บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 บทนำ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและวิจารณ์ผลของรูปแบบการลดความชื้นโดยเทคนิคการให้ความร้อน 2 รูปแบบ คือ เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้และเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อนด้วยเครื่องอบลมร้อน การลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนจะให้ความร้อนในอุณหภูมิที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างถึงผลกระทบของเทคนิคและการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการลดความชื้น

ทั้งนี้ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 5 ส่วน คือ ความสามารถในการลดความชื้น ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อนภายหลังการลดความชื้น ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันสกัดจากเมล็ดงาขี้ม้อนลดความชื้น ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน และผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน โดยได้มีการสรุปผลรวมทั้ง 5 ส่วนในตอนท้ายของบทที่ 4

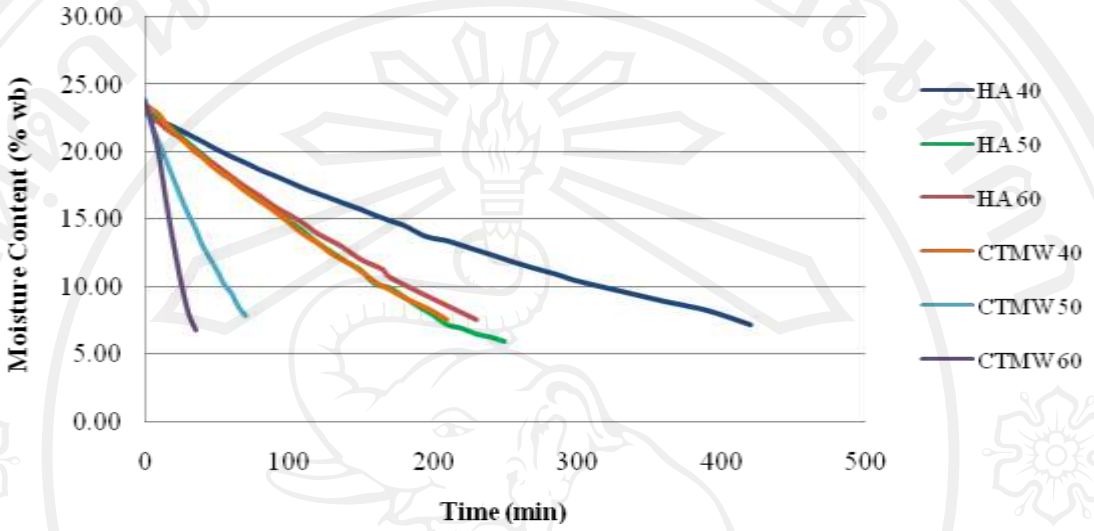
4.2 ความสามารถในการลดความชื้น

ผลของอุณหภูมิและเทคนิคการให้ความร้อน 2 รูปแบบ คือ เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้และเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อนด้วยเครื่องอบลมร้อนโดยแต่ละเทคนิคได้ลดความชื้นโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ให้ผลของการลดความชื้นในปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังภาพที่ 4.1

การศึกษาผลของอุณหภูมิและเทคนิคการให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่าการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (CTMW 60) สามารถลดความชื้นในเมล็ดงาขี้ม้อนจากประมาณร้อยละ 23 (% wb) เหลือประมาณร้อยละ 7 (% wb) โดยใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 29.33±1.16 นาที ตามด้วย CTMW 50, CTMW 40, HA 60, HA 50 และ HA 40 ด้วยเวลาในการลดความชื้น คือ 63.33±5.51, 212.33±4.95,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

230.00±3.61, 253.33±2.89 และ 421.67±5.77 นาที ตามลำดับและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ค.1



ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิและเทคนิคในการให้ความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดงาขี้ม้อน

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและเทคนิคต่อระยะเวลาในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง					
	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
เวลาในการลดความชื้น (min)	421.67^{a} ±5.77	253.33^{b} ±2.89	230.00^{c} ±3.61	212.33^{d} ±4.95	63.33^{e} ±5.51	29.33^{f} ±1.16

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิของอุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้น สามารถอธิบายได้ว่าการใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาการลดความชื้นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Maskan *et al.* (2002), Robert *et al.* (1999), Jittanit (2011) และ Momenzadeh *et al.* (2011) ที่ได้ศึกษาการใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่แตกต่างกันกับองุ่น ข้าวโพด และเมล็ดฟักทอง ทั้งนี้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อธิบายเหตุผลไว้ว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำที่ผิวของเมล็ดงาขี้ม้อนเกิดการระเหยเร็วขึ้น ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของมวลน้ำด้วยกลไกต่างๆ มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จึงใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นนานกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การเปรียบเทียบเทคนิคของการให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิค พบว่า กลุ่มของเทคนิคที่ให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถลดความชื้นของเมล็ดงาขี้ม้อนโดยใช้เวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าเทคนิคแบบลมร้อนเช่นเดียวกับงานวิจัยเกี่ยวกับการลดความชื้นเมล็ดและผลผลิตทางการเกษตร เช่น พริก มะเขือเทศ ถั่วขาว ซึ่งพบว่าการใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถลดเวลาในการลดความชื้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการให้ความร้อนแบบอื่นๆ (Adi and Otten, 1996; Workneh *et al*., 2011; Inchuen, 2008)

เมื่อให้ความร้อนในการลดความชื้นในเมล็ด จะเกิดกลไกการเคลื่อนที่ของของเหลวและไอน้ำเกิดจากแรงคะปิลลาริ่ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย การแพร่ของของเหลวที่ถูกดูดซับโดยของแข็ง และการแพร่ของไอน้ำโดยผ่านช่องอากาศของเมล็ด (วิไล, 2543) มีผลทำให้ความชื้นในเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง ในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ความร้อนเกิดจากคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าไปในเมล็ดงาขี้ม้อน ทำให้เกิด ionic polarization และ dipole rotation ทำให้โมเลกุลน้ำภายในเมล็ดเกิดการหมุนตัวกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วหรือเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น รูปแบบของการเกิดความร้อนเป็นแบบที่เกิดขึ้นจากภายในสู่ภายนอกวัสดุ แต่ในเมล็ดงาขี้ม้อนมีขนาดเล็ก ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจึงเป็นไปแบบทั่วทั้งเมล็ด และการเกิดความร้อนทั่วทั้งเมล็ดนี่เองทำให้เกิดปรากฏการณ์ถ่ายเทมวลของน้ำอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เกิดจากความแตกต่างของความดันไอที่แตกต่างกันมากระหว่างภายในเมล็ดและผิวของเมล็ดงาขี้ม้อน และความดันไอที่เกิดขึ้นนี้สูงกว่าความดันไอที่เกิดขึ้นในการลดความชื้นด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ซึ่งความร้อนเริ่มเกิดที่ผิวของเมล็ดไปยังศูนย์กลางของเมล็ดงาขี้ม้อน ทั้งนี้สอดคล้องกับคำอธิบายของสายสนม (2546), Inchuen (2008) และ Workneh *et al*. (2011) ที่ศึกษาการลดความชื้นของพริกป่น (thai red curry powder) และชิ้นมะเขือเทศ (tomato slices) โดยใช้เทคนิคแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังลดความชื้น

4.3.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของเมล็ดงาขี้ม้อน

ผลการศึกษาค่าความชื้นสุดท้ายและปริมาณน้ำอิสระหลังการให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นจากร้อยละ 23 (% wb) เหลือร้อยละ 7 (% wb) โดยประมาณ พบว่าทุกหน่วยการทดลองทั้งการลดความชื้นด้วยเทคนิคแบบลมร้อนและการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4.2 ภาคผนวก ค.2 และภาคผนวก ค.3

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาทางสถิติด้านความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดงาขี้ม้อน

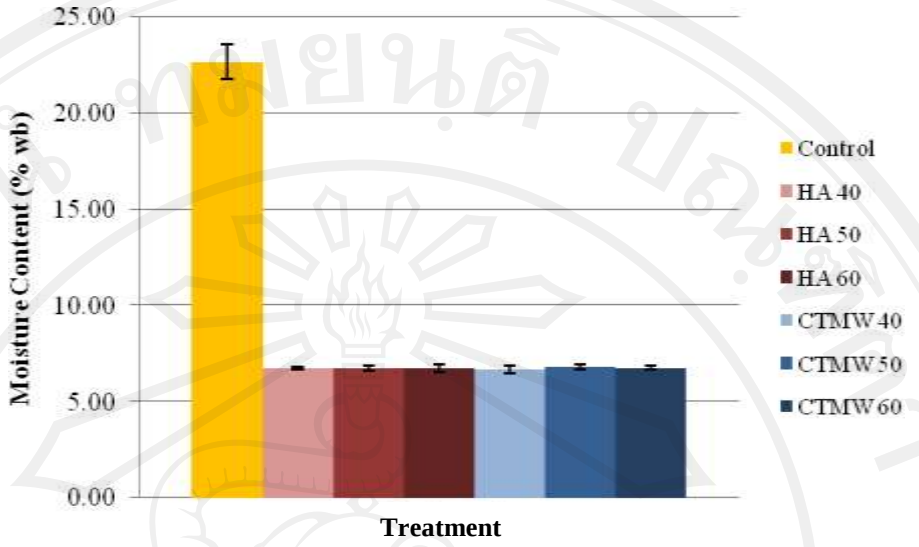
หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
ความชื้นสุดท้าย (% wb)	22.69^{a} ±0.92	6.75^{b} ±0.09	6.73^{b} ±0.12	6.74^{b} ±0.17	6.68^{b} ±0.20	6.79^{b} ±0.14	6.77^{b} ±0.11
a_w	0.956^{a} ±0.03	0.459^{b} ±0.04	0.451^{b} ±0.02	0.452^{b} ±0.02	0.445^{b} ±0.03	0.454^{b} ±0.02	0.447^{b} ±0.03

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

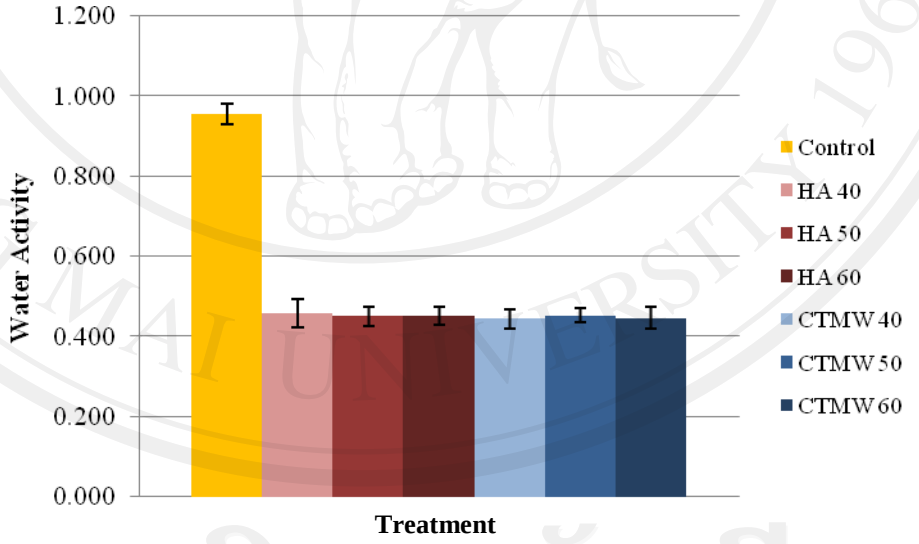
- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

ภาพที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การลดความชื้นทั้ง 2 เทคนิค และที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ มีความสามารถในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนสุดท้ายให้อยู่ประมาณร้อยละ 7 (% wb) ได้ในทุกหน่วยทดลอง แสดงให้เห็นว่าเทคนิคและอุณหภูมิในการลดความชื้นมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นให้เป็นไปตามที่กำหนดและมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 1 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่า 0.7 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยมากได้ (วิไล, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.2 ผลการศึกษาความชื้นสุดท้าย (% wb) เมล็ดงาขี้ม้อน



ภาพที่ 4.3 ผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เมล็ดงาขี้ม้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

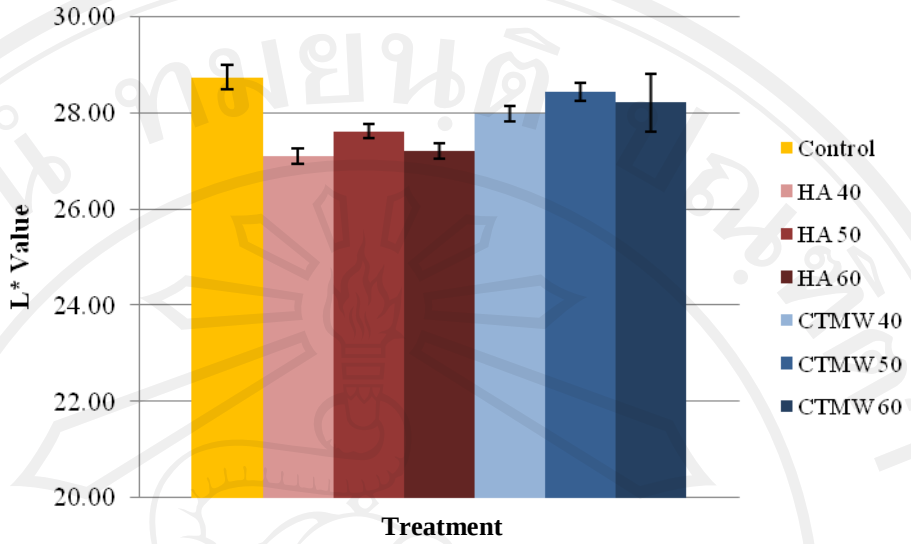
ตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่า การวิเคราะห์ค่าความชื้นสุดท้ายและค่า a_w หลังการลดความชื้นพบว่าเทคนิคของการให้ความร้อนและอุณหภูมิของการลดความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังภาคผนวก ค.3 โดยทุกหน่วยการทดลองให้ค่าความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 7 (% wb) และเมื่อวิเคราะห์ค่า a_w พบมีค่าอยู่ประมาณ 0.45 ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์โดยมากไม่ให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (วิไล, 2543) แต่เวลาในการลดความชื้นยังเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการให้ความร้อนโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นได้เร็วกว่าการใช้เทคนิคแบบลมร้อนในการลดความชื้น และสอดคล้องกับกาญจนา (2552) ที่ศึกษาผลกระทบของเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนในการลดความชื้นตะไคร้

4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดงาขี้ม้อน

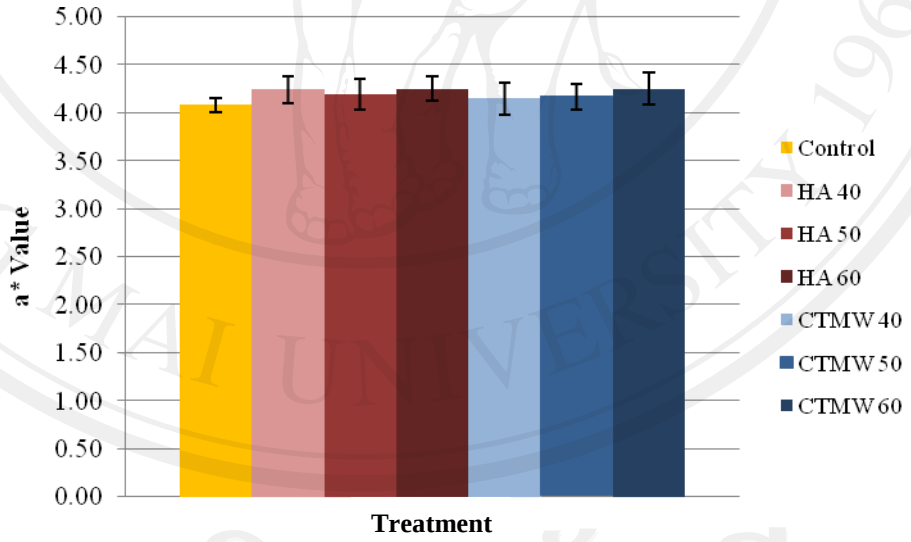
รูปแบบของเทคนิคการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้ส่งผลต่อค่าสีของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการลดความชื้นอย่างเห็นได้ชัด จากการวิเคราะห์โดยรวมสามารถสรุปได้ว่าหลังจากการลดความชื้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น ค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ค่าสีของเมล็ดงาขี้ม้อนที่เพิ่มขึ้นและลดลงมีผลทำให้ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) แตกต่างไปจากกลุ่มควบคุม โดยค่าต่างๆ สามารถสังเกตความแตกต่างด้านสีของเมล็ดงาขี้ม้อนได้จากภาพที่ 4.4 (L*), 4.5 (a*), 4.6 (b*) และ 4.7 (ΔE)

ผลการศึกษาค่า L* พบว่าเทคนิคและอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า L* ของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการลดความชื้น เทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 50 มีค่า L* มากกว่ากลุ่มอื่นๆ และใกล้เคียงกับเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนหรือกลุ่มควบคุม คือ 28.44±0.02 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 40, HA 50, HA 60 และ HA 40 และมีค่า L* เท่ากับ 28.22±0.01, 27.98±0.02, 27.63±0.16, 27.22±0.02 และ 27.11±0.02 ตามลำดับ โดยเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีค่า L* เท่ากับ 28.75±0.03 ดังภาพที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

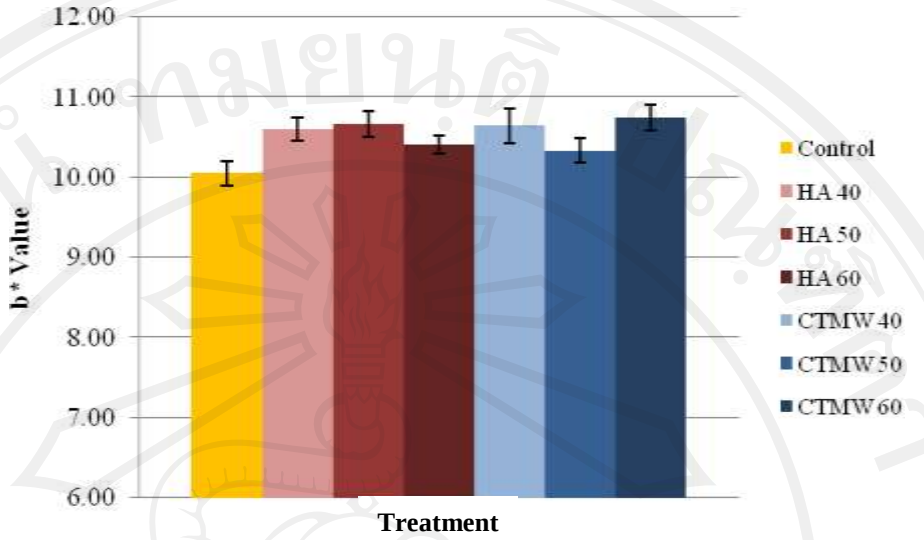


ภาพที่ 4.4 ผลการศึกษาค่า L* เมล็ดงาขี้ม้อน



ภาพที่ 4.5 ผลการศึกษาค่า a* เมล็ดงาขี้ม้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

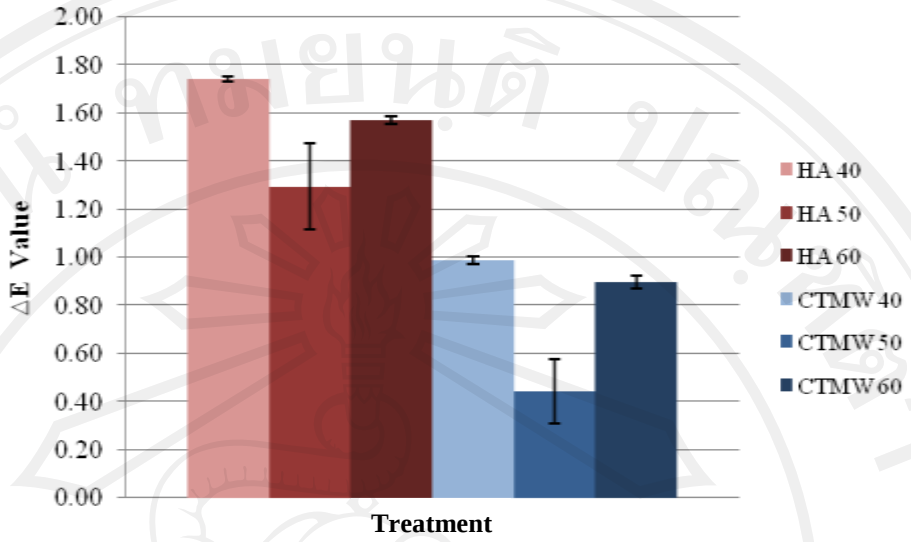


ภาพที่ 4.6 ผลการศึกษาค่า b* เมล็ดงาขี้ม้อน

ภาพที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาค่าสีแดง (a*) ด้วยเทคนิคการให้ความร้อน 2 เทคนิค ณ อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ พบว่าเทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 60 และ HA 60 มีค่า a* มากกว่ากลุ่มอื่นๆ และห่างจากเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คือ 4.26±0.08 และ 4.26±0.08 ในขณะที่กลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเท่ากับ 4.09±0.07 ตามด้วย HA 40, HA 50, CTMW 50 และ CTMW 40 ซึ่งมีค่า a* เท่ากับ 4.25±0.09, 4.20±0.09, 4.17±0.01 และ 4.15±0.09 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.6 แสดงค่าสีเหลือง (b*) ของเมล็ดน้ำมันงาขี้ม้อน และจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า b* ของเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า การให้ความร้อนด้วยเทคนิค CTMW 60 มีค่า b* มากกว่ากลุ่มอื่นๆ และแตกต่างจากเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมากที่สุด คือ 10.75±0.02 โดยกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า b* เท่ากับ 10.05±0.20 ตามด้วย HA 50, CTMW 40, HA 40 HA 60 และ CTMW 50 ซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 10.66±0.16, 10.64±0.21, 10.60±0.02, 10.41±0.01 และ 10.34±0.15 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 ผลการศึกษาค่า ΔE เมล็ดงาขี้ม้อน

ภาพที่ 4.7 แสดงค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เทียบกับสีของเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย 2 เทคนิค ณ อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ พบว่าการให้ความร้อนด้วย CTMW 50 มีค่า ΔE ของเมล็ดงาขี้ม้อนใกล้เคียงกับเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คือ 0.44±0.13 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 40, HA 50, HA 60 และ HA 40 มีค่าเท่ากับ 0.90±0.03, 0.98±0.17, 1.29±0.18, 1.58±0.02 และ 1.74±0.01 ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.4 ถึง 4.7 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการให้ความร้อน 2 เทคนิค คือการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกและแบบลมร้อน อุณหภูมิ รวมถึงเวลาในการลดความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดงาขี้ม้อน เมื่อนำข้อมูลจากภาพที่ 4.4 ถึง 4.7 มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติให้ผลดังตารางที่ 4.3 (ภาคผนวก ค.4 ถึง ค.7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านสีของเมล็ดงาขี้ม้อน

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
สี ΔE	-	1.74[a] ±0.01	1.29[c] ±0.18	1.58[b] ±0.02	0.98[d] ±0.17	0.44[f] ±0.13	0.90[e] ±0.03
สี L*	28.75[a] ±0.03	27.11[g] ±0.02	27.63[e] ±0.16	27.22[f] ±0.02	27.98[d] ±0.02	28.44[b] ±0.02	28.22[c] ±0.01
สี a*	4.09[d] ±0.07	4.25[a] ±0.09	4.20[b] ±0.09	4.26[a] ±0.08	4.15[c] ±0.09	4.17[c] ±0.01	4.26[a] ±0.08
สี b*	10.05[f] ±0.02	10.60[c] ±0.02	10.66[b] ±0.16	10.41[d] ±0.01	10.64[bc] ±0.21	10.34[e] ±0.15	10.75[a] ±0.02

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่า ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ความสว่าง (L*) และสีเหลือง (b*) รวมถึงค่าสีแดง (a*) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า ΔE พบว่าเทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 50 มีค่า ΔE ของเมล็ดงาขี้ม้อนใกล้เคียงกับเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คือ 0.44±0.13 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 40, HA 50, HA 60 และ HA 40 มีค่าเท่ากับ 0.90±0.03, 0.98±0.17, 1.29±0.18, 1.58±0.02 และ 1.74±0.01 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.4 ถึง 4.7 แสดงให้เห็นว่า ค่าต่างๆ ของสีที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับเทคนิคอุณหภูมิ รวมถึงเวลาในการให้ความร้อน ทั้งนี้อุณหภูมิในระหว่างการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนจะมีผลทำให้เกิดการเหี่ยวย่นของเซลล์ หมายความว่าปกติเซลล์พืชจะมีสมบัติของความเต่งตึง นั่นคือของเหลวที่อยู่ในแต่ละเซลล์จะทำให้เซลล์พอง แต่เมื่อผ่านกระบวนการลดความชื้น เซลล์จะเกิดการสูญเสียน้ำ ทำให้ความเต่งตึงของเซลล์จะหายไป ส่งผลให้โครงสร้างของอาหารหรือเมล็ดงาขี้ม้อนเปลี่ยนไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลว การกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลายและการเหี่ยวย่นมีผลทำให้ค่าสีเปลี่ยนไป ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของไพบูลย์ (2532) และ Deynze *et al.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1993) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของการลดความชื้นต่อคุณภาพสีของเรพสีด ดังนั้นค่าความสว่าง (L*) ของเมล็ดงาขี้ม้อนจึงลดลง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงในการลดความชื้นและเวลาการลดความชื้นนานจะทำให้คลอโรฟิลล์ที่ผิวของเมล็ดงาขี้ม้อนสลายตัวทำให้ค่าสีแดง (a*) และเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าสีเขียวของคลอโรฟิลล์ลดลง และสอดคล้องกับคำอธิบายของจริงแท้ (2542), วิไล (2543) และ Fellows (2000) ที่อธิบายการสลายตัวของสารสีในวัตถุดิบเกษตรจากความร้อน นอกจากนี้ การใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้อัตราการลดความชื้นสูงในช่วงต้นจากนั้นอัตราการลดความชื้นจะลดลงเนื่องจากผิวของอาหารแข็งตัวทำให้ความชื้นซึมผ่านได้ยากขึ้น (Fellows, 2000) นี่ก็เป็นอีกเหตุผลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในเมล็ดงาขี้ม้อนเช่นกัน

ผลของเทคนิคการให้ความร้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนมีผลต่อคุณภาพทางด้านสีของเมล็ดซึ่งค่า ΔE ของเมล็ดงาขี้ม้อนสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเมล็ดงาขี้ม้อนน้อยกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน เนื่องจากการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในเมล็ดและผิวของเมล็ดงาขี้ม้อนมากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Inchuen (2008) ที่ศึกษาผลของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อน ในการลดความชื้นของพริกป่น ดังนั้นกลไกการระเหยน้ำจึงเกิดขึ้นในปริมาณมากและเร็วกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน และกลไกการระเหยน้ำที่เกิดขึ้นรวดเร็วทำให้สามารถลดการเกิดผิวของอาหารแข็งตัวได้มากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน (สาย-สนม, 2546 และกาญจนา, 2552) ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสีเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนรวมถึงเทคนิคของการให้ความร้อน การวิเคราะห์ผลที่ได้จึงแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

4.3.3 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังลดความชื้น

ความแตกต่างของเทคนิคการให้ความร้อน อุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้นของเมล็ดงาขี้ม้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิคโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก และเทคนิคแบบลมร้อนทำให้ความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนลงเหลือประมาณร้อยละ 7 (% wb) ได้โดยมีค่า a_w ไม่แตกต่างกันระหว่างการให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อนทั้ง 2 เทคนิค รวมทั้งอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการลดความชื้นต่างกันทำให้เวลาในการลดความชื้นแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) และยังสอดคล้องกับ Inchuen *et al*. (2008) และ Workneh *et al*. (2011) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนกับวัสดุทางการเกษตร ด้วยสาเหตุนี้เองจึงส่งผลให้แต่ละหน่วยทดลองมีค่าสีของเมล็ดงาขี้ม้อนซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับ Bankole *et al*. (2005) และ Kahyaoglu and Kaya (2006) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดแตงโมและเมล็ดงา

4.4 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้

ผลการศึกษาน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้พบว่า เทคนิคการให้ความร้อนและอุณหภูมิในการลดความชื้นมีผลต่อปริมาณของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) โดยการให้ความร้อนด้วยเทคนิค CTMW 60 สามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนได้ปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 34.57±0.78 ตามด้วย CTMW 50, HA 60, CTMW 40, HA 50, HA 40 และกลุ่มควบคุม ซึ่งมีค่าปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้คือ ร้อยละ 33.60±0.71, 33.57±0.70, 32.50±0.63, 31.63±0.52, 31.07±0.70 และ 30.07±2.70 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 และภาคผนวก ค.8

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	**HA 40**	**HA 50**	**HA 60**	**CTMW 40**	**CTMW 50**	**CTMW 60**
ปริมาณน้ำมัน (%)	30.07^{e} ±2.70	31.07^{d} ±0.70	31.63^{cd} ±0.52	33.57^{b} ±0.70	32.50^{c} ±0.63	33.60^{b} ±0.71	34.57^{a} ±0.78

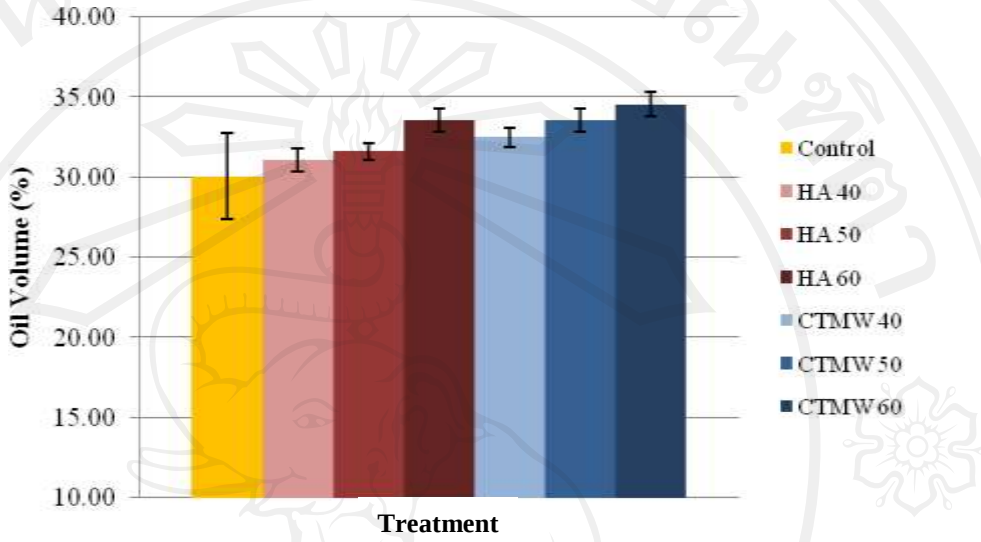
หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

ภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นผลให้ได้ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของ Sirisomboon and Kitchaiya (2009) และ Kosoko *et al*. (2009) ที่ได้ศึกษาระดับอุณหภูมิการให้ความร้อนกับเมล็ดสบู่ดำและเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นสูงขึ้น มีผลทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสารประกอบต่างๆ รวมถึงส่วนประกอบเยื่อหุ้มเซลล์สลายไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Kosoko *et al*., 2009) ทำให้โครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปหรือถูกทำลายไป ดังนั้นจึงสามารถสกัดน้ำมันได้มากขึ้น (Gutiérrez *et al*., 2008)



ภาพที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง 2 เทคนิคพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถที่จะสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนได้มากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Oomah *et al*. (1998) โดยการใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนในการลดความชื้นเมล็ดองุ่น ทั้งนี้ Inchuen *et al*. (2008) และ Workneh *et al*. (2011) ได้อธิบายไว้ว่า การลดความชื้นด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก มีผลทำให้เกิดความดันไอภายในวัสดุมากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน ซึ่งความดันไอน้ำมากนี่เองมีผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกสูง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลสารมากและเร็วกว่าในภาวะที่มีความแตกต่างของความดันไอต่ำกว่า แต่ก็มีผลทำให้โครงสร้างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับการอธิบายของ Uquiche *et al*. (2008) และ Silip *et al*. (2010) ที่ศึกษาการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับแบบลมร้อนกับเมล็ดพืชท้องถิ่น (curcas seeds และ hazelnuts) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจึงสามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนได้มากกว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถบอกถึงคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำมัน (Rossell, 2009) การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันบ่งชี้ถึงองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลของน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผลของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในน้ำมันสามารถพิจารณาจากสีความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันและอื่นๆ (นิธิยา, 2548) การศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพของเทคนิคการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกและเทคนิคแบบลมร้อนที่ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อนแตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาขี้ม้อนดังนี้

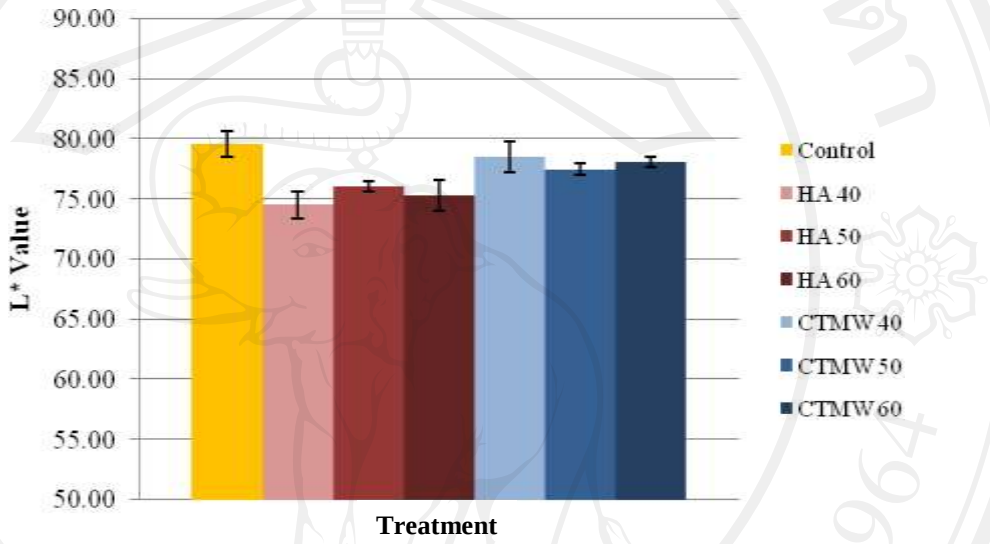
4.5.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน ประกอบด้วยค่าสี ค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะ โดยน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก และเทคนิคแบบลมร้อนด้วยเครื่องอบไมโครเวฟและเครื่องอบลมร้อน ณ อุณหภูมิในการลดความชื้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิการลดความชื้นต่อสมบัติกายภาพของน้ำมัน หลังจากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นมาสกัดน้ำมันซึ่งให้ผลดังภาพที่ 4.9

ภาพที่ 4.9 น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย 2 เทคนิค ณ อุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

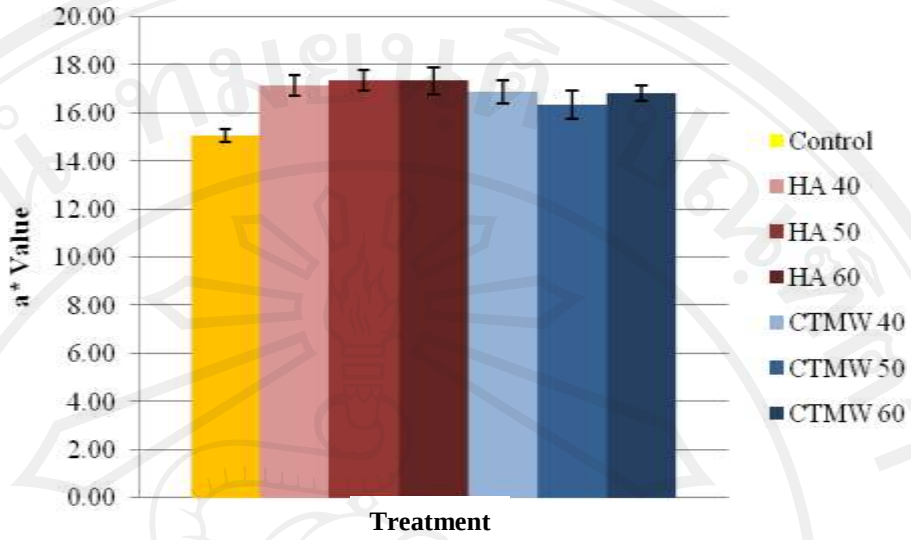
ผลการศึกษาค่าความใส (L*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิค มีผลทำให้ค่า L* ลดลงกว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนดังภาพที่ 4.10 เทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 40 มีค่า L* ลดลงจากกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนน้อยที่สุด คือ 78.53±0.13 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 50, HA 50, HA 60 และ HA 40 ซึ่งให้ค่า L* เท่ากับ 78.10±0.04, 77.49±0.05, 76.09±0.05, 75.38±0.31 และ 74.54±0.11 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4



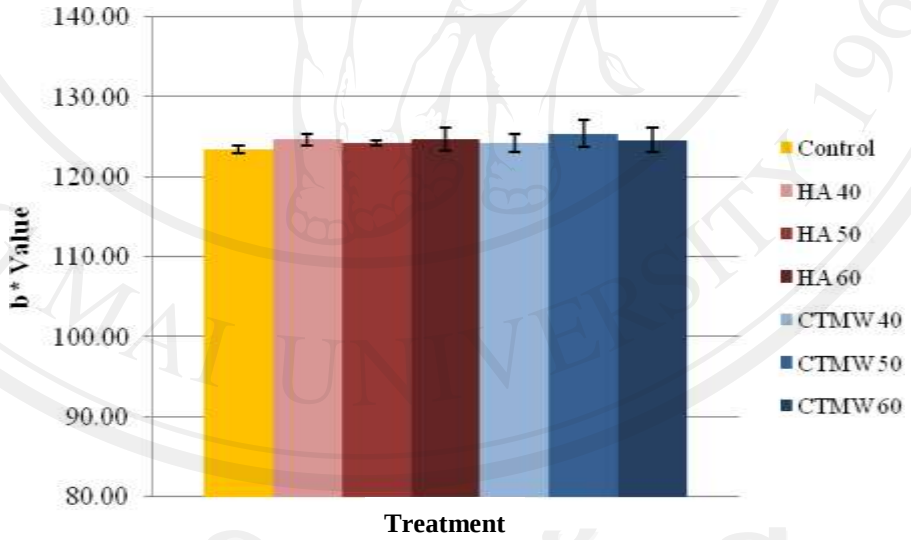
ภาพที่ 4.10 ผลการศึกษาค่า L* น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ภาพที่ 4.11 แสดงค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนทั้ง 2 รูปแบบ มีผลทำให้ค่า a* เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมหรือกลุ่มน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เทคนิคการให้ความร้อนแบบ HA 50 มีการเปลี่ยนแปลงค่า a* สูงสุด คือ 17.39±0.04 ตามด้วย HA 60, HA 40, CTMW 40, CTMW 60 และ CTMW 50 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.35±0.06, 17.17±0.04, 16.88±0.05, 16.83±0.03 และ 16.36±0.06 ตามลำดับ โดยเทคนิคการให้ความร้อนแบบ CTMW 50 มีค่าใกล้เคียงกับควบคุมมากที่สุดซึ่งมีค่า a* เท่ากับ 15.07±0.25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.11 ผลการศึกษาค่า a* น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน



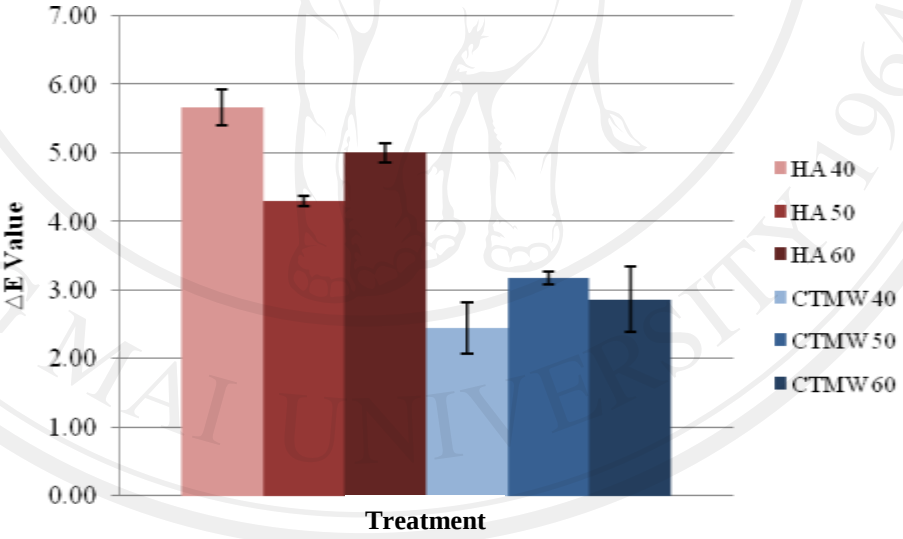
ภาพที่ 4.12 ผลการศึกษาค่า b* น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ภาพที่ 4.12 แสดงค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนทั้ง 2 รูปแบบ มีผลทำให้ค่า b* ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนสูงขึ้นกว่ากลุ่มของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเมล็ด ซึ่ง CTMW 50 ให้ค่า b* ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากที่สุด คือ 125.44±0.17 ตามด้วย HA 60, HA 40, CTMW 60 และ CTMW 40 เท่ากับ HA 50 ทั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทคนิคการให้ความร้อนแบบ CTMW 40 และ HA 50 มีค่า b* น้อยที่สุดและใกล้กับน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เมล็ดไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 124.79±0.42, 124.70±0.68, 124.62±1.52, 124.22±1.10 และ 124.22±0.31 ใน CTMW 40 กับ CTMW 50 ตามลำดับดังตารางที่ 4.5

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน นอกจากจะวัดค่า L*, a* และ b* แล้วยังต้องพิจารณาค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) เปรียบเทียบกับน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เมล็ดไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนหรือในที่นี้คือน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ไม่ได้ผ่านการลดความชื้น จากภาพที่ 4.13 พบว่า การให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบไดอิเล็กทริกมีผลทำน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีค่า ΔE น้อยกว่ากลุ่มที่ใช้เทคนิคแบบลมร้อนในการลดความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ซึ่งการให้ความร้อนด้วยเทคนิค HA 40 ให้ค่า ΔE มากที่สุด คือ 5.66±0.26 ตามด้วย HA 60, HA 50, CTMW 50, CTMW 60 และ CTMW 40 ตามลำดับ และมีค่า ΔE เท่ากับ 5.01±0.14, 4.30±0.08, 3.18±0.10, 2.87±0.84 และ 2.45±0.38 ดังตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.13 ผลการศึกษาค่า ΔE น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
ΔE	-	5.66[a] ±0.26	4.30[c] ±0.08	5.01[b] ±0.14	2.45[f] ±0.38	3.18[d] ±0.10	2.87[e] ±0.84
L*	79.62[a] ±0.11	74.54[g] ±0.11	76.09[e] ±0.05	75.38[f] ±0.13	78.53[b] ±0.13	77.49[d] ±0.05	78.10[c] ±0.04
a*	15.07[e] ±0.25	17.17[b] ±0.04	17.39[a] ±0.04	17.35[a] ±0.06	16.88[c] ±0.05	16.36[d] ±0.06	16.83[c] ±0.03
b*	123.47[a] ±0.55	124.70[ab] ±0.68	124.22[b] ±0.31	124.79[ab] ±0.42	124.22[b] ±1.10	125.44[a] ±0.17	124.62[ab] ±1.52

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นรวมถึงเทคนิคในการให้ความร้อนแตกต่างกันมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน สามารถสรุปโดยรวมได้ว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า L* ลดลง ค่า a*และ b* ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนสูงขึ้น หมายความว่าน้ำมันมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Akinoso *et al*. (2006), Baixauli *et al*. (2002) และ Kosoko *et al*. (2009) ที่ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันงา น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากความร้อน

ทั้งนี้เทคนิคการให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิคยังมีผลต่อค่าสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 4.10-4.13 (ภาคผนวก ค. 11 ถึง ค.14) การที่น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้น โดย Serjouie *et al*. (2010) ได้อธิบายไว้ว่า การที่น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเกิดจากอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชัน โดยน้ำมันถูกออกซิไดซ์ได้เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบชนิดใหม่เช่น อีพอกไซด์ ไฮดรอกไซด์ คีโตน และกลุ่มของ conjugated dienoic acid ซึ่งอาจจะเกิดปฏิกิริยา fission ได้เป็นโมเลกุลไขมันที่มีขนาดเล็กลงหรือเกิดการรวมตัวเป็นพอลิ-เมอร์ขนาดใหญ่ของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอล (polymeric triacylglycerols) ซึ่งสอดคล้องกับนิธิยา (2548), Ho and Hartman (1993) และ Rossell (2009) ที่ได้อธิบายไว้ในเรื่องการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากความร้อน

นอกจากนี้ ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันเดียวกันหรือไขมันต่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างแบบวงแหวน (cyclic fatty acid) หรือเกิดเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงมีผลทำให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น (จริยาและกามีละห์, 2551) ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อนยังส่งผลให้สามารถสกัดเอาสารสี อาทิ คลอโรฟิลล์และกลุ่มของแคโรทีนออกมาในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากยิ่งขึ้น เป็นผลทำให้ค่าสีเหลืองของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้สูงขึ้น และสอดคล้องกับ Tys *et al.* (2002) ที่ศึกษาการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับเมล็ดคาโนลา ในบางกรณีอาจเกิดกระบวนการเกิดสีน้ำตาลประเภท non-enzymatic browning โดยเกิดจากปริมาณน้ำตาลในเมล็ดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อน และตรงกับการอธิบายของ Kosoko *et al*. (2009) และ Borchani *et al*. (2010) ที่ศึกษาการให้ความร้อนต่อคุณภาพของน้ำมันในเมล็ดมะละกอ เมล็ดงาและเมล็ดมะกอก ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพด้านสีในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเข้มขึ้น

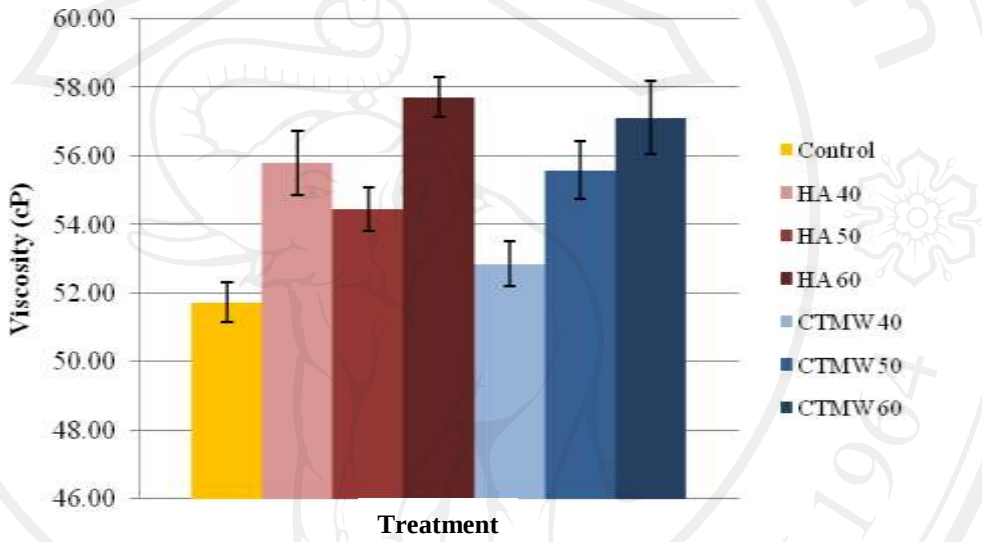
ผลของความแตกต่างของเทคนิคการให้ความร้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนทั้ง 2 รูปแบบส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน แต่เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนน้อยกว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อน เนื่องจากระยะเวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อนทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนน้อยกว่า (ตารางที่ 4.5) ซึ่งสอดคล้องกับ Malheiro *et al*. (2009) ที่ได้ศึกษาการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับน้ำมันมะกอกที่ระดับอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน

4.5.2 ผลการศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพของน้ำมันอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพและการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากอุณหภูมิ เวลาและเทคนิคการให้ความร้อนมีผลต่อมวลโมเลกุลและจำนวนของไขมันชนิดอิ่มตัวของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งนี้ส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Rossell, 2009) ภาพที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน จากการศึกษาพบว่า เทคนิคและอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงในภาคผนวก ค.9 เทคนิคการให้ความร้อนด้วย HA 60 มีผลให้ได้ค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน มากที่สุด คือ 57.73±0.59 cP ตามด้วย CTMW 60, HA 40, CTMW 50, HA 50 และ CTMW 40 ซึ่งมีค่าความหนืดเท่ากับ 57.13±1.06, 55.80±0.94, 55.60±0.83, 54.47±0.61 และ 52.87±0.64 cP ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.14 ผลการศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

จากการศึกษาถึงค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคและอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน และสอดคล้องกับจริยาและกามีละห์ (2551) ที่ศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันพืชที่นำมาทอดกล้วยฉาบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นมีผลทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ส่งผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Sirisomboon and Kitchaiya (2009) ยังอธิบายว่า ผลของการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากความร้อน ทำให้สารประกอบใหม่เกิดขึ้นหลายชนิดที่เป็นทั้งสารโพลาร์และสารนอนโพลาร์ เช่น กรดไขมันอิสระ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัลคาไลด์ คีโตน ไดเมอร์ ไตรเมอร์และพอลิเมอร์ สารเหล่านี้มีขนาดของโมเลกุลแตกต่างกัน ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในน้ำมันมีผลทำให้ขนาดของโมเลกุลของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนใหญ่ขึ้น และเป็นผลให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ยังให้ผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

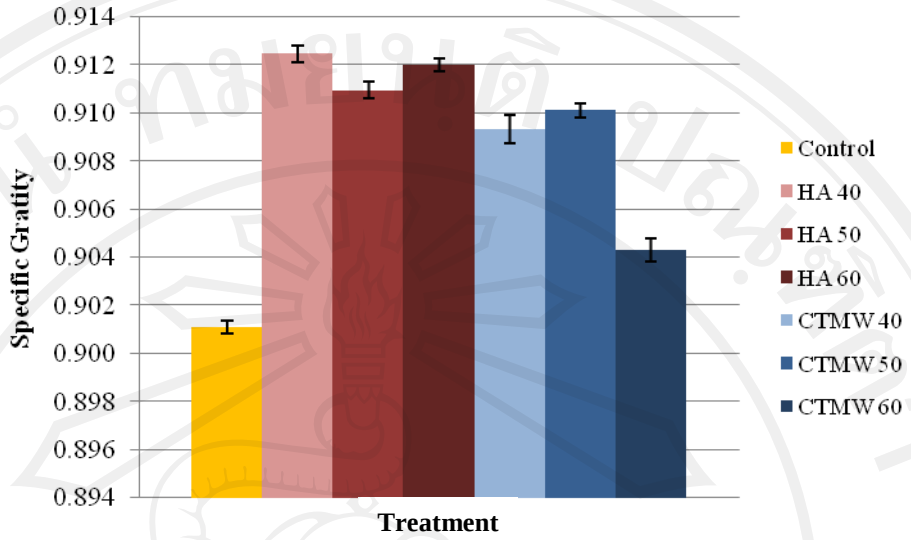
เช่นเดียวกับ Igwe (2004) ที่ศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดยางพารา เมล็ดแตงโม และเมล็ดถั่งเหลือง สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ การเกิดปฏิกิริยารวมตัวของกรดไขมันและสารประกอบอื่นๆ เกิดเป็นสารในกลุ่มพอลิเอสเตอร์ (alkyd resin)ในน้ำมันจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในน้ำมันเป็นผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น (Biermann *et al*., 2010 and Güner *et al*., 2006) และจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน พบว่าการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีมากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน (Albi *et* al., 1997; Caponio *et al*., 2003) แต่ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่ใช้เวลาในการลดความชื้นได้สั้นกว่าการให้ความร้อนแบบลมร้อนมาก จึงทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็ก-ทริกมีค่าความหนืดโดยรวมต่ำกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน

4.5.3 ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเป็นบ่งชี้ถึงสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของน้ำมัน (Stauffer, 2005) เนื่องจากค่าของความถ่วงจำเพาะของน้ำมันขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันและจำนวนคาร์บอนในกรดไขมันที่เปลี่ยนไป ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปด้วย (นิธิยา, 2548; Vaclavik and Christian, 2003) จากภาพที่ 4.15 พบว่าเทคนิคการให้ความร้อนด้วย HA 40 และ HA 60 มีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุด คือ 0.912±0.05 และ 0.912±0.03 ตามด้วย HA 50, CTMW 50, CTMW 40 และ CTMW 60 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.911±0.06, 0.910±0.03, 0.909±0.04 และ0.904±0.30 ตามลำดับ (ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.6 และภาคผนวก ค.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.15 ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ตารางที่ 4.6 แสดงว่าเทคนิคและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อนมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้ ทั้งนี้ Makeri *et al.* (2011) ให้เหตุผลว่า การใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นและเวลาในการลดความชื้นยาวนานยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดเป็นพอลิเมอร์ของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีสายคาร์บอนยาวขึ้น ทำให้น้ำมันมีความหนืดและมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น และในบางกรณีสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของพันธะคู่ในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นโครงสร้างแบบวงแหวนซึ่งเกิดระหว่างไตรเอซิลกลีเซอรอล 2 โมเลกุล ทำให้เกิดโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เป็นผลให้ไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น เนื่องจากค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเพิ่มขึ้น (Eskin *et al.*, 1996) ดังนั้นเมื่อสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิค จึงได้น้ำมันในปริมาณมากขึ้น และการใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้มีสัดส่วนเพิ่มขึ้น

ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนในการลดความชื้น พบว่าการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากกว่าการให้ความร้อนแบบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับ Oomah *et al.* (1998) ที่ศึกษาการลดความชื้นโดยเปรียบเทียบระหว่างการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกและเทคนิคแบบลมร้อนกับเมล็ดองุ่น ซึ่ง Sahin and Sumnu (2009) อธิบายว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลทำให้สารประกอบที่มีขั้วเกิดการสั่นและร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าการให้ความร้อนแบบลมร้อน เทคนิคการให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่ให้ความร้อนเร็วกว่า จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำมันมากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน (Venkatesh and Raghavan, 2005) แต่ด้วยระยะเวลาการลดความชื้นที่สั้นกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มของค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนแบบลมร้อน ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็ก-ทริก จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน

ตารางที่ 4.6 สรุปผลสมบัติด้านความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
ความหนืด (cP)	51.73^{f} ±0.59	55.80^{c} ±0.94	54.47^{d} ±0.64	57.73^{a} ±0.59	52.87^{e} ±0.64	55.60^{c} ±0.83	57.13^{b} ±1.06
ความถ่วงจำเพาะ	0.901^{c} ±0.03	0.912^{a} ±0.05	0.911^{a} ±0.06	0.912^{a} ±0.03	0.909^{ab} ±0.04	0.910^{ab} ±0.03	0.904^{ab} ±0.30

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

4.5.4 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ตารางที่ 4.5 และ 4.6 สรุปได้ว่า เทคนิคและอุณหภูมิในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) โดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 40 และ CTMW 50 มีค่าสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนใกล้เคียงกับกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แม้ว่าการลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Albi *et al*. (1997) และ Caponio *et al*. (2003) ที่ศึกษาผลกระทบของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนกับเมล็ดถั่วลิสง เมล็ดทานตะวันและเมล็ดมะกอก แต่ด้วยระยะเวลาในลดความชื้นที่สั้นกว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อนมาก จึงมีผลให้สมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนใกล้เคียงกับน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เมล็ดไม่ผ่านการให้ความร้อน และสอดคล้องกับคำอธิบายของ Chen and Mujumder (2008) เกี่ยวกับการลดความชื้นของวัสดุทางการเกษตร ดังนั้นเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจึงมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันน้อยกว่าน้ำมันที่เมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน

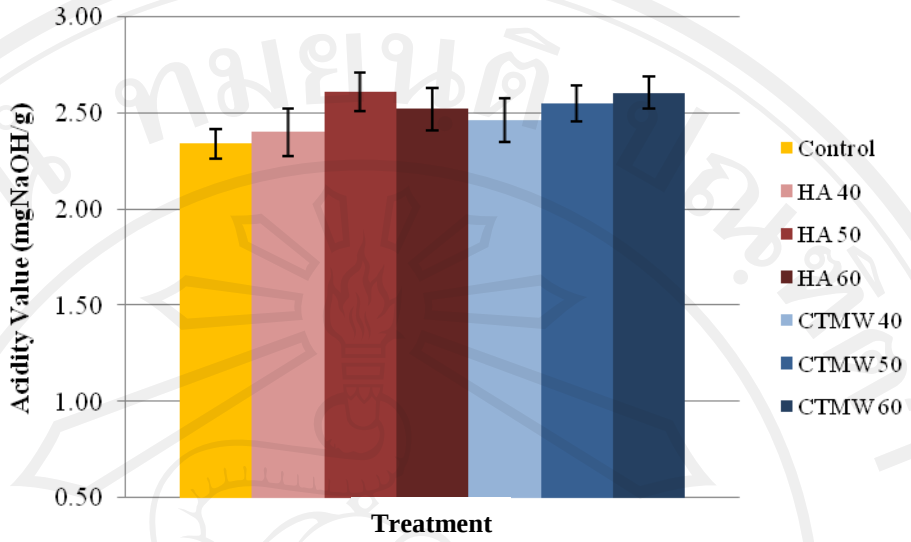
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การศึกษาผลของเทคนิคการให้ความร้อน 2 รูปแบบ กล่าวคือ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้และเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อนด้วยเครื่องอบลมร้อน ณ อุณหภูมิแตกต่างกันจำนวน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันงาขี้ม้อน ซึ่งประกอบด้วยค่าของกรด ค่าซาปอนนิฟิเคชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน ค่าสารที่ระเหยได้และปริมาณเบตา-แคโรทีน ให้ผลการศึกษาดังนี้

4.6.1 ผลการศึกษาค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การศึกษาค่าของกรดของน้ำมันเป็นการบ่งชี้ถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในน้ำมัน (นิธิยา, 2548; Nollet, 2004) โดยพบว่า เทคนิค อุณหภูมิรวมถึงเวลาในการให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อน (ภาพที่ 4.1) มีผลต่อค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน ที่เมล็ดผ่านการให้ความร้อนด้วย 2 เทคนิค ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งเทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 60 และ HA 50 มีค่าของกรดมากที่สุด คือ 2.61±0.09 และ 2.61±0.10 mgNaOH/g ตามด้วย CTMW 50, HA 60, CTMW 40 และ HA 40 โดยมีค่าของกรดเท่ากับ 2.55±0.10, 2.52±0.11, 2.46±0.11 และ 2.40±0.12 mgNaOH/g ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.16 ตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ค.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.16 ผลการศึกษาค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

จากผลการศึกษาค่าของกรดสรุปได้ว่า เทคนิคและอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลทำให้เกิดการเร่งของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน เนื่องจากน้ำ เอนไซม์ไลเปสและความร้อนภายในเมล็ดงาขี้ม้อน ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Takagi and Yoshida (1999) และ Makeri *et al.* (2011) ที่ศึกษาผลกระทบของเทคนิคและอุณหภูมิระดับต่างๆ ต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วลิสง ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำมันระหว่างการให้ความร้อน ทำให้ไตรกลีเอซิลเซอรอลในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ซึ่งคำอธิบายของนิธิยา (2548), Shahidi (2006) และ Soetaredjo *et al.* (2008) ในเรื่องการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากความร้อน จากปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าของกรดจึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ Sirisomboom and Kitchaiya, 2009 และ Kosoko *et al.* (2009) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ผลการศึกษาระหว่าง 2 เทคนิคของการให้ความร้อนพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนมีผลต่อค่าของกรดในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) สรุปได้ว่า การลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำต่อโมเลกุลน้ำโดยตรงทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว (Moradi *et al.*, 2009) มีผลทำให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีค่าของกรดในน้ำมันสูงกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ทั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สอดคล้องกับคำอธิบายของ Daglioglu *et* al. (2000) และ Uquiche *et al*. (2008) ที่ศึกษาการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนกับเมล็ดพืชท้องถิ่น (hazelnuts) แต่เนื่องด้วยระยะเวลาในการลดความชื้นที่สั้นกว่ามาก จึงทำให้ค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เทคนิคแบบลมร้อนในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Adi and Otten (1996) Workneh *et al*. (2011) และ Inchuen *et al*. (2008) ที่ศึกษาผลของการให้ความร้อนแบบไดอิ-เล็กทริกต่อเวลาในการลดความชื้นกับผลิตผลทางการเกษตร

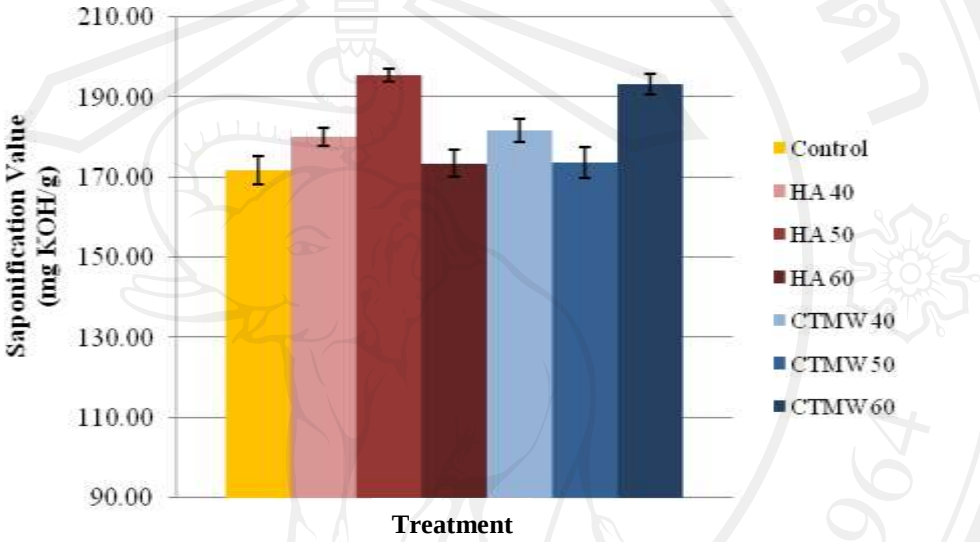
4.6.2 ผลการศึกษาค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การศึกษาค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันเป็นการบอกถึงขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลน้อยหรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะมีค่าซาปอนนิฟิเคชันสูง (นิธิยา, 2548 และ Angelo, 1992) ผลจากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนเมล็ดงาขี้ม้อนด้วยเทคนิคแบบ HA 50 มีค่าซาปอนนิฟิเคชันมากที่สุด คือ 195.54±1.67 mgKOH/g ตามด้วย CTMW60, CTMW 40, HA 40, CTMW 50 และ HA 60 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.17 โดยมีค่าซาปอนนิฟิเคชันเท่ากับ 193.18±2.59, 181.66±2.84, 180.15±2.23, 173.73±3.41 และ 173.51±3.73 mgKOH/g ตามลำดับ และค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ค.16 ความแตกต่างของค่าซาปอนนิฟิเคชันขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย คือ เทคนิค อุณหภูมิ และเวลาในการลดความชื้น ทั้งนี้สอดคล้องกับ Oomah *et al*. (1998), Soetaredjo *et al*. (2008) และ Jittrepotch *et al*. (2010) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันปาล์ม น้ำมันงา และน้ำมันคาโนลาที่ให้ผลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นเป็นผลให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรวมถึงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และสอดคล้องกับ Serjouie *et al*. (2010) กับ Rocha *et al*. (2011) ที่ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของน้ำมันจากการให้ความร้อนกับน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ ผลจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลและเกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น (Gutiérrez *et al.,* 2008; Moradi *et al*., 2009; Serjouie *et al*., 2010) ส่งผลให้โมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีขนาดโมเลกุลเล็กลง ดังนั้นค่าซาปอนนิฟิเคชันในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนจึงเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 4.17)

เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกยังส่งผลให้ค่าซาปอนนิฟิเคชันสูงกว่าเทคนิคแบบลมร้อน เนื่องจากรูปแบบของการให้ความร้อนทำให้เกิดการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน แต่เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกส่งผลให้ระยะเวลาการลดความชื้นลดลง ดังนั้นค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นเมล็ดด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจึงมีค่าซาปอนนิฟิเคชันโดยรวมน้อยกว่าการใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อน (ตารางที่ 4.7) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Oomah *et al*. (1998) โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับเมล็ดอุ่น

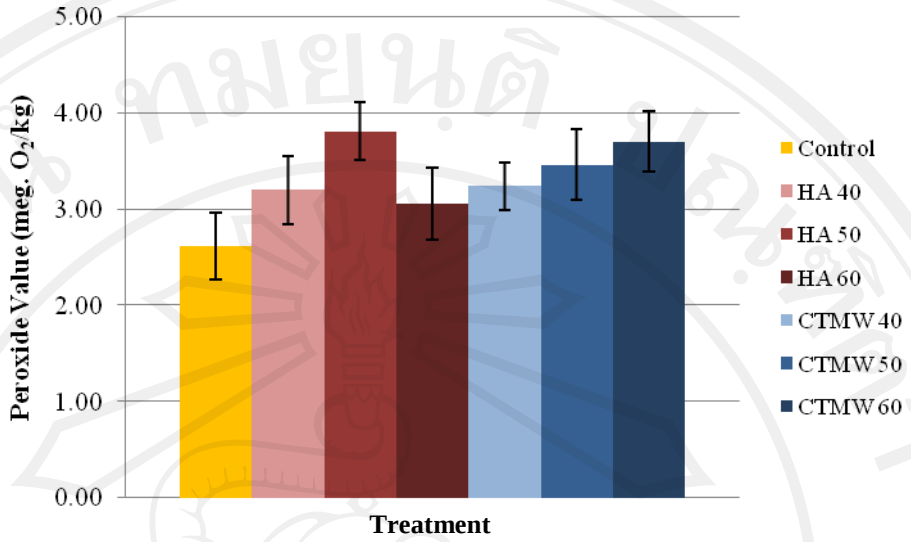


ภาพที่ 4.17 ผลการศึกษาค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

4.6.3 ผลการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าทางเคมีอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ถึงปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในน้ำมันระหว่างที่น้ำมันสัมผัสกับอากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เป็นแบบออโตออกซิเดชัน และเกิดขึ้นที่ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Angelo, 1992; Rossell, 2009) การศึกษาพบว่า น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิค HA 50 มีค่าเปอร์ออกไซด์มากที่สุด คือ 3.81±0.30 meq.O_2/kg ตามด้วย CTMW 60, CTMW 50, CTMW 40, HA 40 และ HA 60 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.71±0.31, 3.47±0.37, 3.24±0.25, 3.21±0.36 และ 3.06±0.37 meq.O_2/kg ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.18 ตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ค.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.18 ผลการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ปริมาณของเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของเทคนิค อุณหภูมิตลอดจนเวลาในการลดความชื้น มีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน ทั้งนี้ตรงกับ Daglioglu *et* al. (2000), Öngen *et al*. (2005) และ Mohagir *et al*. (2009) ที่ศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อน และการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันชนิดต่างๆ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน การให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงและใช้เวลาลดความชื้นนานมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจน (Bouriga *et al*., 2008) เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ก่อนเปลี่ยนเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์สุดท้ายได้เป็นสารพวกแอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน กรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ ซึ่งบางตัวรวมกันเป็นสารโพลาร์ (Malheiro *et al*., 2009; Onyeike and Oguike, 2003) กลุ่มสารพวกนี้มีกลิ่นหืนและระเหยได้ง่าย (จริยาและกามีละห์, 2008) ทั้งนี้ผลจากการเกิดปฏิกิริยาอาจจะเกิดสารอื่นๆ อีก เช่น ไดเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์ และสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน เป็นต้น (Jittrepotch *et al*., 2010) จากปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันเพิ่มขึ้น (Makeri *et al*., 2011; Kalou *et al*., 2009) ดังนั้นการใช้เทคนิคการให้ความร้อน อุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นเป็นผลทำให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

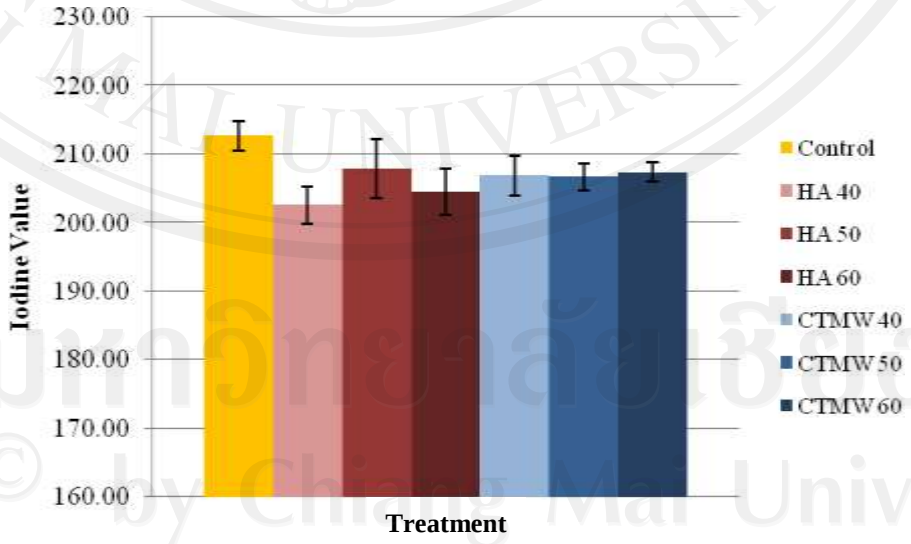
ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนพบว่า การลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากกว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบลมร้อน ทั้งนี้เป็นเพราะคลื่นไมโครเวฟมีผลต่อความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Daglioglu *et*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

al. (2000) ที่เปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนระหว่างแบบไดอิเล็กทริกและแบบลมร้อนต่อน้ำมันพืช แต่การใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ทำให้เวลาที่ใช้ในลดความชื้นเร็วกว่าเทคนิคแบบลมร้อนมาก ดังนั้นค่าเปอร์ออกไซด์จึงใกล้เคียงกับการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Oomah *et al.* (1998) โดยการความร้อนแบบไดอิเล็กทริกในการลดความชื้นกับเมล็ดองุ่น

4.6.4 ผลการศึกษาค่าไอโอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในน้ำมันเป็นการบ่งชี้ถึงจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล การเปลี่ยนแปลงของจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันเป็นการทดสอบอย่างหนึ่งของการเสื่อมสภาพของน้ำมันชนิดนั้นๆ (นิธิยา, 2548; ดาวัลย์, 2548) จากการศึกษาพบว่า เมล็ดที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 เทคนิค รวมถึงระดับอุณหภูมิมีผลต่อค่าไอโอดีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) แสดงในภาคผนวก ค.18 โดยน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนเมล็ดด้วย HA 50 มีค่าไอโอดีนมากที่สุดและใกล้เคียงกับน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เมล็ดไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเท่ากับ 207.90±3.22 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 40, CTMW 50, HA 60 และ HA 40 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 207.43±1.35, 206.89±2.85, 206.68±1.88, 204.45±3.36 และ 202.61±2.67 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.19 และตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.19 ผลการศึกษาค่าไอโอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่า ค่าไอโอดีนในแต่ละเทคนิครวมถึงระดับอุณหภูมิมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีนในน้ำมัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน มีผลทำให้ค่าไอโอดีนลดลง และสอดคล้องกับ Nzikou *et al*. (2010) และ Megahed (2011) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันงา และการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับเมล็ดแฟล็กซ์ เนื่องจากในน้ำมันที่มีพันธะคู่เป็นองค์ประกอบ เมื่อผ่านการให้ความร้อนและระยะเวลานาน จะทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (Baixauli *et al*., 2002; Soetaredjo *et al*., 2008) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นส่งผลให้ปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวลดลง (Nzikou *et al*., 2010; Kalou *et al*., 2009) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันงา เช่น sesamol, sesamin และ sesamolin เกิดการสลายตัวเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้น ผลคือค่าไอโอดีนที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงการลดลงของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tan *et al*. (2001) ที่พบว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ระยะเวลาและอุณหภูมิมีผลทำให้น้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ มีสมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ยังรวมถึงค่าไอโอดีนของน้ำมันที่ลดลงด้วย

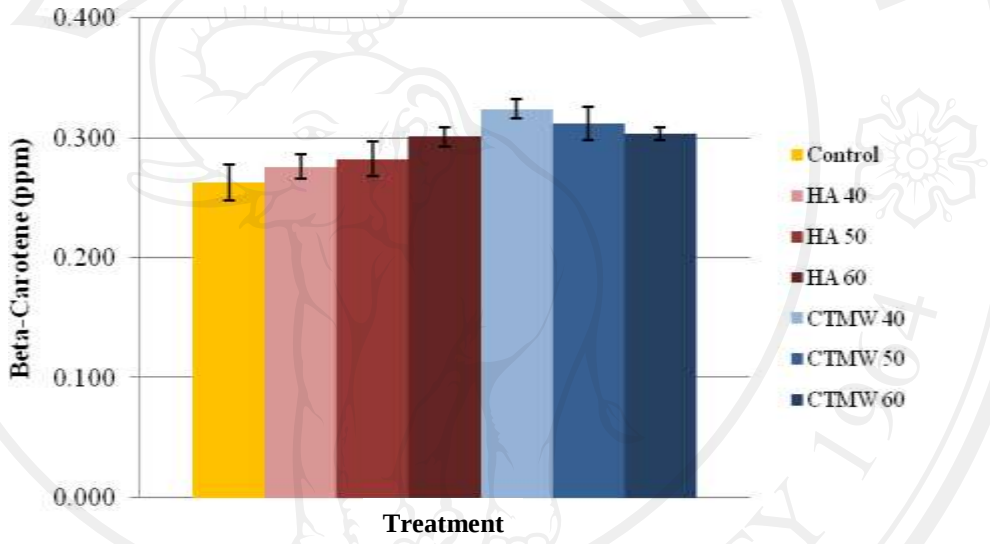
ผลของเทคนิคการให้ความร้อนพบว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลต่อค่าไอโอดีนในน้ำมันน้อยกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ทั้งนี้เป็นเพราะรูปแบบการเกิดพลังงานความร้อนทำให้ใช้เวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าเทคนิคแบบลมร้อน และให้ผลเช่นเดียวกับ Inchuen *et al*. (2008) และ Workneh *et al*. (2011) ที่ศึกษาผลของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนกับพืชผลทางการเกษตรชนิดต่างๆ

4.6.5 ผลการศึกษาปริมาณเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

สารสีที่พบมากในน้ำมันได้แก่ แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่มีสีเหลืองถึงสีแดงเข้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแคโรทีนอยด์ โดยชนิดที่พบมากที่สุดคือ เบตา-แคโรทีน เทคนิคและเวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำมันในเมล็ดพืชน้ำมัน มีผลต่อการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ได้ (Tys *et al*., 2002) จากการศึกษาพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนด้วย CTMW 40 ส่งผลให้มีปริมาณเบตา- แคโรทีนมากที่สุดคือ 0.324±0.21 ppm ตามด้วย CTMW 50, CTMW 60, HA 60, HA 50 และ HA 40 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.312±0.37, 0.304±0.16, 0.301±0.18, 0.283±0.28 และ 0.276±0.26 ppm ตามลำดับดังภาพที่ 4.20 และภาคผนวก ค.19

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่า เทคนิค อุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นมีผลต่อปริมาณของเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน โดยการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนส่งผลทำให้สามารถสกัดปริมาณเบตา-แคโรทีนได้เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ Tys *et al*., 2002 และ Wei *et al*., 2005) ที่ศึกษาถึงอุณหภูมิในการลดความชื้นด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันกับเมล็ดพืชน้ำมันและวัตถุดิบทางการเกษตรต่างๆ ต่อปริมาณเบตา-แคโรทีนที่เปลี่ยนแปลงไป แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงมากย่อมส่งผลทำให้เกิดการสลายตัวของเบตา-แคโรทีน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากความร้อนและเวลาในการให้ความร้อน



ภาพที่ 4.20 ผลการศึกษาปริมาณเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

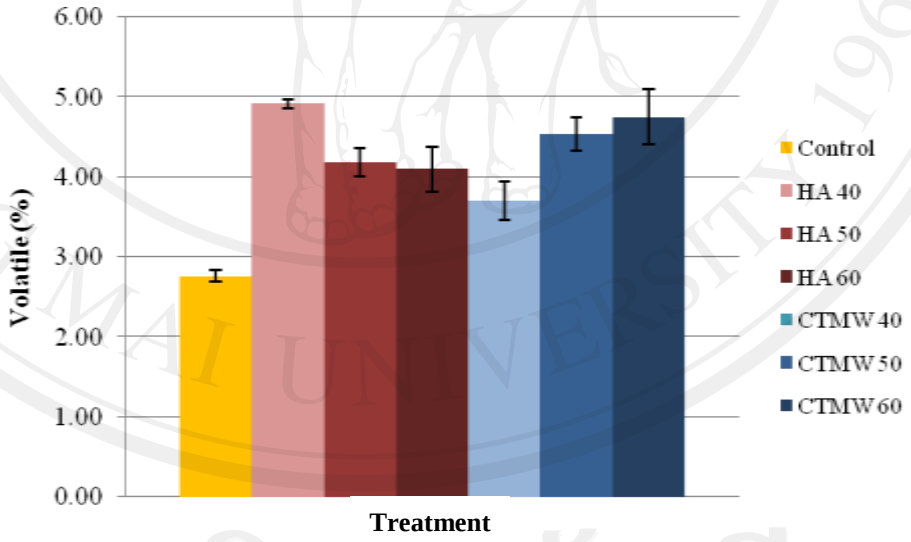
ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนพบว่า การใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถสกัดสารเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนได้มากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อนดังภาพที่ 4.20 เนื่องจากรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกทำให้ความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าเทคนิคแบบลมร้อน มีผลทำให้ปริมาณเบตา-แคโรทีนสลายตัวน้อยกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อนที่ใช้เวลาในการลดความชื้นนานกว่า ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Abassy *et al*. (2010) เกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบลมร้อนกับน้ำมันมะกอก นอกจากนี้สารเบตา-แคโรทีนยังเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันซึ่งมีผลให้น้ำมันสามารถคงคุณภาพได้นานขึ้นอีกด้วย (จริงแท้, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6.6 ผลการศึกษาปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันทั้งหมดบ่งชี้ถึงปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมัน ซึ่งอาจเป็นน้ำมันหอมระเหยหรือองค์ประกอบต่างๆ ที่สามารถระเหยได้ (Fellows, 2000) ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคและระดับของอุณหภูมิในการลดความชื้น ส่งผลให้ปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ค. 20 จากภาพที่ 4.21 พบว่า การให้ความร้อนกับเมล็ดงาขี้ม้อนด้วย HA 40 มีปริมาณสารที่ระเหยได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 4.92±0.06 ตามด้วย CTMW 60, CTMW 50, HA 50, HA 60 และ CTMW 40 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 4.75±0.34, 4.54±0.21, 4.19±0.18, 4.10±0.28 และ 3.70±0.24 ตามลำดับ

ทั้งนี้ Onyeike and Oguike (2003) ได้กล่าวว่า เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน สารเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ สุดท้ายได้เป็นสารพวกแอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน กรดคาร์บอกซิลิก และแอลกอฮอล์ ซึ่งบางชนิดรวมกันเป็นสารโพลาร์ โดยสารเหล่านี้มีกลิ่นหืนและระเหยได้ง่าย ทั้งนี้อาจจะมีสารอื่นๆ อีก เช่น ไดเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์ และสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน เป็นต้น



ภาพที่ 4.21 ผลการศึกษาปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลทำให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีเปอร์เซ็นต์สารที่ระเหยได้ โดยมากอยู่ในรูปน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับ Famurewa *et al.* (2011) ที่ศึกษาการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์กับน้ำมันในกระเทียม และยังสัมพันธ์กับค่าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงขึ้นระหว่างการลดความชื้น ทั้งนี้ Chokeprasert *et al.* (2006) ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อธิบายว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลให้สารในกลุ่มของไพราซีน ไทอะโซล แอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์บางตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการรวมตัวของสารที่ระเหยได้ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการลดความชื้นเมล็ดพืชน้ำมัน แต่อุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการสลายตัวของสารที่ระเหยได้บางตัว เช่น monoalkylpyrazine, 4,5-dimethylisothiazol, 2-propyl-4-methythiazole และ 2-butyl-5-methylthiazole แต่ก็มีสารที่ระเหยได้ตัวอื่นเพิ่มขึ้น เช่น hexanal, (E)-2-heptenal และ(E, E)-2,4-decadienal รวมถึง guaiacol และ 2-furanmethanethiol ที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่สูงกว่ากลุ่มที่ลดลง ทั้งนี้เป็นผลให้มีปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นในระดับอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อนำมากสกัดน้ำมันแล้ว ส่งผลให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้มีค่าสารที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น

ผลของเทคนิคการให้ความร้อน พบว่าเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกยังส่งผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันมากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน แต่ด้วยระยะเวลาในการลดความชื้นที่เร็วกว่าเทคนิคแบบลมร้อน จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สารที่ระเหยได้ใกล้เคียงกับน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่เมล็ดผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิคลมร้อน และตรงกับการศึกษาของ Adi and Otten (1996) ที่ศึกษาถึงผลของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับเมล็ดถั่วขาว

4.6.7 สรุปผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ตารางที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่าเทคนิคของการให้ความร้อน 2 เทคนิคและระดับอุณหภูมิในการลดความชื้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ในแต่ละเทคนิคมีผลต่อค่าของกรดค่าซาปอนนิฟิเคชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน ปริมาณเบตา-แคโรทีน และเปอร์เซ็นต์สารที่ระเหยได้ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเทคนิคและอุณหภูมิรวมถึงเวลาในการให้ความร้อนกับเมล็ดงาขี้ม้อนส่งผลให้น้ำมันภายในเมล็ดงาขี้ม้อนเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิส ออกซิเดชัน โพลาไรเซชัน ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Serjouie *et al.* (2010) และ Rocha *et al.* (2011) ที่ได้ให้ความร้อนกับน้ำมันจาก *Mikania glometa* และน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ทั้งนี้นิธิยา (2548), Shahidi (2006) และ Soetaredjo *et al.* (2008) กล่าวว่า จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้โมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโน-เอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ส่งผลให้สมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

หัวข้อวิเคราะห์	หน่วยทดลอง						
	control	HA 40	HA 50	HA 60	CTMW 40	CTMW 50	CTMW 60
ค่าของกรด (mgNaOH/g)	2.34^{e} ±0.08	2.40^{de} ±0.12	2.61^{a} ±0.10	2.52^{bc} ±0.11	2.46^{cd} ±0.11	2.55^{ab} ±0.10	2.61^{a} ±0.09
ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (mgKOH/g)	171.89^{d} ±3.58	180.15^{c} ±2.23	195.54^{a} ±1.67	173.51^{d} ±3.41	181.66^{c} ±2.84	173.73^{d} ±3.79	193.18^{d} ±2.59
ค่าเปอร์ออกไซด์ ($Meq.O_2/kg$)	2.62^{d} ±0.35	3.21^{c} ±0.36	3.81^{a} ±0.30	3.06^{c} ±0.37	3.24^{bc} ±0.25	3.47^{b} ±0.37	3.71^{a} ±0.31
ค่าไอโอดีน	212.69^{a} ±2.20	202.61^{c} ±2.67	207.90^{b} ±3.22	204.45^{c} ±3.36	206.89^{b} ±2.85	206.68^{b} ±1.88	207.43^{b} ±1.35
เบตา-แคโรทีน (ppm)	0.263^{b} ±0.35	0.276^{ab} ±0.26	0.283^{ab} ±0.28	0.301^{ab} ±0.18	0.324^{a} ±0.21	0.312^{ab} ±0.37	0.304^{ab} ±0.16
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (%)	2.76^{f} ±0.07	4.92^{a} ±0.06	4.19^{c} ±0.18	4.10^{d} ±0.28	3.70^{e} ±0.24	4.54^{c} ±0.21	4.75^{b} ±0.34

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงในตารางค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Dancan

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7 สรุปผลการศึกษาเทคนิค อุณหภูมิ และระยะเวลาในการลดความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อน รวมถึงปริมาณ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน

ผลการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการให้ความร้อนกับเมล็ดงาขี้ม้อน โดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อนด้วยเครื่องอบลมร้อน สรุปได้ว่าเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก สามารถลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อนด้วยเวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าเทคนิคแบบลมร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการลดความชื้นด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลน้ำเร็วกว่าเทคนิคแบบลมร้อน และจากการลดความชื้นที่รวดเร็วจึงมีผลทำให้การให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบไดอิเล็กทริกให้สมบัติทางกายภาพด้านสีของเมล็ดงาขี้ม้อนใกล้เคียงกับเมล็ดงาขี้ม้อนในกลุ่มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งนี้เนื่องจาก การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถลดความชื้นในเมล็ดงาขี้ม้อนได้เร็วกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน ดังนั้นจึงรักษาการเสื่อมสภาพของสารสีได้มากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน เมื่อนำเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นมาสกัดน้ำมันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นมีผลทำให้น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาขี้ม้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ถูกทำลายด้วยความร้อน จึงสกัดน้ำมันได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนได้มากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะความแตกต่างของความดันไอระหว่างผิวและภายในของเมล็ดงาขี้ม้อนสูง ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลของน้ำอย่างรวดเร็ว มีผลให้โครงสร้างเซลล์เสียหายมากกว่าการให้ความร้อนด้วยเทคนิคแบบลมร้อน จึงทำให้สามารถสกัดน้ำมันได้มากกว่าเทคนิคแบบลมร้อน

การใช้เทคนิคและระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลทำให้น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเสื่อมสภาพ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ แต่การเสื่อมสภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญ 3 ปฏิกิริยา ได้แก่

1) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดจากน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ โม-โนเอซิลกลีเซอรอลและไดเอซิลกลีเซอรอล

2) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดสารประกอบไม่พึงประสงค์ เช่น สารพวกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โมโนเมอร์ ไดเมอร์ พอลิเมอร์ ไซคลิกไดเมอร์ คาร์บอนิล แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เกิดการจับตัวของโมเลกุลของน้ำมันที่อุณหภูมิสูง เกิดเป็นพอลิเมอร์ของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อเป็นสายโมเลกุลของขนาดสั้นยาวต่างๆ เช่น สารไดเมอร์ สารโอลิโกเมอร์ หรือสารพอลิเมอร์ชนิดมีขั้ว

ปฏิกิริยาข้างต้น มีผลทำให้สมบัติทางเคมีน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าของกรด ค่าซาปอนนิฟิเคชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณเบตา-แคโรทีน และปริมาณสารที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น แต่ค่าไอโอดีนลดลง ทั้งนี้ยังรวมถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น และรสชาติของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟต่ำลง น้ำมันมีความหนืดมากขึ้น น้ำมันหรือไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว หากเกิดการแตกตัวจะได้เป็นสารประกอบโพลาร์ ซึ่งมีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนเอซิลกลีเซอรอล และไดเอซิลกลีเซอรอล แม้สารประกอบดังกล่าวไม่มีอันตรายต่อร่างกาย แต่สารกลุ่มนี้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ และส่งผลให้น้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารเสื่อมสภาพลงเรื่อยๆ Ho and Hartman (1993) กล่าวว่า การเสื่อมสภาพดังกล่าว กรดไขมันอิสระและไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ถูกออกซิไดซ์ และสเตอรอลออกไซด์ที่สามารถดูดซึมในลำไส้อาจทำให้เกิดการออกซิไดซ์ของไลโปโปรตีนและคอเลสเทอรอล มีผลต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่น เปอร์ออกไซด์ และอีพอกไซด์ แม้เกิดขึ้นปริมาณมากแต่ไม่เสถียรระหว่างการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้นของสารประกอบอื่น เช่น ไดเมอร์ ไตรเมอร์และพอลิเมอร์ของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ และไม่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ จึงทำให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลง ส่วนไซคลิกโมโนเมอร์ของกรดไขมันหรือไตรเอซิลกลีเซอรอลซึ่งเกิดจากการสร้างเป็นโมเลกุลแบบวงแหวนของโมเลกุลกรดไขมันระหว่างการทอดอาหารมีโมเลกุลเล็กกว่า จึงสามารถดูดซึมและสะสมซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved