บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาการทำแห้งแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมัน

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ แคโรทีนอยด์ที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของน้ำมัน จากนั้นทำการเปลี่ยนรูปแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปผง ซึ่งเหมาะสมจะเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ในรูปผง

ในการศึกษาการทำแห้งแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมันได้เลือกแป้งชนิดต่าง ๆ ที่มีขายในท้องตลาดซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่าย ทำการคัดเลือกเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ชนิดแป้งที่เหมาะสมในการดูดซับแคโรทีนอยด์ในรูปน้ำมันที่ได้จากการสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ คือ แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นทดลองคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณแป้งกับปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยใช้สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ (กรัม) ต่อ แป้ง (กรัม) 3 ระดับ คือ 3.0 : 10, 3.5 : 10 และ 4.0 : 10 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 โดยพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแคโรทีนอยด์ ซึ่งคำนวณจากร้อยละของผลผลิตแคโรทีนอยด์รวมที่คงเหลือ (% Recovery of Total Carotenoids) ของแป้งทั้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ร้อยละของบีตาแคโรทีนมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวดูดซับที่อัตราส่วนต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ แป้ง 4:10 โดยน้ำหนัก ได้ผลผลิตคงเหลือสูงสุด คือ 97.44% ของน้ำหนักแคโรทีนอยด์เริ่มต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงและมีสีเหลืองส้ม (ตารางที่ 4.3)

การศึกษาตอนนี้สรุปได้ว่า การใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวดูดซับมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ผลผลิตคงเหลือสูงกว่าการใช้แป้งดูดซับชนิดอื่นที่ศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา วินันทา ในปี 2003 ได้ทำการแยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มโดยการดูดซับบนดินเหนียวชนิดต่างๆที่มีในประเทศไทย 6 ชนิด ได้แก่ เบนโทไนต์ ไดอะตอมไมต์ แทลคัม ดินขาวจังหวัดลำปาง ดินขาวจังหวัดระนอง และบอลเคลย์ ซึ่งดินเหนียวได้ผ่านการปรับสภาพดินด้วยการกระตุ้นด้วยกรด และการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า ที่สภาวะที่ดีที่สุดเมื่อทำการชะด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เตตระไฮโดรฟูราน ที่อุณหภูมิห้อง สามารถสกัดสารแคโรทีนอยด์ได้ผลิตผลคงเหลือ เท่ากับ 73.73% ของน้ำหนักแคโรทีนอยด์รวมเริ่มต้นในน้ำมันปาล์มดิบ ดังนั้นการใช้แป้งข้าวเหนียวจึงเป็นตัวดูดซับสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ดีกว่าการใช้ดินเหนียวที่ศึกษาโดยวินันทา

เมื่อนำสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ดูดซับด้วยแป้งข้าวเหนียว ที่อัตราส่วนแคโรทีนอยด์ ต่อแป้ง 4:10 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุด ไปหาค่า a_w พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเพียงพอต่อการเก็บรักษาที่สภาวะปกติได้

ตารางที่ 4.1 การคัดเลือกแป้งที่ใช้ในการดูดซับแคโรทีนอยด์ชนิดละลายในน้ำมัน

ชนิดแป้ง	อัตราส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อแป้งโดยน้ำหนัก		
	3.0:10	**3.5:10**	**4.0:10**
ข้าวจ้าว	+	+	+
ข้าวเหนียว	+	+	+
ถั่วเขียว	+	-	-
มันสำปะหลัง	+	+	+
ข้าวสาลี	+	-	-
ข้าวโพด	-	-	-

หมายเหตุ : + หมายถึง ลักษณะอนุภาคที่ได้เป็นผงไม่จับตัวเป็นก้อน

- หมายถึง อนุภาคที่ได้จับตัวเป็นก้อน

ตารางที่ 4.2 ร้อยละของบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมา เมื่อใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เป็นตัวดูดซับที่อัตราส่วนของแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมันต่อแป้งอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อแป้งโดยน้ำหนัก	ร้อยละของบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมา		
	แป้งข้าวจ้าว	**แป้งข้าวเหนียว**	**แป้งมันสำปะหลัง**
3.0:10	$57.55^{c}\pm 3.02$	$73.56^{c}\pm 2.80$	$76.11^{b}\pm 1.67$
3.5:10	$72.76^{b}\pm 2.12$	$92.48^{b}\pm 2.18$	$77.55^{b}\pm 1.70$
4.0:10	$86.37^{a}\pm 2.15$	$97.44^{a}\pm 1.50$	$94.81^{a}\pm 2.88$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ค่า a_w และลักษณะปรากฏของแคโรทีนอยด์ชนิดละลายในน้ำมันที่ทำให้แห้งโดยใช้แป้งดูดซับชนิดต่าง ๆ

ชนิดแป้ง	อัตราส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อแป้งโดยน้ำหนัก	ค่า a_w	ลักษณะปรากฏ
แป้งข้าวจ้าว	3.0:10	$0.52^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองจาง ๆ
	3.5:10	$0.52^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองอ่อน
	4.0:10	$0.52^a \pm 0.01$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองส้ม
แป้งข้าวเหนียว	3.0:10	$0.41^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองส้ม
	3.5:10	$0.41^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองส้ม
	4.0:10	$0.42^a \pm 0.01$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองส้ม
แป้งมันสำปะหลัง	3.0:10	$0.51^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองจาง ๆ
	3.5:10	$0.51^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองอ่อน
	4.0:10	$0.52^a \pm 0.00$	เป็นผงละเอียด และมีสีเหลืองส้ม

4.2 การศึกษาการทำแห้งแคโรทีนอยด์รูปอิมัลชันหรือแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

4.2.1 การคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์อิมัลชันต่อแป้งดูดซับ

4.2.1.1 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่าสีของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

แคโรทีนอยด์เริ่มต้นที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในรูปของน้ำมัน ดังนั้นเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแยกชั้น จึงไม่สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ได้จำเป็นต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอิมัลชัน โดยใช้อิมัลซิฟายเออร์เป็นตัวกลางเพื่อให้แคโรทีนอยด์สามารถกระจายตัวในน้ำได้ (Thanasukarn, 2006) จากนั้นจึงทำการคัดเลือกเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ชนิดแป้งที่เหมาะสมในการดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน คือ แป้งข้าวจ้าว, แป้งข้าวเหนียว และแป้งถั่วเขียว จากนั้นคัดเลือกอัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชัน 3 ระดับ คือ 35, 40 และ 45% โดยปริมาตร โดยใช้สัดส่วนของแป้ง (กรัม) ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์อิมัลชัน (กรัม) คือ 2:1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คัดเลือกอัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูดซับด้วยแป้งชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการทำแห้งในการทดลองต่อไป สำหรับการคัดเลือกอัตราส่วนอิมัลชันที่เหมาะสมนี้พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนี้

ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่าสี L ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชันชนิดต่าง ๆ พบว่า เมื่ออัตราส่วนของแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าสี L ของแคโรทีนอยด์ที่ดูดซับในแป้งชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.1) โดยค่าสี L เป็นค่าสีที่บ่งบอกถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ หากค่าสี L ยิ่งมาก ความสว่างของผลิตภัณฑ์ยิ่งสูง (Mcguire, 1992) จากข้อมูลที่ได้พบว่า ค่าสี L มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสี L ของวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.5) แสดงว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง และพบว่า ค่าสี L ที่อัตราส่วนอิมัลชันร้อยละ 35%โดยปริมาตร มีความแตกต่างกับระดับอิมัลชันอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพที่ 4.2 พบว่า เมื่ออัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น ค่าสี a* ของแคโรทีนอยด์ที่ดูดซับโดยแป้งชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าสี a* เป็นค่าสีที่บ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียวของผลิตภัณฑ์ หากค่าสีเป็นบวกแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีสีแดง หรือหากมีค่าลบแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเขียว (Mcguire, 1992) จากการทดลอง พบว่า ค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงมากขึ้น และพบว่าค่าสี a* ที่อัตราส่วนอิมัลชันร้อยละ 35% โดยปริมาตร มีความแตกต่างกับระดับอิมัลชันอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 การคัดเลือกแป้งที่ใช้ในการดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

ชนิดแป้ง	อัตราส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อแป้งโดยน้ำหนัก		
	3.0:10	4.0:10	5.0:10
ข้าวจ้าว	+	+	+
ข้าวเหนียว	+	+	+
ถั่วเขียว	+	+	+
มันสำปะหลัง	+	-	-
ข้าวสาลี	-	-	-
ข้าวโพด	-	-	-

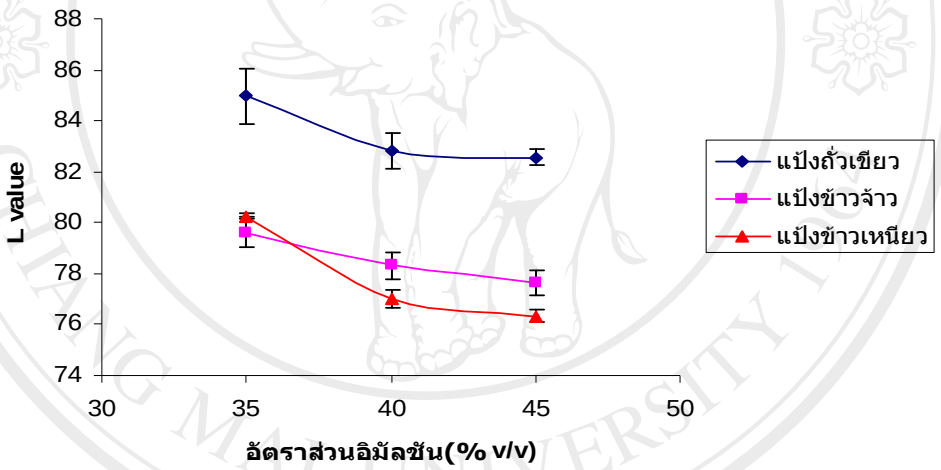
หมายเหตุ : + หมายถึง อนุภาคที่ได้มีขนาดน้อยกว่า 1.19 มิลลิเมตร

- หมายถึง อนุภาคที่ได้มีขนาดมากกว่า 1.19 มิลลิเมตร

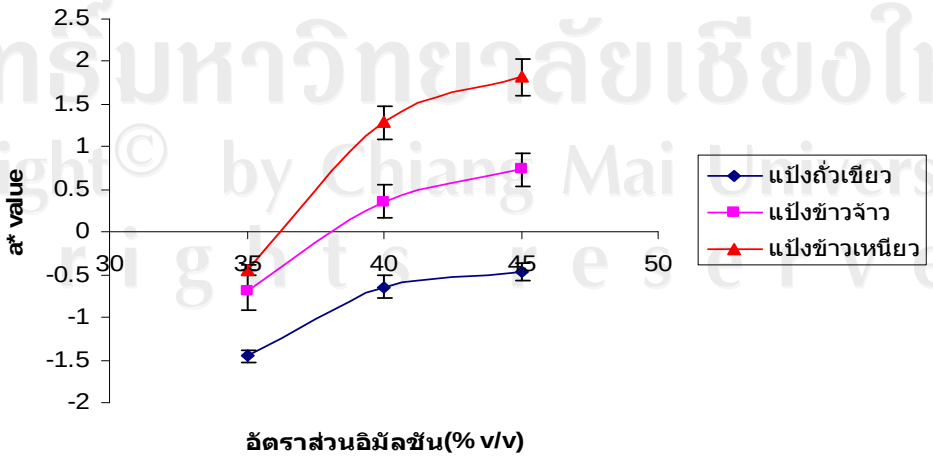
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางเคมี และกายภาพของแป้งที่ใช้ในการดูดซับแคโรทีนอยด์

ตัวอย่าง	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว	แป้งมันสำปะหลัง
ค่าสี L	97.00 ± 0.05	97.29 ± 0.04	98.43 ± 0.18	97.60 ± 0.06
ค่าสี a*	-0.25 ± 0.01	-0.34 ± 0.02	-0.18 ± 0.01	0.46 ± 0.04
ค่าสี b*	3.77 ± 0.03	4.13 ± 0.04	1.72 ± 0.01	3.83 ± 0.01
ค่า a_w	0.49 ± 0.00	0.40 ± 0.00	0.43 ± 0.00	0.38 ± 0.00
ความชื้น (% wet basis)	11.86 ± 0.02	11.21 ± 0.05	12.10 ± 0.03	14.53 ± 0.11
ความพรุน	0.25 ± 0.00	0.26 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.32 ± 0.01



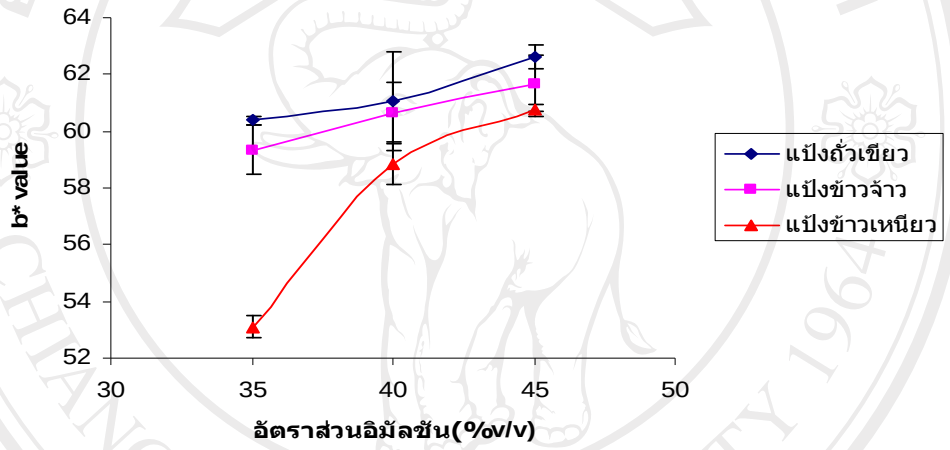
ภาพที่ 4. 1 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่าสี L ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน



ภาพที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่าสี a* ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาค่าสี b* (ภาพที่ 4.3) พบว่า เมื่ออัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าสี b* ของแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ดูดซับในแป้งชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าสี b* เป็นค่าสีที่บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์ หากค่าสีเป็นบวกแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีสีเหลือง หรือหากมีค่าลบแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีน้ำเงิน (Mcguire, 1992) จากการทดลอง พบว่าค่าสี b* มีการเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากขึ้นและพบว่าค่าสี b* ที่อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันร้อยละ 35%โดยปริมาตร มีความแตกต่างกับระดับอิมัลชันอื่นอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

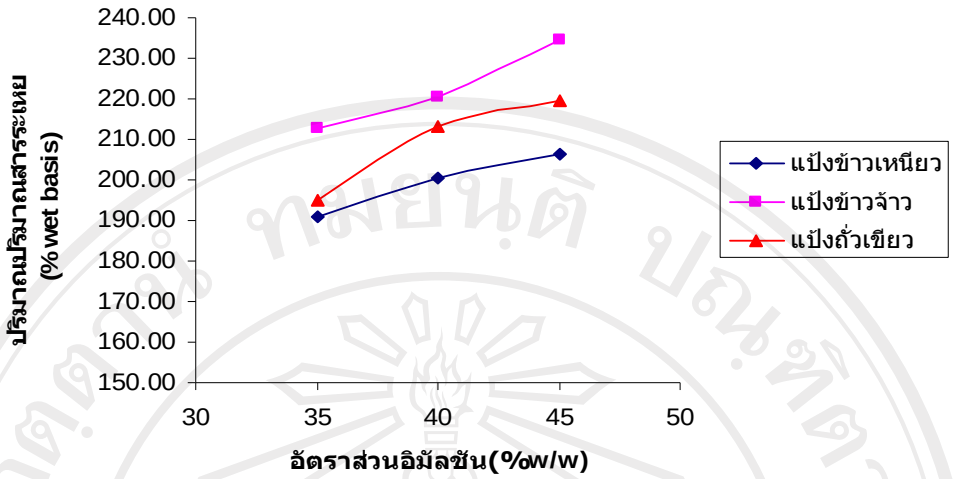


ภาพที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่าสี b* ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

4.2.1.2 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อปริมาณสารระเหยของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อปริมาณสารระเหยของแป้งดูดซับแคโรทีนอยด์ พบว่า ปริมาณสารระเหยของแป้งดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.4) เมื่ออัตราส่วนอิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น แสดงว่า ปริมาณสารระเหยมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้แป้งดูดซับมีปริมาณสารระเหยสูงขึ้น และอัตราส่วนอิมัลชันทั้ง 3 ระดับมีปริมาณปริมาณสารระเหยความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่เป็นเช่นนี้มาจากปริมาณสารระเหยประกอบด้วยปริมาณน้ำและแคโรทีนอยด์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมากขึ้นจึงมีผลให้ปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปริมาณสารระเหยกับอัตราส่วนอิมัลชัน

4.2.1.3 ผลของอัตราส่วนอิมัลชันต่อค่า a_w ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออัตราส่วน แคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ใช้เพิ่มขึ้น แสดงว่า อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ และค่า a_w ของการทดลองที่ใช้อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันทั้ง 3 ระดับในผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าa_w ของแป้งที่ดูดซับแคโรทีนอยด์ที่ใช้อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันต่าง ๆ

อัตราส่วนอิมัลชัน (%v/v)	ค่า a_w		
	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
35	$0.891^a \pm 0.00$	$0.890^a \pm 0.00$	$0.893^a \pm 0.00$
40	$0.895^a \pm 0.00$	$0.893^a \pm 0.00$	$0.894^a \pm 0.00$
45	$0.899^a \pm 0.00$	$0.895^a \pm 0.00$	$0.897^a \pm 0.00$

เมื่อนำปริมาณบีตาแคโรทีนในผลิตภัณฑ์แป้งดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชันต่างๆ มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ (ภาคผนวกที่ ก.2.5) พบว่า ร้อยละของประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ (% Encapsulation Efficacy) จากการทดลองในแป้งข้าวจ้าว และแป้งถั่วเขียว ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชัน 35% โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าที่อัตราส่วนแค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรทีนอยด์อิมัลชัน 40 และ 45% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การใช้แป้งข้าวจ้าวเป็นตัวดูดซับที่อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชัน 40 %โดยปริมาตร ให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 55.41 % (ตารางที่ 4.7) ซึ่งประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ที่ศึกษานี้ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับ การทดลองทำแคโรทีนอยด์ผงจากกากของแครอทโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบผ่นฟอย ซึ่งได้ประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์เฉลี่ย เท่ากับ 51±1 % (Chen and Tang, 1998)

ตารางที่ 4.7 ร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ในการดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชันด้วยแป้งชนิดต่าง ๆ

อัตราส่วนอิมัลชัน (%v/v)	ร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์		
	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
35	$42.06^{b} \pm 1.45$	$20.29^{a} \pm 2.24$	$32.39^{b} \pm 2.74$
40	$55.41^{a} \pm 0.73$	$21.73^{a} \pm 0.71$	$45.63^{a} \pm 0.80$
45	$53.49^{a} \pm 1.37$	$19.28^{a} \pm 0.09$	$42.63^{a} \pm 2.01$

จากการคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์อิมัลชันต่อแป้งดูดซับ พบว่า การใช้แป้งข้าวจ้าวเป็นตัวดูดซับที่ระดับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน 40%โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์อิมัลชันสูงที่สุด คือ 55.41% (ตารางที่ 4.7) และอัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่เลือก คือ 40%โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกักเก็บแคโรทีนอยด์อิมัลชันสูงกว่าอัตราส่วนอื่น โดยเมื่ออัตราส่วนส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชันเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างลดลง มีสีเหลืองและสีแดงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าแป้งดูดซับแคโรทีนอยด์มีค่า a_w สูงกว่า 0.6 ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอายุการเก็บรักษาที่ไม่นาน (สุคนธ์ชื่น, 2546) ดังนั้นหลังจากดูดซับแคโรทีนอยด์ด้วยแป้งชนิดต่าง ๆ แล้วจึงต้องนำไปทำให้แห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟระบบสุญญากาศในการทดลองที่ 4.2.2 และ 4.2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ

การทำแห้งแคโรทีนอยด์ในรูปอิมัลชันโดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ ศึกษาโดยใช้แป้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียว และ แป้งถั่วเขียว ในอัตราส่วนแป้งต่อแคโรทีนอยด์

อิมัลชัน 2:1 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 40, 50 หรือ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้ง 30, 45 หรือ 60 นาที

จากตารางที่ 4.8 พบว่า การให้ความร้อนหรือใช้อุณหภูมิสูงขึ้นร่วมกับการใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก.2.4) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่า a_w ของตัวอย่างมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น

จากการศึกษาสัดส่วนของอิมัลชัน (ตอนที่ 4.2.1) และ การอบแห้งระบบสุญญากาศ (ตอนที่ 4.2.2) สรุปได้ว่า ควรใช้แป้งถั่วเขียวเป็นตัวดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน โดยใช้อัตราส่วนแป้งต่อ แคโรทีนอยด์อิมัลชัน 2:1 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนอิมัลชัน 40% โดยปริมาตร และใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในการอบแห้งด้วยระบบสุญญากาศ เนื่องจากได้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงสุด คือ 315.72 µg/g ได้ผลผลิตคงเหลือสูงสุด คือ 63.75% ของน้ำหนักแคโรทีนอยด์รวมเริ่มต้น (ตารางที่ 4.10) และผลิตภัณฑ์มีค่า a_w เท่ากับ 0.50 ซึ่งต่ำกว่า 0.60 ซึ่งสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีสีเหลืองส้ม (ภาพ ค.2.3)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณบีตาแคโรทีนในแป้งดูดซับชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการผลิตแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ปริมาณบีตาแคโรทีน (µg/g) ในแป้งดูดซับ		
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
40	30	$312.47^{aB} \pm 6.66$	$304.00^{aB} \pm 9.29$	$355.68^{aA} \pm 3.60$
	45	$295.45^{bB} \pm 12.91$	$290.44^{abB} \pm 20.29$	$337.53^{abcA} \pm 19.82$
	60	$287.75^{bB} \pm 12.05$	$287.46^{abcB} \pm 14.74$	$334.86^{abcA} \pm 1.95$
50	30	$265.88^{cB} \pm 6.17$	$283.87^{abcB} \pm 3.13$	$343.43^{abA} \pm 23.88$
	45	$262.09^{cB} \pm 3.67$	$267.15^{cdeB} \pm 1.53$	$331.71^{abA} \pm 4.89$
	60	$241.52^{dB} \pm 2.29$	$247.87^{efB} \pm 6.77$	$315.72^{cA} \pm 3.63$
60	30	$245.99^{dB} \pm 5.10$	$264.22^{defB} \pm 22.99$	$318.35^{cA} \pm 13.81$
	45	$239.64^{dB} \pm 8.56$	$243.77^{efB} \pm 1.54$	$265.22^{dA} \pm 3.95$
	60	$231.89^{dA} \pm 5.99$	$241.97^{fA} \pm 15.93$	$261.47^{dA} \pm 10.81$

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 ค่า a_w ของแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ค่า a_w ของแคโรทีนอยด์อิมัลชันในแป้งดูดซับ		
อุณหภูมิ (^oC)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
40	30	$0.88^{eC} \pm 0.00$	$0.85^{hB} \pm 0.01$	$0.83^{hA} \pm 0.00$
	45	$0.76^{dB} \pm 0.00$	$0.75^{gA} \pm 0.00$	$0.78^{gC} \pm 0.01$
	60	$0.75^{dB} \pm 0.00$	$0.73^{fA} \pm 0.00$	$0.73^{fA} \pm 0.00$
50	30	$0.77^{dC} \pm 0.00$	$0.76^{gB} \pm 0.00$	$0.71^{eA} \pm 0.00$
	45	$0.66^{cB} \pm 0.00$	$0.61^{dA} \pm 0.02$	$0.67^{dC} \pm 0.01$
	60	$0.53^{bC} \pm 0.00$	$0.46^{bA} \pm 0.00$	$0.50^{bB} \pm 0.00$
60	30	$0.76^{dB} \pm 0.00$	$0.71^{eA} \pm 0.00$	$0.71^{eA} \pm 0.00$
	45	$0.54^{bB} \pm 0.01$	$0.58^{cC} \pm 0.01$	$0.51^{cA} \pm 0.00$
	60	$0.43^{aC} \pm 0.02$	$0.39^{aB} \pm 0.00$	$0.32^{aA} \pm 0.00$

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ตารางที่ 4.10 ร้อยละของบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมาของแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ร้อยละของบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมา		
อุณหภูมิ (^oC)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
40	30	$63.09^{aB} \pm 1.35$	$61.38^{aB} \pm 1.88$	$71.82^{aA} \pm 0.73$
	45	$59.66^{bB} \pm 2.61$	$58.64^{abB} \pm 4.10$	$68.15^{abA} \pm 4.00$
	60	$58.10^{bB} \pm 2.43$	$58.04^{abcB} \pm 2.98$	$67.61^{abcA} \pm 0.39$
50	30	$53.69^{bC} \pm 1.25$	$57.32^{abcB} \pm 0.63$	$69.34^{abcA} \pm 4.82$
	45	$52.92^{cB} \pm 0.74$	$53.94^{bcdB} \pm 0.31$	$66.98^{bcA} \pm 0.99$
	60	$48.77^{dB} \pm 0.46$	$50.05^{cdeB} \pm 1.37$	$63.75^{cA} \pm 0.73$
60	30	$49.67^{dB} \pm 1.03$	$53.35^{deB} \pm 4.64$	$64.28^{cA} \pm 2.79$
	45	$48.39^{dB} \pm 1.73$	$49.22^{deB} \pm 0.31$	$53.55^{dA} \pm 0.80$
	60	$46.82^{dA} \pm 3.23$	$48.86^{eA} \pm 3.22$	$52.80^{dA} \pm 2.18$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 การทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

จากการศึกษาการทำแห้งแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ได้ใช้แป้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียว และแป้งถั่วเขียว เป็นตัวดูดซับ ได้ใช้อัตราส่วนแคโรทีนอยด์อิมัลชัน 40% โดยปริมาตร (ตอนที่ 4.2.1) และใช้กำลังของเครื่องไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 720, 960 หรือ 1200 วัตต์ ใช้เวลาในการทำแห้งที่ใช้ 5, 10 หรือ 15 นาที

ผลการศึกษา (ตารางที่ 4.11 และ 4.12) พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนในตัวอย่างแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้ง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มกำลังวัตต์ขึ้น และจากการใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น และพบว่าค่า a_w สัมพันธ์กับระดับกำลังวัตต์ที่ใช้และระยะเวลาในการอบแห้ง โดยกำลังวัตต์ที่เพิ่มขึ้น และเวลาในการอบแห้งที่นานขึ้นเป็นผลให้ ค่า a_w ในตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้แป้งถั่วเขียวเป็นตัวดูดซับ และใช้การอบแห้งที่กำลังวัตต์ 720 เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ เนื่องจาก มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดหลงเหลืออยู่สูงสุด คือ 371.42 µg/g ได้ผลผลิตคงเหลือสูงสุด คือ 75.00% ของน้ำหนัก แคโรทีนอยด์เริ่มต้น (ตารางที่ 4.13) และให้ค่า a_w เท่ากับ 0.52 ซึ่งต่ำกว่า 0.6 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีสีเหลืองส้ม (ภาพ ค.25)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณบีตาแคโรทีนแป้งดูดซับชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการผลิตแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ปริมาณบีตาแคโรทีน (µg/g) ในแป้งดูดซับ		
กำลัง (watt)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
720	5	$357.17^{aA} \pm 10.42$	$361.73^{aA} \pm 11.11$	$386.09^{aA} \pm 42.13$
	10	$352.32^{aB} \pm 1.18$	$357.99^{aB} \pm 11.32$	$374.50^{abA} \pm 7.43$
	15	$339.12^{bA} \pm 10.97$	$353.33^{aA} \pm 42.24$	$371.42^{abcA} \pm 8.13$
960	5	$357.27^{aA} \pm 1.18$	$353.21^{aA} \pm 22.79$	$369.27^{abcA} \pm 7.39$
	10	$322.17^{cC} \pm 1.43$	$348.16^{aB} \pm 2.94$	$362.86^{abcdA} \pm 4.68$
	15	$309.86^{dC} \pm 1.18$	$348.29^{aB} \pm 32.58$	$350.21^{bcdA} \pm 5.32$
1200	5	$335.96^{bC} \pm 4.07$	$345.77^{aB} \pm 0.62$	$369.12^{abcA} \pm 1.33$
	10	$283.40^{eC} \pm 2.26$	$321.76^{aB} \pm 13.97$	$344.32^{cdA} \pm 5.59$
	15	$286.71^{eB} \pm 5.32$	$264.67^{bC} \pm 14.86$	$338.00^{dA} \pm 4.21$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ค่า a_w ของแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ค่า a_w ของแคโรทีนอยด์อิมัลชัน ในแป้งดูดซับ		
กำลัง (watt)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
720	5	$0.87^{fC} \pm 0.00$	$0.84^{fB} \pm 0.00$	$0.78^{fA} \pm 0.01$
	10	$0.85^{fC} \pm 0.00$	$0.84^{fB} \pm 0.00$	$0.70^{eA} \pm 0.00$
	15	$0.81^{dC} \pm 0.01$	$0.76^{dB} \pm 0.00$	$0.52^{dA} \pm 0.01$
960	5	$0.86^{fC} \pm 0.01$	$0.83^{fB} \pm 0.00$	$0.78^{fA} \pm 0.01$
	10	$0.85^{fC} \pm 0.00$	$0.80^{eB} \pm 0.00$	$0.70^{eA} \pm 0.01$
	15	$0.70^{cC} \pm 0.00$	$0.60^{cB} \pm 0.00$	$0.46^{cA} \pm 0.00$
1200	5	$0.83^{eC} \pm 0.02$	$0.80^{eB} \pm 0.00$	$0.70^{eA} \pm 0.02$
	10	$0.48^{bB} \pm 0.01$	$0.55^{bC} \pm 0.00$	$0.42^{bA} \pm 0.01$
	15	$0.23^{aC} \pm 0.00$	$0.20^{aB} \pm 0.00$	$0.14^{aA} \pm 0.00$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ตารางที่ 4.13 ร้อยละของผลผลิตบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมาของแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

สภาวะที่ใช้		ร้อยละของบีตาแคโรทีนที่ได้กลับคืนมา		
กำลัง (watt)	เวลา (นาที)	แป้งข้าวจ้าว	แป้งข้าวเหนียว	แป้งถั่วเขียว
720	5	$72.12^{aA} \pm 2.10$	$73.04^{aA} \pm 2.24$	$77.96^{aA} \pm 8.51$
	10	$71.14^{aB} \pm 0.24$	$72.28^{bB} \pm 2.29$	$75.62^{abA} \pm 1.50$
	15	$68.47^{bA} \pm 2.21$	$71.34^{bA} \pm 8.53$	$75.00^{abcA} \pm 1.64$
960	5	$72.14^{aA} \pm 0.36$	$71.32^{bA} \pm 4.60$	$74.56^{abcA} \pm 1.49$
	10	$65.05^{cC} \pm 0.29$	$70.30^{bB} \pm 0.59$	$73.27^{abcdA} \pm 0.95$
	15	$62.57^{dB} \pm 0.24$	$70.33^{bA} \pm 6.58$	$70.71^{bcdA} \pm 1.07$
1200	5	$67.84^{Bc} \pm 0.82$	$69.82^{bB} \pm 0.13$	$74.53^{abcA} \pm 0.27$
	10	$57.22^{eC} \pm 0.46$	$64.97^{bB} \pm 2.82$	$69.52^{cdA} \pm 1.13$
	15	$57.89^{eC} \pm 1.07$	$53.44^{bB} \pm 3.00$	$68.25^{dA} \pm 0.85$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

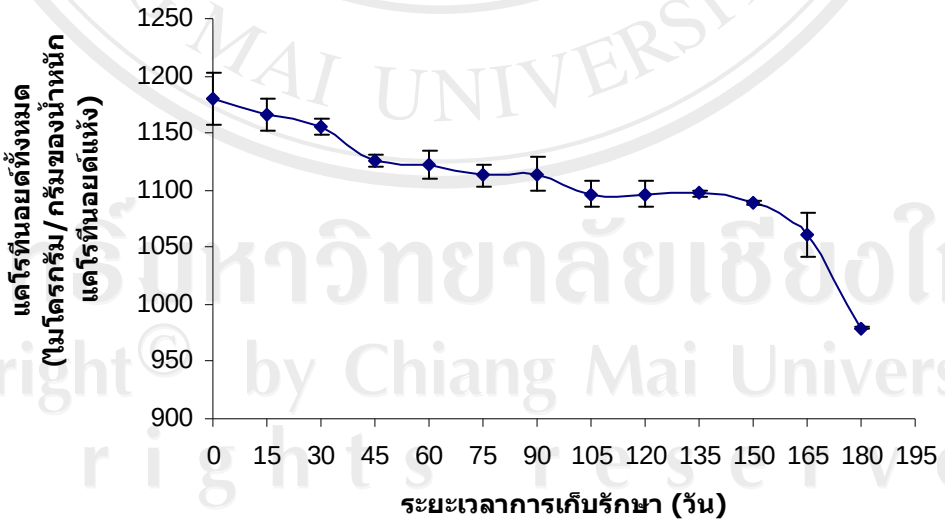
จากการทดลองตอนที่ 4.2.2 และ4.2.3 พบว่า ควรใช้แป้งถั่วเขียวเป็นตัวดูดซับแคโรทีนอยด์อิมัลชัน โดยใช้อัตราส่วนแป้งต่อ แคโรทีนอยด์อิมัลชัน 2:1 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนอิมัลชัน 40 % โดยปริมาตร สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศ และเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ได้ผลผลิตคงเหลือสูงสุด คือ 63.75 % และ 75.00 % ของน้ำหนักแคโรทีนอยด์รวมเริ่มต้น ตามลำดับ ดังนั้นการทำแห้งแคโรทีนอยด์อิมัลชันที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้เครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่กำลังวัตต์ 720 เป็นเวลา 15 นาที

4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1 แคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมันที่ทำแห้งโดยใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวดูดซับระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีน

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ปริมาณของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายในน้ำมันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยในช่วง 3 เดือนแรก ปริมาณบีตาแคโรทีนมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากนั้นปริมาณบีตาแคโรทีนยังคงลดลงจนกระทั่งเดือนที่ 5 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน

ในช่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นอกจากจะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์แล้ว ยังได้ทำการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตลอดจนปริมาณยีสต์และรา แม้ว่าผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งจะไม่มีข้อกำหนดคุณภาพของจุลินทรีย์ แต่เมื่อเทียบกับคุณภาพมาตรฐานของอาหารแห้ง ซึ่งกำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log cfu/g, ราและยีสต์ไม่เกิน 2 log cfu/g (ภาคผนวก ข.3.3) จึงสรุปได้ว่าแคโรทีนอยด์แห้งที่ละลายในน้ำมันยังมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์ได้มาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน

จากการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ตาราง 4.14) อาจเป็นผลมาจากการใช้บรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมฟรอยด์ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งมีออกซิเจนต่ำ ซึ่งจะเป็นตัวขัดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน (aerobe) อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobe) ยังสามารถเจริญได้ (Hymavathi and Khader, 2005)

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันตลอดที่การเก็บรักษามีแนวโน้มคงที่ โดยเมื่อเก็บนาน 6 เดือน พบปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ไม่เกินค่ามาตรฐาน แสดงว่า ยีสต์และราในแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายในน้ำมัน อาจมีออกซิเจนที่จำเป็นต้องใช้ในการเจริญไม่เพียงพอของยีสต์และรา (Hymavathi and Khader, 2005)

จากการการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน โดยใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวดูดซับแคโรทีนอยด์ ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน มีอายุการเก็บมากกว่า 6 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายตัวในน้ำมันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)
0	1.00
15	2.11
30	2.35
45	2.38
60	2.42
75	2.51
90	2.57
105	2.60
120	2.63
135	2.74
150	2.77
165	2.80
180	1.86

ตารางที่ 4.15 ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายตัวในน้ำมันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)
0	< 1
15	< 1
30	< 1
45	< 1
60	< 1
75	1.00
90	1.00
105	1.00
120	1.05
135	1.20
150	1.30
165	1.30
180	1.00

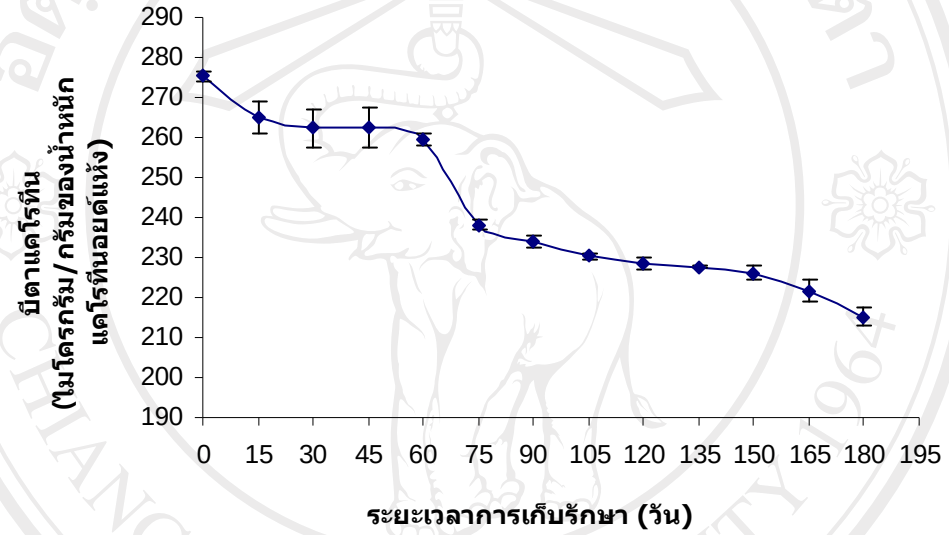
หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 แคโรทีนอยด์รูปอิมัลชันที่ทำแห้งโดยใช้แป้งถั่วเขียวเป็นตัวดูดซับระหว่างการเก็บรักษา

4.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีน

จากภาพที่ 4.6 พบว่า ปริมาณของบีตาแคโรทีนในแคโรทีนอยด์แห้งในรูปอิมัลชันที่เก็บรักษาในช่วง 3 เดือนแรก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน ในช่วง 3 เดือนแรก มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากนั้นปริมาณบีตาแคโรทีนยังคงลดลงจนกระทั้งเดือนที่ 6 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

ในช่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นอกจากจะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์แล้ว ยังได้ทำการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตลอดจนปริมาณยีสต์และรา แม้ว่าผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งจะไม่มีข้อกำหนดคุณภาพของจุลินทรีย์ แต่เมื่อเทียบกับคุณภาพมาตรฐานของอาหารแห้ง ซึ่งกำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log cfu/g, ราและยีสต์ไม่เกิน 2 log cfu/g (ภาคผนวก ข.3.3) ดังนั้น แคโรทีนอยด์แห้งที่สกัดจากแคโรทีนอยด์รูปอิมัลชันยังมีคุณภาพได้มาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน

จากตารางที่ 4.16 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งที่ผลิตจากแคโรทีนอยด์รูปอิมัลชันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6 เดือน มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้น แต่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 2.65 log cfu/g การที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากการใช้บรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมฟรอยด์ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งได้อธิบายไปแล้วข้างต้น (Hymavathi and Khader, 2005)

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ยีสต์และราในแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันมีการเจริญได้ไม่ดี โดยพบไม่เกิน 1.00 log cfu/g ดังนั้นผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชัน จึงมีอายุการเก็บได้มากกว่า 6 เดือน เหมือนในกรณีของแคโรทีนอยด์ในรูปละลายในน้ำมัน

ตารางที่ 4.16 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)
0	< 1
15	1.10
30	1.74
45	1.86
60	1.92
75	2.15
90	2.25
105	2.34
120	2.40
135	2.43
150	2.51
165	2.65
180	1.88

หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)
0	< 1
15	< 1
30	< 1
45	< 1
60	< 1
75	1.00
90	1.00
105	1.00
120	1.00
135	1.00
150	1.00
165	1.00
180	0.67

หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

4.4 การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งระหว่างการเก็บรักษา

4.4.1 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมัน

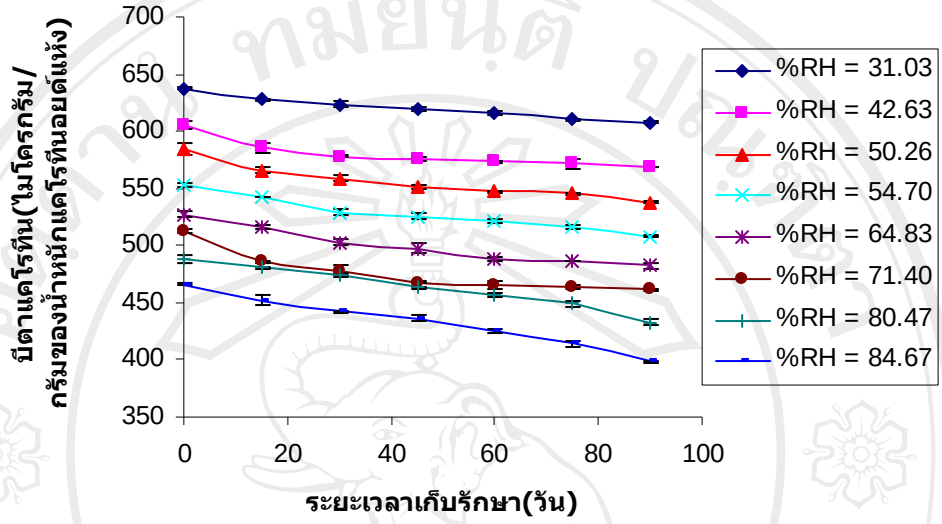
4.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีน

ระหว่างการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมันในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.7

เนื่องจาก ปริมาณเริ่มต้นของแคโรทีนอยด์แห้งที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์แตกต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการวัดผลของความชื้นสัมพัทธ์จึงประเมินโดยใช้อัตราการลดลงของบีตาแคโรทีน ซึ่งพบว่า การเก็บแคโรทีนอยด์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าจะมีอัตราการลดลงต่ำกว่า (ตาราง 4.18) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงอาหารจะเกิดการดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า (Shrestha *et al.*, 2007) เมื่ออาหารดูดความชื้นจากอากาศมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณน้ำในอาหารสูงขึ้น เป็นผลให้แคโรทีนอยด์สลายตัวจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และการสร้างอีพอกไซด์มากขึ้น (Hymavathi and Khader, 2005) ดังนั้นการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์แห้ง ควรใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และ ควรเก็บในที่แห้ง



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 3 เดือนในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.18 การลดลงของบีตาแคโรทีนในแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 3 เดือน ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ร้อยละการลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน (%)	อัตราการลดลง ((µg/g)/ เดือน)
31.03	$2.88^{a} \pm 0.77$	9.50
42.63	$3.18^{a} \pm 0.02$	10.38
50.26	$4.89^{b} \pm 0.48$	13.60
54.70	$5.10^{b} \pm 0.13$	13.97
64.83	$6.43^{c} \pm 0.15$	14.78
71.40	$6.50^{c} \pm 0.23$	15.02
80.47	$10.00^{d} \pm 0.45$	17.53
84.67	$11.81^{e} \pm 0.93$	21.04

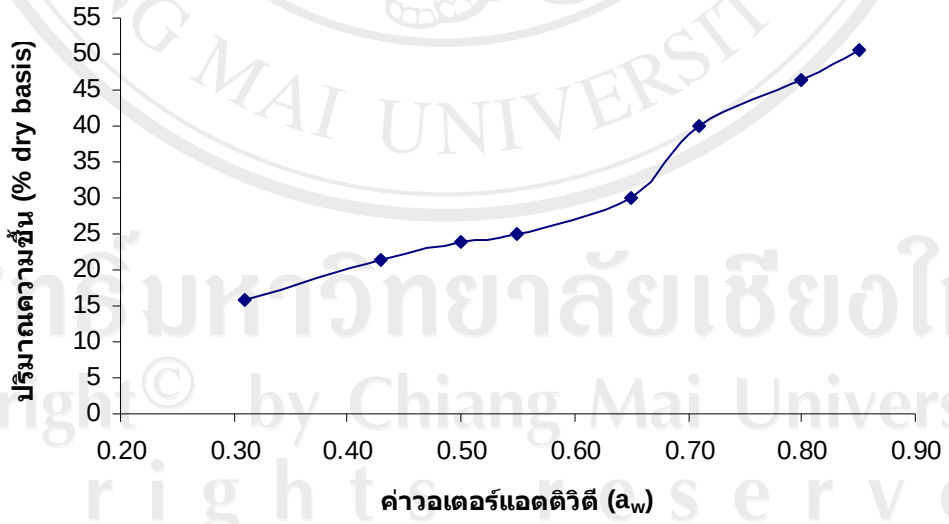
หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.1.2 Moisture sorption isotherms ของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายในน้ำมัน

กราฟ Sorption Isotherms ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งกราฟ Sorption Isotherm ที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปโค้ง (sigmoidal curve) ประกอบด้วย เส้นกราฟ adsorption isotherm ที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.51 – 0.85 และเส้นกราฟ desorption isotherm ที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.31 – 0.51 ทั้งนี้ที่ค่า a_w ระหว่าง 0.31 ถึง 0.55 กราฟจะมีความชันต่ำ แสดงว่า ช่วงนี้อาหารดูดความชื้นได้ต่ำ จนที่ a_w มากกว่า 0.55 กราฟเริ่มมีความชันเพิ่มขึ้น แสดงถึงความสามารถในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น โดยน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะช่วยเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ และถูกใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ และใช้ในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเป็นเหตุให้อาหารเสียได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 54.70% หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.55 (Debnath *et al.*, 2002)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาที่ผ่านมาของ Goula *et al.* ในปี 2008 พบว่า แคโรทีนอยด์จากเนื้อมะเขือเทศที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้กราฟ Sorption Isotherm ที่มีลักษณะเป็นรูปโค้ง คล้ายกับการทดลองนี้ แต่กราฟที่ได้จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็วที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60%



ภาพที่ 4.8 Moisture sorption isotherm ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

ในช่วงเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ นอกจากจะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์แล้ว ยังได้ทำการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตลอดจนปริมาณยีสต์และราด้วย พบว่า แคโรทีนอยด์แห้งที่สกัดจากแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมัน ยังมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ได้มาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 3 เดือน (ตาราง 4.19) ทั้งนี้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งที่ผลิตจากแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมันที่เก็บที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.34-3.92 log cfu/g เมื่อเก็บนาน 3 เดือน และสำหรับที่ระดับร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์สูงด้วย เป็นเหตุให้จุลินทรีย์มีน้ำที่ใช้ในการเจริญได้ดีกว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า

จากตารางที่ 4.20 พบว่า ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน มีแนวโน้มคงที่ โดยเมื่อเก็บนาน 3 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 64.83% ขึ้นไปพบ ปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 1.33 log cfu/g

จากการการศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน โดยใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวดูดซับแคโรทีนอยด์ ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า อัตราการสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด คือ 9.50 µg/gต่อเดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.03% โดยการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้แคโรทีนอยด์ลดลงมากขึ้น ($p>0.05$) และผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 84.76% สามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 3 เดือน แต่การเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 54.70% จะช่วยให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา ในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ เป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการเก็บรักษา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (%)							
	31.03	**42.63**	**50.26**	**54.70**	**64.83**	**71.40**	**80.47**	**84.67**
0	1.71	1.98	3.08	3.20	3.17	3.21	3.30	3.34
15	1.76	2.03	3.13	3.22	3.23	3.29	3.34	3.42
30	1.85	2.13	3.17	3.23	3.24	3.30	3.35	3.44
45	1.93	2.17	3.24	3.25	3.31	3.34	3.41	3.53
60	2.21	2.27	3.35	3.42	3.43	3.54	3.74	3.81
75	2.25	2.27	3.36	3.43	3.44	3.55	3.74	3.82
90	2.34	2.34	3.39	3.44	3.50	3.66	3.82	3.92

ตารางที่ 4.20 ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปละลายตัวในน้ำมันระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g) ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (%)							
	31.03	**42.63**	**50.26**	**54.70**	**64.83**	**71.40**	**80.47**	**84.67**
0	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
15	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.10
30	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.13
45	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.13
60	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.13
75	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.13	1.13
90	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.13	1.13

หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแคโรทีนอยด์รูปอิมัลชัน

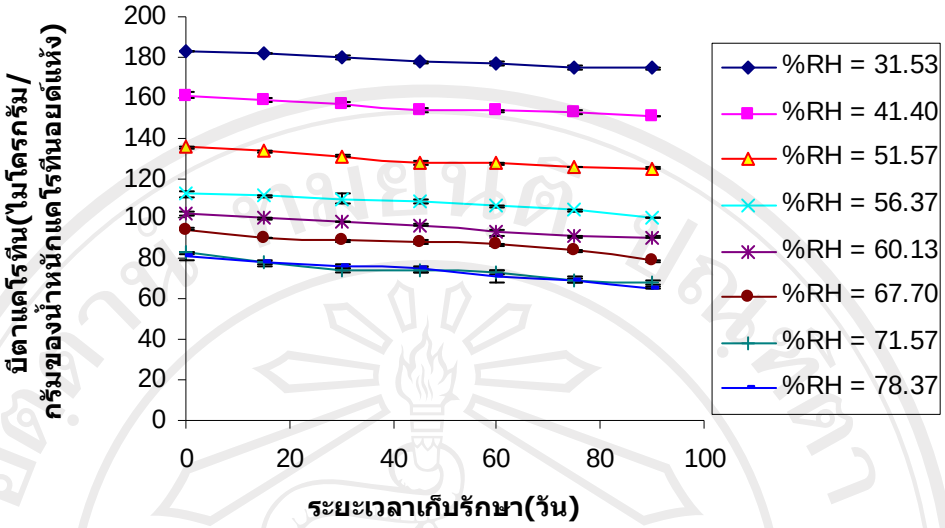
4.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีน

จากภาพที่ 4.9 พบว่า ระหว่างการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เนื่องจากปริมาณเริ่มต้นของการทำแห้งแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันมีความแตกต่างของปริมาณบีตาแคโรทีนริ่มต้น ดังนั้นการวัดผลของความชื้นสัมพัทธ์จึงประเมินโดยใช้อัตราการลดลงของบีตาแคโรทีน โดยการเก็บแคโรทีนอยด์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าจะมีอัตราการลดลงต่ำกว่า (ตาราง 4.21) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงอาหารจะเกิดการดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า (Shrestha *et al.,* 2007) เช่นเดียวกับ ในการทดลองของแคโรทีนอยด์รูปละลายในน้ำมัน

จากตารางที่ 4.3.8 แสดงถึง อัตราการสูญเสียปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่ามากสุด คือ 4.94 (µg/g) ต่อเดือนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 78.37 % และมีค่าน้อยสุด คือ 3.06 (µg/g) ต่อเดือนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.53 % สรุปได้ว่า การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าจะมีการสลายตัวของบีตาแคโรทีนน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงอาหารจะเกิดการดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า (Shrestha *et al.,* 2007) เมื่ออาหารดูดความชื้นจากอากาศมากขึ้นปริมาณน้ำในอาหารสูงขึ้น เป็นผลให้แคโรทีนอยด์สลายตัวจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และการสร้างอีพอกไซด์มากขึ้น (Hymavathi and Khader , 2005) ดังนั้น การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชัน ควรใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และ ควรเก็บในที่แห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 3 เดือนในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.21 การลดลงของบีตาแคโรทีนในแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชัน ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

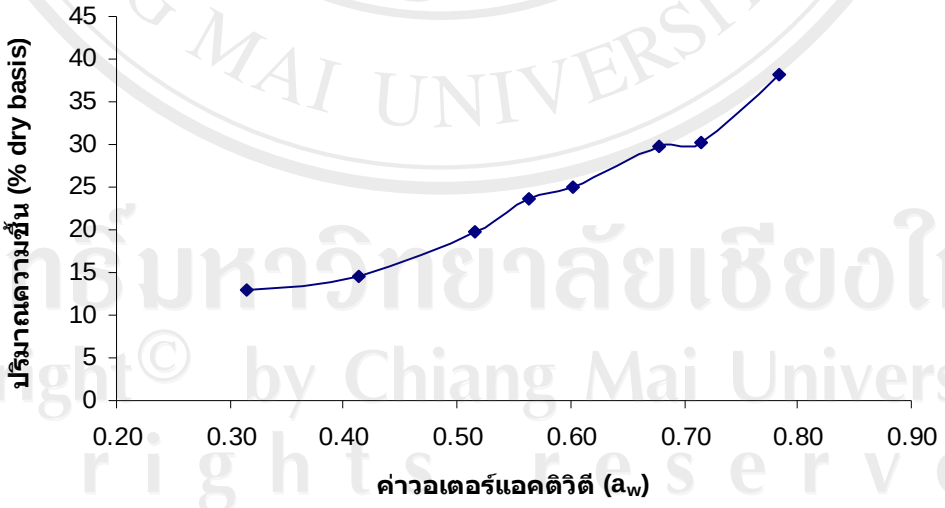
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ร้อยละการลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน	อัตราการลดลง (µg/g)/ เดือน
31.53	4.92 ^{a}± 0.70	3.06
41.40	5.78^{a}± 0.82	3.24
51.57	9.07^{b}± 0.42	3.57
56.37	10.15^{b} ± 1.24	3.71
60.13	13.11^{c} ± 0.52	4.11
67.70	15.37^{d} ± 0.94	4.40
71.57	17.70^{e} ± 1.33	4.53
78.37	19.56^{e} ± 1.96	4.94

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2.2 Moisture sorption isotherms ของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปอิมัลชัน

จากภาพที่ 4.10 เป็นกราฟ Sorption Isotherms ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งกราฟ Sorption Isotherm ที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปโค้ง เช่นเดียวกับการทดลองของแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมัน ประกอบด้วย เส้นกราฟ adsorption isotherm ที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.51 – 0.78 และเส้นกราฟ desorption isotherm ที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.32 – 0.51 ทั้งนี้ที่ค่า a_w ระหว่าง 0.31 ถึง 0.60 กราฟจะมีความชันต่ำ แสดงว่าช่วงนี้อาหารดูดความชื้นได้ต่ำ จนที่ a_w มากกว่า 0.60 กราฟเริ่มมีความชันเพิ่มขึ้น แสดงถึงความสามารถในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บแคโรทีนอยด์แห้งรูปละลายในน้ำมันที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60.13% หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 (Debnath *et al.*, 2002) ซึ่งจะเห็นว่าแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันสามารถเก็บรักษาได้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่ารูปละลายในน้ำมัน เนื่องจากในรูปน้ำมันการจับกันระหว่างแคโรทีนอยด์กับแป้งดูดซับที่ตำแหน่ง Hydrophobic เท่านั้น ขณะที่ในรูปอิมัลชันมีการจับกันระหว่างแคโรทีนอยด์อิมัลชันกับแป้งดูดซับที่ตำแหน่ง Hydrophobic และ Hydrophillic เป็นผลให้แคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งมีตำแหน่งในการดูดซับน้ำน้อยลง จึงทำให้สามารถดูดความชื้นได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์แห้งรูปน้ำมัน ดังจะเห็นจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ ที่ a_w = 0.50 ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันและรูปน้ำมัน 20 และ 25% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 Moisture sorption isotherm ของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในช่วงเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ นอกจากจะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนแล้ว ยังได้ทำการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตลอดจนปริมาณยีสต์และราด้วย พบว่า แคโรทีนอยด์แห้งที่สกัดจากแคโรทีนอยด์อิมัลชันยังมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ได้มาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 3 เดือน (ตาราง 4.22)

ทั้งนี้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งที่ผลิตจากแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมันที่เก็บที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 56.37% พบปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 56.37% จุลินทรีย์มีการเจริญน้อยมากและไม่แตกต่างกัน ซึ่งเหล่านี้เป็นผลจากบรรจุภัณฑ์ใช้และที่สภาวะสุญญากาศ ซึ่งได้กล่าวถึงในการทดลองของแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมันแสดงถึงผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์อิมัลชันแห้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน ไม่แตกต่างกัน โดยเมื่อเก็บนาน 3 เดือน พบปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 1.00 log cfu/g แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 64.83% ขึ้นไปปริมาณยีสต์และรามีการเพิ่มขึ้นตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นแต่ปริมาณไม่เกิน 1.33 log cfu/g

จากการการศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชัน โดยใช้แป้งถั่วเขียวเป็นตัวดูดซับแคโรทีนอยด์ ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า อัตราการสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด คือ 3.06 (μg/g) ต่อเดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.53% โดยการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้แคโรทีนอยด์ลดลงมากขึ้น ($p>0.05$) และผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 84.76% สามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 3 เดือน แต่การเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60.13% จะช่วยให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.22 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแคโรทีนอยด์แห้งรูปอิมัลชันระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)							
	31.53	**41.40**	**51.57**	**56.37**	**60.13**	**67.70**	**71.57**	**78.37**
0	< 1	1.00	1.00	1.00	1.10	1.43	1.75	2.07
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.53	1.80	2.11
30	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.16	2.22	2.38
45	1.00	1.00	1.00	1.00	2.07	2.21	2.30	2.42
60	1.00	1.00	1.00	1.00	2.15	2.23	2.30	2.45
75	1.00	1.00	1.00	1.00	2.16	2.25	2.32	2.49
90	1.00	1.00	1.00	1.00	2.23	2.27	2.33	2.51

หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

ตารางที่ 4.23 ปริมาณยีสต์และราของแคโรทีนอยด์แห้งในรูปอิมัลชันระหว่างการเก็บรักษา ในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ เป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการเก็บรักษา	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g) ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)							
	31.53	**41.40**	**51.57**	**56.37**	**60.13**	**67.70**	**71.57**	**78.37**
0	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
15	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
30	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
45	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
60	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
75	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00
90	< 1	< 1	< 1	< 1	1.00	1.00	1.00	1.00

หมายเหตุ : < 1 = มีปริมาณน้อยกว่า 1 log cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved