันอย่าง
 ใกล้ชิด ดังนั้น ตัวรับอิเล็กตรอนทั้งหลายจึงสามารถทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจาก
 คลอโรฟิลระบบที่ 1 หรือคลอโรฟิลในรงควัตถุระบบ 2 ได้อย่างสมบูรณ์

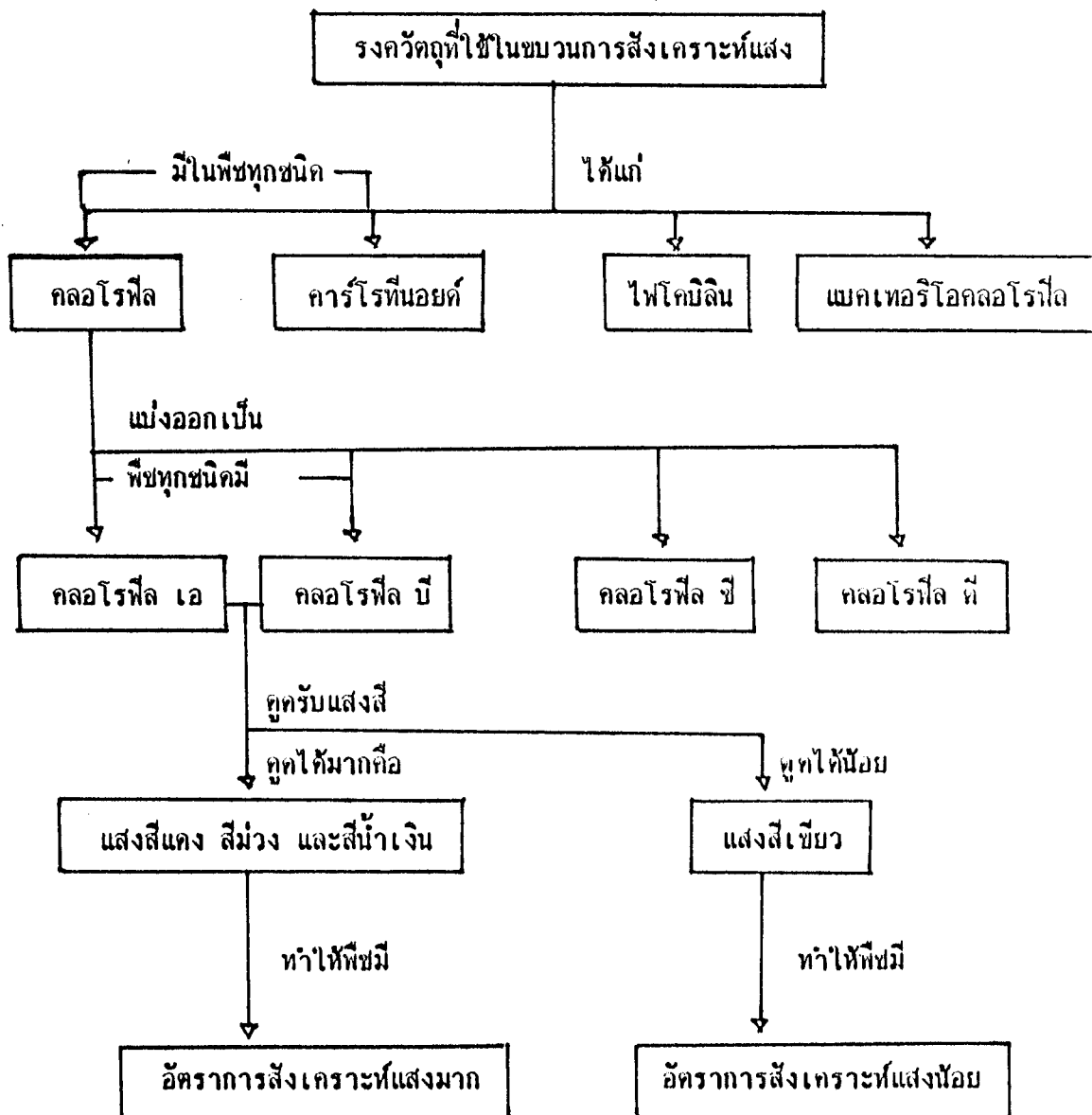
ในสโตรมาซึ่งเป็นของเหลวไม่มีสีอับอยู่รอบ ๆ สโตรมาลาเมลลา และไทลาคอยด์ นั้น
 จะมีเอนไซม์ที่นำไปใช้ในปฏิกิริยาช่วงวัฏจักรของคัลวิน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงอยู่ด้วย

ปัญหานำคิด

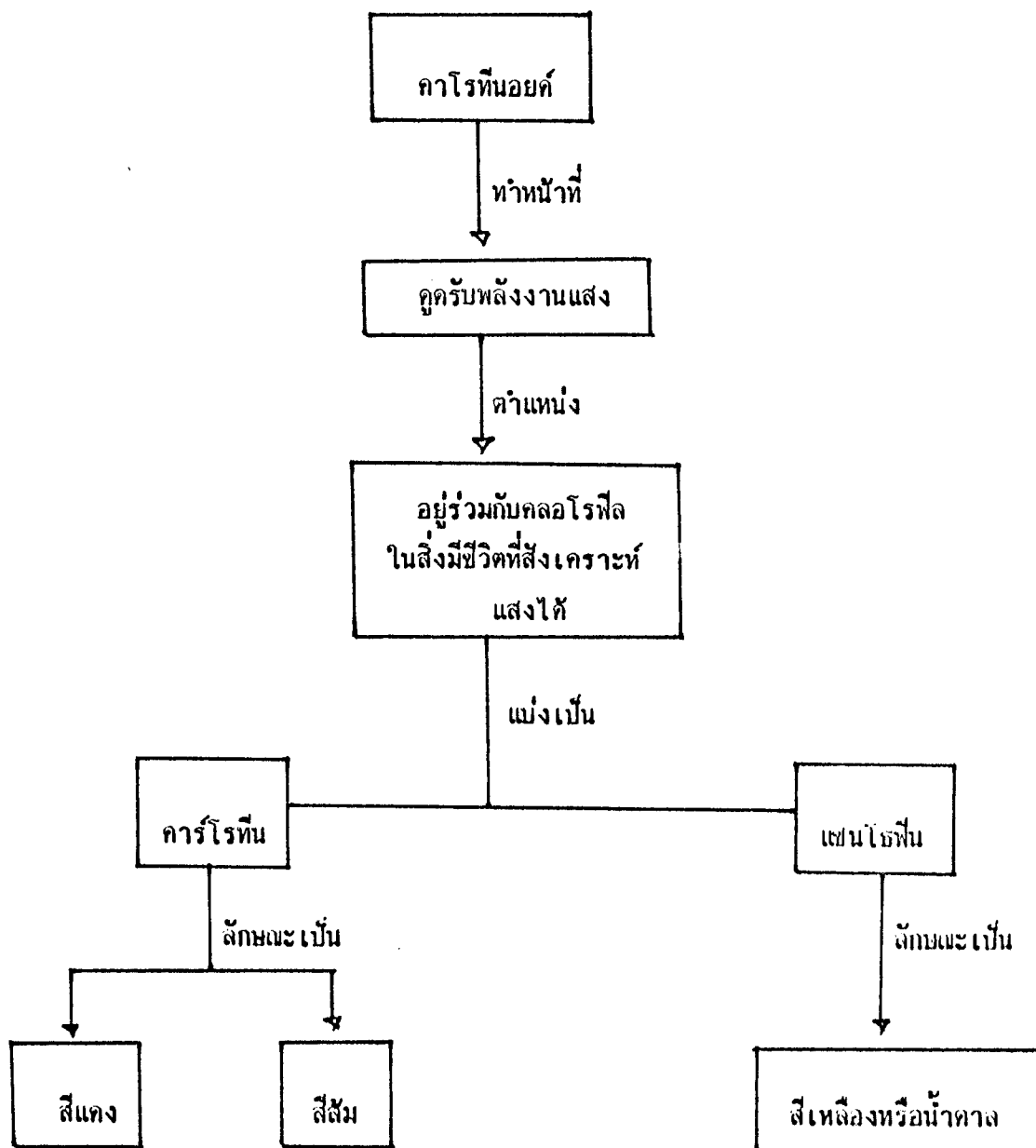
1. ปฏิกิริยาที่ใช้แสง เกิดขึ้นที่ส่วนใดของคลอโรพลาสต์
2. ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง เกิดขึ้นที่ส่วนใดของคลอโรพลาสต์

4.1 รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง

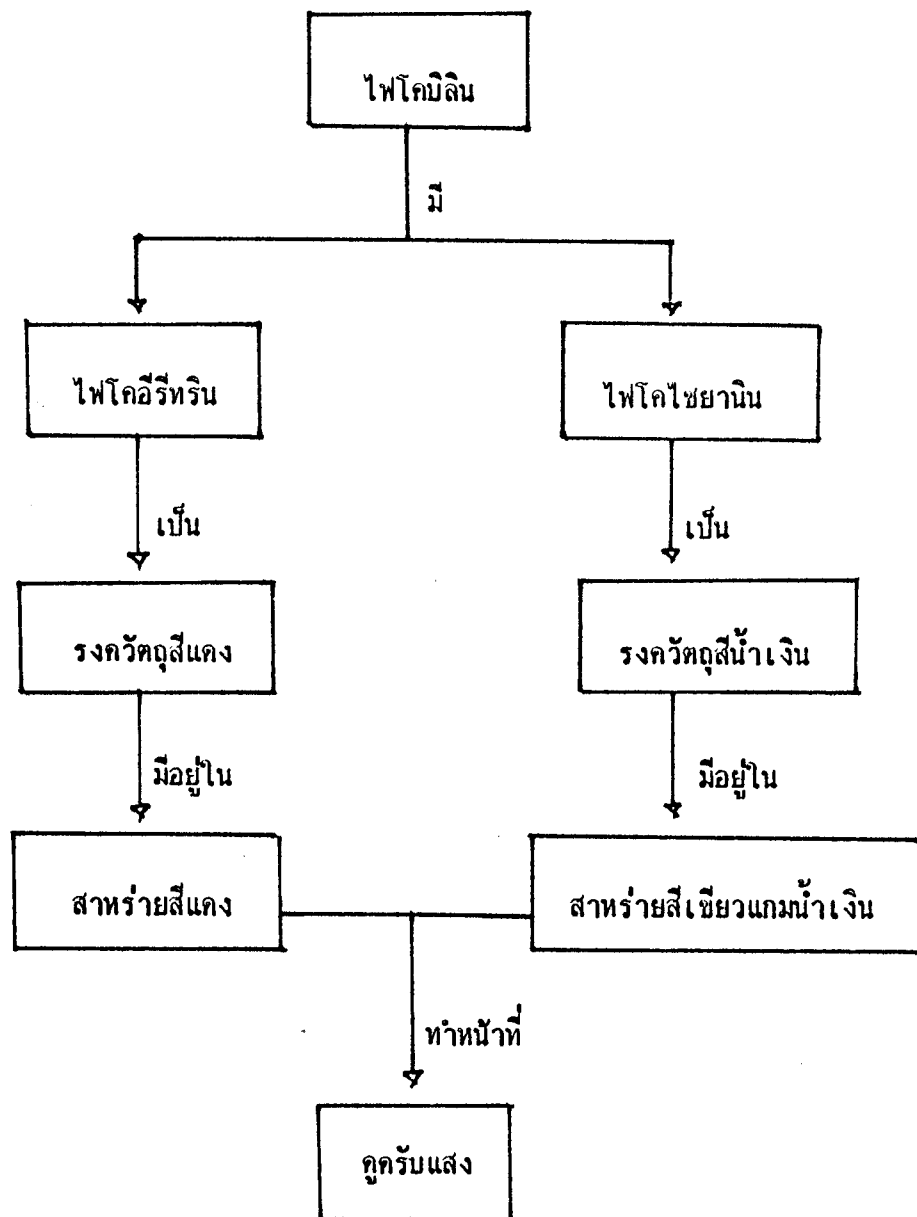
แผนผังมโนมติ



แผนผังมโนคติของรงควัตถุการโรทีนอยด์



แผนผังมโนคติของรงควัตถุไฟโคบิลิน



บทสรุปย่อหน้า

กลอโรพลาสติกมีรงควัตถุที่สามารถรับพลังงานแสง และนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี ในขบวนการสังเคราะห์แสง มีหลายประเภทคือ กลอโรฟิล์ คาร์โรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน ในเซลล์ของพืชและโปรติสท์ที่สังเคราะห์แสงได้ มีรงควัตถุแตกต่างกันออกไป

กลอโรพลาสติกประกอบด้วยรงควัตถุที่สามารถรับพลังงานจากแสง และนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในขณะที่มีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงมีหลายประเภทคือ กลอโรฟิล์ คาร์โรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน ในเซลล์ของพืชและโปรติสท์ที่สังเคราะห์แสงได้ จะประกอบด้วยรงควัตถุที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงที่มีอยู่ในสิ่งที่มีชีวิตชนิดต่าง ๆ

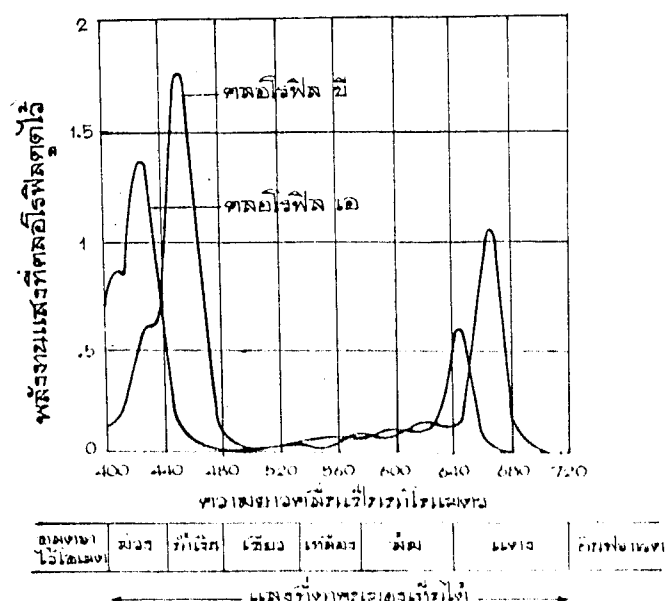
	กลอโรฟิล์ a b c d	คาร์โรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	แบคทีรีโอกลอโรฟิล์ a b c d
พืชมีดอก	++--	+	-	-----
เฟิร์น	++--	+	-	-----
สาหร่ายสีเขียว	++--	+	-	-----
สาหร่ายสีน้ำตาล	+--+	+	-	-----
สาหร่ายสีแดง	+--+	+	+	+-----
สาหร่ายสีเขียว				
แกมน้ำเงิน	+---	+	+	-----
แบคทีเรียที่				
สังเคราะห์แสงได้	-----	+	-	+--++

ปัญหาคำถาม

1. พืชทุกชนิดจะต้องมีคลอโรฟิลชนิดต่าง ๆ อะไรบ้าง?
2. คลอโรฟิลชนิดใดที่มีอยู่ในพืช และสำหรับพืชชนิด
3. รงกวัณชนิดใดที่มีอยู่ทั้งในพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย ที่สังเคราะห์แสงได้

4.1.1 คลอโรฟิล

คลอโรฟิลทำหน้าที่ดูดพลังงานของแสงจากดวงอาทิตย์ แสงที่เรามองเห็นนั้นเป็นแสงที่ประกอบไปด้วยแสงสีต่าง ๆ จากแสงสีม่วงไปจนถึงแสงสีแดง ซึ่งมีความยาวคลื่นจาก 300 นาโนเมตร ไปจนถึง 700 นาโนเมตร คลอโรฟิลแต่ละชนิดจะรับแสงสีต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน ได้มีการทดลองโดยสกัดเอาคลอโรฟิลออกจากใบไม้ แล้วผ่านแสงแต่ละสีเข้าไปในสารของคลอโรฟิล วัดปริมาณแสงที่คลอโรฟิลรับเอาไว้ นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงการรับแสงของคลอโรฟิล ดังภาพ



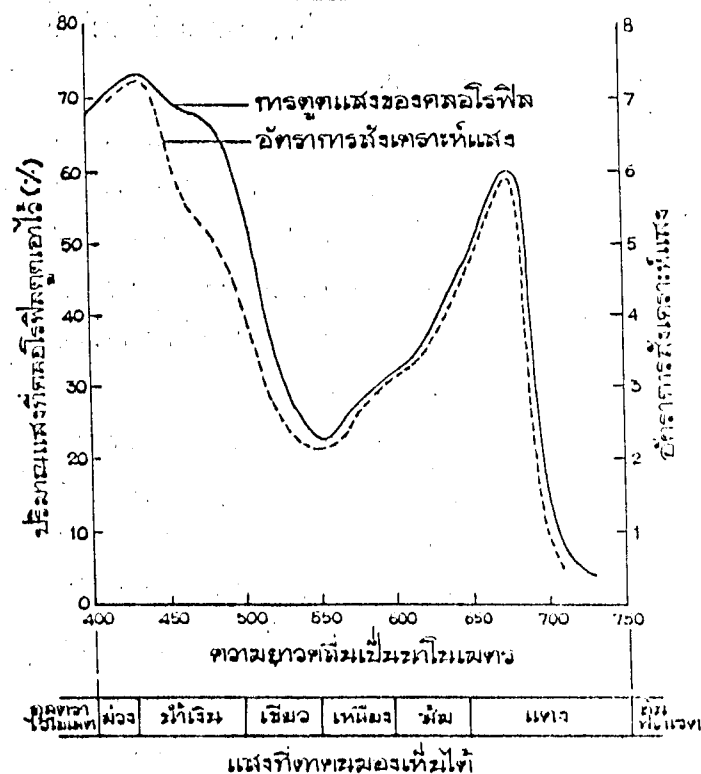
ภาพที่ 8 กราฟแสดงปริมาณพลังงานแสงที่คลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับไว้

ปัญหานำคิด

1. จากกราฟ มีแสงสีอะไรบ้างที่คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี รับไว้ได้มาก
2. ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี รับแสงสีอะไรได้น้อยที่สุด
3. จากกราฟนักเรียนอธิบายได้หรือไม่ว่า เหตุใดจึงเห็นคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว

4.1.2 คาโรทีนอยด์

คาโรทีนอยด์เป็นสารประกอบจำนวนไขมัน ซึ่งประกอบไปด้วย รงควัตถุ 2 ชนิดคือ การโรทีน เป็นรงควัตถุสีแดงและสีส้ม รงควัตถุอีกชนิดหนึ่งคือ แซนโทฟิล ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองหรือสีน้ำตาล การโรทีนอยด์มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ เช่น ในพืช สาหร่ายและแบคทีเรียที่สังเคราะห์ได้ คาโรทีนอยด์ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์จะรวมอยู่กับคลอโรฟิลล์



ภาพที่ 9 กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทางกระบอกและการรับพลังงานแสงของคลอโรฟิลล์ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ

ปัญหานำคิด

1. จากกราฟ พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้มาก เมื่อพืชได้รับแสงสีอะไรบ้าง?
2. แสงสีอะไรที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด?
3. แสงสีต่าง ๆ ที่คลอโรฟิลล์รับไว้มีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสงหรือไม่ อย่างไร?

พืชและสาหร่ายส่วนใหญ่ จะมีคลอโรฟิลล์อยู่ในคลอโรพลาสต์ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่มีคลอโรพลาสต์ แต่มีองค์ประกอบที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ที่กระจายอยู่ปนในไซโทพลาสซึมเต็มไปหมด ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีคลอโรพลาสต์ สาหร่ายชนิดนี้ก็สามารถสังเคราะห์แสงได้ เพราะมีสารต่าง ๆ ที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์แสงอยู่อย่างครบถ้วนในไซโทพลาสซึม

กาโรตีนอยด์มีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยทางอ้อม โดยจะทำหน้าที่รับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อไปให้กับคลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงอีกทีหนึ่ง

ปัญหานำคิด

- ถ้าพืชมีแต่กาโรตีนอยด์เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีคลอโรฟิลล์ กระบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

กาโรตีนอยด์นอกจากจะมีอยู่ในคลอโรพลาสต์แล้ว ยังมีอยู่ในพลาสติกรูปอื่น ๆ เช่น โครโมพลาสต์ที่อยู่ในส่วนอื่น ๆ ของพืชได้อีกด้วย เช่น ในหัวแครอท ในผลมะเขือเทศสุก และดอกไม้ที่มีสีเหลืองเป็นต้นนอกจากในพืชแล้ว ยังอาจมีอยู่ในเซลล์ของสัตว์ได้ เช่น ในเซลล์สมองของกิ้ง

4.1.3 ไฟโคบิลิน

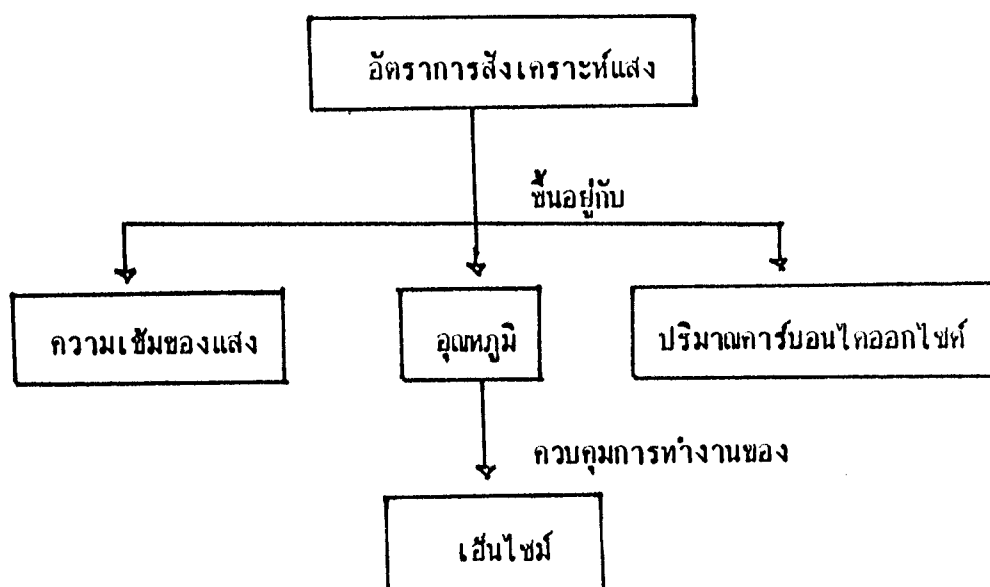
เป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในเฉพาะสาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วยรงควัตถุ 2 ชนิดคือ ไฟโคอีริทริน (phycoerythrin) และไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ไฟโคอีริทรินเป็นรงควัตถุสีแดงจะรับแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่นประมาณ 495-565 นาโนเมตร ไว้มากที่สุด รงควัตถุนี้มีอยู่ในสาหร่ายสีแดง ส่วนไฟโคไซยานินเป็นรงควัตถุสีน้ำเงิน มีอยู่ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่มีความยาวคลื่น 550-615 นาโนเมตร ไว้มากที่สุด ไฟโคบิลินทำหน้าที่เช่นเดียวกับคาโรทีนอยด์

ปัญหานำคิด

- นักเรียนคิดว่า การที่พืชมีรงควัตถุหลายชนิดมีประโยชน์อย่างไร

นักพฤกษศาสตร์ได้ทำการทดลองวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทางกระจก เมื่อได้รับแสงสีต่าง ๆ และนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ ดังภาพ

แผนผังมโนคติของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการสังเคราะห์แสง



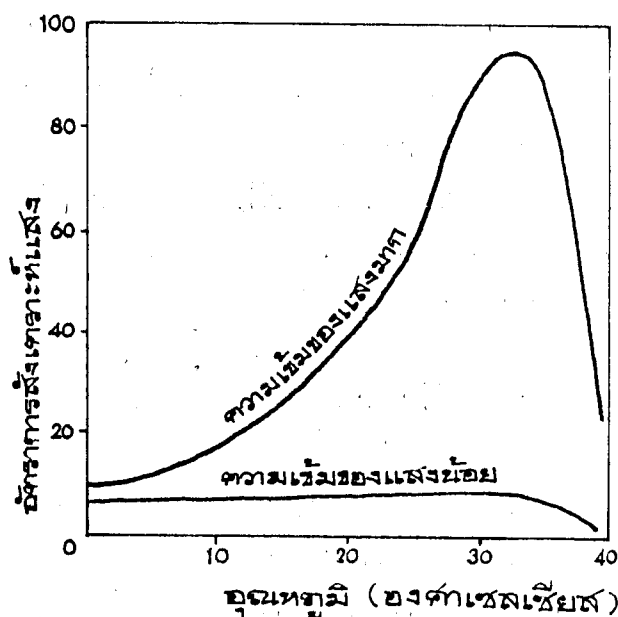
5. อิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

บทสรุปล่วงหน้า

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง มีเอ็นไซม์เป็นตัวควบคุม อุณหภูมิจึงมีบทบาทต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

จากกลไกการสังเคราะห์แสงที่นักเรียนศึกษาผ่านมา นักเรียนจะบอกได้หรือไม่ว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มีอิทธิพลต่อขบวนการสังเคราะห์แสง

ได้มีผู้ทำการทดลองเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืช โดยการวัดปริมาณของออกซิเจนที่เกิดขึ้น การทดลองนี้ใช้ความเข้มของแสงสองระดับคือ ระดับหนึ่งมีความเข้มของแสงสูงกว่าอีกระดับหนึ่ง 10 เท่า ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะได้อัตราการสังเคราะห์แสง ดังกราฟในภาพ



ภาพที่ 10 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและแสงสว่างต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

ปัญหานำคิด

- จากกราฟนี้อุณหภูมิและความเข้มของแสงมีความสำคัญต่ออัตราการสังเคราะห์แสงอย่างไร

โดยปกติถ้าไม่คิดถึงปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชส่วนใหญ่จะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ $0-35^{\circ}\text{C}$ หรือ $0-40^{\circ}\text{C}$ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ควบคุม และการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้น เรื่องของอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์แสงด้วย เรียกปฏิกิริยาเคมีที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิว่า ปฏิกิริยาเทอร์โมเคมีคัล (thermochemical reaction)

นอกจากแสงและอุณหภูมิจะมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงแล้ว ยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ดังที่ได้ศึกษามาแล้วจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสงกับความเข้มของแสง และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบทเรียนเรื่องการสร้างอาหารในพืช

สรุปได้ว่า กลไกของการสังเคราะห์แสงเป็นขบวนการที่พืชใช้พลังงานแสงคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งไร้ชีวิต ไปสร้างอาหารซึ่งเป็นสารที่มีพลังงานศักย์สูง สารดังกล่าวนี้จะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร ในขบวนการสังเคราะห์แสงนี้มีออกซิเจนเกิดขึ้นด้วย ทำให้มีออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอย่างเพียงพอ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นตัวกลางที่มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ปัจจัยทางกายภาพคือ สิ่งที่ไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงอยู่กับโลกของสิ่งมีชีวิตอยู่ตลอดเวลาไม่มีวันสิ้นสุด

แผนการสอนวิชาชีพวิทยาเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสงที่สร้างขึ้น
ตามหลักของการ Ausubel

กลไกของการสังเคราะห์แสง

เวลาที่ใช้สอน

- | | |
|---|-------|
| 1. ปฏิริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง | 4 คาบ |
| 2. การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการสังเคราะห์แสง | 1 คาบ |
| 3. แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง | |
| 4. รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง | 2 คาบ |
| 5. อิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสง | |

จุดประสงค์การเรียนรู้

หลังจากศึกษาบทเรียนเรื่องนี้แล้ว นักเรียนควรสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

- อธิบายการถ่ายทอคลิเลคตรอนแบบเป็นวัฏจักรและการถ่ายทอคลิเลคตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร ในปฏิริยาที่ใช้แสงรวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิริยาช่วงนี้
- อธิบายปฏิริยาการสังเคราะห์แสงในช่วงที่ไม่ต้องใช้แสง และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิริยาช่วงนี้
- สรุปสารที่เข้าร่วมในปฏิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิริยาสังเคราะห์แสง
- นำความรู้ที่ได้จากประวัติการค้นคว้าเกี่ยวกับกลไกของการสังเคราะห์แสงของนักชีววิทยาในอดีต มารวบรวมเป็นหลักการโดยสรุปของปฏิริยาการสังเคราะห์แสง
- อธิบายโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นแหล่งที่เกิดปฏิริยาการสังเคราะห์แสง
- ระบุชนิดและหน้าที่ของรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง
- อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงโดยใช้ข้อมูลจากกราฟ

แผนการสอนบทเรียนเรื่อง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง ชั้นใช้แสง
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เวลาที่ใช้สอน 2 คาบ

มโนคติ

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นปฏิกริยาที่เกิดต่อเนื่องกันทั้งใช้แสงและไม่ใช้แสง ปฏิกริยาที่ใช้แสงจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีแสงในขณะที่เกิดปฏิกริยา เมื่อได้ผลจากปฏิกริยาแล้วปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงจะเกิดขึ้นตามมา โดยไม่จำเป็นต้องเกิดในที่มืดและในขณะเดียวกันปฏิกริยาที่ใช้แสงก็ยังดำเนินต่อไป เพื่อนำผลผลิตมาใช้ในปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสงอีก ผลผลิตสุดท้ายคือน้ำตาลกลูโคส

ปฏิกริยาที่ใช้แสง เป็นขบวนการที่พืชเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี โดยมีกลุ่มรงควัตถุทำหน้าที่รับแสงมีผลทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักร

จุดประสงค์การเรียนรู้

หลังจากศึกษาจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. อธิบายถึงลักษณะของปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง
2. อธิบายถึงความสำคัญของคลอโรฟิลล์ที่มีบทบาทต่อขบวนการสังเคราะห์แสง
3. อธิบายขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักร
4. อธิบายถึงความสำคัญของขบวนการโฟโตไลซิส
5. สรุปปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกริยาที่ใช้แสง

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้	สื่อการเรียนรู้	การประเมินผล
	ก. <u>ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน</u> 1. ทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการสร้างอาหารของพืชโดยใช้คำถามที่ว่า จากที่ได้ศึกษามาแล้ว 1.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างอาหารของพืชได้แก่อะไร? 1.2 การสร้างอาหารของพืชนอกจากใช้วัสดุแล้วยังต้องอาศัยสารอื่น ๆ เข้าร่วมในปฏิกิริยาหรือไม่ ถ้ามี ได้แก่ อะไรบ้าง? 1.3 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสร้างอาหารของพืชได้แก่อะไร? 1.4 กลอโรพลาสต์มีมากทางด้านใดของใบ ประจักษ์พยานนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างอาหารของพืชหรือไม่อย่างไร? 2. ทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับมโนคติเรื่อง กระจกหลังงาน การถ่ายทอดอิเล็กทรอนิกส์		

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนการสอน	สื่อการเรียนการสอน	การประเมินผล
แผนผังมโนคติเรื่อง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์	3. ครูเสนอแผนผังมโนคติเรื่องปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง ให้ดูพร้อมกับครูอธิบายความสัมพันธ์ของมโนคิต่อย ๆ	1. แผ่นโปสเตอร์แสดงแผนผังมโนคติเรื่อง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง 2. เครื่องฉายวัตถุโปสเตอร์	
แผนผังมโนคติเรื่อง ปฏิกริยาที่ใช้แสง	4. ครูเสนอแผนผังมโนคติเรื่องปฏิกริยาที่ใช้แสงให้ดูพร้อมกับครูอธิบายความสัมพันธ์ของมโนคิต่อย ๆ	3. แผ่นโปสเตอร์แสดงแผนผังมโนคติเรื่อง ปฏิกริยาที่ใช้แสง	
ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง เป็นปฏิกริยาที่ต่อเนื่องกันทั้งใช้แสงและไม่ใช้แสง ปฏิกริยาที่ใช้แสงจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแสงในขณะ	ข. <u>ขั้นคำเนนกิจกรรมการเรียนการสอน</u> 1. ครูนำเสนอโมโนคติที่กว้างครอบคลุมของเรื่องปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง	4. แผ่นโปสเตอร์แสดงเนื้อหาเรื่องปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
เกิดปฏิกิริยาเมื่อได้ผลจาก ปฏิกิริยานี้แล้ว ปฏิกิริยาที่ ไม่ใช้แสงจะเกิดขึ้นตามมา โดยไม่จำเป็นต้องเกิดในที่ มืดและในขณะเดียวกันปฏิ- กิริยาที่ใช้แสงก็ยังดำเนินต่อ ไปเพื่อนำผลผลิตมาใช้ใน ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงอื่น ผล ผลิตสุดท้ายคือน้ำตาลกลู- โคส	2. ครูและนักเรียนช่วยกันอภิปรายเพื่อให้ ได้ข้อสรุปว่า ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงประ- กอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ปฏิกิริยาที่ใช้แสงและปฏิกิริยา ที่ไม่ใช้แสง		

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ปฏิกิริยาที่ใช้แสง เป็น ขบวนการที่พืชเปลี่ยน พลังงานแสงให้เป็น พลังงานเคมี โดยมี กลุ่มรงควัตถุทำหน้าที่ รับแสง มีผลทำให้เกิด การถ่ายเทอิเล็กตรอน แบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบ เป็นวัฏจักรของ คลอโรฟิลล์ในขบวนการ สังเคราะห์แสงคือเป็น รงควัตถุที่อยู่ในคลอโร- ทาสต์ทำหน้าที่รับแสง- งานแสงแล้วทำให้อิเล็ก- ตรอนของมันกระตุ้นกับพลัง	3. ครูนำเสนอโมเดลที่กว้างครอบคลุม ของเรื่องปฏิกิริยาที่ใช้แสง 4. ครูอธิบายถึงบทบาทของคลอโรฟิลล์ ในขบวนการสังเคราะห์แสง	5. แผ่นโปสเตอร์แสดงเนื้อหา เรื่องปฏิกิริยาที่ใช้แสง	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
งานสูงขึ้นจนเคลื่อนที่หลุดออกจากโมเลกุลแล้ว จะมีตัวรับอิเล็กตรอนมารับและส่งต่อไปเป็นทอด ๆ การถ่ายหาคืออิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร เป็นการถ่ายหาคืออิเล็กตรอนไปทางเดียว ไม่ย้อนกลับเข้าสู่สารตั้งต้นใหม่ และให้ผลผลิตตลอดระยะเวลาที่มีแสงโดยที่อิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ไปสู่สารต่าง ๆ ตามลำดับ จนถึงที่สุดท้ายคือ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ การถ่ายหาคืออิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร เป็นการถ่าย	5. ครูใช้ชุดกระดานแม่เหล็กประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในรงควัตถุระบบที่ 1 และรงควัตถุระบบที่ 2 แสดงการถ่ายหาคืออิเล็กตรอนทั้ง 2 แบบ 6. ครูถามคำถามเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ใช้แสงประกอบกับชุดกระดานแม่เหล็ก	6. ชุดกระดานแม่เหล็กแสดงการถ่ายหาคืออิเล็กตรอนทั้ง 2 ระบบ	1. สังเกตการตอบคำถาม

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
หอคิวเลคตรอนที่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนออกไปจากโมเลกุลของกลอโรฟิลในรงควัตถุระบบที่ 1 บางส่วนไปสู่สาร Q แล้วย้อนกลับมาสู่รงควัตถุระบบที่ 1 ใหม่ อีก โฟโตไลซิส เป็นการสลายโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานแสงที่พืชได้รับในปฏิกิริยาที่ใช้แสงทำให้เกิด 1. ออกซิเจน ปลดปล่อยสู่บรรยากาศ 2. H^+ จะมีตัวรับไฮโดรเจนหรือ $NADP^+$ มารับ	7. ครูอธิบายและใช้ชุดกระดานแม่เหล็กประกอบการแสดงการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำ 8. อธิบายสาเหตุของการสลายโมเลกุลของน้ำและอธิบายถึงผลที่เกิดขึ้นนั้นว่าเอาไปใช้ในปฏิกิริยาอย่างไร 9. ให้นักเรียนออกมาอธิบายเกี่ยวกับโฟโตไลซิส การถ่ายเทอิเล็กตรอนทั้ง 2 แบบ	7. ชุดกระดานแม่เหล็กแสดงการสลายโมเลกุลของน้ำ	2. สังเกตการร่วมในการอภิปราย 3. สังเกตการร่วมกิจกรรม

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ไปกลายเป็น $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไป 3. อิเล็กตรอน ถูกส่งไปให้โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในรงควัตถุระบบที่ 2 ที่เสียอิเล็กตรอนไป สรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสง 1. ในคลอโรพลาสต์มีกลุ่มรงควัตถุ 2 ระบบทำหน้าที่รับพลังงานแสง 2. เกิดขบวนการโฟโตไลซิสหรือปฏิกิริยาของฮิลล์ ทำให้เกิดออกซิเจน H^+	ค. <u>ขั้นสรุปผล</u> 1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปโดยครูใช้คำถามต่อไปนี้ 1.1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ จะเกิดขึ้นได้ห้องอาศัยอะไร? 1.2 สารที่ทำหน้าที่รับพลังงานแสงคืออะไร? 1.3 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนมีกี่แบบอะไรบ้าง? 1.4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร		4. สังเกตการตอบคำถาม

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
และอิเล็กตรอน 3. H^+ ที่เกิดขึ้นจะมี $NADP^+$ ซึ่งเป็นตัวรับไฮโดรเจนมารับกลายเป็น $NADPH+H^+$ และนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไป ส่วนออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะปลดปล่อยสู่บรรยากาศ 4. พลังงานที่พืชได้รับจากแสงจะถูกนำไปสร้าง ATP 5. ผลผลิตที่ได้คือ ATP และ $NADPH+H^+$ จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงต่อไป	ทำให้เกิดสารอะไรบ้าง? 1.5 อธิบายการถ่ายเทอิเล็กตรอนทั้ง 2 แบบเกี่ยวกับ สารเริ่มต้นที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน สารตัวกลาง สารตัวสุดท้ายที่อิเล็กตรอนไปอยู่ 1.6 ผลผลิตที่ได้จากการถ่ายเทอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรคืออะไร? 1.7 ทำไมจึงต้องมีสลายโมเลกุลของน้ำ? 1.8 ผลที่เกิดขึ้นจากขบวนการโฟโตไลซิสมีอะไรบ้าง และสารเหล่านั้นถูกนำไปใช้ประโยชน์อะไร 2. ให้นักเรียนสรุปมโนคติเรื่องปฏิกิริยาที่ใช้แสงช่วยตัวเองแล้วครูช่วยเสริมให้เข้าใจ 3. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบย่อย	8. แบบทดสอบย่อย	5. พิจารณาการสรุปเนื้อหา 6. พิจารณาจากผลการสอบ

แผนการสอนบทเรียนเรื่อง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสง (ปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสง ผลที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง และความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงกับการหายใจ)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

เวลาที่ใช้สอน 1 คาบ

มโนคติ

ปฏิกริยาที่ไม่ใช้แสง เป็นการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่ง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นวัฏจักรโดยมี RuDP ทำหน้าที่เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์และมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลายขั้นตอน ขณะเดียวกันมีการใช้ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ จากปฏิกริยาที่ใช้แสงด้วย ในที่สุดจะให้สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 3 อะตอมคือ PGAL ซึ่งบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็น RuDP กลับมาใช้ใหม่ได้อีก และบางส่วนจะนำไปใช้ในการสร้างน้ำตาลกลูโคส

ในปฏิกริยาการสังเคราะห์แสง มีสารที่เข้าร่วมในปฏิกริยาหลายอย่างที่สำคัญคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลผลิตที่สำคัญคือ ออกซิเจนและน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารที่มีพลังงานที่กักยู่สูงรวมทั้งยังให้อาหารตลอดจนสารที่พืชต้องการอื่น ๆ ด้วย การสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กับการหายใจคือ มีลักษณะของปฏิกริยาเคมีเกิดในทิศทางที่สวนกัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาจบหัวข้อนี้แล้วต้องการให้นักเรียนสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. สรุปปฏิกริยาในช่วงที่ไม่ใช้แสงโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองของทัลวิน
2. อ่านและแปลความหมายกราฟแสดงปริมาณ ^{14}C ใน PGA และ RuDP ที่ได้รับปัจจัยต่างกัน
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของทัลวิน

4. บอกผลผลิตที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสง
5. สรุปสารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงและผลผลิตที่สำคัญที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงและประโยชน์ที่ได้รับจากผลผลิตนั้น
6. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงกับปฏิกิริยาการหายใจ

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ปฏิบัติหน้าที่ที่ไม่ใช่แสง มีสาระสำคัญและสรุปได้ดังนี้ 1. ปฏิบัติหน้าที่ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้เป็นวัฏจักร 2. GDP จึงเป็นตัววัด CO₂ จะรวมตัวกับ CO₂	ก. <u>ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน</u> 1. ครูทบทวนบทเรียนเรื่องปฏิกิริยาที่ใช้แสง โดยเน้นถึงผลผลิตของปฏิกิริยาที่ใช้แสง ซึ่งจะนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสง 2. ครูแจ้งให้นักเรียนทราบว่า บทเรียนต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสง 3. ครูนำเสนอแผนผังมโนทัศน์เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสงให้นักเรียนได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ย่อย ๆ ข. <u>ขั้นดำเนินการกิจกรรมการเรียนรู้การสอน</u> 1. ครูเสนอบทสรุปล่วงหน้าของบทเรียนเรื่องปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสงให้นักเรียนศึกษาทำความเข้าใจ	1. เครื่องฉายวัสดุโปร่งใส 2. แผนผังมโนทัศน์เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ไม่ใช่แสง 3. บทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ได้สารตัวแรกคือ PGA 3. จาก PGA จะมีการเปลี่ยนแปลงไปหลายขั้นตอนจนในที่สุดจะให้ผลผลิตสุดท้ายคือ PGAL ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้าง RuDP เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่บางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสหรือสารอื่น ๆ หรือนำไปใช้เลย 4. ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้แสงจะถูกนำมาใช้ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก PGA ไปเป็น PGAL แผนภาพชุดทดลอง- เพื่อดูผลที่ได้จากการสังเคราะห์แสง	2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองของสาหร่ายกลอเรลลา	4. ภาพแสดงชุดทดลองเพื่อดูผลที่ได้จากการสังเคราะห์แสง	1. พิจารณาจากการร่วมอภิปราย

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
กราฟ ก. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ ^{14}C ใน RuDP และ PGA เมื่อมีแสงและไม่มีแสงขณะที่มี CO_2 อยู่ตลอดเวลา กราฟ ข. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ RuDP และ PGA เมื่อมีและไม่มี CO_2 แต่มีแสงตลอดเวลา	3. ครูให้นักเรียนอ่านและแปลความหมายจากกราฟ ก. และกราฟ ข. แล้วตอบคำถามต่อไปนี้ โดยครูคอยชี้แนะด้วย 3.1 จากกราฟ ก. ในช่วงที่มีแสง เหตุใดกับ PGA จึงมีปริมาณคงที่ RuDP 3.2 จากกราฟ ข. ในช่วงที่ไม่มี CO_2 นักเรียนคิดว่าสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า RuDP เป็นตัวรับ CO_2 หรือไม่อย่างไร? 3.3 ในช่วงที่มีแสงแต่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ PGA มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นหรือไม่เหตุใดจึงคิดเช่นนั้น 4. ครูอธิบายลักษณะของปฏิกิริยาที่เป็นการเปลี่ยนแปลงตามลำดับและการเปลี่ยนแปลงที่เป็นวัฏจักร ต่อจากนั้นครูถามว่า "ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงควรมีการเปลี่ยนแปลงแบบใด"	5. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ RuDP และ PGA ทั้ง 2 ภาพ	2. สังเกตการตอบคำถาม

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
แผนภาพวัฏจักรของคลอรีน ผลผลิตที่เกิดขึ้นจาก ปฏิ- กิริยาที่ไม่ใช้แสง ได้แก่ PGAL สารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยา การสังเคราะห์แสงมีหลาย อย่างที่สำคัญคือ น้ำและ CO₂ ผลผลิตที่สำคัญคือ ออกซิเจนและอาหารใน รูปของน้ำตาลกลูโคสซึ่ง	5. ครูเสนอแผ่นใสแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เป็น วัฏจักรในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงหรือวัฏจักรของ คลอรีน พร้อมกับอธิบายแต่ละขั้นตอน 6. นำเอาวัฏจักรของคลอรีนขึ้นมาอภิปราย แล้วถามคำถามว่า 6.1 ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาขั้นใช้แสงและนำ มาใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงขั้นใด? 6.2 ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง คืออะไร? 7. ครูเสนอแผนภาพแสดงผลที่ได้จากขบวนการ สังเคราะห์แสงในปฏิกิริยาที่ใช้แสงและปฏิกิริยา ที่ไม่ใช้แสงในคลอโรพลาสต์ แล้วอภิปรายและ ตอบคำถามดังนี้ 7.1 สารที่ใช้และผลผลิตที่ได้ในปฏิกิริยาที่ใช้ แสงมีอะไรบ้าง?	6. แผ่นใสแสดงวัฏจักรของ คลอรีน 7. แผนภาพแสดงผลที่ได้จากขบวนการ การสังเคราะห์แสง	3. พิจารณาจาก ความสนใจและการ ร่วมอภิปราย

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
เป็นสารที่มีพลังงานศักย์สูง รวมทั้งให้อาหารและสารที่ ต้องการอื่น ๆ ด้วย การสัง เคราะห์แสงสัมพันธ์กับการ หายใจคือมีลักษณะของ ปฏิกิริยาเคมีเกิดในทิศทาง ที่สวนทางกัน	7.2 สารที่ใช้และผลผลิตที่ได้ในปฏิกิริยาชั้นไม่ ใช้แสงมีอะไรบ้าง? 7.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากผลผลิตที่เกิดขึ้นคือ อย่างไร? 8. ครูเสนอแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของการ สังเคราะห์แสงกับการหายใจ ให้นักเรียนดูแล้ว ครูอธิบายความสัมพันธ์ ค. <u>ขั้นสรุปผล</u> 1. ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุป เกี่ยวกับปฏิกิริยา การสังเคราะห์แสงชั้นไม่ใช้แสง ผลที่ได้จาก ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ด้วยตัวเองโดยครู ช่วยเสริมประเด็นให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้น 2. ครูสรุปเพิ่มเติมอีกครั้งหนึ่ง 3. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบย่อย	8. แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ ของการสังเคราะห์แสงกับการ หายใจ 9. แบบทดสอบย่อย	4. พิจารณาจาก ผลการทดสอบย่อย

แผนการสอนบทเรียนเรื่อง การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการสังเคราะห์แสง

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เวลา ที่ใช้สอน 1 คาบ

มโนคติ

การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการสังเคราะห์แสง เป็นลำดับขั้นตอนการค้นพบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการสังเคราะห์แสงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงขั้นสุดท้าย ซึ่งสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ เป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง เกิดการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำ ให้ออกซิเจนออกสู่ภายนอก และได้ไฮโดรเจนอิออน ซึ่งจะไปรวมตัวกับ NADP^+ ซึ่งเป็นสารรับอิเล็กตรอน ได้ $\text{NADPH}+\text{H}^+$ นอกจากนี้ยังมีการสร้าง ATP ทั้ง $\text{NADPH}+\text{H}^+$ และ ATP จะถูกนำไปใช้ในขบวนการต่อไป ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง เพื่อสร้างน้ำตาล ซึ่งเป็นสารที่มีพลังงานสูงชนิดหนึ่ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาหัวข้อนี้แล้ว ต้องการให้นักเรียนสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. อธิบายลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืชโดยอาศัยข้อมูลการค้นคว้าในอดีต
2. ระบุสมบัติของสารที่เป็นปัจจัยสำคัญในขบวนการสลายโมเลกุลของน้ำ
3. ระบุชื่อสารประกอบสำคัญที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับ กลไกของการสังเคราะห์ แสง จากการค้นคว้าของ นักชีววิทยาแสดงว่าปฏิกิริยา การสังเคราะห์แสงแบ่งเป็น 2 ตอนคือ ปฏิกิริยาที่ใช้แสง และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง	ก. <u>ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน</u> 1. ครูกล่าวกันว่า "ขบวนการสังเคราะห์แสงที่ นักเรียนได้ศึกษาไปแล้วนั้นเป็นผลมาจากการค้นคว้า ของนักชีววิทยาหลายท่าน" 2. ครูนำเสนอแผ่นใสแสดงแผนผังมโนมิตีเกี่ยวกับ การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการสังเคราะห์ แสง พร้อมกับอธิบายความสัมพันธ์ของมโนมิตีย่อ นั้น ข. <u>ขั้นดำเนินการกิจกรรมการเรียนรู้การสอน</u> 1. ครูนำเสนอหตุรูปลวงหน้าที่กว้างและครอบ คลุมเรื่องเกี่ยวกับการค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับกลไก ของการสังเคราะห์แสง ให้แก่นักเรียนเพื่อทำ ความเข้าใจ	1. แผ่นใสแสดงแผนผัง มโนมิตีการค้นคว้าที่เกี่ยวข้อง กับกลไกของการสัง- เคราะห์แสง 2. เครื่องฉายวัสดุโปร่งใส 3. แผ่นใสแสดงบทสรุปลวง หน้าเกี่ยวกับการค้นคว้าที่ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ แสง	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นขบวนการที่ขึ้นำ พลังงานของแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงาน เคมีโดยมีกลุ่มรงควัตถุ 2 ระบบซึ่งอยู่ ในคลอโรพลาสต์ทำหน้าที่รับพลังงาน แสงไปทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน โดยมีสารหลายชนิดทำหน้าที่เป็นตัวรับ อิเล็กตรอนได้แก่ NADP^+ เฟอร์ริกซิน และไซโตโครมและใช้พลังงานแสงใน การสลายโมเลกุลของน้ำ ผลที่ได้จาก ปฏิกิริยาที่ใช้แสงคือ ATP, $\text{NADPH}+\text{H}^+$ และออกซิเจน ลำดับขั้นตอนการค้นพบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ในขบวนการสังเคราะห์แสงของนัก- ชีววิทยาในอดีต	2. ครูใช้แผ่นใสแสดงลำดับการค้นพบเกี่ยว- กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของกลไกการสังเคราะห์ แสง โดยเริ่มตั้งแต่การค้นคว้าของ โรบิน ฮิลล์, แคนเนล อาร์นอน ตามลำดับ	4. แผ่นใสแสดงการ ค้นพบเกี่ยวกับการสัง- เคราะห์แสงของนัก- ชีววิทยา	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
สารที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสลายโมเลกุลของน้ำให้แก๊ส และตัวรับไฮโดรเจนโดยแสงจะให้พลังงานเพื่อเกิดการสลายโมเลกุลของน้ำได้ CO_2 และ H^+ ส่วนตัวรับไฮโดรเจนคือ NADP^+ จึงเป็นสารประกอบที่เป็นตัวรับ H^+ ที่เกิดจากการสลายโมเลกุลของน้ำ ถ้าไม่มีสารนี้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงจะไม่เกิด	3. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามต่อไปนี้ 3.1 จากการทดลองของ อาร์โนน ในครั้งหลังนี้ การสร้างน้ำตาลของคลอโรพลาสต์จะเป็นต้องใช้แสงหรือไม่ 3.2 แสงมีบทบาทอย่างไรในปฏิกิริยาการสร้างน้ำตาลของพืชที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ 4. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับขบวนการโฟโตไลซิส เพื่อระบุสมบัติของสารที่เป็นปัจจัยสำคัญในขบวนการสลายโมเลกุลของน้ำ 5. ครูถามนักเรียนเกี่ยวกับความสำคัญของตัวรับไฮโดรเจน	5. บทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง	1. ข้อสังเกตการตอบปัญหาและการร่วมในการอภิปราย

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
สารประกอบที่สำคัญที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสงคือ ออกซิเจน, ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ส่วนในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคือ PGAL	6. ให้นักเรียนศึกษาบทเรียนแล้วตอบคำถาม "สารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสง และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคืออะไรบ้าง ?" ก. <u>ขั้นสรุปผล</u> 1. ครูบรรยายสรุปเนื้อหา การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกลไกของการสังเคราะห์แสง 2. ให้ทำแบบทดสอบย่อย		2. พิจารณาจากผล การตอบคำถามและ จากผลการทำแบบ ทดสอบย่อย

แผนการสอนบทเรียนเรื่อง แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เวลาที่ใช้สอน 1 คาบ

มโนคติ

คลอโรพลาสต์ เป็นแหล่งสำคัญในขบวนการสังเคราะห์แสงเนื่องจากประกอบด้วย กรานุม และสโตรมา กรานุมเป็นแหล่งที่มีรงควัตถุที่ใช้ในการรับพลังงานแสงคือคลอโรฟิลล์และรงควัตถุชนิดอื่น ๆ และเป็นแหล่งที่มีเอ็นไซม์ที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง ส่วนสโตรมา เป็นแหล่งที่มีเอ็นไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

จุดประสงค์การเรียนรู้

หลังจากศึกษาจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนต้องการให้นักเรียนทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. อธิบายโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นออร์แกเนลชนิดหนึ่งในเซลล์พืช
2. ระบุได้ว่าปฏิกิริยาที่ใช้แสง และไม่ใช้แสงเกิดขึ้นที่ส่วนใดของคลอโรพลาสต์
3. ระบุตำแหน่งและบอกความสำคัญของกรานาและสโตรมา
4. ให้เหตุผลที่คลอโรพลาสต์ เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมในการเป็นแหล่งที่เกิดปฏิกิริยา

สังเคราะห์แสง

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
	ก. <u>ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน</u> 1. ทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง โดยใช้คำถามว่า 1.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืชมีปฏิกิริยาอะไรบ้าง ? 1.2 สารที่ใช้และผลผลิตที่ได้ของแต่ละปฏิกิริยา มีอะไรบ้าง ? 1.3 การสร้างอาหารของพืชควรสร้างที่ใด ? 2. กรุณาค้นหาขึ้นมาว่า แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสงคืออะไร ? 3. กรุณาสอนแผนผังมโนทัศน์เกี่ยวกับแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสงให้ดูพร้อมอธิบายความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ย่อย ๆ	1. แผ่นใสแสดงแผนผังมโนทัศน์เรื่องแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง 2. เครื่องฉายวัสดุโปร่งใส	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสงคือ คลอโรพลาสต์ซึ่งมีโครงสร้างที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง เพราะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ 1. กรานุม เป็นแหล่งที่มีรงควัตถุที่ใช้ในการรับพลังงานแสงคือคลอโรฟิลล์และรงควัตถุชนิดอื่น ๆ และเป็นแหล่งของเอนไซม์ที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้แสง ดังนั้นจึงเป็นแหล่งที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเกิดขึ้น 2. สโตรมา เป็นแหล่งที่มีเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง	ข. <u>ขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้การสอน</u> 1. ครูให้นักเรียนศึกษาด้วยตนเองจากบทสรุปล่วงหน้าเกี่ยวกับแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสงในบทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง 2. ครูอธิบายพร้อมแสดงแผนภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ระบุลักษณะ ส่วนประกอบและหน้าที่ของ กรานุม ไทลาคอยด์ ลาเมลลา สโตรมาลาเมลลา 3. ให้นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับโครงสร้างของคลอโรพลาสต์	3. บทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง 4. รูปภาพแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์	1. สังเกตและพิจารณาการตอบคำถาม

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ดังนั้น สโตรมา จึงเป็นแหล่งที่เกิดปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง คลอโรพลาสต์เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมในการเป็นแหล่งที่เกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง เพราะ 1. มีเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา 2. มีรงควัตถุทำหน้าที่รับพลังงานแสง 3. โมเลกุลของสารต่าง ๆ เกาะอยู่ใกล้กันที่ผนังของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ทำให้ตัวรับอิเล็กตรอนทำหน้าที่ได้ดี	4. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับความเหมาะสมของคลอโรพลาสต์ในฐานะที่เป็นแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง		2. สังเกตการร่วมอภิปราย

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
	ก. <u>ขั้นสรุปผล</u> 1. ครูให้นักเรียนช่วยกันสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ตลอดจนความเหมาะสมที่เป็นแหล่งของการสังเคราะห์แสง 2. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบย่อย		3. พิจารณาการสรุปเนื้อหา 4. พิจารณาจากผล การทดสอบย่อย

แผนการสอนบทเรียนเรื่อง รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงและอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เวลาที่ใช้สอน 2 คาบ

มโนคติ

กลอโรพลาสต์มีรงควัตถุที่สามารถรับพลังงานแสงและนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง มีหลายประเภทคือ กลอโรฟิลล์ คลอโรตีนอยด์ ไฟโคบิลิน รวมทั้งแพค-เทอริโอกลอโรฟิลล์ ในเซลล์ของพืชและโปรติสต์ที่สังเคราะห์แสงได้จะมีรงควัตถุแตกต่างกันไป

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสงและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมีเอ็นไซม์เป็นตัวควบคุม อุณหภูมิจึงมีบทบาทต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาจบหัวข้อนี้แล้วต้องการให้นักเรียนสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. บอกชนิดของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง
2. บอกได้ว่ารงควัตถุชนิดใดที่พบได้ทั้งในเซลล์พืชและโปรติสต์พวกสาหร่าย
3. อ่านและแปลความหมายกราฟแสดงการดูดพลังงานแสงของกลอโรฟิลล์
4. อ่านและแปลความหมายกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดพลังงานแสงของกลอโรฟิลล์และกราฟการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในแสงสีต่าง ๆ
5. ให้อธิบายให้เห็นกลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว และเป็นรงควัตถุสำคัญที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง
6. อธิบายถึงบทบาทที่สำคัญของการโรตีนอยด์และไฟโคบิลินที่มีต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง

7. บอกชนิดของรงควัตถุที่จัดเป็นพวก คาโรทีนอยด์ และอธิบายลักษณะที่แตกต่างของรงควัตถุเหล่านั้น
8. บอกชนิดของรงควัตถุที่จัดเป็นพวกไฟโคบิลิน และอธิบายลักษณะที่แตกต่างของรงควัตถุเหล่านั้น
9. ระบุปัจจัยภายในของเซลล์ที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง
10. ระบุปัจจัยภายนอกที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง
11. อธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยภายนอกชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง
12. อ่านและแปลความหมายของกราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มของแสงสว่างที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง
13. บอกความหมายของปฏิกิริยาเทอร์โมเคมีคัล

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
รังควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรพลาสต์มีรังควัตถุที่สามารถรับพลังงาน	ก. <u>ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน</u> 1. ครูทบทวนบทเรียนเรื่องแหล่งที่เกิดการสังเคราะห์แสง โดยอธิบายเน้นเกี่ยวกับตำแหน่งหน้าที่ของระบบรงควัตถุที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ 2. ครูกล่าววน่าว่า "ต่อไปนี้จะศึกษาถึงรงควัตถุเหล่านี้ให้ละเอียดยิ่งขึ้น" 3. ครูนำเสนอแผนผังมโนคติเกี่ยวกับรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดความเข้าใจ โดยครูอธิบายความสัมพันธ์ของมโนมคีย่อย ๆ ข. <u>ขั้นดำเนินการเรียนการสอน</u> 1. ครูให้นักเรียนศึกษาบทสรุปล่วงหน้าเกี่ยวกับรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ด้วยตนเอง	1. แผ่นใสแสดงแผนผังมโนคติเกี่ยวกับรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง 2. เครื่องฉายวัสดุโปร่งใส 3. บทเรียนเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
แสงหลายประเภท เช่น กลอโร- ฟิล คาร์โรทีนอยด์ และไฟโทบิลิน ในเซลล์ของพืชและโปรตีนที่สัง- เคราะห์แสงให้จะมีรงควัตถุแตก ต่างออกไป รงควัตถุแต่ละชนิด สามารถรับพลังงานแสงที่มีความ ยาวคลื่นไม่เท่ากัน การที่พืชมีรงค วัตถุหลายชนิดนั้น มีประโยชน์ค่อ พืชในแง่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ ของการสังเคราะห์แสง การวางแสดงรงควัตถุที่ใช้ใน ขบวนการสังเคราะห์แสงที่มีอยู่ ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ	2. ครูเสนอตารางแสดงรงควัตถุที่ใช้ในขบวนการ สังเคราะห์แสงที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ แล้วนำอภิปรายและถามคำถามต่อไปนี้ 2.1 รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ในสิ่งมีชีวิต มีอะไรบ้าง?	4. แผ่นใสตารางแสดง รงควัตถุที่ใช้ในขบวนการ สังเคราะห์แสงที่มีอยู่ใน สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
กราฟแสดงปริมาณพลังงานแสงที่คลอโรฟิล เอและคลอโรฟิล บี รับไว้ จากกราฟ แสงสีที่คลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับไว้ให้มากที่สุด แสงสีม่วง สีนํ้าเงิน และสีแดง ส่วนสีเขียวรับไว้ได้น้อยที่สุด ดังนั้น เราจึงเห็นคลอโรฟิลเป็นสีเขียวเพราะคลอโร	2.2 พืชทุกชนิดจะต้องมีคลอโรฟิลชนิดต่าง ๆ อะไรบ้าง? 2.3 คลอโรฟิลชนิดใดที่มีอยู่ในพืชและสาหร่ายทุกชนิด 2.4 รงกวัชชนิดใดที่มีอยู่ในพืช สาหร่ายและแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ 3. กรุณานำเสนอกราฟแสดงปริมาณพลังงานแสงที่คลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับไว้ แล้วอธิบายเกี่ยวกับวิธีการอ่านกราฟ 4. กรุณาคำถามต่อไปนี้ 4.1 จากกราฟมีแสงสีอะไรบ้างที่คลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับไว้ได้มาก 4.2 ทั้งคลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับแสงสีอะไรบ้างได้น้อยที่สุด 4.3 จากกราฟนี้ นักเรียนอธิบายได้หรือไม่ว่าเหตุ	5. กราฟแสดงปริมาณพลังงานแสงที่คลอโรฟิล เอ และคลอโรฟิล บี รับไว้	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
เอ และคลอโรฟิลล์ บี รับแสงสีเขียวได้น้อยที่สุด ดังนั้น แสงสีเขียวจึงสะท้อนออกมาได้มากกว่าแสงสีอื่น ๆ กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหางกระรอกและการรับพลังงานแสงของคลอโรฟิลล์ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ จากกราฟจะเห็นว่าคลอโรฟิลล์มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงมาก จะเห็นว่าพืชมีอัครา การสังเคราะห์แสงให้มากเมื่อได้รับแสงสีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน ส่วนแสงสีเขียวมี	ใดจึงเห็นคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว 5. ครูเสนอกราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหางกระรอกและการรับพลังงานแสงของคลอโรฟิลล์ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ แล้วครูอธิบายเกี่ยวกับการอ่านกราฟ 6. กรุณาคำถามต่อไปนี้ 6.1 จากกราฟพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้มากเมื่อพืชได้รับแสงสีอะไรบ้าง? 6.2 แสงสีอะไรที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด 6.3 แสงสีต่าง ๆ ที่คลอโรฟิลล์รับไว้ มีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสงหรือไม่ อย่างไร?	6. กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหางกระรอกและการรับพลังงานแสงของคลอโรฟิลล์ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ	

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
ผลต่อการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด แสงสีต่าง ๆ ที่คลอโรฟิลล์รับไว้มี ความสัมพันธ์กับอัตราการสัง - เคราะห์แสงโดยอัตราการสัง- เคราะห์แสงจะแปรผันตาม ปริมาณของแสงสีต่าง ๆ ที่คลอ โรฟิลล์รับเอาไว้ ซึ่งเป็นสิ่งแสดง ให้เห็นว่าพลังงานของแสงที่คลอ โรฟิลล์รับเอาไว้ นำไปใช้ในขบวนการ สังเคราะห์แสง การวัดพื้นที่ของใบและโพโคบิลิน อัตราของอุณหภูมิและความเข้ม ของแสงที่มีต่ออัตราการสัง-	7. ครูอธิบายถึงลักษณะ บทบาทที่สำคัญของคาโร ทีนอยด์และโพโคบิลินที่มีต่อขบวนการสังเคราะห์ แสง 8. ครูอธิบายและยกตัวอย่างประกอบเกี่ยวกับ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่มีอิทธิพลต่อขบวนการ		

เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน	สื่อการเรียนรู้การสอน	การประเมินผล
เกราะห้แสง กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและแสงสว่างต่ออัตราการสังเคราะห์แสง	การสังเคราะห์แสง ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยภายนอกชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง 9. ครูเสนอกราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและแสงสว่างต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ขึ้นมาอธิบายลักษณะกราฟแล้วถามคำถามว่า "จากกราฟนี้ อุณหภูมิ และความเข้มของแสง มีความสำคัญต่ออัตราการสังเคราะห์แสงอย่างไร?" 10. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายให้ความหมายของคำว่า ปฏิกริยาเทอร์โมเคมีคัล ค. <u>ขั้นสรุปผล</u> 1. ครูให้นักเรียนช่วยกันสรุปผลเกี่ยวกับเนื้อหา ของบทเรียนที่ได้เรียนไปแล้ว โดยครูช่วยเสริมให้จนเกิดความเข้าใจจนมั่นใจอย่างแจ่มชัด 2. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบย่อย	7. กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและแสงสว่างต่ออัตราการสังเคราะห์แสง 8. แบบทดสอบย่อย	1. สังเกตความสนใจ 2. พิจารณาจากการร่วมอภิปรายและการตอบคำถาม 3. พิจารณาจากผล การทดสอบย่อย

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีพวิทยาเรื่องกลไกของการสังเคราะห์แสง

คำชี้แจงสำหรับการทำแบบทดสอบ

1. แบบทดสอบต่อไปนี้ เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาชีววิทยา เรื่อง กลไกของการสังเคราะห์แสง แบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก
2. ข้อสอบทั้งหมดมี 50 ข้อ ให้เวลาทำ 1 ชั่วโมง ข้อสอบมี 15 หน้า
3. ห้ามทำเครื่องหมาย ชี้ค เขียน ในข้อสอบ เมื่อทำข้อสอบเสร็จแล้วให้ส่งข้อสอบคืน กรรมการคุมสอบให้ครบทุกฉบับทุกแผ่น
4. เกณฑ์การให้คะแนน ตอบถูกได้ 1 คะแนน ตอบผิดได้ 0 คะแนน ทำผิดคำสั่งได้ 0 คะแนน
5. ให้นักเรียนกาเครื่องหมายกากบาท (×) ลงบนคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว ให้ทำลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้เท่านั้น ตัวอย่าง

สัตว์บกที่ใหญ่ที่สุดในโลกคืออะไร?

กระดาษคำตอบ

ก.. ช้าง

~~ก.~~

ข. แรด

ข.

ค. กวาว

ค.

ง. ฮิปโปโปแตมัส

ง.

จ. ซาลาแมนเดอร์

จ.

6. นักเรียนต้องการเปลี่ยนคำตอบใหม่ให้ทำดังนี้

สัตว์บกที่ใหญ่ที่สุดในโลกคืออะไร?

กระดาษคำตอบ

ก. ช้าง

~~ก.~~

ข. แรด

ข.

ค. กวาว

ค.

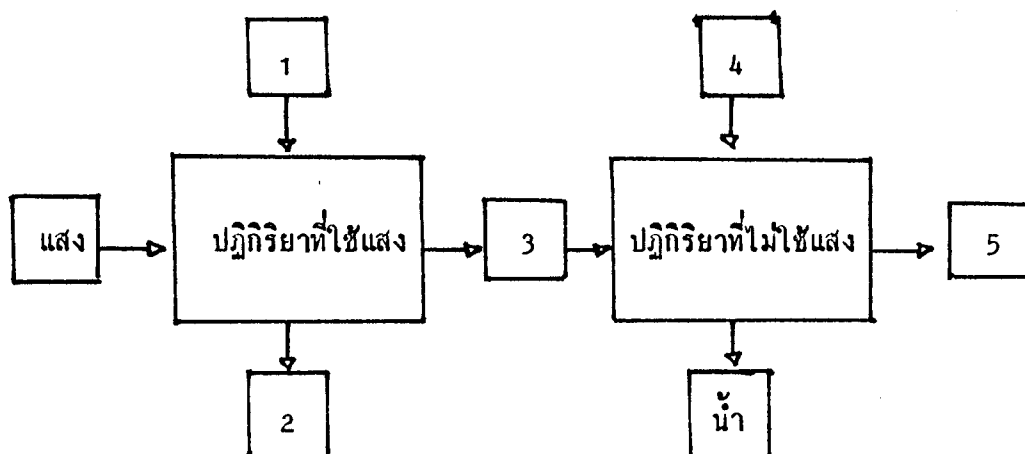
ง. ฮิปโปโปแตมัส

~~ง.~~

จ. ซาลาแมนเดอร์

จ.

คำชี้แจง จงศึกษาแผนภาพแสดงลำดับขั้นของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงต่อไปนี้ แล้วตอบ
คำถามข้อ 1-2



1. หมายเลข 2 ควรจะเป็นอะไร?

- ก. O_2
- ข. CO_2
- ค. H_2O
- ง. $C_6H_{12}O_6$
- จ. ATP

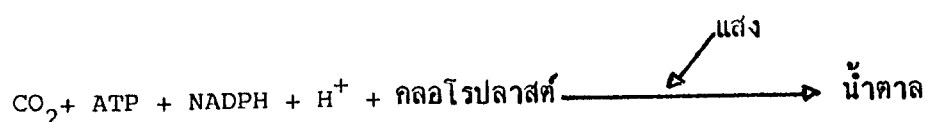
2. น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ควรจะเป็นหมายเลขใด?

- ก. หมายเลข 1 กับ 4
- ข. หมายเลข 2 กับ 5
- ค. หมายเลข 3 กับ 1
- ง. หมายเลข 4 กับ 2
- จ. หมายเลข 5 กับ 3

3. ในการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง เมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดแสง แต่ต้องการให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนจบกระบวนการ ควรใช้สารต่อไปนี้ทุกชนิด ยกเว้นข้อใด?
- กลอโรฟิลล์
 - คาร์บอนไดออกไซด์
 - $\text{NADPH} + \text{H}^+$
 - ATP
 - กลูโคส
4. ในการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ผู้ทดลองจะต้องจัดให้มีปัจจัยที่สำคัญอย่างครบถ้วน ปัจจัยดังกล่าวคืออะไร?
- กลอโรฟิลล์ ตัวรับไฮโดรเจน และน้ำ
 - แสง น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และกลอโรฟิลล์
 - กลอโรฟิลล์ น้ำ แสง ตัวรับไฮโดรเจน
 - แสง น้ำ และตัวรับอิเล็กตรอน
 - กลอโรฟิลล์ และตัวรับอิเล็กตรอน
5. ข้อความใดไม่เป็นจริงเกี่ยวกับปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แสง?
- ปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นการนำเอาพลังงานของแสงไปเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี
 - ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงเกิดได้ในสภาพที่มีแสงและไม่มีแสง
 - ตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาที่ใช้แสงมี NADP^+ ตัวเดียว
 - กลอโรฟิลล์มีกลุ่มรงควัตถุ 2 ระบบที่ทำหน้าที่รับพลังงานแสง
 - การสลายโมเลกุลของน้ำจะเกิดขึ้นในเวลากลางวันเท่านั้น

คำชี้แจง จงศึกษาแผนภาพต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม ข้อ 6-7

แผนภาพการทดลองของนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงเป็นดังนี้



6. แผนภาพข้างบนนี้สอดคล้องกับคำตอบในข้อใด?

- ก. เป็นปฏิกิริยาขั้นใช้แสง
- ข. เป็นปฏิกิริยาขั้นไม่ใช้แสง
- ค. เป็นการถ่ายทอกลีเลคตรอนแบบเป็นวัฏจักร
- ง. เป็นขบวนการเพิ่มตัวรับอิเล็กตรอนแก่ CO_2
- จ. เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ ATP

7. ถ้าการทดลองนี้อยู่ในสภาพที่ไม่มีแสง จะเกิดผลอย่างไร?

- ก. เกิดปฏิกิริยาได้ เพราะปฏิกิริยาตอนนี้มีแสงก็เกิดปฏิกิริยาได้
- ข. เกิดปฏิกิริยาได้ เพราะปฏิกิริยาตอนนี้อยู่ในสภาพที่ไม่มีแสงเท่านั้น
- ค. ไม่เกิดปฏิกิริยา เพราะปฏิกิริยาตอนนี้องค์การแสงจึงจะเกิดปฏิกิริยา
- ง. ไม่เกิดปฏิกิริยา เพราะขาดวัตถุดิบ คือน้ำ
- จ. ยังสรุปผลไม่ได้ว่าจะเกิดผลอย่างไร

8. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง มีสารประกอบเกิดขึ้นหลายชนิด ยกเว้นชนิดใด?

- ก. CO_2
- ข. H_2O
- ค. ATP
- ง. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
- จ. $\text{NADPH}+\text{H}^+$

9. สารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสงคืออะไร?

- ก. O_2 และ CO_2
- ข. H_2O และ ATP
- ค. ATP และ $\text{NADPH}+\text{H}^+$
- ง. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ และ NADP^+
- จ. ADP และ H_2O

10. วัตถุดิบที่จำเป็นในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงขั้นใช้แสงคืออะไร?

- ก. คาร์บอนไดออกไซด์
- ข. ออกซิเจน
- ค. ATP
- ง. น้ำ
- จ. กลูโคส

11. สารที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้แสง แต่ไม่นำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคืออะไร?

- ก. น้ำ
- ข. ออกซิเจน
- ค. ATP
- ง. กลูโคส
- จ. คาร์บอนไดออกไซด์

12. อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์จะหลุดออกจากโมเลกุลเมื่อใด?

- ก. ได้รับพลังงานจาก ATP
- ข. ได้รับพลังงานจากแสง
- ค. มีการสลายโมเลกุลของน้ำ
- ง. มีขบวนการสร้างสารที่มีพลังงานสูง
- จ. มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

13. ขบวนการสังเคราะห์แสงขั้นปฏิกิริยาที่ใช้แสง พลังงานแสงจะถูกนำไปเก็บไว้ในสารอะไร?

- ก. ATP, $\text{NADPH} + \text{H}^+$
- ข. Glucose, ATP
- ค. PGAL, NADP^+
- ง. NAD, PGAL
- จ. $\text{NADPH} + \text{H}^+$, H_2O

14. สารที่สามารถรับได้ทั้งอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาที่ใช้แสงคืออะไร?

- ก. NADP^+
- ข. NAD
- ค. ATP
- ง. FAD
- จ. ADP

15. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและแบบไม่เป็นวัฏจักรของปฏิกิริยาที่ใช้แสงมีลักษณะที่เหมือนกันอย่างหนึ่งคืออะไร?

- ก. มี RuDP เกิดขึ้นเหมือนกัน
- ข. มีขบวนการโฟโตไลซิสเหมือนกัน
- ค. มี $\text{NADPH}+\text{H}^+$ เกิดขึ้นเหมือนกัน
- ง. มีผลผลิตคือ ATP เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเหมือนกัน
- จ. มีสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากรงควัตถุระบบ 2 เหมือนกัน

16. ผลผลิตที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรคืออะไร?

- ก. ATP
- ข. NADP^+
- ค. PGAL
- ง. O_2
- จ. $\text{NADPH}+\text{H}^+$

17. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร ก่อให้เกิดผลผลิตอะไรบ้าง?

- ก. PGAL , NADP^+ , PGA
- ข. O_2 , ATP , H_2O
- ค. $\text{NADPH}+\text{H}^+$, PGAL , PGA
- ง. NADP^+ , O_2 , PGA
- จ. ATP , $\text{NADPH}+\text{H}^+$

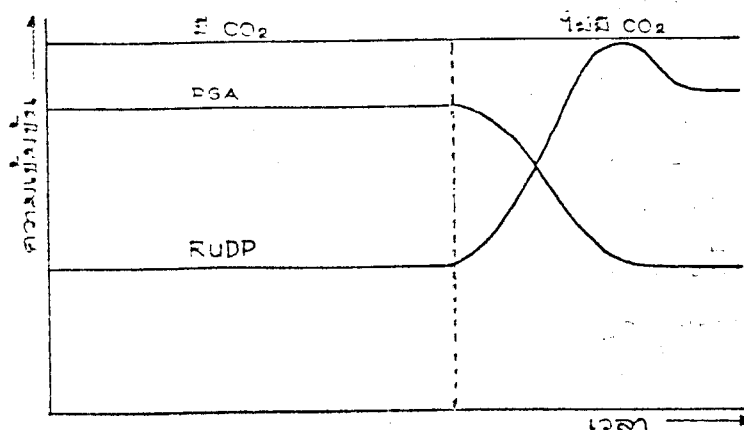
18. ผลผลิตของทวนการโฟโตไลซิสคืออะไร?

- ก. ATP
- ข. NADP^+
- ค. $\text{NADPH} + \text{H}^+$
- ง. O_2
- จ. PGAL

19. การทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวยี่ห้อ คลอเลลา ใส่ในน้ำผ่านแสง และให้คาร์บอนกัมมันตรังสี เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์แสง แล้วหยุดปฏิกิริยาของการสังเคราะห์แสงเป็นระยะ ๆ เมื่อตรวจดูสารประกอบที่เกิดขึ้น พบว่าเกิดผลอย่างไร?

- ก. เกิดน้ำตาลกลูโคสก่อนแบ่ง
- ข. เกิดน้ำตาลกลูโคสขึ้นก่อนออกซิเจน
- ค. เกิดสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอมขึ้น
- ง. เกิด PGA ก่อนแล้วจึงเกิดน้ำตาลกลูโคส
- จ. เกิด PGAL ก่อน แล้วจึงเกิด PGA ขึ้นตาม

คำชี้แจง จงศึกษากราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ RuDP และ PGA เมื่อมีและไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มีแสงอยู่ตลอดเวลา แล้วตอบคำถามข้อ 20-21



20. คำตอบในข้อใดสนับสนุนผลที่เกิดขึ้นกับ PGA ในช่วงที่มีแสง แต่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์

- ก. PGA มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นและไม่มีการสร้าง PGA ขึ้น
- ข. PGA มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นและมีการสร้าง PGA ขึ้น
- ค. PGA มีปริมาณลดลง เพราะ RuDP มีปริมาณเพิ่มขึ้น
- ง. PGA มีปริมาณลดลง เพราะมีคาร์บอนไดออกไซด์
- จ. PGA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น

21. ผลที่เกิดขึ้นกับ PGA และ RuDP ตามกราฟนี้ สนับสนุนข้อความในข้อใด?

- ก. RuDP ไม่ต้องมีคาร์บอนไดออกไซด์ก็เปลี่ยนเป็นสารอื่นได้
- ข. PGA ต้องได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้นจึงเปลี่ยนเป็นสารอื่นได้
- ค. PGA เกิดขึ้นจาก RuDP แม้จะไม่มีแสงและคาร์บอนไดออกไซด์
- ง. RuDP ทำให้เกิด PGA ขึ้นได้แม้จะไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์
- จ. RuDP เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้เกิด PGA ขึ้น

22. สารที่เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคืออะไร?

- ก. RuDP
- ข. PGAL
- ค. PGA
- ง. ATP
- จ. Glucose

23. วัตถุดิบของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงคืออะไร?

- ก. Glucose
- ข. ATP
- ค. RuDP
- ง. CO₂
- จ. H₂O

24. สารใดทำหน้าที่เป็นตัวรับคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง?

- ก. ATP
- ข. $\text{NADPH} + \text{H}^+$
- ค. PGAL
- ง. PGA
- จ. RuDP

25. วัฏจักรของคัลวินมีลำดับการเปลี่ยนแปลงของสารอย่างไร?

- ก. $\text{PGA} \longrightarrow \text{PGAL} \longrightarrow \text{RuDP} \longrightarrow \text{PGA}$
- ข. $\text{RuDP} \longrightarrow \text{PGA} \longrightarrow \text{PGAL} \longrightarrow \text{RuDP}$
- ค. $\text{PGAL} \longrightarrow \text{RuDP} \longrightarrow \text{PGA} \longrightarrow \text{PGAL}$
- ง. $\text{PGA} \longrightarrow \text{RuDP} \longrightarrow \text{PGAL} \longrightarrow \text{PGA}$
- จ. $\text{RuDP} \longrightarrow \text{PGAL} \longrightarrow \text{PGA} \longrightarrow \text{RuDP}$

26. วัฏจักรของคัลวินในชั้นใดต้องใช้ผลผลิตของปฏิกิริยาที่ใช้แสง?

- ก. การสร้างน้ำตาลกลูโคส
- ข. การรวมของ RuDP กับ CO_2
- ค. การเปลี่ยน PGAL เป็น RuDP
- ง. การรวม PGAL เป็นน้ำตาลกลูโคส
- จ. การเปลี่ยน PGA เป็น PGAL

27. การสร้างน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล ต้องได้รับคาร์บอนไดออกไซด์กี่โมเลกุล?

- ก. 6 โมเลกุล
- ข. 8 โมเลกุล
- ค. 10 โมเลกุล
- ง. 12 โมเลกุล
- จ. 24 โมเลกุล

28. ผลผลิตของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงคืออะไร?

- ก. กลูโคส
- ข. ซูโครส
- ค. กรดอะมิโน
- ง. โปรตีน
- จ. แป้ง

29. ทุกข้อเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสง ยกเว้นข้อใด?

- ก. แป้ง
- ข. น้ำตาลทราย
- ค. เพกทิน
- ง. เซลลูโลส
- จ. คลอโรฟิลล์

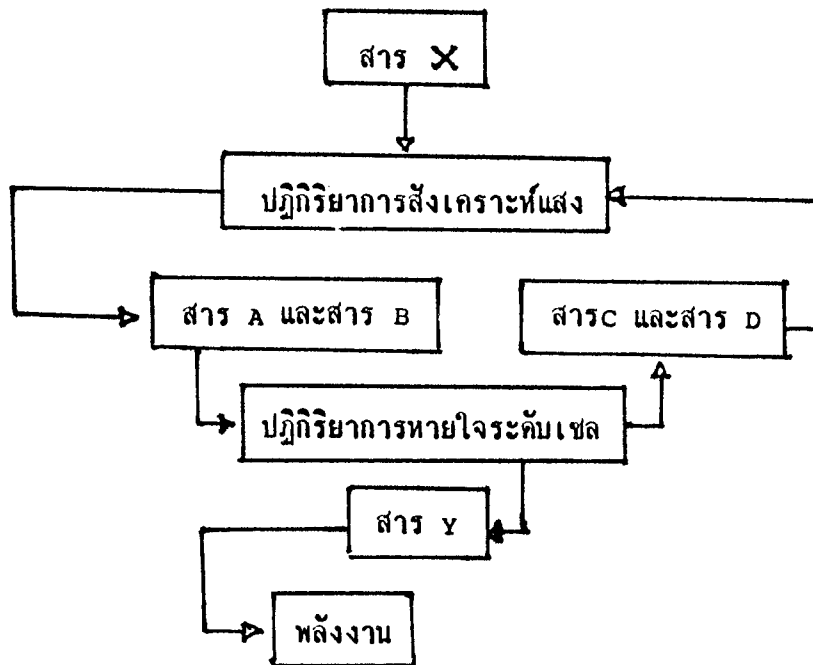
30. ผลผลิตของขบวนการสังเคราะห์แสง ที่เป็นตัวให้พลังงานในขบวนการหายใจคืออะไร?

- ก. PGAL
- ข. Glucose
- ค. Sucrose
- ง. Amino acid
- จ. $\text{NADPH} + \text{H}^+$

31. สารใดที่ไม่ใช่สารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง?

- ก. ATP
- ข. H_2O
- ค. O_2
- ง. CO_2
- จ. $\text{NADPH} + \text{H}^+$

คำชี้แจง จงศึกษาแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิบัติการสังเคราะห์แสงกับขั้นตอนการหายใจระดับเซลล์ต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อ 32-35



32. สารที่มีพลังงานศักย์ต่ำซึ่งเกิดจากการสลายสารที่มีพลังงานศักย์สูงคือสารใด?

- ก. A, B
- ข. C, D
- ค. X, Y
- ง. X
- จ. Y

33. สารที่มีพลังงานศักย์สูงคืออะไร?

- ก. A, B
- ข. C, D
- ค. X, Y
- ง. X
- จ. Y

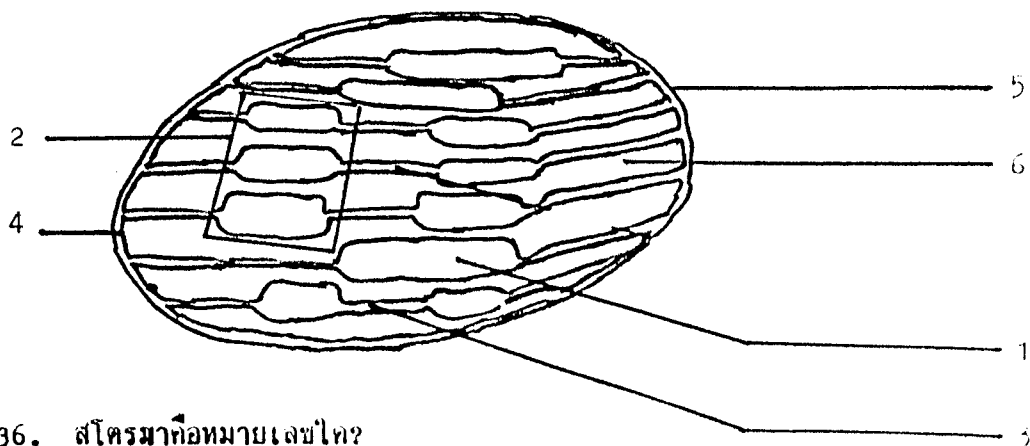
34. สาร A และ B หมายถึงอะไร?

- ก. คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ
- ข. น้ำและออกซิเจน
- ค. แสงกับกลูโคส
- ง. แป้งกับคาร์บอนไดออกไซด์
- จ. ออกซิเจนและน้ำ

35. สาร C กับ D คืออะไร?

- ก. คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ
- ข. แป้งกับคาร์บอนไดออกไซด์
- ค. กลูโคสกับออกซิเจน
- ง. แสงกับกลูโคส
- จ. ออกซิเจนกับน้ำ

คำชี้แจง จงศึกษาแผนภาพแสดงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ แล้วตอบคำถามข้อ 36-40



36. สโตรมาคือหมายเลขใด?

- ก. หมายเลข 2
- ข. หมายเลข 3
- ค. หมายเลข 4
- ง. หมายเลข 5
- จ. หมายเลข 6

37. ขบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนควรเกิดขึ้นที่หมายเลขใด?

- ก. หมายเลข 1 และ 2
- ข. หมายเลข 2 และ 3
- ค. หมายเลข 3 และ 4
- ง. หมายเลข 4 และ 5
- จ. หมายเลข 5 และ 6

38. คลอโรฟิลล์ ควรจะพบที่หมายเลขใด?

- ก. หมายเลข 2
- ข. หมายเลข 3
- ค. หมายเลข 4
- ง. หมายเลข 5
- จ. หมายเลข 6

39. วัฏจักรของกัลวิน ควรจะเกิดขึ้นที่หมายเลขใด?

- ก. หมายเลข 2
- ข. หมายเลข 3
- ค. หมายเลข 4
- ง. หมายเลข 5
- จ. หมายเลข 6

40. หมายเลขใดเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมากที่สุด?

- ก. หมายเลข 2 กับ 3
- ข. หมายเลข 5 กับ 6
- ค. หมายเลข 3 กับ 4
- ง. หมายเลข 6 กับ 2
- จ. หมายเลข 4 กับ 5

41. ขบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นที่ใด?

- ก. สโตรมา
- ข. กรานา
- ค. คลอโรฟิล
- ง. ไซโทพลาสซึม
- จ. คลอโรพลาสต์

42. ต่อไปนี้เป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์แสง ยกเว้นข้อใด?

- ก. คาโรทีนอยด์
- ข. อะดีโนซีน
- ค. ไฟโคบิลิน
- ง. คลอโรฟิล
- จ. แบคทีอริโอคลอโรฟิล

43. รงควัตถุที่พบได้ทั้งพืชและโปรติสต์พวกสาหร่ายคืออะไร?

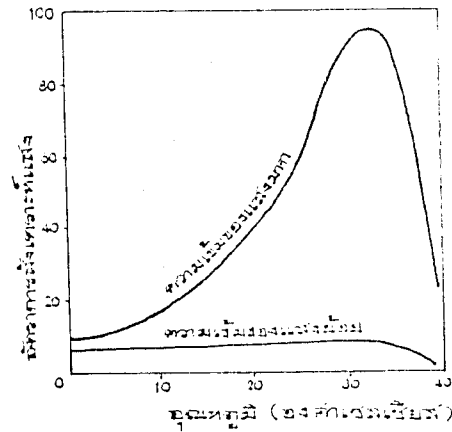
- ก. คลอโรฟิล เอ และไฟโคบิลิน
- ข. คาโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน
- ค. คลอโรฟิล บี และคลอโรฟิล ดี
- ง. คาโรทีนอยด์และคลอโรฟิล เอ
- จ. คลอโรฟิล ซี และแซนโทฟิน

44. แสงสีที่พืชมีคอกับได้มากที่สุดคืออะไร?

- ก. แดง ส้ม เหลือง
- ข. ม่วง ฟ้ำ เขียว
- ค. ม่วง เขียว เหลือง
- ง. แดง ม่วง ฟ้ำ
- จ. เขียว ส้ม แดง

45. ถ้าต้องการให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด ควรให้พืชได้รับแสงสีอะไร?
- สีแดง
 - สีส้ม
 - สีน้ำเงิน
 - สีเหลือง
 - สีเขียว
46. เมื่อส่องแสงไฟตรงไปยังสารละลายคลอโรฟิลล์ แถบคลื่นที่สะท้อนออกมาจากสารละลายนั้นมากที่สุดคืออะไร?
- น้ำเงิน
 - เขียว
 - ส้ม
 - แดง
 - ม่วง
47. ถ้านักเรียนสกัดคลอโรฟิลล์ออกจากใบของผักขม คาดว่าจะพบรงควัตถุชนิดใดบ้าง?
- ไฟโคบิลิน
 - คาโรทีนอยด์
 - ไฟโคไซยานิน
 - ไฟโคอีริทริน
 - แซนโทฟิลล์
48. รงควัตถุสีน้ำเงินคืออะไร?
- cromoplastin
 - carotene
 - xanthophyll
 - phycoerythrin
 - phycocyanin

คำชี้แจง จงศึกษาแผนภาพแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและแสงสว่าง ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง แล้วตอบคำถามข้อ 49-50



49. อัตราการสังเคราะห์แสง เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความเข้มของแสงอย่างไร?
- อัตราการสังเคราะห์แสงจะสูงขึ้นตามระดับอุณหภูมิเมื่อมีความเข้มของแสงน้อย
 - อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิเมื่อมีความเข้มของแสงมาก
 - อัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันตามความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อมีความเข้มของแสงมาก
 - เมื่อมีความเข้มของแสงมากอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอุณหภูมิจนถึงระดับหนึ่งจะลดลง
 - เมื่อมีความเข้มของแสงน้อยอัตราการสังเคราะห์แสงจะแปรตามระดับของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและคงที่ตลอดเวลา
50. ปฏิริยาเคมีที่มีลักษณะตามกราฟนี้ เรียกว่าอย่างไร?
- ปฏิริยาไฮโดรไลซิส
 - ปฏิริยาเทอร์โมเคมีคัล
 - ปฏิริยาเอนเคอโณนิค
 - ปฏิริยารีดอกซ์
 - ปฏิริยาออกซิเคชัน