

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการศึกษา	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแหนม.....	4
ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสารอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ.....	6
แอนโทไซยานินส์ (Anthocyanin).....	8
ผลของ pH กับการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินส์.....	12
การประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์อาหาร.....	17
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
เครื่องมือและสารเคมี.....	23
สารสกัดแอนโทไซยานินส์จากใบฝี่เสื่อราตรี.....	24
การเตรียมเม็ดโคโตซาน.....	25
การเตรียมเม็ดสารประกอบแอนโทไซยานินส์-โคโตซาน.....	26
การศึกษาเม็ดสารประกอบแอนโทไซยานินส์-โคโตซานที่พัฒนาขึ้น.....	27
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	32
สารสกัดแอนโทไซยานินส์จากใบฝี่เสื่อราตรี.....	32
การเตรียมเม็ดโคโตซาน.....	37
การเตรียมเม็ดสารประกอบแอนโทไซยานินส์-โคโตซาน.....	39
การศึกษาเม็ดสารประกอบแอนโทไซยานินส์-โคโตซานที่พัฒนาขึ้น.....	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุป.....	58
สรุปผลการวิจัย.....	58
ข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้วิจัย.....	75



สารบัญญัตินี้

ตาราง	หน้า
1 สารแอนโธไซยานินที่พบในธรรมชาติ.....	10
2 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับสีของแอนโธไซยานิน.....	12
3 อัตราส่วนของอินดิเคเตอร์ชนิดใหม่ที่ประดิษฐ์ขึ้น.....	15
4 การเปลี่ยนสีของแผ่นฟิล์มอินดิเคเตอร์ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ.....	18
5 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของสารสกัดแอนโธไซยานินที่ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 และ 5.0.....	36
6 เม็ดสารประกอบแอนโธไซยานิน-โคโคซานที่ใช้เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังทำการล้างด้วยน้ำกลั่น.....	44
7 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเม็ดสารประกอบแอนโธไซยานิน-โคโคซานที่ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 และ 5.0 ที่ระยะเวลาต่างๆ ตามแนวทางที่ 1.....	49
8 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเม็ดสารประกอบแอนโธไซยานิน-โคโคซานที่ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 และ 5.0 ที่ระยะเวลาต่างๆ ตามแนวทางที่ 2.....	51
9 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเม็ดสารประกอบแอนโธไซยานิน-โคโคซานที่ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 และ 5.0 ณ อุณหภูมิต่างๆ.....	54
10 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเม็ดสารประกอบแอนโธไซยานิน-โคโคซานที่ทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 และ 5.0 ณ สภาพที่มีและไม่มีแสงฟลูออเรสเซนส์.....	55
11 ความหมายและบ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างสีทั้งสอง.....	66

สารบัญญภาพ

ภาพ

หน้า

1	การหมักของแลคติกแบคทีเรียผ่านกระบวนการ Embden Meyerhof pathway.....	5
2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่ลดลงกับระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก.....	6
3	โครงสร้างทางเคมีของสารอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ.....	8
4	โครงสร้างของเกลือฟลาเวียเลียม (flavylium salt) หรือ 2-phenylbenzopyrylium.....	9
5	โครงสร้างของ malvidin ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดหนึ่ง.....	9
6	โครงสร้างของแอนโทไซยานินส์ เมื่อ R ₃ และ R ₄ คือกลุ่มของน้ำตาล.....	11
7	โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบในแอนโทไซยานินส์.....	11
8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินส์.....	13
9	โครงสร้างทางเคมีของ anthocyanins ที่ pH ต่างๆ.....	13
10	ดอกพิกุลเนียบ และการเปลี่ยนสีของสารสกัดในช่วง pH ต่างๆ.....	14
11	สารสกัดแอนโทไซยานินส์จากผลบลูเบอร์รี่ และผลแครนเบอร์รี่ ที่สารละลาย pH 1 - 13.....	15
12	การเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินส์ที่สามารถสกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ เมื่อทดสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์.....	16
13	โครงสร้างทางเคมีของคริสตอล ไวโอเลต(19), ซาฟานิน-ไอ (20), เมทิลลีน บลู (21) และฟีนอล์ฟทาลีน (22).....	18
14	ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ Chen และคณะประดิษฐ์ขึ้น.....	19
15	การออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อติดตามการเน่าเสียของปลา.....	20
16	ตัวอย่างของ pH sensor ที่ใช้ติดตามการเน่าเสียของปลา whiting.....	20
17	การเปลี่ยนแปลงของ pH และค่าความเป็นกรดของกิมจิระหว่างการรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ.....	21
18	การเปลี่ยนสีของโบรโมครีซอล เพอร์เฟิล (a) และเมทิล เรด (b) ที่ติดตามภาวะการหมักกิมจิระหว่างการรักษา ณ อุณหภูมิ 10 °C.....	21

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างโดยรวมของสีของโบรโมครีซอล เพอร์เฟิล (a) และเมทิล เรด (b) กับค่าความเป็นกรดในกระบวนการหมักกิมจิ.....	22
20	รูปแบบการเตรียมเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโคซาน โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	26
21	รูปแบบการเตรียมเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโคซาน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	26
22	รูปแบบการเตรียมเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโคซาน โดยใช้เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	27
23	แผนผังการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงสีของตัวชี้วัดที่พัฒนาขึ้นในแนวทางที่ 1.....	29
24	แผนผังการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงสีของตัวชี้วัดที่พัฒนาขึ้นในแนวทางที่ 2.....	30
25	แผนผังการศึกษาความเสถียรของสีของตัวชี้วัดที่พัฒนาขึ้น.....	30
26	ต้นฝั่เลื้อจราตรี.....	32
27	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบแอนโรไซยานินส์ที่สามารถแยกได้จากใบของต้นฝั่เลื้อจราตรี (<i>Oxalis triangularis</i>).....	33
28	ขั้นตอนการสกัด และเตรียมสารสกัดจากใบฝั่เลื้อจราตรี.....	34
29	¹³ C NMR สเปกตรัมของสารแอนโรไซยานินส์ที่สกัดได้จากใบฝั่เลื้อจราตรี (solids state).....	34
30	FT-IR สเปกตรัมของของสารแอนโรไซยานินส์ที่สกัดได้จากใบฝั่เลื้อจราตรี.....	35
31	เปรียบเทียบเม็ดโคโคซานที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ.....	38
32	โครงสร้างทางเคมีของ sodium linear alkylbenzene sulfonate (29), (30) และ sodium tripolyphosphate (31).....	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
33	เม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซานที่เตรียมด้วยเม็ดโคโตซานชนิดต่างๆ.....	39
34	รูปแบบการนำเสนอบริการ nucleophilic substitution ระหว่างหมู่อะมิโนของโคโตซานกับหมู่ malonic acid ของแอนโรไซยานินส์.....	40
35	ผลของการยึดติดสารแอนโรไซยานินส์บนโคโตซาน โดยตัวเร่งปฏิกิริยากรดชนิดต่างๆ	41
36	เปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมของเม็ดโคโตซาน (B2) (A), สารแอนโรไซยานินส์ (B) และเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซาน (กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) (C).....	42
37	เปรียบเทียบ ¹³ C NMR สเปกตรัมระหว่างเม็ดโคโตซาน (B2) (A), สารแอนโรไซยานินส์ (B) และเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซาน (กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) (C) (solids state).....	43
38	เม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซานที่ผ่านการล้างในแต่ละชั่วโมง.....	43
39	เปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมของเม็ดโคโตซาน (B2) (A), สารแอนโรไซยานินส์ (B), เม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซาน (เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) (C).....	46
40	เปรียบเทียบ ¹³ C NMR สเปกตรัมระหว่างเม็ดโคโตซาน (B2) (A), สารแอนโรไซยานินส์ (B) และเม็ดสารประกอบแอนโรไซยานินส์-โคโตซาน (เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) (C) (solids state).....	47
41	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยรวมของสีที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ตามแนวทางที่ 1.....	50
42	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยรวมของสี ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ตามแนวทางที่ 2.....	53
43	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยรวมของสี ณ อุณหภูมิต่างๆ.....	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
44 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยรวมของสี ณ สภาวะที่มีและไม่มีแสง ฟลูออเรสเซนส์.....	56
45 รูปแบบนำเสนองานของการจับยึดกับโคโตซานของของชั้นของโลหะสลักกับชั้นของสาร แอนโธไซยานินส์ แบบ layer-by-layer.....	59
46 ไดอะแกรมของ CIE L*a*b* Color – Space.....	65
47 FT-IR สเปกตรัมของแอนโธไซยานินส์.....	67
48 FT-IR สเปกตรัมของเม็ดโคโตซาน (B2).....	68
49 FT-IR สเปกตรัมของเม็ดสารประกอบโคโตซาน-แอนโธไซยานินส์ โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	69
50 50 FT-IR สเปกตรัมของเม็ดสารประกอบโคโตซาน-แอนโธไซยานินส์ โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	70
51 ¹³ C NMR สเปกตรัมของแอนโธไซยานินส์ (solids state).....	71
52 ¹³ C NMR สเปกตรัมของเม็ดโคโตซาน (B2) (solids state).....	72
53 ¹³ C NMR สเปกตรัมของเม็ดสารประกอบโคโตซาน-แอนโธไซยานินส์ โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (solids state).....	73
54 ¹³ C NMR สเปกตรัมของเม็ดสารประกอบโคโตซาน-แอนโธไซยานินส์ โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (solids state).....	74

อักษรย่อ

cm^{-1}	=	ต่อเซนติเมตร (Per centimeter)
^{13}C NMR	=	Carbon Nuclear Magnetic Resonance
DSC	=	Differential Scanning Calorimetry
FT-IR	=	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
g	=	กรัม (Grams)
g/mole	=	กรัมต่อโมล (Gram per mole)
IR	=	รังสีใต้แดง (Infrared)
M	=	โมลาร์ (Molar)
mg	=	มิลลิกรัม (Milligram)
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร (Milligram per milliliter)
mL	=	มิลลิลิตร (Milliliter)
nm	=	นาโนเมตร (Nanometer)
pH	=	power of hydrogen ion concentration
T	=	อุณหภูมิ (Temperature)
v/v	=	ปริมาตรต่อปริมาตร (volume by volume)
w/v	=	น้ำหนักต่อปริมาตร (Weight by volume)
β	=	Beta
$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส (Degree Celsius)
λ_{max}	=	ความยาวคลื่นสูงสุด (Maximum wavelength)
α	=	Alpha