ชา: กระบวนการผลิต และองค์ประกอบทางเคมีจากการหมัก

Tea (*Camellia sinensis* L.): Manufacturing and Chemical Compositions from Fermentation

ธีรพงษ์ เทพกรณ์*
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
Theerapong Theppakorn*
School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University.

บทคัดย่อ

ยอดใบชาสดเมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ได้ชาต่างกัน 3 ประเภท คือ ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำ ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมัก ชาอู่หลงเป็นชาที่หมักเพียงบางส่วน และชาดำเป็นชาที่หมักอย่างสมบูรณ์ ในระหว่างการหมัก โมโนเมอริกคาเทชิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในใบชาจะเปลี่ยนไปเป็นไดเมอริกคาเทชินได้หลายชนิด ได้แก่ ทีเอฟลาวิน ทีเอซิเนนซิน ทีเอซิทริน และทีเอแนพโทควิโนน จากนั้นจะเกิดการรวมเป็นโพลิเมอริกคาเทชินที่เรียกว่า ทีอะรูบิจิน องค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหมักชาส่งผลต่อสี และรสชาติของชา ทำให้ชาที่ผ่านการหมักมีสีและรสชาติที่ต่างไปจากชาที่ไม่ผ่านการหมัก บทความวิชาการนี้ได้ทบทวนเอกสารและนำเสนอกระบวนการผลิต และองค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักชา

คำสำคัญ : ชา องค์ประกอบทางเคมี การหมัก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Abstract

Freshly harvested tea leaves are processed differently to produce specific types of teas (green, oolong, and black teas). Green tea is a non-fermented tea. Oolong tea is semi-fermented to permit a moderate level of enzymatic oxidation, whereas black tea is the most thoroughly oxidized enzymatically. During tea fermentation, the major components in fresh tea leave, monomeric catechins, are transformed to various dimeric catechins (theaflavins, theasinensins, theacitrin and theanapthoquinone) and then transformed to polymeric catechins (thearubigins). These compounds derived from fermentation affect color and flavor of fermented teas providing unique properties which are different from non-fermented teas. The present review summarizes the data of tea manufacturing and the chemical composition formed in fermentation process.

Keywords : tea, chemical composition, fermentation

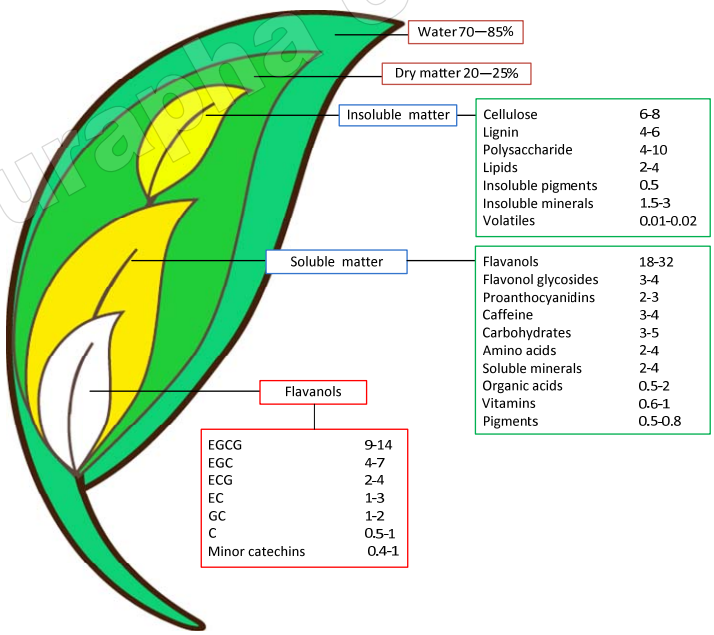
***E-mail:** theerapong@mfu.ac.th , peawic@hotmail.com

บทนำ

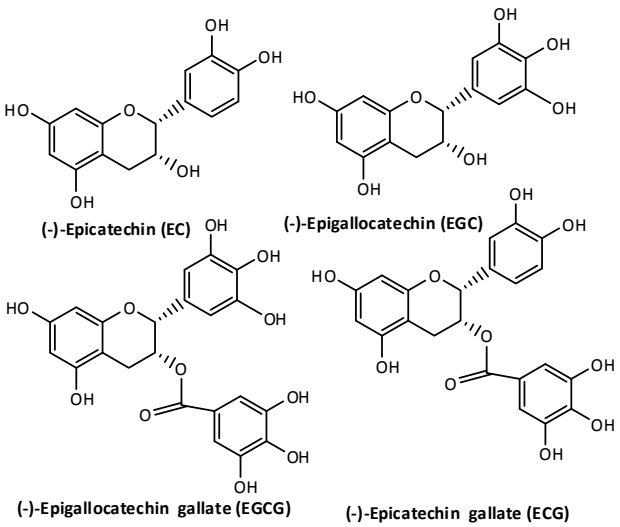
ปัจจุบันมีการค้นพบและมีรายงานทางวิทยาศาสตร์มากมายที่แสดงถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการดื่มชา ส่งผลให้ผู้บริโภคให้ความสนใจและมีแนวโน้มบริโภคชาเพิ่มขึ้น ชามีสารประกอบโพลิฟีนอลที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระทำให้โพลิฟีนอลในชามีประโยชน์ต่อสุขภาพที่หลากหลาย เช่น ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ (Yuan *et al*., 2011) ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด (Deka & Vita, 2011) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Shoji & Nakashima, 2006) และช่วยลดความอ้วน (Rains *et al*., 2011) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลิฟีนอลในชาจะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ชา ฤดูการเก็บเกี่ยว สภาพภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการผลิตชา (Fernandez *et al*., 2002) ในบรรดาปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ กระบวนการผลิตชาถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลิฟีนอลในชา เนื่องจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันส่งผลต่อปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีในใบชา ทำให้สารประกอบโพลิฟีนอลเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณ ส่งผลให้ชาแต่ละประเภทมีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไป

องค์ประกอบทางเคมีในใบชาสด

ชาที่ผลิตทางการค้าส่วนใหญ่มาจาก 2 สายพันธุ์ คือ *Camellia sinensis* var. *sinensis* (ชาจีน, Chinese tea) และ *Camellia sinensis* var. *assamica* (ชาอัสสัม, Assam tea) การเก็บใบชาสดที่มีคุณภาพเพื่อนำมาเข้ากระบวนการผลิตจะใช้แรงงานคนในการเก็บ โดยเลือกเก็บเฉพาะยอดชาที่ตูมและใบที่ต่ำจากยอดตูมลงมา 2-3 ใบ (1 ยอด 2-3 ใบ) โดยทั่วไปยอดใบชาสดประกอบด้วยความชื้นประมาณ 75-80% โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือ (20-25%) เป็นของแข็งทั้งหมด (ภาพที่ 1) ของแข็งทั้งหมดประกอบด้วยส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble matter) และส่วนที่ละลายน้ำ (soluble matter) องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำแสดงในภาพที่ 1 องค์ประกอบสำคัญในส่วนที่ละลายน้ำคือ โพลิฟีนอล (polyphenols) มีอยู่ประมาณ 10-25% โดยน้ำหนักแห้ง (Haslam, 2003) โพลิฟีนอลเป็นองค์ประกอบในใบชาสดประกอบด้วยกลุ่มของสารประกอบ 6 กลุ่ม คือ flavanols, hydroxy-4-flavonols, anthocyanins, flavones, flavonols และ phenolic acids โดยฟลาวานอล (flavanols) เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด (60-80% ของโพลิฟีนอล) เรียกว่าคาเทชิน (catechins) คาเทชินที่พบมากในชา ได้แก่ (-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG), (-)-Epigallocatechin



ภาพที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในใบชาสด (ปรับปรุงจาก Zhen *et al*., 2002) องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของ insoluble matter, soluble matter และ flavanols มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 2 โครงสร้างของคาเทชินที่พบมากในใบชาสด (Zhen *et al*., 2002)

(EGC), (-)-Epicatechin-3-gallate (ECG) และ (-)-Epicatechin (EC) คาเทชินเหล่านี้มีอยู่ประมาณ 90% ของคาเทชินทั้งหมด (ภาพที่ 2) กลุ่มของคาเทชินที่พบในปริมาณน้อยได้แก่ (+)-Gallocatechin (GC), (+)-Catechin (C) และคาเทชินอื่นๆ เช่น (-)-Gallocatechin gallate (GCG) และ (-)-Catechin gallate (CG) (Zhen *et al*., 2002)

กระบวนการผลิตชา

ชาทุกชนิดผลิตมาจากยอดและใบอ่อนของต้นชา เมื่อแบ่งตามกระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำ (ภาพที่ 3)

1. ชาเขียว (Green tea)

เป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (non-fermented tea) วิธีการผลิตเริ่มจากอบใบชาสดด้วยไอน้ำ (steaming) หรือคั่วบนกระทะร้อน (panfiring) เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase, PPO) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินจึงไม่เกิดการหมัก จากนั้นนำไปนวด (rolling) ให้เป็นเส้น และนำไปอบแห้ง (drying) ตามด้วยการคัดเกรด (sorting) และบรรจุ (packaging)

2. ชาอู่หลง (Oolong tea)

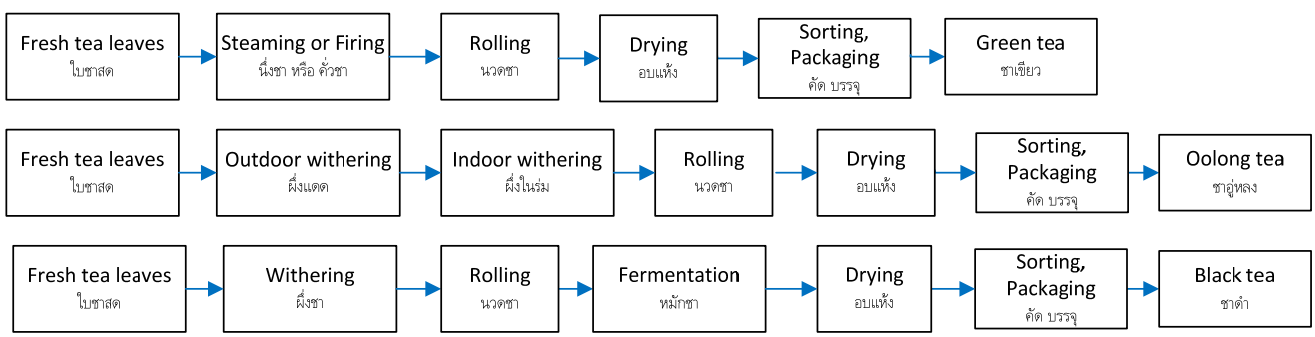
เป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักเพียงบางส่วน (partially-fermented tea) วิธีการผลิตเริ่มจากตากชา (outdoor withering) ประมาณ 20-40 นาที โดยการผึ่งแดด ต่อมาใบชาจะถูกผึ่งในร่ม (indoor withering) พร้อมเขย่ากระตุ้นเพื่อให้ใบชาช้ำในบริเวณขอบใบ การผึ่งในร่มและเขย่าให้ใบชาช้ำทำให้เกิดการหมักเพียงบางส่วนที่ทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชิน เกิดการรวมตัวกันของคาเทชินเป็นสารประกอบใหม่ ทำให้ชาอู่หลงมีสี กลิ่น และรสชาติที่ต่างไปจากชาเขียว จากนั้นนำไปนวด (rolling) ขึ้นรูปให้เป็นเม็ด และนำไปอบแห้ง ตามด้วยการคัดเกรด และบรรจุ

3. ชาดำ (Black tea)

เป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบูรณ์ (completely-fermented tea) ใบชาสดจะถูกผึ่งเพื่อลดความชื้น ตามด้วยนวดและ/หรือตีป่น จากนั้นเป็นกระบวนการหมักที่ปล่อยให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันคาเทชินอย่างสมบูรณ์ คาเทชินจะเกิดออกซิเดชันและรวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ที่มีสีเข้มขึ้นกว่าชาอู่หลง และชาเขียว จากนั้นอบแห้ง ตามด้วยการคัดเกรด และบรรจุ

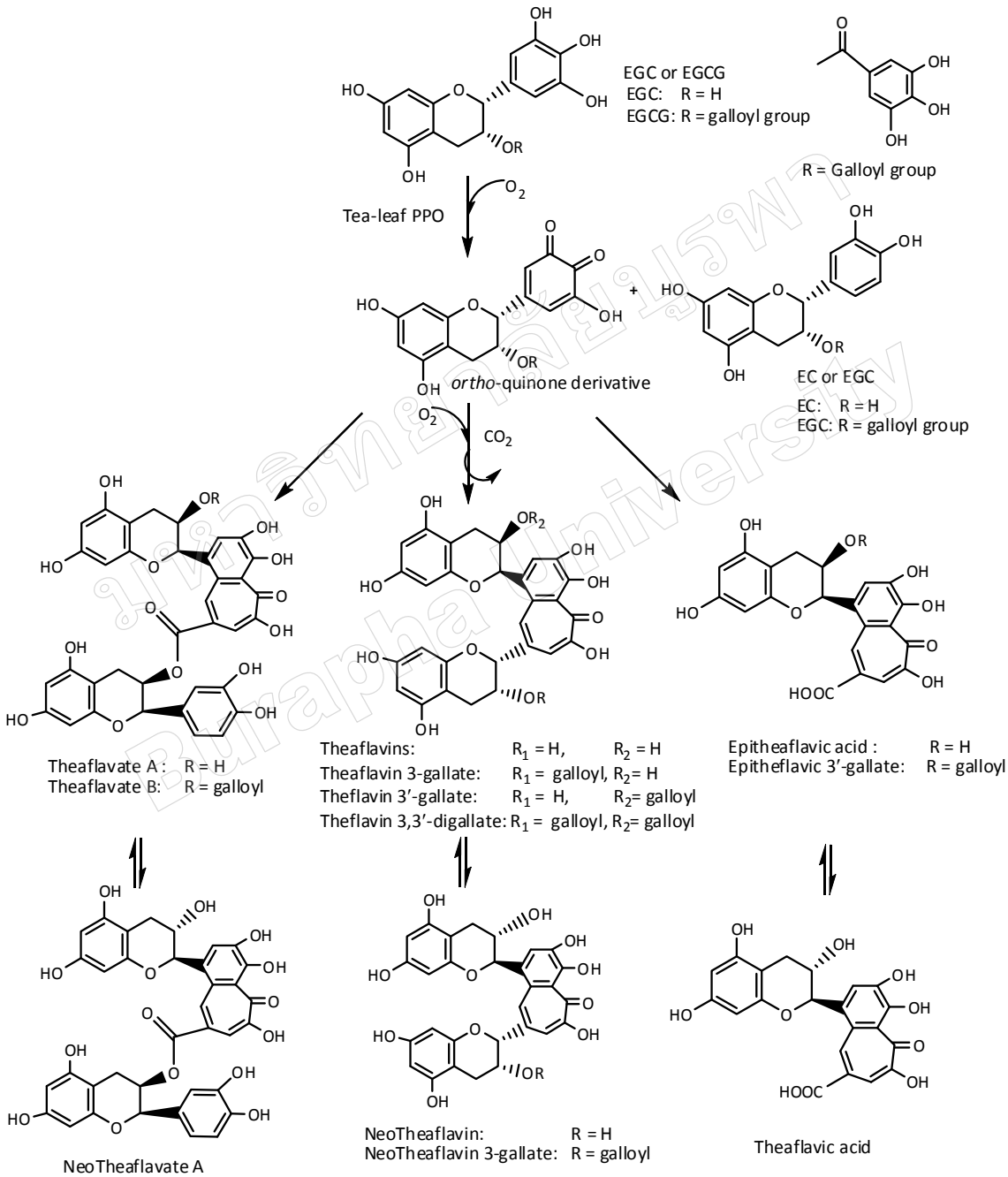
การหมักชา

ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำล้วนผลิตมาจากยอดอ่อนของต้นชา แต่เนื่องจากใบชาสดผ่านกระบวนการหมักในระดับที่ต่างกัน ทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไป ส่งผลให้

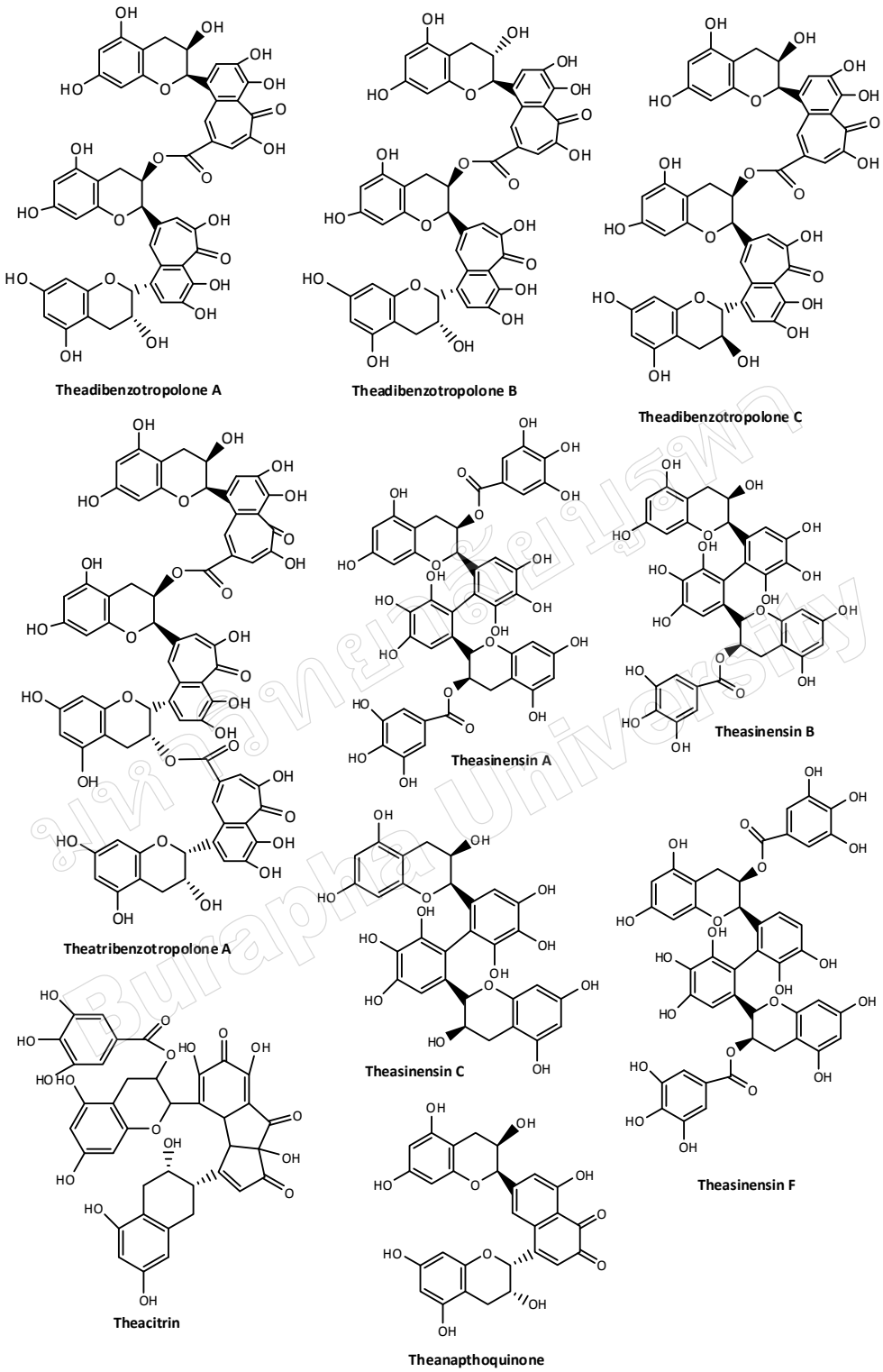


ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำ (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2550)

ชาแต่ละประเภทมีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกัน ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมัก องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่จะคล้ายใบชาสด จึงเป็นชาที่มีคาเทชินมากที่สุด ส่วนชาอู่หลงมีการหมักเพียงบางส่วน และชาดำมีการหมักอย่างสมบูรณ์ กระบวนการหมักทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชิน (ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล) และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นสารในกลุ่มทีเอฟลาวิน (theaflavins, TFs) และทีอะรูบิจิน (thearubigins, TRs) (Subramanian *et al*., 1999) สารทั้งสองกลุ่มเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของชาที่ผ่านการหมัก วิถีการเกิดสารทีเอฟลาวินแสดงดังภาพที่ 4 โดยคาเทชินที่พบมาก เช่น EGCG และ EGC จะเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในสภาวะที่มีออกซิเจนได้เป็นอนุพันธ์



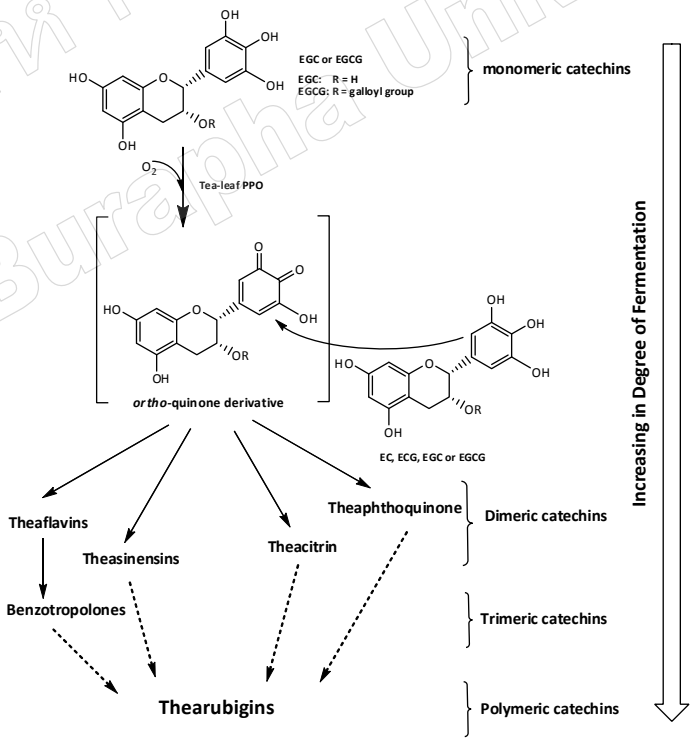
ภาพที่ 4 วิถีการเกิดทีเอฟลาวิน (theaflavins) และโครงสร้างของสารในกลุ่มทีเอฟลาวินที่พบในการหมักชา (ปรับปรุงจาก Haslam, 2003; Kim *et al*., 2011; Sang *et al*., 2011)



ภาพที่ 5 สารในกลุ่มเบนโซโทรโพโลน (Benzothropolone) ทีเอซิเนนซิน (Theasinensins) ทีเอซิทริน (theacitrin) และทีเอแนฟโทควิโนน (theanaphthoquinone) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักชา (Kuhnert, 2010 และ Sang *et al*., 2011)

ของควิโนน (*ortho*-quinone derivatives) และจะเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับคาเทชินอื่นๆ เช่น EC และ ECG ได้เป็นไดเมอริกคาเทชิน (dimeric catechins) เรียกว่า ทีเอฟลาวิน (TFs) ทีเอฟลาวินที่พบมากมี 4 ชนิด คือ theaflavin (เกิดจาก EGC + EC) theaflavin 3-gallate (เกิดจาก EGCG + EC) theaflavin 3′-gallate (เกิดจาก EGC + ECG) และ theaflavin 3, 3′-gallate (เกิดจาก EGCG + ECG) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของทีเอเฟลาวิน ได้แก่ ทีเอฟลาเวท (theaflavate) และทีเอฟลาวิค แอซิด (theaflavic acid) และพบเสตียริโอไอโซเมอร์ (steareoisomer) ของทีเอฟลาวิน ทีเอฟลาเวท และทีเอฟลาวิค แอซิด (ภาพที่ 4) (Haslam, 2003; Kim *et al*., 2011; Sang *et al*., 2011) สารประกอบในกลุ่มทีเอฟลาวินเป็นกลุ่มของสารที่ให้สีเหลืองส้ม และส้มแดง พร้อมทั้งให้รสชาติฝาด (astringent) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการหมักชาดำพบว่าทีเอฟลาวินที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยารวมตัวกับคาเทชินชนิดอื่นๆ เกิดเป็นไตรเมอริกคาแทชิน (trimeric catechins) เรียกว่า เบนโซโทรโพโลน (benzotropolone) (Sang *et al*., 2004) ปัจจุบันพบสารประกอบเบนโซโทรโพโลนในระหว่างการหมักชา 4 ชนิด คือ theadibenzotropolone A, theadibenzotropolone B, theadibenzotropolone C และ theatribenzotropolone A โครงสร้างของสารในกลุ่มเบนโซโทรโพโลนแสดงดังภาพที่ 5 (Subramanian *et al*., 1999; Sang *et al*., 2004)

นอกจากคาเทชินจะเปลี่ยนเป็นสารในกลุ่มทีเอฟลาวินและเบนโซโทรโพโลนในการหมักชาแล้ว จากรายงานยังพบไดเมอริกคาเทชิน (dimeric catechins) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อของอนุพันธ์ควิโนน (ortho-quinone derivatives) ของ EGC และ EGCG ได้แก่ ทีเอซิทริน (theacitrin) (David *et al*., 1997) ทีเอแนพโทควิโนน(theanaphthoquinone) (Tanaka *et al*., 2000) และทีเอซิเนนซิน (theasinensins) (Tanaka *et al*., 2002; Tanaka *et al*., 2005) (ภาพที่ 5) ในบรรดาสารเหล่านี้ สารในกลุ่มทีเอซิเนนซินได้มีการค้นพบและศึกษามากที่สุด สารในกลุ่มนี้เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างอนุพันธ์ควิโนน (ortho-quinone derivatives) ของ EGC หรือ EGCG (Tanaka *et al*., 2005) กับคาเทชินชนิด EGC EGCG หรือ ECG แบบไม่มีพันธะคู่ระหว่างโมเลกุล สารในกลุ่มทีเอซิเนนซินที่พบในปัจจุบันมีหลายชนิดได้แก่ theasinensin A, B, C, D, E, F และ G อย่างไรก็ตามทีเอซิเนนซินที่มากคือ theasinensin A, B, C และ F (Sang *et al*., 2011)



ภาพที่ 6 กลไกที่น่าจะเป็นไปได้ในการเกิดสารทีอะรูบิจิน (thearubigins) ในระหว่างการหมักชา (สรุปประเด็นจาก Haslam, 2003; Kuhnert, 2010; Kim *et al*., 2011; Sang *et al*., 2011)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทีอะรูบิจิน (thearubigins, TRs) เป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวกันของคาเทชินเป็นพอลิเมอร์ของคาเทชินที่มีโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี พร้อมกับให้สีน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลเข้มในน้ำชา แม้ว่าสารทีอะรูบิจินถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1962 (Robert, 1962) แต่ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานแน่ชัดถึงโครงสร้างและกลไกการเกิดที่แท้จริงของทีอะรูบิจิน มีรายงานกล่าวไว้ว่าสารทีอะรูบิจินน่าจะเกิดจากการรวมตัวกันของคาเทชิน ทีเอฟลาวิน เบนโซโทรโพโลน และทีเอซิเนนซิน โดยเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบในกลุ่มทีอะรูบิจิน (Haslam, 2003) ปัจจุบันการศึกษาชนิดและโครงสร้างของทีอะรูบินจินในชาดำพบข้อมูลเพียงว่าทีอะรูบิจินที่เกิดจาการหมักชาเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลไม่ใหญ่เกินกว่า 2,000 กรัมต่อโมล ประกอบด้วยสารหลายพันชนิด และมิได้เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวของคาเทชินในขั้นตอนการหมักชา (Kuhnert, 2010; Kuhnert *et al*., 2010) ดังนั้นหากอาศัยข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาของโพลิฟีนอลในระหว่างกระบวนการหมัก การค้นหาชนิดของสารและโครงสร้างของสารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก (Haslam, 2003; Kuhnert, 2010; Kim *et al*., 2011; Sang *et al*., 2011) สามารถอธิบายกลไกลที่น่าจะเป็นไปได้ในการเกิดสารทีอะรูบิจินในระหว่างการหมักชาดังแสดงในภาพที่ 6

องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำที่เกิดขึ้นจากการหมัก

ระดับการหมักที่ต่างกันทำให้ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน ส่งผลต่อสี กลิ่นและรสชาติของน้ำชา โดยพบว่า ชาเขียวมีโพลิฟีนอลชนิดคาเทชินสูงที่สุด (10-30% โดยน้ำหนัก) คาเทชินเป็นสารที่ให้สีขาวเหลือง ให้รสชาติฝาด ชาอู่หลงมีชนิดและปริมาณโพลิฟีนอลที่แตกต่างกันตามระดับของการหมัก (อ่อน ปานกลาง และเข้ม) ชาอู่หลงหมักอ่อนจะมีคาเทชินอยู่มาก ในชาอู่หลงที่หมักปานกลางและหมักเข้มสีน้ำชาจะมีสีเขียวอมเหลืองที่เข้ม เนื่องจากมีโพลิฟีนอลชนิดไดเมอริกคาเทชินเพิ่มขึ้น ส่วนชาดำเป็นชาที่ผ่านการหมักอย่างสมบูรณ์ คาเทชินจะถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยารวมตัวเป็นสารในกลุ่มทีอะรูบิจิน โดยทั่วไปชาดำมีสารทีอะรูบิจินอยู่ประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก มีสารในกลุ่มทีเอฟลาวินประมาณ 1-2% โดยน้ำหนัก สีของน้ำชาดำจะมีสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นสีของทีอะรูบิจิน มีรสชาติเข้มข้น ฝาดเล็กน้อย (Haslam, 2003)

บทสรุป

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในระหว่างการหมักชาเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลิฟีนอลในผลิตภัณฑ์ชาแต่ละประเภท โดยสารที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (ชาเขียว) ชาที่หมักบางส่วน (ชาอู่หลง) และชาที่หมักอย่างสมบูรณ์ (ชาดำ) มีสีและรสชาติที่แตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของสารประกอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก

เอกสารอ้างอิง

ธีรพงษ์ เทพกรณ์ (2550) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (โพลิฟีนอล) ในระหว่างกระบวนการผลิตชาเขียวและชาอู่หลงของจังหวัดเชียงราย รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 50 หน้า

Davis, A.L., Lewis, J.R. Cai, Y., Powell, C., Davis, A.P., Wilkins, J.P.G., Pudney, P. & Clifford, M.N. (1997). A polyphenolic pigmemnt from black tea. *Phytochemistry, 46*, 1397-1402.

Deka, A., & Vita, J.A. (2011). Tea and cardiovascular disease. *Pharmacological Research, 64*, 136-145.

Fernandez, P.L., Pablos, F., Martin, M.J., & Gonzales, A.G. (2002). Study of catechin and xantine tea profiles as geographical tracers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*, 1833-1839.

Haslam, E. (2003). Thoughts on thearubigins. *Phytochemistry, 64*, 61-73.

Kim, Y., Goodner, K.L., Park, J.D., Choi, J. & Talcott, S.T. (2011). Changes in antioxidant phytochemicals and volatile composition of *Camellia sinensis* by oxidation during tea fermentation. *Food Chemistry*, *129*, 1331-1342.

Kuhnert, N. (2010). Unraveling the structure of the black tea thearubigins. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 501*, 37-51.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Kuhnert, N., Drynan, J.W., Obuchowicz, J., Clifford, M.N. & Witt, M. (2010). Mass spectrometric characterization of black tea thearubigins leading to an oxidative cascade hypothesis for thearubigin formation. *Rapid Communications in Mass Spectrometry, 24*, 3387-3404.

Rains, T.M., Agarwal, S. & Maki, K.C. (2011). Antiobesity effects of green tea catechins: a mechanistic review. *Journal of Nutritional Biochemistry, 22*, 1-7.

Roberts, E. A. H. (1962). Economic importance of flavonoid substances: tea fermentation, in: T.A. Geissman (Ed.), *The Chemistry of Flavonoid Compounds*. (pp. 1468-1512). Pergamon Press, Oxford.

Sang, S., Lamber, J.D., Ho, C.T. & Yang, C.S. (2011). The chemistry and biotransformation of tea constituents. *Pharmacological Research, 64*, 87-99.

Sang, S., Tian, S., Stark, R.E., Yang, C.S. & Ho, C.T. (2004). New dibenzotropolone derivatives characterized from black tea using LC/MS/MS. *Bioorganic & Medicinal Chemistry, 12*, 3009-3017.

Shoji, Y. & Nakashima, H. (2006). Glucose-lowering effect of powder formulation of African black tea extract in KK-A(y)/TaJcl diabetic mouse. *Archives of Pharmacal Research, 29*, 786-794.

Subramanian, N., Venkatesh, P., Ganguli, S. & Sinkar, V.P. (1999). Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*, 2571-2678.

Tanaka, T., Betsumiya, Y., Mine, C. & Kouno, I. (2000). Theanaphthoquinone, a novel pigment oxidatively derived from theaflavin during tea-fermentation. *Chemical Communications, 15*, 1365-1366.

Tanaka, T., Mine, C., Watarumi, S., Fujioka, T., Mihashi, K., Zhang, Y.J. & Kouno, I. (2002). Accumulation of epigallocatechin quinone dimers during tea fermentation and formation of theasinensins. *Journal of Natural Products, 65*, 1582-1587.

Tanaka, T., Mine, C., Watarumi, S., Matsuo, Y., & Kouno, I. (2005). Production of Theaflavins and Theasinensins during Tea Fermentation. In *Phenolic Compounds in Foods and Natural Health Products*, vol. 909 (pp. 188-196): American Chemical Society.

Yuan, J.-M., Sun, C., & Butler, L.M. (2011). Tea and cancer prevention: Epidemiological studies. *Pharmacological Research, 64*, 123-135.

Zhen, Y., Chen, Z., Chen, S., & Chen, M. (2002). *Tea: Bioactivity and Therapeutic Potential*. London: Tayler & Francis.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University