

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ชาเป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเทศ ได้แก่ จีน อินเดีย เกาหลี และศรีลังกา เป็นต้น การผลิตชาของโลกในปี 2551 มีปริมาณ 3.8 ล้านตัน มีอัตราการขยายตัวเฉลี่ย 4% ต่อปี มีปริมาณการส่งออกชาโลก 1,890,937 ตัน ซึ่งมูลค่าประมาณ 5,464,381,000 USD (International trade center, 2009) โดยผลผลิตชาของโลกเป็นชาดำหรือชาฝรั่ง (Black tea) ประมาณ 70% อีก 30% เป็นชาอูหลง (Oolong tea) และชาเขียว (Green tea) ส่วนในประเทศไทยมีการปลูกชามากในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง และน่าน เป็นต้น โดยมีพื้นที่ปลูกชาในประเทศไทยเมื่อปี 2552 จำนวน 116,466 ไร่ ได้ผลผลิตชาสด 63,707 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) โดยในปี 2551 ประเทศไทยส่งออกชาประมาณ 2,365 ตัน มีมูลค่า 4,911,000 USD เป็นลำดับที่ 44 ของโลก มีส่วนแบ่งในตลาดโลกเพียง 0.1% มีอัตราการเติบโตในปี 2547-2551 อยู่ที่ 29% แต่ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากเฉลี่ยประมาณ 400 ล้านบาทต่อปี ซึ่งเสียเปรียบดุลการค้า เพราะการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นสินค้าเกรดพรีเมียม ซึ่งมูลค่าสูงกว่าสินค้าส่งออกของไทย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2552) สำหรับตลาดชาในประเทศไทย ในช่วงปี 2545-2547 ตลาดชาเขียวพร้อมดื่มมีการเติบโตสูงมากถึง 100% ในปี 2552 มูลค่าตลาดชาในประเทศไทยรวม 4,500 ล้านบาท โดยเป็นชาเขียว 60% ชาดำ 25% ชาขาวและชาแดง 15% (Marketeer, 2552) จากสถิติดังกล่าวสามารถบ่งบอกแนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์ชาของประเทศไทยว่ามูลค่ามากขึ้นทุกปีอย่างไรก็ดีเมื่อเปรียบเทียบมูลค่าการส่งออกชากับประเทศอื่น ๆ แล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่ามูลค่าผลิตภัณฑ์ชาของไทยยังต่ำมาก ซึ่งสาเหตุที่สำคัญคือ ชาที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังมีคุณภาพต่ำและไม่ตรงตามความต้องการของตลาด จึงจำเป็นต้องพัฒนาศักยภาพในการผลิต ปรับปรุงคุณภาพชาของประเทศไทย และใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ ในการแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ชาเพื่อเป็นการส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์ชาของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, มปป.)

จากกรรมวิธีการผลิตชาเขียวแบบดั้งเดิมจะเริ่มจากการเก็บเกี่ยวยอดอ่อนและใบอ่อน นำมา ลวกที่อุณหภูมิ 97-100°C เพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการออกซิเดชัน (Polyphenol oxidase) จากนั้น ชาที่ได้จะนำผ่านกระบวนการนวดความร้อน เพื่อให้เซลล์ในใบชาแตก และเอนไซม์ของชาถูกขับ ออกมาด้านนอกของใบชา ทำให้สารให้กลิ่นรสของชาละลายได้ง่ายเมื่อมีการชงในน้ำ การนวดมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ Loosening เป็นการนวดเพื่อแยกใบชาออกจากกัน Rolling เป็นการนวดเพื่อให้เซลล์แตก ออก Rubbing เป็นการนวดเพื่อให้ใบชาม้วนตัว และ Pressing and Shaping up เป็นการอัดใบชาที่ม้วน ตัวให้มีขนาดเล็กลง กระบวนการสุดท้ายเป็นการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air drier) เพื่อลด ความชื้นของใบชาลงให้ต่ำกว่า ร้อยละ 7 จะเห็นได้ว่าจากกระบวนการผลิตดั้งเดิมมีความยุ่งยากและ ซับซ้อน และต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์สูงในการควบคุมการผลิตเพื่อให้ได้ชาที่มีคุณภาพ อย่างไรก็ตาม ยังมีโอกาสที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการผลิต ส่งผลให้ชาที่ได้มีคุณภาพต่ำ เช่น การลวกที่ไม่นาน พอ การนวดใบชาและการอบแห้งที่ใช้ความร้อนสูงและนานเกินไป เป็นต้น

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟเข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยอาศัยหลักการ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผลิตจากแมกนีตรอน ที่ให้ความร้อนกับโมเลกุลของน้ำในอาหารได้โดยตรง จึงทำให้อาหารได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว และระเหยน้ำออกได้ง่าย การทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ ได้พัฒนาและปรับใช้ในอาหารประเภทต่างๆ เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ และสมุนไพร สำหรับชาได้มีการ ทดลองใช้ไมโครเวฟในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Polyphenol oxidase และใช้ในการทำ แห้ง ในกระบวนการผลิตชา เช่น จากการศึกษาของ Gulati *et al.* (2003) พบว่าการใช้เทคโนโลยี ไมโครเวฟในการผลิตชา สามารถรักษาระดับของสาร Total phenolic และ Catechins ได้สูงสุด ดีกว่า การลวกโดยใช้ไอน้ำร้อน อีกทั้งการใช้ไมโครเวฟยังทำให้ชาที่ได้มีคุณภาพดีกว่าการใช้เตาอบ หรือ การทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ และเมื่อนำชาที่ผลิตโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟมาชงยังพบว่าให้สีที่สว่าง รสหวาน และยังคงรักษากลิ่นได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chan *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษา ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ของใบชาโดยใช้เครื่องไมโครเวฟระดับ ครึ่งเร็น เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชาเขียว 4 ยี่ห้อในท้องตลาด พบว่าชาที่ผ่านกระบวนการผลิตโดย ใช้เครื่องไมโครเวฟระดับครึ่งเร็น มีค่า Total phenolic compound สูงกว่าชาเขียวที่ขายอยู่ในท้องตลาด และชาผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องไมโครเวฟระดับครึ่งเร็นมีค่าการสูญเสีย Antioxidant activity (IC₅₀) ต่ำที่สุด แสดงว่าชาผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องไมโครเวฟระดับครึ่งเร็นยังคง ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชาเขียวจากท้องตลาดที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบ ดั้งเดิม

เครื่องไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรมมีการใช้งานแพร่หลายในอเมริกา มีการทำการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งต่างๆ เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยได้มีการประดิษฐ์เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศต้นแบบได้โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ต่อมาได้มีการขายสิทธิบัตรในเครื่องจักรต้นแบบให้กับบริษัทมาร์คูล อุตสาหกรรม จำกัด จนสามารถผลิตเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศจำหน่ายได้แล้วในราคาต่ำมากเมื่อเทียบกับเครื่องไมโครเวฟอุตสาหกรรมที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่อุตสาหกรรมอาหารไทย โดยหลายบริษัทมีศักยภาพที่จะนำเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศนี้เข้ามาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารไทย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตชาเขียวแบบดั้งเดิมกับกระบวนการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศในระดับอุตสาหกรรม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งสารสำคัญ Phenolic compound และ Catechins ระหว่างสองกระบวนการ พร้อมทั้งศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาที่ผลิตโดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิมและโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี และกายภาพของวัตถุดิบใบชาสด
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและพัฒนารวมวิธีการผลิตชาเขียวที่รักษาคุณภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่ม Phenolic compound และ Catechins ไว้ได้มากที่สุด โดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาที่ผลิตโดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิมและโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ดำเนินการรวมวิธีการผลิต, คุณภาพทางกายภาพ, คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาที่ผลิตด้วยกรรมวิธีดั้งเดิม
2. พัฒนารวมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม รวมถึงวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, คุณภาพทางเคมี, และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชาเขียว

ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากเฉลี่ยประมาณ 400 ล้านบาทต่อปี ขณะเดียวกันในปี 2551 ประเทศไทยส่งออกชาปริมาณ 2,365 ตัน มีมูลค่า 4,911,000 USD เป็นลำดับที่ 44 ของโลก มีส่วนแบ่งในตลาดโลกเพียง 0.1% และมีอัตราการเติบโตในปี 2547-2551 อยู่ที่ 29% (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2552) จากสถิติดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงการค้าขายผลิตภัณฑ์ชาในตลาดโลกว่ามีแนวโน้มที่สูงขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบมูลค่าการส่งออกชากับประเทศอื่น ๆ แล้ว จะเห็นได้ชัดเจนว่ามูลค่าผลิตภัณฑ์ชาของไทยยังต่ำมาก ซึ่งสาเหตุที่สำคัญคือ ชาที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังมีคุณภาพต่ำและไม่ตรงตามความต้องการของตลาด จึงจำเป็นต้องพัฒนาศักยภาพในการผลิต ปรับปรุงคุณภาพชาของประเทศไทย และใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ ในการแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ชาเพื่อเป็นการส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์ชาของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, มปป.)

ชาเป็นเครื่องดื่มที่มีกลิ่นหอม คนจึงนิยมดื่มกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นชาวเอเชีย เช่น จีน ญี่ปุ่น หรือชาวยุโรป ชาที่นิยมดื่มในปัจจุบันอาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชาจีน ชาเขียว และชาฝรั่ง ซึ่งชาแต่ละชนิดจะต่างกันตรงกรรมวิธีในการผลิต แต่ชาที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากที่สุดคือ ชาเขียว (green tea) ซึ่งเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมัก ทำให้ไม่สูญเสียองค์ประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพไปในช่วงการหมักเหมือนชาฝรั่ง (ส่งศักดิ์, 2550)

ชาเป็นสินค้าออกที่สำคัญของอินเดีย ปากีสถาน ศรีลังกา และบางส่วนของแอฟริกา และยังปลูกมากในจีน ญี่ปุ่น และอินโดนีเซีย ในประเทศไทยมีการปลูกมากในแถบภาคเหนือตอนบน ชาแห้งที่ดีทำมาจากยอดอ่อนของต้นชา กรรมวิธีการทำชาแห้งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของชาแห้ง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชาดำ (black tea) ซึ่งมีขั้นตอนการหมัก ชาเขียว (green tea) ซึ่งไม่มีขั้นตอนการหมัก ชาอูหลง (Oolong tea) ซึ่งมีการหมักเพียงเล็กน้อย

ส่วนประกอบที่สำคัญของชา ได้แก่ ความชื้น แทนนิน สารประกอบไนโตรเจน (รวมทั้งคาเฟอีน) น้ำมัน แวกซ์ แร่ธาตุ (โดยเฉพาะเกลือโปแตสเซียม) และกาก ชาที่ดีจะมีกลิ่นหอม

ส่วนประกอบที่มีผลต่อกลิ่นของชาคือ คาเฟอีน แทนนิน และน้ำมันที่ระเหยได้ ชาที่ดีจะมีอัตราส่วนของคาเฟอีนต่อแทนนินประมาณ 1 : 3 ชาชนิดชาดำจะมีน้ำมันที่ระเหยได้น้อยกว่า 0.05 %

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของชาดำและชาเขียว (ลักขณา และนิธิยา, 2544) พบว่ามีความแตกต่างกันในด้าน ความชื้น เถ้า เถ้าที่ละลายในน้ำ เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ความเป็นด่างของเถ้า ในโตรเจนทั้งหมด แทนนิน คาเฟอีน กรด และสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของชา

ส่วนประกอบทางเคมี	ชาดำ (%)	ชาเขียว (%)
ความชื้น	3.9-9.5	6.1-9.2
เถ้า	4.9-6.5	5.2-7.2
เถ้าที่ละลายในน้ำ	3.0-4.2	2.6-4.1
เถ้าที่ไม่ละลายในกรด	0.1-0.4	0.05-0.9
ความเป็นด่างของเถ้าที่ละลายในน้ำ (ในรูปของK ₂ O)	1.2-2.0	1.2-1.6
สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (Extractives)	30-50	33-45
คาเฟอีน	1.9-3.6	1.5-4.3
แทนนิน	7.3-15.1	-
ไนโตรเจนทั้งหมด	5.0-6.2	-
กาก	14-18	9-15
Ether extract	10-11	-

ที่มา: ลักษณะและนิยาม (2544)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตชา 83% เป็นชาพันธุ์อัสสัม 17% เป็นชาจีน โดยแหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคเหนือ ผลิตมากที่สุดในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง แพร่ และแม่ฮ่องสอน ตามลำดับ ในช่วง 6 ปี (2541-2546) พื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นจาก 79,762 ไร่ ในปี 2541 เป็น 97,355 ไร่ ในปี 2546 (ธีรพงษ์, 2546) ซึ่งจะเห็นได้ว่าชาพันธุ์อัสสัมมีการเพาะปลูกมาก เนื่องจากการดูแลรักษาที่ง่าย ทำให้ต้นทุนการผลิตไม่สูงมาก และใบชาที่ได้สามารถนำไปผลิตเป็นชาดำ หรือ ชาเขียว เป็นที่ต้องการของตลาด (พนม, 2546) แนวโน้มความต้องการบริโภคชาและผลิตภัณฑ์ชาในช่วง 6 ปี (2541-2546) เพิ่มขึ้นจาก 5,703.37 ตันในปี 2541 เป็น 10,937.80 ตันในปี 2546 หรือเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ย 6.17 % ต่อปี (ธีรพงษ์, 2546)

สารสำคัญในใบชาเป็นสารกลุ่มโพลีฟีนอลจำพวก ฟลาโวนอยด์ ส่วนใหญ่เป็นคาเทชิน ซึ่ง คาเทชิน ในใบชาสดมีสูงถึง 30 % (Graham, 1992) ส่วนในชาเขียวจะมีคาเทชิน ประมาณ 35-50 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าในชาดำ (10 %) และชาอูหลง (8-20 %) เนื่องจากฟลาโวนอยด์ จะถูกเปลี่ยนเป็น Theaflavins และ Thearubigin ขณะที่ชาผ่านกระบวนการหมัก (วรนนท์, 2550) ดังนั้นชาเขียวที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักและใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่าชาชนิดอื่น

จึงมีปริมาณคาเทชินมากที่สุด โดยทั่วไปคาเทชินในใบชาอ่อนจะประกอบด้วยสารประกอบที่สำคัญอีก 5 ชนิด ได้แก่ Epigallocatechin gallate (EGCG), Epigallocatechin (EGC), Epicatechin gallate (ECG), Gallocatechin (GC) และ Epicatechin (EC) ส่วนปริมาณคาเทชิน ในใบชาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ สภาพอากาศ ฤดูกาล การเพาะปลูกชา ความแก่อ่อนของใบชา และพันธุ์ชา (Graham, 1992)

ชาอัสสัม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia Sinensis* Var. *assamica* (Mast.) มีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย มีลักษณะใบชาที่ใหญ่กว่าชาพันธุ์จีน เป็นพันธุ์ชาที่เจริญเติบโตได้ดีตามป่าที่มีร่มไม้ และแสงแดดผ่านได้พอประมาณ (พนม, 2546) หลังการเก็บเกี่ยวใบชาแล้ว เกษตรกรจะนำใบชาไปแปรรูป เป็นชาใบ ได้แก่ ชาไม่หมัก ชากึ่งหมัก ชาดำ 82% และ 18% จะแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาต่าง ๆ ได้แก่ ชาสำเร็จรูป และชาพร้อมดื่ม ดังนี้ (ธีรพงษ์, 2546)

1. ชาเขียว หรือชาไม่หมัก เป็นชาที่ไม่มีขั้นตอนการหมักใบชาสตรระหว่างกระบวนการผลิต แต่ใช้วิธีให้ความร้อนหยุดยั้งการสลายตัวของยอดชาหรือปฏิกิริยาของเอนไซม์ นิยมดื่มกันมากในประเทศจีน และญี่ปุ่น ชาเขียวที่รู้จักกันแพร่หลาย คือ ชาหลงจิ่ง ชาเขียวญี่ปุ่นต่าง ๆ เป็นต้น

2. ชากึ่งหมัก เป็นชาที่มีการหมักใบชาสตรในระหว่างกระบวนการผลิตเพียงบางส่วน รู้จักกันดีที่สุดคือชาอูหลง ชาทิกวนอิม ชาประเภทนี้รสชาติชาเข้มข้น และมีกลิ่นหอม นิยมดื่มกันมากในประเทศจีนตอนกลางแถบมณฑลฟูเจี้ยน กวางตุ้ง ไต้หวัน

3. ชาดำ เป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักนานสมบูรณ์เต็มที่ คนไทยเรียกว่าชาฝรั่ง ชาตะวันตกเรียกว่า Black tea ชาประเภทนี้ได้แก่ ชาคิมุนของจีน ชาส่วนใหญ่ของอินเดียและชาศรีลังกา

จากประเภทของผลิตภัณฑ์ชา พบว่า กระบวนการที่แตกต่างกันก่อให้เกิดชาหลายชนิดและยังพบว่า ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก จึงส่งผลให้ปริมาณสารคาเทชินมากกว่าชาชนิดอื่น (Almajano *et al.*, 2008) สารคาเทชินในชาเขียวมีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ โดยมี epigallocatechins gallate (EGCG) ปริมาณมากที่สุดถึง 50-80 %ของสารคาเทชินทั้งหมด (Khan and Mukhtar, 2007) ซึ่ง EGCG มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ จากการทดลองของ Zaveri (2006) ในสัตว์ทดลองพบว่า EGCG สามารถจับกับอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของโรคหลายชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคระบบประสาท และภาวะไขมันในเลือดสูง Coimbra *et al.* (2006) ทดลองการบริโภคชาเขียวที่มีผลต่อโครงสร้างไขมันในเส้นเลือดของผู้ใหญ่ โดยแบ่งการทดลองเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกบริโภคน้ำเปล่าทุกวันเป็นเวลา 3 อาทิตย์จำนวน 1 ลิตร กลุ่มสองบริโภคชาเขียวทุกวันเป็นเวลา 4 อาทิตย์จำนวน 1 ลิตร พบว่า ชาเขียวสามารถช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล ลดโอกาสเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจที่เกิดจากระดับไขมันในเส้นเลือดสูง จากการทดสอบในหนูทดลองพบว่า คาเทชินช่วยลดระดับกลูโคส และระดับอินซูลินในเลือดได้ (ประภัสสร, มปป.) การศึกษาทางด้านประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ชา พบว่าในชาแต่ละชนิด เช่น ชาดำ ชาอูหลง และชาเขียว มี

กลิ่นที่แตกต่างกัน โดย ชาดำจะมีกลิ่นหอมหวานของดอกไม้ผลไม้ มีกลิ่นหมักและจะมีกลิ่นใกล้เคียงกับชาอู่หลงแต่กลิ่นหมักในชาดำจะเข้มข้นมากกว่า โดยจะแตกต่างกับชาเขียวที่มีกลิ่นหอมสดชื่นและไม่มีการหมักเหมือนกับชาดำและชาอู่หลง (Togari *et al.*, 1995) การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ผู้ทดสอบต้องผ่านการฝึกฝน ทำให้สามารถพรรณนาคุณลักษณะเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสามารถนำมาอธิบายคุณลักษณะของกลิ่นรสชาเขียวได้ถึง 31 คุณลักษณะ ได้แก่ Green, Asparagus, Beany, Green herb-like, Brown spice, Floral, Fruity, Grain, Bitter, Astringent และ Straw-like เป็นต้น (Lee and Chambers, 2007) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการกำหนดคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ได้

ชาเขียวเป็นชาที่ผ่านกระบวนการต่างๆ น้อยที่สุด คือ หลังจากเก็บใบชามาแล้วจะผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็วด้วยการอบไอน้ำ ทำให้ใบชาแห้งและเขียว เมื่อนำไปชงจะได้น้ำชาสีเขียวหรือเหลืองอมเขียว ไม่ค่อยมีกลิ่น แต่มีรสฝาด นิยมแต่งกลิ่นด้วยพืชหอม เช่น มะลิ บัวหลวง เป็นต้น ชาเขียวมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ชาเขียวแบบญี่ปุ่นและชาเขียวแบบจีน ซึ่งแตกต่างกันตรงที่ชาเขียวแบบจีนจะมีการคั่วด้วยกระทะร้อนแต่ชาเขียวแบบญี่ปุ่นไม่ต้องคั่ว

ใบชาเขียวมีสารอาหารพวกโปรตีน น้ำตาลเล็กน้อย และมีวิตามินอีสูง แต่อย่างไรก็ดี มีรายงานว่า วิตามินเอและวิตามินอีที่มีอยู่ในใบชาจะสูญเสียไปเกือบหมดถ้าใช้ระยะเวลาในการชงนานจนเกินไป ส่วนปริมาณของแคลเซียม เหล็กและวิตามินซี จะสูญเสียไปประมาณครึ่งหนึ่ง แต่ก็มีรายงานจากประเทศญี่ปุ่นว่า ถ้าเราสามารถรับประทาน ใบชาเขียวแห้ง 6 กรัมต่อวัน จะทำให้ร่างกายได้รับวิตามินอีและวิตามินเอ ถึง 50 และ 20% ของปริมาณที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันตามลำดับ

ขั้นตอนหรือกรรมวิธีในการทำชาเขียว

การเก็บยอดชา ใบชาสดที่ใช้ในการทำชาจีน จะใช้ยอดชาซึ่งประกอบด้วยสองใบกับหนึ่งยอดตูม ซึ่งทำชาจีนได้คุณภาพดี การเก็บยอดชาไม่ควรเก็บอัดกันแน่นเต็มภาชนะที่ใส่ จะทำให้ใบชาช้ำและเกิดความร้อน ทำให้ใบชาเสื่อมคุณภาพ รสชาติของชาจะเสียไป

การผึ่งใบชา ใบชาสดที่เก็บมาแล้วจะนำมาผึ่งในที่เย็นๆ การผึ่งอาจวางใบชาบนชั้นผึ่งชาหรือบนเลื่อให้บางๆ อย่าให้แน่นเกินไป เวลาที่ใช้ในการผึ่งประมาณ 12-18 ชั่วโมง ในระหว่างที่ผึ่งจะทำการเขย่าหรือร่อนใบชา 3 ครั้ง เพื่อให้น้ำที่มีอยู่ในใบชามีกลิ่นรสดีขึ้น รสไม่ขม

การคั่วใบชา ใบชาที่ผ่านการผึ่งแล้วจะนำมาคั่ว การคั่วใบชาจะใช้กระทะหรือเครื่องคั่วชาเป็นถึงรูปทรงกระบอกยาวประมาณ 125 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 75 เซนติเมตร จุดประสงค์ของการคั่วชาเพื่อให้เซลล์ในใบชาหยุดการทำงาน เป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดการหมัก และทำให้ใบชาอ่อนนุ่มสามารถนวดได้ง่าย การคั่วใบชาใช้เวลาประมาณ 5 นาที ใบชาจะเป็นเป็นสีเหลืองอมเขียว มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม การคั่วใบชาเป็นขั้นตอนสำคัญอันหนึ่งในการทำชาจีน ถ้าคั่วใบชาโดยให้ความร้อนมากเกินไป หรือคั่วนานเกินไป ใบชาจะไหม้หรือสุกเกินไปทำให้ชามีรสขม ถ้าคั่วเร็วเกินไปใบชาจะไม่สุกทำให้ชามีกลิ่นเหม็น

การนวดใบชา หลังจากคั่วใบชาแล้วจะนำเข้าสู่เครื่องนวด จุดประสงค์ของการนวดใบชาเพื่อให้เซลล์ของใบชาแตก น้ำในใบชาจะถูกบีบออกมาคลุกเคล้านอกใบชา เมื่อใบชาแห้งแล้วนำมาชงจะทำให้สีและกลิ่นรสของชาออกมาได้ง่าย นอกจากนี้การนวดจะทำให้ใบชามีรูปร่างเป็นเกลียวสวย

การอบใบชา การอบใบชาจะใช้ไหไม้ไผ่ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 65 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ตรงกลางจะมีตะแกรงไม้ไผ่สำหรับวางใบชา นำใบชาที่นวดเสร็จแล้วใส่ในไหไม้ไผ่ ยกขึ้นวางบนเตาถ่านที่ก่อสูงจากพื้นประมาณ 47 เซนติเมตร ในระหว่างอบต้องคอยพลิกกลับใบชาเพื่อให้ใบชาแห้งได้สม่ำเสมอทั่วกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการอบใบชาจนแห้งประมาณ 4-6 ชั่วโมง (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

เทคนิคการชงชา

วิธีชงชาใบ หรือชาจีน มีขั้นตอนดังนี้

1. อุ่นกาน้ำชาโดยใช้น้ำร้อนลวกภาชนะเพื่อให้กาน้ำชาและถ้วยชาอุ่นขึ้น ช่วยฆ่าเชื้อโรคและดับกลิ่นต่าง ๆ ในภาชนะ
2. ใส่ใบชาลงในปริมาณที่พอเหมาะไม่เกิน 1 ใน 3 ของกาน้ำชา
3. เทน้ำร้อนลงในกาน้ำชาให้เต็ม เพื่อกระตุ้นใบชาให้คลายออกและช่วยล้างใบชาให้สะอาดแล้วเท น้ำทิ้ง
4. เทน้ำร้อนเดือดใหม่ ๆ ลงในกาน้ำชาอีกครั้ง ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที

5. เทน้ำชาลงในถ้วยเซรฟ์ให้หมด ยกเซรฟ์
6. เมื่อต้องการดื่มชาเพิ่มให้เติมน้ำเดือดลงไปอีกครั้ง ทิ้งไว้ประมาณ 2-3 นาที แล้วจึงเทน้ำชาเซรฟ์ใหม่อีกครั้ง ใบชาที่ใช้ชงแต่ละครั้งสามารถใช้ได้ประมาณ 3 - 7 ครั้ง ในครั้งต่อ ๆ ไป หลังจากเติมน้ำร้อนเพิ่มแล้วควรทิ้งไว้นานกว่า 3 นาที และนานไปเรื่อย ๆ เพื่อไม่ให้ชาจืด

วิธีชงชาถุง มีขั้นตอนดังนี้ (ศุภนาถ, 2550)

1. การชงในกา ทำการอุ่นกาน้ำชาโดยเทน้ำร้อนลงกาให้ร้อน วางถุงชาในกาตามจำนวนผู้บริโภคเติมน้ำเดือดใหม่ ๆ ทิ้งไว้อย่างน้อย 3 นาที แล้วใส่ถ้วยเซรฟ์
2. ชงในถ้วยโดยใส่ถุงชาลงในถ้วย เติมน้ำเดือดใหม่แล้วทิ้งไว้ 2 - 3 นาที จึงเอาถุงชาออก แต่หากต้องการให้ชารสชาติดีขึ้น ก็ควรที่จะเพิ่มเวลาให้มากขึ้นชาฝรั่งสามารถเพิ่มรสชาติโดยเติมน้ำตาล นมและมะนาวตามใจชอบ และสามารถทำชาเย็นโดยชงชาด้วยน้ำร้อนให้เข้มข้นเป็น 2 เท่า แล้วจึงเติมรสชาติและน้ำแข็งตามชอบ

2.2 การทำแห้ง (Drying)

การทำแห้ง หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์การอบแห้ง คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (a_w) ซึ่งมีผลไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและเพิ่มความสะดวกแก่ผู้บริโภค (ศุภกิจ, 2547)

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟสุญญากาศ

เครื่องอบแห้งนี้ใช้หลักการลดจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์ลง โดยใช้สภาวะสุญญากาศซึ่งสามารถทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อรักษาสี รูปทรง กลิ่น และสารอาหารให้ได้ใกล้เคียงกับของสด การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีปกติ ซึ่งการให้ความร้อนโดยวิธีปกตินั้น ความร้อนจะเคลื่อนที่จากผิวด้านนอกเข้าสู่ใจกลางของผลิตภัณฑ์แล้วทำให้เกิดไอน้ำระเหยออกมา ผลผลิตจะค่อยๆแห้งจากผิวด้านนอกสู่แกนกลาง ผิวซึ่งแห้งแล้วก็จะเป็นฉนวนความร้อนทำให้การนำความร้อนลดลง จึงต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานแล้วยังมีผลทำให้ผิวนอกแข็งและมีสีคล้ำ ส่วนวิธีการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟนั้น ทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งจะได้พลังงานพร้อมกัน ทำให้อิอน้ำที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่จากภายในออกสู่

ภายนอก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปทรงคล้ายรูปเดิม นอกจากนั้นการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะใช้เวลา น้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีใกล้เคียงกับของสดมาก

การออกแบบเครื่องอบแห้ง เพื่อให้ทนกับความดันบรรยากาศเมื่อภายในห้องอบแห้งเป็นสุญญากาศจึงเลือกห้องอบเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อจะได้ใช้วัสดุน้อยแต่เนื่องจากการออกแบบห้องอบให้มีการกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สม่ำเสมอขึ้นเป็นไปได้อีก เพราะคุณสมบัติของคลื่นมีการเสริมและหักล้างกันเนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งตัวกำเนิดคลื่น และจากการสะท้อนผนังห้องอบแห้งจึงออกแบบให้น้ำวัตถุดิบใส่ในถังทรงกระบอกที่ออกแบบให้มีกรวยภายใน เมื่อถึงหมุนจะทำให้วัตถุดิบเกิดการเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน แล้วตกลงมาอย่างอิสระสู่ด้านล่างทำให้วัตถุดิบมีโอกาสรับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ไอน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ยังสามารถเคลื่อนที่ออกได้อย่างสะดวกทำให้การอบแห้งใช้เวลา น้อย (สุภกิจ, 2547)

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระมีคุณประโยชน์อย่างมากต่อระบบที่สำคัญต่าง ๆ ในร่างกายทั้ง 5 ระบบได้แก่ ระบบหลอดเลือดและหัวใจ ระบบภูมิคุ้มกัน กลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำงานเฉพาะในสมอง การต่อต้านการเกิดโรคมะเร็งต่าง ๆ และการชะลอความชรา รวมทั้งกระบวนการต่าง ๆ ที่โดดเด่นในการปกป้องชีวิต (สายศิริ, 2546)

อนุมูลอิสระ (Free radicals) หรือ ROS

คือโมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก และมีอายุสั้นมากประมาณ 10^{-13} - 10^{-10} วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โมเลกุลหรือไอออนชนิดนี้เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ ขกตัวอย่างเช่น superoxide anion radical ($O_2^\bullet$), hydroxyl radical ($HO^\bullet$) และ peroxide radical ($ROO^\bullet$) เป็นต้น

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ซึ่งเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมตามปกติในร่างกายหรือเกิดจากการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายที่มีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมา เพื่อสู้กับเชื้อโรคบางชนิด
2. อนุมูลอิสระที่มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งได้แก่ สารเคมีและ สิ่งปนเปื้อนที่มากับอากาศที่เราหายใจเข้าไป สารเคมีแต่งอาหาร สีผสมอาหาร สารเคมีปนเปื้อนในอาหาร สารกันบูด หรือสารเคมี ต่างๆ ที่ใช้ในการเกษตร ฯลฯ

อนุมูลอิสระถูกสร้างขึ้นมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายเอง และในภาวะที่ผิดปกติ เช่น ภาวะของโรค หรือภาวะที่ร่างกายแวดล้อมด้วยมลพิษ โดยในภาวะที่ผิดปกติจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจำเป็นที่ร่างกายต้องหาทางป้องกันการโดนทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านั้น สิ่งที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อปกป้องตัวเองก็คือระบบแอนติออกซิ

แวนท์ (antioxidants) ซึ่งประกอบไปด้วยสารหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ก็สามารถจะชะลอหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร (substrate) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยสาร (substrate) เหล่านี้รวมถึงสารเกือบทุกชนิดในร่างกาย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ดีเอ็นเอ แต่อย่างไรก็ตามมีบางภาวะที่ปริมาณอนุมูลอิสระมีมากเกินไปที่ระบบแอนติออกซิแดนท์จะจัดการได้ จะเกิดภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้นมาซึ่งจะส่งผลกระทบต่างๆ ต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเกิดการทำลายของกลุ่มโมเลกุลที่มีพันธะ S-H และเยื่อหุ้มเซลล์ ก่อให้เกิดผลเสียต่อเซลล์ และการทำลายเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (aging) และรุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ เช่น เส้นเลือดตีบ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน (autoimmune disease) โรคที่เกิดจากการที่เลือดกลับไปเลี้ยงอวัยวะที่เคยมีการตีบตันของเส้นเลือดในระยะสั้นๆ มาก่อน (reoxygenation injury, reperfusion injury) รวมไปถึงโรคมะเร็ง เป็นต้น

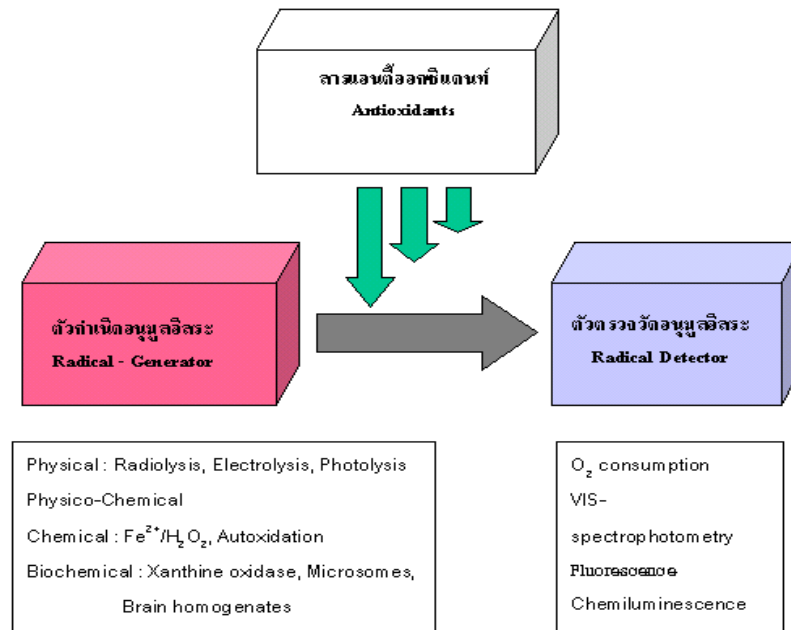
สารแอนติออกซิแดนท์ที่พบในร่างกายและจัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutathione peroxidase (GPX), Glutathione reductase (GR), Glutathione S-transferase (GST)

ส่วนสารแอนติออกซิแดนท์ที่พบในร่างกาย แต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Glutathione, Lipoic acid, Ceruloplasmin, Albumin, Transferrin, Haptoglobin, Hemopexin, Uric acid, Bilirubin, Cysteine

ส่วนสารแอนติออกซิแดนท์ที่พบในอาหารและไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Tocopherol, Carotenoid, Ascorbic acid, Steroids, Ubiquinones, Thiols, Inosine, Taurine, Pyruvate, Gallic acid, Flavonoids, Trolox, BHT, BHA

สารแอนติออกซิแดนท์เหล่านี้จะทำลายอนุมูลอิสระโดยการจับกับอนุมูลอิสระ ลดการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดตั้งต้นหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่

การหาขีดความสามารถในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระของสารแอนติออกซิแดนท์ส่วนใหญ่ ทำโดยอาศัยหลักการดังภาพที่ 2.1 นั่นคือ ขั้นแรกจะเป็นสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมาก่อน แล้วจึงเติมสารแอนติออกซิแดนท์ลงไป จากนั้นทำการตรวจวัดหาอนุมูลอิสระที่เหลือหลังจากการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 หลักการหาขีดความสามารถของสารแอนติออกซิแดนท์ในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา: พรทิพย์ (2540)

สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับทั่วไปในวงการแพทย์ว่า พยาธิสภาพ พยาธิวิทยา รวมถึงพยาธิสรีรวิทยาของการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือโรคมะเร็ง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ดังนั้น การทำลายหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระดังกล่าว จะช่วยในการป้องกัน หรือรักษาโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น จากการศึกษาทางระบาดวิทยาจำนวนมากยืนยันถึงการลดอัตราเสี่ยงและเพิ่มอัตราการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ รวมถึงโรคอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับอนุมูลอิสระ จากการบริโภคผักผลไม้ ซึ่งผลดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารประเภทวิตามินซี เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) รวมถึงสารกลุ่มโพลีฟีนอลิก (polyphenolics) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) เป็นต้น โดยในปัจจุบัน พบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิก เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอก และพบได้มากในธรรมชาติอันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ชอคโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบัน พบสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด ในธรรมชาติ นับจากโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟีนิลโพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น แม้ว่าสารกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณ

โดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 มิลลิกรัม ถึง 1 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ด้านแบคทีเรีย ด้านไวรัส ด้านการอักเสบ ด้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารด้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูล

โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี อย่างน้อย 1 หมู่ ถือเป็น secondary metabolites ของพืชผัก

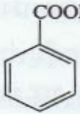
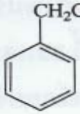
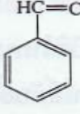
กรดฟีนอลิก (Phenolic acid)

ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของสารในกลุ่มฟีนอลิกและเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก จะขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่แทนที่ไฮดรอกซีในโมเลกุล คุณสมบัติในการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์ซิลิกในกรดเบนโซอิก จะส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนของ hydroxybenzoate น้อยลง ดังนั้น จะพบว่า สารกลุ่ม hydroxycinnamic acid จะมีฤทธิ์ที่ดีกว่า

ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก

การมีไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่ง *o*- หรือ *p*- จะทำให้สารไม่มีหรือมีฤทธิ์ด้านออกซิเดชัน โดยการให้ออกซิเจนน้อยมาก แต่หากวางอยู่ในตำแหน่ง *m*- จะให้ฤทธิ์ที่ดีกว่า (TEAC = 0.08 mM) ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ที่มีคุณสมบัติดึงอิเล็กตรอน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *o*- และ *p*- จะได้รับผลนี้มากกว่า ดังจะเห็นได้จากในกลุ่มของ phenylacetic acid ที่มีหมู่เมทิลีน (-CH₂-) แทรกระหว่างวงฟีนิล และหมู่คาร์บอกซิลิก การมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง *o*- และ *m*- จะให้ TEAC เกือบเท่ากับ 1 mM ในขณะที่การแทนที่ที่ตำแหน่ง *p* จะเพิ่มฤทธิ์เพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.2ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน (TEAC, mM) ของสารกลุ่มฟีนอลิก

ตำแหน่งหมู่ OH	Hydroxybenzoic acids		Hydroxyphenylacetic acids		Hydroxycinnamic acids	
						
2	(salicylic)	0.04 ± 0.01	0.99 ± 0.09		(<i>o</i> -coumaric)	0.99 ± 0.15
3		0.84 ± 0.05	0.90 ± 0.11		(<i>m</i> -coumaric)	1.21 ± 0.02
4		0.08 ± 0.01	0.34 ± 0.10		(<i>p</i> -coumaric)	2.22 ± 0.06
2,3		1.46 ± 0.01				
3,4	(protocatechuic)	1.19 ± 0.03	2.19 ± 0.08		(caffeic)	1.26 ± 0.01
2,5		1.04 ± 0.03	0.91 ± 0.05			
3,5	(resorcylic)	2.15 ± 0.05				
4-OH, 3-OCH ₃		1.43 ± 0.05	1.72 ± 0.06		(ferulic)	1.90 ± 0.02
3,4,5	(gallic acid)	3.01 ± 0.05				
Pyrogallol		1.91 ± 0.02				
Gallic acid and methyl ester		2.40 ± 0.03				
3,5-diOMe, 4-HO	(syringic)	1.36 ± 0.01				

ที่มา: ปรีชา (2550)

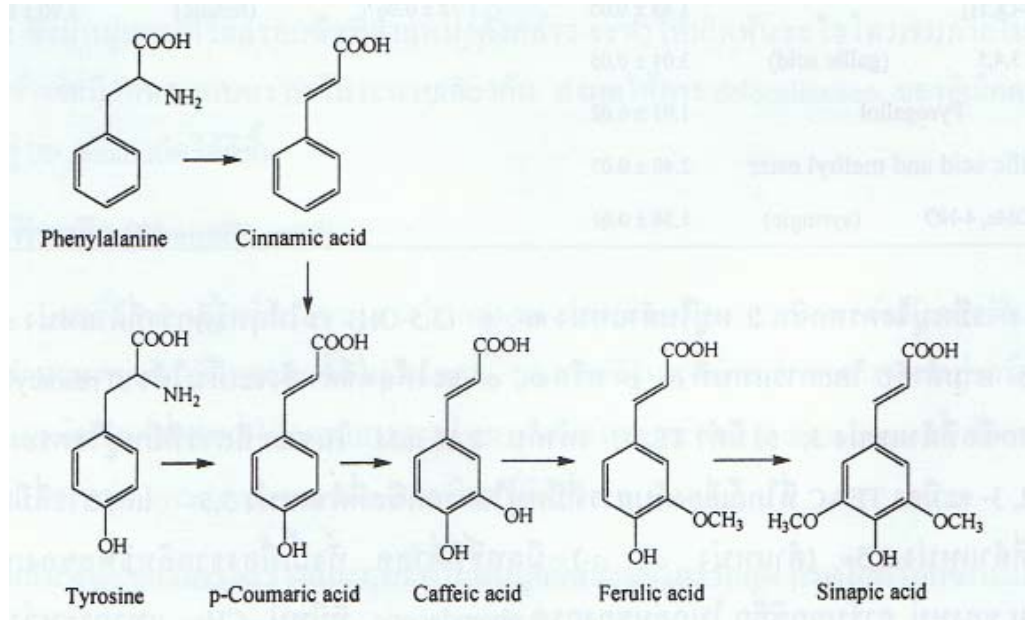
การมีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ ในตำแหน่ง *m*-, *m*-(3,5-OH) จะฤทธิ์ดีกว่าตำแหน่ง *m*-, *o*- และ *m*-, *p*- ตามลำดับ โดยการแทนที่ *o*-, *p*- หรือ *o*-, *o*- จะฤทธิ์ต่ำ ดังจะเห็นได้จาก resorcylic (มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3, 5) มีค่า TEAC เท่ากับ 2.15 mM ในขณะที่สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่ง 2, 3- จะมีค่า TEAC ที่ใกล้เคียงกับสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3, 5 และสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 2, 5- (ตำแหน่ง *o*-, *o*-) มีฤทธิ์ที่ต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอนิล ในกลุ่มของกรด phenylacetic ที่มีหมู่ -CH₂- แทรกระหว่างวงฟีนิล หมู่คาร์บอนิล ซึ่งทำให้วงฟีนิลได้รับอิทธิพลจากหมู่คาร์บอนิลน้อยลง จึงส่งผลทำให้มีฤทธิ์เพิ่มขึ้น เช่น 3,4-dihydroxyphenylacetic acid ซึ่งมีค่า TEAC (2.19 mM) มากกว่า homoprotocatechuic acid (TEAC 1.19 mM) เกือบ 2 เท่า

การมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จะให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันดีที่สุด เช่น กรดแกลลิก จะให้ค่า TEAC สูง (3.0 mM) ในขณะที่การมีหมู่คาร์บอนิล หรือไฮดรอกซิล ถูกบดบังจะทำให้ฤทธิ์ลดลง เช่น เมทิลเอสเทอร์ของกรดแกลลิกจะมีค่า TEAC ลดลงเป็น 2.40 mM และถ้าหมู่ไฮดรอกซิลถูกบดบังในอนุพันธ์ 3, 5-dimethoxy-4-hydroxyl จะมีค่า TEAC เพียง 1.36 mM

จากความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นว่า ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน หรือความสามารถในการให้ไฮโดรเจนเพื่อต้านอนุมูลอิสระ จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล

ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิก

ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) ในพืชที่พบได้มากที่สุด ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก กรดคูมาริก กรดคาเฟอิก และกรดเฟอร์ูลิก ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้จากกระบวนการชีวสังเคราะห์ shikimate โดยมี L-phenylalanine หรือ L-tyrosine เป็นสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



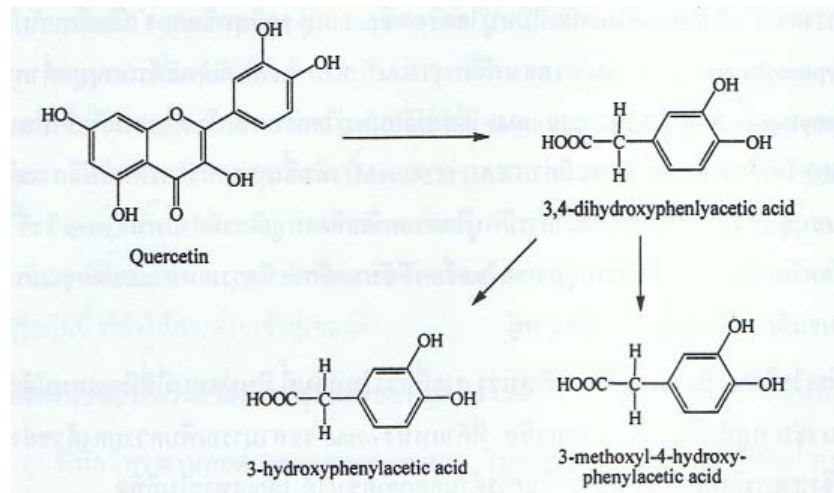
รูปที่ 2.2 วิธีทางของการสังเคราะห์สารกลุ่ม phenylpropanoids ในพืช
ที่มา: ปรีชา (2550)

การแทรกหมู่เอทิลีน ($-\text{CH}=\text{CH}-$) ระหว่างวงฟีนิลและหมู่คาร์บอกซิลิก ทำให้คุณสมบัติในการให้อิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *p*- จะได้รับอิทธิพลนี้มากกว่าที่ตำแหน่ง *o*- และ *m*- ตามลำดับ จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า กรดคูมาริก (*p*-) จะมี TEAC ถึง 2.22 mM สูงกว่า สารในกลุ่ม *p*-hydroxybenzoic และ *p*-hydroxyphenylacetic acid ในขณะที่การแทนที่ในตำแหน่ง *o*- และ *m*- จะให้สารที่มีฤทธิ์ไม่แตกต่างจากสารในกลุ่ม hydroxyphenylacetic acid ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม กรดซินนามิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ จะมีฤทธิ์ลดลง เมื่อเทียบกับสารในกลุ่ม hydroxyphenylacetic acid เช่น กรดคาเฟอิก (TEAC 1.26 mM) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลต่ำกว่า 3,4-dihydroxyphenylacetic acid (TEAC 2.19 mM) เมื่อเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ 3 เป็นหมู่เมทอกซิล ($-\text{OCH}_3$) ได้เป็นกรดเฟอร์ูลิกจะมีค่า TEAC (1.90 mM) เพิ่มมากขึ้นมากกว่ากรดคาเฟอิก อย่างไรก็ตาม ฤทธิ์ต้านอนุมูลที่ได้นั้น ยังน้อยกว่าหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่ง para จึงชี้ให้เห็นว่า การมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในสารกลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิกมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติในการให้ไฮโดรเจนดีกว่า มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่

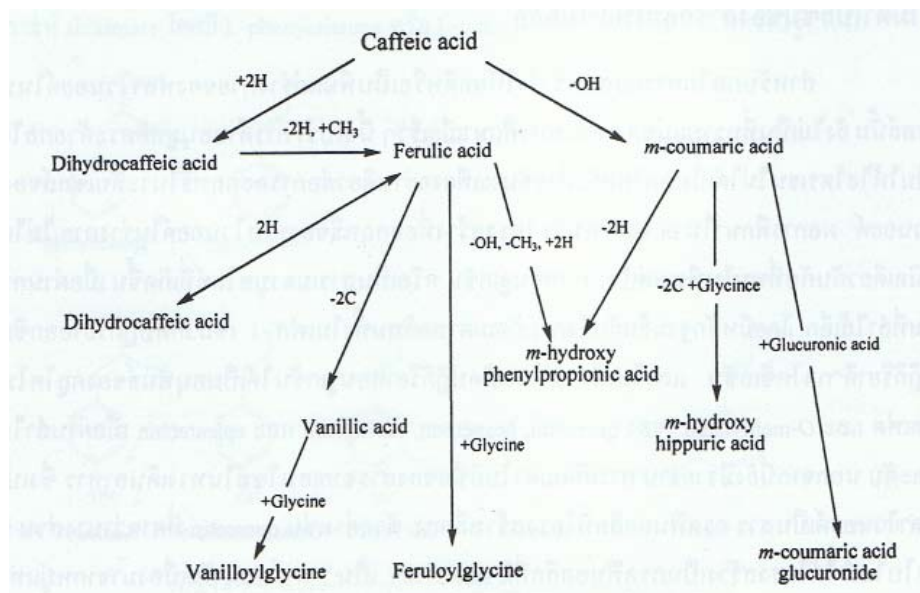
อย่างไรก็ตาม มีรายงานศึกษา ที่พบว่า การที่สารในกลุ่มนี้ มีหมู่แทนที่ที่มีคุณสมบัติเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน เช่น หมู่อัลคิล หรือเมทอกซิล ที่ตำแหน่ง ortho จะสามารถเพิ่มความคงตัวของอนุมูล aryloxy¹ ได้ จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันได้ โดยเฉพาะในลิปิด

เมตาโบลิซึมของสารกลุ่มโพลีฟีนอล

สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งให้ผลดีหรือเป็นพิษแก่ร่างกายของฟลาโวนอยด์ในระดับเซลล์นั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด จากการศึกษาเมื่อเร็วๆ นี้ พบว่า การต้านอนุมูลอิสระด้วยกลไกการให้ไฮโดรเจน ไม่ได้เป็นกลไกหรือคำอธิบายเพียงพอเกี่ยวกับการออกฤทธิ์ในระดับเซลล์ของฟลาโวนอยด์ ผลการศึกษาใน *in vivo* พบว่า โครงสร้างที่ออกฤทธิ์ของฟลาโวนอยด์ในร่างกาย ไม่ได้เป็นชนิดเดียวกันที่พบในพืช แต่เป็นคอนจูเกชัน หรือสารเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้น เมื่อผ่านการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก โดยมีหลักฐานยืนยันถึงการเกิดเมตาโบลิซึมทั้งในเฟส -1 เช่น เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาดีไฮโดรโคซิเลชัน และในเฟส -2 โดยเกิดปฏิกิริยาคอนจูเกชันได้เป็นอนุพันธ์ของกลูโคโรไนด์ซัลเฟต และ *O*-methylated ของ quercetin, hesperetin, naringenin และ epicatechin เมื่อผ่านลำไส้เล็กและตับ นอกจากนี้ยังมีรายงาน การเกิดเมตาโบลิซึมของสารจากเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ซึ่งเปลี่ยนฟลาโวนอยด์เป็นสารกรดฟีนอลลิกที่โครงสร้างเล็กลง ตัวอย่างเช่น quercetin ที่คาดว่าบางส่วนถูกเมตาโบไลต์ได้โครงสร้างเป็นกรดฟีนอลลิกที่มี side chain เป็น 2-คาร์บอน อันเนื่องมาจากหมู่แทนที่ -OH ที่ตำแหน่งที่ 3 บนวงไพโรน (C_3 -OH) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สำหรับฟลาโวนอยด์ที่ไม่มีหมู่ C_3 -OH เช่น hesperetin เมตาโบไลต์กรดฟีนอลลิก ที่จะได้มี side chain เป็น 3-คาร์บอน ซึ่งอนุพันธ์กรดฟีนอลลิกเหล่านี้ จะถูกขับออก บางส่วนอาจถูกดูดซึมและถูกเมตาโบไลต์ต่อไปในตับ ในลักษณะเดียวกันกับกลุ่มฟีนอลลิกอื่นๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 เป็นแผนภาพแสดง เมตาโบลิซึมของกรดคาเฟอิก methylation ที่ phenolic group, dehydroxylation ที่ตำแหน่งพารา คอนจูเกชันกับ glucuronide หรือไกลซีน เป็นต้น



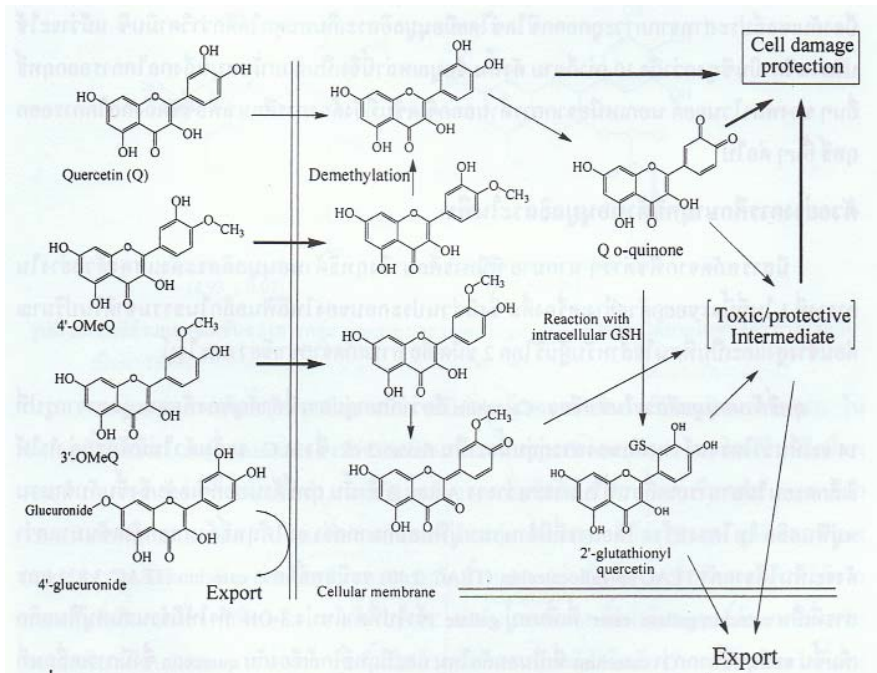
รูปที่ 2.3 ขบวนการเมตาโบลิซึมของ quercetin เป็นกรดฟีนอลิกที่ไม่ซับซ้อนในทางเดินอาหาร
ที่มา: Frankel *et al.* (1995)



รูปที่ 2.4 ขบวนการเมตาโบลิซึมของกรดคาเฟอิก
ที่มา: Rice-Evans *et al.* (1996)

กระบวนการเก็บกลับเข้าสู่เซลล์ของฟลาโวนอยด์และเมตาโบไลต์ขึ้นกับประเภทหรือชนิดของเซลล์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในเซลล์บางชนิด สารกลุ่มนี้อาจถูกเมตาโบไลต์หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเซลล์และถูกขับออกจากเซลล์ในระยะเวลาอันรวดเร็ว โดยทั่วไปฟลาโวนอยด์อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขบวนการเมตาโบลิซึมภายในเซลล์ได้ 3 รูปแบบ คือ 1) คอนจูเกชันกับไท

ออกโดยเฉพาะกับกลูตาไทโอน (GSH) 2) เมตาโบลิซึมโดยกระบวนการออกซิเดชัน 3) ถูกเมตาโบไลต์ผ่านเอนไซม์ P450 ยกตัวอย่างเช่น ขบวนการเมตาโบลิซึมของ quercetin ภายในเซลล์ dermal fibroblast ของคนจะได้เป็น 2'-glutathionyl และ O-methylated forms (รูปที่ 2.5) ซึ่งอาจเป็นสารเมตาโบไลต์ที่มีความสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดผลต่อเซลล์ ที่อาจเป็นผลดีหรือเป็นพิษต่อเซลล์ ในทางตรงกันข้าม epicatechin และเมตาโบไลต์ (เช่น O-methylated form) สามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ fibroblast ได้น้อยมาก จึงไม่พบการเมตาโบไลต์ภายในเซลล์



รูปที่ 2.5 เมตาโบลิซึมของ quercetin (Q) และ quercetin O-methylated metabolites ในเซลล์

fibroblast พบว่า O-methylated metabolites จะผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ดีกว่า quercetin

ในขณะที่ glucuronide form ไม่สามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ได้

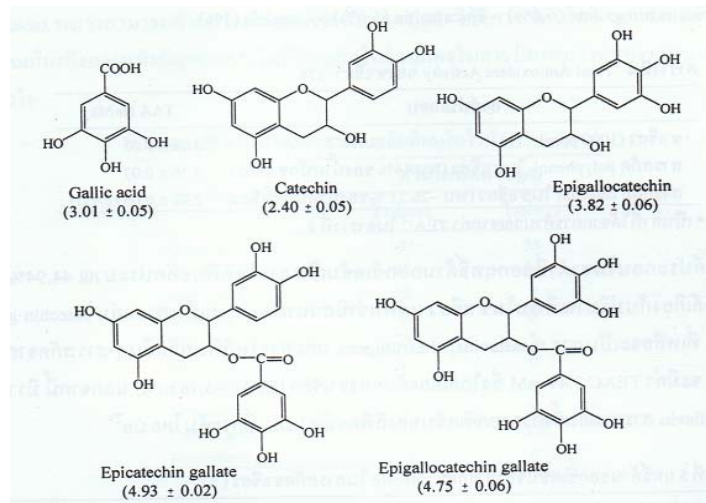
ที่มา: Williams *et al.* (2004)

การเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยเมตาโบลิซึมของฟลาโวนอยด์ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสาร ซึ่งผลการศึกษาส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า แม้เมตาโบไลต์ของฟลาโวนอยด์ในรูปคอนจูเกต หรือรูปแบบอื่น จะสามารถเข้าสู่เซลล์หรือกระแสเลือด และต้านอนุมูลอิสระทั้งที่เป็นอนุมูลของออกซิเจนหรือไนโตรเจน (ROS, RNS) ได้ แต่ประสิทธิภาพจะน้อยกว่า เมื่อเทียบกับสาร parent aglycone นอกจากนี้ การศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์และเมตาโบไลต์ ในพลาสมาหรือในสมอง จะต่ำกว่าสารวิตามินอี หรือสารวิตามินซี ดังนั้น ผลในการต้านอนุมูลอิสระจึงไม่เทียบเท่าสาร 2 ชนิดข้างต้น

2.4 ตัวอย่างการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในชาเขียว

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาเขียว Catechin ถือว่าเป็นกลุ่มสารสำคัญในพืชตระกูลชา จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า โครงสร้างหลักของสารกลุ่มนี้จะเป็น flavan-3-ol ซึ่งวง C จะอิมตัวไม่มีพันธะคู่ ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างวง A และ B ดังนั้น ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่ฟีนอลิกในโครงสร้าง โดยสารที่มีจำนวนหมู่ฟีนอลิกมากกว่า จะให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมากกว่า ดังจะเห็นได้จากค่า TEAC epigallocatechin (TEAC 2.40) จะมีฤทธิ์ดีกว่า catechin (TEAC 3.82) และสารที่เป็น catechin-gallate ester ที่เพิ่มหมู่ gallate เข้าไปที่ตำแหน่ง 3-OH ทำให้มีจำนวนหมู่ฟีนอลิกเพิ่มขึ้น จะมีฤทธิ์มากกว่า catechin ที่เป็นอภัยโคน และฤทธิ์ใกล้เคียงกับ quercetin ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของหมู่อิเล็กตรอนในโมเลกุลดีกว่า เนื่องจากมีโครงสร้างหลักเป็น flavonol

เมื่อเรียงลำดับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่ม catechin จากมากไปน้อย จะได้ดังนี้ epicatechin gallate ~ epicatechin gallate > epigallocatechin > gallic acid > epicatechin (เป็นไอโซเมอร์กับ catechin) ~ catechin อย่างไรก็ตาม พบว่า ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่ม catechin (TEAC > 2.4 mM) จะมากกว่าของวิตามินอี หรือวิตามินซี (TEAC~1 mM) กว่า 2 เท่า



รูปที่ 2.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่ม catechin และ catechin gallate ester ที่พบมากในชาเขียว
ค่าในวงเล็บเป็นค่า TEAC

ที่มา: ปรีชา (2550)

จากรายงานการศึกษาในชาเขียว พบว่า จะมีส่วนประกอบที่เป็นโพลีฟีนอลิกมากกว่า 44% ในจำนวนนี้เป็นสารในกลุ่ม catechins ถึงประมาณ 26.7% (สารกลุ่ม flavonol 6% และโพลีฟีนอลิกอื่นๆ 15%) จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่า สารสกัดชาเขียว (ความเข้มข้น 1000 ppm หรือ 1000 mg/l) มีค่า TEAC เท่ากับ 3.78 mM ในขณะที่ส่วนประกอบในกลุ่ม catechins ให้ค่า TEAC สูงถึง 2.76 mM (มากกว่า 73% ของสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดทั้งหมด) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากสารสกัดที่เป็นเฉพาะโพลีฟีนอลิก จะได้ค่า TEAC เท่ากับ 3.36 mM ซึ่งให้เห็นว่าฤทธิ์ต้าน

ออกซิเดชันของชาเขียวเกือบ 90% มาจากสารกลุ่มนี้ เมื่อเร็วๆ นี้มีรายงานการวิจัยยืนยันว่า ฤทธิ์ต้านมะเร็งทั้งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ที่ได้จากชาเขียว เกิดมาจากสารกลุ่มโพลีฟีนอลิก โดยเฉพาะจากสาร epigallocatechin gallate

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารประกอบ catechin ชนิดต่างๆ ตามปริมาณที่พบในสารสกัดชาเขียว (1000 ppm) จะได้ค่า TEAC รวมที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 2.95 mM (ตารางที่ 2.2) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง ที่ให้ TEAC 2.76 mM (ตารางที่ 2.1) โดยสามารถเรียงลำดับสารที่ให้ฤทธิ์ antioxidant จากมากไปน้อย ได้ดังนี้ epigallocatechin (34%) > epigallocatechin gallate (31%) > epicatechin gallate (6.6%) ~ epicatechin (5.6%) > catechin (1%)

ตารางที่ 2.3 Total Antioxidant Activity ของชาเขียว

องค์ประกอบ	TAA (mM)
ชาเขียว (1000 ppm)	3.78 ± 0.03
สารสกัด polyphenol ในชาเขียว (พบ 44% ของน้ำหนักชาเขียว)	3.36 ± 0.07
สารกลุ่ม catechin ในชาเขียว (พบ ~26.71% ของน้ำหนักชาเขียว)	2.76 ± 0.06

ที่มา: ปรีชา (2550)

องค์ประกอบในชาดำที่ออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเป็นสารโพลีฟีนอลิกประมาณ 44.94% โดยน้ำหนัก ใกล้เคียงกับปริมาณที่พบในชาเขียว แต่พบว่ามีส่วนประกอบที่เป็นสารกลุ่ม catechin-gallate เพียง 6.9% ที่เหลือจะเป็นสาร theaflavins, thearubigens และสารโพลีฟีนอลิกอื่นๆ สารสกัดจากชาดำ (1000 ppm) จะมีค่า TEAC 3.49 mM ซึ่งใกล้เคียงกับของชาเขียว (TEAC = 3.78 mM) นอกจากนี้มีรายงานว่า สาร theaflavin สามารถยับยั้งการออกซิเดชันของลิพิดชนิด LDL ที่กระตุ้นโดย Cu^{2+}

ตารางที่ 2.4ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่ม catechin ในสารสกัดชาเขียว

ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	Polyphenol					
	EGCG	ECG	EGC	EC	C	
% ที่พบในสารสกัดชาเขียว	11.16	2.25	10.32	2.45	0.53	=26.71%
TEAC2, mM	458	442	306	290	290	
ppm ของสาร 1 mM	1.17	0.25	1.28	0.21	0.04	=2.95
AA4	31%	6.6%	34%	5.6%	1%	=78%
%AA						

ที่มา: ปรีชา (2550)

*EGCG (epigallocatechin gallate), ECG (epicatechin gallate), EGC (epigallocatechin), EC (epicatechin), C (Catechin)

1 %ของสารที่พบในชาเขียว

2 ค่า TEAC = ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Trolox ที่ให้ฤทธิ์เท่ากับสารที่ความเข้มข้น 1mM

3 ความเข้มข้นของสาร 1 mM เทียบเป็นหน่วย ppm เช่น EGCG (MW=458) 1 mM คิดเป็น 458 ppm

4 ความเข้มข้นของ trolox ที่ให้ฤทธิ์เท่ากับสารความเข้มข้นจริงในสารสกัดชาเขียว 1000 ppm เช่น EGCG 458 ppm (1 mM) มี antioxidant activity 4.8 ดังนั้น EGCG 111.6 ppm (ชาเขียว 1000 ppm มี EGCG 111.6 ppm) จะมี antioxidant activity (AA) = $111.6 \times 4.8 / 458 = 1.17$

5 จากตาราง 4 ชาเขียว 1000 ppm มี activity 3.78 mM ดังนั้น สารกลุ่ม catechin ทั้งหมดมี antioxidant = $2.95 \times 100 / 3.78 = 78\%$

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์

1. วัสดุดิบ

- ชาสดสายพันธุ์อัสสัม จากไร่ชาระมิงค์ จ.เชียงใหม่

2. สารเคมีและวัสดุ

- เอทานอล (Ethanol; Merck, Germany)
- เมทานอล (Methanol; Scharlau, The European Union)
- DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl; SIGMA, Germany)
- Folin-ciocalteu reagent (MERCK, Germany)
- สารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 7.5%
- สารละลาย indigo carmine
- สารละลายเจลาติน
- สารละลาย acid sodium chloride
- กระป๋องหาความชื้น (moisture can)
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4
- ถ้วย crucible (crucible)
- ขวดปรับปริมาตร

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (AquaLab LITE; DECAGON Devices Inc., USA)
- เครื่องวัดสี (Konica Minolta: CR-400 series, Japan)

4. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

- เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Oertling รุ่น VA 304
- ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert/400
- ชุดกรองประกอบด้วย Buchner funnel, Suction flask และ Suction pump
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Thermo Spectronic, Model Genesys 10UV scanning, USA)
- เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ Panapoltech
- เครื่องเขย่า (Heidolph, UNIMAX 2010, Germany)
- เครื่อง Centrifuge (model EBA20, Germany)
- เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (BÜCHI, Rotavapor R-205, Switzerland)
- เครื่อง Vortex (Vortex Genie2, USA)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, HAAKE: Model DC3)

5. การประมวลผลทางสถิติ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft office
- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS10.0
- โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8.1
- โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert Version 6.0.10 (Stat-Ease Inc., 2000)

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 3.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของชาสด

ตัวอย่างชาสดสายพันธุ์อัสสัม จากไร่ชาระมิงค์ จ.เชียงใหม่ ที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2552 นำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1) การวัดปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดประมาณ 2-3 กรัม (ทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ใน moisture can ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งหาปริมาณน้ำที่หายไป คิดเป็นร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์

2) การวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity, a_w)

วัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีด้วยเครื่อง AquaLab LITE โดยนำตัวอย่างที่บดละเอียดใส่ตลับพลาสติกให้มีความสูงของตัวอย่างไม่เกินครึ่งหนึ่งของความสูงตลับพลาสติก ปิดฝาเครื่องให้สนิท แล้วทำการวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

3) การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน

การเตรียมสารละลาย indigo carmine

ละลาย indigo carmine 1.5 กรัมในน้ำ 1 ลิตรที่มีกรดกำมะถันเข้มข้นละลายอยู่ 50 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 25 มิลลิลิตร จะทำปฏิกิริยาโดยการไตเตรชันพอดิได้สีชมพู กับสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.008 โมลาร์ จำนวน 4 มิลลิลิตร (ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยการไตเตรตกับกรดออกซาลิก)

การเตรียมสารละลายเจลาติน

ชั่งเจลาติน 25 กรัม แช่ไว้ในสารละลายเกลือแกงที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องเจลาตินละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรสารละลายเจลาตินให้ครบ 1 ลิตรด้วยสารละลายเกลือแกงอิ่มตัว

การเตรียมสารละลาย acid sodium chloride

เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ลงในสารละลายเกลือแกงที่อิ่มตัว 975 มิลลิลิตร

วิธีการทดสอบ

ชั่งชาบดละเอียด 5 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ต้มนาน 1 ชั่วโมง กรองผ่านสำลี ใส่ใน volumetric flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันดี (เรียกว่าสารละลาย A) ปิเปตสารละลาย A มา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำเจลาตินลงไป 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย acid sodium chloride เทใส่ลงในพลาสติกขนาดใหญ่ (400 มิลลิลิตร) เติมเกาลิน (Kaolin) ลงไป 20 กรัม เขย่านาน 15 นาทีแล้วกรอง สารละลายที่ได้เรียกว่าสารละลาย B

25 มิลลิลิตร สารละลาย B = 10 มิลลิลิตร สารละลาย A = 0.1 กรัมชาตัวอย่าง

ปิเปตสารละลาย A มา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 1 ลิตร เติมน้ำเจลาติน indigo carmine ลงไป 25 มิลลิลิตร ปรับให้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 750 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลาย

โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.008 โมลาร์ ใส่ในบิวเรต ค่อยๆ หยดใส่ลงในฟลาสค์
 ครั้งละ 1 มิลลิลิตร เขย่าขณะทำการไตเตรชัน สีจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองและสีชมพู
 อ่อน หยุดไตเตรตเมื่อได้สีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่
 ใช้ = A มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลาย B มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสค์ขนาด 1 ลิตร เติมสารละลาย indigo
 carmine ลงไป 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรของสารละลาย 750 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ไตเตรด
 เช่นเดียวกับสารละลาย A จนได้สีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมง
 กาเนตที่ใช้ = B มิลลิลิตร

$$\text{ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไตเตรดกับแทนนิน} = (A - 4.0) - (B - 4.5)$$

หมายเหตุ : 4.0 และ 4.5 เป็นค่า blank ของสารละลาย A และ B ตามลำดับ คำนวณหาปริมาณแทน
 นินต่อน้ำหนักแห้งได้ดังนี้

1 มิลลิลิตร สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.008 โมลาร์ ทำ
 ปฏิกิริยาสมมูลย์พอดีกับแทนนิน 0.001664 กรัม

4) การวิเคราะห์หาปริมาณเต้า

ชั่งขนาดละเอียด 5 กรัม ใส่ใน crucible ค่อยๆ เเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ แล้วนำไปเผาต่อใน
 เตาเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส จนเต้ามีสีเทา ชั่งหาน้ำหนักเต้าที่ได้ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เต้า
 ในชาตัวอย่าง

5) การหาปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ

ชั่งขนาดละเอียด 2 กรัม (อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้) ใส่ลงในน้ำ 100
 มิลลิลิตรนำไป reflux นาน 1 ชั่วโมง กรองเก็บสารละลายที่กรองได้ใส่ใน volumetric flask ขนาด
 250 มิลลิลิตร นำกากไป reflux ซ้ำอีกแล้วกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้รวมกัน ทำซ้ำจน
 สารละลายที่สกัดได้ไม่มีสี ปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้ผสมกัน นำกากที่
 เหลือไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กากที่เหลือ

ปิเปตของเหลวที่สกัดได้ใน Volumetric flask มา 50 มิลลิลิตร (ใช้ volumetric pipette) ใส่
 ในภาชนะโลหะที่ผ่านการอบและทราบน้ำหนักแล้ว นำไประเหยเอาน้ำออกจนแห้งบน water bath
 นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งหาปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ
 และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งของชาตัวอย่าง

6) การวิเคราะห์กิจกรรมสารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant activity)

การเตรียมสารสกัด

ซึ่งหาแห้งบดละเอียดลงในพลาสติก แล้วเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนชาต่อเอทานอลเท่ากับ 1 : 5 (w/v)) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 27.8 rpm เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที กรองสารสกัดด้วยชุดกรองที่ประกอบด้วย bucher funnel, suction flask และ suction pump ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 5,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำไปประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็ว 180 rpm จนได้สารละลายเข้มข้นแล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry)

การวิเคราะห์กิจกรรมสารแอนติออกซิแดนซ์โดยวิธี DPPH

1. ชั่งสารสกัด 0.25xx กรัม ละลายในเมทานอล 25 มิลลิลิตร
 2. ทำการเจือจางสารสกัดจนมีความเข้มข้น 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} และ 10^{-8} ตามลำดับ
 3. ปิเปตสารละลายของสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นปริมาณ 4.9 มิลลิลิตรลงในขวดสีชา
 4. เติม DPPH ความเข้มข้น 5 mM จำนวน 0.1 มิลลิลิตร
 5. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex
 6. เก็บไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
 7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
- นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณ ดังนี้

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [A_0 - (A_1 - A_s)] / A_0 \times 100$$

โดยที่ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสารสกัดตัวอย่างในสารละลาย DPPH

A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสารสกัดตัวอย่าง

ทำการพล็อตกราฟระหว่างแกน Y คือค่า DPPH radical scavenging activity และแกน X คือ LOG ความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง (mg/l) โดยกราฟที่ได้จะอธิบาย ความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาที่ 50%

7) การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic)

1. ชั่งสารสกัด 0.1xxx กรัม ละลายในเมทานอล 5 มิลลิลิตร
2. ทำการเจือจางสารสกัดให้มีความเข้มข้น 10^{-3}
3. ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้วมา 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดสีชา
4. เติม folin-ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที

6. เติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 7.5% จำนวน 2 มิลลิลิตร
7. เก็บไว้ในที่มีดเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 775 นาโนเมตร

เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ กับกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสง ของสารละลาย gallic acid

8) การวิเคราะห์สารสำคัญโดยวิธี HPLC

การสกัดองค์ประกอบของชา

1. ชั่งตัวอย่างชา 1.00 กรัม แช่วลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
2. ลดอุณหภูมิลงที่ 4°C โดยแช่ลงในถังน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที
3. กรองสารสกัดที่ได้ผ่าน syringe filter 0.45 μm แล้วบรรจุลงขวด vial

เครื่อง HPLC (Shimadzu Scientific Instrument, Japan) ประกอบด้วย SCL-10A system controller, GT-154 degasser, FCV-10AL Mixer, LC-10AD liquid chromatography pump, SPD-10A UV-VIS detector, CTO-10Avp column oven and CBM-10A communications BUS module โดยคอลัมน์ที่ใช้แยก คือ C_{18} reversed-phase column (4.6 mm x 250 mm, Waters, Ireland)

Mobile phase A ประกอบด้วย

0.2%(v/v) phosphoric acid	86%(v/v)
Acetonitrile	12%(v/v)
Tetrahydrofuran	1.5%(v/v)

Mobile phase B ประกอบด้วย

0.2%(v/v) phosphoric acid	73.5%(v/v)
Acetonitrile	25%(v/v)
Tetrahydrofuran	1.5%(v/v)

สถานะที่ใช้สำหรับเครื่อง HPLC

ในช่วง 30 นาทีแรก จะใช้ mobile phase A 100% จากนั้น mobile phase B จะถูกเพิ่มปริมาณขึ้นจาก 0% เป็น 100% ในช่วง 10 นาทีต่อมา แล้วจะปล่อย mobile B 100% ให้ไหลผ่านเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจะลดลง mobile B จนเท่ากับ 0% ในช่วง 10 นาทีถัดไป แล้ว 20 นาทีต่อมาจะเปลี่ยนเป็น mobile phase A 100% เพื่อเตรียมสถานะสำหรับการฉีดตัวอย่างครั้งต่อไป กำหนดให้

Detector Wavelength 1: 280 nm

Detector Wavelength 2: 210 nm

Column temperature: 25-30°C

เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างชา กับ กราฟมาตรฐานของ Epigallocatechin gallate (EGCG), Epigallocatechin (EGC), Epicatechin gallate (ECG), Gallocatechin (GC), Epicatechin (EC) และ Catechin (C) ที่พล็อตระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับพื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างชาที่เทียบเท่ากับ ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

- วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's multiple comparison tests โดยใช้โปรแกรม SPSS10.0

การทดลองที่ 3.2 การพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตชาเขียวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ (Vacuum microwave; VR100 March Cool Co, Thailand) วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ D-optimal เพื่อหาพื้นที่ตอบสนอง (Response surface methodology; RSM) และจุดที่เหมาะสม (Optimization) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่

ปริมาณชา	2-4	กิโลกรัม
เวลาที่ใช้อบ	30-50	นาที
พลังงาน	3,200-4,800	วัตต์

ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 20 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบ D-optimal

สิ่งทดลอง	ปริมาณหา (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้อบ (นาท)	พลังงาน (วัตต์)
1	2	50	3,200
2	2	40	4,800
3	2	30	4,800
4	4	50	3,200
5	4	50	4,800
6	4	30	4,800
7	2	50	4,000
8	2	30	4,000
9	2	30	3,200
10	4	30	3,200
11	3	30	3,200
12	4	50	4,800
13	3	40	4,000
14	4	50	3,200
15	2	40	3,200
16	4	30	4,800
17	2	50	4,800
18	4	30	3,200
19	3	40	4,000
20	3	40	4,000

ทำการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟทั้ง 20 สิ่งทดลองข้างต้น เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิทในสภาวะสุญญากาศ แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าออกเตอร์แอคติวิตี ปริมาณแทนนิน ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ กิจกรรมสารแอนด็อกซิแดนซ์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารสำคัญโดยวิธี HPLC เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1



รูปที่ 3.1 ชาสดสายพันธุ์อัสสัมและเครื่องทำแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Sensory Analysis)

ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบขั้นต้น โดยใช้แบบสอบถามคัดกรองเบื้องต้น (prescreening questionnaire) และแบบทดสอบการอ่านสเกล เพื่อสอบถามปัญหาและอุปสรรคในการทดสอบทั้งด้านสุขภาพที่อาจส่งผลกระทบต่อประสาทสัมผัสในการรับรู้ ด้านการมองเห็น ด้านกลิ่น และกลิ่นรส รวมถึงช่วงเวลาที่สะดวกในการทดสอบ จากนั้นคัดกรองให้ได้ผู้ทดสอบที่มีความเหมาะสมที่สุดผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการฝึกหัดจำนวน 10 คน แล้วทำการฝึกฝนผู้ทดสอบ (ดัดแปลงวิธีการของ Stone, 1992) โดยใช้เวลาในการฝึกฝนรวมทั้งสิ้น 8 ชั่วโมง (2 ชั่วโมง/การประชุม) ดังนี้

การประชุมครั้งที่ 1

เตรียมตัวอย่างชาเขียวจำนวน 5 ทรายี่ห้อ โดยแช่ชาเขียวที่บรรจุในถุงชา ถุงละ 1 กรัม ลงในน้ำอุณหภูมิ 98°C ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นาน 3 นาที จากนั้นรินชาที่ได้ใส่แก้วใสในปริมาณ 30 มิลลิลิตร เสร็จตัวอย่างชาร้อนแก่ผู้ทดสอบ ทำการเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของชาเขียว โดยให้ผู้ทดสอบระบุคุณลักษณะ/คำศัพท์ที่สำคัญที่พบตามลำดับการรับรู้ก่อน-หลัง และอธิบายถึงลักษณะของคุณลักษณะที่พบนั่นเพื่อให้เข้าใจตรงกัน รวมทั้งให้ระบุถึงตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมกับคุณลักษณะต่างๆ ของชาเขียว

การประชุมครั้งที่ 2

จากการประชุมครั้งที่ 1 สามารถระบุคุณลักษณะที่สำคัญได้ 12 คุณลักษณะ ได้แก่ สีเหลืองอมน้ำตาล (Brown Yellow Color) ความใส/ขุ่น (Clearness) กลิ่นชา (Green tea aroma) กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma) กลิ่นรสชา (Green tea flavor) กลิ่นรสเขียว (Green flavor) รสขม (Bitter) รสหวาน (Sweet) ความฝาดฝืด (Astringent) ความรู้สึกล้นหลังกลืนรสขม (Bitter aftertaste)

ความรู้สึกลังกลืนความฝาดเผื่อน (Astringent aftertaste) ความรู้สึกลังกลืนรสหวาน (Sweet aftertaste) จากนั้นจึงคัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมในแต่ละคุณลักษณะโดยใช้ความเห็นคิดเห็นร่วมกัน (consensus)

การประชุมครั้งที่ 3

ฝึกฝนผู้ทดสอบเพื่อประเมินตัวอย่างอ้างอิงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สำหรับแต่ละคุณลักษณะ เป็นการปรับระดับการรับรู้ด้านกลิ่นของแต่ละบุคคลให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เตรียมตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะที่ 3 ระดับความเข้มข้น สเกลที่ใช้เป็นแบบเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร และขีดเส้นกั้นหัว-ท้ายที่ระยะ 1.25 เซนติเมตรจากปลายทั้งสองด้าน (Meilgaard *et al.*, 2007) โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มข้นในแต่ละตัวอย่าง โดยทำเครื่องหมายขีด |) ลงบนเส้นตรงตามระดับรู้สึกของแต่ละคน แล้วจึงสรุประดับความเข้มข้นของตัวอย่างอ้างอิงโดยใช้ความเห็นคิดเห็นร่วมกัน

การประชุมครั้งที่ 4

ฝึกการประเมินตัวอย่างชาเขียว โดยเสนอตัวอย่างชาเขียวซึ่งเป็นตัวอย่างที่เสนอให้ผู้ทดสอบก่อนการประเมินตัวอย่างจริง (warm-up sample) โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มข้นของตัวอย่างสำหรับ 12 คุณลักษณะ โดยทำเครื่องหมายขีด |) ลงบนเส้นตรงตามระดับรู้สึกของแต่ละคน แล้วจึงสรุประดับความเข้มข้นโดยใช้ความเห็นคิดเห็นร่วมกัน การประเมินตัวอย่างก่อนทดสอบตัวอย่างจริงโดยใช้ความเห็นคิดเห็นร่วมกัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น (Plemmons and Resurreccion, 1997) เนื่องจาก ผู้ทดสอบสามารถใช้ข้อมูลที่ได้เพื่อปรับมาตรฐานของตนเอง โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่ได้จากความเห็นคิดเห็นร่วมกัน

การประเมินตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยแช่ชาเขียวที่บรรจุในถุงชา ถุงละ 1 กรัม ลงในน้ำอุณหภูมิ 98°C ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นาน 3 นาที จากนั้นรินชาที่ได้ใส่แก้วใสในปริมาณ 30 มิลลิลิตร เสริฟตัวอย่างชาร้อนแก่ผู้ทดสอบ

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เตรียมตัวอย่างชาเขียวจำนวน 20 ตัวอย่าง เสนอตัวอย่างโดยใช้รหัสเลขสามตัว และสุ่มลำดับการนำเสนอ โดยให้ผู้ทดสอบทำการประเมินตัวอย่างภายในคูหา (booth) ในห้องทดสอบที่มีเครื่องปรับอากาศและมีแสงสว่างเพียงพอ แบบประเมินประกอบด้วยสเกลเส้นตรงความยาว 15

เซนติเมตร จัดเส้นก้นหัว-ท้ายที่ระยะ 1.25 เซนติเมตรจากปลายทั้ง 2 ข้าง ทำการประเมินทั้งสิ้น 12 คุณลักษณะ ได้แก่ สีเหลือง อมน้ำตาล (Brown Yellow Color) ความใส/ขุ่น (Clearness) กลิ่นชา (Green tea aroma) กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma) กลิ่นรสชา (Green tea flavor) กลิ่นรสเขียว (Green flavor) รสขม (Bitter) รสหวาน (Sweet) ความฝาดเผื่อน (Astringent) ความรู้สึกหลังกลืนรสขม (Bitter aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนความฝาดเผื่อน (Astringent aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนรสหวาน (Sweet aftertaste) นอกจากนี้ยังเสนอตัวอย่างอ้างอิงของแต่ละคุณลักษณะที่ระดับความเข้มข้น เพื่อเป็นกรอบในการประเมิน อีกทั้งเตรียมขนมปังกรอบชนิดจืดให้ผู้ทดสอบใช้รับประทานคั่นระหว่างตัวอย่าง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการประเมินตัวอย่าง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

- วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's multiple comparison tests โดยใช้โปรแกรม SPSS10.0
- วิเคราะห์ตัวประกอบด้วยวิธี Principle Component Analysis (PCA) โดยใช้โปรแกรม SPSS 10.0
- วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization condition) โดยการหาพื้นที่ตอบสนอง (Response surface methodology) ด้วยโปรแกรม Design expert 6.0.2

การทดลองที่ 3.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีไมโครเวฟที่เหมาะสม และชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม

ทำการผลิตชาเขียวตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 เปรียบเทียบกับชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม แล้ววิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าออกเตอร่า แอคติวิตี ปริมาณแทนนิน ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ กิจกรรมสารแอนติออกซิแดนท์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารสำคัญโดยวิธี HPLC นอกจากนี้ ยังทำการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบการยอมรับ ด้วยการให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นชา กลิ่นรสชา รสขม ความฝาดเผื่อน ความรู้สึกหลังกลืนรสขม ความรู้สึกหลังกลืนความฝาดเผื่อน และความชอบโดยรวม โดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน กำหนดให้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ไปถึง 9 = ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 100 คน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองที่ 4.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของชาสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของชาสดสายพันธุ์อัสสัมจากไร่ชาระมิงค์ จ.เชียงใหม่ ที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2552 โดยการสุ่ม 4 ซ้ำ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1- 4.3

ตารางที่ 4.1 ค่าปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของชาสด*

ตัวอย่าง	ร้อยละปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
ชาสด LOT#1	79.99 ± 1.73	0.980 ± 0.016
ชาสด LOT#2	78.70 ± 1.87	0.878 ± 0.012
ชาสด LOT#3	80.40 ± 0.78	0.856 ± 0.014
ชาสด LOT#4	79.28 ± 0.41	0.878 ± 0.019
เฉลี่ย	79.59 ± 0.75	0.900 ± 0.060

*จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 ร้อยละของเถ้า ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ และปริมาณแทนนินของชาสด*

ตัวอย่าง	เถ้า (%)	สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (%)	แทนนิน (%)
ชาสด LOT#1	7.98 ± 0.06	9.49 ± 0.02	1.94 ± 0.48
ชาสด LOT#2	7.28 ± 0.04	9.37 ± 0.10	1.10 ± 0.48
ชาสด LOT#3	6.25 ± 0.02	9.15 ± 0.28	0.83 ± 0.00
ชาสด LOT#4	6.00 ± 0.03	9.10 ± 0.06	0.83 ± 0.00
เฉลี่ย	6.88 ± 0.92	9.28 ± 0.18	1.18 ± 0.53

*จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

จากตารางที่ 4.1-4.2 พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของชาสดมีค่าอยู่ระหว่าง 79-80%ของน้ำหนักเปียก มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูงโดยมีค่า 0.856-0.980 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเถ้าพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง

6.00-7.98% นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำและมีปริมาณแทนนินอยู่ในช่วง 9.10-9.49% และ 0.83-1.94% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาสด*

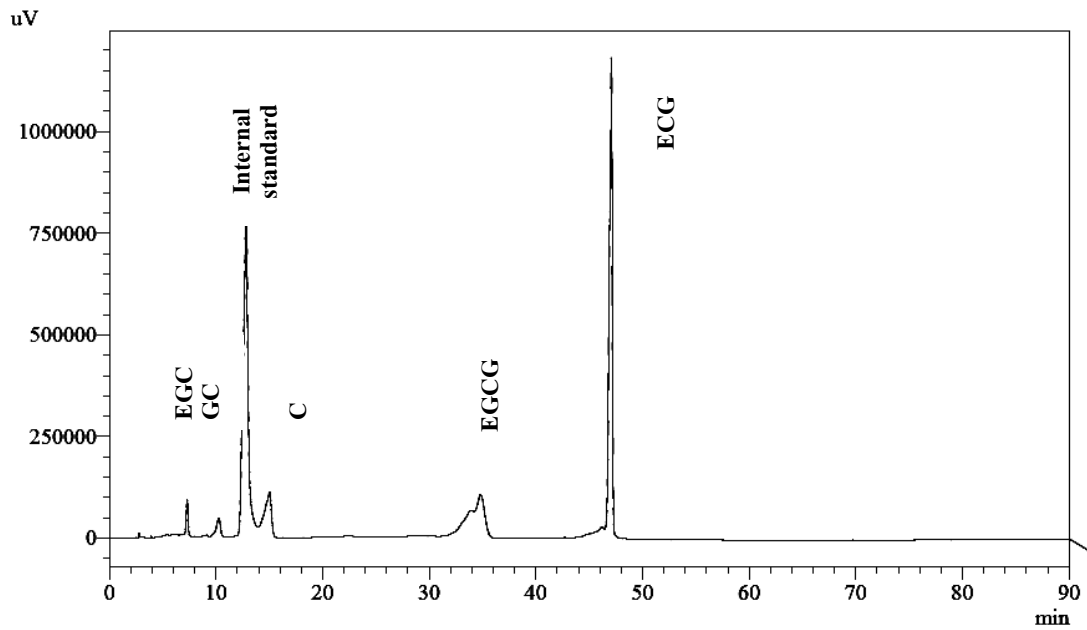
ตัวอย่าง	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความ เข้มข้นของ DPPH [•] เหลืออยู่ 50% (mg/L)
ชาสด LOT#1	466.50 ± 7.39	0.99 ± 0.01
ชาสด LOT#2	496.45 ± 12.99	1.47 ± 0.59
ชาสด LOT#3	518.68 ± 9.64	0.93 ± 0.02
ชาสด LOT#4	617.72 ± 16.13	0.89 ± 0.02
เฉลี่ย	524.84 ± 65.51	1.07 ± 0.27

*จากการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง

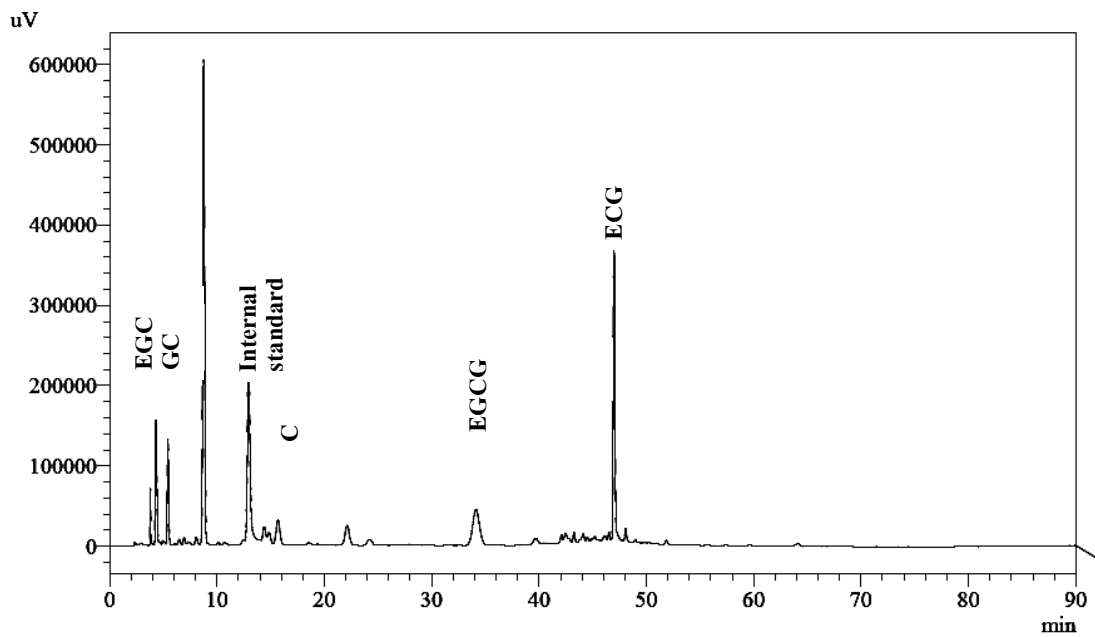
จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างชาสด โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารสกัดชาสดกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Gallic acid โดยรายงานผลในหน่วย mg GAE (Gallic acid equivalents)/ g tea on dry basis จากผลการวิเคราะห์พบว่า ในตัวอย่างชาสดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 466.50 -617.72 mg GAE/ g tea on dry basis

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างชาสดใช้วิธี DPPH ซึ่ง reagent ที่ใช้คือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็น stable radical ในตัวทำละลาย methanol โดยรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC₅₀) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] เหลืออยู่ 50% จากการทดลองพบว่าความสามารถในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระของชาสดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.88-1.47 mg/L

รูปที่ 4.1 แสดงโครมาโทแกรมผลการวิเคราะห์หาสารคาเทชินที่เป็นองค์ประกอบในชาสดโดยวิธี HPLC และตารางที่ 4.4 แสดงระยะเวลาที่พีก (peak) ปรากฏ (retention time) ของสารมาตรฐาน ได้แก่ Catechin (C), Epigallocatechin (EGC), Epigallocatechin gallate (EGCG), Epicatechin gallate (ECG), Gallocatechin (GC) และ Epicatechin (EC)



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมสารมาตรฐาน 5 ชนิดและ Internal standard
(4-amino salicylic acid) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC



รูปที่ 4.2 โครมาโทแกรมสารสำคัญของชาสดที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี HPLC

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาที่พีก (peak) ปรากฏ (retention time) ของสารมาตรฐาน Catechin (C), Epigallocatechin (EGC), Epigallocatechin gallate (EGCG), Epicatechin gallate (ECG), Galocatechin (GC) และ Epicatechin (EC)

สารมาตรฐาน	Retention time* (นาที)
Epigallocatechin (EGC)	7.257
Gallocatechin (GC)	10.202
Catechin (C)	14.428
Epigallocatechin gallate (EGCG)	32.979
Epicatechin gallate (ECG)	46.821

* ค่าเฉลี่ยจากการทำกราฟมาตรฐาน 6 จุด

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของชาสด (%น้ำหนักแห้ง) เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน Catechin (C), Epigallocatechin gallate (EGCG), Epicatechin gallate (ECG), Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC)

ตัวอย่าง	Catechin (C)	Epigallocatechin gallate (EGCG)	Epicatechin gallate (ECG)	Epigallocatechin (EGC)	Gallocatechin (GC)
ชาสด LOT#1	0.31	2.72	1.79	1.06	0.02
ชาสด LOT#2	0.27	1.98	3.18	0.64	0.01
ชาสด LOT#3	0.67	5.11	3.82	1.90	0.02
ชาสด LOT#4	0.38	5.12	3.71	1.10	0.02
เฉลี่ย	0.41±0.18	3.73±1.62	3.13±0.93	1.18±0.53	0.02±0.00

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณอนุพันธ์ของคาเทชินในชาสดจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ catechin (C) Epigallocatechin gallate (EGCG) Epicatechin gallate (ECG) Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC) พบว่าในชาสดมีปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน EGCG สูงกว่าสารมาตรฐานอื่นๆ โดยมีปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.98 – 5.12% ของน้ำหนักแห้ง แต่จะมีความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน GC ในปริมาณที่น้อยกว่าสารมาตรฐานอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 0.02% ของน้ำหนักแห้ง

การทดลองที่ 4.2 การพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ โดยผันแปรระดับของ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณชาเขียว ระยะเวลาในการอบ และกำลังไมโครเวฟ ทำการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้ง 20 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7-4.8

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 2, 7 และ 17 มีปริมาณความชื้นต่ำสุดและแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในระหว่าง 1.64-2.52% ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อพิจารณาระดับของปัจจัยที่ทำการผันแปรของสิ่งทดลองดังกล่าว พบว่าประกอบด้วย ปริมาณชาสดตั้งต้น 2 กิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดที่ใช้ในการทดลอง ระดับพลังงานและระยะเวลาที่ใช้อบมีค่าอยู่ในช่วง 4,000-4,800 วัตต์ และ 40-50 นาที ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในสิ่งทดลองที่ 10 และ 18 พบว่า มีปริมาณความชื้นสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสิ่งทดลองดังกล่าว ประกอบด้วยปริมาณชาสดตั้งต้น 4 กิโลกรัม พลังงานที่ใช้อบในระดับต่ำโดยมีค่าเท่ากับ 3,200 วัตต์ ใช้เวลาอบเพียง 30 นาที ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่มาก

เมื่อพิจารณาค่าออเตอร์แอคติวิตี (a_w) (ตารางที่ 4.6) พบว่า ผลิตภัณฑ์ชาในสิ่งทดลองที่ 7 และ 17 มีค่า a_w อยู่ในระดับต่ำ (เท่ากับ 0.216 และ 0.219 ตามลำดับ) ซึ่งค่า a_w ดังกล่าวจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ ($a_w < 0.7$) ทั้งนี้ค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ โดยค่า a_w มีความสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า a_w ที่จำกัด และยังมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณความชื้นและค่าออกฤทธิ์แอคติวิตีของชาเขียวทั้ง 20 สิ่งทดลอง*

สิ่งทดลอง ¹	ร้อยละปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)	ค่าออกฤทธิ์แอคติวิตี
1	32.50 ± 1.76h	0.898 ± 0.041b
2	1.50 ± 0.07i	0.390 ± 0.007e
3	26.62 ± 0.85h	0.880 ± 0.027bcd
4	65.09 ± 0.58bcd	0.976 ± 0.010a
5	44.16 ± 0.76f	0.967 ± 0.002a
6	64.50 ± 0.43cd	0.979 ± 0.001a
7	2.54 ± 0.00i	0.216 ± 0.039f
8	53.41 ± 0.11e	0.859 ± 0.009d
9	64.20 ± 0.31d	0.876 ± 0.005bcd
10	75.33 ± 0.32a	0.882 ± 0.005bcd
11	70.99 ± 0.21ab	0.880 ± 0.002bcd
12	37.57 ± 0.58g	0.869 ± 0.011cd
13	54.91 ± 0.09e	0.880 ± 0.003bcd
14	70.07 ± 0.02bc	0.884 ± 0.005bcd
15	48.33 ± 4.29f	0.860 ± 0.009d
16	64.03 ± 0.51cd	0.892 ± 0.006c
17	2.29 ± 0.14i	0.219 ± 0.030f
18	75.05 ± 0.34a	0.898 ± 0.001b
19	55.57 ± 0.33e	0.982 ± 0.002a
20	52.48 ± 0.36e	0.982 ± 0.005a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวดิ่ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 4.7 ค่าร้อยละของเถา สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ และปริมาณแทนนินของชาเขียว 20 สิ่งทดลอง*

สิ่งทดลอง ¹	เถา (%)	สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ		แทนนิน (%)
		กาก (%)	สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (%)	
1	7.73 ± 0.07b	49.73 ± 1.23ghi	9.20 ± 0.31efgh	2.77 ± 0.48hijk
2	8.40 ± 0.09a	45.34 ± 0.92k	9.49 ± 0.06bcde	4.71 ± 0.96efg
3	7.74 ± 0.42c	46.82 ± 0.68jk	9.30 ± 0.08efg	4.99 ± 1.44ef
4	8.14 ± 0.09b	51.61 ± 1.70defgh	8.51 ± 0.16j	3.05 ± 0.48ghij
5	8.27 ± 0.16ab	51.38 ± 0.58efgh	9.42 ± 0.24cdef	5.55 ± 1.27de
6	8.27 ± 0.10ab	53.52 ± 0.15cde	9.14 ± 0.08efgh	1.11 ± 0.48kl
7	8.16 ± 0.10ab	46.84 ± 0.94jk	10.08 ± 0.13a	10.54 ± 2.09a
8	7.75 ± 0.04c	45.72 ± 1.94k	9.69 ± 0.30bcd	0.83 ± 0.00l
9	7.27 ± 0.06de	48.90 ± 3.76hij	8.91 ± 0.32hi	1.11 ± 0.48kl
10	7.36 ± 0.02d	56.69 ± 0.27ab	8.65 ± 0.15ij	1.66 ± 0.00ijkl
11	7.21 ± 0.07de	54.28 ± 0.40bcd	8.39 ± 0.03j	1.66 ± 0.83ijkl
12	7.76 ± 0.17c	48.63 ± 0.17ij	9.72 ± 0.25bc	3.33 ± 0.83fghi
13	6.14 ± 0.13h	52.38 ± 1.41cdefg	9.44 ± 0.35bcdef	11.09 ± 0.48a
14	6.29 ± 0.06gh	50.18 ± 3.47fghi	9.06 ± 0.06fgh	1.38 ± 0.83jkl
15	6.37 ± 0.11gh	52.10 ± 1.29defgh	9.34 ± 0.21defg	7.48 ± 0.83bc
16	6.44 ± 0.12fg	54.87 ± 0.45bc	9.81 ± 0.03ab	4.16 ± 0.83efgh
17	6.62 ± 0.09f	51.64 ± 0.36defgh	9.77 ± 0.22abc	8.87 ± 1.27b
18	6.28 ± 0.05gh	57.77 ± 0.69a	9.01 ± 0.17gh	1.39 ± 0.96jkl
19	7.03 ± 0.13e	50.46 ± 0.95fghi	9.09 ± 0.25fgh	1.94 ± 0.96ijkl
20	7.10 ± 0.10e	53.08 ± 0.33cdef	9.32 ± 0.07defg	6.93 ± 0.96cd

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ปริมาณเถาของผลิตภัณฑ์ชาที่ได้จากการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.14-8.40 ซึ่งในแต่ละประเทศจะกำหนดมาตรฐานปริมาณเถาแตกต่างกันออกไป โดยจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.0-8.0 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของประเทศผู้ผลิต เช่น ในสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานปริมาณเถาของชาอยู่ในช่วงร้อยละ 4.0-7.0 ประเทศแคนาดากำหนดให้มีปริมาณเถาสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.0 (ลักษณะและนิรยา, 2544) โดยปริมาณเถาในอาหาร จะแสดงถึงส่วนของสารอนินทรีย์ที่

เหลือจากการเผาอาหารที่อุณหภูมิสูงจนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้จนหมดไป เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจจะหายไประหว่างเวลาการเผา มีรายงานว่า แร่ธาตุที่พบในชาที่สำคัญได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 1.76 0.41 และ 0.32% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้จะบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยถ้ามีปริมาณเถ้าสูงกว่าปกติ แสดงว่าอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหารนั้น

การสกัดด้วยไอน้ำ เป็นการแยกสารที่ระเหยง่ายและไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำออกจากสารที่ระเหยยาก เมื่อทำการสกัดชาด้วยน้ำแล้วนำไประเหยจนแห้ง พบว่า ปริมาณสารที่ระเหยได้ยากที่คงเหลืออยู่มีค่าระหว่างร้อยละ 9.65-35.49

แทนนิน เป็นสารที่มีรสฝาด พบในพืชหลายชนิด เช่น ใบฝรั่ง เปลือกมังคุด ใบพลู กระถิน เมื่อพิจารณาปริมาณแทนนินที่มีอยู่ในตัวอย่างชาที่ได้จากการทดลอง พบว่า มีความผันแปรตั้งแต่ร้อยละ 0.83-11.89 ทั้งนี้มีรายงานว่า ชาเขียวที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณกรดอะมิโนสูงแต่มีแทนนินต่ำ ในทางตรงข้าม ชาดำและชาอูหลงที่ดีจะมีปริมาณแทนนินสูง ซึ่งตัวอย่างของสารแทนนินที่สำคัญที่พบในชาคือ “catechins” นอกจากนี้แทนนินยังมีคุณสมบัติช่วยบรรเทาอาการท้องเสีย เพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อหัวใจและขยายผนังหลอดเลือด จึงทำให้ชาเหมาะสำหรับผู้ที่มีความดันโลหิตสูง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาเขียวทั้ง 20 สิ่ง
ทดลอง*

สิ่งทดลอง ¹	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความ เข้มข้นของ DPPH [•] เหลืออยู่ 50% (mg/L)
1	179.73 ± 1.21k	5.70 ± 0.62b
2	80.96 ± 0.86h	10.85 ± 0.87a
3	171.69 ± 6.49k	2.99 ± 0.31defg
4	229.97 ± 1.28h	2.18 ± 0.16fghi
5	194.85 ± 2.84j	3.56 ± 1.63cde
6	261.19 ± 7.41f	4.38 ± 0.34c
7	114.02 ± 4.65l	3.96 ± 0.07cd
8	298.95 ± 2.68e	1.83 ± 0.01ghi
9	328.77 ± 3.75d	2.58 ± 0.11efgh
10	446.71 ± 2.86a	2.13 ± 0.22fghi
11	399.58 ± 2.97b	2.08 ± 0.05fghi
12	247.35 ± 8.62g	2.40 ± 0.05cdef
13	329.87 ± 9.32d	1.73 ± 0.04ghi
14	372.48 ± 8.77c	1.30 ± 0.03hi
15	266.30 ± 2.22f	2.18 ± 0.05fghi
16	260.30 ± 5.10f	1.64 ± 0.04ghi
17	99.84 ± 0.85m	10.92 ± 0.11a
18	373.20 ± 10.36c	1.14 ± 0.03i
19	258.82 ± 2.85f	1.92 ± 0.04ghi
20	209.48 ± 2.14i	2.06 ± 0.06fghi

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างชาที่ได้จากการทดลอง โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารสกัดชาตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสาร Gallic acid แล้วคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg GAE (Gallic Acid Equivalents)/ g tea on dry basis จากตารางที่ 4.8 พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 10 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดและแตกต่างจาก

สิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 446.71 mg GAE/ g tea on dry basis และเมื่อพิจารณาระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษแล้ว พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 10 นั้น ประกอบด้วยปริมาณชาสดเริ่มต้น 4 กิโลกรัม อบด้วยพลังงาน 3,200 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะเห็นว่า การทำแห้งชาโดยใช้ระยะเวลาสั้น และระดับพลังงานต่ำทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าการทำแห้งที่ระยะเวลานานและพลังงานสูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชาเขียวในสิ่งทดลองที่ 2 พบว่า มีปริมาณสารฟีนอลิกหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด (80.96 mg GAE/ g tea on dry basis) โดยสถานะที่ใช้อบประกอบด้วยปริมาณชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม พลังงาน 4,800 วัตต์ เป็นเวลา 40 นาที การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin – Ciocalteu method จะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาจาก molybdotungstate ion โดย reagent ประกอบด้วย sodium tungstate, sodium molybdate, phosphoric acid และ sodium carbonate โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาของไอออน Mo(VI) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันแล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Mo(V) ซึ่งมีสีน้ำเงิน ในปัจจุบันพบว่า คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากของสารประกอบฟีนอล คือการเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ และการใช้สารประกอบฟีนอลในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว

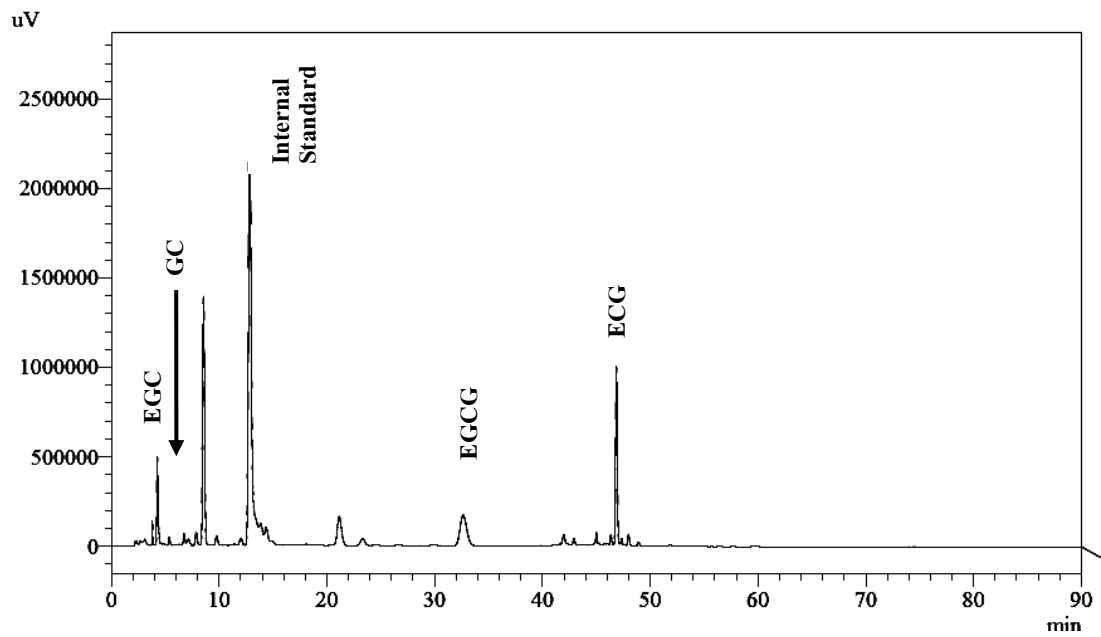
ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็น stable radical ในตัวทำละลาย methanol ซึ่งสารละลายนี้มีสีม่วง ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm โดย DPPH[•] จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species (R[•]) ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงก็จะลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC₅₀) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] เหลืออยู่ 50% ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Remaining DPPH[•] กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า EC₅₀ โดยคำนวณ %Remaining DPPH[•] ดังสมการ (Satyanarayana and Eswaraiah, 2010)

$$\% \text{ Inhibition DPPH}^{\bullet} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100$$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Remaining DPPH[•] กับความเข้มข้นของชาตัวอย่างที่ได้จากทั้ง 20 สิ่งทดลอง สามารถคำนวณ EC₅₀ ได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งพบว่าตัวอย่างชาในสิ่งทดลองที่ 18 มีค่า EC₅₀ น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.14 mg/L และเมื่อพิจารณาในสิ่งทดลองที่ 2

และสิ่งทดลองที่ 17 พบว่า มีค่า EC_{50} มากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.85 และ 10.92 mg/L ตามลำดับ จากสภาวะที่ใช้ในการผลิตชาเขียวในสิ่งทดลองที่ 2 และ 17 พบว่า ประกอบด้วยปริมาณชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม พลังงาน 4,800 วัตต์ และใช้เวลา 40-50 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ชาที่ได้ มีลักษณะแห้งมาก มีความชื้นต่ำ เนื่องจากการใช้พลังงานสูงและระยะเวลาในการอบนานกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ทำให้สูญเสียปริมาณสารต้านออกซิเดชัน จากค่า EC_{50} แสดงให้เห็นว่า หากต้องการให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] (สารตั้งต้น) เหลืออยู่ 50% จะต้องใช้สารสกัดในสิ่งทดลองที่ 2 และสิ่งทดลองที่ 17 ที่มีความเข้มข้นสูง ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆ นั้นจะใช้ความเข้มข้นของสารสกัดต่ำ (1.14-5.70 mg/L) ก็สามารถชะลอสารตั้งต้น หรือสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสิ่งทดลองที่ 2 และ 17 มีค่าต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ

รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโทแกรมของสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอนุพันธ์ของคาเทชินที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ catechin (C) Epigallocatechin gallate (EGCG) Epicatechin gallate (ECG) Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC) (ตารางที่ 4.10) พบว่า ในผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผลิตได้จะมีปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน EGCG สูงกว่าสารมาตรฐานอื่นๆ โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 1.06 – 8.78% ของน้ำหนักแห้ง แต่จะมีความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน GC ในปริมาณที่น้อยกว่าสารมาตรฐานอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 0.14% ของน้ำหนักแห้ง นัตฤดี (2548) รายงานว่า EGCG เป็นคาเทชินที่มีประสิทธิภาพที่สุด มีส่วนช่วยในกระบวนการกำจัดไขมันและโคเลสเตอรอลในหลอดเลือด ซึ่งทำให้ลดภาวะความเสี่ยงต่อโรคความดันโลหิตสูง อันเนื่องมาจากการอุดตันของไขมันในหลอดเลือด ช่วยในการขับสารพิษและอนุมูลอิสระต่างๆ ส่งผลในการป้องกันความเสี่ยงต่อภาวะมะเร็ง และโรคความเสื่อมของเซลล์และอวัยวะต่างๆ ในร่างกายทำให้ร่างกายสดชื่นกระปรี้กระเปร่า



รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งไมโครเวฟ
 สุนัขอากาศที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี HPLC

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ชาเขียวทั้ง 20 สิ่งทดลอง (% น้ำหนักแห้ง) เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน Catechin (C), Epigallocatechin gallate (EGCG), Epicatechin gallate (ECG), Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC)

สิ่ง ทดลอง ¹	ความเข้มข้นเทียบกับสารมาตรฐาน (% น้ำหนักแห้ง)				
	Catechin (C)	Epigallocatechin gallate (EGCG)	Epicatechin gallate (ECG)	Epigallo- catechin (EGC)	Gallo- catechin (GC)
1	2.45	3.52	2.67	3.19	0.04
2	1.86	4.65	2.80	1.38	0.09
3	1.77	4.08	2.76	2.63	0.01
4	1.18	3.00	3.79	0.75	0.00
5	0.57	3.41	3.35	1.43	0.06
6	0.75	2.93	2.99	0.87	0.04
7	2.31	5.34	3.79	1.84	0.07
8	0.75	6.67	3.66	3.78	0.14
9	1.67	3.19	3.39	1.52	0.04
10	1.23	1.51	2.74	1.40	0.03
11	1.10	2.12	3.42	1.29	0.01
12	0.66	4.34	3.51	1.51	0.06
13	1.11	7.22	5.56	4.85	0.09
14	1.35	3.29	4.63	1.13	0.03
15	0.54	5.55	3.16	1.95	0.04
16	1.21	5.00	3.98	1.46	0.03
17	4.35	8.78	2.70	3.45	0.06
18	1.04	1.06	1.85	1.12	0.02
19	0.78	6.52	4.92	5.16	0.06
20	0.81	7.21	5.48	3.83	0.05

¹ สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 17 จะมีปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน C และ EGCG สูงกว่าในสิ่งทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.35 และ 8.78 %ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน ECG พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 13 จะมีปริมาณสารดังกล่าวสูงสุด (5.56 %ของน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ชาเขียว ในสิ่งทดลองที่ 8 มีปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน EGC และ GC สูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ และเมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐานที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 5 ชนิด พบว่า ผลิตภัณฑ์ชาเขียวในสิ่งทดลองที่ 17 จะมีปริมาณคาเทชินโดยรวมสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 19.34% ของน้ำหนักแห้ง โดยในสิ่งทดลองที่ 17 ใช้สภาวะในการผลิตชาเขียว ประกอบด้วยปริมาณ ชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม ใช้พลังงาน 4,800 วัตต์ เป็นเวลา 50 นาที จัตุรฤดี (2548) รายงานว่า ในชาเขียวมีปริมาณคาเทชินประมาณ 10-18%ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ชาดำจะมีปริมาณคาเทชินประมาณ 3-5% ของน้ำหนักใบชาแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากชาเขียวไม่ผ่านกระบวนการหมักจึงยังคงรักษาสารสำคัญไว้ได้ในปริมาณสูง นอกจากนี้ ปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารคาเทชินในใบชา คือ เอนไซม์ในใบชาที่ชื่อว่า พอลิฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ซึ่งเมื่อใบชาถูกเด็ดออกจากต้น เอนไซม์นี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น จะทำให้ปริมาณและโครงสร้างของคาเทชินเปลี่ยนไป ด้วยเหตุนี้ สิ่งสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ชาเขียวคือ ต้องป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ได้มากที่สุด แต่การป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ย่อมเป็นไปได้ เพราะปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นทันทีที่ใบชาถูกเด็ดจากต้น อย่างไรก็ตาม การทำให้ใบชาสดได้รับความร้อนจะสามารถยุติกระบวนการดังกล่าว ดังนั้น สิ่งสำคัญในการผลิตชา คือ การนำใบชาสดเข้าสู่แหล่งความร้อนให้เร็วที่สุด

จากรายงานของ Graham (1992) พบว่า ใบชาสดจะมีปริมาณคาเทชินสูงถึง 30% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักของคาเทชิน ได้แก่ epigallocatechin gallate (EGCG), epigallocatechin (EGC), epicatechin gallate (ECG), gallocatechin (GC), epicatechin (EC) และ catechin โดยปริมาณของคาเทชินแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล การเพาะปลูก สายพันธุ์และอายุของใบชา Harbowy และ Balentine (1997) รายงานว่า ชาดำและชาเขียวที่ได้จากสายพันธุ์ *assamica* (*C. sinensis* var. *assamica*) จะมีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูงกว่าสายพันธุ์ *sinensis* (*C. sinensis* var. *sinensis*) โดยมีค่าเท่ากับ 30% และ 20% ตามลำดับ

Chen *et al.* (2003) รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวมีความคล้ายคลึงกับใบชาสด นอกจากนี้ Yen และ Chen (1995) ยังพบว่า ในชาเขียวจะมีปริมาณคาเทชินสูงถึง 26.7% รองลงมาได้แก่ ชาอูหลง (23.2%) และชาดำ (4.3%) นอกจากนี้ Cabrera *et al.* (2003) ยังรายงานว่ ชาเขียวจะมีปริมาณคาเทชินสูงกว่าชาอูหลง และชาดำ โดยคาเทชินและสารพอลิฟีนอลอื่นๆ ในชาจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ (Dufresne และ Farnworth, 2001) Leung *et al.* (2001) และ Lee *et al.* (2002) รายงานว่า ชาเขียวจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าชาดำ

สอดคล้องกับผลการรายงานของ Atoui *et al.* (2005) และ Yokozawa *et al.* (1998) โดยพบว่า ชาเขียวจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชาดำ ทั้งนี้การลดลงของคาเทชินระหว่างกระบวนการหมักชาส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชา

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษา เพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอยพบว่า ปริมาณชา พลังงาน และเวลาที่ใช้ทำแห้งมีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.10

จากสมการถดถอยทั้ง 10 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทีวี่ ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความเข้มข้นของสารสกัดจากเขียว เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน ได้แก่ catechin (C), epigallocatechin gallate (EGCG), epicatechin gallate (ECG), epigallocatechin (EGC) และ gallocatechin (GC) ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.3-4.9

ตารางที่ 4.10 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและค่าตอบสนองด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ชาเขียว

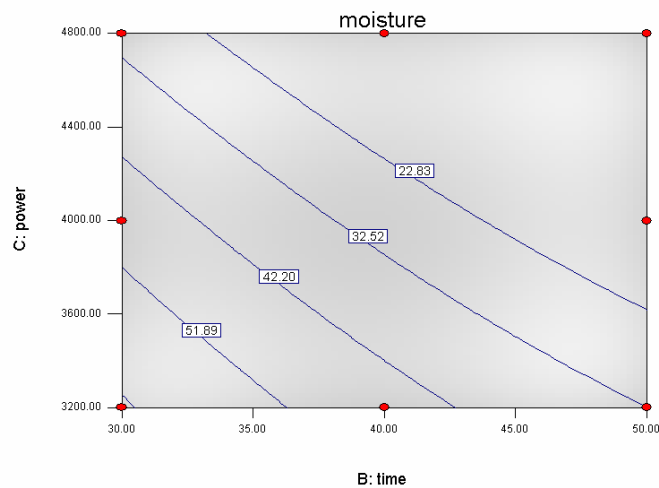
สมการถดถอย			Adjusted R ²	ระดับ นัยสำคัญ (p)
ค่าคุณภาพ ทางกายภาพ	ความชื้น (%)	$= 52.61 + 16.57X_1 - 12.41X_2 - 13.88 X_3 - 6.86 X_1^2 + 1.36 X_2^2 - 1.70 X_3^2 + 4.98 X_1 X_2 + 4.79 X_1 X_3 - 2.44 X_2 X_3$	0.9209	<0.0001
	a _w	$= 0.90 + 0.13 X_1 - 0.094 X_2 - 0.082 X_3 - 0.13 X_1^2 - 0.039 X_2^2 + 0.048 X_3^2 + 0.11 X_1 X_2 + 0.098 X_1 X_3 - 0.078 X_2 X_3$	0.6681	0.0080
	ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (%)	$= 20.72 + 5.85 X_1 - 4.35 X_2 - 4.32 X_3 - 0.28 X_1^2 + 1.66 X_2^2 - 1.29 X_3^2 - 0.61 X_1 X_3$	0.9442	<0.0001
ค่าคุณภาพ ทางเคมี	Total phenolic compound	$= 265.07 + 52.39 X_1 - 52.17 X_2 - 63.62 X_3 - 23.15 X_1^2 + 18.42 X_2^2 - 14.43 X_3^2 + 15.22 X_1 X_2 + 6.52 X_1 X_3 + 17.67 X_2 X_3$	0.7529	0.0021
	Antioxidant capacity	$= 1.96 - 1.65 X_1 + 1.09X_2 + 1.50 X_3 - 0.79 X_2^2 + 2.83 X_3^2 - 1.09 X_1 X_2 - 0.86 X_1 X_3 + 0.40 X_2 X_3$	0.7111	0.0021
	Catechin	$= 0.74 - 0.66 X_1 + 0.42X_2 + 0.21 X_3 - 0.52 X_1^2 + 0.88 X_2^2 + 0.56 X_3^2 - 0.45 X_1 X_2 - 0.38 X_1 X_3 + 0.028 X_2 X_3$	0.7542	0.0021
	EGCG	$= 6.78 - 0.76 X_1 + 0.57 X_2 + 0.91 X_3 - 0.40 X_1^2 - 0.82 X_2^2 - 1.72 X_3^2 - 0.095 X_1 X_2 - 0.018 X_1 X_3 - 0.011 X_2 X_3$	0.4992	0.0461
	ECG	$= 5.27 + 0.275 X_1 + 0.19 X_2 - 0.017 X_3 - 0.95 X_1^2 - 0.25 X_2^2 - 0.99 X_3^2 + 0.28 X_1 X_2 + 0.13 X_1 X_3 - 0.29 X_2 X_3$	0.7016	0.0050

X₁ = ปริมาณชา X₂ = ระยะเวลาที่ไซ้บ และ X₃ = กำลังไมโครเวฟ

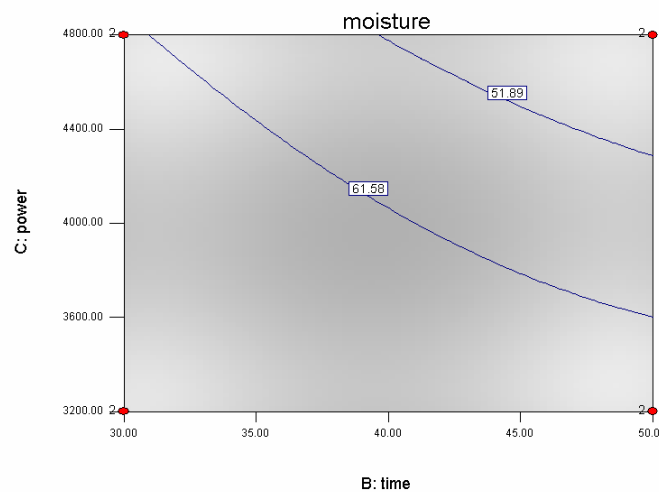
ตารางที่ 4.11 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและค่าตอบสนองด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ชาเขียว (ต่อ)

สมการถดถอย			Adjusted R ²	ระดับนัยสำคัญ (p)
ค่าคุณภาพ ทางเคมี	EGC	$= 4.23 - 0.45 X_1 + 0.13 X_2 + 0.20 X_3 - 1.17 X_1^2 - 0.12 X_2^2 - 1.27 X_3^2 - 0.059 X_1 X_2 - 0.062 X_2 X_3$	0.4811	0.0388
	GC	$= 0.070 - 0.004 X_1 - 0.0007b + 0.0086c + 0.043a^2 - 0.017 X_2^2 - 0.058 X_3^2 + 0.0035 X_1 X_3 + 0.010 X_2 X_3$	0.4973	0.0366

X_1 = ปริมาณชา X_2 = ระยะเวลาที่ใช้อบ และ X_3 = กำลังไมโครเวฟ



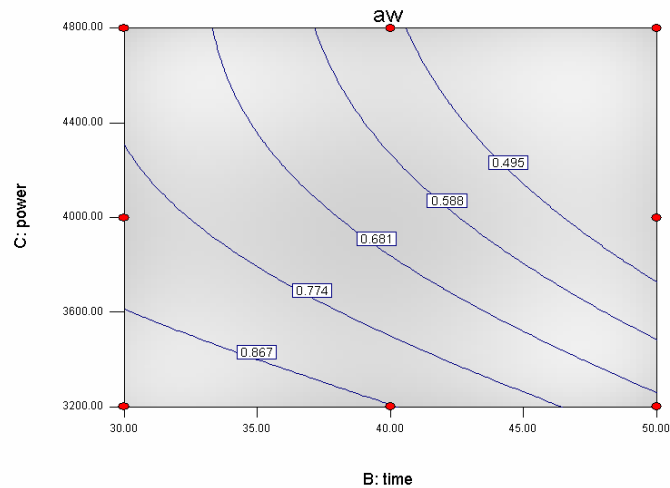
(a)



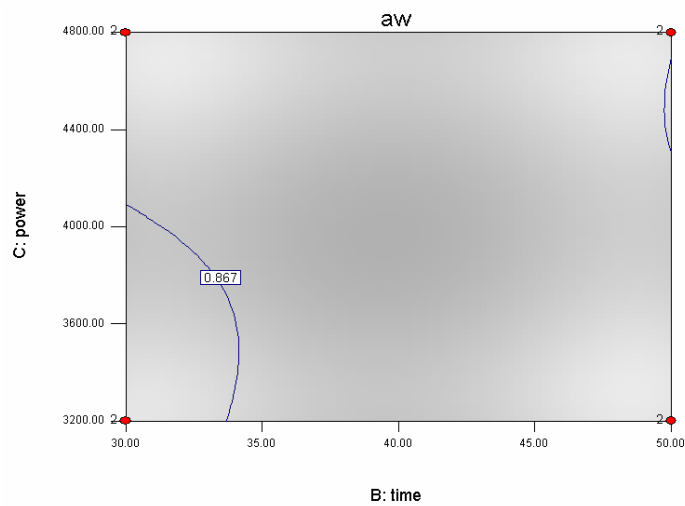
(b)

รูปที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ชาเขียว เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้ (a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม
(b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.4 พบว่า สภาวะการทำแห้งที่พลังงานสูงและใช้ระยะเวลานาน จะได้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการทำแห้งที่ระดับพลังงานต่ำและใช้ระยะเวลาน้อย นอกจากนี้ ปริมาณชาเริ่มต้นที่ใช้ก็ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.3- (a) เป็นการทำแห้งชาที่ระดับ 2 กิโลกรัม พบว่า ผลิตภัณฑ์ชาเขียวจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการทำแห้งที่ระดับ 4 กิโลกรัม (รูปที่ 4.3-(b)) ทั้งนี้ เนื่องจากการใช้ชาเริ่มต้นในปริมาณสูง ทำให้การกระจายความร้อนภายในเครื่องไมโครเวฟสูญญากาศไม่ทั่วถึง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีความชื้นอยู่มาก



(a)

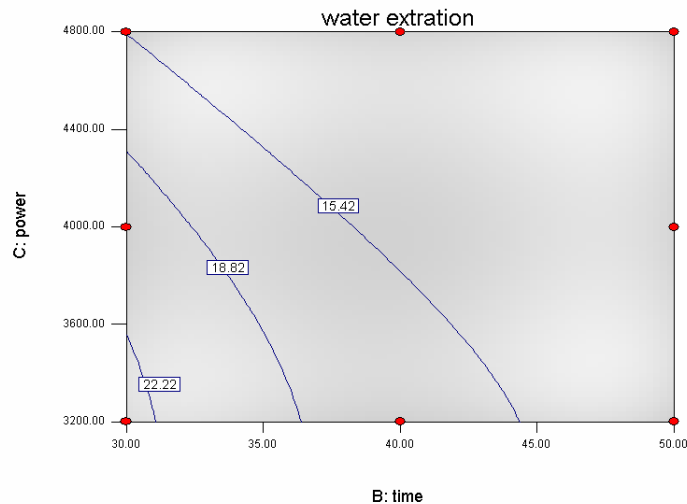


(b)

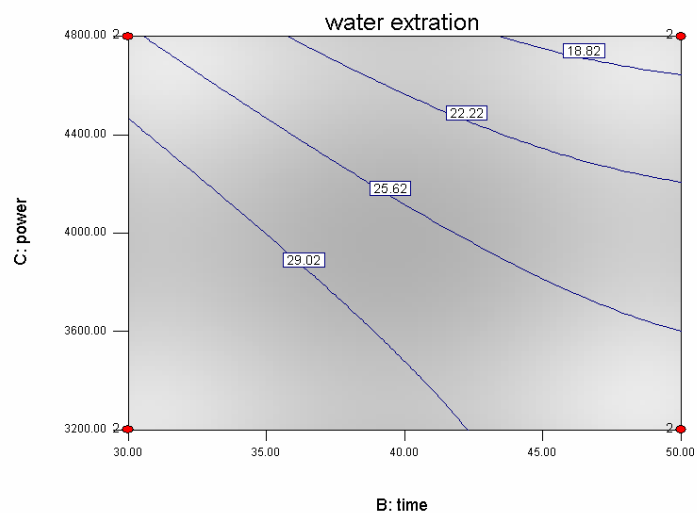
รูปที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ชาเขียว เมื่อผันแปรระยะเวลา และพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้ (a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม

(b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 พบว่า สถานะการผลิตส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ในทิศทางเดียวกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ คือ ชาเขียวที่ได้จากสถานะการผลิตภายใต้พลังงานระดับสูง และใช้ระยะเวลานาน จะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งที่พลังงานระดับต่ำและใช้ระยะเวลาน้อย



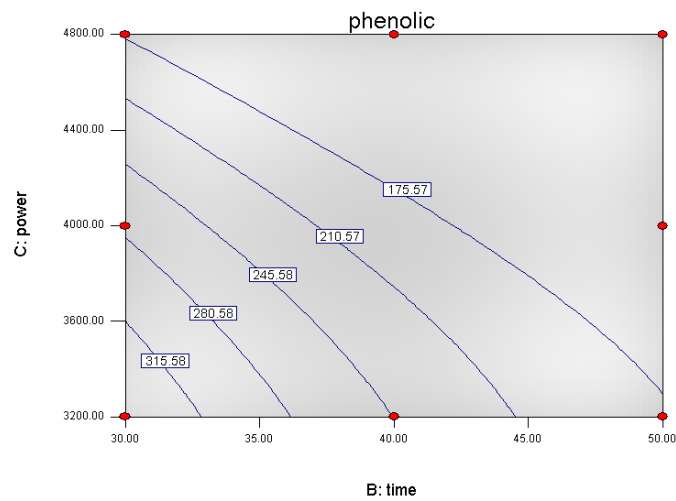
(a)



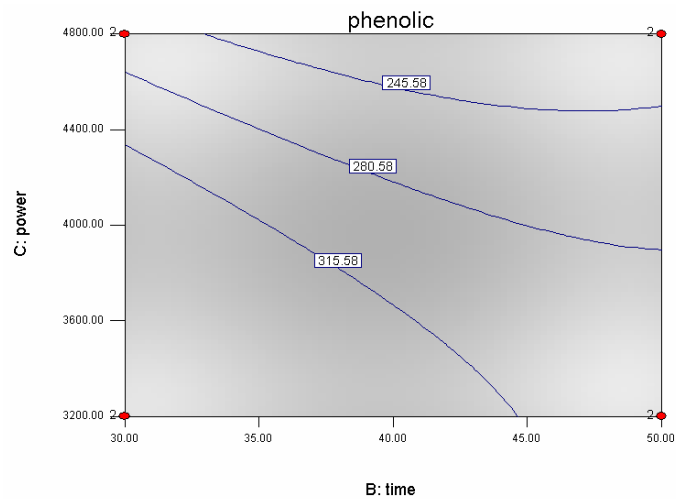
(b)

รูปที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำของผลิตภัณฑ์ชาเขียว เมื่อผันแปร
ระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้ (a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม
(b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6-(a) และ (b) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณชาเริ่มต้นในระดับต่ำ (2 กิโลกรัม) และระดับสูง (4 กิโลกรัม) ให้ผลในทางเดียวกันคือ เมื่ออบชาในปริมาณทั้งสองระดับ โดยใช้สภาวะในการผลิตชาเขียวที่ระยะเวลาและพลังงานในระดับสูง จะมีปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำต่ำกว่าเมื่อใช้สภาวะในการผลิตที่พลังงานระยะเวลาในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปริมาณชาเขียวเริ่มต้นที่ระดับสูง จะมีปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำมากกว่าการใช้ปริมาณชาเขียวเริ่มต้นที่ระดับต่ำ



(a)

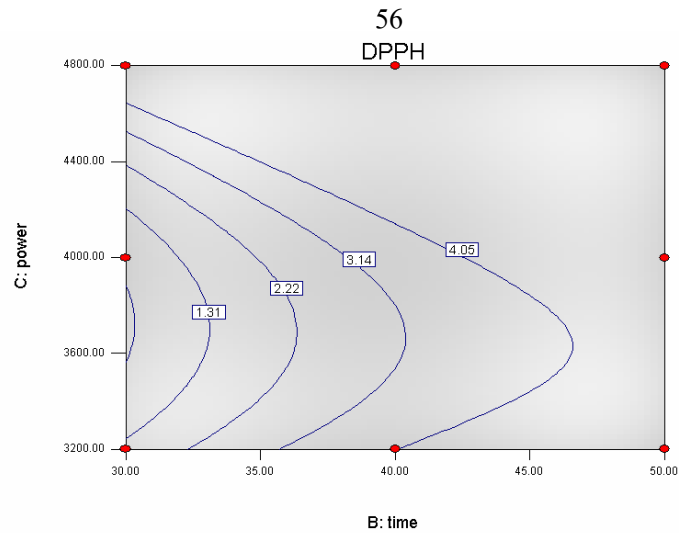


(b)

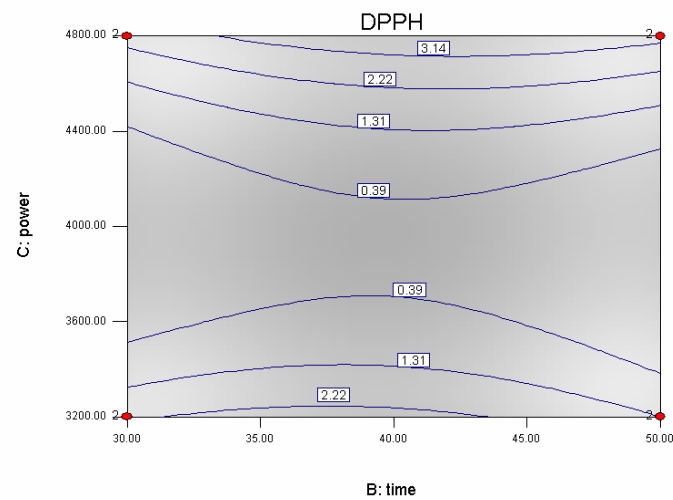
รูปที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ชาเขียว เมื่อผันแปร
ระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้ (a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม
(b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.7 (a) และ (b) พบว่า เมื่อใช้สภาวะในการผลิตชาเขียวที่พลังงานและระยะเวลา
การทำแห้งระดับในต่ำ จะให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชาเขียวที่
ผ่านการผลิตที่พลังงานและระยะเวลาในระดับสูง โดยพบว่าในสิ่งทดลองที่ 10 จะมีปริมาณฟีนอล
ิกทั้งหมดสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (เท่ากับ 446.71 mg GAE/1
กรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งพบว่า ในสิ่งทดลองที่ 10 ประกอบด้วยสภาวะในการผลิต ดังนี้ พลังงาน
เท่ากับ 3,200 วัตต์ และระยะเวลาในการทำแห้ง 30 นาที แต่ในสิ่งทดลองดังกล่าวนี้ จะมีปริมาณ

ความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตีสูง นอกจากนี้ ยังมีรายงานผลของสภาวะการทำแห้งต่อปริมาณสารฟีนอลิกของวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ดังนี้ Julkunen-Tiitto (1985) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจาก 48°C ถึง 60°C ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบหลิว (willow leaves) ลดลง นอกจากนี้ Lim และ Murtijaya (2006) ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของการทำแห้ง 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การใช้ไมโครเวฟ และการใช้เตาอบต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสมุนไพรลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus*) พบว่า ตัวอย่างสมุนไพรลูกใต้ใบที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ เมื่อนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเมธานอล จะมีการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกมากที่สุด โดยจะลดลงถึง 59% เมื่อเปรียบเทียบกับใบสด ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรชนิดนี้ลดลงตามไปด้วย ดังนั้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและวิธีการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณสารฟีนอลิก



(a)

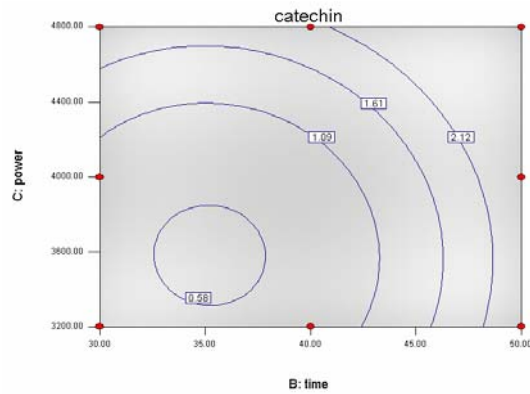


(b)

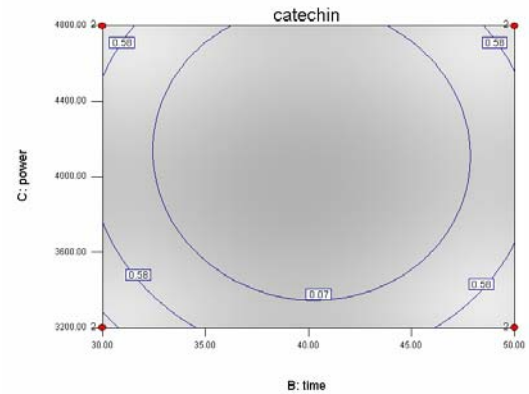
รูปที่ 4.8 พื้นที่การตอบสนองต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ชาเขียว
เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

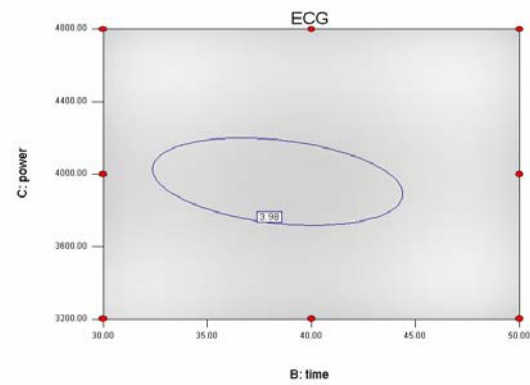
จากพื้นที่การตอบสนองของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สภาพที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อความสามารถในการลด DPPH[•] (Effective Concentration; EC50) โดยเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำแห้งมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชาเขียวมีค่าลดลง คือ ต้องใช้สารสกัดชาเขียวในปริมาณมาก เพื่อยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] ให้ลดลงไป 50% ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณชาสดเริ่มต้นและระยะเวลาในการทำแห้งในระดับต่ำ พบว่า สารสกัดชาเขียวที่ได้จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า คือ ใช้สารสกัดในปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] ให้ลดลงไป 50%



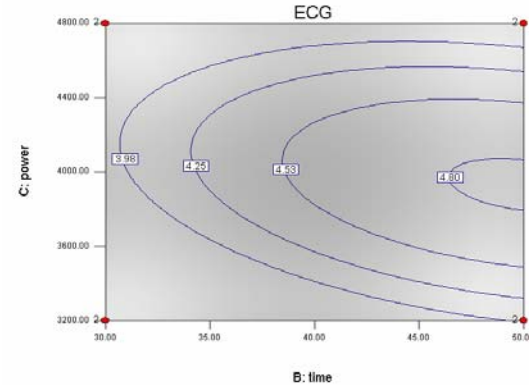
(a) -1



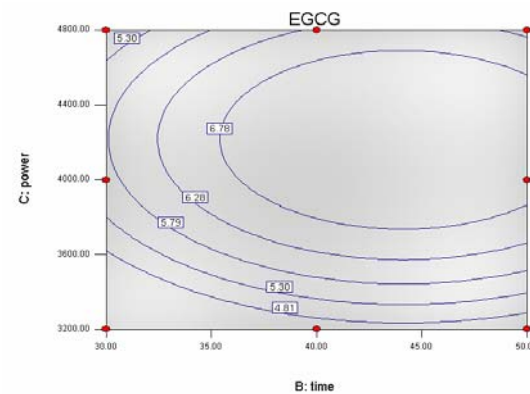
(a) -2



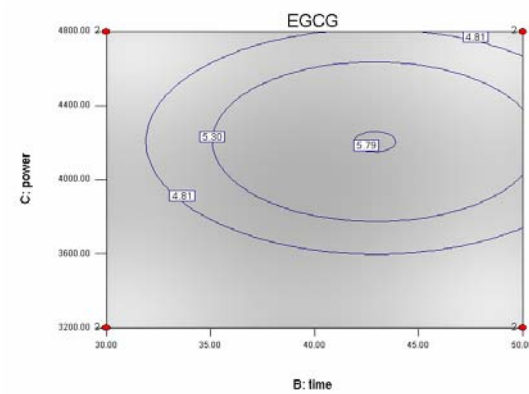
(b) -1



(b) -2



(c) -1



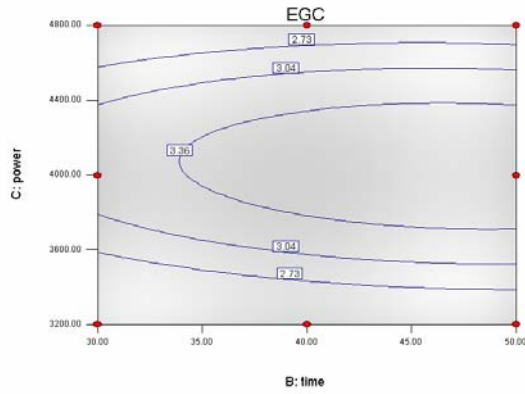
(c) -2

รูปที่ 4.9 พื้นที่การตอบสนองต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ชาเขียวเทียบกับสารมาตรฐาน

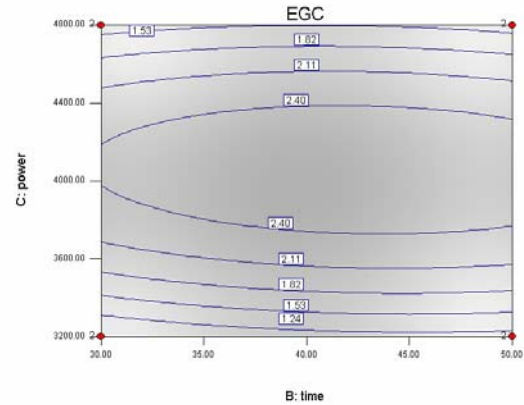
(a) Catechin (b) Epicatechin gallate และ (c) Epigallocatechin gallate ของผลิตภัณฑ์ชาเขียว

เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

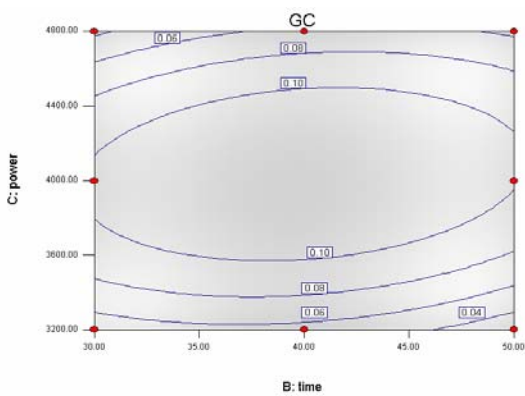
(1) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม และ (2) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม



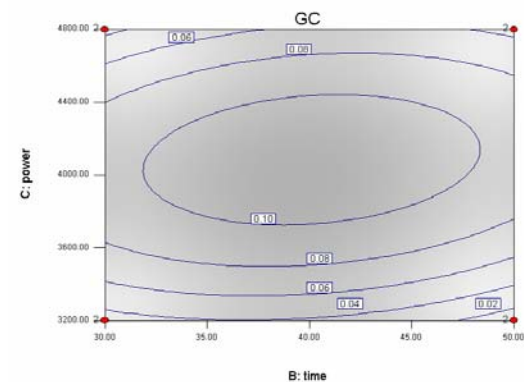
(d) -1



(d) -2



(e) -1



(e) -2

รูปที่ 4.10 พื้นที่การตอบสนองต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ชาเขียวเทียบกับสารมาตรฐาน

(d) Epigallocatechin และ (e) Gallocatechin ของผลิตภัณฑ์ชาเขียว

เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

(1) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม และ (2) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาพื้นที่การตอบสนองของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ชาเขียว เทียบเท่าสารมาตรฐาน Catechin (C) Epicatechin gallate (ECG) Epigallocatechin gallate (EGCG) Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC) โดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า เมื่อพิจารณาผลของระดับพลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง ที่มีต่อค่าความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน พบว่า ในชุดของการทดลองนี้ จะมีพลังงานในทุกๆ 2 ระดับ ที่ให้ค่าตอบสนองเท่ากัน โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 4.10 - (e) - 1 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากัน พบว่า การใช้พลังงานในระดับ 3,600 วัตต์ (โดยประมาณ) จะให้ค่าความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐาน GC เท่ากับการใช้พลังงานในระดับ 4,400 วัตต์ (โดยประมาณ)

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive sensory analysis)

ทำการคัดกรองผู้ทดสอบที่มีความสามารถในการรับรู้ทางประสาทสัมผัส โดยใช้แบบสอบถามคัดกรองเบื้องต้น (prescreening questionnaire) และแบบทดสอบการอ่านสเกล โดยคัดเลือกผู้ทดสอบที่สามารถตอบคำถามได้ชัดเจนถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และข้อสอบชุดการอ่านสเกลต้องอ่านได้ถูกต้องและผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 10 จากนั้นจึงทำการทดสอบด้านความเฉียบแหลม (acuity test) โดยให้ผู้ทดสอบทำแบบทดสอบ Triangle test, Duo-trio test และ Ranking test กำหนดเกณฑ์ผู้ผ่านเข้ารอบต่อไป คือ มีความสามารถแยกความแตกต่างในแบบทดสอบ Triangle test ถูกต้อง 50-60% Duo-trio test ถูกต้อง 70-80% และผู้ผ่านการทดสอบการจัดอันดับสามารถจัดอันดับได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 จากนั้นคัดกรองให้ได้ผู้ทดสอบที่มีความเหมาะสมที่สุดผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการฝึกหัดจำนวน 10 คน ประกอบด้วยผู้ทดสอบเพศชาย 3 คน และหญิง 7 คน โดยเป็นนักศึกษาในระดับปริญญาโทจำนวน 9 คน และเจ้าหน้าที่ผู้ช่วยนักวิจัย 1 คน จากสาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แล้วทำการเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อฝึกฝนผู้ทดสอบให้เข้าใจและประเมินผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยใช้เวลาฝึกฝน 8 ชั่วโมง (2 ชั่วโมง/การประชุม) ได้ผลดังนี้

การประชุมครั้งที่ 1

ทำการเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของชาเขียว โดยผู้ทดสอบสามารถระบุคุณลักษณะที่สำคัญของชาเขียวตามลำดับการรับรู้ก่อน-หลัง ได้ทั้งหมด 12 คุณลักษณะ ดังนี้ สีเหลืองอมน้ำตาล (Brown Yellow Color) ความใส/ขุ่น (Clearness) กลิ่นชา (Green tea aroma) กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma) กลิ่นรสชา (Green tea flavor) กลิ่นรสเขียว (Green flavor) รสขม (Bitter) รสหวาน (Sweet) ความฝาดเผื่อน (Astringent) ความรู้สึกหลังกลืนรสขม (Bitter aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนความฝาดเผื่อน (Astringent aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนรสหวาน (Sweet aftertaste)

การประชุมครั้งที่ 2

สำหรับการประชุมครั้งนี้ ให้ผู้ทดสอบทำการคัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมในแต่ละคุณลักษณะ (12 คุณลักษณะ) ซึ่งสามารถสรุปตัวอย่างอ้างอิงและคำนิยามได้ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 คำนิยามที่เหมาะสมสำหรับแต่ละคุณลักษณะของชาเขียว

คุณลักษณะ	คำนิยาม (อังกฤษ)	คำนิยาม (ไทย)
สีเหลืองอมน้ำตาล (Brown Yellow Color)	The color of solution mixed with yellow and brown	สีของสารละลาย โดยเป็นสีผสมระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำตาล
ความใส/ขุ่น (Clearness/opaqueness)	Easily seen through/ impenetrable by light	ลักษณะที่ง่ายต่อการมองเห็น/ไม่สามารถส่องผ่านได้ด้วยแสง
กลิ่นชา (Green tea aroma)	A chemical aroma note associated with tea, especially black tea.	ลักษณะกลิ่นทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับชา โดยเฉพาะชาดำ
กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma)	The aromatics associated with shellfish, fresh fish and ocean vegetation.	กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับหอย กุ้ง ปลา และพืชทางทะเล
กลิ่นรสชา (Green tea flavor)	The flavor associated with the precipitate of catechin and caffeine in the tea infusion.	กลิ่นรสที่เกี่ยวข้องกับตะกอนของคาเทชินและคาเฟอีนในน้ำชา

ตารางที่ 4.13 คำนิยามที่เหมาะสมสำหรับแต่ละคุณลักษณะของชาเขียว (ต่อ)

คุณลักษณะ	คำนิยาม (อังกฤษ)	คำนิยาม (ไทย)
กลิ่นรสเขียว (Green flavor)	Sharp, slightly pungent aromatics associated with green plant/vegetable matter, such as asparagus, Brussels spouts, celery, green beans, parsley, spinach, etc.	กลิ่นค่อนข้างฉุนชัดเจนของพืชผักสีเขียว เช่น แอสพาราแกส กะหล่ำปลี ผักกั้นช่าย ถั่วเขียว ผักชีฝรั่ง ผักโขม เป็นต้น
รสขม (Bitter)	A basic taste factor of which caffeine in water is typical.	รสชาติของสารละลายคาเฟอีน
รสหวาน (Sweet)	Taste on the tongue stimulated by sugars and high potency sweeteners.	รสชาติที่สัมผัสบนลิ้นที่ถูกกระตุ้นด้วยน้ำตาลและสารให้ความหวาน
ความฝาดเพี้ยน (Astringency)	The drying, puckering sensation on the tongue and other mouth surfaces.	ความรู้สึกฝาด แห้งบนลิ้นและรอบๆ ปาก
Aftertaste รสขม (Bitter aftertaste)	A bitter taste persisting in the mouth after the substance that cause no longer present	รสชาติขมที่ตกค้างอยู่ในปาก หลังจากสารที่ทำให้เกิดรสขมนั้นไม่ปรากฏแล้ว
Aftertaste ความฝาดเพี้ยน (Astringency aftertaste)	The drying, puckering sensation on the tongue and other mouth surfaces persisting in the mouth after the substance that cause no longer present	ความรู้สึกฝาด แห้งบนลิ้นและรอบๆ ปาก หลังจากสารที่ทำให้เกิดความรู้สึกนั้นไม่ปรากฏแล้ว
Aftertaste รสหวาน (Sweet aftertaste)	A sweet taste persisting in the mouth after the substance that cause no longer present	รสชาติดหวานที่ตกค้างอยู่ในปาก หลังจากสารที่ทำให้เกิดรสหวานนั้นไม่ปรากฏแล้ว

ตารางที่ 4.14 ตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับแต่ละคุณลักษณะของชาเขียวโดยใช้ความเห็นร่วมกันของผู้ประเมินจำนวน 10 คน

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง
สีเหลืองอมน้ำตาล (Brown Color)	Yellow สารละลายของสีผสมของดาร์ตราจีน ชันเซ็ท เยลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ และคาราเมล
ความใส/ขุ่น (Clearness)	สารละลายของสีผสมของดาร์ตราจีน ชันเซ็ท เยลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ และคาราเมล เปรียบเทียบกับเมื่อไม่เติมและเติมแป้งข้าวโพด 0.20%
กลิ่นชา (Green tea aroma)	ชาเขียวบดละเอียด
กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma)	สาหร่ายแผ่นอบ
กลิ่นรสชา (Green tea flavor)	น้ำชาเขียว
กลิ่นรสเขียว (Green flavor)	น้ำผักชีฝรั่ง
รสขม (Bitter)	สารละลายคาเฟอีน
รสหวาน (Sweet)	สารละลายน้ำตาลซูโครส
ความฝาดฝืด (Astringent)	สารละลายของ Alum
ความรู้สึกล้นหลังกลืนรสขม (Bitter aftertaste)	สารละลายคาเฟอีน
ความรู้สึกล้นหลังกลืนความฝาดฝืด (Astringent aftertaste)	สารละลายของ Alum
ความรู้สึกล้นหลังกลืนรสหวาน (Sweet aftertaste)	สารละลายน้ำตาลซูโครส

การประชุมครั้งที่ 3

เตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมในแต่ละคุณลักษณะที่ความเข้มข้น 3 ระดับ แล้วเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อหาระดับความเข้ม (intensity) ของตัวอย่างอ้างอิงโดยใช้ความเห็นร่วมกัน ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงสำหรับแต่ละคุณลักษณะ และสเกลคะแนนของแต่ละระดับ (หน่วย มิลลิเมตร)

คุณลักษณะ	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่ระดับต่างๆ	สเกล* (มม.)
สีเหลืองอมน้ำตาล (Brown Yellow Color)	- ผสมสีดาร์ตราซิน 0.0003 กรัม : ชันเซ็ทเซลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ 9×10^{-6} กรัม : คาราเมล 0.0024 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร - ผสมสีดาร์ตราซิน 0.0030 กรัม : ชันเซ็ทเซลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ 7.2×10^{-7} กรัม : คาราเมล 0.0197 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร	15.0 135..0
ความใส/ปุ่น (Clearness)	เตรียมสีผสมของดาร์ตราซิน ชันเซ็ทเซลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ และคาราเมล - ผสมสีดาร์ตราซิน 0.0005 กรัม ชันเซ็ทเซลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ 1.8×10^{-5} กรัม และคาราเมล 0.0049 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (ใส) - เติมแป้งข้าวโพด 0.20% ลงในสารละลายสีผสม	13.0 135.0
กลิ่นชา (Green tea aroma)	- ชาเขียวบดละเอียด (ตรากรีนที บริษัท ไชนา ทดส์ ซีเจียง ที อิมพอร์ตเอ็กพอร์ต คอปอเรชัน เมืองซีเจียง สาธารณรัฐประชาชนจีน) น้ำหนัก 1.0 กรัม - ชาเขียวบดละเอียด (ตรา บันชา; BANCHA บริษัทไดโกะ โซเท็น จังหวัดโยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น) น้ำหนัก 5.0 กรัม	20.0 125.0
กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma)	สาหร่ายแผ่นอบ (ตรา เถ้าน้อย บริษัทเถ้าน้อย ฟู้ดแอนด์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด จ.นนทบุรี ประเทศไทย) - ชั่งสาหร่าย 0.5 กรัม แช่น้ำ 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที - ชั่งสาหร่าย 2.0 กรัม แช่น้ำ 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที	14.0 85.0
กลิ่นรสชา (Green tea flavor)	ชงชาเขียว ตรามันชา ในน้ำอุณหภูมิ 98°C - ใช้ชาเขียว 1.0 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร แช่นาน 3 นาที (8ซอง/800ml) - ใช้ชาเขียว 1.87 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร แช่นาน 3 นาที (12ซอง/800ml)	23.0 133.0
กลิ่นรสเขียว (Green flavor)	น้ำผักชีฝรั่ง (Fresh parsley water) โดยล้างให้สะอาด แล้วบดละเอียด ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที กรองเอาเฉพาะส่วนใส - อัตราส่วนระหว่างผักชีฝรั่งบด 5 กรัม ต่อน้ำสะอาด 300 มิลลิลิตร - อัตราส่วนระหว่างผักชีฝรั่งบด 25 กรัม ต่อน้ำสะอาด 300 มิลลิลิตร	20.0 115.0

* ได้จากความคิดเห็นร่วมกันของผู้ทดสอบจำนวน 10 คน

ตารางที่ 4.16 การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงสำหรับแต่ละคุณลักษณะ และสเกลคะแนนของแต่ละระดับ (หน่วย มิลลิเมตร)(ต่อ)

คุณลักษณะ	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่ระดับต่างๆ	สเกล* (มม.)
รสขม (Bitter)	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.05%	20.0
	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.08%	50.0
	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.15%	100.0
รสหวาน (Sweet)	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 2.0%	20.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5.0%	50.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10.0%	100.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 16.0%	150.0
ความฝาดเคียน (Astringent)	● สารละลายของ Alum ความเข้มข้น 0.03%	15.0
	● สารละลายของ Alum ความเข้มข้น 0.10%	50.0
Aftertaste รสขม (Bitter aftertaste)	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.05%	10.0
	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.08%	30.0
	● สารละลายคาเฟอีน ความเข้มข้น 0.15%	60.0
Aftertaste ความฝาดเคียน (Astringent aftertaste)	● สารละลายของ Alum ความเข้มข้น 0.03%	10.0
	● สารละลายของ Alum ความเข้มข้น 0.10%	35.0
Aftertaste รสหวาน (Sweet aftertaste)	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 2.0%	10.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5.0%	25.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10.0%	45.0
	● สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 16.0%	80.0

การประหลุมครั้งที่ 4

ฝึกการประเมินตัวอย่างชาเขียว (Warm-up sample) โดยเสนอตัวอย่างชาเขียวซึ่งเป็นตัวอย่างที่เสนอให้ผู้ทดสอบก่อนการประเมินตัวอย่างจริง (warm-up sample) โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มของตัวอย่างสำหรับ 12 คุณลักษณะ โดยทำเครื่องหมายขีด (|) ลงบนเส้นตรงตามระดับรู้สึกของแต่ละคน แล้วจึงสรุประดับความเข้มข้นโดยใช้ความเห็นคิดเห็นร่วมกัน

หลังจากฝึกฝนผู้ทดสอบจนครบ 4 ตอนแล้ว จึงทำการประเมินตัวอย่างชาเขียวจำนวน 20 ตัวอย่าง สำหรับ 12 คุณลักษณะ ได้แก่ สีเหลือง อมน้ำตาล (Brown yellow color) ความใส/ขุ่น (Clearness) กลิ่นชา (Green tea aroma) กลิ่นสาหร่าย (Seaweed aroma) กลิ่นรสชา (Green tea flavor) กลิ่นรสเขียว (Green flavor) รสขม (Bitter) รสหวาน (Sweet) ความฝาดเผื่อน (Astringent) ความรู้สึกหลังกลืนรสขม (Bitter aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนความฝาดเผื่อน (Astringent aftertaste) ความรู้สึกหลังกลืนรสหวาน (Sweet aftertaste) โดยทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง จากแบบทดสอบการประเมินผลิตภัณฑ์ ทำการวัดระยะทางบนสเกลเส้นตรงในหน่วยมิลลิเมตร จากปลายซ้ายสุดถึงตำแหน่งที่ผู้ทดสอบแต่ละคนทำเครื่องหมายขีด |) ไว้ในแต่ละคุณลักษณะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 คะแนนในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับสิ่งทดลองที่ 1-7 (หน่วย มิลลิเมตร)

คุณลักษณะ	สิ่งทดลอง ¹						
	1	2	3	4	5	6	7
สีเหลืองอมน้ำตาล	99.11±17.13fg	101.81±1.06efg	95.56±6.52g	113.28±9.98cd	102.64±3.18efg	115.00±7.39bc	110.25±9.23cdef
ความใส/ขุ่น	19.61±0.94ab	21.64±1.92ab	18.53±2.00b	22.81±3.57ab	16.14±0.67b	20.89±2.36ab	28.64±3.50a
กลิ่นชา	33.50±7.62ab	36.28±1.49ab	24.39±6.05b	31.11±4.40ab	33.44±3.46ab	42.08±0.20ab	37.61±8.72ab
กลิ่นสาหร่าย	14.39±4.01abc	17.61±2.12abc	11.97±0.04c	18.56±2.67abc	14.97±0.43abc	16.36±1.14abc	21.06±5.74abc
กลิ่นรสชา	44.22±5.03ab	47.28±2.12ab	28.67±8.01c	36.28±1.02ab	36.42±0.75ab	42.61±1.96ab	41.78±10.21ab
กลิ่นรสเขียว	15.83±0.08c	22.61±4.79ab	12.89±2.36c	17.72±3.85bc	15.56±0.31c	19.58±2.24bc	19.72±9.66bc
รสขม	20.89±2.04cd	30.47±10.88bc	20.11±0.31cd	18.67±2.36cd	18.19±4.91cd	28.69±4.67bcd	41.06±4.48ab
รสหวาน	12.50±0.86b	11.92±2.95b	13.33±2.04b	13.83±0.55b	14.06±1.81b	12.94±1.49b	9.64±0.12b
ความฝาดฝื่อน	18.56±2.75ab	16.86±5.30b	15.22±0.47b	13.00±5.34b	12.86±3.42b	17.89±1.41b	27.00±2.99a
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสขม	9.99±0.46c	13.83±4.32b	8.97±0.20c	10.61±0.24c	10.11±3.14c	10.14±0.59c	18.61±2.59ab
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:ความฝาดฝื่อน	12.33±0.31abc	11.17±1.65abc	9.53±1.61bc	9.39±2.12bc	7.81±2.63c	11.83±5.26abc	16.17±0.55a
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสหวาน	6.47±0.04ns	4.97±0.75ns	7.28±0.47ns	7.00±2.20ns	7.03±1.30ns	9.11±3.77ns	5.36±0.20ns

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ¹สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 4.18 คะแนนในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับสิ่งทดลองที่ 8-14 (หน่วย มิลลิเมตร) (ต่อ)

คุณลักษณะ	สิ่งทดลอง ¹						
	8	9	10	11	12	13	14
สีเหลืองอมน้ำตาล	98.33±5.97fg	107.56±6.13cdef	125.28±3.06a	112.94±1.96cd	99.36±3.81fg	94.97±0.35g	107.31±10.02cdef
ความใส/ขุ่น	19.47±0.27ab	21.89±4.40ab	24.17±0.71ab	20.11±0.79ab	18.56±0.63b	17.06±1.02b	19.11±1.57ab
กลิ่นชา	31.72±4.40ab	41.39±6.36ab	50.03±8.92a	43.06±6.99ab	34.19±3.26ab	35.00±3.14ab	41.61±1.02ab
กลิ่นสาหร่าย	23.56±5.08ab	18.28±2.12abc	18.00±0.31abc	12.44±1.73bc	11.14±3.34c	13.22±2.36abc	15.53±3.02abc
กลิ่นรสชา	32.28±2.12ab	40.89±3.30ab	48.19±3.73ab	43.94±1.65ab	38.69±5.85ab	34.44±1.10ab	40.33±0.79ab
กลิ่นรสเขียว	21.58±9.31bc	17.42±3.73bc	31.44±4.40abc	20.00±4.71bc	15.17±1.49c	15.50±4.64c	28.19±1.53abc
รสขม	22.22±5.50cd	21.50±0.55cd	24.08±5.70cd	19.25±1.37cd	20.33±0.31cd	14.50±4.16d	20.81±6.17cd
รสหวาน	13.61±0.39b	12.50±1.96b	14.22±1.41b	11.72±1.65b	11.56±2.51b	12.25±0.04b	11.22±1.89b
ความฝาดฝื่อน	17.47±2.95b	14.89±2.83b	19.33±0.16ab	13.03±0.75b	17.22±0.31b	10.67±2.36b	15.89±2.36b
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสขม	9.75±0.04c	9.17±0.24c	11.69±1.45c	8.03±0.04c	11.00±0.63c	7.17±1.26c	9.94±2.75c
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:ความฝาดฝื่อน	13.22±2.20abc	9.56±0.24bc	11.50±1.34abc	9.06±0.08bc	9.44±0.31bc	6.64±1.37c	8.89±1.26bc
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสหวาน	8.94±3.06ns	6.08±0.43ns	7.11±1.81ns	6.56±0.63ns	6.25±0.59ns	5.72±0.24ns	6.56±1.26ns

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ¹สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 4.19 คะแนนในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับสิ่งทดลองที่ 16-20 (หน่วย มิลลิเมตร) (ต่อ)

คุณลักษณะ	สิ่งทดลอง ¹					
	15	16	17	18	19	20
สีเหลืองอมน้ำตาล	98.72±8.56fg	96.25±15.52g	77.94±11.24h	123.00±5.03ab	103.33±2.04defg	97.56±1.10fg
ความใส/ขุ่น	17.00±1.41b	16.47±1.53b	22.28±0.71ab	21.14±2.24ab	17.56±0.94b	18.03±1.85b
กลิ่นชา	32.11±2.51ab	35.08±3.18ab	51.36±9.62a	51.42±0.67a	39.78±1.10ab	41.56±8.33ab
กลิ่นสาหร่าย	10.72±1.65c	12.86±3.89abc	24.44±7.07a	13.97±5.85abc	15.06±7.15abc	14.69±2.40abc
กลิ่นรสชา	32.14±6.56ab	31.08±3.81ab	54.17±11.24a	41.28±1.96ab	36.42±2.00ab	36.58±0.27ab
กลิ่นรสเขียว	12.33±1.57cd	13.72±3.69c	17.33±5.03bc	25.22±6.91abc	44.17±11.53a	35.11±15.24ab
รสขม	20.31±4.28cd	19.33±0.31cd	53.25±8.29a	19.42±3.81cd	20.81±2.40cd	19.28±1.96cd
รสหวาน	11.06±1.49b	11.50±0.39b	10.44±0.63b	17.40±0.46a	11.80±0.67b	12.15±0.03b
ความฝาดฝื่อน	15.67±1.89b	13.32±2.02b	27.06±6.99a	14.90±0.90b	15.78±1.41b	15.22±1.26b
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสขม	11.39±2.59c	8.89±1.41c	24.22±4.40a	9.33±0.94c	9.33±0.79c	8.39±1.81c
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:ความฝาดฝื่อน	9.72±1.18bc	7.47±0.27c	15.50±6.21ab	11.56±0.63abc	10.94±2.12abc	9.56±0.79abc
ความรู้สึกล้นหลังกลืน:รสหวาน	6.36±0.98ns	5.67±1.10ns	5.31±1.92ns	6.72±0.08ns	6.17±0.71ns	5.75±0.90bns

๘

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ¹สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสีเหลืองอมน้ำตาล พบว่า น้ำชาในตัวอย่างที่ 17 มีสีเหลืองอ่อนที่สุดและแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 10 และ 18 มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

น้ำชาในตัวอย่างที่ 5 มีลักษณะใส ส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 7 จะมีลักษณะขุ่นกว่าตัวอย่างอื่นๆ

คุณลักษณะด้านกลิ่นชาและกลิ่นรสชา พบว่า น้ำชาในตัวอย่างที่ 3 มีคะแนนน้อยที่สุด โดยส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 17 มีคะแนนใน 2 คุณลักษณะดังกล่าวข้างต้นสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านกลิ่นสาหร่าย พบว่า น้ำชาในตัวอย่างที่ 12 มีกลิ่นอ่อน ส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 17 จะมีกลิ่นสาหร่ายแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

น้ำชาในตัวอย่างที่ 13 มีรสขมและความฝาดเผื่อนน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ส่วนน้ำชาจากตัวอย่างที่ 17 มีคุณลักษณะทั้ง 2 ดังกล่าวข้างต้นมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คุณลักษณะด้านรสหวาน พบว่า น้ำชาในตัวอย่างที่ 7 มีรสหวานน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 18 มีรสหวานกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาความรู้สึกล้นลิ้นด้านรสขม พบว่า น้ำชาจากตัวอย่างที่ 11 มีลักษณะอ่อน ส่วนน้ำชาจากตัวอย่างที่ 17 มีลักษณะแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

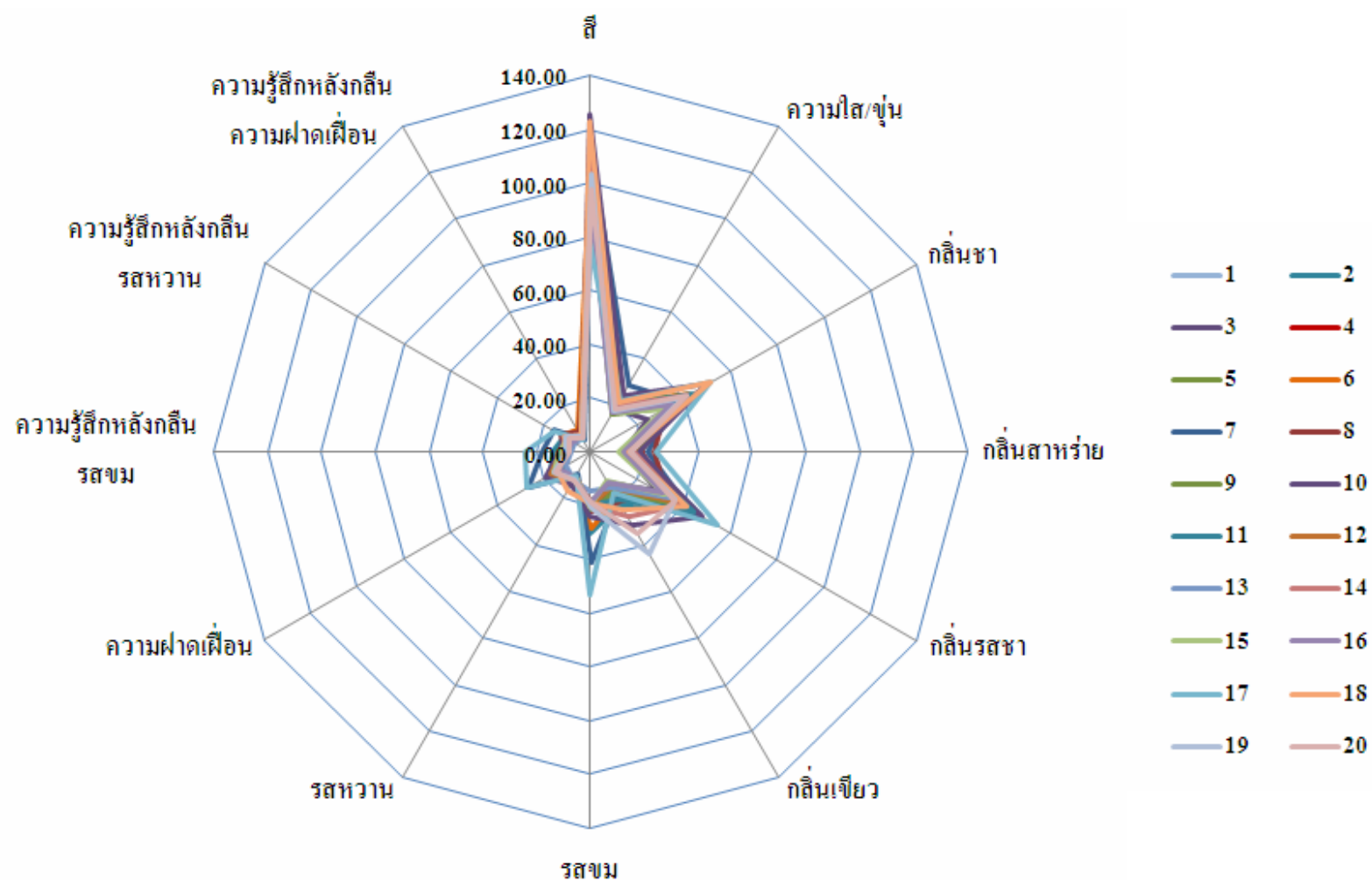
น้ำชาจากตัวอย่างที่ 13 มีคะแนนความรู้สึกล้นลิ้นด้านความฝาดเผื่อนน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ (6.64) ส่วนน้ำชาในตัวอย่างที่ 7 มีคะแนนสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ (16.17)

ดังนั้น สามารถสรุปคุณลักษณะของตัวอย่างน้ำชาในสิ่งทดลองต่างๆ ได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 7 พบว่า มีลักษณะขุ่นกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ โดยมีคะแนนเท่ากับ 28.64 มีรสชาติดีหวานน้อย (9.64) นอกจากนี้ ยังมีความฝาดเผื่อนในปริมาณสูง (27.00) รวมทั้งความรู้สึกล้นลิ้นด้านความฝาดเผื่อนก็มีคะแนนสูงเช่นเดียวกัน (16.17) จากสภาวะการผลิตสำหรับสิ่งทดลองนี้ พบว่า ใช้ปริมาณชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม ใช้พลังงานในการทำแห้ง 4,000 วัตต์ เป็นเวลา 50 นาที ซึ่งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งมาก (ความชื้น 2.52% ฐานแห้ง) และเมื่อพิจารณาปริมาณแทนนินที่วิเคราะห์ได้ พบว่ามีค่าเท่ากับ 10.54% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยผู้ทดสอบสามารถระบุได้ว่า น้ำชาจากตัวอย่างที่ 7 มีความฝาดเผื่อนสูง

สำหรับในสิ่งทดลองที่ 10 พบว่า น้ำชามีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม และมีกลิ่นชาค่อนข้างแรง ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 125.28 และ 50.03 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสภาวะในการทำแห้งของสิ่งทดลองนี้ พบว่า ใช้ปริมาณชาสด 4 กิโลกรัม ใช้พลังงานในการทำแห้ง 3,200 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาน้อย ดังนั้น เมื่อนำชาไปชงเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ทำให้ได้น้ำชาที่ยังคงมีสีเข้มและกลิ่นค่อนข้างแรง

น้ำชาในสิ่งทดลองที่ 17 มีลักษณะเด่นในหลายคุณลักษณะ ได้แก่ มีสีเหลืองอ่อนกว่าตัวอย่างอื่นๆ (77.94) มีกลิ่นชา กลิ่นสาหร่ายค่อนข้างแรง มีรสชาติขม และความฝาดฝื่อนมาก นอกจากนี้ ยังมีความรู้สึกหลังกลืนด้านความขมมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณแทนนินที่วิเคราะห์ได้ พบว่า ชาเขียวในสิ่งทดลองนี้มีปริมาณแทนนินค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับ 8.87% ของน้ำหนักแห้ง

ตัวอย่างน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 18 มีลักษณะที่สำคัญได้แก่ สีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นชาแรง และมีรสชาติหวานกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (มีลักษณะคล้ายกับตัวอย่างที่ 10 เนื่องจากเป็นจุดทดลองซ้ำของสิ่งทดลองที่ 10)



รูปที่ 4.11 แผนภาพใยแมงมุมแสดงค่าโครงชาเขียว 20 สิ่งทดลอง ใน 12 คุณลักษณะ

เมื่อนำน้ำชาทั้ง 20 สิ่งทดลอง ไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE 3317) ได้ผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าสีในเทอมของ L* a* และ b* ของน้ำชาจำนวน 20 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง ¹	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1	48.88 ± 0.01d	7.55 ± 0.01q	41.86 ± 0.02f
2	47.17 ± 0.01f	9.60 ± 0.01n	40.17 ± 0.02i
3	47.20 ± 0.02e	9.21 ± 0.02o	44.36 ± 0.05c
4	42.92 ± 0.01k	13.33 ± 0.01d	48.94 ± 0.11a
5	49.04 ± 0.01c	6.66 ± 0.03r	39.00 ± 0.03k
6	46.96 ± 0.00g	11.42 ± 0.02h	49.36 ± 0.01a
7	46.74 ± 0.04h	10.77 ± 0.02j	42.80 ± 0.04e
8	41.29 ± 0.01l	14.61 ± 0.01b	51.39 ± 0.08a
9	37.65 ± 0.01s	17.31 ± 0.02a	52.37 ± 0.11a
10	40.86 ± 0.01m	11.08 ± 0.02i	39.70 ± 0.04j
11	46.33 ± 0.01	10.17 ± 0.01l	46.75 ± 0.02b
12	40.22 ± 0.02o	12.54 ± 0.04e	46.74 ± 0.07b
13	51.57 ± 0.01b	4.99 ± 0.01s	30.26 ± 0.01m
14	39.48 ± 0.01q	14.13 ± 0.03c	46.91 ± 0.13b
15	46.66 ± 0.03i	8.93 ± 0.01p	43.66 ± 0.04d
16	38.41 ± 0.02r	11.67 ± 0.03g	41.83 ± 0.20f
17	52.57 ± 0.03a	4.88 ± 0.01t	38.44 ± 0.02l
18	40.42 ± 0.02n	11.98 ± 0.02f	38.87 ± 0.06k
19	37.53 ± 0.01t	10.52 ± 0.02k	40.78 ± 0.04h
20	39.93 ± 0.02p	9.78 ± 0.01m	41.23 ± 0.07g

¹ สิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

เมื่อพิจารณาค่า L* เป็นค่าความสว่างมีช่วงระหว่าง 0-100 โดยค่า 0 หมายถึงสีดำ ค่า 50 หมายถึงสีเทา และค่า 100 แสดงถึงสีขาว พบว่า น้ำชาทั้ง 20 สิ่งทดลองมีค่า L* อยู่ในช่วง 37.53 – 52.57 ซึ่งจะมีค่าเป็นสีเทา โดยน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 17 จะมีค่าความสว่างสูงสุดและแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสภาวะที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วยปริมาณชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม พลังงาน 4,800 วัตต์ และระยะเวลา 50 นาที ส่วนน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 19 จะ

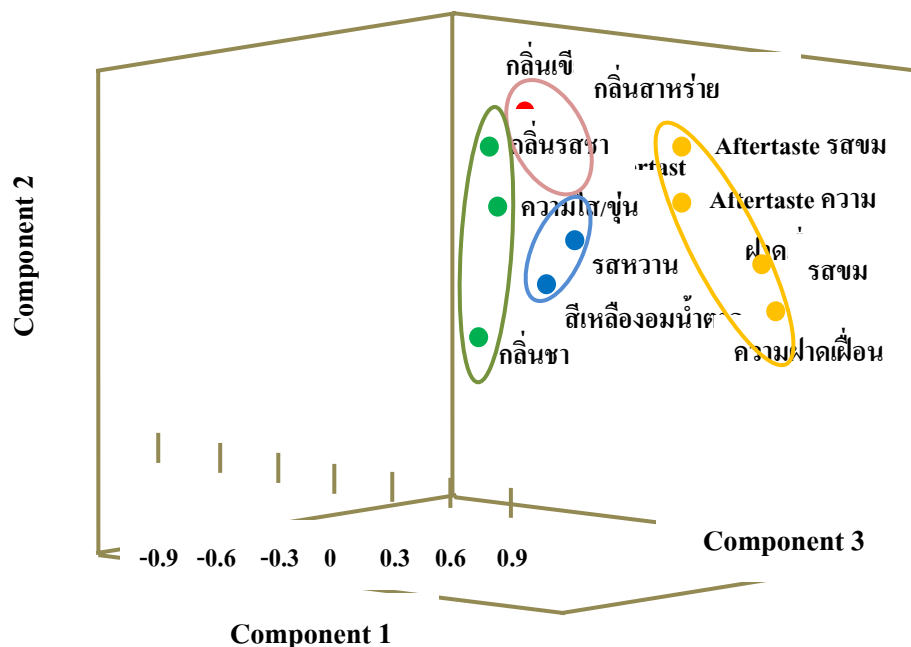
มีค่าความสว่างต่ำสุด โดยประกอบด้วยปริมาณชาเริ่มต้น 3 กิโลกรัม พลังงาน 4,000 วัตต์และระยะเวลา 40 นาที เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ a^* แสดงมิติของสีแดงถึงสีเขียว โดยหาก a^* มีค่าเป็น + จะมีสีในทิศทางเป็นสีเทาถึงสีแดง พบว่า น้ำชาในสิ่งทดลองที่ 9 มีค่า a^* สูงสุด (17.31) ซึ่งสถานะที่ใช้ทำแห้งประกอบด้วย ปริมาณชาเริ่มต้น 2 กิโลกรัม พลังงาน 3,200 วัตต์ และระยะเวลา 30 นาที ส่วนน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 17 มีค่า a^* ต่ำสุด (4.88) และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ พบว่า สถานะที่ใช้ทำแห้งที่พลังงานและระยะเวลาในระดับสูง จะทำให้น้ำชาที่ได้มีค่าความเป็นสีแดงต่ำกว่าการทำแห้งที่ระดับพลังงานและระยะเวลาในระดับต่ำ และเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ b^* แสดงมิติของสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน หาก b^* มีค่าเป็น + จะมีสีในทิศทางสีเทาถึงสีเหลือง โดยน้ำชาในสิ่งทดลองที่ 9 มีค่า b^* สูงสุด (69.08) ในขณะที่น้ำชาในสิ่งทดลองที่ 13 มีค่า b^* ต่ำสุด (60.00) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การทำแห้งชาเขียวที่พลังงานและระยะเวลาในระดับต่ำจะให้ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาลสูง ซึ่งสอดคล้องกับการให้คะแนนโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Principle Component Analysis (PCA) ทำการสกัดปัจจัยที่ค่า eigen value มากกว่า 1.0 พบว่า ค่า eigen value ของ Factor 1 Factor 2 Factor 3 และ Factor 4 มีค่าเท่ากับ 4.70 1.50 1.29 และ 1.06 ตามลำดับ ส่วนค่า loading score ของคุณลักษณะทั้ง 12 คุณลักษณะ แสดงในตารางที่ 4.20 ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ Factor 1 พบว่า loading score ของตัวแปร รสขม ความฝาดฝื่อน Aftertaste รสขม และ Aftertaste ความฝาดฝื่อนมีค่ามาก จึงจัดให้ 4 ตัวแปรดังกล่าวอยู่ใน Factor 1 ส่วนตัวแปรกลิ่นสาหร่าย กลิ่นรสเขียว และ Aftertaste รสหวานจัดให้อยู่ใน Factor 2 สำหรับ Factor 3 ประกอบด้วยตัวแปรความใส/ขุ่น กลิ่นชา และกลิ่นรสชา และ Factor 4 ประกอบด้วยตัวแปรสีเหลืองอมน้ำตาลและรสหวาน นอกจากนี้ พบว่า Factor 1 Factor 2 Factor 3 และ Factor 4 สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ 27.65% 17.81% 15.92% และ 9.83% ตามลำดับ รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของตัวแปรที่เกิดจากการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax with Kaiser normalization

ตารางที่ 4.21 ค่า factor loadings ของคุณลักษณะต่างๆ เมื่อผ่านการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax

คุณลักษณะ	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
สีเหลืองอมน้ำตาล	-0.148	0.016	0.205	0.713
ความใส/ขุ่น	0.126	-0.179	0.852	0.016

กลิ่นชา	0.239	0.527	0.669	0.078
กลิ่นสาหร่าย	0.306	0.715	0.070	-0.161
กลิ่นรสชา	0.300	0.450	0.744	0.044
กลิ่นรสเขียว	-0.039	0.727	-0.019	0.097
รสขม	0.875	0.033	0.196	-0.116
รสหวาน	0.152	0.067	-0.120	0.719
ความฝาดเพี้ยน	0.810	0.304	0.105	0.165
Aftertaste รสขม	0.875	0.047	0.197	-0.117
Aftertaste ความฝาดเพี้ยน	0.840	0.324	0.088	0.153
Aftertaste รสหวาน	0.353	0.617	0.162	0.184



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งกลุ่มคุณลักษณะของชาเขียวโดยวิธีการจำแนกกลุ่มตัวแปร
ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis

เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสม ซึ่งสมการดังกล่าวจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาในการทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ซึ่งตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้ได้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้อง และมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปร

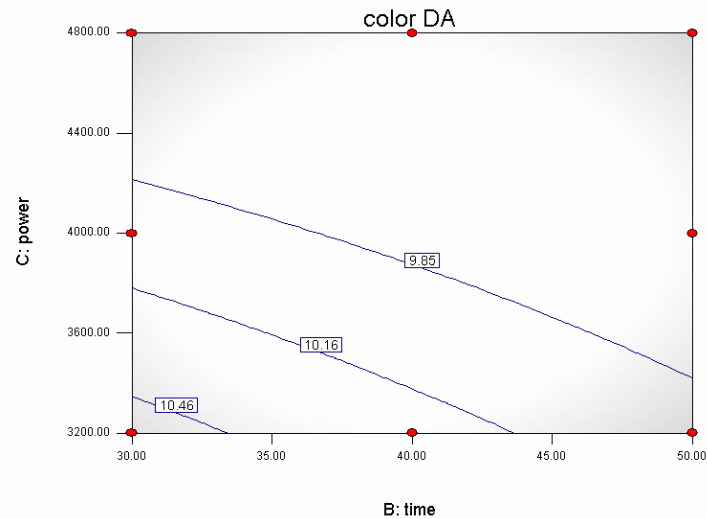
ตามการศึกษา ทั้งนี้ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาในการทำแห้งที่ใช้มีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของ ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.22 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและค่าตอบสนองด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์ชาเขียว

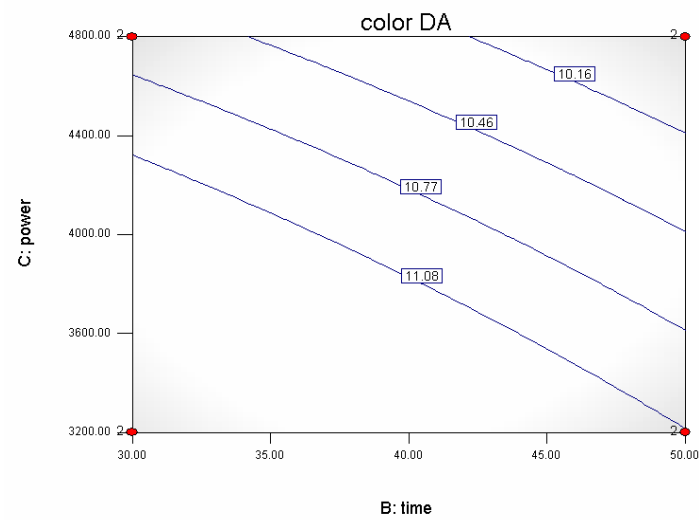
สมการถดถอย		Adjusted R ²	ระดับนัยสำคัญ (p)
สี	$= 103.51 + 5.80X_1 - 3.44X_2 - 5.93X_3 - 1.14X_1X_2 - 0.98X_1X_3 + 0.72X_2X_3$	0.4452	0.0266
กลิ่นชา	$= 37.99 + 1.70X_1 - 0.14X_2 - 1.24X_3 - 1.55X_1^2 + 1.10X_2^2 + 0.63X_3^2 - 4.50X_1X_2 - 2.28X_1X_3 + 4.31X_2X_3$	0.5297	0.0357
กลิ่นรสชา	$= 39.32 - 0.41X_1 + 2.24X_2 - 0.25X_3 - 3.88X_1X_2 - 2.12X_1X_3 + 3.31X_2X_3$	0.3852	0.0465
รสขม	$= 23.89 - 3.77X_1 + 3.43X_2 + 3.65X_3 - 5.12X_1X_2 - 3.20X_1X_3 + 2.36X_2X_3$	0.5515	0.0080
รสหวาน	$= 14.01 - 1.82X_1 + 1.70X_2 + 0.74X_3 + 3.19X_1^2 + 3.03X_2^2 - 2.94X_3^2 - 2.44X_1X_2 - 0.90X_1X_3 + 1.00X_2X_3$	0.6285	0.0132
ความรู้สึกล้นลิ้น: รสขม	$= 8.52 - 1.60X_1 + 2.13X_2 + 1.23X_3 + 2.57X_1^2 + 1.15X_2^2 - 0.42X_3^2 - 1.97X_1X_2 - 1.4X_1X_3 + 1.47X_2X_3$	0.7151	0.0041
ความรู้สึกล้นลิ้น: ความฝาด	$= 9.22 - 1.12X_1 + 0.51X_2 + 0.046X_3 + 2.30X_1^2 + 1.80X_2^2 - 2.45X_3^2 - 1.40X_1X_2 - 0.68X_1X_3 + 0.54X_2X_3$	0.6197	0.0146

X_1 = ปริมาณชา X_2 = ระยะเวลาที่ชง และ X_3 = กำลังไมโครเวฟ

เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง ได้ดังรูปที่ 4.13



(a)



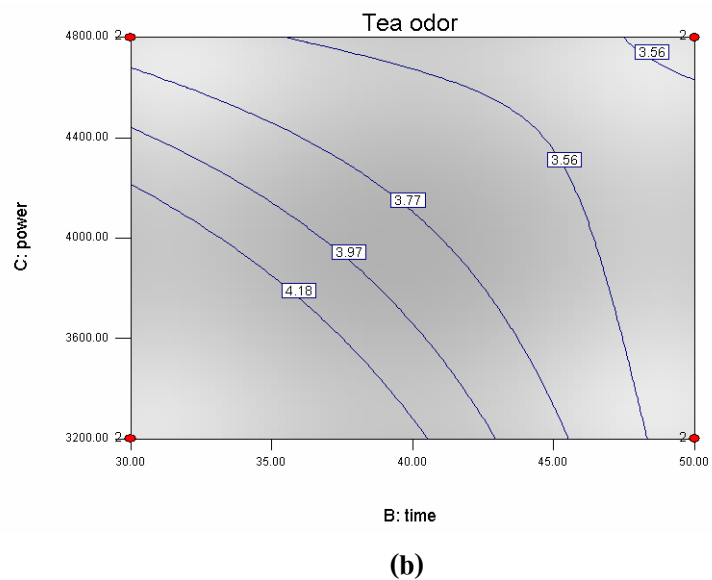
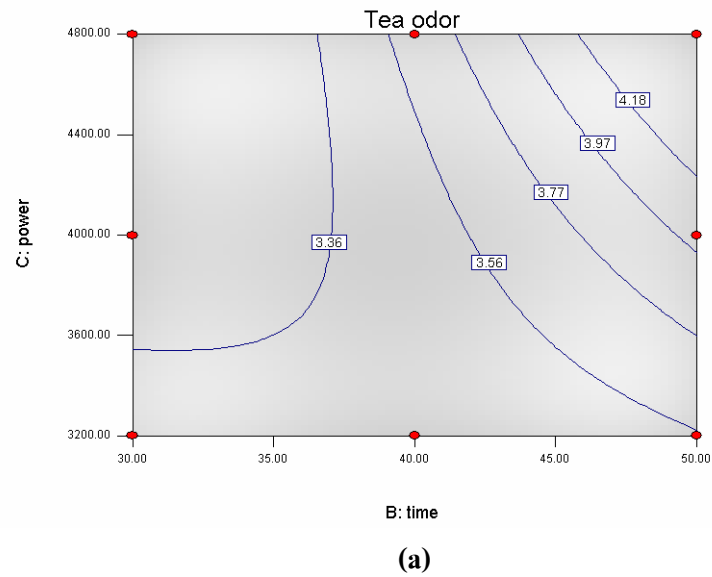
(b)

รูปที่ 4.13 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสี

เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

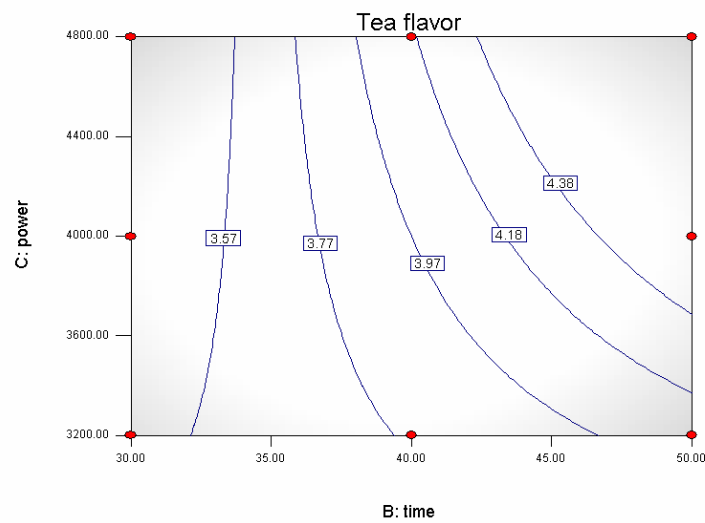
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.13 พบว่า เมื่อทำแห้งชาที่ระยะเวลานานขึ้น และใช้ระดับพลังงานสูงขึ้น ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจะให้คะแนนความเข้มในคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์ลดลง

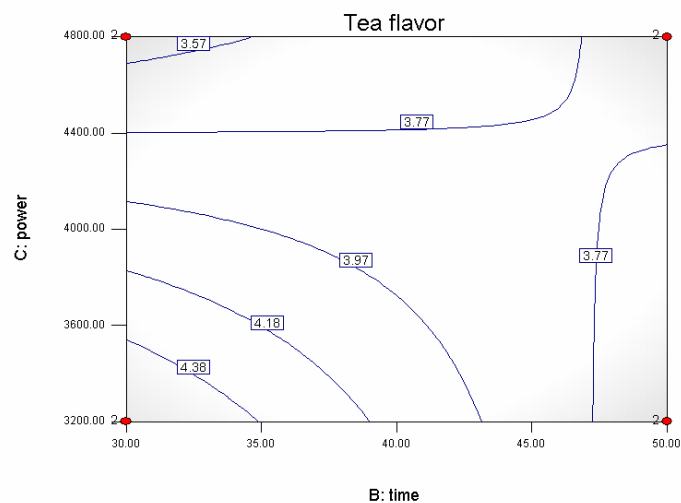


รูปที่ 4.14 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นชา
เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.14-(a) ซึ่งเป็นการทำแห้งชาในปริมาณ 2 กิโลกรัม พบว่า ชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งที่ระดับพลังงานและระยะเวลาสูงขึ้น ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจะให้คะแนนด้านกลิ่นชาเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณารูปที่ 4.14-(b) ซึ่งเป็นการทำแห้งชาในปริมาณ 4 กิโลกรัม พบว่า เมื่อทำแห้งชาที่ระดับพลังงานและระยะเวลาสูงขึ้น คะแนนด้านกลิ่นชามีค่าลดลง



(a)



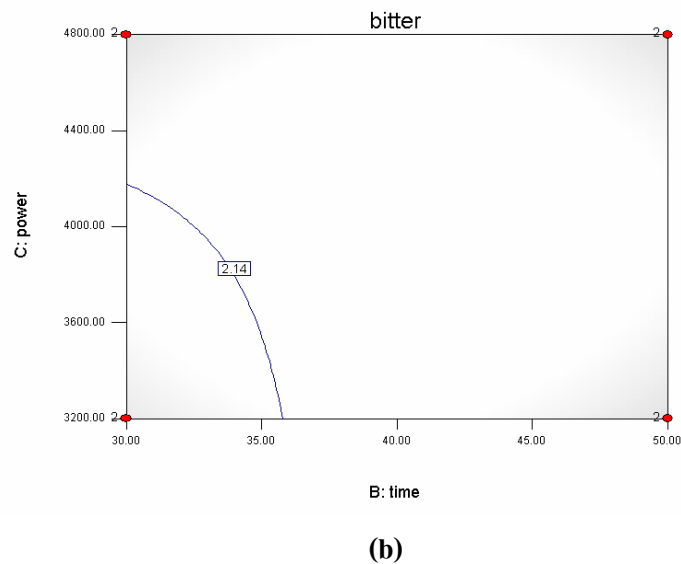
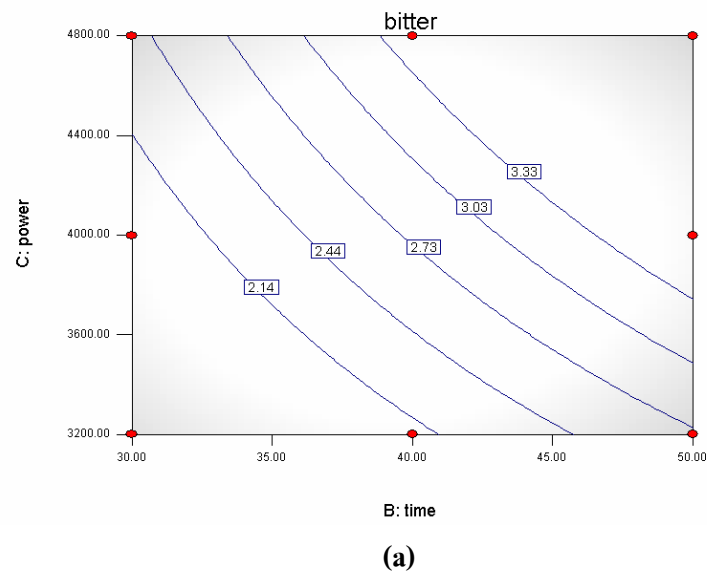
(b)

รูปที่ 4.15 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านกลิ่นรสชา

เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 พบว่า ลักษณะของพื้นที่ตอบสนองด้านกลิ่นรสมิทิศทางเดียวกับพื้นที่ตอบสนองด้านกลิ่นชา โดย 4.15-(a) การทำแห้งชาในปริมาณ 2 กิโลกรัม เมื่อทำแห้งชาเขียวที่ระดับพลังงานและระยะเวลาสูงขึ้น ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจะให้คะแนนด้านกลิ่นรสชาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.15-(b) ซึ่งเป็นการทำแห้งชาในปริมาณ 4 กิโลกรัม พบว่า คะแนนด้านกลิ่นรสมิค่าลดลง เมื่อทำแห้งชาที่ระดับพลังงานและระยะเวลาสูงขึ้น

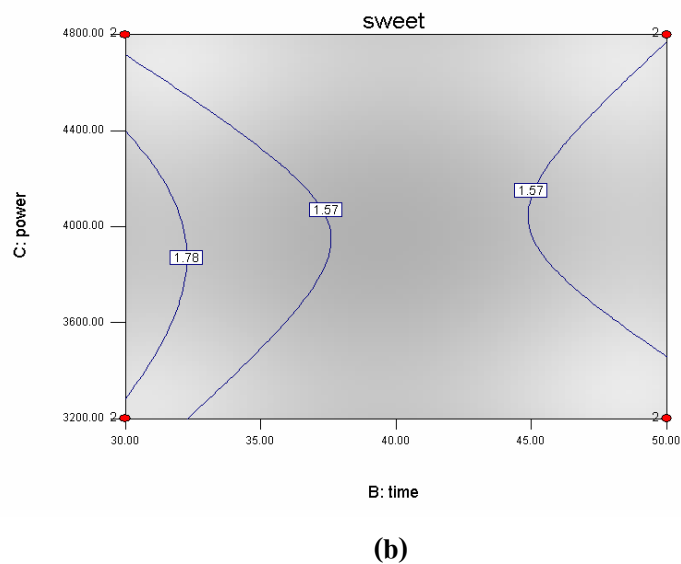
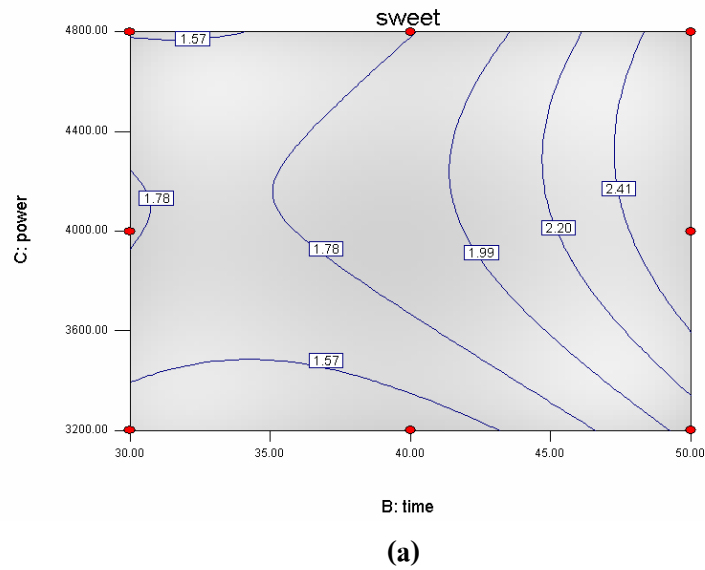


รูปที่ 4.16 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านรสขม

เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้

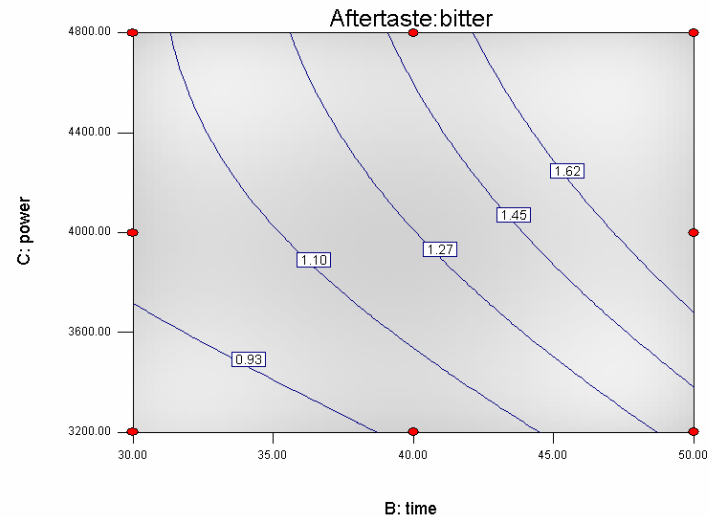
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองด้านรสขม รูปที่ 4.16-(a) พบว่า ผลลัพธ์ชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งที่ระยะเวลาและพลังงานในระดับสูง จะมีคะแนนด้านความขมมากกว่าชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งที่ระยะเวลาและพลังงานในระดับต่ำ

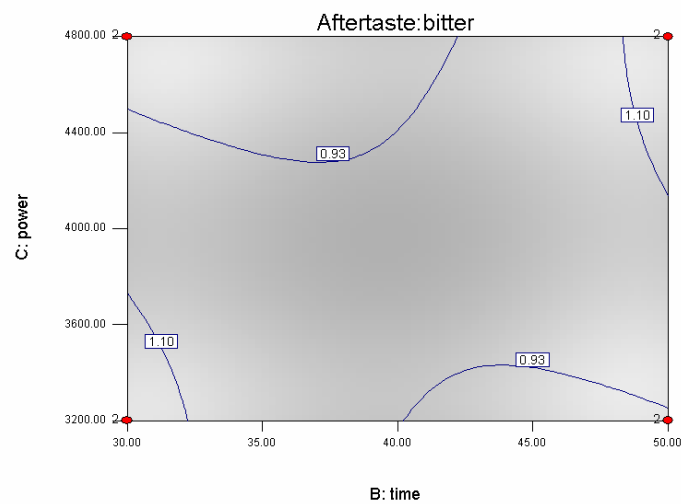


รูปที่ 4.17 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านรสหวาน
เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

จากพื้นที่ตอบสนองด้านรสหวาน (รูปที่ 4.17) พบว่า ในการทำแห้งชาเขียวในปริมาณชาเริ่มต้น 2 กิโลกรัม (รูปที่ 4.17-a) ที่ระยะเวลาในการทำแห้งตั้งแต่ 35 นาทีขึ้นไป ความเข้มข้นด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ชาเขียวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนการทำแห้งชาเขียวในปริมาณชาเริ่มต้น 4 กิโลกรัม (รูปที่ 4.17-b) พบว่า ที่ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่า 40 นาที ความเข้มข้นด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ชาเขียวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



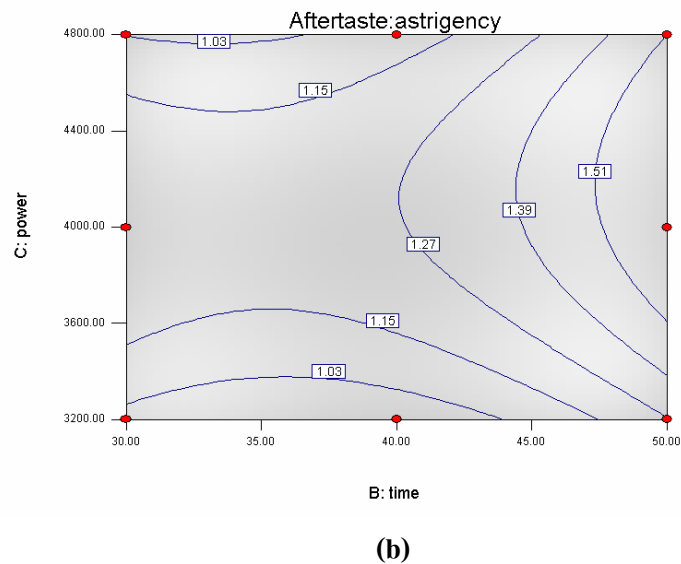
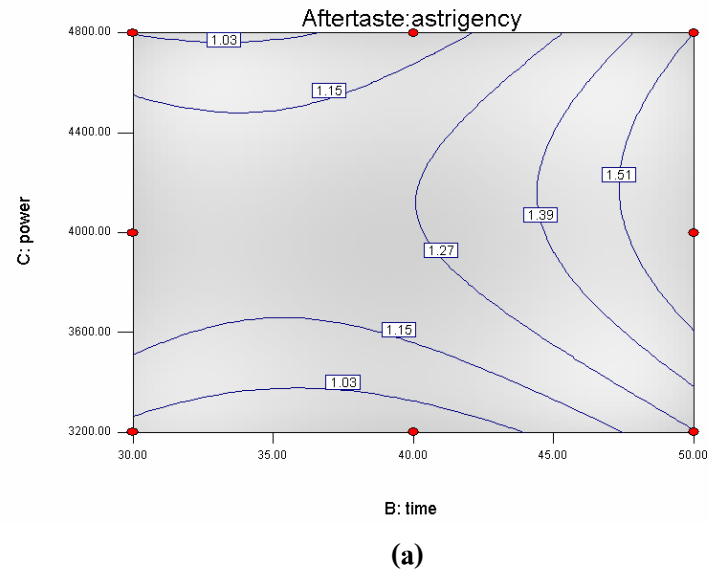
(a)



(b)

รูปที่ 4.18 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาความรู้สึกหลังกลืนด้านรสขม เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองความรู้สึกหลังกลืนด้านรสขม รูปที่ (4.18-a) พบว่า ผลผลิตกัณฑ์ชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งที่ระดับพลังงานและระยะเวลาสูงขึ้น จะมีคะแนนความรู้สึกหลังกลืนด้านรสขมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.19 พื้นที่การตอบสนองคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาความรู้สึกหลังกลืน
ด้านความฝาดเคี้ยว เมื่อผันแปรระยะเวลาและพลังงานในการทำแห้ง โดยกำหนดให้
(a) ปริมาณชาที่ระดับต่ำ 2 กิโลกรัม (b) ปริมาณชาที่ระดับสูง 4 กิโลกรัม

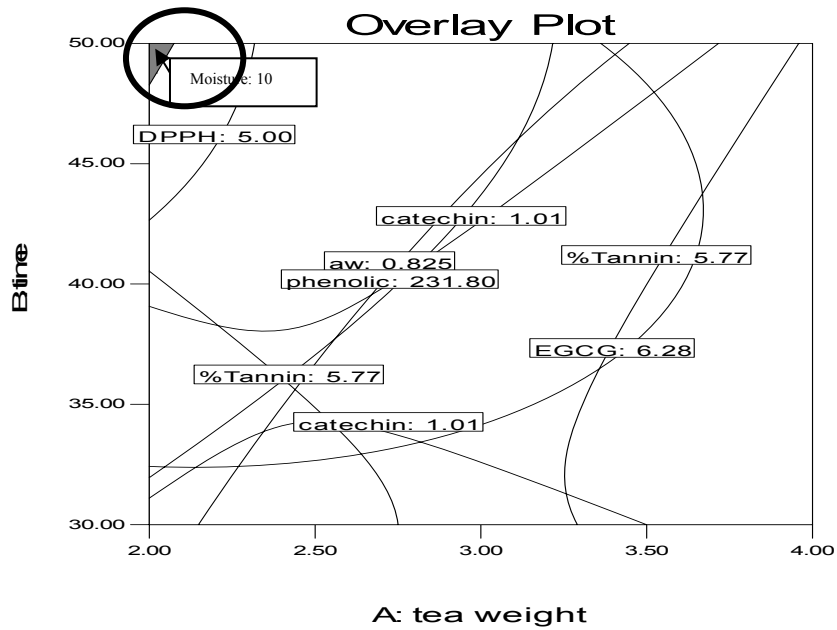
จากพื้นที่ตอบสนองด้านความรู้สึกหลังกลืนความฝาดเคี้ยว (รูปที่ 4.19) พบว่า ในการทำ
แห้งชาเขียวในปริมาณชาเริ่มต้น 2 และ 4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการทำแห้งมากกว่า 40 นาที
ผลิตภัณฑ์ชาเขียวจะมีคะแนนด้านความรู้สึกหลังกลืนด้านความฝาดเคี้ยวเพิ่มขึ้น

การหาสถานะที่เหมาะสม (Optimization)

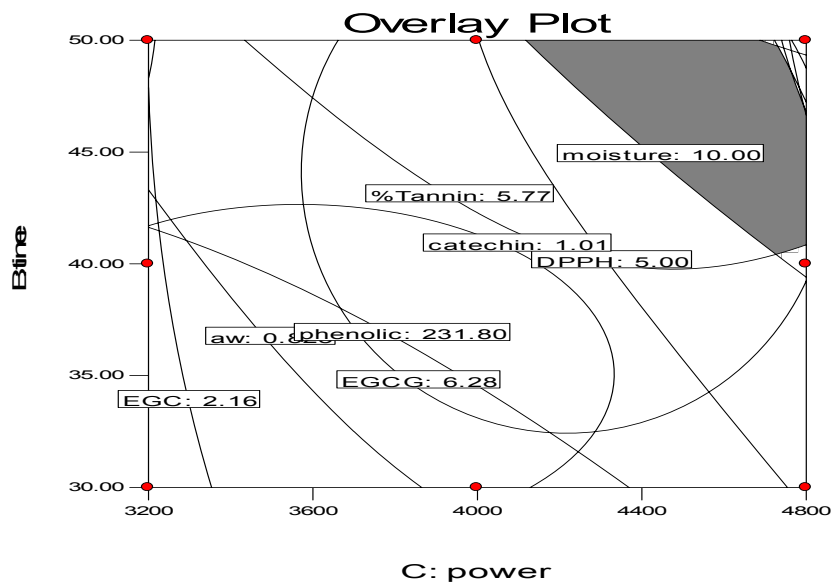
จากพื้นที่ตอบสนองและสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตัวแปรอิสระ (ได้แก่ ปริมาณชาเขียว กำลังไมโครเวฟ และระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) กับตัวแปรตาม พบว่า ในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาเขียวที่มีคุณภาพที่เหมาะสม ได้กำหนดคุณภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ดังนี้ ปริมาณความชื้นมีค่าไม่เกิน 7% ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีไม่เกิน 0.7 ให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐานคาเทชิน EGCG ECG EGC และ GC มีค่าสูงสุด ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] เหลืออยู่ 50% มีค่าต่ำสุด ส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ได้แก่ สี กลิ่นชา กลิ่นรสชา รสขม รสหวาน ความรู้สึกหลังกลืนด้านรสขม และความรู้สึกหลังกลืนด้านความฝาดฝื่อน กำหนดให้ใช้ค่าที่อยู่ในช่วงที่ทดสอบได้ (in range) จากนั้นนำค่าที่กำหนดไว้ข้างต้นทั้งหมดมาทำนายสภาวะที่เหมาะสม พบว่า ประกอบด้วยปริมาณชา 2 กิโลกรัม ใช้พลังงานในการทำแห้ง 4,200 วัตต์ เป็นเวลา 50 นาที รูปที่ 4.20 แสดงช่วงที่เหมาะสม (บริเวณพื้นที่สีเหลือง) ในการผลิตชาเขียวซึ่งช่วงดังกล่าวทำนายว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ปริมาณความชื้น 7% ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีมีค่าเท่ากับ 0.347 ตามลำดับ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 122.65 mg GAE/g dry basis ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] เหลืออยู่ 50% มีค่าเท่ากับ 6.23 mg/L ส่วนค่าความเข้มข้นเทียบเท่าสารมาตรฐานคาเทชิน EGCG ECG EGC และ GC มีค่าเท่ากับ 2.81 7.18 3.49 3.47 และ 0.10 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ

การทดลองที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีไมโครเวฟที่เหมาะสม และชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม

ทำการผลิตชาเขียวด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยใช้สภาวะในการทำแห้งดังนี้ ปริมาณชาสดเริ่มต้น 2 กิโลกรัม พลังงาน 4,200 วัตต์ เป็นระยะเวลา 50 นาที นำผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิมจากโรงงานชาระมิงค์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.23



(a)



(b)

รูปที่ 4.20 กราฟการซ้อนทับของพื้นที่ตอบสนองของคุณลักษณะต่างของผลิตภัณฑ์ชาเขียว

(a) กำหนดที่กำลังไมโครเวฟ 4200 วัตต์ (b) กำหนดที่ปริมาณชา 2 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี-กายภาพของชาเขียวที่ผลิตจากสถานะที่เหมาะสม
เปรียบเทียบกับชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม และชาสดที่เก็บเกี่ยว
จากไร่ชาละมิงค์

ค่าสังเกต	ตัวอย่าง		
	ชาเขียวจากการ ทดลอง	ชาเขียวจากกรรมวิธี การผลิตแบบดั้งเดิม	ชาสด
ปริมาณความชื้น (%wb)	6.65 ± 0.78b	2.66 ± 0.07c	78.09 ± 0.88a
ค่าออกเตอรแอกติวิตี	0.657 ± 0.017b	0.468 ± 0.006c	0.947 ± 0.005a
ปริมาณเถ้าทั้งหมด (%)	9.97 ± 0.01b	8.68 ± 0.00c	10.14 ± 0.02a
ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (%)	7.66 ± 0.10b	9.22 ± 0.56a	10.14 ± 0.02a
ปริมาณแทนนิน (%)	0.93 ± 1.18b	14.96 ± 4.12a	5.70 ± 0.59b
Antioxidant activity (mg/ml)	1.617 ± 0.000b	2.658 ± 0.085a	0.821 ± 0.074c
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry basis)	120.23 ± 13.54c	211.9 ± 12.14b	467.78 ± 129.83a
EGCG (% dry basis)	3.24 ± 0.11a	1.14 ± 0.05c	2.86 ± 0.13b
ECG (% dry basis)	2.38 ± 0.15a	0.34 ± 0.04b	2.60 ± 0.09a
EGG (% dry basis)	3.58 ± 0.01a	1.41 ± 1.04b	2.32 ± 0.08b
GC (% dry basis)	0.019 ± 0.006ab	0.024 ± 0.006a	0.004 ± 0.00b

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมมีค่าปริมาณความชื้น และค่าออกเตอรแอกติวิตี สูงกว่าชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในขณะที่ชาเขียวที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมจะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่า และมีปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH[•] เหลืออยู่ 50% สูงกว่าชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีจากสภาวะที่เหมาะสมจะมีปริมาณสารสำคัญที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ได้แก่ EGCG, EGC และ ECG สูงกว่าชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ ยังทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale สำหรับคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้ สี กลิ่นชา กลิ่นรสชา รสขม ความฝาดฝื่อน ความรู้สึกหลังกลืนรสขม ความรู้สึกหลังกลืนความฝาดฝื่อน และความชอบโดยรวม โดยเปรียบเทียบระหว่างชาเขียวที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสม และชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม โดยคะแนนในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 คะแนนในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสม และชาเขียวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง	
	ชาเขียวจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสม	ชาเขียวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม
สี	6.21 ± 1.44a	6.33 ± 1.45a
กลิ่นชา	5.49 ± 1.45b	6.36 ± 1.37a
กลิ่นรสชา	5.47 ± 1.45a	5.71 ± 1.55a
รสขม	5.46 ± 1.51a	5.03 ± 1.79a
ความฝาดเฝื่อน	5.38 ± 1.53a	5.03 ± 1.71a
ความรู้สึกล้นลิ้น:รสขม	5.44 ± 1.56a	4.88 ± 1.74b
ความรู้สึกล้นลิ้น:ความฝาดเฝื่อน	5.31 ± 1.56a	4.94 ± 1.75a
ความชอบโดยรวม	5.34 ± 1.46a	5.32 ± 1.61a

*จากการทดสอบผู้บริโภครวม 100 คน

**ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.24 พบว่า ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและชาเขียวที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสม มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรสชา รสขม ความฝาดเฝื่อน ความรู้สึกล้นลิ้นด้านความฝาดเฝื่อน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านกลิ่นชา พบว่า ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมจะมีคะแนนมากกว่า ($p \leq 0.05$) แต่จะมีคะแนนน้อยกว่าในคุณลักษณะความรู้สึกล้นลิ้นด้านรสขม ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ชาเขียวทั้งสองสิ่งทดลองจะมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณภาพทางเคมี-กายภาพของชาสดสายพันธุ์อัสสัม จากไร่ชาชะมังค์ จ.เชียงใหม่ พบว่า มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 79.59% ของน้ำหนักเปียก ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.900 มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 6.88% ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำและมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 9.28 และ 1.18% ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 524.84 mg GAE/g ค่า EC_{50} เท่ากับ 1.07 mg/L ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 524.84 mg GAE/g ปริมาณสารสำคัญที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC ได้แก่ Catechin (C) Epigallocatechin gallate (EGCG) Epicatechin gallate (ECG) Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC) เท่ากับ 0.41, 3.73, 3.13, 1.18 และ 0.02% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาเขียวโดยใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ ทำการผันแปรปริมาณชาสดเริ่มต้น 2-4 กิโลกรัม กำลังไมโครเวฟ 3,200-4,800 วัตต์ และระยะเวลา 30-50 นาที พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาเขียว ประกอบด้วยปริมาณชา 2 กิโลกรัม ใช้พลังงานในการทำแห้ง 4,200 วัตต์ เป็นเวลา 50 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 6.65% ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.657 มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 9.97% ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำและมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 7.66 และ 0.93% ตามลำดับ มีค่า EC_{50} 1.62 mg/L และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 120.23 mg GAE/g ปริมาณสารสำคัญที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC ได้แก่ Epigallocatechin gallate (EGCG) Epicatechin gallate (ECG) Epigallocatechin (EGC) และ Gallocatechin (GC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.24, 2.38, 3.58 และ 0.019% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อทำการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นชา กลิ่นรสชา รสขม ความฝาดเผื่อน ความรู้สึกล้นกลิ่นรสขม และความรู้สึกล้นกลิ่นความฝาดเผื่อน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า ชาเขียวที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมมีคะแนนเท่ากับ 6.21, 5.49, 5.47, 5.46, 5.38, 5.44 และ 5.31 ตามลำดับ โดยมีคะแนนความชอบรวมและกลิ่นรสชาไม่มีความแตกต่างจากชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และยังพบว่าชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ไมโครเวฟมีปริมาณสาร EGCG ECG EGC สูงกว่าชาเขียวที่ผ่านการผลิตแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่า EC_{50} ต่ำกว่า ดังนั้น ชาเขียวที่ผ่านไมโครเวฟมีสารสำคัญและสารแอนติออกซิแดนซ์สูงกว่าชาเขียวแบบดั้งเดิม

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (มปป). “ฐานความรู้ด้านพืช: ชา”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard1/tea/main.html (3 มีนาคม 2550).
- ฉัตรฤดี สุวรรณชาติ (2548). ชาเขียวหมักสรรพคุณจริงหรือ? วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 20, (1); 57-62.
- ธีรพงษ์ เทพกรณ์. (2546). “ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชาในประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.mfu.ac.th. (28 กันยายน 2550)
- ประภัสสร สุวัฒนารรรณ. (มปป.). “ชาเขียว”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.gpo.or.th/rdi/htmls/greentea.html (29 กันยายน 2550).
- ปรีชา บุญญ. (2550). “สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ”. ในสารต้านอนุมูลอิสระ. หน้า 171-192. กรุงเทพฯ : นิเวศมิตรการพิมพ์.
- พนม วิญญูของ. (2546). “ชาเขียวราย: รูปแบบการผลิต สู่ประโยชน์ทางด้านสุขภาพ และ การป้องกันโรค”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.mfu.ac.th/division/tea/know/article_tea (21 มิถุนายน 2551)
- พรทิพย์ วิรัชวงศ์. (2540). “อนุมูลอิสระ(Free radicals)/สารต้านอนุมูลอิสระ(Antioxidants)”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.gpo.or.th/rdi/html/antioxidants.html> (10 กุมภาพันธ์ 2551).
- ลัภณา รุณะไกรกานต์ และ นิธิยา รัตนานนท์. (2544). หลักการวิเคราะห์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่6. ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : เชียงใหม่.
- วรนนท์ ศุภพิพัฒน์. (2550). “การดื่มชาเขียวในประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tistr-foodprocess.net/tea/article_tea/tea%205.htm (21 มิถุนายน 2551)

ศุภกิจ แต่พัฒนพงษ์. (2547). การอบแห้งเนื้อหมูปด ไข่และกะหล่ำปลี โดยใช้เครื่องไมโครเวฟ ระบบ สูญญากาศเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป. โครงการงานวิจัย วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : เชียงใหม่.

ศุภนาถ เกตุเจริญ. (2550). “ชาไทยหนึ่งในชาติของโลก”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://chiangrai.doae.go.th/chiangrai13.html> (22 ตุลาคม 2550).

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2552). ชา. Business brief. 15(2715):

ส่งศักดิ์ คำรินทร์. (2546). “ชาเขียว”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://202.129.0.133/createweb/00000/00000-1705.html> (22 ตุลาคม 2550).

สมุนไพรรไทย. (2550). “ชาเขียว ดื่มเพื่อสุขภาพ”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://mukdahan.doae.go.th/keep7.htm> (14 ตุลาคม 2550).

สายศิริ ศิลปวุฒิ. (2546). “ชาดีสำหรับชีวิต...สารต้านอนุมูลอิสระ”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.greenlife.co.th/resources_th_05.html. (5 สิงหาคม 2546)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). สถานการณ์การผลิตชา. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กรมศุลกากร, กรุงเทพฯ.

Almajano, M.P., Carbo, R., Jimenez, J.A.L. and Gordon, M.H. (2008). Antioxidant antimicrobial activities of tea infusions. *Journal of Food Chemistry*, 108: 55–63.

Atoui, A. K., Mansouri, A., Boskou, G. and Kefalas, P. (2005). Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89: 27–36.

Cabrera, C., Gimenez, R. and Lopez, M. C. (2003). Determination of tea components with antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 4427–4435.

- Chan, E.W.C., Y.Y. Lim and Y.L. Chew. (2007). Antioxidant activity of *Camelia sinensis* leaves and tea from a lowland plantation in Malaysia. *Food Chemistry*. 102: 1214-1222.
- Chen, C. N., Liang, C. M., Lai, J. R., Tsai, Y. J., Tsay, J. S. and Lin, J. K. (2003). Capillary electrophoretic determination of theanine, caffeine, and catechins in fresh tea leaves and oolong tea and their effects on rat neurosphere adhesion and migration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7495–7503.
- Coimbra, S., Santos-Silva, A., Rocha-Pereira, P., Rocha, S. and Castro, E. (2006). Green tea consumption improves plasma lipid profiles in adults. *Journal of Nutrition Research International*, 26: 604-607.
- Dufresne, C. J. and Farnworth, E. R. (2001). A review of latest research findings on the health promotion properties of tea. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 12: 404–421.
- Frankel, E.N., Waterhouse, A.L. and Teissedre, P. (1995). Principle phenolic phytochemicals in selected California wines and their antioxidant activity in inhibiting oxidation of low density lipoprotein. *J.Agr. Food Chem*, 43: 890-894.
- Graham, H. N. (1992). Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine*, 21: 334–350.
- Graham, H. N. (1999). Tea. In J. F. Frederick (Ed.). *Wiley encyclopedia of food science and technology*, 2nd ed. (1–4, pp. 2292–2305). John Wiley & Sons.
- Gulati, A., R. Rawat, B. Singh and S.S. Ravindranath. (2003). Application of microwave energy in the manufacture of enhanced-quality green tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 4764-4768.
- Harbowy, M. E. and Balentine, D. A. (1997). Tea chemistry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 16: 415–480.

- International Trade Center. (2009). Tea exported and imported by Thailand. International Trade Center (ITC), Thailand.
- Julkunen-Tiitto, R. (1985). Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33: 213–217.
- Khan, N. and Mukhtar, H. (2007). Tea polyphenols for health promotion. *Life Sciences*, 81: 519–533.
- Lee, K. W., Lee, H. J. and Lee, C. Y. (2002). Antioxidant activity of black tea vs. green tea. *Journal of Nutrition*, 13: 785.
- Lee, J. and Chambers, D. H. (2007). A lexicon for flavor descriptive analysis of green tea. *Journal of Sensory Studies*, 22: 256-272.
- Leung, L. K., Su, Y. L., Chen, R. Y., Zhang, Z. S., Huang, Y. and Chen, Z.Y. (2001). Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants. *Journal of Nutrition*, 131: 2248–2251.
- Lim, Y.Y. and Murtijaya, J. (2007). Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT*, 40: 1664-1669.
- Meilgaard, M., Civille, G.A. and Carr, B.T. (2007). Sensory Evaluation Techniques, 4th Ed., Boca Raton, FL.
- Plemmons, L.E and Resurreccion, A.V.A. (1997). A warm-up sample improves reliability of responses in descriptive analysis. *Journal of Sensory Studies*, 13: 359-376.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic. Biol.Med.*, 20: 933-955.

- Satyanarayana, T. and Eswaraiah, M.C. (2010). *In-vitro* antioxidant and free radical scavenging potential of stem of *Calycopteris floribunda* lam. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 1 (2): 117- 123.
- Stone, H. (1992). Quantitative descriptive analysis. in R.C. Hootman (Ed.), *Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation* (pp.15-21), Baltimore, American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Togari, N., Kobayashi, A. and Aishima, T. (1995). Relating sensory properties of tea aroma to gas chromatographic data by chemometric calibration methods. *Food Research International*, 28(5): 485-493.
- Williams, R.J., Spencer, J.P. and Rice-Evans, C. (2004). Flavonoids : antioxidants or signaling molecules? *Free Radic. Biol. Med.*, 36: 838-849.
- Yen, G. C. and Chen, H. Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43: 27–32.
- Yokozawa, T., Dong, E., Nakagawa, T., Kashiwagi, H., Nakagawa, H. and Takeuchi, S. (1998). In vitro and in vivo studies on the radical scavenging activity of tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2143–2150.
- Zaveri, N. T. (2006). Green tea and its polyphenolic catechins: Medicinal uses in cancer and noncancer applications. *Life Sciences*, 78: 2073-2080.

ภาคผนวก ก



รูป ก-1 ชาเขียวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ข -1

ตัวอย่างแบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ผลิตภัณฑ์ “ชาเขียว”

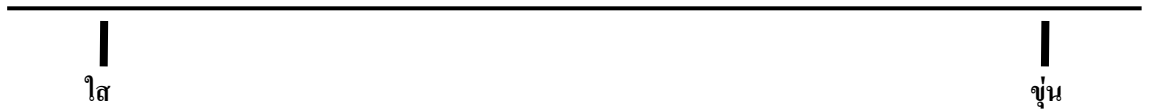
แบบทดสอบ Rating scale

คำแนะนำ : กรุณาให้คะแนนความเข้มในแต่ละคุณลักษณะ โดยทำเครื่องหมาย | ลงบนเส้นตรง
(ความยาว 15 cm.) ตามระดับความรู้สึกของท่าน

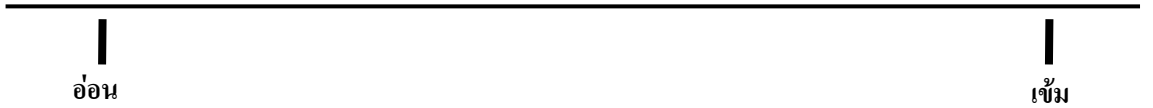
เทอม: สีเหลืองอมน้ำตาล



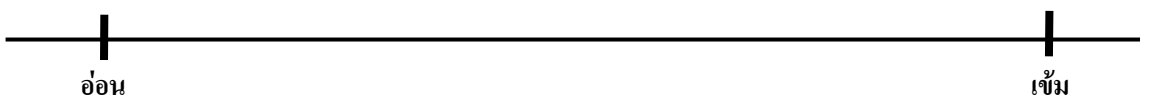
เทอม: ความ เกล็ด/ขุ่น



เทอม: กลิ่นชา



เทอม: กลิ่นสาหร่าย



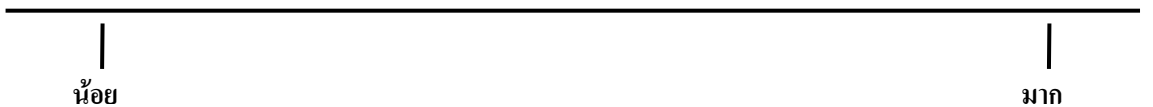
เทอม: กลิ่นรสชา



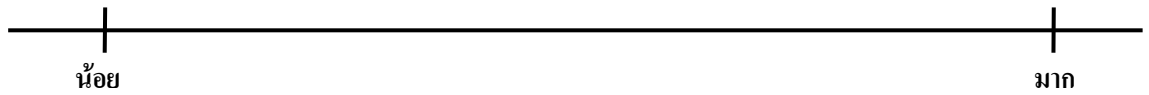
เทอม: กลิ่นรสเขียว



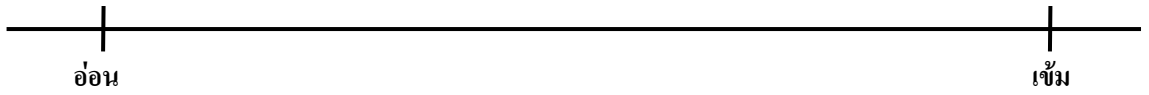
เทอม: รสขม



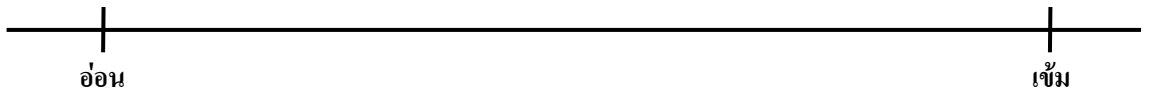
เทอม: รสหวาน



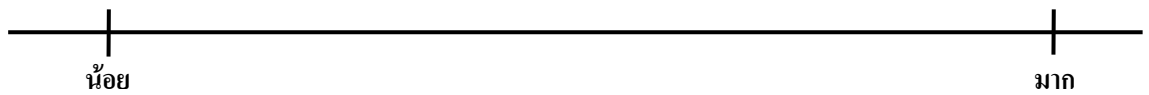
เทอม: ความฝาดเคี้ยว



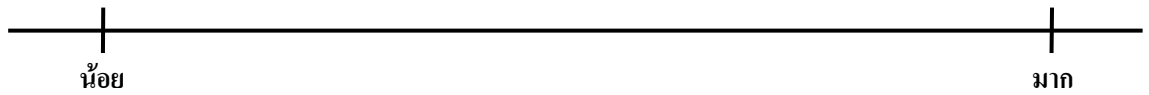
เทอม: Aftertaste รสขม



เทอม: Aftertaste ความฝาดเคี้ยว



เทอม: Aftertaste รสหวาน



ภาคผนวก ข-2

ตัวอย่างแบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ชาเขียว

ชื่อ _____

วันที่ _____

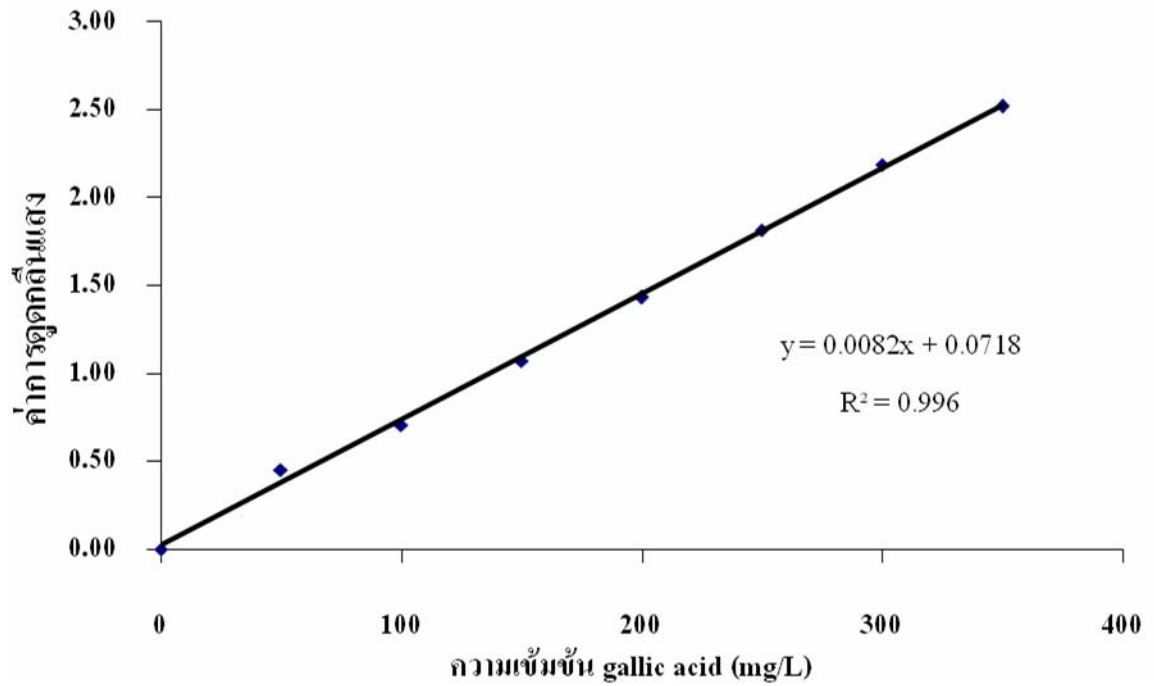
คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างให้ตรงตามรหัส แล้วระบุความชอบด้านในแต่ละคุณลักษณะ โดยเขียน หมายเลขที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน ดังนี้

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| 1= ไม่ชอบมากที่สุด | 6= ชอบเล็กน้อย |
| 2= ไม่ชอบมาก | 7= ชอบปานกลาง |
| 3= ไม่ชอบปานกลาง | 8= ชอบมาก |
| 4= ไม่ชอบเล็กน้อย | 9= ชอบมากที่สุด |
| 5= เฉยๆ (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) | |

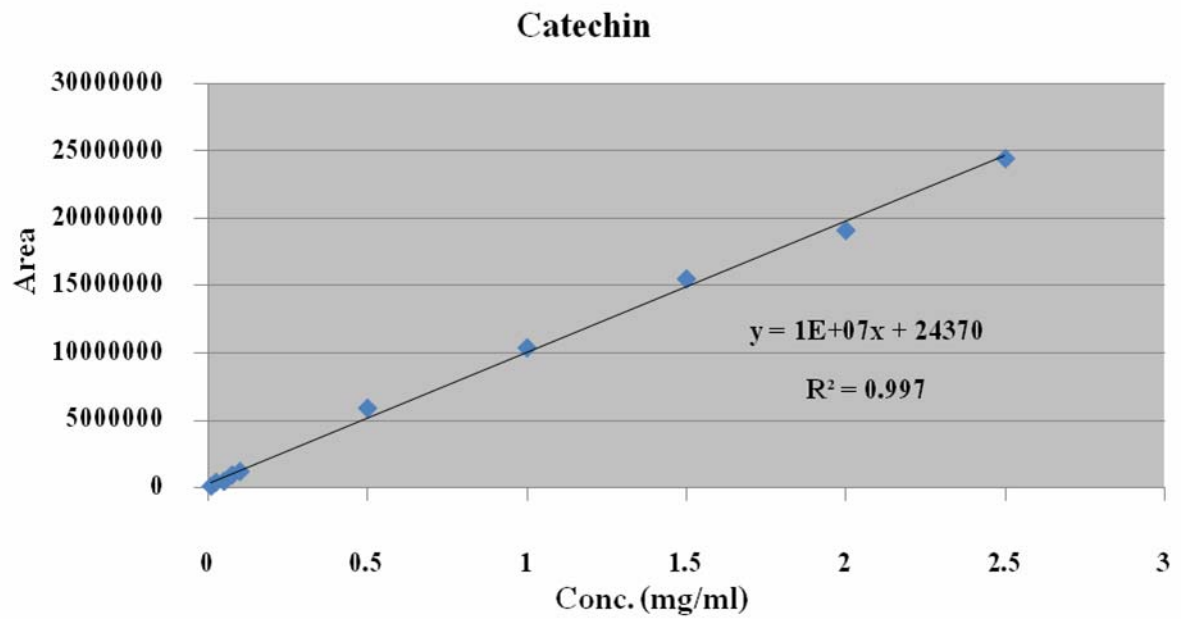
595

คุณลักษณะ	คะแนน
สี	
กลิ่นชา	
กลิ่นรสชา	
รสขม	
ความฝาดเค็ม	
ความรู้สึกหลังกลืน: รสขม	
ความรู้สึกหลังกลืน: ความฝาดเค็ม	
ความชอบโดยรวม	

ภาคผนวก ค
กราฟมาตรฐาน

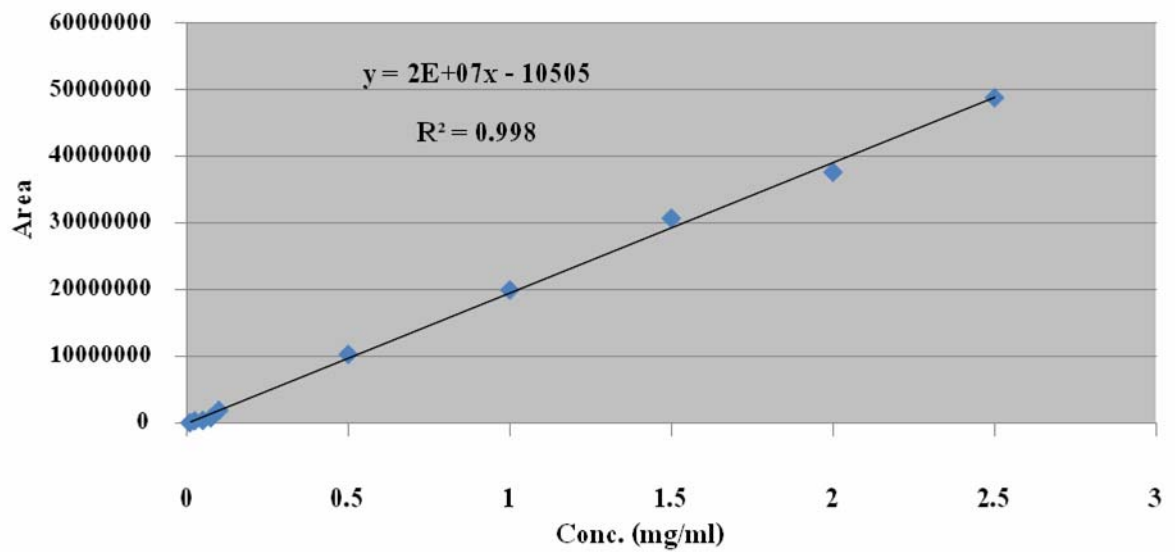


รูป ค-1 กราฟมาตรฐาน Gallic acid วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 775 นาโนเมตร



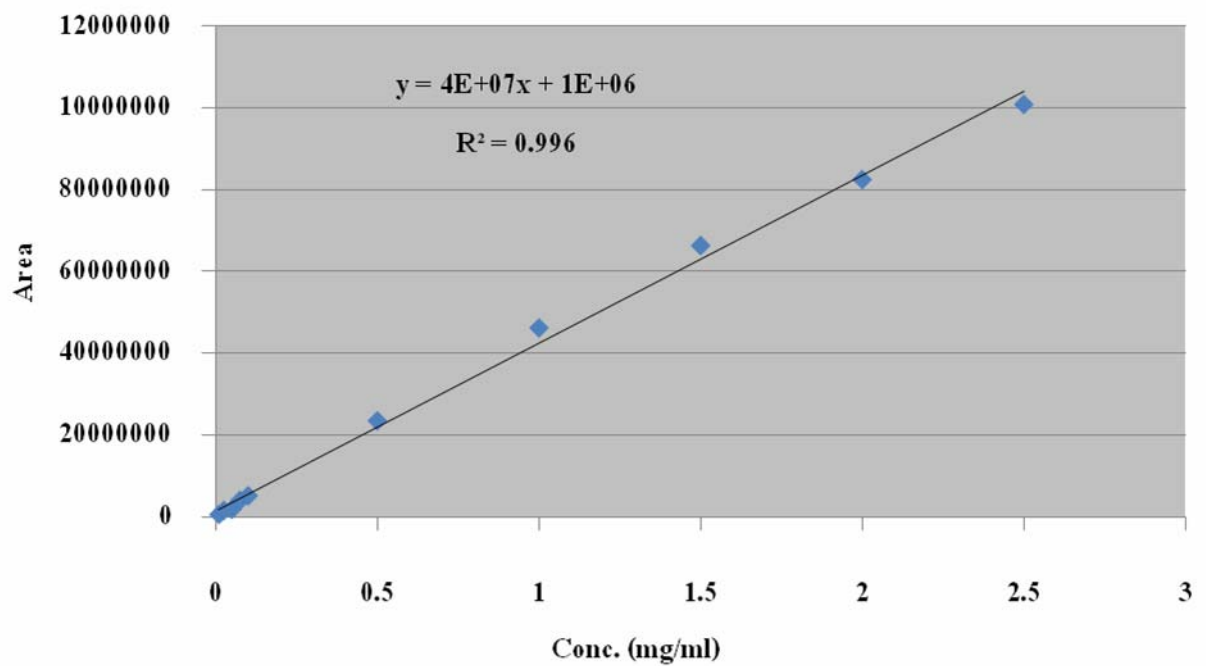
รูป ค-2 กราฟความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟกับปริมาณความเข้มข้นของสารมาตรฐาน catechin จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

EGCG

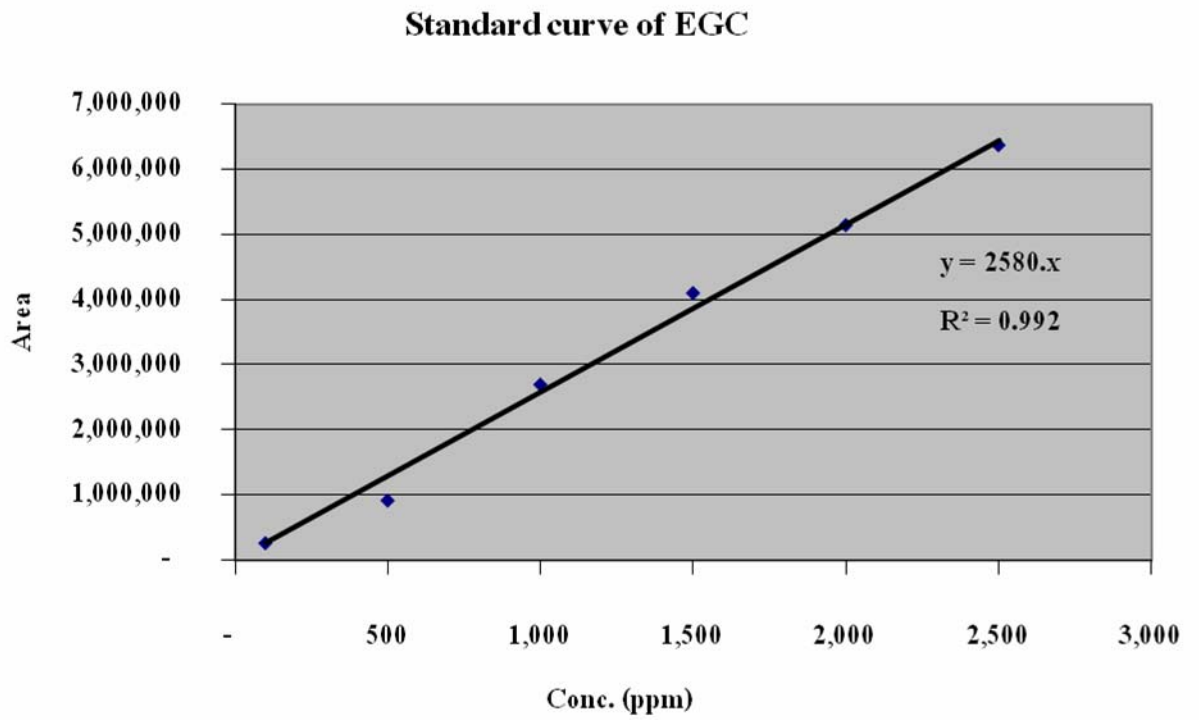


รูป ค-3 กราฟความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟกับปริมาณความเข้มข้นของสารมาตรฐาน EGCG จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

ECG



รูป ค-4 กราฟความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟกับปริมาณความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ECG จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC



รูป ค-5 กราฟความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟกับปริมาณความเข้มข้นของสารมาตรฐาน EGC จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC