คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

พลังงานชีวิต

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์

พุทธศักราช 2554

กองบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์ รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัชรา ลิมปนะเวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์ นางปริญญนุช กลิ่นรัตน์ นางฐปนา บางยี่ขัน
สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล	ห้องปฏิบัติการกลาง ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี (ภาพสาหร่ายสีแดง)

คำชี้แจง

สื่อนำเข้าสู่บทเรียน เรื่อง พลังงานชีวิต เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 14 ตอน ได้แก่

1. พลังงานชีวิต
2. ปฏิกิริยาแสง
3. สรุปปฏิกิริยาแสง
4. ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีชนิดต่าง ๆ
5. ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle
6. สรุปปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle II
7. กระบวนการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน
8. ปัจจัยทางกายภาพและการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน
9. กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_4
10. ทบทวนกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_4
11. กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM
12. ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง
13. สรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
14. คำถามทบทวนเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง

คู่มือการใช้สื่อประกอบการสอนวิชาชีววิทยา เรื่อง พลังงานชีวิต นี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้สอนเข้าใจจุดประสงค์ของสื่อนำเข้าสู่บทเรียนที่ผลิตขึ้น และเสนอแนวทางการใช้สื่อดังกล่าวเพื่อกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียนในเรื่องกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อีกทั้งเสนอแนวทางการทำปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เรียนมีโอกาสเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาเกี่ยวกับสารสีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมถึงให้ความกระจ่างเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับจากการอภิปรายได้อย่างกว้างขวาง เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ผู้จัดทำคู่มือ
รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง ผู้ตรวจคู่มือ

สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	16
ภาคผนวก	23
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	27

จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ

1. บอกสมบัติของแสงและความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของแสง
2. ระบุชนิดของสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. อธิบายบทบาทของพืชในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อนำเข้าสู่บทเรียนเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วสามารถ

1. ระบุความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงและพลังงานในสิ่งมีชีวิต
2. ระบุชนิดของสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. ระบุความเหมือนและความแตกต่างของสารสีแต่ละชนิดที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง
4. ระบุบทบาทของพืชในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี

เนื้อหา

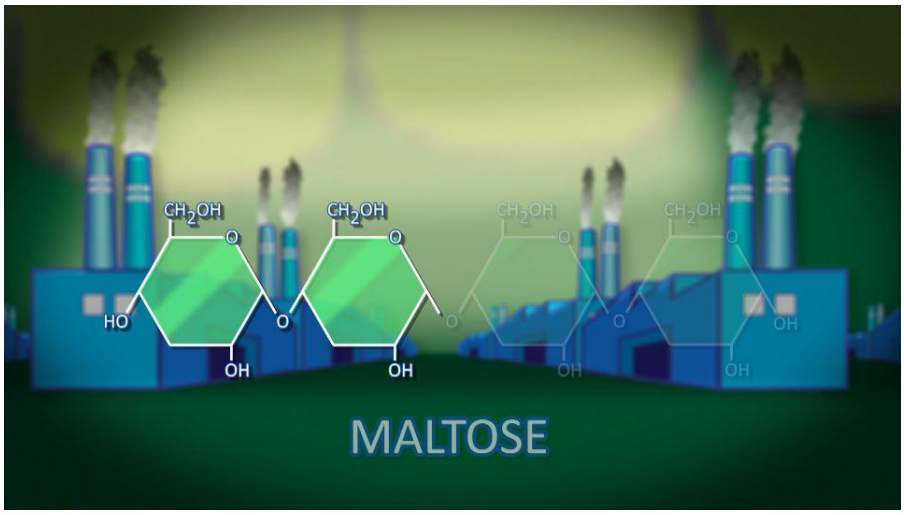
สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ล้วนจำเป็นต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิตและการดำเนินกิจกรรมของตน ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตระดับใด ตั้งแต่ พืช สัตว์ และมนุษย์ แหล่งพลังงานสำคัญของสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้คือพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ โดยมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในพืชเป็นกระบวนการสำคัญในการนำพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีในสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ สามารถนำไปใช้ในการดำเนินกิจกรรมของตนได้

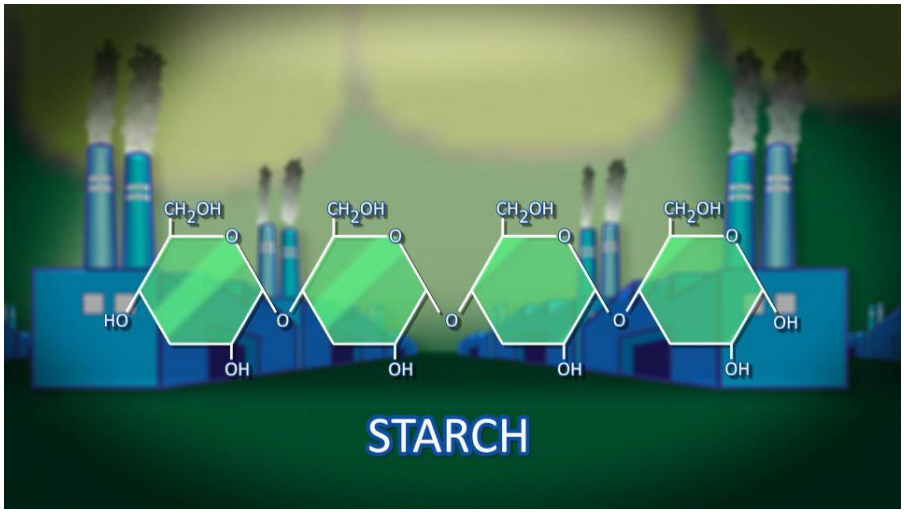
เมื่อมองย้อนกลับไปในสายใยอาหารว่าสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ได้รับพลังงานอย่างไร (รูปที่ 1) จะเห็นว่า สิ่งมีชีวิตจะได้รับพลังงานจากสารอาหารต่าง ๆ ในรูปของพลังงานเคมีที่อยู่ในพันธะเคมีของโมเลกุลสารอาหาร (รูปที่ 2) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือ ไขมัน เป็นต้น และแหล่งกำเนิดเริ่มต้นของสารอาหารเหล่านี้สามารถย้อนกลับไปยังพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตลำดับแรกของสายใยอาหาร

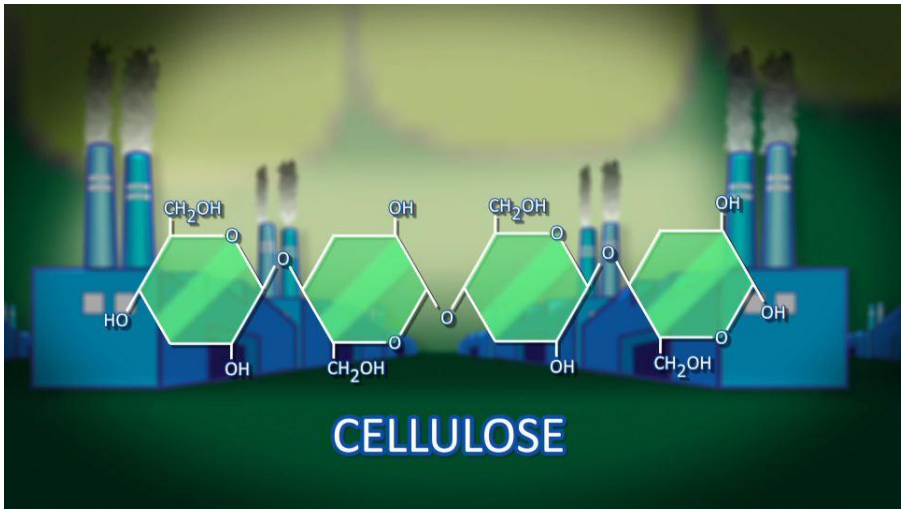
พืชทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตที่สำคัญของโลก ด้วยพืชมีกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

แสงเป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic energy) โดยรอบตัวเรามีพลังงานที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากมายหลากหลาย เช่น คลื่นไมโครเวฟที่ใช้กับเตาอุ่นอาหาร รังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ เป็นต้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้มีระดับพลังงาน ความยาวคลื่น (wavelength) และความถี่ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิด

รูปที่ 1 ลำดับการถ่ายทอดพลังงานจากข้าว→ไก่→คน

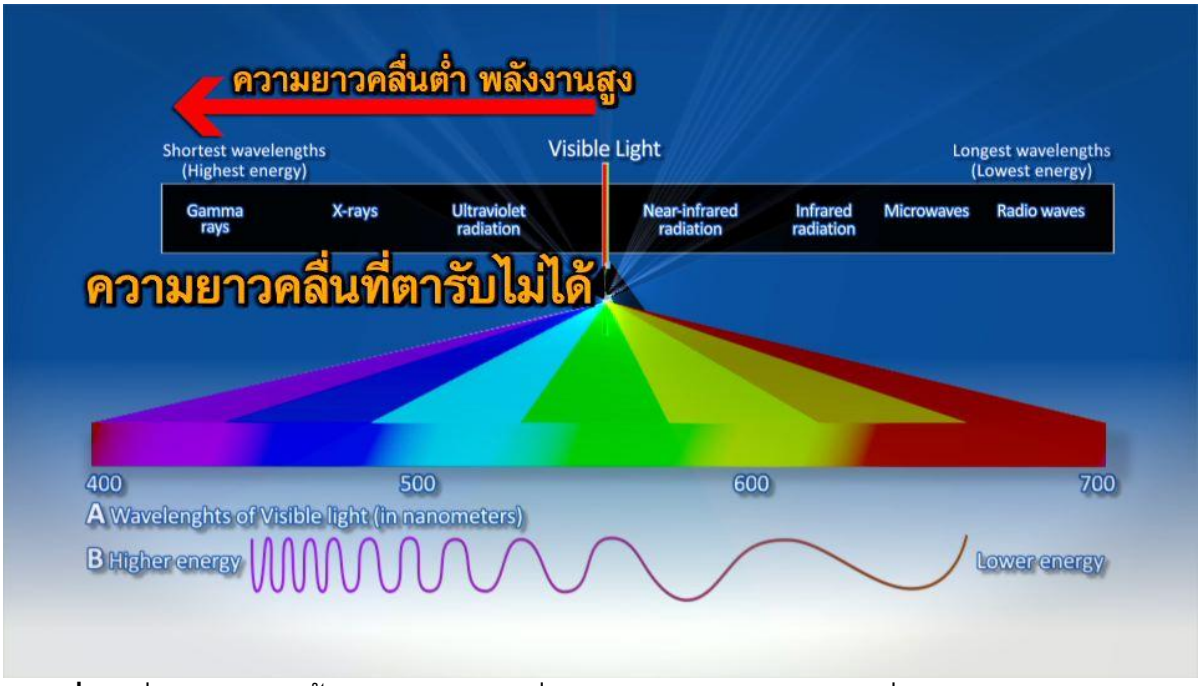






รูปที่ 2 ตัวอย่างพันธะเคมีของโมเลกุลของสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สัตว์ หรือ คนบริโภค เช่น น้ำตาลมอลโทส แป้ง และเซลลูโลส

แสงที่ตา มองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ประมาณระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่พืชสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ค่าความยาวคลื่นสูงกว่า 700 นาโนเมตร เช่น คลื่นไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ เป็นคลื่นที่มีระดับพลังงานและความถี่ต่ำกว่า visible light ส่วนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีค่าความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เป็นคลื่นที่มีระดับพลังงานและความถี่สูงกว่า visible light ตัวอย่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) และ รังสีแกมมา (gamma ray) เป็นต้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่าง ๆ เหล่านี้ มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ แสงที่ตามองเห็น มีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร ส่วนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า หรือ ต่ำกว่าช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวตาของคนไม่สามารถรับได้

จะเห็นได้ว่าระดับพลังงานมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความยาวคลื่น และแปรผันตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามสมการของ Planck (Planck's equation)

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

เมื่อ E = พลังงาน

ν = ความถี่

h = Planck's constant

c = constant

λ = ความยาวคลื่น

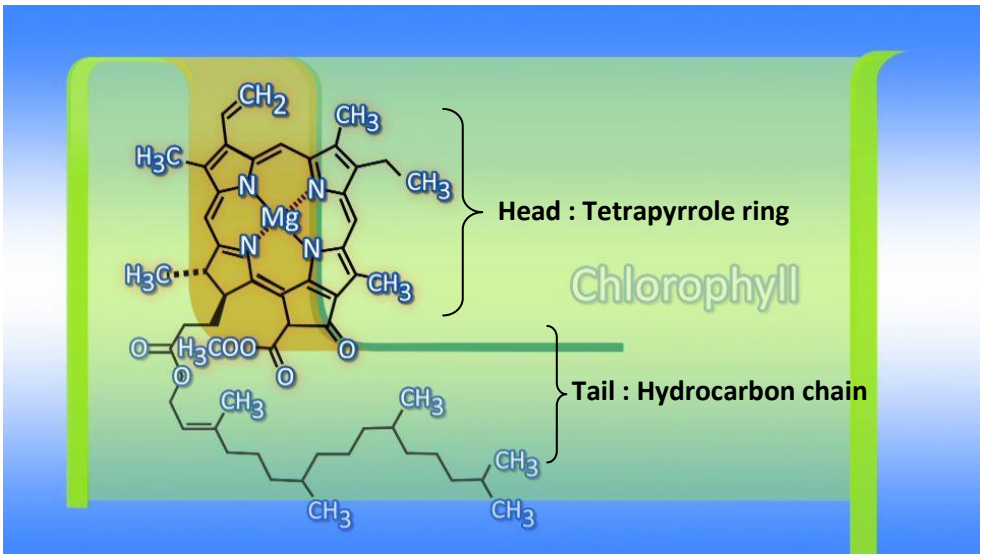
การรับแสงของพืชเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

การที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำพลังงานไปใช้ได้จำเป็นต้องมีตัวรับพลังงานที่เหมาะสม ในพืชใช้สารสี (pigment) เป็นตัวรับพลังงาน สารสีที่พืชนำพลังงานแสงไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเป็นพลังงานแสงในช่วงที่ตาเรามองเห็น คือ เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 -700 นาโนเมตร แต่สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ชนิดอื่น เช่น แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (photosynthetic bacteria) บางชนิด สามารถใช้แสงที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาเรารับไม่ได้ เช่น แสงที่ความยาวคลื่น 800 นาโนเมตร เป็นต้น เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้มีสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างจากสารสีที่พบในพืชนั่นเอง

สารสีที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง มี 3 กลุ่ม จำแนกตามโครงสร้างของโมเลกุล ได้แก่

1. คลอโรฟิลล์ (chlorophylls)
2. แคโรทีนอยด์ (carotenoids)
3. ไฟโคบิลิน (phycobilin) หรือ บิลิน (bilin)

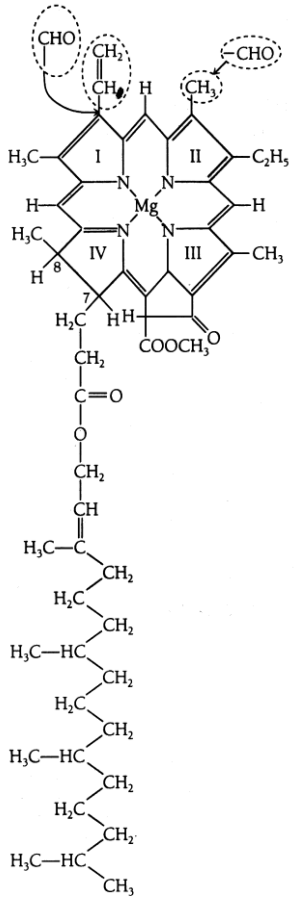
คลอโรฟิลล์ เป็นสารอินทรีย์สีเขียว มีโครงสร้างหลัก 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นหัวและส่วนหาง (head and tail) ส่วนหัวประกอบด้วยวงเทตทระไพรอล (tetrapyrrole ring) ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างคล้ายพอร์ไฟริน (porphyrin-like structure) กลางวงเทตทระไพรอล มีแมกนีเซียม Mg^{2+} เป็นองค์ประกอบ และ ส่วนที่เป็นหางประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon chain) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ประกอบด้วยส่วนของวงเทตทระไพรอล และ สายไฮโดรคาร์บอน

คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ chlorophyll *a* (คลอโรฟิลล์ *เอ*) chlorophyll *b* (คลอโรฟิลล์ *บี*) chlorophyll *c* (คลอโรฟิลล์ *ซี*) chlorophyll *d* (คลอโรฟิลล์ ดี) และ คลอโรฟิลล์ในแบคทีเรีย คือ bacteriochlorophyll (แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์)

คลอโรฟิลล์และแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่รูปแบบของพันธะคู่และหมู่ substituent บริเวณ porphyrin-like ring ตัวอย่างเช่น chlorophyll *a* และ chlorophyll *b* ต่างกันที่หมู่เมทิล (methyl group หรือ $-CH_3$) บริเวณ ring II ของ porphyrin-like ring ของ chlorophyll *a* จะถูกแทนที่ด้วยหมู่ฟอร์มิล (formyl group หรือ -CHO) ใน chlorophyll *b* ส่วน chlorophyll *d* จะมีหมู่ฟอร์มิล (-CHO) มาแทนที่หมู่ $-CH=CH_2$ ใน ring I ของ chlorophyll *a* เป็นต้น (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของ chlorophyll *a*

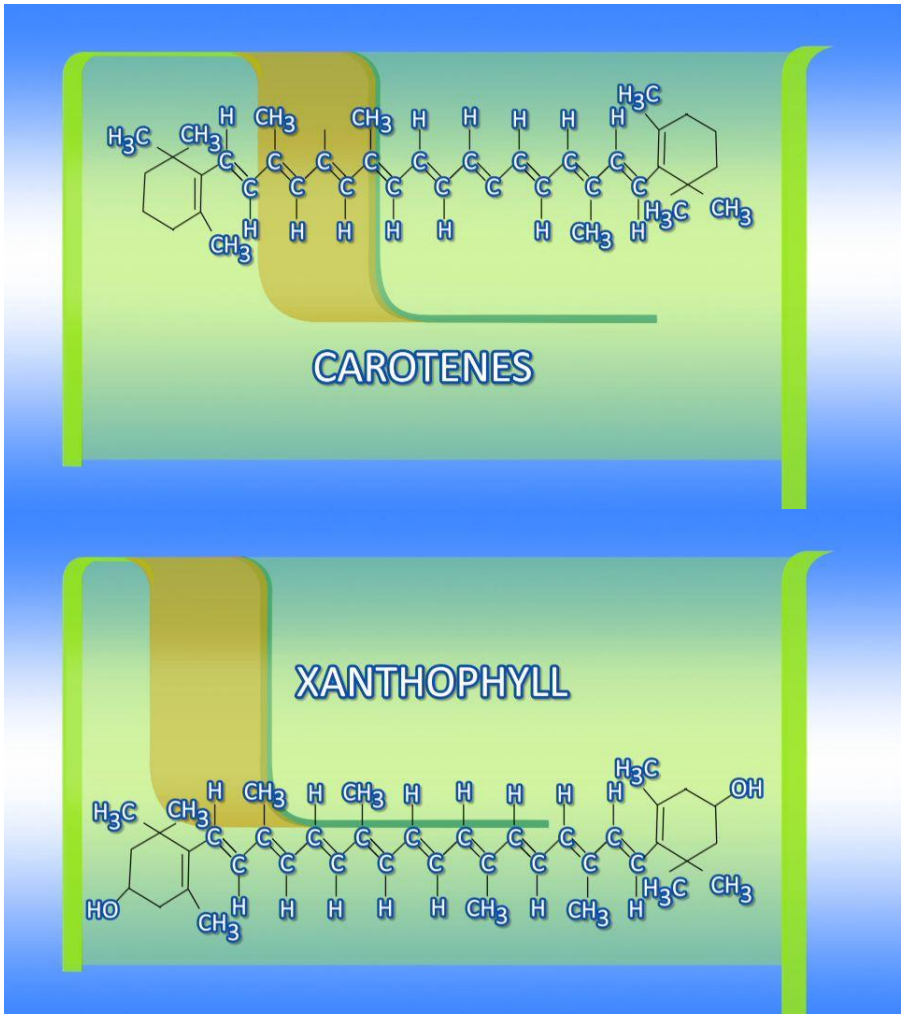
chlorophyll *b* จะคล้ายกับ chlorophyll *a* ยกเว้น หมู่ฟอร์มิล (CHO) จะแทนที่หมู่เมทิล (CH_3) บริเวณ ring II

chlorophyll *c* คล้ายกับ chlorophyll *a* แต่ไม่มีส่วนของสายไฮโดรคาร์บอน

chlorophyll *d* ต่างจาก chlorophyll *a* ที่มีหมู่ฟอร์มิล (CHO) แทนที่ $CH=CH_2$ บริเวณ ring I

bacteriochlorophyll *a* ต่างจาก chlorophyll *a* ที่มี (CH_3-C=O) แทนที่ $CH=CH_2$ บริเวณ ring I

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีเหลือง หรือสีเหลืองส้ม ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม มี 2 ประเภท คือ แคโรทีน (carotene) ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยคาร์บอน และ ไฮโดรเจน แล้ว ยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลอีกด้วย (รูปที่ 6) สารสีกลุ่มนี้เป็นสารสีที่พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะนอกจากจะช่วยรับพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้การสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว สารสีกลุ่มนี้ยังเป็นตัวช่วยรับพลังงานแสงส่วนเกินเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากการได้รับพลังงานแสงสูงเกินไปจนเกิดความเสียหาย (photooxidative damage) ต่อระบบการสังเคราะห์ด้วยแสง สารสีกลุ่มนี้จึงถูกเรียกว่าเป็นสารสีแอสเซสซอรี (accessory pigment)



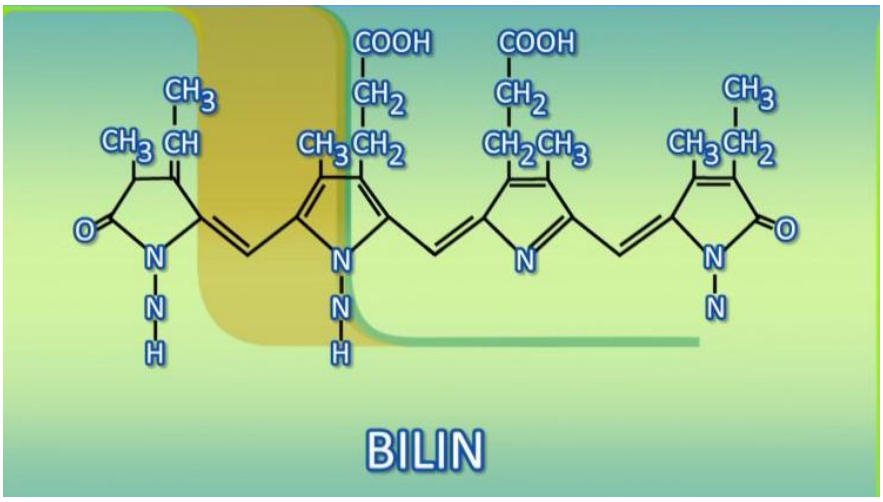
รูปที่ 6 โครงสร้างของสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งจำแนกตามองค์ประกอบของโมเลกุลเป็น 2 ประเภทคือ แคโรทีนและแซนโทฟิลล์

นอกจากนี้สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์นี้ยังพบในส่วนอื่น ๆ ของพืชที่อาจไม่ได้ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ในรากแครอท หรือ ในผลไม้สุก เป็นต้น

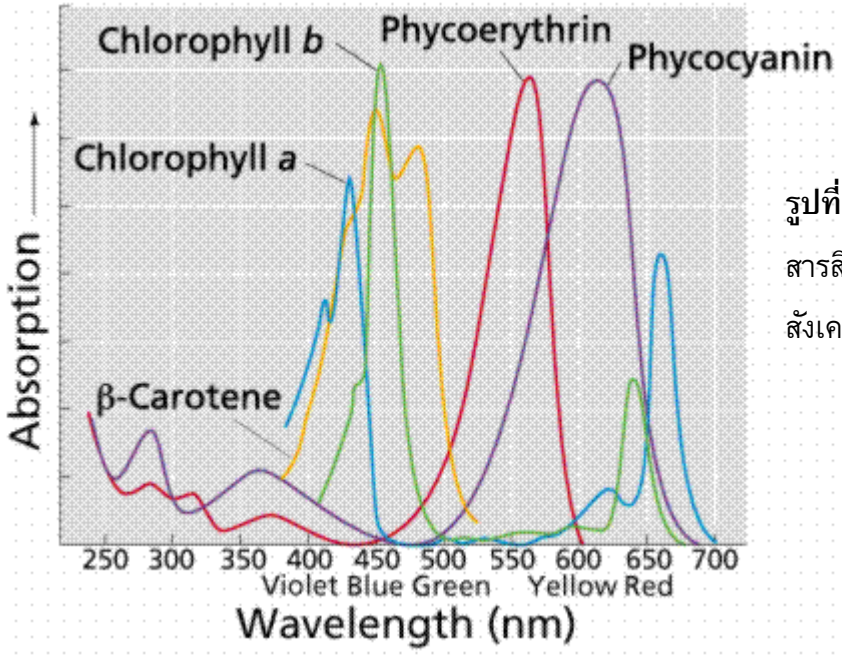
ไฟโคบิลิน หรือ บิลินเป็นสารสีที่มีโครงสร้างเป็น เทตทระไพรอลสายเปิด (open chain tetrapyrrole) (รูปที่ 7) ไฟโคบิลินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ทราบกันโดยทั่วไปมี 3 ชนิดคือ ไฟโคอิริทริน (phycoerythrin) หรือ ไฟโคอิริโทรบิลิน (phycoerythrobilin) ไฟโคไซยานิน

(phycocyanin) หรือ ไฟโคไซยาโนบิลิน (phycocyanobilin) และ อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) หรือ อัลโลไฟโคไซยาโนบิลิน (allophycocyanobilin) ซึ่งทั้งสามชนิดนี้จะไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบเฉพาะใน ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) และสาหร่ายสีแดงเท่านั้น

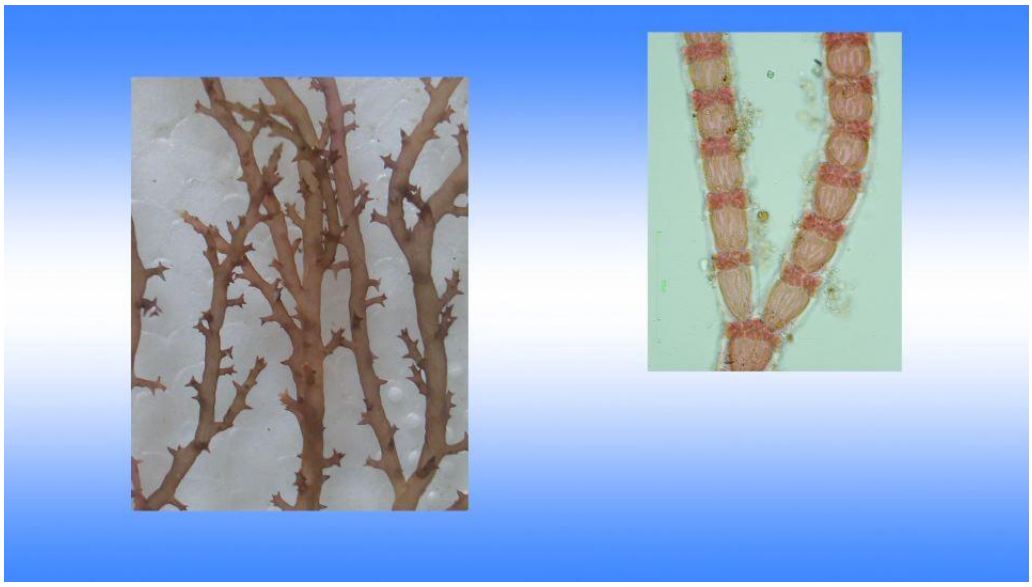
ไฟโคบิลิน โดยเฉพาะ phycoerythrin มีบทบาทสำคัญสำหรับการเป็นสารสี ที่ช่วยรับพลังงานแสงของสาหร่าย เนื่องจากสามารถดูดกลืนคลื่นแสงช่วงแสงสีเขียวซึ่งคลอโรฟิลล์ ไม่สามารถดูดกลืนมาใช้ได้ (รูปที่ 8) และด้วยเหตุนี้เรามักจะพบว่าสาหร่ายสีแดงมีสีคล้ำ (รูปที่ 9) เนื่องจากสาหร่ายกลุ่มนี้ดูดกลืนคลื่นแสงได้เกือบทุกช่วงนั่นเอง



รูปที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของไฟโคอิริโทรบิลินซึ่งเป็นสารสีกลุ่มบิลินที่พบในสาหร่ายสีแดง

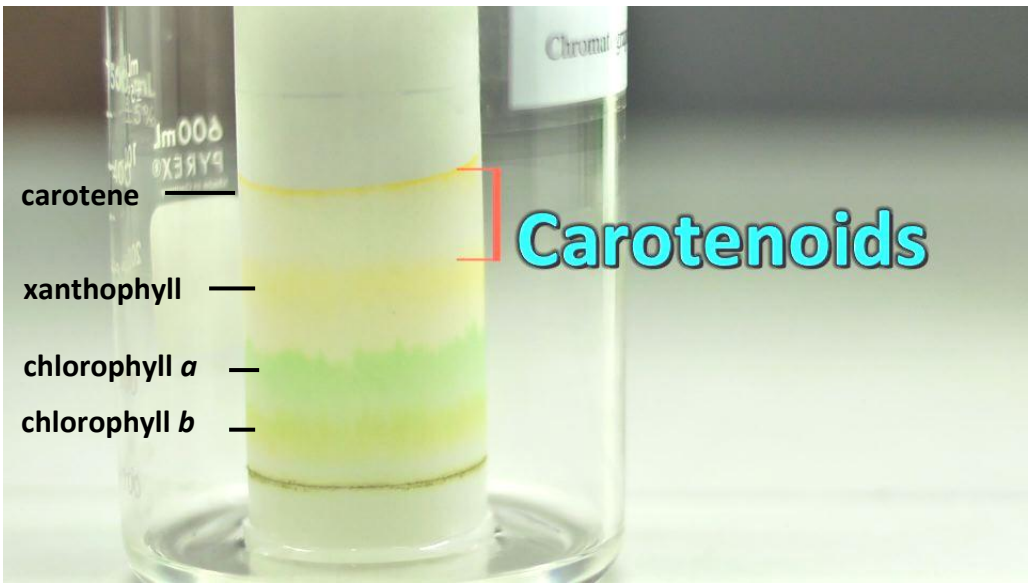


รูปที่ 8 absorption spectra ของสารสีที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



รูปที่ 9 สาหร่ายสีแดงบางชนิด

จะเห็นว่าในพืชชั้นสูงมีคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เป็นสารสีสองกลุ่มหลักในการสังเคราะห์ด้วยแสง สารสีเหล่านี้ทำงานที่บริเวณเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ในคลอโรพลาสต์ เมื่อบดใบพืชในตัวทำละลายอินทรีย์จะสามารถละลายสารสีเหล่านี้ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ดี และเมื่อนำมาแยกด้วยด้วยวิธี paper chromatography โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งได้แก่ สารละลาย petroleum ether กับ acetone อัตราส่วน 9:1 จะทำให้เห็นว่าสารสีเหล่านั้น ประกอบด้วยสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ อย่างน้อย 2 ชนิด คือ แคโรทีน และ แซนโทฟิลล์ และ สารสีกลุ่มคลอโรฟิลล์ อย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งคือ คลอโรฟิลล์ *เอ* และ คลอโรฟิลล์ *บี* (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 การแยกสารสีจากใบของพืชดอกชนิดหนึ่งด้วยวิธี paper chromatography แสดงให้เห็นองค์ประกอบ ได้แก่ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ คลอโรฟิลล์ *เอ* และ คลอโรฟิลล์ *บี*

นอกจากสารสีที่กล่าวข้างต้น ใบพืชบางชนิดยังมีสารสีชนิดอื่นที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น สารสีม่วงแดง คือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในใบฤาษีผสม หรือ ผักสลัด red oak หรือ สีที่ปรากฏในใบอ่อนของพืชบางชนิด สารสีเหล่านี้ไม่ได้อยู่ในคลอโรพลาสต์ดังเช่นสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่อยู่ใน แวคิวโอล (vacuole) สารสีกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ในการป้องกันตนเองของพืช

สารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเหล่านี้ ล้วนมีโครงสร้างแตกต่างกัน ซึ่งทำให้สมบัติในการรับแสงแตกต่างกันไปด้วย ความหลากหลายขององค์ประกอบของสารสีในพืชทำให้พืชสามารถรับแสงได้หลายช่วงความยาวคลื่นเพื่อนำไปใช้ในการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมีในโมเลกุลของสารอินทรีย์ ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อการสอน เรื่องนี้ เป็นสื่อการนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนเห็นถึงความสำคัญของแสง และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ตลอดจนกระตุ้นให้เกิดความสนใจว่ากระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร เพื่อดึงความสนใจของผู้เรียนให้ศึกษาต่อไป

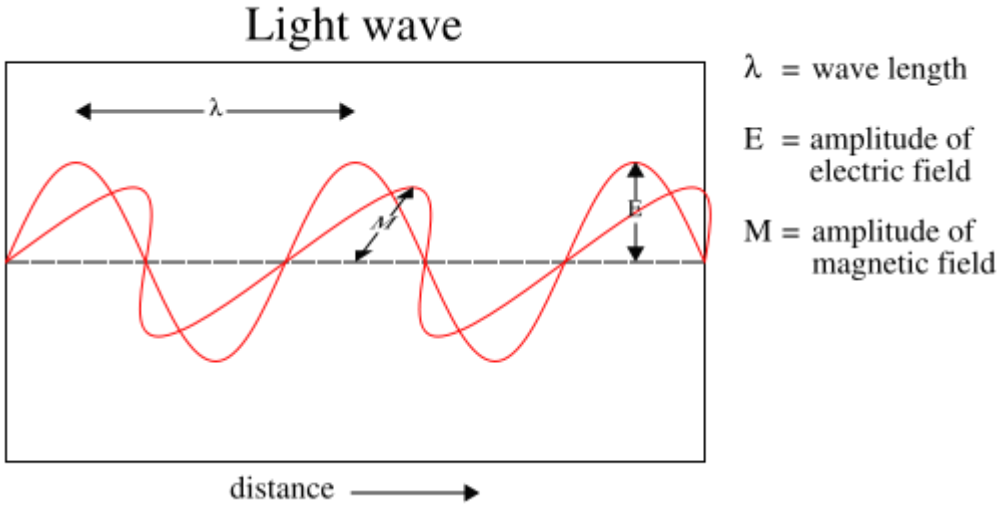
ในการจัดการเรียนการสอน อาจทำโดย นำสื่อนี้ให้ผู้เรียนดูเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน แล้วตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนหาคำตอบ และนำเข้าสู่บทเรียน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. **คำถาม:** รอบ ๆ ตัวนักเรียน มีพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอะไรบ้าง
   ตอบ: คลื่น infrared คลื่นไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเลท เป็นต้น

2. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติของพลังงานแสง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

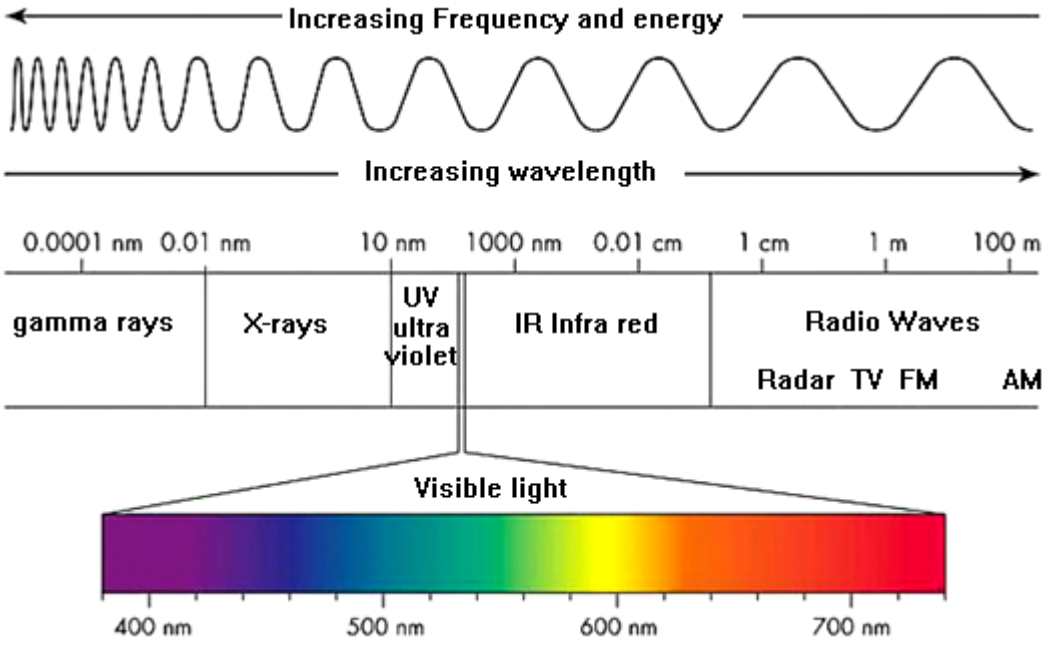
พลังงานแสง

พลังงานแสงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของพลังงานแสง จะเกิดเป็นคลื่นในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งอยู่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน หากเปรียบเทียบกับคลื่นน้ำ ขณะที่คลื่นน้ำเคลื่อนที่โมเลกุลของน้ำจะถูกรบกวน ส่วนในขณะที่คลื่นแสงเคลื่อนที่ทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับพลังงานของคลื่นแสงนั้นๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าความยาวคลื่น (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 คลื่นแสง (light wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งขณะที่มีการเคลื่อนที่ของคลื่นจะเกิดเป็นคลื่นในสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าที่อยู่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ค่าความยาวคลื่น คือระยะทางจากสันคลื่นหนึ่งไปยังอีกสันคลื่นหนึ่ง ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งถึงสมบัติของคลื่นแสงว่ามีพลังงานมากน้อยเพียงใด
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Light-wave.svg/554px-Light-wave.svg.png

ช่วงความยาวคลื่นแสงมีความหลากหลายโดยมีได้ตั้งแต่ระดับนาโนเมตร เช่น รังสีแกมมา จนถึงระดับกิโลเมตร เช่น คลื่นวิทยุ แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น รังสีแกมมามีระดับพลังงานสูงกว่า แสงที่มีความยาวคลื่นยาว เช่น คลื่นวิทยุ ดังจะเห็นได้จากรังสีแกมมาสามารถทำลายเซลล์บางชนิด หรือ ชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตได้ จึงใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ในอาหารบางชนิด เช่น แหนมอาบรังสี หรือ การชักนำให้พืชบางชนิดเกิดการกลายพันธุ์เพื่อให้ได้ลักษณะใหม่ๆ ในขณะที่คนเราสามารถอยู่ท่ามกลางคลื่นวิทยุได้ แสงที่ตาคนสามารถรับรู้ได้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 382- 750 นาโนเมตรซึ่งเราเรียกว่า แสงที่ตามองเห็น คลื่นแสงชนิดต่างๆมีความยาวคลื่นแตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 คลื่นแสงชนิดต่างๆ ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ระดับนาโนเมตร ถึงระดับกิโลเมตร

ที่มา: http://www.coolschool.ca/lor/PH11/unit7/U07L01/em_spectrum2.jpg

แม้สมบัติความเป็นคลื่นสามารถอธิบายสมบัติของแสงได้ แต่ยังมีบางลักษณะที่พบว่าแสงยังมีสมบัติเป็นอนุภาค (particle) ซึ่งเรียกว่า โฟตอน (photon) อนุภาคแสงหรือโฟตอนนี้ไม่ใช่อนุภาคในลักษณะของวัตถุที่จับต้องได้ แต่เปรียบเสมือนกลุ่มก้อนพลังงานโดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมีลักษณะเป็นกลุ่มพลังงานขนาดใหญ่กว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า เช่น แสงสีม่วงเป็นโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าโฟตอนของแสงสีแดง เป็นต้น

แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงช่วงคลื่นต่างๆมากมาย แต่เมื่อแสงอาทิตย์ส่องมายังโลก ชั้นบรรยากาศจะทำหน้าที่เป็นเสมือนแผ่นกรองทำให้แสงบางช่วงความยาวคลื่นเท่านั้น ที่เคลื่อนที่เข้าสู่โลกโดยมีแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นเป็นองค์ประกอบหนึ่ง แสงในช่วงความยาวคลื่นนี้เองเป็นแสงที่นำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

3. **คำถาม :** พืชสามารถรับแสงได้อย่างไร
   ตอบ : พืชมีสารสีสำหรับรับแสง ซึ่งสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมี 3 กลุ่ม ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และ บิลิน

กิจกรรมทางเลือก (optional activity)

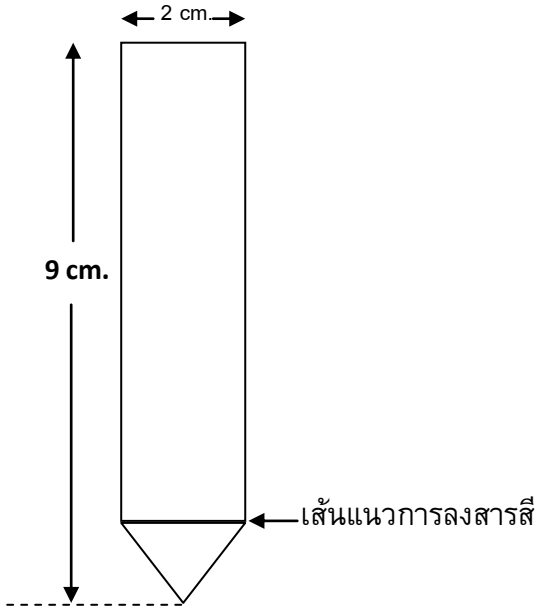
ผู้สอนให้ผู้เรียนทดลองแยกสารสีจากใบพืชที่ผู้เรียนสนใจ โดยให้ผู้เรียนเลือกใบไม้ที่ตนสนใจ มาสกัดแยกสารสีโดยวิธี paper chromatography อย่างง่าย ดังนี้

<u>วัสดุอุปกรณ์</u>

1. ใบไม้ (แนะนำให้ใช้ใบที่ไม่อวบน้ำ ใบบาง เพื่อความสะดวกในการสกัดสารสี)
2. โกร่งพร้อมที่บด
3. กรรไกร
4. กระดาษกรอง เบอร์ 1
5. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. จุกคอร์กพร้อมขอเกี่ยวสำหรับปิดขวดรูปชมพู่
7. 95% ethyl alcohol
8. Petroleum ether
9. Acetone
10. Capillary tube
11. กระบอกตวงขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร
12. ปิเปตแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร
13. กระดาษทิชชู
14. ผ้าขาวบาง
15. ดินสอดำ

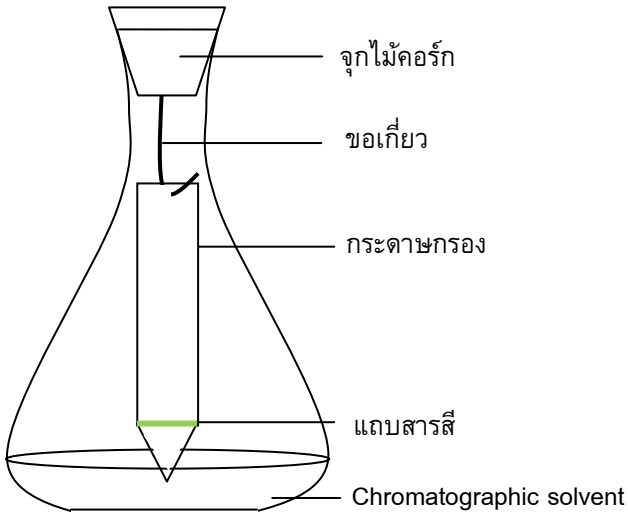
<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ผสม chromatographic solvent โดยผสม petroleum ether และ acetone ในอัตราส่วน 9:1 เช่น petroleum ether 45 มิลลิลิตร กับ acetone 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดให้สนิทด้วยจุกคอร์กที่มีขอเกี่ยว ทิ้งให้สารละลายอินทรีย์ที่ใส่ไว้ในขวดรูปชมพู่อิ่มตัว
2. ตัดกระดาษกรองให้มีขนาดประมาณ 2 x 9 เซนติเมตร (อาจเล็กกว่านั้นเล็กน้อยก็ได้) ขีดเส้นแนวการลงสารสีด้วยดินสอดำ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 รูปแบบกระดาษกรองสำหรับการทำ paper chromatography อย่างง่าย

3. ชั่งใบไม้ประมาณ 1 กรัม ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ลงในโกร่ง เติม 95% ethyl alcohol 10 มิลลิลิตร แล้วบดให้ละเอียด สารสีจะละลายออกมาใน 95% ethyl alcohol
4. กรองเศษใบไม้ออกด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำสารสีขีดลงบนกระดาษกรองตามแนวที่ได้เตรียมไว้ด้วย capillary tube ประมาณ 2-3 ครั้ง โดยการขีดทับในแต่ละครั้งควรรอให้สารสีที่ขีดไว้แล้วแห้งก่อน จึงลงทับอีกครั้ง ควรขีดทับจนเห็นแถบของสารสีชัดเจน แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
5. แขวนกระดาษกรองที่มีแถบสารสีกับขอเกี่ยวที่ติดอยู่กับจุกไม้คอร์ก แล้วปิดขวดที่บรรจุ chromatographic solvent ที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ให้สนิท โดยให้ปลายแหลมของกระดาษกรองจุ่มลงใน chromatographic solvent (รูปที่ 14) ตั้งทิ้งไว้โดยไม่มีการเคลื่อนย้าย หรือกระทบกระเทือนระบบ ซึ่งจะมีผลต่อการแยกของสารสี
6. เมื่อสารสีมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาตามการเคลื่อนที่ของ chromatographic solvent ได้ประมาณ 7 เซนติเมตร สามารถหยุดการทดลองได้
7. ให้ผู้เรียนสังเกตว่าสารสีที่ผู้เรียนสกัดได้นั้น ประกอบด้วยสารสีอย่างน้อยกี่ชนิด และผู้เรียนคาดว่าเป็นสารสีชนิดใดบ้าง ร่วมกันอภิปราย

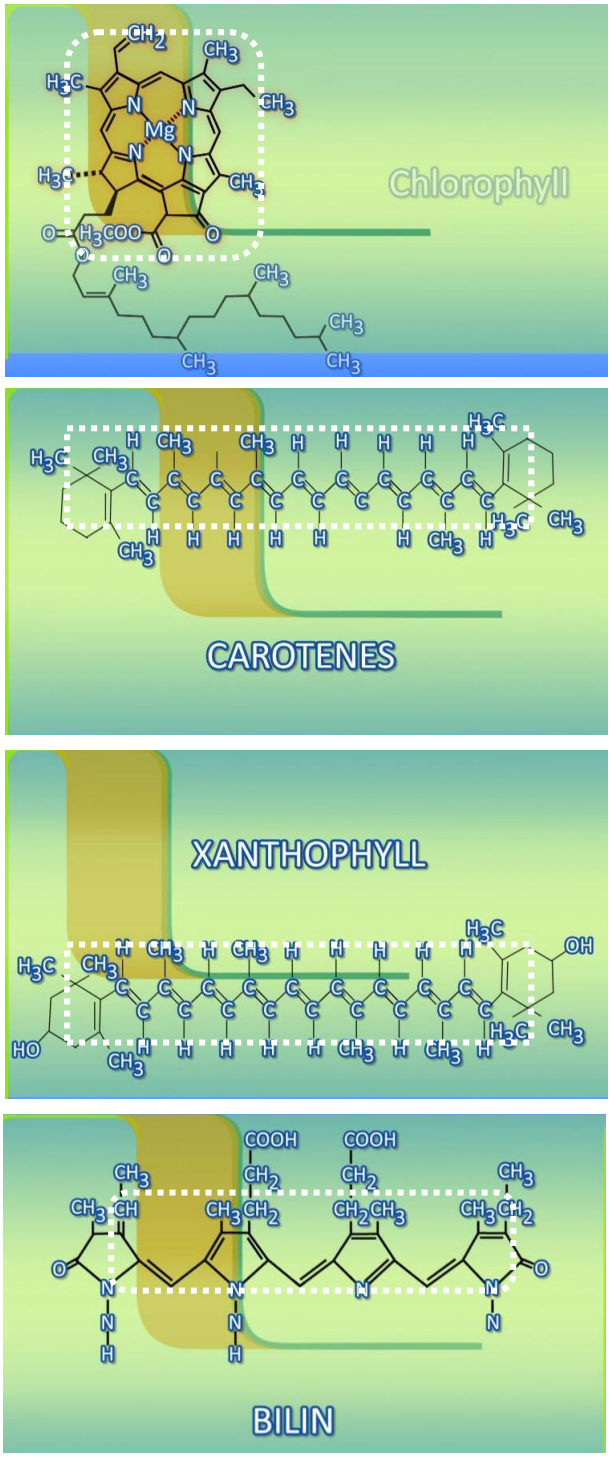


รูปที่ 14 ชุดอุปกรณ์ paper chromatography อย่างง่าย

<u>แนวทางการอภิปราย</u>

1. หากทำการทดลองได้ไม่มีข้อผิดพลาด เมื่อผู้เรียนแยกสารสีที่สกัดได้จากใบของพืชดอกจะได้แถบสีเขียว และเหลือง โดยมีแถบสีเขียวและแถบสีเหลืองอย่างละ 2 แถบ แต่บางครั้งอาจพบแถบสีเหลืองเพียงแถบเดียว เนื่องจาก carotene (แถบสีเหลืองที่อยู่บนสุด ตำแหน่งเดียวกับแนวของ chromatographic solvent ที่แพร่ขึ้นไปบนกระดาษกรอง) บางครั้งมีน้อยจึงเห็นเป็นแถบจางมาก จนอาจไม่สามารถสังเกตเห็นได้
2. การเรียงลำดับของแถบสีจากบนลงล่างจะเป็นดังนี้ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ คลอโรฟิลล์ *บี* และ คลอโรฟิลล์ *เอ* ให้ผู้เรียนอภิปรายร่วมกันว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น โดยใช้โครงสร้างที่ศึกษาจากสื่อนำเข้าสู่บทเรียนเข้ามาช่วยในการอภิปราย

4. **คำถาม** : ให้ผู้เรียนสังเกตโครงสร้างของสารสีทั้ง 3 กลุ่มว่ามีลักษณะใดร่วมกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าจะเป็นสมบัติให้สารสีสามารถดูดกลืนแสงและเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี
ตอบ : ลักษณะร่วมกันของโครงสร้างของสารสีทั้ง 3 กลุ่ม คือ การมี conjugated double bond (รูปที่ 15) คือมีบางส่วนของโมเลกุลมีพันธะคู่อยู่สลับกับพันธะเดี่ยว ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้โดยไม่ได้ยึดติดอยู่กับอะตอมใดอะตอมหนึ่ง เมื่อโมเลกุลของสารสีได้รับพลังงานแสงในระดับที่เหมาะสมก็จะทำให้อิเล็กตรอนนี้มีระดับพลังงานสูงขึ้น จากสถานะพื้น (ground state) ขึ้นสู่สถานะเร่งเร้า (excited state) ซึ่งพร้อมจะเคลื่อนย้ายไปยังโมเลกุลอื่นที่พร้อมรับอิเล็กตรอน ซึ่งเรียกว่า ตัวรับอิเล็กตรอน หากมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของสารสีไปยังตัวรับอิเล็กตรอน พลังงานแสงที่สารสีดูดกลืนมาก็ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในโมเลกุลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานั่นเอง



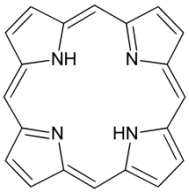
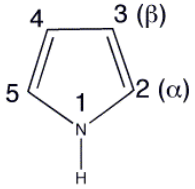
รูปที่ 15 conjugated double bond (แสดงอยู่ในเส้นประสีขาว) ในโครงสร้างของสารสี ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ และ บิลิน

5. **คำถาม:** พืชมีบทบาทในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีอย่างไร
   ตอบ: พืชเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีโดยใช้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีสารสีที่ทำงานในระบบการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นตัวรับแสงเพื่อนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

absorption spectra	คำเอกพจน์ คือ absorption spectrum หมายถึงแผนภาพแสดงการดูดกลืนแสงของสารใดสารหนึ่งที่คลื่นแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ
สารสีแอสเซสซอรี (accessory pigment)	สารสีที่สามารถดูดกลืนแสงได้พบในสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ สารเหล่านี้จะช่วยรับพลังงานแสงแล้วส่งให้กับ คลอโรฟิลล์ *เอ* โมเลกุลคู่ชนิดพิเศษ ที่เรียกว่า reaction center เพื่อกระตุ้นให้มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอน สารสีแอสเซสซอรี ได้แก่ คลอโรฟิลล์ *บี* แคโรทีนอยด์ และ บิลิน
แอนโทไซยานิน (anthocyanin)	สารสีม่วงแดง – ม่วงน้ำเงิน ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นสารประเภท flavonoid มีสมบัติละลายน้ำได้ อยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ เปลี่ยนสีได้ตาม pH ที่เปลี่ยนไป
conjugated double bond	ลักษณะพันธะเคมีที่มีการเรียงของพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ซึ่งทำให้มีอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ยึดอยู่กับอะตอมใดอะตอมหนึ่ง
fomyl group	หมู่คาร์บอนิลที่ต่อกับไฮโดรเจน
paper chromatography	เทคนิคการแยกสารที่ผสมกันอยู่โดยมีกระดาษเป็นเฟสไม่เคลื่อนที่ (stationary phase) และมีตัวทำละลายเป็น เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ทั้งนี้อาศัยสมบัติในการละลายในตัวทำละลายที่เป็น chromatographic solvent ซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ และความสามารถที่จะถูกดูดซับบนตัวกลางของสารที่แตกต่างกันในการแยกสารชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน
photooxidative damage	ความเสียหายที่เกิดจากพลังงานแสงที่มากเกินไป ทำให้เกิด reactive oxygen species ซึ่งนำไปสู่การทำลายเมมเบรนและองค์ประกอบอื่นภายในเซลล์

พอร์ไฟริน (porphyrin)	โครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เป็นวงขนาดใหญ่ของ heterocyclic ประกอบด้วย pyrrole subunit ดัดแปร เชื่อมต่อกันที่ α carbon ด้วย methane bridge (=CH-)  โครงสร้างอย่างง่ายที่สุดของ porphyrin
เทตทระไพรอล (tetrapyrrole)	สารประกอบที่ประกอบด้วย pyrrole 4 subunit โดยแต่ละ pyrrole คือ สารอินทรีย์ที่เป็น heterocyclic ring ห้าเหลี่ยม ดังรูป 
คลอโรฟิลล์ (chlorophylls)	สารอินทรีย์สีเขียว มีโครงสร้างหลัก 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นหัว tetrapyrrole ring (tetrapyrrole head) ซึ่งมีลักษณะเป็น porphyrin-like structure และ ส่วนที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon tail) บริเวณส่วนหัวมี Mg^{2+} เป็นองค์ประกอบ
คลื่นแม่แหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave)	คลื่นที่ประกอบด้วยคลื่นในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งอยู่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน
แคโรทีนอยด์ (carotenoids)	สารอินทรีย์ชนิดหนึ่งมีสีเหลืองหรือสีเหลืองส้มเป็นสารประเภท tetraterpenoid ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ทำหน้าที่เป็นสารสีรับพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งสลายพลังงานของพลังงานแสงส่วนเกินเพื่อป้องกันอันตรายจากแสงที่จะมีต่อระบบการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช
บิลิน (bilin)	สารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย tetrapyrrole chain พบในสาหร่ายสีแดง และ cyanobacteria บางตำราเรียก ไฟโคบิลิน

โฟตอน (photon)	อนุภาคแสงซึ่งมีระดับพลังงานสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่นของคลื่นแสงนั้น
ไฟโคบิลิน (phycobilin)	สารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย สายเทตทระไพรอล (tetrapyrrole chain) พบในสาหร่ายสีแดง และ ไซยาโนแบคทีเรีย บางตำราเรียก บิลิน
สารสี (pigment)	สารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงที่ส่องผ่านหรือสะท้อนอันเนื่องมาจากสมบัติการดูดกลืนแสงของสารนั้น เช่น เมื่อแสงส่องมายังคลอโรฟิลล์ เฉพาะแสงสีเขียวที่ส่งผ่านมายังตาเนื่องจากคลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงสีอื่น ๆ ใน visible light ยกเว้นแสงสีเขียว

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Postlethwait, J.H., Hopson, J.L and Veres, R.C. 1991. Biology : Bringing Science to Life. McGraw Hill, Inc, USA.
2. Taiz, L. and Zeiger, E. Plant physiology. 5th edition. 2010. Sinauer Associates Inc. Publishers, USA.

รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิค	ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะใกล้ในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และ การแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตังประพฤทธิ์กุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คิดอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิดอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_4	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี
49	การเกิดและโครงสร้างผล	อ.ดร.สร้อยนภา ญาณวัฒน์
50	การงอกของเมล็ด	รศ.นันทนา อังกินันทน์
51	การวัดการเจริญเติบโตของพืช	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
52	ออกซิน	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
53	การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการเกษตร	ผศ.พัชรา ลิมปนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วราลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วราลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนีย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนีย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพียภูเขียว
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
75	ความหลากหลายของสัตว์มีกระดูกสันหลัง	รศ.วีณา เมฆวิชัย
76	กลไกของพฤติกรรม	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
77	พฤติกรรมการเรียนรู้แบบต่าง ๆ	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
78	การสื่อสารระหว่างสัตว์	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
79	แนวคิดเกี่ยวกับระบบนิเวศ	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
80	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชฎฐ์ คนซื่อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชฎฐ์ คนซื่อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชฎฐ์ คนซื่อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชฎฐ์ คนซื่อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา