

โภชนศาสตร์สัตว์ชั้นสูง

ฉบับปรับปรุง



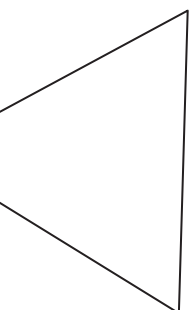
เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



โกชนศาสตร์สัตว์ชั้นสูง

ฉบับปรับปรุง



เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



คำนำ

หนังสือ “โภชนศาสตร์สัตว์ชั้นสูง” ฉบับนี้ถูกเรียบเรียงขึ้นประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโภชนศาสตร์สัตว์ องค์ประกอบของโภชนะคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน การสลายและสังเคราะห์โภชนะ ระบบการย่อยของสัตว์ ระบบการดูดซึมโภชนะ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้ของโภชนะ รวมทั้งการประเมินพลังงานและโปรตีน

ผู้เรียบเรียงได้พยายามรวบรวมเอกสารตำราวารสารทางวิชาการรวมถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโภชนศาสตร์สัตว์จากองค์ความรู้งานวิจัยของผู้เขียน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการจัดการด้านโภชนศาสตร์สัตว์ในอนาคตเพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเคมีของอาหารและกระบวนการที่เกิดขึ้นในการนำอาหารไปใช้ประโยชน์ในร่างกายสัตว์ รวมทั้งวิธีการประเมินคุณภาพอาหาร ความต้องการอาหารเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของสัตว์ อย่างไรก็ตามเอกสารฉบับนี้อาจมีข้อผิดพลาดหรือบกพร่องบางประการผู้เขียนยินดียอมรับข้อเสนอแนะและข้อท้วงติงทั้งหมดเพื่อให้เนื้อหาวิชาการของหนังสือเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และรองศาสตราจารย์ ดร. บุญเสริม ชีวะอิสระกุล ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านวิชาการในสาขาโภชนศาสตร์สัตว์ และให้ความเมตตาด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ผู้เขียนศึกษาระดับปริญญาโทที่ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รวมถึง Professor Dr. Karl Schellander ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านวิชาการในสาขาอนุพันธุศาสตร์และให้ความเมตตาด้วยดีมาตลอดในระหว่างที่ผู้เขียนได้ศึกษาที่ University of Bonn สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (Federal Republic of Germany) นอกจากนี้ใคร่ขอขอบคุณกำลังใจและแรงผลักดันจากครอบครัวที่เป็นกำลังสำคัญในการเขียนเอกสารฉบับนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ทั้งปริญญาเอกและปริญญาโทที่ช่วยตรวจทานแก้ไขต้นฉบับผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่านักศึกษาจะได้นำหนังสือเล่มนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนรู้ในวิชานี้ได้มากยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ

สารบัญ

คำนิยาม	I
คำนำ	II
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	XIII
สารบัญตาราง	XX

01	บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโภชนศาสตร์สัตว์	1
	1.1 ความหมายของโภชนศาสตร์	3
	1.2 ประโยชน์ของโภชนะ	3
	1.3 ประโยชน์ของการศึกษาโภชนศาสตร์	4
	1.3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร	4
	1.3.2 การลดต้นทุนการผลิต	5
	1.3.3 การใช้ประโยชน์ของวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรม	6
	1.3.4 การป้องกันการขาดโภชนะของสัตว์	7
	1.3.5 การจัดการอาหารสัตว์เพื่อสิ่งแวดล้อม	8
	1.4 ประวัติด้านโภชนศาสตร์สัตว์	14
	1.5 ความก้าวหน้าทางด้านโภชนศาสตร์สัตว์	14
	1.5.1 การใช้สารเสริมเพื่อเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้สัตว์	14
	1.5.2 การใช้สารเสริมชีวนะ	15
	1.5.3 การใช้ต้นเชื้อเพื่อถนอมคุณภาพอาหารสัตว์	19
	1.5.4 การผลิตพืชตัดแปลงพันธุกรรม	26
	1.5.5 การผลิตสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม	27
	1.5.6 การผลิตเอนไซม์ในอาหารสัตว์	29
	เอกสารอ้างอิง	32

สารบัญ

02	บทที่ 2 องค์ประกอบของโภชนะ	35
	2.1 การจำแนกประเภทของโภชนะ	36
	2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี	37
	2.2.1 อายุของพืชอาหารสัตว์	37
	2.2.2 ชนิดของวัตถุดิบ	40
	2.2.3 ส่วนประกอบของพืช	41
	2.2.4 ระยะหมักของพืชหมัก	41
	เอกสารอ้างอิง	45
03	บทที่ 3 คาร์โบไฮเดรต	47
	3.1 องค์ประกอบทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต	49
	3.2 การจำแนกประเภทของคาร์โบไฮเดรต	50
	3.2.1 คาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยว	51
	3.2.2 คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน	70
	เอกสารอ้างอิง	73

สารบัญ

04

บทที่ 4 โปสเตอร์

75

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกรดอะมิโน	77
4.2 การจำแนกประเภทของกรดอะมิโน	81
4.2.1 กรดอะมิโนชนิดไม่มีขั้ว	81
4.2.2 กรดอะมิโนชนิดมีขั้ว	81
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีน	84
4.4 โครงสร้างของโปรตีน	84
4.4.1 โครงสร้างระดับปฐมภูมิ	85
4.4.2 โครงสร้างระดับทุติยภูมิ	85
4.4.3 โครงสร้างระดับตติยภูมิ	88
4.4.4 โครงสร้างระดับจตุรภูมิ	88
4.5 การจำแนกประเภทของโปรตีน	89
4.5.1 โปรตีนเชิงเดี่ยว	89
4.5.2 โปรตีนเชิงซ้อน	97
4.6 หน้าที่ของโปรตีน	101
เอกสารอ้างอิง	103

สารบัญ

05

บทที่ 5 ไบโบน

105

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของไขมัน	107
5.2 การจำแนกประเภทไขมัน	108
5.2.1 ไขมันเชิงเดี่ยว	108
5.2.2 ไขมันเชิงซ้อน	109
5.2.3 อนุพันธ์ของไขมัน	114
5.2.4 ไขมันเบ็ตเตล็ด	115
5.3 องค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมัน	118
5.4 การจำแนกประเภทของกรดไขมัน	119
5.4.1 กรดไขมันอิ่มตัว	119
5.4.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว	120
5.5 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไขมัน	121
5.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน	121
5.5.2 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน	121
5.6 การจัดโครงสร้างของไขมันในน้ำ	125
5.6.1 แบบไมเซลล์	126
5.6.2 แบบแผ่นชั้นเดียว	126
5.6.3 แบบแผ่นสองชั้น	126
5.7 หน้าที่ของไขมันในร่างกายสัตว์	127
เอกสารอ้างอิง	129

สารบัญ

06	บทที่ 6 กระบวนการสร้างและสลายของโกลินะ	131
	6.1 กระบวนการสร้างและสลายของโกลินะ	133
	6.1.1 สารให้พลังงาน	134
	6.1.2 การเกิดอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต	136
	6.2 กระบวนการสร้างและสลายของคาร์โบไฮเดรต	137
	6.2.1 การสลายกลูโคส	138
	6.2.2 การสลายไกลโคเจน	148
	6.2.3 การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต	149
	6.3 กระบวนการสร้างและสลายของโปรตีน	153
	6.3.1 การสลายกรดอะมิโน	153
	6.3.2 การสังเคราะห์กรดอะมิโน	157
	6.3.3 วิตามินยูเรีย	158
	6.3.4 การสังเคราะห์โปรตีน	160
	6.4 กระบวนการสร้างและสลายของไขมัน	168
	6.4.1 การสลายไขมัน	168
	6.4.2 การสลายของกรดไขมัน	168
	6.4.3 การสลายกลีเซอรอล	173
	6.4.4 การสังเคราะห์กรดไขมัน	174
	6.4.5 การสังเคราะห์กลีเซอรอลและไตรกลีเซอไรด์	178
	เอกสารอ้างอิง	183

สารบัญ

07

บทที่ 7 ระบบการย่อยของสัตว์

185

7.1	ระบบทางเดินอาหารของสัตว์	187
7.2	การจำแนกประเภทสัตว์ตามลักษณะทางเดินอาหาร	190
7.2.1	การจำแนกตามลักษณะทางเดินอาหาร	190
7.2.2	การจำแนกตามการหมักย่อยของจุลินทรีย์	190
7.3	ระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว	192
7.3.1	ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก	193
7.3.2	ระบบทางเดินอาหารของสุกร	195
7.4	ระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะรวม	196
7.4.1	กระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	196
7.4.2	พัฒนาการของกระเพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	197
7.5	การย่อยอาหารของสัตว์	199
7.5.1	การย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว	199
7.5.2	การย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะรวม	205
	เอกสารอ้างอิง	215

สารบัญ

08

บทที่ 8 การดูดซึมโภชนะ

217

8.1 การดูดซึมโภชนะในร่างกาย	219
8.2 ระบบการดูดซึมโภชนะ	219
8.2.1 ระบบเลือด	219
8.2.2 ระบบน้ำเหลือง	220
8.3 กระบวนการดูดซึม	222
8.3.1 การลำเลียงแบบไม่ใช้พลังงาน	222
8.3.2 การลำเลียงแบบใช้พลังงาน	222
8.3.3 การลำเลียงสารเข้าสู่ภายในเซลล์	223
8.4 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรต	224
8.4.1 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในสัตว์กระเพาะเดี่ยว	224
8.4.2 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	226
8.5 การดูดซึมไขมัน	228
8.6 การดูดซึมกรดอะมิโนและโปรตีน	231
8.7 การดูดซึมแร่ธาตุ	234
8.7.1 ฟอสฟอรัส	234
8.7.2 แคลเซียม	234
8.7.3 แมกนีเซียม	234
8.7.4 เหล็ก	234
8.7.5 สังกะสี	234
8.7.6 ไอโอดีน	235
8.8 การดูดซึมวิตามิน	235
เอกสารอ้างอิง	237

สารบัญ

09

บทที่ 9 การประเมินคุณภาพอาหารสัตว์

239

9.1	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์	241
9.1.1	การประเมินจากลักษณะทางกายภาพ	241
9.1.2	การประเมินโดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	241
9.1.3	การประเมินจากค่าการย่อยได้ของสัตว์	244
9.1.4	การประเมินจากค่าพลังงานในอาหารสัตว์	244
9.1.5	การประเมินจากการวัดปริมาณและประเมินคุณค่าของโปรตีน	244
9.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์	245
9.2.1	การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์	246
9.2.2	การวิเคราะห์ความชื้น	246
9.2.3	การวิเคราะห์เถ้า	248
9.2.4	การวิเคราะห์โปรตีน	249
9.2.5	การวิเคราะห์ไขมัน	252
9.2.6	การวิเคราะห์เยื่อใย	253
9.1	วิธีวิเคราะห์เยื่อใยในพืชแบบโดยใช้สารชักพอก	254
9.3.1	การวิเคราะห์ผนังเซลล์	255
9.3.2	การวิเคราะห์ลิกโนเซลลูโลส	256
9.2	การนำเสนอองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร	257
9.4.1	พื้นฐานร้อยละวัตถุแห้ง	257
9.4.2	พื้นฐานร้อยละน้ำหนัสด	257
	เอกสารอ้างอิง	261

สารบัญ

10

บทที่ 10 ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนา 263

10.1 การประเมินค่าความสามารถในการย่อยได้ในระบบตัวสัตว์	265
10.1.1 การประเมินค่าความสามารถในการย่อยได้ในระบบตัวสัตว์โดยวิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด	265
10.1.2 การประเมินค่าความสามารถในการย่อยได้ในระบบตัวสัตว์โดยวิธีการใช้สิ่งขับออก	269
10.2 การศึกษาความสามารถในการย่อยได้นอกร่างกายสัตว์	271
10.2.1 วิธีความสามารถในการย่อยได้สองขั้นตอน	272
10.2.2 วิธีเอนไซม์เพปซินและเซลลูเลส	273
10.2.3 วิธีวัดปริมาณแก๊ส	274
10.3 การหาความสามารถในการย่อยได้โดยใช้ถุงในลอน	278
เอกสารอ้างอิง	284

11

บทที่ 11 การประเมินโปรตีน 285

11.1 สารประกอบไนโตรเจนในอาหาร	287
11.1.1 โปรตีนแท้	287
11.1.2 สารไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน	288
11.2 ระบบการประเมินโปรตีนในอาหาร	288
11.2.1 การประเมินโดยวิธีทางกายภาพ	288
11.2.2 การประเมินโดยวิธีทางเคมี	289
11.2.3 การประเมินโดยวิธีทางชีวภาพ	295
11.3 ระบบการประเมินโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	303
11.3.1 ระบบคอร์เนลคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนสุทธิ	303
11.3.2 การประเมินการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน	309
11.3.3 การประเมินโปรตีนใช้ประโยชน์ได้	313
เอกสารอ้างอิง	317

สารบัญ

12

บทที่ 12 การประเมินพลังงานในอาหาร

319

12.1 พลังงานในอาหาร	321
12.2 ประเภทของพลังงานในอาหารสัตว์	322
12.2.1 พลังงานทั้งหมด	324
12.2.2 พลังงานที่ย่อยได้	324
12.2.3 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้	324
12.2.4 พลังงานสุทธิ	324
12.3 การวัดค่าพลังงาน	325
12.3.1 การวัดค่าปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด	325
12.3.2 การวัดค่าพลังงานย่อยได้	326
12.3.3 การวัดค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้	329
12.3.4 การวัดค่าพลังงานสุทธิ	338
เอกสารอ้างอิง	346

ดัชนี

349

หนังสือ “โภชนศาสตร์สัตว์ชั้นสูง” เป็นหนังสือเกี่ยวกับความรู้ด้านโภชนศาสตร์สัตว์ โดยผู้เขียนได้รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับด้านโภชนศาสตร์จากงานวิจัยที่ทันสมัย งานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นและจากงานวิจัยของตนเอง นอกจากนี้ยังมีข้อมูลทางด้านโภชนศาสตร์ทั้งในระดับพื้นฐานเพื่อให้เข้าใจ การใช้ประโยชน์ของโภชนะตั้งแต่องค์ประกอบของโภชนะ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน การสลายและสังเคราะห์โภชนะ ระบบการย่อยของสัตว์ ระบบการดูดซึมโภชนะ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เป็นข้อมูลเบื้องต้นทั่วไปอ่านเข้าใจได้ง่ายและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และที่สำคัญหนังสือเล่มนี้ข้อมูลในเชิงลึกด้านโภชนศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นการย่อยได้ของโภชนะ รวมทั้งการประเมินพลังงานและโปรตีน ที่เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา นักวิชาการและนักวิจัย โดยเฉพาะระบบการประเมินโปรตีนที่มีข้อมูลการประเมินคุณภาพโปรตีนทั้งในระบบการประเมินโปรตีนหยาบ และระบบประเมินโปรตีนใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นระบบใหม่และเป็นระบบการประเมินคุณภาพโปรตีนที่ให้ข้อมูลที่ เป็นประโยชน์มากกว่าและตรงตามความต้องการของสัตว์ และเป็นระบบที่ นักโภชนศาสตร์ในประเทศไทยได้เริ่มนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารเพื่อให้ได้ อาหารที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่ข้อมูลดังกล่าวยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย หนังสือ เล่มนี้จึงน่าจะเป็นข้อมูลสำคัญที่นักโภชนศาสตร์จะนำมาใช้ประโยชน์ได้

ISBN (e-Book) : 978-616-398-915-4



9 786163 989154



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

01

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้น เกี่ยวกับโภชนศาสตร์สัตว์

Introduction to Animal Nutrition



บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโภชนศาสตร์สัตว์

Introduction to Animal Nutrition

บทนำ

โภชนศาสตร์คือศาสตร์ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของโภชนะที่มีอยู่ในอาหารต่อการทำหน้าที่ให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตได้ โดยอธิบายถึงการกินอาหาร การนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งในรูปแบบพลังงาน การเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และการกำจัดของเสียออก องค์ความรู้ทางด้านโภชนศาสตร์มีพื้นฐานมาจากศาสตร์ด้านชีวเคมีและสรีรวิทยา ด้านชีวเคมีช่วยให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างโภชนาการกับสุขภาพร่างกายของสิ่งมีชีวิต ในขณะที่ด้านชีวเคมีและสรีรวิทยาจะทำให้เข้าใจถึงความสามารถในการอยู่รอดได้ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ ในการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ทางอาหาร ริเริ่มโดยค้นพบองค์ความรู้พื้นฐานทางเคมีที่เกี่ยวกับอาหาร จากนั้นมาได้ค้นพบวิตามิน กรดอะมิโน และแร่ธาตุที่สำคัญหลายอย่าง ความรู้มากมายในด้านอาหารมีผลโดยตรงมาจากปัญหาทางอาหาร ปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ปัจจุบันได้พัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับโภชนศาสตร์เพื่อพัฒนาการจัดการอาหารให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเตรียมอาหาร การผลิตอาหาร การถนอมอาหาร การแปรรูปอาหารสัตว์ การปรับปรุงคุณภาพอาหาร การประเมินคุณภาพอาหาร การศึกษาความต้องการโภชนะของสัตว์ การประกอบสูตรอาหาร เทคนิคการให้อาหาร ผลของอาหารที่มีต่อกิจกรรมต่างๆ ในร่างกายและต่อผลผลิตที่ได้ ตลอดจนการวัดปริมาณผลผลิตและประเมินคุณภาพของผลิตผล

1.1 ความหมายของโภชนศาสตร์

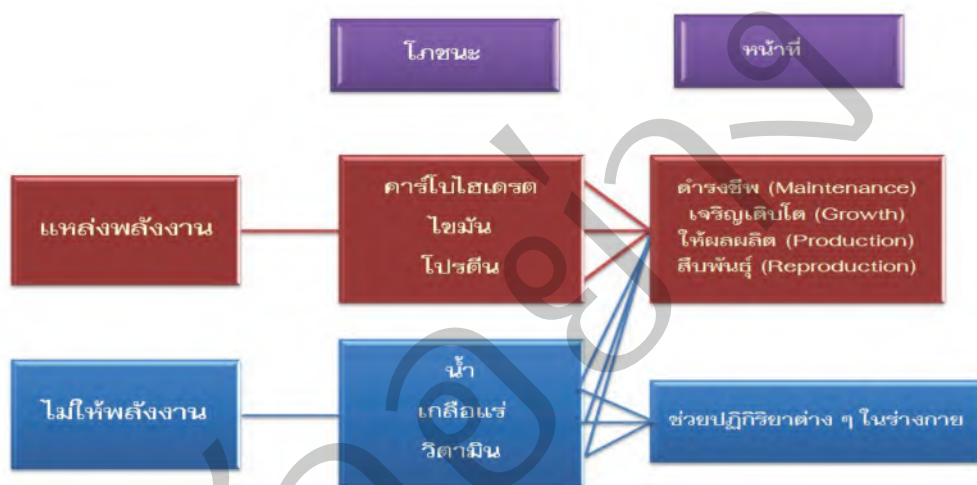
โภชนศาสตร์สัตว์ (animal nutrition) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่รวบรวมความรู้ทางด้านชีวเคมี และสรีรวิทยาเข้าด้วยกัน ในแง่ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างร่างกายและสารที่มีอยู่ในอาหาร (food หรือ feed) หรือที่เรียกว่า โภชนะ (nutrient) ที่กินเข้าไป (ingest หรือ consume หรือ prehension) เพื่อหล่อเลี้ยงร่างกาย ดังนั้นโภชนศาสตร์สัตว์จึงหมายถึง กระบวนการหล่อเลี้ยงเซลล์ภายในร่างกาย ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพ (maintenance) การเจริญเติบโต (growth) การทำงาน (work) การให้ผลผลิต (production) และการสืบพันธุ์ (reproduction) ให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและสมบูรณ์ สารอาหารที่ย่อยหรือใช้ประโยชน์ไม่ได้ในร่างกายจะถูกขับออก (excretion) หรือสูญเสียไปในรูปของมูล (feces) ปัสสาวะ (urine) และความร้อน (heat) เป็นต้น

นอกจากนี้เนื้อหาของวิชาโภชนศาสตร์สัตว์ยังครอบคลุมไปถึงประเภทของอาหาร กระบวนการเตรียมอาหาร (procurement) กิจกรรมของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกระบวนการสร้างและสลายโภชนะในกระเพาะรูเมน (rumen metabolism) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง การผลิตอาหาร (feed production) การถนอมอาหาร (feed preservation) การแปรรูปอาหารสัตว์ (feed processing) การปรับปรุงคุณภาพอาหาร (feed quality improvement) การประเมินคุณภาพอาหาร (feed quality evaluation) การศึกษาความต้องการโภชนะของสัตว์ (nutrient requirement) การประกอบสูตรอาหาร (feed formulation) เทคนิคการให้อาหาร (feeding technique) ผลของอาหารที่มีต่อกิจกรรมต่าง ในร่างกายและต่อผลผลิตที่ได้ ตลอดจนการวัดปริมาณผลผลิต (production measurement) และประเมินคุณภาพของผลผลิต (production quality evaluation) ด้วย (บุญล้อม, 2541; ศรีสกุลและรณชัย, 2539)

1.2 ประโยชน์ของโภชนะ

โภชนะมีความจำเป็นต่อร่างกายของสัตว์เนื่องจากร่างกายมีความต้องการพลังงานซึ่งได้มาจากอาหารที่กินเข้าไปหรือไขมันที่ถูกสะสมไว้ในร่างกาย ดังนั้นสัตว์จึงต้องจำเป็นต้องกินอาหารเพื่อย่อยสลายโภชนะแล้วนำไปเก็บสะสมพลังงานไว้ในร่างกายในรูปของเซลล์ไขมัน (fat cells) โดยปกติแล้วสัตว์จะมีการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพเป็นอันดับแรก นอกจากนี้ระบบการเลี้ยงยังมีผลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ด้วย เช่น สัตว์ป่าจะเลือกกินอาหารตามความต้องการของสัตว์เอง แต่สัตว์เศรษฐกิจจะได้รับโภชนะตามความต้องการของผู้ผลิตที่ต้องการผลผลิตจากสัตว์นั้น

เมื่อโภชนะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการสร้างและสลายโภชนะ (metabolism) ซึ่งมีออกซิเจนที่หายใจเข้าไปร่วมในการทำปฏิกิริยาโภชนะบางชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน สามารถเผาผลาญให้เกิดพลังงาน (energy source) เพื่อใช้ในกิจกรรมของร่างกายจึงจัดเป็นโภชนะที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย ส่วนโภชนะบางชนิดไม่ได้ให้พลังงานโดยตรง แต่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดกระบวนการของร่างกาย ดังแสดงโดยสรุปความสัมพันธ์และหน้าที่ของโภชนะแต่ละหมวดในร่างกายในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์และหน้าที่ของโภชนะในแต่ละหมวดของร่างกาย (บุญล้อม, 2541)

1.3 ประโยชน์ของการศึกษาโภชนศาสตร์

1.3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การนำองค์ความรู้ทางด้านอาหารสัตว์ในการจัดการอาหารสัตว์สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency) ของสัตว์ให้ดีขึ้น และช่วยป้องกันการขาดอาหารของสัตว์ได้ซึ่งในกรณีที่สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอหรือไม่ถูกสัดส่วน จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง สัตว์อ่อนแอลง สุขภาพไม่แข็งแรง เจ็บป่วยได้ง่าย ต้องสิ้นเปลืองค่าดูแลรักษา และสัตว์มีประสิทธิภาพ

ใช้อาหารต่ำคือ กินอาหารเปลือกแต่โตช้าหรือไม่เจริญเติบโต (พันทิพา, 2535) การจัดการด้านอาหารที่มีประสิทธิภาพจะทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น เช่น การจัดการอาหารโดยเพิ่มสัดส่วนของข้าวโพดที่มีความชื้นสูง (high moisture corn) จะเพิ่มปริมาณน้ำตาลที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว ทำให้สัตว์ได้รับโภชนะสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.1 (Radunz, 2010)

ตารางที่ 1.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของโคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของข้าวโพดที่มีความชื้นสูง (high moisture corn) ต่อข้าวโพดบด (ground corn) ในระดับที่แตกต่างกัน (Radunz, 2010)

	High Moisture Corn: Ground Corn			
	100:0	75:25	50:50	0:100
First 28 d				
DMI, lb	20.7	20.2	20.6	20.7
ADG, lb/d	3.24	3.37	3.33	3.11
Feed per gain	6.3	5.9	6.1	6.5
To Slaughter				
DMI, lb	20.5	20.5	21.0	22.2
ADG, lb/d	2.91	3.00	3.00	2.84
Feed per gain	7.0	6.7	7.0	7.8

1.3.2 การลดต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตในการเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดไม่ว่าเพื่อเนื้อ นม หรือไข่ ส่วนใหญ่จะเป็นค่าอาหาร ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 นอกจากนั้นจะเป็นค่ายา ค่าโรงเรือน เป็นต้น การศึกษาด้านโภชนศาสตร์ทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น จึงลดการให้อาหารได้โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต จึงทำให้ลดต้นทุนค่าอาหารได้ การจัดการอาหารโคนมที่มีการเพิ่มข้าวโพดบดจากร้อยละ 20 (high forage diet) เป็นร้อยละ 75 (high grain diet) ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น มีอัตราส่วนการใช้อาหารในการเพิ่มน้ำหนักลดลง ส่งผลให้มีต้นทุนในการเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง (Radunz, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 อัตราการเจริญเติบโต อัตราส่วนการใช้อาหารและต้นทุนในการเพิ่มน้ำหนักของโคที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดบดร้อยละ 20 (high forage diet) และร้อยละ 75 (high grain diet) (Radunz, 2010)

	High Forage ¹	High Grain ²
Days on Feed	353	300
ADG	2.50	3.00
Feed : Gain	7.7	6.0
Total Feed	6930	5400
Feed cost : Gain, \$/lb	\$0.58	\$0.57

¹High forage diet =20% corn, 11% supplement, and 70% corn silage on DM basis

²High grain diet =75% corn, 10% supplement, and 15% corn silage on DM basis

1.3.3 การใช้ประโยชน์ของวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรม

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้เจริญก้าวหน้ามาก จึงได้มีการประยุกต์เอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์แต่ละสาขามาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ทำให้สามารถผลิตอาหารสัตว์ได้มากขึ้นและราคาถูกลง ทั้งยังสามารถนำวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมมาดัดแปลงเป็นอาหารสัตว์ได้ทำให้เกิดการปฏิรูปทางด้านอุตสาหกรรมขึ้น เช่น เมื่อร้อยปีเศษมาแล้วโรงงานน้ำมันลินซีด (linseed oil) ในประเทศอังกฤษถูกโจมตีจากชาวบ้านเนื่องจากทิ้งกากน้ำมันลินซีด (เมล็ดลินซีดที่สกัดเอาน้ำมันออกไปแล้ว) ซึ่งมีโปรตีนประกอบอยู่สูงกองทิ้งไว้ทำให้เกิดการหมักเน่ามีกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง แต่เมื่อมีการทดลองนำไปเลี้ยงสุกร ปรากฏว่าทำให้สุกรโตเร็วขึ้น นับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาจึงนิยมใช้กากน้ำมันพืชทั้งหลายมาเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งเสริมโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง หรือ Soybean Oil Meal ปัจจุบันนิยมเรียกแค่ Soybean Meal ในประเทศอังกฤษมักนิยมเขียนชื่อย่อเป็น SBM กากถั่วลิสง (peanut oil meal) ซึ่งนับว่ากากพืชน้ำมันเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยพยุงสถานะทางการเงินให้กับโรงอัดน้ำมันหลายชนิด เมื่อน้ำมันขายไม่ออกหรือราคาตก ในปัจจุบันการใช้วัสดุเศษเหลือจากการผลิตนมถั่วเหลืองมาใช้เลี้ยงโคนมในลักษณะอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (ตารางที่ 1.3) โดยมีแหล่งอาหารหายาจากต้นข้าวโพดหวานและวัตถุดิบเหลือใช้จากการแปรรูปนมถั่วเหลืองมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้นจึงส่งผลให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงขึ้นเช่นกัน (อรรถวุฒิและสุริยะ, 2557)

ตารางที่ 1.3 ผลการใช้วัสดุเศษเหลือจากการผลิตนมถั่วเหลืองมาใช้เลี้ยงโคนมในลักษณะอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (อรรถวุฒิและสุริยะ, 2557)

Item	Treatment			
	T1	T2	T3	T4
Feed intake				
(kg DM/day)	8.69	10.65	10.56	9.74
(% body weight)	1.96	2.31	2.27	2.25
Milk yield				
(kg/day)	16.15	18.15	16.40	16.28
4 % Fat corrected milk (kg/day)	15.12	17.11	16.53	14.67
Feed cost per day (Bath/head)	57.54	69.85	74.79	63.49
Feed cost of milk (Bath/kg)	3.59	3.83	4.71	3.92
Milk price per day (Bath/head)	339.05	381.24	344.45	339.15
Income-feed cost (Bath/day/head)	281.51	311.39	269.66	287.61

T1: อาหารผสมครบส่วนมีแหล่งอาหารหยาบจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1 ต้นข้าวโพดหวาน และวัตถุดิบเหลือใช้จากการแปรรูปนมถั่วเหลือง

T2: อาหารผสมครบส่วนหมักมีอาหารหยาบจากต้นข้าวโพดหวานและวัตถุดิบเหลือใช้จากการแปรรูปนมถั่วเหลือง

T3: อาหารผสมครบส่วนหมักมีแหล่งอาหารหยาบจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1และวัตถุดิบเหลือใช้จากการแปรรูปนมถั่วเหลืองเสริมรำสัปดาห์นั้น

T4: อาหารผสมครบส่วนหมักมีแหล่งอาหารหยาบจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1 และวัตถุดิบเหลือใช้จากการแปรรูปนมถั่วเหลืองเสริมกากมันจากการผลิตกรดซิตริกและฝู่นข้าวโพด

1.3.4 การป้องกันการขาดโภชนะของสัตว์

โดยการประกอบสูตรอาหารให้มีโภชนะเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ เนื่องจากการเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันเป็นแบบนำสัตว์มากักขังแล้วให้อาหารแก่สัตว์ (central system) ซึ่งต่างกับการเลี้ยงสัตว์แบบสมัยเก่าที่นิยมปล่อยให้สัตว์หากินเองตามธรรมชาติ (farm system) ดังนั้นเมื่อร่างกายขาดโภชนะสัตว์จะกินเองตามธรรมชาติ แต่ในกรณีที่นำสัตว์มากักขังไว้หากสัตว์ได้รับโภชนะไม่ครบ สัตว์จะไม่มีโอกาสหากินเอง ดังนั้นผู้เลี้ยงจะต้องดูแลสัตว์ให้ละเอียดถี่ถ้วน และควรมีความรู้เรื่องส่วนประกอบของโภชนะในอาหารแต่ละชนิดและโภชนะที่ร่างกายสัตว์ต้องการเป็นอย่างดี เช่น หากสัตว์

ขาดแร่ธาตุ อาการเบื้องต้นที่สัตว์แสดงออก คือ เลิกกินปัสสาวะของตนเองหรือกัดแทะคอก รางอาหาร หรือกินดิน สัตว์ขาดวิตามินอาจกินอาหารน้อยลงหรือเบื่ออาหาร มีอาการทางผิวหนัง ขน หรือตา การขาดโปรตีนและพลังงานอาจส่งผลให้สัตว์อ่อนแอ เจริญเติบโตช้า ให้ผลผลิตลดลง

1.3.5 การจัดการอาหารสัตว์เพื่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันปัญหาโลกร้อนจากปฏิกิริยาเรือนกระจก (green house effect) เป็นปัญหาที่มีความรุนแรงและได้รับความสนใจมากขึ้น ซึ่งแก๊สมีเทน (methane gas) เป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้ปศุสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องก็ถูกมองว่าเป็นต้นเหตุของปัญหาดังกล่าวเช่นกัน เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นแหล่งปลดปล่อยแก๊สมีเทนที่ใหญ่ที่สุด ดังนั้นนักโภชนาการจึงค้นหาวิธีที่จะลดแก๊สมีเทนในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง แนวทางในการลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนสามารถทำได้หลายวิธี

1.3.5.1 การใช้สารในกลุ่มไอออนอพอร์

สารในกลุ่มไอออนอพอร์ (ionophore) คือสารที่สังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นกลไกการป้องกันตนเองจากสารพิษที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ สารไอออนอพอร์มีคุณสมบัติควบคุมการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนไอออนของจุลินทรีย์โดยจะเพิ่มการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าสู่เซลล์เพิ่มมากขึ้นโดยผ่านกระบวนการโซเดียม-โพแทสเซียมปั๊ม ($Na^+ K^+$ pump) ทำให้ภายในเซลล์มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนมาก ซึ่งเซลล์แบคทีเรียจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้พลังงานในการขับไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินนี้ออกจากเซลล์จนกว่าจะอยู่ในภาวะสมดุล จึงทำให้ขาดพลังงานในการเจริญเติบโตและอาจทำให้เซลล์ตายได้ในที่สุด สารในกลุ่มไอออนอพอร์ สามารถยับยั้งโดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่ม *Peptostreptococcus* ที่ไวต่อสารไอออนอพอร์ (Marques and Cooke, 2021) โดยปกติแล้วแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (gram negative bacteria) เช่น แบคทีเรียที่ย่อยสลายแป้ง (starch fermenting bacteria) สามารถทนทานต่อสารไอออนอพอร์ได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (gram positive bacteria) เช่น แบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใย (fiber fermenting bacteria) ดังนั้นหากเสริมสารไอออนอพอร์ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะทำให้แบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใยลดลง เนื่องจากแบคทีเรียผลิตแก๊สมีเทนเป็นแบคทีเรียกลุ่มเดียวกันกับแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใย ดังนั้นสารไอออนอพอร์ที่มีผลทำให้การย่อยสลายเยื่อใยลดลงส่งผลทำให้แก๊สลดลงตามลำดับ ตัวอย่างสารในกลุ่มไอออนอพอร์ที่ใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ โมเนนซิน (monensin) และแทนนิน (tannins) จัดเป็นสารไอออนอพอร์ที่มีผลทำให้ปลดปล่อยแก๊สมีเทนลดลงได้ (ตารางที่ 1.4)

ตารางที่ 1.4 ปริมาณแก๊สมีเทนในโคนมที่ได้รับโมเนนซินและแทนนิน (Junior et al., 2020)

CH ₄ production	Treatment			SEM	P-value
	Control	Monensin	Tannin		
g/day	373.9 ^a	282.9 ^b	334.0 ^{ab}	17.87	0.045
g/kg BW	0.43 ^a	0.32 ^b	0.38 ^{ab}	0.01	0.037
g/kg BW ^{0.75}	2.32 ^a	1.76 ^b	2.08 ^{ab}	0.09	0.038
g/kg DMI	20.69	16.81	19.93	0.96	0.200
g/kg OMI	22.07	17.742	0.54	0.98	0.182
g/kg DOM	38.92	29.17	38.69	2.03	0.099

^{a,b}Means with different superscript within the same row are significantly different (P<0.05).

1.3.5.2 การใช้สารในกลุ่มกระตุ้นการผลิตกรดโพรพิโอนิก

การใช้สารเสริมที่กระตุ้นการผลิตกรดโพรพิโอนิก (propionic acid enhancer) อาทิเช่น กรดมาลิก (malic acid) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการลดการเกิดแก๊สมีเทน ซึ่งกรดมาลิกเป็นสารตัวกลางสำคัญในวัฏจักรซิตริก-โพรพิโอ (succinate-propionate pathway) สามารถกระตุ้นการผลิตกรดโพรพิโอนิกได้ ทั้งนี้เนื่องจากกรดมาลิกกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Selenomonas ruminantium* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบที่พบทั่วไปในกระเพาะรูเมน โดยที่ *S. ruminantium* สามารถเปลี่ยนซิตริกเนตเป็นกรดโพรพิโอนิกได้ ทำให้มีปริมาณกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมนเพิ่มมากขึ้น

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดแลคติก กรดแอซีติก กรดโพรพิโอนิก และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนหรือกิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตกรดโพรพิโอนิก (propionic acid bacteria) จะทำให้มีกรดโพรพิโอนิก เกิดได้มากขึ้น ซึ่งสารตั้งต้นในการผลิตกรดแอซีติกและกรดโพรพิโอนิกเป็นสารตัวเดียวกัน ดังนั้นเมื่อสารตั้งต้นถูกนำไปผลิตกรดโพรพิโอนิกแล้วจึงทำให้มีสารตั้งต้นในการผลิตกรดแอซีติกลดลง และทำให้มีการผลิตแก๊สมีเทนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ผลของการเสริมกรดมาลิกต่อการเกิดแก๊สมีเทนหลังจากการบ่มข้าวโพดหมักในห้องปฏิบัติการ 24 ชั่วโมง (Kara, 2015)

Parameters	Treatment				SEM	P- value	
	MA 0	MA 0.5	MA 1.0	MA 1.5		L	Q
Total gas production, mL/200 mg DM	28.33	27.00	29.56	27.66	1.25	0.106	0.167
Methane, %/200 mg DM	18.34 ^a	16.60 ^b	16.20 ^b	15.32 ^b	0.31	0.002	0.157
Methane, % of control	100.00	90.51	88.33	83.53	-	-	-

MA 0, without maleic acid supplementation; MA 0.5, 0.5% supplementation maleic acid at ensiling; MA 1.0, 1.0% supplementation maleic acid at ensiling; MA 1.5, 1.5% supplementation maleic acid at ensiling; L, linear; Q, quadratic; DM, dry matter.

^{a,b}Means with different superscript within the same row are significantly different ($P < 0.05$).

1.3.5.3 การกระตุ้นการทำงานของแอซิโตเจนิกแบคทีเรีย

โดยปกติแล้วแก๊สมีเทนจะถูกสังเคราะห์จากกรดอินทรีย์ เช่น ไพรูเวต (pyruvate) โดยแอซิโตโทรฟิคเมทาโนเจน (acetotrophic methanogens) และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยที่แอซิโตเจนิกแบคทีเรีย (acetogenic bacteria) เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ดึงไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการผลิตกรดแอซิดิก กลับมาสร้างเป็นกรดแอซิดิกอีกครั้ง ซึ่งหากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ถูกนำมาสร้างเป็นกรดแอซิดิกจะสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทนได้ ดังนั้นเมื่อสารตั้งต้นถูกนำไปผลิตกรดแอซิดิกแล้วจึงทำให้การผลิตแก๊สมีเทนลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1.2