# บทที่ 2
# สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

**ข้าว**

ข้าวเป็นพืชอยู่ในตระกูล *Oryza sativa* L. เป็นอาหารหลักที่สำคัญของชาวเอเชีย เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก เป็นส่วนผลของข้าว ซึ่งจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้ (ภาพ 2.1) (งามชื่น, 2543)

1. เปลือกนอกหรือแกลบ (hull) เป็นส่วนที่หุ้มอยู่ภายนอก ช่วยป้องกันเมล็ดถูกทำลายจากภายนอก

2. ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง (brown rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังนี้

2.1 เยื่อหุ้มผล (pericarp)เป็นผิวนอกของข้าวกล้อง ที่พัฒนามาจากรังไข่มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน และมีท่ออาหารอยู่ด้านหลัง (dorsal) ของเมล็ด อาจมีสารสีอยู่ เช่น ข้าวแดงหรือข้าวเหนียวดำ เยื่อหุ้มผลประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp, mesocarp และ endocarp มีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วย โปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน ส่วนนี้อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส สารสีที่เกิดกับข้าวกล้องจะอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดเช่นกัน

2.3 ชั้นอลูโรน (aleurone layer) ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น ภายในประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องจึงรู้สึกสากกระด้าง

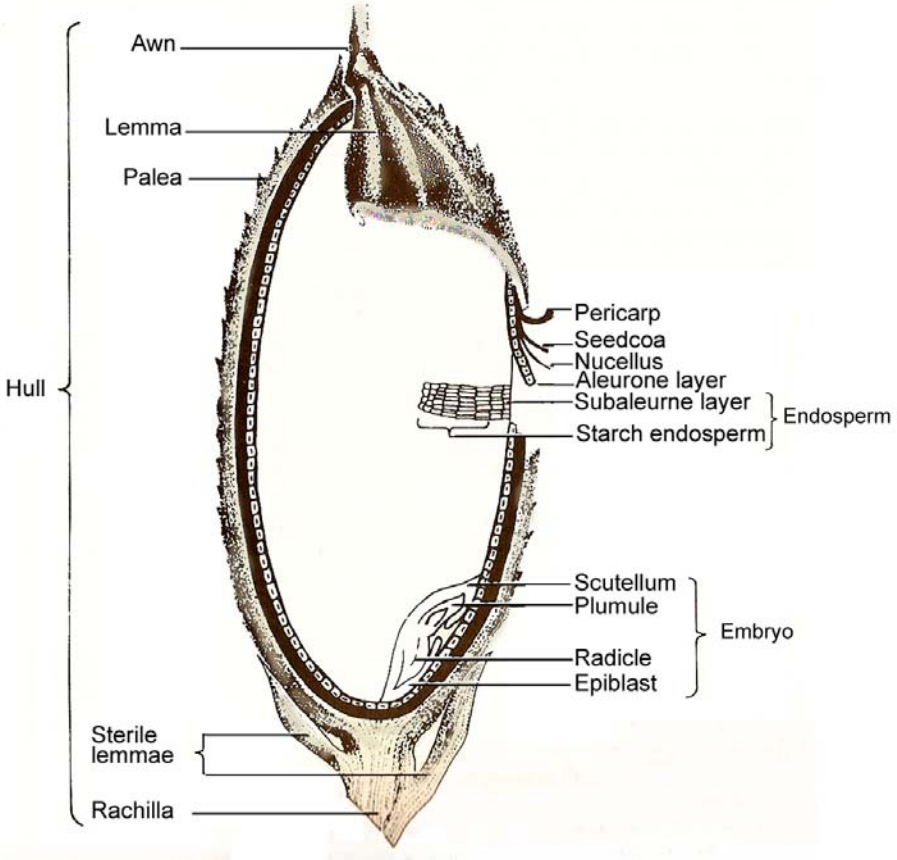
2.4 เอนโดสเปิร์ม (endosperm) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแยกเป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1 อมิโลเปคติน (amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุล กลูโคสจำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้านสาขา (branched chain) เมื่อย้อมด้วยน้ำยาไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (red brown) เมื่อทำให้สุก (gelatinized) ในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน คือไม่เกิดการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation) และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2. อมิโลส (amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมากเช่นกัน แต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (linear chain) และสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิด retrogradation ทำให้ความสามารถในการละลายลดลง และมีผลทำให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น

2.5 คัพภะ (embryo) เป็นส่วนที่มีไขมันและโปรตีนสูง ซึ่งอยู่ติดกับ endosperm ทางด้าน lemma เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum)




ภาพ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Juliano,1972

ลิขสิทธิ์ Copyright All r

**คุณภาพของข้าวสุก**

เมื่อเอ่ยถึง “คุณภาพข้าว” ผู้บริโภคจึงมักคำนึงในแง่ของ “คุณภาพทางกายภาพ” และ “คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน หรือข้าวสวย” คุณภาพข้าวสวย เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจในการเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน เช่น บางคนชอบข้าวแข็งร่วนหุงขึ้นหม้อ บางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว คุณภาพข้าวสวยนี้สามารถคาดคะเนโดยคุณสมบัติเมล็ดทางเคมี ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่างๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

1. ปริมาณอมิโลส (apparent amylose content) แม้ว่าแป้งของข้าวจะมีอมิโลเปคตินปริมาณมากกว่าอมิโลส แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยใช้ปริมาณอมิโลสเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อกล่าวถึงเปอร์เซนต์อมิโลส มักจะหมายถึงว่า ส่วนที่เหลือของแป้งเป็นอมิโลเปคติน อัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเปคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเหนียวมีแต่อมิโลเปคติน หรือมีอมิโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอมิโลสปนอยู่ประมาณ 10-34 % ปริมาณอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้นและทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอมิโลสที่สุกแล้ว (retrogradation) ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 การจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส

| ประเภทข้าว | ปริมาณอมิโลส% | ลักษณะข้าวสุก |
|---|---|---|
| ข้าวเหนียว | 0-2 | เหนียวมาก |
| ข้าวอมิโลสต่ำ | 10-19 | เหนียวนุ่ม |
| ข้าวอมิโลสปานกลาง | 20-25 | ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง |
| ข้าวอมิโลสสูง | 25-34 | ร่วนแข็ง |

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก ตัวอย่างเช่น ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะเละ แต่สำหรับข้าวอมิโลสสูง หากใส่น้ำขนาดเดียวกันกับข้าวอมิโลสต่ำ จะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวอมิโลสสูงต้องการน้ำมาก ดังนั้นเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดี ในขณะที่ข้าวอมิโลสต่ำเป็นข้าวที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อมิโลสเมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอมิโลส-ไอโอดีน (amylose-iodine complex) ที่มีสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถหาปริมาณอมิโลสได้โดยการวัดความเข้มของสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 610-620 นาโนเมตร (งามชื่น, 2545)

2. ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) ในระหว่างข้าวที่มีอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวแตกต่างกัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน การทดสอบความแข็งของแป้งสุกสามารถทดสอบโดยหาความคงตัวของแป้งสุกตามระยะทางการไหลของแป้งสุกเมื่อวางตามแนวราบ การจัดแบ่งข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุก เป็น 3 ประเภท ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 การจัดแบ่งข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุก

| ประเภทแป้งสุก | ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| แป้งสุกแข็ง (hard gel) | 26-40 |
| แป้งสุกปานกลาง (medium gel) | 41-60 |
| แป้งสุกอ่อน (soft gel) | 61-100 |

หากเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่มีอมิโลสระดับเดียวกัน ข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกอ่อนเมื่อหุงสุกจะได้ข้าวสวยนุ่มกว่าข้าวที่มีแป้งสุกแข็ง ดังนั้นค่าความคงตัวแป้งสุกจะพิจารณาภายหลังจากพิจารณาปริมาณอมิโลสก่อนแล้ว (งามชื่น, 2545)

3. อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล เปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม โดยทั่วไป การต้มข้าวให้สุกต้องใช้เวลา 13-24 นาที ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ การวิเคราะห์คุณสมบัตินี้ อาจใช้วิธีหาอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้น โดยใช้ Brabender amyloviscograph หรือประมาณระดับของอุณหภูมิแป้งสุก โดยการหาค่าการสลายเมล็ดข้าวสารในด่าง (alkali test) โดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลาย KOH 1.7% นาน 23 ชั่วโมง และใช้ค่าการสลายของเมล็ดที่ปรากฏ มาประมาณระดับอุณหภูมิแป้งสุกได้ ดังตาราง 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิแป้งสุกและค่าการสลายเมล็ดในด่างที่มีต่อระยะเวลาหุงต้ม

| ระดับของอุณหภูมิแป้งสุก (°ซ) | ค่าการสลายของเมล็ดในด่าง | ระยะเวลาหุงต้ม (นาที) |
|---|---|---|
| ต่ำ (ต่ำกว่า 65) | 6 – 7 | 12 – 16 |
| ปานกลาง (70 – 74) | 4 – 5 | 16 – 24 |
| สูง (มากกว่า 75) | 1 - 3 | มากกว่า 24 |

เนื่องจากปริมาณอมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้คุณภาพข้าวแตกต่างกัน ดังนั้น นอกจากระยะเวลาในการหุงต้มแล้ว ผลกระทบจากอุณหภูมิข้าวสุกต่อคุณภาพข้าวสุกจึงไม่ค่อยชัดเจน แต่หากจำกัดกลุ่มข้าวให้มีปริมาณอมิโลสแตกต่างกันน้อย อุณหภูมิแป้งสุกจะแสดงผลออกมา กล่าวคือ ในกลุ่มข้าวเหนียว หากมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงหรือปานกลางจะมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจาก เมื่อนึ่งสุกจะได้ข้าวแข็งและสุกๆ ดิบๆ สำหรับข้าวเจ้าอมิโลสต่ำหากมีอุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง-สูง ก็จะมีคุณภาพไม่ดี กล่าวคือ การหุงต้มข้าวประเภทนี้หากต้องการต้มข้าวให้สุกจะต้องใช้เวลาต้มนาน ในระหว่างการต้มเมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำเข้าไปด้วย ทำให้ปริมาณน้ำมากเกินไป สำหรับข้าวอมิโลสต่ำข้าวสุกที่ได้จะแฉะเละ แต่ถ้าหุงต้มโดยจำกัดปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับอมิโลสการหุงต้มจะไม่สมบูรณ์ทำให้ได้ข้าวสุกๆ ดิบๆ (งามชื่น, 2545)

ข้าวเจ้าของไทยแม้มีขนาดและรูปร่างเมล็ดใกล้เคียงกัน คือ ข้าวเมล็ดยาวและรูปร่างเรียวหรือรี เมื่อหุงต้มสุกเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่มีความนุ่มละเหนียวต่างกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณอมิโลสในแป้งของเมล็ดข้าว ข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามคุณภาพข้าวสุก คือ กลุ่มข้าวนุ่มเหนียว (อมิโลสต่ำ) กลุ่มข้าวขาวตาแห้ง (อมิโลสปานกลาง) และกลุ่มข้าวเสาไห้ (อมิโลสสูง) ดังแสดงในตาราง 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

| พันธุ์ข้าว | เมล็ดยาว (มม.) | อมิโลส(%) | อุณหภูมิแป้งสุก | ความคงตัวแป้งสุก |
|---|---|---|---|---|
| ข้าวสุกนุ่มและเหนียว | | | | |
| ขาวดอกมะลิ105* | 7.2-7.6 | 13-18 | ต่ำ | อ่อน |
| กข15* | 7.5 | 14-17 | ต่ำ | อ่อน |
| กข21 | 7.3 | 17-19 | ต่ำ | อ่อน |
| ปทุมธานี1* | 7.3-7.8 | 14-18 | ต่ำ | อ่อน |
| ข้าวสุกอ่อน (ขาวตาแห้ง) | | | | |
| ขาวปากหม้อ | 7.7 | 24-26 | ปานกลาง | อ่อน |
| ขาวตาแห้ง17 | 7.5 | 24-28 | ต่ำ-ปานกลาง | อ่อน |
| กข7 | 7.2 | 24-28 | ปานกลาง | อ่อน |
| กข23 | 7.3 | 22-26 | ปานกลาง | อ่อน |
| สุพรรณบุรี60 | 7.5 | 20-26 | ต่ำ | ปานกลาง |
| ข้าวสุกร่วนแข็ง (เสาไห้หรือข้าวเกี่ยว) | | | | |
| เหลืองใหญ่148 | 7.3 | 30-31 | ต่ำ | อ่อน-ปานกลาง |
| น้ำสะกุย19 | 7.6 | 30-31 | ต่ำ | อ่อน-ปานกลาง |
| เหลืองประทิว123 | 7.4 | 28-32 | ต่ำ-ปานกลาง | อ่อน-แข็ง |
| เล็บมือนาง111 | 7.6 | 29-32 | ต่ำ-ปานกลาง | แข็ง-อ่อน |
| ปิ่นแก้ว56 | 7.5 | 29-31 | ต่ำ-ปานกลาง | แข็ง |
| กข11 | 7.6 | 29-32 | ต่ำ | แข็ง |
| กข13 | 6.9 | 30-33 | ต่ำ-ปานกลาง | อ่อน |
| ปทุมธานี60* | 7.5 | 27-32 | ต่ำ | แข็ง |
| ชัยนาท1 | 7.4 | 27-30 | ต่ำ-ปานกลาง | แข็ง |
| สุพรรณบุรี90 | 7.4 | 27-30 | ต่ำ-ปานกลาง | แข็ง |
| สุพรรณบุรี1 | 7.3 | 29 | ปานกลาง | อ่อน |

* มีกลิ่นหอม

ที่มา : งามชื่น, 2545.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว การที่เมล็ดยืดตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และหากข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น (วิไลลักษณ์, 2545)

5. ระยะเวลาในการหุงต้ม (cooking time) การต้มเมล็ดข้าวให้สุกอาจใช้เวลา 13-24 นาที หรือมากกว่า เมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด ระยะเวลานี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature)

6. กลิ่นหอม (aroma) ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด แต่ละชนิดมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น ในข้าวหอมมีสาร 2- acetyl-1-pyrolline (งามชื่น, 2543)

7. ปริมาณโปรตีน (protein content) แม้ว่าโปรตีนจะไม่ค่อยถูกอ้างถึงเมื่อกล่าวถึงคุณภาพข้าวสุก แต่มีบางรายงานพบว่า โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตาม หากทำการสีข้าวให้มีระดับการสีมากขึ้นแล้ว ข้าวมีโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำน้อยกว่าข้าวโปรตีนต่ำ ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวสารมีโปรตีนถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และหากโปรตีนสูงถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย (งามชื่น, 2545)

**การเปลี่ยนแปลงของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา**

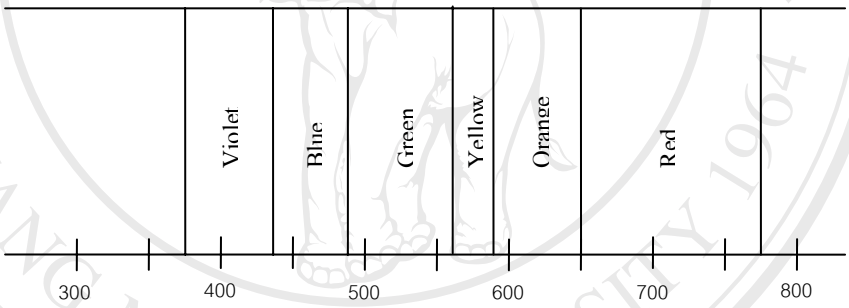
ข้าวเก่าและข้าวใหม่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 3-4 เดือน เมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส หากเมล็ดไม่ถูกทำลายในระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของข้าวเก่าเกิดขึ้นเนื่องจาก 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน กรดไขมันที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์ เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโมเลกุลของอมิโลส มีผลยับยั้งการขยายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสวย นอกจากนี้ไขมันเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะได้สารประกอบประเภท Hydroperoxides carbonyl สารประกอบประเภท carbonyl นี้ ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืนเช่นเดียวกับการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน ในส่วนของโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถัน (-S-S-) ที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ลดลงและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าว ในขณะเดียวกัน สารประกอบของ -S-S- นี้ยังมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสวยมีความนุ่มลดลง ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้ข้าวเก่ามีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษายังมีผลต่อการเปลี่ยนสีของเมล็ดข้าว โดย Juliano รายงานว่า หลังจากเก็บรักษาเมล็ดข้าวเป็นเวลา 1 ปี พบว่าการเก็บรักษาข้าวในสภาวะปกติที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมล็ดข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีสีเหลือง (งามชื่น, 2545)

**วิธีทำให้เกิดสี (colorimetric method)**

แสงวิสิเบิลประกอบด้วยช่วงคลื่นแคบๆ ของสเปคตรัมช่วงแสงที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นจะมีสีเฉพาะตัวสามารถมองเห็นด้วยตา ช่วงคลื่นของแสงที่กล่าวมานี้จะมีช่วงคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) ถึง 780 นาโนเมตร (แสงสีแดง) ดังภาพ 2.1




ภาพ 2.2 แถบสเปคตรัมของแสงที่อยู่ในช่วงของแสงวิซิเบิ้ล

แสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีสีทุกสีในช่วงคลื่นของแสงที่มีสีทั้งหมด ตาจะมองเห็นแสงนั้นเป็นสีขาว (white light) แต่ถ้าแสงสีหนึ่งหรือหลายสีถูกนำออกไปจากแสงสีขาว ตามนุษย์จะมองเห็นแสงนั้นมีสีอื่นทันที เราแบ่งสมบัติของแสงตามตาของมนุษย์ได้ดังนี้ ชนิดของสี (hue หรือ color) ความเข้มของสี (color intensity) และความสว่าง (brightness) แสงสีต่างๆ แบ่งตามช่วงคลื่นดังรูปที่ 2.1 แสงบางสีหรือบางช่วงคลื่นที่ถูกนำออกไปจากแสงสีขาว ผลที่ได้ทำให้ตามองเห็นเป็นแสงอีกสีหนึ่งหรืออีกหลายสีผสมกัน สีของแสงที่ถูกนำเอาออกไปและสีของแสงที่เหลือให้ตามองเห็นเรียกว่า สีส่วนเติมเต็ม (complementary color) แสดงไว้ในตาราง 2.4 ความเข้มข้นของแสงสีใดสีหนึ่งจะขึ้นกับสัดส่วนของแสงนั้นต่อสัดส่วนของแสงสีขาวที่มีอยู่ในลำแสง ถ้าสัดส่วนของแสงที่มีสีมากความเข้มของสีนั้นก็มีมาก ถ้าสัดส่วนของแสงสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นั้นมีน้อยความเข้มของสีนั้นก็มีน้อยหรือสีจาง (pale) ความสว่างของแสงหาได้จากกำลังส่องสว่างของลำแสงนั้น (radiant power)

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนสีและสีส่วนเติมเต็ม

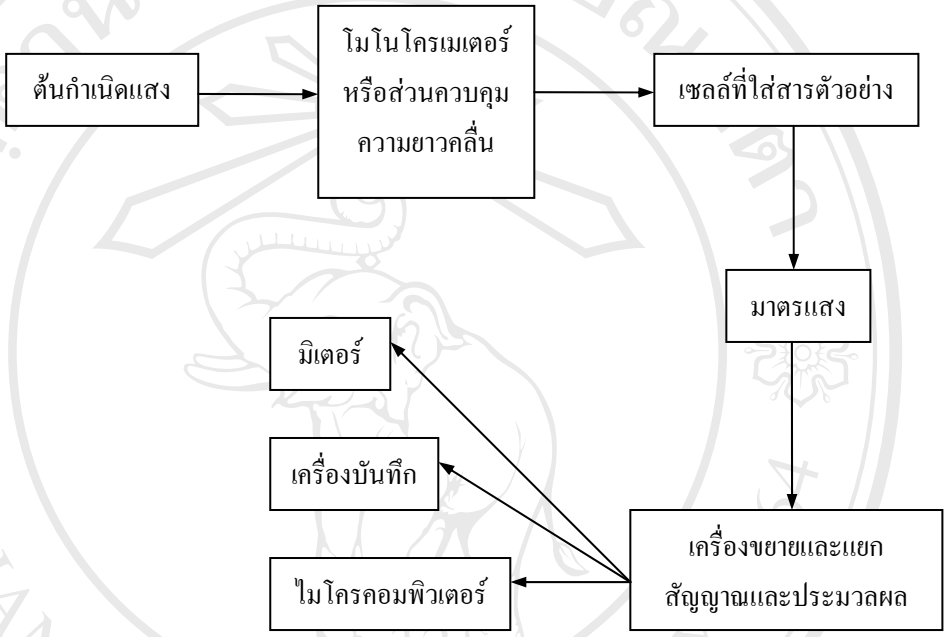
| ช่วงคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสาร (นาโนเมตร) | สีส่วนเติมเต็มที่ถูกดูดกลืนโดยสาร | สีส่วนเติมเต็มที่เหลือเป็นสีที่มองเห็นด้วยตา |
|---|---|---|
| 400 – 435 | Violet | Yellow - Green |
| 435 - 480 | Blue | Yellow |
| 480 - 490 | Green - Blue | Orange |
| 490 – 500 | Blue - Green | Red |
| 500 – 560 | Green | Purple |
| 560 – 580 | Yellow - Green | Violet |
| 580 – 595 | Yellow | Blue |
| 595 – 650 | Orange | Green - Blue |
| 650 - 750 | Red | Blue - Green |

เมื่อมีแสงสีขาวส่องผ่านของเหลวหรือสารละลาย (หรือเมื่อถูกของแข็งแล้วสะท้อนที่ผิวของๆ แข็งนั้น) เช่น สารละลายของ $Fe(SCN)^{2+}$ มีสีแดง สารละลายจะดูดกลืนเอาแสงที่มีช่วงคลื่นสั้น คือ สีน้ำเงิน (blue – green) แล้วปล่อยแสงที่มีสีส่วนเติมเต็มที่เป็นสีแดงซึ่งมีช่วงคลื่นยาวกว่าให้ตามองเห็น สำหรับสารละลายสีน้ำเงินของ $Cu(NH_3)_4^{2+}$ ที่มองเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้ม (blue – green) แสดงว่าแสงสีแดงถูกดูดกลืนโดยสารละลายนี้ (ศุภชัย, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**หลักการทั่วไปของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์**

สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงของสารที่ช่วงคลื่นค่าหนึ่งๆ ในเครื่องมือสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพ 2.3 (แม้น, 2539)




ภาพ 2.3 องค์ประกอบของเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

1. ต้นกำเนิดแสง (light source)

ต้นกำเนิดแสง ที่ใช้ในงานสเปคโตรโฟโตเมตรีนั้น ควรจะต้องมีลักษณะดังนี้

1.1 จะต้องให้ลำแสง (beam of radiation) ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง

1.2 จะต้องให้การแผ่รังสี (radiation) ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ

1.3 จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา นั่นคือ $P_0$ ต้องคงที่ มิฉะนั้นแล้วผลการวิเคราะห์จะไม่แม่นยำหรือไม่มีความเที่ยง

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์นั้น ต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตเป็นหลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือหลอดดิวเทอเรียม (deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 นาโนเมตร ส่วนต้นกำเนิดแสงวิสิเบิลเป็นหลอดทังสเตน (tungsten filament lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้ายหลอดไฟธรรมดา ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 320-2500 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

ส่วนประกอบนี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจของเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (คือเป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ โมโนโครเมเตอร์จะประกอบด้วย

2.1 ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า (entrance slit) เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่าง

2.2 กระจกและเลนส์ (mirror and lens) เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่อง บางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องให้เล็กลง และบางครั้งทำให้ลำแสงเป็นลำแสงขนาน

2.3 ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ กันเพื่อให้เหมาะกับการเลือกใช้ หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบด้วย

2.3.1 ฟิลเตอร์ (filter) จัดว่าเป็นโมโนโครเมเตอร์ที่ง่ายที่สุด ซึ่งอาจประกอบด้วยกระจกสีต่างๆ โดยทั่วไปเครื่องมือที่ใช้ฟิวเตอร์มักจะเป็นคัลเลอริมิเตอร์ ไม่นิยมใช้ในการทำเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.3.2 ปริซึม (prism) ในสมัยก่อนนิยมใช้กันมาก เกี่ยวกับการศึกษาทางสเปคโตรสโกปี แต่ปัจจุบันโดยทั่วไปเลิกใช้แล้ว เพราะมีปัญหาหลายอย่าง

2.3.3 เกรตติง (grating) นิยมใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งมีใช้กันอยู่ 2 แบบ คือ

- ทรานสมิสชันเกรตติง (transmission grating)
- รีเฟรกชันเกรตติง (reflection grating)

2.4 ช่องแสงออก (exit slit) เป็นส่วนที่จะปล่อยให้แสงที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วผ่านไปยังมาตรวัดแสง ตลอดจนเป็นส่วนที่ช่วยตัดแสงที่รบกวนอีกด้วย โดยทั่วไปช่องแสงเข้าและออกมักจะเปิดเท่ากัน หรือสามารถปรับได้ตามต้องการ

3. ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด (cell compartment)

ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด จะมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกเข้าไป

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (sample cell) หรือเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvette) มีด้วยกันหลายแบบ รูปร่างต่างๆ กัน ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1 เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้ในช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาจะดูดกลืนแสงในช่วงยูวี

3.2 เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (silica) และ ควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล และยังมีเซลล์ที่เป็นเกรดพิเศษ เรียกว่า special UV grade โดยเขียนไว้ว่า UV-cell

4. เครื่องวัดแสง (radiation detector)

- โฟโตโวลตาอิกเซลล์ หรือ แบริเออร์- เลเยอร์เซลล์ (photovoltaic or barrier-layer cells)
- หลอดรับแสง (phototube)
- หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomutiplier tube = PMT)
- เครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)

5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล (signal processors and data read out)

**สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว (single beam spectrophotometer)**

สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว เป็นแบบที่ธรรมดาที่สุด มีหลักการดังนี้คือ ลำแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านเข้าหน่วยจำแนกช่วงคลื่นของแสง ควบคุมลำแสงให้พอเหมาะด้วยสลิต (slit) หลังจากแยกช่วงคลื่นของแสงที่ต้องการออกมาแล้ว แสงจะผ่านตรงไปยังเซลล์ของสารละลาย ลำแสงที่ผ่านจากเซลล์ ก็จะไปกระทบกับผนังของโฟโตเซลล์ทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมา สเกลที่หน่วยตรวจวัดจะบอกในหน่วยของทรานสมิตแทนซ์และค่าการดูดกลืนแสง ในการใช้เครื่องมือแบบนี้เราจะต้องเซท (set) เครื่องมือให้อ่าน 100 เปอร์เซนต์ทรานสมิตแทนซ์ก่อน โดยใช้สารที่เป็นตัวทำละลาย (เช่น น้ำกลั่น ถ้าน้ำเป็นตัวทำละลาย) ใส่เซลล์และไปวางกั้นแสง หลังจากนั้นจึงนำเซลล์ที่บรรจุสารละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (ศุภชัย, 2539)

**การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ (blank solution)**

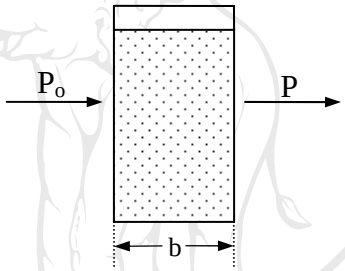
ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่มีสีในสารละลาย ถ้าใช้ความยาวของเซลล์ (b) คงที่ ในทางปฏิบัติค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่วัดได้จะรวมถึงปริมาณของแสงที่ดูดกลืนโดยสารรีเอเจนต์ที่เหลือหลังจากปฏิกิริยา (ปกติเราต้องใส่ลงไปมากเกินพอเพื่อแน่ใจว่าสารที่ต้องการวิเคราะห์ทำปฏิกิริยากลายเป็นสารที่มีสีหมด) และรวมถึงปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารที่เป็นตัวทำละลาย รวมทั้งปริมาณของแสงที่หักเหหายไปอันเนื่องจากการกระทบกับผนังเซลล์ เพื่อป้องกันผลเสียที่เกิดดังกล่าวเราจะทำการวัดสารละลายแบลงค์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าเซลล์ที่ใส่สารละลายแบลงค์และเซลล์ที่ใส่สารละลายเหมือนกัน สารละลายแบลงค์เป็นสารละลายซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลายและสารละลายรีเอเจนต์ต่างๆ ที่ยังไม่ใส่สารที่เราต้องการวิเคราะห์ลงไป ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากสารละลายแบลงค์นี้นำไปลบออกจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่วิเคราะห์ ผลที่ได้จะเป็นค่าค่าการดูดกลืนแสงของสารที่มีสีที่มีสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบ (ศุภชัย, 2539)

**กฎการดูดกลืนแสงของสารละลายของบูเกอร์และเบียร์ (Bouger and Beer law)**

เมื่อผ่านลำแสงเข้าไปในเซลล์ที่บรรจุสารละลายจะเกิดการดูดกลืนขึ้นเป็นบางส่วนและพลังงานของแสงก็จะสูญเสียให้แก่สารละลายไปเป็นบางส่วน ดังรูปที่ 2 พลังงานของแสงที่ถูกถ่ายเทให้แก่สารซึ่งถูกแสงผ่านจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นและขึ้นอยู่กับช่วงคลื่นของลำแสงที่ผ่านด้วย




ภาพ 2.4 การดูดกลืนแสงของสารละลาย

ถ้ากำหนดให้ $P_o$ เป็นพลังงานของลำแสงที่ตกกระทบเซลล์สารละลาย

P เป็นพลังงานของลำแสงที่ออกจากเซลล์สารละลาย

พลังงานของลำแสงเป็นปริมาณที่วัดโดยให้แสงตกกระทบกับโฟโตเซลล์ (photocell) ในหน่วยตรวจวัดอัตราส่วนระหว่างพลังงานของลำแสงที่ออกจากเซลล์และพลังงานของลำแสงที่ตกกระทบบนเซลล์เรียกว่า ทรานสมิตแทนซ์ (transmittance, T) ซึ่งจะบอกมาในลักษณะของร้อยละ (percent transmittance, %T) ก็ได้

$$T = P / P_o$$

ค่าของลอการิทึมฐานสิบของ 1 / T คือค่าค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) แทนด้วย A

$$A = \log (1 / T) = - \log T$$

ดังนั้น $$A = \log (P_o / P)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้ากำหนดให้ c = ความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสงในสารละลาย

b = ความยาวของเซลล์ที่ลำแสงผ่าน (optical path length)

เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

ตาม Bouger's law

$$\log (P_o / P) = k_1 b$$

ตาม Beer's law

$$\log (P_o / P) = k_2 c$$

$k_1$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นกับชนิดของสารที่เป็นตัวดูดกลืนแสงในสารละลายในช่วงคลื่นของแสงที่ผ่าน และความเข้มข้นของสารที่เป็นตัวดูดกลืนแสง

$k_2$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นกับชนิดของสารที่เป็นตัวดูดกลืนแสงในสารละลายในช่วงคลื่นของแสงที่ผ่าน และความยาวของเซลล์ที่ลำแสงผ่าน

จากกฎทั้งสองรวมกันจะได้กฎการดูดกลืนแสงของสารในสารละลายดังนี้

$$\log (P_o / P) = abc$$

$$A = abc$$

ถ้า c มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร ค่าคงที่ a จะถูกเรียกว่า แอบซอร์พติวิตี (absorptivity) แต่ถ้า c มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร ค่าคงที่นี้จะถูกเรียกว่าโมลาร์แอบซอร์พติวิตี (molar absorptivity) และจะมีหน่วยเป็นลิตร โมล$^{-1}$ ซม.$^{-1}$($l\ mol^{-1}cm^{-1}$) ที่ช่วงคลื่นที่กำหนดให้ นิยมใช้สัญลักษณ์ $\varepsilon$

**อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน** ( ชัยวัฒน์, 2538)

1. ตัวต้านทาน (resistor)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าให้ลดลง โดยค่าความต้านทาน (resistance) มีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm :Ω ) ถ้าหากค่าความต้านทานมีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวต้านทานได้มาก ในทางตรงข้ามถ้าค่าความต้านทานมากกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านน้อย ตัวต้านทานมีหลายขนาดให้เลือกใช้ ตั้งแต่ 1/8 วัตต์ ไปจนถึงวัตต์สูงๆ ในการอ่านค่าของตัวต้านทาน ถ้าหากเป็นแบบวัตต์สูงๆ จะมีตัวเลขค่าความต้านทานพิมพ์บนตัวต้านทานนั้น แต่ถ้าหากเป็นขนาดวัตต์ตั้งแต่ 1/8 – 2 วัตต์ จะมีรหัสสีเป็นตัวบอกค่าความต้านทาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

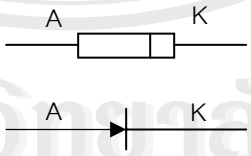
2. ตัวเก็บประจุ (capacitor)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ มีการไปใช้ในวงจรกรองแรงดัน วงจรกรองความถี่ และใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณ ภายในตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำ 2 แผ่น วางห่างกันโดยมีสารไดอิเล็กตริกกั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ชนิดของตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ ได้แก่ เซลามิก ไมลาร์ อิเล็กทรอไลต์ โพลีเอสเทอร์ แทนทาลัม ค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad) แต่ว่าหน่วยฟารัดนี้ใหญ่มาก จึงต้องทอนลงมาให้เป็นหน่วยย่อย โดยหน่วยที่นิยมใช้คือ ไมโครฟารัด (μF) นาโนฟารัด (nF) และพิโกฟารัด (pF) สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ ดังภาพ 2.5

ภาพ 2.5 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ

3. ไดโอด

เป็นอุปกรณ์ที่ในการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่ใช้ในการป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับ และใช้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้แรงดันไฟฟ้าไหลผ่านได้ถ้าป้อนไฟขั้วตรงกัน คือ ถ้าป้อนไฟขั้วบวกตรงขาแอโนดไฟจะผ่านได้ แต่ถ้าไฟขั้วบวกต่อเข้ากับขาแคโทดไฟจะไหลผ่านไม่ได้ สัญลักษณ์ของไดโอด ดังภาพ 2.6




ภาพ 2.6 สัญลักษณ์ของไดโอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

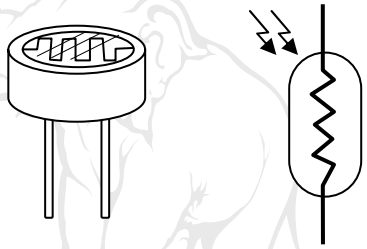
**ออปโต้อิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronics)**

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับแสง ที่จะกล่าวถึงแบ่งออกเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงและอุปกรณ์กำเนิดแสง

**อุปกรณ์ตรวจวัดแสง**

- ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (light depending resistor : LDR)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไปตามความเข้มแสงที่ตกกระทบ ตามปกติแล้วตัว LDR เมื่ออยู่ในที่มืดจะมีค่าความต้านทานสูงมาก ประมาณ 2 เมกะโอห์ม และถ้ามีแสงมาตกกระทบความต้านทานจะลดลงเหลือต่ำสุดประมาณ 100 โอห์ม โดยทั่วไป LDR จะตอบสนองได้ดีที่สุดกับแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ลักษณะนี้ค่อนข้างต่ำคือ ในการตอบสนองการทำงานจะใช้เวลาเป็นมิลลิวินาที และการตอบสนองมักจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น และยังขึ้นกับอุณหภูมิรอบๆ ตัวอุปกรณ์ด้วย ดังนั้นจึงนิยมนำ LDR ไปใช้ในวงจรควบคุมการ เปิด-ปิดด้วยแสง รูปร่างและสัญลักษณ์ของ LDR แสดงดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 รูปร่างและสัญลักษณ์ของ LDR

- โฟโตโวลตาอิกเซลหรือเซลแสงอาทิตย์

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ แต่จะมีกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ในเซลหนึ่งหนึ่งๆ จะให้แรงดันได้ประมาณ 0.4 โวลต์ ให้กระแสระหว่าง 20-100 มิลลิแอมป์ ลักษณะของเซลล์นี้ประกอบด้วย แผ่นทองแดงหรือเหล็กเป็นขั้วบวก ด้านบนฉาบด้วยวัสดุกึ่งตัวนำบางๆ เช่น ซีลีเนียม หรือคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ แล้วฉาบผิวด้านนอกเป็นฟิล์มบางๆ โปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นทอง หรือเงิน หรือตะกั่ว และทำหน้าที่เป็นตัวจับอิเล็กตรอนหรือเป็นขั้วลบ ทั้งหมดนี้บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก ส่วนที่รับแสงเป็นกระจกใส หลักการทำงานคือ เมื่อแสงมาตกกระทบลงบนผิวของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้พันธะแตกออกเกิดอิเล็กตรอนขึ้น วิ่งไปยังแผ่นโลหะ ส่วนโฮล (hole คือ ช่องว่างที่มีประจุไฟฟ้าบวกที่เหลืออยู่ในแถบเวเลนซ์ของระดับชั้นพลังงาน) ที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปสู่แผ่นเหล็ก แล้วอิเล็กตรอนจะวิ่งไปสู่วงจรภายนอกและรวมกับโฮลที่เกิดขึ้น ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่มาตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- โฟโต้ไดโอด

เป็นไดโอดที่ทำงานเมื่อมีแสงมาตกกระทบ มีกำลังไฟฟ้าต่ำ มักนำไปใช้ในวงจรที่ซับซ้อนกว่า LDR ตอบสนองกับแสงเป็นเชิงเส้นและมีความไวในการทำงานสูงกว่า LDR มาก เพราะใช้เวลาในการตอบสนองการทำงานเพียง 200 นาโนวินาที จึงนำโฟโต้ไดโอดไปใช้ในการอ่านเทปความเร็วสูง และในออปโต้ไซเลเตอร์ สัญลักษณ์ของโฟโต้ไดโอด แสดงดังภาพ 2.8

ภาพ 2.8 สัญลักษณ์ของโฟโต้ไดโอด

**อุปกรณ์กำเนิดแสง**

- LED (light emitting diode)

LED เป็นไดโอดที่สามารถเปล่งแสงได้ในขณะที่นำกระแส เนื่องจากเป็นไดโอดแบบหนึ่ง ดังนั้นการทำให้นำกระแสได้ต้องต่อไฟขั้วบวกเข้ากับขาแอโนด ต่อไฟขั้วลบเข้ากับขาแคโทด แต่ต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับ LED ด้วยเพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ไหลผ่าน LED มากเกินไป LED จะสามารถนำกระแสได้เมื่อมีแรงดันตกคร่อมตั้งแต่ 2-5 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านจะอยู่ระหว่าง 5 – 30 มิลลิแอมป์ ไม่ควรเกินกว่านี้เพราะจะทำให้ LED เสียหายได้ LED เหมาะที่จะใช้กับวงจรกระแสตรง แต่ถ้าหากต้องการนำไปใช้ในวงจรไฟกระแสสลับก็สามารถทำได้โดยต่อไดโอดขนานกับ LED

- หลอดไฟไส้ (incandescent bulb)

เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงแบบหนึ่งที่ให้ความสว่างมาก อายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง หลอดไฟจะสว่างได้เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านไส้หลอดจนเกิดความร้อนจึงเปล่งแสงออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- หลอดนีออน (neon)

เป็นหลอดบรรจุก๊าซ ใช้กับงานที่มีแรงดันสูง มักเป็นตัวแสดงการทำงานของเครื่องจักร เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยกระแสเช่นเดียวกับ LED จึงต้องมีการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับหลอดเพื่อจำกัดกระแสด้วย

- LCD (liquid crystal display)

เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงชนิดหนึ่งที่นิยมนำไปใช้เป็นตัวแสดงผลข้อความหรือตัวเลขมากกว่านำมาใช้เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงสว่าง เนื่องจากมีความเข้มแสงต่ำมาก และกินกำลังไฟฟ้าต่ำด้วยเช่นกัน จึงนิยมนำ LCD มาใช้ในเครื่องคิดเลขและนาฬิกาดิจิตอล ลักษณะโครงสร้างของ LCD จะเป็นเพลตแก้ว 2 แผ่นที่วางขนานกันที่ถูกคั่นกลางด้วยช่องว่างที่บรรจุผลึกของเหลวเอาไว้ เมื่อจ่ายแรงดันเข้าเพลต ผลึกเหลวก็จะมีการจัดเรียงโมเลกุลแสดงผลออกมา

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

งามชื่น คงเสรี (2518) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอมิโลสกับลักษณะของข้าวสุก พบว่าความเกาะตัวของข้าวสุกจะแสดงความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามปริมาณ อมิโลส ค่า starch-iodine-blue test ที่ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงถึงปริมาณอมิโลสที่ถูกละลายออกมาในระหว่างการต้ม มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของความนุ่ม ความเกาะตัว และความเลื่อมมันของข้าวสุก ส่วนปริมาณโปรตีนในข้าวสารเกี่ยวข้องกับความคล้ำของข้าวสุก ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอมิโลสและค่า starch-iodine-blue test ที่ 100 องศาเซลเซียส อาจใช้ในการประเมินคุณภาพการรับประทานดีกว่าการใช้คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง

ในรายงานได้กล่าวไว้ว่า เคยมีผู้ใช้ค่า starch-iodine-blue test ที่ 77 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที (Halick and Keneaster 1956; Beachell 1967; Kurasawa, *et al*. 1962) ในการวิเคราะห์ปริมาณอมิโลส ต่อมาในปี 1966 Hall และ Johnson ได้ปรับปรุงวิธีการโดยใช้อุณหภูมิที่น้ำเดือดแทน แต่วิธีนี้มักจะได้ค่า starch-iodine-blue test ต่ำ สำหรับข้าวที่มีอมิโลสสูงกว่า 30 เปอร์เซนต์ ขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากการแข็งตัวของอมิโลสในเม็ดแป้งที่ต้มแล้ว

คุณสมบัติการหุงต้มและรับประทานขึ้นอยู่กับปริมาณอมิโลส (Juliano, *et al*. 1964) อุณหภูมิการเกิดเจลหรืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งกลายเป็นเจล (Beachell and Stansel 1963) และปริมาณโปรตีน ซึ่งปริมาณอมิโลสและอุณหภูมิการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าว ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ผันกลับกับความนุ่ม (tenderness), ความเกาะตัว (cohesiveness), สี (color), ความเลื่อมมัน (glossiness)ของข้าวสุก การแข็งตัวของข้าวสุกที่ทิ้งไว้จนเย็น เกิดขึ้นจากการแข็งตัว (retrogradation) ของอมิโลสในแป้งที่ต้มแล้ว อุณหภูมิการเกิดเจลหรืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งกลายเป็นเจล คืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ ดูดน้ำและพองตัวขึ้นจนกระทั่งความร้อนทำลายการจัดตัวภายในของเม็ดแป้ง และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรไม่สามารถคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ (Juliano, *et al*. 1969) อุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล มีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใกล้ชิดกับระยะเวลาเวลาในการหุงต้ม และสัมพันธ์กับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง Beachell (1967) ใช้ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่างเพื่อประเมินค่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งใสตัว ในการปรับปรุงพันธุ์ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำเมื่อหุงสุกแล้ว

Julino และคณะ (1968) ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธี starch-iodine blue test ที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อหาปริมาณอมิโลสอย่างคร่าวๆ ในการเพาะพันธุ์ข้าว โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งข้าวตามปริมาณอมิโลสเป็น 3 กลุ่ม คือ น้อยกว่า 20, 20-25 และมากกว่า 25% ผลปรากฏว่า ข้าวที่มีปริมาณอมิโลส 30% หรือมากกว่า จะให้ค่าสีน้ำเงิน (iodine-blue color) น้อยกว่าระดับที่คาดหวังไว้ (ต่ำกว่าความเป็นจริง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของโมเลกุลอมิโลสที่เกิดเจลภายในเม็ดแป้ง มากกว่าที่จะเกิดจากการสกัดก่อน และเกิดการรีโทรเกรเดชั่นจากสารละลายที่เย็นตัวลง ตามลำดับ และยังพบอีกว่า ขึ้นอยู่กับสภาวะในการทดสอบ (อุณหภูมิและระยะเวลา) อัตราส่วนของน้ำกับข้าวที่ใช้ในการต้ม และคุณสมบัติประจำตัวของข้าว(ปริมาณอมิโลส)

Kurasawa และคณะ (1962) ใช้วิธี starch-iodine blue test ทดลองกับข้าวที่มีลักษณะของขนาดเมล็ดและรูปร่างที่เหมือนกัน ทำการต้มข้าวทั้งเมล็ด ที่อุณหภูมิ 95-97 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ผลปรากฏว่าการทดสอบนี้ให้การตอบสนองมากกว่าการต้มแป้งข้าวที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

Halick และ Keneaster (1956) ได้ทำการทดลองโดยใช้ starch-iodine blue test ในการทดสอบเพื่อบ่งชี้คุณภาพของข้าวสารขาว โดยนำตัวอย่างข้าวมาต้มที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที และนำสารละลายที่ได้จากการต้มมาทำปฏิกิริยากับไอโอดีนในสภาวะกรด เพื่อให้สารประกอบที่มีสีมีความเสถียรมากขึ้น วัดค่าความเข้มของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง photoelectric colorimeter จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ ที่ดีระหว่างการทดสอบ starch-iodine blue test กับการทดสอบการหุงต้มจริงๆ (actual cooking tests) โดยจากการทดสอบ starch-iodine blue test ทำให้ได้สารละลายสีน้ำเงิน ซึ่งถ้ามีความเข้มของสีมากๆ แสดงว่าคุณภาพของข้าวไม่ดี และถ้าสีของสารละลายยิ่งมีความเข้มน้อย แสดงว่าคุณภาพของ ข้าวดี จุดเด่นของวิธีทดสอบนี้คือสะดวกและรวดเร็ว การทดสอบด้วยไอโอดีนนี้จะให้การตอบสนองมากกว่าวิธีอื่นๆ และสามารถแยกแยะคุณลักษณะของข้าวได้ว่า มีคุณลักษณะการหุงต้มที่ดี ปานกลาง หรือไม่ดี นอกจากนี้ยังรายงานอีกว่า ระยะเวลาในการหุงต้ม ขนาดรูพรุนของกระดาษกรอง และขนาดของตัวอย่าง มีผลต่อค่า transmission ที่วัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Hall และ Jimmy (1966) ได้ทำการทดลองหาปริมาณอมิโลสในแป้งข้าว โดยวิธี starch-iodine blue test ที่อุณหภูมิ 95.5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที เพื่อศึกษาผลของการเตรียมตัวอย่างที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ พบว่า ขนาดของแป้งข้าวมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ โดยที่ขนาดของอนุภาคแป้งข้าวยิ่งเล็กเท่าไหร่ ก็ยิ่งมีความถูกต้องมากหรือมีความแปรปรวนน้อยกว่าขนาดของอนุภาคแป้งข้าวที่ใหญ่กว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved