บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนกว่าครึ่งโลก เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนเปลือกที่ห่อหุ้มอยู่ภายนอก ถัดเข้าไปจะเป็นชั้นรำที่เป็นเยื่อบาๆ ห่อหุ้มเม็ดข้าวขาวและจมูกข้าวไว้ ตัวเม็ดข้าวขาวที่เราบริโภคกันประกอบขึ้นจากโมเลกุลของแป้งที่อัดกันแน่นเป็นนุภาคเล็กๆ นับล้านล้านอนุภาค และส่วนของจมูกข้าวจะอยู่ปลายเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนของต้นอ่อนที่จะเจริญงอกงามเป็นต้นข้าวต่อไป ในจมูกข้าวหรือคัพภะของข้าวนี้เป็นแหล่งของเอนไซม์ วิตามินและเกลือแร่ที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด สำหรับส่วนของรำข้าวนั้นเป็นชั้นที่อุดมด้วยไขมันรำข้าว โปรตีน กากใยอาหาร และวิตามิน ซึ่งเป็นที่น่าเสียดายที่เทคโนโลยีการขัดสีข้าวสมัยใหม่ได้ขัดเอาชั้นรำสีคล้ำๆ นี้ทิ้งไปพร้อมกับจมูกข้าวเหลือแต่ข้าวขาวที่เป็นแป้งล้วนๆ ให้เรารับประทานกัน ผลของการขัดสีข้าวทำให้วิตามิน บี 1 วิตามินบี 3 และวิตามินบี 6 หายไปถึงร้อยละ 90 ธาตุแมงกานีสและฟอสฟอรัสหายไปร้อยละ 50 ธาตุเหล็กหายไปร้อยละ 60 ส่วนกากใยอาหารหายไปเกือบทั้งหมด

การจำแนกชนิดข้าว

ข้าวสามารถจำแนกได้ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

1. ข้าวเหนียว (Glutinous rice หรือ Waxy rice) เมล็ดข้าวสารจะมีลักษณะขุ่น มีอะไมโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณร้อยละ 0.2 และมีอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกจะนุ่มจับตัวติดเหนียวเป็นก้อนได้และมีลักษณะใส มีแป้งอะไมโลสอยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

2. ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส มีปริมาณอะไมโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณร้อยละ 20-34 ที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน ซึ่งมีผลให้ข้าวสารที่นำไปหุงเป็นข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่น มีลักษณะร่วนไม่เกาะติดกัน

อัตราส่วนของส่วนประกอบทางเคมีทั้งสองชนิดนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้มที่ต่างกัน คือ ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ ส่งผลให้ข้าวสุกมีลักษณะร่วน ส่วนข้าวที่มีอะไมโลสต่ำจะดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวที่มีอะไมโลสสูง ข้าวจะเหนียวและนุ่มกว่า

องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด caryopsis เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ห่อหุ้ม เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas)

2. ส่วนที่รับประทานได้ เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) หรือเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้ว ประกอบด้วย

2.1 เยื่อหุ้มผล (pericarp) หรือ fruit coat ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp mesocarp และ endocarp ซึ่งเยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจาก pericarp เข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน (fatty material)

2.3 เยื่อแอลิวโรน (aleurone) อยู่ต่อจาก tegmen ห่อหุ้ม ข้าวสาร (starchy endosperm) และ คัพภะ (embryo) ชั้นแอลิวโรนมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยไขมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

2.4 ส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารอยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ อะไมโลเปคติน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น branch chain และอะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น linear chain สำหรับส่วนประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิด มีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดข้าว ในข้าวเหนียวจะมีอะไมโลสอยู่ประมาณร้อยละ 0-2 ส่วนที่เหลือเป็นอะไมโลเปคติน ข้าวเจ้ามีอะไมโลสมากกว่าคือประมาณร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักข้าวสาร

2.5 คัพภะ (embryo) อยู่ติดกับ endosperm ทางด้าน lemma เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป embryo ประกอบด้วยต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

แป้ง (Starch) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่จัดอยู่ในกลุ่มโฮโมโพลีแซคคาไรด์ (homo-polysaccharide หรือ homoglycans) พบในรูปของหน่วยอิสระเป็นเม็ดเล็กๆ อัดกันแน่น เรียก เม็ดแป้ง (starch granule) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเป็นโมโนแซคคาไรด์เพียงชนิดเดียวแต่เชื่อมต่อกันเป็นสายโพลิเมอร์ 2 แบบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้ง คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะอยู่ในรูป Helix ซึ่งสตาร์ชจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพที่แตกต่างกันไปบ้างดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมี–กายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	สตาร์ชข้าวเจ้า	สตาร์ชข้าวเหนียว
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล ($^{\circ}$C)	58 – 79	58 – 78.5
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	1.6 – 8.7	1.9 – 8.1
ความหนาแน่น (แทนที่โดยไลซีน), กรัม/มิลลิกรัม	1.46 – 1.51	1.48 – 1.50
ความสามารถในการจับไอโอดีน (ร้อยละ)	2.36 – 6.96	0.15 – 0.86
โปรตีนที่เหลืออยู่ (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	0.02 – 0.12	0.01 – 1.64

ที่มา : อรอนงค์, 2539.

ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต

รำข้าว

การผลิตข้าวเหนียวส่วนใหญ่ผลพลอยได้ที่ออกมาจากกระบวนการขัดขาว ได้แก่ รำข้าว คือ ส่วนประกอบของเนื้อเยื่อสีน้ำตาลที่อยู่ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด (hull) หรือแกลบ (hull) ประกอบด้วย เยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen) และเยื่ออัลลูโรน (aleurone later) และจมูกข้าว (germ) ที่ถูกขัดออกในระหว่างกระบวนการขัดสีข้าว (milling) ในกระบวนการขัดสีที่รุนแรงอาจมีบางส่วนของเอมบริโอ (embryo) เกิดการแตกหักและสตาร์ชส่วนนอกของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) หลุดปะปนออกมารวมกับรำข้าว โดยทั่วไปจะแบ่งรำเป็นสองส่วนคือ รำหยาบ (bran) ได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้องรำนี้จะมีสีน้ำตาล และรำขาวหรือรำละเอียด (white bran หรือ polish) ได้จากการขัดขาวและขัดมัน โดยในรำหยาบจะมีโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า แร่ธาตุที่จำเป็น และวิตามินบางชนิดมากกว่ารำละเอียด ยกเว้นคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นจึงมีการนำรำข้าวไปสกัดน้ำมัน โปรตีน และสารอาหารอื่นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นจากเดิมที่ใช้เป็นอาหารสัตว์เท่านั้น ซึ่งรำข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพดีแล้วสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารได้หลายชนิด และการที่รำเป็นแหล่งของสารอาหารต่างๆ ที่มีปริมาณมากกว่าส่วนอื่นของเมล็ดข้าว รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการขัดสีข้าว ปริมาณของโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ได้จากกระบวนการขัดสีข้าวนับจากการกะเทาะเปลือกหุ้มแข็ง (แกลบ) ออกไปแล้ว จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและสภาวะแวดล้อมที่ปลูกจนถึงกรรมวิธีในการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง การขัดขาวและการขัดมันให้ได้ข้าวสารขาวและมันวาว

คุณค่าทางอาหารและสารสำคัญในรำข้าว

รำข้าวมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญหลายอย่าง ในข้าวกล้องมีคาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ไขมันให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย เส้นใยช่วยเพิ่มกากอาหารทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูกและการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ วิตามินบี 1 (Thiamin) ช่วยป้องกัน โรคเหน็บชา ช่วยการทำงานของระบบประสาทเป็นไปอย่างมี ประสิทธิภาพ วิตามินบี 2 (Riboflavin) ป้องกันปากนกกระจอก ช่วยเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (Niacin) ช่วยในการทำงานของระบบผิวหนังและระบบประสาท แคลเซียม - ฟอสฟอรัส บำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรง เหล็กช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง (ตารางที่ 2.2) นอกจากนั้นยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น GABA, gamma-oryzanol และแอลฟา-โทโคเฟอรอล (ตารางที่ 2.3) เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบและรำละเอียดจากข้าว

องค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น 14%)	รำหยาบ	รำละเอียด
โปรตีน (%N×6.25)	12.0-15.6	11.8-13.0
ไขมัน (%)	15.0-19.7	10.1-12.4
เส้นใยหยาบ (%)	7.0-11.4	2.3-3.2
คาร์โบไฮเดรต (%)	34.1-52.3	51.1-55.0
เถ้า (%)	6.6-9.9	5.2-7.3
เกลือแร่		
แคลเซียม (mg/g)	0.3-1.2	0.5-0.7
แมกนีเซียม (mg/g)	5-13	6-7
ฟอสฟอรัส (mg/g)	11-25	10-22
ไฟทิน ฟอสฟอรัส (mg/g)	9-22	12-17
ซิลิกา (mg/g)	6-11	2-3
สังกะสี (mg/g)	43-258	17-60
วิตามิน		
ไทอะมิน (mg/g)	12-24	3-9
ไรโบเฟลวิน (mg/g)	1.8-4.3	1.7-2.4
ไนอะซิน (mg/g)	267-499	224-389

ที่มา : Luh and Benedito de Barder (1991)

ตารางที่ 2.3 การสะสมวิตามินในรำข้าวและข้าวสาร

ส่วนของข้าว	% การสะสมของวิตามิน (ต่อ 100% ของวิตามินทั้งหมด)			
	ไทอะมิน	ไรโบเฟลวิน	ไนอะซิน	แอลฟา-โทโคเฟอรอล
รำ	78	47	67	95
รำขัดขาว (bran)	65	39	54	-
รำขัดมัน (polish)	13	8	13	-
คัพภะ	-	-	-	95
ข้าวสาร	22	53	33	5

ที่มา : Juliano (1995)

สรีระของเมล็ดข้าว

การพัฒนาของเมล็ดข้าว

การพัฒนาของเมล็ดข้าวเกิดจากการผสมเกสร (pollination) และการผสมพันธุ์ (double fertilization) การผสมเกสรอาจเกิดก่อนหรือหลังดอกบานเล็กน้อย ดอกข้าวจะบานหลังรวงข้าวโผล่พ้นกาบใบธงได้ 1-2 วัน และเริ่มบานจากปลายลงมาหาโคนรวงใช้เวลาประมาณ 7 วันจึงจะบานครบทุกดอก การผสมเกสรเริ่มจากอับเกสรตัวผู้ปล่อยละอองเกสรตกลงบนพู่รับละอองเกสร หลังจากการ

ผสมเกสรจะเกิดการผสมพันธุ์ โดยละอองเกสรตัวผู้จะส่งเชื้อเพศผู้หรือสเปิร์มนิวเคลียสลงไปตามก้านพู่เพื่อผสมกับเชื้อเพศเมีย สเปิร์มนิวเคลียสหนึ่งตัวเข้าไปผสมกับไข่แล้วเจริญต่อไปเป็นคัพภะ ส่วนสเปิร์มนิวเคลียสอีกหนึ่งตัวจะผสมกับโพลาร์นิวคลีไอ (polar nuclei) แล้วเจริญต่อไปเป็นเนื้อเมล็ดข้าว ซึ่งใช้ระยะเวลาทั้งหมดประมาณ 12-24 ชั่วโมง (ชาญ มงคล, 2536) การพัฒนาเมล็ดข้าวแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ

1.1 ระยะข้าวน้ำนม ใช้เวลาประมาณ 7 วัน หลังผสมเกสรและผสมพันธุ์ ระยะต้นๆ ลักษณะภายในของเมล็ดข้าวจะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม เปลือกของเมล็ดมีสีเขียว

1.2 ระยะข้าวเม่า หรือเป็นไต หรือเป็นโด (dough stage) ใช้เวลาประมาณ 14-21 วัน หลังผสมเกสร เปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเริ่มแข็ง มีสีเขียวอมเหลืองหรืออมน้ำตาล เนื้อในเมล็ดซึ่งเป็นน้ำนมจะมีน้ำน้อยลง เหนียวและแข็งขึ้นตามลำดับ

1.3 ระยะเมล็ดแก่เต็มที่ หรือระยะเก็บเกี่ยว (maturation stage) ใช้เวลาประมาณ 30 วันหลังผสมเกสร เมล็ดมีโครงสร้างสมบูรณ์เต็มที่ทั้งขนาดและความแข็งของเปลือก สีเปลือกที่สุกที่เต็มมีสีน้ำตาลทอง เหลืองทอง อาจมีสีน้ำตาลเข้ม น้ำตาลม่วง น้ำตาลดำ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ส่วนเนื้อของเมล็ดมีสีขาว

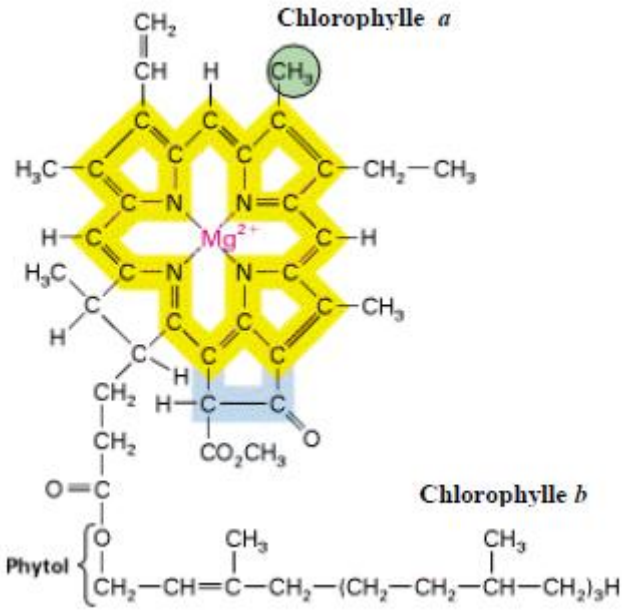
สารสี (pigment) ในข้าว

สารสีของเปลือกและเมล็ดข้าว ประกอบด้วยสารสีหลายประเภทตามขั้นตอนการพัฒนาของเมล็ด โดยมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระยะข้าวน้ำนมที่มีสีของเปลือกเมล็ดเป็นสีเขียว ซึ่งสารสีเขียวนี้เป็นสารสีกลุ่มคลอโรฟีลล์ (chlorophyll pigment) เมื่อเข้าสู่ระยะข้าวเม่าเปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมเหลืองอมน้ำตาลของสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid pigment) จากนั้นเมื่อเมล็ดแก่เต็มที่สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทอง เหลืองทอง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลม่วง น้ำตาลดำ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวซึ่งสารสีที่พบคือสารสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigment) (Reddy *et al*., 1995) สำหรับเมล็ดข้าว เนื้อในเมล็ดมีสีขาว ส่วนผิวของเมล็ดข้าวในส่วนเยื่อหุ้มผล มีสารสีเป็นส่วนประกอบทำให้ข้าวกล้องมีสีเหลืองอ่อน น้ำตาล แดง และม่วงเข้ม ซึ่งสารสีน้ำตาล แดง และม่วงเข้ม เป็นสารสีของแอนโทไซยานินเช่นกัน (Reddy *et al*., 1995) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดขาวนานมากหรือใช้แรงกดมาก เพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออก เป็นผลให้ข้าวหักมากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดน้อย ข้าวกล้องที่มีสีอ่อนเป็นที่นิยม เช่น เหลือง หรือน้ำตาล (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้องนั้นเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non enzymatic) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนอิสระ อัลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งพบมากบริเวณชั้นนอกของข้าวสารโดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารวมทั้งอาจเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของสารสีจากบริเวณชั้นอลูโรนที่ไปยังเอนโดสเปิร์ม (Bason *et al*., 1990) และสารสีจากเปลือก ซึ่งส่วนเปลือกจะมีสารสีในกลุ่ม คลอโรฟีลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ที่อาจจะละลายน้ำออกมาได้และซึมผ่านเข้าไปในส่วนของเอนโดเสปริ์มในระหว่างการแช่ข้าวเปลือก สารสีที่สำคัญ ได้แก่

1. คลอโรฟีลล์

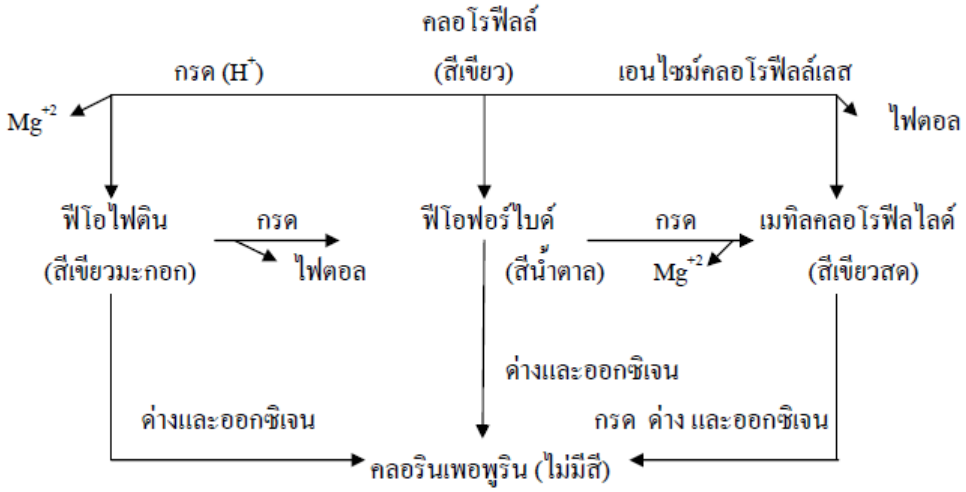
คลอโรฟีลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบในพืชทั่วไป คลอโรฟีลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟีลล์เอและบี สำหรับคลอโรฟีลล์ที่พบในพืชสีเขียวชั้นสูงจะมีอัตราส่วนของคลอโรฟีลล์เอต่อ

คลอโรฟิลล์บีประมาณ 3 : 1 คลอโรฟิลล์เอ มีสูตรโครงสร้างเป็นเตตระไพโรล ซึ่งวงแหวนพอร์ไฟรินอยู่ในรูปไดไฮโดร มีแมกนีเซียมเติมอยู่ตรงกลางโมเลกุล มีหมู่เมทิลที่ตำแหน่ง 1 3 5 และ 8 มีหมู่ไวนิล (vinyl) ที่ตำแหน่ง 2 หมู่เอทิลที่ตำแหน่ง 4 หมู่โพรพิโอเนต (propionate) ที่ตำแหน่ง 7 ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยไฟติลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) มีหมู่คีโต (keto) ที่ตำแหน่ง 9 และมีหมู่คาร์โบเมทอกซี (carbomethoxy) ที่ตำแหน่ง 10 ทำให้คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ (ภาพที่ 2.1) ไฟติลแอลกอฮอล์หรือไฟตอล (phytol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม โครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) (Clydesdale and Franceis, 1976)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และไฟตอล
ที่มา : Clydesdale and Franceis (1976)

เมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization โดยแมกนีเซียมไอออนถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งมีสีน้ำตาล (olive-brown) (ภาพที่ 2.2) ในเปลือกของข้าวคลอโรฟิลล์ค่อยๆ สลายตัวเมื่อแก่เต็มที่ และปรากฏสารสีของแคโรทีนอยด์ขึ้นมาอย่างเด่นชัด

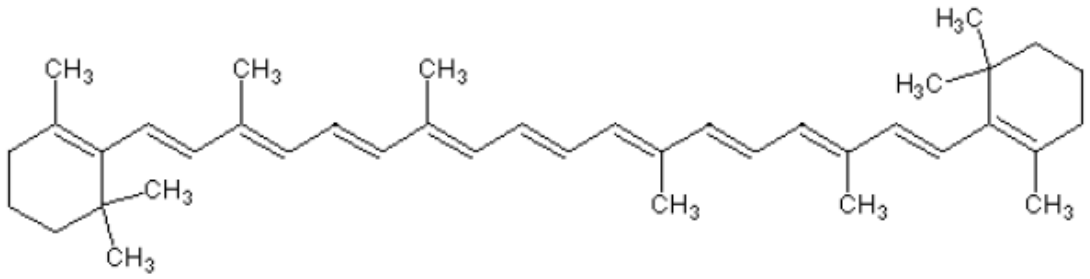


ภาพที่ 2.2 การสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมในโครงสร้างของคลอโรฟีลล์
ที่มา : Von Elbe and Schwartz (1996)

2. แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เป็นรงควัตถุที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ สีของแคโรทีนอยด์ผันแปรไปตามจำนวนของพันธะคู่ (conjugated double bond) ในโมเลกุล ถ้ามีจำนวนพันธะคู่มากทำให้มีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุดมี 7 คู่ ซึ่งให้สีเหลือง พันธะคู่อาจอยู่ในรูป *cis* หรือ *trans* ก็ได้ แต่แคโรทีนอยด์ที่พบในพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูป all-trans อาจพบ cis บ้างเป็น mono-*cis* หรือ di-*cis* แต่น้อยมาก แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป all-*trans* มีสีเข้ม ถ้ามีจำนวนพันธะคู่ที่อยู่ในรูป *cis* เพิ่มมากขึ้นทำให้สีจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจาก *trans* เป็น *cis* คือ แสง ความร้อน และกรด เมื่อได้รับความร้อนจะเกิด *trans-cis* isomerization ได้ หากอยู่ในรูป *cis* มากขึ้นทำให้แคโรทีนอยด์สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Von Elbe and Schwartz, 1996)

การเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ ระหว่างได้รับความร้อนคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเสื่อมสลายหรือชราภาพ (senescence) ของผักและผลไม้ เช่น การทำสับปะรดกระป๋องความร้อนในกระบวนการแปรรูปทำให้เกิดกรด ซึ่งเปลี่ยนแคโรทีนอยด์เป็น *cis* isomer โดยปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ของแคโรทีนอยด์ทำให้มีสีจางลง (Von Elbe and Schwartz, 1996) การทำ extrusion แป้งข้าวโพดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดสารสีที่มีสเปกตรัมของ 15-*cis*-β-carotene (Deman, 1990)

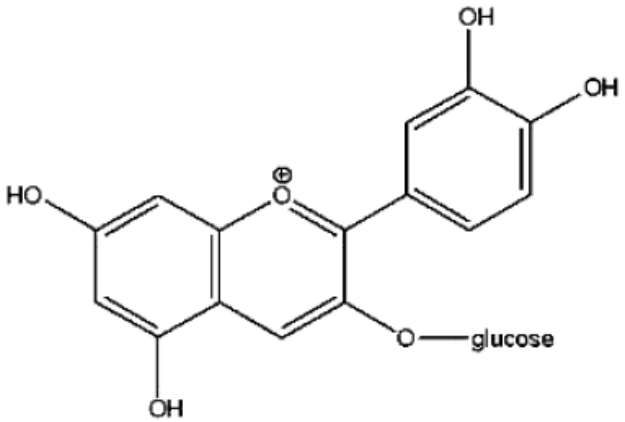


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ β-Carotene
ที่มา : Lee (1975)

3. แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารสีในกลุ่มฟลาโวนอยล์ที่ละลายในน้ำ พบในแวคิวโอลของเซลล์ในชั้น epidermis ของพืช ทำให้เกิดช่วงสีแดง ม่วง และน้ำเงินขึ้นอยู่กับชนิดของพืชนั้นๆ โดยถูกบดบังด้วยสีเขียวและสีเหลืองของคลอโรฟีลล์และคาโรทีนอยด์ในขณะที่พืชยังอ่อนหรือไม่บริบูรณ์ (immature) เมื่อข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ปริมาณคลอโรฟีลล์ที่เปลือกลดลง และมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นระหว่างการชราภาพทำให้เกิดสีแดง ม่วง และน้ำเงิน บริเวณเปลือกข้าวและชั้นอลูโรน

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบ glycoside ของ anthocyanidine ซึ่งเชื่อมต่อกับน้ำตาล 1 ตัวหรือมากกว่า 1 ตัว น้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบของโมเลกุลแอนโทไซยานินมี 5 ชนิด คือ glucose, rhamnose, galactose, xylose และ arabinose มักมีโมเลกุลน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 3 แอนโทไซยานิดินที่สำคัญ มี 6 ชนิดคือ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin สำหรับรูปของแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดในพืชคือ cyanidin-3- rutinoside (Mazza and Maniati, 1993)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้าง flavylium cation
ที่มา : Mazza and Maniati (1993)

แอนโทไซยานินที่พบในพืชมีคุณสมบัติที่ไม่เสถียรโดยมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะปัจจัยต่างๆ เช่น แสง ออกซิเจน ความร้อน พีเอช เอนไซม์ในกลุ่มเปอร์ออกไซด์ ไอออนของโลหะ โมเลกุลของน้ำตาล ฟีนอล และสารสีอื่นๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแอนโทไซยานินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่ปรากฏขึ้นด้วย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงแอนโทไซยานิน เช่น พีเอช เมื่อข้าวสุกแก่เต็มที่เข้าสู่ระยะบริบูรณ์มีปริมาณกรดลดลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช ซึ่งในสภาพที่เป็นกรดทำให้แอนโทไซยานินมีสีน้ำตาลแดง แต่เมื่อระดับพีเอชสูงขึ้นแอนโท-ไซยานินแสดงออกเป็นสีน้ำตาลเข้ม สำหรับผลไม้มีรายงานจากการศึกษาของ Lee and Wicker (1991) พบว่าสีแดงที่ปรากฏของเปลือกลิ้นจี่เกี่ยวข้องกับความคงตัว (stability) ของโครงสร้างแอนโทไซยานินทั้งนี้อยู่กับพีเอชของเซลล์เป็นหลัก เช่น ผลลิ้นจี่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้สภาวะที่มีการใช้สารเคมีร่วมในการแช่เปลือกข้าวหรือผลไม้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดการฟอก (bleach) สีของแอนโทไซยานิน ถ้าใช้ความเข้มข้นที่ต่ำสีของแอนโทไซยานินอาจเปลี่ยนคืนกลับมาได้ แต่ถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงพบว่าแอนโทไซยานินอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร (Litcher, 2000)

พืชและสมุนไพรที่นำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาจากข้าวเจ้าหอมนิล มาหวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 สถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) ลักษณะประจำพันธุ์ความสูงประมาณ 106 เซนติเมตร อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน เมล็ดเรียวยาว สีม่วงดำ (ภาพที่ 2.5) คุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน แกมมา-โอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี และโฟเลตสูง มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ ประกอบด้วยโอเมก้า 3 อยู่ 25.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรดไขมันจำเป็นมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท ลดระดับคอเลสเตอรอล ธาตุสังกะสี 31.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน รักษาสิว ป้องกันผมร่วง กระตุ้นรากผม ธาตุเหล็ก 13-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจนในร่างกายและสมอง

ภาพที่ 2.5 ลักษณะของข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิหรือข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เป็นพันธุ์ข้าวที่ทำให้ข้าวไทยเป็นสินค้าส่งออกที่รู้จักไปทั่วโลก เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล่า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุและได้ข้าวรวงที่ 105 ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุม เมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการจนได้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 และรัฐบาลประกาศให้ขยายพันธุ์ส่งเสริมการปลูกได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2502 เป็นต้นมา สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสม ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่

ข้าวหอมมะลิมีกลิ่นหอมในตนเอง เป็นกลิ่นของธรรมชาติอันบริสุทธิ์ กลิ่นเหมือนดอกมะลิยามเช้าพร่างหยาดน้ำค้างและปราศจากสารพิษ เวลาเคี้ยวเมล็ดข้าวจะนุ่มหอมอร่อยมากกว่าข้าวอื่นๆ ลักษณะของข้าวหอมมะลิไทยจะมีเมล็ดเรียวยาวสวยงาม สีขาวหรือครีมอ่อนๆ (ภาพที่ 2.6)

ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลายคือพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข.15 ความหอมของข้าวหอมมะลิ เกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyroline ซึ่งเป็นสารที่ระเหยหายไปได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่ การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาข้าวเปลือก การสีข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่สีเรียบร้อยแล้วการจะรักษาความหอมของข้าวเอาไว้ต้องพยายามหลีกเลี่ยงภาวะแวดล้อมที่ร้อน อบอ้าว และมีความชื้นสูง การตากแดดหรือใกล้สถานที่ร้อนจัดเป็นเวลานานๆ เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่งสภาวะที่เหมาะสมคือที่ที่มีอากาศค่อนข้างเย็น มีการถ่ายเทของอากาศดี ความชื้นไม่สูง

ภาพที่ 2.6 ลักษณะของข้าวหอมมะลิ

ทองพันชั่ง

ทองพันชั่งมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Rhinacanthus nasutus* Kurz หรือทองคันชั่ง หรือหญ้ามันไก่ มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 0.5-2 เมตร กิ่งอ่อนและลำต้นมักเป็นเหลี่ยม ส่วนที่ยังอ่อนมักมีขนปกคลุมใบรูปคล้ายรูปไข่หรือวงรี กว้าง 2-4 ซม. ยาว 4-8 ซม. ก้านใบยาว 0.5-1 ซม. ดอกออกเป็นช่อตามซอกกิ่งยาวประมาณ 10 ซม. แต่ละดอกมีสีขาว ผลใหญ่ประมาณ 1 ซม. ผลเป็นผลแห้งแตกได้ มักมีขน (ภาพที่ 2.7) การขยายพันธุ์ใช้ปักชำ ตัดกิ่งแก่ที่มีตาติดอยู่ 2-3 ข้อปลิดใบทิ้ง แล้วนำไปปักชำในดินที่ชุ่มชื้นให้กิ่งเอียงเล็กน้อยขึ้นได้ในดินทั่วไป สรรพคุณรักษาโรคผิวหนัง (ชนิด กลาก เกลื้อน) ทาแก้กลากเกลื้อน การที่ทองพันชั่งสามารถรักษากลากเกลื้อนได้ เพราะน้ำยาที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์จะมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคกลากเกลื้อนได้ ส่วนที่ใช้เป็นยา ได้แก่ ใบสด และรากสด

ทองพันชั่งเป็นไม้ที่พบทั่วไปในประเทศเขตร้อน ส่วนใหญ่นิยมปลูกเป็นไม้ประดับและสวนหย่อมทั่วไป ตามสวนสาธารณะหรือตามบ้านเรือน สามารถขึ้นได้ในดินทั่วไป ชอบดินที่ชุ่มชื้น จึงนิยมปลูกในฤดูฝน ขยายพันธุ์ด้วยการปักกิ่งเพาะชำ โดยการตัดกิ่งแก่แล้วเด็ดใบทิ้ง ปักชำในดินที่ชื้นให้กิ่งเอียงเล็กน้อย

ภาพที่ 2.7 ลักษณะของทองพันชั่ง

อัญชัน

อัญชันมีชื่อชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Clitoria ternatea* L. เป็นไม้เถา ลำต้นมีขนนุ่ม มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ ปลูกได้ทั่วไปในเขตร้อน มีชื่อพื้นเมืองอื่นอีกคือแดงชัน (เชียงใหม่) และเอื้องชัน, เองชัญ (เหนือ) เมื่อคั้นออกมาจะได้เป็นสีฟ้า อัญชันเป็นไม้เลื้อยเนื้ออ่อน อายุสั้น ใช้ยอดเลื้อยพัน ลำต้นมีขนปกคลุม ใบประกอบแบบขนนก เรียงตรงข้ามยาว 6-12 เซนติเมตร มีใบย่อยรูปไข่ 5-7ใบ กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 3-5 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนใบมน ผิวใบด้านล่างมีขนหนาปกคลุม (ภาพที่ 2.8)

ดอกมีสีขาว ฟ้า และม่วง ดอกออกเดี่ยวๆ รูปทรงคล้ายฝาหอยเชลล์ออกเป็นคู่ตามซอกใบ กลีบดอก 5 กลีบ ดอกบานเต็มที่ยาว 2.5-3.5 เซนติเมตรกลีบคลุมรูปกลม ปลายเว้าเป็นแอ่ง ตรงกลางมีสีเหลือง มีทั้งดอกซ้อนและดอกลา ดอกชั้นเดียวกลีบขั้นนอกมีขนาดใหญ่กลางกลีบสีเหลือง ส่วนกลีบชั้นในขนาดเล็กแต่ดอกซ้อนกลีบดอกมีขนาดเท่ากัน ซ้อนเวียนเป็นเกลียว ออกดอกเกือบตลอดปี ผลแห้งแตก เป็นฝักแบน กว้าง 1-1.5 เซนติเมตร ยาว 5-8 เซนติเมตร เมล็ดรูปไต สีดำ มี 5-10 เมล็ด มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียเขตร้อน ก่อนจะถูกนำไปแพร่พันธุ์ในแอฟริกา ออสเตรเลีย อเมริกา ลาว ไทย และเวียดนาม

ภาพที่ 2.8 ลักษณะของอัญชัน

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์พบว่า ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาจากส่วนต่างๆ ของอัญชันเป็นจำนวนมาก มีการทดสอบในสัตว์ทดลองสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ได้จากส่วนลำต้นเหนือดิน ใบ ดอก และรากของอัญชันมีฤทธิ์กระตุ้นการเรียนรู้และความจำ ช่วยคลายความเครียดและวิตกกังวล มีฤทธิ์ช่วยในการนอนหลับ ลดระดับน้ำตาลในเลือด แก้ไข้ แก้ปวด และต้านการอักเสบ (Daisy *et al*., 2009) รวมถึงการใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอาง มีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าสารสกัดเอทานอลจากดอกอัญชันมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ 5α-reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ยับยั้งการเจริญของเส้นขน และมีฤทธิ์กระตุ้นการงอกของเส้นขนของหนู (Zingare *et al*., 2013) นอกจากนั้นสารสกัดเมทานอลจากดอกอัญชันยังมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ tyrosinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเซลล์เม็ดสีเมลานิน และกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ melanocyte เมื่อทำการทดสอบในหลอดทดลอง (Kumar *et al*., 2012) และในการทดสอบฤทธิ์ของอัญชันในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับบำรุงผิวพบว่ามีการนำสารสกัดน้ำและสารสกัดเอทานอล

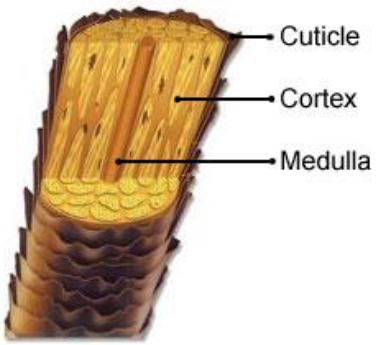
จากดอกอัญชันไปเป็นส่วนประกอบในเจลสำหรับทารอบดวงตา ซึ่งจะได้ประโยชน์จากฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ (กฤตติญารัตน์ สมวงศ์ และชุตินันท์ ประสทธิ์ภูริปริชา, 2555)

โครงสร้างของผม

ผมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือเส้นผม (Hair Shaft) เป็นส่วนที่งอกเหนือศีรษะและรากผม (Hair Root) เป็นส่วนที่ฝังอยู่ใต้หนังศีรษะ (ภาพที่ 2.9)

1. เส้นผม (Hair Shaft) เป็นเซลล์ส่วนที่ตายแล้ว ไม่มีชีวิตและความรู้สึก เป็นส่วนที่งอกยาวออกมาปกศีรษะเมื่อนำมาตัดตามขวางพบว่าแบ่งส่วนประกอบเป็น 3 ชั้น ได้แก่

1.1 ชั้นนอกหรือชั้นคิวติเคิล (Cuticle) มีลักษณะโปร่งแสงไม่มีสีที่เรียงซ้อนคล้ายเกล็ดปลาผายออกรอบเส้นผมประกอบด้วยเคราตินชนิดแข็ง (Hard Keratin) ผมมีความแข็งแรงช่วยป้องกันการซึมผ่านของสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปทำลายเส้นผมและปกป้องเนื้อผม Cuticle จะเปิดก็ต่อเมื่อมีความร้อนความชื้นทั้งจากธรรมชาติและเคมีบางตัวเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นผม



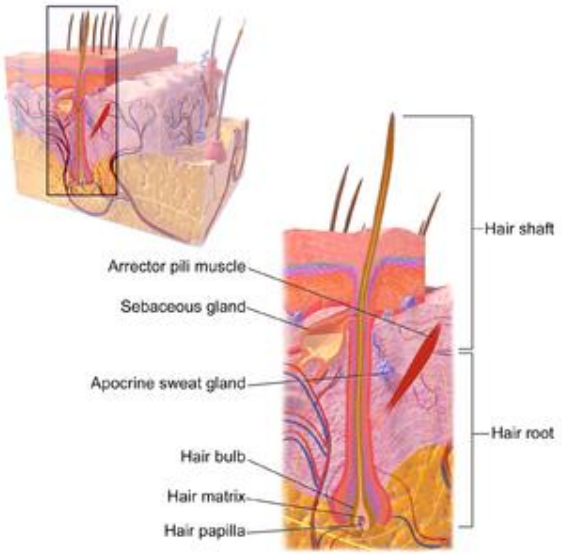
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของผม
ที่มา : Braisdell and Lenard (2015)

1.2 เนื้อชั้นนอก (Cortex) เป็นชั้นที่มีความหนาที่สุด ประกอบด้วยเซลล์รูปกระสวยล้ายเส้นใยเรียงอัดกันแน่นตามยาว เนื้อผมชั้นนอกเป็นแหล่งรวมของเม็ดสี (pigment) เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นตัวกำหนดสีผม มีช่องอากาศ (air space) โปรตีน เคราติน และเส้นใยโปรตีนที่เกาะเกี่ยวกันกำหนดโครงสร้างตามธรรมชาติช่วยให้ผมมีความนิ่ม ยืดหยุ่น

1.3 ชั้นใน (Medulla) ซึ่งเป็นแกนของเส้นผม ประกอบด้วยเซลล์ลูกเต๋าเรียงกันอยู่จำนวน 3 -4 ชั้นภายในมีคีราโตไฮยาลิน (Keratohyyalin) ไขมันและช่องอากาศแทรกอยู่ในเส้นผมของคนทั่วไปๆ ซึ่งเป็นเส้นผมที่แข็งแรงเกิดจากชั้นในมีเซลล์ที่มีนิวเคลียส (Nucleus Cell) เรียงกันแน่นและจำนวนนิวเคลียสลงเมื่อขึ้นมาทางปลายเส้นผม ซึ่งมีจำนวนเซลล์ลดลง

2. รากผม (Hair root) เป็นส่วนที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อของหนังศีรษะซึ่งมีรูปทรงเหมือนหลอดปากแคบ เรียกว่า ต่อมรากผม (hair follicle) ตอนล่างสุดของรากผมมีลักษณะโป่งออกเป็นกระเปาะเปิดเป็นโพรงเว้าเข้าด้านในรูปร่างคล้ายคีม เรียกว่า hair bulb รากผมตั้งอยู่บนฐานซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อ (connective tissue) ลักษณะคล้ายนิ้วมือยื่นเข้าไปในโพรงของ hair bulb เรียกว่าปุ่มปลายแหลม

(papilla) (ภาพที่ 2.10) ดังนั้นต่อมรากผมแต่ละต่อมจะมีปุ่มปลายแหลม 1 อันเสมอปุ่มนี้ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของเส้นผมเพราะเป็นส่วน ที่มีโลหิตและเส้นประสาทมาเลี้ยงทำให้เซลล์รากผมมีการเจริญแบ่งตัว เกิดเซลล์ใหม่ของผมขึ้นเรื่อยๆ คนที่หัวล้านมีสาเหตุมาจากเซลล์ของปุ่มปลาย แหลมนี้ตายหรือฝ่อไป ผมจะขาดอาหารและหลุดร่วงโดยไม่มีการงอกใหม่ทุกๆ ของต่อมรากผม จะมีต่อมน้ำมัน (sebaceous gland) มาต่อและหุ้มห่อไปจนสุดที่ปากรูขุมขน เพื่อสร้างน้ำมัน (sebum) ออกมาหล่อลื่นทำให้เส้นผมอ่อนนุ่ม มันเงา ดังนั้นคนที่ผมแห้งมีสาเหตุมาจากต่อมน้ำมันสร้างน้ำมันออกมาน้อยเกินไป ในทางตรงกันข้ามถ้าต่อมน้ำมันทำงานมากเกินไปจะทำให้เส้นผมมีสภาพที่เรียกว่า ผมมัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของรังแคน้ำมัน (oil dandruff) ได้



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของรากผม
ที่มา : Braisdell and Lenard (2015)

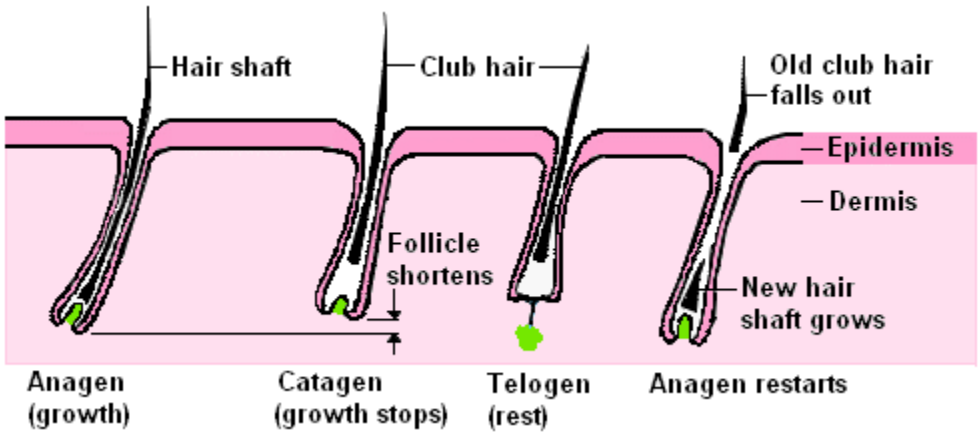
วงจรการเจริญเติบโตของเส้นผม (Hair growth cycle)

วงจรการเจริญเติบโตของเส้นผมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะได้ดังนี้

1. ระยะการเจริญเติบโต (Anagen Phase) เป็นช่วงการงอกเต็มที่ (active phase) ของเส้นผม ในช่วงนี้เป็นการกำหนดความยาวของเส้นผมและเป็นผมที่มีโครงสร้างสมบูรณ์ของผมบนศีรษะจะมีอยู่ 80-85% เส้นผมแต่ละเส้นมีอายุนานถึง 3 ปี

2. ระยะหลุด (Catagen Phase) เป็นระยะที่เส้นผมหยุดการเจริญเติบโตเตรียมที่หลุด โดยรากผมจะแยกตัวจากปุ่มปลายแหลม แต่ยังมีชีวิตและได้รับอาหารอยู่ตลอดเวลา มีช่วงอายุประมาณ 10-15 วัน

3. ระยะพัก (Telogen Phase) เป็นช่วงที่ผมแก่และพร้อมที่จะร่วงหลุดออกได้โดยค่อยๆ เคลื่อนขึ้นมาที่ผิวเรื่อยๆ ขณะเดียวกันจะมีสร้างผมเส้นใหม่ขึ้นมาแทนที่ โดยมีวงจรการเจริญเติบโต ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 วงจรการเจริญเติบโตของเส้นผม
ที่มา : Cohen (2013)

สีของเส้นผม (Color of Hair)

การเกิดสีผมขึ้นกับ Melanin pigment ซึ่งจะพบเซลล์เมลาโนไซต์ ที่มีส่วนของ Dermal papilla สามารถแบ่ง Melanin pigment ได้ 2 ประเภท คือ (Cohen, 2013)

1. Eumelanin มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ทำให้เส้นผมมีสีน้ำตาลถึงดำ

2. Pheomelanin มีลักษณะเป็นเม็ดรี ทำให้เส้นผมเป็น สีทอง สีแดงและ สีเหลืองออกแดง สีของผม นอกจากจะขึ้นกับชนิดของ Melanin แล้วยังขึ้นกับปริมาณ ขนาด รูปร่าง และการกระจายของเม็ดสีใน Hair cortex จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการย้อมหรือสารบางชนิดเคลือบเส้นผมอยู่

สภาพทางเคมีของเส้นผม

สภาพทางเคมีของเส้นผม ประกอบด้วย

โปรตีนของเส้นผมประกอบด้วย โปรตีน 65–95% ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในชั้นของ Cortex โดยอยู่ในรูปของ Keratin ซึ่งทนต่อกรด–ด่างที่เจือจาง ไม่ละลายน้ำหรือสารละลายอินทรีย์ที่ไม่ย่อยด้วย Pepsin หรือ Trypsin

Keratin ประกอบด้วยพันธะ 3 ชนิด คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ซึ่งต่อเชื่อมระหว่าง NH และ C = O ของกรดอะมิโนเป็นพันธะอ่อนๆ ซึ่งให้ความแข็งแรงแก่เส้นผม การทำลายพันธะนี้ทาให้เส้นผมอ่อนตัวลง เช่น น้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในพันธะนี้ทำให้เส้นผมพองตัวและอ่อนตัวลงได้

2. พันธะเกลือ (Salt linkages) เป็นพันธะระหว่าง Acidic และ Basic group ของ Amino side chain

3. พันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bonds) เป็นพันธะที่เชื่อมระหว่างปลายโมเลกุลของ Cystine 2 โมเลกุล เป็นพันธะที่แข็งแรงมาก แต่สามารถทำลายได้ในสภาวะด่างแก่ที่มีสารรีดิวเซอร์อยู่ด้วย พันธะนี้มีความสำคัญในกระบวนการย้อมผมและดัดผม

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ย้อมผม

ผลิตภัณฑ์ย้อมผมหรือปิดสีผมที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์ย้อมผมหรือปิดสีผมชนิดชั่วคราว มีส่วนประกอบของสีที่รับรองแล้ว ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลใหญ่ สีนี้เคลือบบนชั้นนอกของเส้นผม มักจะล้างออกหลังจากสระผมด้วยแชมพูครั้งแรกหรือครั้งที่สอง ผลิตภัณฑ์ทางการค้า ได้แก่ คัลเลอร์ รินส์ (Color rinse) มีหลักการใช้โดยสระผมแล้วซับน้ำให้แห้งแล้วทาคัลเลอร์รินส์ลงบนเส้นผม อาจเริ่มจากผมบริเวณท้ายทอย หวี หรือแปรงให้ทั่ว ไม่ต้องล้างออกหรืออาจทิ้งไว้ประมาณ 2–5 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำอุ่น ซึ่งทั้งนี้ต้องปฏิบัติตามวิธีใช้ ดินสอทาสีผม (Hair Crayons) ใช้สำหรับปกปิดเส้นผมที่เริ่มหงอกหรือตกแต่งผมที่งอกออกมาใหม่หลังการย้อม วิธีการใช้ทาโดยให้ปลายของแท่งดินสอนี้เปียกน้ำ แล้วทาตลอดบนเส้นผมหงอกเริ่มตั้งแต่หนังศีรษะ เนื่องจากดินสอทาสีผมประกอบด้วยไขมัน ดังนั้นการย้อมผมครั้งต่อไปต้องแน่ใจว่าล้างเอาไขมันออกจากเส้นผมหมดสิ้น ส่วนสีพ่นสำหรับผม (Color Sprays) มักบรรจุในกระป๋องฉีดพ่น มีสีเงิน สีทอง และสีอื่นๆ ไว้สำหรับใช้ในกรณีพิเศษ

2. ผลิตภัณฑ์ย้อมผมชนิดกึ่งถาวร มีส่วนประกอบเป็นสี ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถซึมเข้าไปถึงชั้นกลางเส้นผมได้ สีจะคงทนได้นาน 3-5 อาทิตย์ ขณะนี้กาลังเริ่มจะเป็นที่นิยมได้แก่ แชมพูย้อมสีผม โลชั่น และโฟมย้อมสีผม

3. ผลิตภัณฑ์ย้อมผมชนิดถาวรติดทนบนเส้นผมอย่างถาวร ทนทานต่อการสระด้วยแชมพู การแปรงและอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เคลือบสีผม (Coating Tints) สีจะสะสมบนชั้นนอกของเส้นผมเท่านั้นและแบ่งออกเป็น

3.1 สมุนไพรย้อมผม (Vegetable Dyes) สีจะเคลือบติดบนเส้นผมคงทน โดยมีผลต่อชั้นนอกสุดของเส้นผม แต่ไม่เปลี่ยนโครงสร้างของเส้นผม ได้แก่ ยาย้อมผมที่มีส่วนผสมของใบจากต้นเฮนน่าให้สีทองและสีแดง

3.2 เกลือโลหะย้อมผม (Metallic Dyes) ได้แก่ ยาเคลือบผมที่มีส่วนประกอบของตะกั่วอะซีเตต เชื่อว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วอะซีเตตและซัลเฟอร์ในเคราตินทำให้เกิดตะกั่วซัลไฟด์เคลือบติดบนเส้นผม ต้องทาซ้ำเพื่อให้ได้สีตามต้องการ

3.3 สีผสม (Compounds dyes) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสมุนไพรย้อมผม และเกลือโลหะย้อมผม

3.4 ยาย้อมผมชนิดซึมเข้าในเส้นผม ประกอบด้วยน้ำยา 2 ขวด โดยขวดที่ 1 อาจเป็นของเหลวหรือครีม มีสารออกฤทธิ์สำคัญ คือ สีออกซิเดชันหรือที่เรียกว่าสีพาราอยู่ในสภาวะด่าง ซึ่งโดยมากใช้แอมโมเนีย มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8 -11 ด่างจะช่วยในส่วนชั้นนอกของเส้นผมบวมและพองขึ้นมา ทำให้สีซึมเข้าไปอยู่ในเส้นผม แต่หากเป็นด่างมากจะเป็นอันตรายต่อเส้นผม เพราะด่างสามารถละลายส่วนชั้นนอกของเส้นผมบางส่วน ทำให้เส้นผมแลดูหยาบกระด้าง นอกจากนี้

ยังมีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิว เพื่อช่วยสีย้อมผมซึมเข้าไปในเส้นผมได้ดี และอาจประกอบด้วยสารที่ทำให้ข้นเพื่อป้องกันสีย้อมผมไหลออกจากเส้นผม เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ (2544: 141) ได้ทำการศึกษาการติดสีผมของสารสกัดจากใบเทียนกิ่ง (*Lawsonia inermis* Linn.) โดยมีวัตถุประสงค์งานวิจัยเพื่อเทียบระหว่างการสกัดร้อนกับการสกัดเย็น และเพื่อทดสอบการติดสีผมขาว วิธีการทดลองจากการนำใบเทียนกิ่ง (*Lawsonia inermis* Linn.) มาล้าง ผึ่งแห้ง บดเป็นผง และทำการสกัดเย็นด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ดังนี้ น้ำ, เอทานอล 95%, เฮกเซน, เฮกไซลีนไกลคอลในน้ำ10%, เฮกไซลีนไกลคอลในน้ำ 20%, โซเดียมคาร์บอเนตในน้ำ 2.5% และโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำ 5% และทำการสกัดร้อนด้วย soxhlet extraction โดยตัวทำละลายชนิดเดียวกับสกัดเย็น หลังจากระเหยแห้งตัวทำละลายอย่างสมบูรณ์ได้สารสกัดที่มีลักษณะเหนียวหนืดสีน้ำตาลในเปอร์เซ็นต์ผลิตผลต่างๆ กัน (2% - 83%) โดยการสกัดร้อนด้วยตัวทำละลายเฮกไซลีนไกลคอลในน้ำ 20% ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงสุด คือ 82.47% รองลงมาคือ การสกัดร้อนและเย็นด้วยโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำ 5% และการสกัดร้อนด้วยโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำ 2.5% โดยให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิต 76.49%, 66.18% และ 63.67% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเทียบระหว่างการสกัดร้อนกับการสกัดเย็นแล้วพบว่า การสกัดร้อนให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงกว่าการสกัดเย็นในทุกตัวทำละลาย เมื่อนำสารสกัดหยาบทั้งหมดที่ได้มาทดสอบการติดสี ผมขาวโดยนำมัดเส้นผมขาวมาล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้งแล้วแช่มัดเส้นผมในสารสกัดหยาบเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดร้อนและเย็นด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ให้เปอร์เซ็นต์การติดสีดีที่สุด

รัชนก แซ่เซง (2549: 57) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรตำรับครีมย้อมสีผมจากสมุนไพรไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรตำรับครีมย้อมสีผมจากสมุนไพรที่ปราศจากสารเคมีอันตรายและมีส่วนผสมของซิลิโคน และเพื่อเพิ่มการติดสีบนเส้นผมทั้งยังช่วยให้ผมลื่นเงางามอีกด้วยและวิธีทดลองโดยการคัดเลือกสมุนไพรที่ให้สีมา 5 ชนิด ได้แก่ กะเม็ง ฝาง เทียนกิ่ง อัญชันและมะเกลือ ซึ่งพบว่าสารสกัดจากอัญชันติดผมได้ง่าย ส่วนมะเกลือไม่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นครีมย้อมสีผมเนื่องจากมีส่วนประกอบของสารที่ทาให้อันตรายต่อดวงตาได้ ทำให้การสกัดสารจากพืช โดยการหมักในแอลกอฮอล์ 95% จากนั้นนำสารสกัดแห้งที่ได้ผสมลงในครีมปริมาณที่เหมาะสมกับสมุนไพรแต่ละชนิด แล้วนำไปทดสอบความคงตัวทางกายภาพในสภาวะTemperature cycles ทดสอบความหนืด ทดสอบการติดสีของครีมที่ใช้เวลาหมัก 1 ชั่วโมง และทดสอบการติดงทนของสีย้อม โดยสระด้วยแชมพูและครีมนวดผมสัปดาห์ละ 3-4 ครั้ง นาน 4 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่าครีมย้อมผมสมุนไพรจากสารสกัดฝางจะให้ผลการติดสีดีที่สุดโดยจะให้สีน้ำตาลแดง สาหรับสารสกัดจากเทียนกิ่งสดจะให้สีน้ำตาลแดงและเทียนกิ่งผงจะให้สีน้ำตาล ส่วนสารสกัดกะเม็งจะติดสีเมื่อปรับค่าพีเอช แต่ติดน้อยมากเมื่อเทียบกับสารสกัดสมุนไพรอื่น

วีรยา ศักดิ์คำดวง และคณะ (2549: 37) ได้ทำการศึกษาการย้อมสีผมจากสารสกัดจากพืชสมุนไพรแทนสีสังเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลในการติดสีผมของสารสกัดด้วยน้ำจากผงแห้งของใบชา (*Camellia sinensis*) ดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) ใบและกิ่งเทียนกิ่ง (*Lawsonia inermis* L.) วิธีการทดลองโดยทำการสกัดโดยต้มส่วนผสมของผงแห้งใบชา ดอกอัญชันและเทียนกิ่งในมีอัตราส่วน 2:2:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ กับน้ำผสมผงกาแฟนาน 15 นาที จากนั้นกรองเอาแต่ของเหลวที่มีความหนืด 14 cps และ pH 4.6 ±0.2 ที่ 300 องศาเซลเซียส ได้เป็นสารสกัดผสม ซึ่งนำไปทดสอบย้อมเส้นผมหงอกสีขาวโดยทำการจุ่มเส้นผมครึ่งเส้นเปรียบเทียบกับอีกครึ่งหนึ่งที่ไม่ได้จุ่ม ในสารสกัดที่เวลา1/2, 1, 2, 4 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างน้ำและส่องกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสีของสารสกัดแทรกตามเกล็ดผมโดยมีสีเหลือง เหลืองเข้ม น้ำเงิน น้ำตาลและน้ำตาลเข้ม เมื่อย้อมด้วยสารสกัดใบชา ดอกอัญชัน เทียนกิ่ง กาแฟ และสารสกัดผสม ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการย้อมติดสีที่ได้ไม่แน่นอนในเส้นผมขาวที่จุ่มสารสกัดติดสีหลังจาก 1 ชั่วโมงต่อไปและการเติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้นระหว่าง 2-30% ช่วยให้เส้นผมขาวย้อมติดสีได้ภายใน30 นาที สรุปว่าสารสกัดจากธรรมชาติย้อมสีผมที่หงอกขาวได้และกรดซิตริกช่วยให้ติดสีได้เร็วขึ้น

สุมนต์ทิพย์ คงตัน (2551: 90) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาตำรับสีย้อมผมถาวรจากพืชสมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อการพัฒนาตำรับสมุนไพรย้อมสีผมและตำรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการสกัดสารสีจากสมุนไพร 7 ชนิด วิธีการทดลองโดยการทำสีย้อมผมจากสมุนไพรได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น โดยการพัฒนาตำรับสมุนไพรย้อมสีผมและตำรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการสกัดสารสีจากสมุนไพร 7 ชนิด ได้แก่ แก่นขนุน แก่นฝาง ครั่ง เทียนกิ่ง เปลือกมังคุด มะขามป้อมและขมิ้นชัน ได้สี crude extracts จากการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ผลการศึกษาพบว่า H_2O_2 ที่ทำให้กัดสีผมจะมีผลทำให้สีติดดีที่สุดคือ H_2O_2 40% ในการกัด-ย้อมสีของผมได้ดี การพัฒนาตำรับสมุนไพรย้อมสีผมที่เลือกสารสกัดสี 2 ชนิด คือ สีจากฝางและครั่งความเข้มข้นของสารสกัดสีที่ติดสีได้ดี (สารสกัดสี 1 ต่อน้ำ 1 ส่วน) การคงตัวทางกายภาพของตำรับสมุนไพรและตำรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 4°C และ 45°C พบว่า มีลักษณะเนื้อครีมข้นเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการแยกชั้นกันของส่วนผสมตามลำดับ ความสามารถติดสีผมของตำรับสมุนไพรย้อมชนิดที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 7% ติดผมได้ดีที่สุดและสามารถติดได้นานเป็นเวลา 20 วันในการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าสีจากสมุนไพรสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับย้อมผมได้

มนทยา ไก่แก้ว (2552: 38) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสเปรย์เปลี่ยนสีผมจากฝาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสเปรย์เปลี่ยนสีผมที่มีส่วนผสมของสารสกัดฝาง และเพื่อประเมินประสิทธิภาพการติดสีของปอยผมที่ย้อมด้วยสเปรย์ที่มีส่วนผสมของฝางที่พัฒนาเพิ่มขึ้น โดยการสกัดฝางด้วยเอทานอล 80% และประเมินคุณสมบัติพื้นฐานของสารสกัดฝาง พบว่าสารสกัดฝางสามารถละลายได้ดีใน Propylene glycol และเตรียมสูตรตำรับพื้นฐานของสเปรย์ที่มีปริมาณของ Plyvinylrrolidone K30 (PVP K30) แตกต่างกัน 4 สูตรและประเมินความคงตัวทางกายภาพของตำรับพื้นฐานที่เตรียมขึ้นและประเมินความพึงพอใจของสูตรสเปรย์พื้นฐานกับอาสาสมัคร พบว่าสเปรย์พื้นฐานสูตรที่ 1 (PVP K30 : 30% w/w) และสูตรที่ 2 (PVP K30 4% w/w) มีความคงตัว คือ สี กลิ่นของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่มีการแยกชั้น และอาสาสมัคร พบว่า มีความพึงพอใจในสูตรที่ 1 มากที่สุด 89% จึงนำมาผสมกับสารสกัดฝางที่มีความเข้มข้น 8, 16 และ 32% และประเมินค่าการติดสีปอยผมที่ย้อมย้อมด้วยสูตรสเปรย์เปลี่ยนสีผมจากสารสกัดฝาง พบว่าการเพิ่มปริมาณสารสกัดฝางมากที่สุด 32% ให้ค่าการติดสีของปอยผมดีที่สุด

กาญจนา ไชยประดิษฐ์ (2555: 226) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเจลย้อมผมจากสารสกัดอัญชันและสารสกัด CRC ต่อการติดสีผมของปอยผมหงอก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการติดสีผมของเจลย้อมผมจากสารสกัดอกอัญชันและสารสกัด CRC โดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เทียบกับ Lawsone และp-prlylene elenediamine (PPD) วิธีการทดลองโดยการประเมินประสิทธิภาพของการติดสีผมของผมหงอกเมื่อย้อมผมด้วยเจล CRC และเจลจากดอกอัญชัน พบว่าเจล CRC มีการซึมผ่านของสีผ่านเส้นผมดีกว่าเจลจากสารสกัดอัญชันอย่างมีนัยสำคัญ (ร้อยละของระยะการติดสีต่อความยาวของเส้นผม CRC =25.8 และดอกอัญชัน =20.3) และการซึมผ่านของเจล CRC ไม่แตกต่างจาก PPD เมื่อเทียบกับความคงทนในการติดสีหลังล้างด้วยแชมพูเด็ก พบว่าเจล PPD ให้ระดับสีคงเหลือไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Lawsone และ PPD เมื่อพิจารณาสีของเส้นผมหลังจากย้อมโดยเทียบกับสารมาตรฐาน Lawsone และ PPD พบว่าเส้นผมที่ถูกย้อมด้วยเจลย้อมผมจากสารสกัดทั้งสองชนิด ไม่มีลักษณะของการติดสีส่วนมาตรฐานทั้งสองชนิดจะเห็นการติดสีตลอดทั้งเส้นผม ผลการทดสอบความคงทนโดยการล้างด้วยน้ำผสมแชมพูเด็ก พบว่าเจลย้อมผมจากสารสกัด CRC ยังคงมีสีที่ซึมผ่านเส้นผมและคงเหลือไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารมาตรฐาน Lawsone และ PPD

Guosheng *et al*. (2012: 324) ได้ทำการศึกษาสีย้อมธรรมชาติในการย้อมผม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพืชที่สามารถมาผสมในผลิตภัณฑ์ย้อมผม โดยนำมาผสมในครีมเบสของสารละลายเกลือเฟอริก ร้อยละ 1-10 (w/w) และกรดแทนนิกและสารลิกนิกเข้มข้นร้อยละ 1-10 (w/w) ที่ใช้ผสมรวมสีย้อมธรรมชาติทำเป็นผลิตภัณฑ์ย้อมผม โดยนำมาทดสอบการติดสีเส้นผมก่อนย้อมผมสระผมให้สะอาดแล้ว ใช้ผลิตภัณฑ์ย้อมลูบทิ้งไว้เวลา 60 นาที แล้วล้างออกสระผมด้วยแชมพู ดูการติดสีของเส้นผมเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ย้อมผมติดสีเส้นผมได้นาน