



รายงานการวิจัย

ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย
น้ำสกัดกระชายดำ

Effect of Encapsulation Usings Spraydrying of Juices Krachidam

วิลาสินี ดีปัญญา

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย น้ำสกัดกระชายดำ

Effect of Encapsulation Usings Spraydrying of Juices Krachidam

วิลาสินี ดีปัญญา

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาโดยผ่าน
ความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อ
สร้างองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ

ประจำปีงบประมาณ 2562

ชื่องานวิจัย ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำสกัดกระชายดำ
Effect of Encapsulation Usings Spraydrying of Juices Krachidam

ผู้วิจัย วิชาสินี ดีปัญญา

สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีการอาหาร

ปีเสร็จวิจัย 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสภาวะที่เหมาะสมของการเอนแคปซูเลชันน้ำสกัดกระชายดำโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรีน และกัมอะราบิก เป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 w/v ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิขาเข้า 3 ระดับ คือ 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมของการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำกระชายดำ คือ ที่สภาวะอุณหภูมิขาเข้า 140 องศาเซลเซียส ศึกษาความคงตัวของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้นและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอัตราลดลงที่อุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่สุด 0.007 และ 0.012 day⁻¹ตามลำดับ และค่าครึ่งชีวิต($t_{1/2}$) สูงที่สุดถึง 99 และ 301 วัน ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้แสดงว่าผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีความคงตัวสูง และมีอายุการเก็บรักษานานเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: กระชายดำ มอลโตเดกซ์ทรีน กัมอะราบิก การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Research Title : Effect of Encapsulation Usings Spraydrying of Juices Krachidam
Researcher: Wilasinee Deepanya
Department: Food Science and Technology
Phetchabun Rajabhat University
Year 2019

Abstract

The objectives of this work were to study the optimization of encapsulation Juices Krachidam by maltodextrin and gum Arabic. There used encapsulating agent mixtures 10% w/v. The factors studied including inlet temperature 3 levels is 140, 150, 160°C. The results showed that anthocyanin content and total phenolic content was signifcantly decreased when increased inlet temperature. The optimization of encapsulation using spray drying of Krachaidam juices was studiedwere 140°C inlet air temperature conditions and study storage stability of encapsulated Krachaidam powder was investigated under three different temperatures 4, 30 and 45°C for 21 days. The showed that an increase in temperature and storage time of anthocyanin content and total phenolic content. The rate was reduced at a temperature of 4°C storage. There is a constant of the reaction rate of 0.007 and 0.012 lowest day⁻¹, respectivelyand and highest half-life ($t_{1/2}$) was 99 and 301 days, respectivelyand. These results indicated that encapsulated Krachaidam powder had high stability and its shelf life could be extended when stored at 4°C.

Keyword: Krachaidam maltodextrin gum arabic spray spaydrying

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยความช่วยเหลือ และความร่วมมืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่ายที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

วิลาสินี ดีปัญญา

1 สิงหาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กระชายดำ	3
2.2 ไมโครเอนแคปซูเลชัน	5
2.3 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	11
2.4 ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ผงในระหว่างการเก็บรักษา	18
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	25
3.1 วัสดุดิบ	25
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์	25
3.3 วิธีการทดลอง	26

3.4 สถานที่ทำการวิจัย	28
3.5 ระยะเวลาวิจัย	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	29
4.1	สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำกระชายดำ	29
4.2	ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	30
4.3	ความคงตัวของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส	35
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
5.1	สรุปผลการทดลอง	40
5.2	ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม		41
ภาคผนวก		
ก	ภาพกรรมวิธีการผลิตน้ำกระชายดำโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	47
ข	การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ	49
ประวัติผู้วิจัย		60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของสารเอนแคปซูเลตติ้งบางชนิด	9
3.1 สภาวะและอัตราส่วนในการทำน้ำกระชายทำแห้งแบบพ่นฝอย	27
4.1 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำกระชายดำ	29
4.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณความชื้น และการละลาย	33
4.3 ค่าสีของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	34
4.4 ปริมาณร้อยละผลผลิต (yield) กระชายดำผงที่ได้	36
4.5 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants) และค่าครึ่งชีวิต (half life) ของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส	39
4.6 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants) และค่าครึ่งชีวิต (half life) ของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไมโครแคปซูล (microcapsule) แบ่งประเภทตามลักษณะของสารแกนกลาง	6
2.2 ลักษณะของไมโครแคปซูล	9
2.3 ไมโครแคปซูลแบบ Single core หรือ True encapsulation	9
2.4 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ Matrix encapsulation	10
2.5 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ Control release	10
2.6 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	11
2.7 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	12
4.1 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิต่าง ๆ	30
4.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่อุณหภูมิต่าง ๆ	31
4.3 ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	34
4.4 จลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส	36
4.5 จลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส	39
ผก.1 กระชายดำสด	47
ผก.2 การล้างทำความสะอาด	47
ผก.3 ปอกเปลือกและหั่น	47
ผก.4 น้ำและกระชายดำร้อยละ 20	47
ผก.5 นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที	47

ผก.6 การกรอง	47
ผก.7 น้ำกระชายดำ	48
ผก.8 น้ำกระชายดำ 2,000มิลลิลิตร และมอลโตเดกซ์ทีนร้อยละ 10 w/v	48
ผก.9 น้ำกระชายดำ 2,000 มิลลิลิตร และกัมอาราบิคร้อยละ 10 w/v	50
ผก.10 การทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ 140 150 และ160 องศาเซลเซียส	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระชายดำ *Kaempferia parviflora* เป็นพืชสมุนไพรท้องถิ่นของชาวเผ่าม้ง ที่อาศัยในบริเวณเขา ในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ส่วนเหง้าซึ่งมีการอ้างสรรพคุณทางยา เช่น เสริมสุขภาพ เสริมกำลัง แก้ปวดท้อง ด้านอีกเสบและเสริมสมรรถภาพทางเพศ ซึ่งเป็นสรรพคุณที่ทำให้พืชสมุนไพร กระชายดำและผลิตภัณฑ์แปรรูปแบบต่างๆ เช่น เหง้าสดกระชายดำ ไวน์กระชายดำ ผงชา และ แคปซูลผงแห้งได้รับความนิยมและเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในช่วงปี 2544 เหง้าสดกระชายดำโดยเฉพาะเหง้าสดที่มีสีม่วงดำ มีราคาสูงถึงกิโลกรัมละ 500-1,000 บาท แต่ต่อมาความนิยมบริโภคกระชายดำและผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้คุณค่าทางเศรษฐกิจของกระชายดำ และผลิตภัณฑ์ลดลงเป็นอย่างมาก โดยพบว่าเหง้าสดกระชายดำมีราคา ลดลงเหลือกิโลกรัมละ 150 บาท ส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกรและผู้ประกอบการภาคผลิต ทั้งนี้ เนื่องจากการขาดข้อมูลวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนมาสนับสนุนในเรื่องของส่วนประกอบทางเคมี การควบคุมคุณภาพ ฤทธิ์ทางชีวภาพ และความปลอดภัย ทำให้กระชายดำได้ถูกนำมาใช้และพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์อย่างไม่เหมาะสมประกอบกับปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบและ ผลิตภัณฑ์กระชายดำ และรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ไม่สะดวกใช้ ส่งผลให้ผู้บริโภคขาดความเชื่อมั่นใน ประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระชายดำ และอีกปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์จากกระชาย ดำผงชง และแคปซูลผงแห้ง คือความไม่คงตัวของสารสกัด เสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ แสงแดด หรือความร้อน ทำให้ประสบปัญหาในการนำมาบริโภค โดยการเสื่อมสภาพของสารเหล่านี้ เกิดขึ้นทั้งในกระบวนการผลิต ขนส่ง หรือแม้แต่การเก็บรักษา ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยอาศัย เทคโนโลยีที่เรียกว่า ไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีห่อหุ้มหรือกัก เก็บสารสกัดหรือสารออกฤทธิ์ด้วยพอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ ลักษณะเป็นแคปซูลขนาดเล็กซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1-1,000 ไมครอน ช่วยให้สารสกัดหรือสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ มีความเสถียร และคงทนอยู่ได้นานขึ้น ดังนั้นนักวิจัยจึงมีความสนใจที่ผลิตผงไมโครเอนแคปซูลกระชายดำ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่ม ศักยภาพให้ผลิตภัณฑ์กระชายดำผงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงกระชายดำ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 กระชายดำที่มีแหล่งผลิตมาจากอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

1.3.2 ศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเลือกใช้ สารเอนแคปซูเลตติ้ง 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก

1.3.3 ศึกษาผลของความคงตัวผลิตภัณฑ์ไมโครเอนแคปซูลผงกระชายดำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของกระชายดำ

1.4.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมของการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำกระชายดำ

1.4.3 ทราบความคงตัวของผงกระชายดำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

1.4.4 เป็นข้อมูลและแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากกระชายดำ เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เป็นต้น

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระชายดำ

กระชายดำเป็นพืชสมุนไพรที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตร้อนบริเวณตะวันออกเฉียงใต้พบได้ตามบริเวณป่าดิบร้อนชื้น แหล่งปลูกที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป คือ เขตปลูกอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นพืชที่ทำรายได้ให้กับผู้ปลูกสูงมากจึงมีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังแหล่งอื่น ๆ เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เช่นเดียวกับขิงและขมิ้นมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Kaempferia parviflora*

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระชายดำแตกต่างจากกระชายทั่วไป (ที่ใช้เป็นเครื่องแกง) คือ กระชายทั่วไปใช้ส่วนที่เป็นราก (tuber) ซึ่งงอกออกมาจากเหง้า (ลำต้นที่อยู่ใต้ดิน) มีกาบใบและใบซ้อนโผล่ขึ้นอยู่เหนือดินส่วนกระชายดำมีลำต้นอยู่ใต้ดิน (rhizome) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าหัว ลักษณะคล้ายขิงหรือขมิ้นแต่มีขนาดเล็กกว่าใบใหญ่และมีสีเขียวเข้มกว่ากระชายทั่วไป ขนาดใบกว้างประมาณ 7-15 เซนติเมตร ยาว 30-35 เซนติเมตร ใบมีกลิ่นหอม ประกอบด้วยกาบใบมีสีแดงจาง ๆ และหนาอวบ กำเนิดมาจากหัวที่อยู่ใต้ดิน ลำต้นมีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตรดอกออกจากยอด ช่อละหนึ่งดอก มีใบเลี้ยง ดอกมีสีชมพูอ่อน ๆ ริมปากดอกสีขาว เสาเกสรสีม่วงเกสรสีเหลือง กลีบรองกลีบดอกเชื่อมติดกันมีลักษณะเป็นรูปท่อ มีขน โคนเชื่อมติดกันเป็นช่อยาว เกสรตัวผู้จะเหมือนกับกลีบดอก อับเรณูอยู่ใกล้ปลายท่อ เกสรตัวเมียมีขนาดเล็ก ยอดของมันเป็นรูปปากแตรเกลี้ยงไม่มีขนหัวมีสีเขียวเข้มแตกต่างกัน ตั้งแต่สีม่วงจาง ม่วงเข้ม และดำสนิท (ยังไม่ทราบแน่ชัดว่า ความแตกต่างของสีขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อม อายุ หรือพันธุกรรม) สีของหัวเมื่อนำไปดองสุราจะถูกฟอกออกมาพันธุ์ในปัจจุบันยังไม่มีกรรวบรวมและจำแนกพันธุ์อย่างเป็นทางการ แต่หากจำแนกตามลักษณะของสีของเนื้อหัว พืชจะแยกได้ 3 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ที่มีเนื้อหัวสีดำสีม่วงเข้มและสีม่วงอ่อนหรือสีน้ำตาลส่วนใหญแล้ว จะพบกระชายที่มีสีม่วงเข้มและสีม่วงอ่อน ส่วนกระชายที่มีสีดำสนิทจะมีลักษณะหัวค่อนข้างเล็ก ชาวเขาเรียกว่า กระชายลิง

ซึ่งมีไม่มากนักจัดว่าเป็นกระชายที่มีคุณภาพ เป็นที่ต้องการของตลาด 26 120 อาชีพเกษตรกรรม
ทางเลือก

2.1.2 แหล่งปลูกที่เหมาะสม

เนื่องจากกระชายดำเป็นพืชดั้งเดิมของชาวเขา จึงเชื่อกันว่ากระชายดำที่ดีมีคุณภาพ จะต้องปลูก
บนพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 500-700 เมตร เจริญเติบโตและลงหัวได้ดีในดินร่วนทราย มีการ
แฉะไม่ยืนต้น แต่ก็ยังไม่มีข้อมูล ยืนยันว่าปลูกกลางแจ้งกับปลูกในที่ร่มรำไรมีผลแตกต่างกันอย่างไร
ทั้งในด้านคุณภาพและการเจริญเติบโต

2.1.3 การนำไปใช้ประโยชน์

จากการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยพบว่า สมุนไพรไทยกระชายดำนั้นมีสรรพคุณมากมาย และ
สามารถช่วยรักษาโรคต่าง ๆ ได้เกือบ 100 ชนิด ใช้เป็นยาอายุวัฒนะ ช่วยชะลอความแก่ มีคุณค่าทาง
คงกระพันชาตรี ด้วยการใช้น้ำมาหั่นเป็นแว่น แล้วนำไปตากแดดจนแห้ง นำมาบดให้เป็นผง
ละเอียดผสมกับน้ำผึ้งปั้นเป็นยาลูกกลอน ใช้กินเช้าเย็น ใช้เป็นยาบำรุงกำลัง ด้วยการใช้น้ำผสมกับ
สมุนไพรชนิดอื่นเป็นยาตองเหล้า ว่านกระชายดำช่วยบำรุงธาตุในร่างกาย ช่วยบำรุงผิวพรรณของสตรี
ให้สวยสดใส ดูผุดผ่อง ช่วยบำรุงฮอร์โมนเพศชายหากสุขภาพสตรีรับประทานแล้วจะช่วยปรับสมดุล
ของฮอร์โมนทางเพศ ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางเพศ บำรุงสมรรถภาพทางเพศชาย แก้กามตาย
ด้าน (กระชายดำไม่ได้เป็นยาปลูกอารมณ์ทางเพศ แต่ช่วยทำให้อวัยวะเพศชายแข็งตัวได้ง่ายและบ่อย
ขึ้น มีระยะเวลาในการแข็งตัวที่นานขึ้น และสำหรับผู้ที่ไม่ได้มีปัญหาดังกล่าวก็สามารถรับประทานเพื่อ
ช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้) ช่วยกระตุ้นระบบประสาท บำรุงประสาท ทำให้ร่างกายกระชุ่มกระชวย
ช่วยในการนอนหลับ แก้อาการนอนไม่ค่อยหลับในตอนกลางคืน ช่วยทำให้นอนหลับดีขึ้น ช่วยบำรุง
หัวใจ ช่วยขยายหลอดเลือดหัวใจ แก้อาการหัวใจ ช่วยบำรุงโลหิตของสตรี ช่วยในระบบหมุนเวียนโลหิต
ของร่างกาย ทำให้โลหิตไหลเวียนได้ดีขึ้น ช่วยทำให้เจริญอาหาร ช่วยรักษาโรคความดันโลหิต รักษา
สมดุลของความดันโลหิต ช่วยรักษา โรคเบาหวาน ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยรักษาโรค
ภูมิแพ้ ช่วยแก้หอบหืด ช่วยแก้อาการใจสั่นหวิว แก้อาการเวียนหัว แก้ลมวิงเวียน แก้ไข้ดำมืด แก้โรคตา ช่วยรักษา
สายตา ช่วยรักษาแผลในช่องปาก ปากเป็นแผล ปากเปื่อย ปากแห้ง ช่วยแก้โรคตาในเด็ก แก้ซาง
ตานขโมยในเด็ก ช่วยแก้อาการแน่นหน้าอก ช่วยรักษาโรคในช่องท้อง มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียใน

ลำไส้ ช่วยขับลม แก้อาการจุกเสียด ช่วยแก้อาการปวดท้อง ปวดมวนในท้อง อาการท้องเดิน ช่วยรักษาโรคท้องร่วง ช่วยในการย่อยอาหาร รักษากระบวนการย่อยอาหารให้เกิดความสมดุล กระชายดำแก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อช่วยรักษาโรคบิด แก้อาการบิดเป็นมูกเลือด ช่วยขับปัสสาวะ แก้อาการขัดเบา แก้อาการปัสสาวะพิการ ช่วยแก้อาการตกขาวของสตรี ช่วยขับประจำเดือน แก้อาการประจำเดือนมาไม่ปกติของสตรี ช่วยให้โลหิตผสมกับเหล้าขาวคั้นเป็นน้ำดื่ม ช่วยแก้โรคมดลูกพิการ มดลูกหย่อนได้ ช่วยแก้ฝีอักเสบ ช่วยรักษากลักเกลื้อน ช่วยแก้อาการปวดหลัง ปวดเมื่อยตามร่างกาย ปวดกล้ามเนื้อ และมีอาการเหนียวล้า ช่วยรักษาโรคปวดข้อ ช่วยรักษาโรคเกาต์ ช่วยแก้อาการเหน็บชา ช่วยขับพิษต่าง ๆ ในร่างกาย ช่วยรักษาอาการมือเท้าเย็น กระชายดำมีฤทธิ์ในการช่วยรักษาเชื้อราที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคผิวหนัง

2.1.4 ข้อมูลทางเภสัชวิทยาของกระชายดำ

ว่านกระชายดำทำการสกัดกระชายดำด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังอวัยวะเพศของหนูเพศผู้และสุนัขและยังมีผลช่วยเพิ่มความหนาแน่นของอสุจิและเพิ่มระดับฮอร์โมน Testosterone แต่ไม่ทำให้พฤติกรรมทางเพศเปลี่ยนไป นอกจากนี้หนูขาวที่ได้รับสารสกัดแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูงในขนาด 1,000 มก./กก./วัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสามารถช่วยป้องกันภาวะผสมไข่ไม่ติดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสารสกัดดังกล่าวยังส่งผลทำให้ตับโตขึ้นด้วยมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (สาร 5,7-DMF ที่แยกได้จากเหง้ากระชายดำ) ต้านการอักเสบแบบเฉียบพลันได้ดีกว่าแบบเรื้อรัง โดยแสดงฤทธิ์ในการยับยั้งการบวมของอุ้งเท้าหนูขาว และมีฤทธิ์ลดไข้ มีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Plasmodium falciparum* ที่เป็นสาเหตุของโรคมาลาเรีย (สาร 5,7,4'-trimethoxy-flavone และ 5,7,3',4' -tetramethoxyflavone) และมีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Candida albicans* และฤทธิ์ต้านเชื้อ *Mycobacterium* อย่างอ่อน (สาร 3,5,7,4'-tetramethoxyflavone และ 5,7,4'-trimethoxyflavone) กระชายดำมีฤทธิ์ในการช่วยยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *B. subtilis* สารสกัดด้วยเอทานอลจากกระชายดำมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือดแดงใหญ่ ลดการหดเกร็งของลำไส้เล็กส่วนปลายของหนูขาว และยังช่วยยับยั้งการเกาะกลุ่มกันของเกล็ดเลือดในคน จากการศึกษาทางพิษวิทยาในหนูทดลองเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในขนาดตั้งแต่ 20-2,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วันเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าหนูที่ได้รับกระชายดำทุกกลุ่มมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ส่วนอาการและสุขภาพไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และหนูที่ได้รับกระชายดำในขนาด 2,000 มก./กก./วัน มีน้ำหนักสัมพัทธ์ของตับสูงกว่ากลุ่มควบคุม มีเม็ดเลือดขาวอีโอซิโนฟิลต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ยังคงอยู่ในช่วงค่าปกติ สำหรับหนูเพศเมียจะมีระดับ

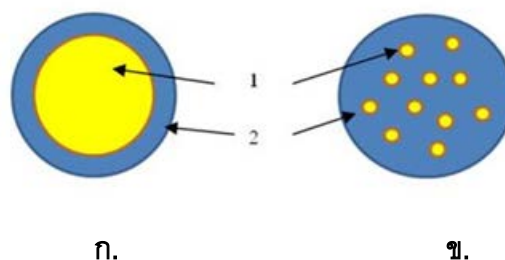
คอเลสเตอรอลสูงกว่ากลุ่มควบคุม และทุกกลุ่มไม่พบว่ามีความเป็นพิษเมื่อตรวจอวัยวะภายในด้วยวิธีทางจุลพยาธิวิทยา

2.2 ไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูเลชัน คือ กระบวนการเคลือบหุ้มองค์ประกอบของสารสำคัญที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง เช่น สารกลีโนรส วิตามิน และเอนไซม์ เป็นต้น ให้อยู่ภายในแคปซูลขนาดเล็ก (ประมาณ 1-1,000 μm) เรียกว่า ไมโครแคปซูล (microcapsule) เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยให้สะดวกในการขนส่ง และควบคุมการปลดปล่อยของสารให้ออกมาภายใต้สภาวะที่กำหนด (desai, 2005) ไมโครแคปซูลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วัสดุแกนและสารเคลือบหุ้มหรือสารเอนแคปซูเลตติ้ง (ภาพที่ 2.1)

วัสดุแกน (core material) มักเป็นสารที่ไวต่อความร้อนหรือไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ โดยอยู่ภายในไมโครแคปซูล อาจเรียกว่า วัสดุหลักสารสำคัญ วัฏภาคภายใน (internal phase) หรือสารออกฤทธิ์ (active agent) เช่น สารกลีโนรส วิตามิน สีธรรมชาติ และบีต้าแคโรทีน เป็นต้น

สารเคลือบหุ้มหรือสารเอนแคปซูเลตติ้ง (wall material/encapsulating agent) มีหน้าที่ป้องกันการเสื่อมเสียของวัสดุแกนจากปัจจัยภายนอก เช่น อากาศ แสง น้ำ อุณหภูมิ ปฏิกริยาทางเคมีหรือแรงเชิงกล เป็นต้น และปลดปล่อยวัสดุแกนออกมาภายใต้สภาวะที่กำหนด อาจเรียกว่าวัสดุเคลือบ (coating material) เปลือก (shell) ผนัง (wall) หรือตัวพา (carrier) เช่น คาร์โบไฮเดรตโปรตีน และกัม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ไมโครแคปซูล (microcapsule) แบ่งประเภทตามลักษณะของสารแกนกลาง

ก. ไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดียว ข. ไมโครแคปซูลแบบหลายแกนกลาง
(หมายเลข 1 คือแกนกลาง และหมายเลข 2 คือผนังห่อหุ้ม)

ที่มา: (Agnihotri N, 2012)

2.2.1 ชนิดสารเอนแคปซูเลตติ้ง (encapsulating agent)

การเลือกใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งที่จะนำมาใช้ในการทำไมโครเอนแคปซูเลชันเป็นสิ่งสำคัญมาก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบหุ้มและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลลักษณะของสารเอนแคปซูเลตติ้งที่ดีควรมีสมบัติการละลายสูง มีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งและไม่ขึ้นง่าย สามารถแผ่เป็นฟิล์มบางๆได้ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการยึดติดกับวัสดุแกนได้ดีโดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความคงตัวสูง เพื่อป้องกันวัสดุแกนจากสภาพแวดล้อมภายนอกต่าง ๆ และปลดปล่อยวัสดุแกนได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล, 2552) นอกจากนี้ยังควรพิจารณาเรื่องต้นทุนด้วย (Gharsallaoui and others, 2007) ซึ่งสารเอนแคปซูเลตติ้งที่นิยมใช้กับน้ำผลไม้ผง (fruit juice powder) คือ มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) และกัมอาราบิก (gum arabic) (Cano-Chauca and others 2005; Tonon and others, 2009) สารเอนแคปซูเลตติ้งที่นิยมนำมาใช้เคลือบหุ้มอาหารมีหลายชนิด ได้แก่

2.2.1.1 มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) นิยมใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งเนื่องจากมีคุณสมบัติการละลายที่ดี ราคาถูก และคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ รวมไปถึงมีประสิทธิภาพเคลือบหุ้มสารสำคัญต่างๆได้ดี เช่น แอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (Kha and others, 2010) มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีค่าสมมูลเด็คซ์โทรส (dextrose equivalent, DE) น้อยกว่า 20 ผลิตโดยการย่อยแป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่งหรือแป้งชนิดอื่นบางชนิดด้วยกรดหรือเอนไซม์ อาจอยู่ในรูปผงสีขาวหรือของเหลวข้น ไม่มีกลิ่นรส ละลายน้ำได้ดี มีความหนืด มอลโตเด็คซ์ตรินที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเอนแคปซูเลตติ้ง คือ DE 10 และ DE 20 (Gharsallaoui and others, 2007) เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินที่มี DE ต่ำจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบไปด้วยสายโมเลกุลที่ยาวกว่า ทำให้โครงสร้างมีความคงตัวในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนมากกว่ามอลโตเด็คซ์ตรินที่มี DE สูง (Ersus and Yurdagel, 2007)

2.2.1.2 กัมอาราบิก (gum arabic) เป็นสารธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มาจากน้ำยางธรรมชาติที่ไหลออกมาจากเปลือกของลำต้นพืชกลุ่มアカเซีย (acacia) มีชื่อเรียกเชิงพาณิชย์ที่หลากหลาย ได้แก่ กัมอาราบิก (gum arabic) กัมアカเซีย (acacia gum) หรือกัมซูดาน (sudan gum) มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) ที่ดี โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water) จึงเหมาะในการผลิตไมโครแคปซูลสารกลิ่นรส ช่วยลดการระเหยของสารกลิ่นรส ไม่มีผลกระทบต่อความหนืดและกลิ่นรส รวมทั้งสีของผลิตภัณฑ์ และเมื่ออยู่ในรูปผงแห้งจะมีการกระจายตัวได้ดีไม่จับตัวกันได้ง่าย

จึงเหมาะในการใช้เคลือบหุ้มวัสดุแทนที่ขึ้นง่าย นอกจากนี้ยังนิยมใช้กัมอาราบิกในการเอนแคปซูลเลต น้ำมันหอมระเหย (essential oil) เนื่องจากทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัว (Kenyon, 1995)

2.2.1.3 โปรตีน (proteins) โปรตีนเป็นสารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเอนแคปซูลเลตติ้ง เช่น การละลาย (solubility) ความหนืด (viscosity) อิมัลชัน (emulsion) และสมบัติการทำให้เกิดฟิล์ม (film forming) สามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันโปรตีนถือว่าเป็นสารเอนแคปซูลเลตติ้งที่ดีในการเอนแคปซูลเลตสารสำคัญต่าง ๆ โดยมีคุณสมบัติจับกับองค์ประกอบของสารกลีเซอรอลได้สูง (Landy and others, 1995) โปรตีนส่วนมากที่นำมาใช้เอนแคปซูลเลตสารประกอบในอาหาร ได้แก่ Whey Proteins Isolate (WPI), Whey Protein Concentrate (WPC), Soy Protein Isolate (SPI) และ เจลาติน (Gelatin) เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต้องการในการผลิตไมโครแคปซูล (Rosenberg and Sheu, 1996)

2.2.1.4 แป้งดัดแปร (modified starch) แป้งดัดแปรหลายชนิดมีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเอนแคปซูลเลตติ้งได้ดี มีรายงานการนำมาใช้ในอาหาร ได้แก่ OSAN (N-octenyl succinic anhydride-substituted starches) มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำไม่มีกลีเซอรอล ยากต่อการทำปฏิกิริยากับสารชนิดอื่น ละลายน้ำได้ดีและราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือเมื่อทำให้เป็นสารละลายจะมีความเป็นกรด จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับวัสดุแทนที่ไวต่อกรด

2.2.1.5 โซเดียมอัลจีเนต (sodium alginate) เป็นสารสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (phaeophyceae) ละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำราคาไม่แพงและใช้ปริมาณน้อย แต่ฟิล์มที่ได้มักจะไม่ค่อยแข็งแรงจึงต้องเสริมความแข็งแรงด้วยเกลือแคลเซียม และทำให้เกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ

ดังนั้นควรเลือกใช้ชนิดและปริมาณสารเอนแคปซูลเลตติ้งที่เหมาะสมทั้งต่อสารสำคัญและต่อสภาวะที่ต้องการใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลเลชันที่ดี โดยสารเอนแคปซูลเลตติ้งแต่ละชนิดจะมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของสารเอนแคปซูลเลตติ้งบางชนิด

สารเอนแคปซูลเลตติ้ง(encapsulating agent)	สมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties)
มอลต์เด็กซ์ตริน	เกิดฟิล์ม
โมดิฟายด์ สตาร์ช	เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก
กัมอาราบิก	อิมัลซิไฟเออร์เกิดฟิล์ม
เจลาติน	อิมัลซิไฟเออร์เกิดฟิล์ม

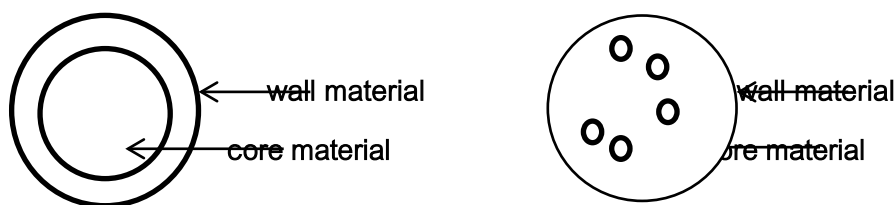
ที่มา: (Madene and others, 2006)

2.2.2 ลักษณะของไมโครแคปซูล (microcapsule) (Vilstrup, 2001)

โดยทั่วไปลักษณะของไมโครแคปซูลมีอยู่ 2 ลักษณะ

2.2.2.1 สารสำคัญถูกห่อหุ้มด้วยสารเอนแคปซูเลตติ้ง มีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวดังแสดงในภาพที่ 2.1ก

2.2.2.2 สารสำคัญกระจายตัวอยู่ในสารเอนแคปซูเลตติ้งดังแสดงในภาพที่ 2.2ข



รูปที่ 2.2 ลักษณะของไมโครแคปซูล

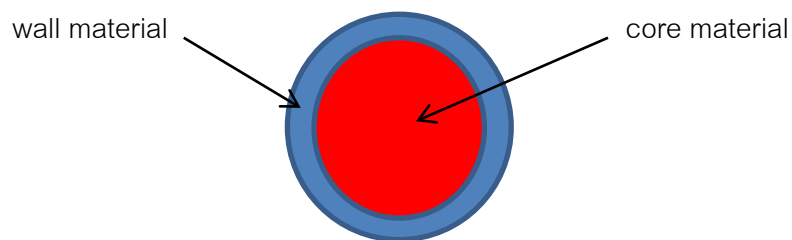
ที่มา: (Fang and Bhandari, 2010)

อนุภาคของไมโครแคปซูลประกอบไปด้วยสารเอนแคปซูเลตติ้งที่ห่อหุ้มอนุภาคของสารสำคัญไว้ภายใน โดยระหว่างสารเอนแคปซูเลตติ้งและสารสำคัญอาจมีลักษณะดังนี้ (1) การสร้างพันธะ เช่น พันธะโควาเลนต์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรเจน ทำให้มีแรงยึดเกาะกันระหว่างสารเอนแคปซูเลตติ้งและสารสำคัญ (2) สารเอนแคปซูเลตติ้งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้สารสำคัญต่างๆ สามารถแทรกตัวอยู่ทั่วไปในสารเอนแคปซูเลตติ้ง (3) อิมัลชัน โดยสารเอนแคปซูเลตติ้งล้อมรอบอนุภาคของสารสำคัญไว้ โดยไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2.3 ชนิดไมโครแคปซูล (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

ไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยกระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชัน แบ่งได้ 3 ชนิด

2.2.3.1 Single core (true encapsulation) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยเทคนิค Coacervation

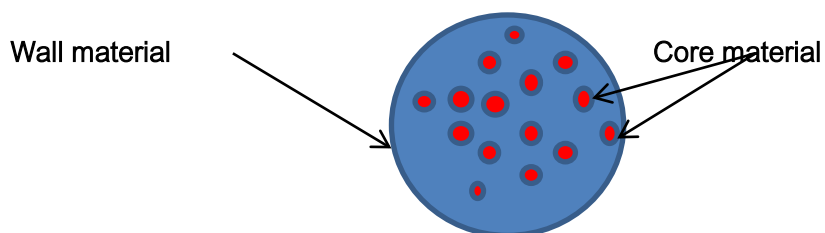


รูปที่ 2.3 ไมโครแคปซูลแบบ Single core หรือ True encapsulation

ที่มา: (Fang and Bhandari, 2010)

2.2.3.2 Multi-core หรือ Matrix encapsulation

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยเทคนิค Spray drying, Spray chilling, Spray cooling และ Extrusion

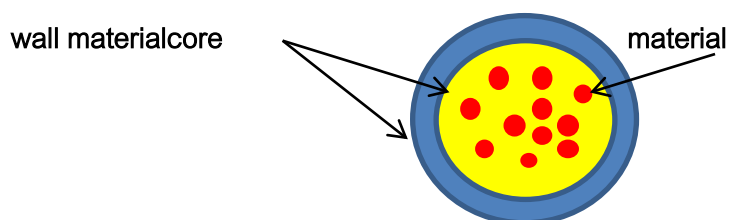


รูปที่ 2.4 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ Matrix encapsulation

ที่มา: (Fang and Bhandari, 2010)

2.2.3.3 Multi-wall หรือ Control release

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค Fluidized bed หรือ Centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารออกมาในสภาวะที่ต้องการได้



รูปที่ 2.5 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ Control release

ที่มา: (Fang and Bhandari, 2010)

2.2.4 ประโยชน์ของไมโครเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

โดยทั่วไปมีการนำไมโครเอนแคปซูเลชันไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้ (Gibbs and others 1999, Desai and Park, 2005)

2.2.4.1 เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของสารสำคัญ โดยลดการเกิดปฏิกิริยาของสารสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกและป้องกันสารสำคัญที่สลายตัวง่ายให้มีความคงตัวมากขึ้น เช่น สารกลีโนรส วิตามิน และน้ำจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แสง ความชื้น และออกซิเจน เป็นต้น

2.2.4.2 เพื่อลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายโอนของสารสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก

2.2.4.3 เพื่อทำให้ง่ายต่อการนำสารสำคัญไปใช้ เช่น ทำให้สารสำคัญที่เป็นของเหลวอยู่ในรูปผงแห้ง ทำให้ง่ายต่อการนำไปผสมกับส่วนประกอบอื่น โดยไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยากัน

2.2.4.4 เพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารสำคัญให้ตรงตามวัตถุประสงค์

2.2.4.5 เพื่อกลบกลีโนรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหืนของน้ำมัน และรสขมของโปรตีน ไฮโดรไลเซต เป็นต้น

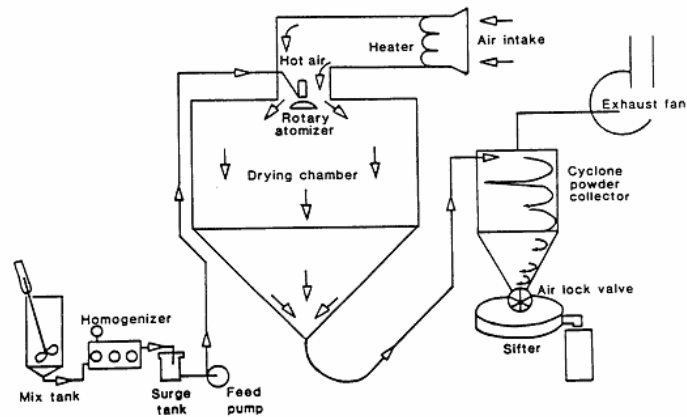
2.2.4.6 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

2.3 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying technique)

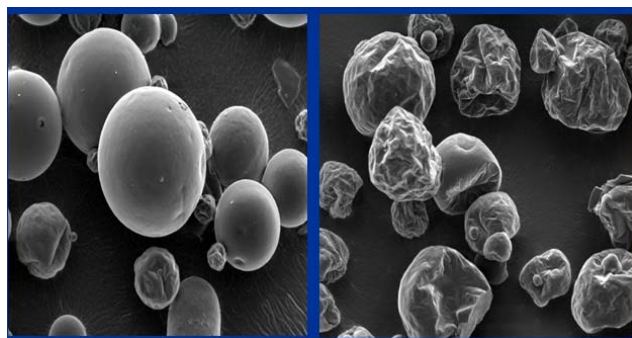
การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลีโนรสเนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตโดยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่นขั้นตอนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วยการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ทรีนสตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัมหรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำจากนั้นนำสารให้กลีโนรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลชันมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ (homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลีโนรส

2.3.1 ข้อดีของการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ต้นทุนการผลิตต่ำ เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดีและสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด



รูปที่ 2.6 การเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย
ที่มา : (Madeneet *et al.*, 2006)



(a)

(b)

รูปที่ 2.7 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

(a) : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ wheel atomizer

(b) : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ pressure spray atomizer

ที่มา : (Madeneet *et al.*, 2006)

2.3.2 ข้อดีของการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย และอาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้ (Dziezak, 1988)

2.3.3 การเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอนซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ agglomeration โดยใช้ fluidized bed process เพื่อให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูลชั้นสามารถละลายได้ทันทีหรือละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสารเคลือบโดยบริษัท Colloid Naturels และ TIC gum โดยการใช้กัมอาราบิกและการใช้กัมอาราบิคร่วมกับสตาร์ชหลายชนิดเพื่อให้สารให้กลิ่นรสมีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่อง leafless spray dryer เพื่อใช้ในการเอนแคปซูลชั้นสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดสูงโดยออกแบบให้อากาศร้อน (300–4000 องศาฟาเรนไฮต์) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงภายในห้องอบแห้งซึ่ง leafless spray dryer สามารถใช้ในการอบแห้ง citral และ linalyl acetate โดยมีผลกระทบกับคุณภาพของสารให้กลิ่นรสต่งกล่าว่น้อยมาก ในกรณีที่สารให้กลิ่นรสที่จะนำมาเอนแคปซูลชั้นมีจุดเดือดต่ำการเอนแคปซูลชั้นจะทำได้โดยนำอิมัลชันซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรสในตัวกลางที่ละลายน้ำ (hydrated carrier) เช่น กัมอาราบิกมาผ่านหัวฉีดเพื่อพ่นละอองฝอยไปยังสารละลายเอทานอลซึ่งเป็นของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำ (dehydrating liquid) ออกจากผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลที่ได้สามารถแยกออกจากสารละลายโดยการกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum oven) วิธีการนี้ยังไม่มีเครื่องมือการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องจึงทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศร้อนแต่วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสที่มีราคาแพงและไวต่อความร้อน

2.3.4 การกักเก็บสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแกนกลางและสารเคลือบ
2. อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง

3. คุณสมบัติของสารเคลือบเช่นคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลางและมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง (Rosenberg *et al.*, 1996)

2.3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
2. อัตราส่วนของสารให้กลืนรส : สารเคลือบ
3. วิธีการพ่นฝอย และตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
4. การหอดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
5. สภาวะในการเก็บรักษา

2.3.5 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการทำแห้งอาหารที่เป็นของเหลว สารละลายข้นหนืด หรือสารแขวนลอย มาทำให้เกิดเป็นอนุภาคนาขนาดเล็ก โดยการอะตอมไมซ์ (atomization) ทำให้อนุภาคกระจายตัวเป็นละอองฝอยเล็กๆ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-200 ไมโครเมตรและพ่นเข้าไปในกระแสมรอนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียสในห้องอบแห้ง (drying chamber) ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมาก น้ำระเหยออกจากตัวอย่างอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมา มีลักษณะเป็นอนุภาคผงเล็กๆ โดยการอะตอมไมซ์หรือการพ่นฝอยที่สมบูรณ์และสม่ำเสมอจะทำให้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเกิดขึ้นได้ดี (Fellows, 2000) กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.5.1 การทำให้ของเหลวมีอนุภาคนาขนาดเล็ก เป็นหัวใจหลักของการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพราะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้น ถ้ามีพื้นที่ผิวสูงจะทำให้สามารถระเหยนํ้าออกจากอาหารได้เร็ว และเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง และความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลง ทำให้มีพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มากขึ้น จึงมีประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลที่ดี

2.3.5.2 การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อนในขั้นตอนนี้อุณหภูมิของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนหรือตัวกลางที่ให้ความร้อนนํ้าในอาหารเหลวได้รับความร้อนจากอากาศร้อน ทำให้เกิดการระเหยของนํ้าการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงมาก ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการอบแห้ง ลักษณะของอาหารที่ต้องการอบแห้ง

คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยการสัมผัสระหว่างอนุภาคอาหารกับอากาศร้อน แบ่งได้ 3 แบบ คือ

1) การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (co-current flow) อาหารเหลวจะถูกพ่นออกไปในทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อน วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากมีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาสั้นมากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ

2) การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลไปในทิศทางตรงข้ามกัน เริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนลักษณะนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมากเพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความเป็นรูพรุน (porosity) หรือความหนาแน่น (density) ลดลง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่อง

3) การไหลแบบผสมกัน (mixed-flow) สารละลายและอากาศร้อนจะไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางกันพร้อม ๆ กัน อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยนี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือแบบทำให้ร้อนโดยตรงและทางอ้อมแบบแรกเป็นการเผาไหม้โดยเชื้อเพลิงได้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรงหรือได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศ ข้อดีคือมีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนแบบทำความร้อนโดยทางอ้อมได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งมีการสูญเสียความร้อนมาก

2.3.5.3 การระเหย (evaporation) การระเหยน้ำจากอนุภาคอาหารที่ถูกพ่นฝอยเกิดขึ้นจากการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสาร การระเหยน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นส่วนมาก กระบวนการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นได้ดังนี้อุณหภูมิถูกทำให้ร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้นโดยการนำความร้อน และการพาความร้อนที่ผิวของอนุภาคแล้วเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำจากนั้นส่วนของไอน้ำจะถูกถ่ายโอนมวลให้อากาศร้อนโดยการแพร่และโดยการพาออกไปจากผิวหน้าของอนุภาคไปกับความร้อนอัตราการระเหยน้ำจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์หรือความดันไอ และคุณสมบัติในการถ่ายโอนของอากาศ ขนาดของอนุภาคอุณหภูมิของอนุภาคความเร็วลมของอากาศร้อนตลอดจนคุณลักษณะหรือองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในอนุภาคด้วย

2.3.5.4 การแยกอาหารผง (dry product recovery) หลังจากอาหารผงตกลงสู่พื้นล่างของหอบแห้งอนุภาคจะมีน้ำหนักเบาและจะถูกดูดออกไปโดยแรงจากพัดลมส่งออกมาตามท่อลมขาออก

ผงอาหารแห้งนี้สามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยเครื่องคัดแยกแบบไซโคลน (cyclone separator) ซึ่งสามารถแยกเอาอากาศกับอนุภาคของแข็งออกจากกันได้โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายโอนโมเมนตัม ข้อดีของวิธีนี้คือการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อย การปนเปื้อนจากอากาศภายนอกมีน้อย ต้นทุนต่ำและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคเกิดจากการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เมื่ออนุภาคถูกพ่นฝอยสัมผัสกับอากาศร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศสู่อนุภาคโดยการนำความร้อนแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝงในการระเหยไอน้ำจะถูกเคลื่อนย้ายโดยการพาผ่านชั้นผิวรอบๆ อนุภาค ความเร็วของอนุภาคที่ออกจากหัวฉีดจะแตกต่างจากความเร็วอากาศที่อยู่รอบๆ ดังนั้นจะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างอนุภาคอากาศที่อยู่รอบๆ ผิวชั้นนอกของอนุภาคซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลขึ้นกับอุณหภูมิอากาศความชื้นสัมพัทธ์คุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาคและความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศกับอนุภาค

2.3.6 ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

2.3.6.1 หอบแห้ง (drying chamber) หอบแห้งเป็นส่วนประกอบสำคัญในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยการออกแบบขนาดและรูปร่างต้องพิถีพิถันให้ได้พอเหมาะกับการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างอากาศร้อนกับละอองของเหลวต้องมีระยะทางที่อากาศร้อนจะสัมผัสละอองของเหลวพอดีที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความแห้งพอดีทางเข้าและทางออกของทั้งอากาศร้อนและของเหลวที่จะอบแห้งจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.3.6.2 หัวฉีด (atomizer) ทำหน้าที่พ่นของเหลวให้แตกกระจายเป็นละอองฝอยหัวฉีดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะอาศัยหลักการของการถ่ายโอนอย่างรวดเร็วให้กับละอองของเหลว ดังนั้น หัวฉีดจะต้องทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองที่มีขนาดเล็กที่สุดเพื่อที่จะทำให้พื้นที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น ทำให้การอบแห้งเกิดได้อย่างรวดเร็วและได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณภาพดีหัวฉีดที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งต้องมีคุณสมบัติเฉพาะตัวหลายประการและต้องมีประสิทธิภาพสูง

2.3.6.3 ไซโคลนแยกอาหารแห้ง (cyclone separator) สำหรับแยกหรือรวบรวมผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้ง เมื่ออากาศร้อนและผลิตภัณฑ์ผงไหลเข้าสู่ไซโคลนด้วยความเร็วสูงจะเกิดแรงเหวี่ยงไปกระทำต่ออนุภาคผลิตภัณฑ์ผง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนวนรอบแกนกลางของไซโคลน อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นหมุนวงกลมได้ด้วยแรงเหวี่ยงที่จะทำให้อนุภาคเคลื่อนออกไปหาผนังของไซโคลนและขณะเดียวกันก็จะมีแรงทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลาง เมื่ออนุภาคและอากาศ

เข้าไปอยู่ในไซโคลนความเร็วจะลดลง ทำให้การหมุนเป็นเกลียวลงมายังด้านล่างของไซโคลน เมื่อความเร็วลดลงอนุภาคจะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงและถูกรวบรวมออกทางช่องทางด้านล่าง ส่วนอากาศที่แยกอนุภาคออกไปแล้วก็จะถูกหมุนวนกลับขึ้นไปข้างบนตามแกนของไซโคลนแล้วไหลออกไปช่องทางอากาศออก ลักษณะการหมุนทั้ง 2 แบบนี้จะเป็นในแนวเดียวกัน ทำให้สามารถแยกอนุภาคและอากาศออกจากกัน

2.3.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย(Masters, 1979)

เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีตัวแปรที่สามารถเลือกสภาวะการใช้งานได้หลายค่าทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งมีคุณภาพแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามต้องการ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

2.3.7.1 สมบัติตัวป้อน (feed properties) ในสภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งของสารที่ป้อนมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยในขณะที่น้ำที่ระเหยออกไปมีอัตราการระเหยคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่ากรณีที่มีปริมาณของแข็งของสารที่ป้อนต่ำผลที่ตามมาคือผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง ปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่ป้อนควรมีปริมาณเหมาะสมถ้ามากเกินไปอาจไม่สามารถพ่นฝอยหรือไม่สามารถดูดผ่านเครื่องปั๊มดูดของเหลวได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเกาะติดที่ผนังห้องอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสลาย

2.3.7.2 อัตราการป้อน (feed flow rate) การเพิ่มอัตราการป้อนในขณะที่สภาวะของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และผลที่ตามมาทำให้มีความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ต่ำ และในขณะเดียวกันการเพิ่มอัตราการป้อนในขณะที่อัตราการไหลของอากาศเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นในขณะที่ระบบสามารถระเหยน้ำออกไปได้ในอัตราคงเดิม นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการป้อนยังส่งผลทำให้ได้ผลผลิตลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพในการพ่นฝอยลดลงและส่วนผสมบางส่วนติดที่ผนังห้องอบแห้งผลผลิตที่ได้จึงต่ำ

2.3.7.3 อุณหภูมิอากาศขาเข้า (inlet air temperature) และอุณหภูมิอากาศขาออก (outlet air temperature) อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าและอุณหภูมิอากาศขาออก คือ ที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าจะเป็นการเพิ่มแรงขับในการระเหยของน้ำ (driving force) ในอนุภาคที่จะระเหยออกไปทำให้น้ำระเหยออกจากตัวอย่าง

ได้เร็วขึ้นมีผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องทำแห้งเพิ่มและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของการทำแห้งเนื่องจากอนุภาคเกิดการระเหยน้ำได้เร็วขึ้นทำให้อนุภาคมีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นลดลง

2.3.7.4 อัตราการไหลของอากาศในการทำแห้ง (drying air flow rate) การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อเวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรงถ้าลดอัตราการไหลของอากาศทำให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้นและทำให้มีปริมาณน้ำที่ระเหยได้สูงขึ้น นอกจากนี้ที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศต่ำๆ ช่วยทำให้การแยกผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.3.7.5 หัวฉีด (atomizer) ชนิดหัวฉีด เช่น หัวฉีดจานหมุน (rotary) และหัวฉีดชนิดใช้ความดันที่แตกต่างกัน (nozzles) มีผลทำให้ขนาดของอนุภาคแตกต่างกันด้วยขึ้นกับการออกแบบและลักษณะเฉพาะของเครื่องอย่างใดก็ตามหัวฉีดชนิดจานหมุนสามารถใช้งานได้ทั่วไป คือ สามารถผลิตอนุภาคได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการผลิตได้สูงมากกว่า 5 ตันต่อชั่วโมง ส่วนหัวฉีดชนิดใช้ความดันสามารถผลิตอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ดังนั้นการเลือกใช้งานขึ้นกับความต้องการว่าต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเช่นใด

การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีข้อดีหลายประการ ดังนี้

1) คุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมหรือปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ เช่น ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างเป็นทรงกลมมีช่องว่างหรือรูพรุนภายในอนุภาคจึงสามารถละลายได้ง่าย ผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมขนาดอนุภาคให้ได้ตามต้องการ

สภาวะการทำแห้งสามารถควบคุมได้จึงช่วยลดการเสื่อมเสียคุณค่าทางอาหารหรือการเสื่อมสลายขององค์ประกอบในอาหารจากความร้อน เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นเพียงแควินาที

2) เหมาะสำหรับตัวอย่างที่ไวต่อความร้อน เช่น สารสำคัญทางชีวภาพรงควัตถุและวิตามิน เป็นต้น

3) การทำแห้งแบบพ่นฝอยให้อัตราการผลิตสูงมาก ดังนั้นต้นทุนการผลิตในการทำแห้งต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จึงต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

4) มีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยากสะดวกต่อการทำงาน นอกจากนี้ยังไม่ต้องผ่านกระบวนการอื่น ๆ ให้ยุ่งยาก เช่น การลดขนาด

อย่างไรก็ตามการนำกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยไปใช้ผลิตอาหารผงต่างๆทำให้เกิดข้อเสียหลายประการ ดังนี้

1) สูญเสียกลิ่นรสบางชนิดระหว่างการอบแห้ง

- 2) อาจมีวัสดุแกนติดอยู่ที่ผิวของไมโครแคปซูล
- 3) มีโพรงอากาศอยู่ภายในไมโครแคปซูล
- 4) มีข้อจำกัดในการใช้สารเคลือบหุ้ม โดยตัวป้อนต้องมีความหนืดต่ำ

2.4 ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ผงในระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพเนื่องจากหลายปัจจัยทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีความคงตัว และมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีความคงตัวต่างกัน เนื่องจากมีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพต่างกันกล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ไม่ดี การเสื่อมสลายของสารที่เป็นองค์ประกอบในอาหารสามารถอธิบายได้โดยใช้จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (kinetic reaction) โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงมักจะเกิดขึ้นเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) ซึ่งมีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิเวลา เป็นต้น โดยสามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงได้จากอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants; k) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) (Heldman and Lund, 2007)

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (2.1)$$

เมื่อ

C คือ ปริมาณขององค์ประกอบที่เหลือหลังจากเวลา t

C₀ คือ ปริมาณขององค์ประกอบที่เวลาเริ่มต้น

K คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา

T คือ เวลา

ดังนั้น การเสื่อมสลาย (degradation) หรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของอาหารสามารถประเมินได้จากค่าครึ่งชีวิต (Half-life: t_{1/2}) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ทำให้สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายของอาหารเสื่อมสลายไปร้อยละ 50 จากเริ่มต้นโดยใช้จลนพลศาสตร์ของการเสื่อมสลายหรือการเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของอาหาร สามารถคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตได้ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งสามารถนำมาอธิบายการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

(food deterioration) จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษาและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน และผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Arrhenius equation

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพร โสวสด (2548) ได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยของกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และสูตรตำรับต่อการเกิดนาโนแคปซูลและลักษณะการปลดปล่อยสารเคอร์คูมินจากแคปซูล โดยทดลองแปรค่าของสัดส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน ความเข้มข้นของโคโคซาน สัดส่วนของตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ระหว่าง สเปน 80 กับ ทวิน 80 และความเข้มข้นไตรโพลีฟอสเฟต จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DLS ปรากฏว่านาโนอิมัลชันที่เตรียมได้และสนใจมีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 253.8–415.2 นาโนเมตร ในขณะที่นาโนแคปซูลอบแห้งแบบแช่แข็งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 87.5-600 นาโนเมตร เมื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากการวิเคราะห์ด้วย TEM ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูลอยู่ในช่วงร้อยละ 17.98-67.07 w/w และผลได้ของการผลิตนาโนแคปซูลอยู่ในช่วงร้อยละ 24.99-99.28 w/w พบว่าสัดส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน ที่อัตราส่วน 4:1 ความเข้มข้นของโคโคซานที่ร้อยละ 3.0 w/v สัดส่วนของตัวทำอิมัลชัน ระหว่าง สเปน 80 กับ ทวิน 80 ที่ 50:50 v/v และความเข้มข้นไตรโพลีฟอสเฟตที่ร้อยละ 1.5 w/v ให้ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูลสูงสุด คือร้อยละ 52 w/w ผลได้ของการผลิต (process Yield) นาโนแคปซูลในลำดับที่ 2 คือร้อยละ 98 w/w ให้นาโนแคปซูลขนาดเล็กที่สุด คือ 254 นาโนเมตร และให้ค่าคงที่อัตราการปลดปล่อยสารเคอร์คูมินคือร้อยละ 31.87 จากนั้นได้วิเคราะห์ยืนยันผลการเชื่อมโยงหมู่ฟังก์ชันของโคโคซานกับไตรโพลีฟอสเฟต โดยเครื่อง fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) สรุปแล้วนาโนแคปซูลของโคโคซานเหมาะสมที่จะนำมาเตรียมนาโนแคปซูลออกฤทธิ์นานของเคอร์คูมินเนื่องจากมีการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องนานกว่า 24 ชั่วโมง

ณัฐมา เหล่ากุลดิกล (2552) ศึกษาคุณสมบัติของไมโครเอนแคปซูลกลีเซอรินที่ผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอะราบิก สตาร์ชดัดแปร และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นวัสดุห่อหุ้ม ทำการวิเคราะห์หาร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ร้อยละความสามารถในการดูดความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ขนาดอนุภาคและค่าสีของผงกลีเซอรินที่ผลิตได้ พบว่าเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม ให้ค่าร้อยละผลผลิตและค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด เมื่อใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินจะให้ค่าสี a^* และ b^* สูงกว่าวัสดุอื่นๆ โดยมีสีน้ำตาลอ่อน ผงกลีเซอรินที่ที่ใช้สตาร์ชดัดแปรเป็นวัสดุห่อหุ้มจะมีปริมาณความชื้นต่ำ แต่มีร้อยละความสามารถในการดูดความชื้น

สูง การใช้กัมอะราบิกจะมีอนุภาคผงขนาดใหญ่ เนื่องจากสารละลายที่ป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความหนืดสูง เมื่อนำกัมอะราบิกและมอลโตเดกซ์ทรินมาผสมกันเป็นวัสดุห่อหุ้ม แล้วทำนายหาสูตรที่เหมาะสมของไมโครเอนแคปซูลกลีเซอรอลที่ทนต่อการอบแห้งโดยการหาพื้นที่ตอบสนอง พบว่าประกอบด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 3.10 กัมอะราบิกร้อยละ 6.43 และมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 20.47 ซึ่งจะทำให้ไมโครเอนแคปซูลมีปริมาณความชื้น ความสามารถในการดูดความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เท่ากับ ร้อยละ 5.24 ร้อยละ 10.80 และร้อยละ 0.165 ตามลำดับ

อรอนงค์ ศรีพาทกุล (2542) ศึกษากระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลสดผงจากน้ำตาลโตนด โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาอุณหภูมิในการอบแห้ง เวลาในการอบแห้ง อัตราการป้อนน้ำตาลสดที่เหมาะสม และปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม โดยแปรผันที่ร้อยละ 10 20 และ 30 จากงานวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ อุณหภูมิในการอบแห้ง 120 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำตาลสด 280 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เวลาอบแห้ง 1.93 วินาที ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 10 จะได้น้ำตาลสดผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว มีความชื้นต่ำ เมื่อนำน้ำตาลสดผงมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1:3 มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบกับน้ำตาลสดพบว่า กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ ไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีช่วงค่าคะแนน 3.2 – 3.6 น้ำตาลสดผงหลังละลายมีสีเหลืองอ่อนกว่า น้ำตาลสดเล็กน้อย มีค่าสี $L^* = 18.76$, $a^* = -13.82$ และ $b^* = 19.23$ น้ำตาลสดผงเมื่อเก็บรักษาไว้ 6 เดือน คุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง

Onwulata and others (1994) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผลิตภัณฑ์นมผง (milk fat powders) ซึ่งมีการเอนแคปซูเลชันตัวอย่างก่อนอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารเคลือบหุ้มหลายชนิด ซึ่งเป็นสารผสมของน้ำตาลซูโครส และแป้ง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นมผงมีสมบัติทางกายภาพที่ดี โดยพบว่าสามารถเอนแคปซูเลชันไขมันนม (butter oil) ได้ร้อยละ 40-50 และมีการกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์นมผงอยู่ในช่วง 20-120 ไมโครเมตรโดยชนิดของสารเอนแคปซูเลตติ้งมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์นมผง

Ersus and Yurdagel (2007) ศึกษาการไมโครเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของแอนโทไซยานินที่สกัดจากแครอทดำ (black carrot) โดยใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งเป็นมอลโตเดกซ์ทริน DE 10 20 และ 30 อุณหภูมิอากาศเข้าในช่วง 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE สูง ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 160 องศาเซลเซียส มีผลทำให้แอนโทไซยานินคงเหลือมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง

Tonon and others (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำอาซาฮีต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพและแอนโทไซยานินที่เหลืออยู่ (anthocyanin retention) ในผลิตภัณฑ์ผงอาซาฮี (acai powder) โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 16 20 24 และ 30 w/w ที่สภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้า 138 150 170 190 และ 202 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 5 9 15 21 และ 25 g/min พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าส่งผลให้ผลผลิตและการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงสูงขึ้น ส่วนปริมาณความชื้น และปริมาณแอนโทไซยานินคงอยู่ลดลง และอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อแอนโทไซยานินที่เหลืออยู่ โดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้แอนโทไซยานินที่เหลืออยู่ลดลง เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่ไวต่อความร้อนจึงถูกทำลายได้มาก และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัวอย่างทำให้ผลผลิตและการดูดความชื้นลดลง แต่มีผลทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวล (heat and mass transfer) ต่ำลง จึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง เมื่อความชื้นของมอลโตเด็คซ์ตรินสูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีการดูดความชื้นลดลง เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินมีสมบัติการดูดความชื้นต่ำ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินส่งผลให้การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย นอกจากนี้อนุภาคที่ผลิตที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงจะมีขนาดใหญ่และมีรูปร่างเป็นทรงกลมพื้นผิวเรียบแข็งไม่ยุบตัว เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำอนุภาคจะมีพื้นผิวหยาบเนื่องจากผิวของอนุภาคจะยังเหลือความชื้นและมีความยืดหยุ่น ดังนั้นอนุภาคจึงสามารถยุบตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง

Kurozawa and others (2009) ศึกษาสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยโปรตีนไฮโดรไลเสทจากเนื้อไก่โดยใช้สารพา 2 ชนิดคือ มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 และ 30 w/w ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 0.2 kg/hr จากการศึกษาพบว่า การเติมสารพาทั้งสองชนิดในโปรตีนไฮโดรไลเสทมีผลทำให้ปริมาณความชื้น การดูดความชื้น ความหนาแน่นโดยรวม ขนาดอนุภาคเฉลี่ย การกระจายตัวของอนุภาค (particle size distribution) และอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นกลาง (glass transition temperature, tg) ของผลิตภัณฑ์ผงหลังการอบแห้งแตกต่างจากโปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ไม่มีการเติมสารพา และส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาค (particle morphology) โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารพามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีปริมาณความชื้น ความหนาแน่นโดยรวม และการดูดความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีผลทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นกลางเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่งผลให้โปรตีนไฮโดรไลเสทผงมีความความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาทำให้เก็บรักษานานขึ้น

Tonon and others (2010) ศึกษาผลของชนิดสารเอนแคปซูเลตติ้งโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำอาชาอิที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 140 องศาเซลเซียสต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (anthocyanin content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผงอาชาอิ โดยใช้สารเอนแคปซูเลตติ้ง 4 ชนิด คือ มอลโตเด็คซ์ตริน (DE 10 และ 20) กัมอาราบิก และแป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 w/w พบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก มีผลทำให้ผงอาชาอิมีปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกัน และการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งทำให้ผงอาชาอิมีปริมาณแอนโทไซยานินและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด

Kha and others (2010) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลตติ้งและอุณหภูมิอากาศขาเข้าโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 120 140 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 และ 30 w/v ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (total carotenoid content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (total antioxidant activity) ในผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู (gac aril powder) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลตติ้งส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดลดลงด้วย โดยที่สภาวะการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 10 w/v อุณหภูมิอากาศขาเข้า 120 องศาเซลเซียสทำให้ผงพริกขี้หนูมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงที่สุด

Chin and others (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาวะการเก็บรักษาต่อความคงตัวของสารระเหย (volatiles compounds) ในผงทุเรียนโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าชนิดของสารเอนแคปซูเลตติ้งในการทำแห้งมีอิทธิพลต่อสารระเหยที่เหลืออยู่ (volatile retention) ในผงทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเติมกัมอะราบิกมีผลทำให้สารระเหยที่เหลืออยู่สูงกว่ามอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งดัดแปร (N-Lok) โดยมีสารระเหยที่เหลืออยู่ในช่วง 57-76% และพบว่าในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงสารระเหยหลายชนิด และไม่พบสารกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor) นอกจากนี้พบว่าอัตราการปล่อยสารระเหยเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

Kurozawa and others (2011) ศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อสมบัติของผงโปรตีนไฮโดรไลเสทจากเนื้อไก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ central composite rotatable design เพื่อประเมินอิทธิพลของตัวแปรอิสระสองปัจจัยคือ อุณหภูมิอากาศขาเข้าในช่วง 120-200 องศาเซลเซียสและอัตราการป้อนระหว่าง 0.10-0.38 kg/hr ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องทำแห้ง ซึ่งประเมินจากปริมาณผลผลิตอุณหภูมิอากาศร้อนขาออก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและพลังงานที่ใช้

ในการทำแห้งของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญการเพิ่มอัตราการป้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นและทำให้พลังงานที่ใช้ในการทำแห้งต่ำ การลดอัตราการป้อนและอุณหภูมิอากาศเข้ามีผลทำให้ปริมาณผลผลิตสูง

Idham and others (2011) ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินในผงกระเจี๊ยบศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 98 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเอนแคปซูเลตติ้ง 4 ชนิด คือ มอลโตเด็คซ์ตริน กัมอาราบิก สารผสมมอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก (maltodextrin/gum arabic mixtures) และแป้ง (starch) จากผลการศึกษา พบว่าการใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งทั้ง 4 ชนิด สามารถเพิ่มความคงตัวและค่าครึ่งชีวิต (half life) ของแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้พบว่า การใช้สารผสมมอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก มีผลทำให้แอนโทไซยานินมีเจลาตูลิสมการเสื่อมสลายต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ดังนั้น ไมโครเอนแคปซูเลชันโดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยควรใช้ชนิดสารเอนแคปซูเลตติ้ง ความเข้มข้นสารเอนแคปซูเลตติ้ง อัตราการป้อน และอุณหภูมิอากาศเข้าที่เหมาะสมจึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพที่ดี และมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

3.1.1 กระชายดำ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

3.1.2 น้ำเปล่า (น้ำดื่ม ตราสิ่งห์)

3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.2.1 สารเคมี

3.2.1.1 โพแทสเซียมคลอไรด์(KCl)บริษัท ทาริโก้ จำกัด

3.2.1.2 โซเดียมอะซิเตท(CH_3COONa)บริษัท ทาริโก้ จำกัด

3.2.1.3 กรดไฮโดรคลอริก บริษัท Merck RGA

3.2.1.4 เมททานอล(Meet A.C.S Specifications)

3.2.1.5 Folin-Ciocalteu reagent บริษัท เวลล์เคเคอลเซ็นเตอร์

3.2.1.6 กรดแกลลิก(gallic acid) C75H52O46

3.2.1.7 มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) Food grade บริษัทจัมโบ้เทรดดิ้ง จำกัด

3.2.1.8 กัมอาราบิก (gum arabic) Food grade บริษัทจัมโบ้เทรดดิ้ง จำกัด

3.2.1.9 น้ำกลั่น

3.2.2 อุปกรณ์

3.2.2.1 บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50 100 250 และ 600 มิลลิลิตร

3.2.2.2 กระบอกตวง (measuring cylinder) ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร

3.2.2.3 ขวดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.2.2.4 หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 10 และ 30 มิลลิลิตร

3.2.2.5 แท่งแก้วสำหรับคนสาร (glass rod)

3.2.2.6 ถ้วยหาความชื้นพร้อมฝาปิด (moisture cans with lids)

3.2.2.7 ปากคีบ (forcep)

3.2.2.8 หลอดเหวี่ยงแยก (centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.2.9 แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)

3.2.2.10 บิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.2.11 ขาตั้ง (stand)

3.2.3 เครื่องมือ

3.2.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier) บริษัท Buchi

3.2.2.2 เทอร์มอมิเตอร์ (thermometer) ยี่ห้อ SANGI GT200 series

3.2.2.3 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo

3.2.2.4 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ชนิดพกพา รุ่น Pawkit บริษัท DECAGON

3.2.2.5 เครื่องวัดค่าสี (color meter) รุ่น ColorFlex EZ บริษัท Konica Minolta

3.2.2.6 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) บริษัท Memmert

3.2.2.7 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (hand refractometer) บริษัท ไฮแอนติฟิต โปรโมชัน จำกัด

3.2.2.8 UV spectrophotometer บริษัท Scientfic

3.2.2.9 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)

3.2.2.10 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Clean

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยน้ำสกัดกระชายดำ

3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างกระชายดำ นำเหง้ากระชายดำมาล้างทำความสะอาด และ ปอกเปลือกกระชายดำ นำมาหั่นเป็นชิ้นบางๆ แล้วนำกระชายดำร้อยละ 20 ไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีพักให้เย็นนำน้ำกระชายดำมากรองแล้วบรรจุในถุงฟลอปป์แบบที่บีบ แสงหลังจากนั้นนำไปแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส นำน้ำกระชายดำที่แบ่งออกมา 50 มิลลิลิตรนำน้ำ กระชายดำที่ได้ไปตรวจค่าคุณภาพดังนี้

- 1) วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color meter ระบบ CIELAB รายงานค่า L^* a^* b^*
- 2) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Hand-Refractometer
- 3) วัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
- 4) วัดปริมาณแอนโทไซยานิน
- 5) ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 6) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.3.1.2 การเตรียมน้ำกระชายดำเพื่อทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำกระชายแช่แข็งออกมาละลายที่น้ำอุณหภูมิห้องและชั่งปริมาณสารเอนแคปซูเลตติ้ง ได้แก่ มอลโท เด็กซ์ทรีนและกัมอะราบิกตามอัตราส่วนต่างๆทำการผสมให้เข้ากันตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะและอัตราส่วนในการทำน้ำกระชายทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง	อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส)	มอลโต เด็กซ์ทรีน (ร้อยละ w/v)	กัมอะราบิก (ร้อยละ w/v)	อัตราการฟีด (ml/min)
1	140	10	-	10
2	150	10	-	10
3	160	10	-	10
4	140	-	10	10
5	150	-	10	10
6	160	-	10	10

3.3.1.3 ศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการเลือกใช้สารเอนแคปซูเลตถึง 2 ชนิด ได้แก่ มอลโทเด็คซ์ทริน ร้อยละ 10 w/v และกัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิเข้า 3 ระดับ คือ 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส

3.3.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของไมโครเอนแคปซูลงกระชายดำ

นำผลิตภัณฑ์ไมโครเอนแคปซูลงกระชายดำที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- 1) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture meter) โดยวิธีของ AACC(2000)
- 2) วิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ(a_w) โดย Aqua Lab
- 3) วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color meter ระบบ CIELAB รายงานค่า L^* a^* b^*
- 4) ความสามารถในการละลาย

คัดเลือกไมโครเอนแคปซูลงกระชายดำที่คุณภาพดีที่สุด นำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อไป

3.3.3 ศึกษาความคงตัวของผงกระชายดำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ศึกษาความคงตัวและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของผงกระชายดำในระหว่างการเก็บรักษา โดยเลือกศึกษาตัวอย่างผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมา 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษา คือ อุณหภูมิ 4 ± 1 30 ± 1 และ 45 ± 1 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นเวลา 21 วัน โดยสุ่มตัวอย่างออกมาวัดทุกๆ 7 วัน นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมาวัดสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีค่า L^* a^* b^* วัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด วัดปริมาณแอนโทไซยานินและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture) โดยวิธีของ AACC (2000)

การวิเคราะห์คุณภาพของผงกระชายดำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

- 1) วัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
- 2) วัดปริมาณแอนโทไซยานิน
- 3) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture meter) โดยวิธีของ AACC (2000)
- 4) วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color meter ระบบ CIELAB รายงานค่า L^* a^* b^*

3.4 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

3.5 ระยะการทำวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัย ธันวาคม 2561 ถึง สิงหาคม 2562

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำกระชายดำ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำกระชายดำ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า น้ำกระชายดำมีความเป็นกรด-ด่าง 7.81 ± 0.01 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 1 ± 0.00 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ 0.11 ± 0.01 ปริมาณแอนโทไซยานิน 67.96 ± 0.07 (mg/100 g น้ำหนักแห้ง) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 390 ± 0.02 (GAE concentration mg/ml) จากการวัดสีของน้ำกระชายดำพบว่าน้ำกระชายดำ มีค่า L^* ซึ่งแสดงถึงความสว่าง ค่า a^* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง และ b^* ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลือง เป็น 23.08 ± 0.01 0.69 ± 0.01 และ -0.92 ± 0.01 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำกระชายดำ

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ^a ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเป็นกรด-ด่าง	7.81 ± 0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	1 ± 0.00
ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้(g Citric acid/100 g sample)	0.11 ± 0.01
ค่าสี	
L*	23.08 ± 0.01
a*	0.69 ± 0.01
b*	-0.92 ± 0.01
ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/ 100 g น้ำหนักแห้ง)	67.96 ± 0.07
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด(GAE concentration mg/ml)	390 ± 0.02

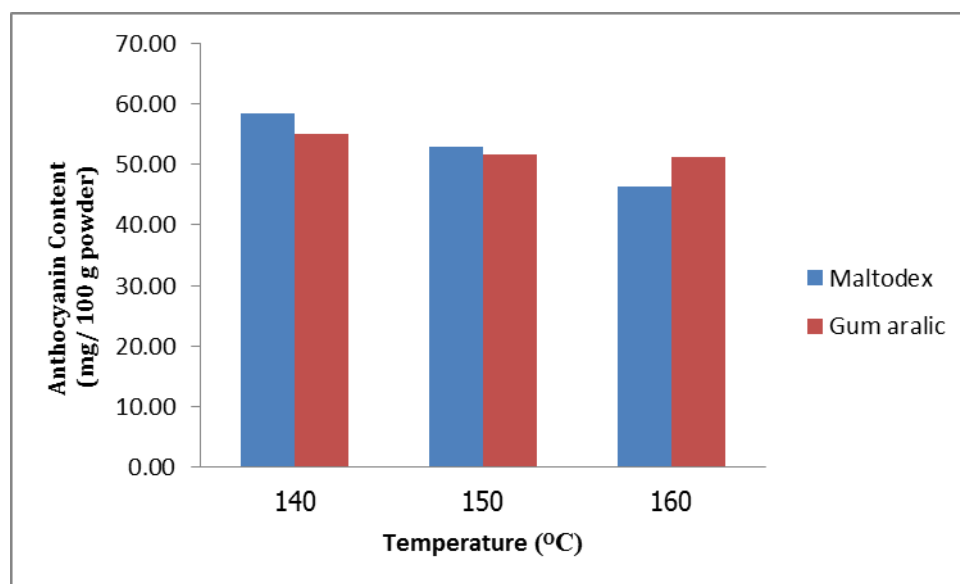
หมายเหตุ :^aเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

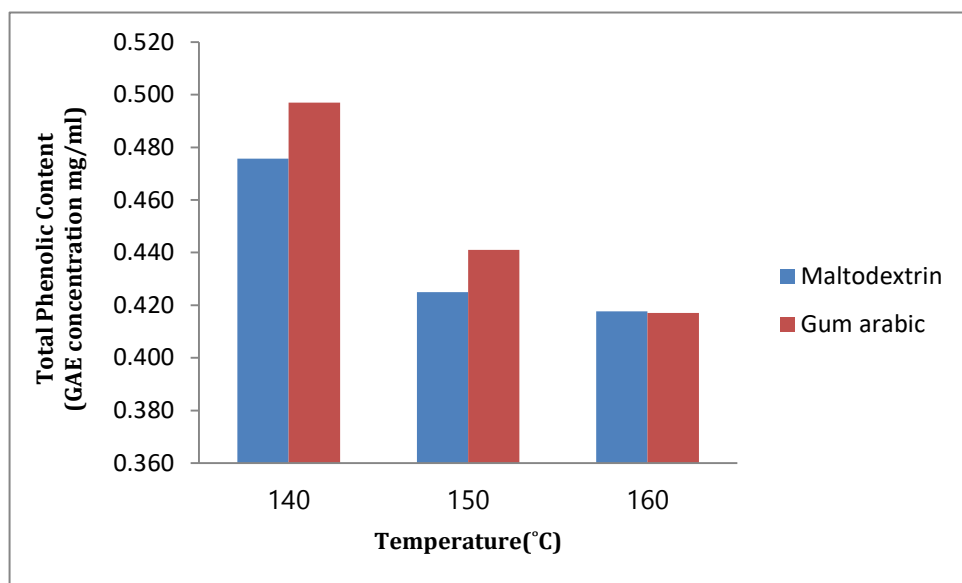
4.2.1 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดดังแสดงใน ภาพที่ 4.1พบว่า การใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งเป็นมอลโตเดกซ์ตรินและกัมอาราบิกร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)ในงานวิจัยนี้ พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ตริน และกัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณแอนโทไซยานิน 51.10 ถึง 58.47 mg/100 g น้ำหนักแห้งการใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 w/v

ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 140 องศาเซลเซียส และส่งผลให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณแอนโทไซยานิน 58.47mg/100 g น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้พบว่า การใช้มอลโตเด็คซ์ทริน และกัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 1,393.84 ถึง 1,590.61 GAE mg/ml และการใช้กัมอะราบิก ร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 1,590.61 GAE mg/ml



รูปที่ 4.1 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิ 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่อุณหภูมิ 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และการละลาย

จากการศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระและการละลายของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ตารางที่ 4.2) พบว่า การใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 10 w/v และกัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ผงกระชายดำมีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และการละลาย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิกเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณความชื้นต่ำเนื่องจากในตัวอย่างผงกระชายดำที่มีการเติมสารเอนแคปซูเลตติ้ง ทำให้ตัวป้อนมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณน้ำอิสระที่ต้องระเหยออกมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ผงกระชายดำมีความชื้นลดลงเนื่องจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยถูกควบคุมโดยปริมาณน้ำอิสระในตัวป้อน งานวิจัยนี้ พบว่า ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.7822 ถึง 5.1555 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นในผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งร้อยละ 4.06 ถึง 4.87 (Kha and others, 2010) พบว่าปริมาณความชื้นมีผลทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิของผงมีปริมาณ

ความชื้นต่ำ ทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำลง อยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.18 ซึ่งค่า A_w ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ผง ($A_w < 0.6$)

นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้นสารผสมมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอะราบิก อุณหภูมิอากาศขาเข้า ไม่มีอิทธิพลต่อร้อยละการละลายของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Sousa and others, 2008) และ (Kha and others, 2010) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงมะเขือเทศและผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู ซึ่งพบว่าสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่มีอิทธิพลต่อการละลายของผงมะเขือเทศและผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู การใช้มอลโตเด็กซ์ตริน และกัมอะราบิก ร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 80.88 ถึง 89.48 การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160 องศาเซลเซียสส่งผลให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีการละลายสูงถึงร้อยละ 89.48 เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอะราบิกมีสมบัติการละลายที่ดี เมื่อใช้ในปริมาณสูง จึงช่วยปรับปรุงสมบัติการละลายของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันได้ดี

ตารางที่ 4.2 ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และการละลายของผงกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สารเอนแคปซูเลตัง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำ อิสระ	การละลาย (ร้อยละ)
มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 w/v			
อุณหภูมิ 140 °C	5.1555 ^a ± 0.55	0.18 ^a ± 0.01	88.42 ^b ± 0.21
อุณหภูมิ 150 °C	4.4899 ^{ab} ± 0.61	0.14 ^c ± 0.01	89.27 ^a ± 0.11
อุณหภูมิ 160 °C	3.7822 ^b ± 0.35	0.12 ^d ± 0.01	89.48 ^a ± 0.26
กัมอะราบิกร้อยละ 10 w/v			
อุณหภูมิ 140 °C	4.7863 ^a ± 0.45	0.16 ^b ± 0.01	80.88 ^e ± 0.05
อุณหภูมิ 150 °C	4.4513 ^{ab} ± 0.48	0.11 ^d ± 0.00	83.72 ^d ± 0.32
อุณหภูมิ 160 °C	4.7516 ^a ± 0.24	0.10 ^e ± 0.00	84.73 ^c ± 0.15

หมายเหตุ : ^{a,b,c...} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

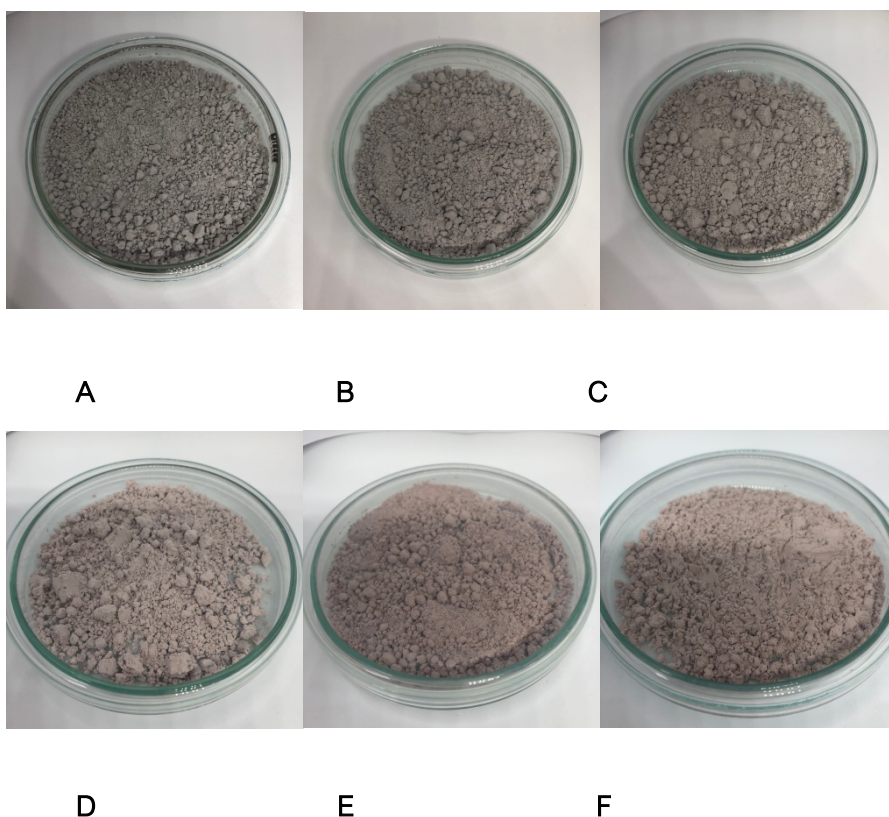
4.2.3 ผลของการเอนแคปซูเลชันต่อค่าสี

จากการศึกษาผลของการเอนแคปซูเลชันต่อค่าสีของผงกระชายดำ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า การใช้สารเอนแคปซูเลตทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีค่า L^* เท่ากับ 73.09 ถึง 79.00 a^* เท่ากับ 3.04 ถึง 7.10 และ b^* เท่ากับ 1.06 ถึง 5.63 โดยพบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 องศาเซลเซียส เป็นสารเอนแคปซูเลตที่มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีความสว่างหรือค่า L^* มากที่สุด 74.55 และการใช้กัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด และสูงกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตริน

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สารเอนแคปซูเลต	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
มอลโตเด็คซ์ตริน ร้อยละ 10 w/v			
อุณหภูมิ 140 °C	74.55 ^e ± 0.01	3.24 ^e ± 0.01	1.61 ^f ± 0.00
อุณหภูมิ 150 °C	73.87 ^e ± 0.01	3.04 ^f ± 0.01	1.06 ^e ± 0.00
อุณหภูมิ 160 °C	73.09 ^f ± 0.01	4.15 ^d ± 0.02	2.94 ^d ± 0.00
กัมอะราบิก ร้อยละ 10 w/v			
อุณหภูมิ 140 °C	79.00 ^a ± 0.01	5.83 ^c ± 0.02	3.75 ^c ± 0.01
อุณหภูมิ 150 °C	74.73 ^b ± 0.01	6.54 ^b ± 0.02	4.26 ^b ± 0.01
อุณหภูมิ 160 °C	73.98 ^d ± 0.00	7.10 ^a ± 0.02	5.63 ^a ± 0.01

หมายเหตุ: ^{a,b,c,...} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.3 ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน
 A: มอลโตเด็กซ์ตริน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส D: กัมอะราบิก ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส
 B: มอลโตเด็กซ์ตริน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส E: กัมอะราบิก ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
 C: มอลโตเด็กซ์ตริน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส F: กัมอะราบิก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

4.2.4 ปริมาณร้อยละผลผลิตของกระชายดำผงที่ได้

สำหรับปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield) กระชายดำผงที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า การใช้สารเอนแคปซูเลตตั้งแต่ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน และกัมอะราบิกร้อยละ 10 w/v ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส โดยพบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอะราบิกเป็นสารเอนแคปซูเลตถึงร้อยละ 10 w/v มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน มีปริมาณร้อยละผลผลิตของกระชายดำผงที่ได้ร้อยละ 10.72 ถึง 13.63 โดยพบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 w/v

ที่อุณหภูมิอากาศเข้า 140 องศาเซลเซียส เป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งมีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณร้อยละผลผลิตของกระชายดำผงที่ได้มากที่สุดร้อยละ 13.63 เมื่อเทียบกับการใช้กัมอะราบิกเป็นสารเอนแคปซูเลตติ้งมีปริมาณร้อยละผลผลิตของกระชายดำผงที่ได้น้อยกว่า

ตารางที่ 4.4 ปริมาณร้อยละผลผลิต(yield) กระชายดำผงที่ได้

สารเอนแคปซูเลตติ้งปริมาณ ร้อยละผลผลิต	
มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 10 w/v	
อุณหภูมิ 140 °C	13.63 ± 0.68
อุณหภูมิ 150 °C	12.61 ± 0.72
อุณหภูมิ 160 °C	11.92 ± 0.40
กัมอะราบิก ร้อยละ 10 w/v	
อุณหภูมิ 140 °C	12.45 ± 0.53
อุณหภูมิ 150 °C	11.65 ± 0.28
อุณหภูมิ 160 °C	10.72 ± 1.42

หมายเหตุ :^aเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

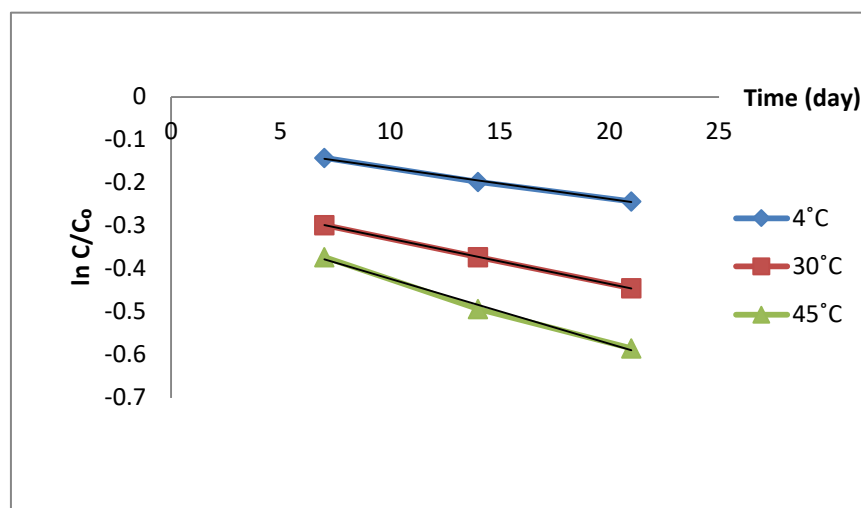
4.3 ความคงตัวของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน (microencapsulated powder) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-30 และ 45 องศาเซลเซียส

4.4.1 จลนพลศาสตร์ของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-30 และ 45 องศาเซลเซียสพบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินของผงกระชายดำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ผงกระชายดำมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลง โดยพบว่าการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 4-30 และ 45 องศาเซลเซียสเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) สามารถแสดงจลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน

โดยมีค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants; k) เท่ากับ 0.007 0.011 และ 0.015 day^{-1} ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.996 0.999 และ 0.994 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาผงกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้แอนโทไซยานินมีอัตราการเสื่อมสลายต่ำที่สุด และต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) เท่ากับ 0.007 0.011 และ 0.015 day^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ซึ่งแสดงว่าแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีความคงตัว และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บรักษาได้นานมากกว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Idham and others, 2011) พบว่าแอนโทไซยานินที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ผงกระเจี๊ยบลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินอาจเกิดขึ้นได้ 2 กลไก คือ เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของ 3-glycoside linkage ทำให้อยู่ในรูปของ aglycone ที่ไม่มีความคงตัวมากขึ้น หรืออาจเกิดจากวงแหวน pyridium เปิดออก และจับกับองค์ประกอบอื่น ทำให้ไม่คงตัว (Palamidis and Markakis, 1978) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น (Pacheco-Palencia and others, 2007) รายงานว่าแอนโทไซยานินในเนื้ออาซาอิ (acai pulp) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสมีการเสื่อมสลายสูงกว่าแอนโทไซยานินในเนื้ออาซาอิที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสถึง 3.5 เท่า โดยการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงนั้น อาจเกี่ยวกับน้ำตาลและโปรตีนที่อยู่ในตัวอย่างที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning) โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตหรือกระบวนการแปรรูปที่ใช้อุณหภูมิสูง หรือในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน (Tonon and others, 2010)



รูปที่ 4.4 จลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ การศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า ค่าครึ่งชีวิต (Half-life; $t_{1/2}$) การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 99, 63 และ 46 วัน (ตารางที่ 4.5) โดยปริมาณแอนโทไซยานินในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิตสูงที่สุด และสูงกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีความคงตัวสูงสุดหรือมีการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินต่ำที่สุดสามารถเก็บรักษาได้นาน 3 เดือน ดังนั้น หากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงกระชายดำไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะสามารถลดการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินไว้ได้และยืดอายุการเก็บรักษาของผงกระชายดำได้นานขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Ersus and Yudagel, 2007) พบว่า แอนโทไซยานินในผงแครอทดำ (black carrot powder) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิตสูงกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 3 เท่า โดยการเก็บรักษาผงแครอทดำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีผลทำให้แอนโทไซยานินเสื่อมสลายไปร้อยละ 33 และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลทำให้แอนโทไซยานินเสื่อมสลายไป ร้อยละ 11 หลังจากเก็บรักษาไว้นาน 64 วัน (Kirca and others, 2007)

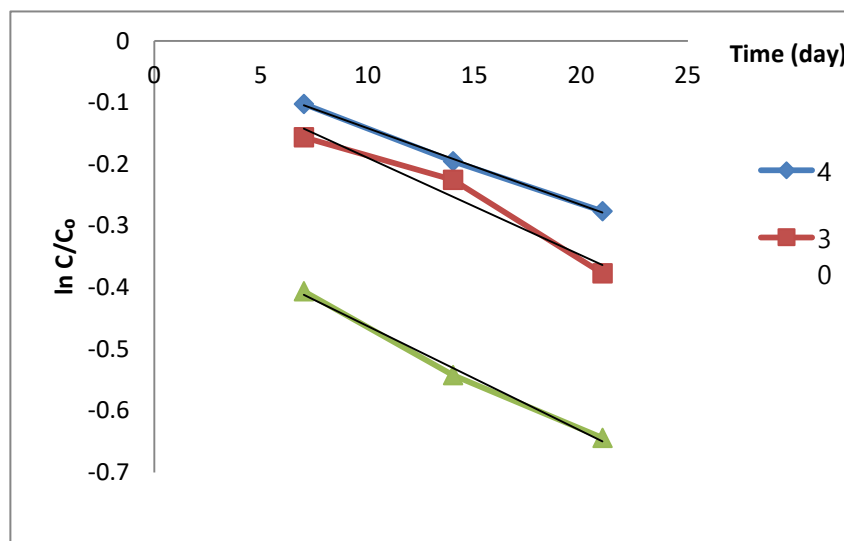
ตารางที่ 4.5 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants) และค่าครึ่งชีวิต (half life) ของแอนโทไซยานินในผงกระชายดำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิการเก็บรักษา (°C)	k (day ⁻¹)	R ²	t _{1/2} (day)
4	0.007	0.996	99
30	0.011	0.999	63
45	0.015	0.994	46

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.4.2 จลนพลศาสตร์ของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำผ่านการเอนแคปซูเลชัน

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียสพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ผงกระชายดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงโดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 45 องศาเซลเซียสเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) สามารถแสดงจลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินโดยมีค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 0.012, 0.016 และ 0.017 ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.998, 0.955 และ 1.000 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 การเก็บรักษาผงกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ฟีนอลิกทั้งหมดมีอัตราการเสื่อมสลายได้ต่ำที่สุด และต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 0.012, 0.016 และ 0.017 day^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ซึ่งแสดงว่าฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีความคงตัวหรือปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเหลืออยู่ในปริมาณสูง และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บรักษาได้นานมากกว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Jimenez-Aguilar, 2011) รายงานว่าเมื่อเก็บรักษาผงบลูเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 4 สัปดาห์ มีผลทำให้ฟีนอลิกทั้งหมดเสื่อมสลายไปร้อยละ 10 นอกจากนี้ (Bakowska-Barczak and Kolodziejczyk, 2011) รายงานว่า การเก็บรักษาผงแบล็คเคอร์แรนท์ โดยการทำให้แห้งแบบแช่แข็งระเหิด (freeze-drying) เมื่อเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสมีผลทำให้โพลีฟีนอลทั้งหมดเสื่อมสลายไป ร้อยละ 2-5 และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีผลทำให้โพลีฟีนอลทั้งหมดเสื่อมสลายไป ร้อยละ 8-11



รูปที่ 4.5 จลนพลศาสตร์การเสื่อมสลายของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่ผ่านการ
เอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ ศึกษาความคงตัวของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียสผลการศึกษพบว่า ค่าครึ่งชีวิต (Half-life; $t_{1/2}$) การเสื่อมสลายของฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 301.43 และ 40 วัน (ตารางที่ 4.6) และพบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีค่าครึ่งชีวิตสูงสุด และสูงกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงว่าผงกระชายดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีความคงตัวสูงสุดหรือมีการเสื่อมสลายของฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด โดยสามารถเก็บรักษาได้นาน 9 เดือน ดังนั้น ควรเก็บรักษาสกัดผงกระชายดำไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจึงจะสามารถลดการเสื่อมสลายของฟีนอลิกทั้งหมดไว้ได้

ตารางที่ 4.6 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constants) และค่าครึ่งชีวิต (half life) ของฟีนอลิก
ทั้งหมดในผงกระชายดำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิการเก็บรักษา (°C)	k (day ⁻¹)	R ²	t _{1/2} (day)
4	0.012	0.998	301
30	0.016	0.955	43
45	0.017	1.000	40

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย สรุปได้ว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตริน ร้อยละ 10 w/v อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณแอนโทไซยานิน 58.47mg/100g และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 1,430.39 GAE mg/100g ดังนั้น จึงส่งผลให้ผงกระชายดำมีคุณภาพที่ดี มีความคงตัวสูง

5.1.2 จากผลการศึกษาความคงตัวของผงกระชายดำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 30 และ 45 องศาเซลเซียสสรุปได้ว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การเสื่อมสลายของปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มีอัตราการเสื่อมสลายต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีค่าครึ่งชีวิตสูงสุด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากที่สุด ดังนั้น การเก็บรักษาผงกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยลด และป้องกันการเสื่อมสลายของปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด อีกทั้งยังทำให้ผงกระชายดำมีความคงตัว สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และมีปริมาณสารสำคัญสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการใช้สารเอนแคปซูเลตชนิดอื่นเพิ่มขึ้น

5.2.2 ควรมีการนำผงกระชายดำที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยไปทดลองประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

บรรณานุกรม

- แคทรียา สุทธานุช.2551.**คุณสมบัติทางเคมีและเภสัชกรรมของสารบริสุทธิ์จากเหง้า กระชายดำ**.
วิทยานิพนธ์บัณฑิตศึกษาศาสตร์สาขาวิชาวิจัยและพัฒนาเภสัชภัณฑ์ คณะเภสัชศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ณัฐพร ไสวสด. 2548. **นาโนเอนแคปซูเลชัน ของเคอร์คูมินในไคโตซาน เพื่อประยุกต์ใช้ใน
เครื่องสำอาง**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐมา เหล่ากุลดิolk. 2552. **การคัดเลือกวัสดุห่อหุ้มที่เหมาะสมในการผลิตไมโครเอน แคปซูลกลิน
รสถีเยนอบ**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47.
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิภัณฑ์.
- เบญจา ชูตินทราสี. 2550. **เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์**.กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัย
รามคำแหง.
- อรอนงค์ ศรีพาทกุล. 2542. **การผลิตน้ำตาลสดผงจากน้ำตาลโตนด โดยวิธีการอบแห้งแบบ ฟ้นผอย**.
เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2552. **Microencapsulation: เทคโนโลยีจิ๋ว แต่แจ๋ว**. ส่งเสริมเทคโนโลยี
36 (206): 39-42.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th ed. Washington: Association of
official Analytical Chemists.
- Agnihotri N *et al*. 2012. Microencapsulation A Novel Approach in Drug Delivery.
A Review. **Indo-Global J Pharm Sci**. 2012 ;2:1-20.
- Bakowska-Barczak AM, Kolodziejczyk PP. 2011. Black currant polyphenols: Their

- storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products** 34(2): 1301-1309.
- Bundit. 2013. **Microencapsulation Techniques and its Role in Medicine**.
Srinagarind Medical Journal Faculty of Medicine Khon Kaen University.
- Chin ST, Nazimah SAH, Quek SY, Man YBC, Rahman RA, Hashim DM. 2010. Effect of thermal processing and storage condition on the flavor stability of spray-dried durian powder. **Food Sci and Technol**. 43:856-861.
- Desai KGH, Park HJ. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technol**. 23(7): 1361-1394.
- Dziezak JD. 1988. Microencapsulation and encapsulation ingredients. **J Food Technol**: 136-151.
- Ersus S, Yurdagel U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucusearota* L.) by spray drier. **J Food Eng**. 80(3): 805-812.
- Ersus, S. and Yurdage, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigment of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray dayer. **Journal of food engineering**. 80: 805-812.
- Fang Z, Bhandari B. 2010. Encapsulation of polyphenols – A review. **Trends Food Sci Technol**. 21: 510-523.
- Fellows P.J. 2000. **Food Processing Technology**. Cambridge, England: Woodhead. 650 page
- Gharsallaoui and others. 2007. **Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients**. Food Research International Universite´de Bourgogne.
- Gibbs BF, Kermasha S, Alli I, Mulligan CN. 1999. Encapsulation in the food industry: A review. **Int J Food Sci Nutr**. 50(3): 213-224.
- Heldman DR, Lund DB. 2007. **Handbook of food engineering**. 2nd ed. New York: CRC Press.
- Idham Z, Muhamad II, Setapar SHM, Sarmidi MR. 2011. Effect of thermal processes on roselle anthocyanins encapsulated in different polymer. **J Food Process and Preserv**. 36(2): 1745-4549.

Jimenez-Aguliar DM, Ortega-Regules AE, Lozada-Ramirez JD, Perez-Perez MCI, Vernon-Carter EJ, Welti-Chanes J. 2011. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. **J Food Compos and Anal** 24(6): 889-894.

Kha, T. C., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. 98(3), 385-392.

Kenyon, M.M. 1995. Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. pp. 42-50. In S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and controlled release of food ingredients**. ACS, Washington, D.C.

Kirca A, Ozkan M, Cemeroglu B. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. **Food Chem**. 101(1): 212-392.

Kurozawa LE, Park KJ, Hubinger MD. 2009a. Effect of carrier agents on the Physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. **J Food Eng**. 94(3): 326-333.

Kurozawa LE, Park KJ, Hubinger MD. 2011. Spray drying of chicken meat protein hydrolysate: Influcnce of process condition on poeder property and dryer performance. **Drying Technol**. 29(2): 163-173.

Landy P, Druaux C, Voilley A. 1995. Retention of aroma compounds by proteins in aqueous solution. **Food chem**. 54(4): 387-392.

Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – A review. **Int J Food Sci Technol**. 41(1); 1-21.

Masters K. 1979. **Spray drying handbook**. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons. P 1-680.

- Onwulata C, Smith PW, Craig JC, Holsinger VH. 1994. Physical properties of encapsulated spray-dried milk fat. **J Food Sci.** 59(20): 316-320.
- Pacheco-Palencia LA, Hawken P, Talcott ST. 2007. Phytochemical, antioxidant and pigment stability of acai (*Euterpeoleracea* Mart.) as affected by clarification, ascorbic acid fortification and storage. **Food Res Int.** 40(5): 620-628.
- Palamidis N, Markakis P. 1978. Stability of grape anthocyanin in a carbonated beverage. **IndustriedelleBevande** 7: 106-109.
- Phisut N. 2012. **Spray drying technique of fruit juice powder.** International Food Research Journal. Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University, Sukhumvit 23.
- Rosenberg M. Sheu T-Y. 1996. Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. **Int Dairy J.** 6(3): 273-284.
- Shittu, T.A. and Lawal, M.O. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry.** 100: 91-98.
- Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. 2008. Influence of process condition on the physicochemical properties of acai (*Euterpeoleraceae* mart.) powder by spray drying. **J Food Eng.** 88(3): 411-418.
- Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acai (*Euterpeoleraceae* mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Res Int.** 43(3): 907-914.
- Tiwari BK, O'Donnell CP, Patras A, Brunton N, Cullen PJ, 2009. **Anthocyanins and colordegradation in ozonated grape juice.** Food Chem Toxicol 47: 2824-2829.
- Vilstrup P. 2001. **Microencapsulation of Food Ingredients.** England: Leatherhead Publishing.

ภาคผนวก ก
กรรมวิธีการผลิตน้ำกระชายดำโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ก.1 กระชายดำสด



รูปที่ ก.2 การล้างทำความสะอาด



รูปที่ ก.3 ปอกเปลือกและหั่น



รูปที่ ก.4 น้ำ และกระชายร่อยละ 20



รูปที่ ก.5 นำไปต้มที่อุณหภูมิ
60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ ก.6 การกรอง



รูปที่ ก.7 น้ำกระชายดำ



รูปที่ ก.8 น้ำกระชายดำ 2,000 ml
มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 w/v



รูปที่ ก.9 น้ำกระชายดำ 2,000 ml
กัมอาราบิก ร้อยละ 10 w/v

รูปที่ ก.10 การทำแห้งแบบพ่นฝอย
ที่อุณหภูมิ 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2000)

1.1 ชั่งน้ำหนักชุดถ้วยความชื้น (moisture can) ที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและอบแห้งแล้ว บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผงกระชายดำ 5 กรัม ลงในถ้วยหาความชื้น (moisture can) เกลี่ยตัวอย่างให้สม่ำเสมอ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง

1.3 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อนจนมีน้ำหนักคงที่ (± 0.002 กรัม) (ประมาณ 3 ชั่วโมง)

1.4 นำถ้วยตัวอย่างออกจากตู้อบลมร้อน โดยปิดฝาล้างหาความชื้นทันทีจากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 15 นาที)

1.5 ชั่งน้ำหนักของถ้วยตัวอย่างหลังอบแห้ง บันทึกน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% dry basis)} = ((A - B) / B) \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง

B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง

2. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC (2000)

2.1 ชั่งผงกระชายดำ 1 กรัม ลงในปิកเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2.2 วัดความเป็นกรดต่างโดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ที่ผ่านการปรับค่ามาตรฐานด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ

2.3 บันทึกค่าที่วัดได้

3. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ตามวิธีของ Tiwari and others (2009)

3.1 ทำความสะอาด Hand refractometer ก่อนอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยกระดาษทิชชู ปรับค่าปริมาณของแข็งด้วยน้ำบริสุทธิ์โดยปรับให้เท่ากับศูนย์ แล้วใช้กระดาษทิชชูเช็ดฝาครอบและด้านปริซึมให้สะอาดและแห้ง

3.2 นำตัวอย่างน้ำกระชายดำมาเกลี่ยบนด้านที่มีปริซึม ปิดฝาครอบ Hand refractometer ลงแล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)

3.3 บันทึกค่าที่วัดได้

3.4 ทำความสะอาดบริเวณปริซึมและฝาครอบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นซับด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง

4. การหาค่าการละลาย (solubility) โดยใช้วิธีของ Shittu an Lawal (2007)

4.1 ชั่งตัวอย่างผงกระชายดำประมาณ 1 กรัม (ทดสอบ 4 ตำแหน่ง) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง

4.2 นำสารละลายไปปั่นโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที เทสารละลายส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียม นำไปชั่งน้ำหนัก (ทดสอบ 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนัก

4.3 นำถ้วยตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

4.4 นำถ้วยตัวอย่างออกจากตู้อบลมร้อน แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 15 นาที

4.5 ชั่งน้ำหนักของถ้วยตัวอย่างหลังอบแห้ง (ทดสอบ 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาร้อยละการละลาย (% solubility) จากสูตร

$$\frac{\text{มวลแห้งของตัวอย่างที่ละลายได้ใน supernatant (กรัม)} \times 100}{\text{มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)}}$$

5. การหาปริมาณกรดโดยการไตเตรท ตามวิธีของ AOAC (2000)

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH)
2. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein indicator)

วิธีการ

1. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสต์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร
2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ประมาณ 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสังเกตเห็นจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน
3. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท จากนั้นคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดโดยเทียบกับกรดซิตริก (citric acid) ดังนี้

ปริมาณกรด (ร้อยละ) =

$$\frac{\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาณ NaOH (มิลลิลิตร)} \times \text{กรัมสมมูลของกรดซิตริก} \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 1000}$$

*หมายเหตุ: กรัมสมมูลของกรดซิตริก = 0.0933 กรัม

6. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

6.1 นำตัวอย่างผงใส่ลงในตลับวัด โดยใช้เครื่อง Pawkit water activity meter แล้วทำการอ่านค่าวัดค่าซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ

6.2 จากนั้นบันทึกผล

7. การวัดสี (color meter)

7.1 ทำการปรับมาตรฐานสี (calibrate) ของเครื่องวัดสี color meter โดยใช้แผ่นเทียบสีมาตรฐาน (แผ่นเทียบสีขาวมาตรฐาน)

7.2 ทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง โดยใช้ระบบ Hunter lab วัดค่า $L^*a^*b^*$ วัดค่าซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นบันทึกค่าเฉลี่ย เมื่อ

L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 1-100

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดง โดยที่ $+a$ หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง

$-a$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง โดยที่ $+b$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง

$-b$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

8. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
2. หลอดทดลอง (test tube)
3. ปิเปต (pipette)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flasks)
5. เครื่องเขย่าผสม (vortex mixer)

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก
2. เมทานอล

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ใส่สารละลาย 10 มิลลิลิตร
2. ผสมสารละลายให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าผสม เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. นำมากรอง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,640 รอบ เป็นเวลา 10 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร
5. คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานิน จากสูตร

$$C = (A/\epsilon) \times (\text{vol}/1,000) \times MW \times (1/\text{น้ำหนักตัวอย่าง}) \times 10^6$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้

ϵ คือ molar absorptivity (cyanidin-3-glucoside = $25,965 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$)

vol คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารสกัด

9. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
2. หลอดทดลอง (test tube)
3. ปิเปต (pipette)
4. เครื่องเขย่าผสม (vortex mixer)

สารเคมี

1. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
2. กรดแกลลิก (gallic acid)
3. Folin-ciocalteu's reagent
4. เมทานอล ร้อยละ 99.5 (99.5% Methanol)

การเตรียมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต

1. ชั่งสาร Na_2CO_3 3.75 กรัม ใส่ในปิเกออร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นเพื่อละลาย Na_2CO_3 และคนให้ละลายให้หมด
3. ปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ 50 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. กลับขวดปริมาตรไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกัน

การสกัดสารฟลาโวนอยด์ ดัดแปลงจาก Abdei-Aal และ Huci (1999)

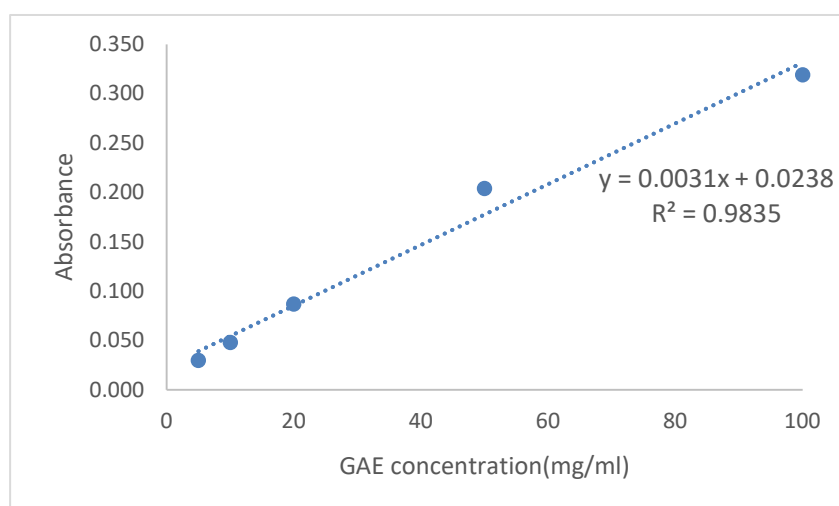
นำผงตัวอย่างผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (1.0 นอร์มอล) ในเมทานอล (85:15 v/v) ในอัตราส่วน 10:100 น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำไปเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง แล้วทำการกรอง จากนั้นนำสารสกัดมาหมุนเหวี่ยงที่ 3,461 g เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสไว้ในขวดสีชา

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Folin-Ciocalteu method โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน เริ่มจากนำสารละลายตัวอย่างปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ที่ทำการเจือจาง 10 เท่า ปริมาตร 800 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน 2 นาที เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับ Blank ใช้ น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่างและใช้กรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 5, 10, 20, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารละลายมาตรฐาน

วิธีการคำนวณ

จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐาน gallic acid



สมมติว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่าง maltodextrin เข้มข้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.179 A

จากสมการจะได้ว่า $y = 0.0031x + 0.0238$

จาก $y = 0.179$ แทนค่าในสมการ จะได้ $0.179 = 0.0031x + 0.0238$

$$X = (0.179 - 0.0238) / 0.0031$$

$$X = 50.065$$

จากความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ใช้คือ ppm

ความหมายจากกราฟมาตรฐานคือ สารละลายตัวอย่าง 1000 ml มี gallic acid 50.065 mg

แต่ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่างที่ใช้คือ 100 ml (ปริมาตรที่สกัด)

แสดงว่า 1000 ml มี gallic acid 50.065 mg

เพราะฉะนั้น 100 ml มี gallic acid เท่ากับ $50.065 \times 100 / 1000 = 5.0065$ mg

แต่สารละลาย 100 ml ดังกล่าวมาจากการใช้ตัวอย่างผง 10 กรัม

แสดงว่าในตัวอย่าง 10 กรัมก็ต้องมี gallic acid = 5.0065 mg เช่นกัน

คำนวณเป็น mg/100g = $5.0065 \times 100 / 10 = 50.065$ mg

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นางวิลาสินี ดีปัญญา
Mrs. Wilasinee Deepanya

2. ตำแหน่ง อาจารย์

3. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

โทรศัพท์ (056) 717122 ต่อ 1411

โทรสาร (056) 717123

โทรศัพท์มือถือ 084-2491665

E – mail : dwilasinee @yohoo.com

5. ประวัติการศึกษา

วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วท.ม. (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1. Surareungchai, W., Deepunya, W., & Tasakorn, P. (2001).

Quadruple-pulsed amperometric detection for simultaneous flow injection determination of glucose and fructose. *Analytica chimica acta*, 448 (1-2), 215-220.

2. พักแก้ว (ชาโยเต้) เพื่อสุขภาพ พืชเศรษฐกิจ อำเภอเขาค้อ จังหวัด

เพชรบูรณ์ ทนอดหนุนวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2549)

3. การหาปริมาณฟอร์มาลีนในอาหารสดในเขตเทศบาลเมืองเพชรบูรณ์ ทนอดหนุน

วิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2550)

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีมะขาม ทนอดหนุนวิจัยของสถาบันวิจัยและ

พัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2551)

5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเคลือบปรุงแต่งกลิ่นรส

ทนอดหนุนวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2554)

6. การพัฒนาห่วงโซ่มูลค่าข้าวจากระดับชุมชนสู่การตลาดอย่างยั่งยืน ทน

กลุ่มงานบริหารยุทธศาสตร์กลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอน (ปี พ.ศ. 2554)

7. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใช้น้ำแผ่น ทนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราช

ภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2555)

8. โครงการเสริมสร้างศักยภาพการผลิตเชื่อมโยงการตลาดสินค้าเกษตร

คุณภาพและเกษตรปลอดภัย ยุทธศาสตร์การพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง 1 ทนกลุ่มงานบริหารยุทธศาสตร์กลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอน (ปี พ.ศ. 2556)

9. การผลิตขนมขบเคี้ยวจากบัวบกเพื่อส่งเสริมการบริโภคบัวบกในเด็ก ทน

งบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2557)

10. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพญาลิมาแกลเพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชน อำเภอน้ำ

หนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ทนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2558)

11. ผลของสภาวะการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำสกัดกระชายดำ
ทუნงปริมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (ปี พ.ศ. 2562)