

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ฒ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดฝักอ่อน	3
2.2 พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อน	4
2.3 มูลค่าการส่งออกต้นข้าวโพดฝักอ่อน	6
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดฝักอ่อน	7
2.5 การใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนสำหรับโครีดนม	10
2.6 พืชหมัก	15
2.6.1 จุลินทรีย์วิวัฒนาการของพืชอาหารหมัก	15
2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของขบวนการหมัก	16
2.6.3 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก	18
2.6.3.1 การสูญเสียขณะเก็บเกี่ยว	18
2.6.3.2 การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ	19
2.6.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการหมัก	19
2.6.3.4 การสูญเสียในส่วนของของเหลวที่รั่วไหลออก	19
2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพพืชหมัก	20
2.6.4.1 ปริมาณออกซิเจน	20
2.6.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.4.3 ความชื้น	21
2.6.4.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้	22
2.6.4.5 อุณหภูมิ	23
2.6.4.6 Buffering capacity (BC)	23
2.6.4.7 ชนิดพืช	24
2.6.4.8 อายุการเจริญเติบโตของพืช	24
2.6.4.9 ความยาวของท่อนพืช	24
2.6.4.10 สารช่วยหมัก	25
2.6.5 ประโยชน์ของการทำพืชหมัก	26
2.6.6 การปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมักในเขตร้อน	28
2.7 การย่อยอาหารในโคนม	33
2.7.1 จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	33
2.7.1.1 แบคทีเรีย	34
2.7.1.2 โปรโตซัว	35
2.7.1.3 เชื้อรา	35
2.7.2 การย่อยอาหารในกระเพาะหมัก	38
2.7.2.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก	40
2.7.2.2 การย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก	46
2.7.2.3 ความแตกต่างระหว่างการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต	52
2.7.3 ประโยชน์จากการทราบตำแหน่งการย่อยของอาหาร	52
2.8 การศึกษาการย่อยได้ในโค	53
2.8.1 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์ โดยวิธีการแบบดั้งเดิม	53
2.8.2 การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้	54
2.8.2.1 คุณสมบัติของสารบ่งชี้	54
2.8.2.2 ประเภทของสารบ่งชี้	55
2.9 การเปิดทางเดินอาหารโคทดลองสำหรับใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	59
การทดลองที่ 1 การประเมินคุณภาพของต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมัก	59
1.1 พืชที่ใช้ในการหมัก	59
1.2 วิธีการหมัก	59
1.3 การสุ่มและการวิเคราะห์ตัวอย่าง	59
1.3.1 การประเมินคุณภาพพืชหมักในสภาพสด	59
1.3.2 การประเมินคุณภาพพืชหมักในสภาพไร้อากาศ	60
การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์	60
2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลอง	60
2.2 การหาค่าการย่อยได้วิธีดั้งเดิมของสัตว์ทดลองเมื่อได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	61
2.3 การหาค่าการย่อยได้โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้	62
2.3.1 วิธีการทดลอง	62
2.3.2 การศึกษาสภาพภายในกระเพาะหมัก	63
2.3.2 การศึกษาสภาพภายในกระเพาะหมัก	63
2.3.2.1 วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง	63
2.3.2.2 วิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียในโตรเจนที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะหมัก	63
2.3.2.3 วิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้	64
2.3.3 สัตว์ทดลอง	64
2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ	64
การทดลองที่ 3 ศึกษาหาผลผลิตน้ำนมและวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	64
3.1 สัตว์ทดลอง	64
3.2 วิธีการทดลอง	65
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	65
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ	65
3.5 สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล	66
3.6 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	66

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	67
4.1 การประเมินคุณภาพของต้นข้าว โปดฝักอ่อนหมัก	67
4.1.1 การสูญเสียวัตถุแห้ง ลักษณะทางกายภาพ ความเป็นกรด-ด่างและการผลิตกรดอินทรีย์ ของต้นข้าว โปดฝักอ่อนหมักและต้นข้าว โปดฝักอ่อนหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%	67
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการศึกษาการย่อยได้ของ โภชนะในตัวสัตว์	69
4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	69
4.2.2 ค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีดั้งเดิมของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	71
4.2.2.1 โภชนะรวมย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้และพลังงานสุทธิเพื่อการ ให้นมของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	73
4.2.3 การย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ของโคทดลองเมื่อได้รับอาหาร ทดลองทั้ง 4 treatments	74
4.2.3.1 ปริมาณวัตถุแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ ของทางเดินอาหาร	75
4.2.3.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ ของทางเดินอาหาร	76
4.2.3.3 ปริมาณโปรตีนรวมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร	78
4.2.4 สภาพภายในกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	79
4.2.4.1 ค่าความเป็นกรด - ด่างในกระเพาะหมักของโคทดลอง	79
4.2.4.2 ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักของโคทดลอง	81
4.2.4.3 กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมักของโคทดลอง	82
4.3 ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	84
4.3.1 ปริมาณอาหารที่กินและปริมาณน้ำนมที่รีดได้	84
4.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	85
4.3.3 ต้นทุนค่าอาหารและผลตอบแทน	85
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	87
5.1 การสูญเสียวัตถุแห้ง ลักษณะทางกายภาพ ความเป็นกรด-ด่างและการผลิตกรดอินทรีย์ของ ต้นข้าว โปดฝักอ่อนหมักและต้นข้าว โปดฝักอ่อนหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%	87
5.2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	89

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 การย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีดั้งเดิมของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	89
5.3.1 โภชนะรวมย่อยได้พลังงานใช้ประโยชน์ได้และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	90
5.4 การย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ของโคทดลองเมื่อได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	91
5.4.1 ปริมาณวัตถุแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร	92
5.4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร	93
5.4.3 ปริมาณโปรตีนรวมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร	94
5.5 สภาพภายในกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	95
5.5.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักของโคทดลอง	95
5.5.2 ปริมาณของแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมัก	95
5.5.3 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก	96
5.6 การศึกษาหาผลผลิตน้ำนมและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	97
5.6.1 ปริมาณอาหารที่กินและปริมาณน้ำนมที่รีดได้	97
5.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	98
5.6.3 ต้นทุนค่าอาหารและผลตอบแทน	98
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	100
6.1 สรุปผลการทดลอง	100
6.2 ข้อเสนอแนะ	103
เอกสารอ้างอิง	104
ภาคผนวก ก ภาพแสดงการทดลองและการวิจัย	114
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ	117
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	129
ประวัติผู้เขียน	151

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทั่วประเทศปี 2544 - 2549	5
2. พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนของภาคเหนือในปี 2546	6
3. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือนของข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุภาชนะอัดลม	7
4. องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดฝักอ่อนโดยทั่วไป (ร้อยละของวัตถุแห้ง)	9
5. ผลผลิตน้ำนมและและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหญ้าขนเปรียบเทียบกับต้นข้าวโพดฝักอ่อน	11
6. แสดงส่วนประกอบทางเคมีเฉลี่ยของต้นและเศษเหลือของข้าวโพดฝักอ่อนหมักสูตรต่างๆ	12
7. ค่าพลังงาน และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนหมักสูตรต่างๆ	12
8. แสดงปริมาณน้ำนม ปริมาณอาหารที่กินได้ และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมจากแม่โคที่เลี้ยงด้วยอาหารหยาบต่างกัน	13
9. แสดงผลตอบแทนจากการใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อน และต้นข้าวโพดฝักอ่อนร่วมกับหญ้ามอริซัส (1:1 น้ำหนักสด) เลี้ยงแม่โครีดนม	14
10. ชนิดของแบคทีเรียที่ผลิต Lactic acid ที่พบตามผิวของพืชอาหารสด	16
11. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช	17
12. อิทธิพลของการอัดแน่นของหญ้าต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	20
13. แสดงผลของการทำให้พืชเหี่ยวต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	22
14. แสดงอิทธิพลการอัดแน่นของหญ้าหมักต่อคุณภาพหญ้าหมัก	22
15. แสดงผลการสับชิ้นพืชต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	25
16. องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของหญ้าขนที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ	29
17. ผลของพันธุ์หญ้า การเสริมกากน้ำตาลและอายุของพืชต่อองค์ประกอบทางเคมี และจำนวน lactic acid bacteria ในหญ้าที่หมักแล้ว 100 วัน	30
18. คุณภาพของหญ้าแฝกที่อายุตัด 30 วันที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ	31
19. สัดส่วนของอาหารขึ้นต่ออาหารหยาบต่อการเกิดกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก	41
20. แสดงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้ง 3 ตัว	42
21. แสดงผลผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ในโคและแกะที่ได้รับอาหารต่างชนิดกัน	43
22. แสดงอิทธิพลของ pH ที่มีต่ออัตราการดูดซึมของ VFA ในกระเพาะรูเมน	43

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
23. ปริมาณความต้องการอาหารพลังงานของโคนมที่น้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม	46
24. ปริมาณความต้องการอาหารโปรตีนใช้ประโยชน์ได้สำหรับโคนมน้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม	51
25. ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กของการทดลองหาค่าการย่อยได้โดยวิธีใช้สารบ่งชี้	63
26. การสูญเสียวัตถุแห้ง ลักษณะทางกายภาพ ความเป็นกรดต่าง และการผลิตกรดอินทรีย์ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมักและต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%	68
27. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	69
28. สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโภชนะของอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	72
29. โภชนะรวมย่อยได้ ค่าพลังงานรวม พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	73
30. สัมประสิทธิ์การย่อยได้ในลำไส้เล็กของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	75
31. ปริมาณวัตถุแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ ของทางเดินอาหารในโคทดลองเมื่อได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	76
32. ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ ของทางเดินอาหารในโคทดลองเมื่อได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	77
33. ปริมาณโปรตีนรวมที่ตำแหน่งต่างๆ ของทางเดินอาหารในโคทดลองเมื่อได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	79
34. ค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) ในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	80
35. ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	81
36. กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	83
37. ปริมาณอาหารที่กินได้ ปริมาณน้ำนมที่รีดได้ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	84
38. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	85
39. ต้นทุนค่าอาหาร และกำไรจากการจำหน่ายน้ำนมดิบของโคทดลอง	86

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1. ต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	8
2. แสดงการกระจายตัวของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน	34
3. แสดงวงจรชีวิตของเชื้อรา	35
4. แสดงเชื้อราเข้าไปย่อยโครงสร้างของเยื่อใย	36
5. แสดงลักษณะ Villi ที่คล้ายนิ้วมือ	37
6. แผนภาพแสดงทางเดินอาหารของโคนม	38
7. แสดงท่อทางเดินอาหารส่วนกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง	39
8. แสดงองค์ประกอบของกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง	39
9. ขบวนการการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีนและพลังงานในโค	40
10. แสดงขบวนการเมตะโบลิซึมโปรตีนแท้และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในกระเพาะรูเมน	48
11. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	80
12. ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (NH <sub>3</sub> - N) ในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	82
13. กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ในกระเพาะหมักของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 treatments	83



สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก	หน้า
1. โคททดลองที่เปิดทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก	115
2. โคททดลองที่ใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็ก	115
3. สภาพของโคททดลองภายในคอกทดลอง	115
4. ต้นข้าวโพดฝักอ่อนสดที่นำมาสับก่อนให้โคกิน	115
5. ถังหมักต้นข้าวโพดฝักอ่อน	116
6. การวัดแอมโมเนียในโตรเจน ด้วยวิธี Conway method	116
7. การกลั่นหากรดอินทรีย์ในต้นข้าวโพดหมัก	116
8. การหากรดไขมันระเหยได้ด้วยเครื่อง GC	116

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

ADF	=	Acid detergent fiber
ADFD	=	Acid detergent fiber digestibility
ADL	=	Acid detergent lignin
ADP	=	Adenosine diphosphate
ATP	=	Adenosine triphosphate
C <sub>2</sub>	=	Acetic acid
C <sub>3</sub>	=	Propionic acid
C <sub>4</sub>	=	Butyric acid
CF	=	Crude fiber
CH <sub>4</sub>	=	Methane
CP	=	Crude protein
CPD	=	Crude protein digestibility
CRD	=	Completely randomized design
C.V.	=	Coefficient of variation
DE	=	Digestible energy
df	=	Degree of freedom
DM	=	Dry matter
DMD	=	Dry matter digestibility
DMI	=	Dry matter intake
EE	=	Ether extract
EED	=	Ether extract digestibility
GE	=	Gross energy
g/kg DM	=	Gram per kilogram dry matter
LSD	=	Latin square design
MJ/kg DM	=	Megajoule per kilogram dry matter
ME	=	Metabolizable energy
MS	=	Mean square

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

N	=	Nitrogen
NA	=	Not available
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDFD	=	Neutral detergent fiber digestibility
NDS	=	Neutral detergent soluble
NE	=	Net energy
NE <sub>L</sub>	=	Net energy for lactation
NFC	=	Non fiber carbohydrate
NFCD	=	Non fiber carbohydrate digestibility
NFE	=	Nitrogen free extract
NH <sub>3</sub> - N	=	Ammonia nitrogen
OM	=	Organic matter
OMD	=	Organic matter digestibility
TDN	=	Total digestible nutrient
VFA	=	Volatile fatty acid
WSC	=	Water soluble carbohydrate