

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาหาระยะความแก่ของมะระจีนที่เหมาะสมต่อการสกัดสารคาแรนทิน

การเก็บเกี่ยวผลมะระจีนควรเลือกเก็บในขณะที่ผลยังมีลักษณะอ่อนอยู่ มีสีเขียวและโตได้ขนาดไม่ควรปล่อยให้มะระจีนแก่จัดจนผลเริ่มแตกเพราะเนื้อและรสจะไม่น่ารับประทาน โดยเลือกเก็บเกี่ยวผลที่โตได้ขนาดมีสีเขียวยังไม่แก่เกินไป ถ้าเริ่มมีสีขาวและเริ่มแตกถือว่าแก่เกินไป โดยจากการทดลอง พบว่าผลมะระจีนที่มีอายุ 10 วัน หลังดอกบาน ยังมีขนาดเล็ก (ยาวประมาณ 12-15 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0-3.5 เซนติเมตร) และมีความหนาเนื้อน้อย (0.3-0.4 เซนติเมตร) ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อการนำไปจำหน่ายคือ 17 วัน หลังดอกบาน หรือเมื่ออายุประมาณ 45-50 วัน หลังหยอดเมล็ด (กรมวิชาการเกษตร, 2550) ดังนั้นในการศึกษาหาระยะความแก่ของมะระจีนที่เหมาะสมต่อการสกัดสารคาแรนทิน จึงทำการศึกษาในผลมะระจีนที่มีอายุประมาณ 15 วัน 20 วัน และ 25 วัน หลังดอกบาน โดยทำการติดฉลากดอกมะระจีนที่บ้านแล้ว จากนั้นทำการเก็บเกี่ยวผลมะระจีนตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ได้กำหนดไว้ และทำการบันทึกขนาดและสีของมะระจีน ดังตาราง 4.1



15 วัน



20 วัน



25 วัน

ภาพ 4.1 ผลมะระจีนที่มีอายุ 15 วัน 20 วัน และ 25 วัน หลังดอกบาน

ผลการทดลองพบว่า ผลมะระจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 15 วัน มีสีเขียวเข้มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0-5.0 เซนติเมตร ยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร ผลมะระจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 20 วัน มีสีเขียวอ่อน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5-6.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30-35 เซนติเมตร ส่วนผลมะระจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 25 วัน มีสีเขียวปนเหลือง และเริ่มสุก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5- 6.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30-35 เซนติเมตร ดังภาพ 4.1 และตาราง 4.1

ตาราง 4.1 สี ขนาด และปริมาณคาแรนทีนของมะระจันทน์อายุ 15 วัน 20 วัน และ 25 วัน หลังดอกลาน (เทคนิค HPLC)

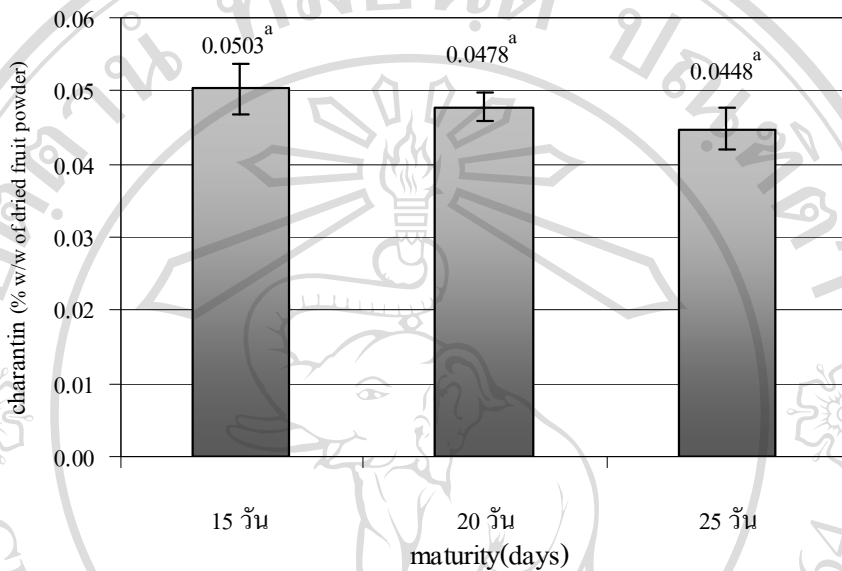
อายุการเก็บเกี่ยว	สี	ความยาว (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	ปริมาณคาแรนทีน (%w/w ของมะระจันทน์ผล)
15 วัน	เขียว	20 - 25	4.0 - 5.0	0.0503 ^a ± 0.0035
20 วัน	เขียวอ่อน	30 - 35	5.5 - 6.5	0.0478 ^a ± 0.0019
25 วัน	เขียวปนเหลือง	30 - 35	5.5 - 6.5	0.0448 ^a ± 0.0029

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

เมื่อนำมะระจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตามที่กำหนด ไปทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง) แล้วนำไปทำให้เป็นผง นำมะระจันทน์ผง 1 กรัม เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไป sonicate เป็นเวลา 30 นาที สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณคาแรนทีนด้วยเทคนิค HPLC พบว่าผลมะระจันทน์ที่มีอายุประมาณ 15 วัน 20 วัน และ 25 วัน มีปริมาณคาแรนทีน 0.0503±0.0035, 0.0478±0.0019 และ 0.0448±0.0029 %w/w ของมะระจันทน์ที่มีความชื้น 12.12% wb ตามลำดับ ดังตาราง 4.1 และภาพ 4.2 จากผลการทดลองจะเห็นว่า ความแก่ของผลมะระจันทน์มีผลต่อปริมาณคาแรนทีนโดยปริมาณคาแรนทีนจะลดลงตามอายุของผลมะระจันทน์ที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมะระจันทน์ที่มีอายุ 15 วัน ซึ่งผลยังดิบอยู่มีปริมาณคาแรนทีนสูงที่สุด และมะระจันทน์ที่มีอายุ 25 วัน ซึ่งเริ่มจะสุกมีปริมาณคาแรนทีนน้อยที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองของ Patel และคณะ (2006) ที่ศึกษาการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคาแรนทีนในมะระจันทน์ที่สกัดด้วยคลอโรฟอร์มด้วยเทคนิค HPTLC ในผลมะระจันทน์ผลอ่อน (small fruit) และผลแก่ (big fruit) พบว่า มะระจันทน์ผลอ่อนมีปริมาณคาแรนทีน 0.600 % w/w ของมะระจันทน์ผล สูงกว่าผลแก่ซึ่งมีปริมาณคาแรนทีน 0.4716% w/w ของมะระจันทน์ผล ทั้งนี้เนื่องจากใช้มะระต่างสายพันธุ์กัน ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่างกัน และวิธีการวิเคราะห์ต่างกันปริมาณคาแรนทีนที่วิเคราะห์ได้จึงแตกต่างจากค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้

และพบว่ามะระจีนดิบ (unripe *Momordica charantia*) มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสกัดสารคาแรนทินมากกว่าผลสุก ดังนั้นจึงคัดเลือกมะระจีนที่มีอายุ 15 วัน หลังดอกบาน มาใช้ในการทดลองต่อไปเนื่องจากมีปริมาณคาแรนทินสูงที่สุด



ภาพ 4.2 ปริมาณคาแรนทินในมะระจีนอายุ 15-25 วัน หลังดอกบาน (เทคนิค HPLC)

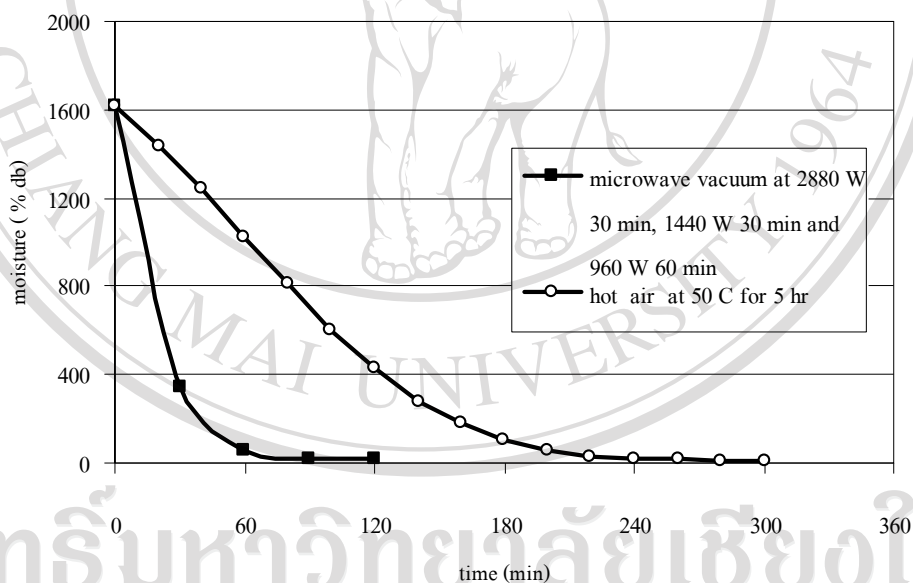
4.2 ผลการศึกษาการคัดเลือกวิธีการทำแห้งมะระจีนที่เหมาะสมต่อการสกัดสารคาแรนทิน

การทำแห้งเป็นขั้นตอนหนึ่งในวิธีการเตรียมตัวอย่าง ก่อนที่จะนำมะระจีนไปสกัดสารคาแรนทิน การทำแห้งจึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะมีผลต่อปริมาณคาแรนทิน ดังนั้นในการศึกษาค้างนี้ จึงทำการศึกษาระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมโดยใช้เตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ และนำผลการทำแห้งของเตาอบทั้งสองแบบมาคัดเลือกเพื่อกำหนดเป็นวิธีทำแห้งที่เหมาะสม ค้างนี้

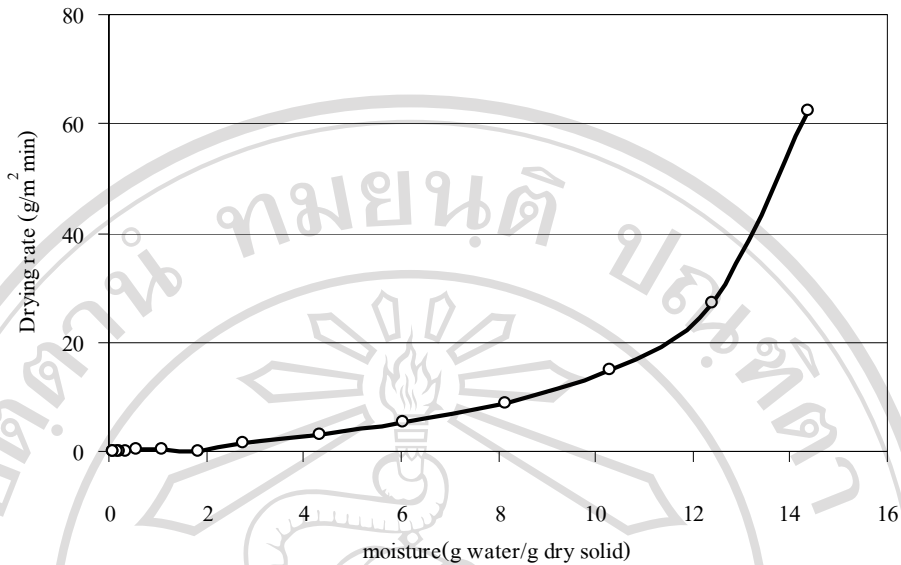
4.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการทำแห้งมะระจีนโดยใช้เตาอบลมร้อน

จากการศึกษาการทำแห้งมะระจีนหนา 2 มิลลิเมตร(ความชื้นเริ่มต้น $94.18 \pm 0.31\%wb$) ด้วยเตาอบลมร้อนแบบถาด (ภาคผนวกภาพ จ-1) อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยในระหว่างการทำแห้งได้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้น (ภาคผนวกตาราง ค-1) และสร้างกราฟการทำแห้งได้กราฟการทำแห้งดังภาพ 4.3 และกราฟอัตราการทำแห้งดังภาพ 4.4

จากกราฟการทำแห้ง (ภาพ4.3) จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นในมะระจีนจะลดลงเมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรกของการทำแห้ง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว สาเหตุเนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวหนังของอาหารมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหนังอาหารและหลังจากนั้นความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างช้าๆและคงที่ในชั่วโมงที่5 เมื่อพิจารณากราฟอัตราการทำแห้ง(ภาพ4.4) จะเห็นได้ว่ามีแต่ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เท่านั้น ไม่พบช่วงที่เป็นอัตราการทำแห้งคงที่ซึ่งอาจเนื่องจาก ในการบันทึกน้ำหนักตัวอย่างมีการเว้นช่วงห่างของระยะเวลามากเกินไปจึงเป็นไปได้ที่จะไม่พบช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Sharma และ Prasad (2001) ในการทำแห้งกลีบกระเทียม (garlic cloves) การทำแห้งใบผักชีฝรั่ง (parsley leaves) ของ Doymaz และคณะ (2006) และการทำแห้งถั่วแขก (green beans) ของ Doymaz (2005) ที่ไม่พบช่วงอัตราการทำแห้งคงที่



ภาพ 4.3 กราฟการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.4 กราฟอัตราการแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อน

นอกจากนี้ Madamba (1996) ได้รายงานว่ากราฟอัตราการแห้ง biological product เกือบทุกชนิด พบเพียงช่วงอัตราการแห้งลดลงเท่านั้น อย่างไรก็ตามมีการพบช่วงอัตราการแห้งคงที่ในการทำแห้งกล้วยของ Maskan (2000) ซึ่งพบช่วงอัตราการแห้งคงที่ช่วงสั้นๆ ในการทำแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส แต่จะไม่พบช่วงอัตราการแห้งคงที่ในการทำแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คือ 5 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ $12.04 \pm 1.11\% \text{wb}$ มีค่า A_w เท่ากับ 0.28 ± 0.04 และมีร้อยละของผลผลิตที่ได้ของการทำแห้งเท่ากับ 6.62 ± 0.51

4.2.2 ผลการศึกษาการทำแห้งมะระจีนโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ผลการศึกษาการทำแห้งมะระจีนหนา 2 มิลลิเมตร ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ภาคผนวกภาพ จ-3) ที่กำลังเครื่อง 2880 วัตต์ 30 นาที ตามด้วย 1440 วัตต์ 30 นาที และตามด้วย 960 วัตต์ 60 นาที รวมเวลาที่ใช้ในการทำแห้งทั้งหมด 2 ชั่วโมง ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ดังแสดงในภาคผนวกตารางค-2 พบว่าอุณหภูมิภายในเตาอบอยู่ในช่วง 29-35 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ $12.90 \pm 1.10\% \text{wb}$ มีค่า A_w เท่ากับ 0.30 ± 0.02 และมีร้อยละของผลผลิตที่ได้ของการทำแห้งเท่ากับ 7.33 ± 0.58 ได้กราฟการทำแห้งดังภาพ 4.3 (ภาคผนวกตาราง ค-2) เมื่อพิจารณาลักษณะกราฟการ

ทำแห้งที่ได้ เห็นได้ว่าลักษณะเส้นกราฟมีลักษณะลาดชันมาก แสดงว่าความชื้นภายในชั้นมะระจีน ลดลงอย่างรวดเร็วและเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที เนื่องจากในมะระจีนพันธุ์เขียว หยก 16 มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 94.18 % จึงทำให้ความร้อนในชั้นผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟน้ำในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสมบัติไดอิเล็กทริกจะดูดซับพลังงานคลื่น และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์เดือดและเกิดการ ระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ปริมาณความชื้นและค่า Aw จึงลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับ การใช้ระบบสุญญากาศทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง ทำให้น้ำสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่ อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นจึงทำให้อัตราการทำแห้งของการทำแห้งด้วยเตา ไมโครเวฟแบบสุญญากาศสูงจึงใช้เวลาในการทำแห้งน้อย

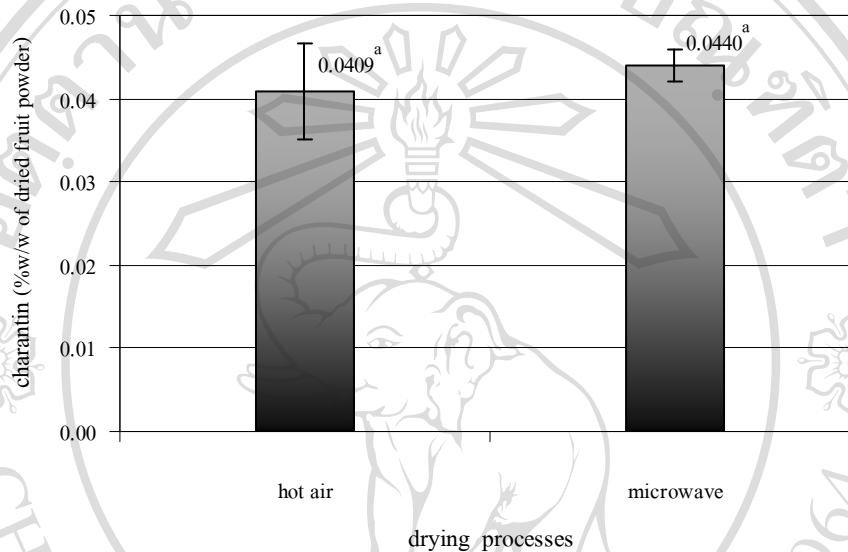
เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการม้วนงอเป็นผลมาจากเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ใช้เป็นแบบ ดึงหมุน (rotary) ผลิตภัณฑ์จึงเกิดการม้วนงอ และพบว่าผลิตภัณฑ์เกิดการฟองตัวเล็กน้อยเป็น ผลมาจากน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการเดือดอย่างรวดเร็ว และไม่สามารถระเหยออกมภายนอกได้ทันจึง เกิดลักษณะเป็นโพรงอากาศขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ สอดคล้องกับรายงานของ Lin และคณะ (1998) ที่ทำแห้งแครอทโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบ สุญญากาศ (3 กิโลวัตต์ 19 นาที ตามด้วย 1 กิโลวัตต์ 4 นาที และตามด้วย 0.5 กิโลวัตต์ 10 นาที) พบว่าผลิตภัณฑ์เกิดการฟองตัวเช่นกัน

4.2.3 ผลของการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบ สุญญากาศต่อปริมาณสารคาเรนทิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารคาเรนทินของมะระจีนที่ผ่านการทำแห้งด้วยเตาอบลม ร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศด้วยเทคนิค HPLC พบว่าปริมาณคาเรนทินในสารสกัด จากมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาไมโครเวฟแบบสุญญากาศไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยปริมาณคาเรนทินในสารสกัดจากมะระจีนที่ทำแห้งด้วย เตาไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.0440 ± 0.0019 %w/w ของมะระจีนผงที่มีความชื้น 12.90 %wb และในสารสกัดจากมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนมีปริมาณคาเรนทินเท่ากับ 0.0409 ± 0.0057 %w/w ของมะระจีนผงที่มีความชื้น 12.04%wb (ภาพ 4.5 และภาคผนวก ข)

การที่ปริมาณคาเรนทินในสารสกัดจากมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน ใกล้เคียง กับการทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ อาจเนื่องจากสารคาเรนทินเป็นสารที่มี จุดหลอมเหลวสูงถึง 243.5 องศาเซลเซียส (Lollikar และ Rajarama Rao, 1966) จึงทนต่อความร้อน

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งจึงไม่มีผลต่อสารคาแรนทิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่มีการนำมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส มาเป็นวัตถุดิบในการสกัดสารคาแรนทิน (มฤดี, 2545 ; Olaniyi, 1973 ; Pitipanapong และคณะ, 2007 Lolitkar และRajarama Rao, 1966)



ภาพ 4.5 ปริมาณคาแรนทินในมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (เทคนิค HPLC)

4.2.4 ผลของการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

ผลการวัดค่าสีของมะระจีนแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ พบว่ามะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนจะมีสีเขียวอ่อน และมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจะมีสีเขียวเข้ม ดังภาพ 4.6

มะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ มีค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ Hue angle เท่ากับ 77.69 ± 0.58 , -8.74 ± 0.31 , 22.02 ± 1.21 , 23.70 ± 1.24 , 111.55 ± 0.35 และ 77.76 ± 0.30 , -10.76 ± 0.34 , 21.96 ± 0.04 , 24.45 ± 0.05 , 116.40 ± 0.56 ตามลำดับ (ตาราง 4.2) เมื่อเปรียบเทียบค่าสีที่ได้พบว่ามะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีค่า a^* และ Hue angle สูงกว่ามะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่า L^* , b^* และ C^* ของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเตาอบลมร้อนนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

การทำแห้งมะระจีนด้วยเทคนิค microwave-vacuum drying สามารถรักษาสีเขียวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยเทคนิค hot air drying ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cui และคณะ (2004) ที่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นหอมที่ทำแห้งโดยใช้เทคนิค microwave-vacuum drying ใกล้เคียงกับการใช้เทคนิค freeze drying เป็นอย่างมาก และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีกว่าการใช้เทคนิค hot air drying



ภาพ 4.6 มะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ตาราง 4.2 ปริมาณความชื้นและค่าสีของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

วิธีการทำแห้ง	ความชื้น (%wb)	ค่าสี				
		L*	a*	b*	C*	Hue angle
ไมโครเวฟ แบบสุญญากาศ	12.90 ^a ± 1.10	77.76 ^a ± 0.30	-10.76 ^a ± 0.34	21.96 ^a ± 0.04	23.70 ^a ± 1.24	116.40 ^a ± 0.56
เตาอบลมร้อน	12.04 ^b ± 1.11	77.69 ^a ± 0.58	-8.74 ^b ± 0.31	22.02 ^a ± 1.21	24.45 ^a ± 0.05	111.55 ^b ± 0.35

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ใช้มะระจีนที่บดเป็นผง

และสอดคล้องกับการทดลองของ Lin และคณะ(1998) ที่ศึกษาการทำแห้งแครอท โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ microwave-vacuum drying (ที่กำลังเครื่อง 3 กิโลวัตต์ 19 นาที

ตามด้วย 1 กิโลวัตต์ 4 นาที และตามด้วย 0.5 กิโลวัตต์ 10 นาที) และการทำแห้งด้วยเทคนิค hot air drying ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งโดยเทคนิค microwave-vacuum drying สามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยเทคนิค hot air drying เนื่องจากการทำแห้งด้วยเทคนิค microwave-vacuum drying จะเกิดความร้อนขึ้นในผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งสั้น และใช้อุณหภูมิต่ำจึงทำให้สามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการทำแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน (Giri, 2007)

4.2.5 ผลของการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศต่อการคืนรูปของผลิตภัณฑ์

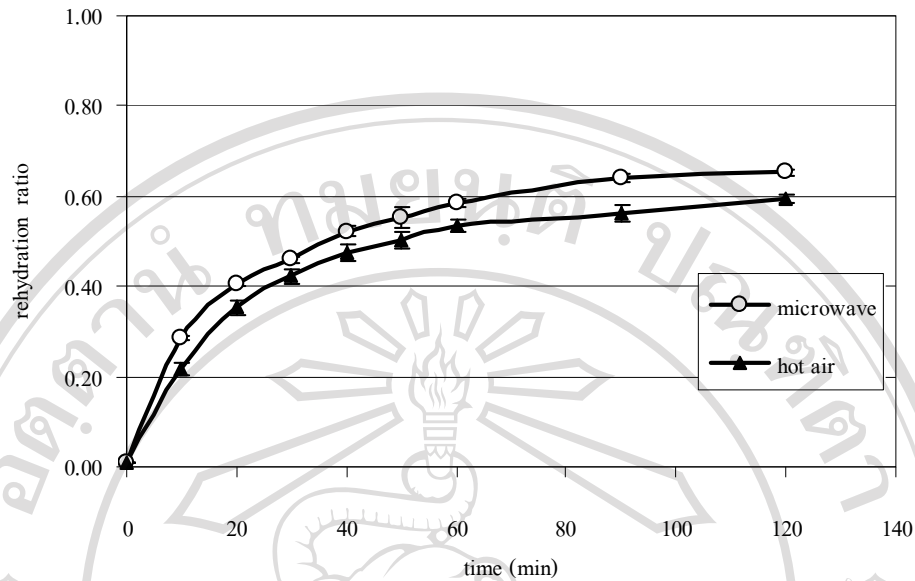
ผลการคืนรูปของมะระจีนแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ดังตาราง 4.3 (ภาคผนวกตาราง ก-3 และ ก-4) โดยค่า rehydration ratio ของมะระจีนที่อบด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการคืนรูปเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ดูดซึมน้ำมากขึ้น โดยอัตราการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการคืนรูป (ภาพ 4.7) และหลังจากนั้นจะเริ่มคงที่

ตาราง 4.3 Rehydration ratio ของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

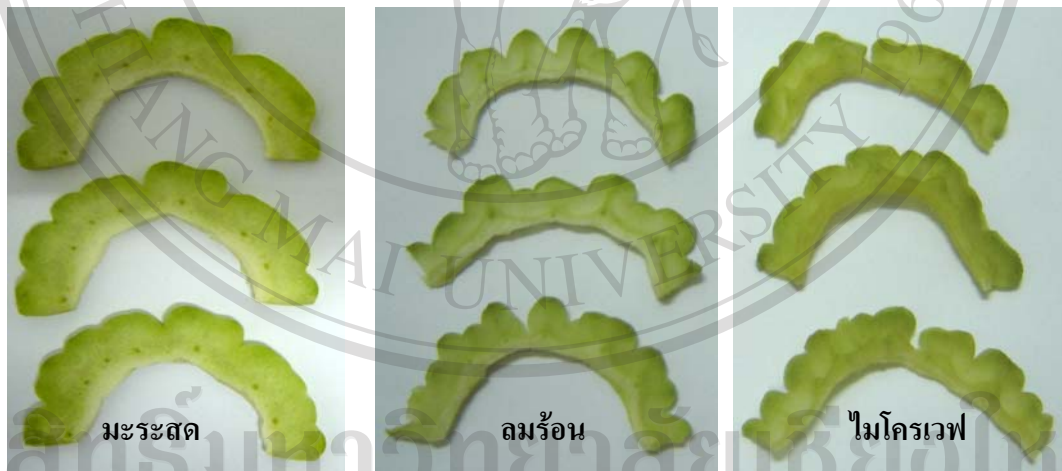
เวลา (นาที)	Rehydration ratio	
	เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	เตาอบลมร้อน
0	0.01 ^a ± 0.00	0.01 ^a ± 0.00
10	0.28 ^a ± 0.01	0.22 ^b ± 0.01
20	0.41 ^a ± 0.01	0.35 ^b ± 0.02
30	0.46 ^a ± 0.01	0.42 ^a ± 0.01
40	0.52 ^a ± 0.01	0.48 ^a ± 0.02
50	0.55 ^a ± 0.02	0.50 ^a ± 0.02
60	0.58 ^a ± 0.01	0.53 ^b ± 0.01
90	0.64 ^a ± 0.01	0.56 ^b ± 0.02
120	0.65 ^a ± 0.01	0.60 ^b ± 0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$



ภาพ 4.7 กราฟการคืนรูปของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบลมร้อนและเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.8 มะระจีนสด มะระจีนคืนรูปหลังทำแห้งด้วยเตอบลมร้อนและเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการคืนรูปของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ และมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบลมร้อน พบว่าอัตราเร็วในการคืนรูปของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศสูงกว่ามะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบลมร้อน สังเกตได้จากความชันของกราฟการคืนรูป(ภาพ 4.6) ของมะระจีนที่ทำแห้งด้วยเตอบไมโครเวฟแบบ

สูญญากาศมีค่ามากกว่ามะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และพบว่าค่า rehydration ratio ที่เวลาต่างๆ (ตาราง 4.3) ของมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศมีค่ามากกว่า rehydration ratio ของมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ามะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศสามารถคืนรูปได้ดีกว่ามะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และได้ผลิตภัณฑ์คืนรูปที่มีลักษณะใกล้เคียงกับมะระจืดสดมากกว่ามะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (ภาพ 4.8) เนื่องจากการทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟเป็นการลดจุดเดือดของน้ำในมะระลงโดยใช้สภาวะสูญญากาศ และการใช้คลื่นไมโครเวฟจะทำให้ทุกส่วนของมะระได้รับพลังงานพร้อมกันทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว โดยโครงสร้างของเซลล์และสีถูกทำลายน้อยกว่าการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนซึ่งใช้หลักการระเหยของน้ำที่ผิววนอกออกไปก่อน ส่งผลให้ผิววนอกของผลิตภัณฑ์แข็ง (วัชรินทร์, 2531; ชีรพร, 2545)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Giri (2007) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการทำแห้งเห็ดโดยเทคนิค microwave-vacuum drying กับการทำแห้งแบบดั้งเดิม (hot air drying) และเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคืนรูปของเห็ดที่ผ่านการทำแห้งทั้งสองวิธีพบว่า การทำแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการคืนรูปดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน และพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือกำลังของเครื่องไมโครเวฟ รองลงมาคือความหนาของตัวอย่าง และความดันจะมีผลต่อการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ความดันต่ำจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการคืนรูปดีกว่าการใช้ความดันสูง

4.2.6 การพิจารณาคัดเลือกวิธีการทำแห้งมะระจืดที่เหมาะสมเพื่อนำไปสกัด

สารคาเรนทิน

ในการคัดเลือกพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ปริมาณคาเรนทิน ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ Hue angle และค่าใช้จ่ายในการทำแห้งพบว่าปริมาณสารคาเรนทินในมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารคาเรนทินเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 243.5 องศาเซลเซียส (Lolitar และ Rajarama Rao, 1966) จึงทนต่อความร้อน ในด้านสีมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศจะมีค่า a^* และ Hue angle สูงกว่ามะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อนำสารสกัดจากมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศมาวัดค่าสี พบว่า ค่าสีของสารสกัดจากมะระจืดที่ทำแห้งด้วยเตาอบลม

ร้อนและเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับความสามารถในการคืนรูป ถึงแม้การทำแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการคืนรูปได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนแต่เนื่องจากการสกัดสารคาเรนทินต้องนำไปผ่านการบดละเอียด ดังนั้นความสามารถในการคืนรูปจึงมีความสำคัญน้อยสำหรับค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนต่อการทำแห้งมะระจีน 1 กิโลกรัม เท่ากับ 28.04 บาท ส่วนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศต่อการทำแห้งมะระจีน 1 กิโลกรัม เท่ากับ 62.53 บาท จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมากกว่าการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อนถึง 2.2 เท่า การทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจึงไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

เนื่องจากค่าสีของสารสกัดที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การคัดเลือกจึงพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายในการทำแห้ง ดังนั้นจึงเลือกวิธีการทำแห้งมะระจีนด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำแห้งมะระจีนเพื่อนำไปสกัดสารคาเรนทิน

4.3 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารคาเรนทินจากมะระจีน

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษากการสกัดสารคาเรนทิน โดยใช้ Soxhlet ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบ solid-liquid extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง และเป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อสำหรับสกัดสารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถสกัดได้อย่างต่อเนื่อง (continuous extraction) มักนิยมใช้ในกรณีที่สารที่ต้องการสกัดละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้สกัด และมักใช้กับสารสกัดผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยสกัดจากเนื้อเยื่อแห้งที่ปั่นละเอียดแล้ว (วิจิตร, 2528) ถึงแม้ว่าสารคาเรนทินจะละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม และละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล แต่การใช้คลอโรฟอร์มนั้นมีความเป็นพิษสูง ส่วนการใช้เอทานอลไม่มีความเป็นพิษและเป็นที่ยอมรับมากกว่า (Jamwal, 1962 ; เจริญ, 2547) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงใช้เอทานอล 95% (มลฤดี, 2545 ; เจริญ, 2547) เป็นตัวทำละลาย โดยทำการศึกษาผลของปัจจัย 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (T) ระยะเวลาในการสกัด (t) และปริมาตรของตัวทำละลาย (V) ที่ใช้ในการสกัด (ต่อมะระจีนผง 1 กรัม) ต่อปริมาณคาเรนทินและสีของสารสกัด เนื่องจากสารสกัดที่ได้ อาจมีการนำไปประยุกต์ใช้เติมหรือเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางหรืออาหารเสริมสุขภาพต่างๆ ดังนั้นสารสกัดที่ได้จึงควรมีปริมาณคาเรนทินสูงและได้สารสกัดที่มีสีเขียวเป็นที่ยอมรับ

$\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบสารสเตอรอยด์โดยเมื่อสารสเตอรอยด์ทำปฏิกิริยากับกรดจะเกิดสารสีม่วง โดยมี Fe^{3+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารสีที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณสเตอรอยด์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Henry, 1974) ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นปริมาณของสารสเตอรอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างรวมทั้งสารคาแรนทินซึ่งเป็นสารสเตอรอยด์ทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้มากกว่าค่าที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารมากกว่า โดยค่าที่วิเคราะห์ได้เป็นปริมาณของสารคาแรนทินเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ผลการวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* , Hue angle และปริมาณคาแรนทินซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction ของสารสกัดที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองดังตาราง 4.4 และภาคผนวก พบว่าสารสกัดที่ได้มีสีเขียวเข้มซึ่งเป็นสีของคลอโรฟิลล์เนื่องจากการสกัดจะสกัดสารชนิดอื่นที่สามารถละลายในเอทานอลออกมาด้วยรวมทั้งสารคาแรนทิน (Pitipanapong และคณะ, 2007) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจะสามารถสกัดสารคาแรนทินได้มากขึ้นแต่ค่าสี L^* , a^* และ Hue angle จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่วนค่า b^* และ C^* พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งเห็นได้ชัดจากการเปรียบเทียบการสกัดที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส (เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วนของตัวทำละลาย เป็น 1:12 กรัมต่อมิลลิลิตร) ซึ่งการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส จะได้คาแรนทิน 0.5245% w/w ของมะระจีนผง และได้สารสกัดสีเขียวอมน้ำตาลแดงซึ่งมีค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ Hue angle เท่ากับ 40.91, -2.91, 33.34, 33.48 และ 94.95 ตามลำดับ ส่วนการสกัดที่ 70 องศาเซลเซียส จะได้คาแรนทิน 0.3533% w/w ของ มะระจีนผง และได้สารสกัดสีเขียวเข้ม ซึ่งมีค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ Hue angle เท่ากับ 48.94, -12.11, 30.00, 31.65 และ 113.60 ตามลำดับ (ภาพ 4.9) เมื่อพิจารณาเวลาในการสกัด พบว่าการเพิ่มเวลาในการสกัดจะทำให้สกัดสารคาแรนทินได้มากขึ้นแต่จะทำให้สารสกัดที่ได้เป็นสีน้ำตาลมากขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เมื่อใช้เวลานานในการสกัดนานเกินไป ซึ่งเมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อน ไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ง่ายและถูกเปลี่ยนเป็น สารที่ชื่อว่าฟิโอฟิตินซึ่งมีสีน้ำตาล (Pruinska และคณะ, 2003) นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการสกัดยังพบว่า ปริมาตรของตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณสารคาแรนทินที่สกัดได้ กล่าวคือเมื่อใช้ปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดเพิ่มขึ้นจะสกัดสารคาแรนทินได้เพิ่มขึ้น และถ้าปริมาตรตัวทำละลายน้อยจะไม่เพียงพอต่อการสกัดสารคาแรนทินได้หมด ทำให้ได้ปริมาณสารคาแรนทินน้อย และปริมาตรของตัวทำละลายมีผลต่อสีของสารสกัดเนื่องจากถ้าใช้ปริมาตรของตัวทำละลายน้อยและใช้เวลานานในการสกัดนานจะทำให้สีของสารสกัดเกิดเป็นสีน้ำตาลซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจากสารสกัดที่ได้อาจมีการนำไปประยุกต์ใช้เดิมหรือเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มหรืออาหารเสริมสุขภาพต่างๆ ดังนั้นสารสกัดที่ได้จึงควรมีสีเขียวเป็นที่ยอมรับ



ภาพ 4.9 สารสกัดด้วยเอทานอล 95% ของมะระจันทน์ผง โดยใช้ soxhlet

- ก คือ สกัดด้วยเอทานอล 16 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 75 องศาเซลเซียส 0.95 ชั่วโมง
- ข คือ สกัดด้วยเอทานอล 20 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 70 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
- ค คือ สกัดด้วยเอทานอล 16 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 75 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง
- ง คือ สกัดด้วยเอทานอล 12 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 80 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
- จ คือ สกัดด้วยเอทานอล 12 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 70 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
- ฉ คือ สกัดด้วยเอทานอล 12 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 70 องศาเซลเซียส 9 ชั่วโมง
- ช คือ สกัดด้วยเอทานอล 16 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 75 องศาเซลเซียส 11 ชั่วโมง
- ซ คือ สกัดด้วยเอทานอล 9.27 ml/g มะระจันทน์ผง ที่ 75 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง

ตาราง 4.4 ค่าสีและปริมาณคาเรนทินของสารสกัดมะระจันทน์ผงโดยใช้ soxhlet

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร (ml) ต่อมะระจันทน์ ผง 1 กรัม	ปริมาณคาเรนทิน** (% w/w ของ มะระจันทน์ผง)	ค่าสี				
					L*	a*	b*	C*	Hue angle
1	70.00	3.00	12.00	0.3533	48.94	-12.11	30.00	31.65	113.60
2	80.00	3.00	12.00	0.5245	40.91	-2.91	33.34	33.48	94.95
3	70.00	9.00	12.00	0.4037	44.35	-9.87	38.50	38.50	97.70
4	80.00	9.00	12.00	0.5748	40.04	-1.78	36.18	36.22	82.80
5	70.00	3.00	20.00	0.4439	50.60	-14.52	35.16	37.66	119.95
6	80.00	3.00	20.00	0.6755	40.67	-7.83	38.29	37.43	112.80
7	70.00	9.00	20.00	0.4842	41.56	-9.76	37.43	38.95	93.40
8	80.00	9.00	20.00	0.7057	38.70	-6.31	37.72	38.84	90.80
9	66.59	6.00	16.00	0.4339	49.24	-10.00	34.88	36.62	107.90
10	83.41	6.00	16.00	0.6650	30.31	11.91	23.42	26.58	63.10

หมายเหตุ: ** ทำการวิเคราะห์โดย $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction

ตาราง 4.4 (ต่อ) ค่าสีและปริมาณคาแรนทินของสารสกัดมะระจันทน์ผงโดยใช้ soxhlet

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร (ml) ต่อมะระจันทน์ ผง 1 กรัม	ปริมาณคาแรนทิน** (% w/w ของ มะระจันทน์ผง)	ค่าสี				
					L*	a*	b*	C*	Hue angle
11	75.00	0.95	16.00	0.0815	55.67	-9.06	17.07	19.32	120.90
12	75.00	11.05	16.00	0.6754	32.81	3.72	32.34	32.55	83.50
13	75.00	6.00	9.27	0.4540	40.81	0.92	29.17	29.27	88.35
14	75.00	6.00	22.73	0.6453	49.11	-11.52	30.15	31.07	117.90
15	75.00	6.00	16.00	0.5550	47.13	-10.49	36.09	37.67	114.30
16	75.00	6.00	16.00	0.5446	42.34	-10.97	37.02	39.71	105.70
17	75.00	6.00	16.00	0.5552	47.99	-9.70	36.89	37.82	106.60
18	75.00	6.00	16.00	0.6945	43.89	-10.12	37.50	36.07	112.70
19	75.00	6.00	16.00	0.6049	45.08	-9.95	36.81	37.82	105.30
20	75.00	6.00	16.00	0.6653	42.17	-8.10	36.06	36.95	111.90

หมายเหตุ : ** ทำการวิเคราะห์โดย $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction

ตาราง 4.5 ANOVA สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของสารสกัดมะระงินผงโดยใช้ soxhlet

Source of variation	df	ปริมาณคาแรนทิน (%w/w)		ค่าสี L*		ค่าสี a*		ค่าสี Hue angle	
		Sum of square	F-value	Sum of square	F-value	Sum of square	F-value	Sum of square	F-value
Model	9	0.32	3.36*	528.86	3.86*	566.64	3.14*	3850.73	9.42**
T (Temp)	1	0.10	9.59**	237.62	15.61**	302.53	15.08**	1030.73	22.69**
t (time)	1	0.10	9.36*	220.82	14.51**	71.02	3.54	1424.92	31.37**
V (Volume)	1	0.044	4.10	9.27	0.61	78.16	3.89	440.90	9.71**
T ²	1	1.958×10 ⁻³	0.18	41.34	2.72	91.05	4.54	809.01	17.81**
t ²	1	0.075	7.00*	0.19	0.013	21.87	1.09	36.35	0.80
V ²	1	1.934×10 ⁻³	0.18	0.28	0.018	1.32	0.066	22.92	0.50
Tt	1	1.267×10 ⁻⁵	1.183×10 ⁻³	14.55	0.96	2.37	0.12	8.61	0.19
TV	1	1.533×10 ⁻³	0.14	0.025	1.663×10 ⁻³	6.39	0.32	70.80	1.56
tV	1	1.140×10 ⁻⁴	0.011	3.85	0.25	1.06	0.053	52.53	1.16
Residual	10	0.11		152.20		200.68		454.18	
Lack of fit	5	0.087	4.28	122.73	4.16	195.86	40.61**	374.70	4.71
Pure error	5	0.020		29.47		4.82		79.49	
Total	19								

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.01

ตาราง 4.6 สมการโพลีโนเมียลลำดับที่สอง (Quadratic model) และค่า R² สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของสารสกัดมะระจีนผง

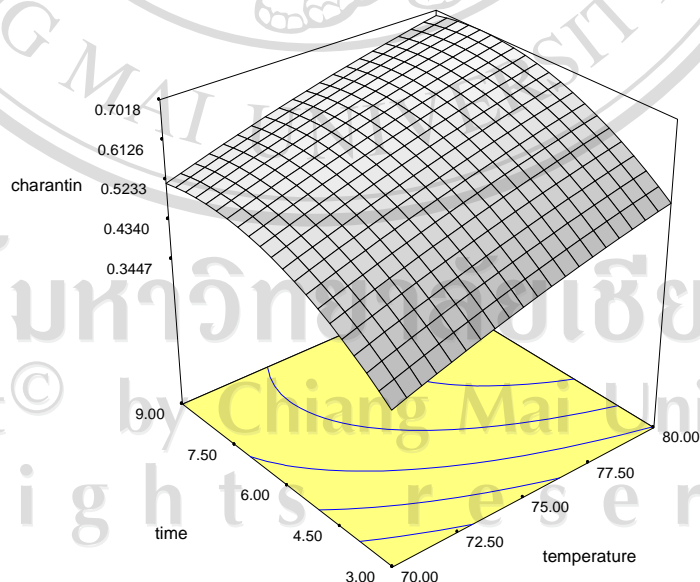
Response	Predicted model	R ² Value
ค่าเรนทิน	charantin = 3.42952 + 0.076683T + 0.13603t - 0.012678V - 4.66091×10 ⁻⁴ T ² - 8.01253×10 ⁻³ t ² - 7.23807×10 ⁻⁴ V ² - 8.38933×10 ⁻⁵ Tt + 6.92120×10 ⁻⁴ TV - 3.14600×10 ⁻⁴ tV	0.7516
ค่าสี L*	L* = -235.68968 + 8.83316T - 7.00574t + 0.48469V - 0.067746T ² - 0.012782t ² + 8.72016×10 ⁻³ V ² + 0.089917Tt - 2.81250×10 ⁻³ TV - 0.057812tV	0.7765
ค่าสี a*	a* = 433.00479 - 13.20748T + 1.35133t + 1.96746V + 0.10054T ² + 0.13688t ² + 0.018880V ² - 0.036250Tt - 0.044688TV + 0.030312tV	0.7385
ค่าสี Hue angle	Hue angle = -1285.92924 + 40.42237T - 3.05818t - 5.93232V - 0.29970T ² - 0.17646t ² - 0.078819V ² + 0.069167Tt + 0.14875TV - 0.21354tV	0.8945

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ ไปวิเคราะห์หาสภาวะในการสกัดที่เหมาะสมโดยเทคนิค response surface methodology จะได้สมการถดถอย (multiple regression) ของแต่ละค่าตอบสนอง ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณของปัจจัยซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และปริมาตรของตัวทำละลาย ที่มีความสำคัญต่อค่าตอบสนองได้แก่ ค่าสี L^* , a^* , Hue angle และปริมาณคาแรนทิน โดยแสดงค่า F-value ของโมเดล ค่า lack of fit และค่า R^2 ของการวิเคราะห์ regression และ ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนอง ดังตาราง 4.5 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าโมเดลที่สร้างขึ้นมีผลต่อค่าตอบสนองทุกค่าที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ ยกเว้นค่าสี b^* และ C^* แสดงว่าปัจจัยที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อค่าสี b^* และ C^*

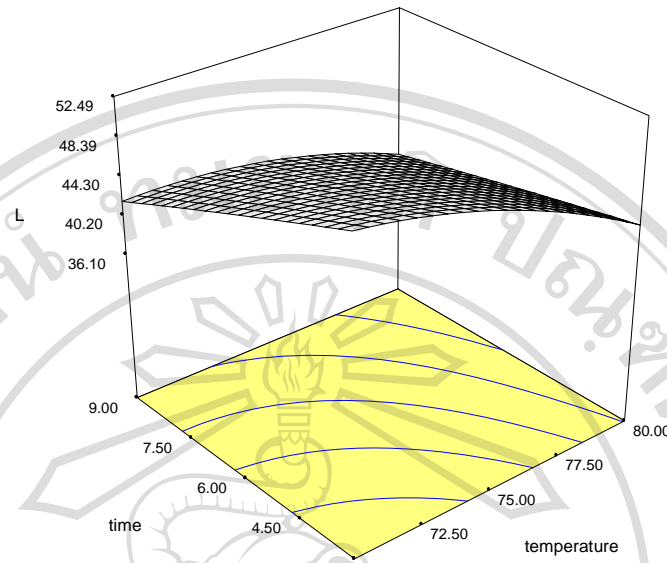
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการสกัด และปริมาตรของตัวทำละลายต่อปริมาณคาแรนทิน จากการวิเคราะห์ regression ได้สมการความสัมพันธ์ดังตาราง 4.6 ซึ่งเป็นสมการโพลีโนเมียลลำดับที่สอง (Quadratic model) โดยโมเดลที่สร้างขึ้นแสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7516 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ ANOVA (ตาราง 4.5) พบว่า ปริมาณสารคาแรนทินที่สกัดได้ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.01$ และ $P \leq 0.05$ ตามลำดับ ส่วนปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณคาแรนทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และจากสมการชี้ให้เห็นว่าปริมาณคาแรนทินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก (positive correlate) กับเวลาและอุณหภูมิในการสกัด แสดงว่าการเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการสกัดจะทำให้ได้ปริมาณสารคาแรนทินเพิ่มขึ้น สามารถสร้างพื้นที่การตอบสนองได้ดังภาพ 4.10 โดยโปรแกรมเลือกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเนื่องจากผลการวิเคราะห์ ANOVA (ตาราง 4.5) ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณคาแรนทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Pitipanapong และคณะ (2007) ที่ทำการสกัดสารคาแรนทินจากมะระขี้นก โดยวิธีการสกัดด้วยของเหลวที่ความดันสูง พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการสกัดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะลดความมีขั้วของตัวทำละลายซึ่งเป็นผลมาจากการที่ polar force และพันธะไฮโดรเจนลดลง จึงทำให้ตัวทำละลายมีความเหมาะสมในการสกัดสารคาแรนทินมากขึ้น และนอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของตัวทำละลายลดลง ส่งผลทำให้มีการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงกระทำระหว่าง dipole-dipole และพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของตัวทำละลายจะลดลงทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนที่มากขึ้นส่งผลให้ตัวถูกละลายละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น (Pitipanapong และคณะ, 2007)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการสกัด และปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ต่อค่าสี L^* และ a^* ผลการวิเคราะห์ regression ได้สมการความสัมพันธ์ดังตาราง 4.6 ซึ่งเป็นสมการโพลีโนเมียลลำดับที่สอง (Quadratic model) และโมเดลที่สร้างขึ้นแสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7765 และ 0.7385 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ ANOVA (ตาราง 4.5) พบว่า ค่าสี L^* ของสารสกัดขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.01$ ส่วนค่าสี a^* ของสารสกัดขึ้นกับอุณหภูมิในการสกัด และสามารถสร้างพื้นที่การตอบสนองได้ดังภาพ 4.11 และ 4.12

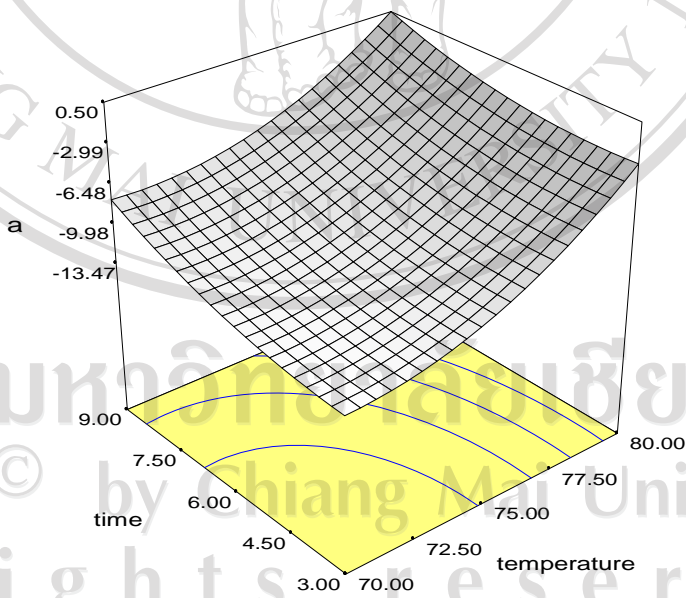
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการสกัด และปริมาตรของตัวทำละลายต่อค่า Hue angle ผลการวิเคราะห์ regression ได้สมการความสัมพันธ์ดังตาราง 4.6 ซึ่งเป็นสมการโพลีโนเมียลลำดับที่สอง (Quadratic model) และโมเดลที่สร้างขึ้นแสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.01$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8945 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ ANOVA (ตาราง 4.5) พบว่า ค่า Hue angle ของสารสกัดขึ้นกับอุณหภูมิ เวลา และปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และสามารถสร้างพื้นที่การตอบสนองได้ดังภาพ 4.13 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าสี L^* และค่าสี a^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อค่า Hue angle อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)



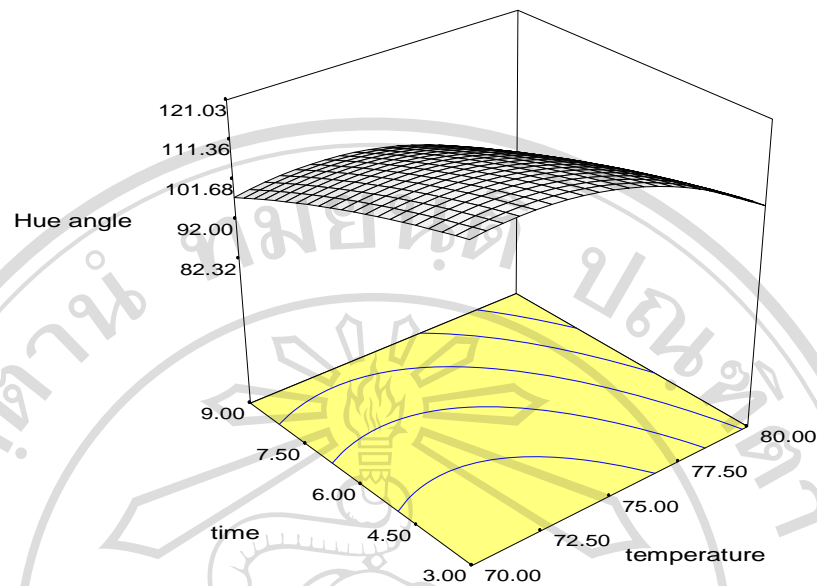
ภาพ 4.10 กราฟพื้นที่ตอบสนอง ผลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณสารคาแรนทินของสารสกัดที่อัตราส่วนของมะระจีนผงต่อเอทานอล (g/ml) เป็น 1:16



ภาพ 4.11 กราฟพื้นที่ตอบสนอง ผลของเวลาและอุณหภูมิต่อค่าสี L^* ของสารสกัด
ที่อัตราส่วนของมะระจีนผงต่อเอทานอล (g/ml) เป็น 1:16



ภาพ 4.12 กราฟพื้นที่ตอบสนอง ผลของเวลาและอุณหภูมิต่อค่าสี a^* ของสารสกัด
ที่อัตราส่วนของมะระจีนผงต่อเอทานอล (g/ml) เป็น 1:16



ภาพ 4.13 กราฟพื้นที่ตอบสนอง ผลของเวลาและอุณหภูมิต่อค่า Hue angle ของสารสกัด ที่อัตราส่วนของมะระจีนผงต่อเอทานอล (g/ml) เป็น 1:16

เมื่อพิจารณาค่า lack of fit ของแต่ละค่าตอบสนอง (ตาราง 4.5) และค่า R^2 (≥ 0.75) พบว่า ค่า a^* ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาวะในการสกัดสารคาเรนทินที่เหมาะสม (optimization) ดังนั้นค่าตอบสนองที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาคือค่า L^* , Hue angle และปริมาณคาเรนทิน โดยการสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง (response surface methodology) ซึ่งทำการกำหนดช่วงของแต่ละค่าตอบสนองดัง ตาราง 4.7 นำช่วงที่กำหนดของแต่ละค่าตอบสนองมาทำการ optimization เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม Design-Expert version 6.0.2 จะได้พื้นที่ตอบสนองของสภาวะในการสกัดที่เหมาะสมดัง ภาพ 4.14 และได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจากการ optimization ของโปรแกรม 10 สภาวะดัง ตาราง 4.8 ถึงแม้ว่าผลจากการวิเคราะห์ ANOVA จะพบว่าปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณคาเรนทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$ แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้จะทำให้สกัดสารคาเรนทินได้มากขึ้น และการเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายจะช่วยในด้านสีของสารสกัดให้ได้สารสกัดที่มีสีเขียว โดยมีผลต่อค่า Hue angle อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ใช้ในการสกัดคือที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 5 ชั่วโมง และปริมาตรตัวทำละลาย 20 มิลลิลิตร ต่อมะระจีนผง 1 กรัม เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถสกัดได้ปริมาณคาเรนทินสูงที่สุด ซึ่งค่าที่ได้จากการทำนายของ

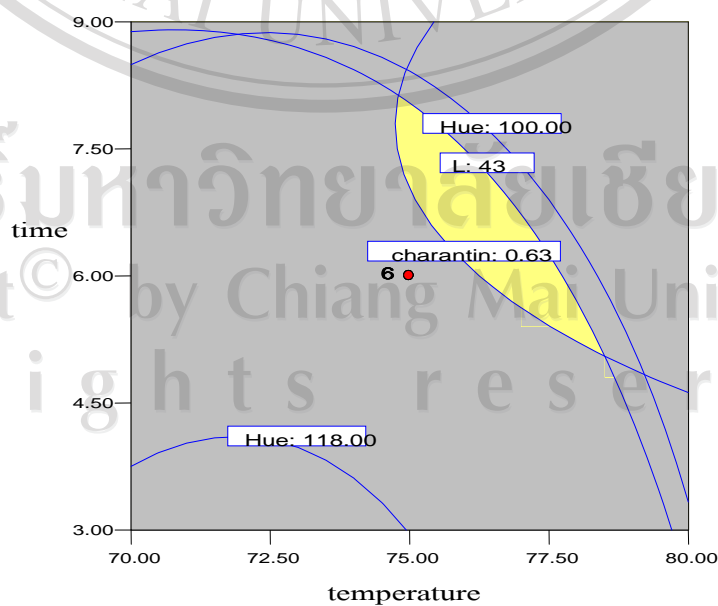
ตาราง 4.7 การกำหนดช่วงค่าตอบสนองในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารคาเรนทินโดยใช้ response surface methodology

ค่าตอบสนอง	ระดับต่ำ	ระดับสูง	ที่มา
ปริมาณคาเรนทิน	0.63	0.71	กำหนดค่าปริมาณคาเรนทินจากการทดลองโดย กำหนดให้อยู่ในช่วงที่มีปริมาณคาเรนทินสูงสุด
ค่าสี L*	43	56	คัดแปลงจาก วรางคณา, 2541 และ สุนทรี, 2545
ค่าสี Hue angle	100	118	คัดแปลงจาก วรางคณา, 2541 และ สุนทรี, 2545

ตาราง 4.8 การทำนายสภาวะในการสกัดสารคาเรนทินที่เหมาะสมและค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนายโดยใช้ response surface methodology

solution							
number	temperature	time	volume	charantin	L*	Hue angle	desirability
1	<u>78.10</u>	<u>4.96</u>	<u>19.88</u>	<u>0.6670</u>	<u>43.74</u>	<u>111.11</u>	<u>1.000</u> selected
2	78.50	4.13	19.65	0.6292	44.11	112.33	1.000
3	77.31	4.88	17.51	0.6205	44.14	109.93	1.000
4	78.67	4.03	19.72	0.6272	44.00	112.18	1.000
5	78.12	4.82	17.94	0.6370	43.27	108.30	1.000
6	78.76	4.15	18.85	0.6245	43.42	109.87	1.000
7	79.31	3.86	19.73	0.6277	43.19	110.35	1.000
8	77.53	4.92	19.42	0.6505	44.39	112.24	1.000
9	78.18	4.95	18.67	0.6533	43.27	108.98	1.000
10	78.80	3.99	19.25	0.6214	43.66	110.92	1.000

โปรแกรมจะสกัดได้สารคาเรนทินเท่ากับ 0.67 %w/w ของมะระจีนผง (ทำการวิเคราะห์ด้วย $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction) และได้สารสกัดที่มีค่าสี L^* และ Hue angle เท่ากับ 43.74 และ 111.11 ตามลำดับ และเมื่อทำการ verification ค่าที่ optimization ได้ โดยสกัดสารคาเรนทินที่ 78 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และปริมาตรตัวทำละลาย 20 มิลลิลิตรต่อมะระจีนผง 1 กรัม พบว่าได้ปริมาณสารคาเรนทิน $0.60\pm 0.11\%$ w/w ของมะระจีนผง (ทำการวิเคราะห์โดย $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ reaction) และสารสกัดที่ได้มีค่าสี L^* และ Hue angle เท่ากับ 43.1 ± 1.63 และ 110.25 ± 1.77 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างค่าที่ได้จากการทำนาย และค่าที่ทำการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าสภาวะการสกัดที่ได้จากการ optimization นั้นเป็นค่าที่เหมาะสม และเมื่อนำสารสกัดที่สกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมไปวิเคราะห์หาปริมาณคาเรนทินด้วยเทคนิค HPLC พบว่ามีปริมาณคาเรนทินเท่ากับ $0.056\pm 0.002\%$ w/w ของมะระจีนผง คิดเป็น % recovery ของวิธีการสกัดเท่ากับ 98.07 % (ภาคผนวก ข) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Pitipanapong และคณะ (2007) ที่ศึกษาการสกัดสารคาเรนทินจากมะระจีนด้วยเอธานอลโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของเหลวที่ความดันสูง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะปาสกาล ใช้ปริมาตรตัวทำละลาย 60 มิลลิลิตรต่อมะระจีนผง 1 กรัม เวลา 1 ชั่วโมงมี % recovery เท่ากับ 94.89% ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่า % recovery น้อยกว่าการสกัดด้วย soxhlet (ที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส ด้วยเอธานอล 95% ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อมะระจีนผง 1 กรัม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง) แต่ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการสกัดสารคาเรนทินจากมะระจีนด้วย soxhlet เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง (วิจิตร, 2528)



ภาพ 4.14 พื้นที่ที่เหมาะสมในการสกัดสารคาเรนทินจากมะระจีน



ภาพ 4.15 สารสกัดด้วยเอทานอล 95% ของมะระจีนผงโดยใช้ soxhlet ที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง



ภาพ 4.16 สารสกัดคาเรนทินเข้มข้นที่ระเหยตัวทำละลายออกแล้ว (crude extract)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved