บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของใบบัวบกสด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของใบ บัวบกสด ตาราง 4.1 พบว่าใบบัวบกมีสีเขียวอมเหลือง โดยถือว่าเป็นสีเขียวของคลอโรฟิลล์ และสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ มีค่าความชื้นเท่ากับ 89.43% ซึ่งใบบัวบกโดยทั่วไปมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 87.7% (Wongfhun *et al*., 2009) หรือเท่ากับ 69% (Sheela *et al*., 2004) ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.97 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.94 แสดงว่าเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ จุลินทรีย์ก่อโรคสามารถเจริญได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ต่ำ เท่ากับ1.50^{o}Brix พบปริมาณสารสำคัญอะเซียติโคไซด์ เท่ากับ 8.78 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใน Schaneberg *et al.* (1998) พบปริมาณ triterpenoid ทั้งหมดของใบบัวบกสดจาก Frontier (Norway, IA, USA) มีมากถึง 4.24% ส่วน Pharmacopoeia (1998) พบปริมาณ triterpenoid ทั้งหมดของใบบัวบกสูงกว่า 6% และใน Zainol *et al.* (2008) พบว่าในใบบัวบกสดมีปริมาณของ อะเซียติโคไซด์ สูงที่สุด โดยพบในใบมากกว่าลำต้น และยังมีลักษณะคล้ายกับผลการศึกษาของ Zainol *et al.* (2003) รายงานว่าส่วนของใบบัวบกมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ซึ่งจากการศึกษานี้สารที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน คือ สาร อะเซียติโคไซด์ แต่ตรงกันข้ามกับการทดลองของ Hamid *et al.* (2002) รายงานว่าส่วนรากของใบบัวบกมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าใบหรือลำต้น ทั้งนี้อาจขึ้นกับสายพันธ์ ความแตกต่างของวิธีการวิเคราะห์ หรือผลของสารประกอบอื่นๆ ที่ทำปฏิกิริยากัน จากการทดลองนี้ใบบัวบกสดพบเพียง ปริมาณอะเซียติโคไซด์ แต่ในงานวิจัยของ Kim *et al.* (2008) สามารถตรวจพบทั้งกรดอะเซียติก และอะเซียติโคไซด์ เท่ากับ 7.8 และ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม พบปริมาณวิตามินซี สารประกอบแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด พบเท่ากับ 0.04, 9.81, และ 5.85 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยของ Wongfhun *et al.* (2009) จะพบปริมาณวิตามินซีในใบบัวบกสดถึง 0.48 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วน สารประกอบแคโรทีนอยด์ พบเพียง 2,649 ไมโครกรัมต่อกรัม ด้านสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบเท่ากับ 98.19 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Zainol *et al.* (2002) พบว่าปริมาณ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในใบบัวบกอยู่ในช่วง 81.3-117.0 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วน Fezah *et al.* (2000) รายงานว่าใบบัวบกสดมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงถึง 230 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ Velioglu *et al.* (1998) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลไม้ เมล็ดธัญพืช และผัก เท่ากับ 2.13–106.0 มิลลิกรัมต่อกรัม จากตาราง 4.1 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเป็นองค์ประกอบหลักในสารต้านออกซิเดชันของบัวบกเนื่องจากมีมากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยที่อาจลดปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในบัวบกได้แก่ เอนไซม์, ความร้อน, พีเอช, พันธุ์ของบัวบก และส่วนต่างๆของบัวบก (ราก, ใบ, ก้าน) เป็นต้น (Humid *et al.,* 2002) นอกจากนี้ วรพัสย์ และนราพร (2008) รายงานถึงใบชาเบ็ญจขันธ์สด โดยพบว่ามีปริมาณเคทีซีน (catechin) ทั้งหมดเท่ากับ 5.15±0.22 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งประกอบด้วย epigallocatechin (EGC) ในปริมาณมากที่สุด คิดเป็น 47.8 % เคทีซีนทั้งหมด โดยสารดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่าใบบัวบกมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 4.41±0.09 log CFU/g ส่วนปริมาณยีสต์และรา เท่ากับ 2.25±0.02 log CFU/g ตรวจพบเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 3 MPN/g แต่ตรวจไม่พบ *Escherichia coli* หรือพบน้อยกว่า 3 MPN/g ทั้งนี้ใบบัวบกจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำจึงทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคสามารถเจริญได้ ซึ่งโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ตรวจพบนั้น อาจมีการปนเปื้อนจากน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดใบบัวบก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของใบบัวบกสด

ค่าตรวจวัด		ปริมาณ
คุณภาพทางกายภาพ	ค่าสี L	50.22±0.35
	ค่าสี *a**	-12.20±0.19
	ค่าสี *b**	29.32±0.85
	ปริมาณความชื้น (moisture content; %)	89.43 ± 0.26
	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity; a_w)	0.97 ± 0.00
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.94 ± 0.04
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	1.50 ± 0.50
คุณภาพทางเคมี	ปริมาณอะเซียติโคไซด์ (mg/g dry basis)	8.78±0.18
	ปริมาณวิตามินซี (mg/g dry basis)	0.04±0.01
	ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ (mg BCE/g dry basis)	9.81±0.23
	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g dry basis)	0.58±0.19
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/g dry basis)	82.58 ±1.24
คุณภาพทางจุลชีววิทยา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	4.41±0.09
	ปริมาณยีสต์และรา (log CFU/g)	2.25±0.02
	ปริมาณโคลิฟอร์ม(MPN/g)	3
	ปริมาณ *E. coli* (MPN/g)	<3

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

GAE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

BCE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การผลิตชาใบบัวบกด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

นำใบบัวบกมาล้าง ทำความสะอาด ทำแห้งจนได้ค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8โดยน้ำหนัก (มผช., 2549) ศึกษาหาระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสม โดยผันแปรช่วงอุณหภูมิของลม 5 ระดับ

คือ 30-40, 30-50, 30-60, 40-50 และ 40-60 °ซ จากนั้นบดใบบัวบกแห้งให้ละเอียด ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของใบชาใบบัวบกแห้ง มีผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งชาใบบัวบกด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

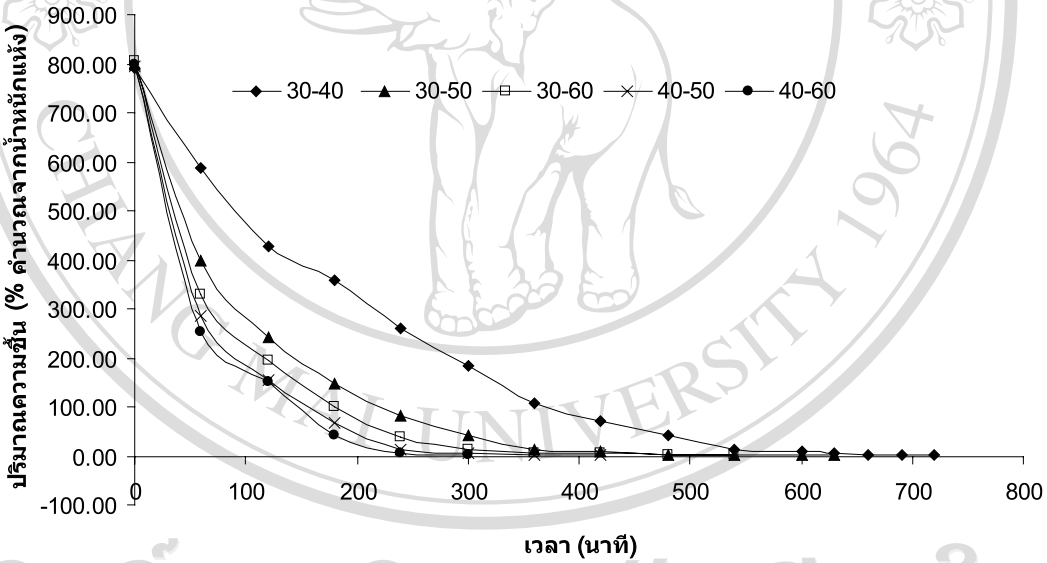
จากการศึกษาการทำแห้งชาใบบัวบก (ความชื้นเริ่มต้น 89.43 ± 0.26 %) อบที่ช่วงอุณหภูมิของลม 5 ระดับ คือ 30-40, 30-50, 30-60, 40-50 และ 40-60 °ซ โดยในระหว่างการทำแห้งได้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นและสร้างกราฟการอบแห้งดังรูป 4.1 และกราฟอัตราการอบแห้งดังรูป 4.2

รูป 4.1 แสดงการอบแห้งใบบัวบกด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบ 30-40 , 30-50, 30-60, 40-50 และ 40-60 °ซ จะต้องใช้เวลาอบ 12 , 10.5, 9, 7 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วง 5.22-6.32% ทั้งนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40 °ซ) ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 600 นาที ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นต้องใช้เวลาอบอย่างต่ำ 300 – 350 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้กราฟการอบแห้ง (drying curve) มีความชันเพิ่มขึ้น แสดงถึงอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นด้วยดังรูป 4.2 โดยในงานวิจัย Pal *et al*. (2008) อบแห้งพริกหวานด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 30 35 และ 40 °ซ เปรียบเทียบกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 °ซ พบว่าเวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30 จนถึง 45 °ซ ซึ่งปริมาณความชื้นมีการลดลงแบบ exponential ตามระยะเวลาของการอบแห้ง โดยพริกหวานเขียวแผ่นบางที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนที่ 30 °ซ จะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ 36 ชั่วโมง ที่ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง เหลือ 10.96 % (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ แบบลมร้อนอุณหภูมิ 45 °ซ ใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 17 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 1452.8 % น้ำหนักแห้ง ลดลงเหลือ 10.49 % น้ำหนักแห้ง

รูป 4.2 แสดง อัตราการลดลงของความชื้น ในชาใบบัวบกด้วย ปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งลดลงแบบเชิงเส้น และมีความชันสูงสุด ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำสุดจะมีการลดลงของความชื้นน้อยที่สุดหรือมีความชันต่ำสุด ทั้งนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40 °ซ) อัตราการระเหยของน้ำจะค่อยเป็นค่อยไป สามารถเห็นได้ตามทฤษฎี ส่วนการใช้อุณหภูมิสูง อัตราการลดลงของความชื้นเร็วเกินไปจึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลง โดยจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งอาหารโดยทั่วไปสามารถแบ่งช่วงออกได้เป็น 4 ช่วงคือ 1. ช่วงเริ่มต้นของการให้ความร้อนแก่ชิ้นอาหาร 2. ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant-drying rate) ปริมาณความชื้นเริ่มลดลง แต่อัตราการทำแห้งยังคงที่ 3. อัตราการทำแห้งลดลงช่วงแรก (first falling-drying rate) โดยปริมาณน้ำในอาหารเริ่มลดลง ส่งผล

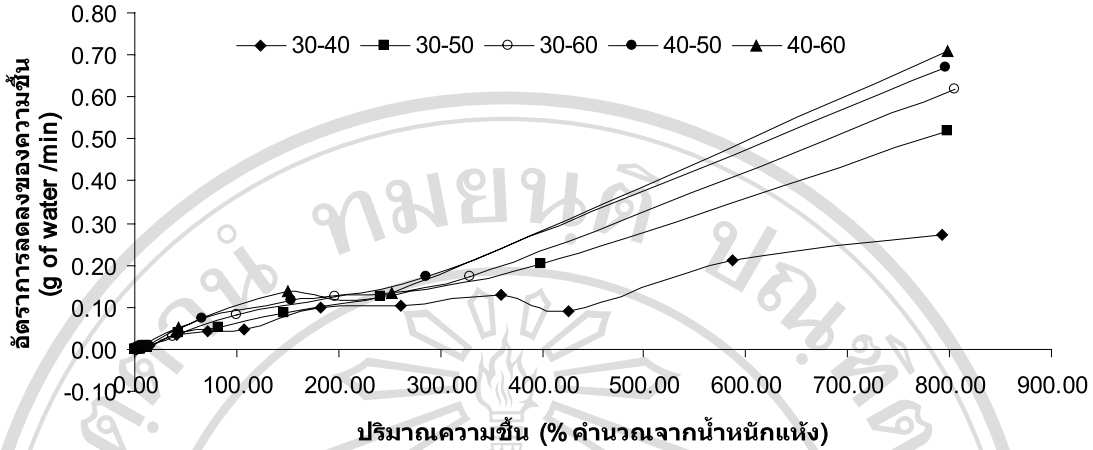
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้อัตราการทำแห้งเริ่มลดลง โดยอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในไปสู่ผิว ช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวออกไปสู่อากาศ ซึ่งอัตราการดึงน้ำออกช่วงนี้จะช้ากว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ 4. อัตราการทำแห้งลดลงช่วงที่สอง (Secondary falling-drying rate) ทำให้อัตราการดึงน้ำออกช่วงนี้ช้ามาก จนไม่มีการลดลงของปริมาณความชื้น จึงถือว่ากระบวนการอบแห้งจะสิ้นสุดลง (Rahman and Perera, 2007) นอกจากนี้ Pal *et al*. (2008) อบแห้งพริกหวานด้วยปั๊มความร้อนเปรียบเทียบกับ ลมร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °ซ ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 ° เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน จะมีการลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้ต่ำลงก่อน ทำให้ในช่วงหลังของการอบแห้งพริกหวานที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °ซ จะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งแบบ ลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 °ซ



รูป 4.1 กราฟการอบแห้งชาใบบัวบกโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.2 กราฟอัตราการลดลงของความชื้นในชาใบบัวบกโดยใช้ปั้มความร้อนร่วมกับรังสี-อัลตราไวโอเลต

4.2.2 คุณภาพทางเคมีของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

นำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มาบดด้วยเครื่องบดผสม (blender) และนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาได้ผล การทดลอง ดังนี้

จากตาราง 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง ชาใบบัวบกด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสี-อัลตราไวโอเลต ต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยเปรียบเทียบคุณภาพดังกล่าวกับใบบัวบกสด พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งชาใบบัวบก 5 ระดับ มีผลต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณา ปริมาณสารอะเซียติโคไซด์ ที่เหลือ พบว่า ชาใบบัวบก ที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-40°ซ มีปริมาณสารอะเซียติโคไซด์ คงเหลือมากที่สุด คือ 5.46 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนชาใบบัวบกที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-60°ซ มีปริมาณสาร อะเซียติโคไซด์ คงเหลือน้อยที่สุด คือ 1.10 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สาร อะเซียติโคไซด์ ไม่คงตัวต่อความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการอบแห้ง การใช้อุณหภูมิสูงเวลานาน (9 ชั่วโมง) ทำให้สารอะเซียติโคไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โครมาโตแกรมของ ปริมาณสาร อะเซียติโคไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(asiaticoside) ในชาใบบัวบกที่อบแห้ง ด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

เมื่อพิจารณาปริมาณวิตามินซีที่เหลือ พบว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 30-40, 30-50, 30-60, 40-50 และ 40-60 °ซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้ง 5 ระดับ แสดงว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับใบบัวบกสดพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยชาใบบัวบกเมื่อผ่านการอบแห้งปริมาณวิตามินซีคงเหลือ 70% (ตาราง 4.6) เพราะวิตามินซีเป็นสารรีดิซิงเอเจนต์อย่างแรง ไม่เสถียร และสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน จาก Pal *et al*. (2009) อบแห้งพริกหวานด้วยปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 °ซ พบว่ามีปริมาณวิตามินซีคงเหลือ 312, 337 และ 294 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบลมร้อน อบที่อุณหภูมิ 45 °ซ มีปริมาณวิตามินซีเพียง 238 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่พริกหวานที่อบแห้งทั้งสองวิธีนี้จะมีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าพริกหวานสดโดยพริกหวานสดมีสูงถึง 1060 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้) งานวิจัยดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้นโดยใบบัวบกเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตจะมีปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเทียบกับใบบัวบกสด ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการอบแห้งอาจ เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่น ขึ้นส่งผลต่อ การลดลงของวิตามินซีทั้งหมด นอกจากนี้ กุลยา (2540) อบแห้งคะน้าและแครอทด้วยปั้มความร้อนร่วมกับลมร้อนเปรียบเทียบกับของสด พบว่าผักคะน้าเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับลมร้อน ปริมาณวิตามินซีคงเหลือเพียง 77 และ 69 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผักคะน้าเมื่ออบแห้งด้วยปั้มความร้อนปริมาณวิตามินซีที่เหลือใกล้เคียงกับของสดมากกว่าลมร้อน (85.5 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) แครอทมีผลเช่นเดียวกับคะน้า

เมื่อพิจารณาปริมาณ สารประกอบแคโรทีนอยด์ ที่เหลือ พบว่าชาใบบัวบก ที่อบแห้งอุณหภูมิ 40-50°ซ มีปริมาณ สารประกอบแคโรทีนอยด์ คงเหลือมากที่สุด คือ 7.06 มิลลิกรัมของเบต้าแคโรทีนต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนชาใบบัวบกที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-60 และ 40-60°ซ มีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์คงเหลืออยู่น้อยที่สุด คือ 6.04 และ 6.05 มิลลิกรัมของเบต้า-แคโรทีนต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใบบัวบกสด แสดงให้เห็นว่าสารประกอบแคโรทีนอยด์ถูกสลายไปในระหว่างผ่านกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการสลายตัวของสารประกอบแคโรทีนอยด์มีความสัมพันธ์ต่อค่าสี a^* และ b^* (ตาราง 4.3) ดังนั้นความร้อนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบแคโรทีนอยด์ ซึ่งจาก (อรุณี, 2552) พบว่าสารประกอบแคโรทีนอยด์จะมีความคงตัวต่อความร้อนปานกลาง เกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สลายตัวเนื่องจากเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลได้ง่ายและเกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์ (isomerization) จากทรานส์ (tran) ไปเป็นซีส (cis)ได้ เนื่องมาจาก ความร้อน กรด และแสงมีผลทำให้สีของแคโรทีนอยด์ซีดลงได้

เมื่อพิจารณาปริมาณ คลอโรฟิลล์ทั้งหมด ที่เหลือ พบว่าชาใบบัวบก ที่อบแห้งอุณหภูมิ 40-50°ซ มีปริมาณ คลอโรฟิลล์ทั้งหมด คงเหลืออยู่มากที่สุด คือ 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนชาใบบัวบก ที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-60 และ 40-60°ซ มีปริมาณ คลอโรฟิลล์ทั้งหมดคงเหลืออยู่น้อยที่สุด คือ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเมื่อผ่านการอบแห้ง ด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.26 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับบัวบกสด แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ปกติไม่เสถียรเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มปนเหลืองได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินได้ (อรุณี, 2552) ทั้งนี้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้น จะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูญเสียไปน้อยที่สุด นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของคลอโรฟิลล์จะส่งผลต่อสีของคลอโรฟิลล์ในอาหาร โดยจากผลการทดลองเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง 40-60 °ซ มีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูญเสีย และมีผลต่อค่าความเป็นสีเขียว โดยค่าความเป็นสีเขียวจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังเช่น Pal *et al.* (2009) รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในพริกหวานอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 °ซ จะมีสูงกว่าพริกหวาน อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 °ซ เท่ากับ 96, 93, 89 และ 86 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่พริกหวานอบแห้งทั้งสองวิธีจะยังคงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยกว่าพริกหวานสด โดยพริกหวานสดมีค่า 103 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลิตภัณฑ์อบแห้งสุดท้ายมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากความไวต่ออุณหภูมิของรงควัตถุสีเขียว

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่เหลือ พบว่า ชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ 40-50 °ซ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลือมากที่สุด เท่ากับ 40.21 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนชาใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30-60 และ 40-60°ซ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลือน้อยที่สุด คือ 10.46 และ 11.31 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ โดยทั่วไปกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจะสลายตัวได้มากกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ระยะเวลาก็อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสารดังกล่าวด้วย แต่ตรงกันข้ามกับ Toil and Joubert (1998) รายงานว่าการทำแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 ถึง 70 °ซ ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด นอกจากนี้ในงานวิจัยของ กุลยา (2540) รายงานว่าผักคะน้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนปริมาณแทนนินลดลงเหลือเพียง 0.26 และ 0.22% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าใกล้เคียงของสดมากกว่า (0.30%) ส่วนการทำแห้งแครอททั้งสองวิธีข้างต้นปริมาณแทนนินลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p>0.05) คือ 0.08% จากแครอทสด (0.17%) ทั้งนี้โดยทั่วไป ผักจะมีส่วนประกอบของน้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นองค์ประกอบซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้ง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงในระหว่างการอบแห้ง ทำให้อาหารมีคุณภาพลดลง (Sokhansanj and Jayas, 1987) ดังนั้นบัวบกที่ผ่านการอบแห้งจึงมีคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าบัวบกสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางเคมีของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

คุณภาพทางเคมี (mg/g dry basis)	30-40°ซ (12 ชม.)	30-50°ซ (10.5 ชม.)	30-60°ซ (9 ชม.)	40-50°ซ (7 ชม.)	40-60°ซ (5 ชม.)
อะเซียติโคไซด์	$5.46^{a} \pm 0.43$	$2.75^{c} \pm 0.49$	$1.10^{e} \pm 0.12$	$4.15^{b} \pm 0.31$	$1.98^{d} \pm 0.21$
ปริมาณวิตามินซี	$0.019^{b} \pm 0.01$	$0.018^{b} \pm 0.01$	$0.013^{c} \pm 0.02$	$0.028^{a} \pm 0.01$	$0.012^{c} \pm 0.01$
สารประกอบแคโรทีนอยด์[1]	$6.62^{b} \pm 0.02$	$6.46^{b} \pm 0.03$	$6.04^{c} \pm 0.03$	$7.06^{a} \pm 0.25$	$6.05^{c} \pm 0.26$
คลอโรฟิลล์ทั้งหมด	$0.22^{b} \pm 0.00$	$0.21^{c} \pm 0.00$	$0.17^{d} \pm 0.00$	$0.26^{a} \pm 0.00$	$0.17^{d} \pm 0.00$
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด[2]	$36.07^{b} \pm 3.01$	$16.35^{c} \pm 2.05$	$10.49^{d} \pm 0.11$	$40.21^{a} \pm 2.29$	$11.31^{d} \pm 1.17$

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวนอน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95

ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[1]BCE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

[1]GAE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 คุณภาพทางกายภาพของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

จาก ตาราง 4.3 แสดงผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง ด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสี - อัลตราไวโอเลต ต่อค่าสีของชาใบบัวบก พบว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a^* b^* ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และค่าความชื้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 30-40 และ 40-50 °ซ มีค่าสี L (ความสว่าง) มากที่สุด และมีค่าสี a^* และ b^* สูงขึ้นด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเขียวที่เข้ม ส่วนระดับอุณหภูมิอื่น (30-50, 30-60 และ 40-60) °ซ ค่าสี L (ความสว่าง) จะลดลง รวมถึง ค่าสี a^* และ b^* ลดลงด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเขียวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับใบบัวบกสด พบว่าการอบแห้ง ด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ส่งผลให้มีค่าสี L (ความสว่าง) เพิ่มขึ้น ค่าสี a*(สีเขียว) และค่าสี b* (สีเหลือง) ลดลง ทั้งนี้การอบแห้งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนแสงของแสงสี มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและการออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง โดยปกติการแปรรูปด้วยความร้อนจะทำให้สีดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป Venkatesh (2002) อบแห้งแอปเปิลเปรียบเทียบระหว่างปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 และ 65 °ซ พบว่าการเปลี่ยนแปลงด้านสี L a^* b^* ของแอปเปิลอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุด คือ สีของวัตถุดิบคล้ายคลึงกับของสดมากกว่าลมร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนจะมีคุณภาพที่ดีกว่าลมร้อน รวมถึงโครงสร้างผนังเซลล์ของแอปเปิลจะถูกทำลายน้อยกว่า นอกจากนี้ Hawlader *et al.* (2006) อบแห้งฝรั่งและมะละกอด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับ การดัดแปรบรรยากาศ (ก๊าซไนโตรเจน/คาร์บอนไดออกไซด์) พบว่า ค่าสีทั้งหมด (CE) ของฝรั่งและมะละกออบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยกว่าการใช้ลมร้อนปกติ ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงก็จะมีการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่า ดังเช่น Harbourne *et al.* (2009) อบแห้งดอก Meadowsweet และดอก Willow ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 30 °ซ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่อุณหภูมิสูงเกิดมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ คือ Meadowsweet อบแห้งที่อุณหภูมิ 30°ซ มีค่า L H° Chroma เท่ากับ 48, 32 และ 9 แต่เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ ค่า L H° Chroma ลดลงเหลือ 46.8, 25 และ 6 ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ Willow อบแห้งได้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี โดยมีผลไปสลายตัวสารที่มีสีในผลิตภัณฑ์เช่นกลุ่มคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ หรือกลุ่มฟลาโวนอยด์ต่างๆด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และความชื้นของชาใบบัวบกที่อบแห้งอุณหภูมิ 5 ระดับ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.36-0.38 ซึ่งชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 30-40 และ 30-50 °ซ มีค่ากิจกรรมของน้ำมากที่สุด ส่วนชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 30-60 °ซ มีค่ากิจกรรมของน้ำน้อยที่สุด โดยค่า a_w มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารแห้ง เนื่องจากเป็นตัวกำหนดทั้งอัตราของปฏิกิริยาเคมีและกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ ค่า a_w ที่จำกัดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ อยู่ที่ประมาณ 0.6 หากค่า a_w ต่ำกว่าค่านี้การเน่าเสียของอาหารมักเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์และทางเคมีเช่น การเกิดออกซิเดชั่น (Adams and Moss, 1995) อัตราการเกิดออกซิเดชั่นอาจเพิ่มขึ้นถ้าปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำสามารถเพิ่มการเคลื่อนที่ของสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ ส่วนค่าความชื้นของชาใบบัวบก ด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับค่ากิจกรรมของน้ำ(a_w) กล่าวคือ อุณหภูมิของลม 5 ระดับ มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.22-6.32 % ซึ่งค่าความชื้นที่ได้ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก (มผช.120/2549) โดยความชื้นที่ได้ใกล้เคียงกับการทดลองของ Zainol *et al.* (2009) ที่นำบัวบกมาอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าจะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.0-5.2%

ตาราง 4.3 คุณภาพทางกายภาพของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

อุณหภูมิอบ (°ซ)	L	*a**	*b**	ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	ความชื้น (%)
30 - 40	58.94^{a} ±0.19	-6.74^{d} ±0.09	19.30^{a} ±0.07	0.38^{a} ±0.03	6.19^{a} ±0.37
30 - 50	55.83^{b} ±0.11	-5.44^{c} ±0.01	16.63^{b} ±0.19	0.38^{a} ±0.02	6.32^{a} ±0.19
30 - 60	52.31^{d} ±0.19	-3.68^{a} ±0.08	14.06^{d} ±0.09	0.37^{c} ±0.02	5.22^{c} ±0.34
40 - 50	59.09^{a} ±0.07	-6.77^{d} ±0.04	19.51^{a} ±0.11	0.36^{b} ±0.02	5.72^{b} ±0.26
40 - 60	52.87^{c} ±0.29	-3.81^{b} ±0.08	14.68^{c} ±0.29	0.36^{b} ±0.01	5.71^{b} ±0.48

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95
ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของชาใบบัวบกด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลชีววิทยา ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชาใบบัวบกด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ต่อปริมาณเชื้อจุลิ นทรีย์ทั้งหมด พบว่าชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 3.30 , 3.32 ,3.34 , 3.31, 3.33 log CFU/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณยีสต์และราพบน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนชา (มผช .120/2549) นอกจากนี้ตัวอย่างชาใบบัวบก ตรวจไม่พบเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *Escherichia coli* หรือพบน้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะการอบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตดังกล่าว สามารถควบคุมปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Britnell *et al*. (1994) ที่ศึกษาผลของการทำแห้งด้วยปั้มความร้อนถึงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ พบว่าการทำแห้งด้วยปั้มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55 °ซ สามารถควบคุมปริมาณเชื้อที่ก่อโรคได้

ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งชาใบบัวบก ด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ได้แก่ อุณหภูมิ 40 -50°ซ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 5.71 % ซึ่งไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก (มผช., 2549) มีค่า a_w เท่ากับ 0.36 ±0.010 ด้านค่าสีของชาใบบัวบกจะเป็นสีเขียวอมเหลือง โดยยังถือว่ามีส่วนผสมของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์อยู่ ปริมาณอะเซียติโคไซด์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าหน่วยทดลองอื่นเท่ากับ 4.15 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณวิตามินซี สารประกอบแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 0.028, 7.06, 0.26, 40.21 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) สภาวะทำแห้งดังกล่าวมีการใช้ความร้อนสูงระยะเวลาสั้นจึงทำให้สารสำคัญเหล่านี้คงเหลือสูงสุด ด้านจุลชีววิทยาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสภาวะอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการอบแห้งนี้ นำไปศึกษาต่อถึงผลของเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา และศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาชาใบบัวบกระยะเวลานาน 3 เดือน

4.3 การผลิตชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ล้าง ใบบัวบก จนสะอาด อบแห้งจนกระทั่งค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (มผช., 2549) ทั้งนี้ศึกษาหาระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม โดยผันแปรอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 40, 50 และ 60°ซ ได้ผลการทดลองดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

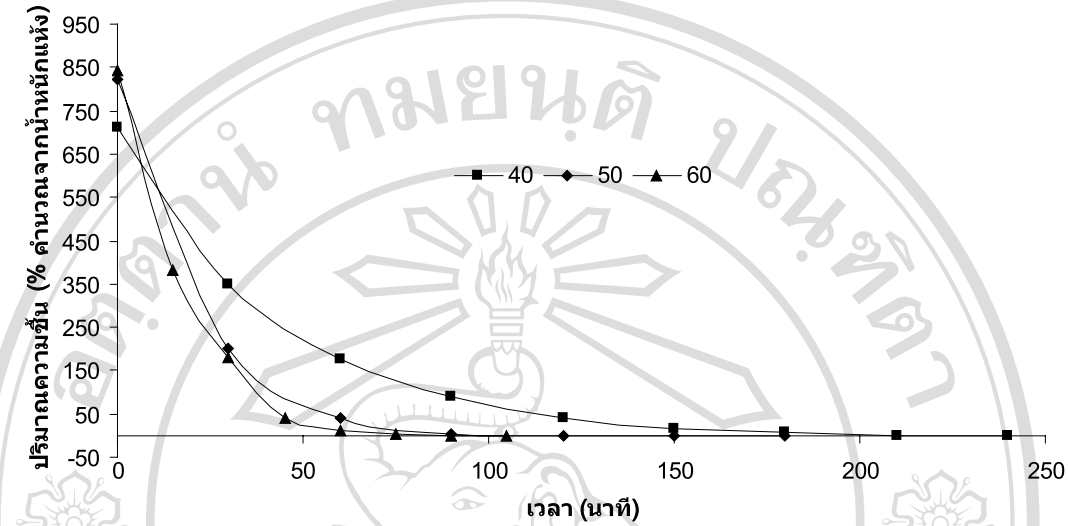
4.3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ศึกษาการอบแห้งชาใบบัวบก (ความชื้นเริ่มต้น 89.43 ± 0.26 %) อบที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 40, 50 และ 60 °ซ ความดัน 70 มิลลิบาร์ ในระหว่างการอบแห้งได้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นแสดงดังภาคผนวก ข และสร้างกราฟการอบแห้งดังรูป 4.3 และกราฟอัตราการอบแห้งดังรูป 4.4

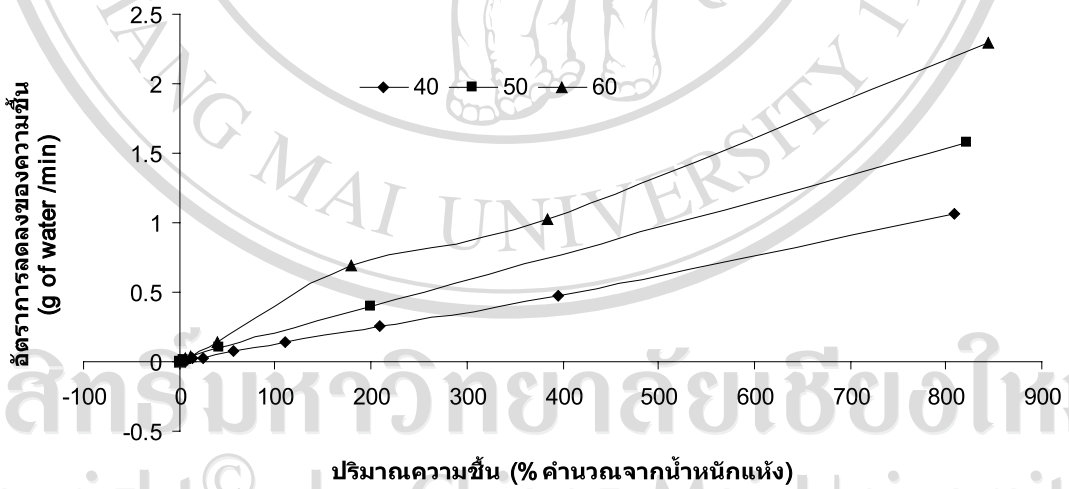
รูป 4.3 แสดงการอบแห้งใบบัวบกด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบ 40 , 50 และ 60°ซ จะต้องใช้เวลาอบ 4, 3 และ 1.40 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วง 4.34-5.74 % ทั้งนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (40 °ซ) ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 150 นาที ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นต้องใช้เวลาอบอย่างต่ำ 60-90 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นค่อนข้างคงที่ ซึ่งการ ระเหยน้ำของระบบอินฟราเรด คือ รังสีจะผ่านทะลุเนื้ออาหารทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ดังนั้นน้ำจึงถูกเปลี่ยนเป็นไอน้ำได้ด้วยอัตราเร็วสูงทำให้ใช้เวลาในการระเหยน้ำจากอาหารน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบเช่น ใช้ปั๊มความร้อน พบว่าวิธีนี้จะรวดเร็วกว่า เพราะน้ำในอาหารจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำและไอน้ำถูกดูดออกทันที จึงส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่า โดย Hebbar *et al.* (2004) อบแห้งแครอทและมันฝรั่ง ด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และลมร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°ซ ความเร็วลม 1 เมตร/วินาที (m/s) สามารถลดเวลาในการอบแห้งลง 48 % และลดการใช้พลังงานลง 63 % เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว หรือให้ผลดีกว่าการใช้รังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว และ Wu *et al.* (2007) อบแห้งมะเขือยาวสีม่วงภายใต้สุญญากาศ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบ 30 , 40 และ 50°ซ ความดัน 2.5 กิโลพาส-คาล ต้องใช้เวลาอบอย่างน้อย 20 ชั่วโมง จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นค่อนข้างคงที่ จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการอบแห้ง พบว่าเวลาลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30-50°ซ ปริมาณความชื้นของ มะเขือยาวสีม่วง ลดลงแบบ ทวีคูณ exponential ตามระยะเวลาของการอบแห้ง

รูป 4.4 แสดง กราฟอัตราการลดลงของความชื้นในชาใบบัวบก ด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการลดลงของความชื้นแบบเชิงเส้นและมีความชันสูงสุด ส่วนการลดลงของความชื้นที่อุณหภูมิต่ำสุดจะมีอัตราการอบแห้งลดลงน้อยที่สุด หรือมีความชันต่ำสุด ดังรายงาน Wu *et al.* (2007) อบแห้งมะเขือยาวสีม่วงภายใต้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิในการอบ 30 , 40 และ 50 °ซ ใช้ความดัน 2.5 กิโลพาสคาล พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °ซ มีอัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วส่วนที่อุณหภูมิ 30 °ซ มีอัตราการอบแห้งลดลงช้าที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.3 กราฟการอบแห้งชาใบบัวบกโดยใช้อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ



รูป 4.4 กราฟอัตราการลดลงของความชื้นในชาใบบัวบกโดยใช้อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 คุณภาพทางเคมีของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

นำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศมาบดด้วยเครื่องบดผสม (blender) และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาได้ผลการทดลองดังนี้

จากตาราง 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิ 3 ระดับในการอบแห้งชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยเปรียบเทียบคุณภาพดังกล่าวกับชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ อบแห้งชาใบบัวบก 3 ระดับ มีผลต่อ ปริมาณ อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณสารประกอบ - ฟีนอลทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ถึงแม้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะใกล้เคียงกับวิธีปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต แต่มีระยะเวลาที่ใช้อบแห้งสั้นมาก ดังนั้นการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จึงมีปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยา ดังกล่าวคงเหลืออยู่มากกว่าเมื่อพิจารณาปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยา ที่เหลืออยู่ทั้งหมด พบว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60°ซ มีปริมาณ สารคงเหลืออยู่มาก กว่าการอบด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า(อุณหภูมิ 40 และ 50 °ซ) แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงและระยะสั้น สามารถถนอมสารออกฤทธิ์ทางชีววิทยาได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ พีระพงษ์ และนัฏฐกันยา (2550) รายงานว่าเ วลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย คือถ้าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพรจะลดลง โครมาโตแกรมของปริมาณ asiaticoside ในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

การรายงานปริมาณวิตามินซีโดย Kutovoye *et al.* (2005) อบแห้งองุ่นภายใต้สุญญากาศ พบว่า พบว่าองุ่นเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 °ซ ความดัน 500 มิลลิเมตรปรอท สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการ วิตามิน และสารที่ระเหยได้มากถึง% 95 ซึ่ง Jayara and Gupta (2007) กล่าวว่าวิธีการอบแห้งแบบ ช้าๆ อาทิเช่นการอบด้วยแสงอาทิตย์ จะเป็นสาเหตุในการเพิ่มการสูญเสียวิตามินซี ดังเช่น การทดลองที่อบแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตจะมีการสูญเสียวิตามินซีเพิ่มขึ้น เพราะมีระยะเวลาการอบแห้งนาน รวมทั้ง Potter (1986) and Francis (1985) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่เสถียรเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มปนเหลืองได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน และ Maharaj and Sankat (1996) อบแห้งใบ *dasheen* ด้วยลมร้อน พบว่าใบ *dasheen* เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่า 60 °ซ ปริมาณคลอโรฟิลล์จะสลายตัว ส่งผลให้สีเขียวของใบ *dasheen* จางลง นอกจากนั้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะเกี่ยวข้องกับค่ากิจกรรมของน้ำด้วย ซึ่งถ้าค่ากิจกรรมของน้ำ สูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่าย แต่หากมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในปฏิกิริยาการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นสารฟีโอไฟตินได้ (นิธิยา , 2545) ซึ่งการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งสองวิธีดังกล่าวจะมีค่ากิจกรรมของน้ำที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่คล้ายคลึงกันด้วย นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดใน Wanyo *et al.* (2009) พบว่าชาใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40 °ซ ความเร็วลม 1.5 m/s ความเข้ม 5 kW/m^2 สารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลือสูงสุด 51.07 มิลลิกรัมของกรดแกลลิคต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 2 kW/m^2 สารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลือน้อยที่สุด 32.84 มิลลิกรัมแกลลิค/กรัม ตัวอย่างแห้ง

ตาราง 4.4 คุณภาพสารที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยาของชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

สารออกฤทธิ์ทางชีววิทยา (mg/g dry basis)น้ำหนักแห้ง	40°ซ (4 ชม.)	50 °ซ (3 ชม.)	60 °ซ (1.40 ชม.)
อะเซียติโคไซด์	6.25 ^{b} ±0.84	6.59 ^{b} ±0.21	7.33 ^{a} ±0.07
ปริมาณวิตามินซี	0.038±0.00	0.036±0.01	0.039±0.01
สารประกอบแคโรทีนอยด์[1]	6.56 ^{c} ±0.02	7.05 ^{a} ±0.25	6.87 ^{b} ±0.27
คลอโรฟิลล์ทั้งหมด	0.20 ^{b} ±0.00	0.26 ^{a} ±0.01	0.24 ^{a} ±0.00
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด[2]	55.76 ^{c} ±4.25	61.27 ^{b} ±9.43	63.82 ^{a} ±6.91

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวนอน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95

ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[1]BCE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

[1]GAE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 คุณภาพทางกายภาพของชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

จาก ตาราง 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศของชาใบบัวบก พบว่า ชาใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L *a** *b** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °ซ มีค่า L (ความสว่าง) และค่าสี *b** (สีเหลือง) มากที่สุด ส่วนชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 60 °ซ มีค่า L (ความสว่าง) น้อยที่สุด แต่พบว่ามีค่าสี *a** (เขียว) มากที่สุด แสดงว่าผลิตภัณฑ์ชาใบบัวบกที่ อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศส่วนใหญ่จะมีสีเขียวอมเหลือง ซึ่งถือว่ามีส่วนผสมของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ทั้งนี้การใช้อุณหภูมิสูง(60 °ซ) ในการอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ลดลง แต่ค่าสี *a**

สูงขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสีเขียวที่เข้ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าสภาวะการอบแห้งที่ 60 °ซ มีระยะเวลาการอบแห้งสั้น ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) จึงมีมากกว่าที่อบอุณหภูมิ 40 และ 50 °ซ เมื่อเปรียบเทียบกับชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตพบว่า ค่าสี L และ b^* มากกว่า ส่วน a^* น้อยกว่า เนื่องจากมีระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่า จึงทำให้สีของชาใบบัวบกมีสีเขียวน้อยกว่า จาก Harbourne *et al.* (2009) อบแห้ง *chamomile flowers* ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูง 80 °ซ พบว่าค่าสี hue และ chroma ต่ำกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ขณะที่ Toit and Joubert (1998) อบแห้ง honeybush tea พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของ honeybush tea ทั้งนี้เนื่องจาก honeybush tea มีสีเข้ม จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ Mongpraneet *et al.* (2002) อบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยรังสีอินฟราเรด พบว่าหอมหัวใหญ่เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีค่าสี L ลดลงมาก (L=33) เมื่อเทียบกับหอมหัวใหญ่สด (L=43) ขณะที่ Krokida *et al.* (1998) อบแห้งแอปเปิ้ล กล้วย แครอท และมันฝรั่งที่ด้วยระบบสุญญากาศและอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อค่าสี (L) ระหว่างการอบแห้ง แต่มีผลต่อค่าสี a* และ b* ส่วน Wanyo *et al.* (2009) อบแห้งชาใบหม่อนด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด พบว่าชาใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40 °ซ ความเข้ม 2-5 kW/m^2 ความเร็วลม 1.5 m/s เวลา 60 นาที สีของชาใบหม่อนจะใกล้เคียงกับของสดกว่าที่อบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา รวมทั้งลักษณะรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นก็จะไม่แตกต่างกับของสดด้วย แต่การอบแห้งด้วยลมร้อนพื้นผิวของชาใบหม่อนจะมีรูพรุนมากกว่า แสดงถึงโครงสร้างของพื้นผิวชาใบหม่อนถูกทำลายมากกว่าด้วย

ด้านค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และความชื้น ของชาใบบัวบกที่อบแห้งอุณหภูมิต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.35 และ 4.34-5.74% ตามลำดับ ซึ่งชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 40 °ซ มีค่ากิจกรรมของน้ำมากที่สุด ส่วนชาใบบัวบกที่ช่วงอุณหภูมิ 60 °ซ มีค่ากิจกรรมของน้ำน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จะมีความคงตัวหากมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.65 และความชื้นต่ำกว่า 8% เมื่อเปรียบเทียบกับชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งค่าความชื้นที่ได้อยู่ในช่วงการทดลองของ Zainol et al. (2009) โดยอบแห้งใบบัวบกจนได้ความชื้น 4.0-5.2%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 คุณภาพทางกายภาพของชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิอบ (°ซ)	L	*a*	*b**	ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	ความชื้น (%)
40	61.38[b] ±0.23	-7.51[a] ±0.03	22.31[c] ±0.03	0.35[a] ±0.00	5.74[a] ±0.36
50	62.33[a] ±0.06	-8.10[b] ±0.08	23.66[a] ±0.02	0.27[b] ±0.00	5.67[a] ±0.22
60	60.32[c] ±0.58	-8.45[c] ±0.15	22.81[b] ±0.57	0.23[c] ±0.00	4.34[b] ±0.50

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95

ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของใบชาแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลชีววิทยา ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชาใบบัวบก ด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าชาใบบัวบกอบที่อุณหภูมิ 40°ซ จะมีปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 3.38 log CFU/g ส่วนชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °ซ มี ปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 3.36 , 3.35 log CFU/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณยีสต์และราของทั้ง 3 หน่วยการทดลอง พบน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนชา (มผช.120/2549) ตรวจไม่พบเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *Escherichia coli* หรือพบน้อยกว่า 3 MPN/g โดยสอดคล้องกับ Britnell *et al*. (1994) ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถควบคุมปริมาณเชื้อที่ก่อโรคได้

ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งชาใบบัวบก ด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ คือที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 1.40 ชั่วโมง เพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำสุด 4.34 ±0.48 % มีค่า a_w เท่ากับ 0.23 ±0.010 ด้านค่าสีของชาใบบัวบกจะเป็นสีเขียวอมเหลือง ปริมาณอะเซียติโคไซด์ คลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 7.33, 0.24, 63.82 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแคโรทีนอยด์อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าหน่วยการทดลองอื่น เท่ากับ 6.87 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนปริมาณวิตามินซีทั้ง 3 สภาวะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้สภาวะอบแห้งดังกล่าวมีการใช้ความร้อนสูงระยะเวลาสั้นจึงทำให้สารสำคัญเหล่านี้คงเหลือสูงสุด ดังนั้น จึงเลือกสภาวะการอบแห้งนี้ใช้ ศึกษาต่อถึงผลของเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา และศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาชาใบบัวบกระยะเวลานาน 3 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีววิทยาของ ใบบัวบกสด ชาใบบัวบกด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และ อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ พบว่าการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ปริมาณสาร อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด คงเหลือมากกว่าวิธีอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ ทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากวิธี อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่า จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างอบน้อยกว่าเช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์เป็นต้น ซึ่งจากกฤษฎา (2548) พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระเกือบ 50% ในใบชาเขียวจะเสื่อมสลายในระหว่างกระบวนการอบแห้ง Zainol *et al.* (2009) อบแห้งบัวบกด้วยลมร้อน ระบบสุญญากาศร่วมกับแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการอบแห้งบัวบก ด้วยลมร้อน มีผลต่อการสูญเสียปริมาณฟลาโวนอยด์ (favonoids) ในใบ ราก และลำต้นของบัวบก มากกว่าอบแห้งด้วยระบบ สุญญากาศ และแบบแช่เยือกแข็ง คือ 87.6% และ 97% ตามลำดับ การสูญเสียปริมาณวิตามินซีใน Halvorsen *et al.* (2002) อบแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนเปรียบเทียบกับสมุนไพรสด พบว่าสมุนไพรอบแห้งมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรสด แสดงว่าปริมาณวิตามินซีจะสลายตัวง่ายระหว่างการอบแห้ง เมื่อเก็บสมุนไพรอบแห้งที่สภาวะห้องเป็นเวลา 3 วัน จะสูญเสียถึง 90% ทั้งนี้จาก Pal *et al*. (2009) อบแห้งพริกหวานอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่ 30 และ 35 °ซ พบว่าพริกหวานด้วยปั๊มความร้อน ที่ 30 °ซ ปริมาณวิตามินซี หลงเหลือน้อยกว่าอบแห้งที่ 35 °ซ อาจเป็นผลเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบที่ยาวนาน (36 ชั่วโมง) ซึ่งสนับสนุนการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของวิตามินซี ทั้งนี้การให้ความร้อนกับบัวบกนั้นจะมีผลต่อโครงสร้างของผนังเซลล์เมมเบรน และไฮโดรเจนจะซึมผ่านผนังเซลล์เมมเบรนเข้าไปภายในคลอโรพลาสมากขึ้น ไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมอะตอมในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินได้ง่าย (อรุณี , 2552) รวมทั้ง Onayemi and Okeibuno (1987) รายงานว่าระยะเวลาการอบแห้งที่สั้น จะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูญเสียไปน้อยที่สุด Davey *et al.* (2000) รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพเคมีของผลิตภัณฑ์ โดยความร้อนมีผลทำลายโครงสร้างและองค์ประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ ซึ่งส่งผลให้มีการรั่วไหลของเซลล์และหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ทางเคมีต่างๆลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 เปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีววิทยาของใบบัวบกสด ชาใบบัวบกด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีววิทยา	ใบบัวบกสด (mg/g dry basis)	ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต (mg/g dry basis)	อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ (mg/g dry basis)
อะเซียติโคไซด์	8.78[a] ±0.18	4.15[c]± 0.31 (47.2%)	7.33[b] ±0.07 (83.4%)
ปริมาณวิตามินซี	0.04[a] ±0.48	0.028[b]±1.38 (70%)	0.03[b] ±0.41 (75%)
สารประกอบแคโรทีนอยด์[1]	9.81[a] ±0.23	7.06[b] ±0.25 (71.9%)	6.87[b] ±0.27 (70%)
คลอโรฟิลล์ทั้งหมด	0.58[a] ±0.19	0.26[b] ±0.00 (44.8%)	0.24[b] ±0.00 (41.3%)
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด[2]	82.58[a]±1.24	40.21[c]±2.29 (48.7%)	63.82[b]±6.91 (77.3%)

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวนอน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95

ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

( ) คือค่าคำนวณเป็นร้อยละของสารที่พบเทียบจากสารที่มีอยู่เดิมร้อยละ 100 ในใบบัวบกสด

[1]BCE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

[1]GAE/g หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของใบบัวบกแห้ง คำนวณจากน้ำหนักแห้ง

ตาราง 4.7 ค่าสี L *a* *b* ของใบบัวบกสด ชาใบบัวบกด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ พบว่าการอบแห้งทั้งสองวิธีจะมีค่าสี L (ความสว่าง) เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากค่าคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ลดลง ส่งผลให้ความเข้มของค่าสี *a**(สีเขียว) และค่าสี *b** (สีเหลือง) ลดลง โดยการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ มีค่าสี *a** (สีเขียว) และค่าสี *b** (สีเหลือง) ใกล้เคียงกับใบบัวบกสดมากกว่าการอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีเขียวกว่า ทั้งนี้เนื่องจากวิธี อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่า จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่า ค่า กิจกรรมของน้ำ(a_w) และค่าความชื้น พบว่าการอบแห้งทั้งสองวิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช. (2549) โดยความชื้นที่ได้ไม่เกินร้อยละ 8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบค่าสี L *a* b** ค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ ในใบบัวบกสด ชาใบบกด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ค่าสี	ใบบัวบกสด	ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต	อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ
L	50.22^{c} ±0.35	59.77^{b} ±0.17	63.55^{a} ±0.18
a*	-12.20^{c} ±0.19	-6.55^{a} ±0.03	-9.16^{b} ±0.02
b*	29.32^{a} ±0.85	20.18^{c} ±0.11	25.18^{b} ±0.03
ความชื้น (%)	89.43 ± 0.26	5.80±0.21	4.72 ±0.52
ค่ากิจกรรมของน้ำ	0.97 ± 0.00	0.36±0.00	0.23±0.00

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวนอน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count, CFU/g) ของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 250 CFU/g ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับใบบัวบกสด การตรวจวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (yeast and mould, CFU/g) ของชาใบบัวบกพบว่า มีปริมาณปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งจะน้อยกว่าใบบัวบกสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *Escherichia coli* (MPN/g) พบว่าชาใบบัวบก มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g หรือตรวจไม่พบ แสดงว่าการทำแห้งมีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โดยปริมาณจุลินทรีย์ผันแปรตามค่า กิจกรรมของน้ำ (a_w) และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (active compounds)

ทดสอบประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาด้วยน้ำเดือด โดยนำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง สำหรับชาที่อบด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และอุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 1.40 ชั่วโมง สำหรับชาที่อบด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จากนั้นนำชาที่อบได้ บดด้วยเครื่องบดผสม (blender) ใส่ลงในถุง

กระดาษกรองสำหรับบรรจุชา โดยเติมปริมาณของชาใบบัวบกในน้ำร้อยละ 5 เปรียบเทียบความสามารถในการสกัด สารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา โดยทำการสกัดด้วยน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

ตาราง 4.8 แสดงผลของระยะเวลาในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาด้วยน้ำเดือดในน้ำชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วย ปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดและระยะเวลาที่ใช้สกัดมีผลต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ ปริมาณกรดอะเซียติก และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำชาที่ใช้เวลาการสกัด 20 นาที สามารถสกัดสารอะเซียติโคไซด์ และ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในปริมาณมากที่สุดคือ 1.52 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 19.34 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แต่น้ำชาที่ใช้เวลาการสกัด 5 นาที สามารถสกัดสารอะเซียติโคไซด์ และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในปริมาณน้อยที่สุดคือ 0.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 14.19 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสภาวะการสกัดมีผลต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticosdide) และปริมาณของสารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด เมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดน้ำชานานขึ้นก็จะได้ปริมาณสารที่สกัดได้ออกมามากขึ้น ส่วนปริมาณกรดอะเซียติก (asiatic acid) พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดและระยะเวลาที่ใช้สกัดไม่มีผลต่อปริมาณกรดอะเซียติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นงานวิจัยของ Kaewkam *et al.* (2009) พบว่าสกัดชาเขียวใบหม่อนด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน (ผงชา :น้ำ) เท่ากับ 1 :20 ที่อุณหภูมิ 100 °ซ ระยะเวลา 20 นาที จะพบกิจกรรมในการต้านออกซิเดชัน(antioxidant activity) สูงที่สุดเท่ากับ 91.649 % ส่วนที่เวลา 5,10 และ 15 นาที พบกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันเท่ากับ 87.123, 88.849 และ 89.360% ตามลำดับ นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Chongcharoen and Pinrungrot (2007) สกัดสาร catechins จากชาเขียวญี่ปุ่น ชาเขียวจีน และชาเขียวใบหม่อน ด้วยน้ำกลั่นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ในน้ำร้อน 80 °ซ พบว่าชาเขียวจีนมีปริมาณ catechins มากที่สุด เท่ากับ 3.17±0.10 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และสายลม (2009) ศึกษาผลของสภาวะการสกัดต่อชาเขียวอัสสัม พบว่าการใช้อัตราส่วนของชาต่อน้ำที่ 1:2 และสารละลายที่มีพีเอช 4 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดชาเขียว เนื่องจากสามารถให้โพลีฟีนอลทั้งหมดได้ในปริมาณสูงสุดทั้งในใบชาสดและชาเขียว จากผลการทดลองที่ได้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยของ Gulati *et al.* (2003) โดยสกัดชาด้วยน้ำเดือดจะพบปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 4000 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม นอกจากนี้ Kaewkam *et al.* (2009) พบว่าสกัดชาเขียวใบหม่อนด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน (ผงชา :น้ำ) เท่ากับ 1 :20 ที่อุณหภูมิ 100 °ซ ระยะเวลา 20 นาที พบสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 211.69 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม ส่วนที่เวลา 5 ,10 และ 15 นาที พบสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่ากับ 170.61 , 171.04 และ 197.30 มิลลิกรัมของกรดแกลลิก ต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้สกัดนานขึ้น ตามความเป็นจริง ผู้บริโภคนิยมดื่มน้ำชาขณะร้อน (5-10 นาทีแรก) มากกว่าทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น (20 นาที) ดังนั้น ปริมาณสารสกัดที่ได้จากการดื่มน้ำชาที่ร้อนจะมีไม่มากเท่ากับน้ำชาที่ทิ้งไว้นานขึ้น

ตาราง 4.8 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของน้ำชาใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

เวลาการสกัด (นาที)	กรด-ด่าง	อะเซียติโคไซด์ (mg/ml)	กรดอะเซียติก (mg/ml)$^{(NS)}$	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/ml)
5	5.93^{d} ±0.01	0.37^{c} ±0.19	0.038±0.01	14.19^{b} ±1.56
10	5.96^{c} ±0.01	0.91^{c} ±0.22	0.032±0.01	17.29^{b} ±2.42
15	6.01^{b} ±0.01	1.03^{b} ±0.02	0.041±0.01	17.51^{a} ±0.14
20	6.04^{a} ±0.01	1.52^{a} ±0.65	0.039±0.01	19.34^{a} ±0.59

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95
ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GAE/ml หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของน้ำชาใบบัวบก

ตาราง 4. 9 แสดงผลของระยะเวลาในการสกัดสารด้วยน้ำเดือดในน้ำชาด้วย ปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ต่อค่าสี L *a** *b** พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดและระยะเวลาที่ใช้สกัดมีผลต่อค่าสี L *a** *b** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำชาเมื่อสกัดด้วยน้ำเดือดระยะเวลา 5 นาที มีค่า L (ความสว่าง) มากที่สุด เท่ากับ 46.96 มีค่าสี *a** (สีแดง) เท่ากับ 0.74 หมายถึง มีสีแดงเล็กน้อย และมีค่าสี *b** (สีเหลือง) เท่ากับ 25.87 หมายถึง มีสีเหลืองอ่อน เมื่อสกัดทิ้งไว้เวลา 20นาที มีค่าสี L (ความสว่าง) ต่ำที่สุด เท่ากับ 36.33 มีค่าสี *a** (สีเขียว) เพิ่มขึ้น -0.28 แต่มีค่าสีเหลือง *b** ลดลง แสดงว่าทิ้งเวลาการสกัดนานขึ้น น้ำชาจะมีสีเข้มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.9 ค่าสี L *a** *b** ของน้ำชาใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งด้วยปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

เวลาการสกัด (นาที)	L	*a**	*b**
5	46.96 [a] ±0.07	0.74 [a] ±0.01	25.87 [a] ±0.04
10	37.18 [c] ±0.08	0.64 [b] ±0.02	16.02 [c] ±0.16
15	43.06 [b] ±0.34	-0.89 [d] ±0.04	23.18 [b] ±0.43
20	36.33 [d] ±0.08	-0.28 [c] ±0.02	14.78 [d] ±0.11

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95
ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.10 แสดงผลของระยะเวลาในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาด้วยน้ำเดือดในน้ำชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดและระยะเวลาที่ใช้สกัดมีผลต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำชาที่ระยะเวลาการสกัด 20 นาที สามารถสกัดสารอะเซียติโคไซด์ และ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในปริมาณมากที่สุด 2.67 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 20.47 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสภาวะการสกัดมีผลต่อปริมาณอะเซียติโคไซด์ และปริมาณของสารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด ส่วนปริมาณกรดอะเซียติก พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดและระยะเวลาที่ใช้สกัดไม่มีผลต่อปริมาณกรดอะเซียติก เช่นกัน ทั้งนี้ระยะเวลานานขึ้นมีแนวโน้มของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงขึ้นด้วย ดังเช่น นฤมล และศศิธร (2549) อบแห้งบัวบกแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบน้ำชาที่มาจากอบแห้งแบบถาดแล้วนำมาสกัดด้วยน้ำร้อน 80 °ซ เวลา 20 นาที พบว่าบัวบกอบแห้งแบบถาดมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากกว่าน้ำชาใบบัวบก 23.6 และ 17.4 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อสองกรัม ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.10 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของน้ำชาใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้-สุญญากาศ

เวลาการสกัด (นาที)	กรด-ด่าง	อะเซียติโค-ไซด์ (mg/ml)	กรดอะเซียติก (mg/ml) (NS)	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/ml)
5	5.99 ^{d} ±0.01	0.30 ^{d} ±0.18	0.041±0.00	16.33 ^{b} ±2.44
10	6.00 ^{c} ±0.01	0.73 ^{c} ±0.13	0.055±0.01	19.75 ^{a} ±0.41
15	6.02 ^{b} ±0.01	1.49 ^{b} ±0.45	0.050±0.02	16.54 ^{b} ±0.68
20	6.05 ^{a} ±0.01	2.67 ^{a} ±0.37	0.059±0.00	20.47 ^{a} ±0.99

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95
ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GAE/ml หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของน้ำชาใบบัวบก

ตาราง 4.11 ค่าสี L *a** *b** ได้ผลในทำนองเดียวกับน้ำชาที่ได้จากใบชาอบแห้งโดยวิธี ปั้มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต แต่วิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จะมีลักษณะที่เด่นกว่าคือมีค่าสี *a** สูงกว่าตลอด ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์มีสีเขียวมากกว่า

ตาราง 4.11 ค่าสี L *a** *b** ของน้ำชาใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

เวลาการสกัด (นาที)	L	*a**	*b**
5	49.26 ^{a} ±0.08	-1.67 ^{a} ±0.01	26.43 ^{a} ±0.06
10	42.72 ^{b} ±0.29	-2.96 ^{d} ±0.03	22.81 ^{b} ±0.31
15	35.03 ^{c} ±0.02	-1.75 ^{b} ±0.01	12.69 ^{c} ±0.01
20	33.06 ^{d} ±0.02	-2.49 ^{c} ±0.03	9.45 ^{d} ±0.03

หมายเหตุ: เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น% 95
ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 คุณภาพการเก็บรักษาชาใบบัวบก

คัดเลือกชาใบบัวบกวิธีที่ดีที่สุดจากผลการ ศึกษาคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ ทางจุล-ชีววิทยา ได้แก่ ชาใบบัวบกด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ที่อบอุณหภูมิ 40 -50 °ซ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และชาใบบัวบกด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 1.40 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดผสม (blender) บรรจุถุงลามิเนตฟอยล์ โดยผันแปรปัจจัยดังนี้คือ อุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ (4 และ 40 °ซ) เก็บรักษานาน 3 เดือน

4.5.1 คุณภาพทางเคมีของชาใบบัวบกเก็บรักษานาน 3 เดือน

คุณภาพด้านเคมีของ ชาใบบัวบกที่ตรวจสอบ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด -ด่าง, ปริมาณสารอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside), ปริมาณวิตามินซี, สารประกอบฟีนอลทั้งหมด, ปริมาณคลอโรฟิลล์-ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์

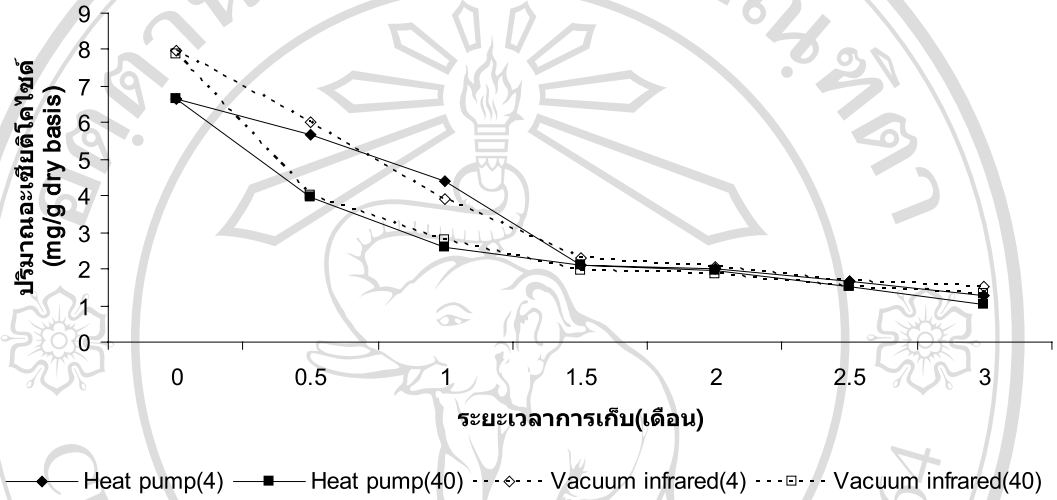
ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตและที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ชาใบบัวบก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.82-5.44 โดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บ ทั้งนี้อาจมาจากจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในชาใบบัวบก โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอาหารในการสร้างกรดมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด -ด่าง (pH) ลดลง (มณธิดา, 2546)

พิจารณาสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ดังรูป 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9

รูป 4.5 แสดงปริมาณอะเซียติโคไซด์ asiaticoside ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา 3 เดือน พบว่า ปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) เริ่มต้นในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าต่ำกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มีปริมาณ อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) ลดลงจาก 6.63 เหลือ 1.29 และ 1.03 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนปริมาณ อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) ในชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 7.86 เหลือ 1.50 และ 1.32 มิลลิกรัมต่อกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

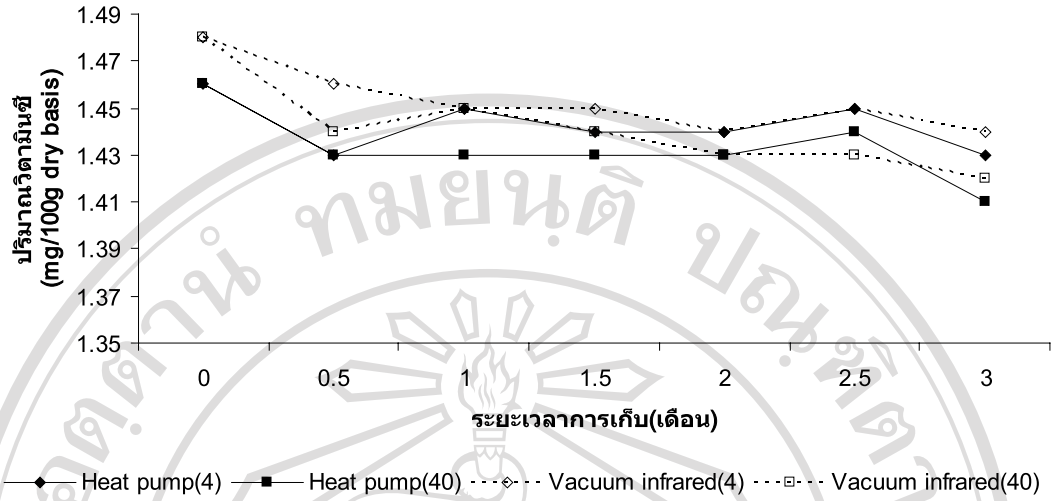
(น้ำหนักแห้ง) ซึ่งตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Wongfhun *et al.* (2009) ได้ศึกษาการเก็บรักษาน้ำใบบัวบกแปรรูป พบว่า ปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) และปริมาณแมสดิแคสซิกโคไซด์ (madecassicoside) จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ แต่ทั้งนี้ปริมาณอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) มีความคงตัวน้อยกว่าวิตามินซี และเบต้าแคโรทีน เมื่อเก็บไว้นาน



รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะเซียติโคไซด์ (mg/g dry basis) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

จากรูป 4.6 ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (วิตามินซี) ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา 3 เดือน พบว่า ปริมาณปริมาณกรดแอสคอร์บิค (วิตามินซี) เริ่มต้นในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าต่ำกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิค (วิตามินซี) ในใบชาที่อบแห้งทั้ง 2 วิธี มีค่าค่อนข้างคงที่ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Okeibuno (1991) พบว่าสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในผักอบแห้ง เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม ส่วน Negi and Roy (2001) อบแห้ง *savoy beet* และ *amaranth* ด้วย cabinet drier อุณหภูมิ 65 °ซ และ solar drier อุณหภูมิ 40-50 °ซ เก็บรักษาที่ (อุณหภูมิ 4 และ 37 °ซ) ใน single packed และ double packed ระยะเวลานาน 9 เดือน พบว่าเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณวิตามินซีจะลดลง โดย savoy beet และ amaranth อบแห้งด้วย solar drier เก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในถุง single packed ปริมาณวิตามินซีจะสูญสลาย (21.8-13.9%) มากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วย cabinet drier เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นและเก็บในถุง double packed ปริมาณวิตามินซีจะสูญสลาย (24.7-19.8 %) น้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

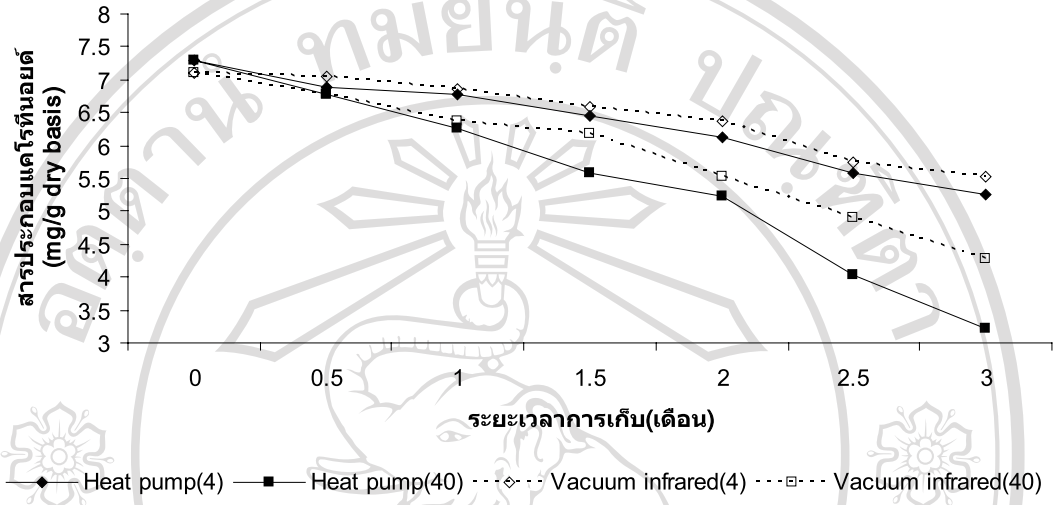


รูป 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซี (mg/100g dry basis) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

รูป 4.7 แสดงปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา 3 เดือน พบว่า ปริมาณ สารประกอบแคโรทีนอยด์ เริ่มต้นในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต มีค่ามากกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ พบว่าปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ ลดลงจาก 7.29 เหลือ 5.25 และ 3.21 มิลลิกรัม/100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ในชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 7.09 เหลือ 5.52 และ 4.27 มิลลิกรัม/กรัม (น้ำหนักแห้ง)ทั้งนี้การสลายตัวของแคโรทีนอยด์ อาจมีสาเหตุมาจากออกซิเจน เมื่อแคโรทีนอยด์สัมผัสกับออกซิเจน ที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของโมเลกุลจะไปจับกับออกซิเจนเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ สารประกอบคาบอนิค และสารระเหยอื่นๆ และรวมถึงเอนไซม์จะทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสลายได้ง่าย โดย Negi and Roy (2001) อบแห้ง savoy beet และ amaranth ด้วย cabinet drier อุณหภูมิ 65 °ซ และ solar drier อุณหภูมิ 40-50 °ซ เก็บรักษาที่ (อุณหภูมิ 4 และ 37 °ซ) ใน single packed และ double packed ระยะเวลานาน 9 เดือน พบว่าเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลง โดย savoy beet และ amaranth ที่อบแห้งด้วย solar drier เก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในถุง single packed ปริมาณเบต้า-แคโรทีนสูญสลาย (39.42-6.23%) มากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วย cabinet drier เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นและเก็บในถุง double packed ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูญสลาย (43.47-16.89 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยที่สุด จะเห็นว่าการสูญเสียของแคโรทีนอยด์ คล้ายคลึงกับการสูญเสียของอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) เพราะสารทั้งสองชนิดจัดอยู่ในกลุ่มไตรเทอร์พีน (triterpene) เช่นกัน โดยสารตัวหลังเป็น triterpenoids ส่วนสารแคโรทีนอยด์เป็นพวก isopene

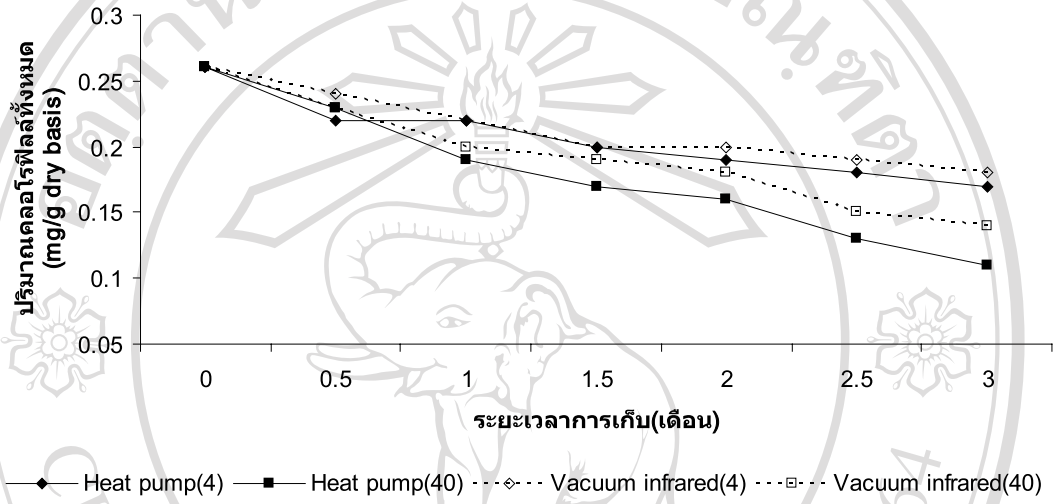


รูป 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g dry basis) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 ^{o}ซ

จากรูป 4.8 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา 3 เดือน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เริ่มต้นในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่ามากกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 ^{o}ซ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ลดลงจาก 0.27 เหลือ 0.17 และ 0.11 มิลลิกรัม/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 0.26 เหลือ 0.18 และ 0.14 มิลลิกรัม/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอาจมีผลเกี่ยวข้องกับค่า a_w ซึ่งพบว่าค่า a_w ในอาหารแห้งมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ที่ภาวะ a_w สูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่าย หากอาหารแห้งมีค่า a_w ต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ได้ ทั้งนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 ^{o}ซ จะมีผลทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เกิดการสูญเสียรงควัตถุจึงทำให้สีของชาใบบัวบกเปลี่ยนแปลงไป ดังจะเห็นชัดเจนได้จากค่าความเป็นสีเขียวจะลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้ถ้าผักแห้งมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.32 จะทำให้คลอโรฟิลล์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ในงานวิจัยจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

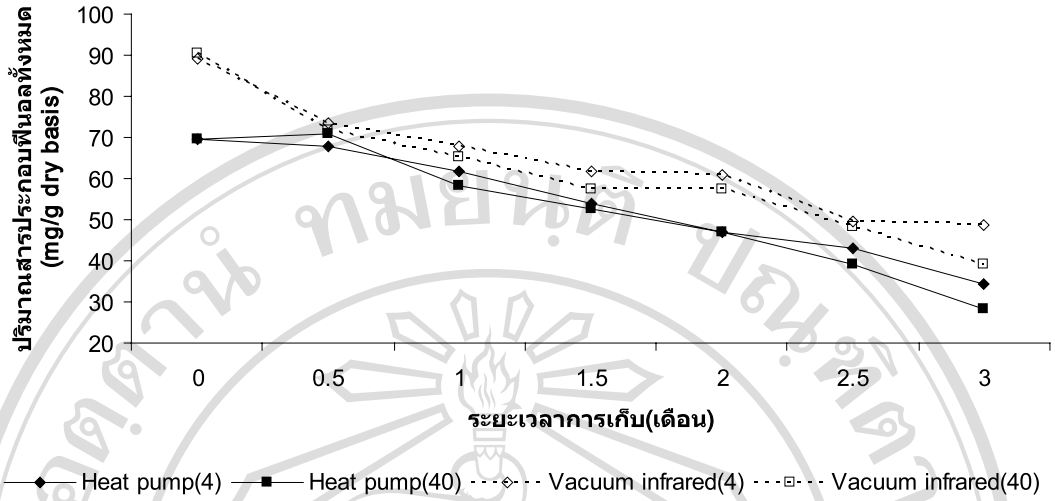
Negi and Roy (2001) พบว่าเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะลดลง โดย savoy beet และ amaranth ที่อบแห้งด้วย solar drier เก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในถุง single packed ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะสูญสลาย (10.37-2.57 มิลลิกรัมต่อกรัม) มากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วย cabinet drier เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นและเก็บในถุง double packed ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะสูญสลาย (10.37-3.49 mg/g) น้อยที่สุด



รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g dry basis) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

รูป 4.9 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ที่เหลือในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา 3 เดือน พบว่ามีผลคล้ายคลึงกับสารประกอบแคโรทีนอยด์คือ การอบแห้งทั้งสองวิธี และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ ทำให้ปริมาณฟีนอลลดลงตามเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น Naithani *et al.* (2006) ศึกษาสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในชาสมุนไพร มีค่าเท่ากับ 786-5366 มิลลิกรัม/100กรัม หรือ 7.86-53.66 มิลลิกรัม/กรัม ทั้งนี้ระยะการเก็บรักษาที่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้อย่างชัดเจนในระหว่างการเก็บรักษาคือการซีดลงของสีเขียวในชา ขณะที่ Tsai *et al.* (2002) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในกระเจียบหลังจากผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 75 °ซ ตลอดการเก็บรักษาระยะเวลานาน 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 40 °ซ มีปริมาณคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด(mg/g dry basis) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

4.5.2 คุณภาพทางกายภาพของชาใบบัวบกเก็บรักษานาน 3 เดือน

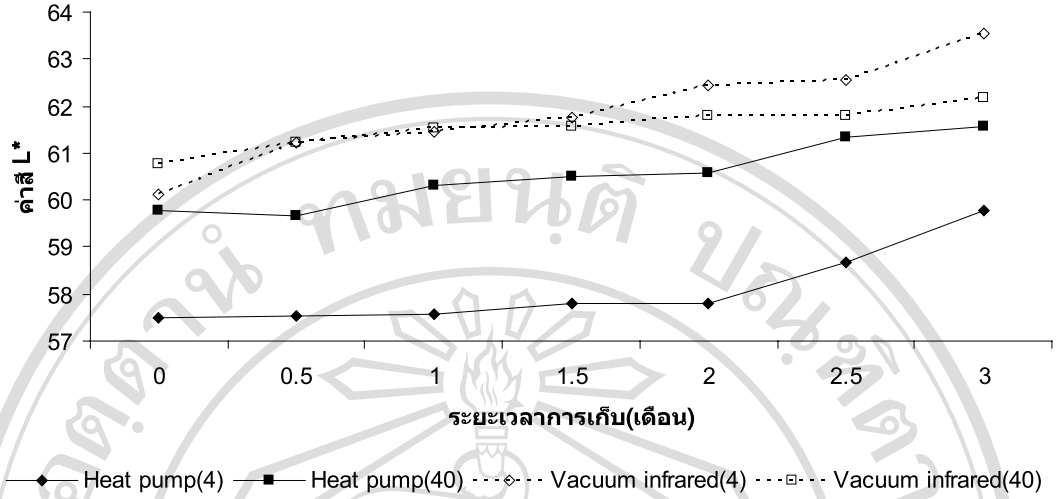
เมื่อพิจารณาค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี *a** (เขียว) และค่าสี b* (สีเหลือง) ของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ดังรูป 4.10, 4.11 และ 4.12 พบว่า ค่าสี L *a** *b** เริ่มต้นในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าน้อยกว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ พบว่าค่าสี L (ความสว่าง) และค่าสี b* (สีเหลือง) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ค่าสี L (ความสว่าง) เพิ่มขึ้นจาก 57.49 และ 59.77 เป็น 59.77 และ 61.55 ตามลำดับ ค่าสี b* (สีเหลือง) เพิ่มขึ้นจาก 18.82 และ 18.09 เป็น 20.18 และ 21.58 ตามลำดับส่วนค่าสี L (ความสว่าง) และค่าสี b* (สีเหลือง) ในชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 60.12 และ 60.77 เป็น 63.55 และ 62.19 ค่าสี b* (สีเหลือง) เพิ่มขึ้นจาก 22.88 และ 21.64 เป็น 25.18 และ 23.91 ตามลำดับ แต่ค่าสี *a** (เขียว) พบว่ามีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต ค่า *a** (เขียว) ลดลงจาก -6.58 และ -6.97 เป็น -6.02 และ -2.94 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

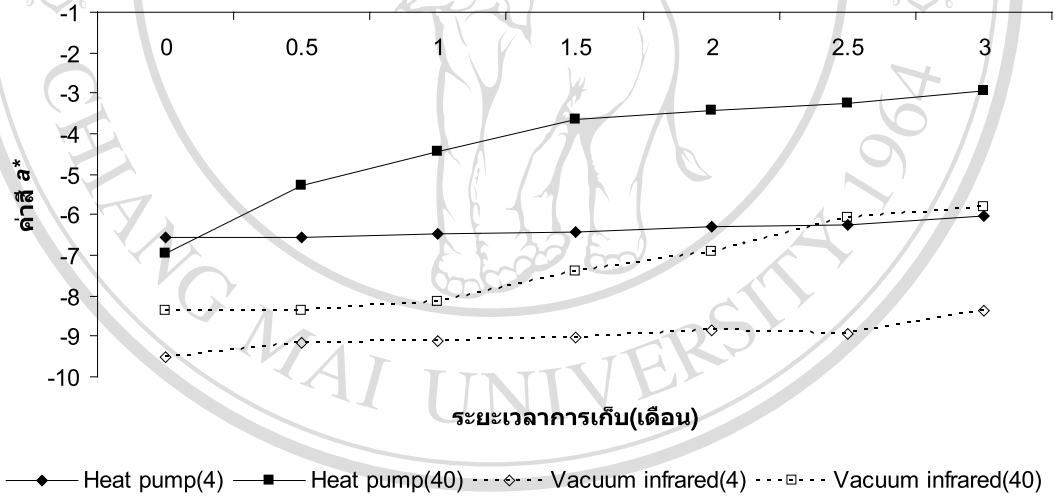
ส่วนชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่า *a** (เขียว) ลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก -9.53 และ -8.35 เป็น -8.35 และ -5.83 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบบัวบกเป็นระยะเวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น หรือมีสีจางลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลที่ลดลง และสัมพันธ์กับ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงโดยผลิตภัณฑ์ มีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีความเป็นสีเขียวลดลง ทั้งนี้สีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ขึ้นกับอัตราเร็วของการเปลี่ยนสีของคลอโรฟิลล์ และขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปด้วย โดยปริมาณกรดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น แสดงดังตารางภาคผนวก ข

การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวใกล้เคียงกับ Chaiwanichsiri *et al.* (2000) อบแห้งบัวบกผงด้วยวิธีพ่นฝอย นำบัวบกมาคืนรูปที่อัตราส่วนบัวบกผง :น้ำ 1:10 (น้ำหนักโดยปริมาตร) เก็บรักษาในถุงลามิเนตและถุงชนิด KOP ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 เดือน ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มที่สว่างขึ้นจาก 22.52-24.28 เดือน และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 8.40-8.76 ทั้งนี้ระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชาใบบัวบก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับ ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น คือระหว่างการเก็บรักษานาน 3 เดือน ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าสี L *a** *b** มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของ ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ชาใบบัวบกมีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Giovanelli and Angela (2002) พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำ ที่เพิ่มขึ้นจะส่งเสริมให้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้สูงขึ้น โดยออกซิเจนจะออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เมื่อมีปริมาณออกซิเจนมากพออัตราการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ว่าจะขึ้นกับ ค่ากิจกรรมของน้ำ โดยหากค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สารตั้งต้นและสับสเตรทเข้าเคลื่อนที่เข้ามาทำปฏิกิริยากันได้ดี (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้การเปลี่ยนสีของชาใบบัวบกจะเปลี่ยนไปมากขึ้น ยังขึ้นกับปริมาณกรดที่เกิดขึ้นด้วย (ค่าความเป็นกรด-ด่างในวันที่ 0 เท่ากับ 5.67 เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงเหลือ 5.44 และ 5.45 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

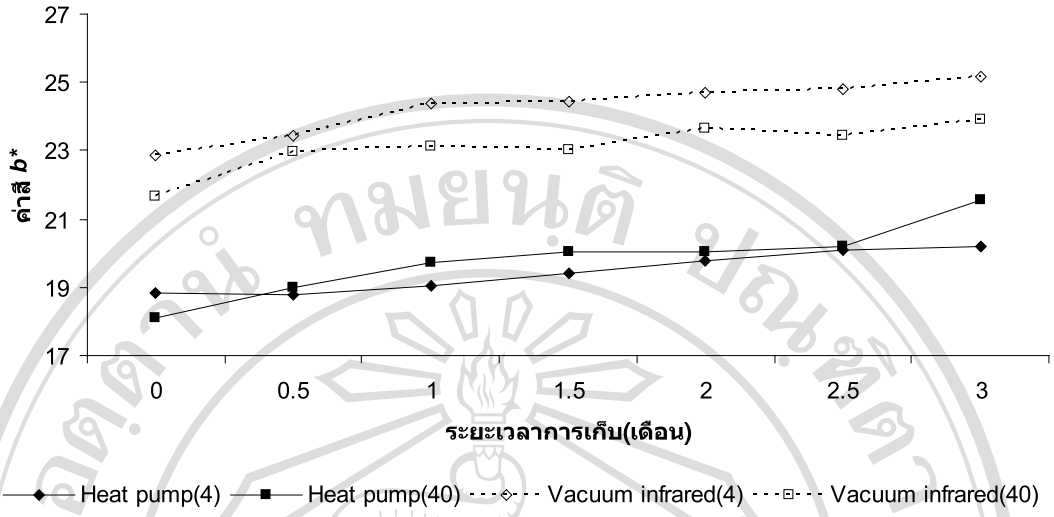


รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L (ความสว่าง) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ



รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (สีแดง-เขียว) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



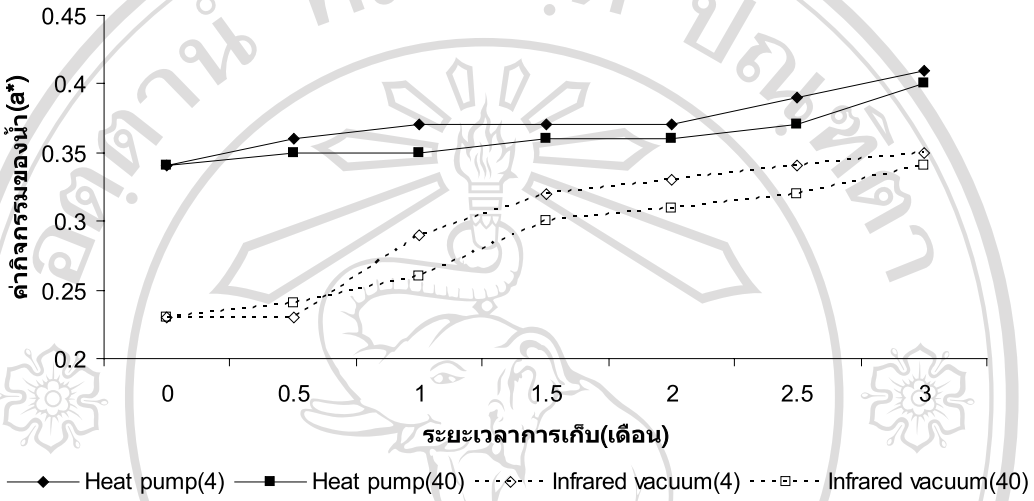
รูป 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

เมื่อพิจารณา ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น ของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ดังรูป 4.13 และ4.14 พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.34 เป็น 0.41 และ 0.40 ตามลำดับ ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 5.80 เป็น 6.47 และ 6.29% ตามลำดับ

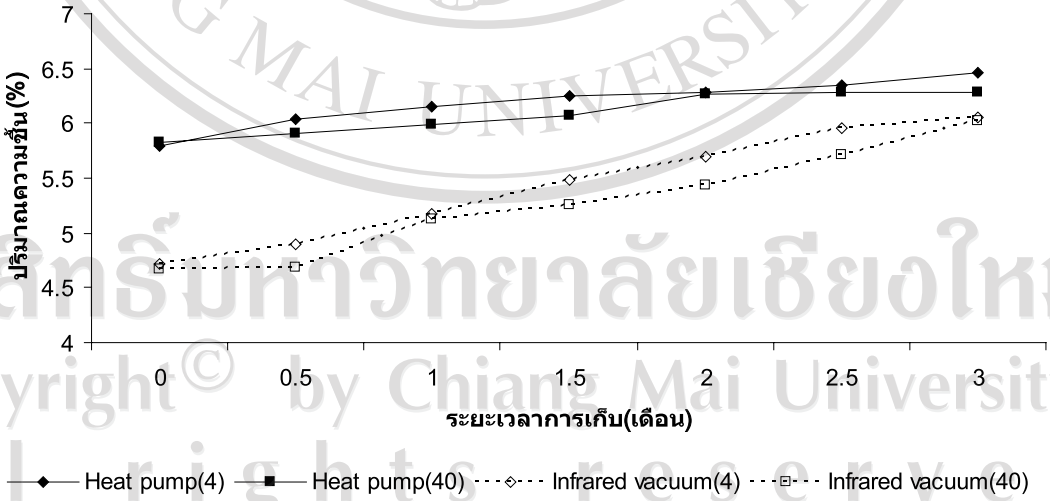
ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำในชาใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.23 เป็น 0.35 และ 0.34 ปริมาณความชื้นโดยเพิ่มขึ้นจาก 4.72 เป็น 6.06 และ 6.02% เมื่อพิจารณาค่ากิจกรรมของน้ำในชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่ามีค่ามากกว่า 0.4 (วิไล, 2546) ซึ่งเกินค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง จะทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นถ้ามีค่ากิจกรรมของน้ำสูงเกินไป ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่ากิจกรรมของน้ำด้วย โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาชาใบบัวบกที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นเฉลี่ยของชาใบบัวบกปานกลางตลอดระยะ 3 เดือน ซึ่งอาจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องมาจากฉุง aluminum foil laminate มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำที่ต่ำคือ 0.45-5 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ไพบูลย์, 2532)



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ



รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (%) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 °ซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของชาใบบัวบกในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 3 ที่ผ่านการอบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ บดนาน 5 นาที บรรจุซองๆละ 2 กรัม สกัดด้วยน้ำเดือดนาน 20 นาที ให้ผู้ทดสอบชิม 50 คน ดังตาราง 4.12 พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ในเดือนที่ 0 มีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต เดือนที่ 0 และเดือนที่ 3 รวมทั้งชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศเดือนที่ 3 ซึ่งได้คะแนนน้อยลงมาตามลำดับ คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของสมุนไพร พบว่าชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ในเดือนที่ 0 มีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต เดือนที่ 0 ชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เดือนที่ 3 และชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต เดือนที่ 3 ซึ่งได้คะแนนน้อยลงมาตามลำดับ คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติรวม ความรู้สึกหลังกลืน และการยอมรับรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าโดยทั่วไปผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของชาที่ผลิตใหม่และชาที่เก็บไว้ 3 เดือนได้

ตาราง 4.12 ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของชาใบบัวบกในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 3

ตัวอย่างชาใบบัวบก	สี	กลิ่นสมุนไพร	รสชาติรวม ^{NS}	ความรู้สึกหลังกลืน ^{NS}	การยอมรับ ^{NS}
Hp(0 เดือน)	6.88^{b}±0.72	7.10^{ab}±0.68	6.78±0.71	6.86±0.83	7.12±0.69
IR(0 เดือน)	7.20^{a}±0.49	7.24±^{a}0.52	6.90±0.71	7.06±0.82	7.24±0.62
Hp4(3 เดือน)	6.80^{b}±0.64	6.98±^{b}0.59	6.74±0.66	6.78±0.76	7.04±0.64
IR4(3 เดือน)	6.96^{b}±0.45	7.06^{ab}±0.56	6.76±0.72	6.90±0.77	7.16±0.62

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

สัญลักษณ์ Hp; คือชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

สัญลักษณ์ IR; คือชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count, CFU/g) ของชาใบบัวบกที่อบแห้งด้วย ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต และที่อบแห้งด้วย อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดลามิเนทฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ชาใบบัวบกทั้งสองกระบวนการ มีปริมาณปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 250 CFU/g ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.22-3.85 log CFU/g การตรวจวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (yeast and mould, CFU/g) พบว่ามีปริมาณปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ซึ่งจุลินทรีย์ประเภทเชื้อราจะหยุดการเจริญเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นมีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.7 และยีสต์จะเริ่มเจริญได้เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นมีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.7-0.8 (นิธิยา , 2549) ดังนั้น ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ชาใบบัวบกจะมีความสอดคล้องกับค่ากิจกรรมของ น้ำแสดงดังรูป 4.13 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *Escherichia coli* (MPN/g) พบว่าผลิตภัณฑ์ชาใบบัวบกมี มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g หรือตรวจไม่พบ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชาใบบัวบกเมื่อเก็บรักษานาน 3 เดือนปริมาณจุลินทรีย์ยังอยู่ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนชา (มผช.120/2549) นอกจากนี้ในงานวิจัยของ กุลยา (2540) ศึกษาตระไคร้อบแห้งด้วยปั๊มความร้อนและลมร้อนที่ 60 °ซ เวลา 6-7 ชั่วโมง เก็บรักษานาน 3 เดือน วิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ปริมาณยีสต์รา, โคลิฟอร์มและอีโคไล ที่อบแห้งทั้งสองวิธียังพบปริมาณจุลชีววิทยาอยู่ในมาตรฐานโดยพบเท่ากับ 4.07 log CFU/g, 2 log CFU/g , 43 MPN/g และ <3 MPN/g ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved