

บทที่ 4

ผลการทดลอง

องค์ประกอบในไขมัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เเคอร์คูมิน และแป้ง(starch) ในไขมันชั้นที่  
ใช้สกัดเเคอร์คูมิน แสดงผลดังตารางที่ 4

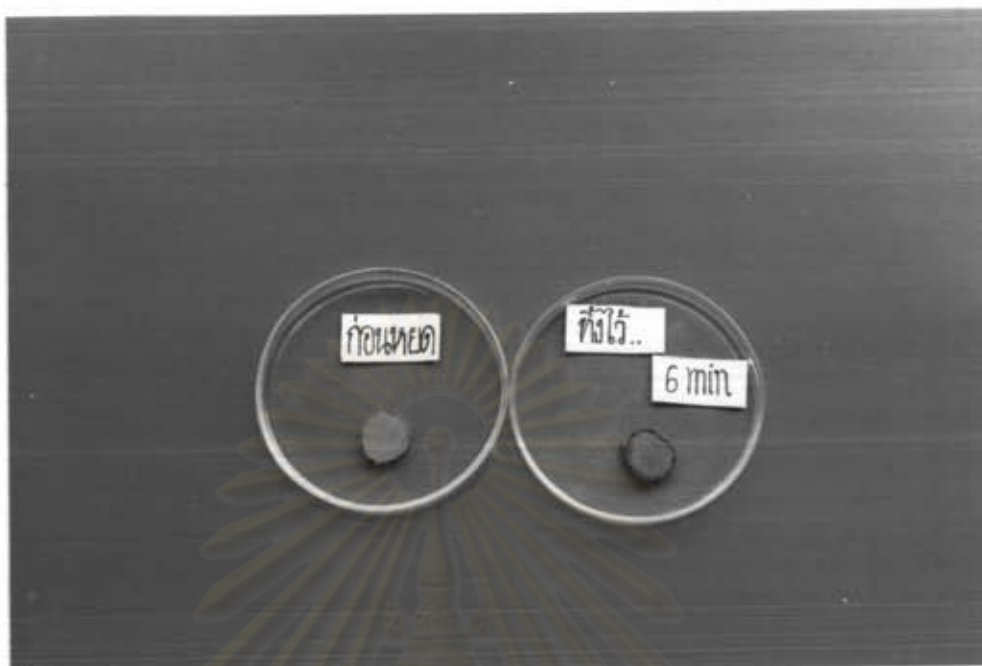
ตารางที่ 4 องค์ประกอบในไขมันชั้นซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเเคอร์คูมิน

รูปแบบไขมันชั้น	ความชื้น (%)	เเคอร์คูมิน (% dry basis)	แป้ง (% dry basis)
ไขมันชั้นสด	75.78-79.30	-	-
ไขมันชั้นแห้ง	10.99	9.78-16.69	17.63

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

การทดสอบเชิงคุณภาพของการเกิดสีน้ำตาลในไขมันชั้นสด

1. การทดสอบ Polyphenol Oxidase Activity เมื่อทดสอบกับไขมันชั้น  
สดพบว่า ให้ผลบวกคือเกิดสีน้ำตาลกับไขมันชั้นที่ใช้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบ Polyphenol Oxidase Activity ของขมิ้นชันสด

2. การทดสอบ Phenolic Compounds เมื่อทดสอบกับขมิ้นชันสดพบว่า  
ให้ผลบวกคือเกิดสีแดงเข้มหรือกับขมิ้นชันที่ใช้ทดสอบ แสดงดังรูปที่ 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9 การทดสอบ Phenolic Compounds ของน้ำมันชั้นสด

ผลของกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ

จากการทดสอบ polyphenol oxidase activity ของน้ำมันชั้นสดที่ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้งตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 1.2 พบว่าน้ำมันชั้นสดที่ผ่านการแช่ในน้ำเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เกิดสีน้ำตาลเมื่อหยด catechol solution และทิ้งไว้ 6 นาที นั่นคือมีชั้นมี polyphenol oxidase activity แต่สำหรับน้ำมันชั้นสดที่ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้งโดยวิธีอื่นๆ ตามข้อ 1.2 นอกเหนือจากวิธีการแช่มีนในน้ำ เป็นเวลาประมาณ 30 นาทีนั้น ไม่มี polyphenol oxidase activity เนื่องจากไม่เกิดสีน้ำตาลบนขมมีนชั้นเมื่อหยด catechol solution และทิ้งไว้ 6 นาที และเมื่อนำมีนชั้นที่ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 1.2 ไปอบแห้งพบว่า สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในขมมีนแห้งเมื่อผ่านกระบวนการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 10, 11 และ 12

ตารางที่ 5 สีสน้ำตาลที่เกิดขึ้นหลังจากการอบแห้งขมิ้นชัน

กระบวนการเตรียมตัวอย่าง ก่อนอบแห้ง	ปริมาณสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นของขมิ้นชันแห้งเมื่อผ่าน	
	การแช่ในสารละลาย กรดซัลฟิวริก 0.5% 30 นาที	การแช่ในน้ำ 30 นาที
Control (No blanching)	0	+
Blanch ในน้ำเดือด 1 นาที	+	++
Blanch ในน้ำเดือด 3 นาที	++	+++
Blanch ในน้ำเดือด 5 นาที	+++	++++

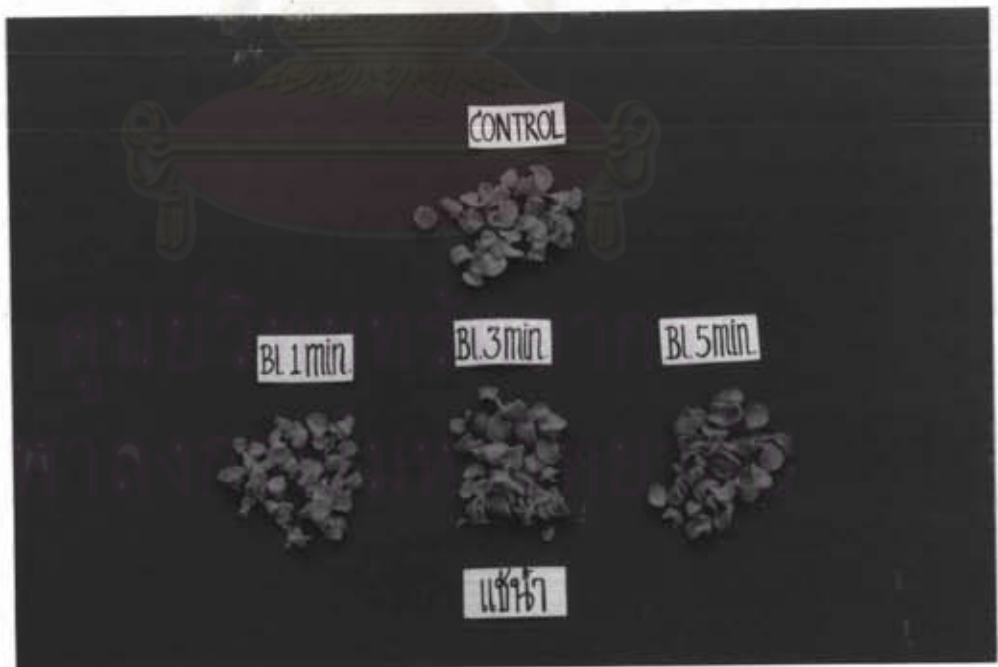
หมายเหตุ เครื่องหมาย + หมายถึงเกิดสีน้ำตาล, 0 หมายถึงไม่เกิดสีน้ำตาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 10 ขมิ้นชันแห้งที่ได้จากการแช่ขมิ้นชันสดในสารละลายกรดซิตริก 0.5% และนำไป blanch ในน้ำเดือดระยะเวลาต่างๆกัน



รูปที่ 11 ขมิ้นชันแห้งที่ได้จากการแช่ขมิ้นชันสดในน้ำ และนำไป blanch ในน้ำเดือดระยะเวลาต่างๆกัน



รูปที่ 12 เปรียบเทียบ Control ของมันชั้นแห้งที่ได้จากการนำมันสดแช่ในน้ำและในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

ผลของขนาดอนุภาคมันชั้นแห้งที่ใช้ในการสกัดเคอร์คูมิน

ผลของการสกัดสีเคอร์คูมินด้วยอะซิโตนจากมันชั้นที่มีขนาดอนุภาคต่างกันพบว่า การใช้มันชั้นผงที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 ไมครอน ให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินมากกว่าการใช้มันที่มีขนาดอนุภาค 25-50 ไมครอน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) แสดงผลดังตารางที่ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ผลของขนาดอนุภาคมันต่อประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมิน

ขนาดอนุภาคมันชั้นแห้ง (เมช)	ปริมาณเคอร์คูมิน(ง) ใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของมันชั้น
25 - 50	$7.05 \pm 0.38$
มากกว่า 50	$8.93 \pm 0.29$

\*.บ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลของสภาวะของการสกัดเคอร์คูมินจากมันชั้นแห้ง

ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิดคือ

1. เอทานอล 95% ผลของการสกัดเคอร์คูมินด้วยเอทานอล 95% ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70°C ระยะเวลาการสกัด 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิกับระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลร่วมกันต่อปริมาณเคอร์คูมินใน extractive อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเคอร์คูมิน(ง) ใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของมันชั้นที่ระยะเวลาและอุณหภูมิของการสกัด โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ปริมาณเคอร์คิวมินใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของขมิ้นชัน  
เมื่อใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิและระยะเวลาของการสกัด  
ระดับต่างๆกัน

ระยะเวลาของ การสกัด* (ชั่วโมง)	ปริมาณเคอร์คิวมิน(๘)ในextractive ต่อ 100 กรัมของ น้ำหนักแห้งของขมิ้นชันที่อุณหภูมิ* (°C)			
	40	50	60	70
1.5	14.48 $\pm$ 0.35	14.45 $\pm$ 0.10	14.53 $\pm$ 0.02	14.03 $\pm$ 0.64
3.0	14.46 $\pm$ 0.10	14.61 $\pm$ 0.06	14.28 $\pm$ 0.05	13.86 $\pm$ 0.07
4.5	14.51 $\pm$ 0.18	14.51 $\pm$ 0.01	14.12 $\pm$ 0.42	13.71 $\pm$ 0.05
6.0	13.88 $\pm$ 0.68	14.37 $\pm$ 0.07	13.83 $\pm$ 0.05	13.32 $\pm$ 0.10

\* หมายถึง ตัวแปรผลต่อปริมาณเคอร์คิวมินใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง  
ของขมิ้นชัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



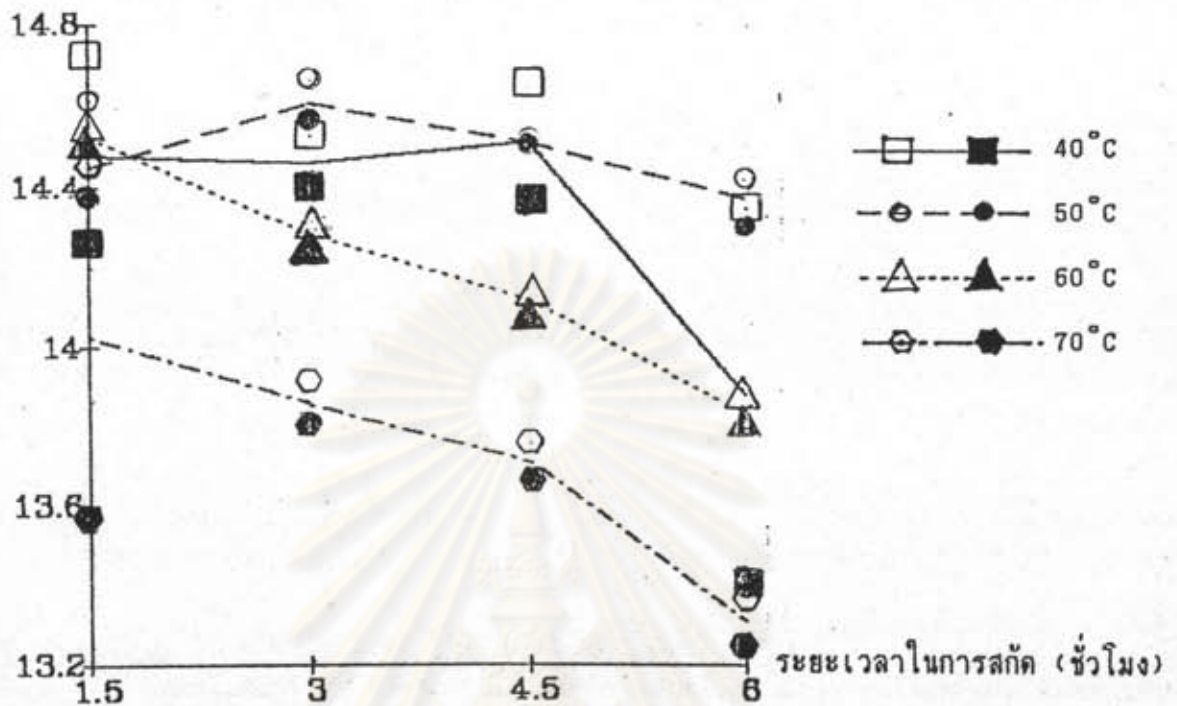
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของ  
ไขมันชั้นที่ได้จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range  
Test เมื่อสกัดเคอร์คูมินด้วยเอทานอล 95%

ตัวแปรที่พิจารณา	ค่าเฉลี่ยปริมาณเคอร์คูมิน(๘)ในextractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของไขมัน
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	
1.5	<sup>a</sup> 14.37 ± 0.35
3.0	<sup>a</sup> 14.30 ± 0.31
4.5	<sup>a</sup> 14.21 ± 0.36
6.0	<sup>b</sup> 13.85 ± 0.48
อุณหภูมิ (°C)	
40	<sup>a,b</sup> 14.33 ± 0.41
50	<sup>a</sup> 14.48 ± 0.11
60	<sup>b</sup> 14.19 ± 0.27
70	<sup>c</sup> 13.73 ± 0.37

<sup>a,b</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำผลของการสกัดเคอร์คูมินจากไขมันชั้นด้วยเอทานอล 95% จากตารางที่ 7  
เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับระยะเวลาในการสกัด จะได้ดังรูปที่ 13

## เปอร์เซ็นต์เคอร์คูมิน (น้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดเคอร์คูมินด้วยเอทานอล 95%

จากตารางที่ 8 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดเคอร์คูมินด้วยเอทานอล 95% คือ 40°C หรือ 50°C และระยะเวลาที่เหมาะสมของการสกัดคือ 1.5-4.5 ชั่วโมง และจากรูปที่ 13 อุณหภูมิและระยะเวลาของการสกัดที่ให้ปริมาณเคอร์คูมินออกมามากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ใช้สำหรับสกัดสีในขั้นตอนต่อไปคือ 50°C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาพดังกล่าวให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากมัน 87.51%

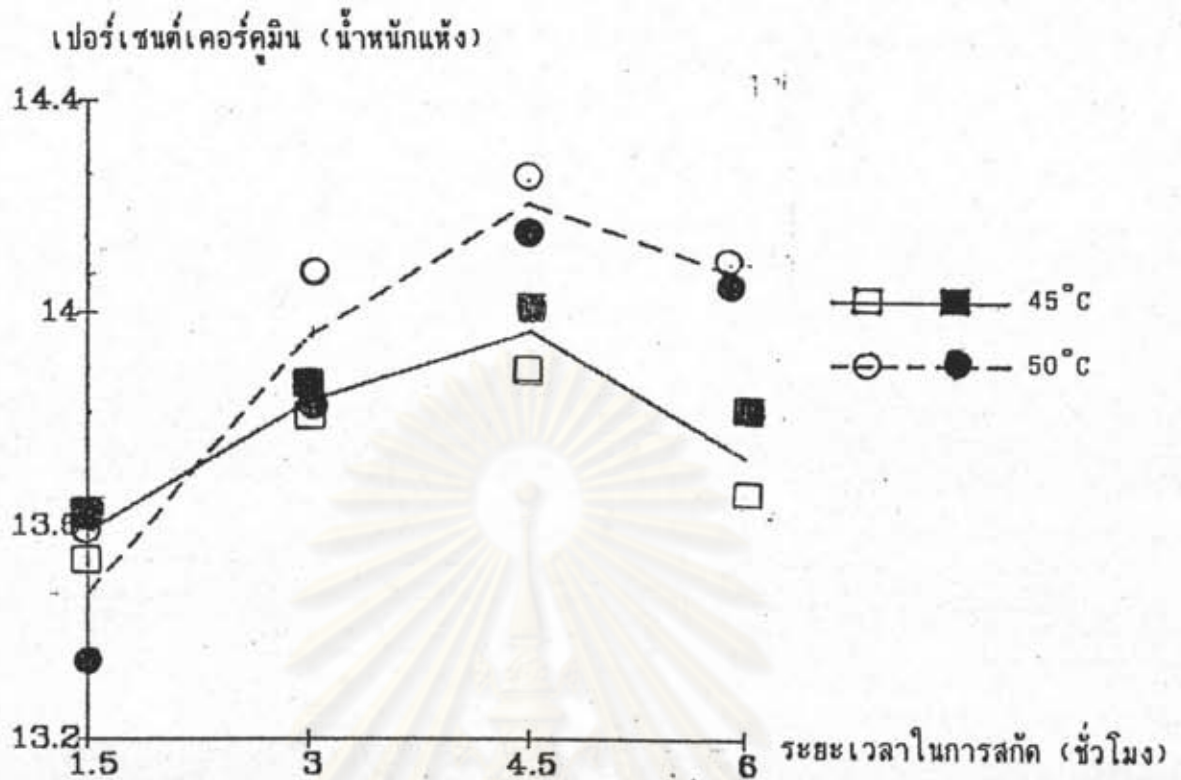
2. อะซิโตน ผลของการใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายในการสกัดสีที่อุณหภูมิ 45 และ 50°C เป็นเวลา 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 9 และเมื่อนำผลของการสกัดเคอร์คูมินจากมันชั้นด้วยอะซิโตนจากตารางที่ 9 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับระยะเวลาของการสกัด จะได้ดังรูปที่ 14

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินด้วยอะซิโตนที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆกัน

ระยะเวลาของ การสกัด (ชั่วโมง)	ปริมาณเคอร์คูมิน(g) ใน extractive ต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักแห้งของขมิ้นชันที่อุณหภูมิ (°C)	
	45	50
1.5	13.59 ± 0.06	13.47 ± 0.18
3.0	13.84 ± 0.04	13.96 ± 0.18
4.5	13.97 ± 0.08	14.21 ± 0.09
6.0	13.73 ± 0.13	14.07 ± 0.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลาการสกัด เคอร์คิวมินด้วยอะซิโตน

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 14 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเคอร์คิวมินด้วย อะซิโตนคือ อุณหภูมิการสกัด 50°C ระยะเวลา 4.5 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพการสกัด เคอร์คิวมินออกจากขมิ้นเท่ากับ 85.11% น้อยกว่าเมื่อใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย ที่ให้ประสิทธิภาพการสกัด 87.51%

ผลของอัตราส่วนน้ำหนักขมิ้นชั้นต่อปริมาตรตัวทำละลายและจำนวนครั้งของการสกัด

ผลของการสกัดเคอร์คิวมินครั้งที่ 2 ในทุกอัตราส่วนน้ำหนักขมิ้นต่อปริมาตรตัว ทำละลายพบว่า เปอร์เซ็นต์เคอร์คิวมินที่สกัดได้เทียบกับเคอร์คิวมินรวมของการสกัด 2 ครั้ง น้อยกว่า 10% จึงพิจารณาประสิทธิภาพการสกัดครั้งที่ 1 เท่านั้น ซึ่งจะได้ว่าในทุกอัตราส่วน ประสิทธิภาพของการสกัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ภาคผนวก ค-2) แสดงดังตารางที่ 10 และรูปที่ 15

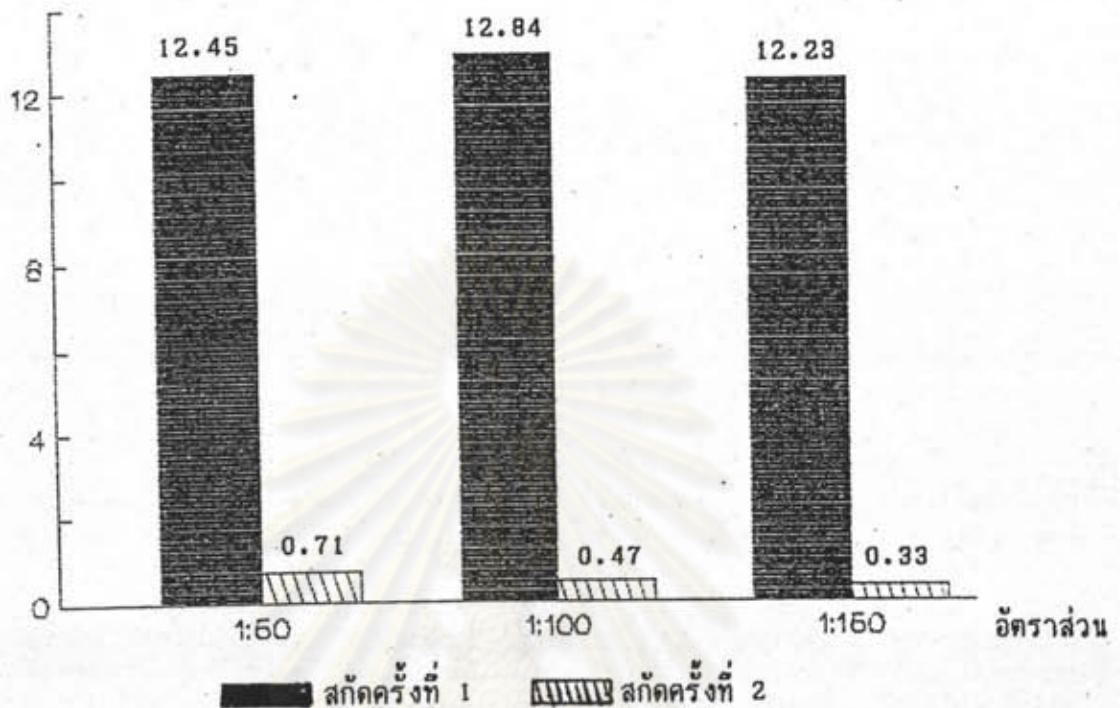
ตารางที่ 10 อัตราส่วนน้ำหนักไขมันชั้น(๘) ต่อปริมาตรตัวทำละลาย(m1) และจำนวนครั้งของการสกัด โดยใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย

อัตราส่วน <sup>๑</sup>	สกัดครั้งที่ 1		สกัดครั้งที่ 2	
	ปริมาณเคอร์คูมินใน ext. ต่อ 100 กรัมของ น้ำหนักแห้งไขมันชั้น	% เคอร์คูมิน เทียบกับสีที่สกัด ได้ทั้งหมด	ปริมาณเคอร์คูมินใน ext. ต่อ 100 กรัมของ น้ำหนักแห้งไขมันชั้น	% เคอร์คูมิน เทียบกับสีที่สกัด ได้ทั้งหมด
1:50	12.45 $\pm$ 0.15	94.62	0.71 $\pm$ 0.02	5.38
1:100	12.84 $\pm$ 0.13	96.44	0.47 $\pm$ 0.01	3.56
1:150	12.23 $\pm$ 0.35	97.37	0.33 $\pm$ 0.02	2.63

<sup>๑</sup> หมายถึง ตัวแปรไม่มีผลต่อปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของไขมันชั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปอร์เซ็นต์เคอร์คิวมิน (น้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 15 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเคอร์คิวมินของอัตราส่วนน้ำหนักมันชัน(ง) ต่อปริมาตรเอทานอล(ml) และจำนวนครั้งของการสกัด

ผลของเสถียรภาพสีเคอร์คิวมินที่ผลิตได้

1. การทนความร้อนของสีเคอร์คิวมินในน้ำเชื่อม, น้ำเกลือ และน้ำกลั่น
  - 1.1 การทนความร้อนของสีเคอร์คิวมินในน้ำเชื่อม 7% และน้ำกลั่น จากการทดลองพบว่า ปริมาณเคอร์คิวมินที่เหลือในสารละลายเมื่อให้ความร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 100°C กับน้ำเชื่อม และน้ำกลั่น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คิวมินที่เหลือในน้ำเชื่อม 7% และน้ำกลั่น ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ได้ผลแสดงดังตารางที่ 11 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 11 ไปเขียนกราฟแสดงแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นของ

เคอร์คูมินในน้ำเชื่อม และน้ำกลั่น จะได้ดังรูปที่ 16

ตารางที่ 11 การทนความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาต่างๆกันของเคอร์คูมินในน้ำเชื่อม 7% และน้ำกลั่น

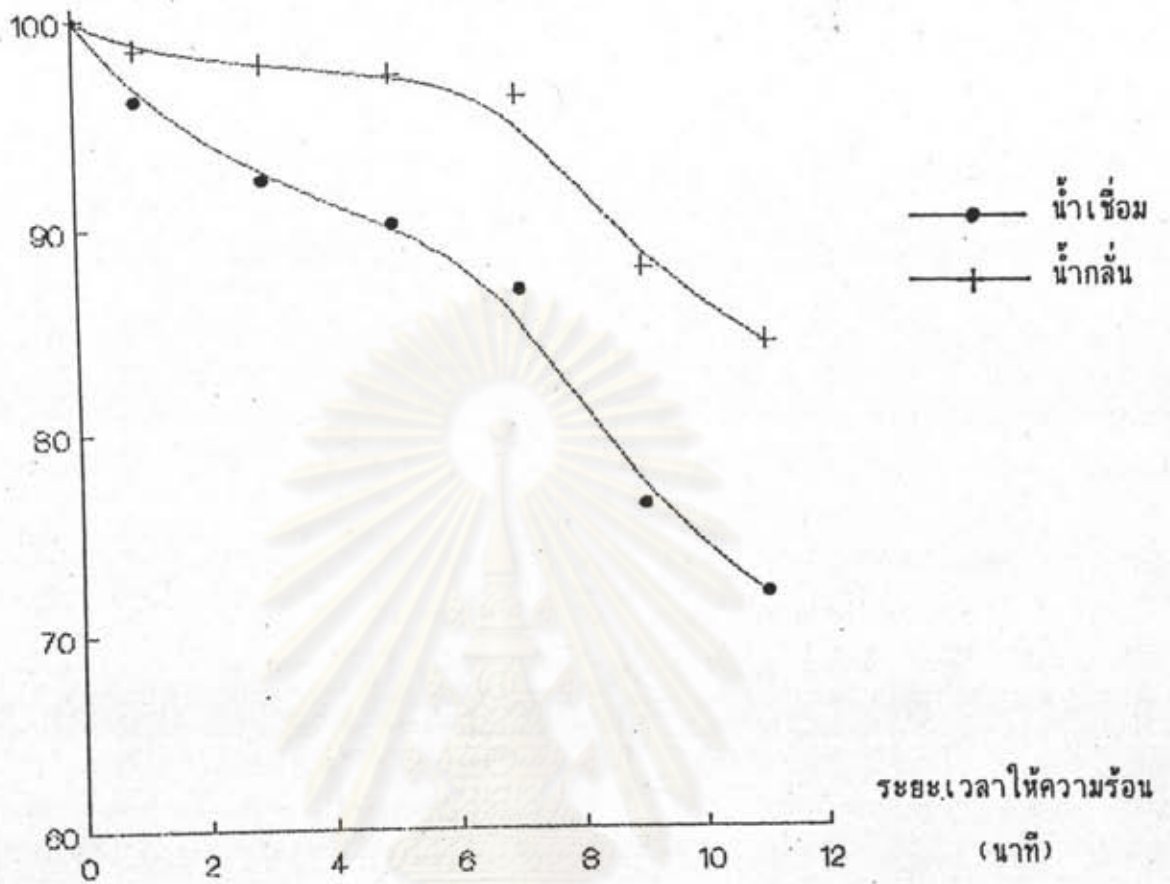
ระยะเวลาในการให้ความร้อน <sup>a</sup> (นาที)	น้ำเชื่อม 7%		น้ำกลั่น	
	ความเข้มข้นของสีในน้ำเชื่อม ( $\times 10^{-3}$ g/l)	หสีที่เหลือเมื่อผ่านความร้อนเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น	ความเข้มข้นของสีในน้ำกลั่น ( $\times 10^{-3}$ g/l)	หสีที่เหลือเมื่อผ่านความร้อนเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น
0	<sup>a</sup> 12.93 <sub>+0.00</sub>	100.00	<sup>a</sup> 18.10 <sub>+0.00</sub>	100.00
1	<sup>b</sup> 12.43 <sub>+0.10</sub>	96.13	<sup>b</sup> 17.84 <sub>+0.08</sub>	98.56
3	<sup>c</sup> 11.93 <sub>+0.20</sub>	92.27	<sup>b,c</sup> 17.69 <sub>+0.00</sub>	97.73
5	<sup>d</sup> 11.64 <sub>+0.00</sub>	90.02	<sup>c</sup> 17.59 <sub>+0.14</sub>	97.18
7	<sup>e</sup> 11.22 <sub>+0.21</sub>	86.77	<sup>d</sup> 17.39 <sub>+0.07</sub>	96.08
9	<sup>e</sup> 9.86 <sub>+0.10</sub>	76.26	<sup>e</sup> 15.91 <sub>+0.07</sub>	87.90
11	<sup>e</sup> 9.29 <sub>+0.11</sub>	71.85	<sup>f</sup> 15.25 <sub>+0.15</sub>	84.25

<sup>a</sup> หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของเคอร์คูมินในน้ำเชื่อมและน้ำกลั่น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

และ <sup>b-f</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเมื่อผ่านความร้อนเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น



รูปที่ 16 สีของเคอร์คูมินที่เหลือในน้ำเชื่อม 7% และในน้ำกลั่นเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิ 100°C เทียบกับปริมาณเคอร์คูมินในสารละลายเริ่มต้น

จากรูปที่ 16 พบว่าปริมาณเคอร์คูมินในน้ำเชื่อมจะลดลงมากกว่าปริมาณเคอร์คูมินในน้ำกลั่น เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาเท่ากัน

### 1.2 การทนความร้อนของสีเคอร์คูมินในน้ำเกลือ 13% และน้ำกลั่น

จากการทดลองพบว่า ปริมาณเคอร์คูมินที่เหลือในสารละลายเมื่อให้ความร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 100°C กับน้ำเกลือและน้ำกลั่นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่เหลือในน้ำเกลือ 13% และน้ำกลั่นด้วยวิธี



Duncan's New Multiple Range Test ได้ผลดังตารางที่ 12 และเมื่อนำข้อมูลจาก ตารางที่ 12 เขียนกราฟแสดงแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นของเคอร์คูมินในน้ำเกลือ และน้ำกลั่น จะได้ดังรูปที่ 17

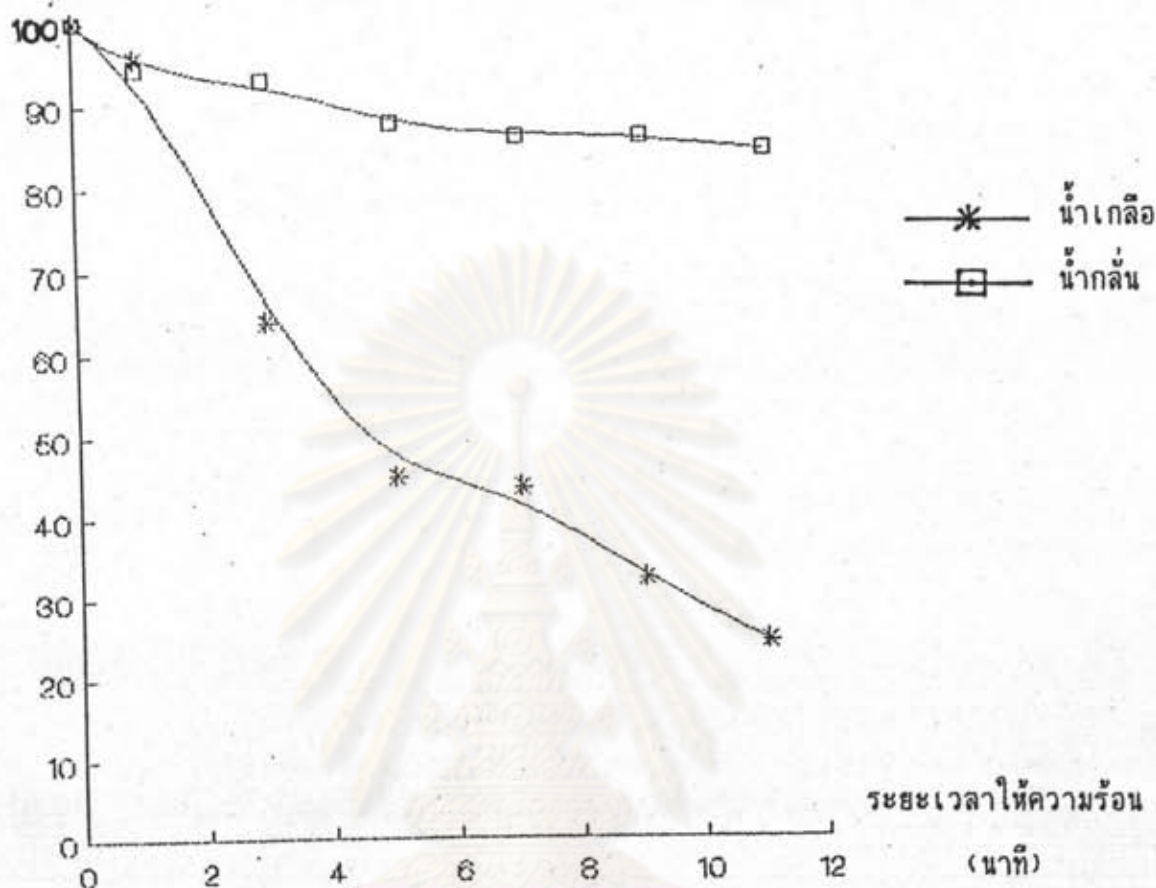
ตารางที่ 12 การทนความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาต่างๆกันของเคอร์คูมินใน น้ำเกลือ 13% และน้ำกลั่น

ระยะเวลา ในการให้ ความร้อน* (นาทีก)	น้ำเกลือ 13%		น้ำกลั่น	
	ความเข้มข้นของ สีในน้ำเกลือ ( $\times 10^{-3}$ ฐ/1)	%สีที่เหลือเมื่อผ่าน ความร้อนเทียบกับ ความเข้มข้น เริ่มต้น	ความเข้มข้นของ สีในน้ำกลั่น ( $\times 10^{-3}$ ฐ/1)	%สีที่เหลือเมื่อผ่าน ความร้อนเทียบกับ ความเข้มข้น เริ่มต้น
0	<sup>a</sup> 2.88 $\pm$ 0.00	100.00	<sup>a</sup> 2.90 $\pm$ 0.00	100.00
1	<sup>b</sup> 2.75 $\pm$ 0.64	95.49	<sup>b</sup> 2.74 $\pm$ 0.07	94.48
3	<sup>c</sup> 1.84 $\pm$ 0.64	63.89	<sup>b</sup> 2.69 $\pm$ 0.00	92.76
5	<sup>d</sup> 1.29 $\pm$ 0.64	44.79	<sup>c</sup> 2.54 $\pm$ 0.71	87.59
7	<sup>d</sup> 1.25 $\pm$ 0.00	43.40	<sup>c</sup> 2.49 $\pm$ 0.00	85.86
9	<sup>e</sup> 0.93 $\pm$ 0.64	32.29	<sup>c</sup> 2.49 $\pm$ 0.00	85.86
11	<sup>f</sup> 0.70 $\pm$ 0.00	24.31	<sup>c</sup> 2.44 $\pm$ 0.07	84.14

\* หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของเคอร์คูมินในน้ำเกลือและน้ำกลั่น แตกต่างอย่างมี  
นัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

และ "••" ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปอร์เซ็นต์สีเคอร์คูมินที่เหลือเทียบกับสีเมื่อยังไม่ผ่านความร้อน



รูปที่ 17 สีของเคอร์คูมินที่เหลือในน้ำเกลือ 13% และน้ำกลั่นเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิ 100°C เทียบกับปริมาณเคอร์คูมินในสารละลายเริ่มต้น

จากรูปที่ 17 พบว่า ปริมาณเคอร์คูมินในน้ำเกลือจะลดลงมากกว่าปริมาณเคอร์คูมินในน้ำกลั่น เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาเท่ากัน

## 2. เสถียรภาพในการเก็บรักษาสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้น

2.1 ผลของอายุการเก็บรักษาสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมินเมื่อเก็บสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C เป็นเวลา 112 วัน แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเคอร์คูมินอย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิ

กับเวลาในการเก็บไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเคอร์คูมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่ระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของเคอร์คูมินเมื่อเก็บรักษาสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C ระยะเวลาต่างๆกัน

ระยะเวลาเก็บรักษา <sup>*</sup> (วัน)	ความเข้มข้นของเคอร์คูมิน(๘/1) เมื่อเก็บรักษาสีที่อุณหภูมิ <sup>*</sup>	
	อุณหภูมิห้อง	10°C
0	28.94 ± 0.00	28.94 ± 0.00
14	27.92 ± 0.92	27.99 ± 0.09
28	26.62 ± 0.18	27.14 ± 0.18
42	25.99 ± 0.71	26.88 ± 0.18
56	25.78 ± 0.64	26.23 ± 0.55
70	25.65 ± 0.64	25.84 ± 0.18
84	25.33 ± 0.91	25.65 ± 0.28
98	24.94 ± 0.54	25.52 ± 0.09
112	24.74 ± 0.45	25.19 ± 0.36

<sup>\*</sup> หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของเคอร์คูมินในสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่ได้จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เมื่อเก็บสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง และ  $10^{\circ}\text{C}$

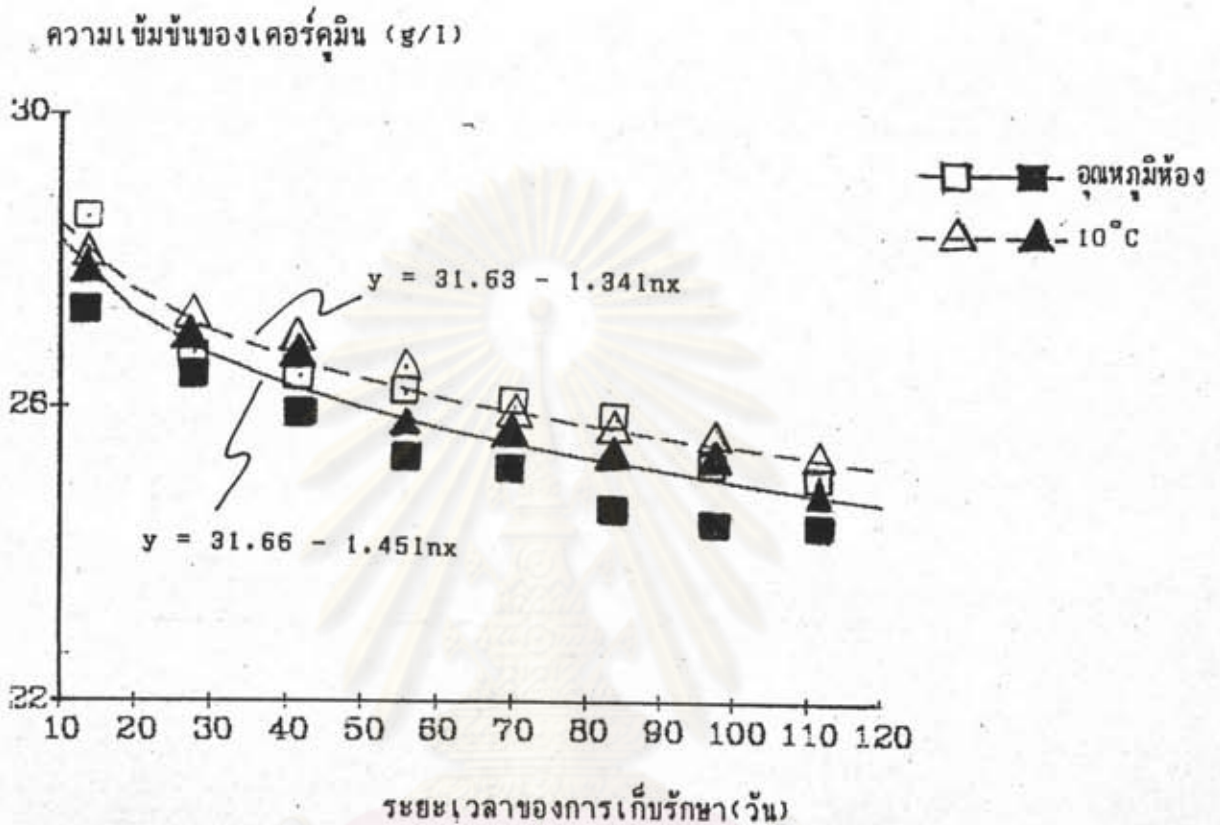
ตัวแปรที่พิจารณา	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมิน ( $\mu\text{g/l}$ )
ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)	
0	<sup>a</sup> 28.94 $\pm$ 0.00
14	<sup>b</sup> 27.95 $\pm$ 0.53
28	<sup>c</sup> 26.88 $\pm$ 0.34
42	<sup>d</sup> 26.56 $\pm$ 0.44
56	<sup>e</sup> 26.00 $\pm$ 0.56
70	<sup>de</sup> 25.74 $\pm$ 0.40
84	<sup>de-f</sup> 25.49 $\pm$ 0.58
98	<sup>ef</sup> 25.23 $\pm$ 0.46
112	<sup>f</sup> 24.97 $\pm$ 0.43
อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
อุณหภูมิห้อง	<sup>b</sup> 26.24 $\pm$ 1.42
อุณหภูมิ $10^{\circ}\text{C}$	<sup>a</sup> 26.60 $\pm$ 1.23

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลายสีเคอร์คูมินที่วัดได้จากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ  $10^{\circ}\text{C}$  จำนวน 2 ซ้ำ จากข้อมูลในตารางที่ 13 ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสีเคอร์คูมินกับระยะเวลาในการเก็บรักษาจะได้รับความสัมพันธ์ของกราฟแบบ



logarithm ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8129 และ 0.9375 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 18

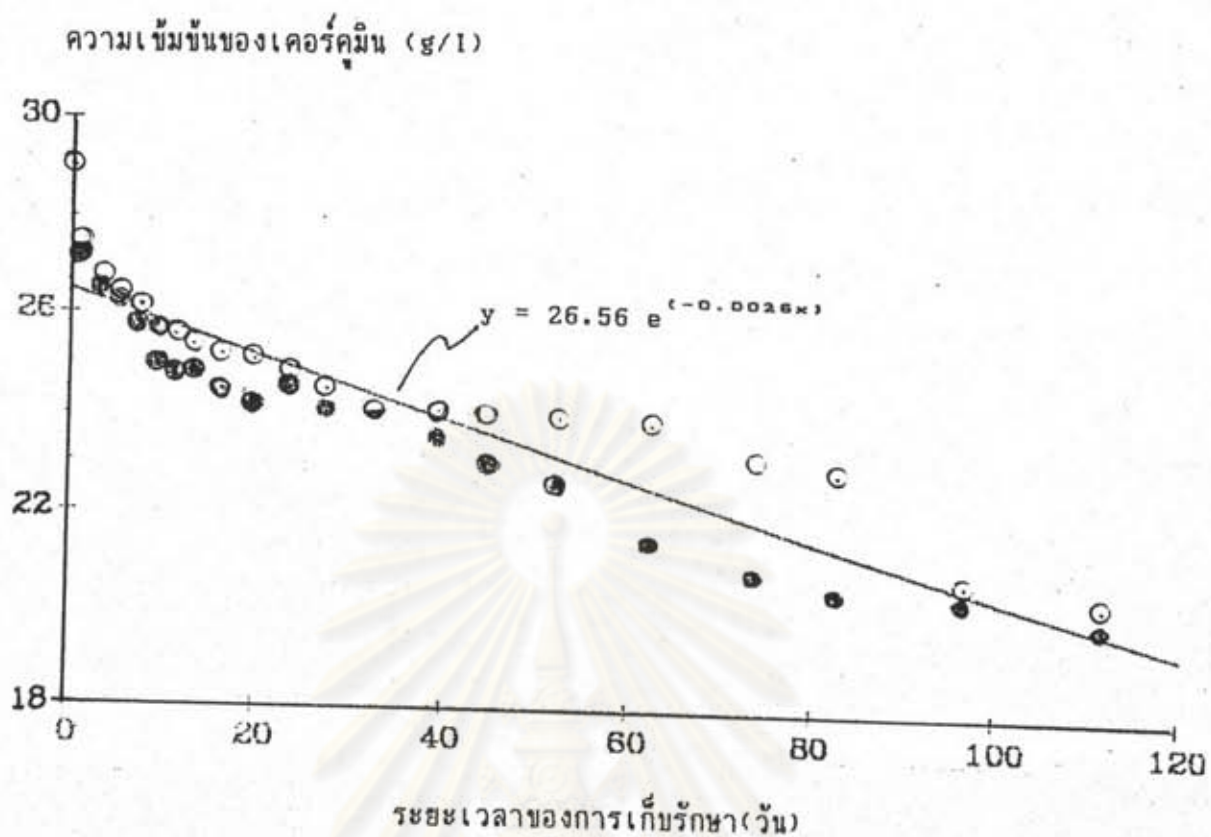


รูปที่ 18 ความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่ลดลงเมื่อเก็บรักษาสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C

2.2 ผลของอายุการเก็บรักษาสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเคอร์คูมินเมื่อเก็บสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 112 วัน แสดงดังตารางที่ 15 และเมื่อนำค่าความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่วัดได้จากการเก็บรักษาจำนวน 2 ซ้ำ ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของเคอร์คูมินกับระยะเวลาในการเก็บรักษาจะให้ความสัมพันธ์ของกราฟเป็นแบบ exponential ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8709 แสดงดังรูปที่ 19

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นของเคอร์คูมินเมื่อเก็บรักษาสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลาต่างๆกัน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ความเข้มข้นของสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้น (g/l)
0	28.94 ± 0.00
2	27.40 ± 0.18
4	26.82 ± 0.09
6	26.29 ± 0.09
8	26.04 ± 0.28
10	25.39 ± 0.64
12	25.13 ± 0.45
14	25.07 ± 0.36
17	24.87 ± 0.45
20	24.74 ± 0.64
28	24.36 ± 0.18
33	24.16 ± 0.00
39	23.90 ± 0.37
45	23.51 ± 0.74
53	23.38 ± 1.10
62	22.73 ± 1.65
72	21.95 ± 1.65
83	21.69 ± 1.65
97	20.65 ± 0.18
112	20.26 ± 0.37



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบในไขมันชั้น

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในไขมันชั้น แสดงดังตารางที่ 4 ได้รายงานปริมาณความชื้นในไขมันชั้นสดไว้เป็นช่วงคือ 75.78-79.30% เนื่องจากในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบได้ใช้ไขมันชั้นสดไว้เป็นจำนวนมาก เพื่อให้ไขมันชั้นที่ใช้มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน แต่ในขั้นตอนของการทำไขมันชั้นแห้งไม่สามารถทำการผลิตได้ครั้งเดียว เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องแรงงานและเครื่องมือ จึงต้องแบ่งทำหลายครั้ง โดยใช้สภาวะของการผลิตเหมือนกันทุกครั้งที่ในแต่ละครั้งที่ไขมันชั้นสดได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นไว้ จึงรายงานค่าตัวเลขอยู่ในช่วงดังกล่าว

ปริมาณความชื้นในไขมันชั้นแห้งซึ่งได้จากการอบแห้งไขมันชั้นสดใน tray dryer อุณหภูมิ  $55 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 10.99% เป็นปริมาณความชื้นของไขมันชั้นแห้ง หลังจากที่ยรวบรวมนำมาจากไขมันชั้นแห้งจากการผลิตหลายครั้ง มาไว้ในถุง eva film ที่กันความชื้นและอากาศผ่านเข้าออกได้เหมือนกัน และเมื่อต้องการดึงตัวอย่างออกมาทำการทดลองในแต่ละขั้นตอน ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินไว้ทุกครั้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในไขมันชั้นเท่ากับ 9.78-16.69% (dry basis) ถือว่าเป็นช่วงที่กว้างมาก สันนิษฐานว่าไขมันชั้นแห้งอาจจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บ โดยทั่วไปการวัดปริมาณของสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น และการวัดปริมาณเคอร์คูมินใช้หลักของ UV-VIS Spectroscopy (26, 30) โดยความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดของสารสีน้ำตาล (brown pigment) เท่ากับ 420 nm ซึ่งใกล้เคียงกับของเคอร์คูมินคือ 425 nm (24) จึงทำให้การวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในไขมันชั้นอาจจะคลาดเคลื่อนไป ปริมาณเคอร์คูมินที่วิเคราะห์ออกมาได้จึงอยู่ในช่วงกว้าง สำหรับปริมาณในไขมันชั้นซึ่งวิเคราะห์ได้เท่ากับ 17.63% (dry basis) เป็นค่าที่ควรให้ความสำคัญมาก สำหรับการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันชั้น เพราะในขั้นตอนการสกัดสีมีการให้ความร้อนเพื่อ



ให้เคอร์คูมินละลายออกมาในตัวทำละลายได้มาก เนื่องจากการละลายของสารใดๆจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (14) ขณะเดียวกันความร้อนก็ทำให้แบงที่มีอยู่ในรากขมิ้นเกิดเจลขึ้น (31) เป็นผลให้แบงที่เป็นเจลไปขัดขวางการละลายของสีในตัวทำละลาย ประสิทธิภาพการสกัดจึงลดลง

### การเกิดสีน้ำตาลในขมิ้นชันสด

จากผลการทดสอบการเกิดสีน้ำตาลของขมิ้นชันสด พบว่าขมิ้นชันสดมี polyphenol oxidase activity เนื่องจากเกิดสีน้ำตาลเมื่อหยด catechol solution แล้วทิ้งไว้ 6 นาที แสดงดังรูปที่ 8 รวมทั้งมี phenolic compounds เนื่องจากเมื่อหยดสารละลายโซเดียมไนไตรท์, สารละลายยูเรีย และสารละลายกรดอะซิติก แล้วทิ้งไว้ 4 นาทีจึงหยดสารละลายโซเดียมไอโธรอกไซด์ พบว่าเกิดสีแดงเชอร์รี่บนขมิ้น แสดงดังรูปที่ 9 แสดงว่าเมื่อปอกเปลือกขมิ้นชันสดและหั่นจะมีโอกาสเกิด enzymatic browning ได้เนื่องจากในขมิ้นสดมี polyphenol oxidase และ phenolic compounds ซึ่งก็คือ curcuminoids (12) องค์ประกอบหลักของ curcuminoids ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลืองในขมิ้นที่สำคัญมี 3 ตัวคือ เคอร์คูมิน, p-hydroxy-cinnamoyl-feruloyl-methane และ pp'-dihydroxy-dicinnamoyl-methane สูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาถึงข้อสเตรทที่ก่อให้เกิด enzymatic browning คาดคะเนว่า curcuminoids ที่มีชื่อว่า p-hydroxy-cinnamoyl-feruloyl-methane และ pp'-dihydroxy-dicinnamoyl-methane สามารถทำปฏิกิริยากับ polyphenol oxidase เกิดสารประกอบพวก o-quinone ซึ่งสารนี้สามารถเกิดปฏิกิริยา polymerization และ oxidation ต่อไปจนได้สารสีน้ำตาลคือ melanins ได้ เนื่องจาก curcuminoids ทั้งสองตัวนี้มีกลุ่ม monophenol อย่างน้อย 1 กลุ่มที่สามารถรวมตัวกับ polyphenol oxidase แล้วเกิดสารสีน้ำตาลดังกล่าว สำหรับเคอร์คูมินมีโครงสร้างคล้ายกับ ferulic acid 2 โมเลกุลมาต่อกัน (12, 31) แสดงในภาคผนวก ง โดยทั่วไป ferulic acid เป็นสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับ polyphenol oxidase (31) ดังนั้นเคอร์คูมินซึ่งเป็นสารที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับ ferulic acid 2 โมเลกุลมาต่อกัน จึงไม่น่าจะเป็นข้อสเตรทของการเกิด enzymatic browning เช่นกัน

การป้องกันการเกิด enzymatic browning โดยทั่วไปมี 2 วิธี (31) คือ การให้ความร้อน เนื่องจาก polyphenol oxidase activity ถูกยับยั้งที่อุณหภูมิ 85-90°C ในเวลาไม่เกิน 1 นาที และการใช้สารเคมี ที่นิยมใช้กันมากคือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดซิตริก การเลือกวิธีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในไขมัน ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัดสีออกจากไขมัน คือถ้าให้ความร้อนในการทำละลาย polyphenol oxidase จะทำให้แป้งในไขมันเกิด gelatinization ซึ่งอาจไปขัดขวางการละลายของเคอร์คูมินออกมาในตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด และยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการบริโภคสีที่อาจมีการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จึงเลือกวิธีการแช่ไขมันสดซึ่งปอกเปลือกและหั่นเป็นแว่นแล้วในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (29) อีกทั้งเป็นการช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับเคอร์คูมินในไขมัน เนื่องจากได้มีผู้ศึกษาพบว่า เคอร์คูมินใน aqueous solution ที่ pH ต่ำกว่า 7 มีเสถียรภาพดี (32)

#### กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ

ในการทดลองนี้ไม่สามารถใช้มันชั้นผงที่มีขายตามท้องตลาดได้ เพราะมันชั้นผงจะมีสีเหลืองอมน้ำตาล เนื่องจากในกระบวนการผลิตมันชั้นผง มีขั้นตอนในการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำที่ใช้ต้มมัน เพื่อเพิ่มสีให้กับรากมัน (10) อย่างไรก็ตามสีของเคอร์คูมินจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH ของสารละลาย โดยในสารละลายที่เป็นกรดและเป็นกลาง เคอร์คูมินจะให้สีเหลือง และในสารละลายด่างจะให้สีน้ำตาลแดง (13) ดังนั้นการต้มมันชั้นในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารละลายด่าง จึงทำให้มันที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล และเมื่อนำมันชั้นผงนี้มาสกัดสี สารละลายเคอร์คูมินที่ผลิตได้จะเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล ซึ่งเป็นสีที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์อาหาร ประกอบกับเคอร์คูมินสามารถเกิด hydrolytic degradative reaction ที่ pH มากกว่า 7 (32, 33) การใช้ตัวทำละลายสกัดเคอร์คูมินจากมันชั้นผงที่มีขายตามท้องตลาด ทำให้สารละลายเคอร์คูมินที่สกัดได้มี pH มากกว่า 7 เสถียรภาพของเคอร์คูมินจึงลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมมันชั้นขึ้นใช้เอง สำหรับเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสกัดเคอร์คูมินออกจากมันชั้น



โดยทั่วไปรากขมิ้นชั้นที่ให้สีเหลืองของเคอร์คูมินมี 3 ส่วนคือ mother rhizome, corm และ finger ดังรูปที่ 1 ที่แสดงลักษณะลำต้นใต้ดินของขมิ้นชั้น แต่เนื่องจาก mother rhizome เป็นส่วนที่มีตาของรากมาก ในการทดลองนี้เลือกใช้ขมิ้นส่วน corm และ finger เพื่อความสะดวกในการหั่น ปอกเปลือก และต้องการให้ขมิ้นแห้งที่ได้มีสีเหลืองสม่ำเสมอ ไม่มีตาของรากขมิ้นปนมา และเพื่อทำให้น้ำหนักขมิ้นที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นเป็นค่าที่ถูกต้องของน้ำหนักขมิ้นส่วนที่มีสีเคอร์คูมินจริง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 5 และรูปที่ 10-12 พบว่าขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ขมิ้นสดในสารละลายกรดซิตริก 0.5% นานประมาณ 30 นาที เมื่อนำมาอบแห้งแล้วจะไม่เกิดสีน้ำตาล เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า และเมื่อนำขมิ้นชั้นแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริก และ blanch ในน้ำเดือด นาน 1, 3 และ 5 นาที ไปอบแห้ง พบว่าขมิ้นชั้นแห้งที่ได้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้นตามระยะเวลาที่ blanch สำหรับขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ขมิ้นสดในน้ำ นานประมาณ 30 นาที เกิดสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย ส่วนขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ในน้ำและ blanch ในน้ำเดือดนาน 1, 3 และ 5 นาที ก็ให้ผลในทำนองเดียวกับขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% คือขมิ้นแห้งที่ได้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้นตามระยะเวลาที่ blanch แสดงว่าการแช่ขมิ้นสดในสารละลายกรดซิตริก 0.5% เป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งการเกิด enzymatic browning ในขมิ้นได้ เนื่องจากเมื่อนำขมิ้นสดที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ไปทดสอบ polyphenol oxidase activity โดยการหยด catechol solution และทิ้งไว้ 6 นาที พบว่าขมิ้นชั้นไม่เกิดสีน้ำตาล อธิบายได้ว่ากรดซิตริกจะไปลด pH ของขมิ้น และเนื่องจาก optimum pH ของ polyphenol oxidase activity อยู่ในช่วง 4-5 จึงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ (31) สำหรับขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ขมิ้นสดในน้ำเกิดสีน้ำตาลมากกว่าขมิ้นแห้งที่ผ่านการแช่ขมิ้นสดในสารละลายกรดซิตริก 0.5% แสดงดังรูปที่ 12 และเมื่อนำขมิ้นที่ผ่านการแช่ในน้ำไปทดสอบ polyphenol oxidase activity พบว่าเกิดสีน้ำตาลบนขมิ้นเมื่อหยด catechol solution และทิ้งไว้ 6 นาที แสดงว่าสีน้ำตาลบนขมิ้นแห้งที่ได้จากการแช่ขมิ้นสดในน้ำเกิดขึ้นเนื่องจาก enzymatic browning โดยเมื่อปอกเปลือกและหั่นขมิ้นสด curcuminoids ที่มีอยู่ในขมิ้น และเป็น phenolic compounds จะรวมตัวกับ polyphenol oxidase เกิดสารประกอบพวก o-quinone ซึ่งสารนี้จะเกิด



polymerization และ oxidation ต่อไปจนได้สารสีน้ำตาลคือ melanins (31)

เมื่อนำไขมันสดที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริก และแช่น้ำไปผ่านการ blanch ในน้ำเดือด เป็นเวลา 1 นาที พบว่าไขมันแห้งของทั้งสองกลุ่มเกิดสีน้ำตาลขึ้นมากกว่าไขมันแห้งที่ไม่ได้ blanch กับไขมันสด เมื่อเปรียบเทียบกับภายในกลุ่ม จากการที่ polyphenol oxidase activity ถูกยับยั้งที่อุณหภูมิ 85-90°C ในเวลาไม่เกิน 1 นาที (31) และเมื่อนำไขมันชั้นสดของทั้ง 2 กลุ่มที่ผ่านการ blanch ในน้ำเดือด 1, 3 และ 5 นาทีไปทดสอบ polyphenol oxidase activity พบว่าไม่เกิดสีน้ำตาลบนไขมันทั้งสองกลุ่ม เมื่อหยด catechol solution และทิ้งไว้ 6 นาที แสดงว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนไขมันแห้งน่าจะเกิดจาก non-enzymatic browning มากกว่า และเมื่อระยะเวลาในการ blanch ไขมันชั้นสดนานขึ้น สีน้ำตาลที่เกิดบนไขมันแห้งก็มากขึ้นด้วย แสดงดังรูปที่ 10 และ 11 สำหรับ non-enzymatic browning ที่เกิดขึ้นสันนิษฐานว่าน่าจะเป็น Maillard reaction เนื่องจากไขมันมีปริมาณโปรตีน 10.17% (dry basis) และคาร์โบไฮเดรต 66.95% (dry basis) (34) ที่อุณหภูมิ 100°C amino compounds สามารถรวมตัวกับ reducing sugar ใน Maillard reaction ได้สารสีน้ำตาลคือ melanoidins (31)

#### ขนาดอนุภาคไขมันชั้นแห้ง

เนื่องจาก The Griffith Laboratories (1964) (17) และ Krishnamurthy และคณะ (1976) (18) พบว่าอะซิโตนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันดีที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนของการหาขนาดอนุภาคไขมันชั้นแห้งเพื่อเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมของการสกัดสีออกจากไขมันจึงเลือกใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายโดยใช้ระยะเวลาของการสกัด 4 ชั่วโมง (18) และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสกัดโดยเขย่าขวดตัวอย่าง ที่ความเร็วรอบ 125 รอบ/นาที ซึ่งไม่สามารถควั่นแน่นตัวทำละลายกลับมาในขวดตัวอย่างได้เหมือนกับการสกัดด้วยวิธี Soxhlet extraction (18) ทำให้ไม่สามารถสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันที่จุดเดือดของอะซิโตนได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ทำการสกัดสีที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของอะซิโตนคือ 56.5°C (16)

จากผลการทดลองในตารางที่ 6 พบว่าในวิธีการสกัดเคอร์คูมินจากขมิ้นแบบแช่ยา เมื่อใช้ขมิ้นแห้งบดละเอียด (ขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช) เป็นวัตถุดิบจะได้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive 8.93% ของน้ำหนักแห้งของขมิ้น ซึ่งให้ประสิทธิภาพการสกัดดีกว่าการใช้ขมิ้นแห้งบดหยาบ (ขนาดอนุภาค 25-50 เมช) เป็นวัตถุดิบ ซึ่งให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive 7.05% ของน้ำหนักแห้งของขมิ้น ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) เนื่องจากพื้นที่ผิวของขมิ้นที่บดละเอียดจะมีมากกว่า ตัวทำละลายจึงสัมผัสกับขมิ้นได้มากกว่า การสกัดจึงให้ปริมาณเคอร์คูมินออกมาได้มากกว่าการใช้ขมิ้นแห้งบดหยาบเป็นวัตถุดิบ

#### สภาวะของการสกัดเคอร์คูมินจากขมิ้นชั้นแห้ง

เนื่องจากได้มีผู้ศึกษามาแล้วว่าอะซิโตนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นดีที่สุดด้วยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet extraction (17, 18) ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเคอร์คูมินเมื่อใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดกับเมื่อใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลายในวิธีการสกัดแบบแช่ยา และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการผลิตสีในรูปของสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้น ตัวทำละลายที่ใช้ต้องปลอดภัยต่อการบริโภคเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายในการผลิตสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นได้ เนื่องจากอะซิโตนเป็นพิษต่อผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ (13) ในการทดลองนี้จึงเลือกเอทานอล 95% เป็นตัวทำละลายสำหรับผลิตสีเคอร์คูมินเข้มข้น เนื่องจากเหตุผล 4 ประการคือ

1. เอทานอลเป็นสารที่สามารถบริโภคเข้าสู่ร่างกายได้ ( $LD_{50}$  ในหนูวัยเจริญพันธุ์ 10.6 g/kg และในหนูแก่ 7.06 g/kg, (13) )
2. เอทานอลสามารถละลายเคอร์คูมินได้ จึงสามารถวัดปริมาณเคอร์คูมินในเอทานอลด้วย Spectrophotometer ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของ Beer-Lambert Law คือ ตัวอย่างที่วัดจะต้องเป็นสารละลายไม่ใช่สารแขวนลอย (26)
3. เอทานอล 95% เป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำคือ  $78.1^{\circ}\text{C}$  (16) ทำให้สามารถระเหยเอทานอลออกจากสารละลายสีเคอร์คูมินได้ง่าย จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวทำละลาย



สำหรับผลิตสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้น

4. เสถียรภาพในการทนความร้อนของเคอร์คูมินในเอธานอล ที่มีปริมาณน้ำปนอยู่น้อย ตึกว่าเอธานอลที่มีปริมาณน้ำปนอยู่มาก โดยจากงานวิจัยของ Racz และคณะ (35) พบว่าเสถียรภาพในการทนความร้อนของเคอร์คูมินในเอธานอล 96% ตึกว่าในเอธานอล 50% สำหรับในขั้นตอนของการศึกษาสภาวะของการสกัดเคอร์คูมินด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด สามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้คือ

1. เอธานอล 95% จากผลการทดลองดังตารางที่ 7 และการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า อุณหภูมิกับระยะเวลาของการสกัดเคอร์คูมินไม่มีผลร่วมกันต่อประสิทธิภาพของการสกัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนระยะเวลาและอุณหภูมิของการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) โดยจากตารางที่ 8 พบว่าระยะเวลาของการสกัดสี 1.5 ถึง 4.5 ชั่วโมงให้ประสิทธิภาพของการสกัดตึกว่าที่ระยะเวลาการสกัด 6.0 ชั่วโมง นั่นคือเคอร์คูมินจะละลายออกมาในเอธานอล 95% ได้ดีที่เวลาการสกัดไม่เกิน 4.5 ชั่วโมง เมื่อเวลาการสกัดนานกว่า 4.5 ชั่วโมง เคอร์คูมินใน extractive อาจจะเสื่อมสลายไปเนื่องจากได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ทำให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ที่วิเคราะห์ได้ที่เวลาการสกัด 6.0 ชั่วโมงต่ำกว่าที่เวลาสกัด 1.5 ถึง 4.5 ชั่วโมง สำหรับตัวแปรในเรื่องของอุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าที่อุณหภูมิของการสกัด 40°C และ 50°C ให้ประสิทธิภาพการสกัดที่ตึกที่สุด สันนิษฐานว่าที่อุณหภูมิการสกัด 60°C และ 70°C เสถียรภาพของเคอร์คูมินลดลงเนื่องจากความร้อน ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ของการสกัดที่อุณหภูมิ 60°C และ 70°C จึงต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 40°C และ 50°C และที่อุณหภูมิของการสกัด 60°C ประสิทธิภาพของการสกัดตึกว่าที่อุณหภูมิ 70°C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 70°C นอกจากเสถียรภาพของเคอร์คูมินจะลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 60°C แล้ว ยังมีผลจากการขัดขวางการละลายของเคอร์คูมินเนื่องจากแป้งในไขมันเกิดเจลด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิของการเกิดเจลของแป้งในส่วนลำต้นใต้ดินของพืชอยู่ในช่วงตั้งแต่ 58.5°C ขึ้นไป แป้งสามารถเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (36) ดังนั้นการสกัดเคอร์คูมินที่อุณหภูมิ 70°C จึงทำให้แป้งเกิดเจลที่จะไปขัดขวางการละลายของเคอร์คูมินในเอธานอล 95% ได้มากกว่า



การสกัดที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ทำให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ของการสกัดที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  มีค่าต่ำสุด และเมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 7 ไปเขียนกราฟแสดงประสิทธิภาพของการสกัดที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังรูปที่ 13 พบว่าอุณหภูมิของการสกัด  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3.0 ชั่วโมง จะให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive มากที่สุด จึงเลือกอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่จุดนี้ สำหรับใช้เป็นสภาวะในขั้นตอนของการสกัดต่อไป โดยให้ค่าปริมาณเคอร์คูมินเท่ากับ 14.61 กรัมต่อน้ำหนักแห้งของขมิ้นชัน 100 กรัม ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้น 87.51%

2. อะซิโตน เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 9 ไปเขียนกราฟแสดงประสิทธิภาพการสกัดที่อุณหภูมิต่างๆ กับระยะเวลาของการสกัดเคอร์คูมินด้วยอะซิโตนระดับต่างๆ จะได้ดังรูปที่ 14 พบว่าอุณหภูมิของการสกัด  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง จะให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 14.21 กรัมต่อน้ำหนักแห้งของขมิ้นชัน 100 กรัม ซึ่งให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้น 85.11% ดังนั้นจึงใช้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินด้วยอะซิโตนที่จุดนี้เปรียบเทียบกับ ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยเอทานอล 95%

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดที่ให้ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive มากที่สุดของการสกัดเมื่อใช้อะซิโตน และเอทานอล 95% พบว่า เอทานอล 95% ให้ประสิทธิภาพของการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้น 87.51% มากกว่าการใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายซึ่งให้ประสิทธิภาพของการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้น 85.11% จากกฎเกณฑ์ของการละลายที่เรียกว่า "Like dissolve like" คือสารสองสารจะละลายกันได้ต้องมีโพลาริตีใกล้เคียงกัน (14) และจากผลการทดลองที่เคอร์คูมินละลายในเอทานอล 95% ได้ดีกว่าในอะซิโตน เนื่องจากวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินใน extractive เมื่อใช้อะซิโตน 95% เป็นตัวทำละลายแล้วมากกว่าเมื่อใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น จึงสันนิษฐานได้ว่าโพลาริตีของเคอร์คูมินน่าจะมีค่าใกล้เคียงกับโพลาริตีของเอทานอล 95% มากกว่าโพลาริตีของอะซิโตน

### อัตราส่วนของน้ำหนักมันต่อปริมาตรตัวทำละลายและจำนวนครั้งของการสกัด

จากผลการทดลองดังตารางที่ 10 พบว่าการสกัดเคอร์คูมินโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักมัน(ง) ต่อปริมาตรเอทานอล(ml) 1:50, 1:100 และ 1:150 ของการสกัดครั้งที่ 2 เปอร์เซ็นต์เคอร์คูมินที่สกัดได้เทียบกับเคอร์คูมินรวมของการสกัด 2 ครั้งน้อยกว่า 10% คาดคะเนว่าอาจเนื่องจากการสกัดครั้งที่ 2 มันที่ใช้ในการสกัดเป็นมันที่เหลือจากการสกัดครั้งแรก แป้งในมันอาจเกิดเจลขึ้นบางส่วนแล้ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดครั้งที่ 2 นี้ต่ำกว่าครั้งแรกมาก จึงพิจารณาประสิทธิภาพการสกัดครั้งที่ 1 เท่านั้น ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติจึงเป็น Completely Randomized Design ของปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ของการสกัดครั้งที่ 1 ซึ่งปริมาณเคอร์คูมินใน extractive ของการสกัดโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักมันต่อปริมาตรเอทานอล 1:50, 1:100 และ 1:150 ของการสกัดครั้งแรกเท่ากับ 12.45, 12.84 และ 12.23 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของขมิ้นชันตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) จึงเลือกทำการสกัดเคอร์คูมิน 1 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วน 1:50 สำหรับขั้นตอนในการทดลองต่อไป ซึ่งเป็นขั้นตอนของการทำสารละลายเคอร์คูมินที่สกัดได้ให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยเอทานอลออก เนื่องจากใช้อัตราส่วน 1:50 นี้ใช้ปริมาตรของเอทานอลน้อยกว่า และเมื่อทำการระเหยเอทานอลก็ทำได้ง่ายกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนอื่นๆ

### เสถียรภาพของสีเคอร์คูมินเข้มข้น

1. การทนความร้อนของสีเคอร์คูมินในน้ำเชื่อม น้ำเกลือ และน้ำกลั่น
  - 1.1 การทนความร้อนของสีเคอร์คูมินในน้ำเชื่อม 7% และน้ำกลั่น จากผลการทดลองดังตารางที่ 11 และรูปที่ 16 พบว่าแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นของเคอร์คูมินในน้ำเชื่อมมากกว่าในน้ำกลั่น เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 11 นาที ปริมาณสีที่เหลือในน้ำเชื่อมเท่ากับ 71.85% และในน้ำกลั่นเท่ากับ 84.25% และจากการทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำเชื่อมและน้ำกลั่น เมื่อแช่สารละลายใน water bath อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีอุณหภูมิ 87°C และ 81°C ตาม



ลำดับ และเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลาตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไป อุณหภูมิของน้ำเชื่อมและน้ำกลั่น จะเท่ากับ  $102^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแม้ว่าเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  กับเคอร์คูมินในน้ำเชื่อมและน้ำกลั่นในระยะเวลาเท่ากัน อุณหภูมิของสารละลายทั้งสอง ก็จะไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของน้ำตาลเมื่อละลายในน้ำทำให้จุดเดือดของสารละลายเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เคอร์คูมินในน้ำเชื่อมได้รับปริมาณความร้อนมากกว่าเคอร์คูมินในน้ำกลั่น ทำให้ เคอร์คูมินในน้ำเชื่อมสลายตัวได้มากกว่าเคอร์คูมินในน้ำกลั่น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Bader และคณะ (37) พบว่าความร้อนและแสงมีผลทำให้ปริมาณเคอร์คูมินใน pharmaceutical syrup เปลี่ยนแปลงไป

1.2 การทนความร้อนของสีเคอร์คูมินในน้ำเกลือ 13% และน้ำกลั่น จาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12 และรูปที่ 17 พบว่าแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้น ของเคอร์คูมินในน้ำเกลือมากกว่าในน้ำกลั่นมาก เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 11 นาที ปริมาณสีที่เหลือในน้ำเกลือเท่ากับ 24.31% และในน้ำกลั่น เท่ากับ 84.14% และจากการทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำเกลือและน้ำกลั่นเมื่อแช่สารละลาย ใน water bath อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีอุณหภูมิ  $93^{\circ}\text{C}$  และ  $81^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลาตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไป อุณหภูมิของน้ำเกลือ และ น้ำกลั่นจะเท่ากับ  $103^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแม้ว่าเมื่อให้ ความร้อนอุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  กับเคอร์คูมินในน้ำเกลือและน้ำกลั่นในระยะเวลาเท่ากัน อุณหภูมิ ของสารละลายทั้งสองก็จะไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของเกลือเมื่อละลายในน้ำทำให้จุดเดือด ของสารละลายเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เคอร์คูมินในน้ำเกลือได้รับปริมาณความร้อนมากกว่าเคอร์ คูมินในน้ำกลั่น ทำให้เคอร์คูมินในน้ำเกลือมีเสถียรภาพน้อยกว่าเคอร์คูมินในน้ำกลั่น

ในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมรสผลไม้ และ pickle จึงควรเติมสีเคอร์คูมินใน ผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากพอที่เมื่อให้ความร้อนระดับน้ำเดือด ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่จะใช้ได้ กับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ แล้วเหลือความเข้มข้นของสีในผลิตภัณฑ์ในระดับที่ต้องการ และ เนื่องจากต้องการศึกษาเสถียรภาพของสีเคอร์คูมินในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว จึงกำหนดอุณหภูมิ ของ water bath เป็น  $100^{\circ}\text{C}$  เพราะควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าใน กระบวนการผลิตจริง เปอร์เซนต์สีที่เหลือในสารละลายเมื่อผ่านความร้อนเทียบกับยังไม่ผ่าน ความร้อน จะไม่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงดังตารางที่ 11 และ 12



## 2. เสถียรภาพในการเก็บรักษาสารละลายซีเคอร์คิมินเข้มข้น

2.1 อายุการเก็บรักษาสารละลายซีเคอร์คิมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้องและ  $10^{\circ}\text{C}$  จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 13 เมื่อเก็บสารละลายซีเคอร์คิมินเข้มข้นที่อุณหภูมิห้องและ  $10^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 112 วัน พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีเคอร์คิมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิกับเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีเคอร์คิมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค-2) ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของซีเคอร์คิมินของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ดังตารางที่ 14 พบว่าการเก็บรักษาสารละลายซีเคอร์คิมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  เสถียรภาพของซีเคอร์คิมินจะดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง และจากตารางที่ 13 เมื่อเก็บสารละลายซีเคอร์คิมินไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ  $10^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 112 วัน พบว่าปริมาณซีเคอร์คิมินลดลงจาก 28.94  $\mu\text{g/l}$  เป็น 24.74  $\mu\text{g/l}$  และ 25.19  $\mu\text{g/l}$  ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณซีเคอร์คิมินที่ลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง 14.51% และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  12.96% โดยที่การลดลงของความเข้มข้นของซีเคอร์คิมินตามระยะเวลาในการเก็บรักษาสีที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับ เป็นความสัมพันธ์ของกราฟ logarithm แสดงดังรูปที่ 18 ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์การลดลงของความเข้มข้นของซีเคอร์คิมินเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ  $10^{\circ}\text{C}$  ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังนี้

$$y = 31.66 - 1.45 \ln x \dots\dots\dots 1$$

และ

$$y = 31.63 - 1.34 \ln x \dots\dots\dots 2$$

เมื่อ  $x$  คือระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)

และ  $y$  คือความเข้มข้นของซีเคอร์คิมิน ( $\mu\text{g/l}$ )

## 2.2 อายุการเก็บรักษาสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 15 เมื่อเก็บสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 112 วัน ปริมาณเคอร์คูมินลดลงจาก 28.94 ๘/1 เป็น 20.26 ๘/1 คิดเป็นปริมาณเคอร์คูมินที่ลดลงประมาณ 30% ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) ของการสลายตัวของเคอร์คูมิน จึงเขียนกราฟการลดลงของความเข้มข้นเคอร์คูมินตามระยะเวลาในการเก็บรักษาได้เป็นความสัมพันธ์ของกราฟ exponential แสดงดังรูปที่ 19 มีสมการดังนี้

$$y = 26.56 e^{(-0.0026 x)} \dots\dots\dots 3$$

เมื่อ  $x$  คือระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)

และ  $y$  คือความเข้มข้นของเคอร์คูมิน (๘/1)

จากสมการที่ 3 สามารถหาความเข้มข้นของเคอร์คูมินเมื่อเริ่มต้นเก็บสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นได้ โดยแทนค่า  $x$  เท่ากับ 0 ในสมการที่ 3 จะได้ความเข้มข้นของเคอร์คูมินเท่ากับ 26.56 ๘/1 สามารถหาค่า  $t_{1/2}$  ได้โดยแทนค่า  $y$  เท่ากับ 13.28 ๘/1 ลงในสมการดังกล่าวจะได้  $t_{1/2}$  ของการเก็บสารละลายเคอร์คูมินเท่ากับ 267 วัน หรือประมาณ 9 เดือน แสดงว่าสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่ผลิตได้มีเสถียรภาพในการทนความร้อนสูง

จากการทดลองเก็บสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 112 วัน แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 15 พบว่าความเข้มข้นของเคอร์คูมินที่เหลือในสารละลายเท่ากับ 20.26 ๘/1 และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองเก็บที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C เท่ากับความเข้มข้นของสีเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 50°C จากสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของการลดลงของความเข้มข้นเคอร์คูมินเมื่อเก็บรักษาสีไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C แทนค่าความเข้มข้นของเคอร์คูมินให้เท่ากับความเข้มข้นที่เหลือในสารละลายเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 112 วันคือ 20.26 ๘/1 เพื่อที่จะคาดคะเนระยะเวลาในการเก็บรักษาสีที่อุณหภูมิห้อง และ 10°C จะได้ว่าถ้าเก็บสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 112 วัน ปริมาณเคอร์คูมินลดลง

ประมาณ 30% จะสามารถเก็บลิ้นไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 10°C โดยความเข้มข้นของเคอร์คูมิน  
ที่เหลือเท่ากับเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 50°C ได้เป็นเวลาประมาณ 7 ปีและ 13 ปี ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

1. รากขมิ้นสดที่ใช้ในการทดลองเป็นส่วน corm และ finger มีปริมาณความชื้น 75.78-79.30% และไขมันแห้งมีปริมาณความชื้น 10.99% (dry basis) เคอร์คูมิน 9.78-16.69% (dry basis) และแป้ง 17.63% (dry basis) ในส่วนประกอบดังกล่าว แป้งเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นมากที่สุด เพราะการสกัดสีที่อุณหภูมิสูงซึ่งสามารถสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นได้มากนั้น ยังทำให้แป้งเกิดเจลได้มากด้วย แป้งที่เป็นเจลจะไปขัดขวางการละลายของเคอร์คูมินในตัวทำละลาย เป็นผลให้ประสิทธิภาพของการสกัดลดลง
2. จากการทดสอบเชิงคุณภาพของการเกิดสีน้ำตาลในขมิ้นสด พบว่าขมิ้นให้ผลการทดลองเป็นขบถทั้งกับการทดสอบ polyphenol oxidase activity และ phenolic compounds ซึ่งแสดงว่าในขมิ้นสดมีทั้งเอนไซม์ และซับสเตรทที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในขมิ้นได้ หลังจากปอกเปลือกและหั่นแล้ว ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในขมิ้นแห้ง จึงควรกำจัด activity ของ polyphenol oxidase ในขมิ้นสดหลังจากปอกเปลือกและหั่นทันที
3. ในการผลิตขมิ้นแห้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของการผลิตสารละลายสีเคอร์คูมิน สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก enzymatic browning ได้โดยการแช่ขมิ้นสดที่ปอกเปลือกและหั่นเป็นแว่นแล้วในสารละลายกรดซิตริก 0.5% เป็นเวลาประมาณ 30 นาที และไม่ผ่านการลวกในน้ำเดือด เพื่อป้องกันการเกิด non-enzymatic browning ก่อนที่จะนำขมิ้นไปอบใน tray dryer อุณหภูมิ  $55 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

4. จากการศึกษาหาขนาดอนุภาคไขมันแห้ง พบว่าเมื่อใช้ไขมันแห้งบดละเอียด (ขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช) เป็นวัตถุดิบจะให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันดีกว่าการใช้ไขมันแห้งบดหยาบ (ขนาดอนุภาค 25-50 เมช) เป็นวัตถุดิบ โดยให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5. ในการหาสภาวะของการสกัดเคอร์คูมินโดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิดคือ เอทานอล 95% และอะซิโตน สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

5.1 เมื่อใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 40°C, 50°C, 60°C และ 70°C ระยะเวลา 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิกับระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลร่วมกันต่อปริมาณเคอร์คูมินใน extractive อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากการทดลองจะได้ว่าอุณหภูมิของการสกัด 50°C เป็นเวลา 3.0 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันดีที่สุด

5.2 เมื่อใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45°C และ 50°C ระยะเวลา 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ชั่วโมง พบว่าการสกัดเคอร์คูมินที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง มีปริมาณเคอร์คูมิน(ง) ใน extractive ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของไขมันชั้นมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดนี้พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาของการสกัดที่ให้ปริมาณเคอร์คูมิน(ง) ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของไขมันชั้นมากที่สุด เมื่อใช้เอทานอล 95% และอะซิโตนเป็นตัวทำละลายคือ อุณหภูมิ 50°C 3.0 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 50°C 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยให้ปริมาณเคอร์คูมิน(ง) ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งของไขมันชั้น และประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันเท่ากับ 14.21 และ 85.11% เมื่อใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย และ 14.61 และ 87.51% เมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย จึงสรุปได้ว่าการใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลายมีประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินออกจากไขมันดีกว่าการใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย



6. จากการศึกษาหาอัตราส่วนน้ำหนักรวม (g) ต่อปริมาตรตัวทำละลาย (ml) และจำนวนครั้งของการสกัด โดยใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย พบว่าการสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นเพียง 1 ครั้ง ก็สามารถสกัดเคอร์คูมินออกจากขมิ้นได้มากกว่า 90% ของปริมาณเคอร์คูมินรวมจากการสกัด 2 ครั้ง ดังนั้นจึงพิจารณาอัตราส่วนน้ำหนักรวมต่อปริมาตรเอทานอลของการสกัดครั้งแรก พบว่าที่อัตราส่วน 1:50, 1:100 และ 1:150 ให้ประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. สารละลายสีเคอร์คูมินที่ได้จากการสกัดโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักรวม (g) ต่อปริมาตรเอทานอล 95% (ml) 1:50 อุณหภูมิและระยะเวลาของการสกัด 50°C 3 ชั่วโมง ความเร็วรอบของการเขย่าขวดตัวอย่าง 125 รอบ/นาที ทำการสกัด 1 ครั้งแล้ว ทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยเอทานอลออกด้วย rotary vacuum evaporator ให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า นำสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้นที่ผลิตได้ไปศึกษาเสถียรภาพของสี สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

7.1 การทนความร้อนของสีเคอร์คูมินในน้ำเชื่อม น้ำเกลือ และน้ำกลั่น เมื่อใช้อัตราส่วนของสีในน้ำเชื่อม และน้ำกลั่น 1 ml ใน 50 l. ปริมาณเคอร์คูมินที่เหลือในน้ำเชื่อมเมื่อผ่านความร้อนอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ถึง 11 นาที น้อยกว่าในน้ำกลั่น เมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากัน เนื่องจากผลของน้ำตาลในน้ำทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น เป็นผลให้เคอร์คูมินในน้ำเชื่อมได้รับปริมาณความร้อนมากกว่าเคอร์คูมินในน้ำกลั่น และเมื่อใช้อัตราส่วนของสีในน้ำเกลือและน้ำกลั่น 1 ml ใน 120 l. ปริมาณเคอร์คูมินที่เหลือในน้ำเกลือเมื่อผ่านความร้อนอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ถึง 11 นาที น้อยกว่าในน้ำกลั่นมากเมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากัน เนื่องจากผลของเกลือในน้ำทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น เป็นผลให้เคอร์คูมินในน้ำเกลือได้รับปริมาณความร้อนมากกว่าเคอร์คูมินในน้ำกลั่นมาก

7.2 เสถียรภาพของการเก็บรักษาสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง, 10°C และ 50°C พบว่าเมื่อเก็บสารละลายสีเคอร์คูมินเข้มข้นที่อุณหภูมิ 10°C ความเข้มข้นของเคอร์คูมินลดลงน้อยกว่าเมื่อเก็บสีที่อุณหภูมิห้อง และการลดลงของความเข้มข้นของเคอร์คูมินตามระยะเวลาในการเก็บรักษาสามารถเขียนได้เป็น



ความสัมพันธ์ของกราฟ logarithm ส่วนสารละลายคีเคอร์คูนัมเข้มข้นที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50°C การลดลงของปริมาณคีเคอร์คูนัมตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นความสัมพันธ์ของกราฟ exponential โดยจากการคำนวณค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของคีเคอร์คูนัม ( $t_{1/2}$ ) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50°C ได้เท่ากับ 267 วัน สามารถกล่าวได้ว่าสารละลายคีเคอร์คูนัมเข้มข้นที่ผลิตได้มีเสถียรภาพในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

### ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าคีเคอร์คูนัมจะสลายตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น และคีเคอร์คูนัมในสารละลายจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา จากสูตรโครงสร้างของคีเคอร์คูนัม แสดงดังรูปที่ 3 คาดคะเนว่าส่วนที่เป็น -C-OH gr ซึ่งต่อยู่กับ benzene ring ทั้งสองข้างของโมเลกุล น่าจะเป็นส่วนที่ทำให้เสถียรภาพของคีเคอร์คูนัมลดลง นั่นคือตรงส่วนนี้จะถูกออกซิไดซ์ได้เป็น -C=O gr เนื่องจากสูตรโครงสร้างส่วนที่เป็นเส้นตรงต่อกันด้วย conjugated double bond เป็นโครงสร้างที่ค่อนข้างเสถียร ดังนั้นถ้าสามารถเปลี่ยน -OH gr ที่ benzene ring ทั้งสองข้างของโมเลกุลให้เป็น functional group อื่นเช่น ester ( $-O-C-R$ ) ก็น่าจะทำให้คีเคอร์คูนัมมีเสถียรภาพสูงขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย