บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีของสมุนไพรสด

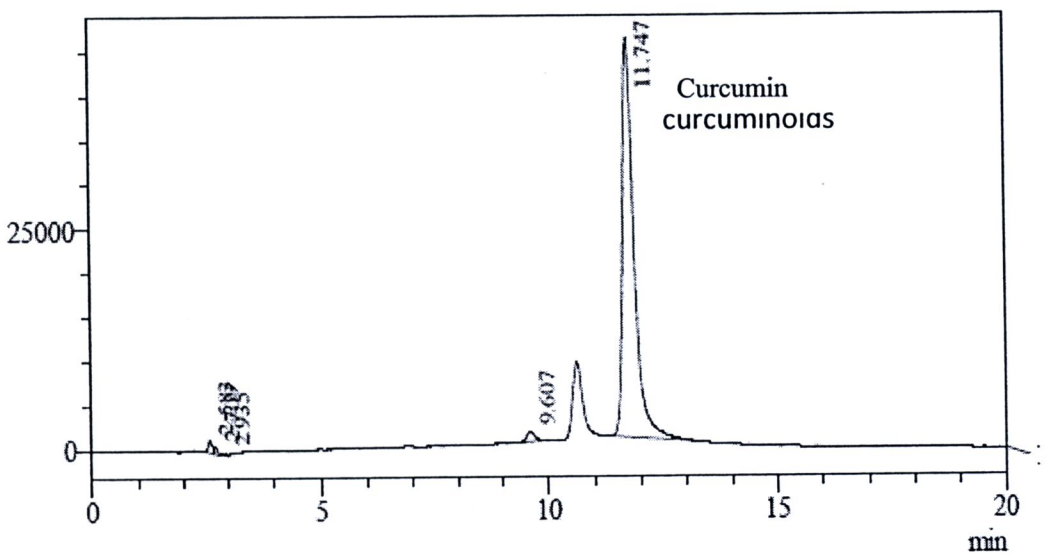
จากการวิเคราะห์คุณภาพของขมิ้นชันสด จากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (ตารางที่ 4.1) พบว่าขมิ้นชันสดมีความชื้นสูงคือร้อยละ 91.52 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเง้าขิง (ขิงอ่อนมีความชื้นอยู่ ร้อยละ 94 และขิงแก่ ร้อยละ 90) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber)โดยขิงอ่อนมค่าเส้นไยอยู่ที่ประมาณ 10.6 % ขงแก่อยู่ที่ประมาณ 11.2 % ของน้ำหนักแห้ง (May และคณะ, 1999)ปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขิ้นชัน มีค่าเทียบเท่ากับเหง้าขิงซึ่งอยู่ที่ประมาณร้อยละ7 (May และคณะ, 1999; Phoungchandang และคณะ 2009) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ซึ่งเป็นการวัดค่า การดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 ของ $DPPH^{\bullet}$ จะหลังจากการทำปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species ($R^{\bullet}$) ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงก็จะลด (Abdel-Hameed, 2009; Moon และ Shibamoto, 2009) การรายงานผลของความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นดังกล่าวสามารถรายงานผลด้วยเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $DPPH^{\bullet}$ เหลืออยู่ 50% ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Remaining $DPPH^{\bullet}$ กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า EC_{50} (Satyanarayana และ Eswaraiah, 2010) ค่า EC_{50} ของตัวอย่างขมิ้นชันได้ 57.19 ± 3.21 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งต่ำกว่าค่า EC_{50} ที่ได้จากขิง (ประมาณ 64 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Puengphian & Sirichote, 2008) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขมิ้นชันสดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin – Ciocalteu method พบว่าขมิ้นชันมีสารฟีนอลิกทั้งหมด 59.62 มิลลิกรัม GAE ต่อน้ำหนักขมิ้นชันแห้ง 1 กรัม ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณฟีนอลทั้งหมดในขิงผงแห้งซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพียง 60 มิลิกรัม GAE ต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (Puengphian & Sirichote, 2008) สารฟีนอลิกส่วนใหญ่เป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ และการใช้สารประกอบฟีนอลในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว (Moon และ Shibamoto, 2009)

ตาราง 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันสด จากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	98.52 ± 0.65
เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	6.96 ± 0.06
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50} (mg/L)	57.19 ± 3.21
สารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	59.62 ± 6.96
ปริมาณสาร Curcumin (g /100 g dry basis)	19.39 ± 3.38

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ปริมาณสาร Curcumin ซึ่งเป็นสารสำคัญที่พบในขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็งได้ดี ค่าดังกล่าวสมารถวิเคราห์ได้ด้วยเครื่อง HPLC (Wilken, และคณะ 2011) รูปที่ 1 แสดงโครมาโทแกรมสารมาตรฐาน Curcumin ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ผลจากการวิเคราะห์จะเห็นว่า peak ของ Curcumin มี retention time ประมาณ 11.47 นาที และ วิธีที่ใช้วิเคราะห์มีประสิทธิ์ภาพเพราะสามารถแยกสารดังกล่าวได้ดี จากการทดลองพบว่า ค่า Curcumin ในขมิ้นชันที่ทำการทดลองนั้นมีค่าสูงคิดเป็นร้อยละ 9.39 ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่า Curcumin ในขมิ้นชันผงในงานทดลองอื่น (Sikkhamondhol, และคณะ 2009)



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมสารมาตรฐาน Curcumin ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

4.2 ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (water activity; aw) **และค่าสีของขมิ้นชัน หลังอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ**

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ ผลจากการทดลองพบว่าขมิ้นชันในสิ่งทดลองที่ 3 6 และ 9 มีค่า a_w อยู่ในระดับต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 0.20 0.28 และ 0.19 ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า a_w ที่ต่ำกว่า 0.6 แสดงว่าอาหารมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และกิจกรรมทางชีวะเคมี เช่นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นต้น (Perera, 2005) ทั้งนี้ค่า a_w ที่ต่ำยังแสดงถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ยาวนานด้วย ในส่วนของค่าสี L หมายถึงค่าความสว่างโดย ค่า L มากหมายถึงมีความสว่างมาก ค่า a* หมายถึงค่าความเข้มของสีแดง และสีเขียว โดย a*บวกคือสีแดง และ a* ลบคือสีเขียว ในส่วนของค่า b* คือค่าความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย b*บวกคือสีเหลือง และ b*ลบคือสีน้ำเงิน ค่าความสว่างยังใช้เป็นตัวบงชี้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ (Oms-Oliu, และคณะ 2006)

ผลจากตารางที่ 4.2 แสดงว่าระยะเวลาที่ใช้อบแห้งมีผลต่อค่าความสว่าง (L) ของขมิ้นชัน เพราะสิ่งทดลองที่ 3 6 และ 9 ซึ่งอบแห้งนาน 30 นาที มีค่า L มากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 4 และ 7 ที่อบแห้งนาน 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบโดยไมโครเวฟมีผลต่อการคล้ำของขมิ้นชันอบแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (4000 w) เป็นระยะเวลานาน (30 นาที) สามารถรักษาสีไม่ให้เกิดการคล้ำเสียได้ดีกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวในระยะเวลาเพียง 10 นาที ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล โพลีฟีนอลอ๊อกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) และ เพอร์อ๊อกซิเดส (Peroxidase; POD) ซึ่งทำงานได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหยุดการทำงานที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส (Prathapan, และคณะ 2009; Sommano, และคณะ, 2011) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่าง ในค่าสี a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าสี a* ของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 18.6 – 23.2 และ ค่าสี b* ของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 23.5 – 37.5 ซึ่งแปลว่าขมิ้นชันหลังอบแห้งทุกสิ่งทดลองมีสีส้มแดง

ตาราง 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
		L	a* (ns)	b* (ns)
1	0.99 ± 0.00^{a}	44.94 ± 3.11^{b}	19.66 ± 3.11	26.02 ± 5.78
2	0.97 ± 0.01^{a}	45.12 ± 1.15^{b}	18.68 ± 3.32	23.54 ± 2.96
3	0.20 ± 0.06^{b}	56.16 ± 4.22^{a}	22.31 ± 1.74	36.68 ± 6.67
4	0.98 ± 0.07^{a}	47.96 ± 2.36^{ab}	19.08 ± 3.18	30.59 ± 4.94
5	0.96 ± 0.02^{a}	45.63 ± 3.63^{b}	23.27 ± 2.96	25.02 ± 3.60
6	0.28 ± 0.13^{b}	56.48 ± 3.67^{a}	19.53 ± 1.66	37.53 ± 6.79
7	0.99 ± 0.00^{a}	46.13 ± 2.60^{b}	19.33 ± 1.03	28.56 ± 3.63
8	0.95 ± 0.02^{a}	48.69 ± 3.68^{ab}	22.58 ± 3.12	24.02 ± 6.07
9	0.19 ± 0.05^{b}	56.04 ± 2.57^{a}	20.74 ± 2.79	33.55 ± 6.90

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

การให้ความร้อนมีผลต่อความคงทนของ ส่วนประกอบของอาหารที่มีประโยชน์ต่อระบบชีวะวิทยา (bioactive compounds) อันได้แก่ วิตามิน และ สารที่มีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ (Sommano และคณะ 2011) ตัวอย่างเช่นการให้ความร้อน แก่ Irish brown seaweeds ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อให้อุณภูมิสูงกว่าจุดนี้ ปริมาณสารดังกล่าวจะลดลง :ซึ่งแปรผกผันกับค่า EC50 ที่จะลดลงต่ำที่สุดที่อุณภูมิดังกล่าว และมีค่าสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (Rajauria และคณะ 2010) ในขณะที่การให้ความร้อนมีผลทำให้ปริมาณ ฟีนอลลิกในขมิ้นอบแห้งลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้

สาร curcumin ในขมิ้นชันจัดเป็นสารที่อาจจะสลายได้โดยความร้อนโดยจากการศึกษาถึงผลกระทบของความร้อนต่อ ปริมาณ curcumin พบว่าการให้ความร้อน ด้วยการต้ม หรือการให้ความร้อนพร้อมกับ แรงดัน (pressure cooking) ในระยะเวลา 10 – 20 นาที สามารถทำให้ ปริมาณสารดังกล่าวลดลงถึง 20 - 50% (Suresh และคณะ 2007). ในอีกการทดลองหนึ่งพบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อปริมาณของ สาร curcumin ดังนั้นปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อปริมาณของ สาร curcumin (และคุณภาพอื่น ๆ) อาจจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ต่อ ขมิ้นก่อนท่จะมีการให้ความร้อน เช่นการปอก การฝาน การทำให้เป็นผง เป็นต้น (Bambirra และคณะ 2002)

การอบแห้งด้วยวิธีการ Microwace vacuum drying เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการอบแห้งอาหารเพื่อให้ อาหารยังคงรักษาระดับ สารที่มีประโยชน์ โดยการอบแห้งด้วยวิธีดังกล่าว อาหาร จะได้รับความร้อนโดยตลอดซึ่งทำให้อัตราการส่งถ่ายความร้อนที่เร็วขึ้น ในระยะเวลาที่ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยวิธีการธรรมดาที่มีการ ส่งถ่ายความร้อนจากผิวนอก สู่ผิวในอย่างช้า ๆ (Gowen และคณะ 2006) ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ผลจากการทดลองพบว่า ค่า EC_{50} ของตัวอย่างขมิ้นชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่อบนานขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า ขมิ้นชันในสิ่งทดลองที่ 3 มีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยสภาวะที่ใช้อบคือที่กำลังไฟฟ้า 2,400 วัตต์เป็นเวลา 30 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณสาร curcumin ในทุกตัวอย่างทดลองทดลองพบว่า ขมิ้นชันอบแห้งในสิ่งทดลองที่ 9 มีปริมาณสารดังกล่าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือมีประมาณร้อยละ 19.04 เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของขมิ้นชันทุกสิ่งทดลองพบว่า ขมิ้นชันสิ่งทดลองที่ 9 มีความชื้นต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นในขมิ้นชันมีผลต่อปริมาณสาร curcumin โดยขมิ้นชันที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะมีสาร curcumin สูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆเกือบ 2 เท่า

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถ

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) จากสมการถดถอยทั้ง 9 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และ curcumin ตารางที่ 4.5 และความสัมพันธ์ในรูปแบบ response surface ได้ถูกแสดงใน รูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ผลการทดลองดังกล่าวอธิบายได้ว่า ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ และ ปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อใช้กำลังไฟ และเวลาสูงสุด ถึง 30 นาที ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด และ curcumin มีแนวโน้มที่คล้าย ๆ กัน กล่าวคือ จะมีค่าลดลงเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าที่ต่ำ ในเวลาที่สั้น ดังนั้นจากผลการทดลองเหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าการอบขมิ้นชันครั้งละ 1 กิโลกรัมด้วยเครื่องไมโครเวฟสูญญากาศ กำลังไฟฟ้า 4000 วัตต์ในระยะเวลา 30 นาทีจะทำให้ รักษาระดับ ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และระดับสารที่มีฤทธิ์ต่อตารอนุมูลอิสระ (ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และ Curcumin) เมื่อนำข้อมูลนี้ ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (Design expert ver6) จะได้ช่วงอุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้าที่แนะนำ (Optimized condition) ที่ กำลังไฟฟ้าระหว่าง 3500-4000 วัตต์ และ ใช้เวลาในการอบระหว่าง 27-30 นาที ดังที่แสดงในรูป 4.5 ส่วนรูปที่ 4.6 เป็นend product หรือ ขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 4000 วัตถ์ นาน 30 นาที จากภาพจเห็นว่าขมิ้นชันที่ได้มีคุณภาพดีเพราะมีสีส้มสว่างซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

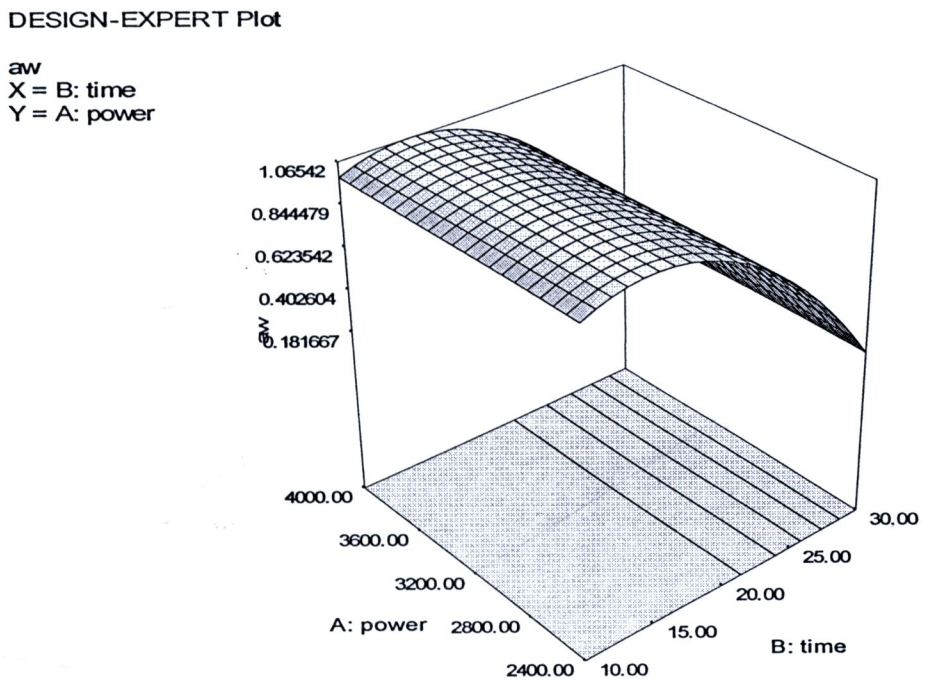
ตาราง 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

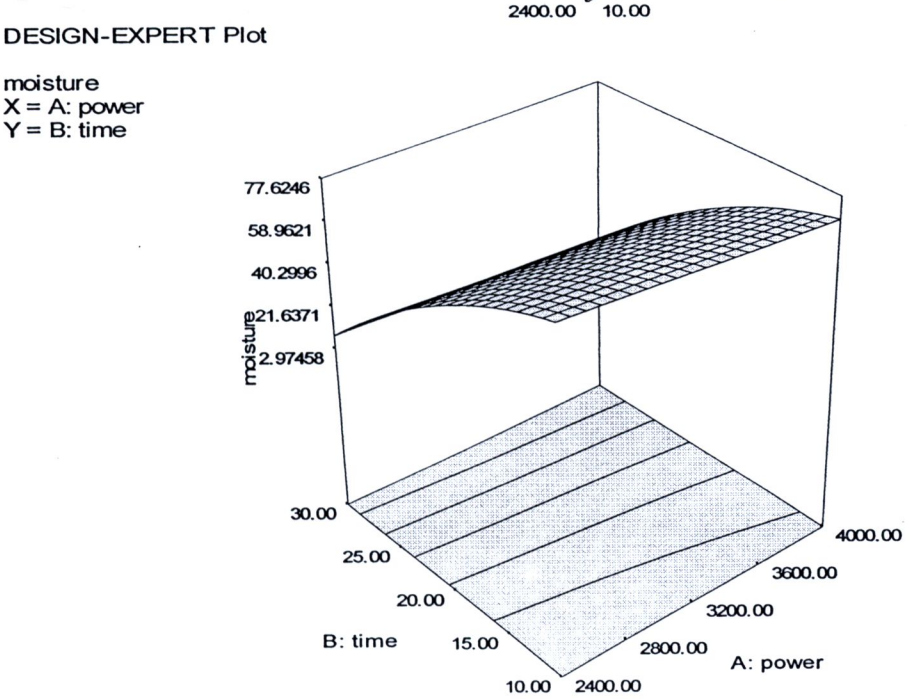
หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} (mg/L)	ปริมาณสารฟีนอลลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	ปริมาณสาร Curcumin (g /100 g dry basis)	ความชื้น (%)
1	59.562±6.964 ^{a}	54.949±19.173 ^{b}	10.083±0.373 ^{b}	74.180 ± 0.78 ^{a}
2	23.791±2.363 ^{c}	38.139±1.506 ^{b}	4.323±0.687 ^{b}	56.939 ± 1.456 ^{c}
3	46.762±3.097 ^{abc}	113.10±17.679 ^{a}	10.342±6.944 ^{b}	6.592 ± 0.236 ^{f}
4	57.580±12.336 ^{a}	46.331±15.311 ^{b}	6.924±0.577 ^{b}	76.240 ± 0.842 ^{a}
5	37.099±14.536 ^{abc}	34.294±6.911 ^{b}	4.188±0.085 ^{b}	50.077 ± 0.217 ^{d}
6	24.123±5.947 ^{c}	47.440 ±8.772 ^{b}	8.366±1.757 ^{b}	6.852 ± 0.431 ^{f}
7	52.982±12.185 ^{ab}	49.189±18.606 ^{b}	8.682±2.202 ^{b}	68.220 ± 0.309 ^{b}
8	23.411±13.614 ^{c}	24.620±13.013 ^{b}	5.181±3.794 ^{b}	41.530 ± 0.196 ^{e}
9	32.941±6.183 ^{bc}	48.676 ±8.842 ^{b}	19.042±0.379 ^{a}	4.590 ± 0.178 ^{g}

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

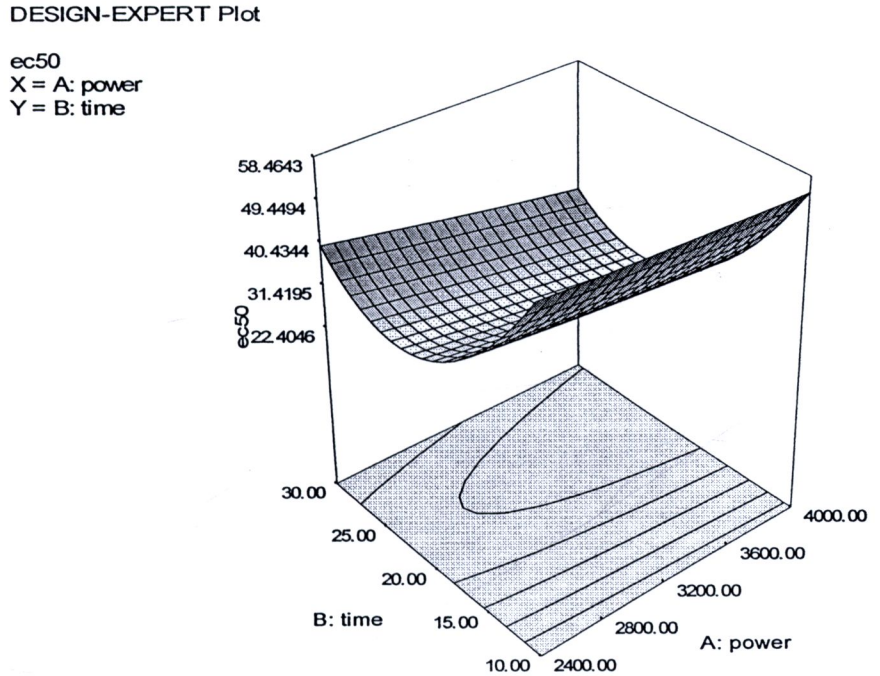
ตาราง 4.4 Regression models ของการทดลองขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

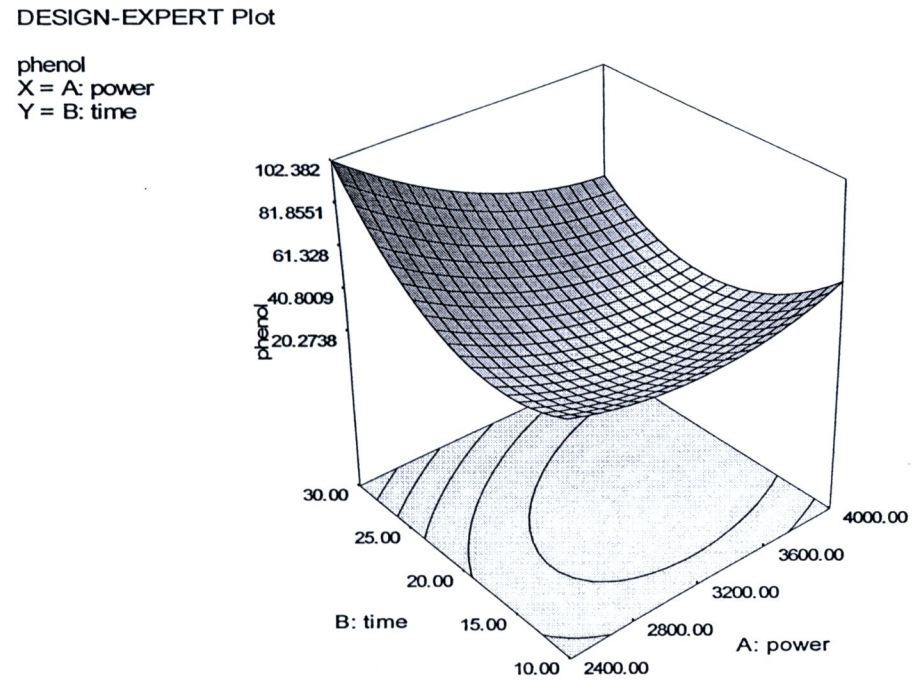
คุณภาพ	สมการ	p-value	R^2
ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	$Y = 0.277 + 0.108\ X_2 - 3.717E-003\ X_2^2$	< 0.0001	0.9961
ความชื้น (%)	$Y = 100.065 - 7.201E-003X_1 + 0.175X_2 - 0.098\ X_2^2 + 1.183E-004\ X_1\ X_2$	< 0.0001	0.9923
ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}	$Y = +119.806 + 1.957E-004\ X_1 - 7.404\ X_2 + 0.176\ X_2^2 - 2.263E-004\ X_1\ X_2$	0.0047	0.6606
ปริมาณสารฟีนอลลิกทั้งหมด	$Y = +247.010 - 0.101\ X_1 - 4.193\ X_2 + 1.889E-005\ X_1^2 + 0.276\ X_2^2 - 1.833E-003X_1\ X_2$	0.0005	0.8116
ปริมาณสารเคอคิวมิน (curcumin)	$Y = 87.128 - 0.036\ X_1 - 3.213\ X_2 + 4\ 869E-006\ X_1^2 + 0.060\ X_2^2 + 3.156E-004\ X_1X_2$	0.0023	0.7534



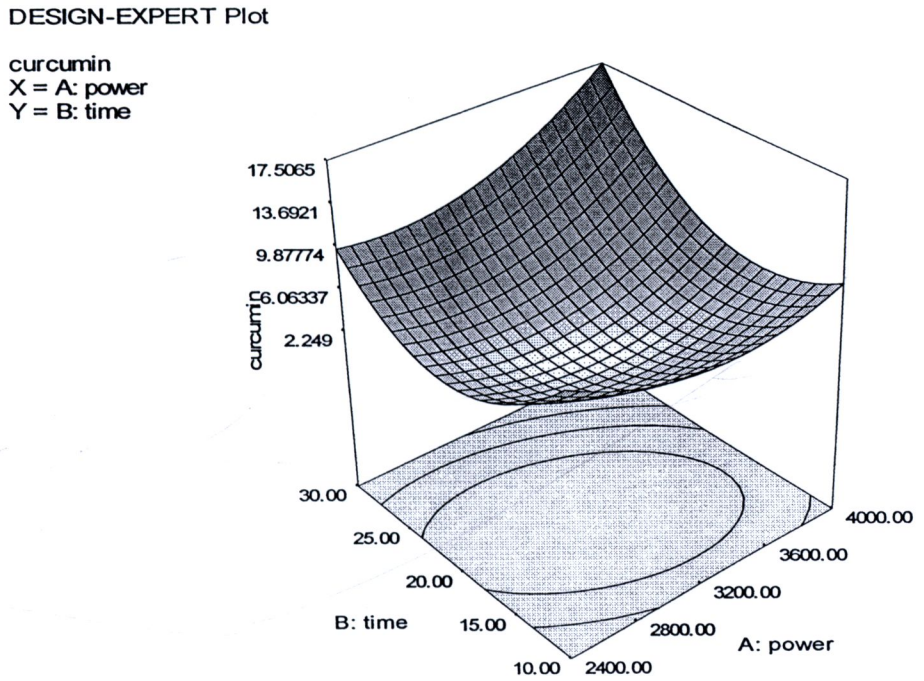


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่าวอร์เตอร์แอ๊คติวิตี้ (a_w) และ ความชื้น (%)

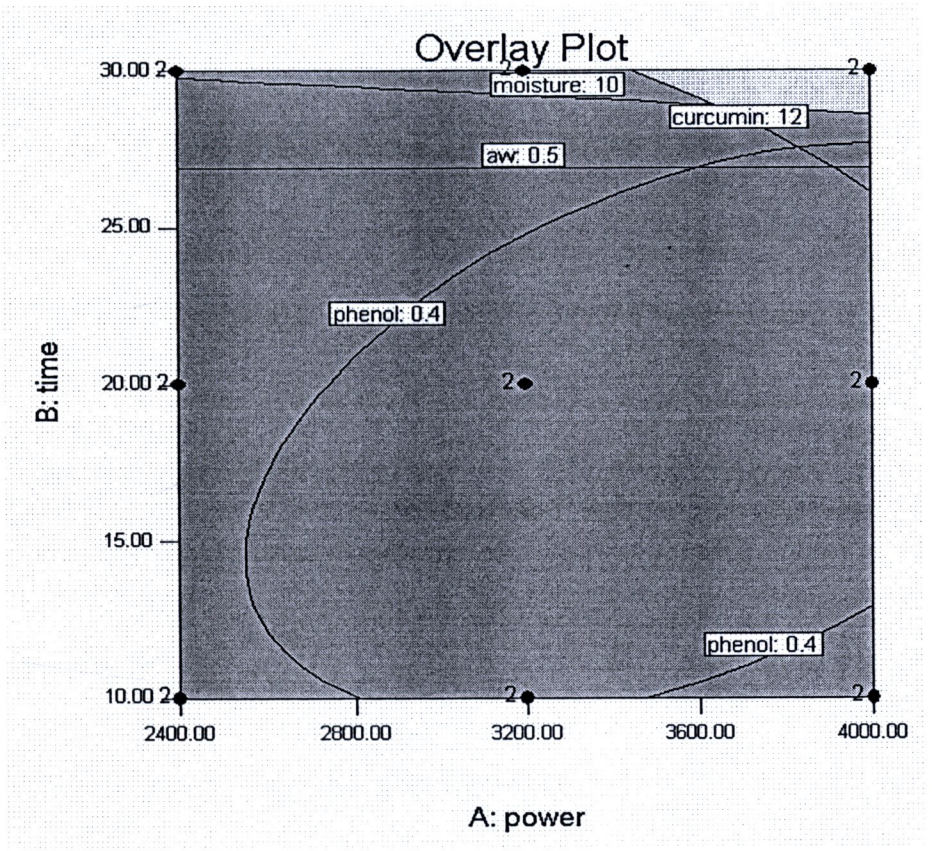




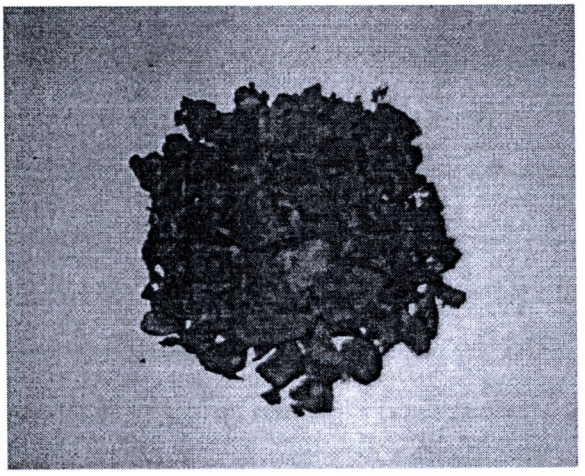
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่าปริมาณสาร Curcumin



รูปที่ 4.5 Optimization point ของการอบขมิ้นชันด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ



รูปที่ 4.6 ขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

4.4 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของชาสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของใบชาจีนสด จากไร่โครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จ. เชียงใหม่ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2553 โดยการสุ่ม 3 ซ้ำ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.5

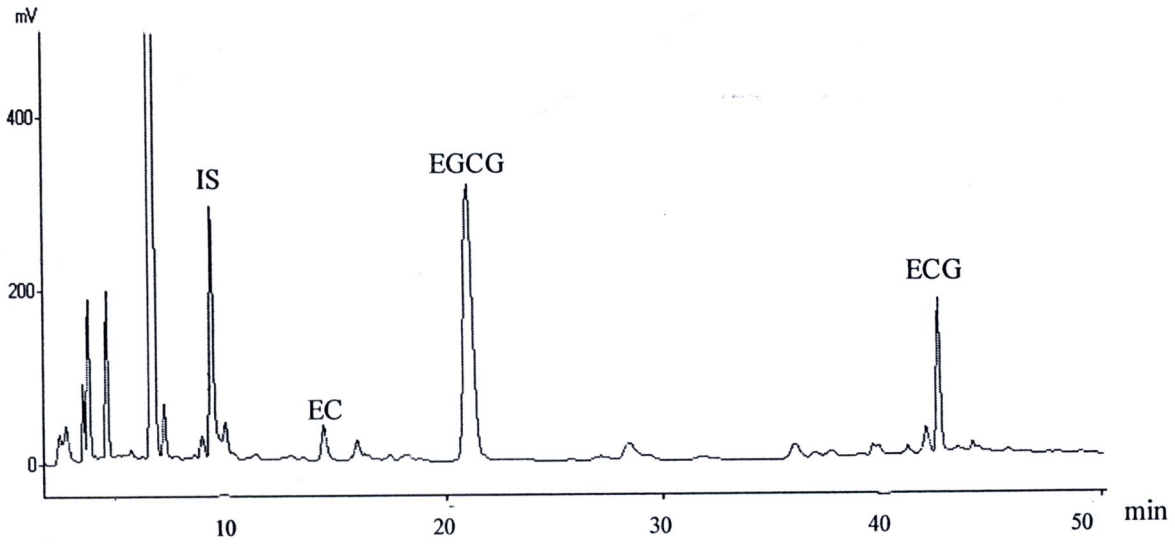
ตาราง 4.5 คุณสมบัติทางเคมีของใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	78.67 ± 0.20
เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	1.73 ± 0.17
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50} (mg/L)	0.83 ± 0.11
ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด(mg GAE/ g dry basis)	82.312 ± 8.915
ปริมาณสาร Epicatechin (EC) (mg /g dry basis)	16.321 ± 0.542
ปริมาณสาร Epigallocatechin gallate (EGCG)(mg /g dry basis)	17.561 ± 0.486
ปริมาณสาร Epictechin gallate (ECG)(mg /g dry basis)	0.825 ± 0.210

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลจากตารางที่ 4.5 แสดงว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จังหวัดเชียงใหม่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 78.67 ± 0.20) และมีเถ้าร้อยละ 1.73 ± 0.17 ซึ่งเถ้าในใบชาจะประกอบไปด้วยธาตุ โปแตสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก แมกกานีส ซัลเฟอร์ อลูมิเนียม โซเดียม ซิลิคอน สังกะสี และ ทองแดง (ปรียนันท์, 2549) ในส่วนของค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) หรือ EC_{50} พบว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง มีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับใบชาสดจากแหล่งเพาะปลูกอื่นในประเทศไทยดังแสดงในงานวิจัยของ Pongtip aและ Wandee (2005) ที่พบว่าชาที่ปลูกจากแหล่งอื่นๆ ของประเทศไทยมีค่า EC_{50} เฉลี่ยเท่ากับ 78.12 ± 52.15 mg/L ซึ่งแปลว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงมาก ตารางที่ 4.6 ยังแสดงปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) จากการทดลองพบว่าใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวางมีปริมาณสารดังกล่าวใกล้เคียงกับใบชาชุนมี(Chun-me)จากประเทศจีน (87.0 ± 2.2) ที่แสดงในงานวิจัยของ Khokhar และ Magnusdottir (2002) แต่มากกว่าที่แสดงในงานวิจัยของ Gulati และคณะ (2003) และ Claudia และ คณะ(2008) ประมาณ2-3 เท่า ซึ่งแปลว่าคือใบชาจีนสดที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพที่ดี เมื่อพิจารณาปริมาณสาร Tea Polyphones ซึ่งได้แก่ (-)- epigallocatechin gallte (EGCG), Epicatechin (EC) และ Epictechin gallate (ECG)

ในใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง พบว่ามีสาร Tea Polyphones ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Yung-Sheng Lin และ คณะ (2003)ที่ศึกษาปริมาณสาร Tea Polyphones ในชาเขียวในประเทศไต้หวัน 28 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของสาร Tea Polyphones ใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง พบว่ามีปริมาณสาร EGCG สูงที่สุด ตามด้วย ECG และ EC ตามลำดับ ซึ่งสาร EGCG นี้เป็นสารหลักในใบชาที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ในการต้านโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ และ โรคเบาหวาน



รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมสารสำคัญของใบชาจีนสดและ Internal standard (4-amino salicylic acid) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

จากรูปที่ 4.7 แสดงโครมาโทแกรมและ Retention times ของ Internal standard (4-amino salicylic acid) Epicatechin (EC), Epigallocatechin gallate (EGCG) และ Epictechin gallate (ECG) ที่ 9.8, 15.2, 22.5 และ 43.2 นาที ตามลำดับ

4.5 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

ตาราง 4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ความชื้น (%)	ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
			L	a*	b*
1	32.880 ± 1.400^{a}	0.79 ± 0.27^{a}	44.03 ± 3.69^{b}	-3.00 ± 1.01^{a}	10.83 ± 2.58^{b}
2	6.863 ± 1.849^{b}	0.42 ± 0.19^{bc}	53.94 ± 1.04^{a}	-6.09 ± 0.12^{b}	17.64 ± 0.65^{a}
3	5.482 ± 1.208^{b}	0.36 ± 0.15^{bc}	53.44 ± 1.29^{a}	-5.95 ± 0.35^{b}	17.80 ± 0.97^{a}
4	9.706 ± 2.675^{b}	0.56 ± 0.25^{ab}	50.49 ± 1.09^{a}	-5.14 ± 0.26^{b}	16.85 ± 0.80^{a}
5	3.244 ± 0.321^{b}	0.26 ± 0.02^{c}	53.32 ± 1.23^{a}	-5.70 ± 0.48^{b}	16.55 ± 0.80^{a}
6	3.523 ± 0.223^{b}	0.19 ± 0.04^{c}	53.00 ± 1.85^{a}	-5.93 ± 0.65^{b}	17.20 ± 0.32^{a}
7	4.324 ± 0.138^{b}	0.24 ± 0.05^{c}	50.33 ± 0.70^{a}	-5.83 ± 0.42^{b}	15.06 ± 0.64^{a}
8	3.599 ± 0.071^{b}	0.19 ± 0.01^{c}	50.64 ± 0.84^{a}	-5.99 ± 0.40^{b}	14.74 ± 0.57^{a}
9	3.148 ± 0.397^{b}	0.16 ± 0.02^{c}	50.67 ± 1.02^{a}	-6.26 ± 0.30^{b}	14.82 ± 0.54^{a}

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ(a_w) และ ค่าสี L a* b* ของชาเขียวอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศทั้ง 9 หน่วยทดลอง จากการศึกษาพบว่าชาเขียวมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว คือที่ 3200 วัตถ์ ความชื้นของชาเขียวลดลงจากร้อยละ 78 เป็น ร้อยละ 32 ในเวลา 20 นาที และ ลดลงจากร้อยละ 32 เป็น ร้อยละ 5 ใน 5 นาทีต่อมา แต่ที่ 3500 วัตถ์ความชื้นจะลดลงจากร้อยละ 78 เป็นร้อยละ 9 ใน 20 นาที และที่ 4500 วัตถ์ ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วที่สุดคือจากร้อยละ 78 เป็นร้อยละ 3 ใน 20 นาที ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Xiangyang และ คณะ (2010) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการอบชาเขียวด้วย 4 วิธีคือ อบด้วยเตาอบลมร้อนธรรมดา อบด้วยเตาอบลมร้อยสุญญากาศ อบด้วยเตาอบไมโครเวฟ และ อบด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศ จากการศึกษาพบว่า การอบชาด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศ จะใช้เวลาน้อยกว่าการอบด้วยเตาอบลมร้อนธรรมดา 20 เท่า และ คุณภาพของชาที่อบด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศจะดีกว่าชาเขียวที่อบด้วยวิธีอื่นๆ ในส่วนของการศึกษาค่ากิจกรรมน้ำอิสระของชาเขียวพบว่า กำลังไฟและเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า a_w ของชาเขียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.5$) เมื่อ

พิจารณากำลังไฟที่ใช้ในการอบแห้งชาเขียวด้วยไมโครเวฟ ที่ 3200 วัตถ์ ต้องอบชาอย่างน้อย 25 นาที เพื่อให้ชามีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เพราะที่ระดับนี้จะป้องกันการเจริญของเชื้อจุลลินทรีย์และเชื้อรา แทบทุกชนิดซึ่งจะส่งผลให้ชาเก็บไว้ได้นาน ส่วนกำลังไฟ 3600 วัตถ์ต้องอบอย่างน้อย 20 นาที แต่ถ้าที่ 4000 วัตถ์อบนาน 20 นาทีก็จะทำให้ a_w ต่ำกว่า 0.6

นอกจากนั้นตารางที่ 4.6 ยังแสดงค่าสี L a* b* ของทั้ง 9 หน่วยทดลอง จากการทดลองพบว่าค่าสี L หรือค่าความสว่าง a* หรือค่าสีแดง เขียว และ b* หรือค่าสีเหลือง น้ำเงิน ของชาเขียวอบแห้งหน่วยทดลองที่ 2 ถึง หน่วยทดลองที่ 8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีเพียงชาเขียวอบแห้งของหน่วยทดลองที่ 1 ที่มีค่า L a*และ b* ต่ำกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความสว่างต่ำลงนี้น่าจะมาจากชาเขียวอบแห้งจากหน่วยที่ 1 มีความชื้นสูงกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ ความชื้นในใบชานี้จะกระตุ้นให้เกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO)ได้ เร็วขึ้น (Gulati และคณะ., 2003) จึงส่งผลให้ชาในหน่วยทดลองที่ 1 นี้มีสีที่คล้ำกว่าชาในหน่วยทดลองอื่น ๆ

4.6 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณสาร Tea Polyphenols ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศทั้ง 9 สิ่งทดลอง ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า พลังงาน (3200 3500 และ 4000 วัตถ์ของเครื่องอบไมโครเวฟ)และเวลาที่ใช้อบชา (20 25 และ30 นาที) ไม่มีผลต่อปริมาณสาร EC และ EGCG ในชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Gulati และคณะ., 2003) ที่ศึกษาการใช้พลังงานไมโครเวฟเพื่อเพิ่มคุณภาพของชาเขียว และ การวิจัยของ Xiangyang และ คณะ (2010) ที่ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการทำแห้งต่อคุณภาพชาเขียว ทั้งสองงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชา (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) ไม่มีโดยตรงต่อปริมาณสาร EC และ EGCG และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยเพิ่มคุณภาพของชาเขียว ในเรื่อง สี กลิ่น และ รสชาติ ได้ โดยชาเขียวที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟจะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่าชาเขียวที่อบแห้งด้วยวิธีดังเดิม อย่างไรก็ตามผลจาการทดลองในตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าพลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งชามีผลต่อปริมาณสาร ECG ในชาเขียวเล็กน้อย โดยระยะเวลาการอบที่นานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสาร ECG ลดลงเล็กน้อยในบางสิ่งทดลอง

ตาราง 4.7 ปริมาณสาร Tea Polyohenols ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	EC (mg/g dry basis) ns*	EGCG (mg/g dry basis) ns*	ECG (mg/g dry basis)	Total catechins*
1	10.705 ± 5.350	13.043 ± 2.637	1.396 ± 0.136^{abc}	25.144
2	15.220 ± 0.890	17.410 ± 3.309	1.116 ± 0.394^{bcd}	33.746
3	16.525 ± 0.388	16.445 ± 4.179	1.029 ± 0.268^{bcd}	33.999
4	13.245 ± 1.463	15.960 ± 2.121	1.611 ± 0.239^{a}	30.816
5	12.620 ± 0.197	12.695 ± 1.619	0.950 ± 0.061^{cd}	26.265
6	17.170 ± 1.088	16.675 ± 2.001	1.423 ± 0.027^{abc}	35.268
7	12.880 ± 1.032	14.245 ± 0.134	1.224 ± 0.042^{abcd}	28.349
8	13.800 ± 1.810	16.895 ± 0.176	1.485 ± 0.001^{ab}	32.180
9	14.690 ± 2.771	11.415 ± 0.176	0.920 ± 0.138^{d}	27.025

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ ปริมาณ Total catechins ได้จากการคำนวณโดยรวมปริมาณEC, EGCG และ ECG เข้าด้วยกัน ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของชาเขียวที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า พลังงาน (3200 3500 และ 4000 วัตถ์ของตู้อบไมโครเวฟ)และเวลาในการอบชาเขียว (20 25 และ30 นาที) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในชาเขียว ($P>0.5$)

ตาราง 4.8 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของชาเขียวที่เครื่องแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50} (mg/L) ns*	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis) ns*
1	0.922 ± 0.058	74.39 ± 13.61
2	0.628 ± 0.141	62.97 ± 23.12
3	0.733 ± 0.330	72.67 ± 32.4
4	1.494 ± 1.070	70.15 ± 6.36
5	0.775 ± 0.097	61.64 ± 5.62
6	0.657 ± 0.024	57.51 ± 5.15
7	1.604 ± 1.064	100.48 ± 67.11
8	1.510 ± 0.398	62.35 ± 0.78
9	0.843 ± 0.030	76.36 ± 28.51

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□ 0.05)

4.7 การวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนอง (Response surface methodology) ของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษาเพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณชา

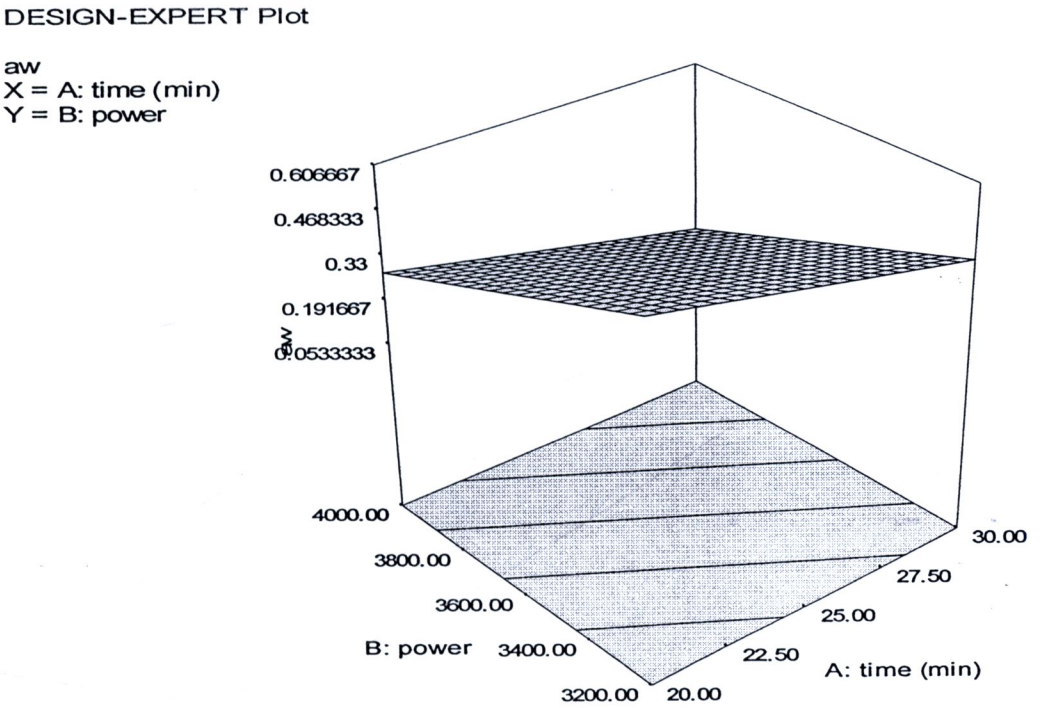
พลังงาน และเวลาที่ใช้ทำแห้งมีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงใน ตาราง ที่ 4.10

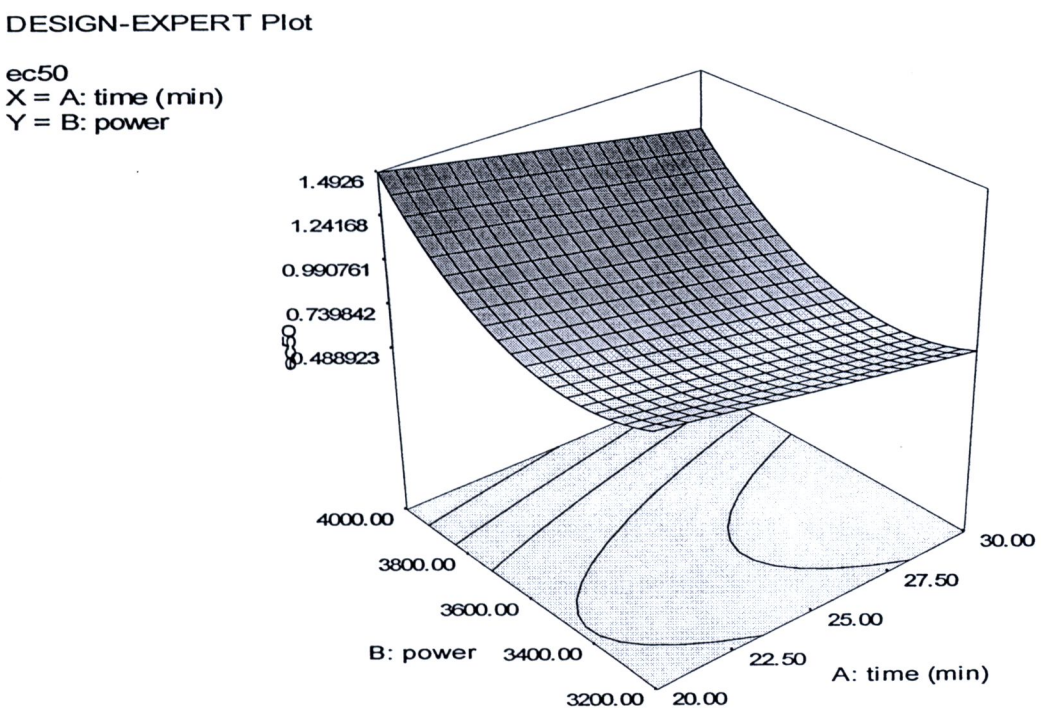
ตาราง 4.9 Regression models ของการทดลองชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	สมการ	p-value ($p \leq 0.05$)	R^2
ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	$Y = 0.236667 - 0.022667\ X_1 - 4.08333E-004\ X_2$	0.0101	0.783
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}	$Y = 24.92433 - 0.34387X_1 - 0.013668\ X_2 + 1.99542\ E\text{-}006\ X_2^2$	0.0365	0.7934
ปริมาณสารฟีนอลลิกทั้งหมด	$Y = 65.8369 - 0.79622 - 0.02730X_1 + 0.044513X_2^2 + 5.43643E\text{-}006\ X_2^2 - 4.47345E - 004\ X_1X_2$	0.056	0.9320

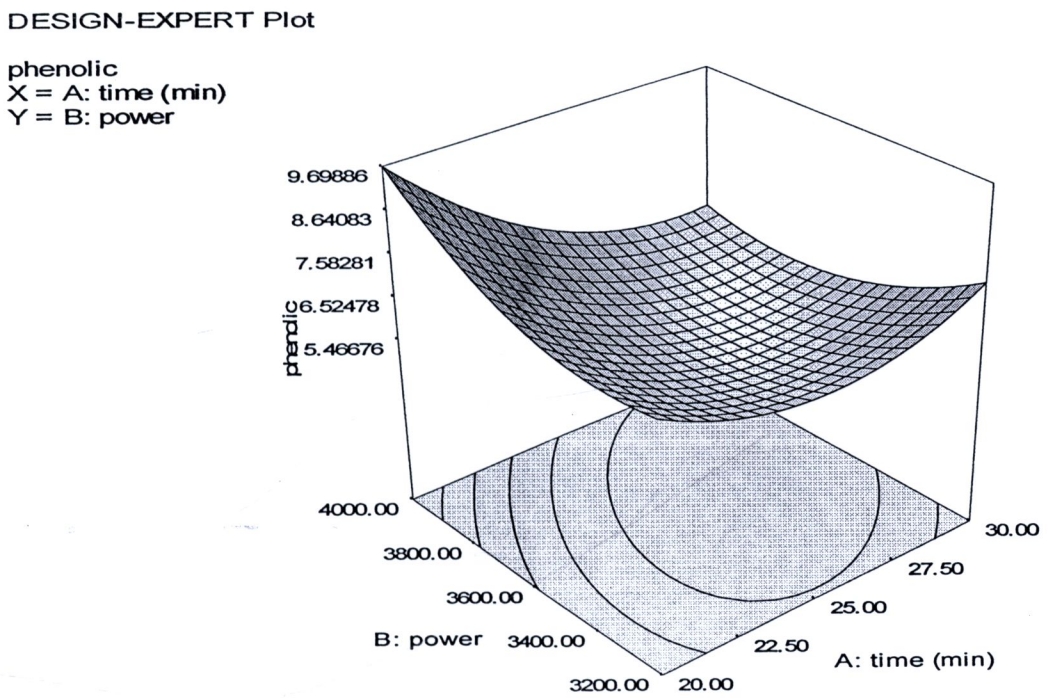
* X_1 = Power, X_2 = Time

จากสมการถดถอยทั้ง 10 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เขียว ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



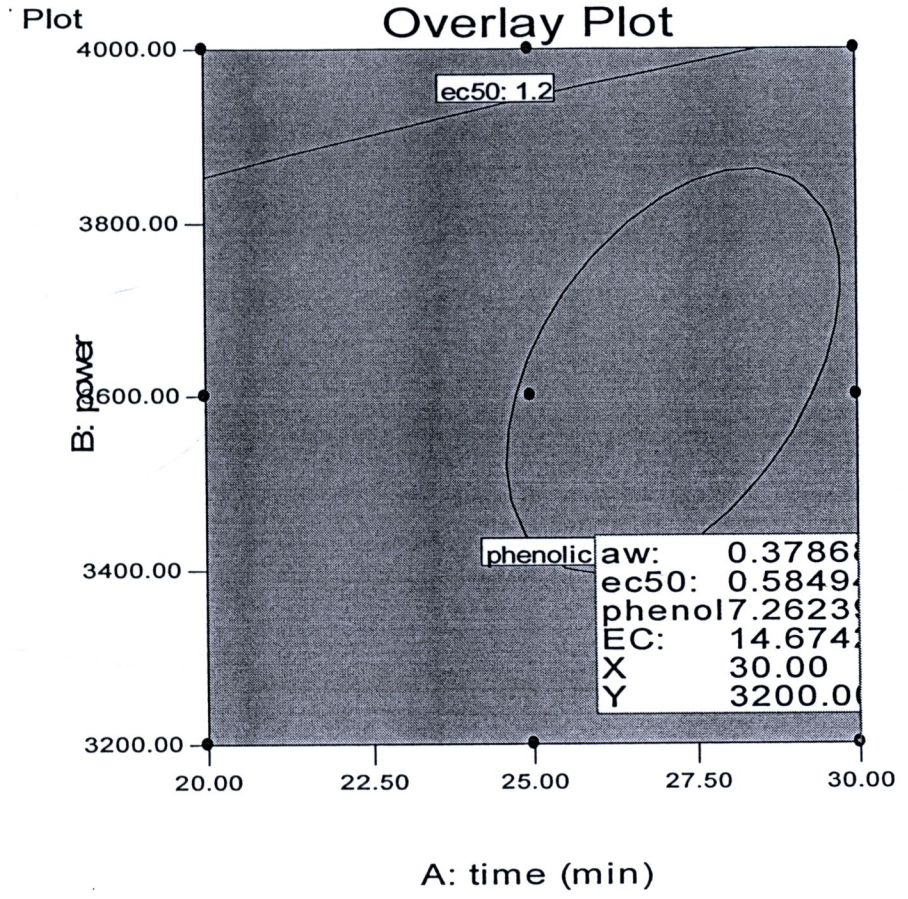


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่ากิจกรรมน้ำอิสระ a_w และ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}



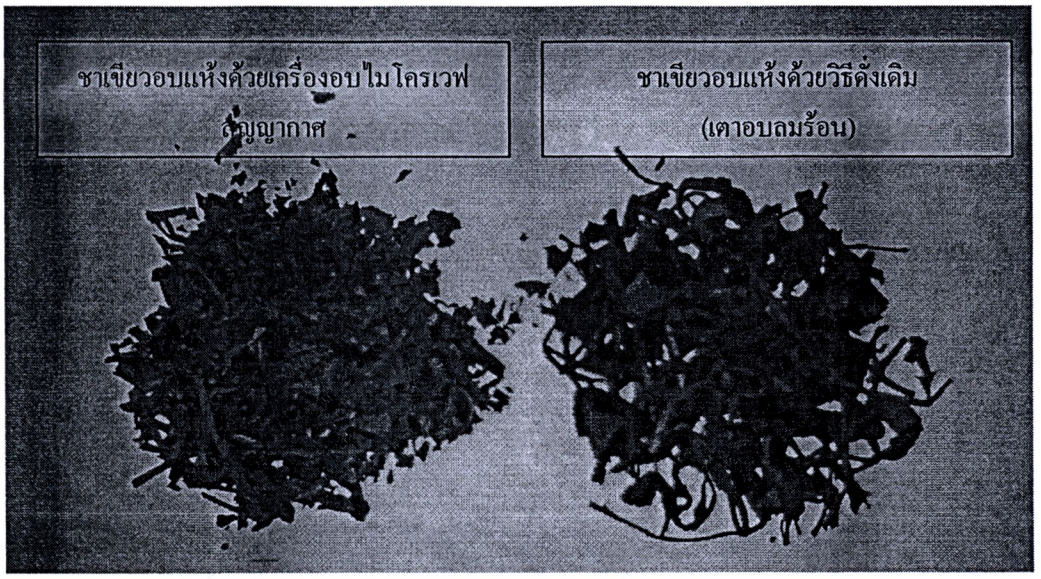
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า เมื่อใช้สภาวะในการผลิตชาเขียวที่พลังงานสูง และ ระยะเวลาที่นานจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีค่า a_w ที่ลดต่ำลง ซึ่งค่า a_w ที่ต่ำลงนี้มีผลทำให้ชาเขียวมีระยะเวลาการเก็บที่ยาวนานขึ้น ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานและเวลาการอบชาที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดการอบด้วยพลังงานสูงและระยะเวลาสั้น (พลังงาน 4000 วัตถ์ อบนาน 20 นาที) ทำให้ชาเขียวมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าอบชาเขียวด้วยพลังงานไมโครเวฟสูงเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดลดลงซึ่งสอดคล้องกับงาน Julkunen-Tiitto (1985) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจาก 48°C ถึง 60°C ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบหลิว (willow leaves) ลดลง นอกจากนี้ ดังนั้นการอบชาเขียวที่เหมาะสมคือการใช้พลังงานต่ำแต่อบเป็นเวลานาน เพื่อรักษาสารปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในชาเขียว



รูปที่ 4.10 Optimization point ของการอบชาเขียวด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.10 Optimization point ของการอบชาเขียว 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ คือ การอบที่พลังงานไมโครเวฟ 3200 วัตถ์ และ อบนาน 30 นาที ซึ่งการอบที่จุดนี้จะทำให้ชาเขียวมีค่า a_w เท่ากับ 0.3786 ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} เท่ากับ 0.5849 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 7.2623 รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพสีของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ และ ชาเขียวอบแห้งด้วยวิธีดั่งเดิมซื้อจากตลาดในตัวเมืองเชียงใหม่ ชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศมีคุณภาพสีที่ดีกว่า เพราะสีเขียวสดกว่าเป็นคุณสมบัติที่ผู้บริโภคต้องการ



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบคุณภาพสีของชาเขียวอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ และ ชาเขียวอบแห้งด้วยวิธีดั่งเดิม (เตาอบลมร้อน)

4.8 เปรียบเทียบคุณภาพคุณภาพขมิ้นชันอบแห้ง และ ชาเขียว ที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ กับขมิ้นชันสด และ ใบชาสด

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ curcucmin ของขมิ้นชันสด และขมิ้นชันอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสิ่งทดลองที่ดีที่สุด (ที่พลังงานไมโครเวฟ 4000 วัตถ์ และอบนาน 30 นาที) ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารดังกล่าวยังคงเหลือในขมิ้นชันอบแห้งมากว่า ร้อยละ 85

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ Tea polyphenols ของใบชาสด และชาเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสิ่งทดลองที่ดีที่สุด (ที่พลังงานไมโครเวฟ 4000 วัตถ์ และอบนาน 30 นาที) ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารดังกล่าวยังคงเหลือในขมิ้นชันอบแห้งมากว่า ร้อยละ 88 โดยเฉพาะปริมาณสาร Epicatechin (EC) และ Epictechin gallate (ECG) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 และ 24 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากความร้อนในการอบกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของสาร EGCG ให้เป็นสาร EC และ ECG

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ curcucmin ของขมิ้นชันสด และขมิ้นชันอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	ขมิ้นชันสด	ขมิ้นชันอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	% Recovery*
1. ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	56.92 ± 6.96	48.676 ± 8.8842	85.51
2. ปริมาณสาร curcumin (g /100 g dry basis)	19.39 ± 3.38	19.042 ± 0.379	98.19

* % Recovery คือค่าคงเหลือของสารนั้น ๆ ที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ Tea polyphenols ของชาเขียวสด และชาเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	ใบชาสด	ชาเขียวอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	% Recovery*
1. ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	82.312 ± 8.915	72.67 ± 32.40	88.28
2. ปริมาณสาร Epicatechin (EC) (mg /g dry basis)	16.321 ± 0.542	16.525 ± 0.388	101.24
3. ปริมาณสาร Epigallocatechin gallate (EGCG)(mg /g dry basis)	17.561 ± 0.486	16.445 ± 4.179	93.64
4. ปริมาณสาร Epictechin gallate (ECG)(mg /g dry basis)	0.825 ± 0.210	1.029 ± 0.268	124.72

* % Recovery คือค่าคงเหลือของสารนั้น ๆ ที่ได้จากการคำนวณ