การปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักจากใบอ้อยต่อการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊สโดยเทคนิคในหลอดทดลอง

โดย
นางสาวกานต์ธิดา โฉนารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักจากใบอ้อยต่อการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊สโดยเทคนิคในหลอดทดลอง

โดย
นางสาวกานต์ธิดา โถนารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

IMPROVEMENT OF SILAGE SUGARCANE LEAVES USING FERMENTED JUICE OF EPIPHYTIC LACTIC ACID BACTERIA (FJLB) FROM SUGARCANE LEAVE ON NUTRIENTS DIGESTIBILITY AND GAS PRODUCTION BY *IN VITRO* TECHNIQUES

By

MISS Kantida THONARAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science ANIMAL SCIENCE
Academic Year 2023
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักจากใบอ้อยต่อการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊สโดยเทคนิคในหลอดทดลอง
โดย	นางสาวกานต์ธิดา โถนารัตน์
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพรรณ แสนภูมิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ เชาว์เครือ

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

....คณบดีคณะสัตวศาสตร์และ
(อาจารย์ ดร. วัชราภรณ์ รวมธรรม) เทคโนโลยีการเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภวัต เสรีตระกูล)

....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพรรณ แสนภูมิ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ เชาว์เครือ)

....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. เสมอใจ บุรีนอก)

641120001 : สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : ใบอ้อย, น้ำพืชหมักจากใบอ้อย, การย่อยได้ในหลอดทดลอง, ใบอ้อยหมัก

นางสาว กานต์ธิดา โฉนารัตน์: การปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักจากใบอ้อยต่อการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊สโดยเทคนิคในหลอดทดลอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพรรณ แสนภูมิ

การศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบอ้อย วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มการทดลองๆ ละ 5 ซ้ำ คือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาล (กลุ่มควบคุม), กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 3%, กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 5%, กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 7% จากการศึกษาพบว่าน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาลมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติด (7.34 Log10 CFU/ml), ปริมาณกรดแลคติค (0.18%), ความเป็นกรดด่าง (4.95) และปริมาณน้ำตาลที่เหลือทั้งหมด (5,958.18 μg/ml) ดีกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 18 ($P<0.01$) สรุปได้ว่าน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาล ณ ชั่วโมงที่ 18 สามารถนำไปปรับปรุงพืชหมักได้

การทดลองที่ 2 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชจากใบอ้อยในหลอดทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองๆ ละ 5 ซ้ำ ดังนี้กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม), กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย, กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล จากการศึกษา พบว่า ใบอ้อยหมักทุกกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริมมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (39.64%), อินทรียวัตถุ (32.82%) และปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม (80.33 ml/ 0.5g DM) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 72 ดังนั้นสรุปได้ว่า ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริมสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนได้

641120001 : Major ANIMAL SCIENCE

Keyword : FERMENTED JUICE, SUGAR CANE LEAVES, ERMENTED JUICE FROM SUGARCANE LEAVES, IN VITRO, FERMENTED SUGARCANE LEAVES

MISS Kantida THONARAT : Improvement of silage sugarcane leaves using fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) from sugarcane leave on nutrients digestibility and gas production by *in vitro* techniques Thesis advisor : Assistant Professor Pornpan Saenphoom, Ph.D.

The study consisted of 2 experiments. Firstly, the objective was to study quality of fermented juice from sugarcane leaves. All treatments were assigned in a completely randomized designed (CRD). The treatment consists of 4 treatments and 5 replicates per treatment such as fermented juice from sugarcane leave with 0, 3 and 5% molasses respectively. This study was showed that fermented juice from without molasses had better lactic acid count (7.34 Log10 CFU/ml), total lactic acid content (0.18%), average pH value (4.95) and total sugar content (5,958.18 µg/ml) than other treatments at hrs. 18 ($P<0.01$). Therefore, fermented juice from sugarcane leave without molasses was suitable to improve silage.

Secondly, the objective was to study improve sugarcane leave using fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria. All treatments were assigned in a completely randomized designed (CRD). The treatment consists of 3 treatments and 5 replicates per treatment such as fermented sugarcane leave without silage additive (Control), fermented sugarcane leaves with 1% fermented juice and fermented sugarcane leaves with 5% molasse. The results showed that fermented sugarcane leave without silage additive had higher *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) (39.64%), *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) (32.82%) and gas production (80.33 ml/ 0.5g DM) than other treatments at hrs. 72 ($P<0.01$). Therefore, fermented sugarcane leave without silage additive was suitable as alternative roughages.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณา และความเมตตา จาก ผศ.ดร. พรพรรณ แสนภูมิ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร. อนันท์ เชาว์เครือ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้ให้การดูแล ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. เสมอใจ บุรีนอก ซึ่งเป็นกรรมการในการสอบ ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในทุกๆด้านต่อตัวผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภวัต เสรีตระกูล ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสัตวศาสตร์ ขอขอบคุณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการ เกษตร เทคโนโลยีการเกษตร และฟาร์มสาธิตคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ที่กรุณาให้ใช้ห้องปฏิบัติการการทดลอง และแพะ ในการทดลองในการศึกษาและทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และนักวิทยาศาสตร์คณะสัตวศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตรทุกท่าน ขอขอบพระคุณ ดร. สุภาวดี ฉิมทอง และคุณวสุนันท์ นิ่มอนงค์ ที่คอยอบรมสั่งสอน เมตตา ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆปัญหาที่พบขณะทำการวิจัยให้แก่ผู้วิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าของงาน วารสาร และวิทยานิพนธ์ทุกเล่มของทุกท่านที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสมยศ โฉนารัตน์ (บิดา) และ คุณพิกุลทอง โฉนารัตน์ (มารดา) ที่ให้โอกาส ให้การศึกษา ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนอย่างสุดความสามารถตลอดมา และขอขอบคุณ คุณชนน์ชนก ชุมพินิจ ที่คอยให้คำปรึกษา และสนับสนุนตลอดเสมอมา

กานต์ธิดา โฉนารัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ... ฉ

สารบัญ.. ช

สารบัญตาราง..ฎ

สารบัญภาพ...ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา.. 4

3. สมมติฐานของการศึกษา 4

4. ขอบเขตของการศึกษา 4

บทที่ 2 ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง... 5

1. ปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ 5

1.1 ข้อมูลปริมาณพืชอาหารสัตว์.. 5

1.2 ข้อมูลปริมาณเศษเหลือทางการเกษตร.. 6

1.2.1 เศษเหลือจากข้าว.. 6

1.2.2 เศษเหลือจากสับปะรด 7

1.2.3 เศษเหลือจากข้าวโพด 9

1.2.4 เศษเหลือจากมันสำปะหลัง 10

3.กระบวนการย่อยได้โภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.. 11

3.1 กระบวนการย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง.. 11

3.1.1 กระเพาะเรติคูลัม (Reticulum) 12
3.1.2 กระเพาะรูเมน (Rumen) 12
3.1.3 โอมาซัม (Omasum) 12
3.1.4 อะโบมาซัม (Abomasum) 13
3.2 กระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน 13
3.2.1 การสลายคาร์โบไฮเดรตในรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง 14
3.3 การหมักย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน 15
3.4 การวัดประเมินด้วยเทคนิคการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง *in vitro* gas 17
4. การถนอมพืชอาหารสัตว์ 17
4.1 กระบวนการหมักของพืชหมัก 17
4.2 ลักษณะที่ดีของพืชหมัก 19
4.3 การใช้สารเสริมในการปรับปรุงพืชหมัก 20
5. การใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำพืชหมัก 21
5.1 การศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมัก 22
5.2 การปรับปรุงคุณภาพพืชหมักโดยใช้น้ำพืชหมัก 24
6. อ้อย 26
6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 26
6.2 ข้อมูลการผลิต 26
6.3 การแปรรูปจากอ้อย 28
6.3.1 น้ำตาล (Sugar) 28
6.3.2 ชานอ้อย (Sugar cane) 29
6.3.3 กากน้ำตาล (Molasses) 29
6.4 การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทางการเกษตรจากใบอ้อย 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 32

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมัก (FJLB) จากใบอ้อย 32
1. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ 32
2. กลุ่มการทดลองและการวางแผนการทดลอง 32
3. สิ่งที่ทำการศึกษา 32
3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 32
3.2 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria content) 32
3.3 ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (Total lactic acid content) 33
3.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content) 34
4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 34
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักต่อคุณภาพการหมัก ค่าการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊ส 34
1. กลุ่มการทดลองและการวางแผนการทดลอง 35
2. สิ่งที่ทำการศึกษา 35
2.1 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile fatty acid, TVFA) 35
2.2 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) 35
2.3 ค่าองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของใบอ้อยหมัก 36
2.4 ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD) 36
2.5 ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม (Gas production) 37
3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 38
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 39
การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย 39
1. จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria count) 39
2. ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (Total lactic acid content) 41

3. ค่า pH ของน้ำพืชหมัก (FJLB) 43
4. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content) 45

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาผลการปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักต่อคุณภาพการหมัก ค่าการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊ส 48

1. ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile fatty acid, TVFA) 48
2. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) 48
3. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions) 49
4. สัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (in *vitro* dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (in *vitro* organic matter digestibility, IVOMD) 50
5. ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม 51

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 53

ภาคผนวก ก 55

ภาพแสดงการเตรียมการทดลอง 55

ภาคผนวก ข 62

การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ 62

รายการอ้างอิง 71

ประวัติผู้เขียน 77

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลพืชอาหารสัตว์ประจำปี 2564 5

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสูตรอาหารผสมข้าวเปลือกข้าวหอมแม่พญาทองดำบดในระดับต่างๆ ในไก่พื้นเมืองลูกผสม 7

ตารางที่ 3 ผลการใช้เปลือกสับปะรด และเปลือกสับปะรดผสมรำละเอียดที่อัตราส่วน 3:1 ในอาหารโคนม 8

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหารทดลองต่างๆในโคนม (% วัตถุแห้ง) ... 10

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำหมักจากหญ้าเนเปียร์ หญ้ารูซี่ และหญ้ากินนี ณ ชั่วโมงที่ 36 22

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำพืชหมักจากใบสับปะรด ณ ชั่วโมงที่ 18 23

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำพืชหมักของใบทางปาล์มน้ำมัน ณ ชั่วโมงที่ 30 24

ตารางที่ 8 ผลของเปลือกตาลหมักด้วยฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตของแพะลูกผสม 25

ตารางที่ 9 พื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดเพชรบุรี 2559 - 2564 27

ตารางที่ 10 ผลของอาหารหยาบต่อการกินได้และผลผลิตน้ำนมของโคนม 30

ตารางที่ 11 ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติค Log CFU/ml ของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ 40

ตารางที่ 12 ปริมาณกรดแลคติคของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ 42

ตารางที่ 13 ค่า pH ของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ 44

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำตาลที่เหลือของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง (µg/ml) ณ ชั่วโมงต่างๆ 46

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง 48

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง (% น้ำหนักแห้ง) 50

ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงที่ 72 .. 51

ตารางที่ 18 จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สของพืชหมักจากใบอ้อยในแต่ละกลุ่มการทดลอง............... 52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 เศษเหลือจากข้าว ก : รำข้าว ข : เปลือกข้าว และ ค : ฟางข้าว 6

ภาพที่ 2 เศษเหลือจากสับปะรด 8

ภาพที่ 3 เศษเหลือใช้ข้าวโพด 9

ภาพที่ 4 เศษเหลือจากมันสำปะหลัง 10

ภาพที่ 5 กระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 11

ภาพที่ 6 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน 15

ภาพที่ 7 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน 16

ภาพที่ 8 กระบวนการผลิตกรดแลคติค 18

ภาพที่ 9 แบคทีเรียกรดแลคติค 19

ภาพที่ 10 ลักษณะพืชหมักที่ดี 20

ภาพที่ 11 เศษเหลือใช้ทางการเกษตรและการแปรรูปของอ้อย 28

ภาพที่ 12 การใช้ประโยชน์จากอ้อยสด 29

ภาพที่ 13 กราฟแนวโน้มของปริมาณจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค ณ ชั่วโมงต่างๆ 41

ภาพที่ 14 แนวโน้มของปริมาณกรดแลคติค ณ ชั่วโมงต่างๆ 43

ภาพที่ 15 กราฟแนวโน้มของปริมาณค่า pH ณ ชั่วโมงต่างๆ 45

ภาพที่ 16 กราฟแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ณ ชั่วโมงต่างๆ 47

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารหยาบเป็นปัจจัยหนึ่งของการผลิตอาหารสัตว์ที่มีความสำคัญในการนำมาเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่อาหารหยาบมักขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง ที่ผ่านมาเกษตรกรมีการนำเอาเศษเหลือทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว, เปลือกสับปะรด, ชานอ้อย และใบทางปาล์ม นำมาให้กับสัตว์เลี้ยง โดยสารมารถใช้ฟางข้าวทดแทนอาหารหยาบผสมในโคนมได้ 55% ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้และการผลิตน้ำนม (ปณัท และคณะ, 2559) และจากการศึกษาของ ธาตรี (2561) พบว่าโคเนื้อลูกผสมที่ได้รับชานอ้อยหมัก และฟางหมัก สามารถทดแทนการใช้หญ้าขนสดในฤดูแล้งได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของโคเนื้อลูกผสม

โดยการถนอมพืชอาหารสัตว์ (Forage preservation) มีทั้งในรูปพืชแห้ง (Hay) และพืชหมัก (Silage) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันเป็นส่วนใหญ่ในการนำมาแก้ไขปัญหาขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง สำหรับพืชแห้ง เป็นการนำเอาพืชตระกูลหญ้าหรือพืชตระกูลถั่วนำมาทำให้แห้ง ให้มีความชื้นประมาณไม่เกิน 15% จากการตากหรือผึ่งแดดให้แห้งหรือการใช้เครื่องมือช่วยทำให้แห้ง โดยทั่วไปนิยมใช้แสงแดดในการทำให้แห้งเพราะมีต้นทุนที่ต่ำ พืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสำหรับทำหญ้าแห้ง ควรมีลำต้นเล็ก มีใบมากและอ่อน เช่น หญ้ารูซี่, หญ้าแพงโกล่า และถั่วฮามาต้า เป็นต้น การทำหญ้าแห้งควรทำในช่วงที่มีแสงแดดพอเพียงโดยการตัดหญ้าในช่วงที่กำลังออกดอก เพื่อให้ได้หญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูงที่สุดและได้หญ้าแห้งที่มีคุณภาพดี โดยหญ้าแห้งคุณภาพดีจะยังคงมีสีเขียว กลิ่นหอม และไม่แข็งกระด้าง มีโปรตีนประมาณ 9-10% ข้อควรระวังในการทำพืชแห้งคือ ความชื้นที่ไม่เหมาะสมเป็นปัญหาสำคัญต่อการเสื่อมสภาพคุณภาพของหญ้าแห้ง เพราะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และความร้อนที่เกิดในกองฟางขณะอยู่ในโรงเก็บ สาเหตุเริ่มต้นจากความชื้นของหญ้าแห้งที่สูง โดยเฉพาะถ้าสูงเกินกว่า 25% ดังนั้นการระบายอากาศและการป้องกันการได้รับความชื้นจากบรรยากาศ จึงเป็นเรื่องสำคัญในการเก็บรักษาหญ้าแห้งให้คงสภาพและมีคุณภาพดีตลอดไป โดยมีการศึกษาของ ชื่นจิต (2556) ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของถั่วแลบแลบแห้งผสมหญ้าแพงโกล่าแห้งในอัตราส่วน 20:80, 35:65, 50:50 และ 100:0 พบว่า แกะที่ได้รับถั่วแลบแลบแห้งผสมหญ้าแพงโกล่าแห้งในอัตราส่วน 50:50 มีแนวโน้มปริมาณการกินได้ และน้ำหนักตัวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแกะที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้ง และถั่วแลบแลบแห้งผสมหญ้าแพงโกล่าแห้งในอัตราส่วนต่างๆ (20:80 และ 35:65) ($P>0.05$)

พืชหมักหรือพืชอาหารหมัก (Silage) คือ พืชอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และหญ้า ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะ แล้วนำมาหมักเก็บไว้ในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic condition) พืชหมักที่มีคุณภาพควรมีความชื้นประมาณ 65–75%, คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 3.5-4.2 (McDonald *et al*., 1991; กรมปศุสัตว์, 2547) และเมื่อพืชอาหารสัตว์เหล่านี้ได้เปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักแล้วจะสามารถอยู่ได้เป็นเวลานานโดย คุณค่าทางโภชนะไม่เปลี่ยนแปลง พืชอาหารหมัก คือ พืชอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น หญ้า ข้าวโพดอาหารสัตว์ ข้าวฟ่าง อ้อย และ ถั่วต่างๆ ที่ได้ทำการเก็บเกี่ยวในขณะที่พืชนั้นๆ มีความชื้นที่เหมาะสม แล้วนำมาหมักเก็บไว้ในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic condition) พืชหมักที่มีคุณภาพควรมีความชื้นประมาณ 65–75%, คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate, WSC) ต้องไม่น้อยกว่า 6% ของน้ำหนักสด และค่า pH ควรอยู่ระหว่าง 3.5-4.2 (McDonald et al., 1991; กรมปศุสัตว์, 2547) ซึ่งในการทำพืชหมักเป็นกระบวนการหมักเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ และเป็นจุลลินทรีย์ที่ติดมากับพืช เช่น ลำต้น ดอก ใบ เป็นต้น และในกระบวนการหมักจะส่งผลให้พืชหมักมีคุณภาพนั้นขึ้นอยู่กับแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria) ที่ติดมากับพืช (Epiphytic bacteria) กระบวนการทำงานในสภาพไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียกรดแลคติคใช้คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง และทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีความเป็นกรดได้ จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคจะชะลอกระบวนการทำงาน เมื่อปริมาณกรดแลคติคมีจำนวนมาก ก็จะหยุดใช้สารอาหาร สารอาหารคงเหลือมากขึ้นในระบบ ส่งผลให้สูญเสียโภชนะน้อยลง เช่น สูญเสียโปรตีนในรูปแบบของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 - N) (เสมอใจ, 2554) จากการศึกษาของ ธาตรี (2561) พบว่าโคเนื้อลูกผสมที่ได้รับชานอ้อยหมัก และฟางหมัก สามารถทดแทนการใช้หญ้าขนสดในฤดูแล้งได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของโคเนื้อลูกผสม จากการศึกษาของ จารุณี และคณะ (2561) ได้ทำการศึกษาหญ้าอะตราตั้มสดร่วมกับกระถิ่นในระดับอัตราส่วน 100:0 , 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 พบว่า แพะที่ได้รับหญ้าอะตราตั้มสด (100:0) มีปริมาณการกินได้สูงกว่าแพะที่ได้รับหญ้าอะตราตั้มหมักร่วมกับกระถิน และทางปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนต่างๆ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในการทำพืชหมักยังมีการใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพืชหมัก เพื่อกระตุ้นกระบวนการหมัก เช่นกากน้ำตาล เอนไซม์ จุลินทรีย์ และแบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในน้ำพืชหมัก (Fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria, FJLB)

การใช้แบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในน้ำพืชหมักเป็นสารเสริมพืชหมักทางเลือกชนิดหนึ่ง โดยมีแนวความคิดมาจาก Ohshima *et al.* (1997) สามารถทำได้โดยนำพืชมาผสมน้ำและนำไปปั่น เมื่อ

ปั่นจนละเอียดนำไปกรองต่อด้วยผ้าขาวบาง น้ำพืชหมักที่ได้จากการกรองนำไปเติมกากน้ำตาล เพื่อเป็นการเพิ่มอาหารให้กับแบคทีเรีย กระตุ้นการเจริญเติบโตในช่วงแรก หลังจากนั้นนำไปบ่มทิ้งไว้ในสภาวะไร้อากาศ 2 วัน และสารมารถนำมาใช้เป็นสารเสริมในพืชหมักได้ โดยการที่พืชหมักเกิดสภาวะคงที่เนื่องมาจากปริมาณกรดแลคติค เกิดจากกระบวนการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติค ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง เมื่อค่า pH ลดลงจะทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตได้ (เสมอใจ, 2554)

เทคนิคการผลิตแก๊ส คือ ผลผลิตแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นจากการการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน ซึ่งมีการศึกษาก่อนหน้านี้โดย เสาวลักษณ์ และคณะ (2542) พบว่ากระบวนการหมักช่วงแรกจะเกิดปริมาณของแก๊สที่น้อยเนื่องจากในช่วงแรกนั้นจุลินทรีย์จะทำการย่อยส่วนที่ย่อยยากก่อนหลังจากนั้นเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมงจะเกิดการย่อยได้เร็วมากขึ้น และช้าลงหลังผ่านไป 48 ชั่วโมง และจะเริ่มคงที่เมื่อผ่านไป 72 ชั่วโมง และมีการรายงานของ นริสรา และคณะ (2559) พบว่าเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนหมักเสริมรำข้าว (10%) พบปริมาณแก๊สสะสมในชั่วที่ 24,48 และ 96 (41.64, 58.66 และ 60.69 มิลลิลิตร ตามลำดับ) สูงกว่ากลุ่มของข้าวโพกฝักอ่อนหมักเสริมรำข้าว (15%)

อ้อย (Sugarcane) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum L.* เป็นพืชวงศ์ Poaceae (Gramineae) วงศ์เดียวกับไผ่ หญ้า และธัญพืชเช่น ข้าวสาลีข้าว ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดที่เกาะนิวกินี ในมหาสมุทรแปซิฟิก อ้อยเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต ปัจจุบันการเก็บเกี่ยวอ้อยแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ การเผาอ้อยแล้วทำการเก็บเกี่ยว และการเก็บเกี่ยวแบบอ้อยสด ซึ่งเศษเหลือใช้ทางการเกษตรของอ้อยในรูปแบบการเก็บเกี่ยวแบบสดคือ ใบอ้อย และการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบสดเป็นการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการเผาอ้อย (สิงห์รัญ, 2555) การเผาอ้อยยังปลดปล่อยสารตั้งต้นของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (Carbon monoxide; CO) สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ และก๊าซไนโตรเจนต่างๆ อีกด้วย (Levine, 2000) โดยใบอ้อยเป็นเศษเหลืออ้อยจากไร่อ้อย มีองค์ประกอบทางเคมี ความชื้นประมาณ 82.7 % โปรตีนหยาบประมาณ 4-6 % คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ประมาณ 7.29% แต่มีเยื่อใยหยาบสูงประมาณ 31.90% (George, 1967)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับปรุงใบอ้อยที่เป็นเศษเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมัก เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย และการย่อยได้ของโภชนะ และการผลิตแก๊สโดยใช้เทคนิคในหลอดทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการใช้แบคทีเรียกรดแลคติคที่มีจากน้ำพืชหมักเป็นสารเสริมพืชหมักทางเลือกชนิดหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบในการเลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูแล้งและยังช่วยลดมลพิษจากการเผาใบอ้อยอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย ได้แก่ ค่า pH, จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค, ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมีของใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชจากใบอ้อย ได้แก่ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด, ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และองค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยหมัก

2.3 เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้และปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมในกระบวนการหมักย่อยของใบอ้อยหมักโดยเทคนิคในหลอดทดลอง

3. สมมติฐานของการศึกษา

การปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักจากใบอ้อย ส่งผลเพิ่มขึ้นต่อคุณภาพพืชหมัก และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊สโดยเทคนิคในหลอดทดลอง

4. ขอบเขตของการศึกษา

4.1 การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบอ้อย ที่เติมกากน้ำตาลในระดับต่างๆ (0, 3, 5, และ 7%) เพื่อศึกษาความเหมาะสมของน้ำพืชหมัก ที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการหมักของใบอ้อยหมัก ค่า pH, ปริมาณกรดแลคติค, จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค

4.2 ศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ, ผลผลิตปริมาณแก๊สสะสม, กรดไขมันระเหยง่าย, แอมโมเนียไนโตรเจนของใบอ้อยหมัก และค่าจลศาสตร์การหมักย่อยของใบอ้อยหมักที่เติมแบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำพืชหมักจากใบอ้อย โดยเทคนิคในหลอดทดลองในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์

พืชอาหารสัตว์มีความสำคัญต่อระบบการย่อยของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพที่ดีนั่นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ (กังวาน และ วรพงษ์, 2555) ปัจจุบันเกษตรผู้เลี้ยงสัตว์มักพบกับปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ เนื่องจากประเทศไทยมีฤดูแล้งในช่วงเวลาที่ยาวนาน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พืชอาหารสัตว์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์เลี้ยงได้ตลอดทั้งปี จึงส่งผลให้ในช่วงฤดูแล้งขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ เช่น หญ้าสด ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้เกษตรกรต้องใช้ปริมาณของอาหารข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าอาหารมากขึ้น ซึ่งวิธีการถนอมพืชอาหารสัตว์เป็นหนึ่งวิธีที่จะสามารถนำมาใช้แก้ไขปัญหาให้เกษตรเก็บพืชอาหารสัตว์ไว้ใช้ในฤดูแล้งได้ (ยิ่งยง และ มณี, 2564)

1.1 ข้อมูลปริมาณพืชอาหารสัตว์

พืชอาหารสัตว์ คือ พืชที่สัตว์ได้รับเข้าไปแล้วช่วยก่อให้เกิดประโยชน์แก่ร่างกายของสัตว์และไม่เป็นพิษต่อสัตว์ พืชที่สามารถนำมาเป็นพืชหารสัตว์สำหรับให้สัตว์กินได้ ได้แก่ พืชตระกูลหญ้าและพืชตระกูลถั่ว เช่น หญ้ารูซี่ หญ้ากินนี หญ้าแพงโกล่า ถั่วฮามาต้า และถั่วไมยรา เป็นต้น (สายัณย์, 2546) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อมูลพืชอาหารสัตว์ประจำปี 2564

ชนิดพันธุ์	พื้นที่ (ไร่)
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	8,467
หญ้าเนเปียร์แคระ	593
หญ้าแพงโกลา	6,539
ต้นข้าวโพดพร้อมฝัก	6,142
หญ้าสกุลกินนี	538
กระถิน	50
หญ้าหวายข้อ	371

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ (2564)

1.2 ข้อมูลปริมาณเศษเหลือทางการเกษตร

ปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ในช่วงฤดูแล้งยังคงเป็นปัญหาหลักในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ที่ผ่านมาเกษตรกรแก้ไขปัญหาการขาดแคลนโดยการนำเศษเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ มาใช้เลี้ยงสัตว์ อาทิ เช่น ชานอ้อย ซังข้าวโพด เป็นต้น

1.2.1 เศษเหลือจากข้าว

ข้าว (Rice) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa L.* คือ ข้าวทุกสายพันธุ์ที่เพาะปลูก ยกเว้นข้าวที่ปลูกเพื่อเก็บผลผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์ทั้งของหน่วยงานเอกชนและราชการ เช่น ศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ของเอกชน และเกษตรกรที่ปลูก การปลูกข้าวจะมีฤดูกาลผลิตดังนี้

1. ข้าวนาปี คือ ข้าวที่ปลูกระหว่างวันที่ พฤษภาคม ถึง ตุลาคม ของปีเดียวกัน ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันออก 6 จังหวัดได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี ยะลา และนราธิวาสที่เพาะปลูกระหว่างวันที่ มิถุนายน ถึง กุมภาพันธ์ ของปีถัดไป (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565)

2. ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกระหว่างวันที่ พฤศจิกายน ถึง เมษายน ของปีถัดไป ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันออก 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา พัทลุง ปัตตานี ยะลา และนราธิวาสที่เพาะปลูกระหว่างวันที่ มีนาคม ถึง มิถุนายน ของปีเดียวกัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565)

เกษตรกรในประเทศไทยมีการปลูกข้าวทั้งหมด ประมาณ 26,711,735 ตัน และพบว่าเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลูกข้าวเยอะมากที่สุด โดยจังหวัดที่มีการปลูกข้าวมากที่สุดคือ จังหวัดอุบลราชธานี พื้นที่ปลูกประมาณ 1,395,640 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ซึ่งในกำลังการผลิตมหาศาลส่งผลให้เกิดเศษเหลือทางการเกษตรจากข้าวที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น รำข้าว เปลือกข้าว และฟางข้าว (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 เศษเหลือจากข้าว ก : รำข้าว ข : เปลือกข้าว และ ค : ฟางข้าว

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก กรมส่งเกริมการเกษตร (2565)

มณี และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาการใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบเพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงกวาง พบว่ากวางที่ได้รับสูตรอาหาร อาหารข้น, หญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับน้ำตาลและฟางข้าว น้ำหนักของกวางไม่แตกต่างกับกวางที่ได้รับสูตรอาหาร อาหารข้น, หญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับน้ำตาล และหญ้าแพงโกล่าแห้ง

ถาวร และคณะ (2563) พบว่าไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมข้าวเปลือกข้าวหอมแม่พญาทองดำบดในระดับต่างๆ (0, 5, 10, 15, 20, และ 25 %) มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(P> 0.05) (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าข้าวเปลือกสามารถนำมาเลี้ยงไก่พื้นเมืองได้โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสูตรอาหารผสมข้าวเปลือกข้าวหอมแม่พญาทองดำบดในระดับต่างๆ ในไก่พื้นเมืองลูกผสม

ข้อมูลที่ศึกษา	ปริมาณข้าวเปลือกข้าวหอมแม่พญาทองดำบด (%)						P-value
	0	5	10	15	20	25	
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)							
อายุ 3-10 สัปดาห์	7.24	7.60	7.45	6.94	7.55	7.55	0.610
อายุ 10-16 สัปดาห์	27.59	25.29	28.25	31.42	26.74	24.81	0.097
อายุ 3-16 สัปดาห์	16.64	15.77	17.05	18.24	16.41	15.52	0.203
อัตราการเปลี่ยนอาหาร							
อายุ 3-10 สัปดาห์	9.92	9.39	9.74	10.39	9.42	9.15	0.484
อายุ 10-16 สัปดาห์	2.75	2.68	2.60	2.27	2.89	2.97	0.207
อายุ 3-16 สัปดาห์	4.37	4.44	4.27	3.92	4.50	4.57	0.426

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก ถาวร และคณะ (2563)

1.2.2 เศษเหลือจากสับปะรด

สับปะรด (Pineapple) ชื่อวิทยาศาสตร์ : Ana*nas comosus* Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceous ลักษณะของต้นสับปะรด เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี มีสูง 90–100 ซม. มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ใบเดี่ยวเรียงสลับ ซ้อนกันถี่มากรอบต้น กว้าง 6.5 ซม. มีความยาวได้ถึง 1 เมตร ไม่มีก้านใบ ผลมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว สับปะรดสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้

หลากหลาย เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เมื่อผลเจริญแล้วจะเจริญต่อไปที่ตาต่อมาที่ลำต้น และจะเติบโตเป็นต้นใหม่ได้อีก สถานการณ์การเพาะปลูกและผลผลิตสับปะรดในปี 65 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 457,255 ไร่ คิดเป็นปริมาณผลผลิต 1.772 ล้านตัน จังหวัดที่มีผลผลิตสับปะรดมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเศษเหลือจากสับปะรดมีดังนี้ หัวสับปะรด ใบสับปะรด เปลือกสับปะรด แกนสับปะรด (ภาพที่ 2) (จินดา และคณะ, 2558)

หัวสับปะรด
เปลือกสับปะรด
แกนสับปะรด

ใบสับปะรด

ภาพที่ 2 เศษเหลือจากสับปะรด

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก กรมส่งเกริมการเกษตร (2565)

โดยที่ผ่านมามีการนำเศษเหลือจากสับปะรดมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ จินดา และคณะ (2528) พบว่า โคนมที่ได้รับฟางข้าวเติมด้วยเปลือกสับปะรดสด และเปลือกสับปะรดสดผสมรำละเอียดในอัตราส่วน 3:1 โคนมที่ได้รับฟางข้าวเติมด้วยเปลือกสับปะรดผสมรำละเอียดส่งผลให้น้ำหนักโคเพิ่มขึ้นมากที่สุด (0.69 กก./ตัว/วัน) (P<0.01) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการใช้เปลือกสับปะรด และเปลือกสับปะรดผสมรำละเอียดที่อัตราส่วน 3:1 ในอาหารโคนม

ข้อมูลที่ศึกษา	ฟางข้าว	เปลือกสับปะรด	เปลือกสับปะรด + รำละเอียด
น้ำหนักสุดท้าย (กก./ตัว)	220.66	233.91	339.09
น้ำหนักเริ่มต้น (กก./ตัว)	176.54	160.94	171.86
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กก./ตัว/วัน)	0.18^{a}	0.29^{a}	0.69^{b}
ปริมาณอาหาร (กก./ตัว/วัน)	1.47	0.88	0.97

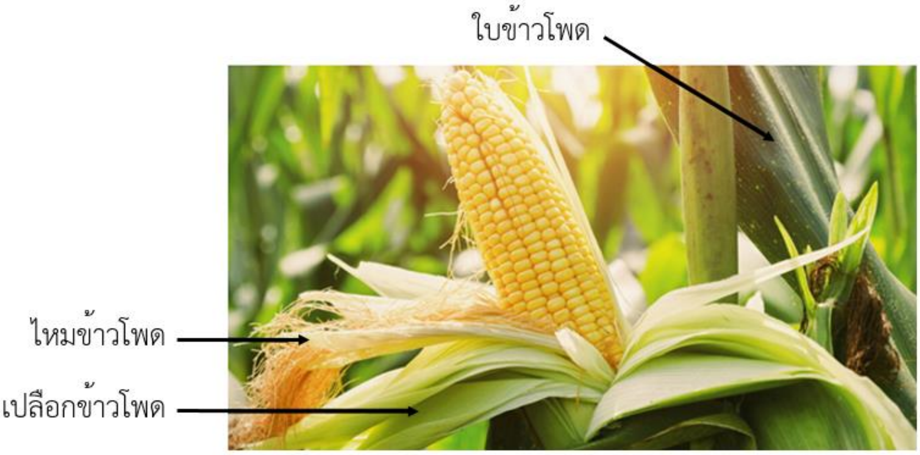
หมายเหตุ : $^{a,\,b}$ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก จินดา และคณะ (2558)

ปรัชญา และคณะ (2541) พบว่า การใช้ใบสับปะรดสดเปรียบเทียบกับการใช้หญ้าสดและฟางข้าวราดกากน้ำตาลผสมยูเรียเพื่อเลี้ยงโค มีอัตราการเจริญเติบโต 0.60 - 0.77 กก./ตัว/วัน และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของโคกลุ่มที่กินใบสับปะรดสดและหญ้าสดไม่แตกต่างกันกับโคกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวราดกากน้ำตาลและยูเรีย (P<0.05)

1.2.3 เศษเหลือจากข้าวโพด

ข้าวโพด (Corn) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Zea Mays L.* วงศ์ : Gramineae ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองมาจากข้าวสาลี และข้าว สามารถปลูกได้ทั่วไปในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้น และพื้นที่ราบเขตร้อน พบว่าปลูกมากในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ 834,584 ไร่ และยังสามารถนำเศษเหลือของข้าวโพดมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เศษเหลือจากข้าวโพดมีดังนี้ ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด ฝักข้าวโพด ไหมข้าวโพด และซังข้าวโพด (ภาพที่ 3) (นพพร และคณะ, 2547) *โดยมีการศึกษาก่อนหน้านี้*



ภาพที่ 3 เศษเหลือใช้ข้าวโพด
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก กรมส่งเกริมการเกษตร (2565)

มนตรี และคณะ (2553) พบว่า โคนมที่ได้รับเปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพดหมักร่วมกับใบกระถิน 20% มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (69.83%), โปรตีนรวม (74.16%), เยื่อใย NDF (75.64%)และเยื่อใย ADF (49.78%) สูงกว่าโคนมที่ได้รับเปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพดร่วมกับใบกระถินที่ระดับต่างกัน (0%, 10 และ 30%) (P> 0.05) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหารทดลองต่างๆในโคนม (% วัตถุแห้ง)

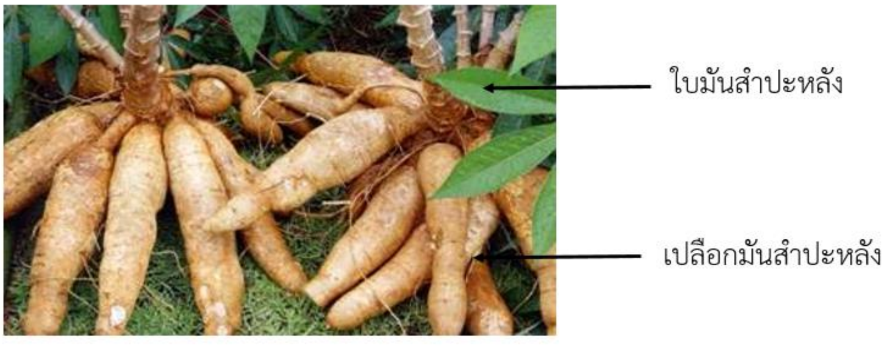
สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (%)	อัตราส่วนของเปลือกข้าวโพด : ใบกระถิน			
	100:0	90:10	80:20	70:30
วัตถุแห้ง	51.60	52.07	69.83	51.42
โปรตีน	61.11	69.94	74.16	63.33
เยื่อใย NDF	62.58	72.38	75.64	56.02
เยื่อใย ADF	40.84	45.52	49.78	43.85

หมายเหตุ : NDF : Neutral detergent fiber และ ADF : Acid detergent fiber

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก มนตรี และคณะ (2553)

1.2.4 เศษเหลือจากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (Cassava) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Manihot esculenta* (L.) ชื่อวงศ์ : EUPHORBIACEAE เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง ชาวไทยเดิมเรียกกันว่า มันสำโรง มันไม้ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่ามันต้นเตี้ย ภาคใต้เรียกมันเทศ ลักษณะลำต้น มีลักษณะเป็นข้อๆ ซึ่งเป็นรอยที่ก้านใบร่วงหลุด สีของลำต้นส่วนยอดจะเป็นสีเขียวส่วนทางด้านล่างอาจมีสีน้ำตาล หรือสีม่วงแดงขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลักษณะใบ เป็นใบเดี่ยว ใบแยกเป็นแฉกคล้ายใบปาล์มมีสีเขียว ก้านใบอาจมีสีเขียว หรือสีแดง บางพันธุ์ใบจะมีสีเหลือง หรือขาว หรือใบด่าง พบว่าในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในจังหวัดนครราชสีมาประมาณ 1,523,512 ไร่ และมันสำปะหลังยังมีส่วนของเศษเหลือต่างๆ เช่น เปลือกมันสำปะหลัง และใบมันสำปะหลัง (ภาพที่ 4) เศษเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ทดแทนได้ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2546)



ภาพที่ 4 เศษเหลือจากมันสำปะหลัง

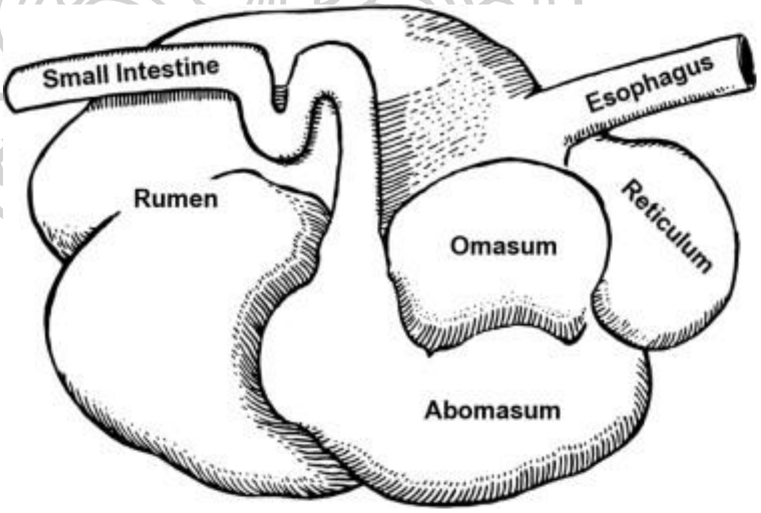
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Thairath (2023)

นิลุบล และคณะ (2550) ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการหมักใบมันสำปะหลังเพื่อเป็นอาหารสัตว พบว่า ใบมันสำปะหลังหมักร่วมกับมันเส้นบด รำข้าว หรือกากน้ำตาลใน อัตรา 5 หรือ 10 % โดยหลังการหมัก 1 เดือน ใบมันหมักดังกลาวมีคุณภาพที่ดี คือ มีกลิ่นหอมพืชหมัก เนื้อไมเปอย มีสีน้ำตาล ไมมีเชื้อรา pH < 4.2 – 4.4 น้ำหนักแหง 22-28 % มีกรดไฮโดรไซยานิคอยูในระดับปลอดภัยในการนำไปเลี้ยงสัตว (< 100 มก./กก.) และสามารถเก็บรักษาได้นาน 5 เดือน

3.กระบวนการย่อยได้โภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

3.1 กระบวนการย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้อง (Ruminant) สามารถทำการย่อยอาหารที่มีส่วนประกอบหลัก คือ พืช ซึ่งจะเริ่มจากการย่อยในกระเพาะเรติคูลัมจนนุ่ม ซึ่งเกิดจากการย่อยโดยแบคทีเรีย หลังจากนั้นจะสำรอกครึ่งหนึ่งส่งกลับไปที่ปาก เรียกว่า เอื้อง และทำการเคี้ยวอีกครั้ง เรียกว่า “การเคี้ยวเอื้อง” (Ruminating) ซึ่งกระเพาะอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย กระเพาะเรติคูลัม กระเพาะรูเมน กระเพาะโอมาซัม และกระเพาะอะโบมาซัม (Wattiaux and Armentano, 2006 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 กระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา : Depeters and George (2021)

3.1.1 กระเพาะเรติคูลัม (Reticulum)

กระเพาะส่วนนี้มีความจุประมาณ 5% ของกระเพาะทั้งหมด เนื้อเยื่อของกระเพาะส่วนนี้จะเป็นเซลล์รูปร่างห้าเหลี่ยมหรือหกเหลี่ยม มีลักษณะคล้ายรังผึ้ง กระเพาะส่วนนี้จะอยู่ติดกับกระเพาะรูเมน อยู่ส่วนหน้าสุดมีขนาดเล็ก อยู่ตอนบนของกระเพาะโดยมีผนัง Reticulo-rumen fold กั้นอยู่และปิด จะมีส่วนที่ห่อตัวได้ คือ Esophageal groove นอกจากนี้กระเพาะเรติคูลัมส่วนหนึ่งยังเชื่อมต่อกับกระเพาะโอมาซัมผ่าน Reticular-omasal orifice กระเพาะเรติคูลัมทำหน้าที่ในการหมักย่อยอาหารโดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ชนิดที่คล้ายกับที่อยู่ในกระเพาะรูเมน (บุญล้อม และวิบูลย์ศักดิ์,2527 อ้างโดย ปิยนุช และคณะ, 2555)

3.1.2 กระเพาะรูเมน (Rumen)

กระเพาะรูเมน หรือกระเพาะผ้าขี้ริ้ว เป็นกระเพาะหมัก มีความจุประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของความจุกระเพาะทั้งหมด เป็นกระเพาะที่ทำหน้าที่ในการหมักย่อยอาหาร กระเพาะรูเมนจะอยู่ทางด้านซ้ายของช่องท้อง ภายในกระเพาะนี้ไม่มีเอนไซม์มาช่วยย่อย กระบวนการหมักเกิดขึ้นโดย จุลินทรีย์ต่างๆหลายชนิดทำหน้าที่ในการย่อย ทำการย่อยสลายเส้นใยในผนังของเซลล์พืช และยังช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งการย่อยอาหารในกระเพาะส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ร่วมกับการย่อยเชิงกล ลักษณะผนังของกระเพาะรูเมนภายในมีลักษณะเป็นตุ่มขนเล็กๆ ที่เรียกว่า แพบพิลลี (Papillae) มีลักษณะคล้ายผ้าขี้ริ้ว ทำหน้าที่คลุกเคล้าอาหารที่อยู่ในกระเพาะ และการดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFA) (Wattiaux and Armentano, 2006 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560)

3.1.3 โอมาซัม (Omasum)

โอมาซัม หรือ กระเพาะสามสิบกลีบ มีความจุประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ของความจุกระเพาะทั้งหมด มีลักษณะกลมๆ ซึ่งภายในมีลักษณะเป็นแผ่นๆ หรือเป็นกลีบๆ ซ้อนกัน ทำหน้าที่กระจายอาหารให้เข้ากัน โดยจะมีเยื่อบุผิว (Mucous membrane) เรียงตัวซ้อนกันอยู่หลายร้อยแถบ เรียกว่า Omasal laminae ซึ่งจะช่วยทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและแร่ธาตุเพิ่มมากขึ้น และบนผิวของแผ่นจะมีปุ่ม แพบพิลลีขนาดเล็กอยู่เต็มแผ่นส่งผลให้แผ่นนี้มีลักษณะแข็งและทรงตัวได้ กระเพาะส่วนนี้ทำหน้าที่ในการดูดซึมน้ำทำให้อาหารแห้งก่อนส่งไปสู่กระเพาะอะโบมาซัม (Wattiaux and Armentano, 2006 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560)

3.1.4 อะโบมาซัม (Abomasum)

ซึ่งอะโบมาซัมเปรียบได้กับส่วนของกระเพาะแท้ของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องมีขนาดประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ของความจุกระเพาะอาหารทั้งหมด อาหารที่ผ่านการย่อยมาจะถูกเอนไซม์ต่างๆ และลำเลียงไปยังลำไส้เล็ก อาหารจากกระเพาะโอมาซัมสามารถไหลผ่านเข้ามากระเพาะส่วนนี้ได้โดยผ่านหูรูด Omaso - abomasal orifice นอกจากนี้ภายในกระเพาะอะโบมาซัมจะมีกรดไฮโดรคลอริค และเอนไซม์ในการย่อยอาหารที่ผลิตจากต่อมที่กระจายอยู่ตามเนื้อเยื่อเมือกภายในกระเพาะอาหาร (ปิยนุช และคณะ, 2555)

3.2 กระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

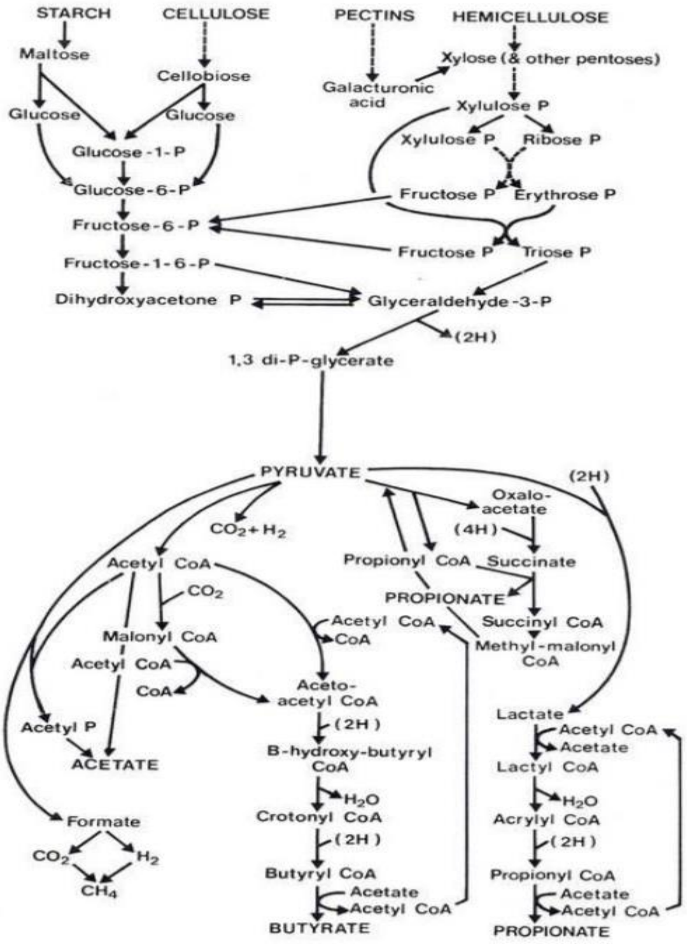
ส่วนใหญ่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะได้รับอาหารหยาบเป็นหลักซึ่งจะมีเยื่อใยสูง ซึ่งจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต แบ่งตามลักษณะของโครงสร้างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง น้ำตาล เป็นต้น และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (Structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน เป็นต้น และจะถูกย่อยในรูเมนโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFA) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้ จะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมนเพื่อเมแทบอไลซ์ต่อไป โดยกลูโคส 1 โมล ถูกเปลี่ยนกรดโพรพิโอนิกได้ 2 โมล โดยไม่มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนการเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก หรือบิวทีริกนั้นจะได้ 2 และ 1 โมล ตามลำดับ โดยมีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 2 อะตอม ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นบางส่วนอาจรวมตัวกับไฮโดรเจนได้เป็นแก๊สมีเทน แก๊สเหล่านี้ไม่มีประโยชน์ต่อตัวสัตว์จำเป็นต้องระบายออก จะส่งผลต่อตัวสัตว์อาจเกิดอาการท้องอืดซึ่งเป็นอันตรายได้ (Wattiaux and Armentano, 2006 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560)

การย่อยและเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของกระเพาะรูเมน จะอาศัยเอนไซม์ที่ผลิตได้จากตัวของจุลินทรีย์ โดยการย่อย Polysaccharides ให้เป็น Monosaccharide ในการย่อยแป้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่การย่อย ได้แก่ *Bacteriodes amylophilus Succinivibrio dextrinosolvens Selenomonas ruminantum* และ *Streptococcus bovis* นอกจากนี้ยังมีโปรตัวซัว *Oligotrichs* โดยจะ ผลิตเอนไซม์ α-amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิด Endoenzyme เป็นเอนไซม์ที่สามารถสลายการเชื่อมต่อของ แป้งที่ตำแหน่ง α-1,4 glycosidic linkage ส่งผลให้ได้ผลผลิตเป็น มอลโทส (Maltose) และ โอลิโกแซ็คคาไรด์ (Oligosaccharides) ที่ประกอบด้วยรอยต่อที่ตำแหน่ง α-1,6 glycosidic linkage จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Oligo α-1,6 glycosidase โดยมอลโตนจะถูกย่อยด้วย

เอนไซม์ Maltase และ Maltose phosphorylase ได้เป็นกลูโคส (Glucose) และ Glucose-1-phosphate ส่วนน้ำตาล Disaccharides อื่นๆ จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Sucrosase ได้เป็น กลูโคส และ ฟรักโทส (Fructose) ส่วนในการย่อยเซลลูโลส จุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ย่อยเซลลูโลส ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่ม Cellulolytic bacteria ซึ่งจะผลิตเอนไซม์ β-1,4 glycosidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิด extra-cellular enzyme ทำหน้าที่สลายรอยต่อที่ตำแหน่ง β-1,4 glycosidic linkage ของเซลลูโลส ได้ผลผลิตเป็นเซลโลไบโอส และ ถูกย่อยต่อด้วยเอนไซม์ Cellobiose phosphorylase ได้ กลูโคส และ glucose-1-phosphate และในสวนของเฮมิเซลลูโลส จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ชนิด Non-specific โดยจะสามารถเข้าสลายรอยต่อของเฮมิเซลลูโลสที่ตำแหน่ง β-1,4 xylosidic linkage ได้ Xylobiose (Wattiaux and Armentano, 2006 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560)

3.2.1 การสลายคาร์โบไฮเดรตในรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในรูเมนและตัวสัตว์เอง คาร์โบไฮเดรตที่พบในพืชส่วนใหญ่ คือ พวกสารประกอบน้ำตาล (Polysaccharide) ได้แก่ น้ำตาล แป้ง Cellulose, Hemicellulose , Pectin และ Lignin เป็นต้น เมื่อคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่รูเมนจะถูกย่อย Hydrolytic enzyme ของจุลินทรีย์ ในกรณีที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ จะอาศัยแบคทีเรียติดกับผิวของพืชแล้วเอนไซม์จึงจะทำงานได้ ผลที่ได้คือกลูโคส และมอนอแซคคาไรด์ต่างๆ ตลอดจน Short chain polysaccharide ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาสู่ของเหลวรอบๆ เซลล์ของแบคทีเรีย ผลผลิตเหล่านี้จะถูกเมแทบอไรด์ต่อไปโดยจุลินทรีย์ โดยสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ กลูโคสและน้ำตาลต่างๆ จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์แล้วเข้าสู่ Glycolytic pathway โดยจากการกระบวนการนี้ กลูโคส 1 โมเลกุล จะได้ ไพรูเวท 2 โมเลกุล และไพรูเวทจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น กรดไขมันระเหยได้ (ภาพที่ 6) (Wattiaux, 1998 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560 ; ปิยนุช และคณะ, 2555)

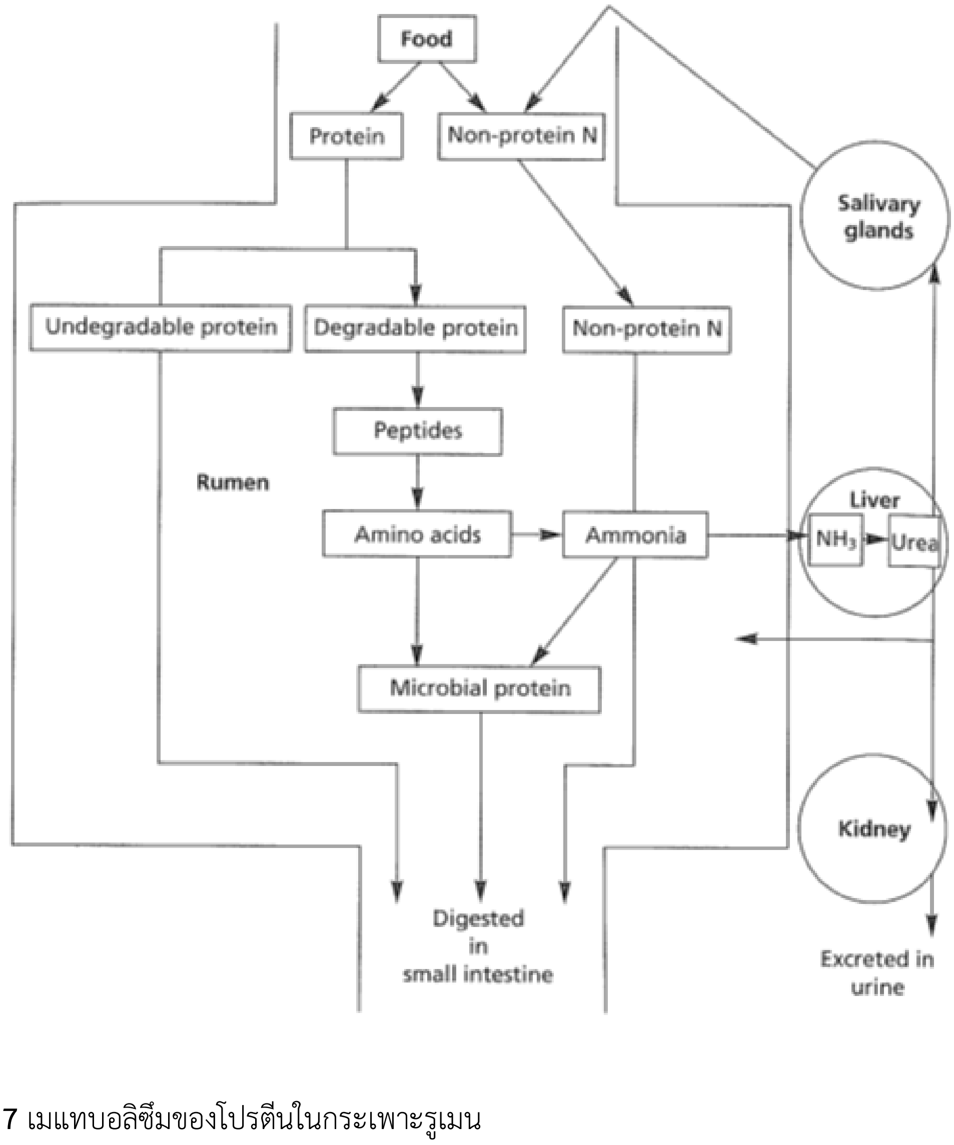

STARCH
CELLULOSE
PECTINS
HEMICELLULOSE
Maltose
Cellobiose
Galacturonic acid
Xylose (& other pentoses)
Glucose
Glucose
Xylulose P
Xylulose P
Ribose P
Glucose-1-P
Glucose-6-P
Fructose P
Erythrose P
Fructose-6-P
Fructose P
Triose P
Fructose-1-6-P
Dihydroxyacetone P
Glyceraldehyde-3-P
(2H)
1,3 di-P-glycerate
PYRUVATE
(2H)
Oxalo-acetate
CO_2+H_2
(4H)
Acetyl CoA
Propionyl CoA
Succinate
CO_2
PROPIONATE
Acetyl CoA
CoA
Succinyl CoA
Malonyl CoA
Methyl-malonyl CoA
Acetyl CoA
CoA
Aceto-acetyl CoA
Lactate
(2H)
Acetyl CoA
Acetyl P
Acetate
ACETATE
B-hydroxy-butyryl CoA
Lactyl CoA
H_2O
H_2O
Formate
Crotonyl CoA
Acrylyl CoA
(2H)
(2H)
CO_2
H_2
Butyryl CoA
Propionyl CoA
CH_4
Acetate
Acetyl CoA
Acetate
Acetyl CoA
BUTYRATE
PROPIONATE

ภาพที่ 6 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน
ที่มา : ฉลอง (2541)

3.3 การหมักย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ในส่วนของโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ โปรตีนที่มีในอาหาร สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน รวมทั้งจุลินทรีย์โปรตีนที่อยู่ในทางเดินอาหาร ซึ่งโปรตีนที่ได้รับสมารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (Rumen degradable protein, RDP) จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยในกระเพาะรูเมน และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (Rumen undegradable protein, RDP) โดยจะไหลผ่านส่งต่อไปย่อยยังลำไส้เล็กต่อไป และเมื่ออาหารโปรตีนเข้าสู่รูเมนจะถูกย่อยโดย Extracellular protease ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นพวก Endopeptidase แบคทีเรียและโปรโตซัวจะทำหน้าที่เข้าย่อยสลายโปรตีน กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ในรูเมนก็มีอิทธิพลมากกว่า ซึ่ง

pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายโปรตีน คือ 6-7 และผลของการย่อยจะได้ Short-chain peptide ซึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ภายในเซลล์พบว่าเปปไตท์จะถูกใช้เป็นกรดอะมิโน จากนั้นจะผลิตแอมโมเนียและกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยขบวนการเอาหมู่กรดอะมิโนออกแล้วถูกนำไปใช้ต่อไป เช่นถูกนำไปสร้างเป็น Microbial protein นำไปสร้างเป็นแอมโมเนีย แล้วไปสร้างเป็นกรดไขมันระเหยได้สร้างเป็นแอมโมเนียแล้วนำแอมโมเนียมาเป็นสารตั้งต้นในการสร้างกรดอะมิโนและ Microbial protein ต่อไป (Wattiaux, 1998 อ้างโดย นิราวรรณ, 2560) (ภาพที่ 7)


Food
Protein
Non-protein N
Salivary glands
Undegradable protein
Degradable protein
Non-protein N
Peptides
Rumen
Liver
Amino acids
Ammonia
NH_3
Urea
Microbial protein
Kidney
Digested in small intestine
Excreted in urine

ภาพที่ 7 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา : McDonald *et al.* (2011) อ้างโดย ทิพาพร (2559)

3.4 การวัดประเมินด้วยเทคนิคการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง *in vitro* gas

เทคนิคการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง คือ การจำลองการเกิดกระบวนการหมักของอาหารสัตว์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเทคนิคในหลอดทดลอง ซึ่งจะสามารถประเมินการย่อยได้จากผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นนำมาประเมินการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ นำมาประเมินพลังงานที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการใช้หลักความสัมพันธ์ของการย่อยได้ของอาหาร ส่งผลต่อปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้น (Menke and Steingass, 1988 อ้างโดย อภิญญา และคณะ, 2564) โดยมีรายงานของ อนันท์ และคณะ (2557) พบว่าคาร์โบไฮเดตรที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายของ เปลือกสับปะรด กากสับปะรด และใบสับปะรด (0.164, 0.532 และ 0.632 %g ตามลำดับ) และยังมีรายงานของ ชาลินี และคณะ (2560) พบว่าปริมาณแก๊สสะสมของกากสับปะรดหมักสูงกว่าเปลือกและใบสับปะรดหมัก (198.96, 164.24 และ 146.65 ml ณ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ)

4. การถนอมพืชอาหารสัตว์

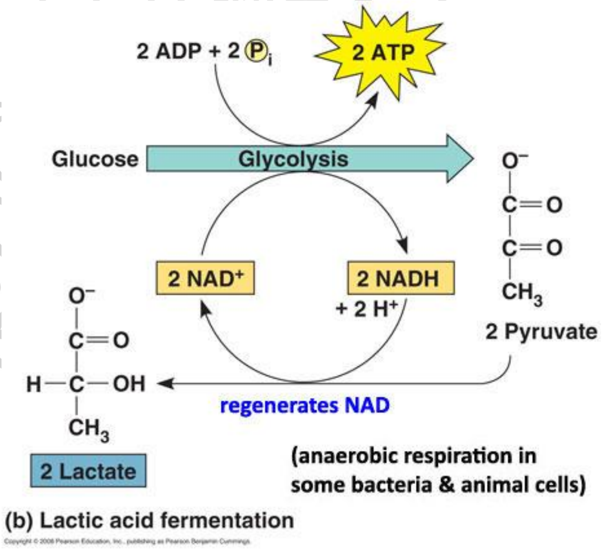
พืชหมัก หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นที่เหมาะสม และนำมาเก็บรักษาไว้ในสภาพไร้อากาศ ซึ่งการเก็บถนอมในลักษณะหมักนี้ สามารถเก็บรักษาพืชหมักไว้ได้เป็นระยะเวลานาน โดยส่วนประกอบต่าง ๆ และคุณค่าของพืชหมักไม่เปลี่ยนแปลง เก็บไว้สำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ในช่วงขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง

4.1 กระบวนการหมักของพืชหมัก

การเกิดกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน (Aerobic) และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการทำงานของตัวของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ปริมาณอากาศที่ยังเหลืออยู่ในกระบวนการของการหมัก (อนุธิดา และคณะ, 2561) กระบวนการหมักจะส่งผลให้พืชหมักมีคุณภาพนั้นขึ้นอยู่กับแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria) ที่ติดมากับพืช (Epiphytic bacteria) กระบวนการทำงานในสภาพไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียกรดแลคติคใช้คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง และทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีความเป็นกรดได้ จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคจะชะลอกระบวนการทำงาน เมื่อปริมาณกรดแลคติคมีจำนวนมาก ก็จะหยุดใช้สารอาหาร สารอาหารคงเหลือมากขึ้นในระบบ ส่งผลให้สูญเสียโภชนะน้อยลง เช่น สูญเสียโปรตีนในรูปแบบของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) (เสมอใจ, 2554) (ภาพที่ 8) ซึ่งลักษณะของอาหารหมักที่ดีควรมีค่า pH อยู่ใน ช่วง 3.5-4.2 แบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในพืชจำนวนจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

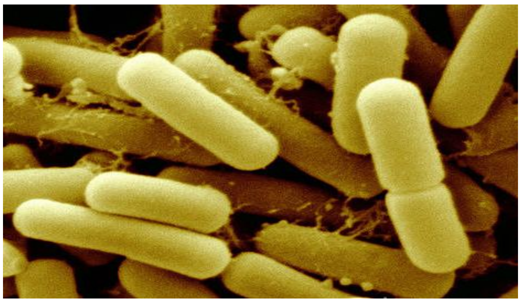
และฤดูกาล ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติคจะอิงอาศัยอยู่บนผิวของส่วนต่างๆของพืช เช่น ลำ ต้น ใบ และดอก เป็นต้น แบคทีเรียกรดแลคติคมีรูปร่างกลม (Lacto-cocci) มีแนวโน้มสูงกว่ารูปร่างท่อน (Lactobacillus) โดยเฉพาะจีนัส *Leuconostoc* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Heterofermentative lactic acid bacteria (เสมอใจ 2554) (ภาพที่ 9)

แบคทีเรียกรดแลคติคจำแนกได้ออก 2 กลุ่มตามผลผลิตที่พบในพืชหมักที่ได้จากการใช้น้ำตาล คือกลุ่ม Homofermentative และกลุ่ม Heterofermentative ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลให้การผลิตพืชหมักที่ได้นั้นมีคุณภาพที่ดีมากขึ้น พืชควรมีปริมาณวัตถุแห้ง 30-40 % มีปริมาณน้ำตาล 2% ของน้ำหนักสด และมีแบคทีเรียกรดแลคติคที่ติดมากับพืช จากการศึกษาของเสมอใจ (2554) รายงานว่า ในพืชเขตร้อนจะมีปริมาณน้ำตาลน้อย เมื่อเทียบกับพืชเขตหนาว และยังมีปริมาณจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคต่ำกว่าจุลินทรีย์ตัวอื่น เช่น เชื้อรา เป็นต้น ทำให้จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคไม่สามารถเติบโตทันจุลินทรีย์อื่นๆ ได้ ส่งผลให้ผลิตกรดแลคติคออกมาได้น้อยทำให้ไม่เพียงพอต่อการคงรักษาสภาพของพืชหมักได้


2 ADP + 2 Ⓟi
2 ATP
Glucose
Glycolysis
O⁻
C=O
C=O
CH3
2 Pyruvate
2 NAD⁺
2 NADH
+ 2 H⁺
O⁻
C=O
H—C—OH
CH3
2 Lactate
regenerates NAD
(anaerobic respiration in
some bacteria & animal cells)
(b) Lactic acid fermentation
Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

ภาพที่ 8 กระบวนการผลิตกรดแลคติค

ที่มา : วิภาดา (2554)



ภาพที่ 9 แบคทีเรียกรดแลคติค
ที่มา : Karaoke (2021)

4.2 ลักษณะที่ดีของพืชหมัก

ลักษณะพืชหมักที่ดี สามารถพิจารณาได้จากหลายอย่าง ได้แก่

4.2.1 สี พืชหมักที่ดีควรมีสีเขียวแกมเหลือง ถ้าเป็นสีน้ำตาลไหม้หรือดำ แสดงถึงขณะที่กำลังหมักเกิดความร้อนมากเกินไป ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวเป็นการสูญเสีย ซึ่งถ้าหญ้าหมักเป็นสีดำไม่ควรนำไปใช้เลี้ยงสัตว์

4.2.2 กลิ่น พืชหมักที่ดีจะมีกลิ่นหอมเปรี้ยวอ่อน ๆคล้ายผลไม้ดอง

4.2.3 เนื้อของพืชหมัก จะต้องไม่เป็นเมือก ไม่เละ เอามือถูเนื้อไม่หลุดออกส่วนที่บูดเน่า ถ้ามีสีขาว ๆ เป็นเส้นกระจายบนหญ้าหมักแสดงว่าเกิดราทำให้คุณภาพของหญ้าหมักด้อยลง

4.2.4 ความชื้น ควรอยู่ระหว่าง 65-75 % ถ้าความชื้นสูงกว่านี้ จะส่งผลให้พืชหมักเปรี้ยวมาก และโภชนะเกิดการสูญเสียออกมากับของเหลว ทดสอบได้โดยทำการใช้มือบีบพืชหมัก ถ้าหากพบน้ำเหลว ๆ ไหลออกมาแสดงว่ามีความชื้นมากเกินไป และถ้าความชื้นน้อยเกินไปจะส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคได้น้อยลง ทำให้พืชหมักเสียได้ง่าย

4.2.5 ค่า pH ควรอยู่ระหว่าง 3.5 – 4.2 โดยมีกรดแลคคิคอยู่มาก กรดอะซีติดเป็นส่วนน้อย และไม่ควรมีกรคบิวทีริค หรือให้มีน้อยที่สุด ควรมีสัดส่วนของกรดต่างๆ ดังนี้ กรดแลคติค 1.5-2.5 %, กรดอะซิติค 0.5-0.8 % และกรดบิวทีริค <0.1 % (ภาพที่ 10)

ภาพที่ 10 ลักษณะพืชหมักที่ดี
ที่มา : สำนักงานปศุสัตว์ (2554)

4.3 การใช้สารเสริมในการปรับปรุงพืชหมัก

การใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพืชหมัก เพื่อกระตุ้นกระบวนการหมัก เช่น การเติมกากน้ำตาล การเติมเอนไซม์ และการเติมแบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในน้ำพืชหมัก การใช้สารเสริมในพืชหมักเพื่อเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ มีการศึกษาก่อนหน้านี้ได้แนะนำว่าการเติมกากน้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ในอาหารหมักช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติก และคุณภาพของอาหารหมัก (Van *et al.*, 2007) โดยจากการศึกษาของ Li *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพหญ้า King Grass หมัก ในหลอดทดลอง พบว่า กลุ่มที่เติมกากน้ำตาลที่ 2% มีความสามารถในการย่อยได้และผลผลิตแก๊สในหลอดทดลองดีที่สุด และจากการรายงานของ Weinberg *et al.* (1993) พบว่า การเติมแบคทีเรียกรดแลคติคในกระบวนการหมักจะช่วยให้ในการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้พืชหมักมีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของวารุณีและคณะ (2541) พบว่า การปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกหมักที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 10% , หญ้าแฝกหมักเติมมันเส้นบด 15% และหญ้าแฝกหมักเติมกากน้ำตาล 10% ร่วมกับยูเรีย 5 % มีคุณภาพดีที่สุดเนื่องจากมีปริมาณกรดแลคติคสูง (1.24 – 1.77%) เมื่อเทียบกับหญ้าแฝกหมัก (กลุ่มไม่เติมสารเสริม), หญ้าแฝกหมักเติมยูเรีย 0.5% และหญ้าแฝกหมักเติมมันเส้นบด 15% ร่วมกับยูเรีย 0.5% และจากการศึกษาของ ณัฐฐา และคณะ (2552) ได้ทำการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลในแต่ระดับต่างๆ (0, 2, 4 และ 6%) พบว่า ใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล เมื่อระดับของกากน้ำตาลสูงขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มขึ้นโดยมีค่า (7.86, 7.88, 7.93 และ 7.92% ตามลำดับ) ($P > 0.05$) อาจเนื่องมาจากทางใบปาล์มน้ำมันหมัก มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ประมาณ 15.08 - 21.04 % ซึ่งมากพอสำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการหมัก เช่นเดียวกับ

การศึกษาของ สันติ และคณะ (2555) พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ (0, 2, 4 และ 6%) โคพื้นเมืองมีปริมาณการกินได้วัตถุแห้งและอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกัน (P>0.05) สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคพื้นเมืองได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

5. การใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำพืชหมัก

การใช้แบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในน้ำพืชหมัก เป็นสารเสริมพืชหมักทางเลือกชนิดหนึ่ง โดยมีแนวความคิดมาจาก Ohshima *et al*. (1997) สามารถทำได้โดยนำพืชมาผสมน้ำและนำไปปั่น เมื่อปั่นจนละเอียดนำไปกรองต่อด้วยผ้าขาวบาง น้ำพืชหมักที่ได้จากการกรองนำไปเติมกากน้ำตาล เพื่อเป็นการเพิ่มอาหารให้กับแบคทีเรีย กระตุ้นการเจริญเติบโตในช่วงแรก หลังจากนั้นนำไปบ่มทิ้งไวในสภาวะไร้อากาศ 2 วัน และสารมารถนำมาใช้เป็นสารเสริมในพืชหมักได้ โดยการที่พืชหมักเกิดสภาวะคงที่เนื่องมาจากปริมาณกรดแลคติค เกิดจากกระบวนการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติค ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง เมื่อค่า pH ลดลงจะทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตได้ (เสมอใจ, 2554) สภาวะไร้ออกซิเจนเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้โดยเฉพาะ ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่พบในส่วนของพืชไม่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะไร้ออกซิเจนได้ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนแข่งขันกับแบคทีเรียกรดแลคติค จากการศึกษาการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักที่ทำจากพืชอาหารสัตว์เขตร้อนของ Bureenok *et al*. (2006) พบว่าภายหลังการบ่มน้ำพืชหมักที่ได้มีปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติคที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น จากเดิมที่มีอยู่ในน้ำพืชสด 10^4 CFU/ml เป็น 10^7-10^8 CFU/ml ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้เป็นสารเสริม น้ำพืชหมักที่เตรียมได้ควรใช้ภายใน 2-3 วัน หลังจากการบ่ม เนื่องจากพบว่ามีการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Masuko *et al*., 2002) ในการทำน้ำพืชหมักน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียกรดแลคติค และปรับปรุงคุณภาพได้ เช่น กากน้ำตาล และซูโครส (Bureenok *et al.,* 2005) มีการศึกษาก่อนหน้านี้ได้แนะนำว่าการเติมกากน้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ในอาหารหมักช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติก และคุณภาพของอาหารหมัก (Van *et al*., 2007) และยังมีรายงานของ McDonald *et al*., 2010 พบว่าพืชหมักคุณภาพที่ดีต้องการคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เพื่อผลิตกรดแลคติค ให้เพียงพอกับการลดค่า pH ลงอย่างรวดเร็ว กระบวนการหมักจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติคที่ติดมากับพืชจะได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติค ซึ่งอาหารหมักที่ดีควรมีปริมาณกรดแลคติค อยู่ระหว่าง 1.5-

2.5%, กรดอะซิติก (Acetic acid) อยู่ระหว่าง 0.5-0.8% และกรดบิวทีริก (Butyric acid) ต้องน้อยกว่า 0.1% โดยปริมาณกรดแลคติคขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ในส่วนขององค์ประกอบของน้ำตาลและพืชควรมีวัตถุแห้งประมาณ 25-35%

5.1 การศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมัก

น้ำพืชหมักผลิตได้จากพืชตระกูลหญ้า และเศษเหลือทางการเกษตร เช่น หญ้าเนเปียร์, หญ้ากินนี, หญ้าแพงโกล่า, ใบสับปะรด, เปลือกสับปะรด และเปลือกตาลเป็นต้น โดยมีการศึกษาการทำน้ำพืชหมัก จากพืช หรือเศษเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ดังนี้

ทิพาพร และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำหมักจากหญ้าชนิดต่างๆ (หญ้าเนเปียร์ หญ้ารูซี่ และหญ้ากินนี) ที่ระดับกลูโคสต่างๆ (0 และ 2%) พบว่า น้ำพืชหมักจากหญ้ารูซี่ที่เติมกลูโคส 2% ที่บ่มเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมงมีปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติคสูง, ปริมาณกรดแลคติคสูงและมีค่า pH ที่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพืชหมัก (ตารางที่ 5) (P<0.01)

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำหมักจากหญ้าเนเปียร์ หญ้ารูซี่ และหญ้ากินนี ณ ชั่วโมงที่ 36

ข้อมูลที่ศึกษา	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SEM
แบคทีเรียกรดแลคติค (Log N cfu/ml)	6.57^{e}	7.23^{c}	6.95^{d}	7.91^{a}	7.50^{b}	6.52^{e}	0.02
กรดแลคติค (%)	0.29^{b}	0.24^{bc}	0.24^{bc}	0.37^{a}	0.21^{c}	0.18^{c}	0.01
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	4.48^{b}	3.82^{d}	4.78^{a}	3.29^{e}	4.52^{b}	4.22^{c}	0.01
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (mg/ml)	0.97^{d}	38.77^{c}	1.08^{d}	68.04^{a}	1.66^{d}	58.49^{b}	0.88

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d, e, f}$ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) SEM = Standard error of the mean T1 = น้ำพืชหมักจากหญ้าเนเปียร์ที่ไม่เติมกลูโคส , T2 = FJLB จากหญ้าเนเปียร์ที่เติมกลูโคส 2% , T3 = FJLB จากหญ้ารูซีที่ไม่เติมกลูโคส , T4: = FJLB จากหญ้ารูซีที่เติมกลูโคส 2%, T5 = FJLB หญ้ากินนีหญ้าที่ไม่เติมกลูโคส T6 = FJLB จากหญ้ากินีที่เติมกลูโคส 2%

ที่มา : ทิพาพร และคณะ (2559)

จากการศึกษาพรพรรณ และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบเปลือกตาล ที่เติมกากน้ำตาลในระดับต่างๆ (2%, 5% และ 7%) พบว่า น้ำพืชหมักจากเปลือกตาลที่เติมกากน้ำตาลที่ระดับ 2% ระยะการบ่มที่ 18 ชั่วโมงสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงพืชหมักได้ เนื่องจากมีแบคทีเรียกรดแลคติค (9.46 Log CFU/ml) และปริมาณกรดแลคติคสูง (3.40%) ($P<0.05$)

พรพรรณ และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบสับปะรดที่เติมกากน้ำตาลในระดับต่างๆ (2%, 5% และ 7%) พบว่า น้ำพืชหมักจากใบสับปะรดที่เติม 7% กากน้ำตาลที่บ่มเป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงอาหารหมักได้เนื่องจากมีแบคทีเรียสูงกรดแลคติค (9.17 LogN CFU/ml) (ตารางที่ 6) ($P<0.05$)

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำพืชหมักจากใบสับปะรด ณ ชั่วโมงที่ 18

ข้อมูลที่ศึกษา	ระดับกากน้ำตาล (%)				SEM	p-value
	0	2	4	7		
แบคทีเรียกรดแลคติค (Log N CFU/ml)	8.10^{b}	8.93^{b}	8.44^{b}	9.17^{a}	0.06	<0.01
กรดแลคติค (%)	2.81^{d}	8.92^{b}	4.50^{c}	7.78^{a}	0.24	<0.01
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	3.58^{c}	3.63^{c}	3.85^{b}	4.11^{a}	0.01	<0.01
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (mg/ml)	9.76^{d}	16.60^{c}	24.32^{b}	34.72^{a}	0.34	<0.01

หมายเหตุ : ^{a,b,c,d} ค่าเฉลี่ยในแนวเดียวกันมีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา : พรพรรณ และคณะ (2564)

ธนรรษมลวรรณ และคณะ (2559) ศึกษาคุณภาพของแบคทีเรียกรดแลคติกในน้ำพืชหมักจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมน้ำตาลทรายระดับต่างๆ (0, 1, 2, 3, 4 และ 5% w/v) พบว่า ผลของระดับน้ำตาลมีผลต่อคุณภาพแบคทีเรียกรดแลคติกในน้ำพืชหมักจากทางใบปาล์มระดับน้ำตาล 2% ในน้ำพืชหมักเป็นระดับที่เหมาะสมต่อคุณภาพน้ำพืชหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำพืชหมักของใบทางปาล์มน้ำมัน ณ ชั่วโมงที่ 30

ข้อมูลที่ศึกษา	ระดับน้ำตาล (%)						SEM
	0	1	2	3	4	5	
แบคทีเรียกรดแลคติค (Log N CFU/ml)	7.56^{c}	7.66^{c}	8.65^{a}	8.22^{b}	8.55^{a}	8.26^{b}	0.08
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	4.85^{a}	4.76^{b}	4.73^{c}	4.69^{b}	4.70^{b}	4.86^{d}	0.01
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(mg/ml)	16.98^{e}	87.21^{d}	113.26^{c}	174.82^{b}	273.35^{a}	246.09^{a}	0.34

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d, e, f}$ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) SEM = Standard error of the mean.

ที่มา : ธนรรษมลวรรณ และคณะ (2559)

Bureenok *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาผลของแบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมัก โดยเติมน้ำตาลกลูโคส ซูโครสหรือกากน้ำตาล หลังจากทำการบ่มไว้ 2 วัน พบว่า การเติมกลูโคสสามารถเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติค (2 x10^{8} CFU/ml) ได้ดีกว่าการเติมน้ำตาลซูโครส (1.96 x 10^{8} CFU/ml) และกากน้ำตาล (1.85 x 10^{9} CFU/ml) และการเติม 3% ของน้ำตาลทั้งหมด ในระดับต่างๆ (0.2, 0.5 และ 1%) ลงในหญ้าหมัก พบว่า หญ้าหมักที่เติมน้ำพืชหมักร่วมกับน้ำตาลกลูโคส มีการผลิตกรดแลคติคสูงกว่า (P <0.05) กลุ่มการทดลองอื่นๆ

5.2 การปรับปรุงคุณภาพพืชหมักโดยใช้น้ำพืชหมัก

Yupha *et al.* (2017) ได้ทำการปรับปรุงเปลือกข้าวโพดด้วยน้ำพืชหมักจากเปลือกสับปะรด พบว่า แพะที่ได้รับอาหารหมักจากเปลือกข้าวโพดหมักที่เติมน้ำหมักเปลือกข้าวโพดหมักที่เติมน้ำหมัก มีปริมาณการกินได้ และอัตราเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่เติมน้ำพืชหมัก (P>0.05) การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการเติมน้ำหมักจากเปลือกสับปะรดไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต จึงสามารถใช้น้ำหมักจากเปลือกสับปะรดเป็นสารเสริมในการทำพืชหมัก

พรพรรณ และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาเปลือกตาลหมักในอาหารแพะ พบว่าแพะที่ได้รับเปลือกตาลหมักโดยหมักร่วมกับฟางข้าวในอัตราส่วนต่างๆ (100:0, 95:5 เติม 1% FJLB, และ 95:5 เติม 1% กากน้ำตาล) มีปริมาณการกินได้และสมรรถนะการเจริญเติบโตของแพะแต่ละกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างจากเปลือกตาลหมักกลุ่มอื่นๆ (P>0.05)
(ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลของเปลือกตาลหมักด้วยฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตของแพะลูกผสม

ข้อมูลที่ศึกษา	T1	T2	T3	SEM	P-value
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กก./ตัว)	4.01	2.17	0.55	0.75	0.51
ปริมาณอาหารทั้งหมด (กก./วัน)	0.53	0.40	0.41	0.02	0.13
อาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)	0.25^{a}	0.15^{b}	0.15^{b}	0.01	0.03
น้ำหนักตัว (%)	2.67	2.34	2.53	0.06	0.34
อัตราการเจริญเติบโต กรัม/ตัว/วัน.	89.00	43.30	12.22	16.76	0.51
อัตราการเปลี่ยนอาหารสัตว์เป็นเนื้อเนื้อ	7.91	18.57	31.60	6.08	0.61

หมายเหตุ ^{a,b} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean),%BW = น้ำหนักตัว T1 : เปลือกตาลต่อฟางข้าว 100:0 โดยไม่มีสารเติมแต่ง, T2 อัตราส่วนเปลือกตาลต่อฟางข้าว 95:5 และ 1%FJLB และ T3 อัตราส่วนเปลือกตาลต่อฟางข้าว 95:5และกากน้ำตาล 1%

ที่มา : พรพรรณ และคณะ (2560)

Abubakr *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงหญ้าหมัก *Bachiaria obtusiflora* ด้วยนำพืชหมักจากหญ้า *Bachiaria obtusiflora* และกากน้ำตาล พบว่า แพะที่ได้รับหญ้าหมักที่เติมด้วยกากน้ำตาลร่วมกับน้ำพืชหมัก มีความสามารถในการย่อยได้ไม่แตกต่างกันกลุ่มการทดลองอื่นๆ (P>0.05)

Yanti and Yayota (2019) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงหญ้าหมักจากการเกษตรและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้น้ำพืชหมักจากหญ้าไรย์ (Ryegrass) พบว่า หญ้าหมักเป็นเวลา 60 วัน และเติม FJLB ทำให้คุณภาพของหญ้าหมักดีขึ้นในแง่ของ ค่า pH ที่ต่ำกว่า ปริมาณกรดแลคติคที่สูงขึ้น (P>0.05) เมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ หญ้าหมักจากการเกษตรและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารที่เติมใช้น้ำพืชหมักจากหญ้าไรย์สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพพืชหมักได้

6. อ้อย

อ้อย (Sugar cane) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Saccharum officinarum L.* เป็นพืชวงศ์ Poaceae วงศ์เดียวกับ ไผ่ หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด และ ข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณ 17-35% ชานอ้อย (Bagasse) ที่ถูกบีบเอาน้ำอ้อยออกไปแล้ว นำมาใช้ประโยชน์ในการทำ กระดาษ พลาสติก เชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนตัวของกากน้ำตาล ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัมได้ และมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ล้มลุก สูง 2.5 เมตร ลำต้นสีม่วงแดง มีไขสีขาวปกคลุม ไม่แตกกิ่งก้าน ใบเดี่ยว เรียงสลับ กว้าง 2.5 - 5 ซม. ยาว 0.5 - 1 เมตร ดอกช่อ ออกที่ปลายยอด สีขาว ผลเป็นผลแห้ง ขนาดเล็ก (สำนักงานพัฒนาสัตว์ 2556) ซึ่งมีเศษเหลือจากต้นอ้อย ได้แก่ ใบอ้อย ชานอ้อย กากอ้อย เป็นต้น อ้อยนั้นมีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ แตกต่างกันจากความสูง ความยาว และสีของต้น โดยอ้อยมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ประเทศที่เป็นแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญ ประเทศอินเดีย ประเทศคิวบา เป็นต้น และเรายังสามารถนำเศษเหลือต่างๆจากต้นอ้อยมาเป็นอาหารสัตว์ได้ (กรมปศุสัตว์, 2547)

6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ใบอ้อยมีลักษณะคล้ายใบข้าวแต่มีขนาดใหญ่และยาวมากกว่า ใบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาบใบและแผ่นใบ กาบใบ คือส่วนที่ติดและโอบรอบลำต้นทางด้านที่มีตา การโอบรอบลำต้นของกาบใบจะสลับข้างกัน เช่น ใบขวาทับซ้าย ใบถัดขึ้นไปซ้ายจะทับขวา ฐานกาบใบกว้างที่สุดและเรียวลงสู่ปลายแผ่นใบ ความยาวของใบอ้อยจะมีขนาดต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปประมาณ 1 เมตร ความกว้างที่สุดประมาณ 10 เซนติเมตร ใบอ้อย 1 ใบจะมีเนื้อที่ประมาณ 0.05 ตารางเมตร อ้อย 1 ลำมี 10 ใบ จะเป็นเนื้อที่ 0.5 ตารางเมตร ถ้าปลูกปกติ 1 ไร่ มี 12.000 ลำ โดยเฉลี่ยอ้อย 1 ไร่จะมีเนื้อที่ใบรับแสงสว่างได้ 6.000 ตารางเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยจะมีโปรตีนหยาบต่ำประมาณ 4-6 % ความชื้นสูงประมาณ 82.7 % แต่มีเยื่อใยหยาบสูงประมาณ 31.90% (George, 1967)

6.2 ข้อมูลการผลิต

อ้อย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum L.* เป็นพืชวงศ์ Poaceae (Gramineae) วงศ์เดียวกับต้นไผ่ ธัญพืช และหญ้า เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลีข้าว และข้าวบาร์เลย์ ถิ่นกำเนิดมาจากเกาะนิวกินี ในมหาสมุทรแปซิฟิก อ้อยเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต และมีการนำอ้อยมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น น้ำอ้อยใส น้ำตาลทราย และกากน้ำตาล

เป็นต้น ต้นอ้อยเมื่อปลูกครั้งหนึ่งสามารถเก็บ เกี่ยวได้หลายครั้ง เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น พบว่ามีการปลูกอ้อยมากกว่า 70 ประเทศ ได้แก่ บราซิลคิวบาอินเดีย ออสเตรเลีย เม็กซิโก ฟิลิปปินส์ จีน และไทย เป็นต้น ลักษณะของอ้อยดั้งเดิม ถิ่นกำเนิดแถบหมู่เกาะนิวกินีและอ้อยลูกผสม (Hybrid cane) ที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยชนิดต่าง ๆ (เกษม, 2561) อ้อยมีลำต้นใหญ่ พบข้อปล้องในจำนวนมาก ความยาวหรือสั้น ขึ้นอยู่กับการดูดซึมน้ำที่ได้รับ ยิ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่มีน้ำมาก จะทำให้ปล้องยาว และลำต้นสูง มีลักษณะของใบ คล้ายใบข้าวที่มีขนาดใหญ่ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาบใบ และแผ่นใบ ดอกของยอดอ้อยมีลักษณะเป็นดอกเล็กๆ ติดกันเป็นคู่ ในหนึ่งคู่สามารถแยกออกเป็นดอกที่มีก้าน (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ม.ป.)

ฤดูกาลปลูกอ้อยมีสามช่วงคือ อ้อยข้ามแล้งหรืออ้อยปลายฝน ปลูกระหว่างเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน อ้อยชลประทาน ปลูกระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนอ้อยต้นฝน ปลูกระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน (อานุภาพ, 2564) ปัจจุบันในการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยมีลักษณะการเก็บเกี่ยว 2 แบบ คือ การเผาอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว และการเก็บเกี่ยวอ้อยสด เศษเหลือทางการเกษตรของใบอ้อยได้จากการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบสดเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการเผาอ้อย (สิงห์รัญ, 2555) การเผาอ้อยจึงอาจมีผลต่อมลพิษทางอากาศและส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชนในวงกว้าง สถานการณ์ในการปลูกอ้อยในปี 2559 – 2564 จากการสำรวจข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม และการสำรวจภาคสนาม พบว่าพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศมีจำนวน 10,988,489 ไร่ พื้นที่อ้อยส่งโรงงาน 9,864,042 ไร่ ซึ่งจังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่ปลูกอ้อย แสดงดังในตารางที่ 9

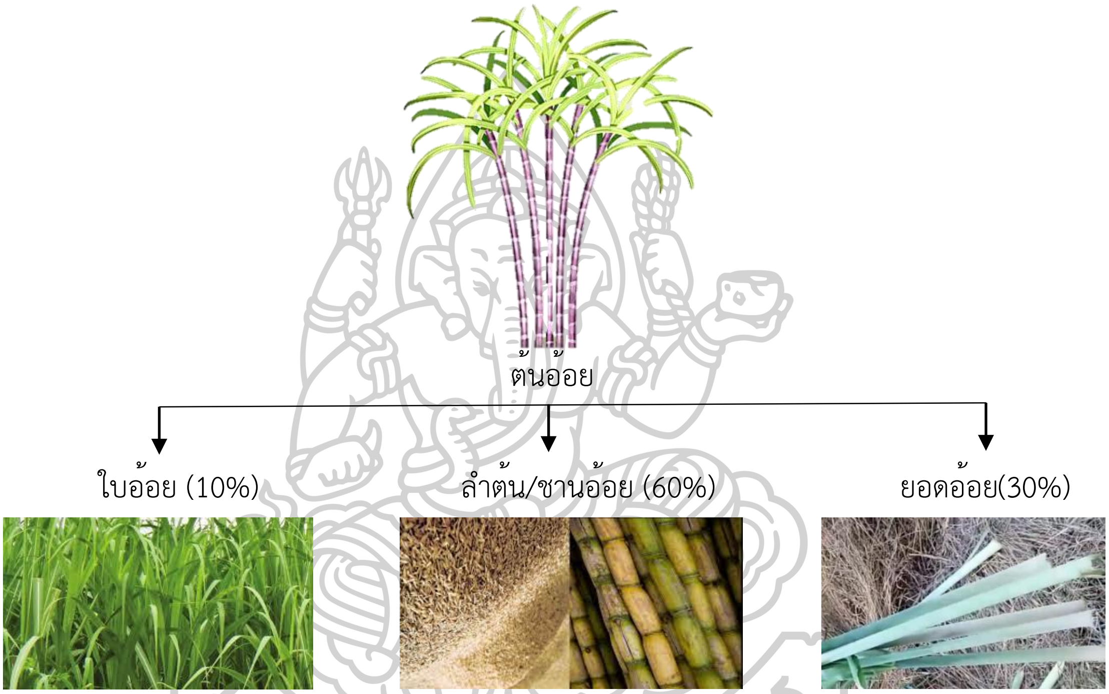
ตารางที่ 9 พื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดเพชรบุรี 2559 - 2564

ปี	พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	ปริมาณอ้อยทั้งหมด (ตัน)	พื้นที่อ้อยส่งโรงงาน (ไร่)	ปริมาณอ้อยส่งเข้าหีบ (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)
2559	40,711	388,383	35,056	334,437	9.54
2560	41,779	499,254	39,996	477,947	11.95
2561	42,706	437,737	41,425	424,604	10.25
2562	42,483	250,650	38,297	218,526	5.71
2563	38,048	227,294	34,653	207,011	5.97
2564	39,939	322,308	32,980	266,810	8.09

ที่มา : ดัดแปลงจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายปี 2559 – 2564

6.3 การแปรรูปจากอ้อย

ส่วนต่างๆของอ้อยจะประกอบด้วยลำต้นประมาณ 60% ส่วนยอดประมาณ 30% และใบอ้อยอีกประมาณ 10% (ภาพที่ 10) และในการปลูกอ้อยนั้นได้มีการนำอ้อยมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น น้ำอ้อยใส น้ำตาลทราย และกากน้ำตาล เป็นต้น อ้อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับหลายภาคส่วน เช่น ภาคการเกษตร โรงงานน้ำตาล และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยอ้อยที่ผ่านกระบวนการหีบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 11 เศษเหลือใช้ทางการเกษตรและการแปรรูปของอ้อย
ที่มา : ดัดแปลงจาก George (1967)

6.3.1 น้ำตาล (Sugar)

ประเทศไทยถือเป็นอันดับหนึ่งในการผลิตอ้อยและน้ำตาลในเขตภูมิภาคอาเซียน และส่งออกน้ำตาลมากเป็นอันดับสองของโลก โดยผลผลิตน้ำตาลทรายต่อตันอ้อยรวมทั้งประเทศอยู่ที่ 107.94 กิโลกรัมต่อตันอ้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 ที่ 104.05 กิโลกรัมต่อตันอ้อย พบว่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาลทรายต่อตันอ้อยเพิ่มขึ้นจำนวน 3.89 กิโลกรัมต่อตันอ้อย คิดเป็น 3.74 % ด้านคุณภาพความหวานของอ้อย อยู่ที่ 12.28 c.c.s. เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 พบว่าคุณภาพความหวานของอ้อยที่ 11.95 c.c.s. เพิ่มขึ้น 0.33 c.c.s. คิดเป็น 2.67 % และมีปริมาณ

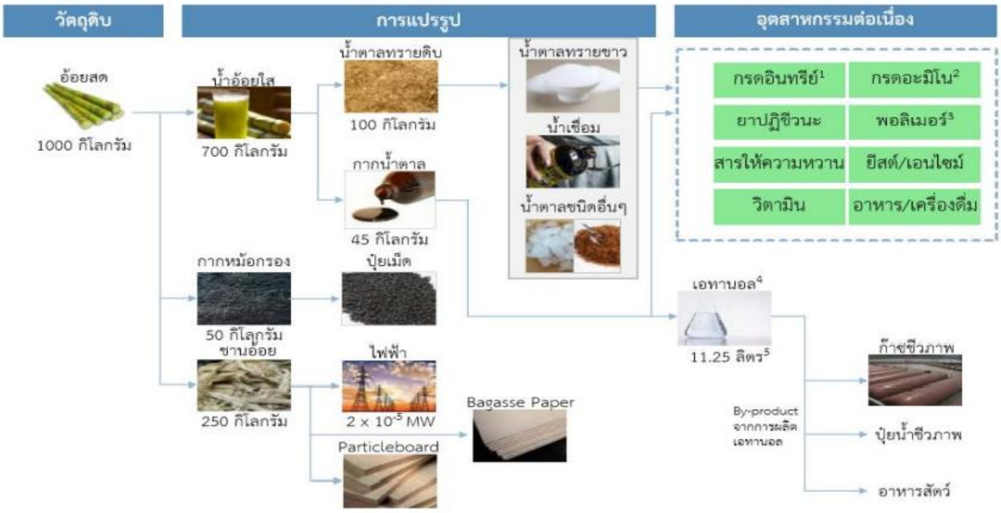
อ้อยส่งเข้าโรงงานทั้งประเทศอยู่ที่ 92.95 ล้านตัน เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 ที่ 94.05 พบว่าปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงานลดลง 1.10 ล้านตัน คิดเป็น 1.17 %

6.3.2 ชานอ้อย (Sugar cane)

ชานอ้อย คือ เศษเหลือของลำต้นมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกจากท่อนอ้อยแล้ว เป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ประโยชน์ที่ได้จากชานอ้อย

6.3.3 กากน้ำตาล (Molasses)

กากน้ำตาลเป็นของเหลวที่มีลักษณะหนืดข้น สีดำอมน้ำตาลเป็นผลผลิตอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายโดยมีอ้อยเป็นวัตถุดิบ กากน้ำตาลนี้จะแยกออกจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในขั้นตอนสุดท้าย ด้วยการแยกออกจากเกล็ดน้ำตาลโดยวิธีการปั่น (Centrifuge) ซึ่งไม่สามารถตกผลึกเป็นเกล็ดน้ำตาลได้ด้วยวิธีทั่วไป และไม่นำกลับมาใช้ผลิตน้ำตาลทรายอีก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ม.ป.)


วัตถุดิบ
การแปรรูป
อุตสาหกรรมต่อเนื่อง
อ้อยสด
1000 กิโลกรัม
น้ำอ้อยใส
700 กิโลกรัม
น้ำตาลทรายดิบ
100 กิโลกรัม
กากน้ำตาล
45 กิโลกรัม
น้ำตาลทรายขาว
น้ำเชื่อม
น้ำตาลชนิดอื่นๆ
กรดอินทรีย์¹
กรดอะมิโน²
ยาปฏิชีวนะ
พอลิเมอร์³
สารให้ความหวาน
ยีสต์/เอนไซม์
วิตามิน
อาหาร/เครื่องดื่ม
กากหม้อกรอง
50 กิโลกรัม
ปุ๋ยเม็ด
ชานอ้อย
250 กิโลกรัม
ไฟฟ้า
2 x 10⁻⁵ MW
Bagasse Paper
Particleboard
เอทานอล⁴
11.25 ลิตร⁵
By-product จากการผลิตเอทานอล
ก๊าซชีวภาพ
ปุ๋ยน้ำชีวภาพ
อาหารสัตว์

ภาพที่ 12 การใช้ประโยชน์จากอ้อยสด

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม (ม.ม.ป.)

6.4 การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทางการเกษตรจากใบอ้อย

การใช้ประโยชน์จากใบอ้อย จากการศึกษาของ สไบพร และพิชาด (2558) พบว่าแกะที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จหมักผสมกับฟางข้างและใบอ้อย ทั้ง 4 สูตร อาหารผสมสำเร็จหมักฟางข้าวละเอียด, อาหารผสมสำเร็จหมักใบอ้อยละเอียด, อาหารผสมสำเร็จหมักฟางข้าวหยาบ และอาหาร

ผสมสำเร็จหมักใบอ้อยหยาบ ปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ทางเลือกในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไปในอนาคต องค์ประกอบทางเคมีขึ้นอยู่กับแต่ชนิดหรือพันธุ์ของอ้อย ใบอ้อยจะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำกว่าหญ้า และใกล้เคียงกับฟางข้าวสามารถใช้เป็นอาหารโค กระบือได้ทั้งในลักษณะสด แห้ง และหมัก แต่ต้องใช้ร่วมกับอาหารข้น หรือวัตถุดิบอาหารอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะให้สูงขึ้น ดังนั้นในการนำใบอ้อยมาเลี้ยงโค-กระบือ ควรต้องปรับปรุงคุณภาพก่อนเพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะเพียงพอกับความต้องการ (อานุภาพ, 2564)

ณัฐพงษ์ และคณะ (2555) ได้นำอ้อยหมักที่มีอายุตัดแตกต่างกันมาทดแทนข้าวโพดหมัก พบว่า โคนมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซี่ยนที่ได้รับข้าวโพดหมัก และอ้อยอายุตัด 105 วันหมัก มีปริมาณการกินได้สูงกว่า(P < 0.01) อ้อยอายุตัด 210 วันหมัก (2.6,2.4 และ1.4% BW ตามลำดับ) แต่ปริมาณผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถใช้อ้อยที่มีอายุไม่เกิน 210 วันหมักเป็นอาหารหยาบทดแทนข้าวโพดหมักที่มีปริมาณน้อย และขาดแคลนในช่วงฤดูแล้งได้ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลของอาหารหยาบต่อการกินได้และผลผลิตน้ำนมของโคนม

ข้อมูลที่ศึกษา	CS*	SCS105	SCS210	SEM	P-value
ปริมาณการกินได้(% วัตถุแห้ง), kg/d					
อาหารหยาบ (%BW)	2.6^{a}	2.4^{a}	1.4^{b}	3.95	<0.01
ผลผลิตน้ำนม, kg/d	13.2	13.0	12.8	0.20	0.29
น้ำนมปรับไขมัน 4%, kg/d	12.3	12.8	12.2	0.32	0.63

$^{a\ b,c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ (P < 0.01)

*CS = ข้าวโพดหมัก, SCS105 = อ้อยอาหารสัตว์อายุ105วันหมัก, SCS210 = อ้อยอาหารสัตว์อายุ210วันหมัก

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก ณัฐพงษ์ และคณะ (2555)

Mohammed *et al*. (2013) พบว่า ชานอ้อยสดหมักกับกากน้ำตาล 7% ยูเรีย 10% หินปูน 2% เกลือ 0.5% และ โซเดียมไบ-คาร์บอเนต 1% ใช้เวลาหมัก 28 วัน มีค่าเฉลี่ยโปรตีนหยาบ 10.40% สูงกว่าชานอ้อยที่ไม่ได้เติมสารเสริม (2.18%) (P<0.05)

มะซูรี และ อุบล (2561) ได้ทำการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพของการหมักร่วมกันระหว่างมูลกระบือ มูลแพะ และชานอ้อย พบว่า การหมักร่วมกันระหว่างมูลกระบือกับชานอ้อยมีปริมาณแก๊สชีวภาพ (8,347 มิลลิลิตร) สูงกว่าการหมักร่วมกันระหว่างมูลแพะกับชานอ้อย ดังนั้นชานอ้อยสามารถเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักร่วมกับมูลสัตว์ผลิตแก๊สชีวภาพได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมัก (FJLB) จากใบอ้อย

1. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

สุ่มเก็บตัวอย่างใบอ้อยในอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างละ 2 กิโลกรัมต่อน้ำหนักสดมาหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 2-3 เซนติเมตร แล้วนำมาปั่นด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 (ตัวอย่าง:น้ำกลั่น w/v) ปั่นจนละเอียด หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อทำการแยกกากออกจากน้ำ หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการกรองเติมกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 3, 5 และ 7% (w/v) เพื่อเป็นอาหารในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติค นำไปหมักทิ้งไว้ในสภาพไร้อากาศ ที่อุณหภูมิห้อง 30°C ณ ชั่วโมงต่างๆ คือ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, และ 72 ชั่วโมง ตามวิธีการของ Bureenok *et al.* (2005) (ภาคผนวก ก)

2. กลุ่มการทดลองและการวางแผนการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้ วางแผนการทดลอง CRD (Completely randomized design, CRD) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาล (กลุ่มควบคุม)
กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 3%
กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 5%
กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล 7%

3. สิ่งที่ทำการศึกษา

3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โดยนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,400 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 12 นาที และนำตัวอย่างส่วนใสประมาณ 25 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ และวัดด้วยเครื่อง pH meter (รุ่น AD 31 Ec/TDS) (ภาคผนวก ก)

3.2 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria content)

โดยนำส่วนใสมาทำการเจือจางน้ำพืชหมักจากใบอ้อย (Serial dilution) ที่ 10^{-2} ถึง

10^{-7} เท่า โดยการปิเปตตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ปลอดเชื้อ ความเข้มข้น 0.85% (Sodium chloride, NaCl) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (เทคนิคปลอดเชื้อ) จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (*Lactobacillus* MRS agar) จากนั้นนำไปบ่ม ที่อุณหภูมิห้องที่ 35-37ºC เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหาร (30-300 โคโลนี) บันทึกผลและคำนวณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เป็น Colony forming unit/milliliter (CFU/ml) ตามวิธีของ Kozaki *et al*. (1992) (ภาคผนวก ก)

วิธีการคำนวณ

$$\text{จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)} = \frac{\dfrac{\text{จำนวนโคโลนี}}{\text{จำนวนเพลท}} \times \text{ค่าความเจือจาง (Dilution Factor; DF)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

3.3 ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (Total lactic acid content)

โดยนำตัวอย่างส่วนใสปริมาณ 2 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator; $C_{20}H_{14}O_4$) ประมาณ 2-3 หยด และไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จดบันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (AOAC, 1990) (ภาคผนวก ก)

วิธีการคำนวณ $$\text{ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (\%)} = \frac{N \times V_1 \times MW \times 100}{V_2 \times 1{,}000}$$

โดยกำหนดให้ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท

V_2 = ปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้ (ml)

MW = น้ำหนักโมเลกุลของกรดแลคติก (90.08) (ml)

3.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content)

โดยนำตัวอย่างส่วนใสประมาณ 0.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 5% ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟิวริก ที่มีความเข้มข้น 98% ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมเขย่าให้เข้ากัน 30 วินาที ด้วยเครื่อง Vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 10-15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิเย็นลงแล้ว นำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (รุ่น SC) เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) (Dubois *et al*. 1956; Saha and Brewer, 1994) โดยวิธี Phenol - Sulfuric acid method (ภาคผนวก ก)

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (mg/ml)} = \frac{A \times V_1}{V_2}$$

โดยกำหนดให้ A = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 480 นาโนเมตร
V_1 = ปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (mg/ml)
V_2 = ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ (Completely randomized design, CRD) ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแบบวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้ โปรแกรม R ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักต่อคุณภาพการหมัก ค่าการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊ส

สุ่มเก็บตัวอย่างใบอ้อยในจังหวัดเพชรบุรีโดยสุ่มเก็บตัวอย่างละ 20 กิโลกรัมต่อน้ำหนักสด มาหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 2-3 เซนติเมตร เติมน้ำพืชหมัก (FJLB) จากใบอ้อยโดยใช้ปริมาตร 1% (w/w) ตัวอย่าง 20 กิโลกรัมต่อน้ำพืชหมัก 0.2 กรัม ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปอัดแน่นในถุงพลาสติกพร้อมไล่อากาศออกให้หมด เพื่อให้อยู่ในสภาพไร้อากาศ โดยทำการหมักถังละ 2 กิโลกรัม จากนั้นบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30°C แล้วนำตัวอย่างที่หมักไปวิเคราะห์หลังจากบ่มไว้ครบ 30 วัน ตามวิธีการของ Bureenok *et al*. (2012)

1. กลุ่มการทดลองและการวางแผนการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized design, CRD) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองๆ ละ 5 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม)
กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย
กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล

กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ ใบอ้อยหมักที่เติมน้ำพืชหมักจากใบอ้อยร่วมกับกากน้ำตาล โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 จะเลือกเติมน้ำพืชหมักร่วมกับกากน้ำตาลในระดับที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับผลการทดลองที่ 1

เมื่อตัวอย่างใบอ้อยหมักครบกำหนดการหมัก 30 วัน จะทำการสุ่มตัวอย่างไปอบแห้งที่ 60 °C ประมาณ 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดที่ตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ละบรรจุใส่ถุงซิบล็อค และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2. สิ่งที่ทำการศึกษา

2.1 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile fatty acid, TVFA)

โดยนำตัวอย่างใบอ้อยหมักสด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,400 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 12 นาที สารละลายจะเกิดการตกตะกอน แล้วดูส่วนที่ใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อย (Kjehdal flask) แล้วหยดเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange indicator) ประมาณ 5 หยด (สารละลายจะเป็นสีเหลืองส้ม) แล้วเติม H_2SO_4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นส้มแล้วเป็นสีชมพูแดง) จากนั้นทำการกลั่นตัวอย่างทันทีหลังจากการเติม H_2SO_4 แล้วทำการเก็บสารละลายโดยใช้ขวดรูปชมพู่เปล่าขนาด 250 มิลลิลิตร โดยทำการเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นประมาณ 150 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น เติมฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator) ประมาณ 10 หยด แล้วทำการไตรเตรทสารละลายที่ได้ด้วย NaOH 0.04 N จนถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีใส TVFA (mg/) เป็นสีชมพูอ่อน) ทำการจดบันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาตามวิธีของ Brigg *et al.* (1957) (ภาคผนวก ก และ ข)

2.2 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N)

โดยนำตัวอย่างใบอ้อยหมักสด มาทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,400 รอบ/นาที เป็นเวลา 12 นาที สารละลายจะเกิดเป็นตะกอน จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำ

การละลายด้วยน้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อย (Kjehdal flask) จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 35% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายสีใสจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองดำขุ่น) แล้วทำการกลั่นตัวอย่างทันทีหลังจากที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารอินดิเคเตอร์ร่วมกับกรดบอริกความเข้มข้น 4% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้จะเป็นสีเขียวอ่อนใส) และไตเตรทสารละลายด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ (สารละลายสีเขียวอ่อนใสจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง) จดบันทึกปริมาตรกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) (Bremner and Keene, 1965) (ภาคผนวก ก และ ข)

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N/100 ml) = ปริมาตร H_2SO_4 (ml) × 100

2.3 ค่าองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของใบอ้อยหมัก

ตัวอย่างใบอ้อยหมักแห้งมาวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ได้แก่วัตถุแห้ง (Dry matter, DM), โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP), ไขมัน (Ether extract, EE), พลังงานรวม (Gross energy, GE), เถ้า (Ash) โดยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) และนำไปวิเคราะห์เยื่อ ใยโดยวิธี Detergent fiber analysis (Goering and Van, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลาย ที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และลิกนิก (Acid detergent lignin, ADL) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเซลลูโลส (Cellulose) (ภาคผนวก ก และ ข)

2.4 ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD)

การเตรียมนำตัวอย่างใบอ้อยหมักแห้งที่ใช้ในการทดลองเทคนิค *in vitro* โดยบรรจุอาหารตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในขวดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียมให้สนิท จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมน ตามวิธีการของ Sommart *et al*. (2000) (ภาคผนวก ก และ ข)

การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองเทคนิคในหลอดทดลอง โดยสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) ด้วยวิธีการ Suction pump ของแพะพันธุ์บอร์ เพศเมียจำนวน

3 ตัว ที่มีการดูแลจัดการตามมาตรฐาน การใช้สัตว์ทดลองทางวิทยาศาสตร์ (คณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, คกส. มศก.) ก่อนให้อาหารเช้า โดยสุ่มเก็บปริมาตร 400 มิลลิลิตรต่อตัว จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางก่อนบรรจุลงกระติกเก็บความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิที่ 39°C และนำไปผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุที่เตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีการปล่อย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เข้ากับชุดการทดลองระบบในหลอดทดลองตลอดเวลา เพื่อเป็นการไล่แก๊สออกซิเจน (O_2) ออกจากสารละลายและควบคุมอุณหภูมิที่ 39°C บนเครื่องกวนสาร (Hot plate stirrer) หลังจากนั้นใช้ไซริงค์ขนาด 50 มิลลิลิตร ในการเก็บสารละลายผสมปริมาตร 40 มิลลิลิตร (ส่วนผสมสารละลายบัฟเฟอร์ร่วมกับของเหลวจากกระเพาะรูเมนแพะ) เพื่อถ่ายบรรจุลงขวดแก้วที่มี ตัวอย่างอาหารทดลองที่แตกต่างกันตามการทดลอง มีการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดเวลาทุกขั้นตอน และนำขวดแก้วทั้งหมดใส่ในถาดที่มีน้ำอุ่น เพื่อรักษาอุณหภูมิที่ 39°C ในตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

วัดค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่ระยะการบ่ม 24 ชั่วโมง สุ่มขวดทดลองออกมาจากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ และรอวิเคราะห์ การวิเคราะห์จะนำขวดทดลองที่สุ่มออกมาจากตู้แช่แข็ง และปล่อยให้ละลาย กรองเอาส่วนที่เหลือจากการย่อยนำตัวอย่างที่กรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100-105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (ภาคผนวก ก และ ข)

วิธีการคำนวณ

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD)

$$\text{IVDMD (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น – น้ำหนักวัตถุแห้งที่เหลือหลังการบ่ม)} \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น}}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD)

$$\text{IVOMD (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักอินทรียวัตถุเริ่มต้น – น้ำหนักอินทรียวัตถุที่เหลือหลังการบ่ม)} \times 100}{\text{น้ำหนักอินทรียวัตถุเริ่มต้น}}$$

2.5 ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม (Gas production)

วัดจากการหมักย่อยของอาหารทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ และคำนวณค่าจลศาสตร์การหมักย่อยโดยการจดบันทึกปริมาณของแก๊สที่เกิด จากการหมักย่อย โดยใช้ไซริงค์แก้วขนาด 20 มิลลิลิตร เชื่อมต่อกับสายยางและเข็มเบอร์ 24 ขนาด 1 นิ้ว ช่วงการบ่มทำการจดบันทึกดังนี้ 24

ชั่วโมงแรก จดบันทึกผลผลิตแก๊สทุกๆ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้น จดบันทึกทุกๆ 6 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 48 และจดบันทึกทุกๆ 12 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 72 โดยแต่ละครั้งที่วัดผลผลิตแก๊สจะทำการเขย่าขวดทดลองทุกครั้ง และนำค่าผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ ชั่วโมงต่างๆ คำนวณปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม และคำนวณค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส โดยอาศัยสมการตามวิธีการ ของ Ørskov and McDonald (1979) (ภาคผนวก ก และ ข)

วิธีการคำนวณ

$$Y\ (\text{ชั่วโมง}) = |a| + b\ [1 - \mathrm{Exp}\ (-ct)]$$

โดยกำหนดให้ Y = ผลผลิตที่เกิดขึ้น (ml) ณ เวลา t (ชั่วโมง)

$|a|$ = ปริมาณแก๊สที่ละลายในของเหลว หรือจุดตัดแกน y (ml)

b = ปริมาณแก๊ส ณ จุดสูงสุด หรือเส้นกราฟราบเรียบ หรือปริมาณผลผลิต แก๊สเหนือของเหลว (ml)

Exp = Exponential

c = อัตราการผลิตแก๊ส (เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง)

t = ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแบบวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม R - Studio ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) (R studio, 2016)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณภาพของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย

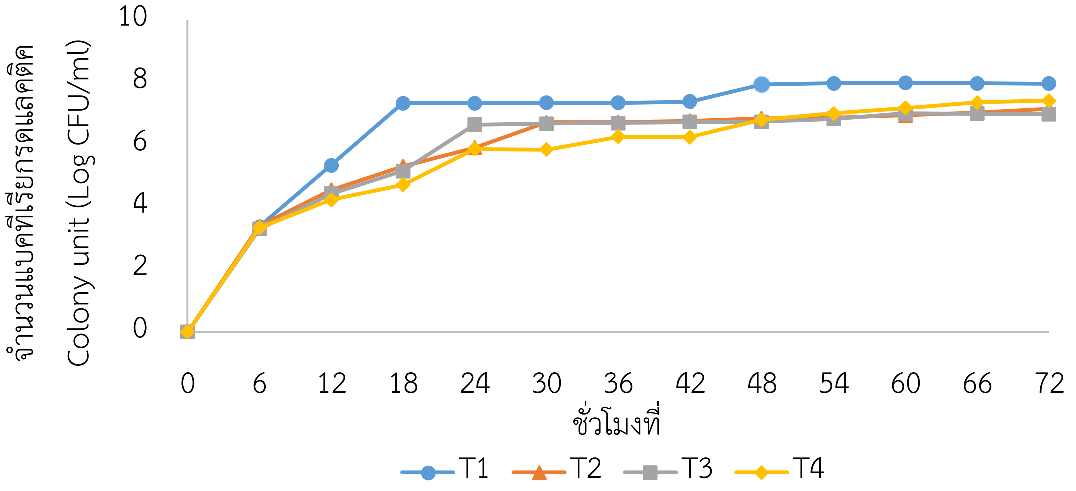
1. จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค (Lactic acid bacteria count)

จากการศึกษา พบว่า จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาลมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค (7.34) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 18 (ภาพที่ 13 และตารางที่ 11) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ณ ชั่วโมงที่ 18 นั้นเหมาะที่จะนำไปใช้ในการเป็นสารเสริมเพื่อเร่งกระบวนการหมักให้เร็วมากขึ้น เพราะมีปริมาณของจำนวนแบคทีเรียที่สูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใบอ้อยมีน้ำตาลหรือมีคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ (7.29%) ที่มากพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติคได้ดี พรพรรณ และคณะ (2564) กล่าวว่า เมื่อแบคทีเรียกรดแลคติคผลิตกรดแลคติคออกมาและสะสมมากขึ้นจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดอื่นๆ และในทางเดียวกันเมื่อผลิตออกเป็นจำนวนมากก็จะยับยั้งการเจริญการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติคด้วยเช่นกัน และเมื่อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคออกมาจำนวนมากจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ตัวของกรดแลคติคจะส่งผลให้ปริมาณค่า pH ลดลง (กฤติกา และคณะ, 2565) ซึ่งสอดคล้องกับ Bureenok *et al*. (2006) พบว่า ภายหลังจากการบ่มน้ำพืชหมักที่ได้จะมีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ แบคทีเรียกรดแลคติคที่มีในพืชนั้นจะสามารถพบได้ตามผิวของพืช เช่น ใบ ลำต้น ดอก เป็นต้น และแบคทีเรียกรดแลคติคจะเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น (Cai *et al*. (1994) อ้างโดย ทิพาพร (2559))

ตารางที่ 11 ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติค Log CFU/ml ของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ

ชั่วโมง	กลุ่มการทดลอง				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
0	0	0	0	0	-	-
6	3.38	3.3	3.30	3.34	0.01	0.99
12	5.35^{a}	4.56^{b}	4.43^{b}	4.27^{b}	0.24	<0.01
18	7.34^{a}	5.32^{b}	5.16^{b}	4.72^{b}	0.58	<0.01
24	7.35^{a}	6.26^{c}	6.66^{b}	5.85^{c}	0.31	<0.01
30	7.35^{a}	6.72^{b}	6.68^{b}	5.88^{c}	0.31	<0.01
36	7.36^{a}	6.74^{b}	6.71^{b}	6.26^{c}	0.23	<0.01
42	7.40^{a}	6.78^{b}	6.74^{b}	6.26^{c}	0.24	<0.01
48	7.89^{a}	6.85^{b}	6.74^{b}	6.81^{b}	0.27	<0.01
54	7.98^{a}	6.87^{b}	6.84^{b}	7.01^{b}	0.27	<0.01
60	7.98^{a}	6.95^{b}	7.01^{b}	7.19^{b}	0.24	<0.01
66	7.98^{a}	7.03^{c}	7.00^{c}	7.36^{b}	0.23	<0.01
72	7.96^{a}	7.16^{bc}	6.99^{c}	7.43^{a}	0.21	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean), T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%



ภาพที่ 13 กราฟแนวโน้มของปริมาณจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติค ณ ชั่วโมงต่างๆ

หมายเหตุ: T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม), T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3%, T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% และ T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%

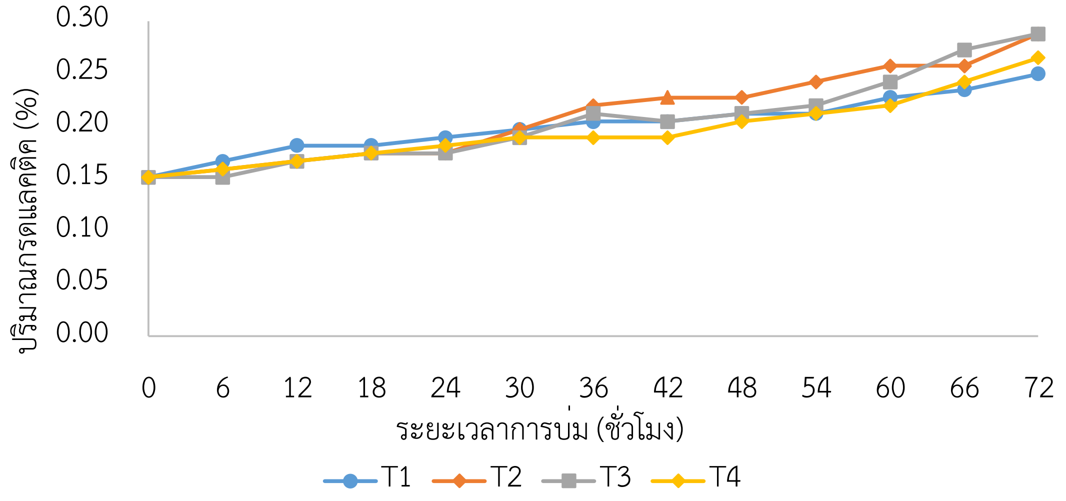
2. ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (Total lactic acid content)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณกรดแลคติคของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาลมีปริมาณกรดแลคติค (0.18 %) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 18 (ภาพที่ 13 และตารางที่ 12) ซึ่งอาจเป็นเพราะจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำตาลที่ลดลง ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Bureenok *et al.* (2006) พบว่า ภายหลังการบ่มน้ำพืชหมักที่ได้มีจำนวนแบคทีเรียและปริมาณกรดแลคติคที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้แบคทีเรียกรดแลคติคยังสามารถใช้กากน้ำตาลในการเจริญเติบโตและเปลี่ยนกากน้ำตาลเป็นกรดแลคติคได้อย่างง่าย เพราะกากน้ำตาลมีความสามารถในการสลายตัวในระหว่างกระบวนการหมักทำให้แบคทีเรียกรดแลคติคสามารถนำกากน้ำตาลไปใช้ประโยชน์ได้และผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค (ฉันทนา, 2549) และยุพา (2559) และ รายงานว่าปริมาณของกรดแลคติคจะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ง่ายและกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นของน้ำพืชหมัก ซึ่งในการหมักในสภาวะไร้อากาศแบคทีเรียกรดแลคติคจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค

ตารางที่ 12 ปริมาณกรดแลคติคของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ

ชั่วโมง	กลุ่มการทดลอง				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.002	0.58
6	0.16	0.15	0.15	0.15	0.003	0.53
12	0.18^{a}	0.16^{b}	0.16^{b}	0.16^{b}	0.004	0.04
18	0.18^{a}	0.17^{ab}	0.16^{b}	0.16^{b}	0.002	0.05
24	0.18	0.17	0.17	0.18	0.004	0.15
30	0.19	0.19	0.18	0.18	0.002	0.19
36	0.20	0.21	0.21	0.18	0.006	0.18
42	0.20^{ab}	0.22^{a}	0.20^{ab}	0.18^{b}	0.008	0.05
48	0.21	0.22	0.21	0.20	0.005	0.27
54	0.21	0.24	0.21	0.21	0.007	0.08
60	0.22	0.25	0.24	0.21	0.008	0.11
66	0.23	0.25	0.27	0.24	0.008	0.07
72	0.25^{b}	0.28^{a}	0.28^{a}	0.26^{ab}	0.009	0.04

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean), T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%



ภาพที่ 14 แนวโน้มของปริมาณกรดแลคติค ณ ชั่วโมงต่างๆ

หมายเหตุ: T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%

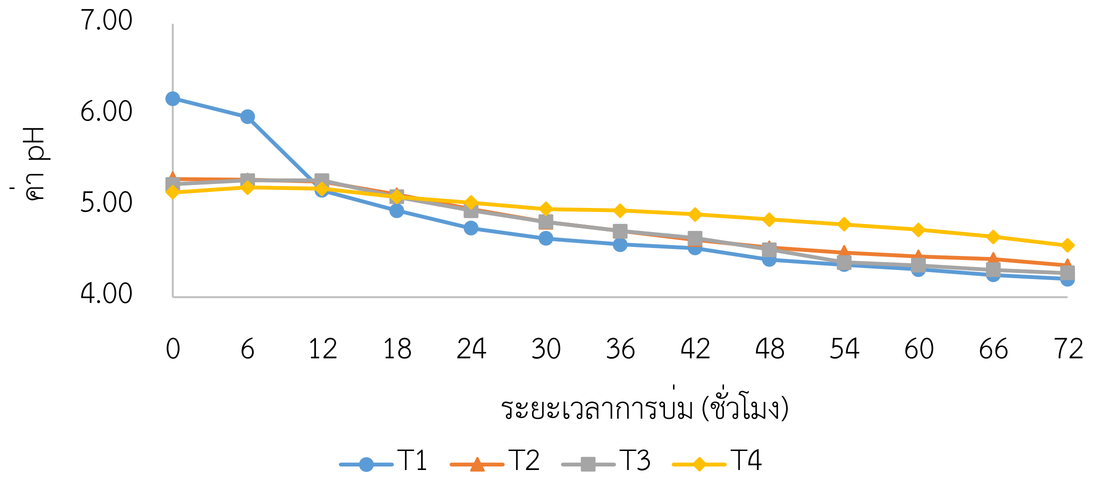
3. ค่า pH ของน้ำพืชหมัก (FJLB)

จากการศึกษา พบว่า ค่า pH ของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาลมี ค่า pH (4.95) ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 18 (ภาพที่ 14 และตารางที่ 13) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยทุกกลุ่มการทดลองมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.10 - 5.13 เป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติค (ภาพที่ 14 และตารางที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของน้ำพืชหมักที่ดีควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.5 – 5.6 (สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองนครปฐม, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนแบคทีเรีย และปริมาณกรดแลคติคที่เพิ่มสูงขึ้น ณ ชั่วโมงที่ 18 ซึ่งสอดคล้องกับ กฤติกา และคณะ (2565) กล่าวว่าเมื่อจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคผลิตกรดแลคติคขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ลดลง และจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการจะมีจำนวนลดลงเพราะไม่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่เป็นกรดได้ การที่พืชหมักมีสภาพคงที่นั้นเนื่องจากปริมาณกรดแลคติค ซึ่งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียที่ติดมากับพืชและมีการใช้คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ที่มีในพืช ส่งผลให้ผลิตเป็นกรดแลคติค และส่งผลให้ค่า pH ลดลง หยุดกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์หรือที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชหมัก ทำให้พืชหมักที่ได้มีคุณภาพดีเก็บไว้ได้นาน โดยการที่พืชหมักเกิดสภาวะคงที่เนื่องมาจากปริมาณกรดแลคติค เกิดจากกระบวนการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติค ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง เมื่อค่า pH ลดลงจะทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตได้ (เสมอใจ, 2554)

ตารางที่ 13 ค่า pH ของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงต่างๆ

ชั่วโมง	กลุ่มการทดลอง				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
0	6.18^{a}	5.30^{b}	5.24^{c}	5.15^{d}	0.23	<0.01
6	5.98^{a}	5.29^{b}	5.28^{b}	5.20^{c}	0.18	<0.01
12	5.18^{b}	5.27^{b}	5.28^{a}	5.19^{b}	0.02	<0.01
18	4.95^{b}	5.13^{a}	5.10^{a}	5.10^{a}	0.04	<0.01
24	4.76^{c}	4.97^{b}	4.95^{b}	5.04^{a}	0.06	<0.01
30	4.65^{c}	4.83^{b}	4.83^{b}	4.97^{a}	0.06	<0.01
36	4.65^{c}	4.83^{b}	4.83^{b}	4.97^{a}	0.06	<0.01
42	4.54^{d}	4.63^{c}	4.65^{b}	4.91^{a}	0.08	<0.01
48	4.42^{c}	4.55^{b}	4.53^{b}	4.85^{a}	0.09	<0.01
54	4.36^{d}	4.49^{b}	4.38^{c}	4.80^{a}	0.10	<0.01
60	4.31^{d}	4.45^{b}	4.35^{c}	4.74^{a}	0.09	<0.01
66	4.25^{d}	4.42^{b}	4.30^{c}	4.66^{a}	0.09	<0.01
72	4.20^{d}	4.35^{b}	4.27^{c}	4.57^{a}	0.08	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean), T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%



ภาพที่ 15 กราฟแนวโน้มของปริมาณค่า pH ณ ชั่วโมงต่างๆ

หมายเหตุ: T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%

4. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content)

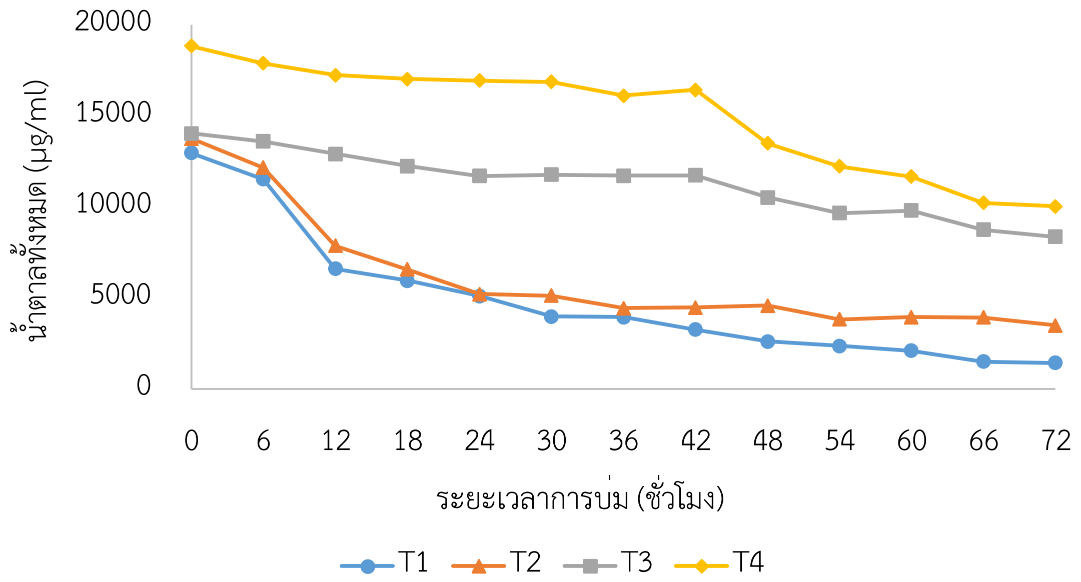
จากการศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาลปริมาณน้ำตาลที่ลดลงมากกว่า (5,958.18 µg/ml) กลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 18 (ภาพที่ 13 และตารางที่ 14) โดยน้ำพืชหมักจากใบอ้อยทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มลดลงรวดเร็วสูงสุดใน 18 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นจะเริ่มลดลงแบบคงที่ (ภาพที่ 15 และตารางที่ 15) ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนแบคทีเรียที่สูงและมีการทำงานเกิดขึ้นส่งผลให้ผลิตกรดแลคติคออกมาได้มาก และส่งผลให้ค่า pH ลดลง ณ ชั่วโมงที่ 18 ซึ่งสอดคล้องกับ Seesawhea *et al*. (2016) รายงานว่า น้ำพืชหมักของแบคทีเรียกรดแลคติกอิงอาศัยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกในกระบวนการหมัก แบคทีเรียกรดแลคติกในกระบวนการหมักสามารถใช้กับน้ำตาลในการเจริญเติบโตและการผลิตกรดแลคติค ปริมาณของน้ำตาลที่ยังเหลือเพิ่มตามจำนวนของกากน้ำตาลที่เติมเข้าไป และคงเหลือจากการใช้จากแบคทีเรียกรดแลคติคเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต (พรพรรณ, 2564) ในการทำน้ำพืชหมักน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียกรดแลคติค และปรับปรุงคุณภาพได้ เช่น กากน้ำตาล และซูโครส (Bureenok *et al*., 2005) มีการศึกษาก่อนหน้านี้ได้แนะนำว่าการเติมกากน้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ

ได้ ในอาหารหมักช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียกรดแลคติก และคุณภาพของอาหารหมัก (Van *et al*., 2007)

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำตาลที่เหลือของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยของแต่ละกลุ่มการทดลอง (µg/ml) ณ ชั่วโมงต่างๆ

ชั่วโมง	กลุ่มการทดลอง				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
0	12,749.09^{c}	13,760.00^{bc}	14,054.54^{b}	17,749.09^{a}	0.15	<0.01
6	11,530.91^{c}	12,160.00^{c}	13,600.00^{b}	17,526.91^{a}	0.11	<0.01
12	6,616.36^{d}	7,880.00^{c}	12,930.91^{b}	17,241.82^{a}	0.12	<0.01
18	5,958.18^{d}	6,574.55^{c}	12,254.55^{b}	17,045.45^{a}	0.11	<0.01
24	5,110.91^{c}	5,221.82^{c}	11,709.09^{b}	16,947.27^{a}	0.11	<0.01
30	3,990.91^{c}	5,132.72^{c}	11,778.18^{b}	16,876.36^{a}	0.12	<0.01
36	3,960.00^{c}	4,439.99^{c}	11,723.64^{b}	16,123.63^{a}	0.12	<0.01
42	3,272.73^{d}	4,481.82^{c}	11,749.09^{b}	16,445.46^{a}	0.12	<0.01
48	2,623.64^{d}	4,592.73^{c}	10,523.64^{b}	13,505.45^{a}	0.13	<0.01
54	2,374.54^{d}	3,834.55^{c}	9,669.09^{b}	12,240.00^{a}	0.13	<0.01
60	2,105.45^{d}	3,954.54^{c}	9,807.27^{b}	11,672.73^{a}	0.13	<0.01
66	1,520.00^{d}	3,932.73^{c}	8,752.73^{b}	10,227.27^{a}	0.13	<0.01
72	1,449.09^{d}	3,501.82^{c}	8,367.27^{b}	10,036.36^{a}	0.13	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean), T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%



ภาพที่ 16 กราฟแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ณ ชั่วโมงต่างๆ

หมายเหตุ: T1: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย (กลุ่มควบคุม) T2: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 3% T3: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 5% T4: น้ำพืชหมักจากใบอ้อย + กากน้ำตาล 7%

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาผลการปรับปรุงใบอ้อยหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักต่อคุณภาพการหมัก ค่าการย่อยได้ของโภชนะและผลผลิตแก๊ส

1. ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile fatty acid, TVFA)

จากการศึกษา พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดของใบอ้อยหมัก ของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม มีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (7.87. mg. %) ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายประกอบไปด้วยกรดอะซิติค (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิค (Propionic acid) และกรดบิวทิริค (Butyric acid) ซึ่งเราต้องการกรดอะซิติคมากที่สุด กรดโพรพิโอนิคน้อย และไม่ต้องการกรดบิวทีริค หรือต้องมีน้อยมากที่สุด (เสมอใจ, 2554)

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ข้อมูลที่ศึกษา	T1	T2	T3	SEM	P-value
ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (mg%)	7.87^{c}	9.31^{b}	11.65^{a}	1.10	<0.01
ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (mg/dl)	0.17^{a}	0.15^{b}	0.12^{c}	0.01	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean),

T1: ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม), T2: ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย และ T3: ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล

2. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของใบอ้อย ในแต่ละกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาลมีปริมาณแอมโมเนีย (0.12 mg/dl) ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ (ตารางที่ 15) ซึ่งพืชหมักคุณภาพที่ดีจะต้องมีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนไม่เกิน 11% (Catchpoole and Henzeel, 1971 อ้างโดย เสมอใจ, 2557) กระบวนการหมักจะส่งผลให้พืชหมักมีคุณภาพนั้น จะขึ้นอยู่กับแบคทีเรียกรดแลคติค โดยเกิดการทำงานในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติคจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ผลิตออกมาเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง และทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่เป็นประโยชน์ไม่สารมารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีความเป็นกรดได้ จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคจะชะลอกระบวนการทำงาน เมื่อปริมาณกรดแลคติคมีจำนวนมาก หยุดใช้สารอาหาร สารอาหารคงเหลือมากขึ้นในระบบ

ส่งผลให้สูญเสียโภชนะน้อยลง เช่น สูญเสียโปรตีนในรูปแบบของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) (เสมอใจ, 2554)

3. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions)

จากการศึกษา พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยหมักของในแต่ละกลุ่มการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล มีปริมาณโปรตีนหยาบสูง (7.10 %), พลังงานรวมสูง (4757.57 kcal/g) แต่มีเยื่อใยรวม (59.33 %), เซลลูโลส (28.09 %) และเฮมิเซลลูโลส (26.44 %) ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 16) เมื่อเทียบกับใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม และใบอ้อยหมักที่เติมน้ำพืชหมักจากใบอ้อย 1 % ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ กรมปศุสัตว์ (2565) พบว่า คุณค่าโภชนะของยอดอ้อยและใบอ้อยหมักมีค่า โปรตีนรวมประมาณ 7.2 %, ไขมันประมาณ 1.8 %, เยื่อใย NDF ประมาณ 71.3 %, ADF ประมาณ 44.5 % และเยื่อใยรวมประมาณ 34.2 % แต่กลุ่มของใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม พบว่ามีค่าโปรตีนต่ำสุด (4.64%) ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ เกิดจากการสูญเสียโปรตีนในรูปแบบของแอมโมเนียจึงอาจเป็นหนึ่งเหตุผลที่ทำให้ค่าโปรตีนต่ำ ซึ่งค่าขององค์ประกอบทางเคมีของอาหารหมักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ความหนาแน่นของพืช อายุของพืช ชนิดของพืช สิ่งแวดล้อมที่พืชอาศัยอยู่ และฤดูกาล เป็นต้น (ชาลินี, 2560)

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง (% น้ำหนักแห้ง)

ข้อมูลที่ศึกษา (%)	T1	T2	T3	SEM	P-value
ความชื้น	72.43^{a}	69.83^{b}	70.21^{b}	0.81	<0.01
วัตถุแห้ง	27.57^{b}	30.17^{a}	29.79^{a}	0.81	<0.01
	----------------------	% น้ำหนักแห้ง	---------------------		
เถ้า	9.15^{a}	8.06^{b}	8.52^{b}	0.32	<0.01
โปรตีนหยาบ	4.64^{c}	6.43^{b}	7.10^{a}	0.73	<0.01
ไขมันรวม	1.31	1.40	1.43	0.04	0.27
เยื่อใยรวม	62.63^{a}	59.86^{b}	59.33^{b}	1.02	<0.01
เยื่อใย NDF	68.09	67.59	66.57	0.45	0.07
เยื่อใย ADF	41.33^{a}	39.72^{b}	38.93^{b}	0.71	<0.01
ADL	11.96^{a}	11.28^{ab}	10.84^{b}	0.33	0.03
เฮมิเซลลูโลส	28.20	27.89	26.44	0.54	0.41
เซลลูโลส	29.37	28.44	28.09	0.38	0.08
พลังงานรวม (kcal/kg)	4,618.35^{b}	4,733.24^{a}	4,757.57^{a}	42.93	0.04

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean), NDF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber), ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber), ADL = ลิกนิน (Lignin), เซลลูโลส (Cellulose) = %ADF - %ADL, เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) = %NDF - %ADF, T1: ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม), T2: ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย และ T3: ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล

4. สัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (in *vitro* dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (in *vitro* organic matter digestibility, IVOMD)

จากการศึกษาสัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของใบอ้อยหมักของในแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่าใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (39.64%) และอินทรียวัตถุ (32.82%) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 72 (P<0.05) (ตารางที่ 17) อาจเนื่องจากใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ซึ่งยุพา (2559) รายงานว่าปริมาณน้ำตาลสูงจะส่งผลให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่า เพราะคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย

เป็นอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และพืชที่นำมาใช้ต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้มากกว่า 6% เพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ (Bureenok *et al*., 2011) ผลของค่าการย่อยได้ที่ต่ำอาจเป็นเพราะมีค่าองค์ประกอบของเยื่อใยในใบอ้อยที่สูง (ตารางที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับ กันยา และคณะ 2555 พบว่าการย่อยได้วัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุหลังการบ่ม 24 ชั่วโมง ของชานอ้อยหมักมีค่าเท่ากับ 24.3 – 36.60% ใกล้เคียงกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ การย่อยได้ที่มีค่าต่ำอาจเนื่องมาจาก บุญล้อม (2541) พืชที่มีอายุมาก และพืชที่มีเยื่อใยสูงจะมีลิกนินสูงตามไปด้วย ซึ่งสัตว์ไม่สามารถย่อยได้ และไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ของใบอ้อยหมักในแต่ละกลุ่มการทดลอง ณ ชั่วโมงที่ 72

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (%)	T1	T2	T3	SEM	P-value
วัตถุแห้ง (IVDMD)	39.64^{a}	37.14^{b}	36.40^{b}	0.98	<0.01
อินทรียวัตถุ (IVOMD)	32.82^{a}	27.72^{b}	22.35^{c}	3.02	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.01), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean),

T1: ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม), T2: ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย และ T3: ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล

5. ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม

จากการศึกษา พบว่าปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมของใบอ้อยหมักของในแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 18) โดยใบอ้อยหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเสริมมีปริมาณของแก๊สสะสม (80.33 ml/ 0.5g DM) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 72 (P<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับค่าของการย่อยได้วัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ จากตารางจะเห็นได้ว่าปริมาณของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้น เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ทำการสลายส่วนที่ย่อยได้ง่ายก่อนคือในส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายที่ประกอบไปด้วยแป้งและน้ำตาล และส่วนต่อมาจะย่อยสลายในส่วนที่เป็นเยื่อใยโดยจะใช้เวลานานมากกว่าในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายจึงทำให้มีปริมาณแก๊สสะสมเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ทำให้มีปริมาณแก๊สสะสมมากในช่วงสุดท้ายของกระบวนการบ่มย่อย (ปรีชา และทวีพร, 2551) ซึ่งกระบวนการหมักช่วงแรกการเกิดแก๊สจะมีปริมาณน้อยแต่หลังจาก 24 ชั่วโมงแล้วจะทำให้ปริมาณแก๊สเพิ่มเร็วขึ้น และช้าลงหลังจาก 48 ชั่วโมง และเริ่มคงที่หลังจาก 72 ชั่วโมง (เสาวลักษณ์ และคณะ., 2542)

ตารางที่ 18 จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สของพืชหมักจากใบอ้อยในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ข้อมูลที่ศึกษา	T1	T2	T3	SEM	P-value
ค่าจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส					
|a| (ml)	6.75	5.36	4.18	0.74	0.12
b (ml)	99.58	86.25	88.45	4.13	0.428
c (%/h)	0.019	0.018	0.015	0.001	0.96
d (ml)	106.33	91.61	92.63	4.75	0.38
ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม (ml/ 0.5g DM)					
ชั่วโมงที่ 12	26.77^{a}	21.25^{b}	18.13^{b}	2.53	<0.01
ชั่วโมงที่ 24	42.76^{a}	34.17^{b}	29.78^{b}	3.81	<0.01
ชั่วโมงที่ 48	65.70^{a}	53.20^{b}	47.68^{b}	5.33	<0.01
ชั่วโมงที่ 72	80.33^{a}	65.84^{ab}	60.28^{b}	5.98	0.03

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรกำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.01), SEM = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Standard error of the mean),

T1: ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริม (กลุ่มควบคุม), T2: ใบอ้อยหมักที่เติม 1% น้ำพืชหมักจากใบอ้อย และ T3: ใบอ้อยหมักที่เติม 5% กากน้ำตาล

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการการทดลองที่ 1 ศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบอ้อย พบว่า น้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาล มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติด (7.34 Log10 CFU/ml), ปริมาณกรดแลคติค (0.18%), ความเป็นกรดด่าง (4.95) และ ปริมาณน้ำตาลที่เหลือทั้งหมด (5,958.18 µg/ml) ดีกว่ากลุ่มของน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่เติมกากน้ำตาล ณ ชั่วโมงที่ 18 ดังนั้นน้ำพืชหมักจากใบอ้อยที่ไม่เติมกากน้ำตาล ณ ที่ 18 ชั่วโมงเหมาะสำหรับเป็นสารเสริมในกระบวนการของพืชหมักได้

จากการศึกษาการทดลองที่ 2 พบว่า ใบอ้อยหมักทุกกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริมมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (39.64%), อินทรียวัตถุ (32.82%) และปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม (80.33 ml/ 0.5g DM) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ณ ชั่วโมงที่ 72 ดังนั้นสรุปได้ว่า ใบอ้อยหมักที่ไม่เติมสารเสริมสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนได้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพแสดงการเตรียมการทดลอง

ภาคผนวก

ภาพแสดงการเตรียมการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 1 การเก็บตัวอย่างใบอ้อย

T 3
hrs 66
hrs 60
hrs 54
hrs 48
hrs 24
hrs 30
hrs 36
hrs 42

ภาพภาคผนวกที่ 2 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

hrs 66
hrs 6
hrs 12
hrs 18

ภาพภาคผนวกที่ 3 การวัดค่า pH ของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย

ภาพภาคผนวกที่ 4 การวัดจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติคของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย

ภาพภาคผนวกที่ 5 การวัดค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย

ภาพภาคผนวกที่ 6 การวัดค่าปริมาณกรดแลคติคของน้ำพืชหมักจากใบอ้อย

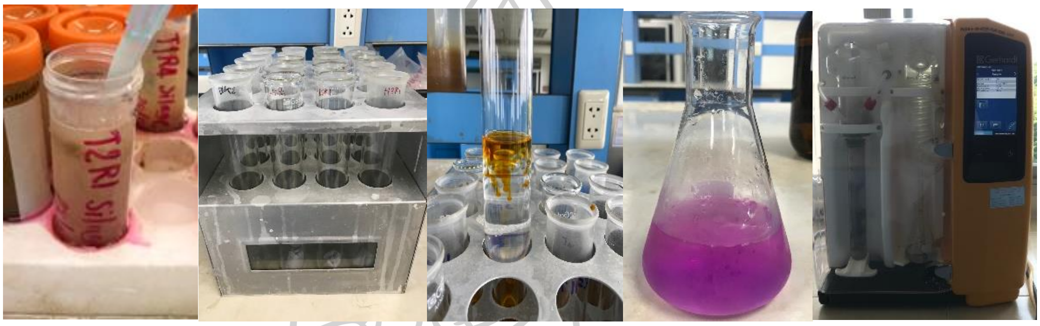
ภาพภาคผนวกที่ 7 การเตรียมใบอ้อยหมัก

ภาพภาคผนวกที่ 8 ใบอ้อยหมักอบแห้งและบด

CARBOLITE
Gerhardt

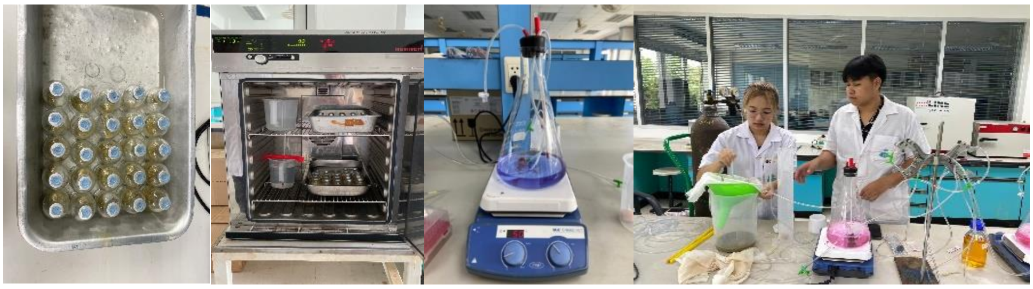
ภาพภาคผนวกที่ 9 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบอ้อยหมัก

ภาพภาคผนวกที่ 10 วัดค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด



ภาพภาคผนวกที่ 11 วัดค่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

ภาพภาคผนวกที่ 12 การเก็บ Rumen fluid



ภาพภาคผนวกที่ 13 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

ภาพภาคผนวกที่ 14 การวัดปริมาณผลผลิตแก๊ส

ภาพภาคผนวกที่ 15 วิเคราะห์วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติค

โดยวิธี Pour plate เป็นการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิต โดยตรวจนับการเกิดโคโลนีในอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อเป็นการตรวจนับเชื้อโคโลนีในตัวอย่างอาหารโดยอ้างอิงวิธีของ Kozaki *et al*. (1992)

อุปกรณ์

1. จานอาหารเลี้ยงเชื้อ
2. กล่องบ่มเพาะเชื้อ
3. ไมโครปิเปิต
4. ทิปที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
5. เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer)
6. เครื่องปลอดเชื้อ
7. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Agar

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจะทำโดยชั่งผงอาหารตามปริมาณคำแนะนำโดยผู้ผลิต และนำผสมกบผง Agar หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อโดยการใช้ เครื่อง Autoclave เป็นการนึ่งโดยใช้ความดัน โดยใช้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 – 15 นาที

2. โดยทำการเจือจางตัวอย่าง (Serial dilution) ที่ 10^{-2} ถึง 10^{-7} เท่า โดยการปิเปตตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (เทคนิคปลอดเชื้อ) จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Lactobasilus MRS agar) จากนั้นนำไปบ่ม ที่อุณหภูมิห้องที่ 35-37ºC เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหาร (30-300 โคโลนี)

วิธีการคำนวณ

$$\text{จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)} = \frac{\dfrac{\text{จำนวนโคโลนี}}{\text{จำนวนเพลท}} \times \text{ค่าความเจือจาง (Dilution Factor; DF)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล(Normality, N) โดยอ้างอิงวิธีของ AOAC (1990)

1. ทำการชั่ง NaOH ประมาณ 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

2. ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (Potassium hydrogen phathalate: KHP) น้ำหนักประมาณ 2.0423 กรัม นำละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3. ปิ เปตสารละลายมาตรฐาน KHP ที่เตรียมได้จากข้อที่ 2 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใส่ลงใน ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วนำมาไตเตรทกับสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้โดยหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2 - 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อรคำนวณหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของ NaOH

วิธีการคำนวณ

ความเข้มข้นมาตรฐานของ NaOH (N1) = (N2 x V2) / V1

กำหนดให้ N1 = ความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
V1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต
N2 = ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของ KHP
V2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน KHP ที่ใช้ในการไตเตรท

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติค

โดยนำตัวอย่างบริเวณส่วนใสปริมาณ 2 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator; $C_{20}H_{14}O_4$) ประมาณ 2-3 หยด และไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จดบันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด

วิธีการคำนวณ ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด (%) =

$$\frac{N \times V_1 \times MW \times 100}{V_2 \times 1{,}000}$$

โดยกำหนดให้ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท
V_2 = ปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้ (ml)
MW = น้ำหนักโมเลกุลของกรดแลคติก (90.08) (ml)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

วิธีการทดลองโดยอ้างอิงวิธีของ (Dubois *et al*. 1956; Saha and Brewer, 1994)

โดยนำตัวอย่างส่วนใสประมาณ 0.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 5% ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟิวริก ที่มีความเข้มข้น 98% ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมเขย่าให้เข้ากัน 30 วินาที ด้วยเครื่อง Vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 10-15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิเย็นลงแล้ว นำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (รุ่น SC) เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) (Dubois *et al*. 1956; Saha and Brewer, 1994) โดยวิธี Phenol - Sulfuric acid method

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (mg/ml)} = \frac{A \times V_1}{V_2}$$

โดยกำหนดให้ A = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 480 นาโนเมตร

V_1 = ปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (mg/ml)

V_2 = ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

อุปกรณ์ pH meter (ยี่ห้อ Adwa รุ่น AD 12) และ บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่าง 50 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตรนำไปปั่นในเครื่องปั่น (blender jar) นาน 30วินาที
2. นำของเหลวที่กรองได้ไปวัดความค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (รุ่น AD31 EC/TDS) โดยอ้างอิงวิธีของ บุญล้อม และบุญเสริม (2525)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (Total Volatile Fatty Acid, TVFA)

ตัวอย่างของเหลวที่ได้จากการหมักสด จะพบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดละลายอยู่ภายในของเหลว สามารถประเมินค่าด้วยวิธีกลั่นควบแน่นทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หลังจากนั้นนำสารละลายของกรดไขมันระเหยได้ นำไปไตเตรทกับด่าง (NaOH 0.04 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (End point) และนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Brigg *et al*., 1957)

อุปกรณ์ และเครื่องมือ

ได้แก่ เครื่องย่อย และกลั่นโปรตีน, หลอดเคลดาฮ์ล (Kjeldahl flask) และขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 0.04 N), ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein indicator), เมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ (Methyl orange indicator), กรดอะซิติค 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

โดยนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,400 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 12 นาที สารละลายจะเกิดการตกตะกอน แล้วดูส่วนที่ใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อย (Kjehdal flask) แล้วหยดเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange indicator) ประมาณ 5 หยด (สารละลายจะเป็นสีเหลืองส้ม) แล้วเติม H2SO4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นส้มแล้วเป็นสีชมพูแดง) จากนั้นทำการกลั่นตัวอย่างทันทีหลังจากการเติม H2SO4 แล้วทำการเก็บสารละลายโดยใช้ขวดรูปชมพู่เปล่าขนาด 250 มิลลิลิตร โดยทำการเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นประมาณ 150 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น เติมฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator) ประมาณ 10 หยด แล้วทำการไตรเตรทสารละลายที่ได้ด้วย NaOH 0.04 N จนถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีใส TVFA (mg/) เป็นสีชมพูอ่อน) ทำการจดบันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณ

ดังแสดงในสมการ

$$\text{TVFA (mg/l)} = \frac{\text{ml NaOH} \times \text{Normality} \times 60050}{\text{ml Sample F}}$$

เมื่อ TVFA = กรดไขมันที่ระเหยได้รวม (มิลลิกรัม/ลิตร)

NaOH = ปริมาณด่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

Normality=ค่าที่แท้จริงของด่าง (NaOH) ที่ใช้

Sample = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

F = ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกลั่นเก็บของเครื่องกลั่น

การวิเคราะห์ประเมินหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N)

อุปกรณ์ และเครื่องมือ (Bremner and Keene, 1965)

ได้แก่ เครื่องย่อยและกลั่นโปรตีน, หลอดเคลดาฮ์ล (Kjeldahl flask) และขวดรูปชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H2 SO4) 0.01 นอร์มอล, โซเดียมไฮดรอกไซด์ 35%, กรดบอริก 4%, อินดิเคเตอร์ และน้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

โดยนำตัวอย่างใบอ้อยหมักแห้งหลังการบ่มย่อยของพืชหมักด้วยเทคนิค *in vitro* หลังจากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,400 รอบ/นาที เป็นเวลา 12 นาที สารละลายจะเกิดเป็นตะกอน จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำการละลายด้วยน้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อย (Kjehdal flask) จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 35% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายสีใสจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองดำขุ่น) แล้วทำการกลั่นตัวอย่างทันทีหลังจากที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารอินดิเคเตอร์ร่วมกับกรดบอริกความเข้มข้น 4% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้จะเป็นสีเขียวอ่อนใส) และไตเตรทสารละลายด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ (สารละลายสีเขียวอ่อนใสจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง) จดบันทึกปริมาตรกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) (Bremner and Keene, 1965)

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N/100 ml) = ปริมาตร H_2SO_4 (ml) × 100

การประเมินค่าจลศาสตร์การหมักย่อยในระบบ In vitro gas production technique

วัสดุ และอุปกรณ์

ได้แก่ ถังบรรจุ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, สายยางแก๊สและอุปกรณ์แยกทางแก๊ส,ขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 2 ลิตร, กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100, 500 และ 1000 มิลลิลิตร, ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flash) ขนาด 100 และ 1000 มิลลิลิตร, กระติกน้ำร้อน (Thermos) ขนาด 1200 มิลลิลิตร, กรวยกรองขนาดใหญ่, ผ้าขาวบางสำหรับกรองของเหลว, ไมโครปิเปต (Micro pipette) ขนาด 20-200 และ 100-1000 ไมโครลิตร, เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer), ตู้อบ (Hot air oven) ยี่ห้อ MEMMERT, ขวดวัคซีน ขนาด 50 มิลลิลิตร, จุกยางและฝาครอบอลูมิเนียม, กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร, กระบอกฉีดยาแก้ว ขนาด 20 มิลลิลิตร, เข็มฉีดยาเบอร์ 18 ยาว 1 นิ้ว และ เข็มฉีดยา เบอร์ 24 ยาว 1 นิ้ว

สารเคมีและการเตรียม

ได้แก่ น้ำกลั่นปริมาณ 1,095 มิลลิลิตร, สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution) ปริมาณ 730 มิลลิลิตร เตรียมจาก โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ปริมาณ 35.00 กรัม,แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ปริมาณ 4.00 กรัม ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1,000

มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น, สารละลายแร่ธาตุอาหารหลัก (Macro mineral solution) ปริมาณ 365 มิลลิลิตร, โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟส (KH_2PO_4) ปริมาณ 6.20 กรัม, ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (Na_2HPO_4) ปริมาณ 5.70 กรัม, โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ปริมาณ 2.22 กรัม, แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H2O$) ปริมาณ 0.60 กรัม ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น, สารละลายแร่ธาตุอาหารรอง (Micro mineral solution) ปริมาณ 0.23 มิลลิลิตร, แมกกานีสไดคลอไรด์ ($MnCl_2.4H_2O$) ปริมาณ 10.00 กรัม, แคลเซียมไดคลอไรด์ ($CaCl_2$.$2H_2O$) ปริมาณ 13.20 กรัม, โคบอลต์ไดคลอไรด์ ($CoCl_2$.$6H_2O$) ปริมาณ 1.00 กรัม, เฟอร์รัสไตรคลอไรด์ ($FeCl_3$.$6H_2O$) ปริมาณ 8.00 กรัม, ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น, สารละลายรีซาซูริน (Resazurine solution) ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร, รีซาซูริน (Resazurine solution) ปริมาณ 0.10 กรัม, ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น, สารละลายสำหรับไล่ออกซิเจน (Reduction solution) ปริมาณ 60.00 มิลลิลิตร, โซเดียมซัลไฟด์ ($Na_2S.9H_2O$) ปริมาณ 0.58 กรัม, โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)ความเข้มข้น 1 M ปริมาณ 60.00 กรัม และของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) 660 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบและบดละเอียดแล้ว มาทำการชั่งในปริมาณ 0.5 กรัม หลังจากนั้นบรรจุลงในขวดวัคซีนที่จะใช้น้ำย่อยจากกระเพาะหมักใส่ลงไป (Rumen fluid) แล้วจัดสุ่มลงในถาดรองตามแผนผังการทดลอง และนำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 39 °C ก่อนการทำการทดลอง *in vitro* อย่างน้อย 8 ชั่วโมง

2. การเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน ใช้แพะลูกผสมพันธุ์บอร์ระยะโตเต็มวัย จำนวน 3 ตัว เพื่อเก็บน้ำย่อยจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) ซึ่งทำการเลี้ยงโดยให้อาหารปกติในฟาร์มสาธิตมาตรฐานของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

3. การเตรียมชุดจำลองการหมักย่อย

3.1 เตรียมสารละลายที่ประกอบด้วย น้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 6-7) สารละลายแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรองใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 2000 มิลลิลิตร

3.2 ต่อท่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อไล่แก๊สออกซิเจน

3.3 อุ่นสารละลายที่เตรียมให้มีอุณหภูมิ 39 °C โดยใช้เครื่องกวนคลื่นแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) กวนตลอดเวลา ห้ามอุณหภูมิเกิน 42 °C

3.4 เติมสารละลาย Reduction solution เพื่อไล่แก๊สออกซิเจนจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู (จะเกิดเป็นสภาวะไร้แก๊สออกซิเจน)

3.5 ทำการเก็บน้ำหมักจากกระเพาะหมัก (Rumen fluid) ตามสัดส่วนที่คำนวณไว้ตามวิธีการมาตรฐาน

3.7 นำของเหลวจากกระเพาะแพะมาผสมรวมกัน หลังจากนั้นเทของเหลวลงในกระติกน้ำร้อน (ที่บรรจุน้ำร้อนไว้เพื่อรักษาอุณหภูมิ โดยเทน้ำร้อนออกก่อนและทำการบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมักที่ลงไปแทนที่)

3.8 นำของเหลวที่ได้มายังห้องปฏิบัติการทันที และกรองผ่านผ้าขาวบางนำไปผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้

4. วิธีการดูดสารละลายลงในขวดอาหารทดลอง

4.1 นำเข็มที่ติดกับสายยางบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปักลงในขวดตัวอย่าง เพื่อไล่แก๊สออกซิเจนออกจากขวดตัวอย่าง

4.2 ใช้กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ดูดสารละลายที่ผสมกับน้ำย่อยกระเพาะหมักปริมาตรขวดละ 40 มิลลิลิตร

4.3 บรรจุลงขวดให้ครบตามจำนวนที่เตรียมไว้ และใช้เข็มไล่อากาศทุกขวด หลังจากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 39 °C และทำการจับเวลาเพื่อทำการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยตามเวลาต่างๆที่กำหนดไว้

รายการอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. หญ้าแห้ง. ครั้งที่พิมพ์ 1. กองปศุสัตว์สัมพันธ์ กรมปศุสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 28 หน้า.

กรมปศุสัตว์. 2547. มาตรฐานพืชอาหารหมักของ กองอาหารสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. โรงพิมพ์ คลังนานาวิทยา, ปรับปรุงครั้งที่ 2. ขอนแก่น. 23 หน้า.

กฤติกา ศรีสมาน, จรรยา คงฤทธิ์, ณหทัย วิจิตโรทัย, อำไพ พรหมณเรศ และอัจฉรา ลักขณานุกูล. 2565. ผลของระดับการเสริมน้ำพืชหมักต่อคุณภาพการหมักและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Suwan Sweet Extra หมัก. สัตวแพทย์มหานครสาร. 17(2): 285-291.

เกษม สุขสถาน. 2515. อ้อย. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 26-42.

จินดา สนิทวงศ์, สุทิน ภู่ขวัญเมือง, วัชรินทร์ บุญภักดี, ประเทศ ปุ้ยพันธวงศ์, อุดร เสนากัสป์ และชาญชัย มณีดุลย์. 2528. การใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารเสริมสำหรับเลี้ยงโคในฤดูแล้ง รายงาน ผลงานวิจัยสาขาผลิตปศุสัตว์, 213-233.

จารุณี หนูละออง, อับดุลรอฮิม เปาะอีแต และนุรซียานา มะสาอะ. 2561. คุณภาพองค์ประกอบทางเคมีปริมาณการกินได้และค่าการย่อยได้ของหญ้าอะตราตั้มในแพะ. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร, 35(2): 662-671

จุฑามาศ สิทธิวงศ์, ทาชิโร นิชิดะ, วรรณา อ่างทอง และโอซูกะ มาโกโตะ. 2553. คุณค่าทางโภชนะของหญ้า Mulato II แห้ง และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ในโคพื้นเมืองไทย. RAJABHAT AGRIC, 9 (2): 21-33

เฉลา พิทักษ์สินสุข, จริยา บุญจรัชชะ และ จีรพัฒน์ วงศ์พิพัฒน์. 2553. การรวบรวมและจัดทำข้อมูลด้านคุณค่าทาง โภชนะของพืชอาหารสัตว์. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2553. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. 77 หน้า

ชื่นจิต แก้วกัญญา, วัชรวิทย์ มีหนองใหญ่, ดวงใจ วะดวงชัย และ วิไลภรณ์ พุทธไธสง. 2556. การใช้ถั่วแลบแลบเป็นแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดี ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตแกะ. KHON KAEN AGR, 41, 370-375.

ณัฐพงษ์ หม้อทอง, วิโรจน์ ภัทรจินดา และ ศิวัช สังข์ศรีทวงษ์. 2555. ผลของอ้อยอาหารสัตว์หมักที่มีอายุการตัดต่างกันเพื่อทดแทน ข้าวโพดหมักต่อการให้ผลผลิตของโคนม. วารสารแก่นเกษตร ฉบับพิเศษ. 40(2): 133-136

ณัฐฐา รัตนโกศล. 2552. การหมักใบทางปาล์มน้ำมันร่วมกับกากน้ำตาล เป็นอาหารหยาบสำหรับแพะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาสัตวศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 140 หน้า.

ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ และ วรียุทธ อยู่บุญ. 2016. ฝอยกลางผลของการหมักต้นข้าวโพดสดโดยใช้สารเสริมชนิดต่างๆ ต่อ องค์ประกอบทางเคมี และการย่อยได้โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน. วารสารแก่นเกษตร, 2: 107-116.

นพพร คล้ายพงษ์พันธ์, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ และ สนธิชัย จันทร์เปรม. 2547. พืชไร่นา. พืชเศรษฐกิจ. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2 : 633

นิราวรรณ กุนัน. 2560. อาหารและการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ทิพาพร ชาญปรีชา, พรพรรณ แสนภูมิ, จันทร์จิรา สิทธิยะ และสุภาวดี ฉิมทอง. 2559. ผลของชนิดหญ้าต่อคุณภาพน้ำหมัก. วารสารแก่นเกษตร, 44(1) : 19-24.

ธาตรี จีราพันธุ์. 2561. การเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยหมัก ฟางหมัก หญ้าสด ต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโคเนื้อลูกผสม (บราห์มันxพื้นเมือง) ในฤดูแล้ง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 36(2) : 117-125.

ปณัท สุขสร้อย, ปวีณอิศรัชต์ เคนจันทน์, ฉัตรชัย เสนขวัญแก้. (2559). ศักยภาพการใช้ชานอ้อยเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 34(2), 133-140.

ปรัชญา ปรัชญาลักษณ์, ประเทศ ปุ้ยพันธวงศ์ และ จันทนา บุญศิริ. 2541. การใช้ใบสับปะรดเป็นอาหารสำหรับโคขุน. รายงานผลงานวิจัยประจำปีกองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.

ปิยนุช เนียนทรัพย์, แสงทอง พงษ์เจริญกิต และ ปราโมช ศีตะโกเศศ. 2555. การศึกษาแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหารโค. คณะวิทยาศาสตร์และคณะกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

พรพรรณ แสนภูมิ, ทิพาพร ชาญปรีชา, อนันท์ เชาว์เครือ, เสมอใจ บุรีนอก และ สุภาวดี ฉิมทอง. 2564. การใช้เปลือกตาลหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและการย่อยได้โภชนะในแพะลูกผสม. วารสารแก่นเกษตร, 49(2) : 481-490.

ยุพา สีสาวแห, พรพรรณ แสนภูมิ, อนันท์ เชาว์เครือ, สุภาวดี ฉิมทอง, เสมอใจ บุรีนอก และศักดา ประจักษ์ บุญเจษฎา. 2017. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ การย่อยได้โภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโตในแพะลูกผสม. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4 (5) : 144-156.

วารุณี. 2541. การปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมักในเขตร้อน. http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/19885/5/anim0250ur_ch2.pdf. 1 ธันวาคม 2021.

สไบพร สุรินทร และ พิชาด เขจรศาสตร์. 2558. ผลของการใช้ใบอ้อยและฟางข้าวในอาหารผสมสำเร็จหมัก (FTMR) ต่อการกินได้ การย่อยได้ และจุลินทรีย์ในรูเมนของแกะ. วารสารแก่นเกษตรฉบับพิเศษ, (1) : 7.

สายัณย์ ทัดศรี .2546. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตร กรุงเทพมหานครฯ 534 หน้า

สำนักงานพัฒนาสัตว์. 2556. การใช้อ้อยเป็นแหล่งอาหารหยาบ. สำนักงานพัฒนาอาหารสัตว์ ปทุมธานี.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี. 2563. ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดเพชรบุรี (ธันวาคม 2563). https://www.opsmoac.go.th/phetchaburi-dwl-files-422991791910, 11 กรกฎาคม 2564.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม. ม.ม.ป. การใช้ประโยชน์จากอ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อย. กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง. 23 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย. 2563. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/63. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 78 หน้า

สันติ หมัดหมัน, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, วันวิศาข์ งามผ่องใส และ เสาวนิต คูประเสริฐ. 2555. ผลของการหมักทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ต่อปริมาณการกินได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในโคพื้นเมือง. วารสารแก่นเกษตร 40 : 79-92.

สิงห์รัญ ชารี, สมโภชน์ สุดาจันทร์ และ นิรัติศักดิ คงทน. 2555. ผลของความชื้นใบอ้อยและความเร็วเชิงเส้นปลายใบมีดที่มีต่อสมรรถนะของชุดสับใบอ้อย, 291-297. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.

เสมอใจ บุรีนอก. 2553. ผลของแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีในน้ำพืชหมักต่อคุณภาพหญ้าหมักปริมาณการ กินได้ กระบวนการหมัก และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของโค. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร. 18: 807-811.

เสมอใจ บุรีนอก. 2554. การใช้แบคทีเรียกรดแลคติคในน้ำพืชหมักเป็นสารเสริมชนิดใหม่ในพืชหมักเขตร้อน. แก่นเกษตร 39: 85–98.

อานุภาพ เส็งสาย. 2552. การถนอมพืชอาหารสัตว์. การจัดการความรู้กรมปศุสัตว์ : http://km.dld.go.th/th/index.php/th/research-system/knowledge-office/82-present-km/present-general/108-2009-12-16-12-33-43. ,10 กรกฎาคม 2564.

Ammar A. A., Berhe A. A. and Ghezzehei T. A. 2013. A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. Carbohydrate Polymers. 97: 253–261 pp.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 1 4th Ed. Association of Official Analysis Chemists. Washington D.C.

Bureenok S., Namihira T., Tamaki M., Mizumachi S., Kawamoto Y. and Nakada T. (2005). Fermentative quality of Guineagrass silage by using fermented juice of the epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) as a silage additive. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 18: 807-811.

George samuels. 1967. Influence of Using Various Sugarcane Leaves and Parts of the Sugarcane Leaf on Chemical Composition. 51 (1): 7.

Kozaki M., Uchimura T. and Okada S. 1992. Experimental Manual of Lactic acid bacteria. Asakurashoten Tokyo, Japan . 6-16 pp.

Li M., X. Zi., H. Zhoua.,G. Houa., Y. Cai. 2014. Effects of sucrose, glucose, molasses and cellulase on fermentation quality and in vitro gas production of king grass silage. Animal Feed Science and Technology. 206-212.

McDonald P., Henderson A.R. and Heron S.J.E. 1991. The Biochemistry of silage. 2 nd Ed. Chalombe Publications. Marlow, England.

McDonald P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. 2010. Animal Nutrition. Pearson Publication, London, UK

Ohshima M., Kimura E. and Yokota H. (1997). A method of making good silage from direct cut alfalfa by spraying previously fermented juice. Anim. Feed Sci. Technol. 66: 129-137.

Ohmomo, S., O. Tanaka, H.K. Kitamoto and Y. Cai. 2002. Silage and microbial performance, old story but new problems. Jpn. Agric. Res. Q. 36: 59-71.

Orskov E.R. and McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. (Camb) 92: 499-504.

Saenphoom, P., S. Chimtong, A. Chaokaur, D. Kutdaeng, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2016. Nutritive value, digestibility and gas production of fermented sugar palm peel with pineapple peel. Silpakorn U Science & Tech J. 10: 32-37

Weinberg, Z.G., G. Ashbell, A. Azrieli and I. Brukental. 1993. Ensiling peas, ryegrass and wheat with additives of lactic acid bacteria and cell wall degrading enzymes. Grass Forage Sci. 48: 70-78.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กานต์ธิดา โถนารัตน์ เกิดวันที่ 5 ตุลาคม 2540 เบอร์ติดต่อ 0802918466 ที่อยู่ 24 หมู่ที่ 7 ตำบลทุ่งคลอง อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2564 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผลงานตีพิมพ์	กานต์ธิดา โถนารัตน์, พรพรรณ แสนภูมิ, อนันท์ เชาว์เครือ, สุภาวดี ฉิมทอง และ Yoshiaki Hayashi. 2566. การศึกษาคุณภาพน้ำพืชหมักจากใบอ้อย. วารสารแก่นเกษตร ฉบับเพิ่มเติม. 51(1): 7-13.