บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพของน้ำมันปลาสวายเผาะ

จากการวิเคราะห์ไขมันปลาสวายเผาะพบว่าไขมันปลาสวายเผาะเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) ยังคงสภาพเป็นของแข็งเนื่องจากในโมเลกุลของกรดไขมันในไขมันปลาสวายเผาะนั้นมีคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอมขึ้นไป ถ้าหากกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอมจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเมื่อกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้นก็จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา, 2548)

เมื่อนำไขมันปลาสวายเผาะไปวิเคราะห์จุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Differrential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าจุดหลอมเหลวของไขมันปลาสวายเผาะเท่ากับ 51.04 องศาเซลเซียส แสดงว่าไขมันปลาสวายเผาะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงเนื่องจากกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวที่สูง (Coultate, 1999) จุดหลอมเหลวของไขมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Mathews and van Holde, 1990) เมื่อนำไขมันปลาสวายเผาะเข้าสู่กระบวนการสกัดให้อยู่ในรูปของเหลวโดยหลอมละลายในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวได้น้ำมันดิบปริมาณ 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำมันที่ได้มีลักษณะ สีเหลืองใส มีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณะของปลาสวายเผาะ (รูปที่ 4.1)

รูปที่ 4.1 น้ำมันปลาสวายเผาะที่ผ่านกรรมวิธีการสกัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปลาสวายเผาะ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันตามวิธีการของ Shahidi and Wanasundara (1998) โดยนำน้ำมันปลาสวายเผาะมาเปลี่ยนกรดไขมันให้อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์แล้วทำการสกัดสารรบกวนหลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี และคำนวณองค์ประกอบของกรดไขมัน พบว่าในน้ำมันปลาสวายเผาะมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สามารถระบุได้แก่ กรดไมริสติก กรดเพนทาดีคาโนอิก กรดปาล์มิติก กรดปาล์มิโตเลอิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก แอลฟา-ลิโนเลอิก กรดอิโคซาไตรอิโนอิก กรดอิโคซาเตทตราอิโนอิก กรดอิซิโอซาเพนทาอิโนอิก (EPA) และกรดโดโคซาเฮกซาโนอิก (DHA) ปริมาณของกรดไขมันทั้ง 12 ชนิดได้ดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปลาสวายเผาะ

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน (กรัม/100 กรัม)
กรดไมริสติก	1.30
กรดเพนทาดีคาโนอิก	1.00
กรดปาล์มิติก	24.20
กรดปาล์มิโตเลอิก	1.3
กรดสเตียริก	7.70
กรดโอเลอิก	41.60
กรดลิโนเลอิก	16.10
แอลฟา-ลิโนเลอิก	0.60
กรดอิโคซาไตรอิโนอิก	0.88
กรดอิโคซาเตทตราอิโนอิก	0.43
EPA	2.17
DHA	2.70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าในน้ำมันปลาสวายเผาะมีกรดไขมันอิ่มตัว ปาล์มิติก ปริมาณ 24.20 กรัม/100 กรัม มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะคือกรดโอเลอิก ปริมาณ 41.60 กรัม/100 กรัม และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือกรดลิโนเลอิก, EPAและ DHA ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Lorgeril *et al.,* 1994) ที่มีความสำคัญต่อระบบการมองเห็น การพัฒนาการทางสมองของเด็กและ

ลดการเสี่ยงเป็นโรคหัวใจ ปลาสวายเผาะเป็นปลาน้ำจืดซึ่งโดยทั่วไปปลาน้ำจืดจะมีการสะสมไขมันอิ่มตัวเพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงาน (Stansby, 1990) เนื่องจากแหล่งที่อยู่อาศัยนั้นจะมีอุณหภูมิของน้ำสูง (25-28 องศาเซลเซียส) และมีปริมาณออกซิเจนสูง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง, 2549) ซึ่งอุณหภูมิในน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งกรดไขมันใน ฟอสโฟลิปิด 3 ด้าน ด้วยกันคือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของกรดไขมันในสายเอซิลกลีเซอรอล การจัดเรียงตัวของกรดไขมันในโครงสร้างฟอสโฟลิปิด และการเปลี่ยนแปลงชนิดของฟอสโฟลิปิดทำให้ชนิดของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้นั้นมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงและยังสอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของไขมันปลาสวายเผาะด้วย เนื่องจากการสะสมกรดไขมันของปลาน้ำจืดส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่ 1 พันธะ (Oleic acid) ส่วนปลาทะเลน้ำลึกซึ่งอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิของน้ำต่ำจำเป็นต้องสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เช่น EPA และ DHA เพื่อช่วยในการทำหน้าที่และรักษาความยืดหยุ่นของเซลล์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ (Steffen, 1997) จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Celik *et al.* (2005) ที่วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำจืด Sander (Sander lucioperca) พบว่ามีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะสูง ซึ่งนอกจากสายพันธุ์ของปลาที่มีผลต่อปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวแล้วนั้นยังมีความสัมพันธ์กับ อายุ อาหาร แหล่งอาศัย และฤดูกาลยังมีผลต่อการเปลี่ยนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวอีกด้วย (Belitz *et al.,* 2004)

จากการนำน้ำมันที่ได้มาศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพ โดยวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Number: I.N) กรดไขมัน (Acid value: A.C.) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: P.V.) ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Sponification Number: S.N.) ความถ่วงจำเพาะ และค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพ ของน้ำมันปลาสวายเผาะ

ค่าวิเคราะห์	**น้ำมันปลาสวายเผาะ**
ลักษณะทางกายภาพ	มีลักษณะหนืด สีเหลืองใส เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาหนึ่งจะแข็งตัว
ค่าสี L	54.94±0.34
a*	1.03±0.17
b*	1.89±0.15
ค่าความถ่วงจำเพาะ	0.9088±0.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของน้ำมันปลาสวายเผาและค่ามาตรฐานน้ำมันที่ใช้บริโภคและน้ำมันทานตะวัน

ค่าวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน	น้ำมันปลาสวายเผา	น้ำมันทานตะวัน
Iodine Number (mg $Na_2S_3O_2$/g oil)	190**	14.4676	190***
Saponification Number (mg KOH/g oil)	180**	222.0775	134***
Peroxide value (mg meq/g oil)	3-20*	4.5918	-
Acid value (mg NaOH/ g oil)	2-5*	0.5801	-

*Young, (1986); ** มอก, (2516); ***Belitz *et al.* (2004)

น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปจากของแข็งเป็นของเหลวจะมีลักษณะ สีเหลืองใส เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องดังรูปที่ 4.1 แต่เมื่อทิ้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเกิดผลึกแข็งตัวขึ้นมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ค่าสีของน้ำมันเป็นค่าที่บ่งบอกคุณลักษณะของน้ำมันอีกค่าหนึ่ง แต่ไม่ได้มีการกำหนดสีของค่ามาตรฐานไว้เนื่องจากค่าสีเป็นค่าเฉพาะตัวของน้ำมันแต่ละชนิด (อรทัย , 2541) โดยขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่ปนอยู่ภายในและวิธีการกำจัดสี เช่นการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม (นิธิยา, 2548) ระบบที่ใช้วัดค่าสีในการทดลองนี้ใช้ระบบฮันเตอร์ L, a* b* โดย L แสดงถึงค่าความสว่าง (Lightness) ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวอย่างมีค่าความสว่างมากค่า a แสดงถึงค่าสีระหว่างแดง (+a) และเขียว (-a) ค่า b แสดงค่าสีระหว่างน้ำเงิน (-b) และเหลือง (+b) (Rittanathanalerk *et al.,* 2005) จากการทดลองพบว่าน้ำมันปลาสวายเผาที่สกัดได้มีค่าสี L, a*, b* เท่ากับ 54.94, 1.03 และ 1.89 ตามลำดับ (รูปที่ 4.1)

ค่าความถ่วงจำเพาะน้ำมัน (Specific gravity) บ่งชี้ถึงความหนาแน่นของน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างจากไขมันที่ถูกหลอมละลายเพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2549) ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด จึงไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่าเป็นน้ำมันที่หนัก ถ้าความถ่วงจำเพาะต่ำก็แสดงว่าเป็นน้ำมันเบาโดยน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่และจำนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปลาสวายเผาะเท่ากับ 0.9088

จากตารางที่ 4.3 พบว่าน้ำมันปลาสวายเผาะมีค่า I.N., S.N., P.V. และ A.V. เท่ากับ 14.4676, 222.0775, 4.5918 และ 0.5801 ตามลำดับ ค่าไอโอดีน (Iodine Number: I.N.) บ่งชี้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในน้ำมัน ถ้ามีค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและเกิดการหืนชนิด oxdative rancidity ได้ง่าย (นิธิยา, 2548) จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าไอโอดีนในน้ำมันปลาสวายเผาะมีเกณฑ์ต่ำกว่าค่ามาตรฐานแสดงให้เห็นว่าเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ เนื่องจากปลาสวายเผาะเป็นปลาน้ำจืดซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่ใช้การดำรงชีพนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส จึงไม่จำเป็นที่ต้องมีกรดไขมันไม่อิ่มที่ใช้ในกระบวนกา รเมตาบอริซึมที่สูง (Stansby, 1990)

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: P.V.) เป็นค่าที่บอกระดับของการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมัน หาได้โดยการหาปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดในน้ำมันอย่างช้าๆเรียกว่า oxidation rancidity เป็นการเกิดออโตออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงเป็นค่าที่บ่งบอกการเกิด oxidative rancidity มากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้บ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน (นิธิยา, 2548) จากตารางที่ 4.3 พบว่า มีค่าที่อยู่ในมาตรฐานแสดงว่าน้ำมันปลาสวายเผาะเกิด oxidative rancidity เล็กน้อยซึ่งเป็นน้ำมันใหม่ สาเหตุที่มีค่าเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากในกระบวนการเปลี่ยนรูปของน้ำมันปลาสวายเผาะนั้นมีการใช้ความร้อนนอกจากนั้นยังมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน การลดการเกิด oxidative rancidity โดยการเติมสารยับยั้งการเกิด oxidation เช่น ไวตามินอี หรือเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ทึบแสงและป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้

ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Sponification Number: S.N.) บ่งชี้ขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันนั้นๆ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่ากรดที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (นิธิยา, 2548) จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าสปอนนิฟิเคชันในน้ำมันปลาสวายเผาะมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานแสดงให้เห็นว่ากรดไขมันในน้ำมันปลาสวายเผาะที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเป็นส่วนใหญ่

กรดไขมัน (Acid value: A.C.) บ่งชี้ปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันที่ถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสไปเป็นกรดไขมันอิสระ ถ้ามีค่ากรดไขมันสูงแสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่ามีการหืนชนิด Hydrolytic Rancidity ในน้ำมันสูง แสดงถึงคุณภาพน้ำมันต่ำ (นิธิยา, 2548) หรือจะเรียกได้ว่าเป็นค่าที่บ่งภาวะการหืนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำมันซึ่งเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระซึ่งความร้อน แสง และความชื้นช่วยให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น จากตารางที่ 4.3 พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแสดงว่าเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีไม่มีกลิ่นหืน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาค่ากรดของน้ำมันจากปลา garfish พบว่าหลังทำการสกัดมีค่ากรด 3.25 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัมเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน (Boran *et al.,* 2006)

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำมันปลาสวายเผาะที่สกัดได้จากตอนที่ 4.1 ไปผลิตเป็นไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยเตรียมอิมัลชันของน้ำมันปลาสวายเผาะที่เป็นสารกักเก็บผสมกับของผสมระหว่างไคโตซานกับมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสารห่อหุ้ม (Klaypradit and Huang, 2008) นำมาผลิตไมโครแคปซูล ใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรผันอุณหภูมิลมร้อนเข้า 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนออก 100 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์หา ค่าสี ปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชัน (T_g) ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันในแคปซูล ปริมาณและชนิดของกรดไขมัน และวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลให้ผลดังตารางที่ 4.4-4.6 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อุณหภูมิลมร้อนเข้า	สี			a_w	ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)	T_g (^{0}C)
	L	a*	b*			
190^{o}C	81.93^c±1.91	-1.75^a±0.29	+14.12^a±0.47	0.16^c±0.01	2.03^c±0.01	42.5
180^{o}C	84.48^b±2.27	-1.72^a±0.31	+12.84^b±0.58	0.21^b±0.00	2.14^b±0.05	41.0
170^{o}C	90.88^a±2.22	-1.38^b±0.25	+11.96^c±1.04	0.22^a±0.00	2.79^a±0.10	40.0

หมายเหตุ : - ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างและค่า b* ตามอุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในระหว่างกระบวนการผลิตไมโครแคปซูลความร้อนจะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูล โดยการเกิดสีน้ำตาลในอาหารที่มีความชื้นต่ำมักจะเป็นปฏิกิริยาที่มีความร้อนที่ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลเกิดเป็นสีน้ำตาล เรียกว่าการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์หรือ Non-enzyme-Browning (Rittanathanalerk *et al.,*

2005; Brabosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) คาราเมไลเซชัน (caramelization) เป็นการใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออกและเกิดพอลิเมอไรเซชันโดยปฏิกิริยานี้มี สารเริ่มต้นเป็นน้ำตาล (นิธิยา, 2544) แคปซูลผงมีมอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชจึงมีโมเลกุลของน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ (Madene *et al.,* 2005) เมื่อสัมผัสอุณหภูมิที่สูงจากอุณหภูมิลมร้อนเข้าทั้ง 3 ระดับ จึงทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสว่างลดลง

ความชื้นจะมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์แคปซูลผงโดยตรงระหว่างการเก็บรักษาทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นอาหารแห้งควรมีความชื้น ไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Barbosa *et al.,* 1996) จากตารางที่ 4.4 พบว่าความชื้นของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะลดลงตามอุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีปริมาณความชื้นที่ต่ำ (2.03 - 2.79 เปอร์เซ็นต์) ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียสมีความชื้นต่ำที่สุด โดยความชื้นที่ยอมรับได้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารจะอยู่ในช่วงระหว่าง 3-4 เปอร์เซ็นต์ (Master, 1991)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะลดลงตามอุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส ทำให้ไมโครแคปซูลมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีน้อยที่สุด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Maa *et al.* (1998) ที่พบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในผลิตภัณฑ์ อบแห้งแบบพ่นฝอยจะสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ วอเตอร์แอคทิวิตีมีความสัมพันธ์กับความชื้นอุณหภูมิ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในน้ำ อาหารที่มีความชื้นสูงจะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงจะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ต่ำกว่า 1.0 วอเตอร์แอคทิวิตีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (ศุภชัย, 2549) และมีผลต่อการเปลี่ยนวัฏภาค (การเปลี่ยนสถานะ) ที่สูงขึ้นทำให้แคปซูลผงมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลงและทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ต่อได้ในระหว่างการเก็บรักษา ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์แคปซูลผงในระดับอุตสาหกรรมที่ยอมรับได้ควรอยู่ที่ระดับประมาณ 0.3 (Klinkesorn *et al.,* 2006)

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานสิชันพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นอุณหภูมิการเกิดกลาสทรานสิชันเพิ่มขึ้น (40-42.5 องศาเซลเซียส) เนื่องจากน้ำที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนสถานะของอาหารมีปริมาณลดลงตามอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องการเก็บรักษา โดยสามารถทำนายความคงตัวของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา วัตถุประสงค์ของการเลือกสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับอาหาร คือ เพื่อลดอัตราการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเสื่อมเสีย และให้อาหารมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา จากผลดังกล่าวควรเก็บรักษาไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะที่อุณหภูมิไม่เกิน 42 องศาเซลเซียส จะทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน จากการหาประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulated efficiency: EE) โดยใช้วิธีการของ Klinkesorn *et al.* (2006) โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันอิสระที่อยู่ภายนอกแคปซูล (Hexane-extractable oil: FE) ปริมาณไขมันที่ถูกกักเก็บภายในแคปซูล (Encapsulated oil: EO) และปริมาณไขมันทั้งหมด (Total oil: To) ได้ประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulated efficiency) ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันปลาสวายเผาะในไมโครแคปซูลผงที่ผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อุณหภูมิลมร้อนเข้า	Free oil (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulated oil (กรัม/100 กรัม powder)	Total oil^{ns} (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulation efficiency (เปอร์เซ็นต์)
190^{o}C	3.95^{c}±0.02	18.60^{a}±0.05	22.55±0.13	82.48^{a}±0.31
180^{o}C	4.38^{b}±0.64	18.18^{b}±0.51	22.56±0.07	80.58^{b}±0.10
170^{o}C	5.21^{a}±0.24	17.29^{c}±0.38	22.50±0.18	77.70^{c}±0.35

หมายเหตุ : - ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
-ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
-เครื่องหมาย ^{ns} ในคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำมันอิสระ (Free oil) คือน้ำมันที่ไม่ถูกห่อหุ้มอยู่ภายในแคปซูลเป็นน้ำมันที่อยู่ที่ผิวของอนุภาคแคปซูลที่ได้ด้วยการสกัดจากสารละลายเฮกเซนออกมาในรูปของเหลว (น้ำมัน) ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บของแคปซูลผงโดยตรง เมื่อมีปริมาณน้ำมันอิสระมากประสิทธิภาพในการกักเก็บก็จะต่ำแคปซูลผงที่ได้มีความสามารถในการไหลต่ำเนื่องจากน้ำมันอิสระที่อยู่รอบๆอนุภาคของแคปซูลจะเป็นตัวประสานยึดติดกันระหว่างอนุภาคของแคปซูลทำให้แคปซูลผงมีความเหนียวหนืด ยึดเกาะเป็นก้อน และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนที่เกิดจากน้ำมันที่ผิวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นอนุมูลอิสระ ในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณน้ำมันอิสระมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิที่สูงมีอัตราการระเหยของน้ำเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำจึงทำให้หยดน้ำมันในอิมัลชันถูกกักเก็บภายในแคปซูลผงได้เร็ว โอกาสที่เกิดการสลายหรือการแยกตัวของหยดน้ำมันออกจากอิมัลชันจึงน้อย ในขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำนั้นหยดอิมัลชันจะใช้ระยะเวลาในการกลายเป็นแคปซูลที่นานโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนที่ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำมันไปที่ผิวจึงสูงกว่าและมีอัตราการระเหยของน้ำที่ต่ำกว่า (Gharsallaoui *et al.,* 2007) ทำให้มีการแยกตัวของน้ำมันที่ถูกกักเก็บไปที่ผิวของแคปซูลมาก

นอกจากนั้นขนาดอนุภาคแคปซูลหรืออิมัลชันก็มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากทำให้มีน้ำมันมายึดเกาะเป็นจำนวนมาก การที่อนุภาคผิวมีขนาดที่ใหญ่นั้นเกิดจากการทับถมกันของแคปซูลที่อยู่ระหว่างการทำอบแห้งในถังลมร้อนในระยะเวลาที่นานซึ่งในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนรูปจากของเหลวการเป็นของเหนียวหนืบและการเป็นของแข็งนั้นถ้าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานจะทำให้เกิดช่องว่างรอยต่อระหว่างของเหนียวหนืบและของแข็งซึ่งผิวของอนุภาคแคปซูลมีความหนืดเพิ่มขึ้นเกิดการยึดเกาะติดเป็นก้อนมากขึ้นจึงทำให้ได้ขนา ด อนุภาคแคปซูลที่ใหญ่ขึ้นนั่นเอง (Drusch and Berg, 2007)

อุณหภูมิในการผลิตแคปซูล น้ำมันที่ ผลิต ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าปริมาณน้ำมัน ที่ถูกห่อหุ้มจะ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการระเหยของน้ำที่สูงและเข้าสู่สภาวะสมดุลที่รวดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำทำให้แคปซูลที่ได้มีปริมาณน้ำมันอิสระ น้ำมันที่ถูกกักเก็บและประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันที่แตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2005)

ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) สาเหตุที่ปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีปริมาณต่างกันทั้ง 3 สิ่งทดลองนั้นเนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนในระหว่างการเตรียมตัวอย่างอิมัลชันและการสกัดทำให้มีการสูญหายไปของน้ำมัน ทำให้ค่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ได้ต่างกันเพียงเล็กน้อย จากตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 22.55-2.56 กรัม/100 กรัม powder

จากการทดลองของ Klinkesorn *et al.* (2006) พบว่าการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันปลาทูน่าด้วยวิธีการอบแห้งพ่นฝอยแปรผันอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 165, 180 และ 195 องศาเซลเซียส โดยใช้แป้งข้าวโพด ไคโตซานและเลซิตินเป็นสารห่อหุ้ม โดยเตรียมอิมัลชันด้วย Blending โดยพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 195 องศาเซลเซียส ให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มีน้ำมันที่ผิว 2.89 เปอร์เซ็นต์ Baik *et al.* (2004) ทำการผลิตแคปซูลผงน้ำมันปลาด้วยวิธีการอบแห้งพ่นฝอย แปรผันอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 210 และอุณหภูมิลมร้อนขาออก 95 องศาเซลเซียส โดยใช้ corn syrup เป็นสารห่อหุ้มได้ประสิทธิภาพการกักเก็บแคปซูลมากกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ โดยมีน้ำมันที่ผิวน้อย Hogan *et al.* (2001) ได้ผลิตแคปซูลผงน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม ได้ประสิทธิภาพการกักเก็บ 88 เปอร์เซ็นต์โดยมีน้ำมันที่ผิวน้อยเช่นกัน แสดงว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงมีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยประสิทธิภาพการกักเก็บที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากมีส่วนต่างระหว่างน้ำมันอิสระกับน้ำมันที่ถูกกักเก็บมาก (ถ้ามีน้ำมันอิสระน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพการกักเก็บจะสูง) ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพการกักเก็บเบื้องต้นสามารถดูได้จากปริมาณน้ำมันอิสระ (ตารางที่ 4.5) พบว่าอุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพการกักเก็บสูงสุดที่ 82.58 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บได้แก่ การเลือกใช้สารห่อหุ้มให้เหมาะสมกับสารกักเก็บในวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย การเลือกอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแคปซูลผงน้ำมันปลา อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มกับสารกักเก็บ ความแม่นยำในวิธีการเตรียมอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชัน (Hogan *et al.,* 2001)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมัน (กรัม/100 กรัม) ในแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะ

ชนิดกรดไขมัน	อบแห้งแบบพ่นฝอย			น้ำมันปลาสวายเผาะ
	170°C	180°C	190°C	
กรดไมริสติก	0.42	0.32	0.45	1.30
กรดเพนทาดีคาโนอิก	1.00	1.00	1.00	1.00
กรดปาล์มิติก	3.57	3.41	3.29	24.20
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.27	0.23	0.24	1.3
กรดสเตียริก	1.03	1.14	1.21	7.70
กรดโอเลอิก	5.58	5.45	5.41	41.60
กรดลิโนเลอิก	0.04	0.46	0.79	16.10
แอลฟา-ลิโนเลอิก	0.00	0.00	0.09	0.60
กรดอิโคซาไตรอิโนอิก	0.01	0.02	0.07	0.88
กรดอิโคซาเตทตราอิโนอิก	0.01	0.01	0.01	0.43
EPA	0.05	0.12	0.21	2.17
DHA	0.03	0.06	0.10	2.70

จากการวิเคราะห์ชนิดกรดไขมันของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่อชนิดของกรดไขมันในแคปซูลผงซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกักเก็บที่ ซึ่งความร้อนมีผลต่อเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน เนื่องมาจากความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ทำให้กรดไขมันมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารอนุมูลอิสระ ส่งผลให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนลดลง (Heinzelmann and Franke, 1999)

จากผลการทดลองตารางที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน DHA, EPA และกรดลิโนเลอิกในแคปซูลต่ำที่สุด ส่งผลให้

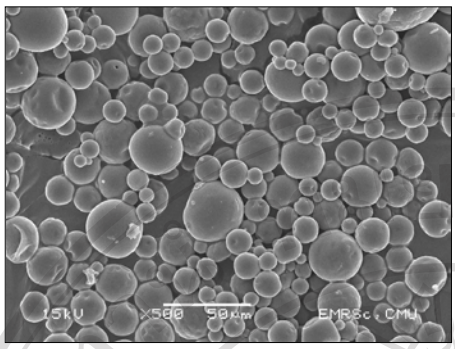
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีประสิทธิภาพการกักเก็บต่ำสุดและมีปริมาณน้ำมันอิสระมากที่สุด การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส มีทำให้ได้แคปซูลที่มีปริมาณของกรดไขมัน DHA, EPA และกรดลิโนเลอิกและประสิทธิภาพการกักเก็บมากที่สุดและมีปริมาณน้ำมันอิสระที่ต่ำสุด (ตารางที่ 4.6) และยังพบว่าปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการสลายพันธะคาร์บอนในกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี สายคาร์บอนยาวให้กลายเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายคาร์บอนสั้นและสายคาร์บอนกลางของกรด (นิธิยา, 2548) ที่เป็นส่วนผสมของแคปซูลผงน้ำมันปลาสวายเผาะซึ่งมีกรดอะซิติกเป็นส่วนประกอบ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Klaypradit and Huang (2008) ที่ผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันปลาทูน่าโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินกับไคโตซานและเวย์โปรตีนกับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าแคปซูลน้ำมันปลาที่มีมอลโตเดกซ์ตรินกับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (EPA, DHA) ลดลงเล็กน้อย แสดงว่ามอลโตเดกซ์ตรินกับไคโตซานและเวย์โปรตีนกับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้มสามารถป้องกันการสูญสลายได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปลาทูน่าที่ก่อนทำการผลิตแคปซูล

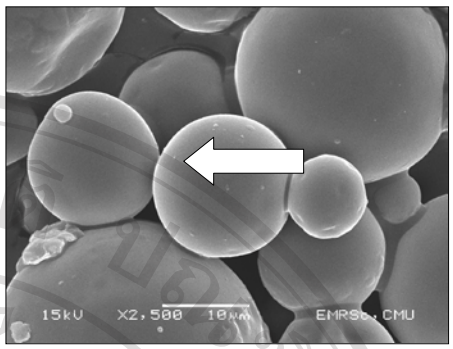
ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดซึ่งจะได้ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลดังรูปที่ 4.2

ขนาดแคปซูลผงที่อุณหภูมิลมร้อน 190 องศาเซลเซียสประมาณ 17 μm 180 องศาเซลเซียสประมาณ 23 μm และ 170 องสาเซลเซียส 28 μm โดยการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทำให้แคปซูลผงที่มีลักษณะของผิวไม่เรียบมีหลุมและรอยแตก (ตามลูกศรชี้) มีของเหลวถูกปลดปล่อยออกมาจากแคปซูลทำให้ยึดเกาะติดกัน (ตามลูกศรชี้) ในปริมาณที่มาก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะที่ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าที่สภาวะดังกล่าวให้ประสิทธิภาพการกักเก็บต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 180 และ 190 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ได้ ไมโครแคปซูลผงที่มีผิวเรียบเนียน (ตามลูกศรชี้) เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิสูงมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราการระเหยน้ำที่ผิวแคปซูลที่รวดเร็วทำให้มีผลต่อโครงสร้างของ อนุภาคของไมโครแคปซูลผงน้อย (Gharsallaoui *et al.*, 2007) ซึ่งที่ผิวของแคปซูลนั้นมีความเรียบเนียนนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารห่อหุ้มแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆในการทำแห้งเช่น อุณหภูมิลมร้อนเข้าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ความหนืดและขนาดอนุภาคของแคปซูลลดลง แต่ที่อุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุของการสูญเสียสารที่ระเหยง่ายและไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนและทำให้อนุภาคแตกได้ (Zbicinski *et al.*, 2002)

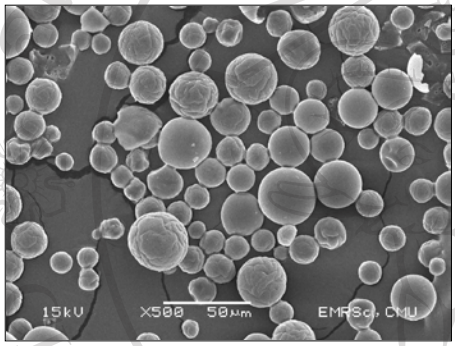
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



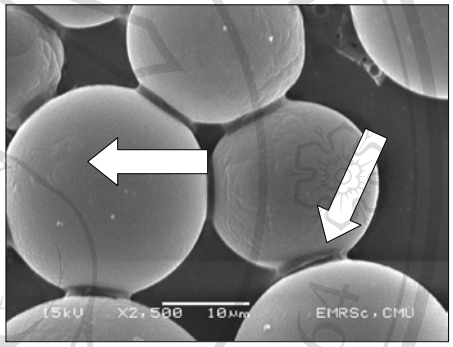
190 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 500 เท่า)



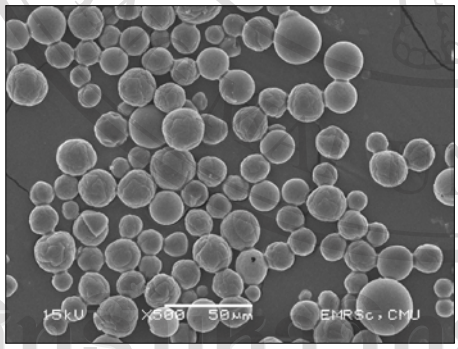
190 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 2,500 เท่า)



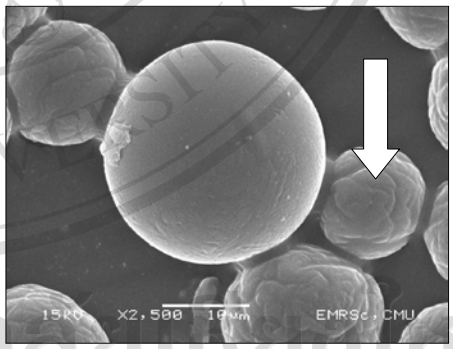
180 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 500 เท่า)



180 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 2,500 เท่า)



170 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 500 เท่า)



170 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 2,500 เท่า)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.2 โครงสร้างพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อุณหภูมิลมร้อนเข้าจะต้องสมดุลกับอัตราการทำแห้งของแคปซูลและปริมาณความชื้นสุดท้าย อุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำจะทำให้ได้แคปซูลที่มีความหนาแน่นสูงและปริมาณความชื้นที่สูง ทำให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อน อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่สูงมากเกินเป็นสาเหตุที่ทำให้ผิว

ของแคปซูลแตกร้าวทำให้เกิดการปลดปล่อยสารแกนและสูญเสียสารระเหย (Zakarian and King, 1982) ตัวแปรที่ใช้ในการเลือกอุณหภูมิลมร้อนเข้าในการผลิตไมโครแคปซูลนั้นคือ ราคาต้นทุนและผลกระทบของความร้อนที่มีผลต่อผิวอนุภาคของแคปซูล (Fogler and Kleinschmidt, 1938) และขนาดอนุภาคเป็นผลมาจากการเลือกใช้ atomizer ขนาดอนุภาคที่เล็กจะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้นและทำให้ได้ผงแคปซูลที่ดี ขนาดอนุภาคที่ใหญ่จะมีผลให้แคปซูลมีความหนืดและแรงตึงผิวที่สูง (Gharsallaoui *et al.,* 2007) การเลือกใช้ atomizer นั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติและความหนืดของสารห่อหุ้มในแต่ละชนิด

จากผลการทดลองไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาที่มีมอลโตเดกซ์ตรินกับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้มซึ่งผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยที่แปรผันลมร้อนเข้า 3 ระดับพบว่า ที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้แคปซูลผงที่มีความชื้นที่ต่ำตามมาตรฐานกำหนดไว้ (Barbosa *et al.,* 1996; Klinkesorn *et al.,* 2006) มีวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ต่ำมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่สูง (DHA, EPA และกรดลิโนเลอิก) มีประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดี ผิวของแคปซูลมีความเรียบไม่มีรอยแตก แต่มีค่าสีที่ออกไปทางสีเหลืองเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากสัมผัสกับความร้อนซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4.4 การทดลองการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

นำน้ำมันปลาสวายเผาที่สกัดได้จากตอนที่ 4.1 มาทำการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยเตรียมอิมัลชันของน้ำมันปลาสวายเผาที่เป็นสารแกนผสมกับของผสมระหว่างไคโตซานกับมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสารห่อหุ้ม (Klaypradit and Huang, 2008) นำมาผลิตไมโครแคปซูล ใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วนำตัวอย่างไมโครแคปซูลผง นำมาวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชัน (T_g) ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันในแคปซูล ปริมาณและชนิดของกรดไขมัน และวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกได้ผลดังตารางที่ 4.7-4.9 และรูปที่ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	สี			a_w	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	T_g (^oC)
	L	A*	b*			
1	82.62±0.87	-1.68±0.20	8.05±0.27	0.17±0.00	2.25±0.08	40.0

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้ค่าสี b* ออกไปทางสีเหลือง (+) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนีลและเอมีนหรือเรียกว่า Maillard reaction สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำเพราะมีไคโตซานที่เป็นโปรตีนเป็นส่วนประกอบ (Klinkesorn, 2006) ในแคปซูลผงโดยสารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลกับเอมีนเรียกว่า เมลานอยดิน ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าต่ำและเหมาะสมในการเก็บรักษา อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันมีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นควรเก็บรักษาแคปซูลผงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย

จากการหาประสิทธิภาพการกักเก็บของแคปซูล พบว่ามีปริมาณน้ำมันที่ผิว ปริมาณไขมันที่ถูกกักเก็บภายในแคปซูล ปริมาณไขมันทั้งหมด และประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulated efficiency) ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันปลาสวายเผาะในไมโครแคปซูลผงที่ผลิตโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Free oil (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulated oil (กรัม/100 กรัม powder)	Total oil (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulated efficiency (เปอร์เซ็นต์)
7.84±0.02	15.32±0.04	23.16±0.10	66.15±0.08

ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันในแคปซูลผงมีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำ สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำมันที่อยู่ภายนอกแคปซูลมีมาก โดยมีผลมาจากความไม่คงตัวในระหว่างกระบวนการทำแห้งซึ่งเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันและสารห่อหุ้ม ทำให้ไม่สามารถกักเก็บได้ดีอีกทั้งในระหว่างกระบวนการทำแห้งนั้นเกิดการคืนตัวของผลึกน้ำแข็งกลายเป็นของเหลวทำให้อนุภาคอิมัลชันหมดเสถียรภาพเกิดการแยกชั้นออกมาระหว่างสารกักเก็บกับสารห่อหุ้ม ตัวแปรที่สำคัญในการทำแห้งแช่เยือกแข็งให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บนั้นขึ้นอยู่กับ วิธีการเตรียมอิมัลชันการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วในระหว่างการเตรียมอิมัลชัน และการเลือกใช้สารห่อหุ้ม (Heinzelmann and Franke, 1999) หากใช้ไนโตรเจนเหลวในการเตรียมอิมัลชันเพื่อให้เกิดการแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างกับเม็ดอนุภาคของอิมัลชันน้อยที่สุด ถ้าใช้ระยะเวลาในการแช่แข็งช้าทำให้เกิดความเสียหายของโครงสร้างอิมัลชันโดยน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในอิมัลชัน ค่อยๆกลายเป็นผลึกน้ำแข็งนั้นจะมีโครงสร้างของผลึกที่ใหญ่ทำให้เกิดความเสียหายของอิมัลชัน ดังนั้นควรแช่แข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบเร็วเพื่อทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งเล็กที่สุดเพื่อไม่ให้ไปทำลายโครงสร้างของระบบอิมัลชัน (Mellor, 1978)

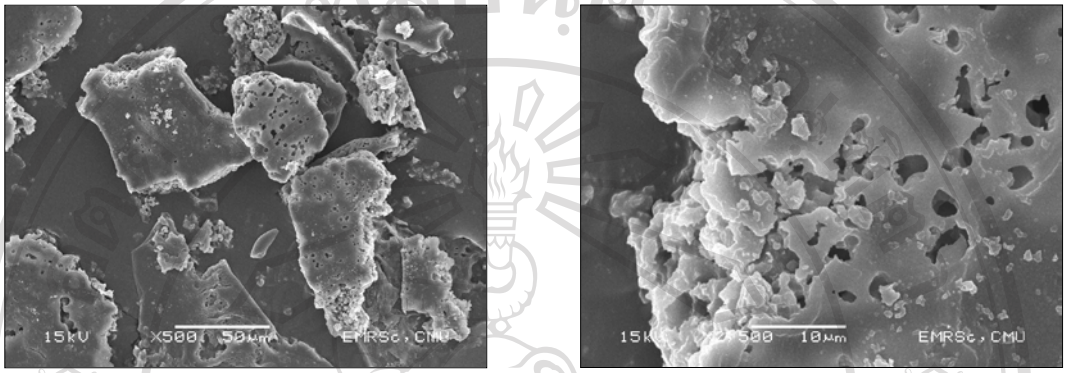
จากการวิเคราะห์ชนิดกรดไขมัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี พบว่าปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน DHA, EPA และกรดลิโนเลอิก มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปลาสวายเผาะที่ยังไม่ผ่านวิธีการผลิตไมโครแคปซูล เนื่องมาจากน้ำมันอิสระของแคปซูลมีมากและเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนแปลงเป็นอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกรดไขมัน (กรัม/100 กรัม) ในแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะ

ชนิดกรดไขมัน	ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	น้ำมันปลาสวายเผาะ
กรดไมริสติก	0.41	1.30
กรดเพนทาดีคาโนอิก	1.00	1.00
กรดปาล์มิติก	3.91	24.20
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.35	1.3
กรดสเตียริก	1.34	7.70
กรดโอเลอิก	7.53	41.60
กรดลิโนเลอิก	0.89	16.10
แอลฟา-ลิโนเลอิก	0.00	0.60
กรดอิโคซาไตรอิโนอิก	0.02	0.88
กรดอิโคซาเตทตราอิโนอิก	0.02	0.43
EPA	0.05	2.17
DHA	0.02	2.70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด ซึ่งจะได้ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลดังรูปที่ 4.3



กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2,500 เท่า

รูปที่ 4.3 โครงสร้างพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างพื้นผิวของแคปซูลโดยรวมได้ลักษณะที่เป็นของแข็ง (ภาพ A) เมื่อขยายส่วนของรูป (ภาพ B) พบว่าโครงสร้างมีรูพรุน มีการแตกหัก ลักษณะแคปซูลที่เป็นของแข็ง

Heinzelmann and Franke (1999) ได้ทำการผลิตแคปซูลผงน้ำมันปลาโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยที่มี มอลโตเดกซ์ตรินและโซเดียมเคซิเนต เป็นสารห่อหุ้มได้ประสิทธิภาพการกักเก็บแคปซูล 68 เปอร์เซ็นต์โดยมีน้ำมันอิสระ 8.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แลคโตสมาเป็นสารห่อหุ้มซึ่งได้ประสิทธิภาพการกักเก็บ 81 เปอร์เซ็นต์โดยมีน้ำมันอิสระ 5.7 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกักเก็บของน้ำมันปลาสวายเผาะที่ได้จากผลการทดลองนี้ได้ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลในระดับต่ำกว่าผลการทดลองของ Heinzelmann and Franke (1999) อาจเนื่องจากการนำมอลโตเดกซ์ตรินมาเป็นสารห่อหุ้มน้ำมันปลาในการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอาจจะไม่เหมาะสม เพราะมอลโตรเดกซ์ตรินขาดคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี การเลือกสารห่อหุ้มและวิธีการเตรียมอิมัลชันไม่เหมาะสมกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 การเปรียบเทียบการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 4.10 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลผงที่ผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะที่เหมาะสมและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ค่าสีมีความแต กแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ค่า b* ที่สูงกว่าจึงมีสีออกไปทางสีเหลือง เพราะเป็นกระบวนการที่ผ่านควา มร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอคทิวิตี มีความแตกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) วิธีการอบแห้งพ่นแบบฝอยทำให้มีความชื้นและ a_w ที่น้อยกว่าวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สาเหตุมาจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นความร้อนที่สูง ทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกไปอย่างรวดเร็วจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อย (Zbicinski *et al.,* 2002) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการอาศัยการระเหิดของน้ำที่ภายใต้ความดันต่ำ (Brabosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) ซึ่งประสิทธิภาพการระเหิดของน้ำจะไม่เท่ากับการใช้ความร้อนและแห้งในอัตราที่ช้ากว่า

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูล ที่ผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

วิธีการผลิต	สี			a_w	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	T_g (^oC)
	L	a*^{ns}	b*			
อบแห้งแบบพ่นฝอย (190^oC)	81.93^a±1.91	-1.75±0.29	+14.12^a±0.47	0.16^b±0.01	2.03^b±0.01	42.0
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	82.62^b±0.87	-1.68±0.20	+8.05^b±0.27	0.17^a±0.00	2.25^a±0.08	40.0

หมายเหตุ : - ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- เครื่องหมาย ^{ns} ในคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.11 กรรมวิธีผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้ได้ น้ำมันอิสระและประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดีกว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากวิธีเตรียมอิมัลชันน้ำมันปลาสวายเผาะไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ผลิต

ไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพราะอิมัลชันไม่เสถียรในระหว่างการทำแห้ง อิมัลชันอาจมีการแยกตัวระหว่างการแช่เยือกแข็งเนื่องจากเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า นอกจากนั้น อิมัลชันอาจมีการสลายตัวเนื่องจากการละลายของน้ำแข็ง ทำให้สาร แกนแพร่ออกมาภายนอกทำให้มีปริมาณน้ำมันที่ผิวสูง ต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอย ในระหว่างกระบวนการ อิมัลชันมีการกวนอยู่ตลอดเวลาโอกาสที่อิมัลชันสลายตัวในระหว่างการทำแห้งจึงต่ำ

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันปลาสวายเผาในแคปซูลผงจากวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

วิธีการผลิต	Free oil (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulated oil (กรัม/100 กรัม powder)	Total oil (กรัม/100 กรัม powder)	Encapsulated efficiency (เปอร์เซ็นต์)
อบแห้งแบบพ่นฝอย (190°C)	3.95^{b}±0.02	18.60^{a}±0.05	22.55^{b}±0.13	82.48^{a}±0.31
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	7.84^{a}±0.02	15.32^{b}±0.04	23.16^{a}±0.10	66.15^{b}±0.08

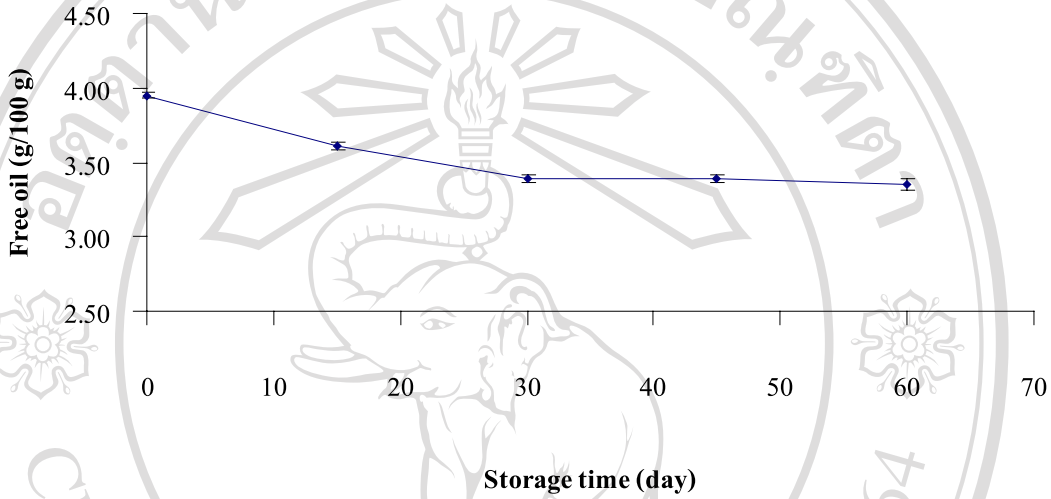
หมายเหตุ : - ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการเปรียบเทียบสมบัติไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาที่มีมอลโตเดกซ์ตรินกับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้มระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่ากรรมวิธีการผลิตทั้ง 2 วิธีทำให้แคปซูลผงมี ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอคทิวิตี ที่เหมาะสมสำหรับอาหารผง วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยทำให้ได้ค่าสี b* (สีเหลือง) สูงกว่ากว่าไมโครแคปซูลจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยทำให้ไมโครแคปซูลผง มีประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดีกว่า มีชนิดและปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (EPA, DHA) ในปริมาณที่มากกว่าไมโครแคปซูลจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ฉะนั้นการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาที่มีมอลโตเดกตรินซ์กับไคโตซานเป็นสารห่อหุ้มโดย การอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

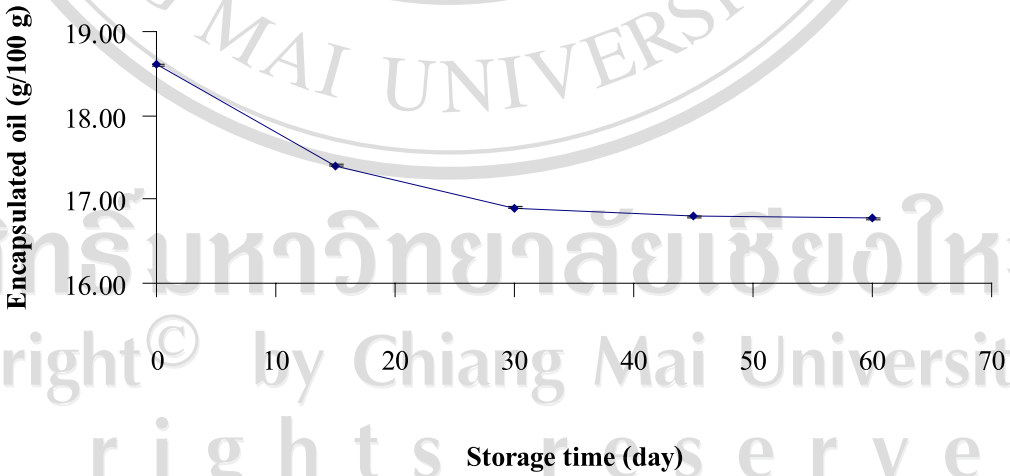
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 ความคงตัวของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาระหว่างการเก็บรักษา

โดยการวิเคราะห์น้ำมันอิสระ (รูปที่ 4.4) น้ำมันที่ถูกห่อหุ้ม (รูปที่ 4.5) ประสิทธิภาพการกักเก็บ (รูปที่ 4.6) และอนุภาคของไมโครแคปซูล ด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 4.7)

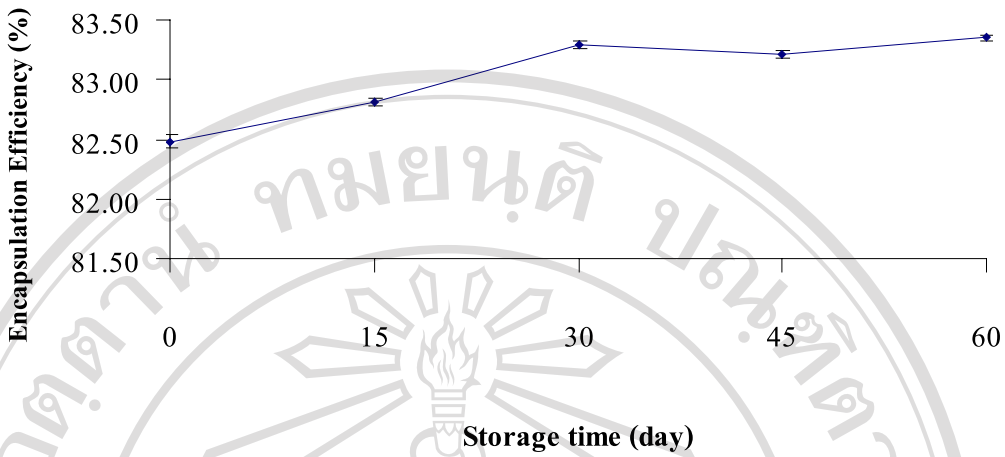


รูปที่ 4.4 น้ำมันอิสระของแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาหลังเก็บรักษานาน 60 วัน



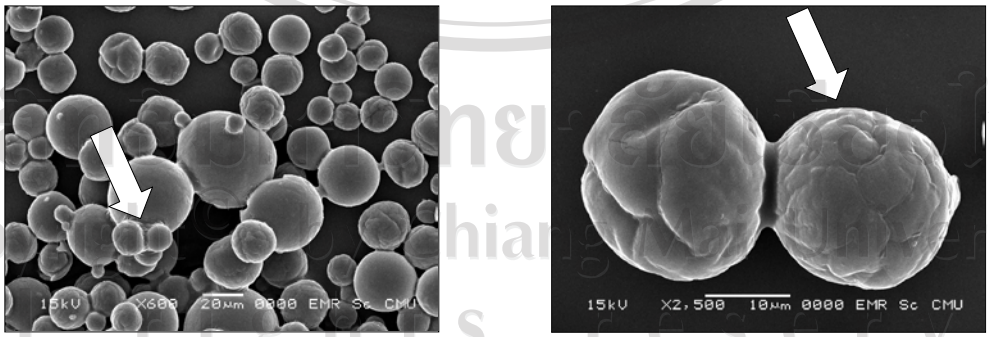
รูปที่ 4.5 น้ำมันที่ถูกห่อหุ้มของแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาหลังเก็บรักษานาน 60 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกักเก็บของแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะหลังเก็บรักษานาน 60 วัน

จากการศึกษาเสถียรภาพของแคปซูลผงที่ผลิตโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าน้ำมันอิสระหรือหรือน้ำมันที่ผิวของแคปซูลลดลงเล็กน้อยเนื่องมาจาก เกิดการสูญสลายกลายเป็นอนุมูลอิสระโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Baik *et al*., 2004) น้ำมันที่ถูกห่อหุ้มลดลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของแคปซูลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่ผิวทำให้สารห่อหุ้มเสื่อมสลายเกิดความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในและภายนอกแคปซูลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมันและ เกิดการปลดปล่อยสารแกนออกมาสู่ภายนอก



190 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 600 เท่า) 190 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 2,500 เท่า)

รูปที่ 4.7 โครงสร้างพื้นผิวภายนอกของแคปซูลหลังเก็บรักษานาน 60 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.7 หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน ไมโครแคปซูลน้ำมันปลาสวายเผาะเกิดการเกาะตัวรวมกันเป็นก้อนทำให้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (ตามลูกศรชี้) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น (3.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีผลทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันลดลง (T_g เท่ากับ 14 องศาเซลเซียส) ซึ่งในอาหารผงนั้นจะมีการดูดน้ำหรือคายน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมภายนอก ถ้าสภาวะแวดล้อมภายนอกมีความชื้นสูงกว่าในอาหารแห้ง จะเกิดกระบวนการดูดน้ำ (นิธิยา, 2549) จึงทำให้มีปริมาณความชื้นในแคปซูลผงเพิ่มขึ้น การลดลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชันนั้นทำให้ ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสภาพจากอสัณฐานไปเป็นสภาพเหนียวหนืบ ส่งผลให้ผิวแคปซูลมีความเหนียว เกิดการเกาะเป็นก้อนระหว่างอนุภาคมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และเกิดการกระจายตัวระหว่างอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ (Chung *et al.*, 2000) อีกทั้งทำให้ไม่สามารถห่อหุ้มสารแกน ได้จึงเกิดการปลดปล่อยออกมาสู่ภายนอก สามารถ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันกลายเป็นอนุมูลอิสระ มีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน เกิดการยุบตัวของแคปซูล (ตามลูกศรชี้) และเมื่อนำแคปซูลไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันหรือทำแห้งอีกครั้งอนุภาคแคปซูลจะกลับมาเป็นของแข็งเหมือนเดิมแต่จะมีการเรียงตัวของโมเลกุลภายในที่ไม่เป็นระเบียบและมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นหรือยึดเกาะติดกันเป็นก้อน (caking) วิธีการป้องกันการเกิดยึดเกาะติดของแคปซูลนั้นนอกจากการกำหนดอุณหภูมิการเก็บรักษาให้ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่เก็บไมโครแคปซูลผงน้ำมันปลาสวายเผาะต้องเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันความชื้นและปฏิกิริยา lipid-oxidation โดยทั่วไปนิยมเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมชนิดประกอบหรือโถแก้วทึบแสง (King, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved