



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปด้วยกระบวนการทาง  
จุลชีววิทยา

The Value Added of Green Mussel Shell Waste from Processing by Microbiological  
Process

นามผู้วิจัย นายวุฒินันท์ เรืองศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ด. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์กังสดาลย์ บุญปราบ, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทนา กาญจนกมล, วท.ด. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรณ ชำรงนาวาสวัสดิ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D. Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู๋เหลือทิ้งจากการแปรรูปด้วยกระบวนการทางจุลชีววิทยา

The Value Added of Green Mussel Shell Waste from Processing  
by Microbiological Process

โดย

นายวุฒินันท์ เรืองศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วุดินันท์ เรื่องศรี 2555: การเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งจากการแปรรูปด้วยกระบวนการทางจุลชีววิทยา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ค. 134 หน้า

หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) เป็นสัตว์สำคัญทางเศรษฐกิจ มีราคาสูง หาซื้อได้ง่าย เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป เนื่องจากมีรสชาติอร่อย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง หอยแมลงภู่สามารถนำมาแปรรูปได้หลายรูปแบบ การแปรรูปหอยแมลงภู่เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดปัญหาที่ตามมา คือการเหลือทิ้งของเศษเปลือกหอยแมลงภู่ที่ไม่ได้ใช้ในการแปรรูป ซึ่งเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งทำให้เกิดการหมักหมม นำเสียจนเกิดกลิ่นเหม็น เกิดเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และพาหะนำเชื้อ จึงต้องมีการบำบัดเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวให้ลดน้อยลง และหมดไป และแสวงหาแนวทางการใช้เศษเปลือกหอยแมลงภู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำองค์ประกอบดังกล่าวมาใช้ โดยพัฒนาเทคโนโลยีการหมักด้วยวิธีทางจุลชีววิทยาโดยใช้การหมักแบบไม่เติมอากาศ ด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปหมักกับเปลือกหอยแมลงภู่ แล้วศึกษาควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์จากนั้นนำผลผลิตที่ได้จากการหมักมาศึกษาแนวทางการประยุกต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่พบว่า ในเปลือกหอยมีแคลเซียม เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ  $SO_3$ ,  $MgO$ ,  $P_2O_5$ ,  $Mg$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$  และ  $Si$  ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกผ่านกล้อง SEM พบว่า ด้านนอกของเปลือกหอยจะมีรูพรุนน้อยกว่าด้านใน เปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศมีลักษณะขรุขระคล้ายการถูกกัดกร่อน และมีรูพรุนเกิดขึ้นมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก เมื่อศึกษากระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์แบบการหมักไม่เติมอากาศ พบว่า ในอัตราส่วน 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17, 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 [ตัวอย่าง: กากน้ำตาล: น้ำ: พด.] มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแคลเซียมจากเปลือกหอยแมลงภู่ได้มากที่สุด และมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 ภายหลังกการหมัก

เมื่อนำเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วไปใช้ประโยชน์ในการลดความขุ่นของน้ำเสียที่ได้จากโรงผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมัก ส่งผลให้ค่าความขุ่นมีค่าลดลง เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในน้ำเสียจากโรงผลิตนม การนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศมาปลูกต้นถั่วเขียวพบว่า ที่อัตราส่วน น้ำหมักชีวภาพ : น้ำ เท่ากับ 1 : 500-1 : 1,000 มีประสิทธิภาพช่วยให้ต้นถั่วเขียวมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และเมื่อนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้ ไปใช้แทนสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนพบว่า ที่อัตราส่วน สูตรอาหาร : น้ำหมัก เท่ากับ 0.04 : 0.06 สามารถใช้เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ให้ได้ปริมาณที่ใกล้เคียงกับการใช้สูตรอาหารเลี้ยงเพียงอย่างเดียว ในการนำน้ำหมักชีวภาพ มาใช้ในอัตราส่วนดังกล่าว สามารถช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย และ ไนโตรเจน ในการเลี้ยงแพลงก์ตอนได้

Wuttinan Rueangsri 2012: The Value Added of Green Mussel Shell Waste from Processing by Microbiological Process. Master of Science (Marine Science), Major Field: Marine Science, Department of Marine Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jintana Salaenoi, Ph.D. 134 pages.

Green mussel (*Perna viridis*) is an economically important product in the marketplace. It is a food commonly consumed, cheap, delicious and highly nutritious value. It can be processed in several designs. After processing, various wastes of mussel shell fragments were produced and a lot of garbage, diseases, vectors and bad smell were affected to the environment. To manage these problems, the purpose of this experiment is to modify the worthless shell waste into the useful valuable substances by increasing the amount of important composition from those wastes in microbiological processes. The scope of this study was to find out the chemical compositions of mussel shells and adjusted the appropriate process of fermentation by comparing the two fermentation techniques; fermenting with natural flora and natural flora mixed with commercial flora before applying the fermented product for the high benefits. The results showed that the maximum compositions of mussel shells were calcium comparing to the others. The contents of  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{Si}$  were detected in descending order. SEM analysis showed the outer shell has less porous than the inner. The fermented mussel shells without aeration had a rough eroded and more porous comparing to the unfermented ones. It was found that the ferment without aeration using microorganisms in the ratio of 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17, 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 and 1000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 [sample: molasses: water: commercial strain] had the highest effective in releasing calcium from the mussel shell and the pH value of the extract became the lowest in week 3 after the process.

After testing the efficiency in reduce turbidity and protein of waste water releasing from the milk plant, Kasetsart University, the data was confirmed that the adding of the fermented mussel shell residues in waste water, the decreasing of turbidity and protein occurred. The bio-extract from the fermentation without aeration at the ratio of 1:500 - 1:1000 had the high effectiveness in promotion the growth of the green bean sprouts. And the bio-extract also served the medium for phytoplankton. At the ratio of 0.04 : 0.06 (media : bio-extract), the growth of *Chlorella* sp. was at the same rate comparison to the use of the medium only and at that ratio, ammonia and nitrite in the medium was decreased.

\

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์กังสดาชัย บุญปราบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทนา  
กาญจน์กมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับ  
นี้จนเสร็จสมบูรณ์

การดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุนงบประมาณ  
จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภทบัณฑิตศึกษาประจำปีงบประมาณ 2553

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อทวีป เรืองศรี และคุณแม่वलอนงค์ เรืองศรี ผู้ซึ่งมีพระคุณ  
สูงสุด ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาตั้งแต่วัยเยาว์จนกระทั่งจบการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา  
ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่เข้าใจ และให้กำลังใจในการศึกษาเสมอมาจนทำให้  
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ทุกคนจากสาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะ  
ประมง รวมถึงเพื่อน ๆ คนอื่น ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจในการทำ  
วิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลงด้วยดี

วุฒินันท์ เรืองศรี

ตุลาคม 2555

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลและวิจารณ์	21
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก การหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford และกราฟมาตรฐาน	89
ภาคผนวก ข ภาพการปลูกต้นถั่วเขียว	92
ภาคผนวก ค การหาความหนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอนด้วย Haemocytometer	96
ภาคผนวก ง สูตรอาหาร Conway	99
ภาคผนวก จ วิธีการใช้ Test Kit	101
ภาคผนวก ฉ ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย	105
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	134

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชุดการทดลองที่ 1 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 200 กรัม	14
2	ชุดการทดลองที่ 2 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 500 กรัม	14
3	ชุดการทดลองที่ 3 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 1,000 กรัม	15
4	ค่าพารามิเตอร์ และความถี่ในการวิเคราะห์น้ำหมัก	17
5	องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู่มาก่อน และหลังทำการหมักแบบไม่เติมอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์	22
6	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	29
7	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	31
8	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์การหมัก	33
9	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์การหมัก	35
10	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม เปรียบเทียบใน แต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	38
11	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม เปรียบเทียบใน แต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	40
12	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม เปรียบเทียบใน แต่ละตัวอย่างของสัปดาห์	42
13	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม เปรียบเทียบใน แต่ละตัวอย่างของสัปดาห์	44
14	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	50
15	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์	52

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง	55
17	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม เปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์	57
18	ร้อยละของโปรตีนที่ลดลงในน้ำเสียจากโรงผลิตนม	67
19	อัตราส่วนของน้ำ : น้ำหมัก กับความสูงของต้นถั่วเขียวในวันที่ 7 ของการทดลอง	69
20	ค่าพารามิเตอร์ในขวดเลี้ยงแพลงก์ตอนในวันที่ 5 ตรวจสอบค่าโดยใช้ชุดทดสอบ (Test Kit)	73
<b>ตารางผนวกที่</b>		
จ1	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ ( $\text{NH}_3$ ) : ppm ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ กัน	104
ฉ1	ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7	106
ฉ2	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7	106
ฉ3	เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7	107
ฉ4	ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7	108
ฉ5	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7	108

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ฉ6    เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)	109
ฉ7    ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	110
ฉ8    ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด - ต่าง เฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	110
ฉ9    เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	111
ฉ10   ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	112
ฉ11   ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด - ต่าง เฉลี่ยของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	112
ฉ12   เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	113
ฉ13   ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	114
ฉ14   ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด - ต่าง เฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	114
ฉ15   เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	115
ฉ16   ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	116
ฉ17   ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด - ต่าง เฉลี่ยของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	116
ฉ18   เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	117

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
น19 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	118
น20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็นกรด - ด่าง เฉลี่ยของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	118
น21 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	119
น22 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	120
น23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	120
น24 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	121
น25 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	122
น26 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	122
น27 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	123
น28 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	124
น29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	124
น30 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	125
น31 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7	126

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
น32 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	126
น33 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	127
น34 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	128
น35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	128
น36 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	129
น37 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	130
น38 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	130
น39 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	131
น40 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	132
น41 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณ แคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	132
น42 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7	133

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเตรียมถังและขวดที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง	13
2	การศึกษาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะบนจานอาหาร (Plate count)	16
3	ชุดการทดลองการศึกษาการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงผลิตนมด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ	18
4	ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู่ด้านบนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)	24
5	ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู่ด้านบนที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)	25
6	ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู่ด้านล่างที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)	26
7	ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู่ด้านล่างที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)	27
8	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างขนาด 200 กรัม	47
9	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างขนาด 500 กรัม	48
10	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม	61
11	ปริมาณความขุ่นในน้ำเสียจากโรงผลิตนมภายหลังจากทดสอบด้วยกากที่เหลือจากการย่อยเปลือกหอยแมลงภู่(ลำดับที่ 1 ถึง 6) เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม (ลำดับที่ 7)	66
12	จำนวนแพลงก์ตอนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำหมักในอัตราส่วนต่างๆ	72
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานการหาปริมาณ โปรตีน	91
ข1	ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 1 - 3	93
ข2	ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 4	93
ข3	ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 5	94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข4	ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 6	94
ข5	ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 7	95
ค1	ตารางสำหรับการนับความหนาแน่นของแมลงก่อดินด้วย Haemocytometer	97
จ1	สีมาตรฐานของไนโตรเจน	102
จ2	สีมาตรฐานของค่าความเป็นกรด - ด่าง	103
จ3	สีมาตรฐานของแอมโมเนีย	104

## การเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู๋เหลือทิ้งจากการแปรรูปด้วย กระบวนการทางจุลชีววิทยา

### The Value Added of Green Mussel Shell Waste from Processing by Microbiological Process

#### คำนำ

หอยแมลงภู๋ (*Perna viridis*) หรือ Green Mussel เป็นสัตว์สำคัญทางเศรษฐกิจ มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินหลายชนิดที่ร่างกายต้องการ สามารถย่อยได้ง่าย จากงานวิจัยในเนื้อหอยแมลงภู๋ 100 กรัม พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 8.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 3.0 กรัม ไขมัน 2 กรัม และไขมัน 0.45 กรัม (มยุรี, 2540) หอยแมลงภู๋สามารถนำมาแปรรูปได้หลายรูปแบบ เช่น ตากแห้ง ทำเค็ม และ หมักดอง ลักษณะการแปรรูปหอยแมลงภู๋แบบพื้นบ้านที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ การแกะเนื้อหอยสด หอยต้มแกะเนื้อ หอยต้มตากแห้ง หอยดอง เกสรหอย เนื้อหอยแช่แข็ง และการผ่าตากแห้งหรือหอยฝีเสื่อ เป็นต้น (สถานีวิจัยประมงศรีราชา, 2543; ศานิต, 2532)

ความนิยมบริโภคหอยแมลงภู๋ทั้งในและต่างประเทศนับวันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งหอยชนิดนี้สามารถทำรายได้เข้าประเทศในแต่ละปีได้เป็นจำนวนมาก ปริมาณการทำประมงหอยแมลงภู๋ในปี 2550 เท่ากับ 324,800 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 775.7 ล้านบาท (กรมประมง, 2550) หอยแมลงภู๋ที่ซื้อขายกันอยู่ในตลาดทั่วไปส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ได้จากแหล่งเลี้ยงในท้องที่จังหวัดชายฝั่งทะเล ทั้งบริเวณชายฝั่งของอ่าวไทยตอนนอก ชายฝั่งภาคตะวันออก และภาคใต้ แม้ว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู๋ในประเทศไทยจะได้ขยายขอบเขตออกไปในหลายพื้นที่ แต่ผลผลิตที่ได้ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด (จักรกริช, 2550)

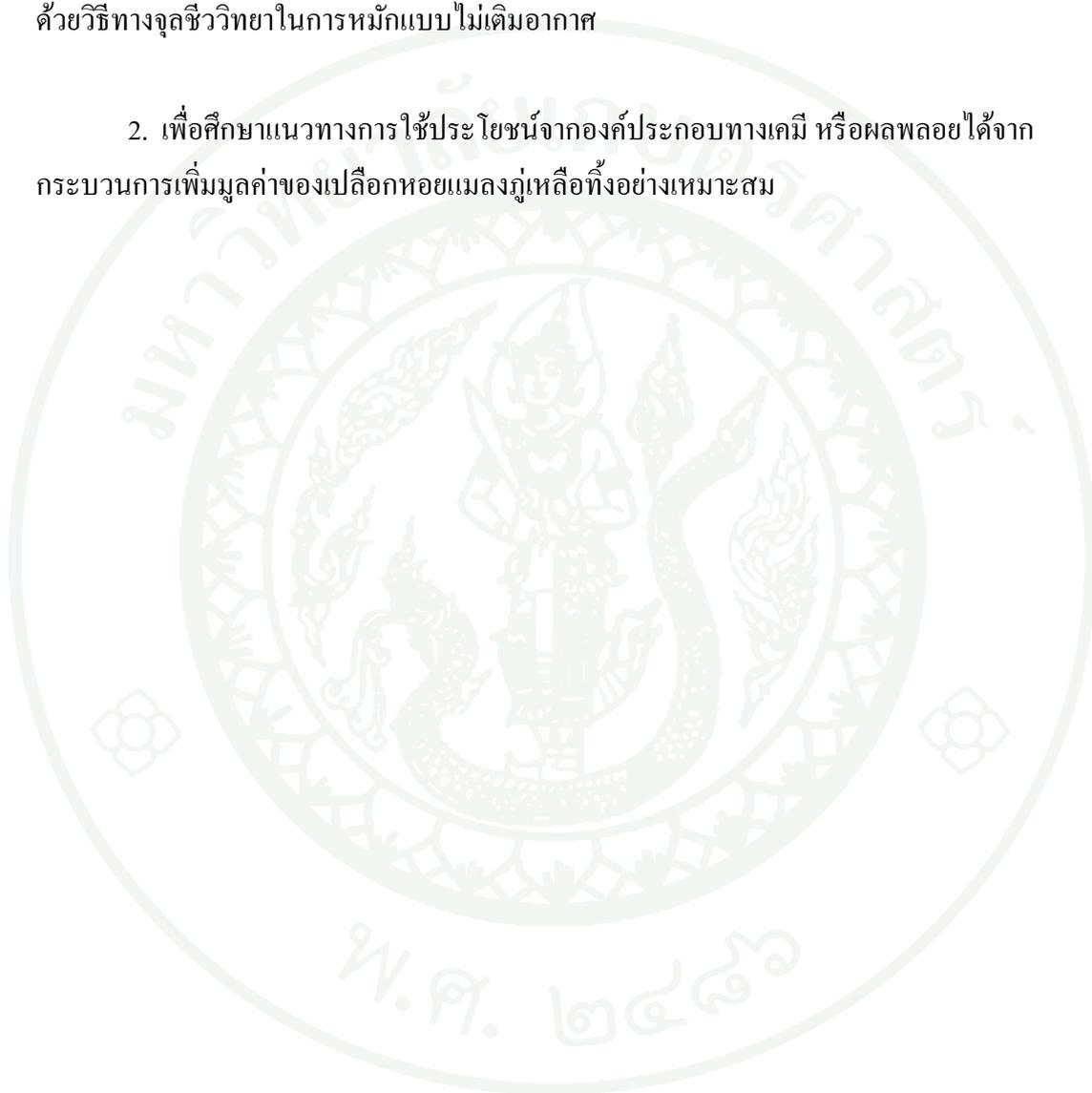
การแปรรูปหอยแมลงภู๋เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดปัญหาที่ตามมา คือการเหลือทิ้งของเศษเปลือกหอยแมลงภู๋ที่ไม่ได้ใช้ในการแปรรูป โดยหอยสดทิ้งเปลือกน้ำหนักประมาณ 3.37 กิโลกรัม ทำให้เกิดเศษหอยเหลือทิ้งถึง 2.37 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 70.33 ของปริมาณหอยแมลงภู๋ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้เศษเหลือทิ้งเกิดการหมักหมม นำเสียจนเกิดกลิ่นเหม็น เกิดเป็น

แหล่งสะสมของเชื้อโรค และพาหะนำเชื้อโรค เช่น หนู แมลงสาบ เป็นต้น (สมใจ, 2537) จึงต้องมีการบำบัดเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวให้ลดน้อยลง และหมดไป และแสวงหาแนวทางการใช้เศษเปลือกหอยแมลงภู่นั้นให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวความคิดการพัฒนาการเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่นั้นเหลือทิ้งจากการแปรรูป โดยคำนึงถึงผลประโยชน์จากองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบจากของเปลือกหอยแมลงภู่นั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำองค์ประกอบดังกล่าวมาใช้ โดยพัฒนาเทคโนโลยีการหมักด้วยวิธีทางจุลชีววิทยาโดยใช้การหมักแบบไม่เติมอากาศ ด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปหมักกับเปลือกหอยแมลงภู่นั้น แล้วศึกษาควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเป็นตัวชี้วัด เพื่อเลือกกระบวนการที่เหมาะสม จากนั้นนำผลผลิตที่ได้จากการหมักมาศึกษาแนวทางการประยุกต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้แก่ การทำปุ๋ยหรือวัสดุก่อสร้าง ทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาของเสีย ลดกลิ่นเน่าเหม็นแมลงรบกวน และพาหะนำโรคจากซากเปลือกหอยแมลงภู่นั้นในชุมชน นับเป็นการสร้างทางเลือกให้แก่คนในชุมชนในการนำวัตถุดิบเหลือทิ้งมาเพิ่มมูลค่า และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางหนึ่ง และลดการเกิดขยะที่จะทำลายสิ่งแวดล้อม

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคกระบวนการเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งจากการแปรรูปด้วยวิธีทางจุลชีววิทยาในการหมักแบบไม่เติมอากาศ
2. เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางเคมี หรือผลพลอยได้จากกระบวนการเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งอย่างเหมาะสม



## การตรวจเอกสาร

### 1. ลักษณะทางชีววิทยาของหอยแมลงภู

วันทนา (2541); Abbott and Dance (1991) รายงานว่า หอยแมลงภูจัดอยู่ใน

Phylum Mollusca

Class Bivalvia

Order Mytilidae

Family Mytilidae

Genus *Perna*

Species *Perna viridis*

โดยมีลักษณะทั่วไปเป็นหอยสองฝา มีรูปร่างคล้ายเสียมทิ้งอนทางด้านหัวเล็กน้อย หอยที่อาศัยอยู่ในบริเวณใต้น้ำตลอดเวลาจะมีเปลือกสีเขียวอมดำ (กรมประมง, 2535) ซึ่งเปลือกเป็นรูปรี ด้านหน้าแหลม ท้ายป้าน อัมโบ (umbo) อยู่ปลายหน้าสุด พื้นที่บ้านพับมีขนาดเล็ก มี 2 ซี่ ผิวของเปลือกนอกเรียบมีสีเขียวเข้มอมน้ำตาล เปลือกด้านในเป็นสีขาวขุ่นคล้ายมุก มีวงชั้นแสดงการเจริญเติบโตของหอยในแต่ละปี ขอบของเยื่อหุ้มลำตัวซ้ายขวาเชื่อมกันที่ตอนท้ายตัว ลำตัวหอยเป็นส่วนอ่อนนุ่มอยู่ในเปลือกอยู่ติดกับฝาทั้งสองข้างคลุมอวัยวะภายใน เมื่อพื้นระยะวัยอ่อนจะยึดติดกับที่โดยไม่มีการเคลื่อนย้าย แท้จริงมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับหอยชนิดอื่นๆ บริเวณฐานของเท้ามีต่อมสร้างเส้นใย (byssus gland) ที่หอยใช้สำหรับยึดเกาะกับหิน เสาไม้ หรือวัสดุอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำ (วันทนา, 2541 ; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2530 ; คเชนทร, 2544) เส้นใยดังกล่าวมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล เหนียว เกิดจากสารประกอบโปรตีนควิโนนแทน (quinone tanned protein) อาศัยตามปีก โป๊ะ หรือเกาะตามเสาไม้ใต้น้ำบริเวณปากแม่น้ำที่มีพื้นเป็นโคลน เช่น ชลบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร และเพชรบุรี (สถานีวิจัยประมงศรีราชา, 2543) Fang *et al.* (2009) รายงานว่า หอยแมลงภูสามารถนำไปเป็นตัวชี้วัด เพื่อใช้ในการตรวจสอบมลพิษชายฝั่งได้ด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dumalagan *et al.* (2010) ที่รายงานไว้ในหอยแมลงภูมีการสะสมแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี

## 2. ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู

เปลือกเป็นส่วนที่หอยสร้างขึ้นเพื่อปกป้องตัวให้พ้นอันตรายจากศัตรูและการผันแปรของสภาพแวดล้อม หอยจะรวบรวมธาตุแคลเซียม และคาร์บอนเนตจากแหล่งน้ำในบริเวณที่อาศัย สร้างเป็นสารประกอบหินปูนที่ดูดซับไว้ด้วยสารประกอบโปรตีนจำพวกคอนคิโอลิน (conchiolin) แล้วนำมาสร้างเปลือก หินปูนดังกล่าวอยู่ในรูปของแคลไซต์ (calcite) และอราโกไนท์ (aragonite) ที่มีรูปผลึกในรูปแบบที่แตกต่างกัน (วันทนา, 2541) เปลือกหอยแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น คือ

ผิวชั้นนอกสุดของเปลือก มีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเขียวอมน้ำตาล เป็นชั้นที่บาง และหลุดง่ายสร้างจากสารอินทรีย์พวกคอนคิโอลิน เรียกว่า Periostracum ถัดลงมาเป็นชั้นกลางของเปลือก เป็นชั้นที่มีความหนา และแข็งแรงกว่าชั้นอื่น ๆ ประกอบด้วยสารประกอบของหินปูนเป็นส่วนใหญ่ มีแร่ธาตุอื่นปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย เช่น ซิลิกอน ฟลูออไรท์ โบรไมด์ แมงกานีส และ ไอโอไดด์ เรียกว่า Prismatic layer และชั้นในสุดของเปลือก ประกอบด้วยหินปูนที่อยู่ในรูปของอราโกไนท์เป็นส่วนใหญ่ หอยแมลงภูมีชั้นนี้หนา ด้านในของเปลือกจึงเป็นสีมุกดูแวววาวสวยงาม เรียกว่า Nacreous layer (วันทนา, 2541)

## 3. การหมักแบบไม่ใช้ไร้อากาศ (Biological anaerobic process) และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การหมักแบบไร้อากาศ เป็นวิธีการใช้แบคทีเรียไปย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่ง 80 – 90% ของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์จำพวกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนซึ่งจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง (Manfred *et al.*, 2010)

อาจกล่าวได้ว่าการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้อากาศเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ระบบไร้อากาศ มีลักษณะจำเพาะคือ การเกิดก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา ซึ่งก๊าซนี้จะแยกออกจากระบบอย่างรวดเร็ว (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ราเชนทร์ และศิริธรรม, 2550) ได้แก่

### 1. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (pH) หรือค่าความเป็นกรด - ด่าง

ค่าความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 - 8.6 เมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาวะเป็นกรดจะเป็นอันตรายต่อ methane former bacteria ซึ่ง McCarty (1964) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.6 - 7.6 ซึ่งสอดคล้องกับ Gray (1989) ที่รายงานว่าสภาพความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้ออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 6.6 - 7.8 และถ้าลดต่ำมากเกินไป กระบวนการเกิดมีเทนจะถูกยับยั้ง และควรให้มีค่า alkalinity สูงๆ โดยค่า alkalinity ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 2,500 - 5,000 mg/l as CaCO<sub>3</sub>

### 2. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วง mesophilic (30 - 38 °C) และช่วง thermophilic (48 - 57 °C) โดย Metcalf and Eddy (1991) รายงานว่า ในช่วงอุณหภูมิ 30 - 38 °C และ 48 - 57 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดของเสียจากการผลิตนมในบ่อแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งสามารถลดค่า BOD ได้ 85% ในฤดูร้อนที่อุณหภูมิ 29 °C ในทางกลับกันในฤดูหนาวที่อุณหภูมิ 2 °C ประสิทธิภาพการลดค่า BOD เหลือเพียง 20% (Loehr and Ruf, 1986) Borja *et al.* (1995) รายงานว่า การเกิดก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากอยู่ในช่วง 30 - 38 °C ซึ่งขบวนการบำบัดในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่า mesophilic ระบบบำบัดที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงจะมีความคงที่ของอัตราการเกิดก๊าซมีเทนในช่วงอุณหภูมิ 50 - 70 °C โดยอัตราการเกิดจะสูงกว่าช่วง mesophilic 20 - 50 %

ไพลิน (2542) อ้างถึง Speech และ Ken (1970) ศึกษาผลการเปลี่ยนอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ ต่อการเกิดก๊าซมีเทนโดยการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าไม่พบก๊าซมีเทนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงมากกว่า 20 °C การเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น และมีการลดลงของค่าสารอินทรีย์ในระบบ

### 3. สารอาหาร (Nutrition)

จารุวรรณ (2551) รายงานว่า ในการนำจุลินทรีย์มาเพาะเลี้ยง จำเป็นต้องใช้สารอาหารสำหรับการเจริญ และเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์แหล่งอาหารต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์จะต้องใช้จากอาหารเลี้ยงเชื้อได้แก่ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน วิตามิน และ growth factor ต่าง ๆ อัตราส่วน ระหว่างคาร์บอน และไนโตรเจน (C/N ratio) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงาน แต่หากมีปริมาณของคาร์บอนที่มากเกินไปจะทำให้คาร์บอนส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) ซึ่งจะไปต่อต้านการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายไขมันลดลงไปด้วย และหากมีไนโตรเจนมากเกินไปก็จะไปอยู่ในรูปแอมโมเนียโดยค่า C/N ratio ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 35 หรือ 30 - 35 (Cohen *et al*, 1979; Polprasert, 1996; Haug, 1980; Gotaas, 1976)

### 4. น้ำ (Water)

น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการหมัก น้ำที่ใช้ควรมีสภาพเป็นกลาง และเป็นน้ำสะอาดจะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ได้มากขึ้น โดยน้ำเป็นตัวทำให้อาหารอยู่ในสถานะเป็นสารละลาย ซึ่งจุลินทรีย์จึงสามารถจะนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆในเซลล์ได้ (จารุวรรณ, 2551)

### 5. การปลอดเชื้อ (Sterilization)

การทำให้ปลอดเชื้อเป็นการทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ จึงมีความสำคัญต่อการหมัก การหมักมีหลายแบบทั้งแบบไม่ปลอดเชื้อ แบบกึ่งปลอดเชื้อ และแบบปลอดเชื้อ (จารุวรรณ, 2551)

## 6. การกวนและให้อากาศ

การกวนเป็นการทำให้อาหารจุลินทรีย์ และอากาศคลุกเคล้ากันได้อย่างทั่วถึง ระบบการกวนที่มีประสิทธิภาพ จะทำให้การละลายของออกซิเจนในของเหลวมีปริมาณเท่า ๆ กันทุกจุดในถังหมัก (จารุวรรณ, 2551)

## 7. ขนาดและชนิดของวัสดุที่ใช้หมัก

ชนิด และขนาดของพื้นที่ผิวของวัสดุเป็นส่วนที่สัมผัสกับของเหลว และจุลินทรีย์ที่จะไปย่อยสลายจึงส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการหมัก การเพิ่มพื้นที่ผิวโดยการลดขนาดวัสดุให้มีขนาดเล็กจะทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยวัสดุที่นำมาหมักได้ดีขึ้น (อนุภาพ, 2541) Gotaas (1976) รายงานว่าวัสดุประเภทเศษหญ้า และกิ่งไม้ ควรบดให้มีขนาดประมาณ 0.5 นิ้ว และ JICA (1982) แนะนำว่าขนาดของขยะมูลฝอยที่เหมาะสมในการหมัก คือ 0.5 - 1.5 นิ้ว

## 8. การขยายขนาดหมัก (scale up)

กระบวนการหมักที่ผ่านการพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการ และประสบความสำเร็จ นั้น ขึ้นกับความสามารถในการขยายกระบวนการเป็นระยะ ๆ จากขั้นต้นเป็นระดับที่ใหญ่ขึ้น และจนถึงระดับการค้า การขยายการหมักต้องเหมาะสม ซึ่งก็ต่ออาศัยความรู้ ความชำนาญของวิศวกรกระบวนการเข้าช่วย (จารุวรรณ, 2551)

## 4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับสารอาหารและเกลือแร่ต่าง ๆ แล้ว สภาพสิ่งแวดล้อมก็เป็นปัจจัยอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ความชื้น แรงดัน ตลอดจนอากาศ ( $O_2$ ) เป็นต้น

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่กำหนดอัตราการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของสิ่งที่มีชีวิตซึ่งขบวนการเมตาโบลิซึมในสิ่งมีชีวิตนั้นจะดำเนินไปด้วยดี ต้องมีความร้อนมาเกี่ยวข้องด้วย ความร้อนนี้อาจได้มาจากสิ่งแวดล้อมหรือเกิดขึ้นมาในขณะที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี จี๊ดสูงสุดของการเคลื่อนไหว

ของสิ่งมีชีวิต (Biokinetic zone) อย่างไรก็ตามก็ได้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า  $-2^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิสูงกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  เชื้อจุลินทรีย์ก็จะตายหรือถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าขีดต่ำสุดของ biokinetic zone เชื้อจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งในเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดก็ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ (ทิจัมพร และคณะ, 2527)

Teresa (1999) รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในช่วง biokinetic zone แต่เชื้อจุลินทรีย์ที่ต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตแตกต่างกันไปโดยในธรรมชาติจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ  $25 - 40^{\circ}\text{C}$  ซึ่ง Gray (1989) รายงานว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ช่วง  $30 - 32^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าช่วงดังกล่าว แบคทีเรียจะทำงานได้ไม่ดีทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

นอกจากอุณหภูมิแล้ว ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่เชื้อจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เช่นกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ยังมีอิทธิพลต่อเมตาโบลิซึม และลักษณะรูปร่างของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย ปกติแล้วความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่พอเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จะอยู่ช่วง 4.0 - 9.0 (ทิจัมพร และคณะ, 2527)

Chen *et al.* (2009) รายงานว่าแบคทีเรียผลิตกรดย่อยสลายได้ดีในช่วงความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 5.0 - 6.0 แต่หากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูงกว่า 6.0 ขึ้นไปจะทำให้กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Teresa (1999) ที่รายงานว่าแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอยู่ในช่วง 6.0 - 8.0 โดยปกติทั่วไปแบคทีเรียจะสามารถทนในสถานะที่เป็นด่างได้มากกว่ากรด

น้ำจัดเป็นสารประกอบหลักของเชื้อจุลินทรีย์ กล่าวคือ ภายในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์จะมีน้ำอยู่ประมาณ 80 - 90% ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้ เพราะน้ำเป็นสิ่งสำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึมปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ภายในเซลล์จะเกิดขึ้นได้จะต้องมีน้ำเป็นตัวทำละลาย (solvent) และนอกจากนี้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ (ทิจัมพร และคณะ, 2527)

ออกซิเจนยังมีบทบาทในการเจริญเติบโต และเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์เกือบทุกชนิด แบคทีเรียถูกแบ่งออกเป็นหลายพวก ตามความต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ซึ่งในการทดลอง ในการหมักนั้นแบคทีเรียส่วนใหญ่จะสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในที่ที่มีออกซิเจน และไม่มี ออกซิเจน (Facultative bacteria) สามารถแบ่งละเอียดออกได้อีกเป็น facultative aerobes ซึ่งเป็น แบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ในภาวะที่มีออกซิเจน แต่ชอบภาวะที่ไม่มีออกซิเจนมากกว่า แบ่งเซลล์ได้รวดเร็วกว่า มีอายุไม่ยาวนานเมื่อเทียบกับเมื่อเจริญเติบโตในที่ที่มีออกซิเจน และ facultative anaerobes ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่อาจจะมี lag phase ยาวนานและมีการแบ่งเซลล์ช้ากว่าภาวะที่มีออกซิเจน (จิรัมย์พร และคณะ, 2527; Teresa, 1999)

## 5. ตัวอย่างการใช้ประโยชน์เปลือกหอยเหลือทิ้ง

Yang *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมบดเป็นผงเพื่อนำไปใช้ในการยัดอายุการเก็บรักษากิมจิ พบว่าในการผสมผงเปลือกหอยนางรมบด 0.5% นั้นทำให้ค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ค่าความเป็นกรด และปริมาณกรดแลคติกเกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้สามารถยัดอายุการเก็บรักษากิมจิได้นานขึ้น

Yoon *et al.* (2002) ทำการทดสอบแรงอัดในตัวอย่างปูนซีเมนต์ โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนส่วนผสม เช่น ปูน น้ำ ทราย และเปลือกหอยนางรม โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับปูนซีเมนต์ปกติ พบว่าปูนซีเมนต์ที่ผสมเปลือกหอยนางรมสามารถลดแรงอัดได้ถึง 40% จึงสรุปได้ว่าเปลือกหอยนางรมสามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพในการลดแรงอัดได้ดีกว่าทราย

## อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู
2. การศึกษากระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ในการหมักแบบไม่เติมอากาศ
3. การศึกษาแนวทางการนำองค์ประกอบทางเคมีจากเปลือกหอยแมลงภูเหลือทิ้งจากกระบวนการที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์
4. การศึกษาแนวทางการนำน้ำหมักที่ได้จากการหมักเปลือกหอยแมลงภูเหลือทิ้งจากกระบวนการที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์

### การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู

เก็บตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภูสดที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปรวมทั้งหอยแมลงภูขนาดเล็กที่ถูกล้างจากทำขึ้นหอยและโรงแปรรูปหอยแมลงภูใน ต. บ้านแหลม อ. บ้านแหลม จ. เพชรบุรี นำไปบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 1 นิ้ว จากนั้นนำไปใส่ถุงดำมัดปากให้แน่นแล้วนำไปทำการวิเคราะห์ที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

### การวิเคราะห์ความชื้น และเถ้า

ทำการอบด้วยกระเบื้องทนไฟ (Porcelain dish) ที่แห้ง และสะอาดในตู้อบอุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชม. นำออกจากตู้อบ และปล่อยให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง จากนั้นใส่ตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภูสดที่บดละเอียดน้ำหนัก 10 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างพร้อมด้วยกระเบื้อง แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 100 - 105 °C นาน 1 วัน หรือจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำมาหักลบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มต้น น้ำหนักที่หายไปคือ น้ำหนักน้ำหรือความชื้น ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณวัตถุแห้งได้โดยใช้สูตร

$$\% \text{ วัตถุแห้ง (DM) } = 100 - (\% \text{ ความชื้น})$$

เมื่อทราบน้ำหนักแห้งแล้ว บันทึกน้ำหนักด้วยพร้อมตัวอย่าง นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500 °C เป็นเวลา 3 ชม. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ส่วนของอินทรีย์สารจะสลายตัวไป ส่วนที่เหลือคือ อนินทรีย์สารหรือเถ้า ซึ่งมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนเถ้า และค่าอินทรีย์วัตถุสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักด้วยพร้อมตัวอย่างหลังเผา} - \text{น้ำหนักด้วยเปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักด้วยพร้อมตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักด้วยเปล่า}}$$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ} = (\% \text{ วัตถุแห้ง}) - (\% \text{ เถ้า})$$

หลังจากนั้นนำเถ้าที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ  $\text{SO}_3$  โดยวิธี AOAC 2006 (Association of Official Analytical Chemists, 2006)

#### การศึกษาโครงสร้างของเปลือกหอยแมลงภู่

การศึกษาลักษณะภายนอกเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) โดยติดชิ้นตัวอย่างบนฐานรอง (stub) ด้วย carbon tape หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปฉาบผิวทองคำ ด้วยเครื่อง sputter coater แล้วนำไปส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุจิพร, 2538)

#### การศึกษากระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ในการหมักแบบไม่เติมอากาศ

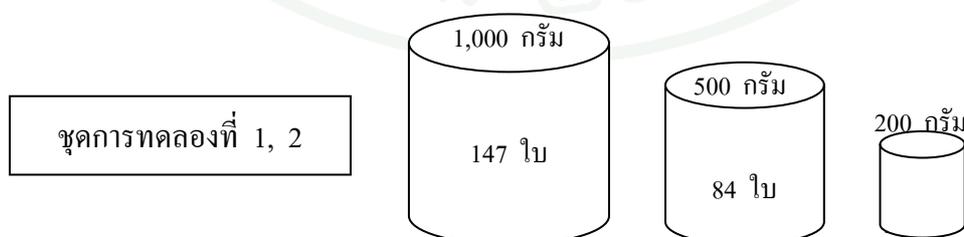
ดำเนินการด้วยการพัฒนาวิธีการการหมักสองแบบคือ การใช้เชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่น (Natural flora) และใช้เชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่นร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (สารเร่งจุลินทรีย์ พด. 2) ซึ่งประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ คือ ยีสต์ ผลิตแอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน แบคทีเรียละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) และโดยเปรียบเทียบปัจจัยองค์ประกอบทางเคมี และพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำหมัก ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณแคลเซียม แร่ธาตุที่คาดว่าจะมีปริมาณสูงสุด และเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total plate count : Spread plate technique) แล้ว

พิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมจากวิธีการหมักที่ให้ปริมาณแคลเซียมสูงสุดเป็นปัจจัยชี้วัด เพื่อนำไปสู่ข้อสรุป และเลือกสภาวะที่เหมาะสมมาผลิตสารที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

นำตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภู่น้ำผ่านการบดแล้วน้ำหนัก 200, 500 และ 1,000 กรัม มาใส่ลงในภาชนะปิด (ถังพลาสติก) ทึบแสง หลังจากนั้นทำการหมักโดยมีส่วนประกอบดังนี้ ตัวอย่าง (เปลือกหอยแมลงภู่น้ำสด หรือเปลือกไข่ไก่สด) กากน้ำตาล น้ำ และจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ (สารเร่งซูเปอร์ พด. 2) ในอัตราส่วนตาม ตารางที่ 1 – 3 ปิดฝาให้สนิท เขย่าถังหมักเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน บิดคลายเกลียวฝาถังเพื่อให้แก๊สระบายออก และเขย่าทุก ๆ 3 วัน แล้วทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุก ๆ 7 วัน ปล่อยให้เกิดการหมักเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์

สำหรับตัวอย่างการทดลองขนาด 500 กรัม ศึกษาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับตัวอย่างการทดลองขนาด 200 กรัม เพื่อดูความเป็นไปได้ที่ผู้วิจัยจะขยายขนาดการทดลองให้เพิ่มขนาดมากขึ้น โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงสัปดาห์ที่ 1, 3, 6 และ 7 เมื่อตรวจสอบแล้วหากพบว่า ทั้งสองขนาดการทดลองให้ผลการทดลองซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ผู้วิจัยจึงได้ขยายขนาดการทดลองเป็น 1,000 กรัม จากนั้นตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับที่ตรวจสอบในตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม โดยตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทุกๆ สัปดาห์เป็นเวลาทั้งหมด 7 สัปดาห์

จำนวนตัวอย่างที่หมักในขวดพลาสติกทั้งหมดจำนวน 368 ใบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ขนาดการทดลอง ใช้ระยะเวลาการหมักทั้งสิ้น 7 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็นตัวอย่างน้ำหนัก 200 กรัม 147 ใบ ตัวอย่างขนาด 500 กรัม 84 ใบ และตัวอย่าง 1,000 กรัม 147 ใบ



ภาพที่ 1 การเตรียมถัง และขวดที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง

## อัตราส่วนประกอบในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 200 กรัม

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน
	ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. (กรัม : กรัม : มล. : กรัม)
1	200 : 66.7 : 66.7 : 0
2	200 : 66.7 : 66.7 : 0.17
3	200 : 80 : 66.7 : 0
4	200 : 80 : 66.7 : 0.17
5	200 : 66.7 : 66.7 : 0
6	200 : 66.7 : 66.7 : 0.17
7	200 : 80 : 66.7 : 0.17

ตารางที่ 2 ชุดการทดลองที่ 2 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 500 กรัม

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน
	ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. (กรัม : กรัม : มล. : กรัม)
1	500 : 166.7 : 166.7 : 0
2	500 : 166.7 : 166.7 : 0.42
3	500 : 200 : 166.7 : 0
4	500 : 200 : 166.7 : 0.42
5	500 : 166.7 : 166.7 : 0
6	500 : 166.7 : 166.7 : 0.42
7	500 : 200 : 166.7 : 0.42

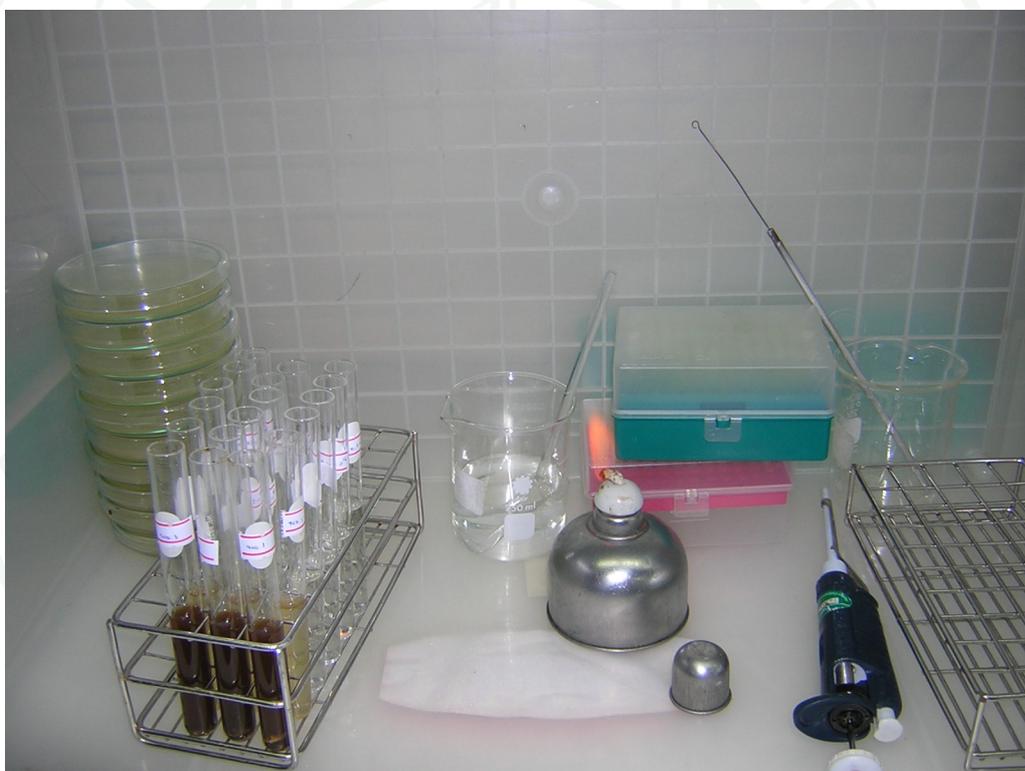
ตารางที่ 3 ชุดการทดลองที่ 3 การหมักแบบไม่เติมอากาศตัวอย่างน้ำหนัก 1,000 กรัม

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน			
	ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. (กรัม : กรัม : มล. : กรัม)			
1	1,000	: 333.3	: 333.3	: 0
2	1,000	: 333.3	: 333.3	: 0.8
3	1,000	: 400	: 333.3	: 0
4	1,000	: 400	: 333.3	: 0.8
5	1,000	: 333.3	: 333.3	: 0
6	1,000	: 333.3	: 333.3	: 0.8
7	1,000	: 400	: 333.3	: 0.8

\* ในตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ใช้ตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภู่นสด ในตัวอย่าง 5, 6 และ 7 ใช้ตัวอย่างเปลือกไข่ไก่สด

### การนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะบนจานอาหาร (Plate count)

เลือกใช้วิธี Spread plate โดยนำน้ำหมักที่ได้จากถังหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ มาเจือจาง โดยทั่วไปทำเป็นลำดับ ๆ ละ 10 เท่า (serial dilution) ปริมาตร 0.1 มล. หยดลงบนจานอาหาร ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ (TSA : Tryptone Soya Agar) ที่ผ่านการทำให้ปลอดเชื้อแล้ว (Aseptic technique) หลังจากนั้น ทำให้เชื้อกระจายตัวด้วยแท่งแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (spreader) นำไป บ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 - 48 ชม. นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น รายงานผลการนับเป็น colony forming unit (CFU) (นภดล, 2549 ; Tukmechi *et al.*, 2009 และ Niko *et al.*, 2007)



ภาพที่ 2 การศึกษาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะบนจานอาหาร (Plate count)

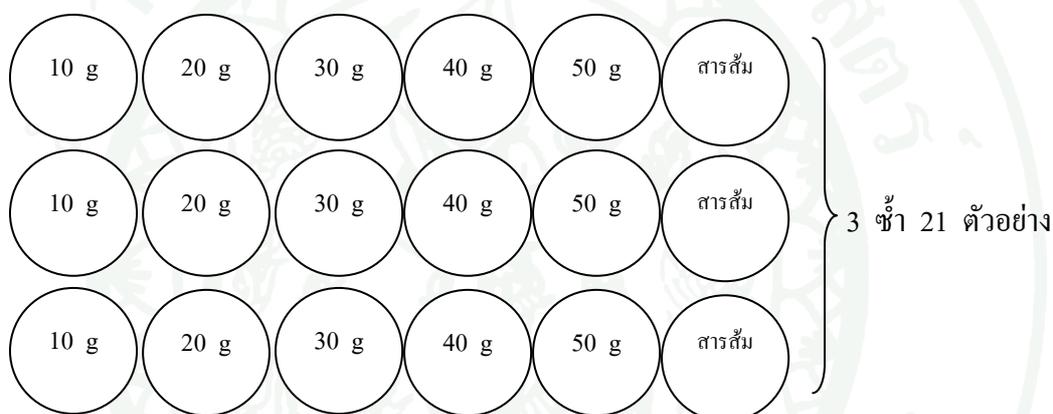
ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ และความถี่ในการวิเคราะห์น้ำหมัก

พารามิเตอร์	ก่อน การทดลอง	ขณะทำ การทดลอง	หลัง การทดลอง
ค่าความเป็นกรด - ค่า	/	1 ครั้ง/สัปดาห์	/
ปริมาณแคลเซียม		1 ครั้ง/สัปดาห์	
ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์		1 ครั้ง/สัปดาห์	

หมายเหตุ / คือ ค่าที่ทำการศึกษา ณ เวลานั้นๆ

### การศึกษาแนวทางการนำกากเปลือกหอยแมลงภู่มื่อทิ้งจากกระบวนการหมักไปใช้ประโยชน์

พัฒนาวิธีการนำเปลือกหอยแมลงภู่มื่อทิ้งจากการหมักแล้วไปใช้ประโยชน์โดยการทดลองปรับคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงผลิตนม โดยการนำกากที่ได้จากการหมัก (ในตัวอย่างที่ให้ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด) ใส่ลงในน้ำเสียที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร คนให้เข้ากันเป็นเวลา 25 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชม. จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย โดยการวิเคราะห์ค่าความขุ่น และปริมาณโปรตีน เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำเสียที่ใส่สารส้ม และไม่ใส่สารส้ม AOAC (2006) และอัชมา (2547)



ภาพที่ 3 ชุดการทดลองการศึกษาการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงผลิตนมด้วยเปลือกหอยแมลงภู่มื่อทิ้งผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ

การศึกษาแนวทางการนำน้ำหมักที่ได้จากการหมักเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ โดยแบ่งออกเป็น 2 การศึกษา

1. ศึกษาการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพในการปลูกต้นถั่วเขียว

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพ : น้ำ ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพในการปลูกต้นถั่วเขียว ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย

การนำน้ำหมัก (สารละลายเข้มข้นสีน้ำตาลซึ่งผ่านกระบวนการหมักในตัวอย่างการทดลองที่ให้ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด) ประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์หลายชนิดขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการหมัก ในการศึกษาในครั้งนี้ เปรียบเทียบอัตราส่วนการใช้น้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต โดยเลือกตัวอย่างเป็นพืชตระกูลถั่ว (ถั่วเขียว) เริ่มจากนำถั่วเขียว 1 ถ้วย มาแช่น้ำเป็นระยะเวลา 1 คืน จากนั้น นำเมล็ดถั่วเขียวที่ได้ผ่านการแช่น้ำแล้วมาใส่ลงในถาดแก้ว (Petri dish) ถาดละ 10 เมล็ด เป็นจำนวน 11 ทริทเมนต์ ทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ โดยแต่ละทริทเมนต์ใส่ส่วนผสมในอัตราส่วน น้ำหมักชีวภาพ : น้ำ ดังนี้ 0 : 100, 1 : 100, 1 : 200, 1 : 300, 1 : 400, 1 : 500, 1 : 600, 1 : 700, 1 : 800, 1 : 900 และ 1 : 1,000 ตามลำดับ รดน้ำด้วยน้ำตัวอย่างทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นบันทึกภาพถ่าย และจดบันทึกความยาวของลำต้นในวันที่ 7 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552)

## 2. ศึกษาการนำน้ำหมักที่ได้ไปใช้ในการเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิด *Chlorella* sp.

วัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศโดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง *Chlorella* sp. ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

เตรียมน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ppt ปริมาตร 2 ลิตร นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) จากนั้นจึงเตรียมแพลงก์ตอนพืชชนิด *Chlorella* sp. ในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 1,000 มล. โดยใช้อาหารสูตร Conway (ภาคผนวก ง) (ลัดดา, 2543) ควบคุมอุณหภูมิการเพาะเลี้ยงที่ 25–27 °C ให้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 1,000 lux ระยะเวลาให้แสง มีด 12 ชม. สว่าง 12 ชม. เก็บเกี่ยวเซลล์ที่ระยะ Stationary phase ไปทดลองต่อโดยการนำน้ำทะเลที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 125 มล. เติมน้ำเค็ม 90 มล. เติมหาหารที่ใช้ในการทดลอง โดยมี 6 อัตราส่วน ดังนี้ 0.1 : 0, 0.08 : 0.02, 0.06 : 0.04, 0.04 : 0.06, 0.02 : 0.08 และ 0 : 0.1 มล. จากนั้นเติมห้วเชื้อ *Chlorella* sp. 10 มล. ตรวจสอบผลการศึกษาโดยนับจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ทุกวัน (ภาคผนวก ค) ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียม และไนโตรเจนในวันที่ 5 ของการเลี้ยง (ภาคผนวก จ)

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแคลเซียม และความสูงของต้นถั่วเขียว ด้วยวิธีการของ Duncan 's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ (อนันต์ชัย, 2542)

## ผลและวิจารณ์

### การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภูโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ก่อน และหลังทำการหมักแบบไม่เติมอากาศโดยใช้จุลินทรีย์ ผลการศึกษาองค์ประกอบของ Ca, SO<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O และ Si ในเปลือกหอยแมลงภูก่อนทำการหมัก พบว่าในเปลือกหอยแมลงภูมีปริมาณของแคลเซียมมากที่สุด (37.41 %) และมีปริมาณของ SO<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Mg, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เท่ากับ  $2.18 \times 10^{-1}$ ,  $1.50 \times 10^{-1}$ ,  $1.10 \times 10^{-1}$ ,  $9.00 \times 10^{-2}$  และ  $6.05 \times 10^{-3}$  % ตามลำดับ (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ยังพบปริมาณของ Na<sub>2</sub>O น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $8.1 \times 10^{-3}$  % แต่ไม่พบปริมาณของ Si ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hyok - Bo *et al.* (2004) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมด้วยวิธี inductively coupled plasma atomic emission photospectrometer (ICP - AES, Optima 3000 DV, Perkin Elmer, USA) พบว่า ในเปลือกหอยนางรมมีปริมาณไอออนบวก (cations) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังนี้ Ca (37.4), Na (0.594), Mg (0.269), K (0.012), Fe (0.034), Al (0.036), Mn (0.011), Cu (0.001) Zn (0.011), Sr (0.091) และ Si (0.023)

เมื่อศึกษารูปแบบสารประกอบทางเคมีของเปลือกหอยโดยนำเปลือกหอยไปอบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วยวิธี X - ray diffraction (XRD) จะพบปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยทุก ๆ ตัวอย่างซึ่งในการทดลองนี้พบปริมาณแคลเซียม 37.41 % เช่นกัน สอดคล้องกับ Michele *et al.* (2012) ซึ่งศึกษาลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนางรมและหอยแมลงภู โดยการนำเปลือกหอยไปวิเคราะห์แคลเซียมตามวิธีการของ CILAS 1064 จากนั้นตรวจสอบด้วย X - Ray fluorescens (SHIMADZUEDX - 700) พบว่า ในเปลือกหอยแมลงภูมีองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ CaO, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, SrO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, MgO และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 95.7, 0.5, 0.9, 0.4, 0.7, 0.7, 0.6 และ 0.4 % ตามลำดับ แต่ในเปลือกหอยนางรมพบเฉพาะ CaO (98.2 %) และ SO<sub>3</sub> (0.7 %) เท่านั้น

เมื่อนำไปส่องภายใต้กล้อง SEM พบว่าเปลือกหอยทั้งสองชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตในเชิงพาณิชย์พบว่า มีลักษณะโครงสร้างใกล้เคียงกัน แต่แคลเซียมคาร์บอเนตในเชิงพาณิชย์จะมีจำนวนรูพรุนจำนวนมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู และเปลือกหอย

นางรมซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ตรวจพบปริมาณของ Ca, SO<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O และ Si ซึ่งสอดคล้องกับ Yoon *et al.* (2003) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเชิงกลของเปลือกหอยนางรมด้วยวิธีการ X - ray diffraction (XRD) และศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกด้วยกล้อง SEM พบว่า ในเปลือกหอยนางรมมีปริมาณ CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O และ SO<sub>3</sub> เท่ากับ 95.994, 0.696, 0.649, 0.419, 0.33, 0.204, 0.984 และ 0.724 % ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณที่ได้ไม่เท่ากันแต่พบว่า องค์ประกอบทางเคมีหลักของเปลือกหอยคือ แคลเซียมเหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Chang *et al.* (2008); Yang *et al.* (2006) กล่าวไว้ว่า องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเปลือกหอยนั้นคือ แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่ง Rick (2001) และ Tsukaoto *et al.* (2008) รายงานไว้ว่า พบปริมาณ CaCO<sub>3</sub> เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักในเปลือกหอย Siegele *et al.* (2001) ทำการทดสอบเปลือกหอยน้ำจืด โดยวิธีการ X - Ray พบว่า ที่พลังงาน 4 keV สามารถตรวจพบแคลเซียมในเปลือกหอยน้ำจืดได้สูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแมงกานีส กับแคลเซียมพบว่า ในเปลือกหอยมีปริมาณแคลเซียมสูงเป็นสองเท่าของปริมาณแมงกานีส สอดคล้องกับ Mustakimah *et al.* (2012) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครงด้วยวิธีการ X - Ray fluorescences (XRF) พบว่าในเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่า 95 %

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู่มาก่อน และหลังทำการหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์

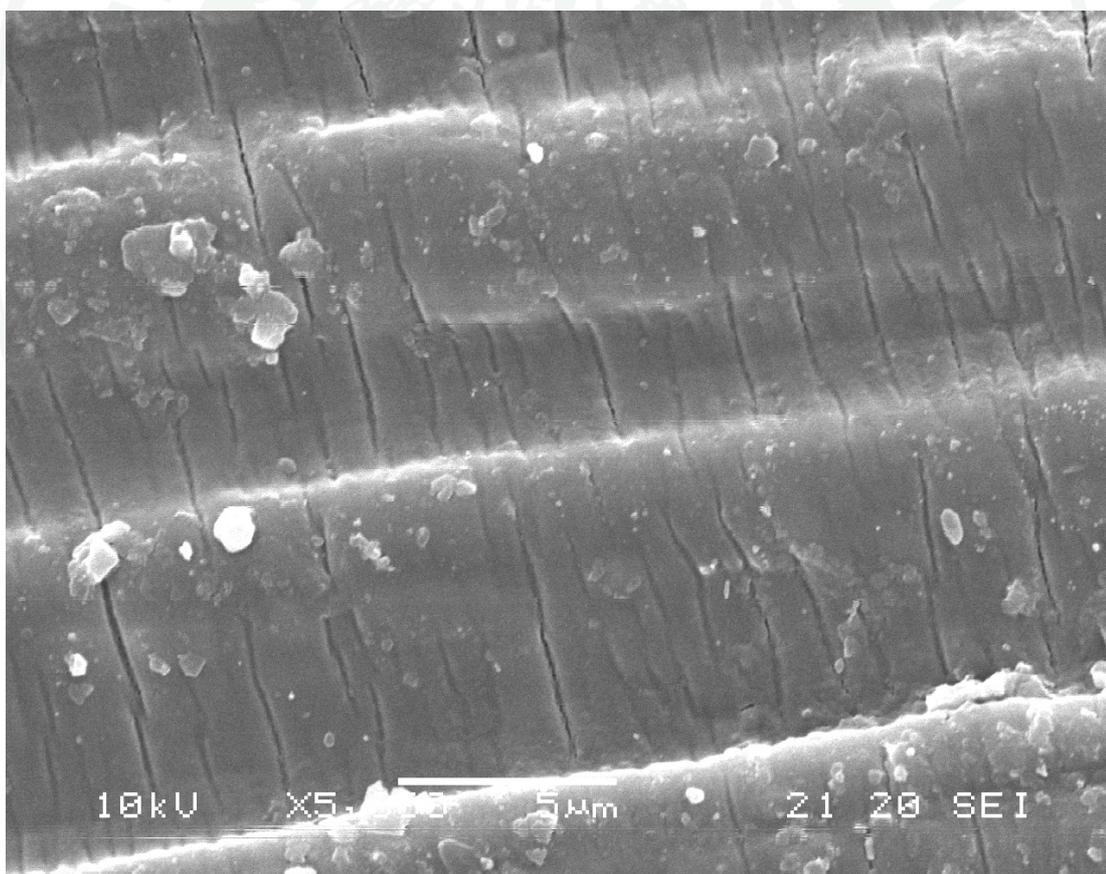
ธาตุ	ปริมาณ (%)	
	ก่อนทำการหมัก	หลังทำการหมัก
Ca	37.41	24.47
SO <sub>3</sub>	2.18 x 10 <sup>-1</sup>	2.5 x 10 <sup>-2</sup>
MgO	1.5 x 10 <sup>-1</sup>	2 x 10 <sup>-2</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.1 x 10 <sup>-1</sup>	3.2 x 10 <sup>-1</sup>
Mg	9 x 10 <sup>-2</sup>	1 x 10 <sup>-2</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.05 x 10 <sup>-3</sup>	3.5 x 10 <sup>-3</sup>
Na <sub>2</sub> O	8.1 x 10 <sup>-3</sup>	4.6 x 10 <sup>-3</sup>
Soluble Si	0	2 x 10 <sup>-2</sup>

Engr *et al.* (2009) ทดสอบประสิทธิภาพของแคลเซียมที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ในประเทศฟิลิปปินส์ โดยนำเปลือกหอยแมลงภู่ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำไปบดให้ได้ขนาดโดยประมาณ  $0.5 \times 0.5$  เซนติเมตร จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า  $900^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 - 3 ชม. จึงนำสารที่ได้ไปตรวจสอบพบว่าลักษณะสีของแคลเซียมที่ได้มีลักษณะสีเทียบเท่ากับลักษณะสีของแคลเซียมที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ และเมื่อนำแคลเซียมไปใช้ในการผลิตสีในกาวลาเทกพบว่า การใช้แคลเซียมจากเปลือกหอยแมลงภู่ให้ผลที่ใกล้เคียงกับแคลเซียมในเชิงพาณิชย์เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งใหม่ที่ตรวจพบว่าแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่ และสอดคล้องกับวรรณูญ (2546) ทำการศึกษาวิจัย และพัฒนาวิธีการผลิตปูนขาวจากเปลือกหอยแมลงภู่โดยการศึกษาเปลือกหอยแมลงภู่ที่กองทิ้งไว้เป็นเวลา 10 วัน ถึง 3 เดือน ตัวอย่างที่สองเปลือกหอยแมลงภู่ที่กองทิ้งไว้เป็นเวลา 3 เดือน ถึง 6 เดือน และตัวอย่างที่ 3 เปลือกหอยแมลงภู่ที่กองทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือนขึ้นไป มาทำการเผาเป็นเวลา 15 ชม. ที่อุณหภูมิ 700 ถึง  $1,000^{\circ}\text{C}$  ผลการทดลองพบว่า ทั้งสามตัวอย่างพบปริมาณของปูนขาวทั้งหมด แต่ยังมีค่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้

เมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่หลังทำการหมักแบบไม่เติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณของแคลเซียมได้ลดลงมีปริมาณเท่ากับ 24.47 % และพบปริมาณของ  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Na}_2\text{O}$  ดังนี้  $2.5 \times 10^{-2}$ ,  $2.00 \times 10^{-2}$ ,  $3.20 \times 10^{-1}$ ,  $1.00 \times 10^{-2}$ ,  $3.5 \times 10^{-3}$ ,  $4.6 \times 10^{-3}$  % และพบปริมาณของ Si เท่ากับ  $2.00 \times 10^{-2}$  % ซึ่งเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วนั้นมีแนวโน้มกลายเป็นไคลดิน เนื่องจากในการผลิตไคลดินนั้น มีขบวนการในการผลิต 3 ขั้นตอน (รัตน, 2544) คือ 1. การกำจัดแร่ธาตุ เป็นการแยกแคลเซียมคาร์บอเนตออก ซึ่งเมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่ามีปริมาณแคลเซียมในเปลือกหอยลดลง 2. การกำจัดโปรตีน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ใส่เชื้อจุลินทรีย์ ชูปเปอร์ พด. 2 ซึ่งมีส่วนผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สลายโปรตีนร่วมอยู่ด้วย ทั้งนี้เปลือกหอยที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวยังไม่ใช่ไคลดินอย่างสมบูรณ์เนื่องจากยังขาดกระบวนการที่ 3. คือ การกำจัดตรงควัตถุ

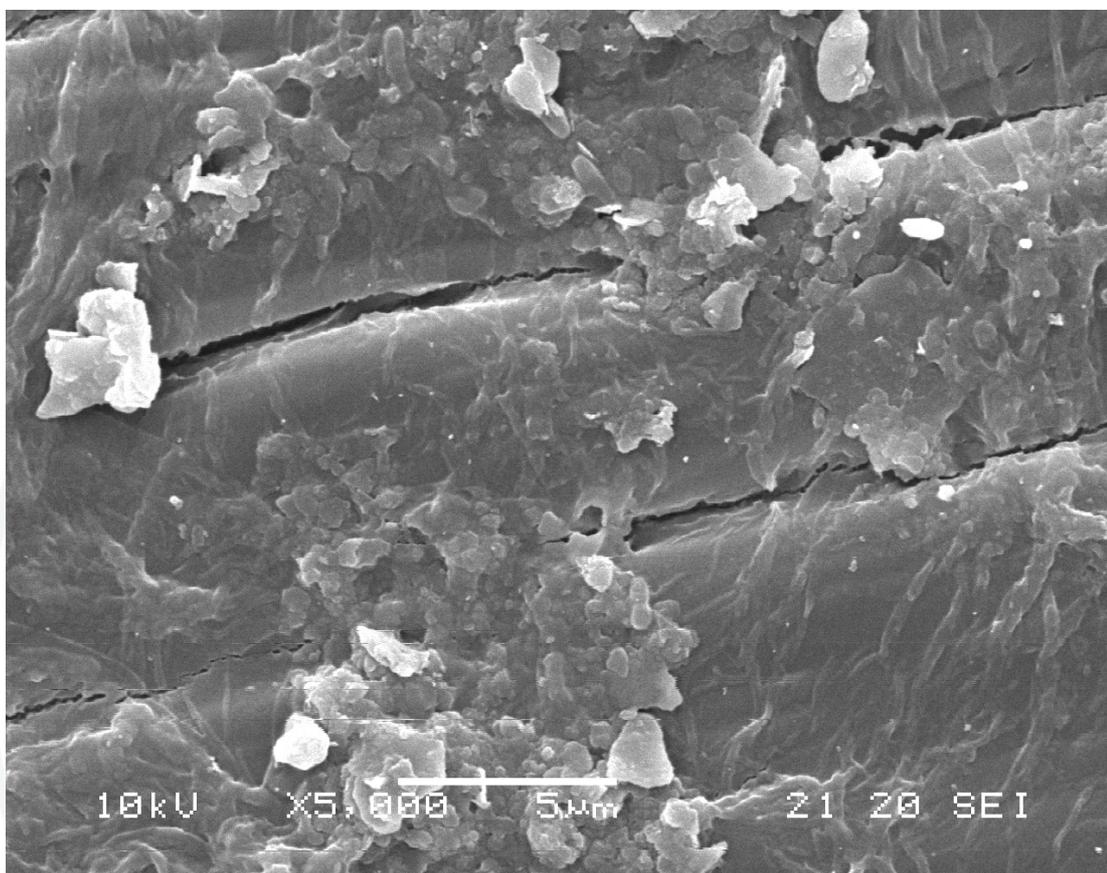
### การศึกษาโครงสร้างของเปลือกหอยแมลงภู

ศึกษาโครงสร้างภายนอกของเปลือกหอยแมลงภูที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วเปรียบเทียบกับเปลือกหอยแมลงภูที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเปลือกหอยแมลงภูที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางด้านนอก มีลักษณะเรียบ สีเขียว มีรอยแตกของเปลือกหอยเป็นทางยาว ดังภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับ Yoon *et al.* (2003) ศึกษาลักษณะภายนอกของเปลือกหอยพบว่า มีลักษณะเป็นผิวเรียบ และรูพรุนเล็กน้อย เช่นเดียวกับ Michele *et al.* (2012) ซึ่งทำการตรวจสอบลักษณะโดยการส่องกล้อง SEM ในเปลือกหอยแมลงภู และเปลือกหอยนางรมพบว่า ในเปลือกหอยแมลงภูจะมีลักษณะด้านนอก เรียบกว่าเปลือกหอยนางรม



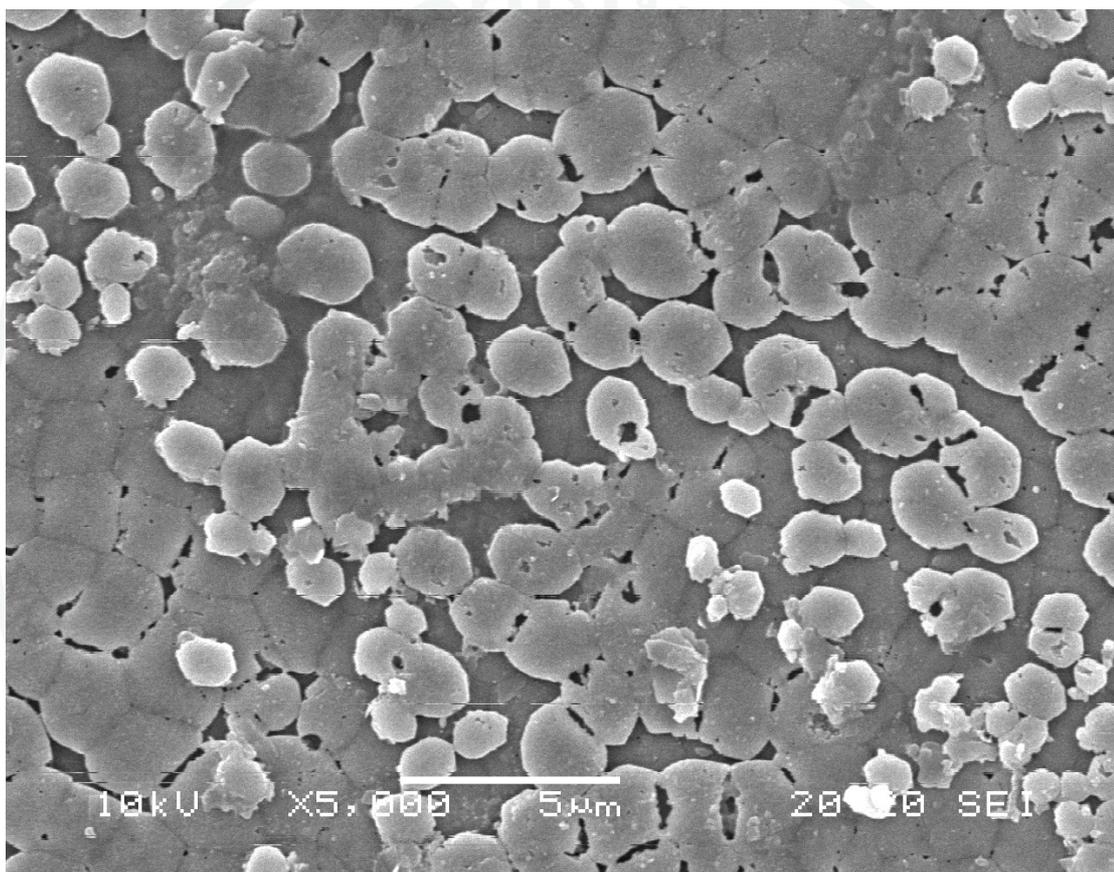
ภาพที่ 4 ลักษณะเปลือกหอยแมลงภูด้านนอกที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

เปลือกหอยแมลงภูที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศทางด้านนอกพบว่า มีรอยแตกของเปลือกหอย พื้นผิวมีลักษณะขรุขระคล้ายลักษณะของการถูกกัดกร่อน ดังภาพที่ 5



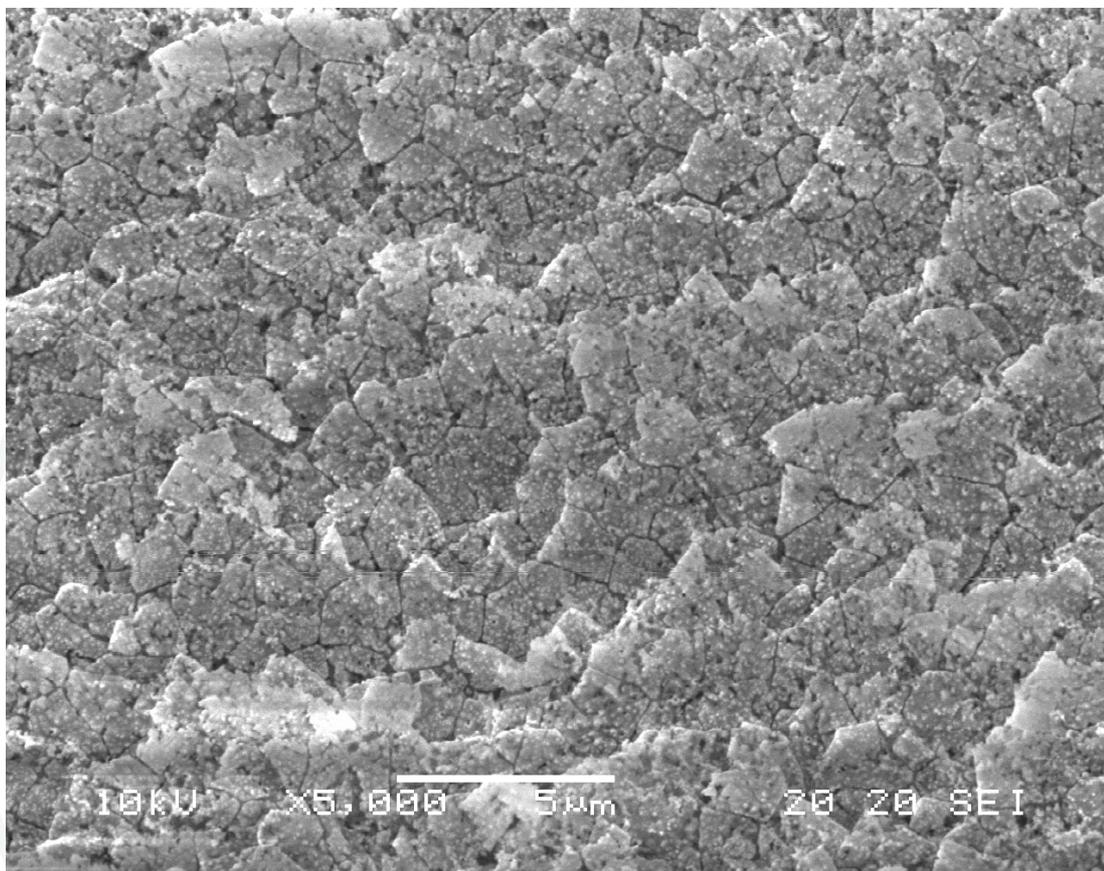
ภาพที่ 5 ลักษณะเปลือกหอยแมลงภูด้านนอกที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

เมื่อส่องกล้อง SEM เพื่อดูลักษณะโครงสร้างเปลือกหอยแมลงภู๋ทางด้านใน พบว่า เปลือกหอยมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กน้อย แต่ลักษณะพื้นผิวจะเรียบน้อยกว่าด้านนอก ดังภาพที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับ Yoon *et al.* (2003) ศึกษาพบว่า ด้านในของเปลือกหอยนางรมมีลักษณะผิวที่ขรุขระกว่า ด้านบน ของเปลือกหอย แต่ด้านในของเปลือกหอยแมลงภู๋ที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ พบว่า มีลักษณะของรูพรุนอย่างเห็นได้ชัดกว่าเปลือกหอยแมลงภู๋ปกติ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู๋ด้านในที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

เมื่อนำเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืดที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศไปส่องกล้อง SEM พบว่าด้านในมีลักษณะเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น และมีร่องรอยของการถูกกัดกร่อนอย่างเห็นชัด



ภาพที่ 7 ลักษณะเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืดที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

#### การศึกษากระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์แบบการหมักไม่เติมอากาศ

ด้วยการพัฒนาวิธีการหมักสองแบบคือ การใช้เชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่น (Natural flora) และใช้เชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่นร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) โดยเปรียบเทียบปัจจัยองค์ประกอบทางเคมีและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำหมัก ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณแคลเซียม (แร่ธาตุที่คาดว่าจะมีปริมาณสูงสุด) และเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total plate count : Spread plate technique)

## ความเป็นกรด – ด่างในน้ำหมัก

1. ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ในถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของการหมักตัวอย่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างการทดลองขนาดตัวอย่าง 200 กรัม ในตัวอย่างที่ 1 พบว่าในช่วงสัปดาห์แรก ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $5.86 \pm 0.02$  และค่อยๆ ลดลงในสัปดาห์ที่ 1 – 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $4.54 \pm 0.01$ ,  $4.44 \pm 0.01$ ,  $4.23 \pm 0.01$  และ  $3.96 \pm 0.02$  ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 มีค่าลดน้อยลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.68 \pm 0.01$ ) จากนั้นจึงปรับตัวสูงขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.99 \pm 0.01$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 2 ในช่วงสัปดาห์ที่ 0 พบว่าค่ากรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  ในสัปดาห์ที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าปรับตัวลดลง ( $4.47 \pm 0.02$ ) และลดต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $3.24 \pm 0.01$ ) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3-5 จึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้น และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ  $3.34 \pm 0.01$ ,  $3.87 \pm 0.01$ ,  $3.95 \pm 0.01$  และ  $3.95 \pm 0.01$  ตามลำดับ

ในตัวอย่างที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับในตัวอย่างการทดลองที่ 1 คือ ในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ  $5.86 \pm 0.02$  ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 - 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยค่อยๆ ปรับตัวลดลงมีค่าเท่ากับ  $4.85 \pm 0.03$ ,  $4.44 \pm 0.01$ ,  $4.24 \pm 0.01$  และ  $3.97 \pm 0.01$  ตามลำดับ และลดต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.67 \pm 0.02$ ) และในสัปดาห์ที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้น ( $3.98 \pm 0.01$ ) ในตัวอย่างที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างที่ 2 คือ ในช่วงสัปดาห์แรก ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ  $5.86 \pm 0.02$  และค่อยๆ ปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.72 \pm 0.03$ ) และลดต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $4.31 \pm 0.01$ ) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้น  $4.41 \pm 0.00$ ,  $4.52 \pm 0.00$  และ  $4.64 \pm 0.01$  ตามลำดับ และเริ่มคงที่ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ( $4.64 \pm 0.01$ )

ตัวอย่างที่ 5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์เริ่มต้นเท่ากับ  $5.86 \pm 0.02$  และค่อยๆ ปรับตัวลดลงเรื่อยๆ ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 – 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุด)  $4.28 \pm 0.01$ ,  $4.45 \pm 0.01$ ,  $4.22 \pm 0.00$ ,  $3.96 \pm 0.01$  และ  $3.67 \pm 0.01$  ตามลำดับ และค่อยๆ ปรับตัว

สูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ( $3.99 \pm 0.02$ ) ในตัวอย่างที่ 6 และในตัวอย่างที่ 7 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 4 คือในตัวอย่างที่ 6 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์แรกเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  และลดลงต่ำสุดใน

ตารางที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD; n = 3)						
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	$5.86 \pm 0.02^a$	$4.54 \pm 0.01^b$	$4.44 \pm 0.01^c$	$4.23 \pm 0.01^d$	$3.96 \pm 0.02^e$	$3.68 \pm 0.01^f$	$3.99 \pm 0.01^e$
2	$5.87 \pm 0.01^a$	$4.47 \pm 0.02^b$	$3.24 \pm 0.01^f$	$3.34 \pm 0.01^e$	$3.87 \pm 0.01^d$	$3.95 \pm 0.01^c$	$3.95 \pm 0.01^c$
3	$5.86 \pm 0.02^a$	$4.85 \pm 0.03^b$	$4.44 \pm 0.01^c$	$4.24 \pm 0.01^d$	$3.97 \pm 0.01^e$	$3.67 \pm 0.02^f$	$3.98 \pm 0.01^e$
4	$5.86 \pm 0.02^a$	$4.72 \pm 0.03^b$	$4.31 \pm 0.01^f$	$4.41 \pm 0.00^c$	$4.52 \pm 0.00^d$	$4.64 \pm 0.01^e$	$4.64 \pm 0.01^e$
5	$5.86 \pm 0.02^a$	$4.28 \pm 0.01^c$	$4.45 \pm 0.01^b$	$4.22 \pm 0.00^d$	$3.96 \pm 0.01^f$	$3.67 \pm 0.01^g$	$3.99 \pm 0.02^e$
6	$5.87 \pm 0.01^a$	$4.27 \pm 0.01^b$	$3.25 \pm 0.02^f$	$3.35 \pm 0.01^e$	$3.86 \pm 0.01^d$	$3.96 \pm 0.01^c$	$3.96 \pm 0.01^c$
7	$5.87 \pm 0.01^a$	$4.34 \pm 0.02^c$	$4.30 \pm 0.01^f$	$4.43 \pm 0.01^d$	$4.53 \pm 0.02^e$	$4.65 \pm 0.02^b$	$4.65 \pm 0.01^b$

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 2 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17; 3 = 200 : 80 : 66.7 : 0; 4 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17; 5 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 6 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17 และ 7 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

สัปดาห์ที่ 2 ( $3.25 \pm 0.02$ ) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงค่อยๆปรับตัวสูงขึ้นเท่ากับ  $3.35 \pm 0.01$ ,  $3.86 \pm 0.01$  และ  $3.96 \pm 0.01$  ตามลำดับ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.96 \pm 0.01$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงเริ่มมีค่าคงที่ ในตัวอย่างที่ 7 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์แรกเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.34 \pm 0.02$ ) และสัปดาห์ที่ 3 ( $4.30 \pm 0.01$ ) จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 3-5 ( $4.43 \pm 0.01$ ,  $4.53 \pm 0.02$  และ  $4.65 \pm 0.02$  ตามลำดับ) และเริ่มมีค่าคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $4.65 \pm 0.01$ ) ดังตารางที่ 6

2. ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในถังหมักขนาดตัวอย่าง 500 กรัม เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของการหมักตัวอย่าง

ในตัวอย่างการทดลองขนาดตัวอย่าง 500 กรัม เมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นเวลา 7 สัปดาห์ ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  และค่อยๆ ปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ( $4.45 \pm 0.01$ ) และสัปดาห์ที่ 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุด)  $3.67 \pm 0.01$  จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 จึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้น ( $3.99 \pm 0.02$ ) ในตัวอย่างที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 0 เท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 3 ( $3.24 \pm 0.01$ ) และค่อยๆ ปรับสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.95 \pm 0.01$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ในสัปดาห์แรกมีค่าเท่ากับ  $5.86 \pm 0.01$  และเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ( $4.45 \pm 0.01$ ) และในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.66 \pm 0.01$ ) โดยในสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำสุด และค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.98 \pm 0.02$ )

ตารางที่ 7 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD; n = 3)			
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.67 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	3.99 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>
2	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.24 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.95 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
3	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.66 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	3.98 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>
4	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.31 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
5	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.67 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	3.99 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
6	5.88 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.25 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
7	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.30 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.66 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 1 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 2 = 500 : 166.7 :

166.7 : 0.42; 3 = 500 : 200 : 166.7 : 0; 4 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42; 5 = 500 :

166.7 : 166.7 : 0; 6 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 7 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 4 พบว่าในสัปดาห์แรกมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.86 $\pm$ 0.01 และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 (4.31 $\pm$ 0.01) จากนั้นจึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 5 (4.65 $\pm$ 0.01) และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 (4.64 $\pm$ 0.01) ในตัวอย่างที่ 5 พบว่า ในสัปดาห์แรกของการหมักมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.87 $\pm$ 0.01 และค่อยๆ ปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 5 (4.44 $\pm$ 0.01 และ 3.67 $\pm$ 0.01 ตามลำดับ) จากนั้นจึงค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 (3.99 $\pm$ 0.01) ในตัวอย่างที่ 6 พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย ในสัปดาห์แรกเท่ากับ 5.88 $\pm$ 0.01 หลังจากนั้นจึงปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.25 $\pm$ 0.01, สัปดาห์ที่ 5 (3.96 $\pm$ 0.01) และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 (3.96 $\pm$ 0.01) ในตัวอย่างที่ 7 พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์แรกมีค่าเท่ากับ 5.86 $\pm$ 0.01 จากนั้นจึงลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 (4.30 $\pm$ 0.01) และเริ่มปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 5 (4.66 $\pm$ 0.01) และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 (4.65 $\pm$ 0.01) ดังตารางที่ 7

3. ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างขนาด 200 กรัม ในอัตราส่วนที่เท่ากันกับตัวอย่างที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์เชิงพานิชย์ (พด.) และไม่ได้ใส่เชื้อ พด. พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่า ค่ากรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างนั้นมีค่ากรด - ด่างเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 8)

สัปดาห์ที่ 1 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 - 7 เริ่มมีค่าที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อเปรียบเทียบในตัวอย่างที่ 1 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $4.54\pm 0.01$ ) มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันกับตัวอย่างที่ 2 ( $4.47\pm 0.02$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 4 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $4.85\pm 0.03$ ) ในสัปดาห์ที่ 1 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันกับตัวอย่างที่ 4 ( $4.72\pm 0.03$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม) ตัวอย่างที่ 6 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) และตัวอย่างที่ 7 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 ( $4.28\pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 6 ( $4.27\pm 0.01$ ) นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 7 ( $4.34\pm 0.02$ ) พบว่า มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

สัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $4.44\pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.24\pm 0.01$ ) มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 2 มีค่ากรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $4.44\pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.31\pm 0.01$ )

นั้นก็มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดในการทดลอง 7 สัปดาห์ ในตัวอย่างที่ 5 ( $4.45\pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.25\pm 0.02$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.30\pm 0.01$ ) ต่างก็มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดในการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม

สัปดาห์ที่	ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD; n = 3)						
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่2	ตัวอย่างที่3	ตัวอย่างที่4	ตัวอย่างที่5	ตัวอย่างที่6	ตัวอย่างที่7
0	5.86 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
1	4.54 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.47 $\pm$ 0.02 <sup>d</sup>	4.85 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	4.72 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	4.28 $\pm$ 0.01 <sup>f</sup>	4.27 $\pm$ 0.01 <sup>f</sup>	4.34 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>
2	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.24 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.25 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	4.30 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
3	4.23 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.34 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.24 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.41 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	4.41 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	3.35 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.43 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
4	3.96 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	3.87 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.97 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.52 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	4.52 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	3.86 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.53 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
5	3.68 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.95 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.67 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.65 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
6	3.99 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.95 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.98 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 2 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17; 3 = 200 : 80 : 66.7 : 0; 4 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17; 5 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 6 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17 และ 7 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $4.23\pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.34\pm 0.01$ ) มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 1 มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ในตัวอย่างการทดลองที่ 2 กลับมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 ( $4.24\pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.41\pm 0.00$ ) พบว่าทั้งสองตัวอย่างก็มีค่าความเป็น

กรด - ต่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มของค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 กับตัวอย่างที่ 2 คือ ในตัวอย่างที่ 3 มีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย และในตัวอย่างที่ 4 กลับมีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ( $4.41 \pm 0.00$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.35 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.43 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างต่างมีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $3.96 \pm 0.02$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.87 \pm 0.01$ ) พบว่าค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 1 ยังคงปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์ที่ 0 แต่ในตัวอย่างที่ 2 ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยยังคงปรับสูงขึ้นจากสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $4.52 \pm 0.00$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.52 \pm 0.00$ ) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวอย่างที่ 5 ( $3.96 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.86 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.53 \pm 0.02$ ) ทั้งสามตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 5 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $3.68 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.95 \pm 0.01$ ) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 พบว่าค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 3 ( $3.67 \pm 0.02$ ) และตัวอย่างที่ 4 ( $4.64 \pm 0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยพบว่า มีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวอย่างที่ 5 ( $4.64 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.65 \pm 0.02$ ) ทั้งสามตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์การทดลองที่ 6 พบว่าในตัวอย่างการทดลองที่ 1 - 7 มีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยปรับตัวเพิ่มขึ้นเป็น  $3.99 \pm 0.01$ ,  $3.95 \pm 0.01$ ,  $3.98 \pm 0.01$ ,  $4.64 \pm 0.01$ ,  $4.64 \pm 0.01$ ,  $3.96 \pm 0.01$  และ  $4.65 \pm 0.01$  ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตัวอย่างการทดลองที่ไม่ได้ใส่พด. (1, 3 และ 5) พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาตัวอย่างการทดลองที่ใส่พด. ในอัตราส่วนเดียวกัน (ตัวอย่างที่ 2 และ 6) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ใส่ พด. แต่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่า มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างการทดลองที่ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. ก็พบว่าทั้งสองตัวอย่างการทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังตารางที่ 8

4. ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในถังหมักขนาดตัวอย่าง 500 กรัม เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างการทดลองขนาดตัวอย่าง 500 กรัม พบว่าในตัวอย่างที่ 1 – 7 นั้นในสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่าทั้ง 7 ตัวอย่างการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม

สัปดาห์ที่	ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD; n = 3)						
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6	ตัวอย่างที่ 7
0	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.88 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
2	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.24 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.25 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.30 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
5	3.67 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.66 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.67 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.66 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
6	3.99 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	3.95 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.98 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	4.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.99 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 1 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 2 = 500 : 166.7 :

166.7 : 0.42; 3 = 500 : 200 : 166.7 : 0; 4 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42; 5 = 500 :

166.7 : 166.7 : 0; 6 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 7 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (4.45 $\pm$ 0.01) กับตัวอย่างที่ 2 (3.24 $\pm$ 0.01) พบว่าทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 2 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 ( $4.45 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.31 \pm 0.01$ ) พบว่าในสัปดาห์นี้ ทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้ และในตัวอย่างที่ 5 ( $4.44 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.25 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.30 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างการทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 จะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้

สัปดาห์ที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยพบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $3.67 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.96 \pm 0.01$ ) มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 มีค่าลดลงต่ำที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 ( $3.66 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.65 \pm 0.01$ ) พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับกับตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 คือ มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 3 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ( $3.67 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.66 \pm 0.01$ ) พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย ของทั้งสามตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 7 พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

สัปดาห์ที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยพบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $3.99 \pm 0.02$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.95 \pm 0.01$ ) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยค่อย ๆ ปรับตัวสูงขึ้นในตัวอย่างที่ 1 และค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเริ่มคงที่ในตัวอย่างที่ 2 เช่นเดียวกับในตัวอย่างที่ 3 ( $3.98 \pm 0.02$ ) และ ตัวอย่างที่ 4 ( $4.64 \pm 0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ 3 แต่ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเริ่มคงที่ในตัวอย่างที่ 4 เช่นเดียวกับในตัวอย่างที่ 5 ( $3.99 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.65 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างการมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีค่าความเป็น

กรด - ต่างเฉลี่ยค่อยๆสูงขึ้นจากสัปดาห์ที่ 5 และในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยเริ่มคงที่จากสัปดาห์ที่ 5 ดังตารางที่ 9

#### ปริมาณแคลเซียมในน้ำหมัก

1. ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม เมื่อเปรียบเทียบ แต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างการทดลองขนาดตัวอย่าง 200 กรัม เมื่อทำการทดลองหมักตัวอย่างผ่านไปเป็นเวลา 7 สัปดาห์พบว่า ในตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 - 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุด) ดังนี้  $0.53 \pm 0.12$ ,  $11.36 \pm 0.53$ ,  $22.85 \pm 0.23$ ,  $23.05 \pm 0.40$ ,  $25.91 \pm 0.40$  และ  $27.77 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $26.37 \pm 0.50$  กรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10) ตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ( $0.66 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $29.56 \pm 0.53$  กรัมต่อกิโลกรัม) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดลงดังนี้  $28.30 \pm 0.20$ ,  $27.10 \pm 0.20$ ,  $26.71 \pm 0.20$  และ  $25.64 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างที่ 3 จากการทดลองพบว่า ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์แรกๆ เริ่มทำการทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 5 ( $0.60 \pm 0.20$ ,  $7.44 \pm 1.10$ ,  $21.26 \pm 0.23$ ,  $22.45 \pm 0.30$ ,  $23.98 \pm 0.30$  และ  $25.05 \pm 0.42$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด แล้วจากนั้นก็เริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $23.72 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม)

ในตัวอย่างที่ 4 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในสัปดาห์แรกมีปริมาณ  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม และหลังจากนั้นก็มีความเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $22.45 \pm 0.61$  กรัมต่อกิโลกรัม) และเริ่มลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ 3 - 6 โดยมีปริมาณเท่ากับ  $21.85 \pm 0.12$ ,  $21.72 \pm 0.20$ ,  $21.52 \pm 0.40$  และ  $20.79 \pm 0.80$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างที่ 5 พบว่า ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกของการทำการทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 5 ( $0.66 \pm 0.12$ ,  $19.20 \pm 1.25$ ,  $29.03 \pm 0.30$ ,  $29.83 \pm 0.41$ ,  $30.23 \pm 0.41$  และ  $31.76 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $30.09 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 0 - 2 เพิ่มขึ้นเป็น  $0.66 \pm 0.12$ ,  $20.86 \pm 0.50$  และ  $32.69 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (โดยพบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณลดลง  $31.49 \pm 0.60$ ,  $30.49 \pm 0.60$ ,  $29.50 \pm 0.40$  และ  $27.70 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 7 เมื่อทำการทดลองผ่านไป 7 สัปดาห์พบว่า ในสัปดาห์แรกมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม และเริ่มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ( $18.73 \pm 0.72$  และ  $28.50 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดลง  $27.64 \pm 0.12$ ,  $26.77 \pm 0.12$ ,  $27.30 \pm 0.34$  และ  $25.64 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]						
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	$0.53 \pm 0.12^c$	$11.36 \pm 0.53^d$	$22.85 \pm 0.23^c$	$23.05 \pm 0.40^c$	$25.91 \pm 0.40^b$	$27.77 \pm 0.23^a$	$26.37 \pm 0.50^b$
2	$0.66 \pm 0.12^f$	$14.35 \pm 0.72^c$	$29.56 \pm 0.53^a$	$28.30 \pm 0.20^b$	$27.10 \pm 0.20^c$	$26.71 \pm 0.20^c$	$25.64 \pm 0.23^d$
3	$0.60 \pm 0.20^f$	$7.44 \pm 1.10^c$	$21.26 \pm 0.23^d$	$22.45 \pm 0.30^c$	$23.98 \pm 0.30^b$	$25.05 \pm 0.42^a$	$23.72 \pm 0.20^b$
4	$0.53 \pm 0.12^c$	$8.77 \pm 0.40^d$	$22.45 \pm 0.61^a$	$21.85 \pm 0.12^b$	$21.72 \pm 0.20^b$	$21.52 \pm 0.40^b$	$20.79 \pm 0.80^c$
5	$0.66 \pm 0.12^c$	$19.20 \pm 1.25^d$	$29.03 \pm 0.30^c$	$29.83 \pm 0.41^b$	$30.23 \pm 0.41^b$	$31.76 \pm 0.23^a$	$30.09 \pm 0.20^b$
6	$0.66 \pm 0.12^g$	$20.86 \pm 0.50^f$	$32.69 \pm 0.40^a$	$31.49 \pm 0.60^b$	$30.49 \pm 0.60^c$	$29.50 \pm 0.40^d$	$27.70 \pm 0.20^c$
7	$0.53 \pm 0.12^f$	$18.73 \pm 0.72^c$	$28.50 \pm 0.23^a$	$27.64 \pm 0.12^b$	$26.77 \pm 0.12^{cb}$	$27.30 \pm 0.34^{cb}$	$25.64 \pm 0.23^d$

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 2 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17; 3 = 200 : 80 : 66.7 : 0; 4 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17; 5 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 6 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17 และ 7 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

2. ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 500 กรัม เมื่อเปรียบเทียบแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างขนาด 500 กรัม พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 พบว่าในสัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ  $28.43 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม และจากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงลดน้อยลงมีค่าเท่ากับ  $27.10 \pm 0.34$  กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ในตัวอย่างที่ 2 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจากสัปดาห์แรกมีปริมาณ  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์นี้มีค่าเท่ากับ  $29.90 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 6 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ  $26.91 \pm 0.20$  และ  $26.04 \pm 0.23$  ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 3 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีค่าเริ่มแรกเท่ากับ  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 5 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $21.52 \pm 0.41$  และ  $25.78 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 ( $24.18 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงมีปริมาณลดลง ตัวอย่างที่ 4 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $22.39 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 6 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ  $28.30 \pm 0.40$  และ  $26.24 \pm 0.58$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 11 ตัวอย่างที่ 5 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $32.22 \pm 0.57$  กรัมต่อกิโลกรัม) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงมีปริมาณลดลง ตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $33.08 \pm 0.23$  และ  $28.30 \pm 0.35$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 5 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงเริ่มปรับตัวลดลง และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6

ตารางที่ 11 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]			
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	0.60 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	22.92 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>	28.43 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	27.10 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
2	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	29.90 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	26.91 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	26.04 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>
3	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	21.52 $\pm$ 0.41 <sup>c</sup>	25.78 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	24.18 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>
4	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	22.39 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	21.60 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	20.80 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>
5	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	28.70 $\pm$ 0.46 <sup>c</sup>	32.22 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	30.23 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>
6	0.60 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	33.08 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	29.36 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	28.03 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>
7	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	28.30 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	28.30 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>	26.24 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 1 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 2 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42; 3 = 500 : 200 : 166.7 : 0; 4 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42; 5 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 6 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 7 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42  
ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

3. ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม เมื่อเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างการทดลองขนาด 200 กรัม ตามตัวอย่างแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่างการทดลองที่ 1 – 7 พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่าทั้ง 7 ตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 12)

สัปดาห์ที่ 1 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 - 7 เริ่มมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อเปรียบเทียบในตัวอย่างที่ 1 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม :

น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $11.36 \pm 0.53$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันกับตัวอย่างที่ 2 ( $14.35 \pm 0.72$  กรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยตัวอย่างที่ 3 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 4 (เปลือกหอย 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $7.44 \pm 1.10$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างที่ 4 ( $8.77 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0 กรัม), ตัวอย่างที่ 6 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 66.7 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) และตัวอย่างที่ 7 (เปลือกไข่ไก่ 200 กรัม : กากน้ำตาล 80 กรัม : น้ำ 66.7 มล. : พด. 0.17 กรัม) พบว่า ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 ( $19.20 \pm 1.25$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 6 ( $20.86 \pm 0.50$  กรัมต่อกิโลกรัม) นั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 5 กับตัวอย่างที่ 7 ( $18.73 \pm 0.72$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $22.85 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $29.56 \pm 0.53$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 2 จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $21.26 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $22.45 \pm 0.61$  กรัมต่อกิโลกรัม) นั้นมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลอง 7 สัปดาห์ ในตัวอย่างที่ 5 ( $29.03 \pm 0.30$  กรัมต่อกิโลกรัม), ตัวอย่างที่ 6 ( $32.69 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $28.50 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) ในตัวอย่างที่ 5 กับตัวอย่างที่ 6 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ในตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 7 พบว่า มีค่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์

ตารางที่ 12 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม

สัปดาห์ที่	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]						
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6	ตัวอย่างที่ 7
0	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.60 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>
1	11.36 $\pm$ 0.53 <sup>d</sup>	14.35 $\pm$ 0.72 <sup>c</sup>	7.44 $\pm$ 1.10 <sup>e</sup>	8.77 $\pm$ 0.40 <sup>e</sup>	19.20 $\pm$ 1.25 <sup>b</sup>	20.86 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>	18.73 $\pm$ 0.72 <sup>b</sup>
2	22.85 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>	29.56 $\pm$ 0.53 <sup>c</sup>	21.26 $\pm$ 0.23 <sup>f</sup>	22.45 $\pm$ 0.61 <sup>e</sup>	29.03 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	32.69 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	28.50 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>
3	23.05 $\pm$ 0.40 <sup>e</sup>	28.30 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	22.45 $\pm$ 0.30 <sup>f</sup>	21.85 $\pm$ 0.12 <sup>f</sup>	29.83 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	31.49 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	27.64 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>
4	25.91 $\pm$ 0.40 <sup>e</sup>	27.10 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	30.23 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	21.72 $\pm$ 0.20 <sup>e</sup>	30.23 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	30.49 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	26.77 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>
5	27.77 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	26.71 $\pm$ 0.20 <sup>d</sup>	25.05 $\pm$ 0.42 <sup>e</sup>	21.52 $\pm$ 0.40 <sup>f</sup>	31.76 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	29.50 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>	27.30 $\pm$ 0.34 <sup>c</sup>
6	26.37 $\pm$ 0.50 <sup>c</sup>	25.64 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>	23.72 $\pm$ 0.20 <sup>e</sup>	20.79 $\pm$ 0.80 <sup>d</sup>	30.09 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	27.70 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	25.64 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 2 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17; 3 = 200 : 80 : 66.7 : 0; 4 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17; 5 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 6 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17 และ 7 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (23.05 $\pm$ 0.40 กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (28.30 $\pm$ 0.20 กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (22.45 $\pm$ 0.30 กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 (21.85 $\pm$ 0.12 กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าทั้งสองตัวอย่างก็มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในตัวอย่างที่ 5 (29.83 $\pm$ 0.41 กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 (31.49 $\pm$ 0.60 กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 (27.64 $\pm$ 0.12 กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าทั้งสามตัวอย่างต่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (25.91 $\pm$ 0.40 กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (27.10 $\pm$ 0.20 กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีค่า

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 1 ยังคงปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์ที่ 0 แต่ในตัวอย่างที่ 2 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยยังคงปรับลดลงจากสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $23.98 \pm 0.30$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $21.72 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวอย่างที่ 5 ( $30.23 \pm 0.41$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $30.49 \pm 0.60$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $26.77 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 5 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $27.77 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $26.71 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในสัปดาห์นี้ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 3 ( $25.05 \pm 0.42$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 4 ( $21.52 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยพบว่าปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวอย่างที่ 5 ( $31.76 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $29.50 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $27.30 \pm 0.34$  กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในสัปดาห์นี้

สัปดาห์ที่ 6 พบว่าในตัวอย่างการทดลองที่ 1-7 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดน้อยลงมีค่าเท่ากับ  $26.37 \pm 0.50$ ,  $25.64 \pm 0.23$ ,  $23.72 \pm 0.20$ ,  $20.79 \pm 0.80$ ,  $30.09 \pm 0.20$ ,  $27.70 \pm 0.20$  และ  $25.64 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังตารางที่ 12

4. ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 500 กรัม เมื่อเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างการทดลองขนาด 500 กรัม ตามตัวอย่าง แต่ละสัปดาห์ของการทดลองที่ 1-7 พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองทั้ง 7 ตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 13)

สัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $22.92 \pm 0.40$  กรัมต่อ กิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $29.90 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 2 จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดจากการ ทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $21.52 \pm 0.41$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $22.39 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) นั้นมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูง ที่สุดในการทดลอง 7 สัปดาห์ ในตัวอย่างที่ 5 ( $28.70 \pm 0.46$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $33.08 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $28.30 \pm 0.35$  กรัมต่อกิโลกรัม) ในตัวอย่างที่ 5 ตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดตลอดการทดลอง 7 สัปดาห์

ตารางที่ 13 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม

สัปดาห์ที่	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]						
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6	ตัวอย่างที่ 7
0	$0.60 \pm 0.00^a$	$0.53 \pm 0.12^a$	$0.53 \pm 0.12^a$	$0.53 \pm 0.12^a$	$0.66 \pm 0.12^a$	$0.60 \pm 0.00^a$	$0.66 \pm 0.12^a$
2	$22.92 \pm 0.40^d$	$29.90 \pm 0.12^b$	$21.52 \pm 0.41^c$	$22.39 \pm 0.23^d$	$28.70 \pm 0.46^{bc}$	$33.08 \pm 0.23^a$	$28.30 \pm 0.35^c$
5	$28.43 \pm 0.12^c$	$26.91 \pm 0.20^d$	$25.78 \pm 0.23^c$	$21.60 \pm 0.23^f$	$3.67 \pm 0.01^c$	$29.36 \pm 0.23^b$	$28.30 \pm 0.40^c$
6	$27.10 \pm 0.34^c$	$26.04 \pm 0.23^d$	$24.18 \pm 0.23^c$	$20.80 \pm 0.23^f$	$32.22 \pm 0.57^a$	$28.03 \pm 0.23^b$	$26.24 \pm 0.58^d$

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 1 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 2 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42; 3 = 500 : 200 : 166.7 : 0; 4 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42; 5 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 6 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 7 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในแต่ละ ตัวอย่างของสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 5 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $28.43 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $26.91 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์นี้ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 3 ( $25.78 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 4 ( $21.60 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยพบว่ามีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวอย่างที่ 5 ( $32.22 \pm 0.57$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $29.36 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $28.30 \pm 0.40$  กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์นี้

สัปดาห์ที่ พบว่าในตัวอย่างการทดลองที่ 1 - 7 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดน้อยลงมีค่าเท่ากับ  $27.10 \pm 0.34$ ,  $26.04 \pm 0.23$ ,  $24.18 \pm 0.23$ ,  $20.80 \pm 0.23$ ,  $30.23 \pm 0.12$ ,  $28.03 \pm 0.23$  และ  $26.24 \pm 0.58$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังตารางที่ 13

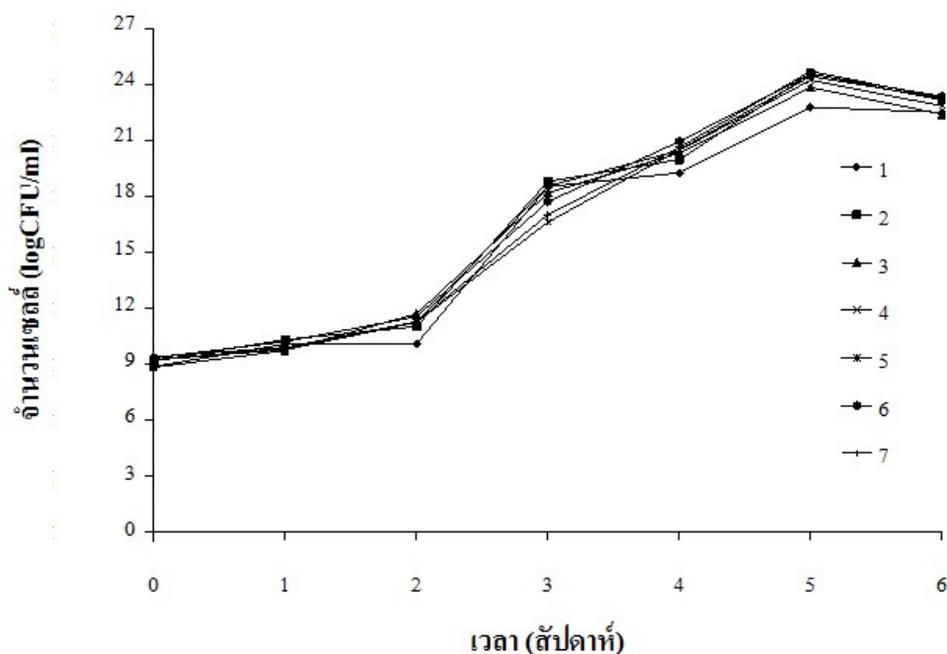
จำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมในถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม และ 500 กรัม

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 200 กรัม ตรวจสอบด้วยวิธีการ Plate count พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมครั้งนี้ ในตัวอย่างที่ 1 พบว่ามีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ  $7.00 \times 10^8$  CFU/ml (ภาพที่ 8) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ  $1.13 \times 10^{10}$  และ  $1.15 \times 10^{10}$  CFU/ml ตามลำดับในสัปดาห์ที่ 3 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ( $3.21 \times 10^{18}$  CFU/ml) ในสัปดาห์ที่ 4 ( $1.83 \times 10^{19}$  CFU/ml) จำนวนจุลินทรีย์มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นในสัปดาห์ที่ 5 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งโดยจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $6.00 \times 10^{22}$  CFU/ml จากนั้นจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จึงเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.25 \times 10^{22}$  CFU/ml) ในตัวอย่างที่ 2 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $1.38 \times 10^9$  CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย  $1.99 \times 10^{10}$  และ  $9.80 \times 10^{10}$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 จำนวนเชื้อจึงกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งโดยมีค่าเท่ากับ  $6.13 \times 10^{18}$  และ

$9.34 \times 10^{19}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นจำนวนเชื้อจึงมีจำนวนสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.87 \times 10^{24}$  CFU/ml) และเริ่มมีจำนวนลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $1.50 \times 10^{23}$  CFU/ml)

ในตัวอย่างที่ 3 พบว่ามีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ  $6.34 \times 10^8$  CFU/ml จากนั้นเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 1 – 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด) มีจำนวนเท่ากับ  $5.07 \times 10^9$ ,  $4.71 \times 10^{11}$ ,  $1.51 \times 10^{18}$ ,  $2.10 \times 10^{20}$  และ  $7.00 \times 10^{23}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นเชื้อจึงเริ่มมีจำนวนลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $2.52 \times 10^{22}$  CFU/ml) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่ 4 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 – 5 มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ  $1.70 \times 10^9$ ,  $6.22 \times 10^9$ ,  $1.67 \times 10^{11}$ ,  $3.48 \times 10^{18}$ ,  $2.89 \times 10^{20}$  และ  $1.75 \times 10^{24}$  CFU/ml จากนั้นเชื้อมีจำนวนลดลงเท่ากับ  $7.07 \times 10^{22}$  CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 6 ตัวอย่างที่ 5 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในสัปดาห์แรกเท่ากับ  $1.60 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 – 5 พบว่า จำนวนเชื้อมีการปรับตัวสูงขึ้นโดยมีจำนวนเท่ากับ  $5.70 \times 10^9$ ,  $1.67 \times 10^{11}$ ,  $4.00 \times 10^{16}$ ,  $3.15 \times 10^{20}$  และ  $2.80 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นสัปดาห์ที่ 6 เชื้อมีจำนวนลดลงเท่ากับ  $1.80 \times 10^{23}$  CFU/ml

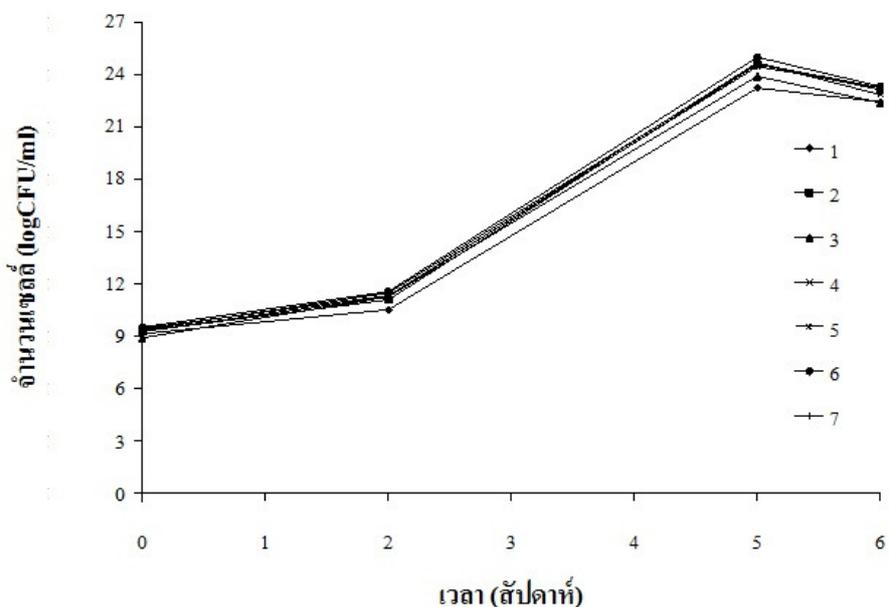
ในตัวอย่างที่ 6 พบว่าในสัปดาห์เริ่มต้นการทดลองมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $2.02 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 - 5 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มมีจำนวนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีจำนวนเท่ากับ  $1.54 \times 10^{10}$ ,  $3.40 \times 10^{11}$ ,  $5.02 \times 10^{17}$ ,  $8.85 \times 10^{20}$  และ  $3.68 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงเท่ากับ  $2.33 \times 10^{23}$  CFU/ml และในตัวอย่างที่ 7 พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นมีจำนวนเท่ากับ  $2.35 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 – 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ  $7.50 \times 10^9$ ,  $1.81 \times 10^{11}$ ,  $1.02 \times 10^{17}$ ,  $4.15 \times 10^{20}$  และ  $5.14 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จึงเริ่มลดลง ( $1.89 \times 10^{23}$  CFU/ml) ในสัปดาห์ที่ 7 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 200 กรัม

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 2 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17; 3 = 200 : 80 : 66.7 : 0; 4 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17; 5 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0; 6 = 200 : 66.7 : 66.7 : 0.17 และ 7 = 200 : 80 : 66.7 : 0.17

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมในน้ำหมักของถังหมักขนาดตัวอย่าง 500 กรัม ตรวจสอบด้วยวิธีการแบบเดียวกันกับตัวอย่างขนาด 200 กรัม โดยทำการตรวจสอบควบคู่ไปกับตัวอย่างขนาด 200 กรัม แต่จะทำการตรวจสอบเฉพาะสัปดาห์เริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 6 พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมดังนี้ ในตัวอย่างที่ 1 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $1.30 \times 10^9$ ,  $3.14 \times 10^{10}$ ,  $1.70 \times 10^{23}$  และ  $2.73 \times 10^{22}$  CFU/ml ตามลำดับ (ภาพที่ 9) ในตัวอย่างที่ 2 พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $1.79 \times 10^9$ ,  $1.15 \times 10^{11}$ ,  $3.90 \times 10^{24}$  และ  $1.36 \times 10^{23}$  CFU/ml ตามลำดับ ตัวอย่างที่ 3 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $7.50 \times 10^8$ ,  $1.70 \times 10^{11}$ ,  $8.00 \times 10^{23}$  และ  $2.45 \times 10^{22}$  CFU/ml ตามลำดับ ในตัวอย่างที่ 4 พบว่ามีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $1.84 \times 10^9$ ,  $1.67 \times 10^{11}$ ,  $4.89 \times 10^{24}$  และ  $6.90 \times 10^{22}$  CFU/ml ตามลำดับ



ภาพที่ 9 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 500 กรัม

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 1 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 2 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42; 3 = 500 : 200 : 166.7 : 0; 4 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42; 5 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0; 6 = 500 : 166.7 : 166.7 : 0.42 และ 7 = 500 : 200 : 166.7 : 0.42

ในตัวอย่างที่ 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $2.53 \times 10^9$ ,  $1.98 \times 10^{11}$ ,  $2.95 \times 10^{24}$  และ  $1.74 \times 10^{23}$  CFU/ml ตามลำดับ ในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 พบว่า ในสัปดาห์แรกของการทดลองมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $3.07 \times 10^9$  และ  $2.14 \times 10^9$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างเท่ากับ  $3.43 \times 10^{11}$  และ  $2.89 \times 10^{11}$  CFU/ml ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 5 พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 เท่ากับ  $9.89 \times 10^{24}$  และ  $4.14 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 6 พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $2.12 \times 10^{23}$  และ  $1.75 \times 10^{23}$  CFU/ml ตามลำดับดังภาพที่ 9

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม แล้วพบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงทำการขยาย

ถึงหมักเป็นตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม โดยตรวจตอบค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีดังนี้

#### ค่าความเป็นกรด - ค่าในน้ำหมัก

จากการทดสอบค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยในน้ำหมักของถึงหมักขนาดตัวอย่าง 1,000 กรัม พบว่าค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่ใช้ตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม โดยในตัวอย่างที่ 1 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 มีค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.88 \pm 0.01$  และมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.57 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 2 ( $4.44 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 3 ( $4.23 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 4 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.67 \pm 0.01$ ) (ตารางที่ 14) จากนั้นจึงเริ่มปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.98 \pm 0.02$ ) ในตัวอย่างที่ 2 พบว่าค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์แรกมีค่าเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  จากนั้นจึงมีค่าลดลง ในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.47 \pm 0.01$ ) และลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $3.24 \pm 0.00$ ) จากนั้นค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยค่อย ๆ ปรับตัวเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 ( $3.34 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 4 ( $3.86 \pm 0.01$ ) และสัปดาห์ที่ 5 ( $3.96 \pm 0.01$ ) ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.95 \pm 0.01$ ) ค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 พบว่า ในสัปดาห์แรกมีค่าเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  และเริ่มมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.83 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 2 ( $4.44 \pm 0.02$ ) สัปดาห์ที่ 3 ( $4.24 \pm 0.02$ ) สัปดาห์ที่ 4 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.65 \pm 0.01$ ) จากนั้นจึงเพิ่มสูงขึ้นที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.99 \pm 0.01$ )

ตัวอย่างที่ 4 ค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์แรกมีค่าเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  จากนั้นค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 1 ( $4.76 \pm 0.01$ ) และลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 ( $4.31 \pm 0.01$ ) จากนั้นจึงปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 ( $4.42 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 4 ( $4.53 \pm 0.01$ ) สัปดาห์ที่ 5 ( $4.66 \pm 0.01$ ) และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $4.65 \pm 0.01$ ) ในตัวอย่างที่ 5 สัปดาห์ที่ 0 มีค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$  จากนั้นค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยจึงมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 1 - 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 ค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงต่ำสุด)  $4.27 \pm 0.02$ ,  $4.45 \pm 0.01$ ,  $4.22 \pm 0.02$ ,  $3.96 \pm 0.01$  และ  $3.66 \pm 0.02$  ตามลำดับ และปรับเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 คือ  $3.98 \pm 0.02$  ในตัวอย่างที่ 6 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 - 2 มีค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.87 \pm 0.01$ ,  $4.26 \pm 0.01$  และ  $3.25 \pm 0.02$  (โดยในสัปดาห์ที่ 2 ค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงต่ำสุด) จากนั้นจึงปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 - 5 และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 7 โดยมีค่าความเป็นกรด - ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.35 \pm 0.01$ ,  $3.86 \pm 0.01$ ,

3.96±0.02 และ 3.96±0.01 ดังตารางที่ 14 เช่นเดียวกันกับในตัวอย่างที่ 7 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 2 (4.30±0.02) จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยจึงปรับตัวสูงขึ้นใน สัปดาห์ที่ 3 – 6

ตารางที่ 14 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย (Mean ± SD ; n = 3)						
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	5.88±0.01 <sup>a</sup>	4.57±0.01 <sup>b</sup>	4.44±0.01 <sup>c</sup>	4.23±0.01 <sup>d</sup>	3.96±0.01 <sup>f</sup>	3.67±0.01 <sup>g</sup>	3.98±0.02 <sup>e</sup>
2	5.87±0.01 <sup>a</sup>	4.47±0.01 <sup>b</sup>	3.24±0.00 <sup>f</sup>	3.34±0.01 <sup>c</sup>	3.86±0.01 <sup>d</sup>	3.96±0.01 <sup>c</sup>	3.95±0.01 <sup>c</sup>
3	5.87±0.01 <sup>a</sup>	4.83±0.01 <sup>b</sup>	4.44±0.02 <sup>c</sup>	4.24±0.02 <sup>d</sup>	3.96±0.01 <sup>e</sup>	3.65±0.01 <sup>g</sup>	3.99±0.01 <sup>f</sup>
4	5.87±0.01 <sup>a</sup>	4.76±0.01 <sup>b</sup>	4.31±0.01 <sup>f</sup>	4.42±0.01 <sup>c</sup>	4.53±0.01 <sup>d</sup>	4.66±0.01 <sup>c</sup>	4.65±0.01 <sup>c</sup>
5	5.87±0.01 <sup>a</sup>	4.27±0.02 <sup>c</sup>	4.45±0.01 <sup>b</sup>	4.22±0.02 <sup>d</sup>	3.96±0.01 <sup>f</sup>	3.66±0.02 <sup>g</sup>	3.98±0.02 <sup>e</sup>
6	5.87±0.01 <sup>a</sup>	4.26±0.01 <sup>b</sup>	3.25±0.02 <sup>f</sup>	3.35±0.01 <sup>c</sup>	3.86±0.01 <sup>d</sup>	3.96±0.02 <sup>c</sup>	3.96±0.01 <sup>c</sup>
7	5.86±0.01 <sup>a</sup>	4.34±0.01 <sup>c</sup>	4.30±0.02 <sup>f</sup>	4.41±0.01 <sup>d</sup>	4.53±0.01 <sup>c</sup>	4.66±0.01 <sup>b</sup>	4.65±0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 2 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8; 3 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0; 4 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8; 5 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 6 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 และ 7 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างการทดลองขนาดตัวอย่าง 1,000 กรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่างการทดลองที่ 1-7 พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่าทั้ง 7 ตัวอย่างมีค่ากรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 - 7 เริ่มมีค่าที่แตกต่างกันโดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (เปลือกหอย 1,000 กรัม :

กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $4.57 \pm 0.01$ ) มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันกับตัวอย่างที่ 2 ( $4.47 \pm 0.01$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 4 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของทั้งสองตัวอย่าง  $4.83 \pm 0.01$  และ  $4.76 \pm 0.01$  มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 (เปลือกไข่ไก่ 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) ตัวอย่างที่ 6 (เปลือกไข่ไก่ 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) และตัวอย่างที่ 7 (เปลือกไข่ไก่ 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 ( $4.27 \pm 0.02$ ) กับตัวอย่างที่ 6 ( $4.26 \pm 0.01$ ) นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 7 ( $4.34 \pm 0.01$ ) พบว่า มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 15 ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม

สัปดาห์ที่	ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD ; n = 3)						
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่2	ตัวอย่างที่3	ตัวอย่างที่4	ตัวอย่างที่5	ตัวอย่างที่6	ตัวอย่างที่7
0	5.88 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.87 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.86 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
1	4.57 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.47 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	4.83 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.76 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.27 $\pm$ 0.02 <sup>f</sup>	4.26 $\pm$ 0.01 <sup>f</sup>	4.34 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
2	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.24 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	4.44 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	4.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.45 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.25 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	4.30 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>
3	4.23 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.34 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.24 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	4.42 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	4.22 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	3.35 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.41 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
4	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.86 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.53 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.86 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.53 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
5	3.67 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.65 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.66 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.66 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	3.96 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	4.66 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
6	3.98 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	3.95 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	3.99 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	3.98 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	3.96 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	4.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 1,000 : 333.3 : 333.3; 0; 2 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8; 3 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0; 4 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8; 5 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 6 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 และ 7 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 (4.44 $\pm$ 0.01) กับตัวอย่างที่ 2 (3.24 $\pm$ 0.00) พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 2 จะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 (4.44 $\pm$ 0.02) กับตัวอย่างที่ 4 (4.31 $\pm$ 0.01) พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 จะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดในการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 พบว่าทั้งสามตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างการทดลองที่ 5 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 $\pm$ 0.01 ในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยต่ำที่สุดในการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ คือ 3.25 $\pm$ 0.02 และ 4.30 $\pm$ 0.02 ตามลำดับ

สัปดาห์ที่ 3 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 กับตัวอย่างที่ 2 พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 1 ( $4.23 \pm 0.01$ ) มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ในตัวอย่างที่ 2 ( $3.34 \pm 0.01$ ) กลับมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $4.24 \pm 0.02$ ) และตัวอย่างที่ 4 ( $4.42 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสองตัวอย่างก็มียาค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มของค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยไปในทางเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 คือ ในตัวอย่างที่ 3 มีค่าความกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย แต่ในตัวอย่างที่ 4 กลับมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ( $4.22 \pm 0.02$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.35 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.41 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างต่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างการทดลองที่ใส่ พด. และไม่ได้ใส่พด.

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 4 ของตัวอย่างที่ 1 ( $3.96 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.86 \pm 0.01$ ) พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 1 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยยังคงปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์ที่ 1 แต่ในตัวอย่างที่ 2 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยยังคงปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์ที่ 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $3.96 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.53 \pm 0.01$ ) พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ( $3.96 \pm 0.01$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.86 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.53 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 5 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยพบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $3.67 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.96 \pm 0.01$ ) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 3 ( $3.65 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.66 \pm 0.01$ ) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยพบว่ามีความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในตัวอย่างที่ 5 ( $3.66 \pm 0.02$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.96 \pm 0.02$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.66 \pm 0.01$ ) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย

ทั้งสามตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์นี้

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าในตัวอย่างที่ 1 ( $3.98 \pm 0.02$ ) กับตัวอย่างที่ 2 ( $3.95 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสองตัวอย่างการทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในตัวอย่างที่ 3 ( $3.99 \pm 0.01$ ) กับตัวอย่างที่ 4 ( $4.65 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสองตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 5 ( $3.98 \pm 0.02$ ) ตัวอย่างที่ 6 ( $3.96 \pm 0.01$ ) และตัวอย่างที่ 7 ( $4.65 \pm 0.01$ ) พบว่าทั้งสามตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยปรับตัวสูงขึ้นจากสัปดาห์ที่ 5 และในตัวอย่างที่ 6 และตัวอย่างที่ 7 มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์ที่ 2 ดังตารางที่ 15

#### ปริมาณแคลเซียมในน้ำหมัก

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างการทดลองขนาด 1,000 กรัม พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 1 (สัปดาห์ที่ 0 - 5) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังนี้  $0.66 \pm 0.23$ ,  $11.36 \pm 0.20$ ,  $22.85 \pm 0.31$ ,  $22.99 \pm 0.12$ ,  $25.91 \pm 0.00$  และ  $28.50 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $26.97 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 16) ตัวอย่างที่ 2 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 - 2 ( $0.60 \pm 0.00$ ,  $14.75 \pm 0.35$  และ  $29.56 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) โดยในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุด จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดต่ำลงมีค่าเท่ากับ  $28.23 \pm 0.31$ ,  $26.97 \pm 0.11$ ,  $26.97 \pm 0.11$  และ  $26.17 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในสัปดาห์แรกเท่ากับ  $0.47 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 - 5 ( $7.24 \pm 0.12$ ,  $21.59 \pm 0.12$ ,  $22.92 \pm 0.20$ ,  $24.05 \pm 0.12$  และ  $25.71 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุด จากนั้นจึงปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเท่ากับ  $24.38 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 4 พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองมีปริมาณเท่ากับ  $0.60 \pm 0.00$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยปรับตัวเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับ  $8.64 \pm 0.31$  และ  $23.12 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยใน

สัปดาห์ที่ 2 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุด จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีปริมาณเท่ากับ  $21.65 \pm 0.23$ ,  $21.59 \pm 0.12$ ,  $21.46 \pm 0.30$  และ  $20.66 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]						
	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	$0.66 \pm 0.23^f$	$11.36 \pm 0.20^c$	$22.85 \pm 0.31^d$	$22.99 \pm 0.12^d$	$25.91 \pm 0.00^c$	$28.50 \pm 0.20^a$	$26.97 \pm 0.23^b$
2	$0.60 \pm 0.00^f$	$14.75 \pm 0.35^c$	$29.56 \pm 0.12^a$	$28.23 \pm 0.31^b$	$26.97 \pm 0.11^c$	$26.97 \pm 0.11^c$	$26.17 \pm 0.12^d$
3	$0.47 \pm 0.12^g$	$7.24 \pm 0.12^f$	$21.59 \pm 0.12^c$	$22.92 \pm 0.20^d$	$24.05 \pm 0.12^c$	$25.71 \pm 0.20^a$	$24.38 \pm 0.12^b$
4	$0.60 \pm 0.00^c$	$8.64 \pm 0.31^d$	$23.12 \pm 0.20^a$	$21.65 \pm 0.23^b$	$21.59 \pm 0.12^b$	$21.46 \pm 0.30^b$	$20.66 \pm 0.12^c$
5	$0.53 \pm 0.12^c$	$20.46 \pm 0.23^d$	$29.43 \pm 0.12^c$	$29.70 \pm 0.20^c$	$30.23 \pm 0.30^b$	$32.55 \pm 0.12^a$	$30.09 \pm 0.20^b$
6	$0.60 \pm 0.00^g$	$20.73 \pm 0.20^f$	$32.82 \pm 0.11^a$	$31.49 \pm 0.20^b$	$30.56 \pm 0.12^c$	$29.36 \pm 0.12^d$	$28.43 \pm 0.31^c$
7	$0.66 \pm 0.12^d$	$18.73 \pm 0.20^c$	$29.16 \pm 0.12^a$	$27.64 \pm 0.23^b$	$26.91 \pm 0.34^b$	$28.43 \pm 0.12^b$	$26.17 \pm 0.23^b$

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 2 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8; 3 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0; 4 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8; 5 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 6 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 และ 7 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 5 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเริ่มแรกที่ทำให้การทดลองมีค่าเท่ากับ  $0.53 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 - 5 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ดังนี้  $20.46 \pm 0.23$ ,  $29.43 \pm 0.12$ ,  $29.70 \pm 0.20$ ,  $30.23 \pm 0.30$  และ  $32.55 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในตัวอย่งนี้ จากนั้นปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยจึงปรับตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $30.09 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 6 พบว่าในสัปดาห์ที่ 0 - 2 มีค่าเท่ากับ  $0.60 \pm 0.00$ ,  $20.73 \pm 0.20$  และ  $32.82 \pm 0.11$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (โดยในสัปดาห์ที่ 2 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุด) จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีค่าลดลงเป็น  $31.49 \pm 0.20$ ,  $30.56 \pm 0.12$ ,  $29.36 \pm 0.12$  และ  $28.43 \pm 0.31$

กรัมต่อกิโลกกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 7 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 - 2 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเท่ากับ  $0.66\pm 0.12$ ,  $18.73\pm 0.20$  และ  $29.16\pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกกรัม ตามลำดับ โดยในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดตลอดการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ในตัวอย่างการทดลองนี้ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องดังนี้  $27.64\pm 0.23$ ,  $26.91\pm 0.34$ ,  $28.43\pm 0.12$  และ  $26.17\pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกกรัม ตามลำดับ ตามตารางที่ 16

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างแต่ละสัปดาห์ของตัวอย่างการทดลองที่ 1 - 7 พบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่าทั้ง 7 ตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเท่ากับ  $0.66\pm 0.23$ ,  $0.60\pm 0.00$ ,  $0.47\pm 0.12$ ,  $0.60\pm 0.00$ ,  $0.53\pm 0.12$ ,  $0.60\pm 0.00$  และ  $0.66\pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำหมักของตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม

สัปดาห์ที่	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย [ กรัมต่อกิโลกรัม (Mean $\pm$ SD ; n = 3) ]						
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6	ตัวอย่างที่ 7
1	0.66 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	0.60 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.47 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.60 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.60 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>
2	11.36 $\pm$ 0.20 <sup>d</sup>	14.75 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup>	7.24 $\pm$ 0.12 <sup>f</sup>	8.64 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>	20.46 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	20.73 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	18.73 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>
3	22.85 $\pm$ 0.31 <sup>d</sup>	29.56 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	21.59 $\pm$ 0.12 <sup>f</sup>	23.12 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	29.43 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>	32.82 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	29.16 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>
4	22.99 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	28.23 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>	22.92 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	21.65 $\pm$ 0.23 <sup>f</sup>	29.70 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	31.49 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	27.64 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>
5	25.91 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	26.97 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	24.05 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	21.59 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	30.23 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	30.56 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	26.91 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
6	28.50 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	26.97 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>	25.71 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	21.46 $\pm$ 0.30 <sup>f</sup>	32.55 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	29.36 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	28.43 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>
7	26.97 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	26.17 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>	24.38 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	20.66 $\pm$ 0.12 <sup>f</sup>	30.09 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	28.43 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	26.17 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 2 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8; 3 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0; 4 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8; 5 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 6 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 และ 7 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8

ตัวอักษรที่ต่างกัน (superscript) ในแต่ละสัปดาห์ตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามตารางจึงเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่างของสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 1 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 - 7 เริ่มมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อเปรียบเทียบในตัวอย่างที่ 1 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 2 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 1 (11.36 $\pm$ 0.20 กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 (14.75 $\pm$ 0.35 กรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยตัวอย่างที่ 3 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) กับตัวอย่างที่ 4 (เปลือกหอย 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 (7.24 $\pm$ 0.12 กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกับตัวอย่างที่ 4 (8.64 $\pm$ 0.31 กรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 (เปลือกไข่ไก่ 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0 กรัม) ตัวอย่างที่ 6 (เปลือกไข่ไก่ 1,000 กรัม : กากน้ำตาล 333.3 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) และตัวอย่างที่ 7 (เปลือกไข่ไก่

1,000 กรัม : กากน้ำตาล 400 กรัม : น้ำ 333.3 มล. : พด. 0.8 กรัม) พบว่า ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 ( $20.46 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 6 ( $20.73 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) นั้น มีค่าแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 5 กับตัวอย่างที่ 7 ( $18.73 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6 กับตัวอย่างที่ 7 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $22.85 \pm 0.31$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $29.56 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 2 จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดจากการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $21.59 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $23.12 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) นั้นมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 4 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลอง 7 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบในตัวอย่างที่ 5 ( $29.43 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $32.82 \pm 0.11$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $29.16 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าในตัวอย่างที่ 5 กับตัวอย่างที่ 6 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 7 พบว่า มีค่าปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 6 กับตัวอย่างที่ 7 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในสัปดาห์นี้ทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์

สัปดาห์ที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $22.99 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $28.23 \pm 0.31$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 ( $22.92 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $21.65 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าทั้งสองตัวอย่างก็มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 ( $29.70 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $31.49 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $27.64 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าทั้งสามตัวอย่างต่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $25.91 \pm 0.00$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $26.97 \pm 0.11$  กรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในตัวอย่างที่ 3 ( $24.05 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 4 ( $21.59 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อทำเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 5 ( $30.23 \pm 0.30$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $30.56 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $26.91 \pm 0.34$  กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สัปดาห์ที่ 5 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ( $28.50 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) กับตัวอย่างที่ 2 ( $26.97 \pm 0.11$  กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์นี้ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 3 ( $25.71 \pm 0.20$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 4 ( $21.46 \pm 0.30$  กรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในตัวอย่างที่ 5 ( $32.55 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างที่ 6 ( $29.36 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) และตัวอย่างที่ 7 ( $28.43 \pm 0.12$  กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในตัวอย่างที่ 5 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยสูงสุด

สัปดาห์การทดลองที่ 6 พบว่าในตัวอย่างการทดลองที่ 1-7 มีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดน้อยลงมีค่าเท่ากับ  $26.97 \pm 0.23$ ,  $26.17 \pm 0.12$ ,  $24.38 \pm 0.12$ ,  $20.66 \pm 0.12$ ,  $30.09 \pm 0.20$ ,  $28.43 \pm 0.31$  และ  $26.17 \pm 0.23$  กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังตารางที่ 17

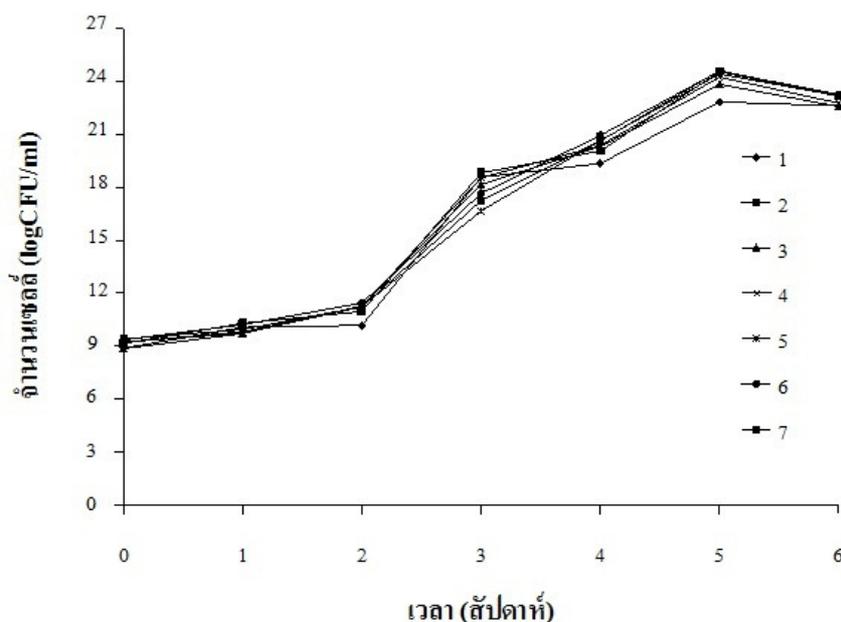
จำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมในถังหมักขนาดตัวอย่าง 1,000 กรัม

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมในถังหมักขนาดตัวอย่าง 1,000 กรัม ตรวจสอบด้วยวิธีการ Plate count พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมดังนี้ในตัวอย่างที่ 1 พบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ  $7.67 \times 10^8$  CFU/ml หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ  $1.17 \times 10^{10}$  และ  $1.50 \times 10^{10}$  CFU/ml ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ( $3.87 \times 10^{18}$  CFU/ml) ในสัปดาห์ที่ 4 ( $2.33 \times 10^{19}$  CFU/ml) จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 3 ส่วนในสัปดาห์ที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งโดยจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมเท่ากับ  $7.33 \times 10^{22}$  CFU/ml เชื้อจุลินทรีย์เริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ( $4.30 \times 10^{22}$  CFU/ml)

ตัวอย่างที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $1.40 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ( $1.96 \times 10^{10}$  และ  $9.40 \times 10^{10}$  CFU/ml) ในสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 จำนวนเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งโดยมีค่าเท่ากับ  $6.80 \times 10^{18}$  และ  $1.20 \times 10^{19}$  CFU/ml ตามลำดับ จำนวนเชื้อมีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 ( $3.77 \times 10^{24}$  CFU/ml) และเริ่มมีจำนวนลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $1.52 \times 10^{23}$  CFU/ml) ในตัวอย่างที่ 3 พบว่ามีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ  $7.33 \times 10^8$  CFU/ml จากนั้นเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 1 – 5 (โดยในสัปดาห์ที่ 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวมมากที่สุด) โดยมีค่าเท่ากับ  $5.17 \times 10^9$ ,  $1.93 \times 10^{11}$ ,  $1.50 \times 10^{18}$ ,  $2.10 \times 10^{20}$  และ  $7.33 \times 10^{23}$  CFU/ml ตามลำดับ เชื้อเริ่มมีจำนวนลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ( $3.90 \times 10^{22}$  CFU/ml)

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่ 4 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 – 5 มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ  $1.70 \times 10^9$ ,  $5.43 \times 10^9$ ,  $1.71 \times 10^{11}$ ,  $3.60 \times 10^{18}$ ,  $2.43 \times 10^{20}$  และ  $1.87 \times 10^{24}$  CFU/ml จากนั้นเชื้อมีจำนวนลดลงเป็น  $6.23 \times 10^{22}$  ในสัปดาห์ที่ 6 ตัวอย่างที่ 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในสัปดาห์แรกเท่ากับ  $1.67 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 – 5 พบว่า จำนวนเชื้อมีค่าสูงขึ้น โดยมีจำนวนเท่ากับ  $6.53 \times 10^9$ ,  $1.78 \times 10^{11}$ ,  $4.67 \times 10^{16}$ ,  $4.73 \times 10^{20}$  และ  $2.77 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 6 เชื้อมีจำนวนลดลงเป็น  $1.56 \times 10^{23}$  CFU/ml

ในตัวอย่างที่ 6 พบว่าในสัปดาห์เริ่มต้นของการทดลองมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ  $2.27 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 - 5 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มมีจำนวนค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีจำนวนเท่ากับ  $1.66 \times 10^{10}$ ,  $2.77 \times 10^{11}$ ,  $4.63 \times 10^{17}$ ,  $9.10 \times 10^{20}$  และ  $4.03 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีค่าลดลงเท่ากับ  $1.88 \times 10^{23}$  CFU/ml และในตัวอย่างที่ 7 พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่จำนวนเท่ากับ  $2.50 \times 10^9$  CFU/ml จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 - 5 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ  $8.70 \times 10^9$ ,  $1.73 \times 10^{11}$ ,  $1.80 \times 10^{17}$ ,  $4.40 \times 10^{20}$  และ  $4.33 \times 10^{24}$  CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จึงเริ่มลดลง ( $1.63 \times 10^{23}$  CFU/ml) ในสัปดาห์ที่ 6 ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างขนาด 1,000 กรัม

หมายเหตุ: ตัวอย่าง : กากน้ำตาล : น้ำ : พด.; 1 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 2 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8; 3 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0; 4 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8; 5 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0; 6 = 1,000 : 333.3 : 333.3 : 0.8 และ 7 = 1,000 : 400 : 333.3 : 0.8

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด - ด่างของตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. (1, 3 และ 5) ค่าความเป็นกรด - ด่างมีค่าลดลงตั้งแต่สัปดาห์แรกของการหมัก และลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 โดยจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 3.6 - 4.6 และจากนั้นจึงปรับตัวสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับกรมพัฒนาที่ดิน (2550); กรมพัฒนาที่ดิน (2554); Rueangsri *et al.* (2011) ซึ่งรายงานว่า เมื่อทำการหมักโดยไม่ใช้จุลินทรีย์ในเชิงพาณิชย์จะใช้เวลาในการหมักไม่น้อยกว่า 3 สัปดาห์ และค่าความเป็นกรด - ด่างมักอยู่ระหว่าง 4 - 5 และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด - ด่างของตัวอย่างที่ ใส่เชื้อ พด. (ตัวอย่างที่ 2, 4, 6 และ 7) พบว่าในตัวอย่างขนาด 200, 500 และ 1,000 กรัม มีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการทดลอง และลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 โดยจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ระหว่าง 3 - 4 และหลังจากนั้นค่าความเป็นกรด - ด่างจึงค่อย ๆ ปรับตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในสัปดาห์ที่ 3 - 5 และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับ กรมพัฒนาที่ดิน (2553); กรมพัฒนาที่ดิน (2554) ที่รายงานว่าหากกระบวนการหมักที่ใส่เชื้อพด. เมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์แล้วจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ระหว่าง 3 - 4

เมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างขนาด 200, 500 และ 1,000 กรัม พบว่าในตัวอย่างที่ไม่ใส่เชื้อ พด. (ตัวอย่างที่ 1, 3 และ 5) ปริมาณแคลเซียมจะปรับตัวสูงขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกของการทดลอง และมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 โดยจะมีปริมาณแคลเซียมสูงสุดประมาณ 25 - 32 กรัมต่อกิโลกรัม ในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. (ตัวอย่างที่ 2, 4, 6 และ 7) พบว่าปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 เช่นกัน แต่จะมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 โดยมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 28 - 32 กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 6 ปริมาณแคลเซียมจึงค่อย ๆ ปรับตัวลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Rajka *et al.* (2011) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักนมถั่วเหลืองกับเชื้อโปรไบโอติกแบคทีเรีย โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ในการทดลอง พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มแรกมีปริมาณเท่ากับ  $10^7$  CFU/ml และมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย เริ่มต้นประมาณ 4 - 5 จากนั้นในวันที่ 21 ของการทดลองพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus sp.* มีปริมาณสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในถังหมัก มีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตกรดแลคติก ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ (21 วัน) พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 3 - 4 และมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดด้วยเช่นกัน

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. และไม่ได้ใส่เชื้อพด. มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นของทั้งสองตัวอย่าง มีปริมาณใกล้เคียงกัน จากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 - 2 เชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้น จากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 - 4 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งพบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 จากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์จึงปรับตัวลดลงในทั้งสองตัวอย่างคือที่ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. ซึ่งสอดคล้องกับ *Nwachukwu et al.* (2010) ซึ่งทำการศึกษา Lactic acid bacteria ในการหมักธัญพืชของอาหารประจำถิ่นในประเทศไนจีเรีย พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 3 - 4 โดย Lactic acid bacteria มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นที่สุดในวันที่ 108 ในอาหารที่หมักกับข้าวโพด และสอดคล้องกับ *Yang et al.* (2006) ทำการศึกษาผลกระทบของผงเปลือกหอยนางรมในการยืดอายุการเก็บรักษาของกิมจิ โดยใช้ผงเปลือกหอยปริมาณ 0, 0.05, 0.1 และ 0.5 % พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 °C ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดต่ำลงตลอดการทดลอง และเมื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ Lactic acid พบว่า มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับค่าความเป็นกรด - ด่าง ในตัวอย่างทั้งที่ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. พบว่าทั้งสองค่ามีค่าแปรผกผันกันกล่าวคือ ในสัปดาห์แรกนั้นปริมาณแคลเซียมยังมีปริมาณไม่มาก แต่ค่าความเป็นกรด - ด่างมีค่าค่อนข้างสูง และเมื่อเวลาผ่านไป ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ปริมาณแคลเซียมเริ่มมีปริมาณสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นกรด - ด่างกลับปรับตัวลดลง ซึ่งในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. พบว่า มีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ในทุก ๆ อัตราส่วน และมีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ดังกล่าวเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ กรมพัฒนาที่ดิน (2550); กรมพัฒนาที่ดิน (2554); *Rueangsri et al.* (2011) ซึ่งรายงานว่าการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ในเชิงพาณิชย์กระบวนการหมักจะเสร็จสมบูรณ์โดยจะใช้ระยะเวลาไม่เกิน 3 สัปดาห์ และค่าความเป็นกรด - ด่างมักอยู่ระหว่าง 3 - 4 หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด - ด่างจะปรับตัวสูงขึ้น แต่ในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อ พด. พบว่าปริมาณแคลเซียมจะมีค่าสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 และมีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงต่ำสุดในสัปดาห์นี้เช่นกัน อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างที่ใส่ พด. ก็ยังคงมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. และค่าความเป็นกรด - ด่างในตัวอย่างที่ใส่พด. ก็มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. เช่นกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. สามารถเร่งกระบวนการหมักให้สมบูรณ์ได้เร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่ พด. ซึ่งสอดคล้องกับ *Stuetzenderger et al.* (1970); *สุพรรณิการ์* (2544); *Gau* (1980) กล่าวไว้ว่า ในช่วงแรกของการหมักจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ และ

เชื้อจุลินทรีย์ที่เติมเข้าไปในการหมัก และหลังจากนั้นค่าความเป็นกรด - ด่างจะค่อยๆสูงขึ้นอย่างช้าๆ แต่จะมีค่ากรด - ด่างสูงขึ้นเท่าไรหรือนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุ และเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน

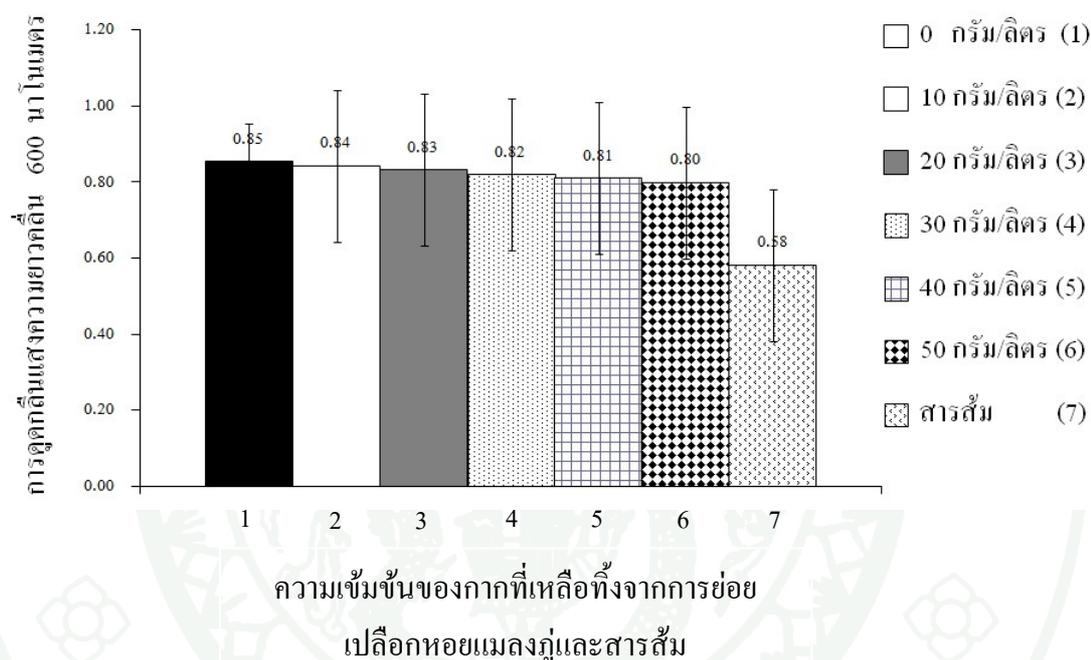
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ในสัปดาห์แรกของการหมักจะพบว่า ปริมาณแคลเซียมในทุกตัวอย่างการทดลองมีปริมาณไม่มาก โดยมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.5 - 0.6 กรัมต่อกิโลกรัม และเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณเท่ากับ  $10^8 - 10^9$  CFU/ml และเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 3 สัปดาห์พบว่า ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. มีปริมาณสูงที่สุด โดยมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 22 - 32 กรัมต่อกิโลกรัม และมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ  $10^{10} - 10^{11}$  CFU/ml ซึ่งสอดคล้องกับจากรวรรณ (2551) กล่าวว่า จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักสามารถเจริญเติบโตในอุณหภูมิปานกลาง บางสายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำถึง  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิสูง ถึง  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  ส่วนค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4 - 4.5 แต่มีบางสายพันธุ์ที่สามารถทนต่อความเป็นกรด - ด่าง ต่ำถึง 3.2 ได้ และสามารถทนต่อความเป็นกรด - ด่างสูงถึง 9 ได้เช่นกัน ทั้งนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ เช่น ใช้เพื่อถนอมอาหาร หรือใช้เพื่อเร่งอัตราการหมักให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในประเทศไทยนั้นจุลินทรีย์ถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการหมักหลายด้านด้วยกัน (Kalantzopoulos, 1997; กระษาศิพย์, 2537) แต่ในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อจุลินทรีย์พบว่า ปริมาณแคลเซียมจะมีปริมาณสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 25 - 32 กรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ  $10^{22} - 10^{24}$  CFU/ml ซึ่งสอดคล้องกับ Tsukamoto *et al.* (2008); Taboada *et al.* (2010); Marin (2004); Rueangsri *et al.* (2011) รายงานว่า องค์ประกอบของเปลือกหอยส่วนใหญ่มักเป็น แคลเซียม (95 - 99 % โดยน้ำหนัก) และที่เหลือ 1 - 5% เป็นสารประกอบชนิดอื่น โดยแคลเซียมจะยึดกันโดยโปรตีน การที่จะทำให้แคลเซียมในเปลือกหอยหลุดออกจากกันได้นั้น ต้องกำจัดโปรตีนที่เป็นตัวกลางในการทำให้แคลเซียมยึดเกาะกันได้นั้นหมดไป หรือเสื่อมสภาพไปเสียก่อน กรมพัฒนาที่ดิน (2554) และ Ok nation (2551) รายงานว่า เชื้อจุลินทรีย์ในเชิงพาณิชย์ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ซึ่งในนั้นมีเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีน และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนสลาย หรือเสื่อมสภาพได้ ในเวลา 15 - 20 วัน และยังสอดคล้องกับ Ram and Pranay (2010) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักกะหล่ำปลีคองในระหว่างการหมักและการเก็บรักษา พบว่าในการหมักกะหล่ำปลีคองที่เวลา 21 - 28 วัน มีปริมาณของกรดแลคติกมากที่สุด และค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 3.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่ตรวจพบปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. ในสัปดาห์ที่ 3 (21 วัน) ของการหมัก

และเมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด - ต่างกับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์พบว่า ค่าความเป็นกรด - ต่างเริ่มต้นมีค่าค่อนข้างจะเป็นกรดเล็กน้อย โดยมีค่าความเป็นกรด - ต่าง ประมาณ 5.5 ในทุกตัวอย่างทั้งที่ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. เชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณโดยประมาณ เท่ากับ  $10^8 - 10^9$  CFU/ml ในทุกตัวอย่างการทดลอง หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ค่าความเป็นกรด - ต่างในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ต่างลดลงต่ำที่สุดโดยมีค่าประมาณ 3 - 4 และมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ  $10^{10} - 10^{11}$  CFU/ml แต่ในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. พบว่ามีค่าความเป็นกรด - ต่าง ลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 โดยมีค่าประมาณ 3 - 4 แต่กลับมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ  $10^{22} - 10^{24}$  CFU/ml ซึ่งสอดคล้องกับกรมพัฒนาที่ดิน (2550); กรมพัฒนาที่ดิน (2554); Ok nation (2551); Rueangsri *et al.* (2011) รายงานว่า การหมักโดยใช้ จุลินทรีย์ในเชิงพาณิชย์เสร็จสมบูรณ์แล้ว ค่าความเป็นกรด - ต่างจะอยู่ในช่วง 3 - 4 และค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก และจุลินทรีย์ที่ ย่อยสลายโปรตีน คือ 3.5 - 5.6 และสอดคล้องกับAnna (2008) รายงานว่าเชื้อจุลินทรีย์ Lactic acid bacteria มีค่าความเป็นกรด - ต่างอยู่ในช่วงกว้าง

#### การศึกษาแนวทางการนำกากเปลือกหอยแมลงภู่มที่เหลือทิ้งจากกระบวนการหมักไปใช้ประโยชน์

พัฒนาวิธีการนำเปลือกหอยแมลงภู่มที่ผ่านการหมักแล้วไปใช้ประโยชน์ โดยการทดลอง การปรับคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงผลิตนม ด้วยการนำกากที่ได้จากการหมัก (ในตัวอย่างที่ให้ ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด) ใส่ลงในน้ำเสียที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อ น้ำ เสีย 1 ลิตร คนเป็นเวลา 25 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชม. จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย โดยการ วิเคราะห์หาความขุ่น และปริมาณโปรตีน โดยการเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำเสียที่ใส่สารส้ม และ ไม่ได้ใส่สารส้ม AOAC 2006 (Association of Official Analytical Chemists, 2006) และอัชมา (2547) ผลที่ได้ดังภาพที่ 11 โดยเมื่อทำการวัดความขุ่นพบว่า ประสิทธิภาพลดความขุ่นแปรผัน ตรงกับปริมาณของเปลือกหอยแมลงภู่มที่ผ่านการหมักแล้ว โดยหากเพิ่มปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่ม แล้ว พบว่า ประสิทธิภาพลดความขุ่นมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เปลือก หอยแมลงภู่มที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วมีค่า การดูดกลืนแสงความยาวคลื่น OD 600 นาโนเมตร (Mean  $\pm$  SD ; n = 3) เท่ากับ  $0.85 \pm 0.03$  และเมื่อใส่ปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่มเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อ น้ำ เสีย 1 ลิตร พบว่า ความขุ่นของน้ำเสียจากโรงผลิตนมมีค่าลดลงเป็น  $0.84 \pm 0.05$ ,  $0.83 \pm 0.00$ ,  $0.82 \pm 0.01$ ,  $0.81 \pm 0.01$  และ  $0.80 \pm 0.01$  ตามลำดับ แต่ตัวอย่างที่ใช้สารส้ม พบว่า ค่าความขุ่นลดน้อยลงที่สุด เท่ากับ  $0.58 \pm 0.02$  ซึ่งสอดคล้องกับ ภควรรณ (2552) ที่

ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อใช้ไคโตซานบีดที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลหนัก 5, 10 และ 15 กรัม พบว่า มีค่าการดูดซับอยู่ในช่วง  $17.61 \pm 1.15$  ถึง  $35.85 \pm 1.73$  %,  $29.18 \pm 0.44$  ถึง  $47.80 \pm 1.57$  % และ  $42.52 \pm 0.44$  ถึง  $59.12 \pm 1.15$  % ตามลำดับ โดยไคโตซานบีดที่หนัก 15 กรัม มีค่าการดูดซับมากสุดแต่ในตัวอย่างที่ใช้สารส้มนั้นมีประสิทธิภาพในการความขุ่นสูงที่สุดโดยมีค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น OD 600 นาโนเมตร เท่ากับ 0.48



ภาพที่ 11 ปริมาณความขุ่นในน้ำเสียจากโรงผลิตนมภายหลังการทดสอบด้วยกากที่เหลือจากการย่อยเปลือกหอยแมลงภู่ (ลำดับที่ 1 ถึง 6) เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม (ลำดับที่ 7)

จากนั้น เมื่อศึกษาถึงความสามารถในการลดปริมาณโปรตีนของน้ำเสียจากโรงนมพบว่า สารส้มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณโปรตีน (52.85 %) ของน้ำเสียจากโรงผลิตนมได้มากที่สุด (ตารางที่ 18) รองลงมาคือ ในตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภู่ 50, 40, 30, 20 และ 10 กรัมต่อลิตรโดยมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีน โดยเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักแล้ว มีค่าเท่ากับ 11.54, 13.66, 14.86, 14.88 และ 14.96 ตามลำดับ ทั้งนี้ในสารส้มพบว่า มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนลดลงมากที่สุดเท่ากับ 52.74

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงโครงสร้างภายนอกของเปลือกหอยแมลงภู่ทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ พบว่าเปลือกหอยแมลงภู่ทางด้านในมีลักษณะเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านกระบวนการหมักมีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับได้ โดย ชฎาภา (2547) กล่าวไว้ว่า ตัวดูดซับต้องประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก เพื่อโมเลกุลของของไหลจะแพร่เข้าไปภายในรูพรุน และจะถูกดูดซับไว้ภายใน จึงเป็นเหตุให้ตะกอน หรือสารต่างๆ ในของไหลมีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งกระบวนการเกิดการดูดซับมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ 1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านไปยังผิวด้านนอกของตัวดูดซับ เรียกว่า การแพร่ไปยังผิวของสารดูดซับ (diffusion to adsorbent surface) 2. การดูดซับเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณพื้นที่ผิวด้านนอก ไปยังรูพรุนภายในที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า เรียกกระบวนการเกิดการดูดซับนี้ว่า การผ่านเข้ารูพรุนของสารดูดซับ (migration into pores of adsorbent) 3. เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวของสารดูดซับอย่างรวดเร็ว (monolayer build up of adsorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะยึดติดอยู่ที่ผิวภายในรูพรุน (นวหทัย และคณะ, 2543) ทั้งนี้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ผลที่ได้ยังถือว่าไม่น่าพอใจของผู้วิจัยเอง เนื่องจากผลที่ยังไม่ชัดเจนมากนัก ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรนำเปลือกหอยที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ ไปทำการหมักซ้ำหลาย ๆ รอบ เพื่อให้ปริมาณแคลเซียมในเปลือกหอยลดจำนวนลงให้มากกว่า และเพื่อเป็นการเพิ่มรูพรุนของเปลือกหอยมากขึ้น จากนั้นจึงนำเปลือกหอยที่ผ่านกระบวนการหมักมาแล้วหลายครั้ง ไปทดสอบความขุ่น และโปรตีนในน้ำเสียจากโรงนมอีกครั้ง

ตารางที่ 18 ร้อยละของโปรตีนที่ลดลงในน้ำเสียจากโรงผลิตนม

ความเข้มข้นสารตกตะกอน (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณโปรตีน (มก.ต่อลิตร)	ร้อยละของโปรตีนที่ลดลงใน น้ำเสียจากโรงนมจากปริมาณ โปรตีนทั้งหมด
0	112.25	0
10	99.07	11.54
20	96.70	13.66
30	95.36	14.86
40	95.33	14.88
50	95.25	14.96
สารส้ม	52.93	52.74

## ศึกษาแนวทางการนำน้ำหมักที่ได้จากการหมักเปลือกหอยแมลงภู่มื่อทิ้งจากกระบวนการที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์

เมื่อทำการหมักเปลือกหอยแมลงภู่มื่อเป็นเวลา 7 สัปดาห์แล้ว ผลผลิตที่ได้คือ น้ำหมักชีวภาพที่มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้มาทำการปลูกต้นถั่วเขียวเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 19 กล่าวคือ เมื่อทำการปลูกต้นถั่วเขียวผ่านไปเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลของความสูงของต้นถั่วเขียวในอัตราส่วน ที่ 0 : 100 (ชุดควบคุม) และ 1 : 100 ให้ความสูงของต้นถั่วเขียว ( $11.45 \pm 0.65$  และ  $11.05 \pm 1.23$  เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ที่อัตราส่วนเป็น 1 : 200 และ 1 : 300 ความสูงของต้นถั่วเขียวมีความสูงเพิ่มขึ้น คือ  $15.83 \pm 1.01$  และ  $15.99 \pm 0.40$  เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 1 : 400 ความสูงของต้นถั่วเขียวสูง  $18.28 \pm 1.80$  เซนติเมตร และที่อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพต่อน้ำ 1 : 500 ถึง 1 : 1,000 ความสูงของลำต้นถั่วเขียวมีความสูงอยู่ระหว่าง  $20.04 \pm 0.88$  ถึง  $21.49 \pm 0.49$  เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นถั่วเขียวในชุดควบคุม กับอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพต่อน้ำ 1 : 500 ถึง 1 : 1,000 ความสูงของต้นถั่วเขียวมีความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) สอดคล้องกับ กรมพัฒนาที่ดิน (2552) ที่ได้แนะนำอัตราส่วนในการเจือจางปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพต่อน้ำ ที่อัตราส่วน 1 : 500 ถึง 1 : 1,000

ขนิษฐา (2553); กรมพัฒนาที่ดิน (2554); พิณชอ (ม.ป.ป.) รายงานว่า ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช กระตุ้นการงอกของเมล็ด และช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชให้สมบูรณ์ แข็งแรงตามธรรมชาติ ด้านทานโรคและแมลง กรมพัฒนาที่ดิน (2550) รายงานว่า ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพแบบนี้มีปริมาณของแคลเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ยงยุทธ (2546); ลิลลี่ และคณะ (2549) กล่าวไว้ว่า ลักษณะการขาดแคลเซียมของพืช มีผลทำให้เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด - ปลายรากตาย ใบอ่อนหงิกงอ และถ้าหากพืชได้แคลเซียมมากเกินไปทำให้การเจริญเติบโตของพืชจะช้าลง และลักษณะของลำต้นจะผิดปกติไปจากปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้เมื่อทำการปลูกต้นถั่วเขียวเป็นเวลา 7 วัน ลักษณะของลำต้นในอัตราส่วน 0 : 100 พบว่า ลักษณะของลำต้นเหยียดตรง ลักษณะปลายยอดของลำต้นหงิกงอ และปลายรากเริ่มเน่า ในอัตราส่วน 1 : 100 ถึง 1 : 400 ลำต้นมีลักษณะโค้งงอ ไม่เหยียดตรง การยึดเกาะของรากไม่แข็งแรง

ตารางที่ 19 อัตราส่วนของน้ำหมัก : น้ำ กับความสูงของต้นถั่วเขียวในวันที่ 7 ของการทดลอง

อัตราส่วนที่ใช้ของ น้ำหมัก : น้ำ (มล. : มล.)	ความสูงของต้นถั่วเขียวในวันที่ 7 [ชม. (Mean $\pm$ SD ; n = 3)]
0:100	11.45 $\pm$ 0.65 <sup>d</sup>
1:100	11.05 $\pm$ 1.23 <sup>d</sup>
1:200	15.83 $\pm$ 1.01 <sup>c</sup>
1:300	15.99 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>
1:400	18.28 $\pm$ 1.80 <sup>b</sup>
1:500	21.32 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>
1:600	21.49 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>
1:700	21.00 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>
1:800	21.00 $\pm$ 1.19 <sup>a</sup>
1:900	20.43 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>
1:1,000	20.04 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>

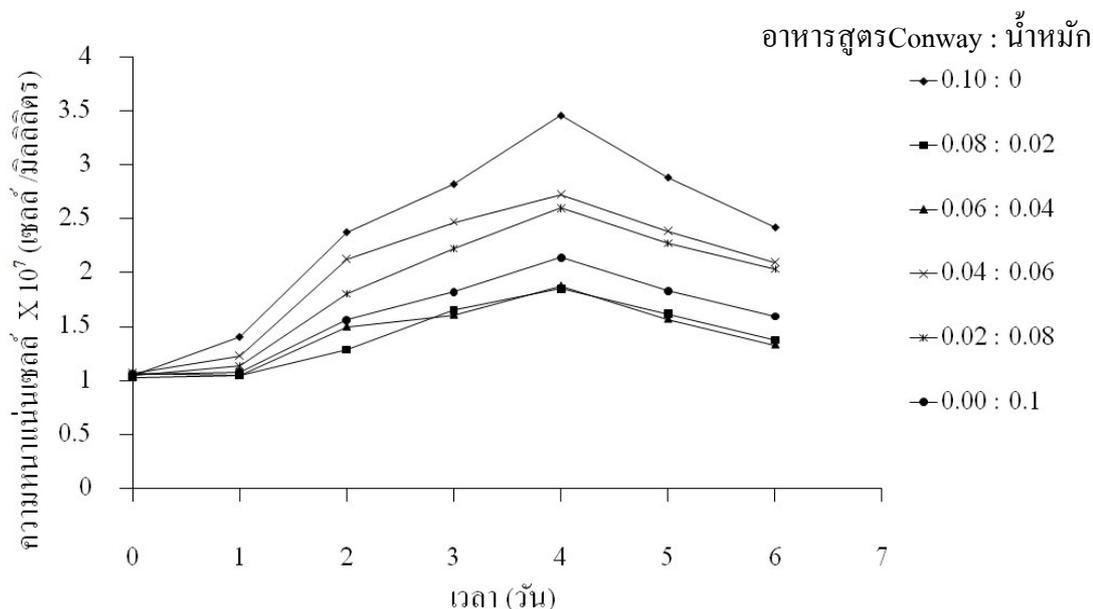
นันทกร (2544) กล่าวว่า ปุ๋ยชีวภาพ คือผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์อยู่ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง หรือสร้างสารประกอบของธาตุอาหารให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ซึ่งเชื่อกันว่าผลิตภัณฑ์นี้จะมีส่วนช่วยทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี เพราะว่ามีธาตุอาหารหลายอย่างที่พืชต้องการ ช่วยลดการเกิดโรค และแมลงได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้โดย

ในอัตราส่วน 1 : 500 ถึง 1 : 1,000 ลำต้นของต้นถั่วเขียวมีลักษณะเหยียดตรง การยึดเกาะของรากแข็งแรง ซึ่งในน้ำหมักชีวภาพนี้ตรวจพบปริมาณแคลเซียมในน้ำหมักประมาณ 29 กรัมต่อกิโลกรัม (กาญจนา และเอื้องฟ้า, 2544) ยงยุทธ (2552) กล่าวไว้ว่า ปุ๋ยน้ำชีวภาพ คือปุ๋ยน้ำที่ได้จากการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้ โดยผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ และอาจจะมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าไป เพื่อช่วยในการย่อยสลาย ซึ่งจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถผลิตหรือตรึงสารอาหารที่พืชต้องการได้
2. เจริญเติบโตได้รวดเร็ว
3. สามารถเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี
4. ทนต่อสารเคมี

ศึกษาการนำน้ำหมักที่ได้ไปใช้ในการเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช (*Chlorella* sp.)

เลี้ยง *Chlorella* sp. โดยใช้อาหารสูตร Conway (ลัดดา, 2543) ควบคุมอุณหภูมิการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 – 27 °C ให้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 1,000 lux มีด 12 ซม. สว่าง 12 ซม. เก็บเกี่ยวเซลล์ที่ระยะ stationary phase ไปทดลองโดยการนำน้ำทะเลที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 125 มล. เติมน้ำเค็ม 90 มล. เติมหาหารที่ใช้ในการทดลอง (Conway) โดยมีอัตราส่วน Conway : น้ำหมัก (มล. : มล.) ดังนี้ 0.1 : 0, 0.08 : 0.02, 0.06 : 0.04, 0.04 : 0.06, 0.02 : 0.08 และ 0 : 0.1 จากนั้นเติมหัวเชื้อ *Chlorella* sp. 10 มล. ทำการนับจำนวนเซลล์ทุกวัน ตรวจสอบค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย แอมโมเนียม และไนไตรท์ โดยใช้ชุดทดสอบ (Test Kit) ในวันที่ 5 ของการเลี้ยง ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 12 พบว่า ในตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง มีปริมาณ *Chlorella* sp. เริ่มต้นใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณเท่ากับ  $1.05 \times 10^7$ ,  $1.03 \times 10^7$ ,  $1.07 \times 10^7$ ,  $1.07 \times 10^7$ ,  $1.05 \times 10^7$  และ  $1.06 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล. ตามลำดับ จากนั้นในวันที่ 2 – 5 *Chlorella* sp. มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าปริมาณสูงที่สุดในวันที่ 5 ของทุกตัวอย่างการทดลอง โดยในตัวอย่างชุด 0.1 : 0 มีปริมาณ *Chlorella* sp. สูงที่สุด มีปริมาณเท่ากับ  $3.46 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล. รองลงมาคือ 0.04 : 0.06 ( $2.72 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล.), 0.02 : 0.08 ( $2.60 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล.), 0.00 : 0.1 ( $2.14 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล.), 0.06 : 0.04 ( $1.88 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล.) และ 0.08 : 0.02 ( $1.85 \times 10^7$  เซลล์ต่อมล.) ตามลำดับ จากนั้นในวันที่ 6 และ 7 พบว่า ปริมาณเชื้อ *Chlorella* sp. มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกตัวอย่างการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับ Kumar and Singh (1971) และ Richmond (1986) รายงานว่า สามารถพบ *Chlorella* sp. ทั้งในน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำเสีย เนื่องจาก *Chlorella* sp. สามารถทนต่อสภาวะความเข้มข้นของสารอาหารได้ในช่วงกว้าง



ภาพที่ 12 จำนวนแบคทีเรียที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำหมักในอัตราส่วนต่างๆ

ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจสอบ เมื่อผ่านการเลี้ยงแบคทีเรียเป็นเวลา 5 วัน (ตารางที่ 20) พบว่าในตัวอย่างควบคุมมีปริมาณแอมโมเนีย เท่ากับ 0.5 ppm ซึ่งในชุดตัวอย่าง (0.08 : 0.02, 0.06 : 0.04, 0.04 : 0.06, 0.02 : 0.08 และ 0 : 0.1) มีปริมาณแอมโมเนียเท่ากับ 0 – 0.25 ppm ซึ่งสอดคล้องกับRichmond (1986); Abeliovich (1980) รายงานว่า ปริมาณแอมโมเนียในน้ำไม่ควรเกิน 0.5 ppm ซึ่งหากเกินกว่านั้นจะทำให้เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ และสำหรับบางชนิดปริมาณแอมโมเนียที่สูง ๆ จะเข้าไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจากการศึกษาพบว่า ในตัวอย่างที่มีอัตราส่วนที่ผสมน้ำหมักอยู่ด้วยนั้นจะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าตัวอย่างในชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับศุภวันจักรี และสมชาย (2546) รายงานว่าการใช้อาหารเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เพียงอย่างเดียวหรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร่วมกับอีเอ็มชนิดต่างๆนั้นมีแนวโน้มว่า ลดปริมาณแอมโมเนียได้มากกว่าอาหารที่เสริมเพียงอีเอ็มอย่างเดียว ศึกษาโดยใช้จุลินทรีย์ผสม และโอลิโกแซคคาไรด์ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้เร็ว จาก 0.39 mg/kg DM เหลือ 0.30, 0.29 และ 0.28 mg/kg DM ในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ได้รับ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร่วมกับอีเอ็มผสมในน้ำดื่ม ปริมาณการลดลงจากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองจะลดลงมากที่สุด จากเริ่มต้น 0.39 mg/kg DM เมื่อสิ้นสุดการทดลองเหลือเพียง 0.23 mg/kg DM

ตารางที่ 20 ค่าพารามิเตอร์ในขวดเลี้ยงแพลงก์ตอนในวันที่ 5 ตรวจสอบค่าโดยใช้ชุดทดสอบ (Test Kit)

อัตราส่วน อาหารสูตร Conway : น้ำหมัก	แอมโมเนียม (ppm)	ไนไตรท์ (ppm)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
0.1 : 0	0.5	0.25	9.0
0.08 : 0.02	0.25	5.0	8.6
0.06 : 0.04	0.25	0.25	8.6
0.04 : 0.06	0	0.05	8.6
0.02 : 0.08	0	0.05	8.6
0 : 0.1	0	0.05	8.0

ไนไตรท์ (intermediate product) จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำอย่างมาก (ลิรี, 2528 และอุษา, 2530) โดยไนไตรท์จะเข้าไปจับกับเม็ดเลือดของสัตว์น้ำ ซึ่งส่งผลให้เม็ดเลือดไม่สามารถรับออกซิเจนส่งไปให้เซลล์ต่างๆ ของร่างกายได้ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน และตายในที่สุด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ในตัวอย่างชุดควบคุมมีปริมาณไนไตรท์เท่ากับ 0.25 ppm แต่ในตัวอย่างที่มีน้ำหมักอัตราส่วน 0.04 : 0.06, 0.02 : 0.08 และ 0 : 0.1 มีปริมาณ 0.05 ppm ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าในชุดควบคุม ทั้งนี้ปริมาณแพลงก์ตอนจะยังคงมีปริมาณที่น้อยกว่า อาจสืบเนื่องมาจากปริมาณสารอาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยงแพลงก์ตอนอาจจะยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ กรมพัฒนาที่ดิน (2550) และกรมพัฒนาที่ดิน (2554) กล่าวไว้ว่า สารเร่งซูปเปอร์ฟด. 2 มีส่วนประกอบของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้จะสามารถช่วยลดปริมาณไนไตรท์ในน้ำได้ (คณิต, 2547 และรัช, 2554)

Becker and Venkatanaman (1982) กล่าวไว้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช มีผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ ทางชีววิทยาของเซลล์ เช่น กระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นตัวชี้ถึงการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือปริมาณของไบคาร์บอเนตในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 9.0 และในตัวอย่างชุดทดลองในอัตราส่วน 0.04 : 0.06 (มีปริมาณ

แพลงก์ตอนมากที่สุด (ใน ชุดการทดลอง) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.6 และในตัวอย่างที่มี ปริมาณ *Chlorella* sp. น้อยที่สุด (0.08 : 0.02) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.6 ซึ่ง สอดคล้องกับค่ากล่าวของ Richmond (1986) ว่า *Chlorella* sp. สามารถเจริญเติบโตในน้ำที่มีค่า ความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างสูง (8.5 - 11.0) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชีววิทยาของแต่ละสายพันธุ์ เช่น *Chlorella saccharophila* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สภาวะเป็นกรดเล็กน้อย และใน *Chlorella homosphaera* สามารถเจริญเติบโตได้ดีมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 ซึ่งสอดคล้องกับ จรุง (2531) กล่าวว่า *Chlorella* sp. K<sub>3</sub> มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 7 - 8 และเช่นเดียวกับ Malis - Arad and McGowan (1982) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด- ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Chlorella vulgaris* มีค่าประมาณ 6.3 และในตัวอย่าง 0 : 0.1 พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.0 ซึ่งสอดคล้องกับกรมพัฒนาที่ดิน (2550) กรมพัฒนาที่ดิน (2554) และ Rueangsri *et al.* (2011) รายงานว่าเมื่อกระบวนการหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว ค่าความ เป็นกรด-ด่าง จะมีค่าเท่ากับ 3 - 4 ดังนั้น ในค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นของการเลี้ยงแพลงก์ ตอนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 8 - 9 เมื่อเติมน้ำหมักที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำจึงทำ ให้น้ำหมักนั้นมีความเป็นบัฟเฟอร์คือ ปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดน้อยลง แต่ค่าความ เป็นกรด-ด่าง ก็ยังคงอยู่ในช่วงที่แพลงก์ตอนสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Hosakul (1972) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.5 หรือ 9.5 จะทำให้เซลล์ผิดปกติ และจะหยุดชะงักการ เจริญเติบโตของ *Chlorella* sp.

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### 1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของเปลือกหอยแมลงภู

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภูพบว่า ในเปลือกหอยมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ  $\text{Si}$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนประเภท Scanning Electron Microscope พบว่า ด้านนอกของเปลือกหอยจะมีรูพรุนน้อยกว่าด้านใน และเมื่อตรวจสอบลักษณะเปลือกหอยแมลงภูที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศจะพบว่าเปลือกหอยมีลักษณะขรุขระ และมีรูพรุนเกิดขึ้นมากกว่าเปลือกหอยแมลงภูที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก แสดงถึงเปลือกหอยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ อาจแสดงถึงสาเหตุจากกระบวนการย่อยสลายเปลือกหอย ด้วยการหมักโดยวิธีการทางจุลชีววิทยา ทำให้ปลดปล่อยสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ออกมาได้เช่น แคลเซียม และทำให้เปลือกหอยมีลักษณะประแตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กได้มากขึ้น

### 2. ศึกษากระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์แบบการหมักไม่เติมอากาศ

ในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. พบว่า น้ำหมักจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 6 ส่วนในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. จะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 ส่วนปริมาณแคลเซียมในน้ำหมักของตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อ พด. พบว่า มีปริมาณสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 แต่ในตัวอย่างที่ใส่เชื้อพด. พบว่า มีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 3 ทั้งนี้ปริมาณแคลเซียมที่ได้จากตัวอย่างที่ใส่พด. ยังคงมีปริมาณสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่เชื้อพด. ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาการทดลองพบว่า ทั้งในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เชื้อจะค่อยๆมีปริมาณเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกของการทดลอง จากนั้นจะมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 และปริมาณจะเริ่มลดน้อยลงในสัปดาห์ที่ 7

ซึ่งจากการทดลองในตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม ทั้งที่ใส่พด. และไม่ได้ใส่พด. มีค่าพารามิเตอร์ไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อทำการเพิ่มขนาดเป็น 1,000 กรัม พบว่า แคลเซียมในน้ำหมักที่ได้ นั้นมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างขนาด 200 และตัวอย่างขนาด 500 กรัม ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนในการหมัก ไม่ส่งผลต่อความ

เข้มข้นของแคลเซียมในน้ำหมัก และยังสามารถเพิ่มแคลเซียมในน้ำหมักให้มากขึ้น ซึ่งสามารถนำผลการทดลองไปถ่ายทอดสู่ชุมชน และเพิ่มขนาดให้มีกำลังในการผลิตใหญ่ขึ้นกว่านี้ได้อีกด้วย

### 3. ศึกษาแนวทางการนำองค์ประกอบทางเคมีจากเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาการนำเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วไปใช้ประโยชน์ในการลดความขุ่นของน้ำเสียจากโรงผลิตนมพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่ผ่านกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้ค่าความขุ่นมีค่าลดลงมากขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในน้ำเสียจากโรงผลิตนม

### 4. ศึกษาแนวทางการนำน้ำหมักที่ได้จากการหมักเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษา การนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไม่เติมอากาศ มาทำการปลูกต้นถั่วเขียวเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว พบว่า ที่อัตราส่วน น้ำหมักชีวภาพ : น้ำ 1 : 500 ถึง 1 : 1,000 มีประสิทธิภาพช่วยให้ต้นถั่วเขียวมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และเมื่อนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้ ไปใช้แทนมีเดียที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอน พบว่าที่อัตราส่วน มีเดีย : น้ำหมัก 0.04 : 0.06 สามารถใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนชนิด *Chlorella* sp. ให้ได้ปริมาณที่ใกล้เคียงกับการใช้ มีเดีย เลี้ยงเพียงอย่างเดียว และเมื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ พบว่าในการนำน้ำหมักชีวภาพมาใช้ในอัตราส่วนดังกล่าว สามารถช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ ในการเลี้ยงแพลงก์ตอนได้

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. มีอะไรในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. เอกสารการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยใช้สารเร่ง ชุปเปอร์ พด. 2. เอกสารการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยใช้สารเร่ง ชุปเปอร์ พด. 2. เอกสารการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2554. การผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้สารเร่ง ชุปเปอร์ พด. 2. เอกสารการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมประมง. 2535. ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ องค์การค้ำคुरुสภา, กรุงเทพฯ.
- กรมประมง. 2550. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย. มูลค่าสัตว์น้ำเค็มทั้งหมด (รวมเพาะเลี้ยงชายฝั่ง) จำแนกเป็นรายชนิด ปี 2546 – 2550. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กระยาทิพย์ เรือนใจ. 2537. ถนอมอาหารด้วยการดอง. ต้นธรรมสำนักพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- กาญจนา วันเสาร์ และเอื้องฟ้า บรรเทาวงษ์. 2544. ปุ๋ยน้ำหมักดีจริงหรือ. เคหากรเกษตร, กรุงเทพฯ.

ขนิษฐา ขาวพลศรี. 2553. คุณสมบัติและประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมะเขือม่วง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2544. การเพาะเลี้ยงหอย. กรุงเทพฯ: ไร่เขียว.

คณิต ม่วงนิล. 2547. EM คืออะไร. ว.สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์ 3, 3: 4-45.

จักรกริช วิชัยกิตติ. 2550. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของการลงทุนเลี้ยงหอยแมลงภู๋ แบบแพในอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา.

จารุวรรณ มณีศรี. 2551. เทคโนโลยีอาหารหมัก. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

จรรยา ลีไตรรงค์. 2531. การนำ *Chlorella* sp. K<sub>3</sub> ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหลือเพื่อเป็น อาหารของ *Moina macrocopa* Straus. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธรรมบุญ อักโขพันธ์. 2546. การวิจัยและพัฒนาการวิธีการผลิตปุ๋ยชีวภาพจากเปลือกหอยแมลงภู๋. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนา, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

นภดล สุกระกาญจน์. 2549. คู่มือปฏิบัติการโรคสัตว์น้ำ (Fish Diseases Laboratory Manual). ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

นันทกร บุญเกิด. 2544. เอกสารประกอบการบรรยายในโครงการอบรมผู้ค้าปุ๋ยปี 2544. สมาคมการค้าปุ๋ย และธุรกิจเกษตรฯ ไทยร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร.

พิณชอ กรมรัตน์พร. ม.ป.ป. การทำน้ำหมักชีวภาพและสมุนไพร. สถานีฟาร์มฝึกนักศึกษา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- ไพลิน วาณิชผล. 2542. การเพาะพันธุ์และอนุบาลหอยแมลงภู่ *Perna viridis* (Lin.).  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภควรรณ ปานช้อยงาม. 2552. ประสิทธิภาพของโคโคซานบีดจากเปลือกสัตว์ทะเลในการดูดซับ  
กลิ่นแอมโมเนีย และฟอร์มาลดีไฮด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มยุรี จัยวัฒน์. 2540. การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าหอยแมลงภู่. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ขงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ราชนนทร์ วิสุทธีแพทย์ และศิริธรรม สิงห์โต. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์ - ปุ๋ยชีวภาพ ทางเลือกใหม่เพื่อ  
การเกษตร. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี.
- รุจิพร ประทีปแสน. 2538. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. ศูนย์เครื่องมือวิจัย  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 5 (1): 49-55.
- รัช รุจิรวรรณ. 2554. เทคโนโลยี EM. เกษตรกรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2, 11: 18-23 หน้า.
- รัตนา รุจิรวนิช. 2544. การผลิตไคตินโคโคซาน, น. 1 - 10, ใน การประชุมเชิงปฏิบัติการไคติน  
และโคโคซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
กรุงเทพฯ.
- ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรียา ตันติวิวัฒน์. 2549. สรีรวิทยาของ  
พืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2540. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.

วันทนา อยู่สุข. 2541. หอยทะเล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทิมพ์พร กุชยกานนท์, อัญชลี ตัดตะวะศาสตร์ และวีระพงษ์ ตูไลตานนท์. 2527. แบททีเรียวิทยา.  
คณะแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศานิต แก้วเอี่ยม. 2532. ผลตอบแทนจากการเลี้ยงหอยแมลงภู. วารสารการประมง, 42.

ศุภวันจักรี พลมีศักดิ์ และสมชัย จันทร์สว่าง. 2546. ผลการใช้จุลินทรีย์ผสม และโอลิโกแซคคา  
ไรด์ จากพืชเจริญชาเลมอาร์ติโซค ในอาหารสุกรรุ่น - ขุนเพื่อลดกลิ่นเหม็น และแอมโมเนีย  
ของมูลสุกร. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมใจ ศิริโชค. 2537. เทคโนโลยีการหมัก. Bangkok software technology House. กรุงเทพฯ.

สถานีวิจัยประมงศรีราชา. 2543. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ เรื่อง การเลี้ยงและการแปรรูป  
หอยแมลงภูแบบครบวงจร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ชลบุรี.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2528. พืชเลียบปล้นของไนโตรเจน และแอมโมเนียต่อลูกสัตว์น้ำชายฝั่งวัยอ่อนบาง  
ชนิด. ใน รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2528. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง  
จังหวัดสงขลา, กรมประมง.

สุพรรณฉกร์ สมใจเพ็ง. 2544. การผลิตแบคทีเรียกรดแลคติกเพื่อใช้ในการหมักไข่แดง.  
สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2530. แหล่งที่มา:

[http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae\\_web/index\\_answer.php?wcad=1&wtid=8316&t=&filename=webboard](http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_web/index_answer.php?wcad=1&wtid=8316&t=&filename=webboard), 10 มิถุนายน 2555.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การกำจัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมและ  
ชุมชน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2542. **หลักการวางแผนการทดลอง**. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อานุกาภ แก้วทอง. 2541. **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วย  
วิธีการแบบมีการระบายอากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุษา ธีประเสริฐ. 2530. **พืชนิยบพลันของแอมโมเนียและไนโตรที่ต่ออาร์ทีเมียที่ระดับความเค็ม  
ต่างกัน**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, บางแสน.

อัชฌา ปานแก้ว. 2547. **ปัญหาพิเศษ เรื่อง การศึกษาการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงานนมด้วยโคโคซาน  
จากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abbott, R.T. and S.P. Dance. 1991. **Compendium of Seashells**. American Malacologists  
Inc., Florida.

Abeliovich, A. 1980. **Factors Limiting Algal Growth in High - Rate Oxidation Ponds**.  
Algae Biomass. 205-215.

Anna Halasz. 2008. Lactic Acid Bacteria. Food Quality and Standards. **Encyclopedia of  
Life Support Systems (EOLSS)** (3).

Association of Official Analytical Chemists. 2006. **Official methods of analysis of AOAC  
International**. 18<sup>th</sup> ed., Gaithersburg, Md.

Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive method for the quantitation of microgram  
quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72:  
248-254.

- Becker, E.W. and L.V. Venkatanaman. 1982. **Biotechnology and Exploitation of Algae – The Indian Approach**. German Agency for Technical Cooperation (GTZ), Eschborn.
- Borja, R., A. Martín., C.J. Banks., V. Alonso and A. Chica. 1995. A kinetic study of anaerobic digestion of olive mill wastewater at mesophilic and thermophilic temperatures. **Environmental Pollution** 88: 13–18.
- Chang, H.L., D.K. Lee., M. Aslam and P.J. Kim. 2008. Effect of oyster shell on soil chemical and biological properties and cabbage productivity as a liming materials. **Waste Management** 28: 2702–2708.
- Chen, W., S. Sung and S. Chen. 2009. Biological hydrogen production in an anaerobic sequencing batch reactor: pH and cyclic duration effects. **International Journal of Hydrogen Energy** 34: 227–234.
- Cohen, A., R.J. Zoetemeyer., A. Deursen and J.G. Andel. 1979. Anaerobic digestion of glucose with separated acid production and methane formation. **Water Research** 13 (7): 571–580.
- Dumalagan, HG., A.C. Gonzales. and A.V. Hallare. 2010. Trace metal content in mussels, *Perna viridis* L., obtained from selected seafood markets in a Metropolitan City. **Bull Environ Contam Toxicol** 84 (4): 492–496.
- Engr, Y.L.F.M. 2009. **The Potential of Calcium Carbonate from Phillipine Green Mussel Shells as Extender in The Manufacture of Flat Latex Paints**. Chemical Engineering Depart.

- Fang, J.K.H., R.S. Wu., C.K. Yip and P.K. Shin. 2009. Power analysis for biomarkers in mussels for use in coastal pollution monitoring. **Marine Pollution Bulletin** 58 ( 8 ): 1152–1158.
- Gau, A.C. 1980. **Fundamentals of composting**. Compost Technological. Project Field Document.
- Gotaas, H.B. 1976. **Composting**. Department of Engineering University of California, Berkley.
- Gray, N.F. 1989. **Biological of Wastewater Treatment**. Oxford Press, Newyork.
- Haug, R.T. 1980. **Composting Engineering : Principle and Practice**. Technomic Public. Co. Inc. Lancaster, Pensylvania.
- Hosakul, K. 1972. **The Selection and Growth Characteristics of Some Local Microalgae Tolerating High Temperature**. Master of Science in Microbiology, Kasetsart University.
- Hyok - Bo K., L. Chan - Won., J. Byung - Sei., Y. Jon - do., W. Seung - Yeon and K. Ben. 2004. Recycling waste oyster shells for eutrophication control. **Resources Conservation and Racycling** 41: 75–82.
- JICA. 1982. **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand Draft Final Report**. Bangkok, Thailand.
- Kalantzopoulos, G. 1997. Fermented product with probiotic qualities. **Anaerobe** 3: 185-190.

- Kumar, H.D. and Singh, H.N. 1971. **A Textbook on Algae**. Affiliated East - West Press PVT. Ltd., New Delhi, India.
- Loehr, R.C. and J.A. Ruf. 1986. Anaerobic Lagoon Treatment of Milking Parlor Waste. **Journal of Water Pollution Control Federation** 40: 83.
- Malis - Arad, S. and R.E. McGowan, 1982. Alkalinity – Induced Aggregation in *Chlorella vulgaris* II. Changes in the Cell Wall During the Cell Cycle. **Plant and Cell Physiol** 23 (1): 11-17.
- Manfred, L., T. Gehring and M. Wichern. 2010. Microbiological fermentation of lignocellulosic biomass : current state and prospects of mathematical. **Apply Microbiol Biotechnol** 85: 1643–1652.
- Marin, F and G. Luquet. 2004. Molluscan shell protein. **Comptes Rendus Pale** 3: 469–492.
- McCarty, P.L. 1964. **Anaerobic Waste Treatment Fundamental**. Public Work, Texas.
- Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater Engineering**. Treatment, Disposal and Reuse McGraw - Hill Inc., New York.
- Michele, R.R.H., S.B. Palova and B. Daniela. 2012. Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene. **Materials Research** 15 (2): 204-208.
- Mustakimah, M., Y. Suzana and M. Saikat. 2012. Decomposition Study of Calcium Carbonate in Cockle Shell. **Jounal of Engineering Science and Technology** 7 (1): 1-10.

- Niko, R., V. Stankov - Jovanovic., G. Stojanovic., A. Smelcerovic., M. Spitteller and Y. Asakawa. 2007. Screening of *in vitro* antimicrobial and antioxidant activity of nine *Hypericum* Species from the Balkans. **Food Chemistry** 103: 15–21.
- Nwachukwu, E., O.K. Achi and I.O. Ileoma. 2010. Lactic acid bacteria in fermentation of cereals for the production of indigenous Nigeria foods. **African Journal of Food Science and Technology** 12: 021–026.
- Ok nation. net. 2008. บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ. แหล่งที่มา: <http://www.maejonaturalfarming.org>, 10 มิถุนายน 2555.
- Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling and Management**. John Wiley and sons, West Sussex, England.
- Rajka, B., S. Lovkovic and I. Jelcic. 2011. Optimising Fermentation of Soymilk with Probiotic Bacteria. **Czech J. Food Sci** 29 (1): 51–56.
- Ram, K. P. and J. Pranay. 2010. Change in Microflora of Sauerkraut during Fermentation and Storage. **World Journal of Daily & Food Science** 5 (2): 22-225.
- Richmond, A. 1986. **Handbook of Microalgal Mass Culture**. CRC Press, Inc., Boca Raton Florida.
- Rick, G. 2001. **Freshwater mussel (outer shell)**. แหล่งที่มา: <http://biowed.uwlax.edu/zoolab>, 20 มกราคม 2551.
- Rueangsri, W., J. Salaenoi and K. Boonprab. 2011. The calcium value - added of mussel shell produced by microbiological process. *In The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries*: 55-56.

- Siegele, R., I. Orlic., D.D. Cohen., S.T. Markich and R.A. Jeffree. 2001. Manganese profiles in freshwater mussel shells. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B** 181: 59–597.
- Stuetzenderger, F.J., A.J. Kaufman and R.D. Lossin. 1970. Cellulolytic activity in municipal solid waste composting. **Canadian Journal of Microbiology** 16: 553-560.
- Taboada, J., S. Pereira - Crespo and M.J. Bande - Castro. 2010. Use of Limestone from Mussel Shells in Acid Soild of Galicia (NW Spain). **Treatment and use of non convention organic residues in agriculture.**
- Teresa, T. 1999. **Introduction to Bacteria.** Department of biology, University of Missouri St. Louis.
- Tsukamoto, K., T. Kawamura., T. Takeuchi., T. D. Beard., Jr and M. J. Kaiser. 2008. Biotechnology of Marine Invertebrates Recent Advances in Shrimp and Shellfish. **In Fisheries for Global Welfare and Environment, 5<sup>th</sup> World Fisheries Congress:** 221-239.
- Tukmechi, A., R. Hobbenaghi., H. Rahmati Holasoo and A. Morvaridi. 2009. Streptococosis in a Pet Fish, *Austronotus Ocellatus* : A Case Study. **International Journal of Biological and Life Science** 5: 1.
- Yang, M. C., J. H. Whang., J. M. Kim and H. J. Suh. 2006. The effect of oyster shell powder on the extension of the shelf-life of Kimchi. **Food Control** 17: 69–699.

Yoon G.L., B.T. Kim., B.O. Kim and S.H. Han. 2003. Chemical – mechanical characteristics of crushed oyster - shell. **Waste Management** 23: 825–834.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford และกราฟมาตรฐาน

## การหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford (ดัดแปลงจากวิธีการของ Bradford, 1976)

การเตรียม Bradford reagent

สารเคมี

- |                                                           |         |
|-----------------------------------------------------------|---------|
| 1. Coomassie Brilliant Blue G - 250                       | 100 มก. |
| 2. 95 % Ethanol                                           | 50 มก.  |
| 3. 85% w/v H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Phosphoric acid | 100 มก. |

วิธีเตรียม

ละลายสารทั้ง 3 อย่างให้เข้ากัน และปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1

วิธีการวิเคราะห์

- ใช้สารละลายโปรตีน 0.3 มล. ผสมกับสารละลาย Bradford 3 มล. วางทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm โดยใช้ น้ำกลั่นผสมสารละลาย Bradford เป็น Blank
- คำนวณค่าโปรตีน โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน BSA

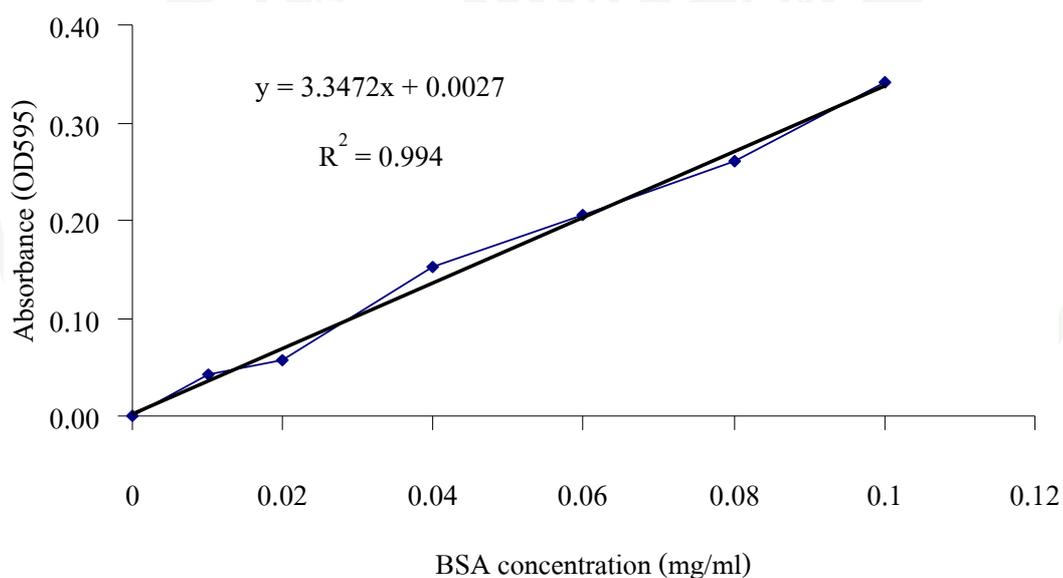
## การเตรียมกราฟมาตรฐาน Bovine Serum Albumin (BSA)

สารเคมี

1. BSA 0.1 มก.ต่อมล.
2. Bradford reagent

วิธีเตรียม

เจือจาง Stock BSA จากความเข้มข้น 0.1 มก.ต่อมล. ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.1 มก.ต่อมล. ตามลำดับ จากนั้น นำ BSA แต่ละความเข้มข้นมา 0.3 มล. ผสมกับ Bradford reagent 3 มล. วางทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที แล้ววัดค่าความเข้มสีที่มีความยาวคลื่น 595 nm



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณโปรตีน





ภาพผนวกที่ ข1 ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 1 - 3



ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 4



ภาพผนวกที่ ข3 ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 5



ภาพผนวกที่ ข4 ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 6



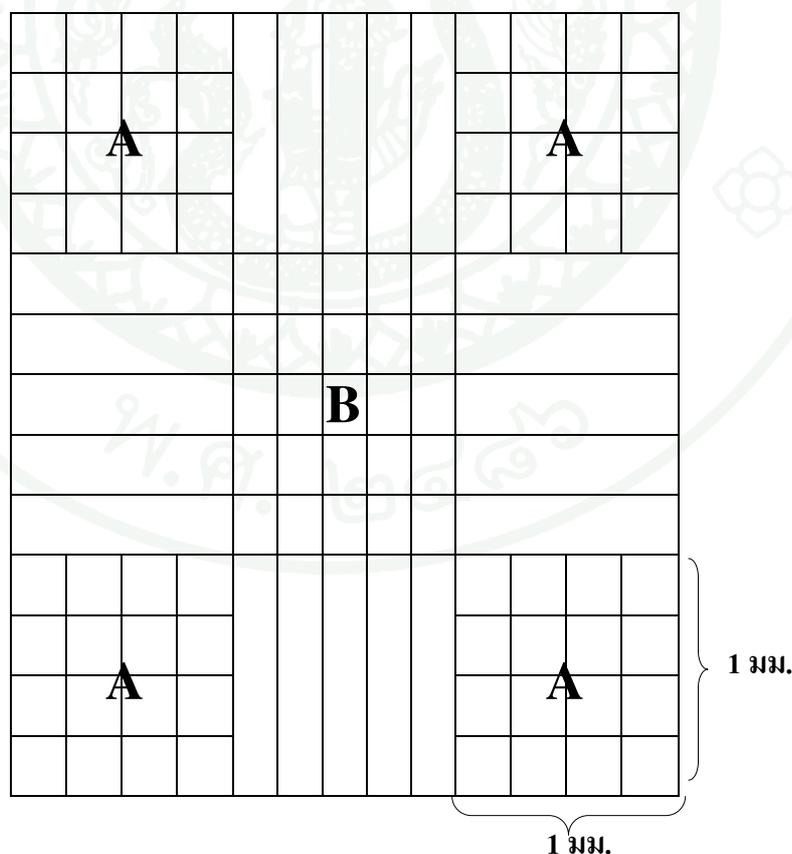
ภาพผนวกที่ ข5 ลักษณะต้นถั่วเขียววันที่ 7



**ภาคผนวก ค**  
การหาความหนาแน่นของเซลล์แบคทีเรียด้วย Haemocytometer

### 1. การเตรียมตัวอย่างบน Haemocytometer และการนับเซลล์แพลงก์ตอน (ลัดดา, 2543)

ทำความสะอาดและเช็ด Haemocytometer โดยให้แห้งแล้ววางกระจกปิดสไลด์ ลงบนด้านบน ให้เซลล์มีการกระจายตัวโดยเขย่าหลอดตัวอย่าง และใช้หลอดหยดดูดตัวอย่างจากขวดเก็บตัวอย่างแล้วหยดในช่องใส่ตัวอย่างให้ตัวอย่างน้ำกระจายไปทั่วทั้งช่องสำหรับการนับ นำไปนับผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 X จะเห็นตารางสำหรับการนับ (ภาพผนวกที่ 7) ซึ่งมีตาราง 2 แบบ คือ ตาราง A และ ตาราง B โดยตาราง A จะใช้สำหรับนับตัวอย่างที่มีความหนาแน่นไม่เกิน 100 เซลล์ต่อ 1 ตาราง มีช่องเล็กทั้งหมด 16 ช่อง วิธีการนับจะนับตัวอย่างจากตาราง A ทั้ง 4 มุมรวมกัน หากเซลล์แพลงก์ตอนมีความหนาแน่นมากกว่า 100 เซลล์ต่อ 1 ตาราง A ให้นับตัวอย่างจากตาราง B ซึ่งมีช่องเล็กทั้งหมด 25 ช่อง โดยวิธีการนับให้นับเซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในช่องเล็กของตาราง B ที่มุมทั้ง 4 ของตาราง B และช่องกลางในตาราง B รวมทั้งรวมทั้งหมด 5 ช่อง โดยตารางสำหรับการนับเซลล์ตัวอย่างใน Haemocytometer จะมี 2 ตารางเพื่อให้นับจำนวนเซลล์แพลงก์ตอนได้ 2 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นในหน่วย เซลล์/มล.



ภาพผนวกที่ ๑1 ตารางสำหรับการนับความหนาแน่นของ Haemocytometer

## 2. การคำนวณหาความหนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอน

ตาราง A และตาราง B จาก Haemocytometer มีขนาดกว้าง × ยาวด้านละ 1 mm เมื่อปิดด้วยกระจกปิดสไลด์และหยดตัวอย่างแล้วจะมีระยะห่างระหว่างกระจก และ Haemocytometer ลึก 0.1 มม. ดังนั้นปริมาตรน้ำตัวอย่างในตาราง A และตาราง B จึงมีค่าเท่ากับ ปริมาตรของ Hemacytometer counting chamber = ความกว้าง x ความยาว x ความลึก (ภายในตารางสี่เหลี่ยม 1 ตาราง) (ลัดดา, 2543)

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ มม.} \times 1 \text{ มม.} \times 0.1 \text{ มม.} \\ &= 0.1 \text{ มม.}^3 \text{ หรือ } 1/10 \text{ มม.}^3 \\ &= 0.0001 \text{ ซม.}^3 \text{ หรือ } 1/10^4 \text{ ซม.}^3 \\ &= 1/10^4 \text{ มล.} \end{aligned}$$

เมื่อนับตัวอย่างจากตาราง A ทั้งหมด 4 ช่องจึงคำนวณความหนาแน่นได้จากสมการ

$$n = (A/4) \times 10^4$$

เมื่อ  $n$  = ความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (เซลล์/มล.)

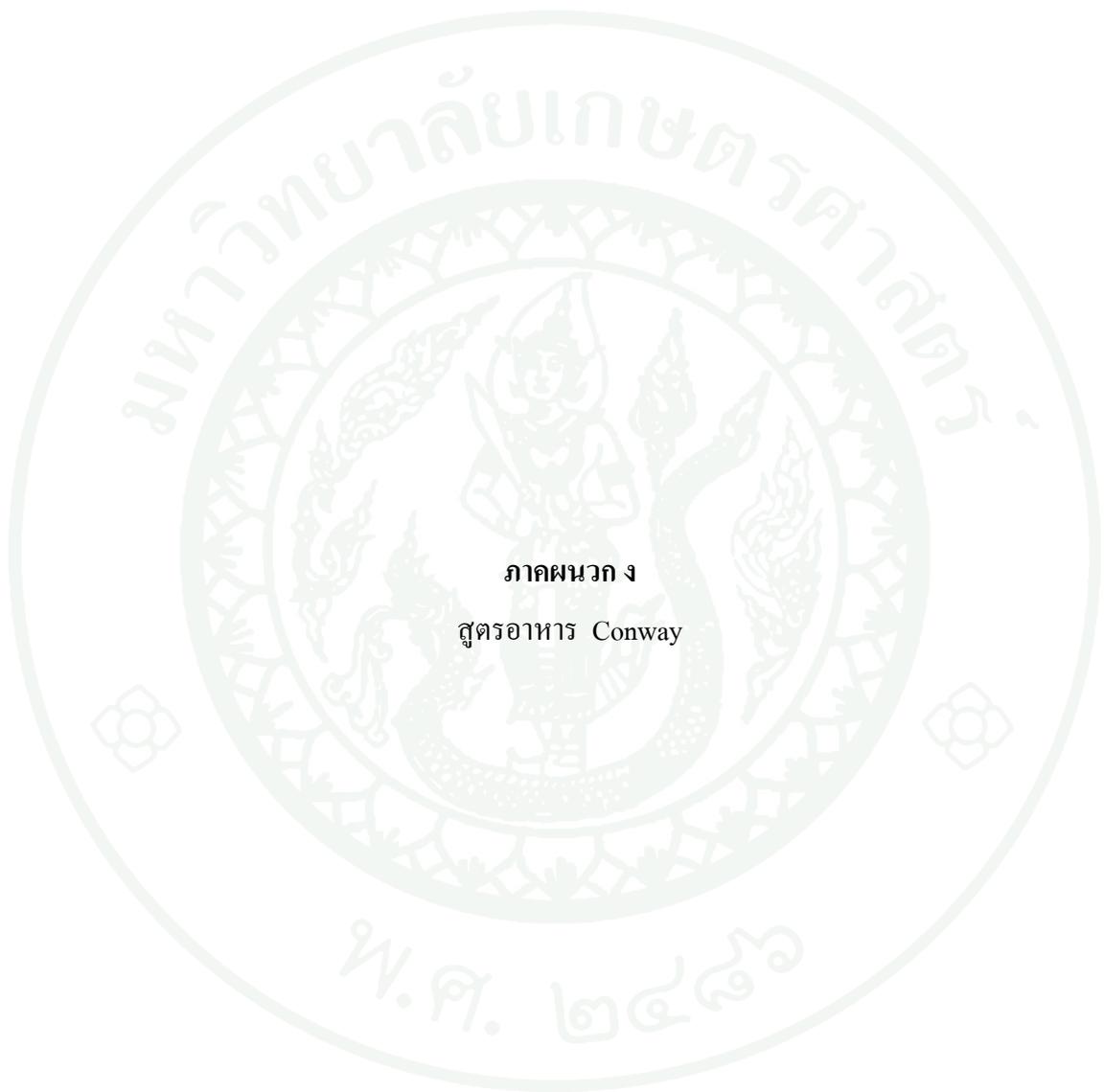
$A$  = จำนวนเซลล์แพลงก์ตอนที่นับได้จากตาราง A ทั้งหมด 4 ช่อง

เมื่อนับตัวอย่างจากช่องเล็กในตาราง B ทั้งหมด 5 ช่อง จึงคำนวณความหนาแน่นได้จากสมการ

$$n = (B/5) \times 25 \times 10^4$$

เมื่อ  $n$  = ความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (cells/ml)

$B$  = จำนวนเซลล์แพลงก์ตอนที่นับได้จากช่องเล็กในตาราง B ทั้งหมด 5 ช่อง



ภาคผนวก  
สูตรอาหาร Conway

### สูตรอาหาร (Conway Medium or Walne Medium) (ลัดดา, 2540)

สารละลายแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

#### ก. สารละลายส่วนที่ 1

โซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ )	100.0 กรัม
เกลือไดโซเดียมเอ็ดทีเอ ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )	45.0 กรัม
กรดบอริก ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	33.6 กรัม
โมโนโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 2 - ไฮเดรต ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	20.0 กรัม
เฟอร์ริกคลอไรด์ 6 - ไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	1.3 กรัม
แมงกานีสคลอไรด์ 4 - ไฮเดรต ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	0.4 กรัม
ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 1,000 มล.	

#### ข. สารละลายส่วนที่ 2

วิตามินบี 1 (Thimine)	1 มก.
วิตามินบี 12 (Cyannocobalamine)	200 มก.
ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 1,000 มล.	

#### ค. สารละลายส่วนที่ 3

ซิงค์คลอไรด์ ( $\text{ZnCl}_2$ )	2.1 กรัม
โคบอลท์คลอไรด์ 6 - ไฮเดรต ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	2.0 กรัม
แอมโมเนียโมลิบเดท 4 - ไฮเดรต [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]	0.9 กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟต 5 - ไฮเดรต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	2.0 กรัม
ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 1,000 มล.	

กรณีที่สารละลายที่เตรียมได้มีตะกอนให้เติมกรดเกลือ (HCl) ลงไปเล็กน้อย หรือ  
จนกว่าตะกอนจะละลายหมด

#### ง. สารละลายส่วนที่ 4

โซเดียมเมตาซิลิเกต 9 - ไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )	15 กรัม
ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 1,000 มล.	

### วิธีเตรียมอาหาร

นำสารละลายส่วนที่ 1, 2, 3 และ 4 มา 1 มล. เติมลงในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอน ปริมาตร 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยให้อยู่ในช่วง 6.5 – 6.8 โดยใช้ 10 % กรดไฮโดรคลอริก

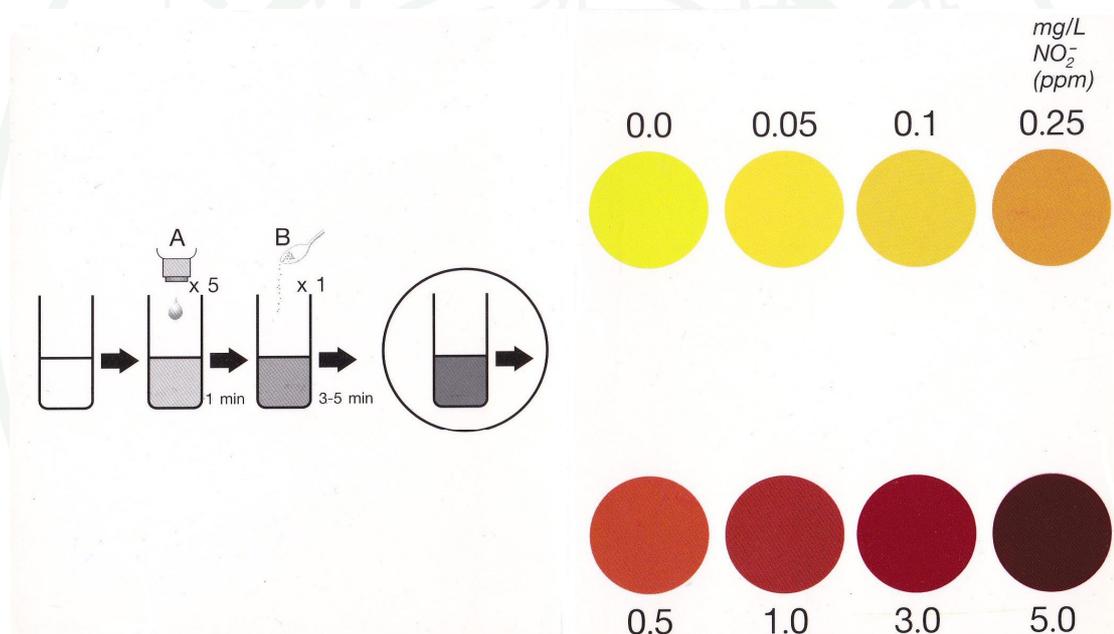


ภาคผนวก จ  
วิธีการใช้ Test Kit

### Nitrite $\text{NO}_2^-$ (0.05 – 5.0 ppm)

- วิธีใช้ :
1. ล้างภาชนะตัวอย่างด้วยน้ำที่จะตรวจสอบหลายๆ ครั้ง แล้วตวงตัวอย่างมา 5 มล.
  2. หยด Solution A 5 หยด เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 1 นาที
  3. เติมผง Powder B 1 ช้อน โดยใช้ช้อนที่จัดไว้ให้ เขย่าให้ละลาย
  4. เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับสีมาตรฐาน หลังจากทิ้งไว้ 3–5 นาที
  5. ล้างภาชนะด้วยน้ำสะอาดก่อนทิ้งไว้ให้แห้ง และเก็บเข้ากล่องทดสอบ

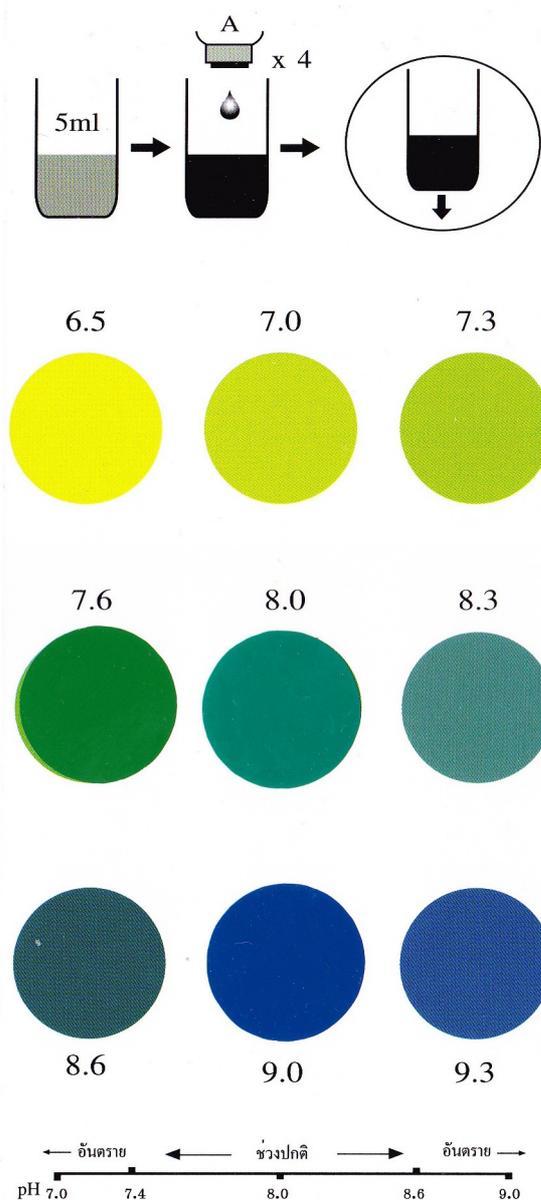
หมายเหตุ : เก็บชุดทดสอบไม่ให้ถูกแสงแดด ความร้อน และเก็บให้พ้นมือเด็ก



ภาพผนวกที่ ๑1 สีมาตรฐานของไนไตรท์

## ค่าความเป็นกรด - ด่าง (6.5 - 9.3)

- วิธีใช้ :
1. ล้างหลอดทดสอบด้วยน้ำตัวอย่างแล้วเติมตัวอย่างจนถึงขีด 5 มล.
  2. หยดน้ำยาจากขวด Solution A 4 หยด แล้วเขย่าให้ผสมกัน
  3. เปรียบเทียบสีในหลอดกับแผ่นสีมาตรฐานเพื่ออ่านค่าความเป็นกรด - ด่าง



ภาพผนวกที่ ๑2 สีมาตรฐานของค่าความเป็นกรด - ด่าง

### Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

- วิธีใช้ :
1. ล้างหลอดใส่น้ำตัวอย่างด้วยน้ำที่สะอาด และเติมจนถึงขีด 5 มล.
  2. เติม Solution A 5 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 นาที
  3. เติม Powder B 1 ช้อน (โดยตักให้เต็มช้อนแล้วปาดกับคอขวด) แล้วเขย่าให้ละลาย
  4. เติม Solution C 5 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5–10 นาที แล้วเปรียบเทียบกับแผ่นสีมาตรฐานความเข้มข้นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4^+$ ) คิดเป็นหน่วย ppm.

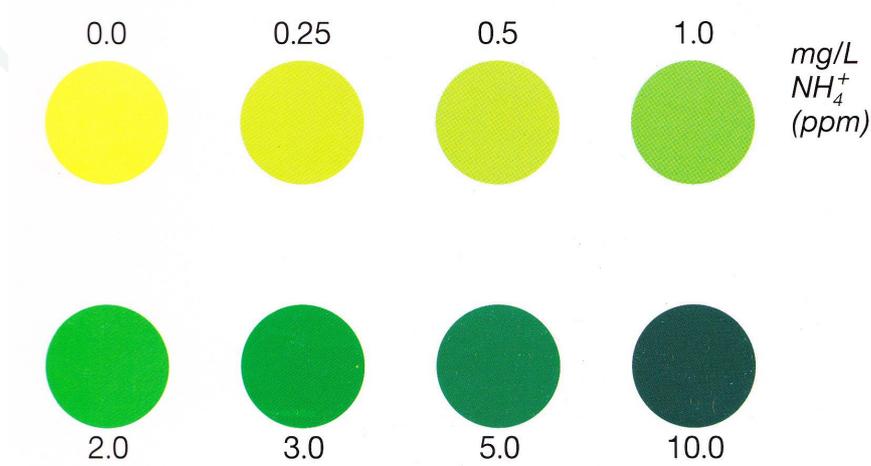
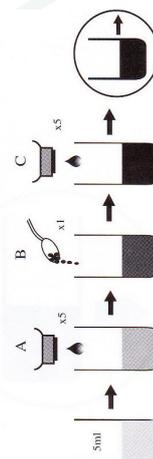
ตารางผนวกที่ จ1 แสดงระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ ( $\text{NH}_3$ ) : ppm ที่ค่าความเป็นกรด - ค่าต่าง ๆ กัน

ค่าแอมโมเนียมจากการเทียบสี (Total Ammonium : ppm)	ค่าพีเอช (pH) ที่ 28°C						
	7.0	7.6	8.0	8.3	8.6	9.0	9.3
0.25	0.00	0.00	0.02	0.04	0.06	0.10	0.14
0.5	0.00	0.01	0.03	0.07	0.11	0.21	0.29
1.0	0.00	0.01	0.06	0.13	0.21	0.41	0.57
2.0	0.01	0.06	0.13	0.25	0.44	0.82	1.14
3.0	0.02	0.09	0.21	0.39	0.64	1.24	1.71
5.0	0.03	0.15	0.33	0.65	1.09	2.06	2.85
10.0	0.07	0.30	0.66	1.30	2.18	4.12	5.70

□ ปลอดภัย

▒ อันตราย  
ริบแก้ไข

■ อันตรายมาก



ภาพผนวกที่ จ3 สีมาตรฐานของแอมโมเนีย



**ภาคผนวก จ**

ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

**ตารางผนวกที่ ๑1** ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	3	5.8567	.01528	.00882	5.8187	5.8946	5.84	5.87
2	3	4.5367	.01155	.00667	4.5080	4.5654	4.53	4.55
3	3	4.4400	.01000	.00577	4.4152	4.4648	4.43	4.45
4	3	4.2300	.02000	.01155	4.1803	4.2797	4.21	4.25
5	3	3.9633	.01528	.00882	3.9254	4.0013	3.95	3.98
6	3	3.6833	.00577	.00333	3.6690	3.6977	3.68	3.69
7	3	3.9867	.01155	.00667	3.9580	4.0154	3.98	4.00
Total	21	4.3852	.67589	.14749	4.0776	4.6929	3.68	5.87

**ตารางผนวกที่ ๑2** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.134	6	1.522	8412.886	.000
Within Groups	.003	14	.000		
Total	9.137	20			

ตารางผนวกที่ ๓3 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	6	3	3.6833						
	5	3		3.9633					
	7	3		3.9867					
	4	3			4.2300				
	3	3				4.4400			
	2	3					4.5367		
	1	3							5.8567
	Sig.		1.000	.052	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**ตารางผนวกที่ ๑๔** ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	3	5.8700	.01000	.00577	5.8452	5.8948	5.86	5.88
2	3	4.4700	.01732	.01000	4.4270	4.5130	4.45	4.48
3	3	3.2400	.01000	.00577	3.2152	3.2648	3.23	3.25
4	3	3.3400	.01000	.00577	3.3152	3.3648	3.33	3.35
5	3	3.8733	.00577	.00333	3.8590	3.8877	3.87	3.88
6	3	3.9533	.00577	.00333	3.9390	3.9677	3.95	3.96
7	3	3.9467	.00577	.00333	3.9323	3.9610	3.94	3.95
Total	21	4.0990	.83820	.18291	3.7175	4.4806	3.23	5.88

**ตารางผนวกที่ ๑๕** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.050	6	2.342	23416.968	.000
Within Groups	.001	14	.000		
Total	14.052	20			

ตารางผนวกที่ ๖6 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	3	3	3.2400						
	4	3		3.3400					
	5	3			3.8733				
	7	3				3.9467			
	6	3				3.9533			
	2	3					4.4700		
	1	3							5.8700
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.428	1.000	1.000	

**ตารางผนวกที่ ๗** ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	3	5.8633	.01528	.00882	5.8254	5.9013	5.85	5.88
2	3	4.8533	.03055	.01764	4.7774	4.9292	4.82	4.88
3	3	4.4433	.00577	.00333	4.4290	4.4577	4.44	4.45
4	3	4.2367	.01155	.00667	4.2080	4.2654	4.23	4.25
5	3	3.9700	.01000	.00577	3.9452	3.9948	3.96	3.98
6	3	3.6667	.01528	.00882	3.6287	3.7046	3.65	3.68
7	3	3.9767	.00577	.00333	3.9623	3.9910	3.97	3.98
Total	21	4.4300	.70059	.15288	4.1111	4.7489	3.65	5.88
1	3	5.8633	.01528	.00882	5.8254	5.9013	5.85	5.88

**ตารางผนวกที่ ๘** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด- ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.813	6	1.635	6734.412	.000
Within Groups	.003	14	.000		
Total	9.816	20			

ตารางผนวกที่ ๑๑ เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	6	3	3.6667						
	5	3		3.9700					
	7	3		3.9767					
	4	3			4.2367				
	3	3				4.4433			
	2	3					4.8533		
	1	3							5.8633
	Sig.		1.000	.609	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ๑10 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	5.8633	.01528	.00882	5.8254	5.9013	5.85	5.88
2	3	4.7200	.02646	.01528	4.6543	4.7857	4.70	4.75
3	3	4.3067	.00577	.00333	4.2923	4.3210	4.30	4.31
4	3	4.4133	.00577	.00333	4.3990	4.4277	4.41	4.42
5	3	4.5200	.00000	.00000	4.5200	4.5200	4.52	4.52
6	3	4.6433	.01155	.00667	4.6146	4.6720	4.63	4.65
7	3	4.6433	.00577	.00333	4.6290	4.6577	4.64	4.65
Total	21	4.7300	.49355	.10770	4.5053	4.9547	4.30	5.88
1	3	5.8633	.01528	.00882	5.8254	5.9013	5.85	5.88

ตารางผนวกที่ ๑11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด- ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.869	6	.812	4869.467	.000
Within Groups	.002	14	.000		
Total	4.872	20			

ตารางผนวกที่ ๑12 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	3	3	4.3067						
	4	3		4.4133					
	5	3			4.5200				
	6	3				4.6433			
	7	3				4.6433			
	2	3					4.7200		
	1	3							5.8633
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**ตารางผนวกที่ ๑13** ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	5.8700	.01000	.00577	5.8452	5.8948	5.86	5.88
2	3	4.2733	.01155	.00667	4.2446	4.3020	4.26	4.28
3	3	3.2467	.01528	.00882	3.2087	3.2846	3.23	3.26
4	3	3.3500	.01000	.00577	3.3252	3.3748	3.34	3.36
5	3	3.8600	.01000	.00577	3.8352	3.8848	3.85	3.87
6	3	3.9633	.00577	.00333	3.9490	3.9777	3.96	3.97
7	3	3.9567	.01155	.00667	3.9280	3.9854	3.95	3.97
Total	21	4.0743	.82581	.18021	3.6984	4.4502	3.23	5.88

**ตารางผนวกที่ ๑14** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.133	6	1.522	9132.533	.000
Within Groups	.002	14	.000		
Total	9.135	20			

ตารางผนวกที่ ๑15 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	3	3	3.2467						
	4	3		3.3500					
	5	3			3.8600				
	7	3				3.9567			
	6	3				3.9633			
	2	3					4.2733		
	1	3							5.8700
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.467	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ๑16 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
				1	3			5.8700
2	3	4.2733	.01155	.00667	4.2446	4.3020	4.26	4.28
3	3	3.2467	.01528	.00882	3.2087	3.2846	3.23	3.26
4	3	3.3500	.01000	.00577	3.3252	3.3748	3.34	3.36
5	3	3.8600	.01000	.00577	3.8352	3.8848	3.85	3.87
6	3	3.9633	.00577	.00333	3.9490	3.9777	3.96	3.97
7	3	3.9567	.01155	.00667	3.9280	3.9854	3.95	3.97
Total	21	4.0743	.82581	.18021	3.6984	4.4502	3.23	5.88

ตารางผนวกที่ ๑17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.637	6	2.273	19092.427	.000
Within Groups	.002	14	.000		
Total	13.639	20			

ตารางผนวกที่ ๑18 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1-7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	3	3	3.2467						
	4	3		3.3500					
	5	3			3.8600				
	7	3				3.9567			
	6	3					3.9633		
	2	3						4.2733	
	1	3							5.8700
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.467	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ๑๑๑ ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	3	5.8700	.01732	.01000	5.8270	5.9130	5.85	5.88
2	3	4.3433	.01528	.00882	4.3054	4.3813	4.33	4.36
3	3	4.2967	.00577	.00333	4.2823	4.3110	4.29	4.30
4	3	4.4267	.01155	.00667	4.3980	4.4554	4.42	4.44
5	3	4.5300	.01732	.01000	4.4870	4.5730	4.52	4.55
6	3	4.6467	.01528	.00882	4.6087	4.6846	4.63	4.66
7	3	4.6467	.01155	.00667	4.6180	4.6754	4.64	4.66
Total	21	4.6800	.51471	.11232	4.4457	4.9143	4.29	5.88

ตารางผนวกที่ ๑๑๒ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความเป็น  
กรด - ด่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.296	6	.883	4520.862	.000
Within Groups	.003	14	.000		
Total	5.299	20			

ตารางผนวกที่ ๑21 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 - 7

	Code	N	Subset for alpha = 0.05						
			1	2	3	4	5	6	
Duncan <sup>a</sup>	3	3	4.2967						
	2	3		4.3433					
	4	3			4.4267				
	5	3				4.5300			
	6	3					4.6467		
	7	3						4.6467	
	1	3							5.8700
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ๑๒๒ ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
				1	3			.531467
2	3	11.360100	.5272982	.3044358	10.050219	12.669981	10.7622	11.7587
3	3	22.853067	.3044358	.1757661	22.096806	23.609327	22.5209	23.1188
4	3	23.052367	.2301318	.1328667	22.480688	23.624046	22.9195	23.3181
5	3	25.909000	.3986000	.2301318	24.918823	26.899177	25.5104	26.3076
6	3	27.769133	.2301318	.1328667	27.197454	28.340812	27.5034	27.9020
7	3	26.374033	.5015607	.2895762	25.128088	27.619979	25.9090	26.9055
Total	21	19.692738	9.5417920	2.0821897	15.349366	24.036110	.3986	27.9020

ตารางผนวกที่ ๑๒๓ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1819.115	6	303.186	2357.245	.000
Within Groups	1.801	14	.129		
Total	1820.916	20			

ตารางผนวกที่ ๑๒๔ เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 1 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	
Duncan	1	3	.531467				
	2	3		11.360100			
	3	3			22.853067		
	4	3			23.052367		
	5	3				25.909000	
	7	3				26.374033	
	6	3					27.769133
Sig.			1.000	1.000	.507	.135	1.000

**ตารางผนวกที่ ๑25** ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	.664333	.1150659	.0664333	.378494	.950173	.5979	.7972
2	3	14.349600	.7185864	.4148760	12.564533	16.134667	13.5524	14.9475
3	3	29.562833	.5753295	.3321667	28.133636	30.992031	28.8985	29.8950
4	3	28.300600	.5272982	.3044358	26.990719	29.610481	27.9020	28.8985
5	3	27.104800	.1993000	.1150659	26.609711	27.599889	26.9055	27.3041
6	3	26.706200	.1993000	.1150659	26.211111	27.201289	26.5069	26.9055
7	3	25.643267	.2301318	.1328667	25.071588	26.214946	25.5104	25.9090
Total	21	21.761662	10.0441306	2.1918090	17.189628	26.333695	.5979	29.8950

**ตารางผนวกที่ ๑26** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2015.149	6	335.858	1849.649	.000
Within Groups	2.542	14	.182		
Total	2017.691	20			

ตารางผนวกที่ ๑๒๗ เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 2 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	
Duncan	1	3	.664333					
	2	3		14.349600				
	7	3			25.643267			
	6	3				26.706200		
	5	3					27.104800	
	4	3						28.300600
	3	3						
								29.562833
Sig.			1.000	1.000	1.000	.271	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ๑๒๘ ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower	Upper			
				Bound	Bound			
1	3	.597900	.1993000	.1150659	.102811	1.092989	.3986	.7972
2	3	7.440533	.2301318	.1328667	6.868854	8.012212	7.1748	7.5734
3	3	21.258667	.3044358	.1757661	20.502406	22.014927	20.9265	21.5244
4	3	22.454467	.2301318	.1328667	21.882788	23.026146	22.3216	22.7202
5	3	23.982433	.3044358	.1757661	23.226173	24.738694	23.7167	24.3146
6	3	25.045367	.4148760	.2395288	24.014757	26.075976	24.7132	25.5104
7	3	23.716700	.1993000	.1150659	23.221611	24.211789	23.5174	23.9160
Total	21	17.785152	9.1892008	2.0052480	13.602278	21.968026	.3986	25.5104

ตารางผนวกที่ ๑๒๙ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1687.743	6	281.290	3627.236	.000
Within Groups	1.086	14	.078		
Total	1688.828	20			

ตารางผนวกที่ ๓0 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 3 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6		
Duncan	1	3	.597900						
	2	3		7.440533					
	3	3			21.258667				
	4	3				22.454467			
	7	3					23.716700		
	5	3						23.982433	
	6	3							25.045367
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	.262	1.000	

ตารางผนวกที่ ๓31 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	.531467	.1150659	.0664333	.245627	.817306	.3986	.5979
2	3	8.769200	.3986000	.2301318	7.779023	9.759377	8.3706	9.1678
3	3	22.454467	.6088716	.3515322	20.941946	23.966987	21.9230	23.1188
4	3	21.856567	.1150659	.0664333	21.570727	22.142406	21.7237	21.9230
5	3	21.723700	.1993000	.1150659	21.228611	22.218789	21.5244	21.9230
6	3	21.524400	.3986000	.2301318	20.534223	22.514577	21.1258	21.9230
7	3	20.793633	.1150659	.0664333	20.507794	21.079473	20.7272	20.9265
Total	21	16.807633	8.2133204	1.7922935	13.068975	20.546292	.3986	23.1188

ตารางผนวกที่ ๓32 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1347.637	6	224.606	2047.379	.000
Within Groups	1.536	14	.110		
Total	1349.173	20			

ตารางผนวกที่ ๓3 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 4 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5		
Duncan	1	3	.531467					
	2	3		8.769200				
	7	3			20.793633			
	6	3				21.524400		
	5	3					21.723700	
	4	3					21.856567	
	3	3						22.454467
Sig.			1.000	1.000	1.000	.263	1.000	

ตารางผนวกที่ ๓34 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower	Upper			
				Bound	Bound			
1	.664333	.1150659	.0664333	.378494	.950173	.5979	.7972	
2	19.199233	.3044358	.1757661	18.442973	19.955494	18.9335	19.5314	
3	29.031367	.4148760	.2395288	28.000757	30.061976	28.6992	29.4964	
4	29.828567	.3044358	.1757661	29.072306	30.584827	29.4964	30.0943	
5	30.227167	.4148760	.2395288	29.196557	31.257776	29.8950	30.6922	
6	31.755133	.2301318	.1328667	31.183454	32.326812	31.4894	31.8880	
7	30.094300	.1993000	.1150659	29.599211	30.589389	29.8950	30.2936	
Total	21	24.400014	10.6928808	2.3333779	19.532673	29.267355	.5979	31.8880

ตารางผนวกที่ ๓35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2285.483	6	380.914	4195.562	.000
Within Groups	1.271	14	.091		
Total	2286.754	20			

ตารางผนวกที่ ๓36 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 5 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5		
Duncan	1	3	.664333					
	2	3		19.199233				
	3	3			29.031367			
	4	3				29.828567		
	7	3					30.094300	
	5	3					30.227167	
	6	3						31.755133
Sig.			1.000	1.000	1.000	.146	1.000	

ตารางผนวกที่ ๓37 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	.664333	.1150659	.0664333	.378494	.950173	.5979	.7972
2	3	20.860067	.5015607	.2895762	19.614121	22.106012	20.3286	21.3251
3	3	32.685200	.3451977	.1993000	31.827681	33.542719	32.4859	33.0838
4	3	31.489400	.3986000	.2301318	30.499223	32.479577	31.0908	31.8880
5	3	30.492900	.5979000	.3451977	29.007634	31.978166	29.8950	31.0908
6	3	29.496400	.3986000	.2301318	28.506223	30.486577	29.0978	29.8950
7	3	27.702700	.1993000	.1150659	27.207611	28.197789	27.5034	27.9020
Total	21	24.770143	10.7372850	2.3430677	19.882589	29.657696	.5979	33.0838

ตารางผนวกที่ ๓38 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2303.588	6	383.931	2445.570	.000
Within Groups	2.198	14	.157		
Total	2305.786	20			

ตารางผนวกที่ ๓๑9 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 6 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	
Duncan	1	3	.664333						
	2	3		20.860067					
	7	3			27.702700				
	6	3				29.496400			
	5	3					30.492900		
	4	3						31.489400	
	3	3							32.685200
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**ตารางผนวกที่ ๓40** ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม)  
ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
				Lower Bound	Upper Bound			
1	3	.531467	.1150659	.0664333	.245627	.817306	.3986	.5979
2	3	18.734200	.7185864	.4148760	16.949133	20.519267	17.9370	19.3321
3	3	28.499900	.5272982	.3044358	27.190019	29.809781	27.9020	28.8985
4	3	27.636267	.2301318	.1328667	27.064588	28.207946	27.5034	27.9020
5	3	26.772633	.1150659	.0664333	26.486794	27.058473	26.7062	26.9055
6	3	27.304100	.3451977	.1993000	26.446581	28.161619	26.9055	27.5034
7	3	25.643267	.2301318	.1328667	25.071588	26.214946	25.5104	25.9090
Total	21	22.160262	9.5677740	2.0878595	17.805063	26.515460	.3986	28.8985

**ตารางผนวกที่ ๓41** ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1828.754	6	304.792	2039.772	.000
Within Groups	2.092	14	.149		
Total	1830.846	20			

ตารางผนวกที่ ๑42 เปรียบเทียบ (Homogeneous Subsets) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย  
ของตัวอย่างที่ 7 (ขนาดตัวอย่าง 200 กรัม) ในสัปดาห์ที่ 1 – 7

Code	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	
Duncan	1	3	.531467					
	2	3		18.734200				
	7	3			25.643267			
	5	3				26.772633		
	6	3				27.304100	27.304100	
	4	3					27.636267	
	3	3						28.499900
Sig.			1.000	1.000	1.000	.114	.310	1.000

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	วุฒินันท์ เรืองศรี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 มกราคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก (พ.ศ. 2550)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ติดต่อ	โทรศัพท์ : 081 - 009 - 9312 Email ; tangetma_i@hotmail.com
การนำเสนอผลงาน	- Oral presentation in The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC 2011) between 26 - 29 July 2011 at Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima, Thailand  - Poster presentation in International Fisheries Symposium 2011 between 3 - 5 October 2011 at Faculty of Agrotechnology and Food Science, Universiti Malaysia Terengganu Terengganu, Malaysia  - Oral presentation in World Academy of Science, Engineering and Technology 2012 (WASET) between 12 - 13 September 2012 at River View Hotel , 382 Havelock Road, Singapore