

# การพัฒนาอาหารหมักเปลือกข้าวโพดสำหรับโคเนื้อพื้นเมืองโดยการออกแบบการทดลอง

## Development of Maize Husk Silage for Native Beef Cattle Using Design of Experiment

เอราวิน ธารว<sup>1\*</sup>, สมชาติ ธนะ<sup>2</sup>, โชค โสรจกุล<sup>2</sup>, ชยุต ดงपालีธรรม<sup>3</sup>, ขรรค์ชัย ดันเมฆ<sup>4</sup>

Eravin Thavorn<sup>1\*</sup>, Somchart Thana<sup>2</sup>, Choke Sorachakula<sup>2</sup>, Chayut Dongpaleedham<sup>3</sup>, Khanchai Danmek<sup>4</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

<sup>2</sup>สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

<sup>3</sup>ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์พะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

<sup>4</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

\*Corresponding author: erawin.th@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดสำหรับนำไปเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมือง เบื้องต้นมุ่งศึกษาสารเสริม 3 ชนิด คือ รำหยาบที่ระดับ 0.30 และ 0.70%(w/v) กากน้ำตาลที่ระดับ 0.30 และ 0.70%(w/v) และลูกแป้งจุลินทรีย์ที่ระดับ 0.15 และ 0.25 %(w/v) โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียลเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อโปรตีนและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า กากน้ำตาลส่งผลต่อโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และเมื่อวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมและทดลองซ้ำพบว่า รำหยาบที่ระดับ 0.70%(w/v) กากน้ำตาลที่ระดับ 0.70%(w/v) และลูกแป้งจุลินทรีย์ที่ระดับ 0.28%(w/v) ส่งผลให้โปรตีนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.48% จากนั้นได้ศึกษาปริมาณของเชื้อราที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบหมักพบว่า การหมักเปลือกข้าวโพดถูกวิธีทำให้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและการผลิตสารพิษจากเชื้อราได้ และจากการทดลองยืนยันผลพบว่า อาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดสามารถใช้เป็นอาหารหยาบที่ดีสำหรับเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฟางข้าว

**คำสำคัญ:** อาหารหมักเปลือกข้าวโพด, การออกแบบการทดลอง, แผนการทดลอง 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียล, โปรตีน, โคเนื้อพื้นเมือง

### Abstract

This aim of this research is to develop maize husk silage for native beef cattle. This research focused on the three additive substances including rice bran of 0.30 and 0.7 % (w/v), molasses of 0.30 and 0.7 % (w/v), and fermentation starter of 0.15 and 0.25 % (w/v). The 2<sup>3</sup> factorial design was applied to study factors the protein affecting and appropriate setting. After collecting all data, the results revealed that molasses significantly affected the protein (P<0.05) and appropriate setting were rice bran of 0.7%(w/v), molasses of 0.7%(w/v), and fermentation starter of 0.28%(w/v) in order to maximum the protein of 3.48%. This research studied contaminated fungus in maize husk silage and found that correct fermentation of maize husk silage inhibit the growth of microorganisms and toxin from fungus. Therefore, from the confirmation testing, the result demonstrated that maize husk silage can be used as good roughages for native beef cattle when compare with rice straw.

**Keywords:** Maize Husk Silage, Design of Experiment, 2<sup>3</sup> Factorial Designs, Protein, Native Beef Cattle

## 1. บทนำ

พื้นที่ในจังหวัดภาคเหนือตอนบน 2 (พะเยา เชียงราย แพร่ น่าน) มีผลผลิตพืชไร่ที่สำคัญ คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกเกือบ 2 ล้านไร่ คิดเป็น 1 ใน 4 ของมวลรวมการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งประเทศ สำหรับจังหวัดพะเยามีผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดิอันดับ 1 ใน 10 จังหวัดแรกของประเทศไทยมาอย่างต่อเนื่อง [1] ทำให้ในแต่ละปีมีวัตถุดิบจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก แต่ส่วนที่เหลือทิ้ง ได้แก่ ส่วนของเปลือก (Corn Husks) ซึ่งข้าวโพด (Corn Cob) และ ลำต้น (Stalks) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารต่ำ คือ ประกอบไปด้วยวัตถุดิบ 90 % เยื่อใย 33.0 % และปริมาณโปรตีนไม่ถึง 2.0 % ซึ่งถือว่าต่ำมาก [2-5] นอกจากนี้เมื่อกองทิ้งไว้ตอนแดดและน้ำค้างจะมีการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดต่างๆ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ผลิตอะฟลาทอกซิน [6] ดังนั้นเกษตรกรจึงไม่นิยมนำมาใช้เป็นอาหารหยาบเพื่อเลี้ยงโคเนื้อโดยเฉพาะโคพื้นเมืองของภาคเหนือตอนบนเขตสอง ได้แก่ โคขาวลำพูน ซึ่งเป็นโคเนื้อที่เลี้ยงได้ง่าย แต่ถ้าได้รับอาหารที่เหมาะสมจะให้การเจริญได้ดี โดยพบว่าโคขาวลำพูนน้ำหนัก 300 กิโลกรัม เพื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่เหมาะสมจะมีคุณภาพซาก 53 ถึง 55 % [7]

อย่างไรก็ตามจากปัญหาด้านต้นทุนด้านอาหารสัตว์ที่มีราคาสูง และการขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ในช่วงหน้าแล้ง เช่น พางข้าวในภาคเหนือซึ่งราคาเฉลี่ย 1 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้เกษตรกรต้องหาพืชอาหารหยาบชนิดอื่นๆ มาทดแทน เช่น เปลือกข้าวโพด ซึ่งได้มีนักวิจัยศึกษาการนำเปลือกข้าวโพดให้อาหารโค แต่พบว่าการเจริญไม่ดีเนื่องจากมีโภชนะต่ำ [1,5] ดังนั้นจึงได้หากระบวนการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ เช่น การเสริมด้วยยูเรียและกากน้ำตาล [8] ซึ่งแม้มีข้อดีในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะโปรตีน แต่กระบวนการดังกล่าวจะไม่เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ เพราะไม่ได้ใส่จุลินทรีย์เร่งปฏิกิริยาการหมัก อีกทั้งยูเรียสามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ทำให้มีนักวิจัยได้ปรับปรุงวิธีการหมักเปลือกข้าวโพด โดยนำมาหมักร่วมกับลูกแป้งจุลินทรีย์ ราหยาบ และกากน้ำตาล เพื่อให้เป็นอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางอาหารสูงใช้ทดแทนการใช้วัสดุที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น พางข้าวและเปลือกข้าวโพดแห้ง ซึ่งพบว่ามีคุณค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นมีคุณภาพดีตามเกณฑ์ของกรมปศุสัตว์ [5] อย่างไรก็ตามกระบวนการข้างต้นเป็นการหมักที่ไม่ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มคุณค่าทางโปรตีน

เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) เป็นกระบวนการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ใน

การเกษตรได้และมีข้อดี คือ สามารถออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือสามารถทำต่อเนื่องโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อสามารถสังเกตและชี้แจงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) และเป็นวิธีที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ [9] โดยม้งานวิจัยต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองกับอาหารสัตว์ อาทิ เช่น การศึกษาการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยใช้เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง โดยใช้แผนการทดลองแบบ 5x3 Factorial in completely randomized design (CRD) [10] การศึกษาการเสริมยูเรียและกากน้ำตาลต่อคุณภาพของเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in CRD [8] การศึกษาการเพิ่มระดับของโปรตีนของมันสำปะหลังโดยใช้ยีสต์ในกระบวนการหมัก โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2x4 Factorial in CRD [11] การศึกษาการเพิ่มโปรตีนจากเอทานอลจากมันสำปะหลังด้วยการหมักยีสต์ โดยใช้แผนการทดลองแบบ 3x2x3 Factorial in CRD [12] การศึกษาสภาวะการหมักอาหารเหลวที่เหมาะสมสำหรับสุกรระยะเล็ก โดยใช้แผนการทดลองแบบ 3x4 Factorial in CRD [13] และการศึกษาการใช้หญ้าหมักทดแทนในอาหารหมักสุกรต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ด้วยการ Block ด้วยเพศ [14] เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้สำหรับพัฒนาอาหารหมักเปลือกข้าวโพดเพื่อเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองด้วยการหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มโปรตีนเบื้องต้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ปริมาณของสารเสริมที่ใส่ลงไปหมักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ราหยาบ กากน้ำตาล และลูกแป้งจุลินทรีย์ รวมถึงศึกษาปริมาณของเชื้อราที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบก่อนและหลังการหมัก และการทดสอบประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองขาวลำพูนที่ได้รับอาหารหมัก ทั้งนี้เพื่อให้อาหารหมักเปลือกข้าวโพดสำหรับเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองและใช้ทดแทนหญ้าสดในหน้าแล้งของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนบน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้สำหรับการหมัก

งานวิจัยนี้กำหนดให้ใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ NK48 ปลูกที่ตำบลบ้านถ้ำ อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยาปลูกในช่วงปี พ.ศ.

2558 มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วัน หลังจากนำฝักข้าวโพดไปสีแยก เมล็ดแล้ว ส่วนของเปลือกข้าวโพดที่ได้นำไปผึ่งบนลานตาก ข้าวโพดให้แห้ง จากนั้นทำการเก็บเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ NK48 ในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน ถึง มกราคม และ เดือน มิถุนายน ถึง กันยายน อย่างน้อย 5 แห่ง แต่ละแห่งมีความห่างกันไม่ต่ำกว่า 3 กิโลเมตร จำนวนอย่างต่ำ 1.0 กิโลกรัมต่อตัวอย่าง นำวัตถุดิบ มาอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 65 °C เนื่องจาก อุณหภูมิดังกล่าวทำให้วัตถุแห้งคงที่และไม่ทำลายเยื่อใยในพืช

## 2.2 การหมักเปลือกข้าวโพด

ผู้วิจัยได้ดัดแปลงวิธีการหมักเปลือกข้าวโพดร่วมกับลูกแป้ง จุลินทรีย์ตามวิธีของซอร์คซ์และคณะ [5] โดยเริ่มจากการผสม น้ำสะอาดกับ ลูกแป้งจุลินทรีย์ กากน้ำตาล และรำหยาบ จากนั้นนำไปหมักกับเปลือกข้าวโพดแห้ง และเศษส่วนผสม ทั้งหมดใส่ถังหมัก กัดไล่อากาศและปิดฝาให้สนิท หมักทิ้งไว้เป็น ระยะเวลา 30 วัน และจัดเก็บในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง มีอากาศ ถ่ายเทสะดวก

## 2.3 การออกแบบการทดลอง

2.3.1 กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรที่สนใจ งานวิจัย นี้ได้กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรที่สนใจ (Response Variable; Y) คือ โปรตีน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) เนื่องจาก เป็นคุณค่าทางโภชนาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์

2.3.2 กำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ผู้วิจัยได้ระดมความคิด จากผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารหมักและเกษตรกรผู้เลี้ยงโค เพื่อ กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อโปรตีน แสดงดังแผนภาพเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) (รูปที่ 1) โดยงานวิจัยนี้ ได้เลือกศึกษา 3 ปัจจัยคือ รำหยาบ กากน้ำตาล และลูกแป้ง จุลินทรีย์ [5] โดยกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในแผนการทดลองดัง ตารางที่ 1 สำหรับเปลือกข้าวโพดแห้งและน้ำเปล่า ผู้วิจัยได้ กำหนดเป็นปัจจัยคงที่เท่ากับ 28 % โดยน้ำหนัก และ 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้น การศึกษาไปที่ปริมาณของสารเสริมที่ใส่ลงไปหมักทั้ง 3 ชนิด

สำหรับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ คน อุปกรณ์ การวัด และวิธีการพบว่า ส่งผลต่อโปรตีนค่อนข้างน้อยผู้วิจัยจึงไม่ได้ศึกษา

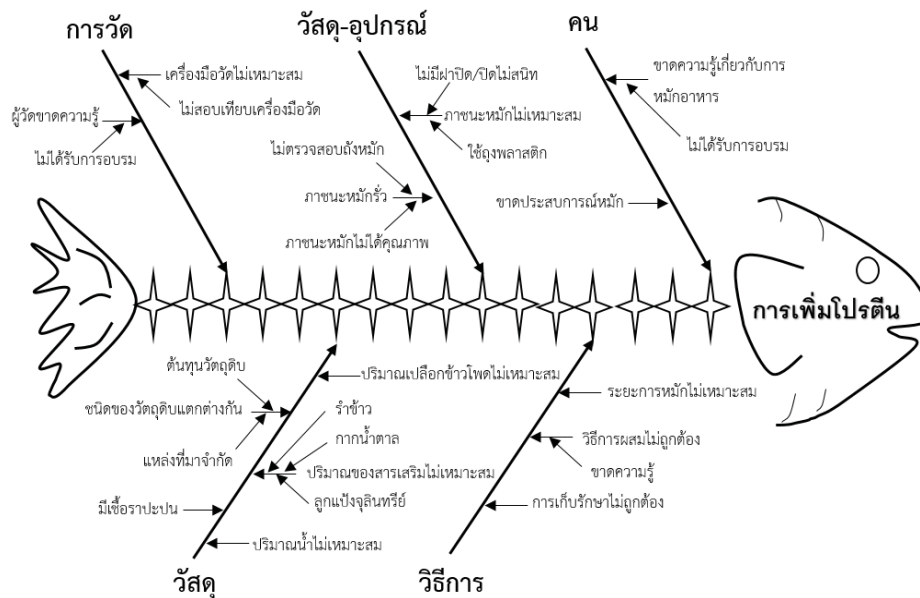
2.3.3 แผนการทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้การทดลองแบบ 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียล เนื่องจากเป็นการทดลองที่ใช้ตัวอย่างแพร่หลาย สำหรับการทดลองที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายๆ ปัจจัย นอกจากนี้ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ ร่วมกันของปัจจัยเหล่านั้นต่อผลตอบสนองที่ต้องการ [9] และ ศึกษาปัจจัย 3 ชนิด คือ รำหยาบ กากน้ำตาล และลูกแป้ง จุลินทรีย์ กำหนดนัยสำคัญการทดสอบเท่ากับ 0.05 งานวิจัยนี้มี ข้อจำกัดคือ การวิเคราะห์โปรตีน ผู้วิจัยจึงแยกการวิเคราะห์ ออกเป็น 2 ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการ บล็อก (Blocking) เรฟลิเคตในการออกแบบการทดลอง 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียล เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้กับการทดลองที่ไม่ สามารถทดลอง 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียลได้ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขที่มี ลักษณะเหมือนกัน (Homogeneous) [15] โดยมีจำนวนการ ทดลองเท่ากับ 2<sup>3</sup>=8 ครั้ง และเพิ่มจุดศูนย์กลางการทดลอง (Center Point) จำนวน 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์การทดสอบการ ขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit Test) รวมเป็น 11 ครั้ง และกำหนดให้ทดลองซ้ำ (Replication) 2 ครั้ง ดังนั้น จำนวนการทดลองรวมทั้งสิ้น 22 ครั้ง

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้แผนการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย	
	(-1)	(+1)
รำหยาบ (A)	0.30 %(w/v)	0.70 %(w/v)
กากน้ำตาล (B)	0.30 %(w/v)	0.70 %(w/v)
ลูกแป้งจุลินทรีย์ (C)	0.15 %(w/v)	0.25 %(w/v)

## 2.4 การวิเคราะห์โปรตีน

สุ่มตัวอย่างอาหารหมักจากส่วนบน กลาง และล่าง ของถัง หมักนำมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาโปรตีนรวม (Crude Protein; CP) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ด้วยวิธีของ AOAC [16]



รูปที่ 1 แผนภาพเหตุและผลวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อโปรตีน

### 2.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และสร้างสมการถดถอย (Regression Model) สำหรับประมาณค่าโปรตีน ซึ่งการสร้างสมการถดถอย ผู้วิจัยได้ใช้วิธี Stepwise Selection เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการสร้างสมการถดถอยเชิงพหุ โดยมีหลักการคือเลือกตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้า (Forward Selection) ไปในสมการและพิจารณาตัวแปรอิสระเดิมในสมการว่าสามารถอยู่หรือควรตัดออกจากสมการ (Backward Eliminate) [9] กำหนด  $\alpha$  สำหรับเลือกตัวแปรเข้าและออกเท่ากับ 0.15 จากนั้นทดสอบข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Assumption of ANOVA) ทั้ง 4 ข้อ [9] และวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รวมถึงการศึกษาปริมาณของเชื้อราที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบก่อนและหลังการหมัก

### 2.6 การทดสอบประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองชาวลำพูนที่ได้รับอาหารหมัก

เตรียมสัตว์ทดลองและสถานที่ทดลอง โดยใช้โคเนื้อชาวลำพูน เพศผู้ อายุประมาณ 2 ปี น้ำหนักเฉลี่ย  $193 \pm 5$  กิโลกรัม จำนวน 4 ตัวต่อการทดลอง โดยโคทุกตัวได้ถ่ายพยาธิและฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากเท้าเปื่อยและคอบวม จากนั้นนำมาเลี้ยงในคอกขังเดี่ยวขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ด้านหน้ามีคอกใส่รางอาหาร มีแรชตูก้อนวางไว้ และมี

น้ำสะอาดให้กินอยู่ตลอดเวลา จากนั้นจึงทดสอบแบ่งประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองชาวลำพูนที่ได้รับอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดหมักซึ่งมีปริมาณวัตถุแห้งเฉลี่ย 25% วันละ 20 กิโลกรัม และมีกลุ่มที่ให้ฟางข้าวเป็นชุดควบคุม (Control) เป็นระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน-มิถุนายน ทำการทดสอบลักษณะซาก คุณภาพเนื้อส่วนตัดต่างๆ แบบสากล ค่า pH ค่าสีเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อส่วนประกอบของกรดไขมัน การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อโปรตีน คือ กากน้ำตาล ( $P < 0.05$ ) เพียงชนิดเดียว แต่เมื่อพิจารณาแผนภูมิผลกระทบหลัก (Main Effect) แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ รำหยาบ กากน้ำตาล และ หัวเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระดับปัจจัยต่ำสุดไปสูงสุด ซึ่งหมายความว่าไม่อาจละลายผลกระทบจากรำหยาบและลูกแป้งจุลินทรีย์ได้ และเมื่อพิจารณาแผนภูมิผลกระทบร่วมพบว่าปัจจัยทั้งหมดไม่มีความเกี่ยวข้องกัน แสดงดังรูปที่ 3 และสิ่งที่ละลายสำหรับการวิเคราะห์นี้ไม่ได้คือ การวิเคราะห์โปรตีน (Block) ซึ่งส่งผลต่อค่าโปรตีน ( $P < 0.05$ ) เช่นกัน ดังนั้นการที่จะทดลองต่อไปในอนาคตอาจจะต้องคำนึงถึงวิธีการตรวจหาโปรตีนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้น

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

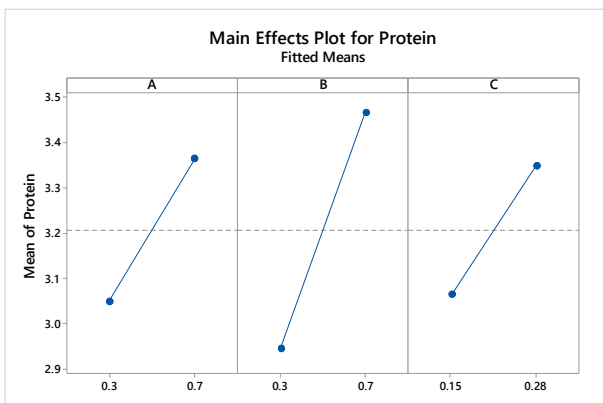
Source	DF	SS	MS	F	P-value
Block	1	0.98284	0.98284	5.97	0.030*
Linear	3	1.80340	0.60113	3.65	0.042*
A	1	0.39690	0.39690	2.41	0.145
B	1	1.08160	1.08160	6.56	0.024*
C	1	0.32490	0.32490	1.97	0.184
AB	1	0.00490	0.00490	0.03	0.866
AC	1	0.00010	0.00010	0.00	0.981
BC	1	0.20250	0.20250	1.23	0.288
ABC	1	0.43560	0.43560	2.64	0.128
Error	13	2.14179	0.16475		
Curvature	1	0.08655	0.08655	0.51	0.491
Lack of Fit	8	1.00738	0.12592	0.48	0.825
Pure Error	4	1.04787	0.26197		
Total	21	5.57113			

S=0.405898 R<sup>2</sup>=61.56% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>=37.90%

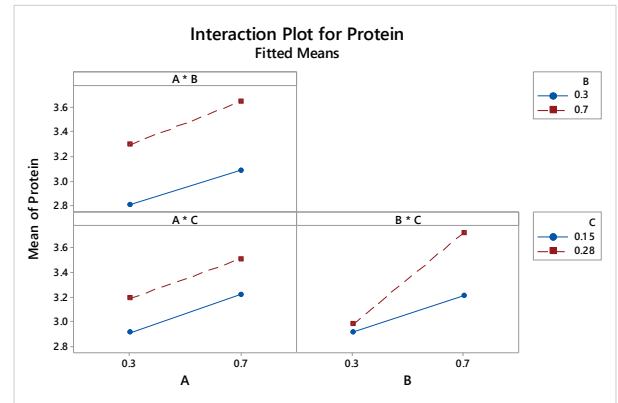
\* P-value<0.05

การสร้างสมการถดถอยด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับประมาณค่าโปรตีนด้วยวิธี Stepwise Selection พบว่า มีตัวแปรเดียวที่ถูกเลือกเข้าอยู่ในสมการคือกากน้ำตาล (P<0.05) โดยมีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 61.56% และ R<sup>2</sup><sub>adj</sub> เท่ากับ 37.90% ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมาก จากการวิเคราะห์พบว่าอาจเกิดจากปัจจัยรบกวนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นขณะทดลอง และจากการวิเคราะห์ค่า Lack of Fit ดังตารางที่ 2 พบว่า สมการถดถอยมีความเหมาะสม (P>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ส่วนโค้ง (Curvature) ที่ไม่ส่งผลต่อโปรตีน (P>0.05) ดังนั้นสมการถดถอยสำหรับประมาณค่าโปรตีน แสดงดังสมการที่ 1 โดยที่ B คือ กากน้ำตาล มีค่าระหว่าง 0.30-0.70 %(w/v)

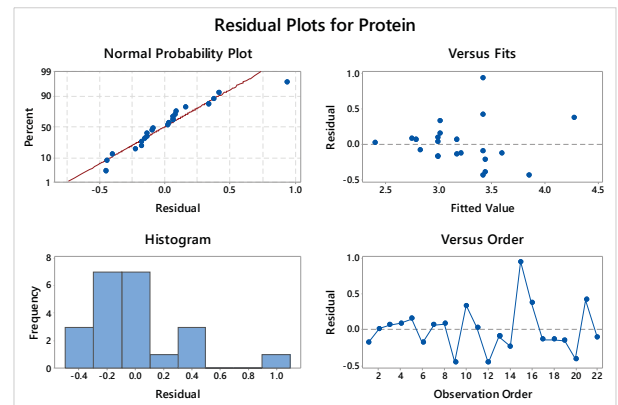
$$\text{Protein} = 3.21 + 0.26B \quad (1)$$



รูปที่ 2 แผนภูมิผลกระทบหลักของโปรตีน



รูปที่ 3 แผนภูมิผลกระทบร่วมของโปรตีน



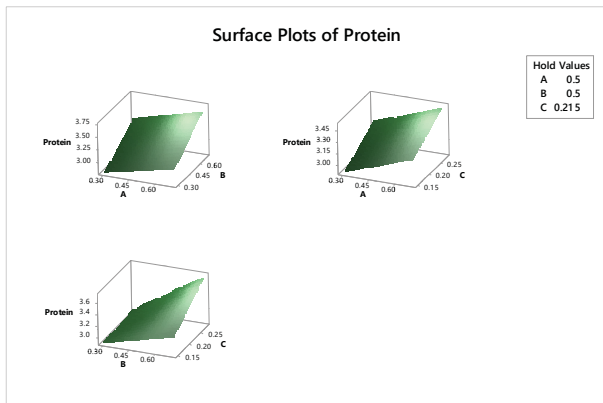
รูปที่ 4 แผนภูมิค่าความผิดพลาดของโปรตีน

และจากการทดสอบข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทั้ง 4 ข้อ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่ากราฟความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาด (Residual) กับค่าเฉลี่ย (Fitted Value) พบว่า ค่าผิดพลาดมีการกระจายตัวรอบแกนศูนย์อย่างสมดุลและคงที่ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนมีค่าคงที่ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาดกับลำดับการทดลอง (Observation Order) พบว่าค่าผิดพลาดมีการกระจายตัวอย่างสุ่มและไม่มีรูปแบบ แสดงว่าค่าผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนของงานวิจัยนี้มีความถูกต้องตามข้อสมมติ

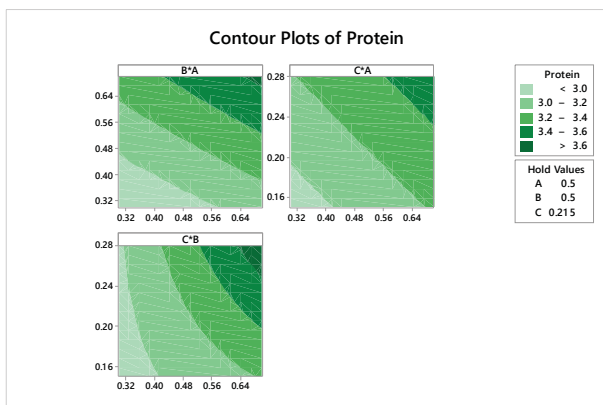
การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมพบว่า ระดับปัจจัยของร่าหยาบ (A) กากน้ำตาล (B) และ ลูกแป้งจุลินทรีย์ (C) ที่ระดับสูง (+1) ทั้งหมด คือ ปริมาณ 0.70%(w/v) 0.70%(w/v) และ 0.28%(w/v) ตามลำดับ เมื่อนำไปผสมกับเปลือกข้าวโพด 28%(w/v) และน้ำเปล่า 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร และผ่านกระบวนการหมักระยะเวลา 30 วัน ได้โปรตีนสูงสุด



เท่ากับ 4.063% ค่าผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error) เท่ากับ 0.282 และมีช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% อยู่ระหว่าง 3.45% ถึง 4.67% แผนภาพพื้นผิว (Surface Plot) และโครงร่าง (Contour Plot) ของโปรตีน แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ จากนั้นได้ทดลองยืนยันผล (Confirmation Testing) โดยนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลกระทบต่อโปรตีนไปทดลองซ้ำจำนวน 4 ครั้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยโปรตีนมีค่าเท่ากับ 3.48% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.21% โดยมีช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% อยู่ระหว่าง 3.15% ถึง 3.82% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของกรมปศุสัตว์ ซึ่งค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากโปรตีนของเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผ่านการหมักและฟางข้าวซึ่งมีโปรตีนเฉลี่ย 2.0% [1]



รูปที่ 5 แผนภาพพื้นผิวของโปรตีน



รูปที่ 6 แผนภาพโครงร่างของโปรตีน

จากนั้นผู้วิจัยได้วิเคราะห์เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* Section *Flavi* กลุ่มที่ผลิตอะฟลาทอกซิน หลังจากการหมักเปลือกข้าวโพดเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีปริมาณลดลงกว่า 37.12% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเสริมกากน้ำตาลในพืชหมักทำให้เกิดกรด [8] และอาจมีการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดในกลุ่ม Lactic acid bacteria ที่มักพบในอาหารหมัก

เช่น *L. rhamnosus* [17-18] นอกจากนี้ระหว่างกระบวนการหมักจะเกิดความร้อนขึ้น [19] และกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (Spoilage Organisms) [20] ดังนั้นการหมักเปลือกข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างถูกวิธีจะทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและการผลิตสารพิษจากเชื้อราได้

และผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองชาวลำพูน โดยนำเปลือกข้าวโพดที่หมักด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้มาใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงโคเนื้อชาวลำพูนเปรียบเทียบกับการใช้ฟางข้าวเป็นระยะเวลา 3 เดือน แม้ว่าอัตราการเจริญ ลักษณะซากผลพลอยได้จากซากและคุณภาพเนื้อ ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ตารางที่ 3) แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มจากข้อมูลที่ได้พบว่า กลุ่มที่ให้กินเปลือกข้าวโพดหมักมีแนวโน้มของการเจริญและคุณภาพซากที่ดีกว่า

ตารางที่ 3 ผลของน้ำหนักและคุณภาพซากโคเนื้อชาวลำพูนที่ได้รับอาหารหยาบต่างกัน

คุณภาพซาก	น้ำหนัก (กิโลกรัม)		p-value
	ฟางข้าว	เปลือกข้าวโพดหมัก	
น้ำหนักมีชีวิต	232.80	256.40	0.098
น้ำหนักซากอ่อน*	104.60	123.70	0.103
หัว	5.41	5.55	0.585
เท้า	2.50	2.45	0.857
หาง	0.43	0.43	1.000
หนัง	7.07	7.64	0.411
อวัยวะสืบพันธุ์	0.45	0.46	0.685
หัวใจ	0.40	0.43	0.533
ตับ	1.15	0.91	0.113
ม้าม	0.30	0.27	0.823
ทางเดินหายใจ	1.31	1.27	0.904
ไต	0.29	0.27	0.854
ลำไส้เล็ก	2.90	2.67	0.109
ลำไส้ใหญ่	2.20	2.05	0.250
กระเพาะ	3.40	3.98	0.069

หมายเหตุ \*ชิ้นส่วนเนื้อโคที่ตัดเอาส่วนต่างๆ ดึงนี้ออก คือ หัว หนัง ข้อเท้า หาง เครื่องใน และ เลือด

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นและการขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ในช่วงหน้าแล้ง ซึ่งกรมปศุสัตว์ [3] ได้แนะนำการทำอาหารหมักเพื่อลดต้นทุนอาหารแก่เกษตรกร รวมถึง เสาวลักษณ์และคณะ [8] ที่ศึกษาการ

พัฒนาอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดเพื่อเลี้ยงโคเช่นกัน แต่สารเสริมที่ใช้คือยูเรียซึ่งเป็นพิษต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้น ขรศรีชัยและคณะ [5] จึงได้ปรับปรุงวิธีการหมักเปลือกข้าวโพด โดยนำมาหมักกับลูกแป้งจุลินทรีย์ รำหยาบ และกากน้ำตาล เพื่อให้เป็นอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางอาหารสูง อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มคุณค่าทางโปรตีน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดเพื่อเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองสำหรับหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มโปรตีน และมุ่งศึกษาสารเสริมที่ใส่ลงไปหมักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ รำหยาบ กากน้ำตาล และลูกแป้งจุลินทรีย์ รวมถึงศึกษาเชื้อราที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบก่อนและหลังการหมัก และนำไปทดสอบประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองชาวลำพูน ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาให้กับท้องถิ่น ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ สามารถเลี้ยงตนเองได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อโปรตีนคือกากน้ำตาล ( $P < 0.05$ ) และปริมาณที่เหมาะสมของสารเสริมที่ใส่ลงไปหมักทั้ง 3 ชนิดคือ รำข้าว 0.70%(w/v) กากน้ำตาล 0.70%(w/v) และลูกแป้งจุลินทรีย์ 0.28%(w/v) โดยหมักกับเปลือกข้าวโพดปริมาณ 28 % โดยน้ำหนัก และน้ำเปล่าปริมาณ 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร หมักด้วยภาชนะปิดใ่อากาศเป็นระยะเวลา 30 วัน ทำให้มีโปรตีนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และจากการวิเคราะห์เชื้อรากลุ่ม *Aspergillus Section Flavi* กลุ่มที่ผลิตอะฟลาทอกซิน พบว่าการหมักเปลือกข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์ที่ถูกต้องวิธีทำให้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและการผลิตสารพิษจากเชื้อราได้

จากการทดสอบประสิทธิภาพการเจริญและคุณภาพของโคพื้นเมืองชาวลำพูนเปรียบเทียบกับการใช้ฟางข้าวเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยพิจารณาจากอัตราการเจริญ ลักษณะซาก ผลพลอยได้จากซากและคุณภาพเนื้อ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่แนวโน้มจากข้อมูลที่ได้พบว่า กลุ่มที่ให้กินเปลือกข้าวโพดหมักมีแนวโน้มของการเจริญและคุณภาพซากที่ดีกว่า และผู้วิจัยได้คำนวณต้นทุนการผลิตอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดเท่ากับ 0.39 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งถูกกว่าใช้ฟางแห้งซึ่งราคาเฉลี่ย 1 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตโคเนื้อพื้นเมืองชาวลำพูน และที่สำคัญสามารถลดการเผาวัสดุเศษเหลือจากการทำไร่ข้าวโพดได้อีกทางหนึ่ง

## 5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดเพื่อเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองด้วยการหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มโปรตีน อย่างไรก็ตามเพื่อให้งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาได้อย่างสมบูรณ์คือ 1.) ควรต้องเพิ่มหรือขยายระดับของปัจจัยเพื่อให้ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น 2.) พิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะเกี่ยวข้องเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถถดถอยมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น 3.) เพิ่มจำนวนโคเนื้อหรือระยะเวลาการทดสอบเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ให้คำตอบที่แม่นยำ รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงโคลูกผสมยุโรปเพื่อผลิตโคขุนคุณภาพดี

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 สัญญาเลขที่ RD59012 ขอขอบคุณนายจงสถิต มานะ เจ้าพนักงานสัตวบาล ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์พะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา สำหรับการปฏิบัติการภาคสนาม ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยาที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Danmek, K., Sorachakula, C., & Dongpaleedham, C. (2015). An application use of maize husk silage for beef cattle production in Phayao province. *Journal of Animal Husbandry*, 25(108), 22-25. (in Thai)
- [2] Department of livestock development. (2004 a). Table of nutritive values database of feed stuffs. The guidance document, department of livestock, ministry of agriculture and cooperatives Thailand, 26 pages. (in Thai)
- [3] Department of livestock development. (2004 b). Standard forage fermentation. The guidance document, department of livestock, ministry of agriculture and cooperatives Thailand, 23 pages. (in Thai)
- [4] Department of livestock development. (2004 c). Standard forage dry. The guidance document, department of livestock, ministry of agriculture and cooperatives Thailand, 22 pages. (in Thai)

- [5] Danmek, K., Thana, T., Sorachakula, C., & Dongpaleedham, C. (2016). Maize Husk Silage: A new choice of reduced cost for Beef Cattle farmer. *Thaieduzine*, 2(3), 45-51. (in Thai)
- [6] Khangkhan, K., Anorach, T., Intawicha, P., Thana, S., Sorachakula, C., & Danmek, K. (2015). Aflatoxin B1 inhibition using atoxigenic *aspergillus flavus* of strains. *Journal of Agriculture*, 31(1), 47-57. (in Thai)
- [7] Jaturasitha, S., Potikanond, N., & Mikled, C. (1989). A study on carcass quality of finishing white Lamphun cattle 1. A comparative study on Thai style cutting and national livestock and meat board. *Journal of Agriculture*, 5(3), 171-178. (in Thai)
- [8] Yammuen-art, S., Peangtina, N., Sanyong, P., Chuptong, N., Arjin, C., & Laorodpun, N. (2012). Effect of urea and molasses supplementation on field corn cob haylage quality and ruminal degradation characteristic in Thai northern native cattle. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40 supplement 2, 187-192. (in Thai)
- [9] Sudasna-na-Ayudthya, P., & Luangpaiboon, P. (2008). *Design and Analysis of Experiments* (1<sup>st</sup> ed.). Bangkok: TOP Publishing.
- [10] Khungaew, M., Lounglawan, P., & Suksombat, W. (2010). Utilization of cassava peel and pulpas composition of silage. *Journal of Science & Technology*, 12(3), 92-102. (in Thai)
- [11] Polyorach, S., Wanapat, M., & Wanapat, S. (2012). Increasing protein content of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) using yeast in fermentation. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40 supplement 2, 178-182. (in Thai)
- [12] Sunato, S., Pattarajinda, V., Lowilai, P., & Nontaso, N. (2012). Study on increasing protein of cassava-ethanol by products by fermented with yeast. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40 supplement 2, 183-186. (in Thai)
- [13] Sanannam, A., Tochampa, W., Tartrakoon, W., Wanangkarn, A., & Tartrakoon, T. (2012). Suitable fermentation condition of starter pig liquid feed. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40 supplement 2, 267-271. (in Thai)
- [14] Chordchomphu, N., Wongsuthavas, S., Yuangklang, C., Bureenok, S., Ampapron, K., Sarnklong, C., & Vasupen, K. (2012). Used grass silage in pig diet on growth performance and nutrients of digestibility in native pigs. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40 supplement 2, 507-511. (in Thai)
- [15] Montgomery, D. C. (2009) *Design and Analysis of Experiment* (7th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- [16] AOAC. (2006). Chapter 4: Animal feed. In: *Official methods of analysis* (18th ed.). Arlington, VI, USA: AOAC International.
- [17] Uegaki, R., Tsukiboshi, T., & Tohno, M. (2013). Changes in the concentrations of fumonisin, deoxynivalenol and zearalenone in corn silage during ensilage. *Animal Science Journal*, 84(9), 656-662.
- [18] Dogi, CC., Fochesato, A., Armando, R., Pribull, B., de Souza, MM., da Silva Coelho, I., Araujo de Melo, D., Dalcerro, A., & Cavaglieri, L. (2013). Selection of lactic acid bacteria to promote an efficient silage fermentation capable of inhibiting the activity of *Aspergillus parasiticus* and *Fusarium graminearum* and mycotoxin production. *Journal of Applied Microbiology*, 114, 1650-1660.
- [19] Riddech, N. (2013). What Should We Consider Before Making Compost?. *KKU Science Journal*, 41(3), 595-606. (in Thai)
- [20] Merry, RJ., & Davies, DR. (1999). Propionibacteria and their role in the biological control of aerobic spoilage in silage. *Le Lait*, 79(1), 149-164.