

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาคผนวก	ณ
สารบัญภาพ	ถ
อักษรย่อ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
1. หน้าที่	4
2. พืชหมัก	5
2.1 กระบวนการหมัก	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมัก	7
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของพืชหมัก	10
2.3.1. ปริมาณออกซิเจน	10
2.3.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น	11
2.3.3. ความชื้น	11
2.3.4. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้	12
2.3.5. อุณหภูมิ	13
2.3.6. Buffering Capacity (BC)	14
2.4 ปัญหาการทำหน้าหมักในเขตร้อน	14
2.5 การปรับปรุงหน้าหมักในเขตร้อนให้มีคุณภาพที่ดี	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ผลของสารเสริมต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก	18
2.7 ผลของสารเสริมต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	20
2.8 ผลของสารเสริมต่อการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าหมัก	21
3. การประเมินค่าพลังงานในอาหาร	24
3.1 วัดค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (<i>in vivo</i> digestibility)	24
3.2 วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (<i>in vitro</i> gas production)	24
4. ผลของพลังงาน และโปรตีนในอาหารต่อโคนม	26
4.1 กระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต	26
4.2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีน	27
4.3 ผลผลิตจากการหมักย่อยต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม	27
4.4 ผลของอาหารต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม	32
4.4.1 ระดับโปรตีนในอาหาร	32
4.4.2 ระดับและประเภทของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร	33
4.4.3 อัตราส่วนอาหารชั้นต่ออาหารหยาบ	35
4.4.4 ผลของพลังงานและโปรตีน	36
5. ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำ	37
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	41
การทดลองที่ 1 การผลิตหญ้าหมักในถุง 20 กิโลกรัมโดยใช้สารช่วยหมัก	
ชนิดต่าง ๆ	41
1.1 ฟืชที่ใช้ในการหมัก	41
1.2 การวางแผนการทดลอง	41
1.3 วิธีการหมัก	41
1.4 การสุ่ม และการวิเคราะห์ตัวอย่าง	42
1.5 วิเคราะห์ผลทางสถิติ	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การทดลองที่ 2 การผลิตหนักรูซี่หมักในหลุมหมักโดยใช้สารช่วยหมัก	43
2.1 พีชที่ใช้ในการหมัก	43
2.2 การวางแผนการทดลอง	43
2.3 วิธีการหมัก	43
2.4 การสุ่ม และการวิเคราะห์ตัวอย่าง	43
2.5 วิเคราะห์ผลทางสถิติ	43
การทดลองที่ 3 การหาการย่อยได้ และพลังงานของหนักรูซี่หมักโดยวิธี <i>in vivo</i> และ <i>in vitro</i> gas production	44
การทดลองที่ 3.1 การคำนวณค่าพลังงานจากการย่อยได้ในตัวสัตว์	44
3.1.1 อาหารทดลอง	44
3.1.2 สัตว์ทดลอง	44
3.1.3 วิธีทดลอง	44
3.1.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	45
การทดลองที่ 3.2 การคำนวณค่าพลังงานโดยวิธี <i>in vitro</i> gas production technique	46
การทดลองที่ 4 การตอบสนองของโคนมลูกผสมขาว-ดำต่อระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารผสมครบส่วนที่มีหนักรูซี่หมักเป็นอาหารหลัก	47
4.1 สัตว์ทดลอง	47
4.2 คอกทดลอง	47
4.3 อาหารทดลอง	47
4.4 แผนการทดลอง	49
4.5 วิธีการศึกษา	50
4.6 การวิเคราะห์ทางเคมี	50
4.7 วิเคราะห์ผลทางสถิติ	51
● สถานที่ทำวิจัย	51
● ระยะเวลาในการทดลอง	51

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	54
การทดลองที่ 1 การผลิตหญ้าที่หมักในถุง 20 กิโลกรัมโดยใช้สารช่วยหมักชนิดต่าง ๆ	54
1.1 ผลของสารช่วยหมักต่อการปรับตัวแห้ง การสูญเสียวัตถุแห้งของหญ้าหมัก	54
1.2 ผลของสารช่วยหมักต่อการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยได้ของหญ้าหมัก	55
1.3 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าที่หมัก	59
1.4 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาณแก๊ส การย่อยได้ และพลังงาน	60
การทดลองที่ 2 การผลิตหญ้าที่หมักในหลุมหมักโดยใช้สารช่วยหมัก	63
2.1 ผลของสารช่วยหมักต่อการผลิตกรดอินทรีย์ในหญ้าหมัก	63
2.2 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าที่หมัก	64
2.3 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาตรแก๊ส การย่อยได้ และค่าพลังงาน	64
การทดลองที่ 3 การหาการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าที่หมักกับกากน้ำตาล 5 % โดยวิธี <i>in vivo</i> และ <i>in vitro</i> gas production	66
การทดลองที่ 3.1 ศึกษาแบบ <i>in vivo</i> digestibility ในโคนมแห้ง	66
3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%	66
3.1.2 ปริมาณการกินได้ของหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ในโคนมแห้ง	67
3.1.3 การย่อยได้ของหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 %	68
3.1.4 การประเมินค่าพลังงาน TDN, DE, ME และ NEL ของหญ้าที่หมักโดยวิธี <i>in vivo</i> digestibility	69
การทดลองที่ 3.2 การประเมินการย่อยได้ ค่าพลังงาน ME และ NEL ของหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 % โดยวิธี <i>in vitro</i> gas production	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การทดลองที่ 4 ความต้องการพลังงาน และโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำ ที่ใช้หญ้าซีหมักเป็นแหล่งอาหารหลัก	72
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าซีหมักและอาหารผสมครบส่วน	72
4.2 ปริมาณการกินอาหาร และโภชนะที่ได้รับ	73
4.3 ผลของระดับพลังงาน และโปรตีนต่อปริมาณ และองค์ประกอบ ของน้ำนม	75
4.3.1 ผลของพลังงาน	75
4.3.2 ผลของโปรตีน	76
4.4 ผลของการได้รับพลังงาน และโปรตีนร่วมกันต่อปริมาณและองค์ ประกอบทางเคมีของนม	76
4.5 ต้นทุน และกำไรในการผลิตอาหารทั้ง 4 สูตร	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	79
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	91
ประวัติผู้เขียน	138

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมี(ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของหญ้าที่อายุต่างกัน	6
2.2	การย่อยได้ของหญ้าที่ หญ้าแพงโกล่า และหญ้าสตาร์ (%)	6
2.3	การสูญเสียวัตถุแห้งและพลังงานในกระบวนการหมักพืช	8
2.4	อิทธิพลของการอัดแน่นของหญ้าต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	10
2.5	องค์ประกอบทางเคมี (g/kg DM) และ pH ของหญ้าหมักที่เสริมสารต่าง ๆ	13
2.6	องค์ประกอบทางเคมีของหญ้า 3 ชนิดที่อายุ 4, 8 และ 12 สัปดาห์	15
2.7	ผลของพันธุ์หญ้า การเสริมกากน้ำตาล และอายุของพืชต่อองค์ประกอบทางเคมี และประชากรของ lactic acid bacteria ในหญ้าที่หมักแล้ว 100 วัน	16
2.8	องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของหญ้าหมักที่เสริมสารช่วยหมัก	18
2.9	คุณภาพของหญ้าแก่ที่อายุการตัด 30 วันโดยหมักร่วมกับสารช่วยหมักตามสูตรต่าง ๆ	18
2.10	ผลของสารเสริมต่าง ๆ ต่อบริการประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก	19
2.11	ผลของสารเสริมต่าง ๆ ต่อคุณภาพของหญ้าหมัก	20
2.12	ผลของสารเสริมต่อการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าหมัก	23
2.13	การประเมินพลังงาน ME และ NE โดยวิธีต่าง ๆ	25
2.14	การให้ผลผลิตจากการหมักย่อยในรูเมนที่มีผลปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม	31
2.15	ผลการเสริมโปรตีนต่อการให้ผลผลิตของโค Holstein-Friesian ที่ได้รับหญ้าหมักเป็นอาหารหยาดฐาน	31
2.16	ผลของระดับเยื่อใยต่อ VFA และผลผลิตนม	34
2.17	ผลของระดับอาหารขึ้นต่อสมรรถภาพการผลิตของโค องค์ประกอบของน้ำนม การย่อยได้ของโภชนะในอาหาร และสารในเลือด	34
2.18	อัตราส่วนของอาหารขึ้นต่ออาหารหยาดที่มีต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้	36
2.19	ผลของอัตราส่วนระหว่างอาหารขึ้นต่ออาหารหยาดที่มีต่อปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนม	36

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.12 พลังงานที่คำนวณได้จาก TDN และ DE	69
4.13 สมดุลของไนโตรเจนและโปรตีนของโคนมแห่งที่ได้รับหญ้าซึ่งหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% เป็นอาหารเดี่ยว	71
4.14 การย่อยได้ และพลังงานที่คำนวณจาก gas production	71
4.15 ค่าเฉลี่ยของค่าพลังงาน ME และ NEL ทั้ง 3 วิธี	72
4.16 ปริมาณกรดอินทรีย์ แอมโมเนียไนโตรเจน และคะแนนคุณภาพของหญ้าซึ่งหมักร่วมกับกากน้ำตาลในหลุมหมักขนาดใหญ่	72
4.17 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมครบส่วนที่มีพลังงานและโปรตีนระดับต่างกัน	73
4.18 ปริมาณพลังงาน โปรตีน และวัตถุแห้งที่โคได้กินในแต่ละวัน	74
4.19 ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่าง ๆ	74
4.20 ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากโคที่ได้รับพลังงาน และโปรตีนในระดับต่าง ๆ	77
4.21 ต้นทุนและกำไรจากผลผลิตน้ำนมเมื่อโคได้รับพลังงานและโปรตีนระดับต่างกัน	78

สารบัญภาคผนวก

ภาผนวก		หน้า
1.	การประเมินคุณภาพของพืชหมักโดยใช้ประสาทสัมผัส	92
2.	วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ (organic acid) โดยวิธีการกลั่น	92
3.	วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียและแอมโมเนียไนโตรเจน	95
4.	วิธีวัดปริมาณแก๊ส (in vitro gas production technique)	95
5.	วิธีวิเคราะห์หาปริมาณยูเรียในนม	98
6.	ตัวอย่างสูตรอาหารทดลองที่มีระดับ TDN & CP ต่างกัน	100
ตารางผนวก		
1.	ปริมาณกรดสุทธิที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของอาหารมาตรฐาน และพืชหมักกลุ่มต่าง ๆ (การทดลองที่ 1)	116
2.	ปริมาณกรดสุทธิที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของอาหารมาตรฐาน และพืชหมักกลุ่มต่าง ๆ (การทดลองที่ 2)	117
3.	ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้าที่หมัก	118
4.	ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของหญ้าที่หมัก	118
5.	ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของหญ้าที่หมัก	119
6.	ค่าการย่อยได้ของไขมันของหญ้าที่หมัก	119
7.	ค่าการย่อยได้ของ NDF ของหญ้าที่หมัก	120
8.	ค่าการย่อยได้ของ ADF ของหญ้าที่หมัก	120
9.	ค่าการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) ของหญ้าที่หมัก	121
10.	ค่าโภชนะย่อยได้รวม (TDN) ในหญ้าที่หมัก	121
11.	ค่าพลังงานย่อยได้ (DE) ของหญ้าที่หมัก	122
12.	ค่าสมมูลไนโตรเจนของโคที่ได้รับหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว	122
13.	ANOVA : ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 1)	123
14.	ANOVA : ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 1)	123
15.	ANOVA : ค่าเปอร์เซ็นต์กรดอินทรีย์และคะแนนคุณภาพของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 1)	123
16.	ANOVA : ค่าเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียและแอมโมเนียไนโตรเจนของหญ้าหมัก	124

สารบัญตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
17. ANOVA : ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และพลังงาน ME และ NEL ของ หญ้าหมัก (การทดลองที่ 1)	124
18. ANOVA : ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 2)	124
19. ANOVA : ค่าเปอร์เซ็นต์กรดอินทรีย์และคะแนนคุณภาพของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 2)	125
20. ANOVA : ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และพลังงาน ME และ NEL ของหญ้าหมัก (การทดลองที่ 2)	125
21. ANOVA : ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/วัน) ในการทดลองที่ 4	126
22. ANOVA : ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (%BW) ในการทดลองที่ 4	126
23. ANOVA : อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม ในการทดลองที่ 4	127
24. ANOVA : ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	127
25. ANOVA : ปริมาณน้ำนม 4% FCM (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	128
26. ANOVA : ความเข้มข้นของไขมันนม (%) ในการทดลองที่ 4	128
27. ANOVA : ความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนม (%) ในการทดลองที่ 4	129
28. ANOVA : ความเข้มข้นของแลคโตสในน้ำนม (%) ในการทดลองที่ 4	129
29. ANOVA : ความเข้มข้นของของแข็งรวมในน้ำนม (%) ในการทดลองที่ 4	130
30. ANOVA : ปริมาณไขมันนม (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	130
31. ANOVA : ปริมาณโปรตีนในนม (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	131
32. ANOVA : ปริมาณแลคโตสในนม (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	131
33. ANOVA : ปริมาณของแข็งรวมในนม (กิโลกรัม/วัน) ในการทดลองที่ 4	132
34. ANOVA : ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วม โปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	132
35. ANOVA : ปริมาณน้ำนม 4% FCM (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลัง งานร่วมโปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	133
36. ANOVA : ความเข้มข้นของไขมันในน้ำนม (%) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงาน ร่วมกับโปรตีนต่าง ๆ	133

สารบัญตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
37. ANOVA : ความเข้มข้นของโปรตีนในนํ้านม (%) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมกับโปรตีนต่าง ๆ	134
38. ANOVA : ความเข้มข้นของแลคโตสในนํ้านม (%) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมกับโปรตีนต่าง ๆ	134
39. ANOVA : ความเข้มข้นของของแข็งรวมในนํ้านม (%) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมกับโปรตีนต่าง ๆ	135
40. ANOVA : ปริมาณไขมันนม (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมโปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	135
41. ANOVA : ปริมาณโปรตีนในนํ้านม (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมโปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	136
42. ANOVA : ปริมาณแลคโตสในนํ้านม (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมโปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	136
43. ANOVA : ปริมาณของแข็งรวมในนํ้านม (กิโลกรัม/วัน) ของแต่ละกลุ่มที่ได้รับพลังงานร่วมโปรตีนต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4	137

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 การสูญเสียพลังงานในระหว่างการหมัก	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักพืช	8
2.3 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช	10
2.4 การกระจายพลังงานในสัตว์ และพลังงานที่สูญเสียอยู่นอกวงเล็บ	26
2.5 Carbohydrate metabolism in dairy cows	32
2.6 Protein metabolism in dairy cows	33
2.7 การสังเคราะห์องค์ประกอบของนมจากผลผลิตจากการย่อยได้	34
2.8 ผลการเสริมโปรตีนต่อไดนามิคส์ในรูเมน	37
2.9 Effect of diet composition on ruminal VFA and milk production	41
3.1 การหากรดอินทรีย์โดยวิธีกลั่น	58
3.2 การฉีดพ่นด้วยสารละลายกากน้ำตาลลงในแปลงหญ้าที่	58
3.3 การหาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (<i>in vivo</i>)	59
3.4 การสุ่มตัวอย่างน้ำนม	59
3.5 เครื่อง Milkoscan 133 V 3.9 GB สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของนม	60
3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนม (Milk Urea Nitrogen, MUN)	60
4.1 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ	68
4.2 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ	73

อักษรย่อ

ADF	=	acid detergent fiber	h	=	hour
ADL	=	acid detergent lignin	HC	=	sweet corn husk and cob
A/P	=	acetate/propionate	kg	=	kilogram
A+B	=	acetate + butyrate	ME	=	metabolizable energy
BC	=	buffering capacity	ml	=	milliliter
BW	=	body weight	MY	=	milk yield
BW ^{0.75}	=	metabolic body weight	MUN	=	milk urea nitrogen
CF	=	crude fiber	NDF	=	neutral detergent fiber
CP	=	crude protein	NEL	=	net energy for lactation
DE	=	digestible energy	NFC	=	non fiber carbohydrate
DM	=	dry matter	NFE	=	nitrogen free extract
EE	=	ether extract	OM	=	organic matter
FCM	=	fat corrected milk	OMD	=	organic matter digestibility
FSC	=	fresh sugar cane	RB	=	Rice bran
FCR	=	feed conversion ratio	TDN	=	total digestible nutrient
g	=	gram	TVFA	=	total volatile fatty acid
GE	=	gross energy	WSC	=	water soluble carbohydrate