

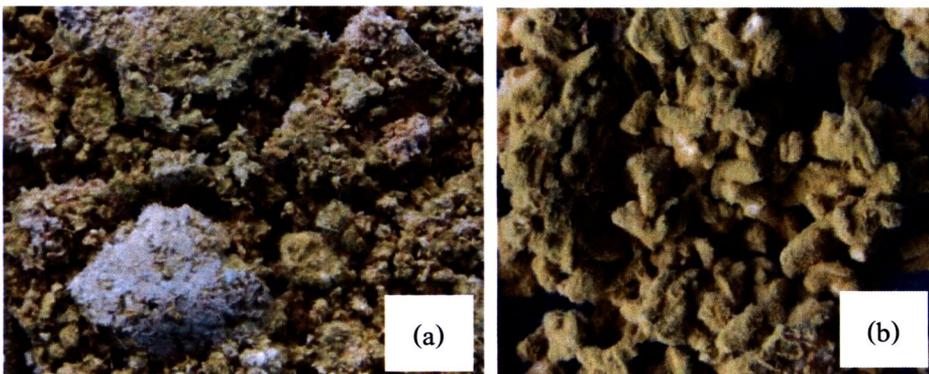
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### ตอน 1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยว

##### 1. ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตสปอร์ของ *A. oryzae* M-01

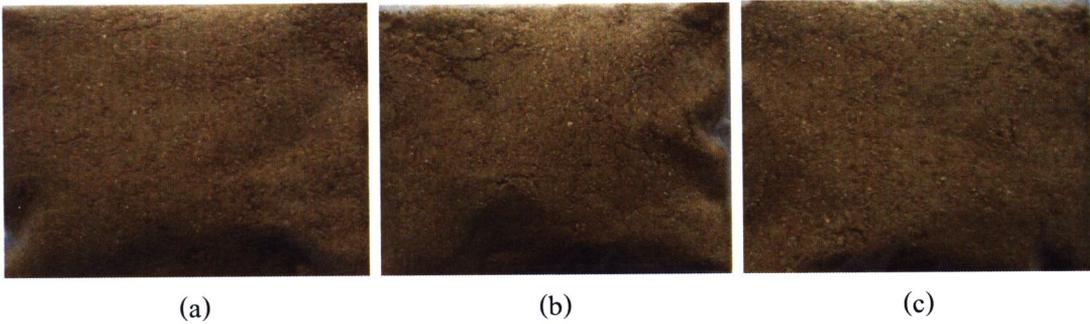
การเติมสปอร์ซีสเพนชันของรา *A. oryzae* M-01 ปริมาณ 0.5 l และ 1.5 มิลลิลิตร ลงบนรำข้าวเจ้าและข้าวเจ้า พบว่า ทั้งรำข้าวและข้าวเจ้ามีความชื้นสูง เมื่อปล่อยทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นการสร้างเส้นใยของราบนผิวของสับเสตรท (substrates) ได้ด้วยตาเปล่า เส้นใยจะแผ่กระจายเพิ่มขึ้น และราเริ่มมีการสร้างสปอร์สีเขี้ยวอ่อนอมเหลืองเป็นบางบริเวณ ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพ 4) ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว แผ่นโคจิจจะมีลักษณะแห้งลงและมีความแข็งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากรำข้าวเจ้าและข้าวเจ้าสูญเสียความชื้นออกสู่บรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wood (1998) ที่กล่าวว่าเชื้อราต้องการความชื้นในปริมาณที่ค่อนข้างสูงในช่วงแรกของการหมักโคจิจั่วเหลือง แต่หลังจากที่ราเริ่มสร้างสปอร์แล้ว ภายในระยะเวลาประมาณ 2-3 วัน ความชื้นของโคจิจจะมีค่าลดต่ำลง



ภาพ 4 การผลิตสปอร์ของรา *A. oryzae* M-01 บนสับเสตรท 2 ชนิด เมื่อหมักโคจิจานาน 72 ชั่วโมง: รำข้าวเจ้า (a) และข้าวเจ้า (b)

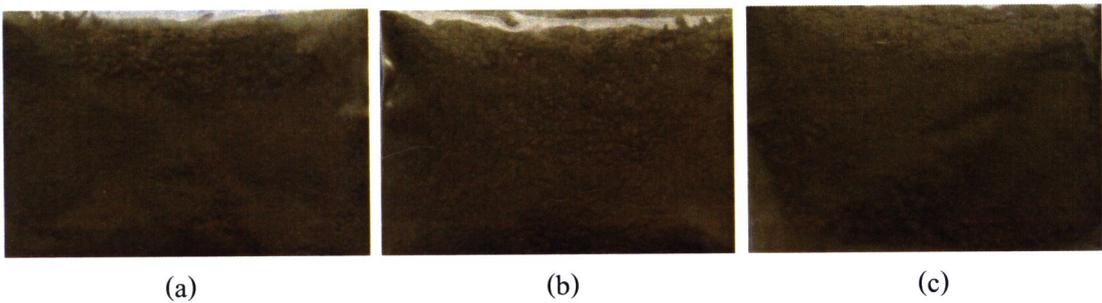
เมื่อนำรำข้าวเจ้าและข้าวเจ้าที่มีสปอร์เจริญอยู่ ไปอบให้แห้งภายใต้ความดันสุญญากาศและบดให้ละเอียด พบว่ารำข้าวเจ้าทุกทริทเมนท์จะให้ผงสปอร์สีเขี้ยวปนน้ำตาล (ภาพ 5) ในขณะที่ข้าวเจ้าทุกทริทเมนท์จะให้ผงสปอร์ที่มีสีเขี้ยวเข้ม (ภาพ 6) สปอร์ที่ยังมีชีวิตเหลือรอดอยู่บนรำข้าวเจ้ามีจำนวนเท่ากับ 9.36 9.45 และ 9.26 log cfu/g ตามลำดับ และบนข้าวเจ้ามีจำนวน

เท่ากับ 9.98 10.15 และ 9.98 log cfu/g ตามลำดับ (ตาราง 2) ปริมาณสปอร์ที่ได้จากสับเสตรทั้งสองชนิด มีค่า



ภาพ 5 ผงสปอร์ที่ได้จากการเติมสปอร์ซัสเพนชั้นของรา *A. oryzae* M-01 ในปริมาณที่แตกต่างกัน บนรำข้าวเจ้า: 0.5 มิลลิลิตร (a) 1.0 มิลลิลิตร (b) และ 1.5 มิลลิลิตร (c)

ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสปอร์ซัสเพนชั้น 1 มิลลิลิตร ที่เติมลงบนรำข้าวเจ้า จะให้จำนวนสปอร์ที่เหลืรอดชีวิตสูงที่สุด จึงมีความเหมาะสมในการนำไปผลิตสปอร์ เพื่อการทดลองในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 6 ผงสปอร์ที่ได้จากการเติมสปอร์ซัสเพนชั้นของรา *A. oryzae* M-01 ในปริมาณที่แตกต่างกัน บนรำข้าวเจ้า: 0.5 มิลลิลิตร (a) 1.0 มิลลิลิตร (b) และ 1.5 มิลลิลิตร (c)

ตาราง 2 จำนวนสปอร์ของรา *A. oryzae* M-01 ที่เห็ดหรือรดชีวิตบนรำข้าวเจ้าและข้าวเจ้า ภายหลังจากการอบให้แห้ง เมื่อใช้ปริมาณสปอร์เข้มข้นแตกต่างกัน

สปอร์เข้มข้น (มิลลิลิตร)	จำนวนสปอร์ที่เห็ดหรือรดชีวิต (log cfu/g)	
	รำข้าวเจ้า	ข้าวเจ้า
0.5	9.36 ± 0.17	9.98 ± 0.15
1.0	9.45 ± 0.4	10.15 ± 0.07
1.5	9.26 ± 0.53	9.98 ± 0.2

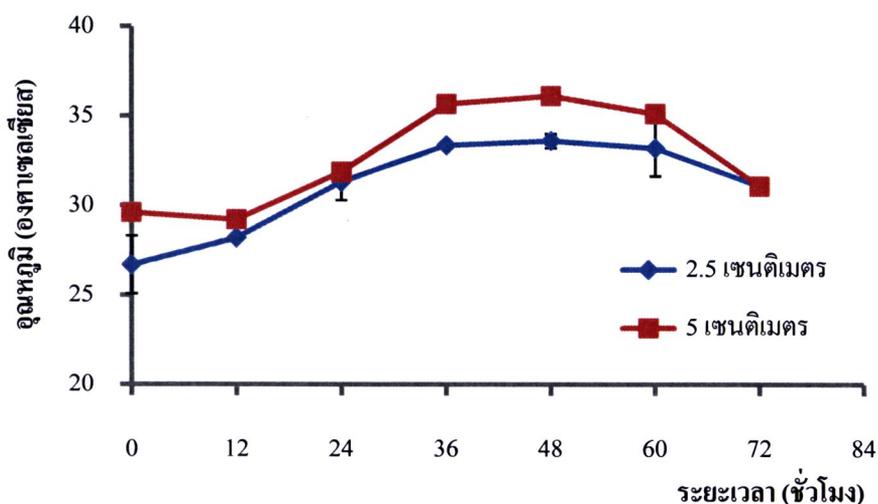
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## 2. กิจกรรมของราในระหว่างการหมักโคจิ

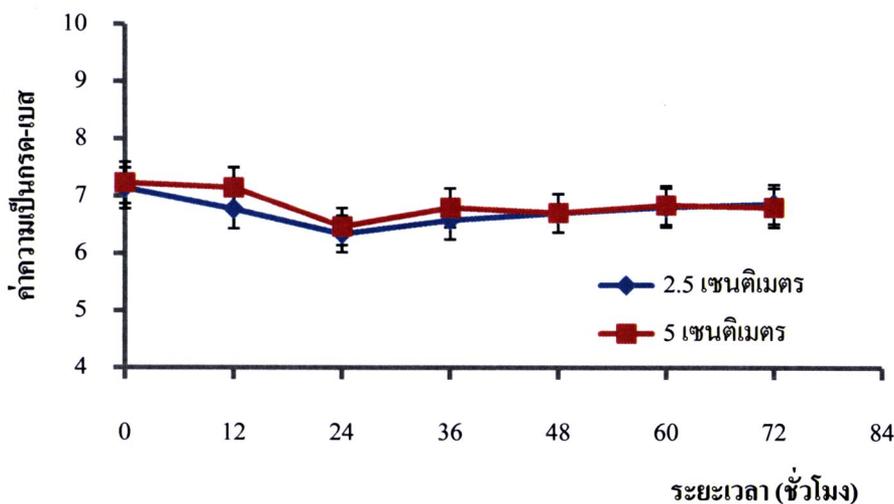
### 2.1 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างในโคจิถั่วเหลือง

จากการเตรียมโคจิถั่วเหลือง โดยปรับความหนาของโคจิให้เท่ากับ 2.5 และ 5.0 เซนติเมตรพบว่า รมีรูปแบบการเจริญที่คล้ายคลึงกันในทุกทริทเมนต์ โดยที่สปอร์ราเริ่มงอกเส้นใยจนมีขนาดที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าภายใน 12 ชั่วโมง และดำเนินกิจกรรมการเจริญอย่างต่อเนื่อง ในชั่วโมงที่ 24 เส้นใยของราจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนเห็นเป็นปุยสีขาวปกคลุมเมล็ดถั่วเหลืองเป็นส่วนใหญ่ เส้นใยจะเจริญและเริ่มมีการสร้างสปอร์ขึ้นมา ทำให้มองเห็นเป็นหย่อมสีเหลือง กระจายตัวอยู่ในกองโคจิในชั่วโมงที่ 36 หลังจากนั้นการสร้างสปอร์ยังคงดำเนินต่อไปจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก ในช่วงเวลาดังกล่าว สปอร์บางส่วนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง และเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มทั้งหมดในที่สุด ซึ่งหมายถึงรามีอายุแก่เต็มที่แล้ว การเจริญของราส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการบ่มโคจิตลอดชั่วโมงที่ 0-72 โดยโคจิมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 33.6 และ 36.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในชั่วโมงที่ 48 (ภาพ 7)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสของโคจิถั่วเหลืองพบว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยค่า ค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วง 6.33-7.23 (ภาพ 8)



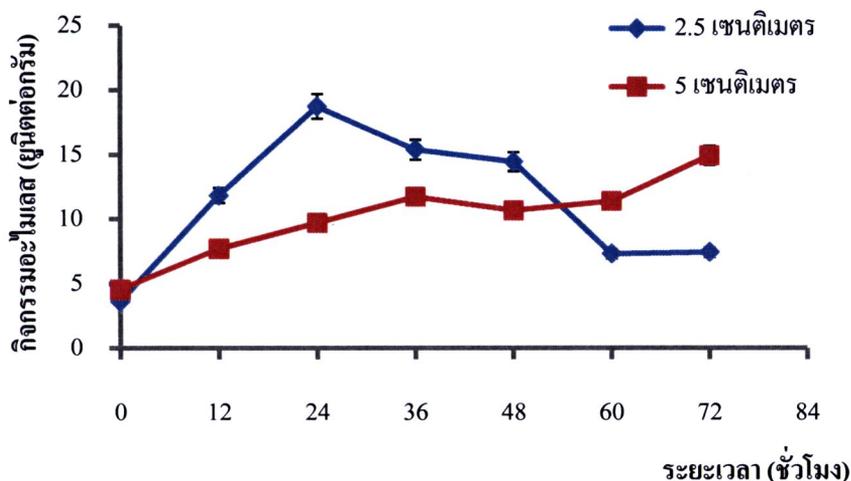
ภาพ 7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมักโคจิดัวเห็ดซึ่งที่มีความหนาแตกต่างกัน



ภาพ 8 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส ในระหว่างการหมักโคจิดัวเห็ดซึ่งที่มีความหนาแตกต่างกัน

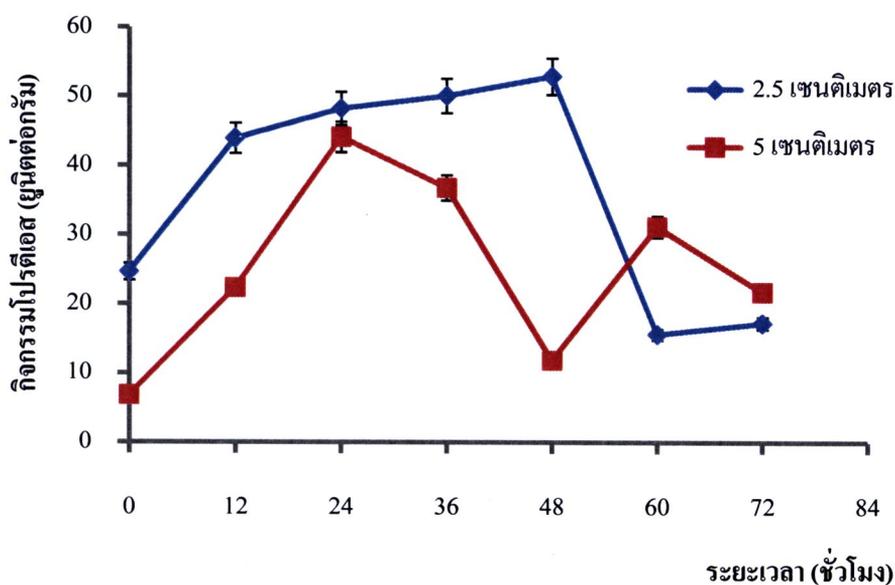
## 2.2 กิจกรรมเอนไซม์ในโคจิดัวเห็ด

รามีการสร้างเอนไซม์ควบคู่ไปกับการเจริญในระหว่างการหมักโคจิ พบว่ากิจกรรมอะไมเลสของโคจิดัวเห็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทั้ง 2 ทริทเมนต์ โดยโคจิที่มีความหนา 2.5 และ 5.0 เซนติเมตร จะให้ กิจกรรมอะไมเลสสูงสุดเท่ากับ 18.74 และ 14.93 หน่วยต่อกรัม ภายในระยะเวลา 24 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพ 9)



ภาพ 9 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมอะไมเลสในระหว่างการหมักโคจิดัวเหลืองที่มีความหนาแตกต่างกัน

กิจกรรมโปรตีเอสของโคจิดัวมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับกิจกรรมอะไมเลส โดยจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 52.89 และ 44.09 ยูนิตต่อกรัม ในเวลา 48 และ 24 ชั่วโมง สำหรับโคจิดัว 2.5 และ 5.0 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 10) การที่ความหนาของโคจิดัวที่ระดับ 2.5 เซนติเมตร ให้กิจกรรมโปรตีเอสสูงกว่าที่ระดับ 5.0 เซนติเมตร อาจเนื่องจากโคจิดัวมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตโปรตีเอสคือสูงไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wood (1998) ที่ระบุว่าอุณหภูมิช่วง 20-35 องศาเซลเซียส จะส่งเสริมให้รา *A. oryzae* เกิดการสร้างโปรตีเอสได้ดี

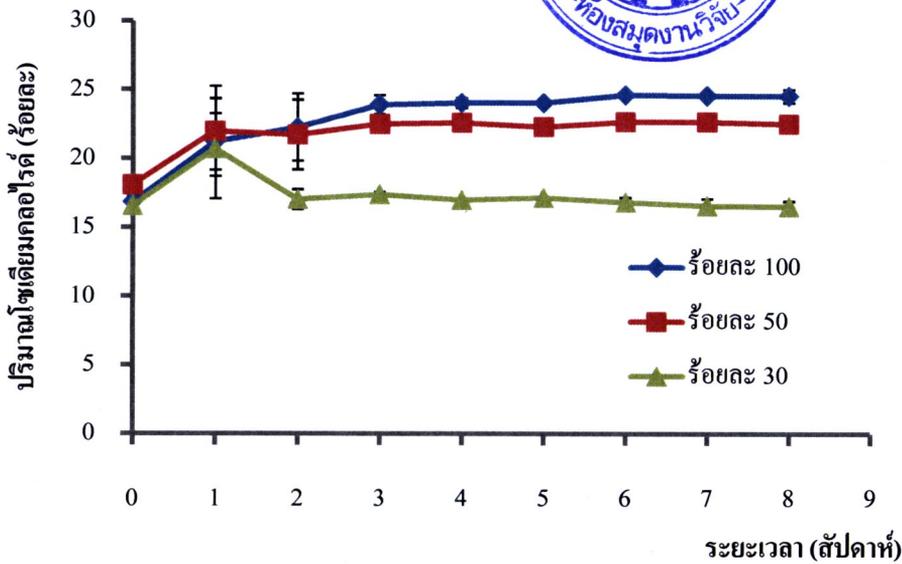


ภาพ 10 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมโปรตีนเอสในระหว่างการหมักโคจิดัวเหลืองที่มีความหนาแตกต่างกัน

### 3. ปริมาณโคจิดัวเหลืองต่อการเกิดอนุภาคสีขาวในกระบวนการหมักโมโรมิ

#### 3.1 จำนวนยีสต์และราในโมโรมิ

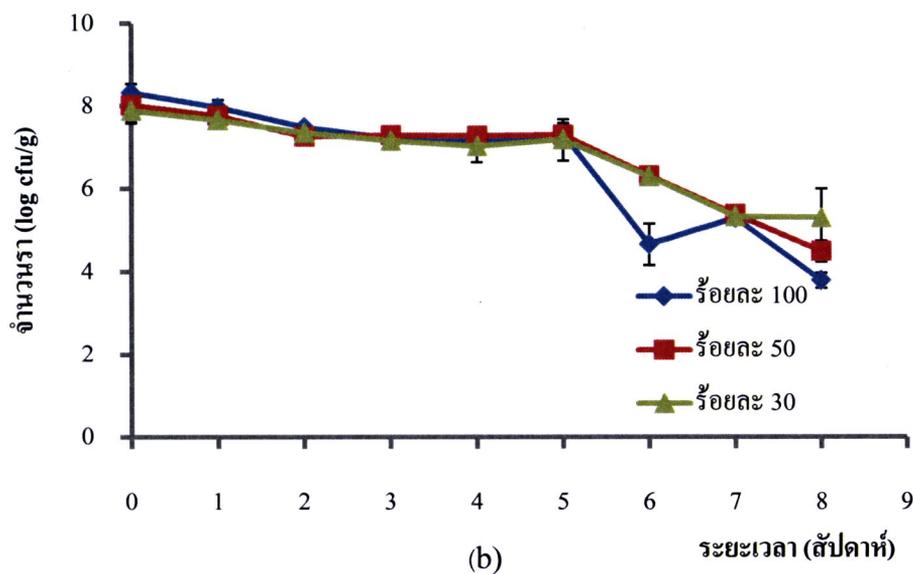
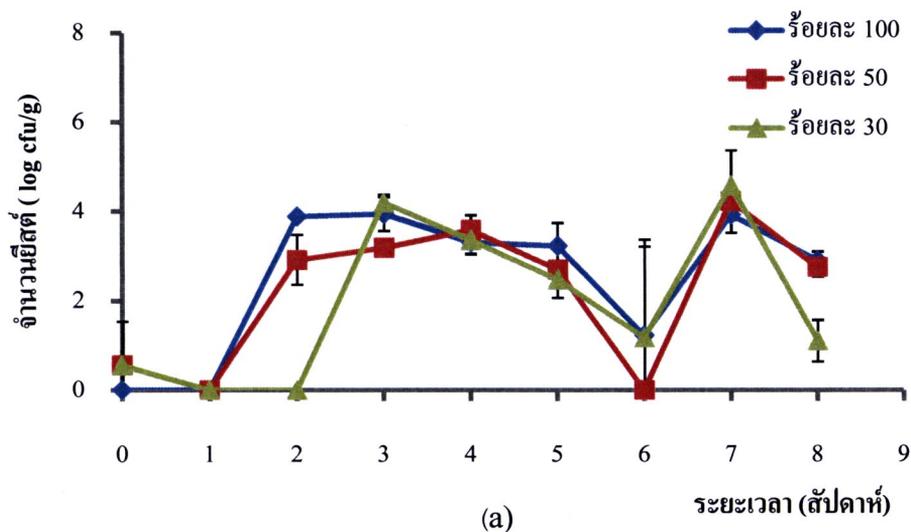
การหมักเต้าเจี้ยวโดยใช้โคจิริ้อยละ 100 50 และ 30 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 22 บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 8 สัปดาห์ พบว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในช่วงระยะเวลา 0-1 สัปดาห์แรก มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16.85 18.09 และ 16.56 ตามลำดับ เป็นประมาร้อยละ 21.23 21.99 และ 20.72 ตามลำดับ หลังจากนั้นโซเดียมคลอไรด์จึงมีปริมาณลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ก่อนที่จะมีค่าเกือบคงที่จนถึงสิ้นสุดระยะการหมัก (ภาพ 11)



ภาพ 11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิถั่วเหลืองในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำในน้ำเกลือส่วนหนึ่งถูกดูดซับโดยโคจิที่ใช้หมัก เนื่องจากโคจิมีสลักษณะที่แห้งมาก หลังจากนั้นจึงมีอัตราเร็วที่ลดลง ในขณะที่ความชื้นจากถั่วเหลืองต้มสุก ได้เคลื่อนเข้าสู่ น้ำเกลือเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และทำให้น้ำเกลือกลับมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ลดลง จนเกือบคงที่ซึ่งหมายถึงเกิดสภาวะสมดุล

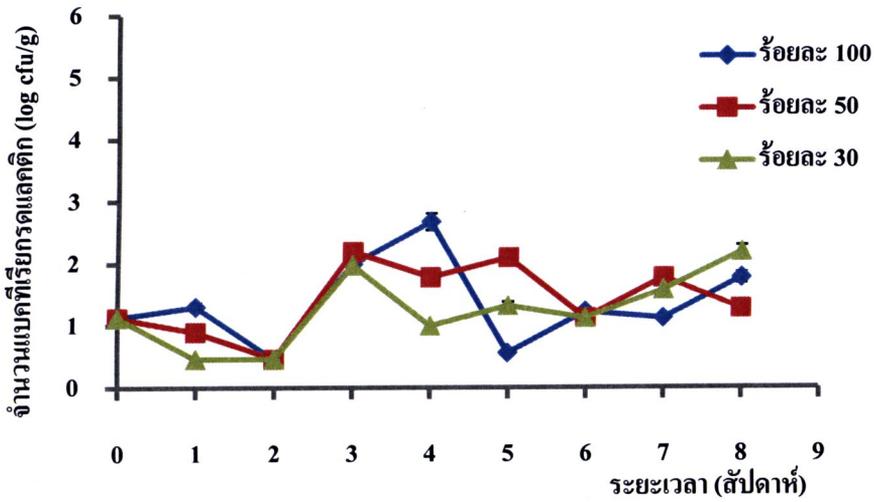
จากการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในโมโรมิ พบว่า ยีสต์ในช่วงสัปดาห์แรกมีค่าต่ำมาก เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างของโมโรมียังคงมีค่าเกินกว่า 5.0 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญ หลังจากนั้นจำนวนยีสต์กลับมีค่าสูงขึ้นประมาณ 3.94 4.23 และ 4.58 log CFU/g ตามลำดับ เนื่องจากเป็นยีสต์ที่ทนต่อความเข้มข้นสูงๆ ได้ สำหรับรา พบว่าจำนวนราสูงสุดอยู่ที่ระดับ 8.32 8.02 และ 7.88 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพ 12) ขึ้นกับปริมาณโคจิที่ใช้ รา มีจำนวนลดลงตามลำดับ เนื่องจากสปอร์ราจำนวนมากไม่สามารถทนความเข้มข้นของน้ำเกลือที่สูงได้ วิเชียร (2526) กล่าวว่า ราอาจอยู่รอดได้ในระหว่างกระบวนการหมักซึ่งยาวนานประมาณ 1-2 เดือน



ภาพ 12 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนยีสต์ (a) และรา (b) ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิถั่วเหลืองในปริมาณที่แตกต่างกัน

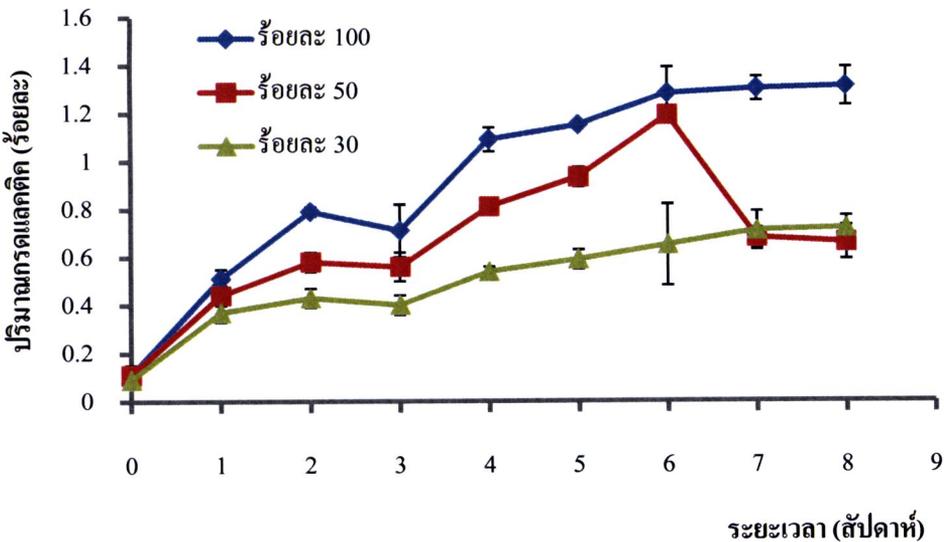
### 3.2 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกใน โมโรมิและการสร้างกรด

แบคทีเรียแลคติกมีการเพิ่มจำนวนอย่างมากโดยเฉพาะในช่วง 3-4 สัปดาห์แรกของการหมักโมโรมิ พบจำนวนแบคทีเรียแลคติกสูงสุด 2.69 2.11 และ 2.21 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพ 13)



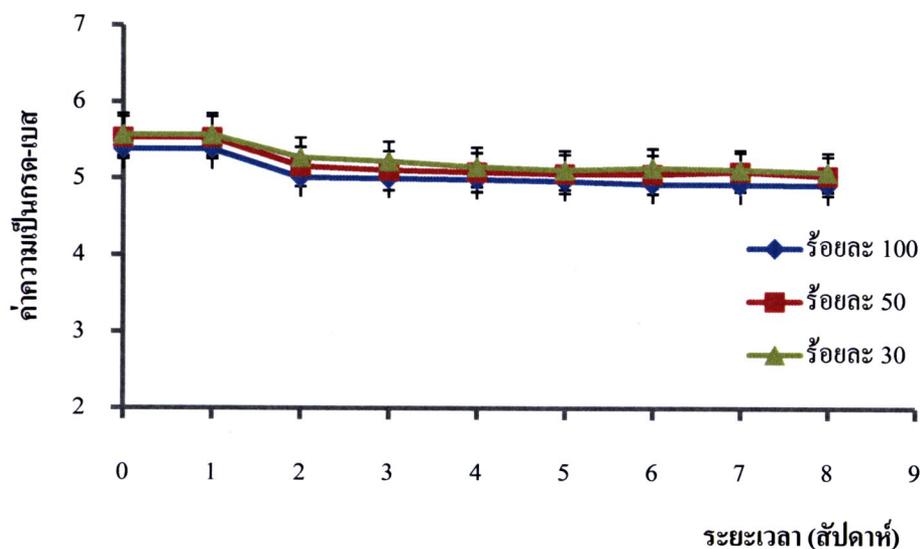
ภาพ 13 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวเหียงในปริมาณที่แตกต่างกัน

แบคทีเรียแลคติกสามารถเจริญได้อย่างดีในเต้าเจี้ยว และผลิตกรดแลคติกออกมาในปริมาณมาก (ภาพ 14) แปรผันตามปริมาณโคจิวที่ใช้หมัก คือได้ปริมาณร้อยละเท่ากับ 1.31 1.19 และ 0.72 ตามลำดับ เนื่องจากได้แบคทีเรียกรดแลคติกได้รับสารอาหารที่สามารถนำไปใช้ได้ง่ายจากโคจิว



ภาพ 14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติกในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวเหียงในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณกรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้น โดยแบคทีเรียแลคติก ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสของเต้าเจี้ยวลดลงจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.91 5.04 และ 5.09 ตามลำดับ และมีค่าเกือบคงที่ตลอดอายุการหมัก (ภาพ 15) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณกรดแลคติกที่สะสมในเต้าเจี้ยว ค่าความเป็นกรด-เบส ที่ต่ำลงจะช่วยให้ยีสต์ที่ในเต้าเจี้ยวสามารถเจริญได้ดีขึ้น



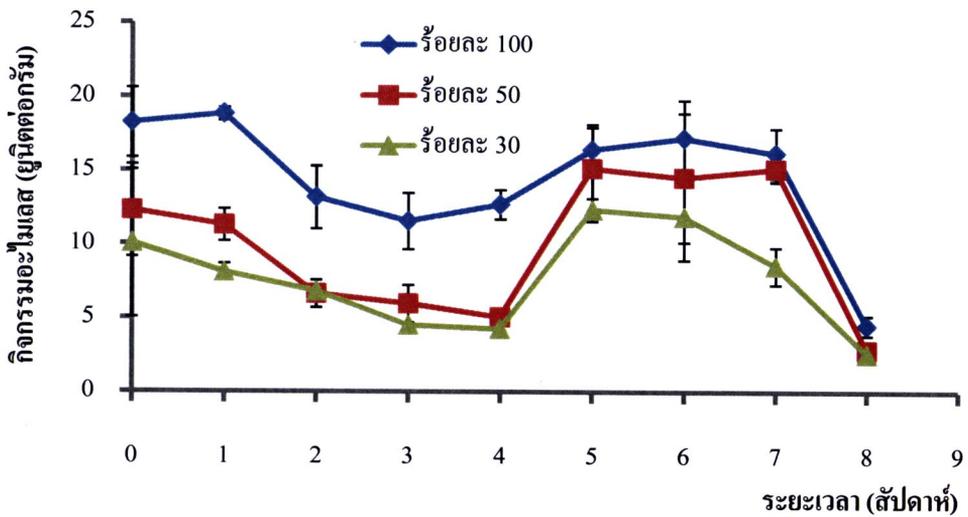
ภาพ 15 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิถั่วเหลือง ในปริมาณที่แตกต่างกัน

### 3.3 กิจกรรมเอนไซม์

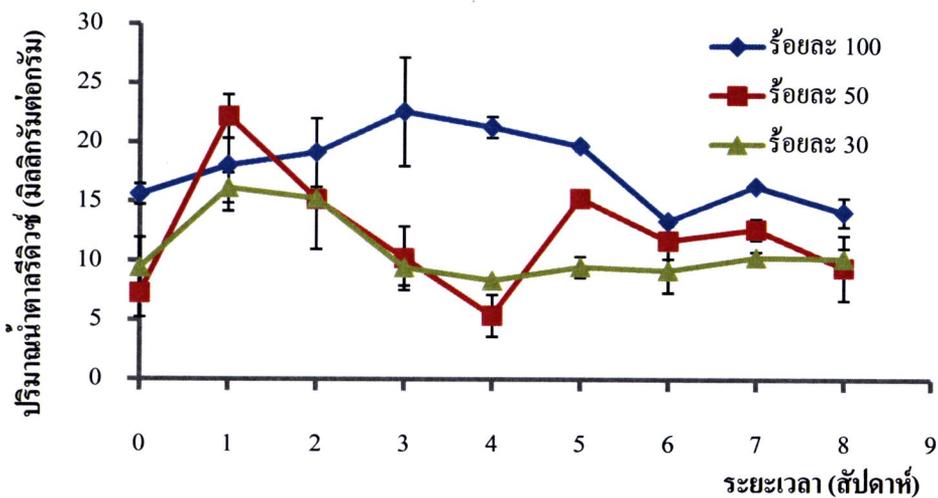
กิจกรรมอะไมเลสเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาของการหมักโมโรมิ พบว่ากิจกรรมอะไมเลสที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโคจิ ยังคงหลงเหลืออยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ ทำให้สามารถตรวจพบกิจกรรมดังกล่าวได้นับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 แต่มีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก กิจกรรมอะไมเลสลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3-4 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าลดลงจนเกือบคงที่ตลอดอายุของการหมัก กิจกรรมอะไมเลสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 18.84 15.14 และ 12.32 ยูนิต์ต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 16) การลดลงของกิจกรรมอะไมเลสสอดคล้องกับรายงานของ Yong and Wood (1974) ที่พบการลดลงของอะไมเลสในกระบวนการหมักซีอิ๊ว

สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการหมัก โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.62 22.19 และ 16.16 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 17) น้ำตาลรีดิวซ์ที่พบส่วนหนึ่งมาจากแป้งในโคจิถูกย่อยสลายด้วยอะไมเลส อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการกิจกรรมอะไมเลสที่ยังคงอยู่แม้จะอยู่สถานะแวดล้อมที่มีเกลือความเข้มข้นสูง น้ำตาลรีดิวซ์ดังกล่าวจะไม่เพิ่มปริมาณ

มากนั้น เนื่องจากกิจกรรมอะไมเลสที่ลดลง และเนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรียกรดแลคติกและ ยีสต์ในช่วงการหมักโมโรมิ ที่ใช้น้ำตาลรีดิวิซ์ในการเจริญแล้วสร้างกรด และอัลทอซอสส์ออกมาใน เต้าเจี้ยว ตามลำดับ



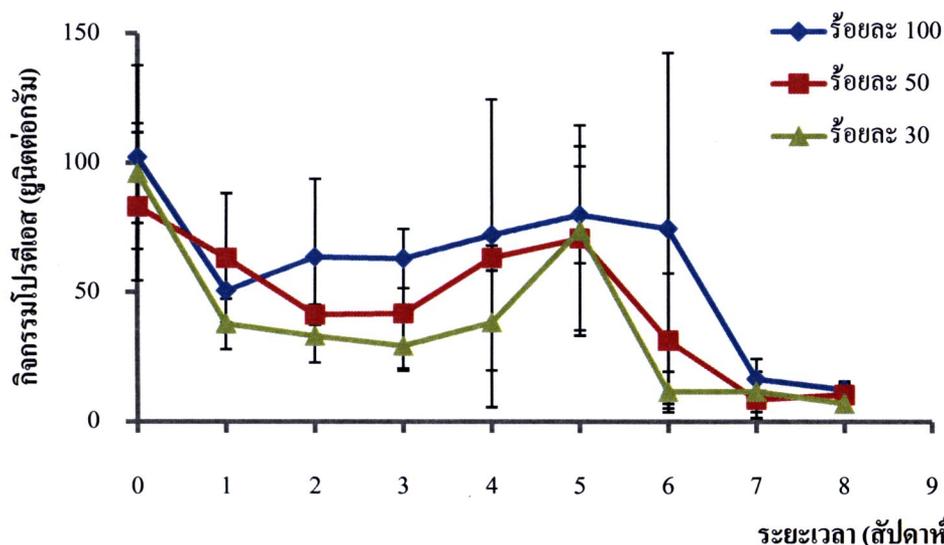
ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมอะไมเลสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิดัวเหลืองใน ปริมาณที่แตกต่างกัน



ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิดัวเหลือง ในปริมาณที่แตกต่างกัน

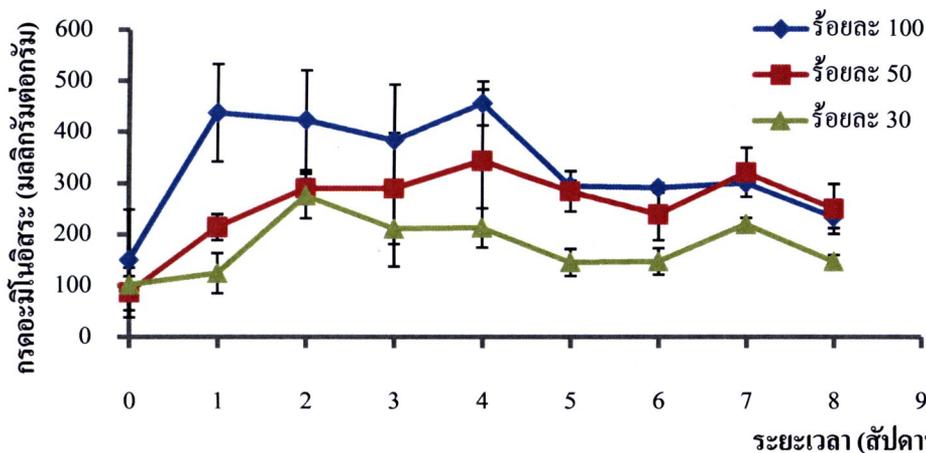
กิจกรรมโปรติเอสปรากฏขึ้นในสัปดาห์ที่ 0 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากโปรติเอสที่ติด ค้างอยู่ในโคจิ และหลงเหลือมาอยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมโปรติเอสมี ค่าลดลงจากเดิมในช่วง 1-2 สัปดาห์แรกของการหมัก แล้วจึงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย โดยค่าสูงสุดที่พบ

คือ 102.12 83.05 และ 95.98 ยูนิต์ต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 18) การลดลงของโปรตีนเป็นผลเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) และอาจเนื่องมาจากเอนไซม์ไปรวมตัวกับสารประกอบอย่างอื่นที่มีอยู่ในเต้าเจี้ยว ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนลดลง ส่วนการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมโปรตีนเอสอาจเนื่องมาจากเส้นใยบางส่วนเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยโปรตีนเอสออกมา (Yong and Wood, 1974)



ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมโปรตีนเอสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ปริมาณโคจิดัวเหลืองที่แตกต่างกัน

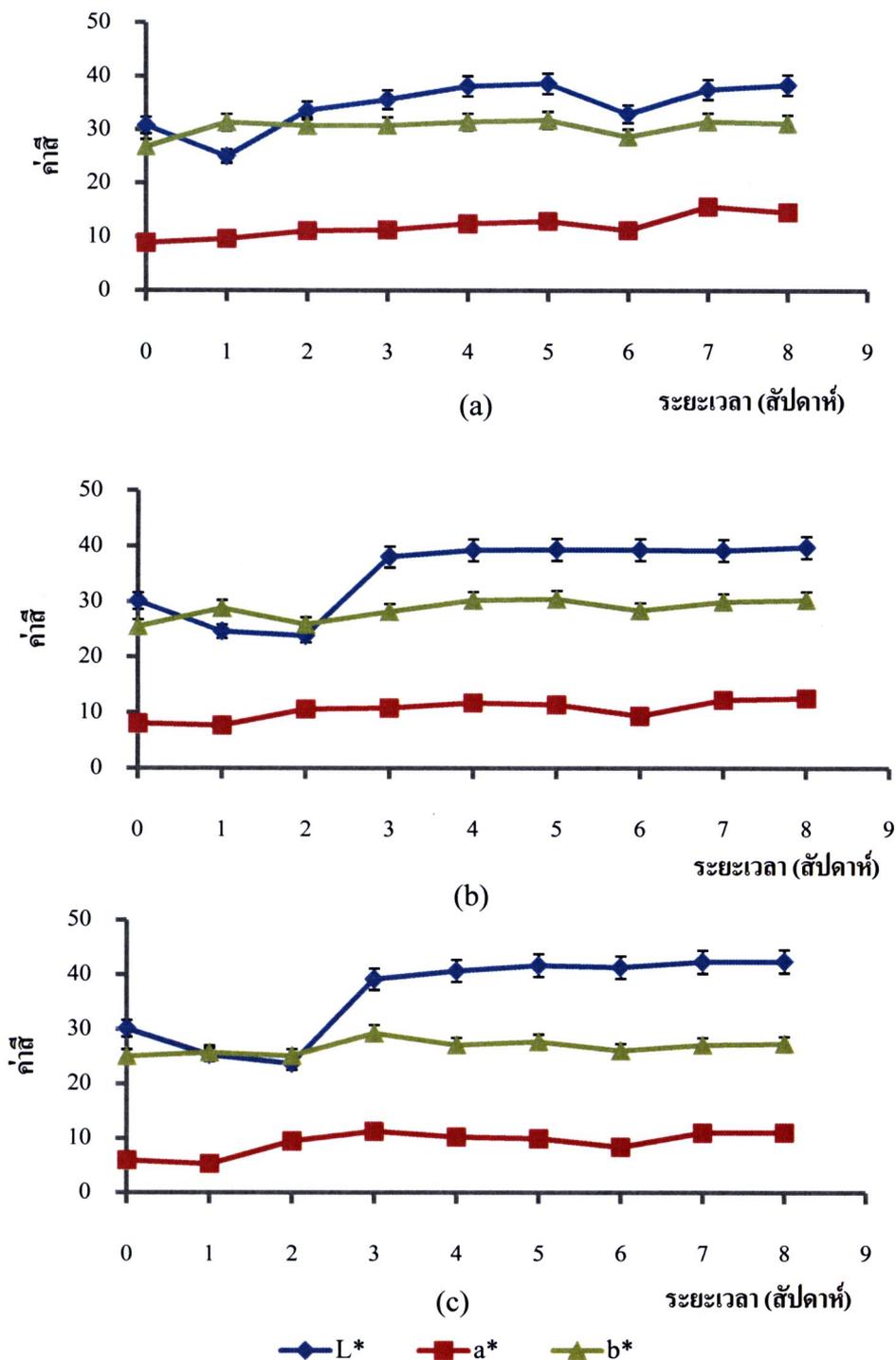
โปรตีนเอสในขั้นตอนการหมักโมโรมิจะย่อยโมเลกุลของโปรตีนในถั่วเหลืองให้กลายเป็นเปปไทด์ที่มีสายสั้นลง (short chain peptides) และกรดอะมิโนจำนวนหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเต้าเจี้ยวตลอดอายุการหมัก (ภาพ 19) การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดสอดคล้องกับกิจกรรมโปรตีนเอสกิจกรรมโปรตีนเอส ซึ่งพบว่าปริมาณกรดอะมิโนอิสระที่สะสมมีค่าสูงสุดประมาณ 465.25 343.75 และ 275.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโนอิสระในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิดัวเหลืองในปริมาณที่แตกต่างกัน

### 3.4 สีของเต้าเจี้ยว

เต้าเจี้ยวที่ผ่านการหมักมานาน 8 สัปดาห์ พบว่าจะมีสีเหลืองของถั่วเหลืองผสมกับสีใสของน้ำเกลือ แต่เมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้น เต้าเจี้ยวจะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเข้มขึ้นเรื่อยๆ ในทุกทริทเมนต์ เต้าเจี้ยวที่หมักโดยใช้โคจิดัวปริมาณร้อยละ 100 จะให้สีน้ำตาลที่เข้มที่สุดโดยมีค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 38.61 15.65 และ 31.77 รองลงมาได้แก่การใช้โคจิดัวปริมาณร้อยละ 50 และ 30 ตามลำดับ (ภาพ 20) การเกิดสีน้ำตาลของเต้าเจี้ยวเป็นผลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่เป็นการรวมตัวกันระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ (Miller, 1959; Yokotsuka, 1986)



ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวเห็ดองในปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ): 100 (a) 50 (b) และ 30 (c)

### 3.5 การเกิดอนุภาคสีขาวในระหว่างการหมักโมโรมิ

จากการสังเกตการเกิดอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยว พบว่า เต้าเจี้ยวที่หมักโดยใช้โคจิในปริมาณร้อยละ 100 จะก่อให้เกิดอนุภาคสีขาวในถังหมักได้ภายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยจำนวนและขนาดอนุภาคสีขาวจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมักเกาะติดอยู่กับผนังของถังหมัก อนุภาคสีขาวจะพบมากที่สุดที่สัปดาห์ที่ 6 ในขณะที่เต้าเจี้ยวที่หมักโดยใช้ปริมาณโคจิริ้อยละ 50 และ 30 จะให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน แต่ระยะเวลาการเกิดอนุภาคสีขาวจะช้ากว่าเป็น 4 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามโคจิริ้อยละ 30 ยังคงให้อนุภาคสีขาวที่มีปริมาณน้อยที่สุด แม้จะหมักนานถึง 8 สัปดาห์ (ตาราง 3)

ตาราง 3 การเกิดอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยวที่หมักโดยใช้โคจิถั่วเหลืองในปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณโคจิ (ร้อยละ)	อนุภาคสีขาว									
	ระยะเวลา (สัปดาห์)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
100	-	-	+	+	++	++	+++	+++	+++	+++
50	-	-	-	-	+	+	++	++	+++	+++
30	-	-	-	-	-	-	+	+	++	++

หมายเหตุ: - = ไม่พบ

+ = พบเล็กน้อย

++ = พบมาก

การเกิดอนุภาคสีขาวในขั้นตอนการหมักโมโรมิ อาจเนื่องมาจากการใช้โคจิในปริมาณที่มาก ย่อมทำให้ได้กิจกรรมโปรตีนที่มากตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ได้กรดอะมิโนไทโรซีนจากโปรตีนของถั่วเหลืองจำนวนมาก ไทโรซีนเป็นกรดอะมิโนที่ละลายน้ำได้ยาก ดังนั้นจึงมีแนวโน้มมารวมตัวกันแล้วกลายเป็นผลึกสีขาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ Flegel et al. (1981) และ Bhumiratana et al. (1988) รายงานว่า ได้มีการพบจุดขาวในเต้าเจี้ยวที่ผลิตในประเทศไทย และกล่าวว่าการจุดขาวที่พบคือ ไทโรซีน ที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนของถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์โปรตีนเอส

### 3.6 ผลของการหมักโมโรมิระยะเวลาสั้นต่อการเกิดอนุภาคสีขาว

นำเต้าเจี้ยวอายุ 4 สัปดาห์ บรรจุใส่ขวดแก้วปิดฝาขณะร้อน เพื่อศึกษาการเกิดอนุภาคสีขาว พบว่า ปริมาณโคจิจิที่ใช้หมักโมโรมิทุกระดับ ส่งผลให้เกิดอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยวนับแต่เริ่มบรรจุขวด โดยในวันที่ 0 พบอนุภาคสีขาวในทุกทริทเมนต์ แต่จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวและชนิดของอนุภาคสีขาวที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน เต้าเจี้ยวที่หมักด้วยโคจิริ้อยละ 100 จะก่อให้เกิดพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวมากกว่าทริทเมนต์อื่นๆ คือ ร้อยละ 4.39 ในขณะที่โคจิริ้อยละ 50 และ 30 ให้จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวที่น้อยกว่า 20-40 เท่า คือเท่ากับร้อยละ 0.21 และ 0.10 ตามลำดับ จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามอายุการเก็บรักษาจนกระทั่งถึงวันที่ 9 จำนวนพื้นที่ดังกล่าวมีค่าสูงเกินกว่าร้อยละ 95 ทุกทริทเมนต์ (ตาราง 4)

ตาราง 4 จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวและชนิดอนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวบรรจุขวด

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาว (ร้อยละ)			ชนิดของอนุภาคสีขาว		
	ปริมาณถั่วเหลือง (ร้อยละ)			ปริมาณถั่วเหลือง (ร้อยละ)		
	100	50	30	100	50	30
0	4.39 ± 2.87	0.21 ± 0.19	0.10 ± 0.19	A, B	B	C
1	25.31 ± 6.77	1.12 ± 0.57	0.18 ± 0.12	A, B	B	C
3	4.98 ± 0.73	5.185 ± 3.34	3.17 ± 2.59	A, B	B	C
6	18.12 ± 5.51	18.35 ± 0.03	8.74 ± 4.59	A, B	B	C
9	95.86 ± 0.78	99.96 ± 0.00	96.43 ± 3.23	A, B	B, C	C
12	96.77 ± 1.14	100.00 ± 0.00	97.14 ± 2.52	A, B	B, C	C
15	100 ± 0.00	100.00 ± 0.00	99.13 ± 1.00	A, B	B, C	C

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม

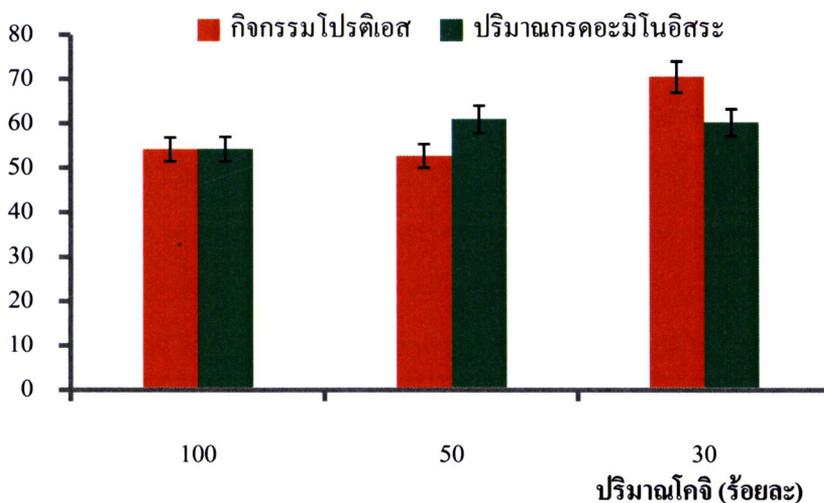
B = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นแข็ง

C = อนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็กๆ

ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากในช่วงแรกของการเก็บรักษา อนุภาคสีขาวส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นแล้วในถังหมักโมโรมิ ส่วนหนึ่งที่เหลือจากการละลายในช่วงของการต้มเต้าเจี้ยวก่อนการบรรจุ ได้ถูกถ่ายเทต่อมายังขวดบรรจุผลิตภัณฑ์ และในขณะเดียวกันความร้อนในระหว่างการต้มได้ทำให้น้ำบางส่วนระเหยออกจากเนื้อเต้าเจี้ยว ทำให้เนื้อเต้าเจี้ยวเข้มข้นขึ้น นอกจากนี้ยังอาจ

เนื่องมาจากกิจกรรมโปรตีนที่ยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเท่ากับ 54.21 52.71 และ 70.49 ยูนิต์ต่อกรัม และทำให้ได้ปริมาณกรดอะมิโนอิสระเท่ากับ 54.27 60.94 และ 60.21 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 21) ส่งผลให้ปริมาณไทโรซีนในเต้าเจี้ยวที่ต้มแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้เห็นผลึกไทโรซีนซึ่งเป็นสีขาวในวันถัดมา ผลึกดังกล่าวจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาดังกล่าว

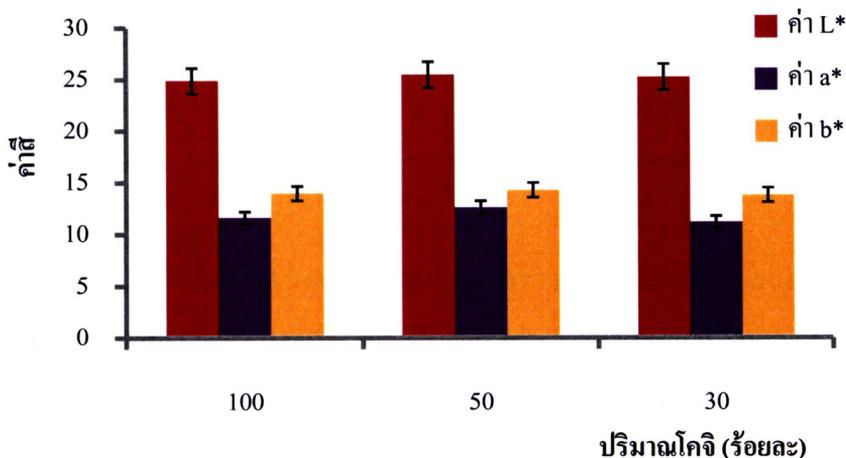
อนุภาคสีขาวที่พบเป็นชนิดแผ่นนุ่มและแผ่นแข็ง แผ่นแข็งและเม็ดเล็กๆ และชนิดเม็ดเล็กๆ สำหรับเต้าเจี้ยวที่หมักจากโคจิริ้อยละ 100 50 และ 30 ตามลำดับ ชนิดของอนุภาคสีขาวจะขึ้นกับปริมาณโคจิที่ใช้หมักเต้าเจี้ยว โดยชนิดแผ่นแข็ง แผ่นนุ่ม และเม็ดเล็กๆ จะเกิดขึ้นได้ง่ายในเต้าเจี้ยวที่หมักจากโคจิปริมาณร้อยละ 100 50 และ 30 ตามลำดับ อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่มจะมีขนาดที่กว้างกว่าชนิดแผ่นแข็ง และแบบเม็ดเล็กๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณกิจกรรมโปรตีนในช่วงการหมักโมโรมิที่แตกต่างกัน โดยกิจกรรมโปรตีนในเต้าเจี้ยวที่หมักจากโคจิริ้อยละ 100 จะมีค่าสูงที่สุด ทำให้เกิดการย่อยโปรตีนจนได้กรดอะมิโนไทโรซีนจำนวนมาก กระจายตัวกันอยู่เป็นวงกว้าง เมื่อความเข้มข้นของไทโรซีนมีสูงถึงระดับหนึ่งจึงเกิดการตกผลึก และมีการรวมตัวกันของผลึกจนมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยลำดับ การกระจายตัวเป็นวงกว้างของไทโรซีน ทำให้ผลึกส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นไม่สะสมกันจนกลายเป็นแผ่นแข็ง



ภาพ 21 กิจกรรมโปรตีนและปริมาณกรดอะมิโนอิสระในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว

ค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว หลังจากการต้มเต้าเจี้ยวนาน 20 30 และ 40 นาที (ภาพ 22) พบว่า ระยะเวลาในการต้มนานขึ้นสีของเต้าเจี้ยวจะเข้มขึ้นตามลำดับ โดยแต่ละทริทเมนต์เมื่อต้มนาน 40 นาที จะมีค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  สูงสุด คือ ค่า  $L^*$  เท่ากับ 24.88 25.47 และ

25.24 ตามลำดับ ค่า a\* เท่ากับ 11.62 12.62 และ 11.21 และ ค่า b\* เท่ากับ 13.98 14.29 และ 13.80 ซึ่งค่าสี L\* a\* และ b\* ทั้งสามพารามิเตอร์ การที่ผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวมีสีคล้ำขึ้น ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดเมลลาร์ด โดยกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน โดยโปรตีเอส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยอะไมเลส และยังคงหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำปฏิกิริยาเคมีกัน



ภาพ 22 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่หมักด้วยโคจิปริมาณแตกต่างกัน

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว โดยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ranking for preference พบว่า ผลของการยอมรับของผู้ทดสอบต่อเต้าเจี้ยวทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) พบว่า โคจิปริมาณร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปริมาณ โคจิร้อยละ 50 และ 30 ตามลำดับ (ตาราง 5-6)

ตาราง 5 จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนเรียงตามลำดับความชอบสำหรับเต้าเจี้ยวจำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณโคจิที่ใช้ (ร้อยละ)	ระดับความชอบ		
	สเกล 3 ระดับ		
	1	2	3
100	56	12	32
50	32	45	23
30	34	12	54

หมายเหตุ : สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ตาราง 6 ผลสรุปของการเรียงลำดับความชอบผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว จำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณ โคจิ (ร้อยละ)	สเกล 3 ระดับ	
	ผลรวม <sup>ns</sup>	ลำดับ
100	56	1
30	34	2
50	32	3

หมายเหตุ : <sup>ns</sup> คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในแนวสดมภ์

สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ซึ่งสอดคล้องกับ Sakaki (1996) กล่าวว่า ซีอิ๊วที่มีกลิ่นหอมและรสชาติ ส่วนหนึ่งเกิดจากสารประกอบที่มีชื่อเรียกว่า HEMF(4-hydroxy-2(or5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone) สารดังกล่าวเกิดจากสารตั้งต้น (precursor) ที่พบได้ในถั่วเหลืองและข้าวสาลีเท่านั้น และเกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโมโรมิ โดยอาศัยกิจกรรมของยีสต์

### 3.7 ผลของระยะเวลาในการฆ่าเชื้อเต้าเจี้ยวต่อการเกิดอนุภาคสีขาว

นำเต้าเจี้ยวที่มีอายุการหมัก 8 สัปดาห์ มาต้มให้เดือดนาน 20 30 และ 40 นาที บรรจุใส่ขวดปิดฝา เก็บรักษานาน 15 วัน พบว่ารูปแบบการเกิดอนุภาคสีขาว และชนิดของอนุภาคสีขาว เป็นไปในลักษณะเดียวกับการเต้าเจี้ยวอายุ 4 สัปดาห์ ที่ผ่านการต้มฆ่าเชื่อนาน 30 นาที โดยระยะเวลาที่ใช้ในการต้มฆ่าเชื้อ ไม่ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันต่อพื้นที่ที่เกิดอนุภาคสีขาว และชนิดของอนุภาคสีขาว โดยอนุภาคสีขาวจะเกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่มากกว่าร้อยละ 95 ตั้งแต่อายุการเก็บรักษานาน 6 วันขึ้นไป (ตาราง 7) อนุภาคสีขาวที่พบเป็นชนิดแผ่นนุ่มและแผ่นแข็ง แผ่นแข็งและเม็ดเล็กๆ และชนิดเม็ดเล็กๆ สำหรับเต้าเจี้ยวที่หมักจากโคจิริ้อยละ 100 50 และ 30 ตามลำดับ (ตาราง 8)

ตาราง 7 จำนวนพื้นที่พบอนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์เตาเจียวที่ผ่านการต้มในเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะ เวลา (วัน)	จำนวนพื้นที่พบอนุภาคสีขาว (ร้อยละ)								
	ต้มนาน 20 นาที			ต้มนาน 30 นาที			ต้มนาน 40 นาที		
	100	50	30	100	50	30	100	50	30
0	96.98 ± 3.65	3.87 ± 2.04	2.02 ± 2.74	97.49 ± 2.48	1.52 ± 0.7	0.76 ± 0.68	95.72 ± 5.02	1.43 ± 1.29	0.63 ± 0.86
1	96.98 ± 3.65	3.87 ± 2.04	2.02 ± 2.74	97.49 ± 2.48	1.52 ± 0.7	0.76 ± 0.68	95.72 ± 5.02	1.43 ± 1.29	0.63 ± 0.86
3	97.06 ± 4.45	4.09 ± 2.18	2.22 ± 2.87	97.09 ± 2.85	1.57 ± 0.73	0.79 ± 0.64	95.59 ± 4.96	1.50 ± 1.24	0.74 ± 0.86
6	98.84 ± 1.67	96.53 ± 0.57	95.95 ± 1.54	95.93 ± 1.28	97.92 ± 0.55	98.50 ± 0.51	97.85 ± 0.06	97.96 ± 1.45	98.28 ± 1.1
9	98.86 ± 1.64	97.43 ± 0.79	95.95 ± 1.54	97.94 ± 0.87	98.66 ± 0.86	98.88 ± 0.53	97.87 ± 0.59	98.12 ± 0.92	98.72 ± 1
12	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0
15	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

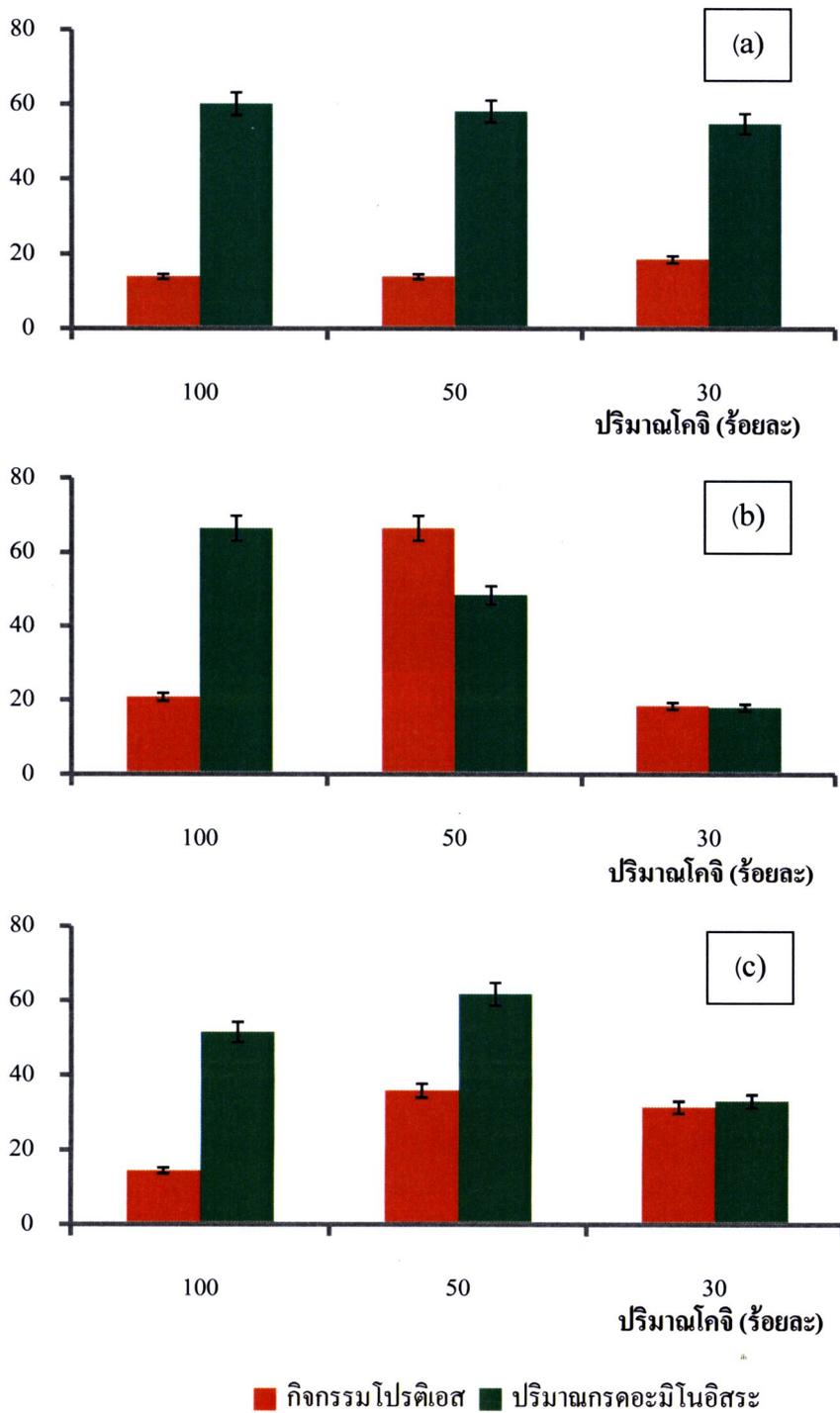
ตาราง 8 ชนิดอนุภาคศึกษาในผลิตภัณฑ์ที่เข้าเขียวที่ผ่านการต้มในเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนพื้นที่พบอนุภาคศึกษา (ร้อยละ)								
	ต้มนาน 20 นาที		ต้มนาน 30 นาที		ต้มนาน 40 นาที				
	ปริมาณ โคจิ (ร้อยละ)	100 50 30	ปริมาณ โคจิ (ร้อยละ)	100 50 30	ปริมาณ โคจิ (ร้อยละ)	100 50 30			
0	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C
1	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C
3	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C
6	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C
9	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C
12	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C
15	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C	A, B	B,C	C

หมายเหตุ : A = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม

B = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นแข็ง

C = อนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็ก ๆ



ภาพ 23 กิจกรรมโปรตีนและปริมาณกรดอะมิโนอิสระในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวอายุ 8 สัปดาห์ที่ผ่านการต้มให้เดือด: นาน 20 นาที (a) นาน 30 นาที (b) และนาน 40 นาที (c)

กิจกรรมโปรตีนที่ยังคงพบได้ในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวทุกทรีทเมนต์ที่ต้มนาน 20 นาที (ภาพ 23a) โดยมีค่าเท่ากับ 13.93-20.81 ยูนิตต่อกรัม ต้มนาน 30 นาที (ภาพ 23b) 13.93-66.46 ยูนิตต่อกรัม และต้มนาน 40 นาที (ภาพ 23c) 18.61-31.63 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ



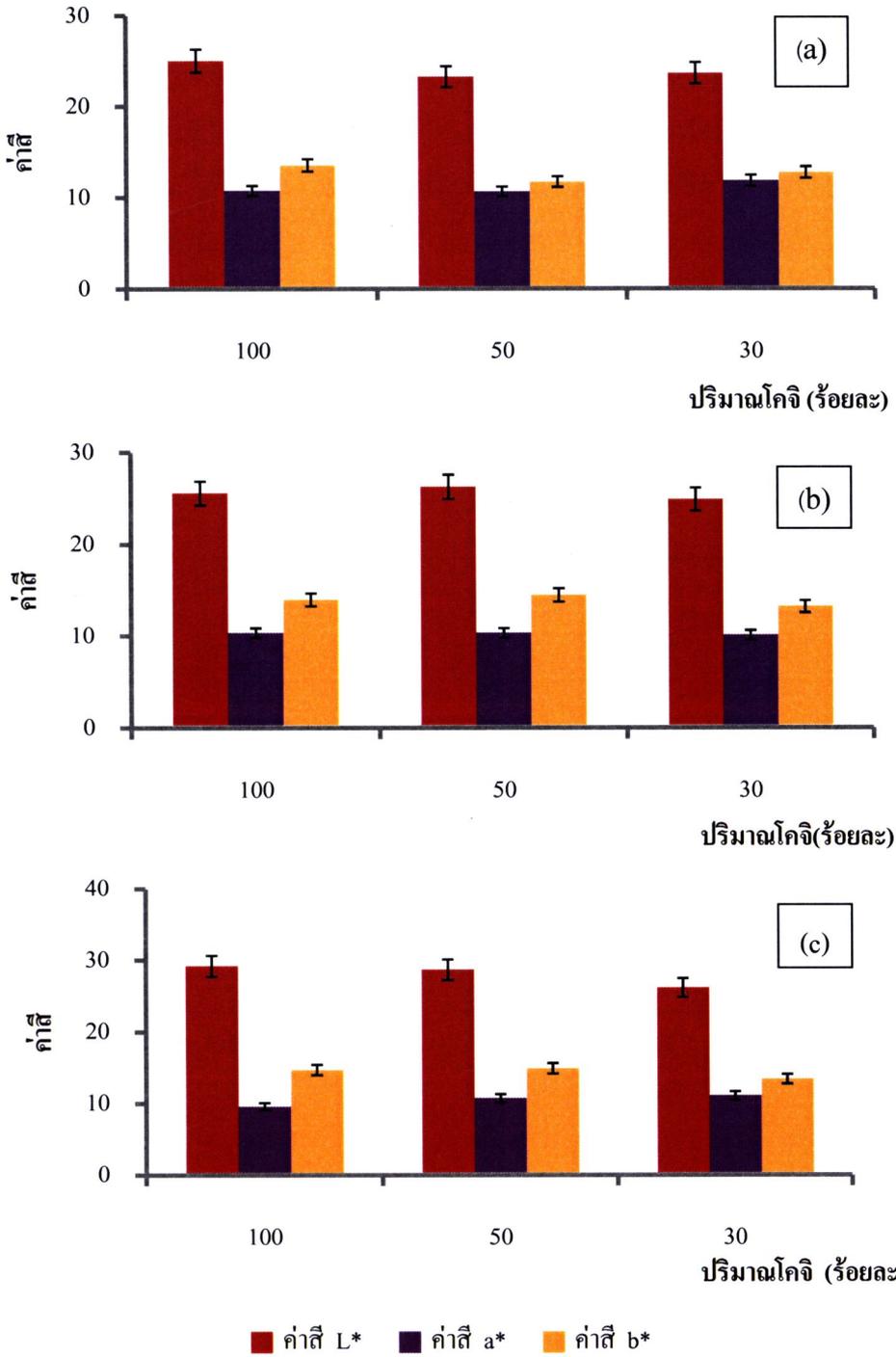
(a)

(b)

(c)

ภาพ 24 ผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว: ปริมาณโคจิริ้อยละ 100 (a) 50 (b) และ 30 (c)

ค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว (ภาพ 25a) พบว่า ค่า  $L^*$  สูงสุด 29.19 28.68 และ 26.15 ตามลำดับ (ภาพ 25b) ค่า  $a^*$  สูงสุด 10.17 10.74 และ 11.85 และ (ภาพ 25c) ค่า  $b^*$  สูงสุด 14.68 14.87 และ 13.36 ซึ่งค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ทั้งสามทรีทเมนต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )



ภาพ 25 ค่าสีในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว: ต้มนาน 20 นาที (a) ต้มนาน 30 นาที (b) และ ต้มนาน 40 นาที (c)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าเจี้ยวที่ผลิตได้อายุ 8 สัปดาห์ ต้มนาน 30 นาที โดยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ranking for preference พบว่า ผลของการยอมรับของผู้ทดสอบต่อเต้าเจี้ยวทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) พบว่า โคลิปริมาณร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปริมาณโคลิร้อยละ 50 และ 30 ตามลำดับ (ตาราง 9-10)

ตาราง 9 จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนเรียงตามลำดับความชอบสำหรับเต้าเจี้ยวจำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณ โคลิที่ใช้ (ร้อยละ)	ระดับความชอบ		
	สเกล 3 ระดับ		
	1	2	3
100	44	24	28
50	28	50	26
30	28	26	46

หมายเหตุ : สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ตาราง 10 ผลสรุปของการเรียงลำดับความชอบผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว จำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณ โคลิ (ร้อยละ)	สเกล 3 ระดับ	
	ผลรวม	ลำดับ
100	44 <sup>a</sup>	1
50	28 <sup>b</sup>	2
30	28 <sup>b</sup>	3

หมายเหตุ : <sup>a,b</sup> คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแนวสมมภ์

สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

### 3.8 ผลของการการเจือจางเต้าเจี้ยวต่อการเกิดอนุภาคสีขาว

นำเต้าเจี้ยวที่มีอายุการหมัก 8 สัปดาห์ มาต้มให้เดือดนาน 20 30 และ 40 นาที แล้วเติมน้ำต้มสุกให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการ บรรจุใส่ขวดปิดฝา พบว่าผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวมีลักษณะใกล้เคียงกับเต้าเจี้ยวบางยี่ห้อที่วางจำหน่ายในท้องตลาด นอกจากนี้จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวได้ลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่เติมน้ำลงในเต้าเจี้ยวขณะต้มจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ ระยะเวลาในการต้ม 40 นาที จะทำให้พื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวลดลงได้ดีที่สุดคือเหลือ

ร้อยละ 0.81 0.48 และ 0.27 ในระยะเวลา 15 วัน สำหรับการหมักด้วยโคจิปริมาณร้อยละ 100 50 และ 30 ตามลำดับ (ตาราง 11) รองลงมาได้แก่ การต้มเดือดนาน 30 และ 20 นาที ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการต้ม เต้าเจี้ยวมีผลต่อจำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวที่ใกล้เคียงกัน (ตาราง 12) ในขณะที่ระยะเวลาในการต้มไม่มีผลต่อชนิดของอนุภาคสีขาวที่เกิดขึ้น

กิจกรรมโปรตีนยังคงพบได้ในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวทุกทรีทเมนต์ การต้มเดือดนาน 20 นาที (ภาพ 27a) มีค่าเท่ากับ 19.71-41.62 ยูนิตต่อกรัม การต้มเดือดนาน 30 นาที (ภาพ 27b) 39.05-90.57 ยูนิตต่อกรัม และการต้มเดือดนาน 40 นาที (ภาพ 27c) 58.48-94.69 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ ทำให้กิจกรรมการย่อยโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนอิสระยังคงดำเนินอยู่ แต่ในอัตราที่ช้าลง



(a)



(b)



(c)

ภาพ 26 ผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำต้มสุกตามสัดส่วนที่ต้องการ: ปริมาณโคจิปริมาณร้อยละ 100 (a) 50 (b) และ 30 (c)

**ตาราง 11** จำนวนพื้นที่พบอนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มในเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนพื้นที่พบอนุภาคสีขาว (ร้อยละ)								
	ต้มนาน 20 นาที			ต้มนาน 30 นาที			ต้มนาน 40 นาที		
	100	50	30	100	50	30	100	50	30
0	1.04 ± 2.37	1.08 ± 1.1	0.0 ± 0.0	1.17 ± 0.7	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.27 ± 0.7	0.03 ± 0.39	0.08 ± 0.5
1	1.04 ± 2.37	1.08 ± 1.1	0.0 ± 0.0	1.17 ± 0.7	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.27 ± 0.7	0.03 ± 0.39	0.08 ± 0.5
3	0.95 ± 2.22	1.87 ± 1.11	0.0 ± 0.0	1.22 ± 0.82	0.35 ± 0.31	0.0 ± 0.0	0.34 ± 0.74	0.12 ± 0.43	0.11 ± 0.69
6	1.1 ± 2.3	1.89 ± 1.2	0.0 ± 0.0	1.3 ± 0.82	0.55 ± 0.6	0.0 ± 0.0	0.64 ± 0.74	0.34 ± 0.35	0.19 ± 0.59
9	1.1 ± 12.3	2.16 ± 1.3	0.0 ± 0.0	1.31 ± 0.83	0.61 ± 0.51	0.0 ± 0.0	0.75 ± 0.67	0.44 ± 0.28	0.24 ± 0.53
12	1.15 ± 2.39	2.38 ± 1.18	0.0 ± 0.0	1.33 ± 0.79	0.61 ± 0.51	0.0 ± 0.0	0.81 ± 0.62	0.48 ± 0.26	0.27 ± 0.51
15	1.15 ± 2.39	2.38 ± 1.18	0.0 ± 0.0	1.33 ± 0.79	0.61 ± 0.51	0.0 ± 0.0	0.81 ± 0.62	0.48 ± 0.26	0.27 ± 0.51

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

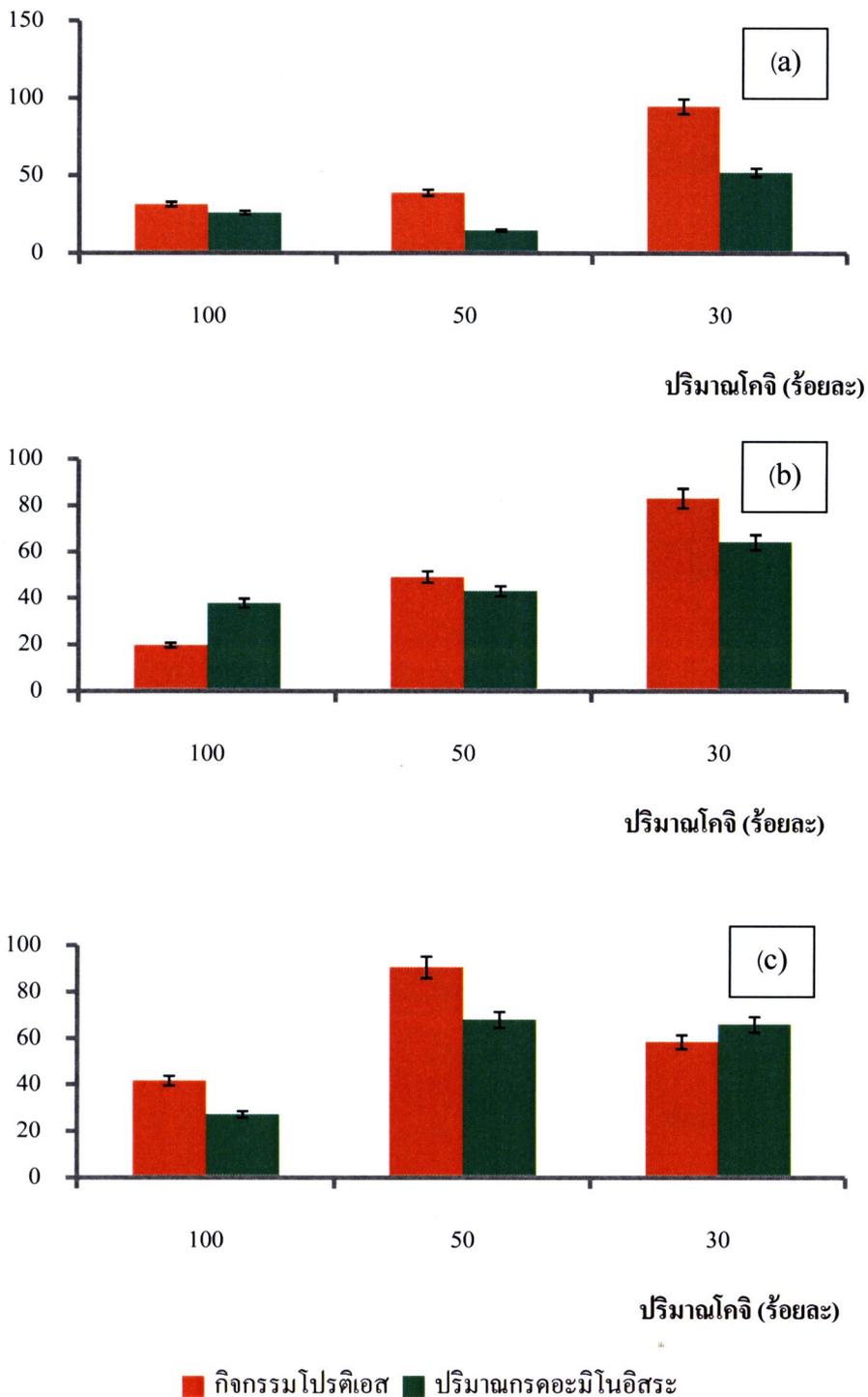
**ตาราง 12** ชนิดอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยวที่ผ่านการต้มในเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ต้มนาน 20 นาที			ต้มนาน 30 นาที			ต้มนาน 40 นาที		
	ปริมาณโคจิ (ร้อยละ)			ปริมาณโคจิ (ร้อยละ)			ปริมาณโคจิ (ร้อยละ)		
	100	50	30	100	50	30	100	50	30
0	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	A	B	C	A	B	C	A	B	C
6	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C
9	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C
12	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C
15	A, B	B	C	A, B	B	C	A, B	B	C

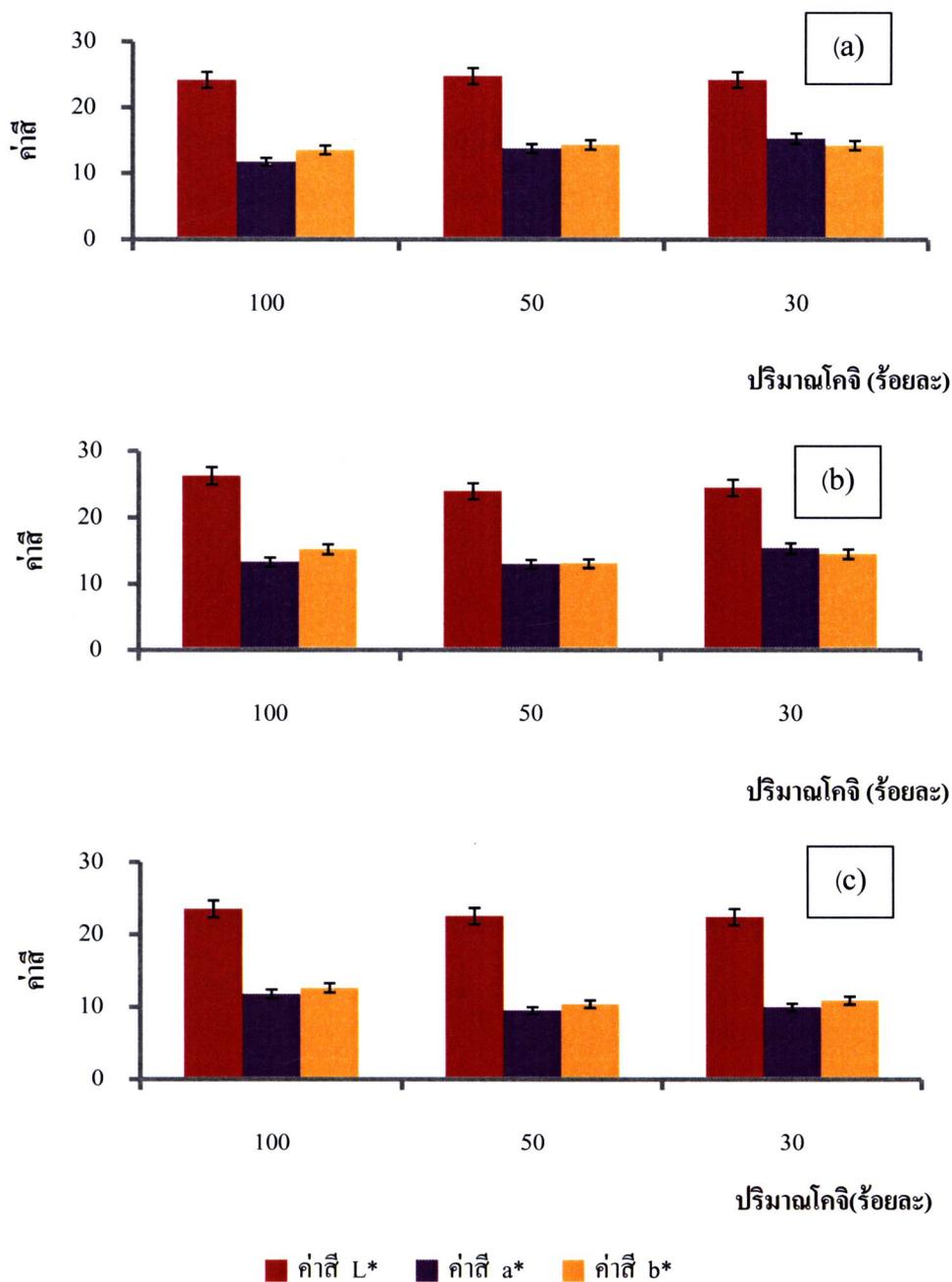
หมายเหตุ: A = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม

B = อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นแข็ง

C = อนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็ก ๆ



ภาพ 27 กิจกรรมโปรตีนและปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวอายุ 8 สัปดาห์ที่ผ่านการต้มให้เดือดแล้วเติมน้ำสุก: ต้มนาน 20 นาที (a) ต้มนาน 30 นาที (b) และต้มนาน 40 นาที (c)



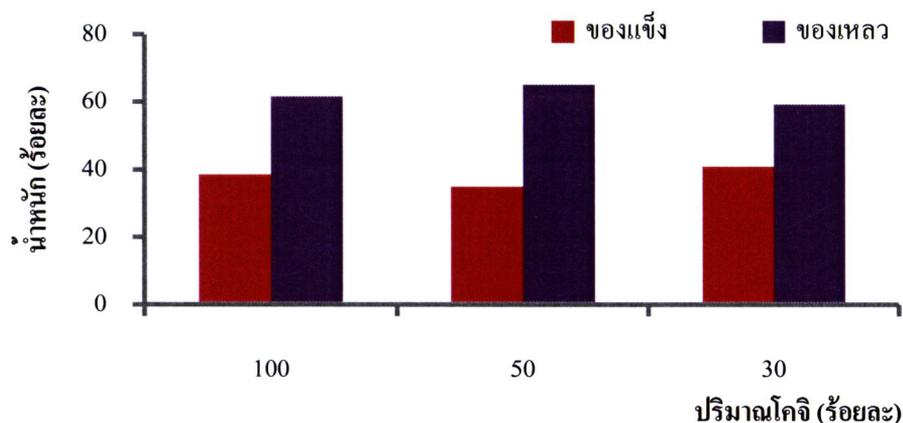
ภาพ 28 ค่าสีในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว: ต้มนาน 20 นาที (a) ต้มนาน 30 นาที (b) และ ต้มนาน 40 นาที (c)

ค่าสี L\* a\* และ b\* ของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว ต้มนาน 20 นาที (ภาพ 28a) พบว่า ค่า L\* สูงสุด 24.20 24.81 และ 24.26 ตามลำดับ ต้มนาน 30 นาที (ภาพ 28b) ค่า a\* สูงสุด 11.79 13.79 และ ต้มนาน 40 นาที (ภาพ 28c) 15.34 ตามลำดับและ ค่า b\* สูงสุด 13.57 14.39 และ 14.31 ซึ่งค่าสี L\* a\* และ b\* ทั้งสามพารามิเตอร์ คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### 3.9 ผลของสัดส่วนของแข็งและของเหลวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวต่อการเกิด

#### อนุภาคสีขาว

การศึกษาสัดส่วนของของแข็งและของเหลวของเต้าเจี้ยว พบว่า เต้าเจี้ยวที่ปริมาณที่มีสัดส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่แตกต่างกัน (ภาพ 29) โดยเต้าเจี้ยวแต่ละที่ปริมาณที่มีลักษณะค่อนข้างข้นเล็กน้อยมีการแบ่งแยกชั้นของสัดส่วนของของแข็งและของเหลว ที่ใกล้เคียงกัน กับผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวตามท้องตลาด ซึ่งปริมาณของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 39.69 37.21 และ 33.17 ปริมาณของเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 60.31 62.79 และ 66.83 นอกจากนี้ยังมีข้อมูลของยูทอร์นาและจารุณี (2541) กล่าวว่า การที่ตกผลึกอาจเนื่องมาจากกระบวนการทำเต้าเจี้ยวที่มีลักษณะข้นและการเตรียมวัตถุดิบที่มีการนึ่งถั่วเหลืองที่ใช้เวลานานและความร้อนสูงเกินไป จนเมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะละเอียด



ภาพ 29 สัดส่วนของแข็งและของเหลวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าเจี้ยวที่ผลิตได้ โดยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ranking for preference พบว่า ผลของการยอมรับของผู้ทดสอบต่อเต้าเจี้ยวทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) พบว่า โคจปริมาณร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปริมาณโคจร้อยละ 100 50 และ 30 ตามลำดับ (ตาราง 13-14)

ตาราง 13 จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนเรียงตามลำดับความชอบสำหรับเต้าเจี้ยวจำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณ โคลจิที่ใช้ (ร้อยละ)	ระดับความชอบ		
	สเกล 3 ระดับ		
	1	2	3
100	54	34	12
50	28	42	30
30	12	30	45

หมายเหตุ : สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ตาราง 14 ผลสรุปของการเรียงลำดับความชอบผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว จำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณ โคลจิ (ร้อยละ)	สเกล 3 ระดับ	
	ผลรวม	ลำดับ
100	54 <sup>a</sup>	1
50	28 <sup>b</sup>	2
30	12 <sup>b</sup>	3

หมายเหตุ : <sup>a,b</sup> คือ มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแนวสดมภ์

สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

#### 4. อนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

##### 4.1 คุณลักษณะและสัดส่วนของแข็งและของเหลวของเต้าเจี้ยว

นำตัวอย่างเต้าเจี้ยวที่จำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 10 ยี่ห้อ มาสังเกตลักษณะปรากฏ วิเคราะห์จำนวนอนุภาคสีขาว และปริมาณของแข็งและของเหลวต่อบรรจุภัณฑ์ พบว่าเต้าเจี้ยวแต่ละยี่ห้อจะมีลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน 2 ประการ คือ เต้าเจี้ยวที่มีเมล็ดถั่วกระจายตัวทั่วทั้งบรรจุภัณฑ์ มีลักษณะขึ้นเนื่องจากส่วนที่เป็นของเหลวมีน้อย และมีการใช้แป้งเป็นส่วนผสมมาก และอีกลักษณะคือเมล็ดถั่วลอยตัวอยู่ในของเหลวที่มีปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากมีแป้งเป็นส่วนประกอบน้อยกว่า (ตาราง 15)

ตาราง 15 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

ตัวอย่าง เต้าเจี้ยว	ลักษณะปรากฏ
ง่วนเซียง	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืด เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวเล็กน้อย
เด็กอ้วน	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืดมากเมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวน้อยมาก
เด็กสมบูรณ์	เนื้อเต้าเจี้ยวลอยอยู่ด้านบนประมาณ $\frac{1}{2}$ ของของเหลวเมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวมาก
UFC	เมื่อดัวเหลืองลอยด้านบนมีส่วนของของเหลวประมาณ $\frac{1}{2}$ เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวเล็กน้อย
ปักซี	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืด เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวเล็กน้อย
โลตัส	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืด เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวเล็กน้อย
เลมอนฟาร์ม	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืดมาก เมื่อเขย่าพบว่าเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวมาก
ศูนย์วิจัยพีช ไร	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืด เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวเล็กน้อย
ครัวทอง	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืดมาก เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวน้อยมาก
ซ็อนทอง	เนื้อเต้าเจี้ยวข้นหนืดมาก เมื่อเขย่าจะเกิดการกระจายตัวของเนื้อเต้าเจี้ยวมาก

#### 4.2 จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของเนื้อเต้าเจี้ยว

การนับจำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวที่ปรากฏบนพื้นผิวของเต้าเจี้ยวในบรรจุภัณฑ์จำนวน 10 ยี่ห้อ พบว่า เต้าเจี้ยวจำนวน 6 ตัวอย่าง มีจำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวปรากฏอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ และ 2 ตัวอย่างในจำนวนดังกล่าว มีจำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวน้อยมากคือต่ำกว่าร้อยละ 3 นอกเหนือจากนั้นพบสูงกว่าร้อยละ 74 (ตาราง 16) ซึ่งการพบอนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวบางยี่ห้อเป็นไปเช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ ยุทธนาและจารุณี (2541) ที่พบจุลชีวจำนวนเล็กน้อยในเต้าเจี้ยวของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง และเต้าเจี้ยวยี่ห้ออื่นที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด สำหรับเต้าเจี้ยวของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พบจุลชีวจำนวน 11 กลุ่ม ต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของเต้าเจี้ยว 1 ขวด ด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า และพบหลังจากการต้มให้เดือดเต้าเจี้ยวแล้วประมาณ 1-2 สัปดาห์ จุลชีวเกาะติดแน่นกับเมล็ดถั่วเหลือง

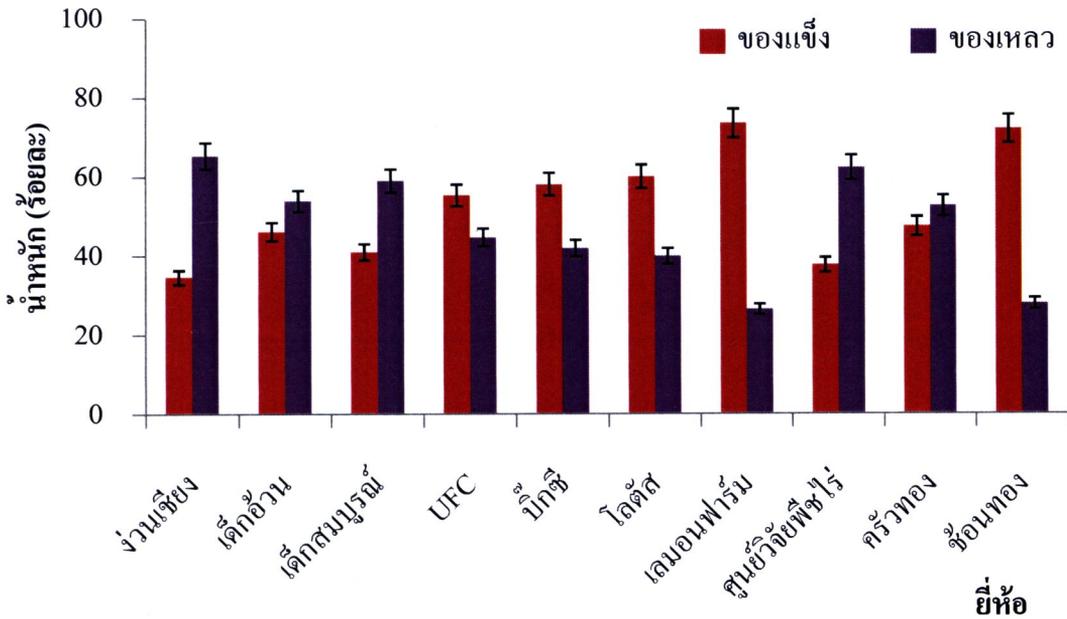
ตาราง 16 จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาวและชนิดอนุภาคสีขาวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

ตัวอย่างเต้าเจี้ยว	จำนวนพื้นที่ที่พบอนุภาคสีขาว (ร้อยละ)
ง่วนเซียง	0.0 ± 0.0
เด็กอ้วน	0.0 ± 0.0
เด็กสมบูรณ์	0.33 ± 2.54
ยูเอฟซี	0.0 ± 0.0
บิกซี	2.97 ± 4.83
โลตัส	0.0 ± 0.0
เลมอนฟาร์ม	86.38 ± 53.32
ศูนย์วิจัยพีซีไร	74.35 ± 54.59
ครัวทอง	84.22 ± 39.24
ซ็อนทอง	84.55 ± 17.91

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.3 สัดส่วนของแข็งและของเหลวของเต้าเจี้ยว

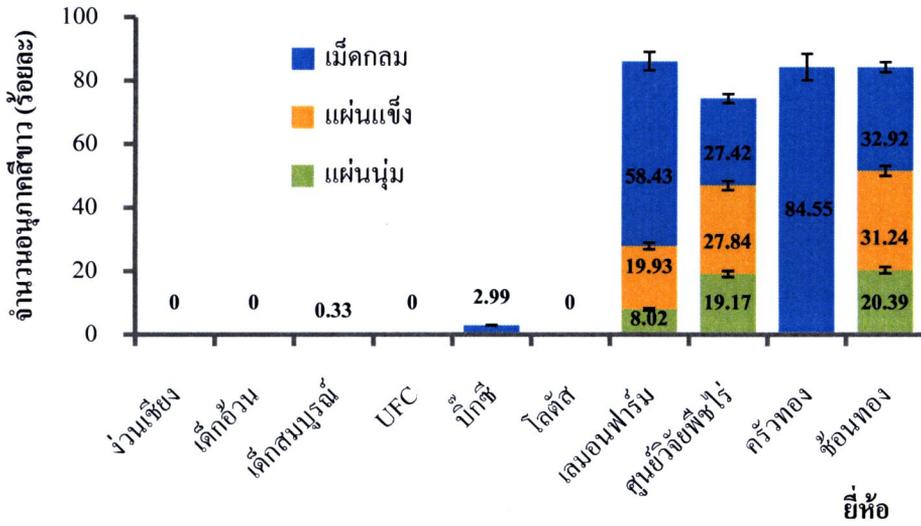
การศึกษาสัดส่วนของแข็งและของเหลวของเต้าเจี้ยว พบว่า เต้าเจี้ยวแต่ละยี่ห้อ มีสัดส่วนของแข็งต่อของเหลวที่แตกต่างกัน (ภาพ 30) โดยเต้าเจี้ยวยี่ห้อ ง่วนเซียง เด็กอ้วน เด็กสมบูรณ์ ศูนย์วิจัยพีซีไรและครัวทอง มีลักษณะค่อนข้างข้นเล็กน้อยมีการแบ่งแยกชั้นของสัดส่วนของแข็งและของเหลว ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 34.68-48.18 และของเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 52.57-65.32 เต้าเจี้ยวยี่ห้อ UFC บิกซี และโลตัส มีลักษณะค่อนข้างข้นมีสัดส่วนของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 55.28-60.04 และของเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 39.96-44.72 ส่วนเต้าเจี้ยวยี่ห้อ เลมอนฟาร์มและซ็อนทอง มีลักษณะค่อนข้างข้นมาก มีสัดส่วนของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 73.42-71.99และของเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 26.58-28.01 นอกจากนี้ยังมีข้อมูลของ ยุทธนาและจารุณี (2541) กล่าวว่า การที่ตกผลึกอาจเนื่องมาจากกระบวนการทำเต้าเจี้ยวที่มีลักษณะข้นและการเตรียมวัตถุดิบที่มีการนึ่งถั่วเหลืองที่ใช้เวลานานและความร้อนสูงเกินไป จนเมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะและ



ภาพ 30 สัดส่วนของแข็งและของเหลวในผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว

#### 4.4 ชนิดและปริมาณของอนุภาคสีขาว

อนุภาคทั้ง 3 ชนิดถูกพบในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นกับยี่ห้อของเต้าเจี้ยวที่นำมาศึกษา โดยพบว่า เต้าเจี้ยวยี่ห้องามเวียง เด็กอ้วน UFC และ โลตัส ไม่พบอนุภาคสีขาวเลย ส่วนยี่ห้อเด็กสมบูรณ์ พบน้อยมากประมาณร้อยละ 0.33 ในขณะที่ยี่ห้อบิ๊กซีพบแต่อนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็กๆ ร้อยละ 2.99 ยี่ห้อเลมอนฟาร์ม ศูนย์วิจัย และช้อนทอง พบอนุภาคสีขาวทั้ง 3 ชนิด แต่ยี่ห้อเลมอนฟาร์ม และช้อนทอง พบอนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็กๆ มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 58.43 และ 32.92 ตามลำดับ สำหรับยี่ห้อครัวทองพบอนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็กๆ แต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าเท่ากับร้อยละ 84.55 (ภาพ 31)

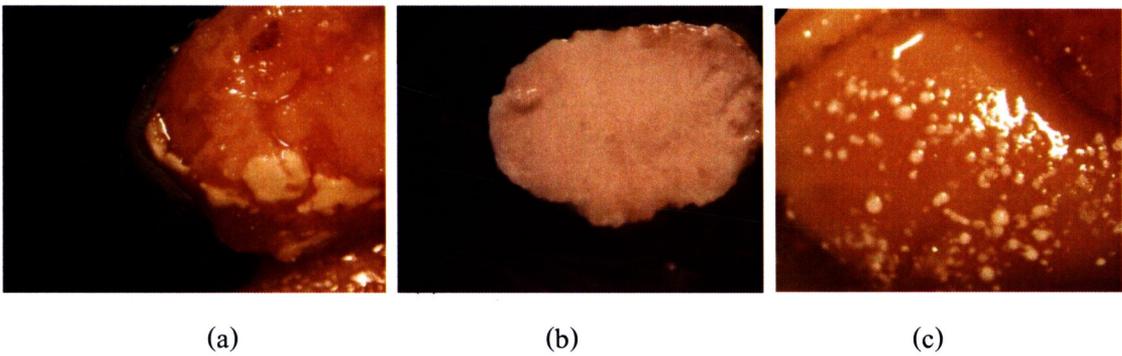


ภาพ 31 สัดส่วนของอนุภาคสีขาวชนิดต่างๆ ที่พบในตัวอย่างเต้าเจี้ยวที่จำหน่ายในท้องตลาด

### 5. การระบุชนิดของอนุภาคสีขาว

#### 5.1 โครงสร้างทางกายภาพของอนุภาคสีขาว

นำอนุภาคสีขาวจากผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่หมักโดยใช้ปริมาณ โคจิร้อยละ 100 50 และ 30 (ภาพ 32) และเต้าเจี้ยวที่วางจำหน่ายท้องตลาดมาศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยตาเปล่า และกล้องจุลทรรศน์ชนิด 3 มิติ พบว่า อนุภาคสีขาวทั้งหมดมีลักษณะที่แตกต่างกันที่เด่นชัด 3 รูปแบบ คือ แบบแผ่นนุ่ม แผ่นแข็ง และเม็ดเล็กๆ อนุภาคสีขาวแบบแผ่นแข็ง และเม็ดเล็กๆ มักเกาะติดแน่นกับผิวถั่วเหลือง หรือพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ ปริมาณหรือสัดส่วนของอนุภาคสีขาวชนิดต่างๆ ที่พบมีความแตกต่างกัน



ภาพ 32 อนุภาคสีขาวของผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวปริมาณ โคจิร้อยละ 100 50 และ 30 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด 3 มิติ (20X): แบบแผ่นนุ่ม (a), แบบแผ่นแข็ง (b) และแบบเม็ดเล็กๆ (c)

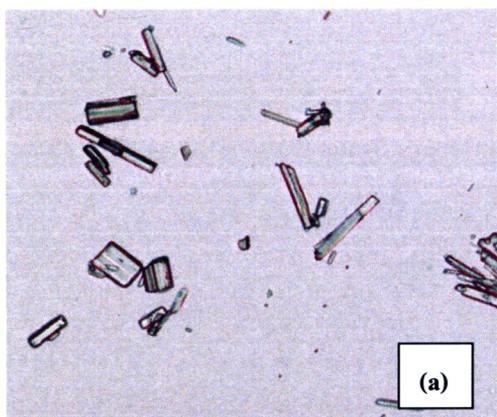


(a)

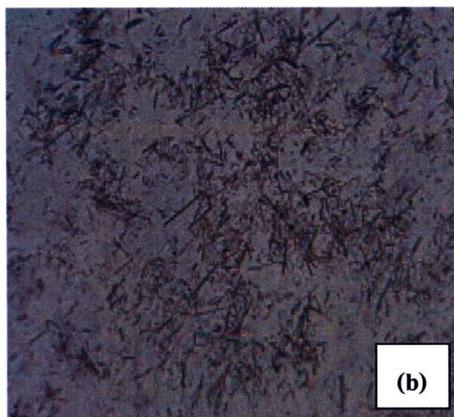
(b)

(c)

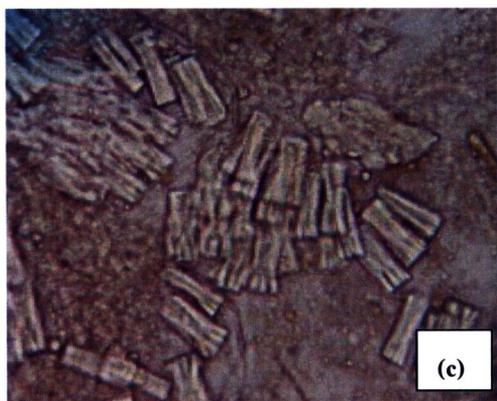
ภาพ 33 อนุภาคสีขาวของเต้าเจี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด 3 มิติ (20X): แบบแผ่นนุ่ม (a) แบบแผ่นแข็ง (b) และแบบเม็ดเล็กๆ (c)



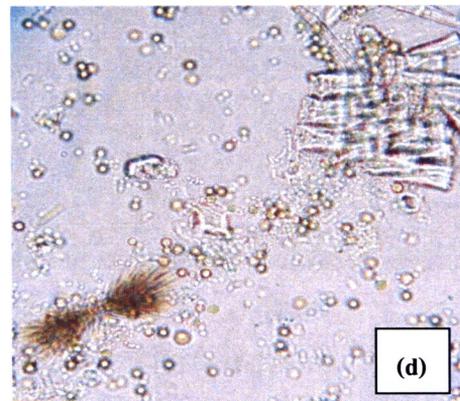
(a)



(b)



(c)

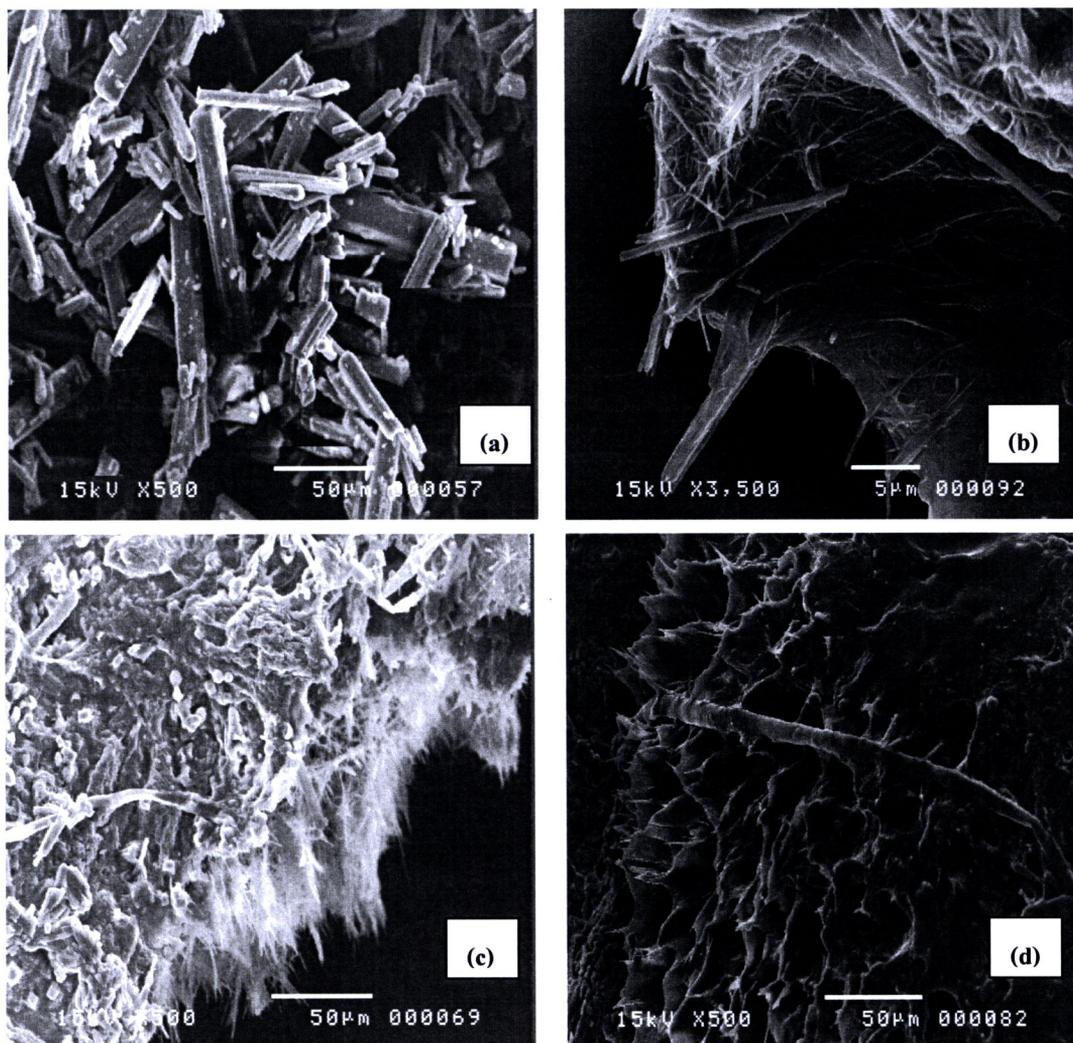


(d)

ภาพ 34 ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์และอนุภาคสีขาวชนิดต่างๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (40X): ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ (a) แบบแผ่นนุ่ม (b) แบบแผ่นแข็ง (c) และแบบเม็ดเล็กๆ (d)

โครงสร้างอนุภาคสีขาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (40X) พบว่าอนุภาคสีขาวแบบแผ่นนุ่ม จะประกอบด้วยผลึกไอสรูปคล้ายเข็มพอมยาวกระจายตัวอยู่ทั่วไป ส่วนอนุภาคสีขาวแบบ

แผ่นแข็ง จะประกอบด้วยผลึกใสรูปท่อนสั้นๆ รวมตัวกันอยู่ และสำหรับอนุภาคสีขาวชนิดเม็ดเล็กๆ จะประกอบด้วยผลึกใสคล้ายเข็มผอมยาว แต่จะรวมตัวกันเป็นมัดๆ อย่างแน่นหนา (ภาพ 34) การพบอนุภาคสีขาวที่แตกต่างกัน 3 ชนิด อาจเนื่องมาจากวิธีการผลิตเต้าเจี้ยวของแต่ละแหล่งผลิตที่ไม่เหมือนกัน



ภาพ 35 ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์และอนุภาคสีขาวชนิดต่างๆภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด: ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ (500X) (a), แบบแผ่นนุ่ม(3500X) (b), แบบแผ่นแข็ง (3500X) (c) และแบบเม็ดเล็กๆ (500X) (d)

โครงสร้างอนุภาคสีขาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) พบว่า ขนาดของผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ (กว้างxยาว) เท่ากับ 10.34-13.22 x 35.06-127.59 ไมครอน ผลึกของอนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม (กว้างxยาว) เท่ากับ 0.25-1.17 x 6.67-13.33 ไมครอน แผ่นแข็ง (กว้างxยาว) เท่ากับ 11.67-12.50 x 36.67-62.50 ไมครอน และเม็ดเล็ก ๆ (กว้างxยาว) เท่ากับ 0.75-1.08 x 0.67-12.08 ไมครอน (ภาพ 35) ลักษณะของผลึกที่พบคล้ายคลึงกับผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ และมีลักษณะใกล้เคียงกับผลึกที่พบในรายงานของบุทธานและจารุณี (2541) ที่ระบุว่า พบ ผลึกรูปเข็ม (raphide crystal หรือ finne silky needke) มีขนาดต่อแ่งยาว 25.2-51.5 ไมครอน กว้าง 2.0-2.5 ไมครอน ผลึกชนิดนี้พบเกาะติดแน่นกับเมล็ดถั่วเหลือง และมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนุ่ม และผลึกรูปปริซึมหรือแท่งหรือเข็มอ้วน (prismatic crystal หรือ stout needle) ผลึกชนิดนี้เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง มีขนาดต่อแ่งยาว 11.5-12.7 ไมครอน กว้าง 2.7-3.1 ไมครอน ซึ่งพบในเต้าเจี้ยวของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง และเต้าเจี้ยวยี่ห้ออื่นที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด

## 5.2 การทดสอบเป้งในอนุภาคสีขาว

นำอนุภาคสีขาวทุกชนิดมาทดสอบเป้งด้วยสารละลายไอโอดีน พบว่า อนุภาคสีขาวทั้ง 3 แบบ คือ แบบแผ่นแข็ง แบบแผ่นนุ่ม และแบบเม็ดเล็ก ๆ ไม่ทำให้เป้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินหรือม่วงซึ่งหมายถึงการไม่มีเป้งเป็นส่วนประกอบ

## ตาราง 17 ผลการทดสอบเป้งของอนุภาคสีขาว

อนุภาคสีขาว	ผลทดสอบเป้ง
แบบแผ่นนุ่ม	ไม่พบ
แบบแผ่นแข็ง	ไม่พบ
แบบเม็ดเล็ก ๆ	ไม่พบ

## 5.3 การทดสอบการละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

นำอนุภาคสีขาวในเต้าเจี้ยวที่กำหนดในท้องตลาด และตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวปริมาณ โคจิริ้อยละ 100 50 และ 30 ไปทดสอบการละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1N HCl) ผลจากการทดลองในตาราง 4 พบว่า ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ และอนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม แผ่นแข็ง และเม็ดเล็ก ๆ ละลายได้ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ภายในระยะเวลา 3 15 15 และ 9 นาทีตามลำดับ ณ อุณหภูมิห้อง ยกเว้นผลึกชนิดแผ่นนุ่มที่พบว่ายังมีเศษเหลืออยู่เล็กน้อย

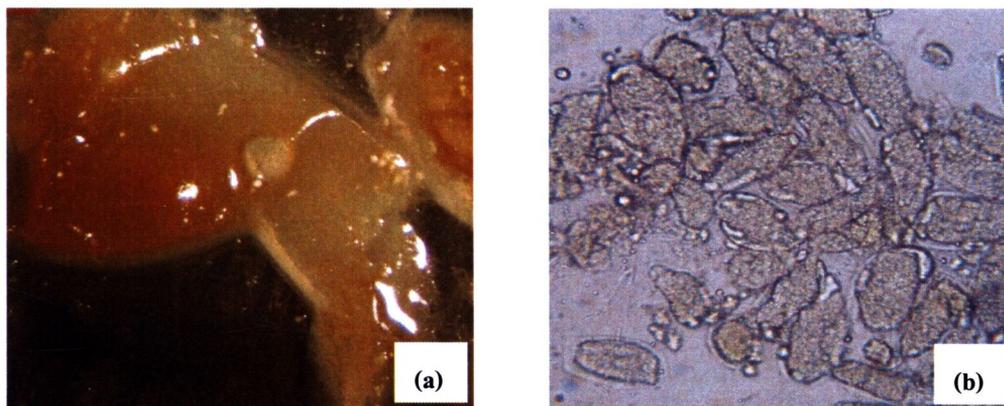
ในน้ำเดือดพบว่า ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ ละลายได้หมดภายใน 3 นาที อนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม ละลายได้เกือบหมดใน 15 นาที ชนิดเม็ดเล็กๆ ละลายได้หมดภายใน 9 นาที และแผ่นแข็งละลายได้หมดภายใน 15 นาที แต่ตัวอย่างทั้งหมดไม่ละลายในน้ำบริสุทธิ์ภายในระยะเวลา 15 นาที (ตาราง 18) ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Flegel (1981); ยุกธนาและจารุณี (2541) ที่พบว่า ผลึกสีขาวที่พบในเต้าเจี้ยว ละลายได้ดีใน 1M HCl ที่อุณหภูมิห้อง

ตาราง 18 ความสามารถในการละลายของอนุภาคสีขาว

สิ่งทดลอง	ตัวทำละลาย	ระยะเวลา (นาที)		
		3	9	15
ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์	น้ำบริสุทธิ์	-	-	-
	น้ำเดือด	+++		
	1N HCl	+++		
อนุภาคสีขาวแบบแผ่นนุ่ม	น้ำบริสุทธิ์	-	-	-
	น้ำเดือด	+	+	++
	1N HCl	+	+	++
อนุภาคสีขาวแบบแผ่นแข็ง	น้ำบริสุทธิ์	-	-	-
	น้ำเดือด	+	+	+++
	1N HCl	+	+	+++
อนุภาคสีขาวแบบเม็ดเล็กๆ	น้ำบริสุทธิ์	-	-	-
	น้ำเดือด	+	+++	
	1N HCl	+	+++	

หมายเหตุ: - = ไม่พบ  
 + = พบเล็กน้อย  
 ++ = พบมาก  
 +++ = พบมาก

เมื่อทำการกรองแยกเศษที่เหลือจากการละลายของอนุภาคสีขาวชนิดแผ่นนุ่ม ไปส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า เป็นเศษเปลือกหุ้มเมล็ดถั่ว (ภาพ 36 )



ภาพ 36 เศษชิ้นส่วนเปลือกถั่วเหลือภายใต้อ่างกล้องจุลทรรศน์ 3 มิติ (a) และ ภายใต้อ่างกล้องจุลทรรศน์ (40X) (b)

#### 5.4 การทดสอบการวัดค่าดูดกลืนแสงส่องกราด

นำผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ และ อนุภาคสีขาวทั้งสามชนิด คือ แผ่นนุ่ม แผ่นแข็ง และเม็ดเล็ก ๆ ละลาย 1N HCl แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงแบบส่องกราด จากตาราง 5 พบว่าผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์ มีค่าดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) เท่ากับ 270 นาโนเมตร ในขณะที่อนุภาคสีขาวทั้งสามชนิดมีค่าดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) เท่ากับ 229 247 และ 259 นาโนเมตร ตามลำดับ (ตาราง 19) ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) ในช่วงเดียวกันกับไทโรซีนบริสุทธิ์ และสอดคล้องกับรายงานของ ยุทธนาและจารุณี (2541) ที่พบว่าผลึกในเต้าเจี้ยวมีอยู่ 2 ชนิด คือ ผลึกรูปเข็มยาว และผลึกเข็มสั้น ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) 2 ค่า คือ 223 และ 275 ตามลำดับ และสันนิษฐานว่าเป็นผลึกไทโรซีน

ตาราง 19 ค่าดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) ของอนุภาคสีขาว ทดสอบการวัดค่าดูดกลืนแสงสูงสุด

สิ่งทดลอง	ค่าดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)
ผลึกไทโรซีนบริสุทธิ์	$270 \pm 0.21$
อนุภาคสีขาวแผ่นนุ่ม	$229 \pm 0.51$
อนุภาคสีขาวแผ่นแข็ง	$247 \pm 0.42$
อนุภาคสีขาวเม็ดเล็ก ๆ	$259 \pm 0.37$

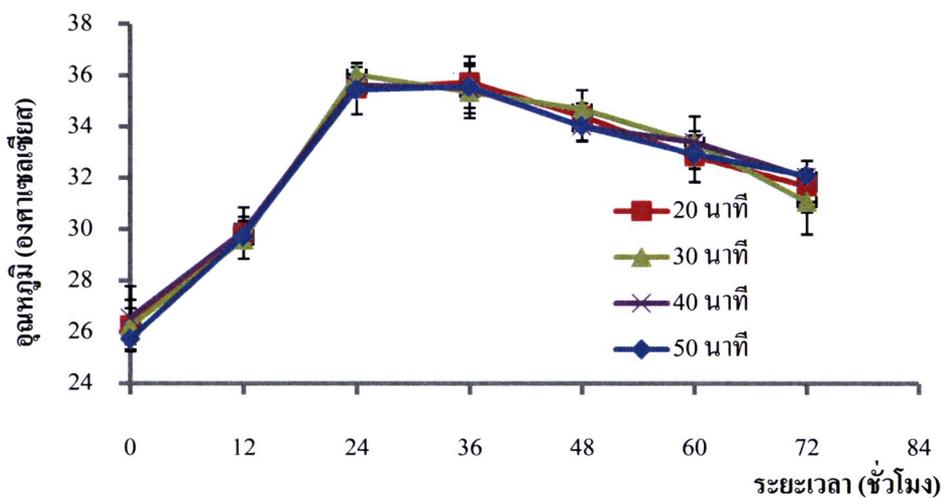
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## ตอนที่ 2 การผลิตเต้าเจี้ยวรสเค็มน้อย

### 1. การเตรียมโคจิข้าวเหนียว

#### 1.1 ระยะเวลาในการนึ่งข้าวเหนียวที่มีผลต่อสมบัติโคจิ

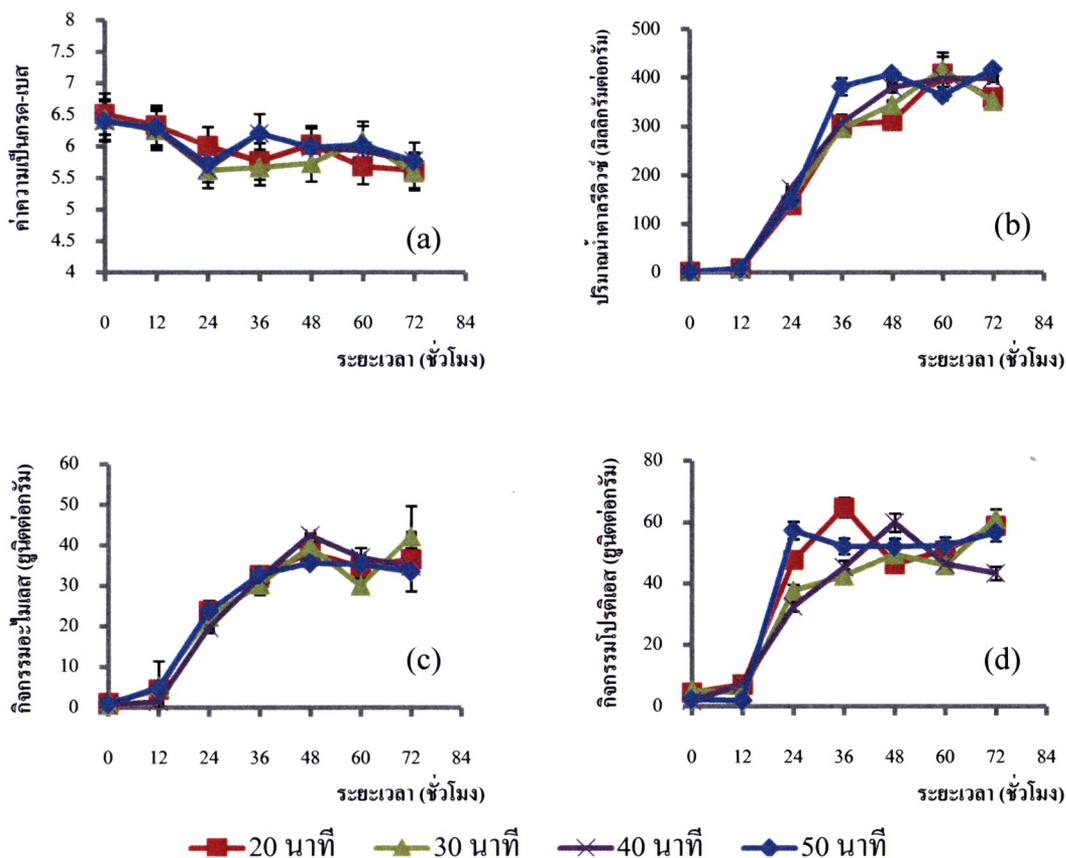
จากการนำข้าวเหนียวไปนึ่งให้สุกนาน 20 30 40 และ 50 นาที รวม 4 ทริทเมนต์ แล้วคลุกผงสปอร์ของรา *A. oryzae* M-01 ปริมาณร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักข้าวเหนียวแห้ง พบว่าเรามีรูปแบบการเจริญที่คล้ายคลึงกันในทุกทริทเมนต์ โดยที่สปอร์ราเริ่มงอกเส้นใยจนมีขนาดที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าภายใน 12 ชั่วโมง และดำเนินกิจกรรมการเจริญอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 24 เส้นใยของราจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนเห็นเป็นปุยสีขาวปกคลุมเมล็ดข้าวเกือบจะทั้งหมด เส้นใยจะเจริญและเริ่มมีอายุมากขึ้นจนสร้างสปอร์ใหม่ขึ้นมา ทำให้มองเห็นเป็นหย่อมสีเหลือง กระจายตัวอยู่ในกองโคจิในชั่วโมงที่ 36 หลังจากนั้นการสร้างสปอร์ยังคงดำเนินต่อไปจนกระทั่งสิ้นสุดการหมักในช่วงเวลาดังกล่าว สปอร์บางส่วนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง และเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มทั้งหมดในที่สุด ซึ่งหมายถึงรามีอายุแก่เต็มที่แล้ว การเจริญของราส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโคจิ



ภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในโคจิที่ใช้ข้าวเหนียวที่ผ่านการนึ่งในเวลาที่แตกต่างกัน

ซึ่งมีผลจากการทดลอง (ภาพ 37) พบว่า โคจิทุกทริทเมนต์ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามระยะเวลาการบ่มโคจิในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 36.03 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองโคจิจึงเริ่มลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกองโคจิเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมการเจริญของรา *A. oryzae* M-01 ดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น ในช่วงเวลาที่รากำลังเจริญ จะมีการผลิตความร้อนออกมา อันสืบเนื่องมาจากกระบวนการหายใจแบบใช้อากาศ

อุณหภูมิตรงบริเวณผิวหนังหน้าแผ่น โคลิจจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทให้แก่บรรยากาศภายนอกได้โดยตรง แต่ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิภายในแผ่น โคลิจกลับมีค่าสูงขึ้นกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก เนื่องจากความร้อนภายในแผ่น โคลิจเคลื่อนที่ออกสู่บริเวณพื้นผิวได้ลำบากกว่า ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้อุณหภูมิภายในแผ่น โคลิจสูงขึ้นโดยลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญของรา



ภาพ 38 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโคลิจที่ใส่ที่ใส่ข้าวเหนียวที่ผ่านการนึ่งในเวลาที่แตกต่างกัน: ค่าความเป็นกรด-เบส (a) ปริมาณน้ำตาลรีดิซ (b) กิจกรรมอะไมเลส (c) และ กิจกรรมโปรตีเอส (d)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโคลิจ ผลดังภาพ 1 พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสของโคลิจที่หมักจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกนานตั้งแต่ 30 นาที เป็นต้นไป ลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.62 5.64 และ 5.72 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเหนียวหนึ่งนาน 20 นาที ค่าต่ำสุดที่พบเท่ากับ 5.76 จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 36 ชั่วโมง (ภาพ 38a) การ

ลดลงของค่าความเป็นกรด-เบสดังกล่าว อาจเป็นผลเนื่องมาจากกรดโคจิก (kojic acid) ที่รา *A. oryzae* M-01 ผลิตขึ้นในระหว่างการเจริญ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของโคจิก จะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการหมักที่ 0-12 ชั่วโมง สำหรับการทดลองทุกทรีทเมนต์ เนื่องจากราเริ่มมีการเจริญและสร้างเอนไซม์อะไมเลส ออกมาอย่างช้าๆ ให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กกลง และน้ำตาลรีดิวซ์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าสูงสุดที่ 408.2 416.85 และ 398.39 มิลลิกรัมต่อกรัม ในช่วงโม่งที่ 60 ของการบ่มโคจิก สำหรับระยะเวลาการนึ่งข้าวเหนียวนาน 20 30 และ 40 นาที ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาการนึ่งข้าวเหนียวนาน 50 นาที จะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดเท่ากับ 417.38 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อสิ้นสุดการหมักโคจิกนาน 72 ชั่วโมง(ภาพ 38b)

กิจกรรมอะไมเลสของโคจิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบ เนื่องจากราสร้างอะไมเลสเพื่อย่อยสลายแป้งที่เป็นสับสเตรท ให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อใช้ในกิจกรรมการเจริญ โดยกิจกรรมอะไมเลสมีค่าสูงสุดเท่ากับ 38.59 42.64 และ 36.49 ยูนิต์ต่อกรัม ในระยะเวลาการบ่มโคจิกนาน 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับข้าวเหนียวที่นึ่งนาน 20 40 และ 50 นาที และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 40.89 ยูนิต์ต่อกรัม สำหรับข้าวเหนียวที่นึ่งนาน 30 นาที (ภาพ 38c) ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Paranthaman (2009) ที่จากการคัดเลือกราที่เหมาะสมในการทำโคจิกข้าว พบว่ารา *A. oryzae* มีกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสสูงถึง 33.47 ยูนิต์ต่อกรัม เมื่อเทียบกับราสายพันธุ์อื่น นอกจากนี้คุณสมบัติของโคจิกประมาณ 36 องศาเซลเซียส ยังเหมาะสมต่อการผลิตอะไมเลสอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wood (1998) ที่อ้างว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้รา *A. oryzae* ผลิตอะไมเลสได้ดี

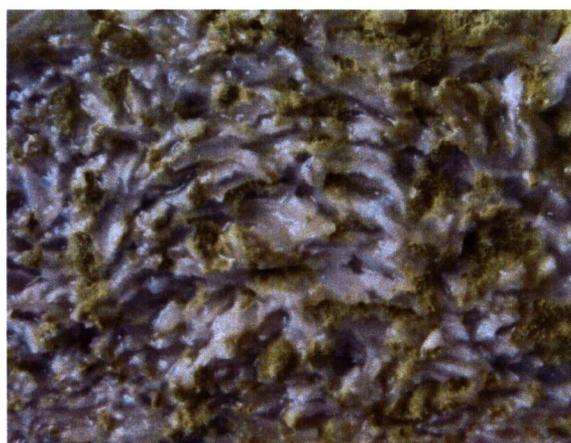
กิจกรรมโปรตีเอสของโคจิกมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับกิจกรรมอะไมเลส โดยกิจกรรมอะไมเลสมีค่าสูงสุดเท่ากับ 64.74 61.11 59.79 และ 57.27 หน่วยต่อกรัม ในระยะเวลาการบ่มโคจิกนาน 36 72 48 และ 24 ชั่วโมง สำหรับข้าวเหนียวที่นึ่งนาน 20 30 40 และ 50 นาที ตามลำดับ (ภาพ 38d) อุณหภูมิของโคจิกยังมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดที่รา ยังคงสามารถสร้างโปรตีเอสได้ดี จากการศึกษาของ Wood (1998) ระบุว่าอุณหภูมิช่วง 20-35 องศาเซลเซียส จะส่งเสริมให้รา *A. oryzae* เกิดการสร้างโปรตีเอสได้ดี กิจกรรมโปรตีเอสที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Paranthaman (2009) ที่กล่าวว่ารา *A. oryzae* ให้กิจกรรมเอนไซม์โปรตีเอสสูงสุดเท่ากับ 67.7 ยูนิต์ต่อกรัม ภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง ที่การบ่ม ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

นำผลการนึ่งข้าวเหนียวที่เวลานาน 40 นาที ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเป็นสภาวะที่อะไมเลสและโปรตีเอสมีค่าสูงที่สุด และภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

## 1.2 ความหนาของข้าวเหนียวที่มีผลต่อสมบัติโคจิ

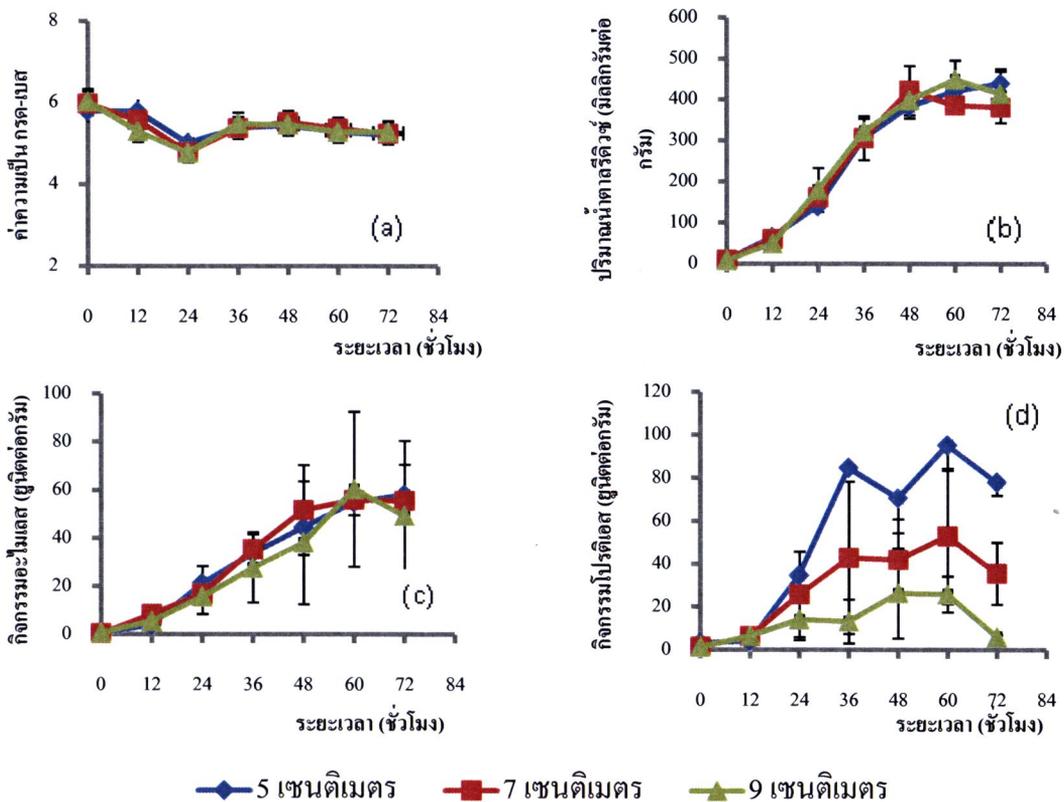
การหมักโคจิที่มีความหนาของข้าวเหนียวที่ระดับ 5 7 และ 9 เซนติเมตร พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในโคจิเป็นไปในลักษณะคล้ายกันทุกทริทเมนต์ คือ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามระยะเวลาการบ่มโคจิในช่วง 24-48 ชั่วโมงแรก อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เมื่อ 36 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 37.25 40.33 และ 41.98 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองโคจิจึงเริ่มลดลง (ภาพ 39) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกองโคจิ เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมการเจริญของรา *A. oryzae* M-01 ดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น ความหนาของโคจิตั้งแต่ 7 เซนติเมตรขึ้นไป จะเป็น อุปสรรคต่อการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ภายใน ทำให้อุณหภูมิของโคจิสูงประมาณ 40-41 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดการปนเปื้อนของราและแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง สำหรับโคจิที่มีความหนา 5 เซนติเมตร การถ่ายเทอุณหภูมิจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่า เนื่องจากระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อนสั้นกว่าความหนาที่ระดับอื่น นอกจากนี้ยังปล่อยให้อากาศได้แทรกตัวอยู่ในบริเวณช่องว่างของข้าวเหนียว ทำให้รา *A. oryzae* M-01 เจริญได้อย่างทั่วถึง

จากรายงาน (Ghildyal et al, 1994; Sangsurasak and Mitchell, 1995; Mitchell et al., 1999) เนื่องจากปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การจัดเรียงตัวของของแข็งภายในเบดค่อนข้างหนาแน่น จึงส่งผลกระทบต่อถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้อย่างยาก บางครั้งอุณหภูมิในถังแพคเบดตรงส่วนบนอาจสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศมากกว่า 20 องศาเซลเซียส (Ashley V.M. et al., 1999) ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลงหรือตายได้ (มณีรัตน์, 2541) เช่น รา *A.oryzae* ต้องการอุณหภูมิในการเจริญประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส (Biesebede R.T. et al., 2002)



ภาพ 39 การเจริญของรา *A. oryzae* M-01 ในโคจิข้าวเหนียวอายุ 72 ชั่วโมง ความหนา 5 เซนติเมตร(ภาพตัดขวาง)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโคจิ พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสของโคจิที่หมักจากข้าวเหนียวลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.00 4.77 และ 4.77 ตามลำดับ (ภาพ 40 a) แล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากนั้น แต่ยังมีค่าต่ำกว่าช่วงเริ่มต้น โดยมีค่าเท่ากับ 5.20 5.23 และ 5.27 ตามลำดับ



ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเต้าเจี้ยวในระหว่างการหมักโมโรมิที่หมักด้วยโคจิข้าวเหนียว ที่มีความหนาแตกต่างกัน: ค่าความเป็นกรด-เบส (a) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (b) กิจกรรมอะไมเลส (c) และกิจกรรมโปรตีเอส (d)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของโคจิ จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมงแรกของการหมัก อัตราการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นไปอย่างรวดเร็วจนกระทั่งชั่วโมงที่ 36 แล้วจึงค่อย ๆ มีค่าลดลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมักที่ชั่วโมงที่ 72 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 438.53 421.15 และ 448.57 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเวลาการหมักผ่านไป 72 48 และ 60 ชั่วโมง สำหรับความหนาของโคจิ เท่ากับ 5 7 และ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 40 b) การ

เปลี่ยนแปลงกิจกรรมอะไมเลสของโคจิทุกทรีทเมนต์เกิดขึ้นใน 12 ชั่วโมงแรก และดำเนินต่อไปจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 58.01 55.47 และ 60.29 หน่วยต่อกรัม เมื่อโคจิมีอายุได้ 72 60 และ 60 ชั่วโมง สำหรับโคจิหนา 5 7 และ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 40c) ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิของโคจิทั้งสองทรีทเมนต์หลังที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส คือมีค่าเท่ากับ 38.08 และ 39.73 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการสร้างอะไมเลสของรา *A. oryzae* (Wood, 1998)

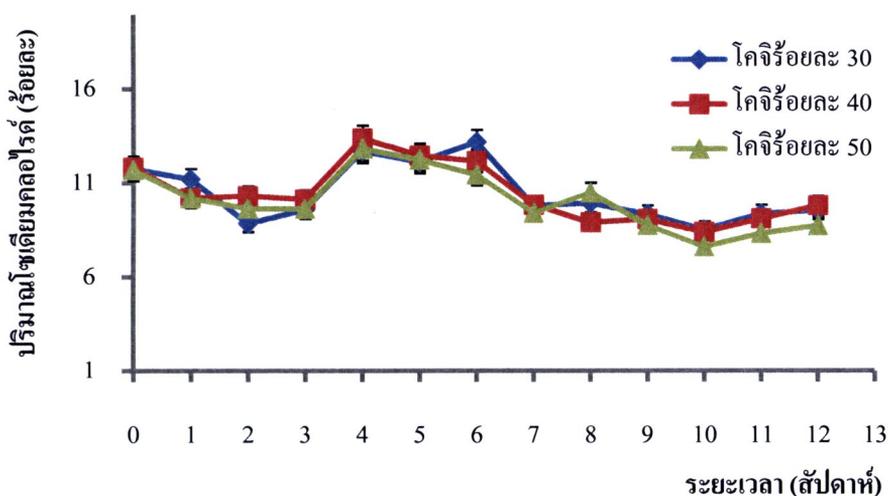
การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมโปรตีเอสของโคจิทุกทรีทเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน 24 ชั่วโมงแรก และดำเนินต่อไปจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 95.06 52.80 และ 26.22 หน่วยต่อกรัม เมื่อโคจิมีอายุได้ 60 60 และ 48 ชั่วโมง สำหรับโคจิหนา 5 7 และ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 40d) การที่โคจิหนา 5 เซนติเมตร ให้ค่ากิจกรรมโปรตีเอสสูงมากกว่าความหนาที่ระดับอื่น อาจเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิของโคจิที่ต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส คือมีค่าเท่ากับ 33.27 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการสร้างโปรตีเอสของรา *A. oryzae* (Wood, 1998)

จากผลการทดลองที่กล่าวมาได้คัดเลือกวิธีการเตรียมโคจิโดยใช้ความหนาของชั้นข้าวเหนียว 5 เซนติเมตร และทำการหมักนาน 60 ชั่วโมง เพื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

## 2. การหมักโมโรมิ

### 2.1 ปริมาณโคจิที่เหมาะสมต่อการหมักโมโรมิ

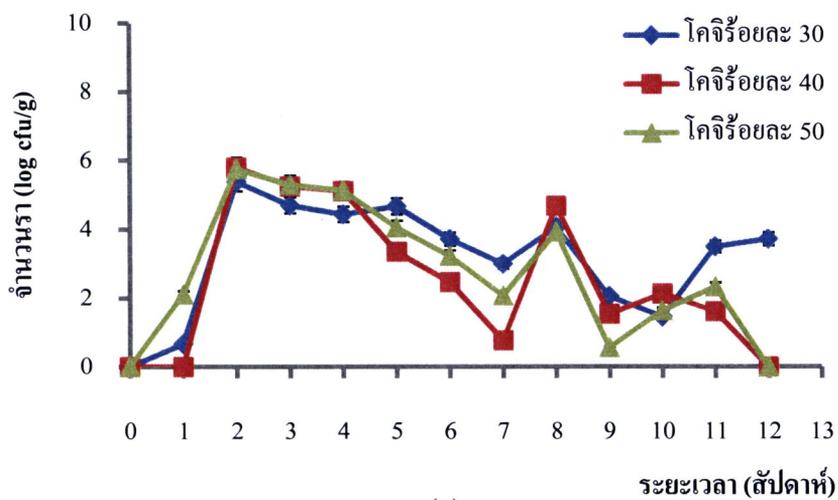
การหมักโคจิผสมกับถั่วเหลืองต้มสุกในสัดส่วนร้อยละ 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 18 บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในช่วงระยะเวลา 1-3 สัปดาห์แรก มีค่าลดลงจากร้อยละ 11 เหลือประมาณร้อยละ 9-10



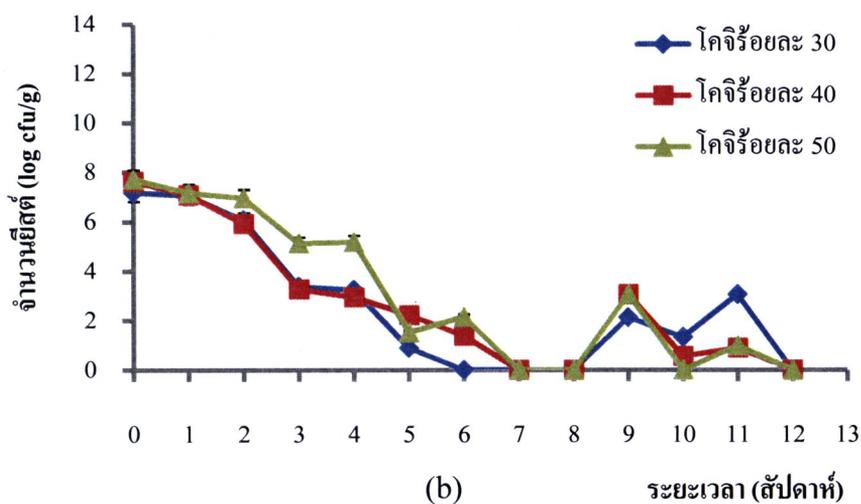
ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลไรรัดในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิข้าวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน

หลังจากนั้นโพลีเอทิลีนไกลคอลไรรัดกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ในสัปดาห์ที่ 4-6 ก่อนที่จะมีค่าลดลงอีกครั้งหนึ่งในช่วงสุดท้ายของการหมักโดยมีค่าเท่ากับ 9.55 9.81 และ 8.74 ตามลำดับ (ภาพ 41)

เนื่องจากการหมักในช่วงแรก ถั่วเหลืองต้มสุกและโคจิได้สูญเสียความชื้นบางส่วนให้กับน้ำเกลือเนื่องจากแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ที่ต่ำกว่า น้ำส่วนที่ถูกดูดซึมออกมาจะทำให้ความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลไรรัดในน้ำเกลือลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และเมื่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังคงดำเนินต่อไป โดยเฉพาะยีสต์ที่ก่อให้เกิดการหมักแอลกอฮอล์ (ภาพ 42b) พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่สัปดาห์แรกของการหมัก (ภาพ 43)

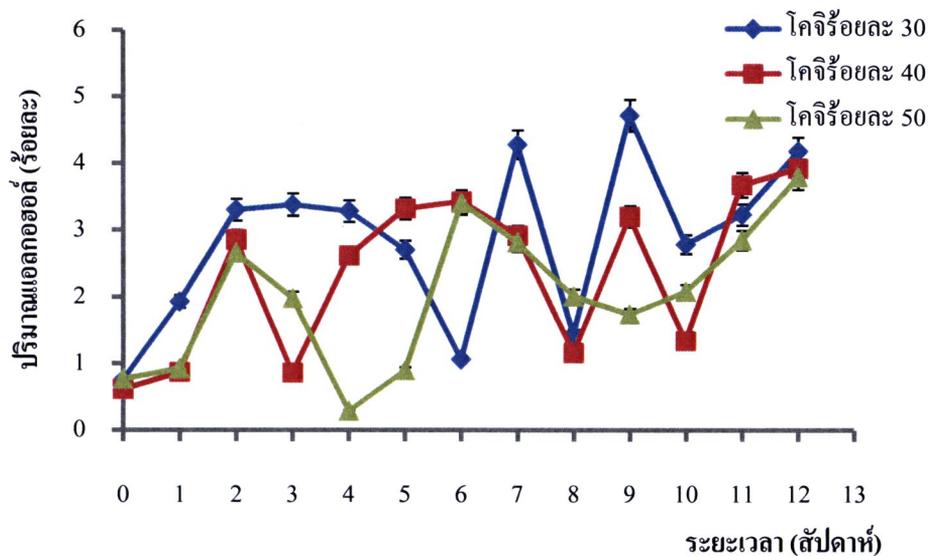


(a)

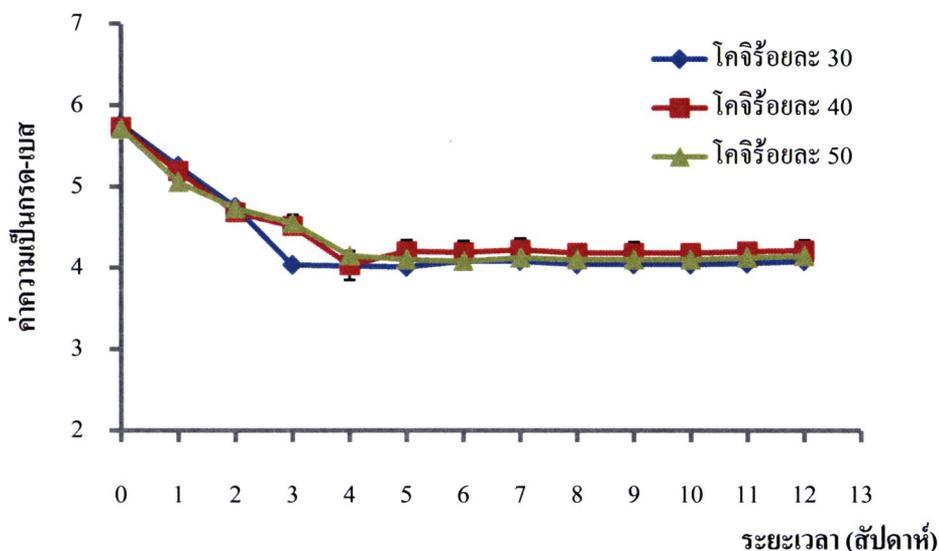


(b)

ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิจ้าวเหนียวใน ปริมาณที่แตกต่างกัน: ยีสต์ (a) และรา (b)



ภาพ 43 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอัลกอฮอล์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวัวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน

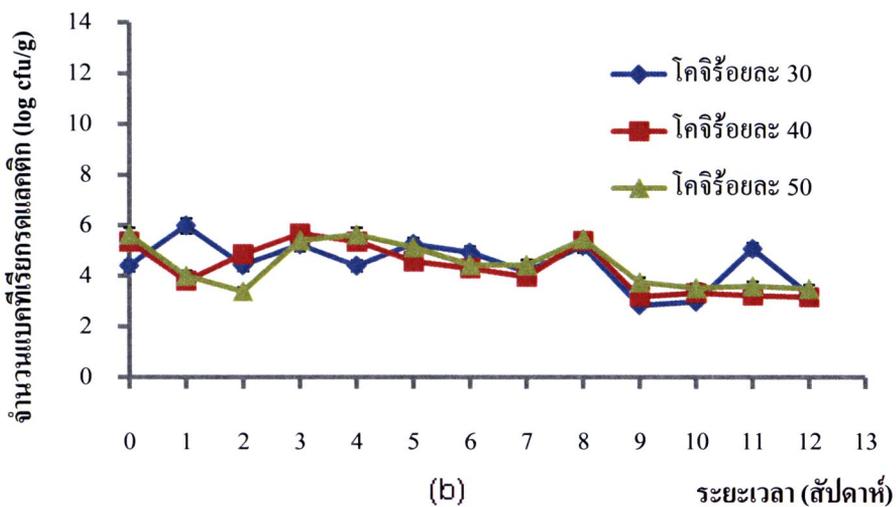
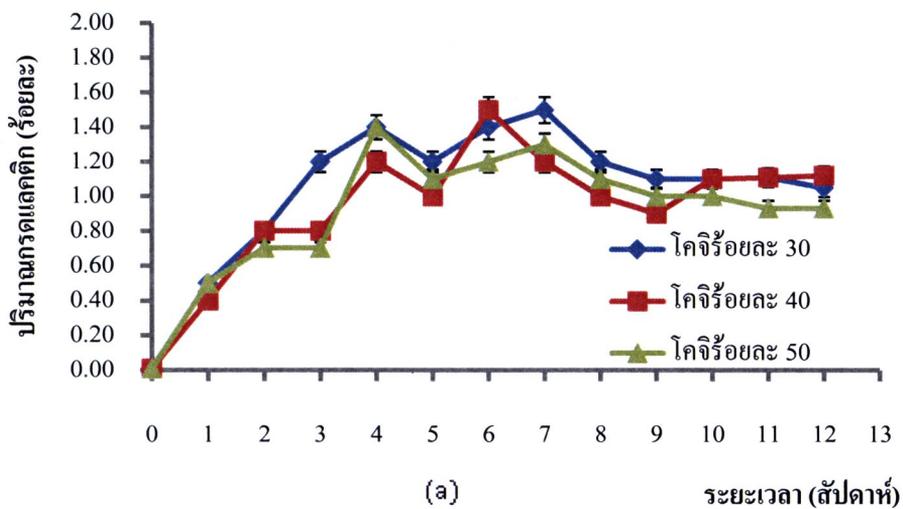


ภาพ 44 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวัวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน

การเกิดอัลกอฮอล์ เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ จึงส่งผลทำให้ยีสต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนจำนวนมาก ซึ่งเพียงพอต่อการผลักดันน้ำบางส่วนในระบบให้ระเหยออกสู่บรรยากาศภายนอก ทำให้โซเดียมคลอไรด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ภาพ 43) หลังจากนั้นโซเดียมคลอไรด์จำนวนหนึ่งในน้ำเกลือจะถูกดูดซึมเข้าสู่

ภายในเมล็ดถั่วเหลืองเป็นส่วนใหญ่ และมีส่วนน้อยที่เข้าซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวเหนียวที่ในขณะนี้กลายเป็นของแข็งกึ่งเหลว

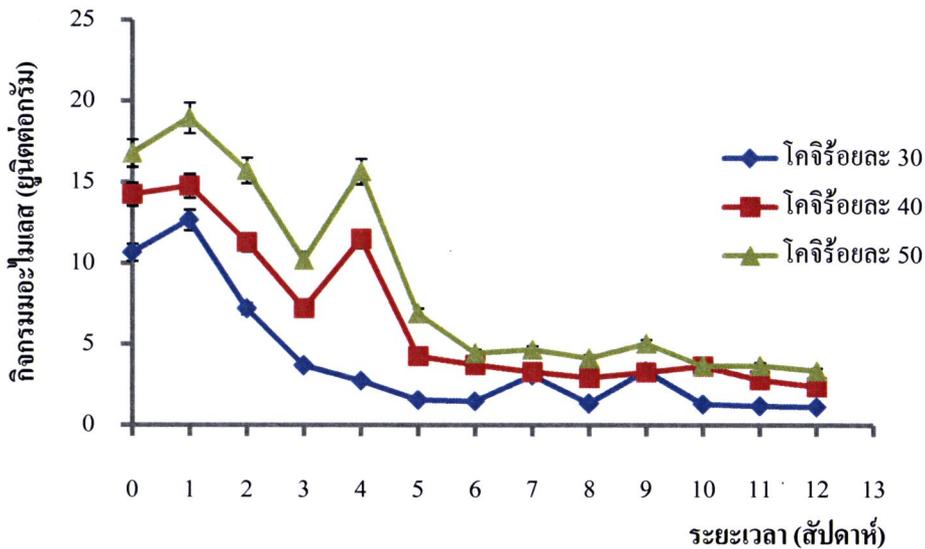
สำหรับเรา พบว่ามีการเจริญที่ลดลงตามลำดับ เนื่องจากสปอร์จำนวนมากไม่สามารถทนความเข้มข้นของน้ำเกลือที่สูงได้ และเจริญได้อย่างลำบากในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลว โดยเฉพาะของเหลวที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ซึ่งแตกต่างจากยีสต์ที่ทนเกลือที่มีการเจริญที่ดีกว่า เนื่องจากเต้าเจี้ยวมีค่าความเป็นกรด-เบสที่ลดลง (ภาพ 44) จึงทำให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์



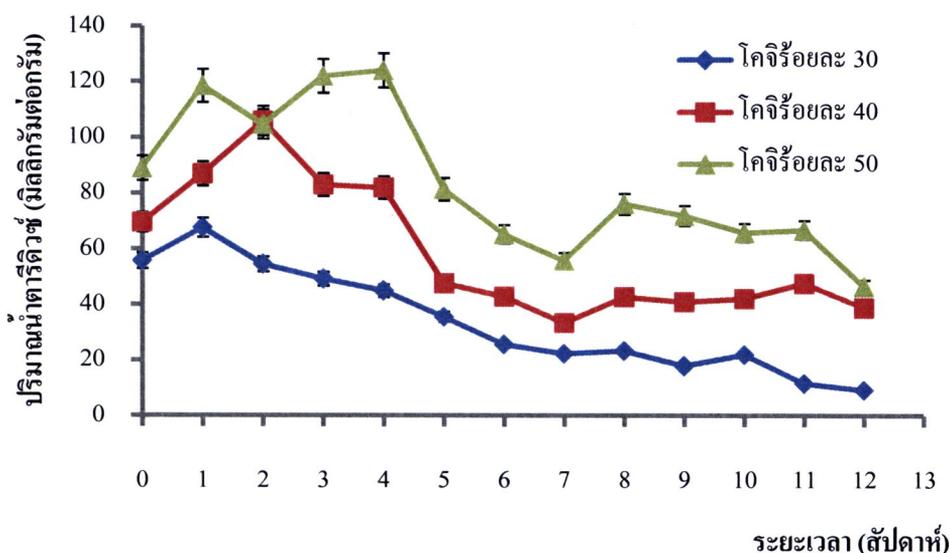
ภาพ 45 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติกและปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิข้าวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน: ปริมาณกรดแลคติก (a) และปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก (b)

ค่าความเป็นกรด-เบสที่ลดลงนี้ เป็นผลเนื่องมาจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีการเพิ่มจำนวนมากโดยเฉพาะในช่วง 1-8 สัปดาห์แรกของการหมักโมโรมิ (ภาพ 45) ทำให้เกิดการผลิตกรดแลคติกออกมาในเต้าเจี้ยว (ภาพ 46) ปริมาณกรดแลคติกที่สะสม

กิจกรรมอะไมเลสเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาของการหมักโมโรมิ พบว่าอะไมเลสที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโคจิ ยังคงหลงเหลืออยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ ทำให้สามารถตรวจพบกิจกรรมดังกล่าวได้นับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 แล้วมีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก (ภาพ 46) เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในเต้าเจี้ยวมีค่าสูงมาก อะไมเลสที่ยังคงมีกิจกรรมอยู่จะทำการย่อยแป้งในถั่วเหลืองและในข้าวเหนียวให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลสั้นลง และน้ำตาลรีดิวซ์จำนวนหนึ่ง (ภาพ 47) น้ำตาลรีดิวซ์ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการเจริญของจุลินทรีย์ในเต้าเจี้ยว ทำให้มีค่าลดลงโดยลำดับจนถึงสิ้นสุดอายุการหมัก

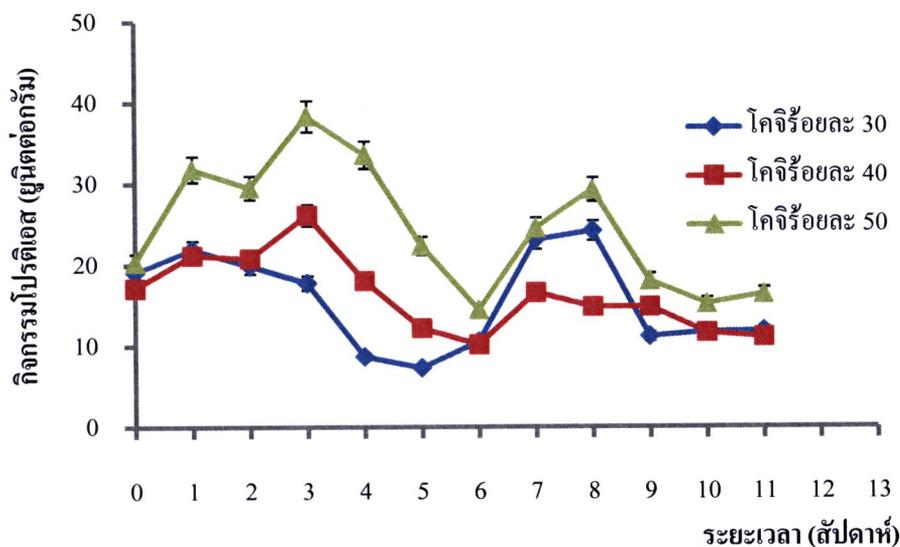


ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมอะไมเลสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิข้าวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน

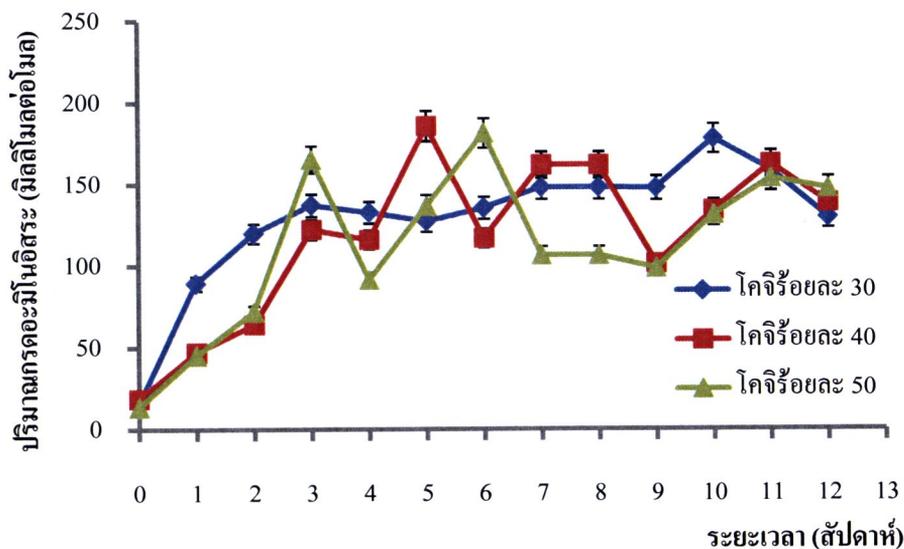


ภาพ 47 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวเหนียว ในปริมาณที่แตกต่างกัน

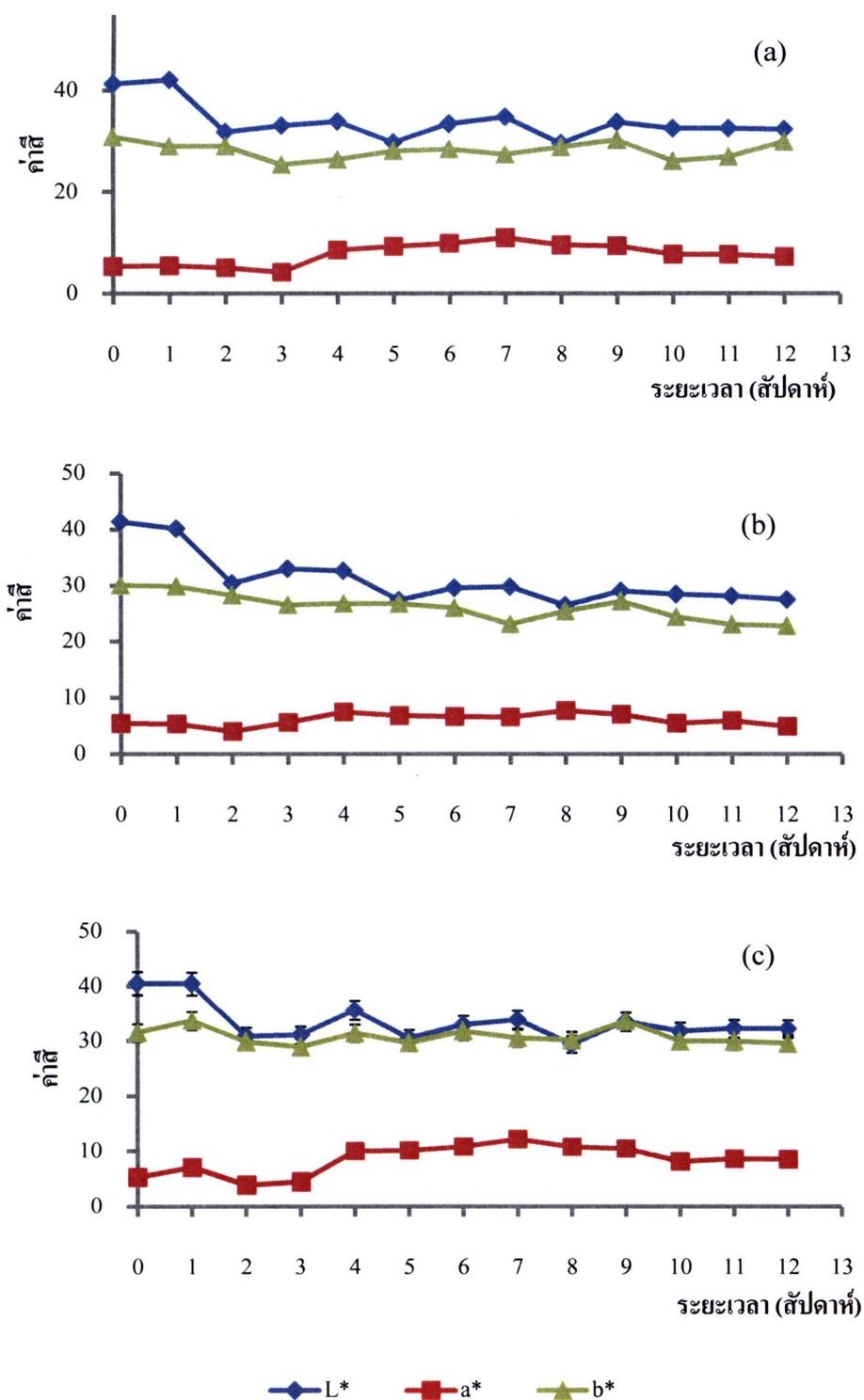
กิจกรรมโปรตีนเอส มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับกิจกรรมอะไมเลส พบว่า โปรตีนเอสที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโคจิวยังคงหลงเหลืออยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ ทำให้สามารถตรวจพบกิจกรรมดังกล่าวได้นับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 แล้วมีแนวโน้มลดต่ำลงตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก (ภาพ 48) เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในเต้าเจี้ยวมีค่าสูงมาก โปรตีนเอสในขั้นตอนการหมักโมโรมิจะย่อยโมเลกุลของโปรตีนในถั่วเหลือง ให้กลายเป็นเปปไทด์ที่มีสายสั้นลง (short chain peptides) และกรดอะมิโนจำนวนหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเต้าเจี้ยวตลอดอายุการหมัก (ภาพ 49) การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดสอดคล้องกับกิจกรรมโปรตีนเอส



ภาพ 48 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมโปรตีนเอสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวัวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน



ภาพ 49 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโนอิสระในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจิวัวเหนียวในปริมาณที่แตกต่างกัน



ภาพ 50 การเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้โคจข้าวเหนียวใน ปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ): 30 (a) 40 (b) และ 50 (c)

การเปลี่ยนแปลงสีของเต้าเจี้ยวในระหว่างการหมักโมโรมิ ของเต้าเจี้ยวที่ใช้โคจิริ้อยละ 30 พบว่า ค่า L\* อยู่ในช่วง 41.29-29.78 ค่า a\* อยู่ในช่วง 5.39-7.33 และ ค่า b\* อยู่ในช่วง 30.91-29.96 (ภาพ 50 a) โคจิริ้อยละ 40 พบว่า ค่า L\* อยู่ในช่วง 41.35-27.46 ค่า a\* อยู่ในช่วง 5.39-4.88 และ ค่า b\* อยู่ในช่วง 30.04-22.72 (ภาพ 50b) และโคจิริ้อยละ 50 พบว่า ค่า L\* อยู่ในช่วง 40.51-32.16 ค่า a\* อยู่ในช่วง 5.16-8.43 และ ค่า b\* อยู่ในช่วง 31.49-29.53 (ภาพ 50c) การเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าว เนื่องมาจากชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (maillard reaction) (Yokotsuka, 1986)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าเจี้ยวที่ผลิตได้ โดยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ranking for preference พบว่า ผลของการยอมรับของผู้ทดสอบต่อเต้าเจี้ยวทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) พบว่า โคจิริปริมาณร้อยละ 50 ได้รับการยอมรับมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปริมาณโคจิริร้อยละ 30 และ 40 ตามลำดับ (ตาราง 20-21)

ตาราง 20 จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนเรียงตามลำดับความชอบสำหรับเต้าเจี้ยวจำนวน 3

ตัวอย่าง

ปริมาณโคจิริที่ใช้ (ร้อยละ)	ระดับความชอบ		
	สเกล 3 ระดับ		
	1	2	3
30	30	38	32
40	8	36	48
50	62	26	20

หมายเหตุ : สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ตาราง 21 ผลสรุปของการเรียงลำดับความชอบผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว จำนวน 3 ตัวอย่าง

ปริมาณโคจิริ (ร้อยละ)	สเกล 3 ระดับ	
	ผลรวม	ลำดับ
50	62 <sup>a</sup>	1
30	30 <sup>b</sup>	2
40	8 <sup>c</sup>	3

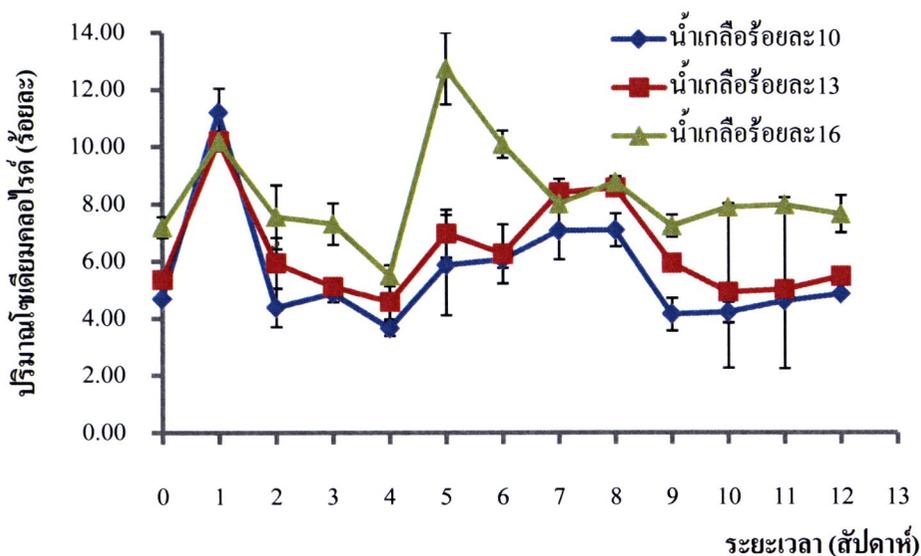
หมายเหตุ : <sup>ns</sup> คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในแนวสดมภ์

สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่ใช้โคจิริ้อยละ 50 ของน้ำหนักรวมทั้งหมดมากที่สุด และระบุว่าเต้าเจี้ยวมีรสชาติที่เข้มข้นกว่าผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวที่จำหน่ายตามท้องตลาด

## 2.2 ความเข้มข้นน้ำเกลือที่เหมาะสมต่อการหมักโมโรมิ

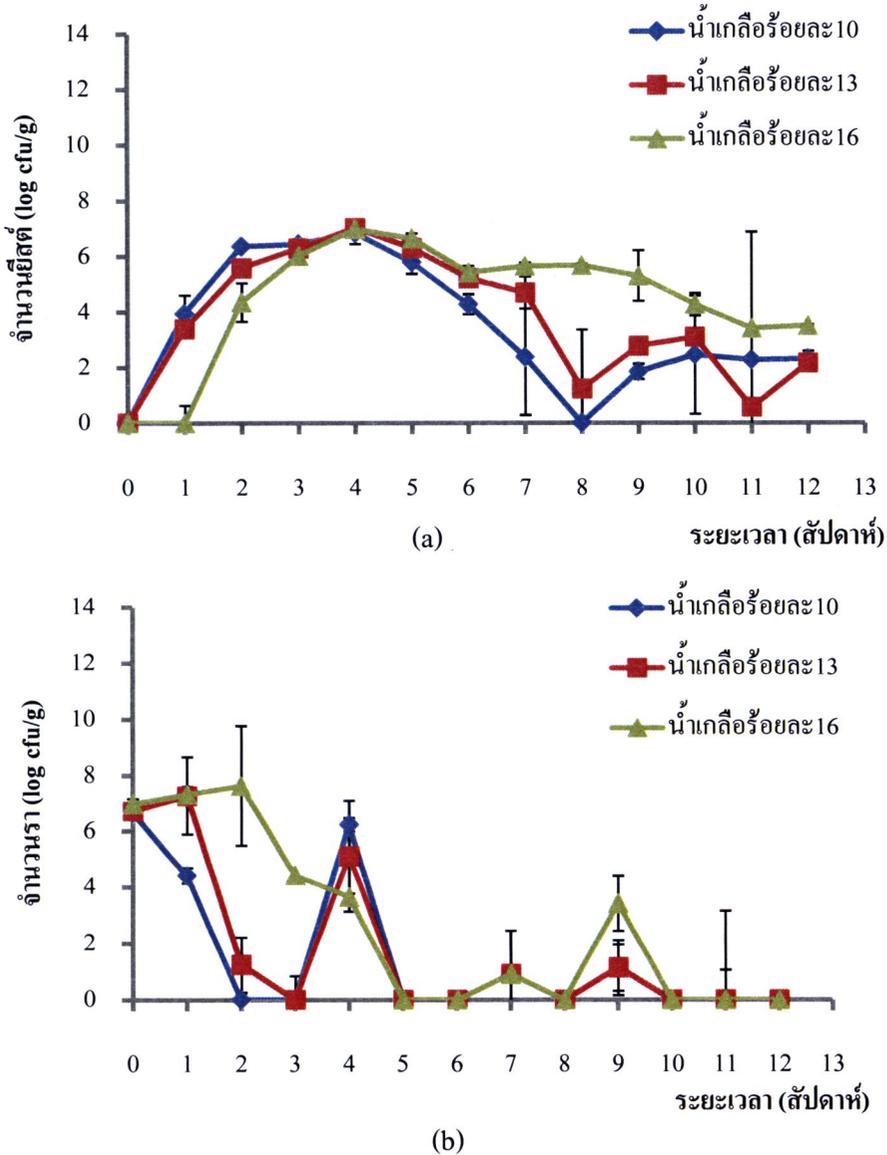
การหมักเต้าเจี้ยวโดยใช้โคจิริ้อยละ 50 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด ในที่น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 13 และ 16 บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในช่วงระยะเวลา 0-1 สัปดาห์แรก มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.68 5.36 และ 7.18 ตามลำดับ เป็นประมาณร้อยละ 11.2 10.2 และ 10.18 ตามลำดับ หลังจากนั้นโซเดียมคลอไรด์จึงมีปริมาณลดลงในสัปดาห์ที่ 2-4 ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 5-8 แล้วค่อยลดลงอีกเล็กน้อยจนเกือบจะคงที่โดยมีค่าเท่ากับ 4.14 5.94 และ 7.23 ตามลำดับ (ภาพ 52) ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก อาจ เนื่องจากเต้าเจี้ยวได้สูญเสียความชื้นไปบางส่วน ในระหว่างสัปดาห์แรกของการหมัก เนื่องจากต้องทำการกวนผสมทุกวัน ประกอบกับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเกลือมีค่าไม่สูงพอที่จะดึงโมเลกุลของน้ำได้ดีเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา



ภาพ 51 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้ น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ภายหลังจากนั้นเมื่อโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นในน้ำเกลือ จะก่อให้เกิดแรงดันออสโมซิสสูงขึ้น ทำให้ถั่วเหลืองและโคจิริสูญเสียน้ำจำนวนหนึ่งออกสู่น้ำเกลือที่ใช้หมัก ใน

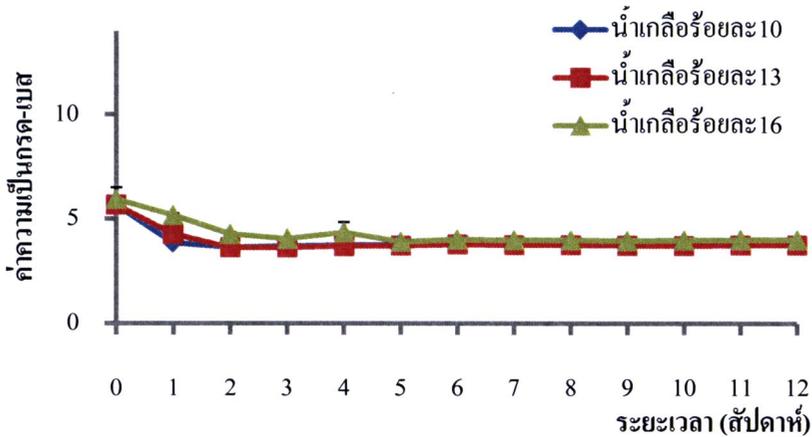
ขณะเดียวกัน โขเดียมคอลลอยด์จะค่อยๆ ถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมสคัลล์หลอดเลือดและเข้าสู่โคจิ ปริมาณ โขเดียมคอลลอยด์ในตัวอย่างเต้าเจี้ยวจึงลดลง และเมื่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังคงดำเนินต่อไป โดยเฉพาะยีสต์ (ภาพ 52a) ที่ก่อให้เกิดการหมักอัลกอฮอล์ พบว่าปริมาณอัลกอฮอล์มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นนับตั้งแต่สัปดาห์แรกของการหมัก (ภาพ 52b) การลดลงของโขเดียมคอลลอยด์ในเต้าเจี้ยว ได้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ (พิมพาพร และ กนิษฐา, 2522 )



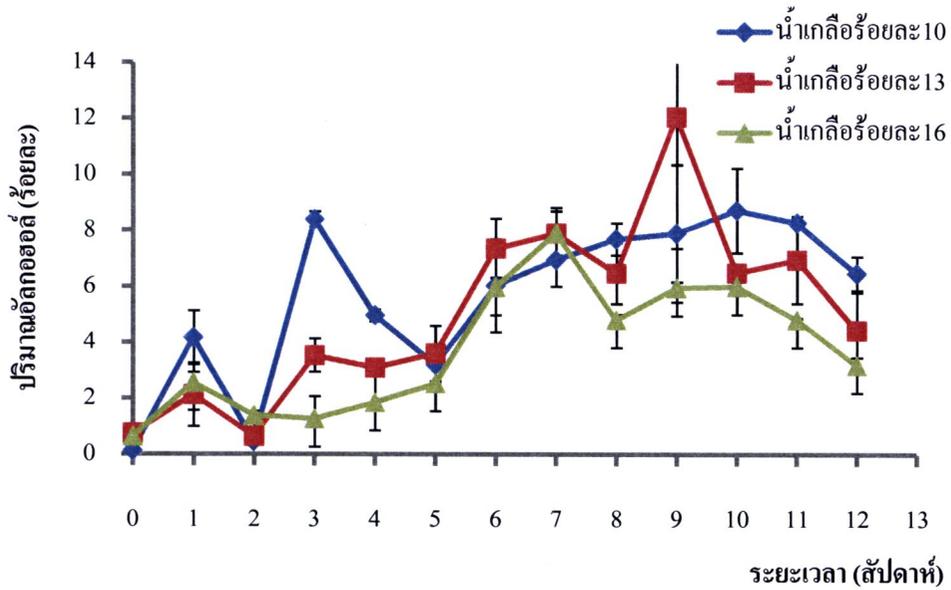
ภาพ 52 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้ น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน: ยีสต์ (a) และรา (b)

ยีสต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อนจำนวนมาก ซึ่งเพียงพอต่อการผลักดันน้ำบางส่วนในระบบให้ระเหยออกสู่บรรยากาศภายนอก ทำให้ไซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างเต้าเจี้ยวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การดูดซึมไซเดียมคลอไรด์เข้าสู่เมล็ดถั่วเหลืองและข้าวเหนียวยังคงดำเนินต่อไป แต่การระเหยของน้ำกลับมีค่าลดลงเพราะกิจกรรมการหมักของยีสต์ก็ลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้ไซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างเต้าเจี้ยวมีค่าลดลงเล็กน้อยและมีระดับเกือบคงที่ในช่วงสุดท้ายของการหมัก

สำหรับเรา พบว่ามีการเจริญที่ลดลงตามลำดับ เนื่องจากสปอร์ราจำนวนมากไม่สามารถทนความเข้มข้นของน้ำเกลือที่สูงได้ และเจริญได้อย่างลำบากในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลว โดยเฉพาะของเหลวที่มีความเข้มข้นของไซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ซึ่งแตกต่างจากยีสต์ที่ทนเกลือที่มีการเจริญที่ดีกว่า (ภาพ 51) เนื่องจากเต้าเจี้ยวมีค่าความเป็นกรด-เบสที่ 5.64 5.66 และ 5.94 ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 1 ค่าความเป็นกรด-เบส ลดลงอยู่ที่ 3.84 4.26 และ 5.17 ตามลำดับ หลังจาก 1 สัปดาห์ มีค่าความเป็นกรด-เบส เกือบคงที่ตลอดอายุการหมัก (ภาพ 53) จึงทำให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์

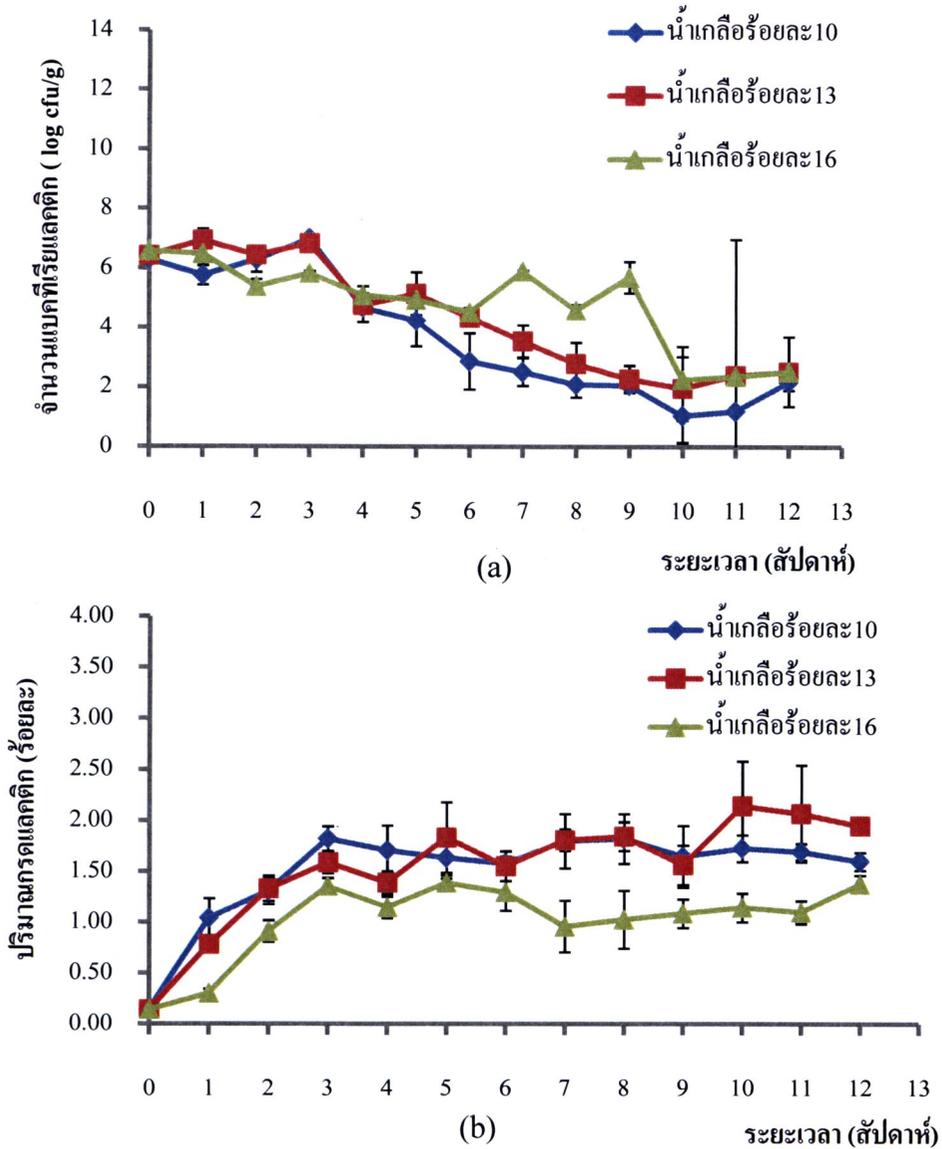


ภาพ 53 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-เบสในระหว่างการหมัก โมโรมิที่ใช้ น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน



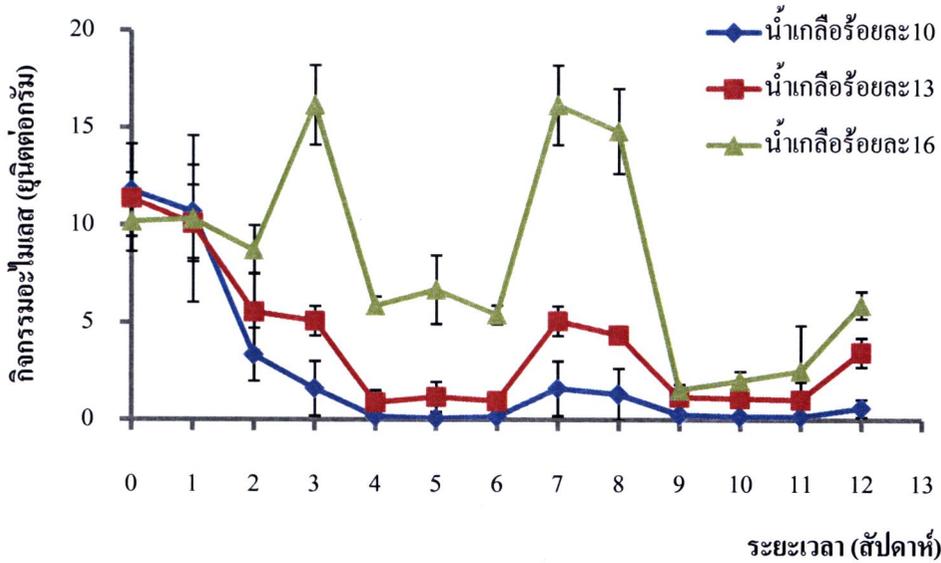
ภาพ 54 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ค่าความเป็นกรด-เบสที่ลดลงนี้ เป็นผลเนื่องมาจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีการเพิ่มจำนวนอย่างมากโดยเฉพาะในช่วง 0-2 สัปดาห์แรกของการหมักโมโรมิ (ภาพ 55a) ทำให้เกิดการผลิตกรดแลคติกออกมาในเต้าเจี้ยว (ภาพ 55b) ปริมาณกรดแลคติกที่สะสมมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 1.82 1.83 และ 1.39 ในสัปดาห์ที่ 8 5 และ 5 ตามลำดับ



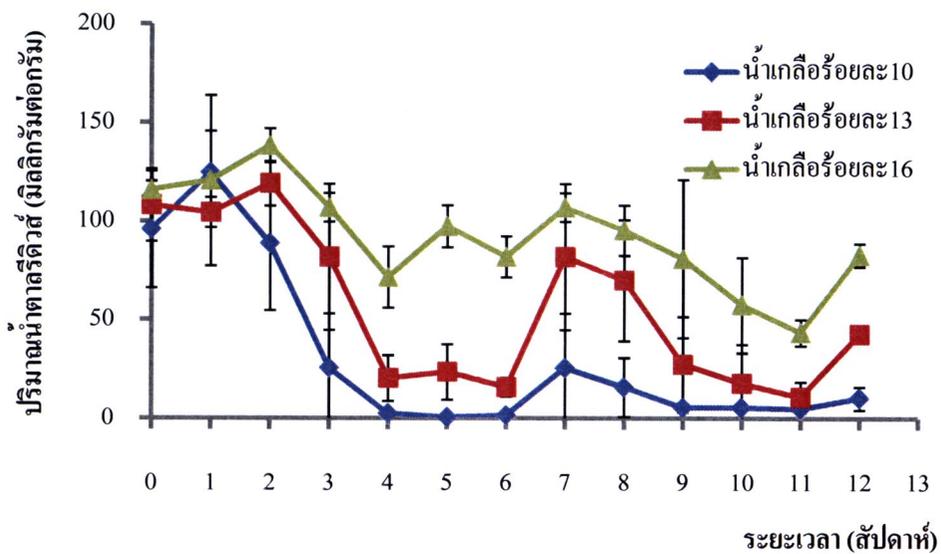
ภาพ 55 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติกและปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน: ปริมาณกรดแลคติก (a) และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก (b)

กิจกรรมอะไมเลสเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาของการหมักโมโรมิ พบว่า อะไมเลสที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโคจิ ยังคงหลงเหลืออยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ ทำให้สามารถตรวจพบกิจกรรมดังกล่าวได้นับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 แล้วมีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก กิจกรรมอะไมเลสลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-4 สัปดาห์แรก และมีค่ากิจกรรมที่ระดับต่ำเกือบคงที่ตลอดสิ้นอายุของการหมัก (ภาพ 56)



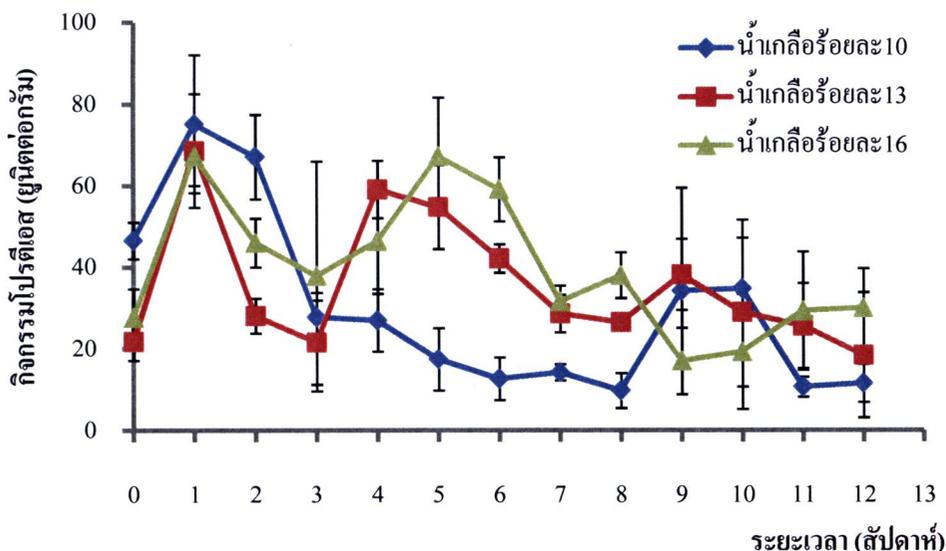
ภาพ 56 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมอะไมเลสในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในเต้าเจี้ยวมีค่าสูงมาก อะไมเลสที่ยังคงมีกิจกรรมอยู่จะทำการย่อยแป้งในถั่วเหลืองและในข้าวเหนียวให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลสั้นลง และน้ำตาลรีดิวซ์จำนวนหนึ่ง (ภาพ 57)



ภาพ 57 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

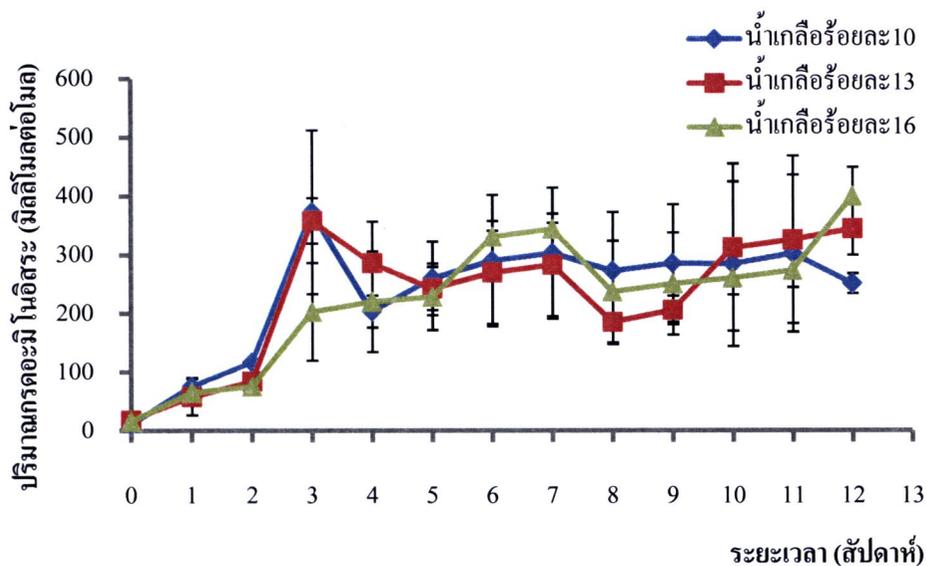
น้ำตาลรีดิวิซส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการเจริญของจุลินทรีย์ในเต้าเจี้ยว ทำให้มีค่าลดลงโดยลำดับจนถึงสุดอายุการหมัก Yong; Wood (1976) รายงานว่าน้ำตาลรีดิวิซจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 5-6 วันแรกของการหมักในน้ำเกลือ และมีปริมาณลดลงในเวลาต่อมา



ภาพ 58 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมโปรตีนในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้ น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

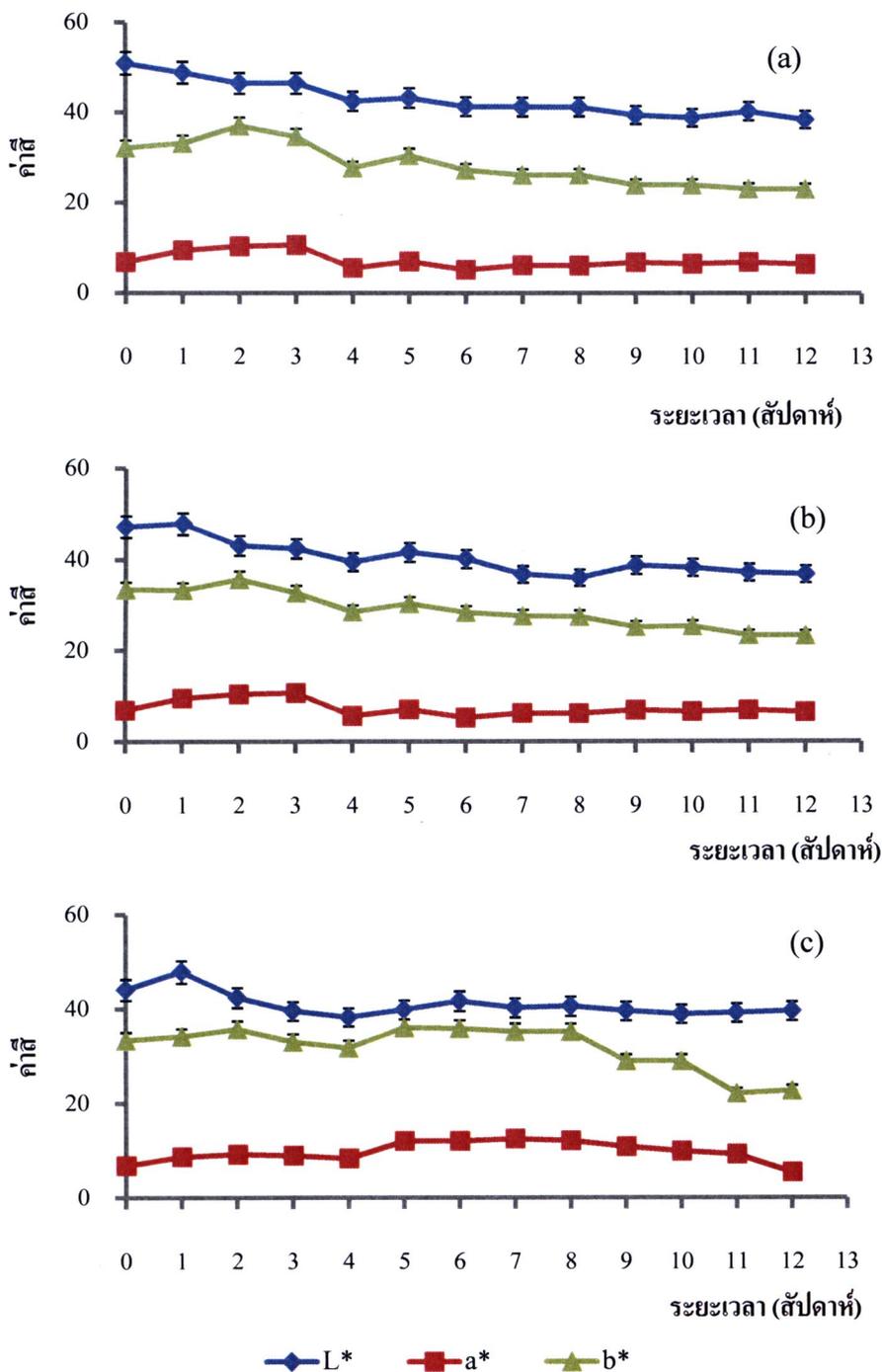
กิจกรรมโปรตีน มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับกิจกรรมอะไมเลส พบว่า โปรตีนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักโคจิ ยังคงหลงเหลืออยู่ในขั้นตอนการหมักโมโรมิ ทำให้สามารถตรวจพบกิจกรรมดังกล่าวได้นับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 กิจกรรมโปรตีนมีค่าสูงขึ้นในช่วง 0-1 สัปดาห์ แล้วมีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก (ภาพ 58)

โปรตีนในขั้นตอนการหมักโมโรมิจะย่อยโมเลกุลของโปรตีนในถั่วเหลือง ให้กลายเป็นเปปไทด์ที่มีสายสั้นลง (short chain peptides) และกรดอะมิโนจำนวนหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเต้าเจี้ยวตลอดอายุการหมัก (ภาพ 59) การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด สอดคล้องกับกิจกรรมโปรตีน



ภาพ 59 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโนอิสระในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ในช่วงเวลาต่างๆของการหมักโมโรมิในน้ำเกลือร้อยละ 10 (ภาพ 60a) พบว่า ค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 50.98-38.44 ค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 6.89-6.48 และ ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 32.19-23.09 น้ำเกลือร้อยละ 13 (ภาพ 60b) พบว่า ค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 47.20-36.98 ค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 7.20-6.53 และค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 33.38-23.34 น้ำเกลือร้อยละ 16 (ภาพ 60c) พบว่าค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 44.07-39.56 ค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 6.86-5.45 และค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 33.40-22.73



ภาพ 60 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L\* a\* และ b\* ในระหว่างการหมักโมโรมิที่ใช้ น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ร้อยละ) : 10 (a) 13 (b) และ 16 (c)

สีของเต้าเจี้ยวเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยจะมีสีเหลืองอมน้ำตาล จนกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มปานกลาง (ภาพ 10) ค่า L\* และ a\* มีค่าลดลงเล็กน้อย

### 2.3 ผลของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยว

เต้าเจี้ยวที่หมักได้เมื่อนำมาต้มให้เดือดนาน 30 นาที แล้วบรรจุในขวดแก้วที่สะอาด แล้วปิดฝาให้สนิท สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 6 สัปดาห์โดยไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด (ตาราง 22) ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความเป็นกรด-เบสที่ต่ำ สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ และความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสามารถทำลายแบคทีเรียกรดแลคติก ยีสต์ และรา ที่อาจหลงเหลืออยู่ในเต้าเจี้ยว ประกอบการบรรจุแบบร้อน (hot fill) ทำให้ที่ว่างเหนืออาหาร (head space) เป็นสุญญากาศ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของรา

ตาราง 22 การเปลี่ยนแปลงของเต้าเจี้ยวระหว่างการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	น้ำเกลือ (ร้อยละ)	ปริมาณ จุลินทรีย์ ทั้งหมด (log cfu/g)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	10	ND	37.66 ± 0.02	10.63 ± 0.18	24.66 ± 0.57
	13	ND	37.48 ± 1.02	11.64 ± 0.43	26.53 ± 0.5
	16	ND	36.12 ± 0.44	12.16 ± 0.93	29.57 ± 0.27
2	10	ND	37.53 ± 0.46	10.46 ± 0.16	25.46 ± 0.16
	13	ND	39.29 ± 0.66	11.67 ± 0.50	26.34 ± 0.33
	16	ND	35.43 ± 0.44	11.89 ± 0.51	29.28 ± 0.04
4	10	ND	38.32 ± 0.37	10.61 ± 0.33	24.81 ± 0.26
	13	ND	37.53 ± 0.65	11.12 ± 0.08	26.29 ± 0.81
	16	ND	35.55 ± 0.12	11.81 ± 0.62	29.57 ± 0.33
6	10	ND	38.51 ± 1.36	11.14 ± 0.35	25.28 ± 0.76
	13	ND	38.22 ± 0.88	11.36 ± 0.06	26.88 ± 0.49
	16	ND	35.82 ± 0.20	12.61 ± 0.22	29.64 ± 0.49

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ND = ไม่พบ

เต้าเจี้ยวที่มีอายุการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ เมื่อนำมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ranking for preference พบว่า ผลของการยอมรับของผู้ทดสอบต่อเต้าเจี้ยวทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) (ตาราง 23-24)

**ตาราง 23** จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนเรียงตามลำดับความชอบสำหรับเต้าเจี้ยวจำนวน 3 ตัวอย่าง

ความเข้มข้นของน้ำเกลือ (ร้อยละ)	จำนวนผู้ทดสอบ (คน)		
	สเกล 3 ระดับ		
	1	2	3
10	36	46	18
13	48	34	18
16	64	20	16

หมายเหตุ : สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ

**ตาราง 24** ผลการทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์เต้าเจี้ยวจำนวน 3 ตัวอย่าง

ความเข้มข้นของน้ำเกลือ (ร้อยละ)	สเกล 3 ระดับ	
	ผลรวม <sup>ns</sup>	ลำดับ
16	64	1
13	48	2
10	36	3

หมายเหตุ : <sup>ns</sup> คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในแนวสมมติ

สเกลระดับ 1 = ชอบมากที่สุด 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ชอบ