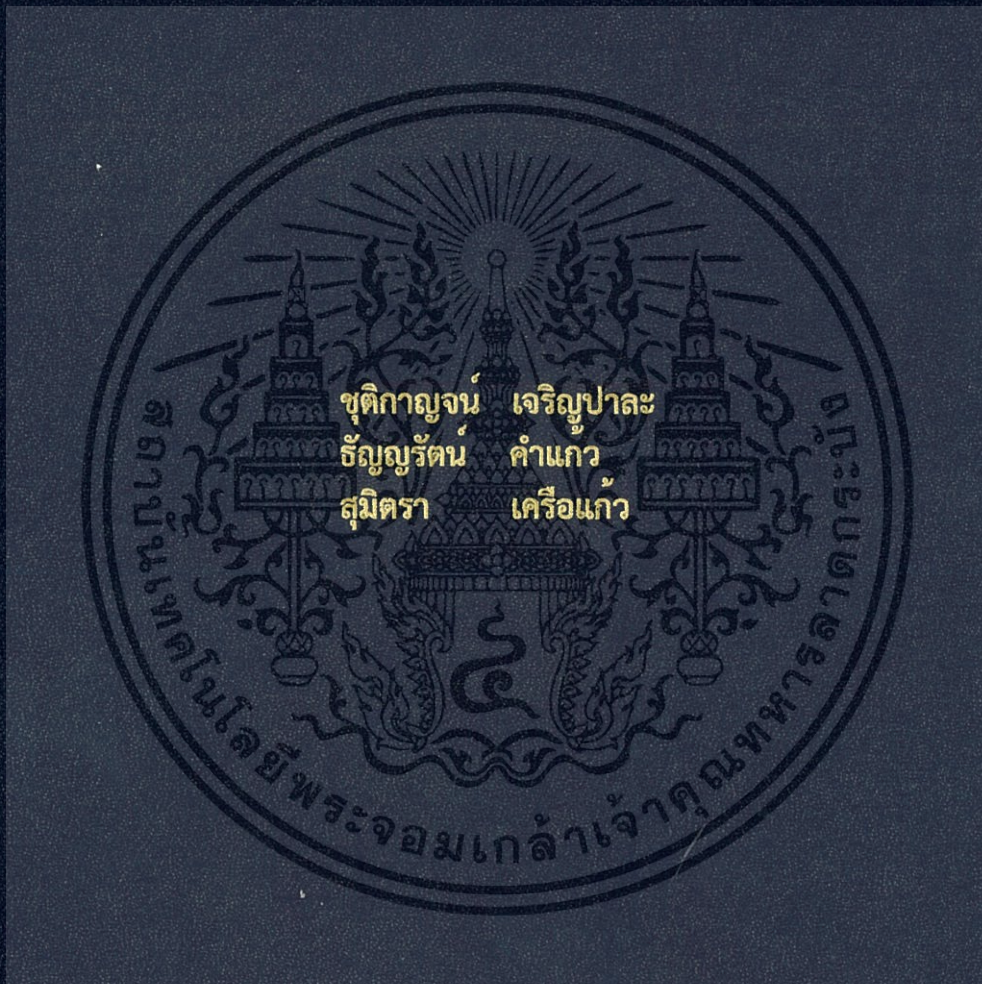


ความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลจากเห็ดหูหนู

THE POSSIBILITY OF GELLING AGENT SOURCE FROM  
*Auricularia auricula-judae*



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)  
ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

ความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลจากเห็ดหูหนู

THE POSSIBILITY OF GELLING AGENT SOURCE FROM

*Auricularia auricula-judae*



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE POSSIBILITY OF GELLING AGENT SOURCE FROM  
*Auricularia auricula-judae*



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
(INDUSTRIAL MICROBIOLOGY)

DEPARTMENT OF BIOLOGY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      ความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลจากเห็ดหูหนู  
 The Possibility of Gelling Agent Source from *Auricularia auricula-judae*

ชื่อนักศึกษา                    นางสาวชุติกานุจน์ เจริญपालะ    รหัสนักศึกษา 56050979  
    นางสาวธัญญรัตน์ คำแก้ว            รหัสนักศึกษา 56051007  
    นางสาวสมิตรา                    เครือแก้ว                    รหัสนักศึกษา 56051096

ปริญญา                            วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)  
 ภาควิชา                            ชีววิทยา

ปีการศึกษา                      2559

อาจารย์ที่ปรึกษา                อาจารย์ธนาวัต ก่ออานันต์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยา  
 อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธนาวัต ก่ออานันต์ อาจารย์ที่ปรึกษา	ธนาวัต ก่ออานันต์
ผศ. ลินจง สุขลำภู ประธานกรรมการ	ลินจง สุขลำภู
ดร. สุทธิจิต ศรีวัชรกุล กรรมการ	สุทธิจิต ศรีวัชรกุล

### ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลาจากเห็ดหูหนู
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชุตติกาญจน์ เจริญपालะ รหัสนักศึกษา 56050979 นางสาวธัญญรัตน์ คำแก้ว รหัสนักศึกษา 56051007 นางสาวสุมิตรา เครือแก้ว รหัสนักศึกษา 56051096
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ธนาวัตี ก่ออานันต์

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้สนใจที่จะหาความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลาจากเห็ดหูหนู เห็ดหูหนูเป็นฟังไจที่มีลักษณะดอกเห็ดเป็นแผ่นหูนุ่มเหมือนวุ้นใสสีน้ำตาล เนื้อสัมผัสอ่อน เหนียว และมีฟิโนไทป์คล้ายคลึงกับสาหร่ายสีน้ำตาลที่มักนำมาสกัดอัลจินต นิยมปลูกในประเทศจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนีเซีย โดยศึกษาลักษณะการก่อเจลาจากแบ้งต่างๆ ได้แก่ แบ้งมันสำปะหลัง แบ้งมันฝรั่ง แบ้งข้าวเจ้า แบ้งข้าวโพด แบ้งข้าวเหนียว แบ้งถั่วเหลือง เมื่อกวนทางจระเข้ และเมื่อกเห็ดหูหนู พบว่าเมื่อกเห็ดหูหนูก่อเจลาได้ดีเท่าๆ กับการก่อเจลาจากแบ้งถั่วเขียวที่อัตราส่วนของอัลจินต (w/v) ที่ 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % ปริมาณกรด และน้ำตาลทั้งหมด มีค่า 0.062 % และ 39.14 % ตามลำดับ ปริมาณอัลจินตที่สกัดจากเห็ดหูหนูมีค่า 23.8 % สารสกัดไม่บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง (TLC) และวิเคราะห์โครงสร้างสารด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR) พบสัญญาณของค่าเคมีคัลชิฟต์ที่ตำแหน่ง 3.0 - 5.4 ppm โดยเป็นช่วงของน้ำตาล และกรดน้ำตาลที่มักเป็นองค์ประกอบในสารก่อเจลา ซึ่งคาดว่าเห็ดหูหนูน่าจะเป็นแหล่งของสารก่อเจลาแหล่งใหม่จากฟังไจได้ อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมให้แน่ชัดต่อไป

คำสำคัญ : เห็ดหูหนู, สารก่อเจลา, นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Possibility of Gelling Agent Source from <i>Auricularia auricula-judae</i>		
Students	Miss Chutikan Charoenpala	Student ID 56050979	
	Miss Thunyarat Kamkaew	Student ID 56051007	
	Miss Sumitra Krueakaew	Student ID 56051096	
Degree	Bachelor of Science (Industrial Microbiology)		
Department	Biology		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Thanavadee Kor-anan		

### Abstract

This study interested to the possibility of gelling agent production from *Auricularia auricular-judae*. This mushroom has the fruiting body brown jelly-like colouration, tough gelatinous and soft and similar phenotype to brown algae which was almost source of alginate. It was commercially cultivated in China, Taiwan, Japan, Thailand and Indonesia. It was found that, mung bean flour can form gel similar to gel forming of *A. auricular-judae*'s mucus (alginate ratio (w/v) = 0.70, 1.05, 1.40 and 1.75 %) among tapioca flour, potato flour, rice flour, corn flour, glutinous rice flour, glycine max flour and aloe vera mixing. The extract of *A. auricular-judae* with 95% ethanol contained 0.062 %, 39.14 % and 23.8 % of total acidity, sugar and alginate respectively. Purification analysis by Thin-layer chromatography (TLC) found the extract was impure and then NMR spectrometry analysis found the chemical shift at 3.0 - 5.4 ppm was sugar and sugar acid which were common structures in gelling agent. As conclude, *A. auricular-judae* may be a new source of natural agent from fungi which should be confirmed in the next study.

**Keywords :** *Auricularia auricula-judae*, gelling agent, NMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ธนาวัต ก่ออานันต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ลินจง สุขล่ำภู และดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์กับผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเปิดเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งให้คำแนะนำในการปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ และนักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำเทคนิคในการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของพวกเขาอย่างสูงที่ให้โอกาสทางการศึกษาอันมีค่ายิ่ง ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาแนะนำ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการพิเศษฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจในงานที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ หรือผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชุตินาถณ์ เจริญปาละ

ธัญญรัตน์ คำแก้ว

สมิตรา เครือแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 เห็นหูหนู.....	3
2.1.1 คุณค่าทางยา.....	4
2.1.2 การเพาะเห็นหูหนู.....	4
2.2 ว่านหางจระเข้.....	7
2.2.1 สรรพคุณ.....	8
2.2.2 การเพาะปลูก.....	9
2.3 สารก่อเจล.....	10
2.3.1 อัลจินต.....	10
2.3.2 เพคติน.....	11
2.3.3 คาร์ราจีแนน.....	11
2.3.4 เจลแลนกัม.....	12
2.3.5 วุ้น.....	12
2.4 แป้ง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 คุณสมบัติของแป้ง.....	14
2.4.2 แป้งชนิดต่างๆ.....	16
2.5 โครมาโทกราฟีแบบผิวบาง.....	18
2.5.1 ลักษณะของโครมาโทกราฟี.....	18
2.5.2 ขั้นตอนการใช้งาน.....	19
2.5.3 การประยุกต์ใช้โครมาโทกราฟีแบบผิวบางทางเคมีอินทรีย์.....	23
2.6 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี.....	24
2.6.1 หลักการ NMR.....	24
2.6.2 องค์ประกอบของเครื่อง NMR.....	26
2.6.3 เทคนิคในการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง NMR.....	27
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>33</b>
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	33
3.1.1 วัสดุดิบ.....	33
3.1.2 สารเคมี.....	33
3.1.3 วัสดุและเครื่องแก้ว.....	34
3.1.4 เครื่องมือ.....	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	36
3.2.1 ศึกษาลักษณะการก่อกองของสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนต กับสารต่างๆ.....	36
3.2.2 การสกัดสารจากตัวอย่างเห็ดหูหนู.....	37
3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก.....	37
3.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด.....	38
3.2.5 การวัดปริมาณอัลจิเนต.....	39
3.2.6 การแยกสารด้วยโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง.....	39
3.2.7 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	40
4.1 ลักษณะการก่อเจลของสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับแป้งชนิดต่างๆ.....	40
4.2 ปริมาณสารสกัดจากเห็ดหูหนู.....	56
4.3 ผลการหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก.....	56
4.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด.....	57
4.5 ผลการวัดความเข้มข้นของอัลจิเนต.....	59
4.6 ผลการทดสอบการแยกสารด้วย TLC.....	60
4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างสารด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี.....	72
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง.....	77
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณทางสถิติ.....	79
ภาคผนวก ง รูปประกอบการทดลอง.....	80
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อัตราส่วนการเจือจางสารละลายกลูโคสเข้มข้นเพื่อเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐาน.....	38
4.1 ปริมาณกรดทั้งหมดของสารสกัดจากเห็ดหูหนู.....	56
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสง ของสารสกัดเห็ดหูหนู ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร.....	57
4.3 ความเข้มข้นของอัลจินเตในสารสกัดเห็ดหูหนูเมื่อเทียบกับตัวควบคุม.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เห็นเหตุหนู.....	3
2.2 ก่อนเชื่อเห็นเหตุหนู.....	6
2.3 การวางก้อนเชื้อแบบแฉวน.....	6
2.4 ต้นว่านหางจระเข้.....	7
2.5 ว่านหางจระเข้.....	8
2.6 โครงสร้างของอัลจินต.....	10
2.7 โครงสร้างของแคปป์ ไอโอดี และแลมด้าคาร์ราจีแนน.....	11
2.8 โครงสร้างของอะกาโรส.....	12
2.9 โครงสร้างของอะกาโรเพคติน.....	13
2.10 โครงสร้างของอะไมโลส.....	14
2.11 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	14
2.12 การพองตัวของเม็ดแป้ง.....	15
2.13 การเกิดการคินตัวของแป้ง.....	16
2.14 การวัดระยะก่อนที่จะหยุดสาร และการหยุดสารลงบนโครมาโทเพลท.....	21
2.15 การวางแผนโครมาโทกราฟีใน TLC tank.....	21
2.16 ตัวอย่างโครมาโทแกรมเมื่อใช้ตัวทำละลายที่ขั้วต่างกัน.....	22
2.17 การหาค่า $R_f$ ของสารที่แยกได้.....	23
2.18 การจัดตัวของนิวคลีโอไทด์ที่เป็นแม่เหล็กในสารตัวอย่างเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก $B_0$ .....	25
2.19 พลังงานที่ต่างกัน ( $\Delta E$ ) ระหว่างการจัดตัวของนิวคลีโอไทด์ทั้งสองแบบ เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก.....	25
2.20 นิวคลีโอไทด์ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กเกิดแทรนซิชันจากพลังงานต่ำไปยังพลังงานสูง เมื่อผ่านความถี่คลื่นวิทยุที่เหมาะสม.....	26
2.21 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย.....	26
2.22 NMR สเปกตรัมของเอทิล และเมทิลคาร์บาเมท.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

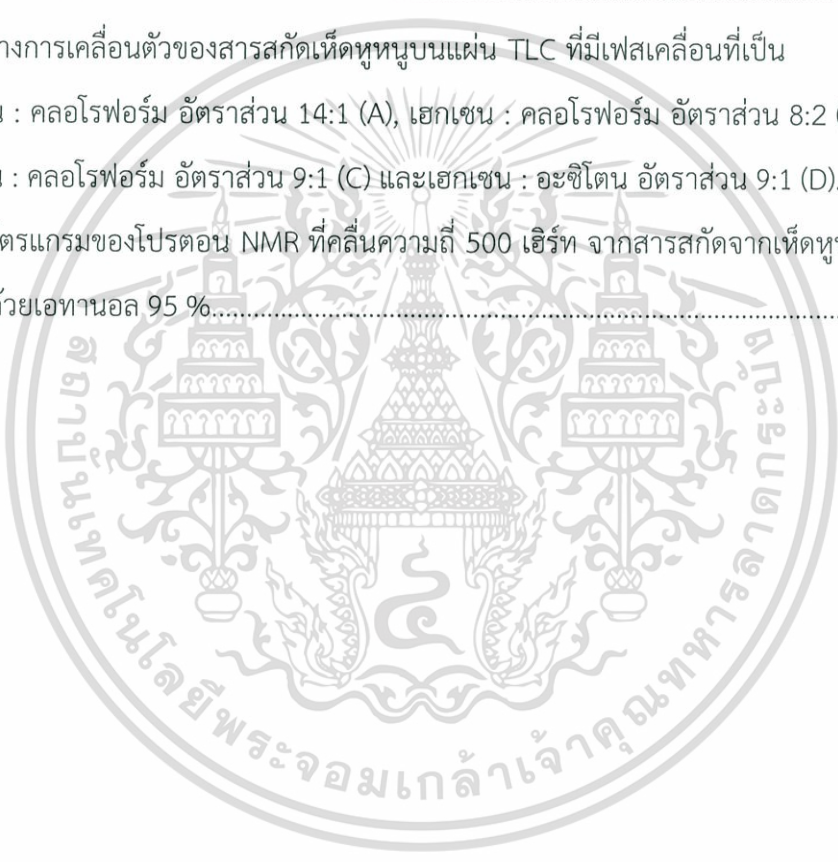
## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย.....	26
2.22 NMR สเปกตรัมของเอทิล และเมทิลคาร์บาเมท.....	28
2.23 ลักษณะที่แตกต่างกันของ NMR สเปกตรัมของกรด 4-คลอโรบิวทริก เมื่อคลื่นวิทยุ ความถี่ 60, 100 และ 220 Hz.....	28
2.24 double irradiation (spin decoupling) ของ AX สเปกตรัม.....	29
2.25 contact - shift reagent (Eu (DPM) <sub>3</sub> ) ต่อ NMR สเปกตรัมของ 6-เมทิลโนลีน.....	29
4.1 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง 1.75 % (w/v) กับโซเดียม อัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	41
4.2 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งมันฝรั่ง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	43
4.3 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว 1.75 % (w/v) กับโซเดียม อัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	45
4.4 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	46
4.5 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวโพด 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	48
4.6 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	50
4.7 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งถั่วเหลือง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม.....	51
4.8 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างเมือกของว่านหางจระเข้ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับ ตัวควบคุม.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างเมือกของเห็ดหูหนู ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับ ตัวควบคุม.....	55
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกลูโคสมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร.....	58
4.11 ระยะทางการเคลื่อนตัวของสารสกัดเห็ดหูหนูบนแผ่น TLC ที่มีเฟสเคลื่อนที่เป็น เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 14:1 (A), เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 8:2 (B), เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 9:1 (C) และเฮกเซน : อะซิโตน อัตราส่วน 9:1 (D).....	60
4.12 โครมาโตแกรมของโปรตอน NMR ที่คลื่นความถี่ 500 เฮิร์ต จากสารสกัดจากเห็ดหูหนู ที่สกัดด้วยเอทานอล 95 %.....	61



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

สารก่อเจล (gelling agent) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงพอลิเมอร์ดัดแปรธรรมชาติหรือสังเคราะห์ สารก่อเจลถูกใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ยา ปีโตรเคมี และเครื่องสำอาง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ลักษณะเป็นชั้นหนืด สารก่อเจลมีทั้งสารในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ และโปรตีน ตัวอย่างสารในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ ได้แก่ วุ้น คาราจีแนน เพคติน กัม อัลจินेट กลูโคแมนแนน เป็นต้น ส่วนในกลุ่มโปรตีน ได้แก่ เจลาติน เคซีน เวย์โปรตีน (นิธิยา, 2549) ส่วนมากใช้สารก่อเจลในอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ช่วยให้เกิดความข้นหนืด และเกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม เช่น นำเจลาตินไปผลิตแคปซูลยา ใช้วุ้นหรืออะกาโรสไปใช้ในปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์ (Karim and Rajeev, 2009)

เห็ดหูหนู (*Auricularia auricular-jadae*) หรือเห็ดหูหนูจีน เป็นฟังไจชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วโลก ลักษณะของดอกเห็ดเป็นแผ่นวุ้นสีน้ำตาลคล้ายหูหนู มักจะเจริญได้ในสภาพธรรมชาติที่มีอากาศร้อนชื้นตามขอนไม้ทั่วไปในฤดูฝน เจริญได้รวดเร็ว มีการใช้เห็ดหูหนูเป็นส่วนประกอบของอาหาร ใช้เป็นสมุนไพร เช่น การบำรุงไต ลดไข้ แก้ไอ กระตุ้นการทำงานของลำไส้ บำรุงร่างกาย ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ แก้ร้อนแก้กระหายน้ำ ช่วยลดความข้นของเลือด เพราะเห็ดชนิดนี้ประกอบด้วยอะดีโนซีน จึงสามารถช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดอุดตัน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เม็ดเลือด เสริมภูมิคุ้มกันของร่างกาย ช่วยรักษาโรคกระเพาะ และช่วยรักษาโรคกรดสีดวงทวารได้ นอกจากนี้เห็ดหูหนูยังประกอบด้วยกลูแคน ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส แคลเซียม วิตามินซี และกรดอะมิโนอีกหลายชนิดอีกด้วย

การศึกษานี้จึงสนใจที่จะหาสารก่อเจลจากเห็ดหูหนู เนื่องจากมีลักษณะคล้ายสาหร่ายสีน้ำตาลมาก ซึ่งสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นแหล่งของอัลจินเตธรรมชาติที่สำคัญ อีกทั้งยังไม่พบการศึกษาความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลจากฟังไจมาก่อน โดยวิเคราะห์ปริมาณกรด และน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณอัลจินเต และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ช่วยเพิ่มทางเลือกของการเป็นสารก่อเจลแหล่งใหม่จากฟังไจ
- 2) ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเห็ดหูหนู

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สกัดสารจากเห็ดหูหนูเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรด และน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณอัลจินต และโครงสร้างสารด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้สารก่อเจลจากฟังไจ
- 2) ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเห็ดหูหนู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เห็ดหูหนู

เห็ดหูหนู (Jew's Ear Mushroom) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Auricularia auricula Judae* เป็นเห็ดที่พบได้ทั่วโลก นิยมเพาะเลี้ยงมากเป็นอันดับที่ 4 ของโลก โดยประเทศที่นิยมปลูกเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ จีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนีเซีย



รูปที่ 2.1 เห็ดหูหนู

ที่มา : [http://farm9.staticflickr.com/8016/7183045921\\_f7f002aebc\\_b.jpg?w=240](http://farm9.staticflickr.com/8016/7183045921_f7f002aebc_b.jpg?w=240)

อาณาจักร: Fungi

หมวด: Basidimycota

ชั้น: Agaricomycetes

อันดับ: Auriculariales

วงศ์: Auriculariaceae

สกุล : *Auricularia*

สปีชีส์: *A. auricula-judae*

ลักษณะดอกเห็ดของเห็ดหูหนู มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นคล้ายหูของหนู มีสีน้ำตาลแดง ผิวด้านบนเรียบ และหยักเป็นคลื่นเล็กน้อย มีขนสั้นละเอียด มีรอยจีบย่นหยักเป็นแผ่นรัศมีออกไปจากโคนที่ยึดติดกับขอนไม้ ไม่มีก้านดอก เกิดขึ้นได้ดีในสภาพธรรมชาติที่มีอากาศร้อนชื้น สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามขอนไม้ทั่วไปในช่วงฤดูฝนโดยเจริญออกมาจากขอนไม้หรือเปลือกไม้ที่ตายแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 คุณค่าทางยา

หลายร้อยปีก่อนเห็ดหูหนูถูกนำมาใช้เป็นยาแพทย์แผนจีน เช่น รักษาโรคผิวหนัง ทวาร เสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรง กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน รักษาอาการไอเป็นเลือด ท้องร่วง ท้องเสีย และโรคหลอดเลือดหัวใจตีบได้ นอกจากนี้ในยาแผนปัจจุบันยังพบว่าเห็ดหูหนูมีสารชีวภาพที่สามารถยับยั้ง การแข็งตัวของเลือด ยับยั้งการเกิดเนื้องอก ยับยั้งไวรัส ยับยั้งแบคทีเรีย ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ได้ นอกจากนี้เห็ดหูหนูสามารถช่วยรักษาโรคเบาหวาน และโรคเมรังค์ได้ แต่เห็ดหู หนูมีความสามารถคุมกำเนิดจึงไม่แนะนำให้ใช้กับหญิงตั้งครรภ์หรือหญิงมีระยะให้นมบุตร รวมทั้งผู้ ที่ตั้งใจจะตั้งครรภ์บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ชายที่กินเห็ดหูหนูมากกว่า 250 กรัม พบว่า เป็นลมพิษ ที่เกิดจากแสงแดด ทำให้ผิวหนังไวต่อแสงแดด แต่ถึงแม้จะมีรายงานดังกล่าว ผลข้างเคียงที่ว่ามานี้ก็ ไม่ได้ถูกระบุไว้เป็นเอกสารหรืองานวิจัยใด (Chauhan and Varma, 2009) งานวิจัยของ Wu *et al.*, (2010) กล่าวว่าพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดหูหนูสามารถช่วยบำรุงการทำงานของหัวใจ เกิดการต้าน อนุมูลอิสระมากขึ้นงานวิจัยของ Yoon *et al.*, (2003) ยังกล่าวอีกว่าพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดหูหนูที่ เป็นกรดมีฤทธิ์ต้านการแข็งตัวของเลือดได้

### 2.1.2 การเพาะเห็ดหูหนู (สมพงษ์, 2555)

ชาวจีนเป็นชนชาติแรก ที่รู้จักวิธีการเพาะโดยการตัดไม้ไผ่เป็นท่อนๆ มาเพาะ แต่ สำหรับประเทศไทยได้ทดลองเพาะโดยการตัดไม้แคะมาท่อนๆ แล้วปลูกลงในดิน และเห็ดหู หนูเกิดขึ้น เห็ดหูหนูเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศแบบทุกภูมิภาคของประเทศไทย จากวัสดุ เหลือใช้ เช่น ฟางข้าว ไม้เนื้ออ่อน ชี้เสื่อ ชุยมะพร้าว ชั่งข้าวโพด

#### 2.1.2.1 สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญ

- อุณหภูมิ เห็ดหูหนูเป็นเห็ดที่เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 12 °C หรือสูงกว่า 35 °C เส้นใยของเห็ดจะไม่ค่อยเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเติบโต ของเห็ดคือ 28 °C ในสภาพอุณหภูมิต่ำ เห็ดหูหนูจะมีครีบดอกผิดปกติ มีขนยาว เจริญเติบโตช้า และ ผลผลิตต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูง ดอกเห็ดหูหนูที่ได้จะมีขนาดเล็ก เส้นใยโตช้า และผลผลิตต่ำ

- ความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity) ไม่ควรต่ำกว่า 80 % โดยเฉพาะในระยะเวลาที่เห็ดใกล้ออกดอกควรมีความชื้นไม่ต่ำกว่า 95 % ส่วนความชื้นในวัสดุเพาะที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตควรมีประมาณ 60 %

- แสงสว่าง ปกติแสงไม่จำเป็นต่อการเจริญมากนัก การเลี้ยงเส้นใยเห็ดหูหนูควร เลี้ยงในที่มืด แต่หลังจากเส้นใยเจริญควรให้เส้นใยได้รับแสงบ้างพอสมควรทั้งนี้เพราะแสงสว่างจะช่วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นให้เส้นใยรวมตัวกัน และเจริญไปเป็นดอกเห็ดได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าในขณะที่เห็ดหูหนูออกดอก และได้รับแสงสว่างมากเกินไปจะทำให้ดอกเห็ดจะมีขนยาว ดอกสีคล้ำ แต่ถ้าได้รับแสงสว่างน้อย ขนจะสั้น และดอกมีสีซีด

- การถ่ายเทอากาศ การถ่ายเทอากาศภายในโรงเรือนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเห็ดหูหนูเช่นกัน ถ้าสภาพของโรงเรือนถ่ายเทอากาศไม่ดี และมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ดอกเห็ดจะไม่บานหรือเจริญเติบโตต่อไปตามปกติ แต่จะมีลักษณะเป็นแท่งคล้ายกระบอง ถ้าอากาศถ่ายเทมากเกินไป จะทำให้ดอกเห็ดมีลักษณะแข็งกระด้าง มีขนยาว ดังนั้นโรงเรือนที่ใช้ในการเพาะเห็ดหูหนูควรบุด้วยพลาสติก พร้อมกับเจาะรูที่พลาสติกเพื่อให้อากาศภายในโรงเรือนถ่ายเทได้ดี

- สภาพความเป็นกรด - ด่าง เห็ดหูหนูเจริญได้ดีในสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย ประมาณ 4.5 - 7.5 คล้ายกับเชื้อราทั่วไป

#### 2.1.2.2 การผลิตก้อนเชื้อ

การผลิตก้อนเชื้อเห็ดหูหนูสูตรที่นิยมใช้ คือ

- ชี้เลื่อยไม้ยางพารา น้ำหนัก	100	กิโลกรัม
- แป้งข้าวสาลีหรือน้ำตาลน้ำหนัก	3 - 4	กิโลกรัม
- รำละเอียดน้ำหนัก	5	กิโลกรัม
- ข้าวโพดบ่นน้ำหนัก	3 - 5	กิโลกรัม
- ดิเกลือน้ำหนัก	0.2	กิโลกรัม
- ปูนขาวน้ำหนัก	0.5 - 1	กิโลกรัม
- น้ำสะอาดน้ำหนัก	70 - 80	กิโลกรัม

นำส่วนผสมต่างๆ มาคลุกเคล้าผสมให้เข้ากัน ค่อยๆ ผสมน้ำลงไปให้ชี้เลื่อยมีความชื้นประมาณ 60 - 70 % ทดสอบโดยใช้มือกำส่วนผสมขึ้นมาแล้วบีบดูเมื่อคลายมือออก หากชี้เลื่อยมีความชื้นพอเหมาะชี้เลื่อยอาจจะแบ่งออกเป็น 2 - 3 ก้อนใหญ่เท่านั้น ไม่แตกละเอียดเป็นก้อนเล็กๆ ซึ่งแสดงว่าแห้งเกินไปหรือจับเป็นก้อนใหญ่เพียงก้อนเดียว ซึ่งแสดงว่าชื้นเกินไป เมื่อส่วนผสมได้ที่แล้วบรรจุลงถุงพลาสติกทึบร้อนประมาณ 8 - 10 ซิต อัดก้อนให้แน่นพอสมควร ส่วนปากถุงใส่คอขวดใช้ยางรัดอุดจุกสำลีปิดทับด้วยกระดาษทรายอีกชั้น นำไปนึ่งด้วยหม้อนึ่งเป็นเวลา 3 - 4 ชั่วโมง นับจากน้ำเดือด เมื่อนำออกมาตั้งไว้ให้เย็น ทำการเขี่ยเชื้อเห็ดลงไป แล้วนำไปบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ก้อนเชื้อเห็ดหูหนู

ที่มา : [http://pawakronfarm.blogspot.com/2012/09/blog-post\\_18.html](http://pawakronfarm.blogspot.com/2012/09/blog-post_18.html)

#### 2.1.2.3 การทำให้ออกดอก

เมื่อเส้นใยเห็ดหูหนูเจริญเต็มก้อนเชื้อแล้ว การทำให้เห็ดเกิดดอกควรปฏิบัติดังนี้

- การกรีดถุง ถอดคอขวดพลาสติกออกแล้วรวบปากถุงใช้ยางรัดให้แน่น ใช้มีดกรีดข้างถุงโดยรอบ กรีดเป็นรูปกากบาทเล็กๆ หรือเป็นช่วงสั้นๆ ประมาณ 1 นิ้ว
- การวางก้อนเชื้อ การวางก้อนเชื่อนิยมวางก้อนเชื้อแบบแฉวน โดยใช้ลวดแทงให้ทะลุก้อนเชื้อในแนวตั้งซ้อนกันเป็นพวง พวงละ 10 ก้อน



รูปที่ 2.3 การวางก้อนเชื้อแบบแฉวน

ที่มา : [http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-MORdN3mYC2Q/UE3xG93rnxI/AAAAAAAAAGvo/C6UADU2SWe8/s320/Jew3.jpg)

[MORdN3mYC2Q/UE3xG93rnxI/AAAAAAAAAGvo/C6UADU2SWe8/s320/Jew3.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-MORdN3mYC2Q/UE3xG93rnxI/AAAAAAAAAGvo/C6UADU2SWe8/s320/Jew3.jpg)

#### 2.1.2.4 การเก็บผลผลิต

ดอกเห็ดหูหนูเมื่อเกิดระยะแรกขอบจะหนา และโค้งคล้ายถ้วย เมื่อเจริญเต็มที่แล้วขอบของดอกเห็ดจะบานโค้งเป็นลอน การเก็บเมื่อดอกเห็ดโตเต็มที่พร้อมกันแล้วใช้มือรวบแล้วดึงเบาๆ นำมาตัดก้านพร้อมทั้งเศษวัสดุที่ติดมาด้วยออกทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ว่านหางจระเข้



รูปที่ 2.4 ต้นว่านหางจระเข้

ที่มา : <https://medthai.com/wp-content/uploads/2013/08/ต้นว่านหางจระเข้.jpg>

อาณาจักร: Plantae

หมวด: Magnoliophyta

ชั้น: Liliopsida

อันดับ: Asparagales

วงศ์: Asphodelaceae

สกุล : Aloe

สปีชีส์: *A. vera*

ว่านหางจระเข้ มีชื่อท้องถิ่นอื่น ๆ เช่น ว่านไฟไหม้ (ภาคเหนือ), หางตะเข้ (ภาคกลาง) เป็นต้น ต้นว่านหางจระเข้ มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในแถบชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา เป็นพืชไม้ล้มลุกมีอายุหลายปี มีความสูงประมาณ 0.5 - 1 เมตร ลำต้นเป็นข้อปล้องสั้น มีใบเป็นใบเดี่ยว ใบหนาและยาว อวบน้ำ แผ่นใบมีสีเขียว มีจุดยาวสีขาวอ่อนออกเรียงเวียนรอบต้น โคนใบใหญ่ ปลายใบแหลม ขอบใบหยัก มีหนามแหลมเล็กๆ สีขาวอยู่ห่างกัน ข้างในใบเป็นวุ้นสีเขียวอ่อน ส่วนดอกว่านหางจระเข้ ออกดอกเป็นช่อที่ปลายยอด ดอกมีสีแดงอมสีเหลือง ก้านช่อดอกยาว โคมเชื่อมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 6 แฉก เรียงเป็น 2 ชั้น เป็นรูปแตร ส่วนผลว่านหางจระเข้ เป็นผลแห้งคล้ายรูปกระสวย

คำว่า “อะโล” (Aloe) มาจากภาษากรีกโบราณ หมายถึง ว่านหางจระเข้ เป็นคำที่แผลงมาจากคำว่า “Allal” ในภาษาฮีบรู ความหมายว่า ฝาดหรือขม ว่านหางจระเข้ปกติแล้วเป็นพืชที่ขึ้นในเขตร้อนภายหลังได้แพร่ขยายพันธุ์ไปสู่เอเชียและยุโรป และเป็นที่ยอมรับของทั่วโลกไปแล้ว โดยว่านหาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จระเข้จะมีมากมายกว่า 300 สายพันธุ์ ต้นมีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตรไปจนถึงสายพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ ลักษณะพิเศษของว่านหางจระเข้ก็คือ มีใบแหลมคล้ายเข็มมีเนื้อหนาและในเนื้อมีน้ำเมือกเหนียว ว่านหางจระเข้ มีสรรพคุณในการรักษาแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แผลสด ช่วยบรรเทาอาการปวดแสบปวดร้อน ใช้ทาเพื่อป้องกันรอยแผลเป็น ซึ่งสารที่สามารถใช้รักษาแผลดังกล่าวได้เป็นสาร ประเภทไกลโคโพรตีนชื่อว่า Aloctin A ที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคกระเพาะ (Saito, Imanishi, and Okabe, 1989) และเป็นสารปรับปรุงภูมิคุ้มกัน (Imanishi, 1993)



รูปที่ 2.5 ว่านหางจระเข้

ที่มา : <https://medthai.com/wp-content/uploads/2013/08/ว่านหางจระเข้.jpg>

### 2.2.1 สรรพคุณ

- ช่วยป้องกันโรคเบาหวาน ด้วยการรับประทานเนื้อวุ้นหรือจะทำเป็นน้ำปั่น
- ช่วยแก้อาการปวดศีรษะ
- ช่วยรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ช่วยป้องกันและลดการเกิดแผลในกระเพาะขณะท้องว่าง
- ช่วยแก้กระเพาะลำไส้อักเสบ
- ใช้เป็นถ่าย ยาระบาย
- ช่วยรักษาอาการท้องผูก
- ช่วยรักษาโรคผิวหนัง
- ช่วยแก้หนองใน
- ช่วยแก้มุตกิดหรือระดูขาวของสตรี
- ช่วยบรรเทา และแก้อาการปวดตามข้อ
- ช่วยรักษาแผลสด แผลจากของมีคม แผลที่ริมฝีปาก แก้มฝี แก้มตะมอย
- ช่วยรักษาแผลถลอกและแผลจากการถูกครูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วยรักษาแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก
- ช่วยขจัดรอยแผลเป็น ทำให้แผลเป็นจางลง
- ช่วยรักษาตาปลา และฮ่องกงฟุต
- ช่วยรักษาอาการผิวหนังไหม้จากแสงแดดหรือไหม้เกรียมจากการฉายรังสี

## 2.2.2 การเพาะปลูก

ว่านหางจระเข้เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดินปนทราย ดินร่วนที่มีปุ๋ยอุดมสมบูรณ์ เกษตรกรมักเริ่มปลูกประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม เตรียมดินโดยไถพลิกดินตากแดด 2 สัปดาห์ แล้วยกร่องสูงประมาณ 50 - 60 เซนติเมตร มีระยะห่างระหว่างแถว 70 เซนติเมตร จากนั้นขุดหลุมลึกประมาณ 6 นิ้ว แล้วนำต้นว่านหางจระเข้ลงปลูก

### 2.2.2.1 การดูแลรักษา

- การให้น้ำ ควรให้น้ำแบบเป็นฝอยกระจาย และสม่ำเสมอ โดยทั่วไปจะรดน้ำสัปดาห์ละครั้งในช่วงเช้า สำหรับฤดูร้อนควรรดน้ำวันเว้นวันหรือทุกวันในตอนเย็น ส่วนฤดูหนาว และฤดูฝนไม่จำเป็นต้องรดน้ำ

- การให้ปุ๋ย ควรใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักกับต้นว่านหางจระเข้ โดยใส่ปุ๋ยคอกเดือนละครั้งในปริมาณไร่ละ 1 - 1.5 ตันต่อปี ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สูตร 30-5-5 ทุก 2 เดือน ในปริมาณไร่ละ 60 กิโลกรัมต่อปี และไม่ควรใส่ปุ๋ยเคมี เพราะอาจมีสารพิษตกค้างในใบได้

### 2.2.2.2 การเก็บเกี่ยว

ว่านหางจระเข้มีอายุโดยเฉลี่ยประมาณ 4 - 5 ปี (หากดูแลรักษาดี จะมีอายุยาว 7 - 8 ปี) มีระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกถึงเก็บเกี่ยว เฉลี่ยประมาณ 7 - 8 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุหน่อที่นำมาปลูก คือ หากนำหน่อสาวมาปลูก จะใช้ระยะเวลาเจริญเติบโตพร้อมเก็บเกี่ยวประมาณ 8 - 12 เดือน และจะมีอายุการให้ผลผลิตที่นานกว่าการนำหน่อแม่มาปลูก ซึ่งจะมีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ครั้งแรก ประมาณ 6 - 7 เดือน จากนั้นจึงสามารถเก็บผลผลิตได้ทุกเดือนตลอดทั้งปี

### 2.2.2.3 โรคและการป้องกัน

โรคของว่านหางจระเข้ มีสาเหตุสำคัญมาจากปัญหาน้ำท่วมขัง การให้น้ำในปริมาณมากหรือการปลูกซ้ำในที่เดิมหลายๆ ครั้ง ทำให้เกิดการสะสมของเชื้อโรค เชื้อราและโรคโคนเน่าได้

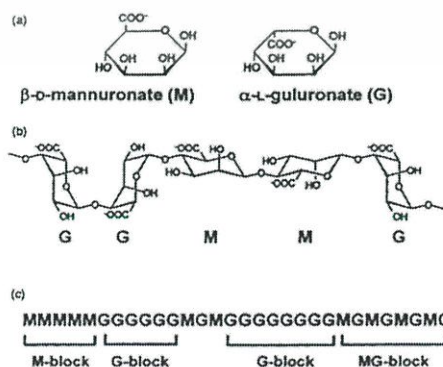
## 2.3 สารก่อเจล

สารก่อเจลเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่สามารถรวมตัวกับน้ำแล้วทำให้เกิดเจล เมื่อละลายในน้ำร้อนจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง เป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่นหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ทางด้านอุตสาหกรรมมักนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร โดยนิยมนำผลิตเป็นเยลลี่ มาร์มาเลต อาหารขึ้นรูป และเจลที่มีน้ำตาลหรือแคลลอรี่ต่ำ นักเทคโนโลยีด้านอาหารใช้คำว่า เจล เพื่อเก็บรักษารูปร่างอาหารที่มี ความชื้นสูงเมื่อถูกนำออกจากภาชนะบรรจุ

สารก่อเจลที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับอาหาร ได้แก่ อัลจิเนต เพคติน คาร์ราจีแนน เจลแลนกัน วุ้น แป้งตัดแปร เมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

### 2.3.1 อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนตสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตทางการค้า *Macrocystis pyrifera* มีอัลจิเนตประมาณ 14 - 19 % *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มีอัลจิเนตประมาณ 15 - 40 % อัลจิเนตเป็น unbranched binary copolymer ของ  $\beta$ -1,4 D-mannuronic acid (M) และกรดกลูคูโรนิก (L-guluronic acid : G) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่ เรียกว่า G- blocks และ M- blocks ตามลำดับ (รูปที่ 2.6) มีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG- โดยสัดส่วนของโคพอลิเมอร์ และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น พอลิเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) กรณีที่พอลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่าในอุตสาหกรรมอาหารใช้อัลจิเนตในการขึ้นรูปผลไม้ และผัก ขึ้นรูปปลาและเนื้อ พุดดิ้ง และขนมหวาน รวมถึงครีม และเยลลี่ที่ใช้ในขนมปัง



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอัลจิเนต

ที่มา : Phillips and Williams, 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 เพคติน (Pectin)

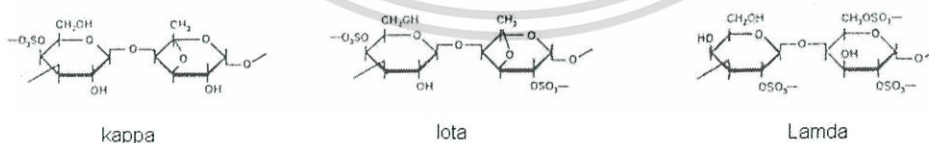
เพคตินสกัดได้จากเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม กากของแอปเปิลที่คั้นน้ำแล้ว และหัวบีท เพคตินประกอบไปด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลแรมโนส กาแลคโตส อะราบิโนส และน้ำตาลอื่นๆ จำนวนเล็กน้อย เพคตินประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ประมาณ 65 % โดยน้ำหนักเป็นสายหลัก (smooth regions) และมีกิ่งแขนง (hair regions) อาจเป็นแรมโนส กาแลคโตส อะราบิโนสและบางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล

ในอุตสาหกรรมอาหารมักนำมาผลิตแยม และเยลลี่ โดยเฉพาะเพคตินที่มีเมทอกซิลสูงต้องใช้น้ำตาลอย่างน้อย 55 % ในการสร้างเจล เพคตินเป็นสารก่อเจลที่นิยมมาใช้ในนมเปรี้ยว เนื่องจากกรดมีความเสถียร เพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ มักถูกนำมาใช้เคลือบในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ รวมถึงถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในโยเกิร์ตอีกด้วย

### 2.3.3 คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนนสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้มี ลิ ต ท า ง การค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* คาร์ราจีแนนมีโครงสร้างหลักเป็นกาแลคโตส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต ได้แก่ แคปป่า (Kappa) ไอโอด้า (Iota) และแลมด้า (Lambda)

ในอุตสาหกรรมอาหารคาร์ราจีแนนถูกนำมาใช้ในขนมหวาน เช่น พุดดิ้ง เครื่องดื่มที่ปั่นกับนม ไอศกรีม และนมช็อกโกแลต เนื่องจากความสามารถในการสร้างเจลในนมมีความเข้มข้นต่ำกว่าสารก่อเจลชนิดอื่น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแคปป่า ไอโอด้า และแลมด้าคาร์ราจีแนน

ที่มา : [http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/carrageenan\\_2.JPG](http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/carrageenan_2.JPG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

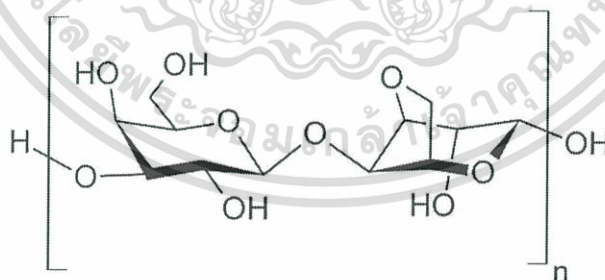
### 2.3.4 เจลแลนกัม (Gellan gum)

เป็นกัมชนิดหนึ่งที่ได้จากการหมักโดยแบคทีเรีย *Pseudomonas elodea* มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลแรมโนส กรดกลูโคนิกและน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล เจลแลนกัมเป็นสารก่อเจลที่มีลักษณะเฉพาะ คือมีการก่อเจล อย่างรวดเร็วถึงแม้ใช้ปริมาณน้อยลักษณะเจลใสและรสชาติดี

ในอุตสาหกรรมอาหารใช้ในการเติมลงในเบเกอรี่เพื่อทดแทนแป้ง และเพิ่มรสชาติในขนมหวานที่เป็นเจลที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเจลแลนกัมมีความใส และมีความคงตัวที่พอเหมาะ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับแซนแทนกัมหรือโลคัสปีนกัมเพื่อผลิตขนมหวานพร้อมรับประทานได้อีกด้วย เจลแลนกัมแบบ Deacylated ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการเก็บรักษาความชุ่มชื้น ปลอดภัยรสชาติ และรักษาความคงตัวของฟูดดิ้ง

### 2.3.5 วุ้น (Agar)

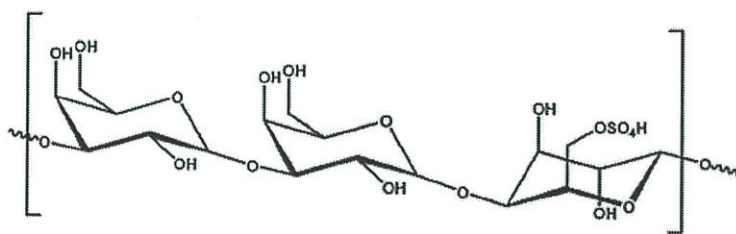
วุ้นสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตทางการค้า คือ *Gracilaria cartilagineum*, *Gracilaria confervoides* และ *Pteroclaia capillacea* ซึ่งสองชนิดแรกประเทศที่ผลิตได้แก่ ญี่ปุ่น สเปน ชิลี และเกาหลี โครงสร้างของวุ้นประกอบด้วยอะกาโรส และอะกาโรเพคติน ซึ่งอะกาโรสเป็นพอลิแซคคาไรด์ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked  $\beta$ -D-galactose เรียงสลับกันไป ส่วนอะกาโรเพคตินเป็นพอลิแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือนอะกาโรส แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณ 5 - 8 %



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของอะกาโรส

ที่มา : <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/16500500>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Agaropectin**

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของอะกาโรเพคติน

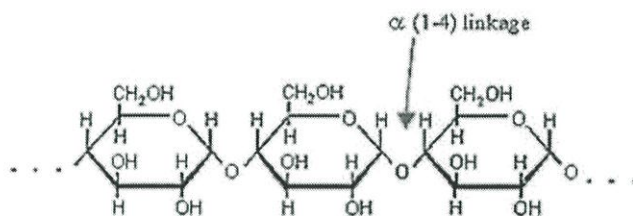
ที่มา : [https://www.researchgate.net/figure/277980516\\_fig1\\_Fig-1-Chemical-structure-of-agarose-and-agaropectin-D-G-d-galactopyranose-L-AG](https://www.researchgate.net/figure/277980516_fig1_Fig-1-Chemical-structure-of-agarose-and-agaropectin-D-G-d-galactopyranose-L-AG)

ในอุตสาหกรรมอาหารวุ้นถูกนำมาใช้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ลูกกวาด ขนมหวานของญี่ปุ่น เนื้อ ปลา ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์จากนม นมถั่วลิสง และเครื่องดื่ม วุ้นถูกใช้เป็นสารก่อเจลกันอย่างแพร่หลายในอาหารญี่ปุ่นแบบดั้งเดิม เช่น ถั่วแดงกวนหรือที่เรียกว่าโยกัง มิทซุมาเมะ โทโคโรเต็น และอีก มากมาย

#### 2.4 แป้ง (Starch)

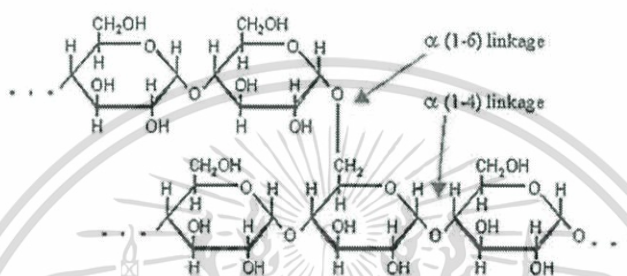
แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง และเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งสร้างได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช โดยโมเลกุลของแป้งจะรวมตัวกันเป็นเม็ดแป้ง (starch granule) ซึ่งมีขนาด และรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของแป้ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามขนาดโมเลกุล และลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) โดยอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 glycosidic linkage ที่ขดเป็นเกลียว (helix) วนซ้าย ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยพันธะ 2 ชนิดคือ  $\alpha$ -1,4 glycosidic linkage ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นเส้นตรง และพันธะ  $\alpha$ -1,6 glycosidic linkage ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นกิ่งก้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา : [www.opta-food.com/access/starch2.html](http://www.opta-food.com/access/starch2.html)

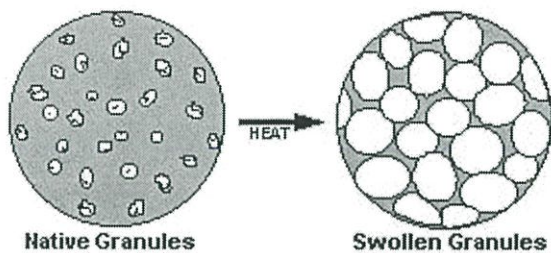
## 2.4.1 คุณสมบัติของแป้ง

### 2.4.1.1 การพองตัวและการละลาย

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25 - 30 % สามารถพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 เซลเซียสขึ้นไป จะสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น และการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystalline เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น โมเลกุลในส่วน crystalline ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็ก และอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystalline ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



รูปที่ 2.12 การพองตัวของเม็ดแป้ง

ที่มา : [http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2\\_1.html](http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2_1.html)

#### 2.4.1.2 ความหนืด

เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลาย และละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง

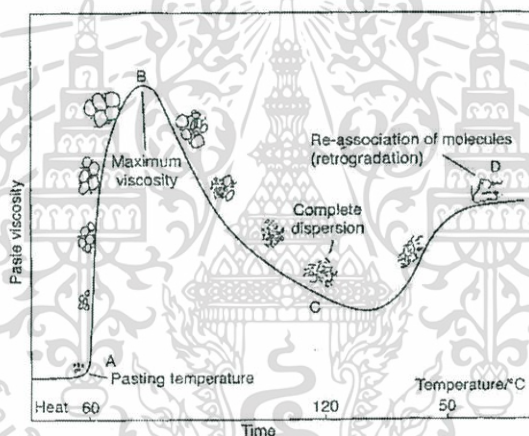
#### 2.4.1.3 การเกิดเจลลาติไนซ์

เมื่อนำแป้งใสในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมาก ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystalline จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง อุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดการเจลลาติไนซ์เรียกว่า pasting temperature อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60 - 70 °C ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ผลิตแป้ง ช่วงนี้เม็ดแป้งยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกออก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะของน้ำแป้งข้นความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงสุด และให้ความหนืดสูงสุด จากนั้นเม็ดแป้งจะแตกถึงจุดสูงสุด ซึ่งไม่สามารถคืนสภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1.4 การคืนตัวของแป้งสุก

การคืนตัวของแป้งเกิดขึ้นเมื่อนำแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ เมื่อเย็นตัวลงที่อุณหภูมิ ต่ำ โดยแป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมาก และเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กันหรือระหว่างชั้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้รวมตัวกันยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะกะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้



รูปที่ 2.13 การเกิดการคืนตัวของแป้ง

ที่มา : [http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/\\_11.JPG](http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/_11.JPG)

#### 2.4.2 แป้งชนิดต่างๆ

##### 2.4.2.1 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch หรือ Tapioca Starch)

แป้งมันสำปะหลังจัดว่าเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำ เฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 17.9 - 23.6 (Defloor *et al.*, 1998) จากการศึกษาของ Pongsawatmanit *et al.*, (2002) พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 17.0 และมีขนาดของโมเลกุลเท่ากับ 2,760 หน่วยกลูโคส และจากการศึกษาของ Li and Yeh (2001) พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.9 ซึ่งแป้งดิบโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลอะไมโลสอยู่ร้อยละ 20 และเป็นส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินร้อยละ 80 (Jenkins and Donal, 1995) แป้งที่ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาว จับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียน ลื่นมือ ให้ความหนืดสูง และเกิดการคืนตัวต่ำ จึงนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการขึ้นรูป เช่น แผ่นฟิล์มหรือเจลได้น้อย

#### 2.4.2.2 แป้งมันฝรั่ง (Potato starch)

เป็นแป้งที่เมื่อสุกแล้วจะมีความเหนียวข้น สีใสมากกว่าแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด จะมีความเหนียวไม่คืนตัว แป้งมันฝรั่งจะพบอะไมโลสอยู่ร่วมกับอะไมโลเพคตินในส่วนผลึก จากการศึกษาการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งมันฝรั่งบ่งชี้ว่า อะไมโลสมีการกระจายอยู่ในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง (Jane and Shen, 1993) แป้งประกอบด้วย มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 19 (McCready and Hassid, 1943)

#### 2.4.2.3 แป้งข้าวเจ้า (Rice flour)

เป็นแป้งที่ทำจากเมล็ดข้าวเจ้า มีลักษณะเป็นผงสีขาวจับแล้วสากมือเล็กน้อย เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะขุ่นร้อน ถ้าทิ้งให้เย็นจะอยู่ตัวเป็นก้อน ร่วนไม่เหนียว แป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่ได้จาก กัญญ์พีชมีลักษณะผลึกแบบ A มีการเจลลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิ 75 °C ปริมาณร้อยละ 61 (Goering *et al.*, 1974)

#### 2.4.2.4 แป้งข้าวเหนียว (Glutinous Rice flour)

เป็นแป้งที่ทำมาจากเมล็ดข้าวเหนียว ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว จับแล้วสากมือเล็กน้อย เมื่อนำไปทำให้สุกจะมีลักษณะขุ่นข้น เหนอะหนะ พอแป้งถูกความร้อนจะจับตัวเป็นก้อนค่อนข้างเหนียว โดยแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง มีอะไมโลสน้อยมากประมาณ 2 %

#### 2.4.2.5 แป้งข้าวโพด (corn flour อาจเรียกว่า maize flour)

เป็นแป้ง ที่ผลิตจากเมล็ดข้าวโพด (*Zea may Lin.*) โดยการบดแห้ง มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวนวล จับแล้วผิวสัมผัสของแป้งเนียนลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะข้น ใส และไม่คืนตัวง่าย เมื่อเป็นตัวแป้งจะอยู่ตัวจับเป็นก้อนแข็ง ร่วนเป็นมันวาว มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 29.4 % (Tester and Morrison, 1990)

#### 2.4.2.6 แป้งถั่วเขียว (mung bean starch)

เป็นพอลิเมอร์ จากธรรมชาติชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ประกอบด้วยอะไมโลส 29.9 - 33.6 % (Kaur *et al.*, 2011) เป็นแป้งที่เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะข้น ค่อนข้างใสเมื่อพักให้เย็นจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง อยู่ตัวค่อนข้างเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.7 แป้งถั่วเหลือง (Soybean flour)

แป้งถั่วเหลืองประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 35 ถั่วเหลืองมีปริมาณแป้งน้อยมาก (0.19 – 0.91 %) (Wilson *et al.*, 1978) มีปริมาณอะไมโลสประมาณ 19.3 - 21.9 % (Stevenson *et al.*, 2006)

### 2.5 โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบางบาง (Thin Layer Chromatography ; TLC)

โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง บางเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารตัวอย่างซึ่งมีส่วนประกอบหลายๆ ชนิด นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่างๆ ใช้ในการยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนองค์ประกอบในของผสม

ความสามารถในการแยกแบบโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง อาศัยคุณสมบัติการดูดซับของ 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคที่อยู่กับที่หรือเฟสที่อยู่กับที่ (stationary phase) และวัฏภาคที่เคลื่อนที่ได้หรือเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ในการแยกสารโดยวิธีโครมาโทกราฟี อาศัยหลักที่ว่า เฟสที่อยู่กับที่จะถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระจก แผ่นอลูมิเนียมหรือแผ่นพลาสติกบางๆ สารตัวอย่างจะถูกแต้มไว้ใกล้ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่น จากนั้นนำแผ่นดังกล่าวไปวางในภาชนะที่ใส่เฟสเคลื่อนที่ได้ไว้ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซับก็จะพาสารตัวอย่างขึ้นไปด้วยจึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้น โดยพบว่า สารใดละลายได้ดีและถูกดูดซับได้น้อย สารนั้นจะเคลื่อนที่ได้เร็ว ในทางตรงข้ามสารใดละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดี สารนั้นก็เคลื่อนที่ได้ช้า เนื่องจากสารแต่ละสารมีความสามารถในการละลายและดูดซับได้ต่างกัน จึงทำให้อัตราการเคลื่อนที่ (อัตราการกระจาย) ของสารแต่ละสารต่างกัน

#### 2.5.1 ลักษณะของโครมาโทกราฟี

##### 2.5.1.1 Adsorption Chromatography

ในกรณีนี้จะมีเฟสที่อยู่กับที่ เป็นของแข็ง มักเรียกว่าตัวดูดซับ (adsorbent) เช่น อะลูมินาหรือซิลิกาเจล ส่วนเฟสเคลื่อนที่อาจเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ การแยกเกิดเนื่องจากสารแต่ละชนิดถูกดูดซับไว้โดยตัวดูดซับในอัตราที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ตัวอย่างของโครมาโทกราฟี แบบนี้คือ Thin layer chromatography (TLC) และ Column chromatography (CC) ทั้งสองวิธี เป็นเทคนิคที่สามารถทดลองได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1.2 Partition chromatography

ในกรณีนี้จะมีเฟสที่อยู่กับที่เป็นของเหลว ซึ่งจะถูกพยุงอยู่ด้วยของแข็งที่มีรูพรุน ตัวอย่างเช่น Paper chromatography ซึ่งมีเฟสที่อยู่กับที่เป็นน้ำและถูกพยุงด้วย เซลลูโลสในกระดาษ เป็นต้น ส่วนเฟสเคลื่อนที่อาจเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ทั้งนี้ การแยกจะเกิดจากความสามารถในการกระจายตัวของสารแต่ละชนิดจาก เฟสที่อยู่กับที่ไปยังเฟสเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่ต่างกัน นอกจาก Paper chromatography ซึ่งสามารถทำได้ง่ายแล้ว ยังมีเทคนิคทางโครมาโทกราฟีอื่นๆ ที่มีความละเอียดและประสิทธิภาพสูง แต่ต้องใช้เครื่องมือที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีราคาแพง เช่น gas-liquid chromatography (GC) และ liquid-liquid chromatography (LC) จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยเช่นกัน

### 2.5.2 ขั้นตอนการใช้งาน

โครมาโทกราฟีแผ่นบางเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว และให้ผลดีสามารถใช้ได้กับสารเกือบทุกชนิด จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้โครมาโทกราฟีแผ่นบาง ในการแยกสารพิษสูงชนิดของสาร และตรวจสอบความบริสุทธิ์เบื้องต้น โดยเฉพาะในกรณีที่สารเป็นสารระเหยยาก หรือมีจำนวนน้อย นอกจากนี้ยังสามารถหาปริมาณของสารในสารผสมได้ด้วย ลำดับขั้นตอนในการทำโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง มีดังนี้

#### 2.5.2.1 ทำความสะอาดแผ่นกระจก

แผ่นกระจกที่จะเคลือบด้วยซิลิกาเจลหรืออะลูมิเนียม นั้นจะต้องล้างด้วยผงซักฟอกก่อนแล้วจึงนำมาแช่ใน cleaning solution (เตรียมโดยใช้  $K_2Cr_2O_7$ ,  $2H_2O$  92 กรัม ละลายในน้ำ 458 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติมกรดกำมะถันเข้มข้น 800 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายนี้) เป็นเวลา 10 - 15 นาที เพื่อกำจัดเอาคราบน้ำมันบนแผ่นกระจก ทดสอบว่าแผ่นกระจกยังมีคราบน้ำมันอยู่หรือไม่ โดยนำไปจุ่มลงในน้ำกลั่น ถ้าน้ำเกาะบนแผ่นกระจกตลอดโดยที่ไม่แยกเกาะเป็นหยดๆ ก็แสดงว่าแผ่นกระจกนี้สะอาดแล้ว แต่ถ้าหากน้ำเกาะบนแผ่นกระจกเป็นหยดๆ แสดงว่าแผ่นกระจกนั้นยังมีคราบน้ำมันอยู่ จะต้องทำความสะอาดแผ่นกระจกนี้ใหม่จนกว่าจะสะอาดแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งนำไปใช้ได้

### 2.5.2.2 เตรียมแผ่นโครมาโทกราฟี (Chromatoplate)

สารที่ใช้ในการเคลือบแผ่นกระจก ได้แก่ ซิลิกาเจล และอลูมิเนียม ซึ่งสารนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับและความสามารถในการดูดซับสารนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในซิลิกาเจลและอลูมิเนียม ถ้ามีน้ำอยู่มากจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสารน้อยลง การเคลือบแผ่นกระจกทำได้ดังนี้

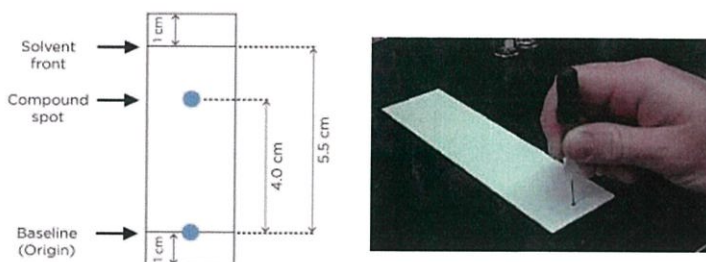
- Dipping เป็นการเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีโดยการจุ่มแผ่นกระจกลงในสารละลายชั้นของซิลิกาเจล วิธีนี้เหมาะสำหรับการเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีขนาดเล็กเท่านั้น

- Spreading เป็นการเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีโดยการกระจายสารละลายชั้นของซิลิกาเจลในน้ำลงบนแผ่นกระจก วิธีนี้นิยมใช้เตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีจำนวนมาก

การเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีทั้งสองวิธีล้วนมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ การเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟี โดยวิธี dipping นั้น ทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว แต่ความหนาของแผ่นโครมาโทกราฟี อาจจะไม่เท่ากัน ส่วนวิธี spreading จะต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ได้แผ่นโครมาโทกราฟีที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเสียเวลานาน แต่วิธีนี้จะได้แผ่นโครมาโทกราฟีที่มีความหนาสม่ำเสมอ ทำความหนาได้ตามต้องการและทำได้ทั้งแผ่นโครมาโทกราฟีแผ่นเล็กและแผ่นใหญ่

### 2.5.2.3 การหยุดสารบนแผ่นโครมาโทกราฟี

กำหนดตำแหน่งที่จะจุดสารที่ต้องการแยก โดยนำแผ่นโครมาโทกราฟีมาวัดระยะจากปลายล่างประมาณ 1 เซนติเมตรหรือสูงกว่าระดับของตัวทำละลายในอ่าง TLC และปลายบน 0.5 - 1.0 เซนติเมตร แล้วทำเครื่องหมายเบาๆ ไว้ทั้ง 2 แห่ง (ดังรูปที่ 2.14) นำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่ระเหยง่ายให้มีความเข้มข้นที่พอเหมาะโดยใช้หลอดคาปิลลารีจุ่มลงในสารละลายนี้แล้วแตะลงบนตำแหน่งที่ทำไว้แล้วข้างต้น หลังจากนั้นปล่อยให้หยุดของสารนั้นแห้งที่อุณหภูมิห้องหรือใช้เครื่องเป่าสารที่หยุดลงไปต้องระวังอย่าให้มีจุดใหญ่จนเกินไป คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เพราะถ้าหากจุดสารขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการซ้อนทับกับจุดที่อยู่ใกล้เคียงเมื่อเคลื่อนที่สูงขึ้นไป



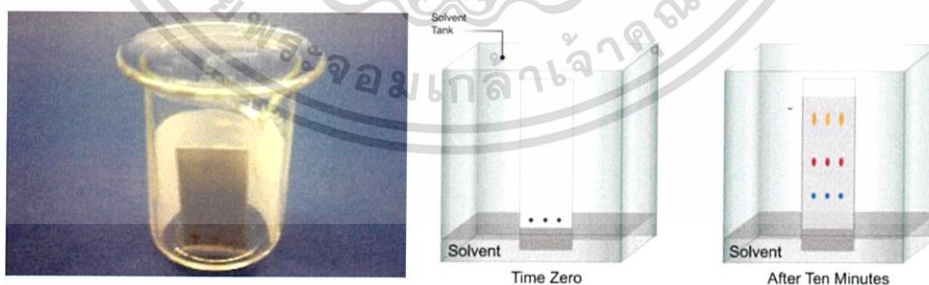
รูป 2.14 การวัดระยะก่อนที่จะหยดสารและการหยดสารลงบนโครมาโทเพลท

ที่มา : [www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc](http://www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc)

#### 2.5.2.4 นำแผ่นโครมาโทกราฟีใส่ลงในเฟสเคลื่อนที่

ก่อนที่จะนำแผ่นโครมาโทกราฟีมาใส่ในอ่าง TLC จะต้องเลือกตัวทำละลายที่จะใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ในกรณีนี้นิยมเรียกตัวทำละลายที่ชื่อว่า developing solvent ซึ่งการเลือกตัวทำละลายนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ต้องการแยก เช่น กรณีที่สารมีขั้วน้อยจะต้องใช้ developing solvent ที่ค่อนข้างไม่มีขั้ว แล้วจึงเพิ่มขั้วของตัวทำละลายตามความมีขั้วของสารที่ต้องการแยกตัวทำละลายที่ใช้กันมาก ได้แก่ (เรียงตามความมีขั้วจากน้อยไปมาก) Petroleum ether/Hexane < cyclohexane < Carbon tetrachloride < Benzene < chloroform < carbon disulfide < diethyl ether < dichloromethane < ethyl acetate < acetone < 2-propanol < ethanol < methanol < acetic acid

โดยปกตินิยมใช้ตัวทำละลายผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยก เช่น Hexane/Diethyl ether, Chloroform/Methanol, Petroleum ether/Ethyl acetate/Methanol เป็นต้น

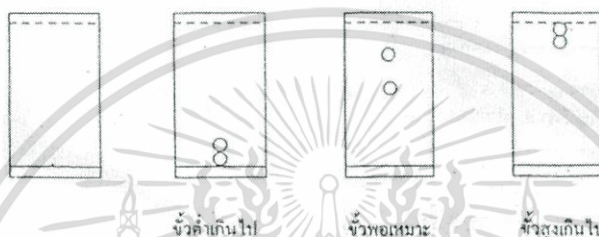


รูป 2.15 การวางแผ่นโครมาโทกราฟีใน TLC tank

ที่มา : [www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc](http://www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc)

เมื่อได้ตัวทำละลายที่จะใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่แล้วให้ใส่ลงในอ่าง TLC และวางกระดาษกรองไว้รอบข้างอ่าง TLC ให้กระดาษกรองชุ่มไปด้วยตัวทำละลาย (ดังรูปที่ 2.15) ซึ่งจะทำให้ภายในภาชนะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวมนัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมตัวด้วยไอของตัวทำละลาย และเป็นผลให้ตัวทำละลายนี้เคลื่อนที่ได้เร็ว ระดับของตัวทำละลายนี้จะต้องต่ำกว่าจุดของสารบนแผ่นโครมาโทกราฟี วางแผ่นโครมาโทกราฟีลงในอ่าง TLC แล้วปิดฝา หลังจากนั้นตัวทำละลายนี้เคลื่อนที่พาเอาสารขึ้นไปบนแผ่นโครมาโทกราฟี ซึ่งแผ่นโครมาโทกราฟีที่มีจุดของสารที่แยกแล้วเรียกว่าโครมาโทแกรม (Chromatogram) และเมื่อตัวทำละลายเคลื่อนที่จนถึงระดับด้านบนของแผ่นโครมาโทกราฟี ซึ่งเรียกระดับนี้ว่า solvent front นำแผ่นโครมาโทกราฟีออกมาจากอ่าง TLC แล้วทำให้แห้ง พิจารณาว่าตัวทำละลายใดเหมาะสมที่จะทำให้สารแยกออกจากกันได้ดีที่สุด ให้พิจารณาตามรูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างของแผ่นโครมาโทแกรมเมื่อเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่างกัน



รูป 2.16 ตัวอย่างโครมาโทแกรมเมื่อเลือกใช้ตัวทำละลายที่ขั้วต่างกัน

ที่มา : [www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc](http://www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc)

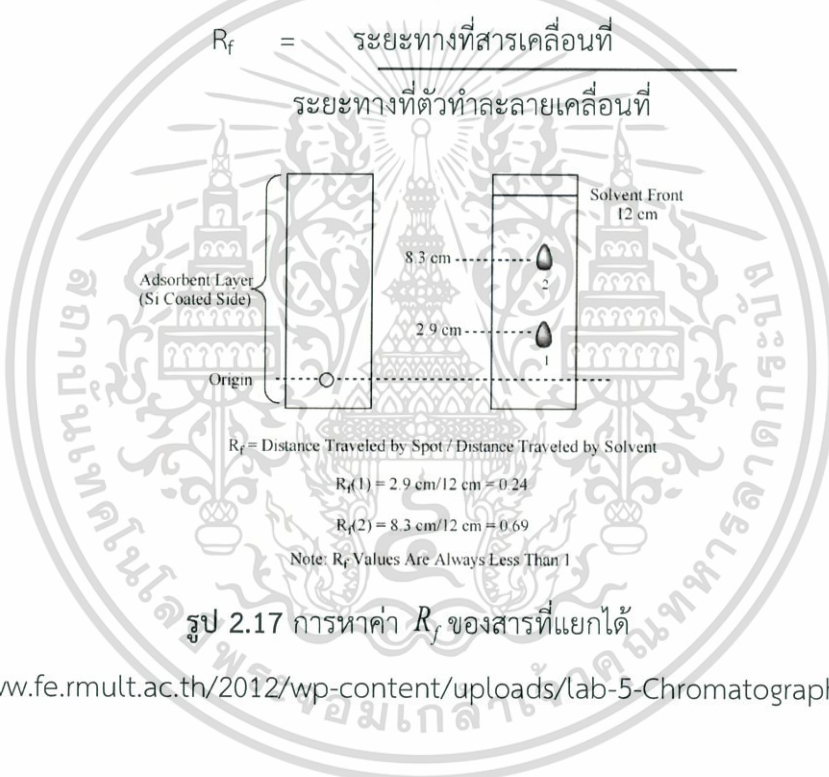
#### 2.5.2.5 การหาตำแหน่งของสารบนแผ่นโครมาโทกราฟี

นำแผ่นโครมาโทกราฟีที่แห้งแล้วมาหาตำแหน่งของสารได้โดยดูจากสีของสารนั้นๆ ที่ปรากฏให้เห็นด้วยตา ในกรณีที่สารไม่มีสี จะต้องทำให้สารนั้นปรากฏสีขึ้นบนแผ่นโครมาโทกราฟีแล้วจึงทำเครื่องหมาย โดยการวางวงรอบสีที่ปรากฏไว้ ทั้งนี้การเลือกใช้เทคนิคใดนั้น ขึ้นกับสมบัติของสารที่ศึกษา เช่น การฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในกรณีที่สารนั้นสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้จะปรากฏสีภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต การนำแผ่นโครมาโทกราฟีไปวางในภาชนะที่มีผลึกไอโอดีน (ใช้ผลึก  $I_2$  0.5 กรัม ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด) สารอินทรีย์เกือบทุกชนิด (ยกเว้น saturated hydrocarbons และ halides) จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนเป็นสีน้ำตาลหรือสีม่วงปรากฏบนแผ่นโครมาโทกราฟีชั่วคราว การพ่นด้วย developing agents อื่นๆ ที่เกิดปฏิกิริยากับสารที่จะแยกแล้วให้สีปรากฏให้เห็นโดยสามารถเลือกใช้รีเอเจนต์ได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.6 การหาค่า $R_f$ ของสาร

ค่า  $R_f$  หรือค่า “rate of flow” คือ อัตราส่วนของระยะทางที่สารเคลื่อนที่ ต่อ ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ ในกรณีที่ใช้ตัวดูดซับเดียวกัน ใช้ระบบตัวทำละลายเดียวกัน และ ระบบที่ศึกษาอยู่ในสภาวะ (อุณหภูมิ, ความดัน, ความหนาของตัวดูดซับ ฯลฯ) เดียวกัน สารหนึ่งๆ จะมีค่า  $R_f$  คงที่เสมอ การวัดเปรียบเทียบค่า  $R_f$  จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการพิสูจน์ชนิดของสารถ้าระยะทาง จากจุดเริ่มต้นถึงจุดศูนย์กลางวงกลมของสีที่ปรากฏ เป็นระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้ และระยะทางจาก จุดเริ่มต้นถึง solvent front เป็นระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ได้ จะได้ว่าในการพิสูจน์สารในสาร ผสม ให้หยดสารผสมและสารมาตรฐานในแผ่นโครมาโทกราฟีแผ่นเดียวกันถ้า  $R_f$  เท่ากัน และมีสี เหมือนกัน แสดงว่าอาจเป็นสารเดียวกัน การหาค่า  $R_f$  ของสารแต่ละตัวที่แยกได้ แสดงดังรูปที่ 2.17



รูป 2.17 การหาค่า  $R_f$  ของสารที่แยกได้

ที่มา : [www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc](http://www.fe.rmut.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc)

### 2.5.3 การประยุกต์ใช้โครมาโทกราฟีแบบผิวบางทางเคมีอินทรีย์

- สารที่มีค่า  $R_f$  ภายใต้สภาวะเดียวกัน ย่อมเป็นสารเดียวกัน จึงใช้พิจารณาสารที่ สงสัยเทียบ กับสารมาตรฐานได้

- ตรวจสอบจำนวนสารในสารผสม โดยดูจำนวนจุดของสารบนโครมาโทแกรม

- หาตัวทำละลายที่เหมาะสมโดยโครมาโทกราฟีคอลัมน์

- ติดตามสารที่แยกจากคอลัมน์ โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง โดยเทียบค่า

$R_f$  ของแต่ละแพคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารซึ่งสารบริสุทธิ์ ควรจะมีจุดเดียว
- ใช้ติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยาว่าปฏิกิริยานั้นเกิดขึ้นหรือไม่ สิ้นสุดแล้วหรือยังมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นกี่ชนิด เป็นต้น

## 2.6 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR) (แมน และคณะ, 2552)

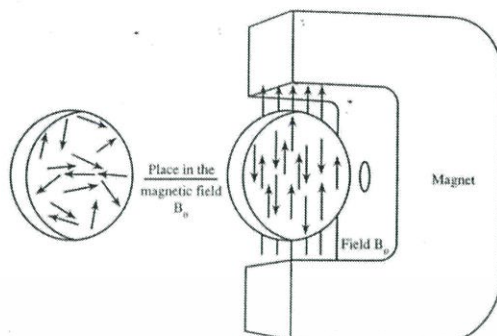
NMR เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ศึกษาเกี่ยวกับนิวเคลียสตลอดจนสภาวะข้างเคียงรอบนิวเคลียสนั้น นอกจากนี้จะใช้ NMR ในการศึกษาสูตรโครงสร้างของสารแล้วยังสามารถนำมาใช้ในการทำปริมาณวิเคราะห์ได้ด้วยดังนั้นจึงสามารถนำสารวิเคราะห์แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ สารตัวอย่างดังกล่าวนี้อาจเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊สก็ได้ แต่ที่นิยมศึกษามากที่สุด คือ สารตัวอย่างที่อยู่ในลักษณะของสารละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ถ้าเป็นของแข็งต้องใช้เทคนิค NMR ของแข็ง เรียกว่า เทคนิค MAS (Magic Angle Spinning) ซึ่งมีประโยชน์มากในการศึกษาสูตรโครงสร้างของสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์ ถ่านหิน และหินน้ำมัน เป็นต้น

เทคนิคทาง NMR เริ่มต้นเมื่อปี ค.ศ. 1946 โดยนักฟิสิกส์สองกลุ่ม คือ Purcell, Torrey และ Pound ที่มหาวิทยาลัย Harvard กับ Bloch, Hansen และ Packard ที่มหาวิทยาลัย Stanford ซึ่งทั้ง Purcell และ Bloch ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์เมื่อปี ค.ศ. 1952 การประยุกต์ใช้ NMR ทางด้านเคมี เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1949 โดย knight และการศึกษาอย่างเป็นระบบเริ่มในปี ค.ศ.1953 โดย Meyer, Saika และ Gutowsky หลังจากนั้น ปี ค.ศ. 1959 NMR เครื่องแรกก็เริ่มมีจำหน่ายในทางการค้า จากนั้นเป็นต้นมาเทคนิคทางด้าน NMR ก็ได้รับการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง จนกลายมาเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่สำคัญในการวินิจฉัยโรคสำคัญในวงการแพทย์

### 2.6.1 หลักการของ NMR

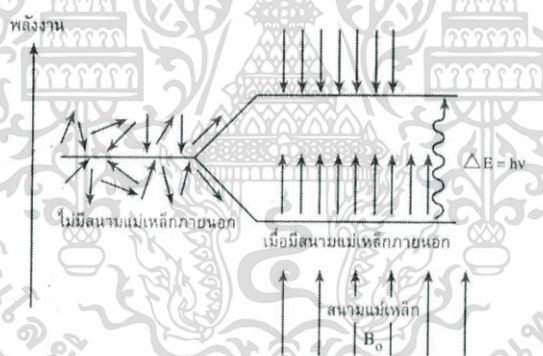
นิวคลีโอ (nuclei) ของธาตุบางชนิดมีสมบัติของแม่เหล็ก เนื่องจากมันมีประจุและประพหุติตัวเหมือนกับว่ามันหมุนอยู่ตลอดเวลา เราสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของนิวคลีโอเหล่านี้ได้ เมื่อนำนิวคลีโอไปวางในสนามแม่เหล็ก ( $B_0$ ) ตัวอย่างนิวคลีโอที่มีสมบัติแม่เหล็ก ได้แก่ นิวคลีโอของ  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$  เป็นต้น เช่น นิวคลีโอ  $^1\text{H}$  และ  $^{13}\text{C}$  ซึ่งนิวคลีโอเหล่านี้จะประพหุติตัวเหมือนกับเป็นแม่เหล็กอันเล็กๆ ในสนามแม่เหล็ก และจะจัดตัวอยู่ในแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านควอนตัมของนิวคลีโอทำให้การจัดตัวนิวคลีโอ  $^1\text{H}$  และเอกสารนี้เป็นเอกสารทสองวินวสำหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเทนาไปเชิงประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$^{13}\text{C}$  อยู่ในลักษณะที่เป็นไปได้ 2 แบบ คือ จัดตัวตามทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก (พวกที่มีพลังงานต่ำ) หรือจัดตัวทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก (พวกที่มีพลังงานสูง) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การจัดตัวของนิวเคลียสที่เป็นแม่เหล็กในสารตัวอย่างเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก  $B_0$

ความแตกต่างของพลังงาน ( $\Delta E$ ) ระหว่างการจัดตัวทั้งสองแบบของนิวเคลียสจะเป็นไปตามสมการ  $\Delta E = h\nu$  ความสัมพันธ์ของพลังงานนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.19



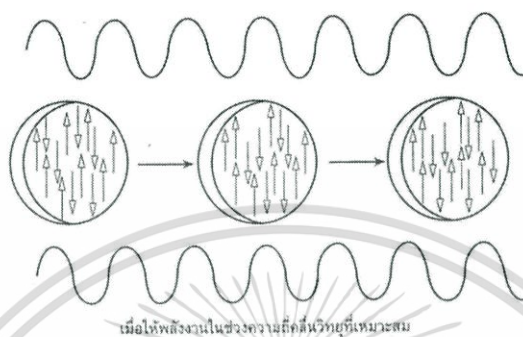
รูปที่ 2.19 พลังงานที่แตกต่างกัน ( $\Delta E$ ) ระหว่างการจัดตัวของนิวเคลียสทั้งสองแบบเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากสนามแม่เหล็กข้างนอกที่ใช้ ( $B_0$ ) มีความแรง มีความแรง 2.35 เทสลา (T) ดังนั้น  $\Delta E$  สำหรับนิวเคลียสของ  $^1\text{H}$  จะมีค่าประมาณ  $6.6 \times 10^{-26}$  จูล และสอดคล้องกับความถี่ ( $\nu$ ) ประมาณ 100 เมกะเฮิรซ์ (MHz) ซึ่งความถี่อันนี้อยู่ในช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุสำหรับนิวเคลียส  $^{13}\text{C}$  นั้น สนามแม่เหล็กขนาด 2.35 เทสลา ความแตกต่างของระดับพลังงานจะเท่ากับ  $1.7 \times 10^{-26}$  จูล ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ 25 MHz หากนำตัวอย่างที่มีนิวเคลียส  $^1\text{H}$  ไปวางในสนามแม่เหล็ก (ดังรูปที่ 2.20) แล้วให้พลังงานในช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุที่เหมาะสม จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียส นิวเคลียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับพลังงานต่ำจะดูดกลืนพลังงานแล้วขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูง (จัดตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็ก)

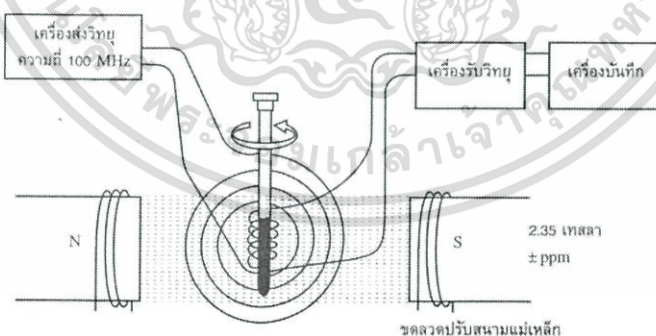
นิวเคลียสในระดับพลังงานสูง บางตัวจะถูกกระตุ้นให้คายพลังงานออกมาแล้วลงไปอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำ (จัดตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อ  $\Delta E = h\nu$  เรียกว่าเกิด “เรโซแนนซ์”



รูปที่ 2.20 นิวเคลียสที่อยู่ในสนามแม่เหล็กเกิดแทรนซิชันจากพลังงานต่ำไปยังพลังงานสูง  
เมื่อผ่านความถี่คลื่นวิทยุที่เหมาะสม

## 2.6.2 องค์ประกอบของเครื่อง NMR

เครื่อง NMR ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.21 ซึ่งประกอบด้วยหน่วยหลัก คือ แม่เหล็ก (Magnets) แหล่งกำเนิดความถี่คลื่นวิทยุ (Radio Frequency Transmitter) แหล่งรับความถี่คลื่นวิทยุ (Radio Frequency Receiver) และแหล่งเก็บและบันทึกข้อมูล (Data Processor)



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย

## 2.6.3 เทคนิคในการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง NMR

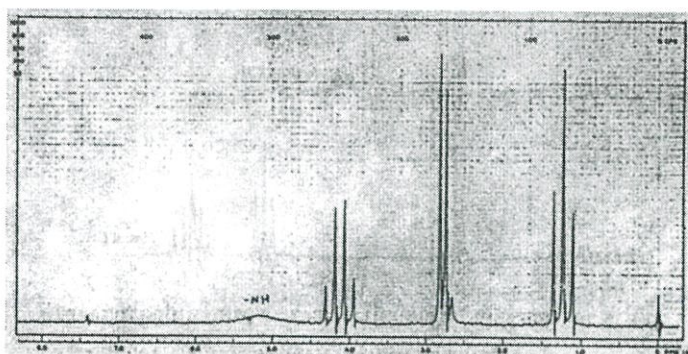
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนจะนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์ จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม โดยหาตัวทำละลายที่ละลายสารตัวอย่างได้อย่างน้อย 20 % โดยน้ำหนัก และอาจจะใช้วิธีการละลายสารตัวอย่างในหลอดแก้วที่ใช้ใส่สารตัวอย่างหรืออาจละลาย สารตัวอย่างในภาชนะอื่นก่อนแล้วจึงนำไปใส่หลอดแก้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อวิเคราะห์ต่อไป หลอดแก้วที่ใช้ ถ้าเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ควรใช้ตัวทำละลาย 0.5 - 0.6 มิลลิลิตร เนื่องจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง NMR ทุกครั้ง หลอดแก้วที่ใส่สารตัวอย่างจะหมุนไปรอบๆ ประมาณ 25 รอบต่อวินาที ทำให้เกิดหลุมอากาศขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้สารละลายตัวอย่างไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะทำการวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับหลอดแก้วขนาด 10 มิลลิเมตร หรือ 15 มิลลิเมตร ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นจึงไม่จำเป็นต้องปิดปลายหลอดก็ได้

#### 2.6.3.1 การวิเคราะห์ NMR สเปกตรัมอย่างง่าย

เมื่อได้ NMR สเปกตรัมแล้ว สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณา (ในกรณีของ  $^1\text{H}$  NMR) คือ

- ค่า chemical shift ( $\delta$ , ppm) เพื่อต้องการดูว่าโปรตอนเกาะอยู่กับคาร์บอนหมู่ใดบ้าง เช่น  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$
- ค่า coupling constant (J, Hz) เพื่อต้องการตรวจสอบดูว่าโปรตอนใดบ้างที่เกิดอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน โดยจะให้ค่า J เท่ากัน
- ค่า integration เพื่อต้องการหาจำนวนโปรตอนของพีคแต่ละกลุ่ม
- peak splitting เพื่อตรวจสอบหาจำนวนโปรตอนข้างเคียง โดยใช้สูตร (ในกรณี first order spectrum) จำนวนพีค = จำนวนโปรตอนข้างเคียง + 1
- ลักษณะของพีค เมื่อต้องการตรวจสอบดูว่ามีโปรตอนชนิดใดบ้าง เช่น ในกรณีของ H ที่อยู่บน C พีคส่วนใหญ่จะคมชัด แต่ถ้าเป็น H ที่อยู่บนเฮเทอโรอะตอม คือ N หรือ O พีคที่ได้จะค่อนข้างกว้าง และบางครั้งอาจซ่อนอยู่ใต้ base line เช่น ในกรณีของ H ที่เกาะอยู่บน N ของ อะมิด์ (amide) บางชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.22



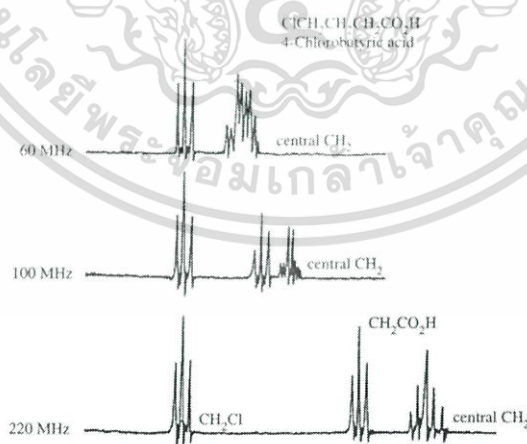
รูปที่ 2.22 NMR สเปกตรัมของ เอทิล และเมทิลคาร์บาเมท

### 2.6.3.2 เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สูตรโครงสร้างที่ซับซ้อน

ในการหาสูตรโครงสร้างที่ซับซ้อน เทคนิคทาง NMR จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ จากการอาศัยความรู้พื้นฐานเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ที่จะหาสูตรโครงสร้างได้หรือหาตำแหน่งที่ถูกต้องแน่นอนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคหลายๆอย่างเข้าช่วย เพื่อให้การวิเคราะห์ถูกต้องได้แก่

- การเพิ่มความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

ค่า coupling constant จะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น อัตราส่วนของ  $\Delta\delta/T$  จะเพิ่มขึ้น เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น ถ้าสเปกตรัมที่เกิดจาก coupling multiplet จำนวน 2 ชุด ซ้อนกันที่ 1.4 T สามารถทำให้สเปกตรัมแยกออกจากกันได้ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.23



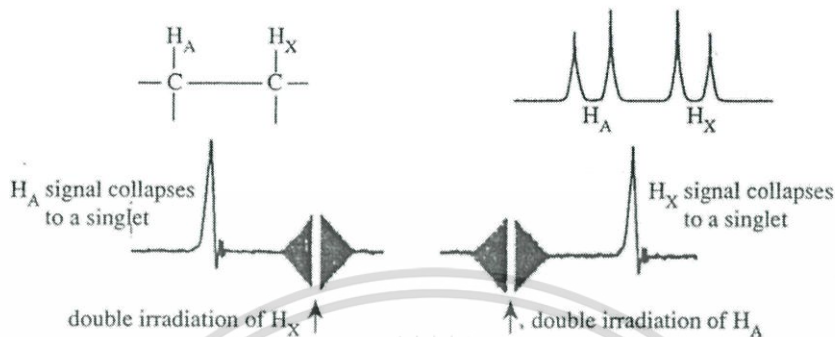
รูปที่ 2.23 ลักษณะที่แตกต่างกันของ NMR สเปกตรัมของกรด 4 – คลอโรบิวทริก เมื่อใช้คลื่นวิทยุ

ความถี่ 60, 100 และ 220 Hz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำ Double Irradiation Technique

เทคนิคนี้ใช้สำหรับตรวจสอบว่า โปรตอนชุดใดเกิดอันตรกิริยาซึ่งกันและกันบ้าง โดยทั่วไปแล้ว multiplicity ของสัญญาณเกิดขึ้นเนื่องจากโปรตอนข้างเคียง ซึ่งมี spin orientation มากกว่า 1 ชุด เช่น การเกิด doublet ของโปรตอน A ดังแสดงในรูปที่ 2.24

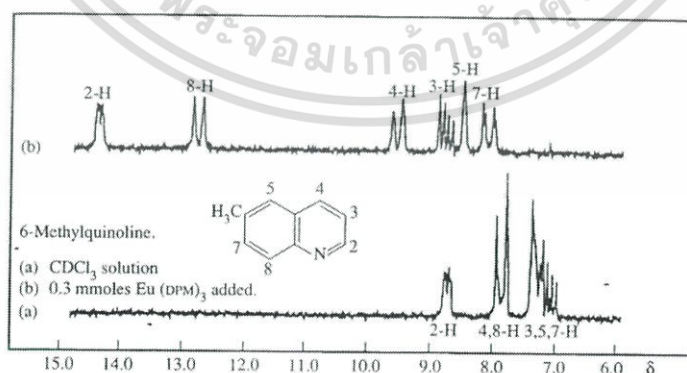


รูปที่ 2.24 double irradiation (spin decoupling) ของ AX สเปกตรัม

จากรูปที่ 2.24 ถ้าทำ double irradiation โปรตอน X ด้วยพลังงานจากความถี่คลื่นวิทยุที่ถูกต้อง จะทำให้โปรตอน A ไม่สามารถเกิดอันตรกิริยากับโปรตอน X ได้ สัญญาณของ โปรตอน A จะเปลี่ยนจาก doublet เป็น singlet

- การใช้ Contact - Shift Reagent ( $\text{Eu}(\text{DPM})_3$ )

บางครั้งโมเลกุลของสารอินทรีย์บางชนิดสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้กับ Europium (III) หรือ Lanthanide ได้ ทำให้ส่วนที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้เกิดเรโซแนนซ์ได้ที่ Low field กว่าปกติ จึงทำให้สามารถแยก multiplicity ที่ซ้อนกันแยกออกจากกันได้ การวิเคราะห์จึงทำได้ง่ายและถูกต้องยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 contact - shift reagent ( $\text{Eu}(\text{DPM})_3$ ) ต่อ NMR สเปกตรัมของ 6-เมทิลควิโนลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใช้ Deuterium Exchange

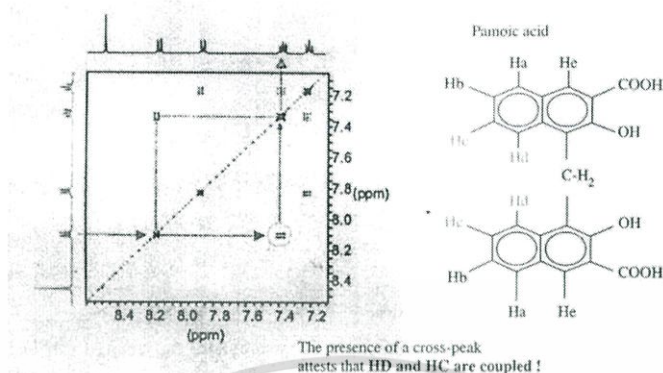
เทคนิคนี้ให้ deuterium ( $^2\text{H}$ ) แลกเปลี่ยนกับโปรตอนที่อยู่บนเฮเทอโรอะตอม เช่น OH NH หรือ SH วิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาในกรณีที่ไม่สามารถหาตำแหน่งที่แน่นอนได้ เช่น พิกในสเปกตรัมอาจไปซ้อนทับกับพิกอื่นๆ วิธีการทำง่ายมากโดยครั้งแรกเก็บตัวอย่าง NMR ในสารละลาย  $\text{CDCl}_3$  จากนั้นเติม  $\text{D}_2\text{O}$  ลงไป 1 - 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นแล้วเก็บข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง พิกไหนที่เป็นของโปรตอนที่แลกเปลี่ยนได้ก็จะหายไป

- การใช้เทคนิค Two-dimensional nuclear magnetic resonance

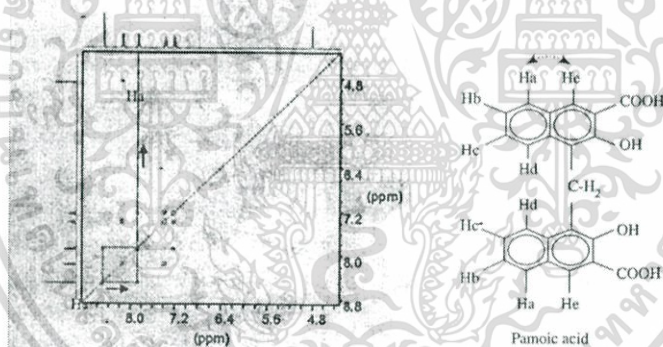
spectroscopy (2D NMR)

เป็นเทคนิคที่ให้ข้อมูลที่ละเอียดและช่วยวิเคราะห์โครงสร้างของสาร ทำได้ง่าย และรวดเร็วในปัจจุบัน หลักการของ 2D NMR ทำได้โดยเก็บข้อมูล FID ใน 1D ของสารตัวอย่างหลายๆ สเปกตรัม โดยแต่ละสเปกตรัมจะมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางอย่างเป็นขั้นๆ ผลที่ได้ก็คือชุดของสเปกตรัมของสารตัวอย่าง เช่น 264 สเปกตรัม เป็นต้น เรียงซ้อนกันเป็น matrix ในแกน X เมื่อเอา FID ทั้งหมดมารวมกันแล้วทำ Fourier Transform ก็จะได้สเปกตรัมที่เขียนบนแกน X จากนั้นก็จะทำการเก็บข้อมูลโดยการ sampling FID ของทุกสเปกตรัมทั้ง 264 สเปกตรัมในแกน Y ก็จะได้ข้อมูลที่เมื่อทำ Fourier Transform ก็จะเป็นสเปกตรัมที่เขียนบนแกน Y สำหรับข้อมูลที่เขียนบนแกน X และ Y อาจเป็นโปรตอนเหมือนกันหรืออาจเป็นโปรตอนกับคาร์บอนหรือคาร์บอนกับคาร์บอนหรืออาจเป็นอะตอมอื่นก็ได้ การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการเก็บข้อมูลก็ทำได้หลากหลาย จึงทำให้ข้อมูลที่ได้ใน 2D NMR เป็นไปอย่างหลากหลายและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลบางอย่างบอกว่าโปรตอนตัวใดอยู่ข้างเคียงโปรตอนตัวไหนบ้าง โปรตอนตัวไหนต่ออยู่กับคาร์บอนตัวใดหรือคาร์บอนแต่ละตัวต่อกันอยู่อย่างไร สเตอริโอเคมีของอะตอมต่างๆ ในโครงสร้างเป็นอย่างไรสิ่งเหล่านี้บอกโครงสร้างของสารตัวอย่างได้โดยแทบจะไม่มีข้อสงสัย ตัวอย่าง 2D NMR ที่ นิยม ใช้กัน ได้แก่

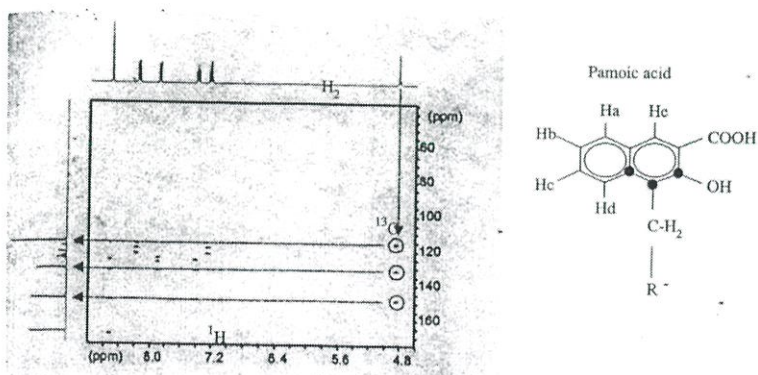
Corelated Spectroscopy (COSY) ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง ดังในตัวอย่างนี้ที่จะเห็นได้ชัดเจนว่าโปรตอน C คัปปลิงกับโปรตอน D



Nuclear Overhauser Effect Spectroscopy (NOESY) ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของโปรตอนที่อยู่ห่างกัน 2 - 3 พันธะหรืออาจเป็นโปรตอนที่อยู่ใกล้เคียงกันเนื่องจากถูกบังคับด้วยสเตอริโอเคมี ดังในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าโปรตอน a คัปปลิงกับโปรตอน e

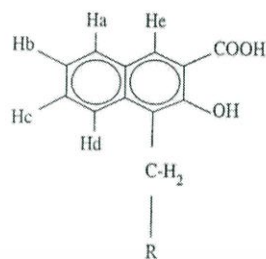
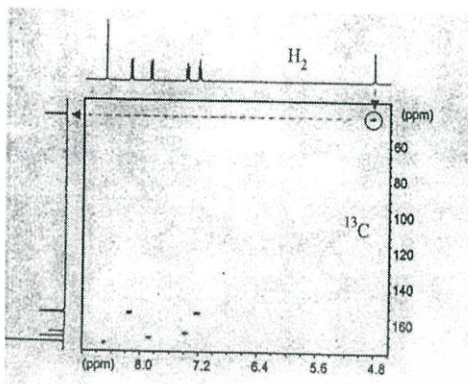


Heteronuclear Multiple - Bond Correlation (HMBC) ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของโปรตอนและคาร์บอนที่อยู่ห่างกัน 2 - 3 พันธะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heteronuclear Single – Quantum (HSQC) ให้ข้อมูลที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์  
ของโปรตอนและคาร์บอนที่อยู่ห่างกัน 1 พันธะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

1. เห็ดหูหนู
2. วุ้นหางจรเข้
3. แป้งมันสำปะหลัง (บริษัท อี. ที. ซี. เอียบตงจัน จำกัด)
4. แป้งมันฝรั่ง (บริษัท ชินพงษ์ จำกัด)
5. แป้งข้าวเจ้า (บริษัท อี. ที. ซี. เอียบตงจัน จำกัด)
6. แป้งข้าวโพด (บริษัท อาร์ แอนด์ บี ฟู้ด ซัพพลาย จำกัด)
7. แป้งข้าวเหนียว (บริษัท อี. ที. ซี. เอียบตงจัน จำกัด)
8. แป้งถั่วเหลือง (บริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด)
9. แป้งถั่วเขียว (บริษัท สหพันธ์ จำกัด)

##### 3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมอัลจิเนต (Shanghai Richem International CO., Ltd)
2. เอทานอลเข้มข้น 95 % (VWR International CO., Ltd)
3. แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) (VWR International CO., Ltd)
4. เฮกเซน ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) (Ajax Finechem Pty Ltd)
5. อะซีโตน ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) (บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด)
6. ไดมethyl ซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide) (Shanghai Richem International CO., Ltd)
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Ajax Finechem Pty Ltd)
8. โพแทสเซียมแอสिटทาธาเลท ( $\text{KOOCC}_6\text{H}_4\text{COOH}$ ) (Ajax Finechem Pty Ltd)
9. ฟีนอลฟทาไลน์ (บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด)
10. เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติกแอซิด (Ethylene-diamine-tetra-acetic acid) (Ajax Finechem Pty Ltd)

Finechem Pty Ltd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ไอโซโพรพานอล ( $C_3H_8O$ ) (VWR International CO., Ltd)
12. คลอโรฟอร์ม ( $CHCl_3$ ) (VWR International CO., Ltd)
13. กลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) (Ajax Finechem Pty Ltd)
14. ฟีนอล ความเข้มข้น 5 % (Ajax Finechem Pty Ltd)
15. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Ajax Finechem Pty Ltd)

### 3.1.3 วัสดุและเครื่องแก้ว

1. แผ่น TLC (TLC silica gel)
2. ปิเปตขนาด 1, 5 และ 10 ml
3. จุกยาง
4. ปีกเกอร์ขนาด 50, 100 และ 250 ml
5. กระจกบอทดวงขนาด 100 ml
6. ขวดดูแรนด์ขนาด 125 ml
7. ฟลาสก์ขนาด 250 และ 500 ml
8. หลอดหยด
9. บิวเรต
10. ขาดั่ง
11. ที่จับบิวเรต
12. หลอดเซนทรีฟิวส์ขนาด 15 และ 50 ml
13. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
14. เทอร์โมมิเตอร์
15. ซ้อนตักสาร
16. ซ้อนสแตนเลส
17. แห้งแก้วคนสาร
18. คิวเวตแก้ว
19. กระจกบอทดวง
20. คีมคีบ
21. กระจกบอถีดยาขนาด 20 ml
22. งานเพาะเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. หลอด NMR
24. ขวดใส่สารขนาดเล็ก (Vial)
25. กระจกกรองวอทแมนเบอร์ 1
26. กระจกนาฬิกา
27. กรวยแยก
28. ปาสเตอร์ปิเปต
29. อ่าง TLC

### 3.1.4 เครื่องมือ

1. เครื่องกลั่นระเหยสารสูญญากาศ (Rotary Evaporator) (Heidolph Instruments GmbH & Co.KG, Germany)
2. เครื่องเขย่าสาร (Shaker) (Gellenkamp orbital shaker incubator 3597 C2-2, Germany)
3. เครื่องกวนสารให้ความร้อน
4. เครื่องกรองสาร (vacuum filter set)
5. เครื่องแมกเนติกส์เรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer)
6. เครื่องซังสารทศนิยม 3 ตำแหน่ง
7. ตู้อบลมร้อน (Series FD, BINDER Research & Development Center., Germany)
8. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hermle Z400K Refrigerated Centrifuge, Germany)
9. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UMICO 2800A UV/VIS, USA)
10. โถดูดความชื้น
11. ตู้ดูดควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาลักษณะการก่อเจลของสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับสารต่างๆ (ดัดแปลงจาก Kennedy, 1995)

3.2.1.1 เตรียมสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับแป้งชนิดต่าง ๆ

เตรียมสารละลายแป้งแต่ละชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเหลือง ความเข้มข้น 1.75 % (w/v) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายแป้งแต่ละชนิดมาผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่มีความเข้มข้น 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ประมาณ 10 - 20 นาที กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.2 เตรียมสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับเมือกของวุ้นหางจระเข้

ปอกเปลือกวุ้นหางจระเข้ ขูดเมือกจนได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่มีความเข้มข้น 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ประมาณ 10 - 20 นาที กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.3 เตรียมสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับสารเมือกจากเห็ดหูหนู (ดัดแปลงจากพรเพชร และวิสุทธนา, 2557)

นำเห็ดหูหนูมาล้างให้สะอาด และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งหั่นต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:1 แช่เห็ดในน้ำเป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิของน้ำที่ใช้คือ 80 °C และปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียดนาน 1 นาที จากนั้นบด และกรองแยกสารเมือกด้วยผ้าขาวบาง จนได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำมาผสมกับกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่มีความเข้มข้น 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ประมาณ 10 - 20 นาที กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.4 การเตรียมสารละลายตัวควบคุม

ละลายโซเดียมอัลจิเนต 3.5 % (w/v) ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ประมาณ 10 - 20 นาที จากนั้นกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.5 เตรียมสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl<sub>2</sub>)

ละลายแคลเซียมคลอไรด์ 3.528 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนจนละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.6 หยดสารผสมลงในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์

ดูดสารผสมในข้อ 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 และ 3.2.1.4 ด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 20 มิลลิลิตร หยดลงในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ที่ทิ้งไว้ 10 นาที และสังเกตการเกิดเจล

## 3.2.2 การสกัดสารจากตัวอย่างเห็ดหูหนู (ดัดแปลงจาก อรวิศสา และคณะ, 2555)

3.2.3.1 เตรียมตัวอย่างเห็ดหูหนู โดยนำเห็ดหูหนูที่ตัดโคน จำนวน 9 กิโลกรัม มาล้างทำความสะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำเข้าสู่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 วัน นำมาบดให้ละเอียด และเก็บในถุงซิปล็อกเพื่อป้องกันความชื้น

3.2.3.2 นำตัวอย่างเห็ดที่บดละเอียด 20 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นความเข้มข้น 95 % ปิดด้วยกระดาษอะลูมิเนียม และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วเก็บส่วนใสไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C นำตะกอนที่เหลือมาเติมน้ำกลั่นความเข้มข้น 95 % และเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 ชั่วโมงอีกครั้ง ทิ้งให้ตกตะกอน กรองส่วนใสทั้งหมดที่ได้ด้วยเครื่องกรอง โดยใช้กระดาษกรองวอทแมน เบอร์ 1 (ทดลอง 3 ซ้ำ)

3.2.3.3 นำส่วนใสที่ผ่านการกรองมาสกัดด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารสูญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิ 40 °C ที่ความเร็วรอบการหมุน 80 รอบต่อนาที และความดัน 175 มิลลิบาร์ จนกว่าสารตัวอย่างจะมีลักษณะขุ่นหนืด ถ่ายสารลงในขวดขนาดเล็ก ปิดด้วยกระดาษอะลูมิเนียม เจาะรู จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นรองจนกว่าสารจะแห้งเป็นผงของสารสกัดเห็ด

## 3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (A.O.A.C., 2000)

3.2.3.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยนำโพแทสเซียมแอสซิเตท (KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>) ใส่กระเจกนาฬิกาไปอบที่ 110 °C เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้แน่นอน 0.8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (ทดลอง 3 ซ้ำ) นำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วบันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2.3.2 นำสารละลายตัวอย่างเห็ดที่สกัดได้มากรองผ่านสำลี แล้วเปิดส่วนที่กรองได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1 - 2 หยดให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู (ทดลอง 3 ซ้ำ) บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2.3.3 คำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (\%)} = \frac{\text{ไตเตอร์} \times N \times n \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}}$$

เมื่อ  $N$  = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

$N$  = มิลลิเอควิวาเลนต์ = 0.07 (กรดซิตริก)

3.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dobois *et al.*, 1956)

3.2.4.1 การเตรียมน้ำตาลมาตรฐาน

- เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 200 µg/mL

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนการเจือจางสารละลายกลูโคสเข้มข้น เพื่อเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐาน

หลอดที่	ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	ปริมาตรสารละลายกลูโคสเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
1	0	0	1
2	20	0.2	0.8
3	40	0.4	0.6
4	60	0.6	0.4
5	80	0.8	0.2
6	100	1.0	0

3.2.4.2 ดูดฟีนอลความเข้มข้น 5 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 5 % ลงไปอย่างรวดเร็ว ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาทีในตู้ดูดควัน

3.2.4.4 นำสารละลายผสมที่ได้มาเขย่า ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 - 30 °C เป็นเวลา 10 - 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.5 นำสารละลายจากข้อ 3.2.4.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร บันทึกผล และนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน

### 3.2.5 การวัดปริมาณอัลจินต (Pena *et al.*, 1997)

3.2.5.1 อบกระดาชกรองที่อุณหภูมิ 105 °C และซั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

3.2.5.2 ซั่งสารสกัดเห็ด 0.1 กรัม ละลายใน DMSO 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผสมกับ EDTA เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ถ่ายส่วนใสเก็บไว้ จากนั้นเติมไอโซโพรพานอล 6 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที นำตัวอย่างที่ได้กรองด้วยกระดาชกรองวอทแมนเบอร์ 1 อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปซั่งน้ำหนัก (ทดลอง 3 ซ้ำ)

3.2.5.3 ทดสอบสารละลายตัวควบคุมโดยการละลายโซเดียมอัลจินต 0.1 กรัม ในน้ำ 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ประมาณ 10 นาที กวนสารจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาผสมกับ EDTA เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 0.2 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ถ่ายส่วนใสเก็บไว้ จากนั้นเติมสารละลายไอโซโพรพานอล 6 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที นำตัวอย่างที่ได้กรองด้วยกระดาชกรองวอทแมนเบอร์ 1 อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปซั่งน้ำหนัก (ทดลอง 3 ซ้ำ)

### 3.2.6 การแยกสารด้วยโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin-layer Chromatography, TLC)

นำสารสกัดเห็ดที่ละลายในเอทานอล จุดลงแผ่น TLC ด้วยหลอดแคปิลารี แล้ววางลงในอ่าง TLC ที่มีสารละลายผสมของเฟสเคลื่อนที่ของ เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม (8:2), เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม (9:1) , เฮกเซน : อะซิโตน (9:1) และเฮกเซน : คลอโรฟอร์ม (14:1) สังเกตระยะทางการแยกของสาร

### 3.2.7 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR)

เตรียมสารละลายตัวอย่างโดยนำตัวอย่างใสในหลอดแก้ว ใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำ

ละลาย เขย่าให้เข้ากัน วิเคราะห์ที่คลื่นความถี่ 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 ลักษณะการก่อเจลของสารผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตกับแป้งชนิดต่างๆ

การผสมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเหลือง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 1.75, 1.40, 1.05, 0.70 และ 0.35 % (w/v) ตามลำดับ หยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ลักษณะสีส่วนมากจะมีสีขาวขุ่น การเกิดเจลจะยังไม่ดีเท่ากับการใช้อัลจิเนตทั้งหมด (ตัวควบคุม) แสดงได้ในภาพที่ 4.1 - 4.7



แป้งมันสำปะหลัง : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งมันสำปะหลัง : อัลจิเนต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งมันสำปะหลัง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

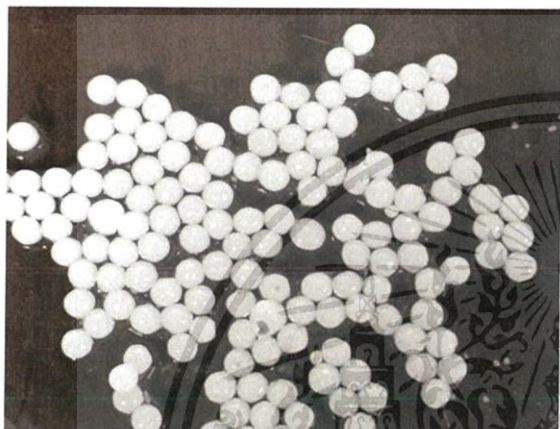
การก่อเจล : น้อย



แป้งมันสำปะหลัง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

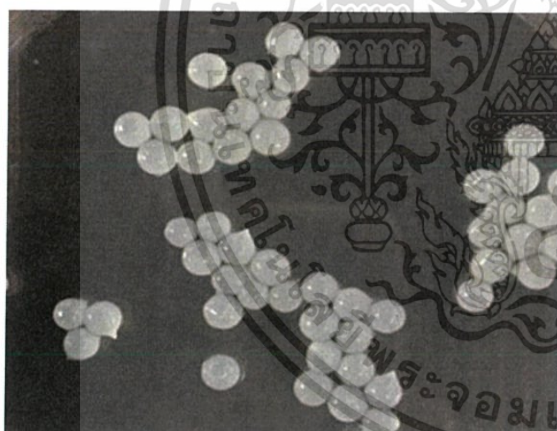
การก่อเจล : มาก



แป้งมันสำปะหลัง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.1 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม

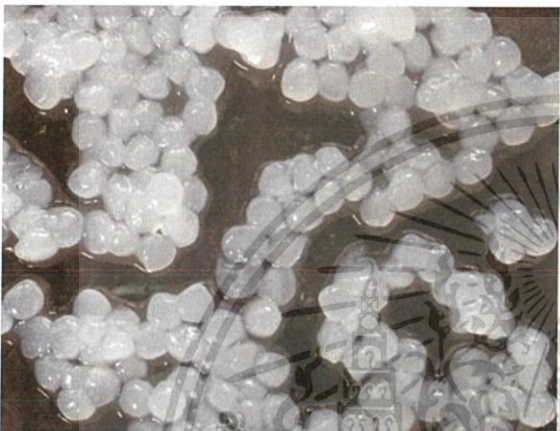
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งมันฝรั่ง : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : น้อย



แป้งมันฝรั่ง : อัลจิเนต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : น้อย



แป้งมันฝรั่ง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : มาก



แป้งมันฝรั่ง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : มาก

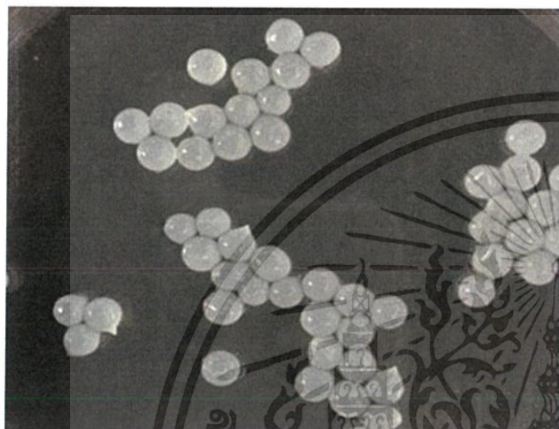
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งมันฝรั่ง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.2 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งมันฝรั่ง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม



แป้งมันข้าวเหนียว : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งข้าวเหนียว: อัลจินต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวชุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเหนียว: อัลจินต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวชุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเหนียว: อัลจินต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวชุ่น

การก่อเจล : น้อย

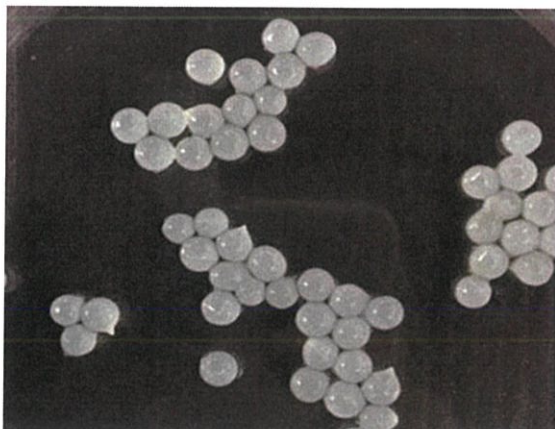


แป้งข้าวเหนียว: อัลจินต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวชุ่น

การก่อเจล : มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.3 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม



แป้งข้าวเจ้า : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเจ้า : อัลจิเนต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งข้าวเจ้า : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

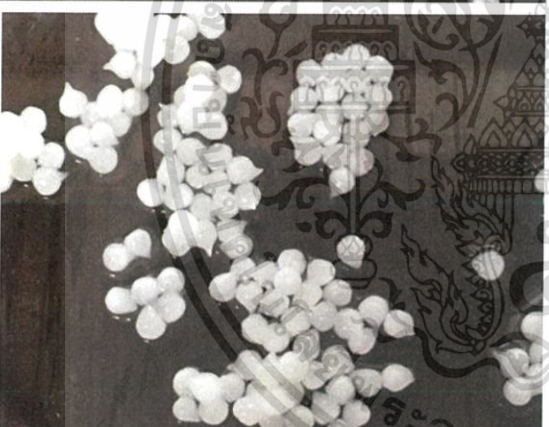
การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเจ้า : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

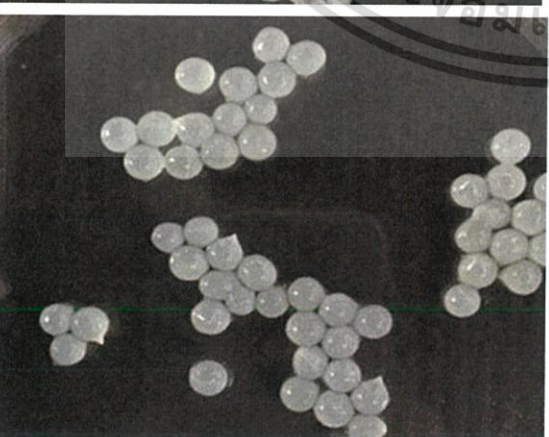
การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเจ้า : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.4 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต

0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งข้าวโพด : อัลจินต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

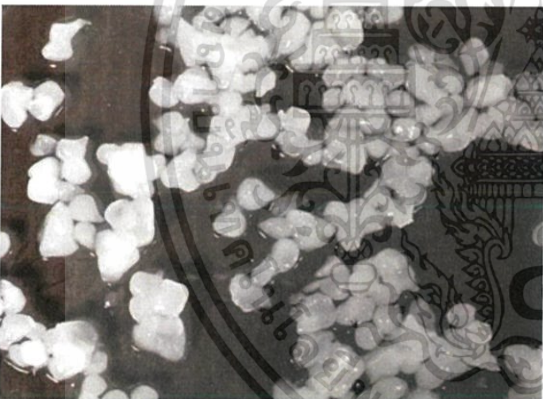
การก่อกเจล : น้อย



แป้งข้าวโพด : อัลจินต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อกเจล : น้อย



แป้งข้าวโพด : อัลจินต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่อกเจล : น้อย



แป้งข้าวโพด : อัลจินต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่อกเจล : มาก

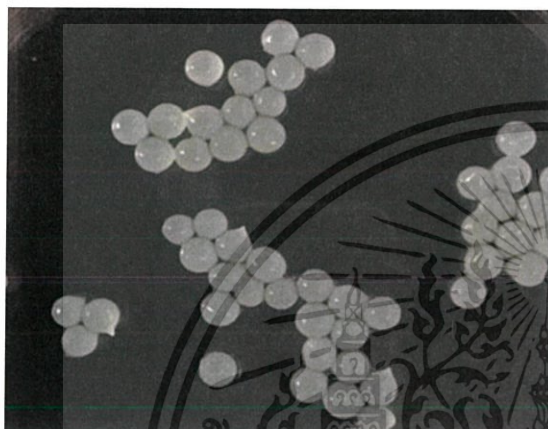
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งข้าวโพด : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.5 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวโพด 1.75 % (w/v) กับไฮเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม



แป้งถั่วเขียว : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

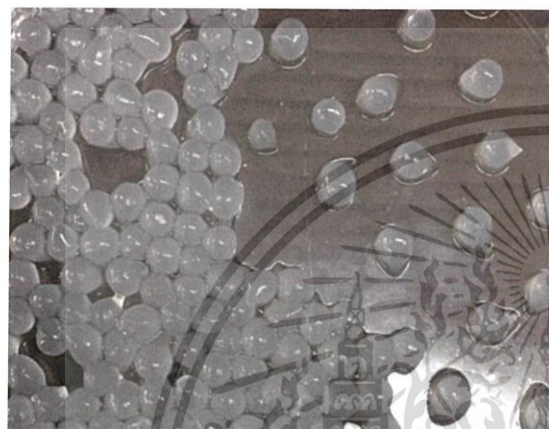
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งถั่วเขียว : อัลจิเนต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



แป้งถั่วเขียว : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



แป้งถั่วเขียว : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก

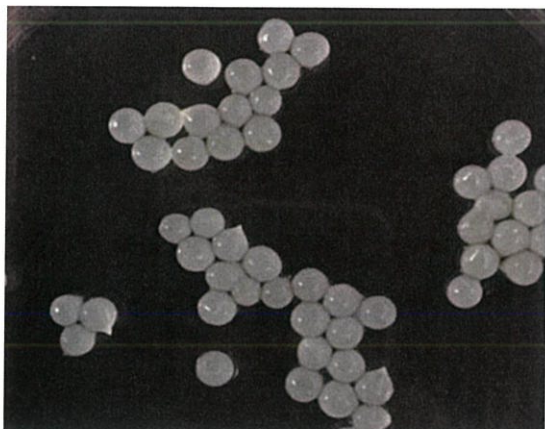


แป้งถั่วเขียว : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.6 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม



แป้งข้าวเหลือง : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



แป้งข้าวเหลือง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แป้งถั่วเหลือง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



แป้งถั่วเหลือง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



แป้งถั่วเหลือง : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ดีมาก

รูปที่ 4.7 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างแป้งถั่วเหลือง 1.75 % (w/v) กับโซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมเมือกของว่านหางจระเข้ และเมือกของเห็ดหูหนู ปริมาตรอย่างละ 25 มิลลิลิตร กับ โซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ หยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ การเกิดเจลจะยังไม่ดีเท่ากับการใช้อัลจิเนตทั้งหมดเม็ด (ตัวควบคุม) ดังแสดงในภาพที่ 4.8 - 4.9



เมือกของว่านหางจระเข้ : อัลจิเนต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



เมือกของว่านหางจระเข้ : อัลจิเนต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

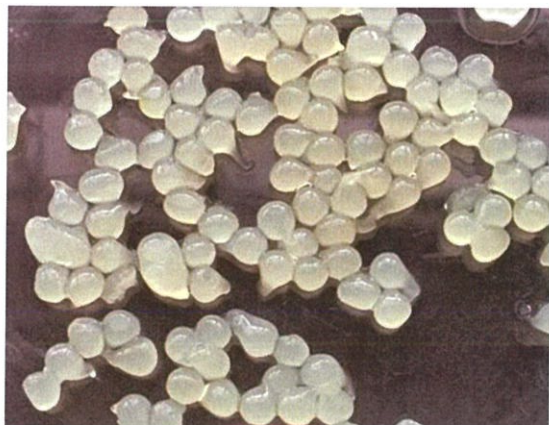


เมือกของว่านหางจระเข้ : อัลจิเนต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เม็อกของว่านหางจระเข้ : อัลจิเนต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : มาก



เม็อกของว่านหางจระเข้ : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่ोजล : ดีมาก

รูปที่ 4.8 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างเม็อกของว่านหางจระเข้ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับ โซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมือกของเห็ดหูหนู : อัลจินต = 1.75 : 0.35

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : น้อย



เมือกของเห็ดหูหนู : อัลจินต = 1.75 : 0.70

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



เมือกของเห็ดหูหนู : อัลจินต = 1.75 : 1.05

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก

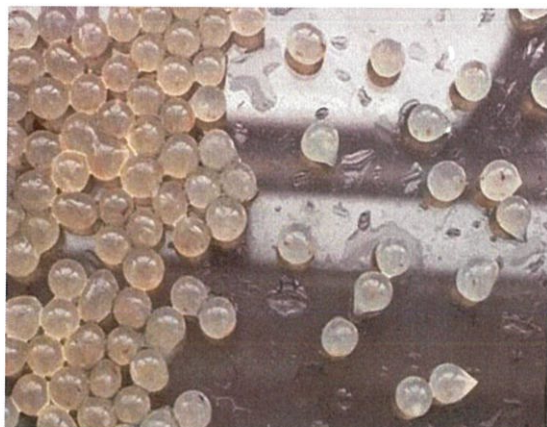


เมือกของเห็ดหูหนู : อัลจินต = 1.75 : 1.40

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก

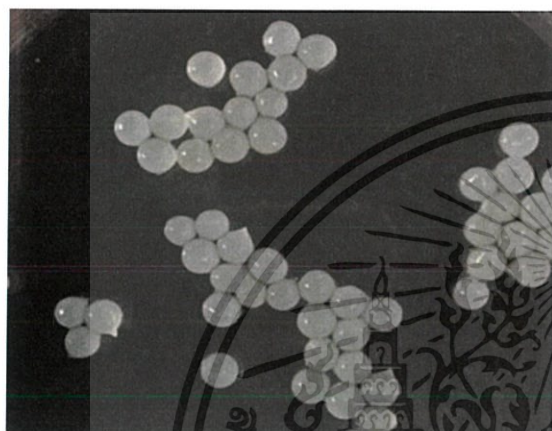
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมือกของเห็ดหูหนู : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : มาก



อัลจิเนต : อัลจิเนต = 1.75 : 1.75

สี : ขาวขุ่น

การก่อเจล : ต่ำมาก

รูปที่ 4.9 การฟอร์มตัวของเม็ดเจลที่ผสมระหว่างเมือกของเห็ดหูหนู ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับ โซเดียมอัลจิเนต 0.35, 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) ตามลำดับเทียบกับตัวควบคุม

จากภาพข้างต้นเม็ดเจลที่ผสมระหว่างเมือกของเห็ดหูหนูกับโซเดียมอัลจิเนตตั้งแต่ 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % (w/v) มีลักษณะการก่อเจลได้ดีคล้ายกับการผสมแป้งถั่วเขียว โดยยิ่งค่าเอนทัลปีในการเกิดเจล (Gelatinization enthalpy ;  $\Delta H$ ) น้อยค่าการพองตัวจะมาก (Wang *et al.*, 2017) ซึ่งแป้งถั่วเขียวมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจลด้อยที่สุดเท่ากับ 2.1 - 3.0 จูลต่อกรัม (Chung *et al.*, 2015) เมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ ได้แก่ แป้งมันฝรั่งมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจล เท่ากับ  $4.0 \pm 0.2$  จูลต่อกรัม (Chen *et al.*, 2015), แป้งข้าวโพดมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจล เท่ากับ  $4.54 \pm 0.43$  จูลต่อกรัม (Kong *et al.*, 2016), แป้งข้าวเจ้ามีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจลเท่ากับ  $6.55 \pm 0.33$  จูลต่อกรัม (Wu *et al.*, 2015), แป้งถั่วเหลืองมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจล เท่ากับ 12.3-12.9 จูลต่อกรัม (Stevenson *et al.*, 2006), แป้งมันสำปะหลังมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจล เท่ากับ  $12.9 \pm 0.2$  จูลต่อกรัม (Zhang *et al.*, 2013) และแป้งข้าวเหนียวมีค่าเอนทัลปีในการเกิดเจลเท่ากับ 15.16 - 17.04 จูลต่อกรัม (Keeratipibul *et al.*, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอะไมโลสยังสัมพันธ์กับการพองตัว โดยงานวิจัยของ Jane *et al.*, (1999); Sodhi and Singh, (2003) กล่าวว่ายิ่งปริมาณอะไมโลสน้อยค่าการพองตัวจะมาก ซึ่งแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น โดยมีประมาณ 9.1 - 10.3 % (Chung *et al.*, 2015) อะไมโลสในแป้งถั่วเหลืองมีประมาณ 19.3 - 21.9 % (Stevenson *et al.*, 2006), แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสประมาณ 21.95 - 26.42 % (Varavinit *et al.*, 2003) แป้งมันฝรั่งมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 26.8 % (Aprianita *et al.*, 2014), แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 24.43 % (Nuwamanya *et al.*, 2008)

#### 4.2 ปริมาณสารสกัดจากเห็ดหูหนู

น้ำหนักสดเห็ดหูหนู 9 กิโลกรัม และอบแห้งได้น้ำหนักแห้ง 466 กรัม ทำการสกัดเห็ดหูหนูด้วยเอทานอล 95 % ได้สารสกัดปริมาณ 4.1708 กรัม หรือได้ปริมาณสารสกัด 0.90 % (w/w)

#### 4.3 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (A.O.A.C, 2000)

จากการไตเตรทสารละลายเห็ดหูหนูด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู และนำมาคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 0.062 % (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดทั้งหมดของสารสกัดจากเห็ดหูหนู

การทดลอง	ปริมาณ NaOH (มิลลิลิตร)	ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปกรดซิตริก
ตอนที่1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอน ของ NaOH	35.9 ± 2.5	0.11 N
ตอนที่2 การหาปริมาณกรดทั้งหมดของ สารสกัดเห็ดหูหนู	2 ± 0.0	0.062 %

การหาปริมาณกรดทั้งหมดของสารสกัดจากเห็ดหูหนู พบปริมาณกรดทั้งหมด 0.062 % ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yoon *et al.*, (2003) ที่ทำการแยกพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดหูหนู และทำให้บริสุทธิ์ด้วยโครมาโทกราฟีแบบเจลกรอง พบว่าในสารสกัดมีกรดกลูโครินิก

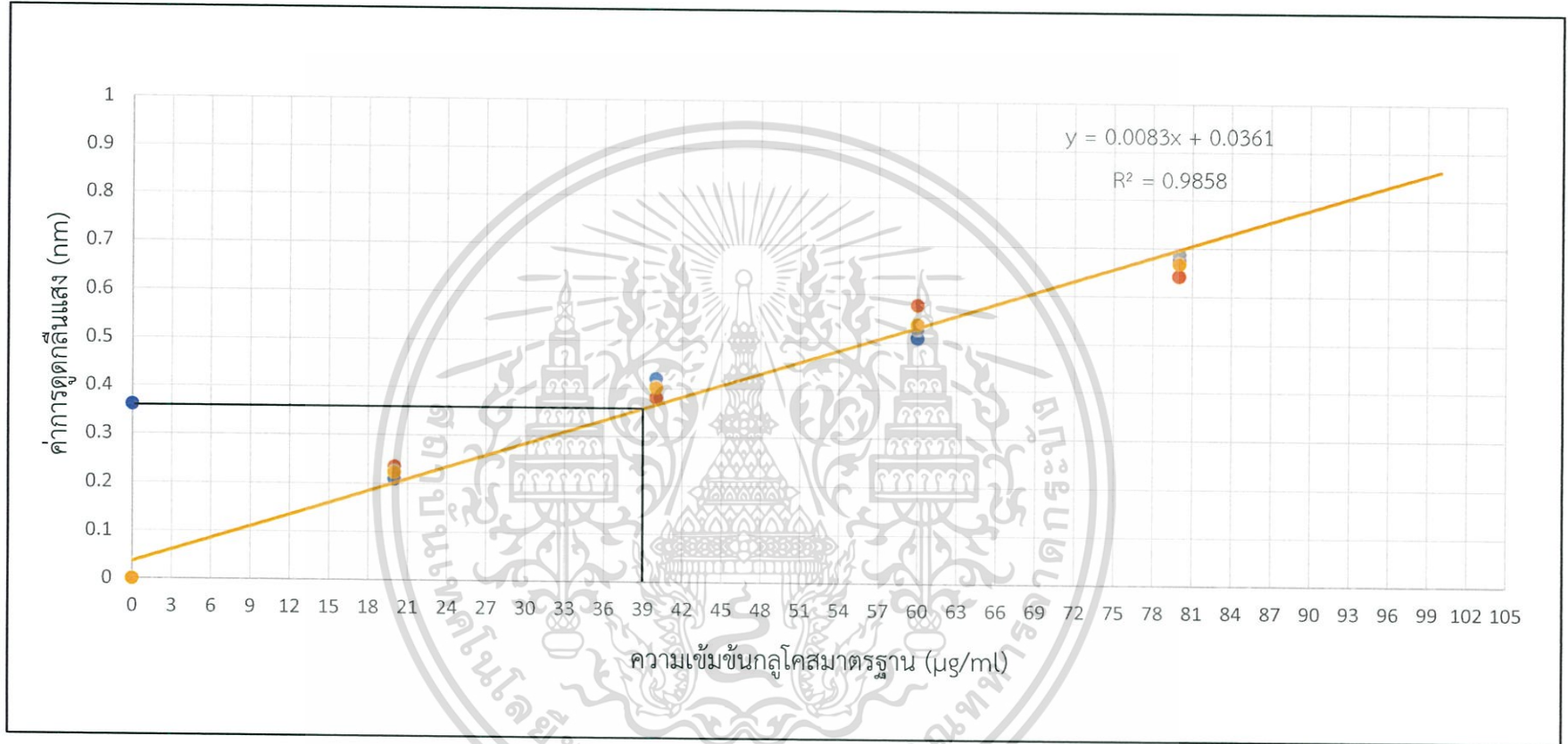
#### 4.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเห็ดหูหนูที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายกลูโคสเป็นสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 - 4.3 จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อหาปริมาณกลูโคสที่มีอยู่ในสารสกัดเห็ดหูหนู ให้ผลดังรูป 4.10

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเห็ดหูหนู ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

ความเจือจาง กลูโคสมาตรฐาน ( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง กลูโคสมาตรฐาน	ความเจือจาง สารสกัดเห็ดหูหนู	ค่าการดูดกลืนแสง ของสารสกัดเห็ดหูหนู
0	$0 \pm 0$		
20	$0.223 \pm 0.011$		
40	$0.402 \pm 0.016$		
60	$0.538 \pm 0.029$	25	$0.361 \pm 0.003$
80	$0.668 \pm 0.019$		
100	$1.113 \pm 0.010$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกลูโคสมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 nm

● คือ ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่1

● คือ ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่2

● คือ ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่3

● คือ ค่าเฉลี่ย

—●— คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเห็ดหูหนูดำ

— คือ ค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์พบน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 39.14  $\mu\text{g/ml}$  ซึ่งใกล้เคียงกับค่าน้ำตาลทั้งหมดของ Kadnikova *et al.*, (2015) ที่ทำการวิเคราะห์พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดหูหนูด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบน้ำตาลแมนโนส ไฮโลส กาแลคโตส และกลูโคส รวมเป็น 27.8  $\mu\text{g/ml}$  รวมถึงการศึกษาของ Chen *et al.*, (2008) ทำการวิเคราะห์พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดหูหนูด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีเช่นกัน พบน้ำตาลแมนโนส ไฮโลส กลูโคสเป็นส่วนมาก และพบแมนโนส กาแลคโตส อะราบิโนสเป็นส่วนน้อย

#### 4.5 ผลการวัดความเข้มข้นของอัลจินต

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของอัลจินตในสารสกัดเห็ดหูหนูเมื่อเทียบกับตัวควบคุม

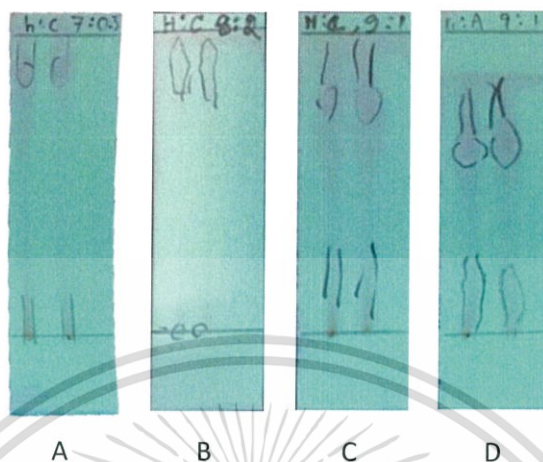
ปริมาณสารสกัด (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณอัลจินต (เปอร์เซ็นต์)
0.10	0.0238 <sup>b</sup> $\pm$ 0.0024	23.8
0.10 (ตัวควบคุม)	0.0740 <sup>a</sup> $\pm$ 0.0036	74.0

P-Value  $\leq$  0.05

จากการวัดความเข้มข้นของอัลจินตของสารสกัดจากเห็ดหูหนู ตามวิธีของ Pena *et al.*, (1997) เทียบกับตัวควบคุม พบว่าปริมาณอัลจินตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อัลจินตในตัวควบคุม มีค่า 74.0 % และอัลจินตในสารสกัดเห็ดหูหนูมีค่า 23.8 % มีความเป็นไปได้ว่าอาจจะเป็นกรดยูโรนิก เนื่องจากอัลจินตประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูคูโรนิก ซึ่งกรดทั้งสองเป็นกรดยูโรนิกชนิดหนึ่ง จากงานวิจัยของ Chen *et al.*, (2008) พบปริมาณกรดยูโรนิก 19.6 % ในเห็ดหูหนูซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณอัลจินตที่ได้

## 4.6 ผลการทดสอบการแยกสารโดย TLC

จากการนำสารสกัดเห็ดจุดลงบนแผ่น TLC วางลงใน TLC tank ที่มีสารละลายผสมระหว่าง เฮกเซนกับคลอโรฟอร์ม และเฮกเซนกับอะซิโตน สังเกตการแยกสารภายใต้แสงยูวี ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ระยะทางการเคลื่อนตัวของสารสกัดเห็ดหูหนูบนแผ่น TLC ที่มีเฟสเคลื่อนที่เป็นเฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 14:1 (A), เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 8:2 (B), เฮกเซน : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 9:1 (C) และเฮกเซน : อะซิโตน อัตราส่วน 9:1 (D)

จากผลการแยกสารโดย TLC พบว่าสารไม่แยกเป็นจุดเดียว เนื่องจากอาจมีสารผสมกันอยู่หลายชนิด การใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นเฮกเซน : อะซิโตน อัตราส่วน 9:1 เป็นระบบการแยกสารที่ดีที่สุด เนื่องจากมีขั้วที่พอเหมาะ (คณิตา, 2542) แต่ยังไม่สามารถตรวจหาจำนวนองค์ประกอบในสารผสมได้ เนื่องจากสารสกัดเห็ดหูหนูไม่บริสุทธิ์

การเลือกใช้เฟสเคลื่อนที่มีขั้วต่างกัน โดยพิจารณาจากควมมีขั้วต่ำไปยังขั้วมากขึ้น ได้แก่ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม และอะซิโตน (อุดมเดชา, 2556) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถยึดเกาะบนตัวดูดซับ และละลายในตัวทำละลายได้ไม่เท่ากัน โดยพบว่า สารใดละลายได้ดี และถูกดูดซับได้น้อย สารนั้นจะเคลื่อนที่ได้เร็ว ในทางตรงข้ามสารใดละลายได้น้อย และถูกดูดซับได้ดี สารนั้นก็เคลื่อนที่ได้ช้า (คณิตา, 2542) เนื่องจากควมมีขั้ว และไม่มีขั้วของหมู่เคมีในสารชนิดนั้นๆ ทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่บนแผ่น TLC ไม่เท่ากันเป็นผลทำให้สามารถแยกสารบริสุทธิ์ออกจากสารผสมได้ (ยุทธนา และภูษิต, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างสารโดยนิวเคลียร์แมกเนติกส์เรโซแนนซ์ (NMR)

ผลการวิเคราะห์โปรตอนด้วยเครื่อง NMR spectrometer ที่คลื่นความถี่ 500 Hz โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 โคโรนาโทรแกรมของโปรตอน NMR ที่คลื่นความถี่ 500 Hz จากสารสกัดจากเห็ดหูหนูที่สกัดด้วยเอทานอล 95 %

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างสารสกัดของเห็ดหูหนูด้วย NMR พบสัญญาณของค่าเคมีคัลชิฟต์ประมาณ 4.2 - 5.4 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณของน้ำตาล และกรดน้ำตาล (แมนน์ และคิมะ, 2552) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gomez *et al.*, (2009) ทำการสกัดอัลจินเตดจากสาหร่ายสีน้ำตาล (*Macrocystis pyrifera*) มีค่าเคมีคัลชิฟต์ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูคูโรนิกที่ 4.3 - 5.0 ppm และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Kihn *et al.*, (2007) ที่วิเคราะห์ค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอนในอัลจินเตดที่ได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลบริเวณชายฝั่งทะเลบริเวณ Thua-Thien-Hue coastal มีค่าเคมีคัลชิฟต์ของกรดแมนนูโรนิก ของ H1, H2, H3, H4 และ H5 มีค่า 5.09, 4.446, 4.152, 4.318 และ 4.135 ppm ตามลำดับ และมีค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอนของกรดกลูคูโรนิกที่ตำแหน่ง H1, H2, H3, H4 และ H5 เป็น 5.473, 4.318, 4.446, 4.571 และ 4.883 ppm ตามลำดับ ซึ่งค่าเคมีคัลชิฟต์ที่

5.09 และ 4.883 ppm ตรงกับสเปกตรัมของสารสกัดเห็ดหูหนู ดังนั้น เห็ดหูหนูมีกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูโคนิกเป็นองค์ประกอบ

แม้ว่าค่าเคมีคัลชีพต์จากสารสกัดจากเห็ดหูหนูซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เป็นฟังไจ มีความคลาดเคลื่อนจากค่าเคมีคัลชีพต์ของอัลจินเตที่สกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล อาจมีสาเหตุมาจากความสามารถในการสร้างกรดน้ำตาลได้แตกต่างกันตามแต่ละชนิดของสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตามจากการสืบค้นงานวิจัย และตรวจสอบเอกสารยังไม่พบการศึกษาอัลจินเตจากเห็ดหูหนู ในส่วนของค่าเคมีคัลชีพต์ของกรดยูโรนิกในเห็ดหูหนูมาก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจลแหล่งใหม่จากเห็ดหูหนู โดยสังเกตการนำแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเขียว แป้งถั่วเหลือง วุ้นหางจรเข้ และเมือกเห็ดหูหนูมาผสมกับโซเดียมอัลจินเตเทียบกับตัวควบคุม พบว่า เม็ดเจลที่ผสมระหว่างเมือกของเห็ดหูหนูปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับโซเดียมอัลจินเตตั้งแต่ 0.70, 1.05, 1.40 และ 1.75 % ปริมาตร 25 มิลลิลิตร มีลักษณะการก่อเจลได้ดีคล้ายกับการผสมแป้งถั่วเขียว

ในการสกัดเห็ดหูหนูด้วยเอทานอล 95 % ได้ปริมาณ 4.1708 กรัม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก พบว่ามีปริมาณกรด 0.062 % ซึ่งคาดว่าสารสกัดมีกรดกลูคูโรนิก เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่ามีปริมาณ 39.14  $\mu\text{g/ml}$  ทำการวัดความเข้มข้นของอัลจินเตพบว่าอัลจินเตในสารสกัดเห็ดหูหนูมีปริมาณ 23.8 %

การวัดความบริสุทธิ์ของสารสกัดเห็ดหูหนูด้วย TLC พบว่าสารสกัดไม่บริสุทธิ์ และเมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างสารด้วย NMR จึงทำให้สเปกตรัมเกิดความซับซ้อน อย่างไรก็ตามก็ยังพบสัญญาณของกรดกลูคูโรนิก และกรดแมนนูโรนิกที่ค่าเคมีลชิฟต์ 4.878 และ 5.090 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นบางตำแหน่งที่ตรงกับ  $^1\text{H NMR}$  ของอัลจินเตจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล จึงสรุปได้ว่าเห็ดหูหนูมีสารที่มีบทบาทสำคัญในการก่อเจล ซึ่งเป็นกรดน้ำตาล คือ และกรดกลูคูโรนิก และกรดแมนนูโรนิก

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำสารสกัดเห็ดหูหนูให้บริสุทธิ์ เช่น คอลัมน์โครมาโตกราฟี และวิเคราะห์ 2D NMR เพื่อให้การวิเคราะห์โครงสร้างสารบริสุทธิ์จากเห็ดหูหนูได้อย่างแม่นยำ
2. ควรเลือกวิธีสกัดที่สามารถสกัดสารออกมาได้ปริมาณมากที่สุด เพื่อให้คุ้มค่า เช่น เพิ่มอุณหภูมิในการสกัด หรือใช้เครื่องอัลตราโซนิคในการสกัด
3. ควรทำการสกัดเมือกของเห็ดหูหนู เพื่อนำไปศึกษาความเป็นไปได้ของการเป็นสารก่อเจล
4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้สารก่อเจลแหล่งใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธ์. (2541). “การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมจีนแป้งสดโดยใช้แป้งข้าวโพด.”  
วิทยาศาสตร์เกษตร. 45(2) (พิเศษ) : 665-668.

โชติอนันต์ และคณะ. (2553). สมุนไพรไทยสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ  
: ดวงกมลพับลิชชิ่ง.

คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2542). เทคนิคการแยกสารทางเคมี. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรหมทิพา เจริญไทยกิจ. (2555). “การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเหนียว.” กรุงเทพฯ :  
รายงานการวิจัยคณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทร  
วิโรฒ.

นิธิยา รัตนานนท์. (2549). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

พรเพชร ใจชื่น และวิสุธนา สมุทรศรี. (2557). “อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ชนิด  
สารเมือกจากกระเจียบเขียว เห็ดหูหนูดำ ผักปลัง และผักกูด.” กรุงเทพฯ : รายงานการวิจัย  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และเกียรติคุณ นิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). การคืนตัวของแป้ง. [Online].  
Available : [www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation-รี  
โทรเกรเดชัน](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation-รีโทรเกรเดชัน). (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม, 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). การเจลาตีไนซ์. [Online]. Available :  
[www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization-การเจลาตีไนซ์](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization-การเจลาตีไนซ์).  
(สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม, 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). แป้งข้าวโพด. [Online]. Available :  
[www.foodnetworksolution.com/wiki /word/0501/starch-สตาร์ช](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0501/starch-สตาร์ช). (สืบค้นเมื่อวันที่  
28 พฤษภาคม, 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). สตาร์ช. [Online]. Available :  
[www.foodnetworksolution.com/ wiki/ word/0501/starch-สตาร์ช](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0501/starch-สตาร์ช). (สืบค้นเมื่อวันที่  
28 พฤษภาคม, 2560)

พิสิษฐพันธ์ กาญจนเดชะ, ชिरารุช ปทุมธนทรัพย์, อารมย์ ตัดตะวะศาสดร์ และผดุงขวัญ จิตโร.  
(2554). “ผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติเชิงกลและการต้านการซึมผ่านน้ำของ  
แผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวตัดแปรด้วยต่างในแอลกอฮอล์.” หน้า 1086-1095. ใน การจัดประชุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12. ขอนแก่น : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณาจารย์สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหารและวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา. (2555). บทปฏิบัติการที่ 5 โครมาโทกราฟีแบบผิวบาง (Thin Layer Chromatography). [Online]. Available : [www.fe.rmutl.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc](http://www.fe.rmutl.ac.th/2012/wp-content/uploads/lab-5-Chromatography1.doc). (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม, 2560)

ยุทธนา วรวิฑู และภูษิต แสงประดับ. (2558). “การพัฒนาระบบตรวจสอบสารอาหารในอาหารไทยโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบางประสิทธิภาพสูง.” นครปฐม : รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

รุจิพัชญ์ ศุภสินเกรียงไกร. (2555). ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ. [Online]. Available : <http://www.pinkvanilla.in.th/article/26/ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม, 2560)

ดุชฎี อุดภาพ. (ม.ป.ป.). เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต. [Online]. Available : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม, 2560)

วรรณุช ศรีเจษฎารักษ์, วรรณมา ตูลยธัญ และชัยยุทธ ธัญพิทยากุล. (2530). “การแปรสภาพแป้งมันฝรั่งเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหารอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมพงษ์ บัวแย้ม, (ผู้รวบรวม). (2555). เพาะเห็ดเศรษฐกิจ เห็ด 3 อย่างล้างพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : วรวิฑู การพิมพ์

สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2549). “การศึกษาวิจัยเศรษฐกิจสมุนไพรไทย, กรณีศึกษาว่าน หางจระเข้ ฟ้าทะลายโจร ตะไคร้หอม และไพล.” เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 106. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตร และสหกรณ์.

แม่น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, ยุวดี เชี่ยว, วัฒนา, อติตยา ศิริภิญญานนท์, ศรีวิไล โอมอภิญญาณ และอุมาพร สุขม่วง. (2552). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ขอนพิมพ์ 50 จำกัด.

อรวิสา เผือกสุข, ชัยศักดิ์ จันศรีนิยม และมยุรี กัลยาวัฒนกุล. (2555). “ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดเห็ดฟางเพื่อใช้ประโยชน์ทางเครื่องสำอาง” เชียงราย : สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุดมเดชา พลเยี่ยม. (2556). “การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากมะเดื่อ.”  
กรุงเทพฯ : รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., and Kasapis, S. (2014). Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal of food science and technology*, 51(12), 3669-3679.
- Arakawa, T., Kita, Y., and Timasheff, S. N. (2007). Protein precipitation and denaturation by dimethyl sulfoxide. *Biophysical chemistry*, 131(1), 62-70.
- Araki, C. H. (1937). Acetylation of agar like substance of *Gelidium amansii*. *J. Chem. Soc*, 58, 1338-1350.
- Chauhan, A. K. and Varma, A. (2009). *A textbook of molecular biotechnology*. Newdelhi : IK International Pvt Ltd.
- Chen, G., Luo, Y. C., Ji, B. P., Li, B., Guo, Y., Li, Y., Su, W., and Xiao, Z. L. (2008). Effect of Polysaccharide from *Auricularia auricula* on Blood Lipid Metabolism and Lipoprotein Lipase Activity of ICR Mice Fed a Cholesterol-Enriched Diet. *Journal of food science*, 73(6).
- Chen, W., Zhou, H., Yang, H., and Cui, M. (2015). Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food chemistry*, 167, 180-184.
- Chung, H. J., Liu, Q., Pauls, K. P., Fan, M. Z., and Yada, R. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. *Food Research International*, 41(9), 869-875.
- Defloor, I., Dehing, I., & Delcour, J. A. (1998). Physico-chemical properties of cassava starch. *Starch -Stärke*, 50(2-3), 58-64.
- Goering, K. J., Fritts, D. H., and Allen, K. G. (1974). A Comparison of Loss of Birefringence with the Percent Gelatinization and Viscosity on Potato Wheat Rice Corn Cow Cockle and Several Barley Starches," *Cereal Chem.* Vol. 51, pp. 764-771.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gomez, C. G., Lambrecht, M. V. P., Lozano, J. E., Rinaudo, M., and Villar, M. A. (2009). Influence of the extraction–purification conditions on final properties of alginates obtained from brown algae (*Macrocystis pyrifera*). *International journal of biological macromolecules*, 44(4), 365-371.
- Horwitz, W., Chichilo, P., and Reynolds, H. (1970). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
- Imanishi, K. I. (1993). Aloctin A, an active substance of *Aloe arborescens* Miller as an immunomodulator. *Phytotherapy Research*, 7(7).
- Jane, J. L., and Shen, J. J. (1993). Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. *Carbohydrate Research*, 247, 279-290.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal chemistry*, 76(5), 629-637.
- Jansson, P. E., Kenne, L., and Lindberg, B. (1975). Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*. *Carbohydrate Research*, 45(1), 275-282.
- Jansson, P. E., Lindberg, B., and Sandford, P. A. (1983). Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea*. *Carbohydrate Research*, 124(1), 135-139.
- Jenkins, P. J., and Donald, A. M. (1995). The influence of amylose on starch granule structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17(6), 315-321.
- Kadnikova, I. A., Costa, R., Kalenik, T. K., Guruleva, O. N., and Yanguo, S. (2015). Chemical composition and nutritional value of the mushroom *Auricularia auricula-judae*. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3(8), 478-482.
- Karim, A. A., and Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food hydrocolloids*, 23(3), 563-576.
- Kaur, M., Sandhu, K. S., Singh, N., and Lim, S. T. (2011). Amylose content, molecular structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from

- different mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. *Starch-Stärke*, 63(11), 709-716.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N., and Lertsatchayam, T. (2008). The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1934-1943.
- Kinh, C. D., Thien, T. V., Hoa, T. T., and Khieu, D. Q. (2014). Interpretation of <sup>1</sup>H-NMR spectrum of alginate by <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H TOCSY and COSY spectrum. *Vietnam Journal of Chemistry*, 45(6), 772.
- Klompong, V., Benjakul, S., Kantachote, D., and Shahidi, F. (2007). Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type. *Food chemistry*, 102(4), 1317-1327.
- Kong, B., Niu, H., Sun, F., Han, J., and Liu, Q. (2016). Regulatory effect of porcine plasma protein hydrolysates on pasting and gelatinization action of corn starch. *International journal of biological macromolecules*, 82, 637-644.
- Li, J. Y., and Yeh, A. I. (2001). Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 141-148.
- Liu, H., Yu, L., Xie, F., and Chen, L. (2006). Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 357-363.
- Marney, L. C., Laha, T. J., Baird, G. S., Rainey, P. M., and Hoofnagle, A. N. (2008). Isopropanol protein precipitation for the analysis of plasma free metanephrines by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Clinical chemistry*, 54(10), 1729-1732
- McCready, R. M., and Hassid, W. Z. (1943). The separation and quantitative estimation of amylose and amylopectin in potato starch. *Journal of the American Chemical Society*, 65(6), 1154-1157.
- Nuwamanya, E., Baguma, Y., Kawuki, R. S., and Rubaihayo, P. R. (2008). Quantification of starch physicochemical characteristics in a cassava segregating population. *African Crop Science Journal*, 16(3).

- Onsoyen, E. (1992). *Thickening and Gelling Agents for Food*. London : FMC Corporation Ltd.
- Pena, C., Campos, N., and Galindo, E. (1997). Changes in alginate molecular mass distributions, broth viscosity and morphology of *Azotobacter vinelandii* cultured in shake flasks. *Applied microbiology and biotechnology*, 48(4), 510 - 515.
- Pongsawatmanit, R., Thanasukarn, P., and Ikeda, S. (2002). Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. *Science Asia*, 28(2), 129-134.
- Puvanenthiran, A., Goddard, S. J., McKinnon, I. R., and Augustin, M. A. (2003). Milk-based Gels Made with K-Carrageenan. *Journal of food science*, 68(1), 137-141.
- Renard, C. M., Crépeau, M. J., and Thibault, J. F. (1995). Structure of the repeating units in the rhamnogalacturonic backbone of apple, beet and citrus pectins. *Carbohydrate Research*, 275(1), 155-165.
- Saha, D., and Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of food science and technology*, 47(6), 587-597.
- Saito, H., Imanishi, K. I., and Okabe, S. (1989). Effects of aloe extracts, aloctin A, on gastric secretion and on experimental gastric lesions in rats. *Yakugaku zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, 109(5), 335-339.
- Sodhi, N. S., and Singh, N. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*, 80(1), 99-108.
- Stevenson, D. G., Doorenbos, R. K., Jane, J. L., and Inglett, G. E. (2006). Structures and functional properties of starch from seeds of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) varieties. *Starch -Stärke*, 58(10), 509-519.
- Stevenson, D. G., Jane, J. L., and Inglett, G. E. (2007). Structures and physicochemical properties of starch from immature seeds of soybean varieties (*Glycine max*

(L.) Merr.) exhibiting normal, low-linolenic or low-saturated fatty acid oil profiles at maturity. *Carbohydrate polymers*, 70(2), 149-159.

Sworn, G. (2000). *Handbook of hydrocolloids*. New York : Woodhead Publ Ltd.

Tester, R. F., and Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal chem*, 67(6), 551-557.

Uzuhashi, Y., and Nishinari, K. (2003) Physicochemical properties of agar and its utilization in food and related industry. *Foods Food Ingredients J Jpn*. 208(10) : 791-798.

Valli, C. R., and Miskiel, F. J. (2001). *Handbook of dietary fiber*. New York : MARCEL DEKKER Inc.

Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., & Naivikul, O. (2003). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. *Starch-Stärke*, 55(9), 410-415.

Verbeken, D., Thas, O., and Dewettinck, K. (2004). Textural properties of gelled dairy desserts containing K-Carrageenan and starch. *Food Hydrocolloids*, 18(5), 817-823.

Wang, W., Zhou, H., Yang, H., Zhao, S., Liu, Y., and Liu, R. (2017). Effects of salts on the gelatinization and retrogradation properties of maize starch and waxy maize starch. *Food chemistry*, 214, 319-327.

William, A. P., and Phillips, O. G. (2000). *Handbook of Hydrocolloids*. Boca Raton, Florida : CRC Press.

Williams, A. P., Phillips, O. G., and Vries, D. J. (2004). *Gums and Stabilisers for the Food Industry*. 12. Goteborg : RSC Publ.

Williams, A. P., and Phillips, O. G. (2006). *Gums and Stabilisers for the Food Industry*. 13. Dorchester : Henry Lings Ltd.

Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P., and Snyder, H. E. (1978). Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chemistry*, 55, 661-670.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Wu, Q., Tan, Z., Liu, H., Gao, L., Wu, S., Luo, J., Zhang, W., Zhao, T., Yu, J., and Xu, X. (2010). Chemical characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides and its pharmacological effect on heart antioxidant enzyme activities and left ventricular function in aged mice. *International journal of biological macromolecules*, 46(3), 284-288.
- Wu, F., Meng, Y., Yang, N., Tao, H., and Xu, X. (2015). Effects of mung bean starch on quality of rice noodles made by direct dry flour extrusion. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1199-1205.
- Yang, B. K., Ha, J. Y., Jeong, S. C., Jeon, Y. J., Ra, K. S., Das, S., Yoon, W. Y., and Song, C. H. (2002). Hypolipidemic effect of an exo-biopolymer produced from submerged mycelial culture of *Auricularia polytricha* in rats. *Biotechnology Letters*, 24(16), 1319-1325.
- Yoon, S. J., Yu, M. A., Pyun, Y. R., Hwang, J. K., Chu, D. C., Juneja, L. R., and Mourao, P. A. (2003). The nontoxic mushroom *Auricularia auricula* contains a polysaccharide with anticoagulant activity mediated by antithrombin. *Thrombosis Research*, 112(3), 151-158.
- Zhang, X., Tong, Q., Zhu, W., and Ren, F. (2013). Pasting, rheological properties and gelatinization kinetics of tapioca starch with sucrose or glucose. *Journal of food engineering*, 114(2), 255-261.

## ภาคผนวก ก

### การวิเคราะห์ทางเคมี

#### 1. คำนวณความเข้มข้นอัลจินेट และแป้งชนิดต่างๆ ในการฟอร์มตัวของเม็ดเจล

สารละลายอัลจินेटความเข้มข้นร้อยละ 1.75

ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร มีอัลจินेट 0.875 กรัม มีแป้ง 0.875 กรัม

คำนวณจาก 100 มิลลิลิตร มี 1.75 กรัม

$$\text{ถ้า } 50 \text{ มิลลิลิตร มี } \frac{50 \text{ มิลลิลิตร} \times 1.75 \text{ กรัม}}{100 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.875 \text{ กรัม}$$

สารละลายอัลจินेटความเข้มข้นร้อยละ 1.40

ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร มีอัลจินेट 0.70 กรัม มีแป้ง 0.875 กรัม

คำนวณจาก 100 มิลลิลิตร มี 1.40 กรัม

$$\text{ถ้า } 50 \text{ มิลลิลิตร มี } \frac{50 \text{ มิลลิลิตร} \times 1.40 \text{ กรัม}}{100 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.700 \text{ กรัม}$$

สารละลายอัลจินेटความเข้มข้นร้อยละ 1.05

ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร มีอัลจินेट 0.525 กรัม มีแป้ง 0.875 กรัม

คำนวณจาก 100 มิลลิลิตร มี 1.05 กรัม

$$\text{ถ้า } 50 \text{ มิลลิลิตร มี } \frac{50 \text{ มิลลิลิตร} \times 1.05 \text{ กรัม}}{100 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.525 \text{ กรัม}$$

สารละลายอัลจินेटความเข้มข้นร้อยละ 0.70

ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร มีอัลจินेट 0.35 กรัม มีแป้ง 0.875 กรัม

คำนวณจาก 100 มิลลิลิตร มี 0.70 กรัม

$$\text{ถ้า } 50 \text{ มิลลิลิตร มี } \frac{50 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.70 \text{ กรัม}}{100 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.35 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอัลจินเตความเข้มข้นร้อยละ 0.35

ปริมาตรรวม	50	มิลลิลิตร	มีอัลจินเต 0.175 กรัม	มีแป้ง 0.875 กรัม
คำนวณจาก	100	มิลลิลิตร	มี 0.35 กรัม	
ถ้า	50	มิลลิลิตร	มี $\frac{50 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.35 \text{ กรัม}}{100 \text{ มิลลิลิตร}}$	= 0.175 กรัม

## 2. การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl<sub>2</sub>) เข้มข้น 0.12 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

การคำนวณ

M.W. ของแคลเซียมคลอไรด์ = 147.02 กรัม/โมล

1 โมล คือ 147.02 กรัม/โมล  $\times$  0.12 โมลาร์ = 17.64 กรัม

ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร มีแคลเซียมคลอไรด์ 17.64 กรัม

ถ้า น้ำ 200 มิลลิลิตร มีแคลเซียมคลอไรด์  $\frac{200 \text{ มิลลิลิตร} \times 17.64 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มิลลิลิตร}}$  = 3.528 กรัม

## 3. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด; A.O.A.C, 2000

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
2. ฟีนอล์ฟทาลีน

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

1. นำโพแทสเซียมแอสซิดพาทาเลท (KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>) ใส่กระจกนาฬิกาไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 - 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้แน่นอน 0.8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ขวด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

#### วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรด

1. ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1 - 2 หยด
3. ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพูทำการ ทดลอง 3 ซ้ำ แล้วบันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)} = \frac{W}{V \times 0.02042}$$

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (g)

$V$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท (ml)

สมมูลของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต = 204.216

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)} &= \frac{0.8}{35.9 \times 0.02042} \\ &= 0.11 \text{ นอร์มอล} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{ไตเตรต} \times N \times n \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}}$$

เมื่อ  $N$  = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

$n$  = มิลลิอิควิวาเลนต์ = 0.07 (กรดซิตริก)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)} &= \frac{2 \times 0.11 \times 0.07 \times 100}{25} \\ &= 0.0616 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การคำนวณเปอร์เซ็นต์สารสกัดเห็ดหูหนู

วิธีทำ

น้ำหนักสารสกัดเห็ดหูหนู 4.17 กรัม

น้ำหนักเห็ดแห้ง 466 กรัม

4.17 กรัม คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของ 466 กรัม ?

$$\text{จะได้ว่า } 4.17 = \frac{X}{100} \times 466$$

$$X = \frac{4.17 \times 100}{466}$$

$$X = 0.90 \%$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์สารสกัดเห็ดหูหนู เท่ากับ 0.90 %

#### 5. การคำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

วิธีทำ

สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานกลูโคส คือ  $Y = 0.0083X + 0.036$

เมื่อค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดหูหนูเท่ากับ 0.361

แทนค่า  $Y = 0.361$

$$0.361 = 0.0083X + 0.036$$

$$X = \frac{0.361 - 0.036}{0.0083}$$

$$X = 39.14$$

ดังนั้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 39.14  $\mu\text{g/ml}$

## 6. การคำนวณเปอร์เซ็นต์อัลจินेत

การคำนวณเปอร์เซ็นต์อัลจินेतของสารสกัดเห็ด

วิธีทำ

น้ำหนักสารสกัดเห็ดเริ่มต้น 0.1 กรัม

น้ำหนักสารสกัดเห็ดหลังการทดลอง 0.0238 กรัม

0.0238 กรัม คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของ 0.1 กรัม ?

$$\text{จะได้ว่า } 0.0238 = \frac{X}{100} \times 0.10$$

$$X = \frac{0.0238 \times 100}{0.10}$$

$$X = 23.8 \%$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์อัลจินेतในสารสกัดเห็ด เท่ากับ 23.8 %

การคำนวณเปอร์เซ็นต์อัลจินेतของตัวควบคุม

วิธีทำ

น้ำหนักตัวควบคุมเริ่มต้น 0.10 กรัม

น้ำหนักตัวควบคุมหลังการทดลอง 0.0740 กรัม

0.0740 กรัม คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของ 0.10 กรัม ?

$$\text{จะได้ว่า } 0.0740 = \frac{X}{100} \times 0.1$$

$$X = \frac{0.0740 \times 100}{0.1}$$

$$X = 74.0 \%$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์อัลจินेतในสารสกัดเห็ด เท่ากับ 74.0 %

## ภาคผนวก ข

## ตารางผลการทดลอง

ตาราง ปริมาณกรดทั้งหมดของสารสกัดจากเห็ดหูหนู

การทดลอง	เริ่มต้น (มิลลิลิตร)	จุดยุติ (มิลลิลิตร)	ปริมาตร NaOH (มิลลิลิตร)	การเปลี่ยนสี	ค่าเฉลี่ย ± Std error	ปริมาณกรด ทั้งหมดในรูป กรดซิตริก
ตอนที่1 การหาความ เข้มข้นที่แน่นอน ของ NaOH	0.0	34.0	34.0	ฟ้า เปลี่ยนเป็น ชมพูอ่อน	35.9 ± 2.5	0.11 N
	0.0	34.2	34.2			
	0.0	39.5	39.5			
ตอนที่2 การหาปริมาณ กรดทั้งหมดของ สารสกัดเห็ดหูหนู	5	7	2	เหลือง เปลี่ยนเป็น ชมพูอ่อน	2 ± 0.0	0.062 %
	7	9	2			
	2.1	4.1	2			

ตาราง ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 490 นาโน  
เมตร

ความเจือจาง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	Std error
0	0	0	0	0	0
20	0.209	0.235	0.225	0.223	0.011
40	0.421	0.381	0.405	0.402	0.016
60	0.510	0.578	0.528	0.538	0.029
80	0.675	0.642	0.687	0.668	0.019
100	1.127	1.102	1.112	1.113	0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเห็ดหูหนู ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

ครั้งที่	ความเจือจาง	OD	ค่าเฉลี่ย	Std error
1	25	0.361	0.361	0.003
2		0.357		
3		0.365		

ตาราง ความเข้มข้นของอัลจินตในสารสกัดเห็ดหูหนูเมื่อเทียบกับตัวควบคุม

ปริมาณสารสกัด (กรัม)	น้ำหนักกระดาดกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาดกรอง+อัลจินต (กรัม)	ปริมาณอัลจินต (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณอัลจินต (เปอร์เซ็นต์)
0.10	0.5271	0.5530	0.0259	0.0238 <sup>b</sup> ±0.0024	23.8
	0.5435	0.5646	0.0211		
	0.5385	0.5628	0.0243		
0.10 (ตัวควบคุม)	0.5336	0.6118	0.0782	0.0740 <sup>a</sup> ±0.0036	74.0
	0.5335	0.6029	0.0694		
	0.5456	0.6201	0.0745		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ผลการคำนวณทางสถิติ

ผลการวัดความเข้มข้นของอัลจินต โดยโปรแกรม Minitab 17

## ANOVA

Source	df	SS	MS	F-value	P-value (F <sub>0.05</sub> )
Treatment	1	0.003790	0.003790	297.30	0.000
Error	4	0.000051	0.000013		
Total	11	0.003841			

## One-way ANOVA : Tukey Pairwise Comparisons

C1	N	Mean	Grouping
2	3	0.0740333	A
1	3	0.0237667	B

หมายเหตุ : C1 คือ ปริมาณสารสกัดเห็ด, 2 คือ ตัวควบคุม 0.1 กรัม และ 1 คือ สารสกัดเห็ด 0.1 กรัม

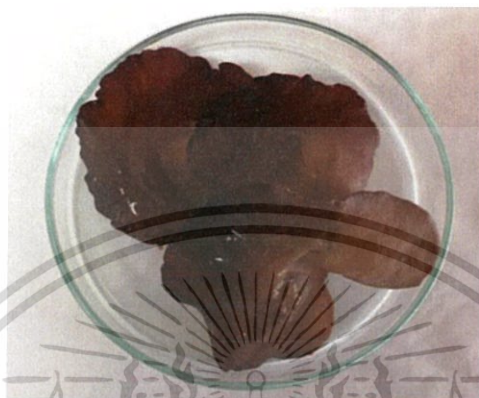
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### รูปประกอบการทดลอง

การสกัดสารจากตัวอย่างเห็ดหูหนู

1. เห็ดหูหนูสด



2. เห็ดหูหนูอบแห้ง



3. เตรียมการสกัดด้วยเอทานอล 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก

1. สารสกัดเห็ดหูหนูก่อนไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล



2. สารสกัดเห็ดหูหนูหลังไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวัดปริมาณอัลจินต

1. ส่วนใสของสารสกัดเห็ดหูหนูหลังเติมไอโซโพรพานอล



2. กรองส่วนผสมของสารสกัดเห็ดหูหนูหลังเติมไอโซโพรพานอล

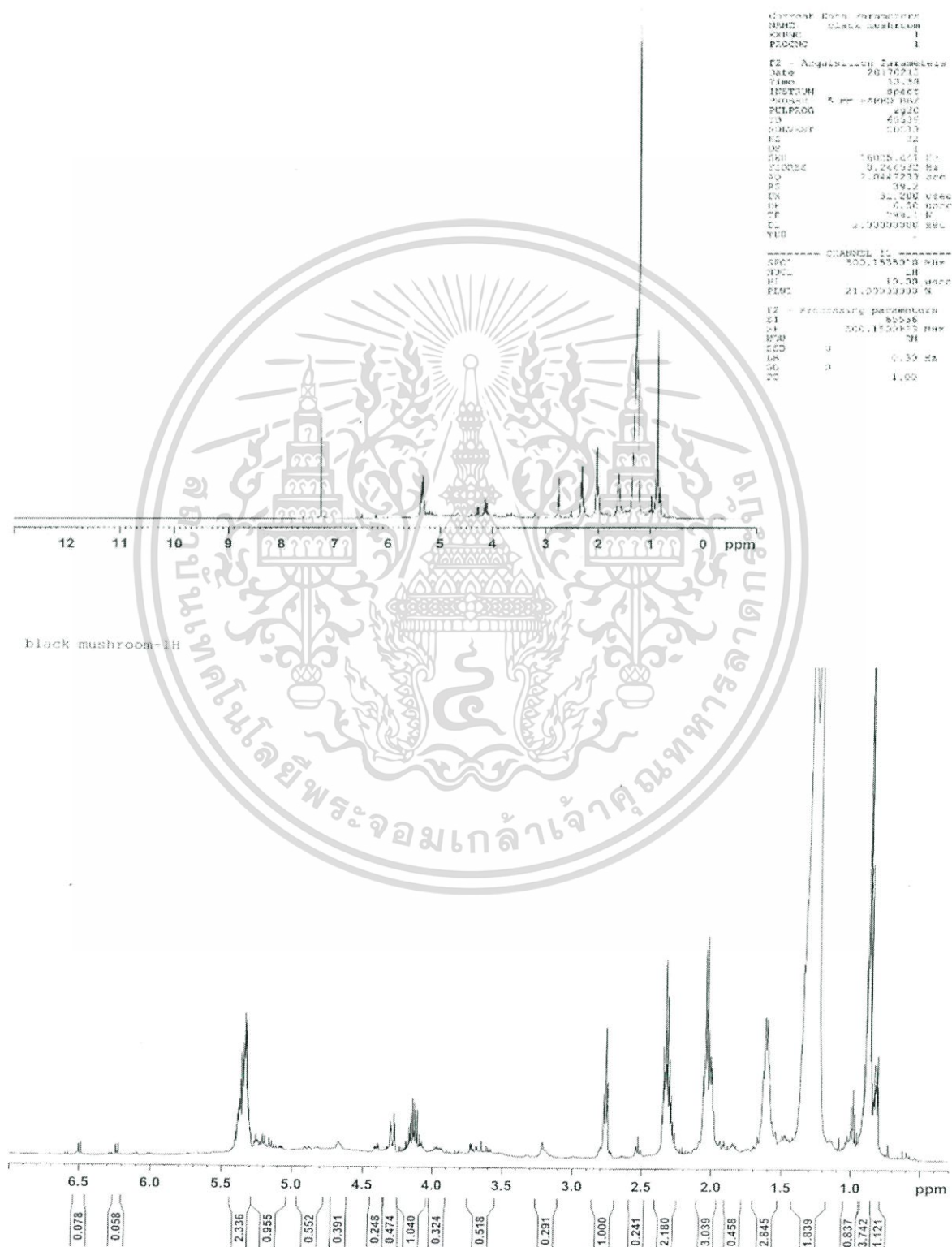


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

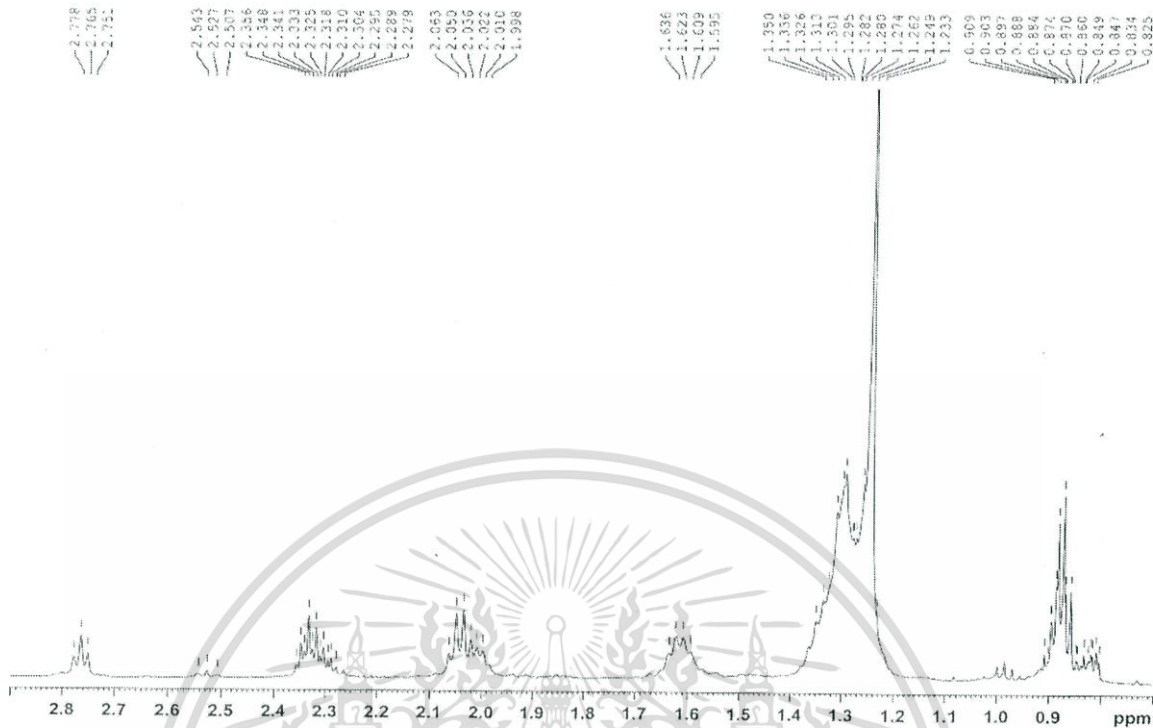
## ผลการวิเคราะห์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี

Black mushroom-1H

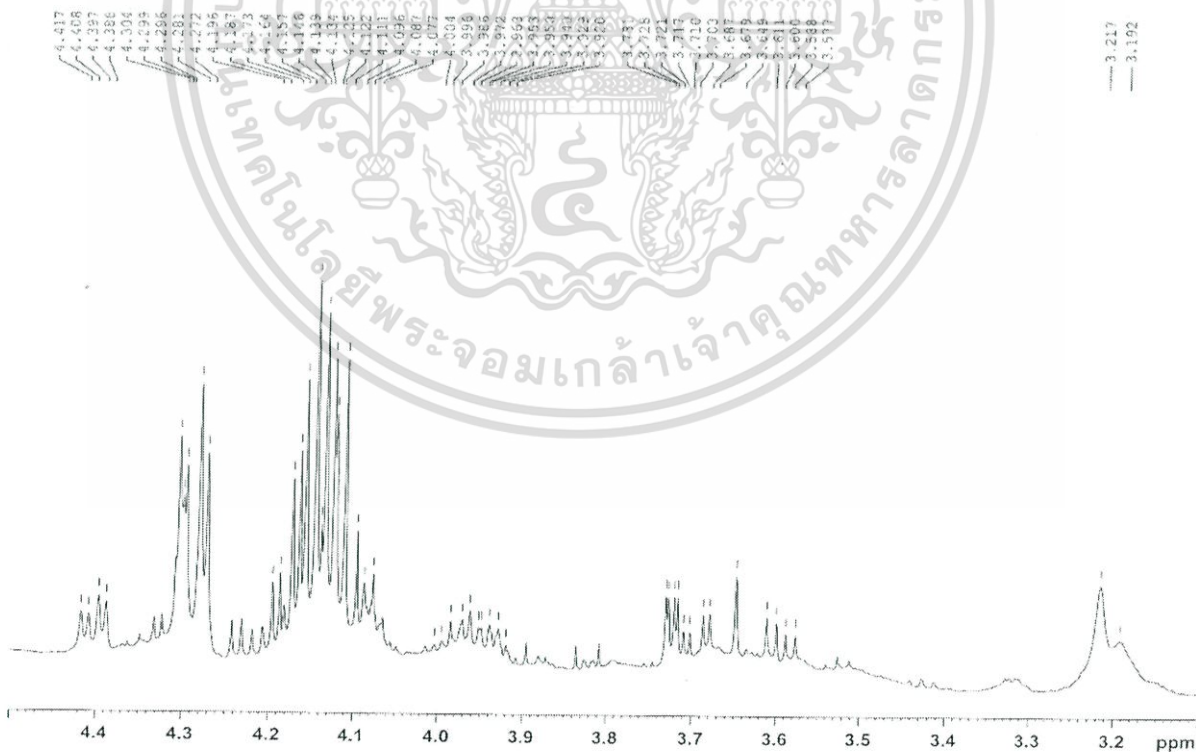


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

black mushroom-1H



black mushroom-1H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

Current data set:

NAME = black mushroom EXPNO = 1 PROCNO = 1

DATPATH = C:/STREC/Wanwimon

MI=0.00 cm, MAXI=10000.00 cm, PC=1.000

Peak-Nr	Frequency [Hz]	Frequency [ppm]	Intensity [cm]	Integral
Int-Reg: 1	6.6098	6.5678		0.0190676
1	3253.042	6.5041	0.09	
2	3244.536	6.4871	0.10	
Int-Reg: 2	6.5380	6.4548		0.0777069
Int-Reg: 3	6.2989	6.2624		0.0182689
3	3122.319	6.2428	0.08	
4	3113.817	6.2258	0.09	
Int-Reg: 4	6.2608	6.2007		0.0575855
Int-Reg: 5	6.1274	6.0769		0.0295503
Int-Reg: 6	6.0313	5.9753		0.0365087
5	2715.340	5.4291	0.06	
6	2713.414	5.4252	0.06	
7	2709.360	5.4171	0.07	
8	2707.285	5.4129	0.08	
9	2704.092	5.4066	0.13	
10	2702.673	5.4037	0.18	
11	2701.317	5.4010	0.15	
12	2696.969	5.3923	0.29	
13	2695.639	5.3897	0.35	
14	2694.331	5.3870	0.26	
15	2693.583	5.3855	0.26	
16	2691.844	5.3821	0.36	
17	2690.242	5.3789	0.41	
18	2688.830	5.3760	0.34	
19	2686.236	5.3709	0.54	
20	2684.922	5.3682	0.72	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

21	2679.079	5.3566	0.78	
22	2678.206	5.3548	0.75	
23	2673.168	5.3447	0.99	
24	2670.952	5.3403	0.70	
25	2669.233	5.3369	0.95	
26	2667.937	5.3343	0.86	
27	2666.504	5.3314	0.77	
28	2665.265	5.3289	0.57	
29	2663.570	5.3255	0.49	
30	2662.436	5.3233	0.52	
31	2658.531	5.3155	0.41	
32	2655.691	5.3098	0.31	
33	2654.536	5.3075	0.25	
34	2651.609	5.3016	0.21	
35	2650.239	5.2989	0.19	
36	2648.611	5.2956	0.18	
Int-Reg:	/	5.4430	5.2859	2.33574
37	2642.628	5.2837	0.07	
38	2639.994	5.2784	0.08	
39	2635.583	5.2696	0.11	
40	2634.074	5.2666	0.12	
41	2629.760	5.2579	0.17	
42	2625.420	5.2493	0.13	
43	2623.855	5.2461	0.12	
44	2620.657	5.2397	0.12	
45	2613.136	5.2247	0.12	
46	2607.110	5.2127	0.12	
47	2605.455	5.2093	0.16	
48	2600.357	5.1992	0.10	
49	2597.805	5.1941	0.16	
50	2589.844	5.1781	0.09	
51	2581.440	5.1613	0.14	
52	2573.251	5.1450	0.12	
53	2566.131	5.1307	0.09	
54	2557.891	5.1142	0.08	
55	2550.918	5.1003	0.07	
56	2545.893	5.0903	0.08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

57	2540.862	5.0802	0.09	
58	2535.653	5.0698	0.08	
59	2530.726	5.0599	0.06	
Int-Reg:	8	5.2859	5.0363	0.954698
60	2480.769	4.9601	0.06	
61	2474.882	4.9483	0.06	
62	2472.391	4.9433	0.06	
63	2470.179	4.9389	0.06	
64	2467.957	4.9344	0.06	
65	2465.370	4.9293	0.06	
66	2464.009	4.9265	0.06	
67	2458.844	4.9162	0.07	
68	2456.298	4.9111	0.08	
69	2454.112	4.9068	0.08	
70	2451.848	4.9022	0.08	
71	2449.328	4.8972	0.07	
72	2444.320	4.8872	0.08	
73	2442.243	4.8830	0.08	
74	2439.880	4.8783	0.08	
75	2437.777	4.8741	0.08	
76	2428.393	4.8553	0.07	
77	2426.240	4.8510	0.07	
78	2423.767	4.8461	0.07	
79	2421.644	4.8418	0.07	
80	2419.548	4.8376	0.07	
81	2413.141	4.8248	0.07	
82	2409.431	4.8174	0.07	
83	2402.516	4.8036	0.07	
84	2389.327	4.7772	0.06	
Int-Reg:	9	4.9610	4.7759	0.552051
85	2355.181	4.7089	0.07	
86	2342.254	4.6831	0.10	
87	2337.836	4.6743	0.12	
88	2331.618	4.6618	0.10	
89	2329.511	4.6576	0.09	
90	2328.146	4.6549	0.08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

91	2326.254	4.6511	0.08
92	2324.899	4.6484	0.08
93	2321.670	4.6419	0.07
94	2319.689	4.6380	0.07
95	2311.388	4.6214	0.06
Int-Req: 10	4.7222	4.6113	0.390587
-----			
96	2209.497	4.4177	0.09
97	2204.991	4.4087	0.09
98	2199.262	4.3972	0.10
99	2194.784	4.3883	0.10
100	2184.960	4.3686	0.05
101	2182.020	4.3627	0.06
Int-Req: 11	4.4449	4.3571	0.247788
-----			
102	2166.726	4.3322	0.08
103	2162.233	4.3232	0.09
104	2154.641	4.3080	0.14
105	2152.836	4.3044	0.26
106	2150.361	4.2994	0.20
107	2148.659	4.2960	0.23
108	2140.998	4.2807	0.31
109	2136.720	4.2722	0.24
Int-Req: 12	4.3479	4.2509	0.473585
-----			
110	2122.010	4.2424	0.08
111	2116.275	4.2313	0.08
112	2110.062	4.2189	0.07
113	2104.236	4.2072	0.07
114	2098.755	4.1963	0.12
115	2094.391	4.1875	0.13
116	2091.890	4.1825	0.10
117	2087.273	4.1733	0.22
118	2082.952	4.1647	0.25
119	2079.430	4.1576	0.32
120	2073.571	4.1459	0.42
121	2070.261	4.1393	0.17
122	2067.889	4.1345	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

123	2063.112	4.1250	0.34
124	2061.701	4.1222	0.28
125	2056.096	4.1110	0.34
126	2048.910	4.0966	0.17
127	2044.344	4.0875	0.12
128	2042.594	4.0840	0.09
129	2040.292	4.0794	0.10
130	2038.986	4.0767	0.13
131	2035.201	4.0692	0.08
132	2033.289	4.0654	0.08
133	2028.753	4.0563	0.06
134	2025.001	4.0488	0.06
Int-Req: 13	4.2509	4.0383	1.03977
135	2007.821	4.0144	0.06
136	2002.767	4.0043	0.06
137	1998.522	3.9958	0.06
138	1993.469	3.9857	0.08
139	1986.502	3.9718	0.08
140	1982.120	3.9631	0.09
141	1976.980	3.9528	0.07
142	1975.550	3.9499	0.07
143	1970.595	3.9400	0.08
144	1965.350	3.9295	0.07
145	1960.655	3.9201	0.06
146	1954.625	3.9081	0.05
Int-Req: 14	4.0200	3.9030	0.323583
147	1873.348	3.7456	0.04
148	1865.965	3.7308	0.11
149	1864.447	3.7278	0.11
150	1861.171	3.7212	0.11
151	1859.199	3.7173	0.11
152	1855.682	3.7102	0.07
153	1851.908	3.7027	0.07
154	1846.996	3.6929	0.05
155	1844.215	3.6873	0.09
156	1840.349	3.6796	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:16 ICT 2017

157	1834.738	3.6684	0.06
158	1830.102	3.6591	0.05
159	1824.964	3.6488	0.13
160	1818.468	3.6358	0.06
161	1815.245	3.6294	0.05
162	1811.876	3.6227	0.05
163	1806.355	3.6116	0.09
164	1800.461	3.5998	0.08
165	1794.835	3.5886	0.07
166	1788.931	3.5768	0.07
Int-Reg: 15	3.7457	3.5482	0.518035
167	1608.838	3.2167	0.12
168	1596.547	3.1921	0.07
Int-Reg: 16	3.2605	3.1032	0.291144
169	1406.657	2.8125	0.06
170	1400.253	2.7997	0.10
171	1389.303	2.7778	0.46
172	1382.800	2.7648	0.90
173	1376.237	2.7516	0.53
174	1366.758	2.7327	0.07
175	1360.954	2.7211	0.06
Int-Reg: 17	2.8601	2.6938	1
176	1271.791	2.5428	0.10
177	1263.829	2.5269	0.17
178	1254.113	2.5075	0.07
179	1247.972	2.4952	0.03
180	1239.742	2.4787	0.03
Int-Reg: 18	2.5875	2.4766	0.24117
181	1198.881	2.3970	0.05
182	1191.926	2.3831	0.06
183	1185.543	2.3704	0.08
184	1178.215	2.3557	0.32
185	1174.464	2.3482	0.78
186	1170.724	2.3407	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:17 ICT 2017

187	1166.719	2.3327	1.38
188	1163.145	2.3256	0.66
189	1159.511	2.3183	1.14
190	1155.537	2.3104	0.50
191	1152.400	2.3041	0.69
192	1147.865	2.2950	0.40
193	1144.745	2.2888	0.45
194	1140.063	2.2794	0.27
195	1135.427	2.2702	0.12
196	1132.479	2.2643	0.19
197	1124.492	2.2483	0.08
Int-Req: 19	2.4027	2.2456	2.18002
<hr/>			
198	1051.274	2.1019	0.09
199	1046.185	2.0917	0.13
200	1044.533	2.0884	0.14
201	1043.198	2.0858	0.14
202	1041.044	2.0815	0.12
203	1032.057	2.0635	0.59
204	1025.258	2.0499	1.45
205	1018.407	2.0362	1.55
206	1011.597	2.0226	0.89
207	1005.354	2.0101	0.71
208	999.554	1.9985	0.63
209	993.671	1.9867	0.34
210	984.168	1.9677	0.13
211	981.366	1.9621	0.12
Int-Req: 20	2.1023	1.9591	3.03902
<hr/>			
212	948.505	1.8964	0.08
213	946.033	1.8915	0.07
214	942.752	1.8849	0.10
215	932.642	1.8647	0.10
216	926.459	1.8524	0.13
217	922.137	1.8437	0.10
218	919.927	1.8393	0.12
219	915.020	1.8295	0.09
220	913.165	1.8258	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:17 ICT 2017

221	906.948	1.8134	0.07
222	900.803	1.8011	0.06
223	895.597	1.7907	0.06
Int-Reg: 21	1.9036	1.7835	0.457925
-----			
224	849.825	1.6991	0.11
225	846.447	1.6924	0.10
226	836.409	1.6723	0.17
227	833.166	1.6658	0.12
228	825.511	1.6505	0.25
229	818.249	1.6360	0.62
230	811.901	1.6233	0.98
231	804.981	1.6095	0.97
232	797.819	1.5952	0.66
233	786.142	1.5718	0.28
234	774.505	1.5485	0.20
235	771.901	1.5433	0.21
236	767.891	1.5353	0.15
Int-Reg: 22	1.7003	1.5248	2.84457
-----			
237	709.711	1.4190	0.17
238	698.228	1.3960	0.21
239	689.765	1.3791	0.37
240	681.780	1.3632	0.80
241	675.525	1.3506	1.35
242	668.450	1.3365	1.80
243	663.282	1.3262	2.09
244	656.881	1.3134	3.74
245	650.651	1.3009	4.28
246	647.914	1.2954	4.56
247	641.343	1.2823	3.12
248	640.325	1.2803	3.15
249	637.234	1.2741	3.16
250	631.083	1.2618	4.36
251	624.631	1.2489	13.50
252	616.906	1.2334	1.50
253	601.961	1.2036	0.30
254	599.219	1.1981	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:17 ICT 2017

255	592.014	1.1837	0.17
256	587.470	1.1746	0.15
Int-Reg: 23	1.4231	1.1736	21.8387
257	524.407	1.0485	0.10
258	519.339	1.0384	0.14
259	515.059	1.0298	0.13
260	512.648	1.0250	0.18
261	508.483	1.0167	0.15
262	505.617	1.0109	0.15
263	502.052	1.0038	0.21
264	499.985	0.9997	0.39
265	495.303	0.9903	0.23
266	492.718	0.9851	0.49
267	490.908	0.9815	0.16
268	485.727	0.9712	0.33
269	485.283	0.9703	0.33
270	477.662	0.9550	0.21
271	475.339	0.9504	0.12
272	469.700	0.9391	0.19
Int-Reg: 24	1.0489	0.9380	0.837188
273	459.835	0.9194	0.34
274	458.449	0.9166	0.38
275	454.883	0.9095	0.67
276	452.890	0.9055	0.43
277	451.538	0.9028	0.50
278	448.896	0.8975	1.39
279	444.002	0.8877	2.16
280	442.194	0.8841	3.52
281	437.277	0.8743	4.09
282	435.267	0.8703	2.02
283	430.180	0.8601	2.03
Int-Reg: 25	0.9276	0.8514	3.74249
284	424.542	0.8488	0.54
285	423.589	0.8469	0.51
286	419.370	0.8385	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wed Feb 15 14:48:17 ICT 2017

287	417.038	0.8338	0.66
288	412.730	0.8252	0.53
289	410.309	0.8204	0.68
290	408.916	0.8176	0.64
291	404.843	0.8094	0.72
292	402.131	0.8040	0.51
293	395.450	0.7907	0.10
294	393.078	0.7859	0.08
Int-Reg: 26	0.8514	0.7854	1.12123



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้