

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 กาแฟ (coffee)

2.1.1 **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์** (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2545; กาญจน์มณี ศรีวิศาลภาพ และคณะ, 2547)

กาแฟมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Coffea sp. สามารถจัดอนุกรมวิธานของกาแฟได้ดังนี้

ชั้น (Class) ของกาแฟ : Dicotyledoneae

ชั้นย่อย (Subclass) ของกาแฟ : Sympetalae หรือ Metachlamydeae

อนุกรม (Order) ของกาแฟ : Rubiales

วงศ์ (Family) ของกาแฟ : Rubiaceae

สกุล (Genus) ของกาแฟ : Coffea

ชนิด (Species) ของกาแฟบางชนิด: Coffea Arabica,
Coffea Robusta

กาแฟจัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์กาแฟของแต่ละพันธุ์ด้วย โดยทั่วไปแล้วกาแฟมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ดังต่อไปนี้

(1) ลำต้น

โดยธรรมชาติแล้ว กาแฟมีลักษณะลำต้นตั้งตรงในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะไม่แตกกิ่ง แต่มีใบออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ ต่อมาเมื่อมีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ ก็มีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกันและอยู่ตรงข้ามกัน (รูปที่ 2.1) กิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ๆ อยู่ตรงข้อเช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับระดับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอกและผลต่อไป นอกจากการแตกกิ่งแล้วยังมีการแตกหน่อออกจากตาของลำต้นอีกเป็นจำนวนมาก ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นใหม่นี้ไปเบียดกับต้นเดิม ซึ่งถ้าหากปล่อยให้เจริญเติบโตเรื่อยๆ โดยไม่มีการปลิดทิ้งหรือตัดแต่งจะทำให้กาแฟมีทรงพุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรคแมลง และให้ผลผลิตต่ำลง

(2) ดอก

ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า รูปคล้ายดาว (รูปที่ 2.2ก) มีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (รูปที่ 2.2ข) จะเกิดตามข้อของต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกิ่งกาแฟ โดยเริ่มไปจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง กาแฟมีลักษณะพิเศษคือ ข้อของกิ่งจะสั้นสามารถที่จะเกิดดอกและติดผลได้มาก ดอกกาแฟเป็น

ดอกสมบูรณเพศ มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียรวมอยู่ในดอกเดียวกัน เกสรตัวเมียจะมีอยู่สองส่วน เกสรตัวผู้มีอยู่เป็นจำนวนเท่ากับกลีบดอกคือประมาณ 2-4 อัน กาแฟบางพันธุ์อาจจะมี การผสมข้ามพันธุ์กันได้ง่ายหากอยู่ใกล้กัน เวลาการออกดอกของกาแฟขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นมีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ถ้าหากอากาศชุ่มชื้น ตลอดปีหรือมีการชลประทานเพียงพอ กาแฟจะออกดอกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี



รูปที่ 2.1 ลำต้นของกาแฟ

ที่มา : <http://www.bloggang.com/data/pinkmucha/picture/1235834707.jpg>



ก



ข

รูปที่ 2.2 ดอกของกาแฟ

ที่มา : ก http://jernjerngold.com/images_news/coffee2.jpg

ข <http://www.siamscubadiving.com/board/upload2008/200812/12286427943143.jpg>

(3) ผล

แม้ว่าดอกกาแฟจะออกเป็นจำนวนมากก็ตามแต่การติดผลจะมีเพียง 16-26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกลิบดอกร่วงแล้ว กาแฟจะติดเป็นผล มีลักษณะคล้ายลูกหว่า (รูปที่ 2.3ก) ซึ่งภายในผลกาแฟแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังรูปที่ 2.3ข และ ค ผิวเปลือกนอกของผลกาแฟ (skin) ปกติจะแข็ง และทนทานต่อการเก็บเกี่ยว เนื้อในผลกาแฟจะเหลวละ (bean) ในบางชนิดเนื้อนี้มีค่ามากกว่าเมล็ดของมัน เนื่องจากเนื้อของผลเมล็ดกาแฟมีน้ำตาลเข้มข้น เปลือกหุ้มเมล็ด (pulp) มีลักษณะเหนียว ส่วนนี้จะถูกขจัดออกท้ายสุดในกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟ สำหรับผิวสีเงินของเมล็ดกาแฟ (silverskin) มีความหนาและติดแน่นอย่างดีทำให้มันมักจะคงอยู่กับเมล็ดกาแฟ จนนำไปย่าง ผิวสีเงินจึงจะแตกออกจากเมล็ดกาแฟ

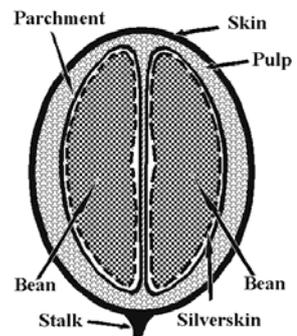
ภายหลังการผสมเกสร ผลกาแฟเล็กๆ มีสีเขียวซึ่งเป็นแบบผลไม้ที่มีเมล็ดแข็ง ผลกาแฟเติบโตได้ประมาณ 15-35 มิลลิเมตร (0.50 ถึง 1.25 นิ้ว) ขึ้นกับชนิด ผลกาแฟเติบโตเป็นกลุ่ม เวลาผลกาแฟสุกจะกลายเป็นสีแดง เมื่อผลกาแฟแก่จัดสีก็จะแดงมากขึ้น หลังจากสุกแล้วผลกาแฟจะเปลี่ยนเป็นส้มน้ำตาลไปจนน้ำตาลแดงเรื่อและหล่นจากต้น ผู้ปลูกจำนวนมากไม่ยอมให้ผลกาแฟตกลงพื้นดิน และส่วนใหญ่มักจะเก็บผลเมื่อมันเป็นสีแดง (รูปที่ 2.3ก และ ข)



ก



ข



ค

รูปที่ 2.3 ผลของกาแฟ

ที่มา : ก http://farm4.static.flickr.com/3172/3070808300_771874045f.jpg

ข <http://bkksprolab.com/wp/wp-content/uploads/2009/04/kaffebar.jpg>

ค <http://www.kupajoe.com/espressocafe/img/coffee.bean.gif>

(4) เมล็ดกาแฟ

เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ อีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลาเมื่อสุกเต็มที่ มีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียวๆ ผลกาแฟเมื่อสุกเต็มที่ปอกเอาเปลือกและเนื้อทิ้ง นำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปประมาณ 7% และเมื่อกะเทาะเอาเปลือกและเนื้อทิ้ง นำเมล็ดกาแฟ ทั้งกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปอีกประมาณ 14.78% หรือพอจะกล่าวได้ว่าผลกาแฟสดที่เก็บมาทำเป็นสารกาแฟแห้งจะสูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 80% โดยเฉพาะถ้าหากนำไปคั่วทำเป็นกาแฟที่ใช้ชงรับประทานก็คงจะมีเนื้อกาแฟแท้เพียงร้อยละ 13.60 ของน้ำหนักสดขณะขณะที่เก็บมาจากต้นใหม่ๆ (รูปที่ 2.4) กาแฟข้อหนึ่งๆ ที่ให้ผลกาแฟแล้วในปีต่อไปจะไม่ให้ผลอีก แต่ผลกาแฟจะออกต่อไปในข้อที่ยังไม่ออกผล

องค์ประกอบของสารในเมล็ดกาแฟที่สำคัญ คือ คาเฟอีน 0.3-3.5%, กรดคลอโรเจนิก 3-10% และกรดแทนนิก เป็นต้น



รูปที่ 2.4 เมล็ดกาแฟ

ที่มา : <http://www.equator.ca/images/greenbeans.jpg>

2.1.2 พันธุ์กาแฟ (สมศักดิ์ วรณศิริ, 2545; อรุณรัตน์ อนุภาโส. 2546; กาญจน์มูณี ศรีวิศาล ภาพ และคณะ, 2547; ทศพล ต้นคำ, 2551)

ปัจจุบันทั่วโลกมีกาแฟอยู่ประมาณ 50 พันธุ์ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นทางการค้าทั่วโลกในปัจจุบัน คือ พันธุ์อาราบิก้า กับพันธุ์โรบัสต้า และพันธุ์ที่เคยปลูกเป็นการค้ามาก่อนซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในด้านการผสมพันธุ์เพราะมีลักษณะดีเด่นบางประการ เช่น พันธุ์เอ็กเซลซ่า กับพันธุ์ลิเบอริกา เป็นต้น ส่วนกาแฟที่ปลูกในประเทศไทย มีพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้ามีอยู่ 2 พันธุ์ คือ “พันธุ์อาราบิก้า กับพันธุ์โรบัสต้า” ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งปลูกในภาคใต้และภาคเหนือตามลำดับ กาแฟสองสายพันธุ์ดังกล่าวมีลักษณะประจำพันธุ์ดังต่อไปนี้

(1) พันธุ์อาราบิก้า

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* มีชื่อเรียกกันหลายชื่อ เช่น กาแฟบราซิลเลียน อะบิสซิเนียน และอาราบิกัน กาแฟพันธุ์นี้เป็นพันธุ์นิยมปลูกกันมากที่สุดในโลก โดยมีผลผลิตถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกาแฟที่ผลิตได้ทั้งหมดทั่วโลก มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมแถบบริเวณประเทศเอธิโอเปีย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีอากาศค่อนข้างเย็นจัด เป็นพืชกึ่งเมืองหนาวและต้องการฤดูแล้งที่ค่อนข้างยาวนานคือประมาณ 2-3 เดือน เมล็ดมีคุณภาพสูงทั้งกลิ่นและรสชาติ ในประเทศไทยนิยมปลูกในสภาพอากาศเย็นบนดอยสูงทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย และแพร่ เป็นต้น

ลักษณะประจำพันธุ์ของกาแฟพันธุ์นี้คือ มีทรงพุ่มเป็นรูปประมิต ลำต้นสูงประมาณ 6-16 ฟุต กิ่งก้านยาวปกคลุมด้วยใบสีเขียวเป็นมันตลอดปี (รูปที่ 2.5) ดอกมีสีขาว กลิ่นหอมคล้ายกับดอกมะลิป่า รูปร่างคล้ายดาวมีกลีบดอก 5 กลีบ (รูปที่ 2.2ก) ดอกอยู่รวมกันเป็นกลุ่มและก้านดอกสั้น (รูปที่ 2.2ข) จะออกดอกหลายครั้งในฤดูหนึ่งๆ ดอกบานอยู่ได้ไม่นานคือประมาณ 2 วันก็เหี่ยว ส่วนผลจะมีรูปร่างค่อนข้างแบน ภายในมีเมล็ด 2 ซีก ซีกหนึ่งมีหนึ่งเมล็ด ส่วนแบนของเมล็ดจะแนบติดกัน เมล็ดยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ผลแบบนี้เรียกว่า “เมล็ดเดี่ยว” (รูปที่ 2.4) จะเริ่มออกดอกติดผลหลังจากปลูกประมาณในปีที่ 2 หรือปีที่ 3 และระยะเริ่มออกดอกจนถึงผลเริ่มแก่เต็มที่ใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน ผลเมื่อแก่เต็มที่แล้วจะเป็นสีแดง



รูปที่ 2.5 ลำต้นของกาแฟพันธุ์อาราบิก้า

ที่มา : www.oramsnurseries.com.au/coffee_arabica.jpg

(2) พันธุ์โรบัสต้า

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea robusta* กาแฟพันธุ์นี้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีมาก ทั้งยังเป็นพันธุ์ที่ทนทานต่อความหนาวเย็นได้ดีกว่าพันธุ์อาราบิก้า ปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 4,300 ฟุต เป็นพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้นและฝนตกสม่ำเสมอ เจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ร่มและกลางแจ้ง แต่มีนิสัยชอบร่มเงามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตต่อต้นจากอายุการให้ผลผลิตเต็มที่แล้ว จะให้ผลผลิตค่อนข้างจะสูงกว่าพันธุ์อาราบิก้าเล็กน้อย มีปริมาณการผลิตประมาณ 1 ใน 4 ของปริมาณกาแฟที่ผลิตได้ทั้งหมดทั่วโลก ในประเทศไทยปลูกมากบนพื้นที่ราบทางภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพรและนครศรีธรรมราช

ลักษณะประจำพันธุ์ของกาแฟพันธุ์นี้คือ มีกิ่งก้านสาขามากกว่าพันธุ์อื่นๆ ต้นสูงประมาณ 7-16 ฟุต (รูปที่ 2.6ก) ใบใหญ่กว่าพันธุ์อาราบิก้า มีสีเขียวแต่ไม่เป็นมัน ดอกเกิดบริเวณข้อเป็นกลุ่มๆ มีสีขาว โดยก้านดอกย่อยชูดอกออกมาจากแกนของดอกแบบสลับให้ดอกย่อยอยู่ในระดับเดียวกันหมด ในข้อหนึ่งๆ จะมี 5-6 ดอก (รูปที่ 2.6ข) ในฤดูหนึ่งๆ จะออกดอกประมาณ 2-3 ครั้ง เมื่อผลสุกรูปทรงของผลมีลักษณะเล็กกว่าพันธุ์อาราบิก้า จึงทำให้เมล็ดกาแฟของโรบัสต้ามีขนาดเล็กกว่าพันธุ์อาราบิก้าอยู่เล็กน้อย (รูปที่ 2.7) ผลอยู่รวมเป็นข้อ ข้อมีลักษณะกลมเกิดอยู่ตรงข้อแต่ละข้อ ผลสุกผิวเปลือกสีแดงเข้ม (รูปที่ 2.6ค) ใช้ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงผลแก่เต็มที่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 10-11 เดือน กาแฟพันธุ์นี้มีข้อเสียอย่างหนึ่งคือ หลังจากให้ผลผลิตสูงในปีหนึ่งๆ แล้วกิ่งแขนงมักจะแห้งตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตในปีต่อไปต่ำลง



ก

ข

ค

รูปที่ 2.6 ลำต้น ดอก และผลของกาแฟพันธุ์โรบัสต้า

ที่มา : ก <http://www.boncafe.co.th/branches/images/robusta2.gif>

ข และ ค <http://www.coffeebar99.com/images/bank/Robusta/Coffeebar-robusta5-4.jpg>



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบขนาดของเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้ากับพันธุ์โรบัสต้า
ที่มา : http://mylifestyleblogs.com/coffee/files/2009/04/arab_robust_md.jpg

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เหลือทิ้งจากระบวนการการผลิตกาแฟ

ส่วนที่เหลือทิ้งจากระบวนการการผลิตกาแฟ ได้แก่ เปลือกกาแฟ (coffee husk) กากกาแฟ (coffee pulp) และเมล็ดกาแฟที่ผ่านการบดแล้ว (coffee spent ground) (รูปที่ 2.8) ซึ่งแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เหลือทิ้งจากระบวนการการผลิตกาแฟ

องค์ประกอบ	เปลือกกาแฟ	กากกาแฟ	เมล็ดกาแฟที่ผ่านการบดแล้ว
โปรตีน	9.2-11.3	8.5-12.1	10.3-12.2
ไขมัน	2.0-2.3	1.5-2.0	15.2-17.9
เซลลูโลส	13.2-27.6	15.1-20.3	13.2-18.4
ซีเ็ก	3.3-4.1	5.5-6.8	4.5-6.3
ไนโตรเจน	57.8-66.1	45.5-54.3	41.0-49.8
แทนนิน	4.5-5.4	1.8-2.4	1.2-1.5
คาเฟอีน	0.8-1.1	0.5-0.7	0.02-0.08

ที่มา : Fan และ Soccol, 2005



รูปที่ 2.8 ส่วนที่เหลือทิ้งจากระบวนการการผลิตกาแฟ

เมื่อ A คือ เปลือกกาแฟ B คือ กากกาแฟ

C คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการบดแล้ว

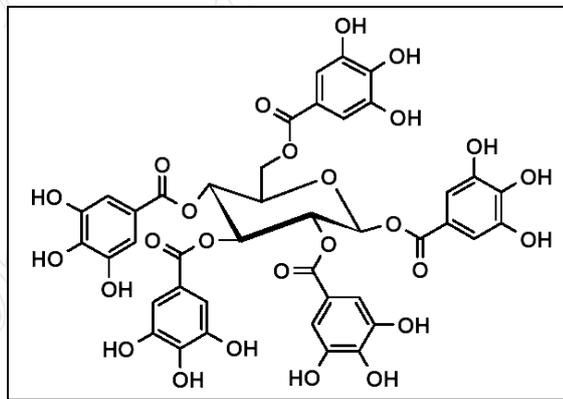
ที่มา : Fan และ Soccol, 2005

2.2 แทนนิน (tannin)

แทนนินเป็นสารประกอบพอลิฟีนอล (polyphenol) ที่พบในธรรมชาติ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 500 ถึง 3,000 กิโลดาลตัน สามารถพบแทนนินในส่วนต่างๆ ของพืช อาทิเช่น เปลือก แกน เมล็ด และดอก คุณสมบัติที่สำคัญของแทนนินที่แตกต่างจากสารพอลิฟีนอลชนิดอื่น คือ แทนนินสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีน และโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ เช่น แป้ง เซลลูโลส และแร่ธาตุต่างๆ (Mueller-Harvey และคณะ, 1987; Lekha และ Lonsane, 1997; Aguilar และ Gutierrez-Sanchez, 2001) จากลักษณะทางโครงสร้าง และคุณสมบัติของแทนนิน สามารถแบ่งแทนนินได้เป็น 2 ชนิด คือ ไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolyzed tannins) และคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins)

2.2.1 ไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolyzed tannins)

ไฮโดรไลซ์แทนนินเป็นอนุพันธ์ของกรดแกลลิก (gallic acid) ซึ่งเกิดจากการที่กรดแกลลิกสร้างพันธะเอสเทอร์ล้อมรอบน้ำตาลแอลกอฮอล์ โดยจะใช้แกลโลแทนนินเป็นโครงสร้างพื้นฐานของไฮโดรไลซ์แทนนิน ซึ่งสารชนิดนี้เกิดจากการสร้างพันธะเมตาเดปไซด์ (*meta* depside) ระหว่างหมู่แกลลอลอยิล (galloyl) กับ หมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอลิกแกลโลอิล (phenolic galloyl-OH groups) และมีน้ำตาลกลูโคสเป็นแกนกลางของโครงสร้าง (รูปที่ 2.9) เมื่อถูกกรดหรือเอนไซม์แทนเนสย่อยสลายจะได้กรดแกลลิกกับกลูโคส (Haslam และ Tanner, 1970; Niehaus และ Gross, 1997)



รูปที่ 2.9 ไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolyzed tannins)

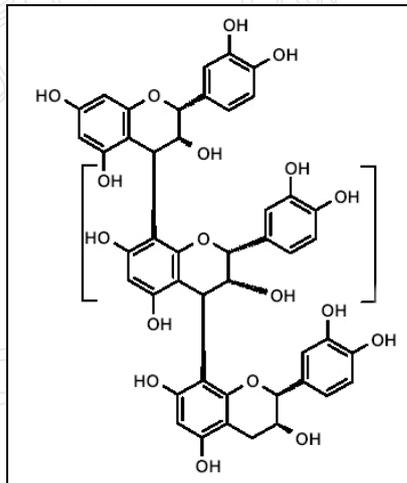
ที่มา : Albertse, 2002

ไฮโดรไลซ์แทนนินพบได้ทั้งในพืชและไฮโดรไลซ์แทนนินบริสุทธิ์ที่อยู่ในรูปทางการค้า ซึ่งแทนนินชนิดนี้นิยมใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการการผลิตเอนไซม์แทนเนส โดยจากหลายๆ งานวิจัยได้ใช้แทนนินบริสุทธิ์ที่อยู่ในรูปทางการค้าเป็นสารตั้งต้น (Hadi และคณะ, 1994; Bhat และคณะ, 1997; Seth และ Chand, 2000; Aguilar และคณะ, 2001a; 2001b; Van de

Lagemaat และ Pyle, 2001; 2004; 2005; Ayed และ Hamdi, 2002; Mondal และคณะ, 2000; 2001; Ramirez-Coronel และคณะ, 2003; Cruz-Hernández และคณะ, 2006; Mahendran และคณะ, 2006; Battestin และ Macedo, 2007) และมีอีกหลายๆ งานวิจัยเช่นกันที่ได้ใช้ไฮโดรไลซ์แทนนินที่พบในพืช ตัวอย่างเช่น เปลือกกาแฟ (Ayuman และ Hanmoungjai, 2006; Sabu และคณะ, 2006) เมล็ดมะขาม เนื้อปาล์ม (Sabu และคณะ, 2005b; 2006) และสมอไทย (Saxena และ Saxena, 2004; Banerjee และคณะ, 2005) เป็นต้น

2.2.2 คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins)

คอนเดนส์แทนนิน หรือ โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidins) ประกอบด้วยสารจำพวกฟีนอลที่เรียกว่า ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) หรือ ฟลาโวลาน (flavolan) ยกตัวอย่างเช่น คาเทชิน (catechin) หรือ ฟลาวาน-3,4-ไดโอด (flavan-3,4-diol) โดยเมื่อคาเทชินถูกย่อยสลายแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ อีพิกาคเทชิน (epicatechin) กับกรดแกลลิก ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างคอนเดนส์แทนนินกับไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน คือ โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน จะไม่มีน้ำตาลแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ (รูปที่ 2.10) (Haggerman และ Butler, 1978; Albertse, 2002)



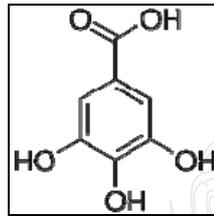
รูปที่ 2.10 คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins)

ที่มา : Albertse, 2002

2.3 กรดแกลลิก (gallic acid)

กรดแกลลิก (3,4,5-trihydroxy benzoic acid) เป็นสารประกอบฟีนอล (รูปที่ 2.11) ซึ่งเป็นผลผลิตจากการย่อยสลายแทนนินโดยกระบวนการทางเคมี หรือทางชีวภาพ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน อาทิ อุตสาหกรรมการผลิตสี (น้ำหมึกสำหรับเขียนหมึกสำหรับภาพถ่าย) อุตสาหกรรมทางด้านเภสัชกรรม อุตสาหกรรมหนังสือพิมพ์ อุตสาหกรรมการผลิตชา และ

อุตสาหกรรมสารเคมี เป็นต้น (Hadi และคณะ, 1994; Mukharjee และ Banerjee, 2003) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการผลิตยาไตรเมโทพริม (trimethoprim; TMP) ซึ่งเป็นสารต้านแบคทีเรียที่ใช้ร่วมกับยาซัลโฟนาไมด์ รวมถึงอุตสาหกรรมเครื่องหนัง การผลิตสารเอสเทอร์ของกรดแกลลิก (โพรพิลแกลเลท ไพโรแกลลอยด์) เป็นต้น (Hadi, 1993; Hadi และคณะ, 1994; Mukharjee และ Banerjee, 2003)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของกรดแกลลิก (gallic acid)

ที่มา : http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/0/0d/Gallic_acid.svg/150px-Gallic_acid.svg.png

2.3.1 สารตั้งต้นและเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดแกลลิกโดยกระบวนการชีวภาพ

จากงานวิจัยการผลิตกรดแกลลิกโดยกระบวนการชีวภาพที่ผ่านมา ได้ใช้สารตั้งต้นและเชื้อจุลินทรีย์ที่ต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารตั้งต้นและเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดแกลลิก

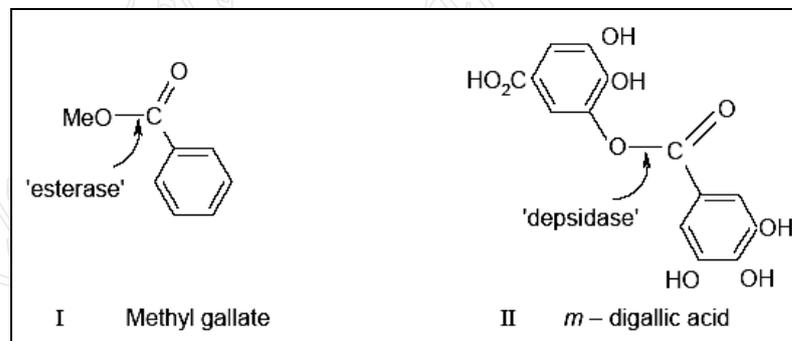
สารตั้งต้น	เชื้อจุลินทรีย์	ร้อยละของกรดแกลลิกที่ผลิตได้	แหล่งที่มา
แทนนินบรีสุทซ์	<i>A. awamori</i>	89.6	Seth และ Chand, 2000
Teri pod	<i>Rhizopus oryzae</i>	90.9	Kar และคณะ, 1999; 2000
Tara pod	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	55.0	Deschamps และ Lebeult, 1984
แทนนินบรีสุทซ์	<i>A. niger</i> Aa-20	61.1	Lucia และคณะ, 2007
สมอไทย และ กำจาย	<i>R. oryzae</i> (RO IIT RB-13, NRRL 21498) และ <i>A. foetidus</i> (GMRB013 MTCC 3557)	94.8	Banerjee และคณะ, 2005
แกลโลแทนนิน	<i>A. niger</i> MTCC 282	74.0	Lokeswari และ Raju, 2006

2.4 เอนไซม์แทนเนส (tannase)

แทนเนส หรือ แทนนินเอซิลไฮโดรเลส (tannin acyl hydrolase) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มเอสเทอเรส (esterase) ถูกกำหนดให้มี EC number เป็น 3.1.1.20 โดย International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) แทนเนสสามารถย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ (ester) และพันธะเดปไซด์ (depside) ในกรดแทนนิก (tannic acid) เมทิลแกลเลท (methyl gallate) และกรดไดแกลลิก (digallic acid) ได้ (Deschamps และคณะ, 1983; Haslam และ Stangroom, 1996; Kar และ Banerjee, 2000; Garcia-Conesa และคณะ, 2001; Yu และคณะ, 2004) แต่อย่างไรก็ดี เอนไซม์แทนเนสสามารถย่อยสลายแทนนินได้เฉพาะไฮโดรไลซ์แทนนินเท่านั้น และได้ผลผลิตสุดท้ายคือกรดแกลลิกและกลูโคส (Deschamps และ Lebeault, 1984; Van de Lagemaat และ Pyle, 2004)

2.4.1 แอคติวิตี้ของเอนไซม์แทนเนส

เอนไซม์แทนเนสประกอบด้วย 2 แอคติวิตี้ ได้แก่ เอสเทอเรส และเดปไซด์ (รูปที่ 2.12) โดยเอสเทอเรสแอคติวิตี้จะย่อยสลายพันธะระหว่างกรดแกลลิกกับน้ำตาลกลูโคส (รูปที่ 2.12 (I)) ส่วนเดปไซด์แอคติวิตี้จะย่อยสลายพันธะเดปไซด์ซึ่งเกิดจากการจับกันระหว่างกรดแกลลิก (รูปที่ 2.12 (II)) (Haslam และ Tanner, 1970; Barthomeuf และคณะ, 1994)

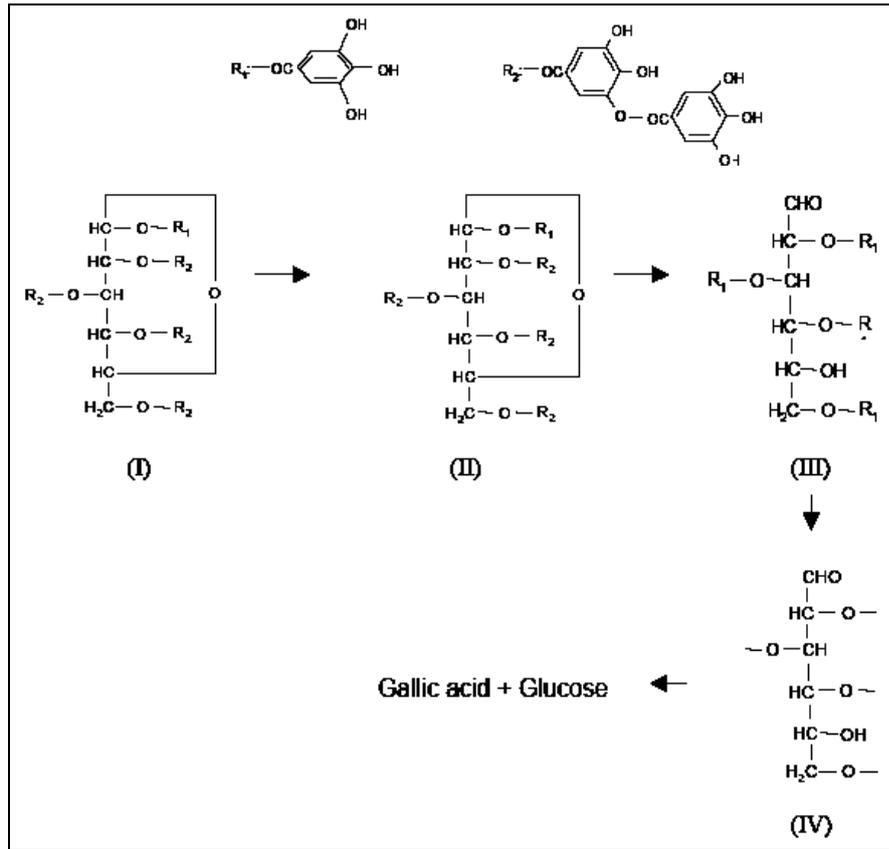


รูปที่ 2.12 เอสเทอเรสและเดปไซด์แอคติวิตี้ของเอนไซม์แทนเนสจากเชื้อ *A. niger*

ที่มา: Haslam และ Stangroom, 1966

2.4.2 กระบวนการย่อยสลายกรดแทนนิกโดยเอนไซม์แทนเนส

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เอนไซม์แทนเนสสามารถย่อยสลายแทนนินในกลุ่มของไฮโดรไลซ์แทนนินได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ libuchi และคณะ (1972) ทำให้ทราบกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวโดยละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เริ่มต้นจากย่อยสลายไฮโดรไลซ์แทนนิน (รูปที่ 2.13 (I, II)) ให้เป็น 2,3,4,6,-tetragalloyl glucose (รูปที่ 2.13 (III)) จากนั้นเกิดปฏิกิริยาต่อได้เป็น monogalloyl glucose (รูปที่ 2.13 (IV)) และสุดท้ายได้กรดแกลลิกและกลูโคส



รูปที่ 2.13 กระบวนการย่อยสลายไฮโดรไลซ์แทนนินโดยเอนไซม์แทนเนส
เมื่อ R₁ และ R₂ คือ แกลเลท และไดแกลเลท ตามลำดับ
ที่มา: libuchi และคณะ, 1972

2.5 อนุมูลอิสระ (free radical) (โสภา และคณะ, 2550; พรทิพย์, 2551; Aqul และคณะ, 2006)

อนุมูลอิสระ หรือ อนุมูล คือ อะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูงและมีอายุสั้นมาก จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โมเลกุลหรือไอออนชนิดนี้เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาถูกไข่ อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลที่มีบทบาทในทางชีววิทยา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive oxygen species, ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive nitrogen species, RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive chlorine species, RCS) ตัวอย่างของอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O₂⁻) อนุมูลไฮดรอกซี (·OH) อนุมูลอัลคอกซี (RO·) และ อนุมูลเปอร์ไฮดรอกซี (HO₂·) อนุมูลอิสระเหล่านี้จัดเป็นอนุมูลที่ไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง ขณะที่ ไนตริกออกไซด์ (NO) หรือ อนุมูลไนตริกออกไซด์ (·NO) อนุมูลวิตามินอี และอนุมูลวิตามินซี เป็นอนุมูลอิสระที่มีความไวสูงรองลงมาจากงานวิจัย พบว่า ROS ส่งผลดีต่อโครงสร้างของเซลล์

สิ่งมีชีวิต แต่กลับทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และดีเอ็นเอ รวมถึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีความยืดหยุ่นน้อยลง และจากการที่ ROS ทำลายดีเอ็นเอก็จะทำให้เกิดการกลายของดีเอ็นเอ ซึ่งนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง โรคความจำเสื่อม ฯลฯ

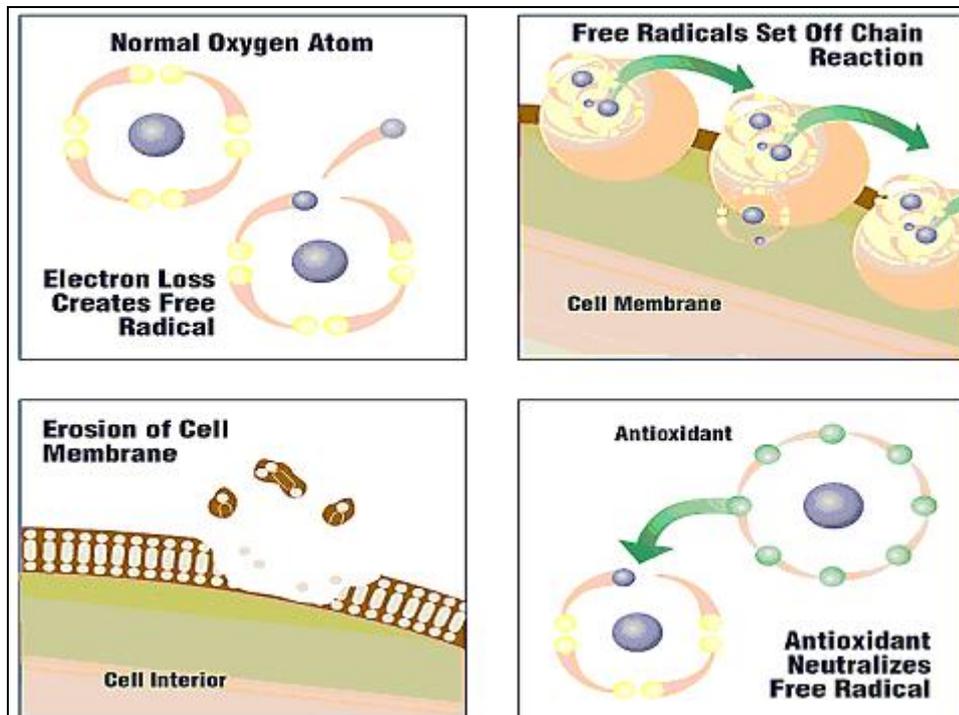
อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรค ทั้งเป็นต้นเหตุของการเกิดโรค และเป็นปัจจัยทำให้โรคมียุคพัฒนาการอย่างรวดเร็วและมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวข้องกับความเสื่อม ความบกพร่องของเซลล์ประสาท และระบบสื่อประสาทในสมอง รวมถึงภาวะขาดเลือดของอวัยวะที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต คือ หัวใจ และสมอง อนุมูลอิสระมีความไวสูงไม่คงตัว เนื่องจากมีอิเล็กตรอนเดี่ยวไว้คู่ ดังนั้นจึงพยายามหาอิเล็กตรอนมาจับคู่ทำให้มีความคงตัวขึ้น เป้าหมายแรกที่อนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหายและเป็นสาเหตุของการเกิดโรค คือ ชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์ ได้แก่ ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเมมเบรนโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์รีเซพเตอร์ และสารสื่อประสาท รวมถึงดีเอ็นเอ

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (พรทิพย์, 2551; Rahman และ Choudhary, 2005)

สารต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วยสารหรือเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ซึ่งสามารถจะชะลอหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (อนุมูลอิสระ) โดยสารเหล่านี้หมายความว่ารวมถึงสารเกือบทุกชนิดในร่างกาย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ดีเอ็นเอ แต่อย่างไรก็ตามมีบางภาวะที่ปริมาณอนุมูลอิสระมีมากเกินไปกว่าที่สารต้านอนุมูลอิสระจะจัดการได้ ซึ่งจะเกิดภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้นมา โดยจะส่งผลกระทบต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเกิดการทำลายของกลุ่มโมเลกุลที่มีพันธะ S-H และเยื่อหุ้มเซลล์ ก่อให้เกิดผลเสียต่อเซลล์ และการทำลายเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ และรุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ เช่น เส้นเลือดตีบ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน โรคที่เกิดจากการที่เลือดกลับไปเลี้ยงอวัยวะที่เคยมีการตีบตันของเส้นเลือดในระยะสั้นๆ มาก่อน รวมไปถึงโรคมะเร็ง เป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกายและจัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutathione peroxidase (GPX), Glutathione reductase (GR) และ Glutathione S-transferase (GST) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกายแต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Glutathione, Lipoic acid, Ceruloplasmin, Albumin, Transferrin, Haptoglobin, Hemopexin, Uric acid, Bilirubin และ Cysteine และสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารและไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Tocopherols, Carotenoids, Ascorbic acid, Steroids, Ubiquinones, Thiols, Inosine, Taurine, Pyruvate, Gallic acid, Flavonoids, Trolox, BHT และ BHA

ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำลายอนุมูลอิสระโดยการจับกับอนุมูลอิสระลดการเกิดปฏิกิริยา
ณ จุดตั้งต้นหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 กลไกการทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นโดยสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : <http://www.knowcancer.com/blog/wp-content/uploads/2009/07/antioxidants-free-radical-body-fasting-guide.jpg>