เอกสารประกอบการสอน วิชา สศ 200

โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น

เรียบเรียงโดย ดร.ทองเลียน บัวจูม

ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารประกอบการสอน

วิชา

โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น

เรียบเรียงโดย

ดร.ทองเลียน บัวจูม

ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คำนำ

เอกสารประกอบการสอนวิชา สศ 200 โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นประกอบการสอนนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาสัตวศาสตร์ คณะผลิตกรรมทางการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 10 บทเรียน โดยผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า นักศึกษาที่ผ่านการเรียนวิชานี้ จะมีความรู้เกี่ยวกับ ประวัติและการพัฒนาทางด้านอาหารสัตว์ คำนิยามทางด้านอาหารสัตว์ ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์และอาหารสัตว์ การจำแนกประเภทของอาหารสัตว์ โภชนะในอาหารอาหารสัตว์ ความสำคัญของโภชนะในอาหารที่มีต่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตของสัตว์ สรีระวิทยา การย่อย การดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของโภชนะในร่างกายสัตว์ การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ พลังงานในอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์จากพลังงาน รวมทั้งการคำนวณสูตรอาหารสัตว์เบื้องต้น และสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้องในสาขาวิชาที่นักศึกษาเรียนอยู่ รวมถึงใช้เป็นความรู้ในการประกอบวิชาชีพต่อไป

ดร.ทองเลียน บัวจูม

มกราคม 2551

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	**ประวัติและการพัฒนาทางด้านอาหารสัตว์**	1
	ความก้าวหน้าทางวิชาการโภชนศาสตร์สัตว์	4
บทที่ 2	**คำนิยามทางด้านอาหารสัตว์**	6
บทที่ 3	**ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์และอาหารสัตว์**	11
	ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ (composition of the animal body)	11
	ส่วนประกอบของพืช (Composition of plants)	15
บทที่ 4	**การจำแนกประเภทของอาหารสัตว์**	18
	องค์ประกอบของอาหารสัตว์	18
	การแบ่งประเภทของอาหาร (classification of feeds)	20
	วิธีการนำพืชอาหารสัตว์ไปใช้ประโยชน์	34
	ตัวอย่างวัตถุเสริม (additive materials)	44
บทที่ 5	**โภชนะในอาหารอาหารสัตว์**	62
	น้ำ	63
	คาร์โบไฮเดรต	65
	โปรตีน	74
	ไขมันและสารที่คล้ายไขมัน	84
	วิตามิน	91
	แร่ธาตุ	107
	ไอโอดีน	120
	ทองแดง	122
	โคบอลท์	123
	แมงกานีส	124
	สังกะสี	126

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5	**โภชนะในอาหารอาหารสัตว์ (ต่อ)**	
	โมลิบดีนั่ม	126
	ฟลูออลีน	127
	ซีลีเนียม	127
บทที่ 6	**ความสำคัญของโภชนะในอาหารที่มีต่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตของสัตว์เลี้ยง**	130
	การดำรงชีพของสัตว์ (maintenance)	130
	การเจริญเติบโต (growth)	132
	การเพิ่มไขมันของสัตว์ (fattening)	133
	เปรียบเทียบการขุนสัตว์กับการเจริญเติบโต	134
	การผลิตนม (milk production)	134
	การผลิตน้ำนม (milk secretion)	135
	การพัฒนาลูกสัตว์ในท้อง (fetal development)	136
	การผลิตขนสัตว์ (wool production)	137
	การสืบพันธุ์ (reproduction)	138
	การผลิตแรงงาน (Work Production)	139
บทที่ 7	**สรีระวิทยา การย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในร่างการสัตว์**	141
	ทางเดินอาหาร	141
	การย่อยอาหาร (digestion)	150
	น้ำย่อย (Enzymes)	151
	การดูดซึมอาหาร (Nutrient absorption)	157
	การลำเลียงโภชนะ (Nutrient transport)	158
	กระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism)	158

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 8	**การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์**	165
	การย่อยได้ของอาหาร (digestibility)	166
	สัมประสิทธิ์การย่อย (digestion coefficients)	167
	โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients)	169
บทที่ 9	**พลังงานในอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์จากพลังงาน**	175
	คำจำกัดความเบื้องต้น	175
	ยอดพลังงาน (gross energy, GE)	176
	พลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE.)	177
	พลังงานที่ใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME)	177
	พลังงานสุทธิ (net energy, NE)	178
	พลังงานที่สูญเสียไป	179
บทที่ 10	**การคำนวณสูตรอาหารสัตว์เบื้องต้น**	181
	หลักเกณฑ์ประกอบในการคำนวณสูตรอาหาร	181
	วิธีต่างๆในการคำนวณสูตรอาหาร	186
	- การคำนวณโดยใช้รูปสี่เหลี่ยมของเพียสัน (_Peason ‘s Square Method)	186
	- การคำนวณโดยวิธีพีชคณิต (Algebratic Method)	190
บรรณานุกรม		

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ (Percentage gross composition of the animal body)	11
ตารางที่ 2	แสดงเปอร์เซ็นต์แร่ธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบของร่างกายสัตว์	12
ตารางที่ 3	แสดงส่วนประกอบของอาหาร	19
ตารางที่ 4	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเสียจากสัตว์	27
ตารางที่ 5	แสดงแหล่งของธาตุแคลเซียมและ/ หรือ ฟอสฟอรัส	45
ตารางที่ 6	แสดงประโยชน์ของปฏิชีวนสารบางชนิด	51
ตารางที่ 7	แสดงสารเสริมสำหรับสุกร	56
ตารางที่ 8	แสดงสารเสริมสำหรับโคเนื้อ	59
ตารางที่ 9	แสดงสารเสริมสำหรับแกะ	60
ตารางที่ 10	แสดงโคนม (โคกำลังให้นม)	61
ตารางที่ 11	แสดงสารเสริมสำหรับม้า	62
ตารางที่ 12	แสดงแสดงสัญลักษณ์และน้ำหนักอะตอมของธาตุต่าง ๆ	62
ตารางที่ 13	แสดงการย่อยได้ของเยื่อใยในสัตว์ชนิดต่าง ๆ	73
ตารางที่ 14	แสดงชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีน	77
ตารางที่ 15	แสดงตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว	86
ตารางที่ 16	แสดงตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว	87
ตารางที่ 17	แสดงแหล่งของแคลเซียมและฟอสฟอรัส	112
ตารางที่ 18	แสดงสรุปความต้องการโภชนะสำหรับการผลิตสัตว์	140
ตารางที่ 19	แสดงแสดงผลผลิตขั้นสุดท้ายในระบบทางเดินอาหาร	150
ตารางที่ 20	แสดงสรุปการย่อยอาหาร	152
ตารางที่ 21	แสดงน้ำย่อยชนิดต่าง	155
ตารางที่ 22	แสดงสัมประสิทธิ์การย่อยของอาหารแต่ละชนิด	168
ตารางที่ 23	แสดงตัวอย่างการหา TDN ของรำข้าว	170

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 24	แสดงความต้องการโภชนะของไก่เนื้อ	182
ตารางที่ 25	แสดงความต้องการโภชนะของไก่ไข่	183
ตารางที่ 26	แสดงความต้องการโภชนะของเป็ดเนื้อ	183
ตารางที่ 27	แสดงความต้องการโภชนะของเป็ดไข่	184
ตารางที่ 28	แสดงความต้องการโภชนะของสุกร	184
ตารางที่ 29	แสดงความต้องการโภชนะของโคนม	185
ตารางที่ 30	แสดงแสดงคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์บางชนิด ร้อยละของสภาพที่ใช้เลี้ยง	186

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก	147
ภาพที่ 2	แสดงระบบทางเดินอาหารของสุกร	148
ภาพที่ 3	แสดงระบบทางเดินอาหารของม้า	148
ภาพที่ 4	แสดงระบบทางเดินอาหารของโคที่โตเต็มที่	149
ภาพที่ 5	แสดงผนังภายในของกระเพาะโคแต่ละส่วน	149
ภาพที่ 6	แสดงส่วนประกอบของวิลไล (villi)	157
ภาพที่ 7	แสดงเครื่อง Bomb calorimeter	175

บทที่ 1
ประวัติและการพัฒนาทางด้านอาหารสัตว์

การเลี้ยงสัตว์หรือการผลิตสัตว์ (Livestock production) ทุกชนิดมีปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการผลิตสัตว์ คือปัจจัยในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ที่ผู้เลี้ยงจะต้องดูแลจัดการปัจจัยต่างๆเหล่านี้เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามที่ ผู้เลี้ยงต้องการ ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงสัตว์ ประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ

1. พันธุ์สัตว์ (breeds)
2. อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ (nutrition)
3. โรงเรือนของสัตว์ (housing)
4. โรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ (diseases)

อาหารของสัตว์นับเป็นปัจจัยที่สำคัญเบื้องต้นปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากสัตว์ต้องใช้อาหารเป็นประจำทุกวัน สัตว์เลี้ยงไม่สามารถจะรับอาหารจากแม่ได้ตลอดเวลา จะได้รับอาหารจากแม่ชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammals) ลูกจะได้รับน้ำนมจากแม่เป็นอาหารก่อนการหย่านม หลังการหย่านมอาหารที่จะต้องใช้เพื่อการดำรงชีพ (maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (growth) เพื่อการสร้างผลิตผลต่างๆ (productions) เพื่อการสืบพันธุ์ (reproduction) นั้นเป็นอาหารที่ได้รับจากภายนอกทั้งสิ้น (เป็นอาหารที่ผู้เลี้ยงจะต้องจัดให้) แม้แต่สัตว์อย่างอื่น เช่น สัตว์ปีก (poultry) เมื่อไข่ถูกฟักออกเป็นตัวแล้วอาจอาศัยไข่แดงเป็นอาหารได้ชั่วระยะหนึ่ง หลังจากนั้นอาหารที่ได้รับก็ได้รับจากภายนอกเหมือนกัน

มนุษย์เราได้ตระหนักถึงความจำเป็นของอาหารที่จะใช้ยังชีพของตนเองและของสัตว์มาเป็นเวลาช้านาน ในสมัยก่อนอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์แตกต่างจากสมัยปัจจุบันมาก เนื่องจากสมัยก่อนวิทยาการ ความเข้าใจด้านนี้ยังมีน้อย แต่เมื่อมีการศึกษา วิจัย มีการปรับปรุงอาหารสัตว์และค้นพบสิ่งใหม่ ๆ มากมาย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงสัตว์ จนปัจจุบันอาหารของสัตว์ได้พัฒนาการก้าวหน้าไปมาก ทำให้การเลี้ยงสัตว์ได้รับความสะดวกถูกหลักวิชาการ ทำให้สามารถเลี้ยงสัตว์ให้เป็นจำนวนมากๆ จนทำให้เกิดการผลิตสัตว์เป็นอุตสาหกรรมที่ใหญ่โต

มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่เกี่ยวข้องหรือมีส่วนทำให้วิชาวิทยาศาสตร์ทางอาหารสัตว์พัฒนาไปได้มาก ซึ่งเกิดมาจากผลของการศึกษาวิจัย และการค้นพบของนักวิทยาศาสตร์เช่น Antoine Iavoisier (1743 – 1794) ท่านผู้นี้เป็นนักเคมีที่มีชื่อเสียงชาวฝรั่งเศส ถือกันว่า เป็นผู้ก่อตั้งวิทยาศาสตร์ทางอาหาร โดยได้สร้างพื้นฐานทางเคมีที่เกี่ยวกับอาหาร ท่านได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการหายใจ (respiration experiment) ซึ่งทำการทดลองก่อนการปฏิวัติในฝรั่งเศส โดยได้นำเทอร์มอมิเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการศึกษาทางอาหาร ท่านได้ค้นพบว่า การเผาไหม้ (combustion) เป็นออกซิเดชั่น (oxidation) อย่างหนึ่งและได้แสดงให้เห็นว่า การหายใจในร่างกายเกี่ยวข้องกับการรวมตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจน ซึ่งได้จากการสูดอากาศเข้าไป ปริมาณของออกซิเจนที่สูดเข้าไป และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกขับออกมาขึ้นอยู่กับอาหารที่กินเข้าไปและการทำงานของร่างกาย Lavoisier และ Laplace ได้ออกแบบ แคลลอรี่มิเตอร์ (calorimeter) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือแสดงให้เห็นว่า การหายใจเป็นแหล่งสำคัญของความร้อนภายในร่างกาย แต่เป็นที่น่าเสียใจที่วิทยาศาสตร์ทางอาหารได้ชงักงันไม่ก้าวหน้าเป็นเวลาหลายปี เมื่อ Lavoisier ได้ถึงแก่กรรม

หลังจากนั้นวิทยาศาสตร์ทางอาหารได้เริ่มพัฒนาอีกครั้ง เนื่องจากได้ค้นพบสิ่งใหม่ ๆ เช่น ค้นพบวิตามิน ค้นพบบทบาทของ กรดอะมิโน และแร่ธาตุที่สำคัญหลายอย่าง ซึ่งก่อนหน้านี้เข้าใจว่ามีอาหารเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่ร่างกายต้องการคือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ความรู้มากมายในด้านอาหาร มีผลโดยตรงมาจากปัญหาทาง

อาหาร ปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ปัจจุบันได้ทราบกันแล้วว่าร่างกายมีความต้องการอาหารที่แตกต่างกันถึง 40 ชนิด

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์ การศึกษาในด้านสรีระวิทยา และการศึกษาทางชีวเคมี เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยาศาสตร์ทางอาหารได้พัฒนาไปได้มาก ตัวอย่างเช่น การทดลองที่มีชื่อเสียงของ Stephen M.Babcock (1843 – 1931) เป็นการทดลองให้อาหารสัตว์ โดยทำที่ The Wisconsin Experiment Station ในสหรัฐอเมริกา Babcock ได้ทำอาหาร (ration) ซึ่งประกอบด้วยพืชชนิดเดียวล้วน ๆ ให้สัตว์กิน แต่การทดลองของ Babcock ประสบปัญหามาก เพราะผู้เลี้ยงสัตว์ไม่ให้ความร่วมมือ ผู้เลี้ยงสัตว์ในสมัยนั้นไม่ได้คำนึงถึงผลการทดลอง แต่คำนึงถึงคุณค่าของโคมากกว่า อย่างไรก็ตาม Babcock ได้แม่โค 2 ตัว มาทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองไปได้ 3 เดือน แม่โคตัวหนึ่งตายลง ทำให้การทดลองต้องล้มเลิกไปแม่โคที่เหลือภายหลังได้ตายลงเช่นเดียวกัน จากความคิดของ Babcock นี้เอง ต่อมาภายหลังเพื่อนร่วมงาน ซึ่งประกอบด้วย Hart, Humphrey, McCollum และ Steenbock ได้ร่วมมือกันทำการทดลองต่อไปอีก โดยการคัดเลือกโคสาวอายุ 5 เดือน จำนวน 16 ตัว แล้วแบ่งโคสาวทั้ง 16 ตัวออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ตัว ให้กินอาหารแตกต่างกันดังนี้

กลุ่มที่ 1 ให้กินอาหารทำจากข้าวสาลี (wheat)

กลุ่มที่ 2 ให้กินอาหารทำจากข้าวโอ๊ต (oat)

กลุ่มที่ 3 ให้กินอาหารทำจากข้าวโพด (corn)

กลุ่มที่ 4 ให้กินอาหารทำจากข้าวสาลี ข้าวโอ๊ตและข้าวโพดรวมกัน (wheat + oat + corn)

เมื่อสิ้นปีพบความแตกต่างระหว่างโคที่ให้กินข้าวโพดและข้าวสาลี คือ โคสาวที่ให้กินข้าวโพด รูปร่างเรียบและแข็งแรงมากกว่าโคที่กินข้าวสาลี และเมื่อทำการผสมโคสาวนั้น ผลที่ได้ออกมาก็แตกต่างกัน คือ โคสาวที่ให้กินข้าวโพดให้ลูกเป็นปกติ และลูกโคมีการเจริญเติบโตเป็นสัตว์ที่สมบูรณ์แข็งแรงต่อไป ตรงกันข้ามโคที่ให้กินข้าวสาลี ให้ลูกไม่ดี ลูกที่เกิดออกมาจะตาย หรือไม่เช่นนั้นก็มักจะตายในภายหลัง นอกจากนี้โคที่ให้กินข้าวโพดยังให้น้ำนมมากกว่าถึง 3 เท่าตัว การทดลองครั้งนั้นได้สรุปผลว่า ข้าวสาลี มีสิ่งที่เป็นพิษ หรือไม่เช่นนั้นก็คงขาดบางสิ่งบางอย่าง และการทดลองนั้นชี้ให้เห็นความแตกต่างของคุณค่าของอาหารได้อย่างชัดแจ้ง

การค้นพบที่ทันสมัยต่าง ๆ ในทางโภชนศาสตร์ในระยะต่อมา ก็เนื่องจากมีการนำสัตว์ชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการศึกษาทดลอง เช่น ใช้หนูเพื่อการศึกษาเรื่องวิตามิน กรดอะมิโน และแร่ธาตุหลายอย่าง หรือการค้นพบ อินซูลิน (Insulin) และบทบาทของกรดนิโคตินิก (nicotinic acid) ก็ใช้สุนัขทดลอง ส่วนหนูตะเภาได้นำมาใช้ในการทดลองทำให้รู้ถึงสาเหตุที่แท้จริงของโรคลักปิดลักเปิด (scurvy) และทำให้รู้จักวิธีป้องกันโรคนี้ การค้นพบวิตามินวิตามินบี 1 (vitaminB1, thiamine) ก็เนื่องจากมีการทดลองกับไก่ นอกจากนี้สัตว์อย่างอื่นเช่น ลิง แฮมซเทอะ (hamster) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการทดลอง แม้แต่สิ่งที่มีชีวิตชั้นต่ำ เช่นแบคทีเรีย ก็ถูกนำมาใช้ทดลองทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต (growth factors)

การขยายตัวในการพัฒนาของโภชนศาสตร์ เนื่องจากมีการนำความรู้และเทคนิคหลายอย่างจากวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ มาใช้ เช่น เคมี (Chemistry) สรีรศาสตร์ (Physiology) ชีวเคมี (Biochemistry) ฟิสิกส์ (Physics) จุลชีววิทยา (Microbiology) ฯลฯ ยกตัวอย่าง เช่น นักสรีระวิทยาและนักชีวเคมี ได้ทำงานร่วมกันเป็นเวลานานในการศึกษาความต้องการอาหารของร่างกายและศึกษาว่า อาหารที่ร่างกายต้องการจะถูกนำไปเมตะโบลิซึม (metabolism) อย่างไร

ความสนใจของนักอินทรีย์เคมี ทำให้มีการแยกและการสังเคราะห์วิตามินขึ้นมาหลายชนิด เพียงพอที่จะใช้ในการทดลองและการใช้เป็นอาหาร นักฟิสิกส์ก็ได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับการพัฒนาด้านโภชนศาสตร์ เช่นพบ รังสีเอกซ์ (X-

rays) สเปกโทรกราฟ (spectrograph) ไอโซโทป (isotopes) และเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ซึ่งได้นำมาใช้เพื่อความก้าวหน้าทางโภชนศาสตร์ นักพันธุกรรมได้ค้นพบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ อันเนื่องมาจากความต้องการอาหารและประสิทธิภาพของการใช้อาหาร นักจุลชีววิทยาได้มีส่วนช่วยอย่างสำคัญในการค้นพบบทบาทของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน (rumen) ของโคและแกะ และในลำไส้ของสัตว์อื่น

โภชนะหลายอย่างที่มีความจำเป็นสำหรับสัตว์ ได้ค้นพบเมื่อไม่นานมานี้โภชนะบางอย่างสัตว์มีความต้องการน้อยมาก เช่น วิตามิน เป็นต้น แร่ธาตุบางอย่าง เช่น โคบอลท์ เพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อวันก็มีความจำเป็นสำหรับชีวิตของแกะ ถ้าไม่ได้รับอาจทำให้แกะถึงตายได้ การขาดโภชนะจำนวนเพียงเล็กน้อยเหล่านี้มีผลทำให้สัตว์ล้มตายได้ ซึ่งเกิดขึ้นบางท้องที่ของโลกก่อนที่จะมีการค้นพบสาเหตุการขาดที่แท้จริง เรามักกล่าวถึงความต้องการโปรตีนเป็นปอนด์หรือเป็นกรัม แต่โภชนะบางอย่างสัตว์ต้องการเป็นมิลลิกรัมหรือไมโครกรัม แม้จะเป็นจำนวนเพียงเล็กน้อยก็มีความสำคัญต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตของสัตว์

การศึกษาถึงแร่ธาตุที่ต้องการน้อยมาก (trace mineral elements) บางอย่างได้แสดงให้เห็นว่าดินที่เราใช้ปลูกพืช มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับคุณค่าทางอาหารของพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ พืชแม้จะเป็นพันธุ์เดียวกัน แต่ปลูกในที่ดินต่างกันก็จะทำให้คุณค่าทางอาหารแตกต่างกันไป แร่ธาตุบางชนิดถ้าสัตว์ได้รับเป็นจำนวนน้อยก็เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ แต่ถ้าได้รับมากเกินไปก็เป็นอันตรายต่อสัตว์ อาหารที่ไม่ดีนั้นเนื่องมาจากมีบางอย่างมากเกินไปหรือมีน้อยเกินไปไม่เกิดการสมดุล ตามความต้องการของสัตว์ ฉะนั้น เพื่อความเหมาะสม อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ควรจะทำให้เกิดความสมดุลตามความต้องการของสัตว์นั้น ๆ

ความก้าวหน้าทางวิชาการโภชนศาสตร์สัตว์

ในปัจจุบันนักวิชาการให้ความสนใจด้านชีววิทยาระดับเซลล์ (cell biology) พันธุ-ศาสตร์โมเลกุล (molecular genetics) พันธุวิศวกรรมศาสตร์ (genetic engineering) และเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) มากขึ้นทำให้เข้าใจโภชนศาสตร์ได้อย่างลึกซึ้งและนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์มากมาย เช่น

- ผลิตเอนไซม์ไฟเตส (phytase) เพื่อย่อยกรดไฟติค (phytic acid หรือ phytate ทำให้การใช้ประโยชน์ในอาหารดีขึ้น ลดการเสริมฟอสฟอรัสในอาหารลงทำให้สัตว์ขับฟอสฟอรัสออกมาน้อยลง ช่วยลดปัญหาด้านมลภาวะได้
- ผลิตเอนไซม์โพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แป้ง (non starch polysaccharide , NSP) ทำให้สัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถใช้ประโยชน์จากสารเหล่านี้ ซึ่งมีมากในเมล็ดธัญพืชบางชนิดได้ดีขึ้น
- ผลิตเอนไซม์เพื่อช่วยการย่อยอาหารในลูกสุกรเล็กระยะหย่านม เพราะมันยังไม่สามารถผลิตน้ำย่อยได้สมบูรณ์นัก
- ผลิตฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตในสุกร (porcine somatotropin , pST) เพื่อช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตและปรับปรุงคุณภาพซากทำให้มีการสะสมเนื้อแดงมากขึ้นและมีไขมันน้อยลง bovine somatotropin (bST) ทำให้ผลิตน้ำนมดีขึ้น
- ผลิตสารโปรไบโอติค (probiotic) เช่น แบคทีเรียกรดแลคติก, ยีสต์(yeast) เพื่อช่วยต่อต้านแบคทีเรียที่เป็นโทษในร่างกายทำให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารและการให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น
- คัดเลือกและปรับปรุงพันธุกรรมของจุลินทรีย์เพื่อให้ได้สายพันธุ์ใหม่ซึ่งใช้ปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักและพืชอาหารหยาบคุณภาพเลวให้ดีขึ้น หรือช่วยในการย่อยเยื่อใยในกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องลดการสูญเสียพลังงานในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนทำให้สัตว์มีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น

- คัดเลือกพืชสมุนไพร เช่น ฟ้าทะลายโจร ขมิ้นชัน กระเทียม พริกแดง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด เพื่อใช้แทนยาปฏิชีวนะในการรักษาโรคหรือป้องกันโรค รวมทั้งเพื่อเพิ่มผลผลิตเร่งการเจริญเติบโต และปรับปรุงผลิตภัณฑ์สัตว์ที่ได้

ด้านพืชอาหารสัตว์ก็มีการใช้เทคโนโลยีชีวภาพเช่นกัน ได้แก่

- Transgenic plant คือ พืชสายพันธุ์ใหม่ที่มีพันธุกรรมดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเกิดจากการถ่ายยีนจากพืชชนิดหนึ่งไปยังอีกชนิดหนึ่งสามารถทำให้พืชทนโรค แมลง และสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังอาจทำให้มีคุณสมบัติอื่น ๆ ได้ตามต้องการ
- ปรับปรุงพันธุ์พืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน เมล็ดเรพ หรือแคโนล่า และทานตะวันให้มีสัดส่วนของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวลดลงทำให้สามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น โดยไม่ต้องใช้กระบวนการเติมไฮโดรเจนเหมือนเดิม
- ปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เช่น trypsin inhibitor ให้น้อยลง
- การใส่เอนไซม์ไฟเตส เข้าไปในพืชพวกแคโนล่าทำให้ใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของไฟเตทได้ดีขึ้น รวมทั้งใส่เอนไซม์ไซเลนเนส (xylanase) เข้าไปในข้าวสาลีหรือข้าวเรย์ ทำให้ใช้คาร์โบไฮเดรทที่มีไซเลน (xylan) เป็นองค์ประกอบได้ดีขึ้น
- การใช้ DNA probe ตรวจสอบคุณภาพของอาหาร

บทที่ 2
คำนิยามทางด้านอาหารสัตว์

1. Antibiotics (สารปฏิชีวนะ) หมายถึง สารที่จุลินทรีย์ (microorganisms) สังเคราะห์ (synthesized) ขึ้นมา เพื่อใช้ทำลายจุลินทรีย์ชนิดอื่น เนื่องจากในชีวิตของจุลินทรีย์เต็มไปด้วยการต่อสู้เพื่อการดำรงอยู่ สารปฏิชีวนะนำมาใช้ในด้านอาหารสัตว์เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น เพื่อให้สัตว์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น เพื่อใช้ป้องกันรักษาโรคสัตว์ เป็นต้น สารปฏิชีวนะที่ใช้ในอาหารสัตว์ เช่น เพนนิซิลิน (penicillin) ออริโอมัยซิน (aureomycin) เทอรามัยซิน (terramycin) สเตรปโตมัยซิน (streptomycin) ฯลฯ

2. Balanced Ration (อาหารสมดุล หรือ อาหารถูกส่วน) หมายถึง อาหารที่ประกอบกันขึ้นโดยมีโภชนะต่าง ๆ ในปริมาณและสัดส่วนครบตามความต้องการของสัตว์แต่ละชนิด แต่ละวัย แต่ละประเภท ซึ่งสัตว์สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงได้

3. Basal (Energy) Feeds (อาหารฐานหรืออาหารให้พลังงาน) หมายถึง กลุ่มอาหารที่มีโปรตีนน้อยกว่า 20% และมีพวกเยื่อใย (fiber) ต่ำกว่า 18% อาหารพวกนี้โดยทั่วไปเป็นอาหารที่ให้พลังงาน เพราะมีแป้งและน้ำตาลมาก ส่วนใหญ่เป็นอาหารที่ได้จากเมล็ดพืชหรือผลิตผลพลอยได้จากเมล็ดพืช (grains and grain by – products) ซึ่งเป็นอาหารที่ใช้ในปริมาณที่มากกว่าวัตถุดิบอื่น เช่น ข้าวโพด รำข้าว ปลายข้าว ไขมันพืช ไขสัตว์ และมันสำปะหลัง เป็นต้น

4. Complete feed (อาหารสำเร็จรูป) หมายถึง อาหารที่มีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์ เมื่อสัตว์ได้รับในปริมาณที่เพียงพอแล้วสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้โดยไม่ต้องให้อาหารอื่นนอกจากน้ำเท่านั้น

5. Concentrated feed (อาหารข้น) หมายถึง อาหารที่มีปริมาณของโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักสูงมีเยื่อใยต่ำกว่า 18% และมีค่าการย่อยได้ของโภชนะทั้งหมดหรือค่าทีดีเอ็น (Total Digestible Nutrients, TDN) สูงกว่า 60% อาหารข้นเป็นอาหารทุกชนิดที่เราใช้เติมลงไปสูตรอาหาร เพื่อให้ได้โภชนะเบื้องต้น คือโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ในสูตรอาหารสูงขึ้น

6. Concentrates (หัวอาหาร) หมายถึง อาหารที่ประกอบด้วยวัตถุดิบชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน มีคุณค่าทางอาหารสูง ซึ่งส่วนมากมักจะประกอบไปด้วยโปรตีน แร่ธาตุและวิตามินรวมกันอยู่ เมื่อนำไปผสมกับอาหารชนิดอื่น ซึ่งมักได้แก่ อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ตามสัดส่วนที่กำหนดแล้ว จะมีคุณค่าครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์

7. Crumble feed (อาหารเม็ดชีก) หมายถึง อาหารอัดเม็ดที่นำมาผ่านการบดหยาบ ทำให้มีขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน ทำให้สัตว์มีโอกาสเลือกกินขนาดต่าง ๆ และลดเวลาในการอัดเป็นอาหารเม็ดขนาดเล็ก

8. Diet หมายถึง อาหารที่เตรียมหรือผสมเสร็จแล้ว เพื่อไว้ใช้เลี้ยงสัตว์เฉพาะอย่าง ๆ ไป

9. Dry Matter (วัตถุแห้ง) หมายถึง วัตถุแห้งในอาหาร วัตถุแห้งเป็นสารที่เหลือหลังจากทำการไล่น้ำออกไปจนหมดสิ้นแล้ว วัตถุแห้งบางทีก็เรียกว่า dry substance หรือ total solids วัตถุแห้งประกอบด้วยโปรตีน (crude protein) ไขมัน (crude fat) เยื่อใย (crude fiber) ไนโตรเจนฟรีเอกซแทรกหรือเอ็นเอฟอี (nitrogen free extract, NFE) และ เถ้า (ash)

10. Enzymes (น้ำย่อย) หมายถึง สารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาจากต่อมที่มีหน้าที่กลั่นสร้างน้ำย่อยภายในทางเดินอาหารหรือจากอวัยวะที่อยู่นอกทางเดินอาหาร น้ำย่อยมีหน้าที่ทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารเปลี่ยนแปลงโดยตัวเองไม่เปลี่ยนแปลง โดยปกติการย่อยอาหารใช้น้ำย่อยเป็นจำนวนน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนอาหารที่ถูกย่อย

11. Feed (อาหารสัตว์) หมายถึง สิ่งหนึ่งสิ่งใดก็ตาม เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้วไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์สามารถจะถูกย่อย (Digest) และดูดซึมภายในร่างกายสัตว์ เพื่อสัตว์จะได้นำไปใช้เป็นประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (growth) เพื่อการสืบพันธุ์ (reproduction) เพื่อการสร้างผลิตผล (production) ต่าง ๆ และเพื่อประโยชน์อื่น ๆ

12. Feed Additives (สารเสริม) หมายถึง สารที่ใช้เติมลงไปในอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น เพื่อให้สัตว์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น เพื่อให้สัตว์สร้างผลผลิตเพิ่มขึ้น หรือเพื่อป้องกันรักษาโรค สารเสริมที่ใช้กันมากได้แก่ ปฏิชีวนะสาร (antibiotics) ฮอร์โมน (hormones) น้ำย่อย (enzymes) ยาถ่ายพยาธิ (wormers) และสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (growth-stimulating substances)

13. Feed Supplement (อาหารเสริม) หมายถึง วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดเดี่ยวหรือหลายชนิดผสมกัน มีความเข้มข้นของโภชนะชนิดใดชนิดหนึ่งอยู่สูง ใช้เติมลงในการผสมอาหาร เพื่อให้เกิดความสมดุลของโภชนะในอาหารผสมนั้น ส่วนใหญ่หมายถึงการเพิ่มโปรตีนหรือกรดอะมิโน รวมไปถึงการเพิ่มแร่ธาตุและวิตามินด้วย อาหารเสริมมีดังต่อไปนี้

13.1 อาหารเสริมโปรตีน (protein supplement) หมายถึง วัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่า 20% มีกากหรือเยื่อใยน้อยกว่า 18% เช่น ปลาป่น หางนมผง กากถั่วเหลือง และใบกระถิน

13.2 อาหารเสริมกรดอะมิโน (amino acid supplement) หมายถึง กรดอะมิโนสังเคราะห์ ต่างๆ เช่น ไลซีน เมทไทโอนีน ใช้เติมลงในอาหารผสมเพื่อให้มีปริมาณกรดอะมิโนครบตามปริมาณที่ร่างกายสัตว์ต้องการ

13.3 อาหารเสริมแร่ธาตุ (mineral supplement) หมายถึง วัตถุดิบอาหารที่ให้แร่ธาตุในปริมาณสูง เช่น เกลือ กระดูกป่น ไดแคลเซียมฟอสเฟต และเปลือกหอย

13.4 อาหารเสริมวิตามิน (vitamin supplement) หมายถึง วัตถุดิบอาหารที่ให้วิตามินสูงเช่น น้ำมันตับปลา วิตามินสังเคราะห์ต่าง ๆ

13.5 อาหารเสริมที่เป็นของเหลว (liquid supplement) ส่วนใหญ่เป็นพวกกากน้ำตาล และ สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) โดยทั่วไปมีโปรตีน 30-35%

14. Feeding Stuffs (วัตถุดิบอาหารสัตว์) หมายถึง อะไรก็ตามที่มีคุณค่าทางอาหาร ที่สัตว์กินเข้าไปทำให้เจริญเติบโต อาจเป็นสิ่งที่เกิดเองตามธรรมชาติ อาจได้จากทางพืชและทางสัตว์ นอกจากนี้ Feeding stuffs ยังหมายรวมไปถึงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี

15. Forage Crops (พืชอาหารสัตว์) หมายถึงพืชอาหารสัตว์ซึ่งอาจได้มาจากพืชตระกูลหญ้าหรือพืชตระกูลถั่วหรือพืชตระกูลอื่น ๆ พืชอาหารสัตว์ที่ได้จากพืชตระกูลหญ้า เช่นหญ้าขน หญ้าเนเปียร์ หญ้ากินนี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง

ฯลฯ จากพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วลาย (Centrosema) ถั่วแลบแลบ (Lablab) ถั่วแระหรือถั่วมะแฮะ กระถิน และแค ฯลฯ จากพืชตระกูลอื่น ๆ เช่น สาหร่าย ผักตบชวา กล้วย จอก และ แหน ฯลฯ

16. Hay (พืชอาหารสัตว์แห้ง) หมายถึงต้นและใบพืชชนิดใดก็ตามที่ทำให้แห้งพอสมควรเพื่อเก็บไว้ใช้เป็นอาหารของสัตว์ ตามธรรมดาหญ้าแห้งจะทำมาจากพืชพวกหญ้าและถั่วซึ่งทำให้แห้งได้ง่าย และเมื่อแห้งแล้วไม่แข็งจนเกินไป ตามปกติหญ้าแห้งจะมีน้ำไม่เกิน 25%

17. Haylage (พืชอาหารสัตว์แห้งหมัก) หมายถึงต้นและใบพืชชนิดใดก็ตามที่มีความชื้นประมาณ 45-55% ที่ถูกเก็บหมักไว้ในไซโล (Silo) ชนิดที่ไม่มีอากาศ วัตถุแห้งของ haylage จะมีเท่ากับ หรือบางทีอาจมีมากกว่าหญ้าแห้งที่ทำจากพืชเดียวกัน

18. Limiting factor (ปัจจัยจำกัดการใช้ประโยชน์ของอาหาร) หมายถึง สิ่งที่มีอยู่หรือไม่มีในวัตถุดิบอาหารสัตว์ และเป็นตัวจำกัดปริมาณการใช้ประโยชน์ของอาหารชนิดนั้น ๆ ซึ่งอาจมีมากหรือน้อยเกินไป เช่น ข้าวโพด มีกรดอะมิโนไลซีนต่ำ และกากถั่วลิสงมีกรดอะมิโนอาร์จินีนมาก ทำให้การนำไปใช้ ไม่ได้รับผลเต็มที่

19. Mash feed (อาหารป่น) หมายถึง อาหารที่สำเร็จรูปอยู่ในรูปป่น โดยผสมจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่บดแล้ว คลุกให้เข้ากัน

20. Nutrients (สารอาหารหรือโภชนะ) หมายถึง สารเคมี หรือกลุ่มสารเคมีที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ประกอบขึ้นเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ในธรรมชาติหรือนำไปสังเคราะห์เป็นอาหารสัตว์ เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้วทำให้สัตว์มีชีวิตตามปกติ ในทางอาหารสัตว์แบ่งโภชนะออกเป็น 6 อย่าง ตามความใกล้เคียงกัน โภชนะแต่ละอย่างมีหน้าที่โดยเฉพาะเจาะจงในการเสริมสร้างชีวิตสัตว์ โภชนะ 6 อย่างมีดังต่อไปนี้

20.1 น้ำ (water)

20.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

20.3 โปรตีน (protein)

20.4 ไขมันและสารที่คล้ายไขมัน (lipid)

20.5 แร่ธาตุ (mineral or ashe)

20.6 วิตามิน (vitamin)

21. Pasture (ทุ่งหญ้าหรือแปลงหญ้า) หมายถึง กลุ่มของพืชซึ่งขึ้นอยู่บนพื้นที่ที่จะปล่อยให้สัตว์ลงเล็มกิน ทุ่งหญ้าจึงเป็นแหล่งอาหารหยาบที่ใหญ่ที่สุด

22. Pelleted feed (อาหารอัดเม็ด) หมายถึง อาหารผสมที่อัดเป็นเม็ดหรือเป็นแท่งสั้น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์ได้รับอาหารและโภชนะครบถ้วน ไม่สามารถเลือกกิน ลดการเป็นฝุ่นและการสูญเสียจากการตกหล่น ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหาร ลดพื้นที่การบรรจุ และลดค่าขนส่ง

23. Premix (อาหารผสมล่วงหน้า) หมายถึง ส่วนผสมของแหล่งอาหารปลีกย่อยหลายชนิด ซึ่งจะผสมกับตัวเจือจางไว้ล่วงหน้า ก่อนนำมาผสมกับวัตถุดิบอาหารอื่น ๆ เพื่อให้อาหารปลีกย่อยเหล่านั้นคลุกเคล้าปนกับอาหารอื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น เช่น วิตามินพรีมิกซ์ แร่ธาตุพรีมิกซ์

24. Ration หมายถึง ปริมาณของอาหารที่กะไว้ให้สัตว์กินภายใน 1 วัน (24 ชั่วโมง) ในบางครั้งอาจหมายถึงอาหารทั่ว ๆ ไป เช่น อาหารที่ใช้ขุนสัตว์เราก็เรียกว่า fattening ration ปริมาณอาหารที่จะให้สัตว์กินภายใน 1 วันจะให้สัตว์กินครั้งเดียวหมดหรือหลายครั้งก็ได้

25. Roughages (อาหารหยาบ) หมายถึง อาหารที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นของโภชนะต่ำเมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก เป็นอาหารที่มีเยื่อใยสูง โดยมีเยื่อใยมากกว่า 18% และมีค่าทีดีเอ็น ต่ำกว่า 60% (เมื่อทำให้แห้ง) อาหารพวกนี้อาจทำมาในรูปที่แห้งแล้ว เช่น หญ้าแห้ง ฟางข้าว หรือเป็นอาหารที่ยังสดอยู่ เช่นหญ้าสด ต้นถั่วสด หรือเป็นอาหารที่หมักไว้ เช่นหญ้าหมัก

อาหารบางชนิด เป็นได้ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ เช่น ใบกระถินเมื่อยังสดอยู่เป็นอาหารหยาบ แต่ถ้าตากให้แห้งบดให้สัตว์กิน กลายเป็นอาหารข้น

26. Silage (พืชอาหารสัตว์หมัก) หมายถึงส่วนของต้นพืชที่เก็บไว้ในสภาพอวบน้ำ โดยเก็บไว้ในที่ที่ไม่มีอากาศเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ตามปกติหญ้าหมักจะมีวัตถุแห้งประมาณ 25-30% และมีความชื้นประมาณ 65-70%

27. Soiling crops or Soilage (พืชอาหารสัตว์สด) หมายถึงพืชอาหารสัตว์ที่ตัดมาให้สัตว์กินในสภาพที่ยังสดอยู่ เช่น หญ้าหรือถั่วที่ตัดมาให้สัตว์กินสด ๆ ถึงคอก

28. Unidentified growth factor; UGF (ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตแต่จำแนกไม่ได้) หมายถึง สารบางชนิดที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ตามธรรมชาติมีผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ แต่ไม่สามารถแยกองค์ประกอบหรือไม่ทราบกลไกที่สารออกฤทธิ์ เช่น ในยีสต์ หรือน้ำปลา

บทที่ 3
ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์และอาหารสัตว์

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางเคมีและสรีรวิทยาหลายอย่างในร่างกายสัตว์ ร่างกายของสัตว์จะทำการเปลี่ยนอาหารให้ไปเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรจะได้เรียนรู้ถึงส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ไว้บ้างพอสมควร

ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ (Composition of the animal body)

John B. Lawes และ Joseph H. Gilbert นักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงของอังกฤษสองท่าน ได้เป็นผู้ที่เริ่มทำการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ หลังจากนั้นมาก็มีนักวิทยาศาสตร์ท่านอื่น ๆ ได้ศึกษาส่วนประกอบร่างกายไปในแนวเดียวกัน จนปัจจุบันทำให้เราทราบถึงส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ยังมีอายุแตกต่างกัน และได้รับอาหารต่าง ๆ กัน ดังตารางที่1

ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ (Percentage gross composition of the animal body)

ชนิดของสัตว์ (Species)	น้ำ (Water)	โปรตีน (protein)	ไขมัน (Fat)	แร่ธาตุ (Mineral matter)
โคหนุ่มตอน (steer)	54	15	26	4.6
สุกรตอน (hog)	58	15	24	2.8
แกะ (sheep)	60	16	20	3.4
แม่ไก่ (hen)	56	21	19	3.2
แม่ม้า (mare)	60	17	17	4.5
คน (man)	69	18	18	4.3

ที่มา: Maynard and Loosli (1969)

1. น้ำและสารอินทรีย์ (water and organic substances)

ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์มักผันแปรได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุ สภาพของอาหารที่ได้รับ จนกระทั่งแม้แต่ความแตกต่างเฉพาะตัวของสัตว์เอง ร่างกายสัตว์จะมีน้ำ เป็นองค์ประกอบอยู่ไม่มาก ก็น้อย แต่เปอร์เซ็นต์ของน้ำภายในร่างกายสัตว์จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น โคและกระบือ จะมีน้ำภายในร่างกาย ดังต่อไปนี้

ตัวอ่อน (embryo) หลังจากผสมติดมีน้ำ 95%
ขณะเกิดออกมามีน้ำ 75 – 80%
อายุ 5 เดือนมีน้ำ 66 – 72%
เมื่อเติบโตเต็มที่มีน้ำ 50 – 60%

สำหรับสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของร่างกายสัตว์ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

1.1 โปรตีน พบอยู่ตามเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ จึงถือว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของเซลล์ ในร่างกายสัตว์โปรตีนพบอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ และตามส่วนที่อ่อนนุ่ม เช่น ตามกล้ามเนื้อ เอ็น และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

1.2 ไขมัน เป็นองค์ประกอบของร่างกายจะพบอยู่ในรูปของไขมันในเนื้อเยื่อออดิโพส (adipose tissues) หรือไขมันสะสม (fat depot) ซึ่งจะอยู่ตามใต้ผิวหนัง อยู่รอบ ๆ ลำไส้ อยู่รอบ ๆ ไต และอวัยวะอื่น ๆ นอกจากนี้อาจพบไขมันอยู่ตามกล้ามเนื้อ กระดูก และส่วนอื่น ๆ

1.3 คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตพบมีอยู่ในร่างกายสัตว์น้อยมาก ฉะนั้นในตารางจึงไม่ได้แสดงไว้ ทั้งนี้เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจะถูกนำไปใช้อยู่ตลอดเวลา คาร์โบไฮเดรตในร่างกายสัตว์พบตามตับ กล้ามเนื้อ และเลือดของสัตว์

2. ส่วนประกอบพวกแร่ธาตุ (mineral composition)

ร่างกายสัตว์ประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ซึ่งพบอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ ปริมาณที่มีอยู่จะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของแร่ธาตุเช่นนั้น ๆ เป็นสำคัญ แร่ธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ มีดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์แร่ธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบของร่างกายสัตว์

แร่ธาตุ	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม (calcium)	1.33
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	0.74
โซเดียม (sodium)	0.16
โปแตสเซียม (potassium)	0.19
คลอรีน (chlorine)	0.11
แมกนีเซียม (magnesium)	0.041
ซัลเฟอร์ (sulfur)	0.15

ข้อมูลที่ได้มาจากการหาผลเฉลี่ยของการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของวัวตัวผู้ จำนวน 18 ตัว ซึ่งมีอายุต่าง ๆ กัน โดยหามาจากส่วนประกอบตลอดทั่วทั้งร่างกาย ยกเว้นทางเดินอาหาร (digestive tract) ไม่ได้หาไว้ แต่ทางเดินอาหารจะมีแร่ธาตุอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เราจะเห็นได้ว่านอกจากแคลเซียมแล้ว แร่ธาตุชนิดอื่นมักจะมีจำนวนน้อย คือคิดเปอร์เซ็นต์ไม่ได้ แต่ทั้งที่มีอยู่น้อยเช่นนี้ แร่ธาตุดังกล่าวก็มีความสำคัญสำหรับชีวิตสัตว์ สำหรับสัตว์ชนิดอื่นๆ ก็มีชนิดแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบของร่างกายเช่นเดียวกับของวัวตัวผู้ แต่จะแตกต่างกันตรงปริมาณของแร่ธาตุเท่านั้น

2.1 แคลเซียม แร่ธาตุชนิดนี้มีอยู่เป็นจำนวนมากในร่างกายสัตว์ ส่วนใหญ่พบตามกระดูกและฟัน และจะอยู่ในรูปของฟอสเฟต (phosphate) และคาร์บอเนต (carbonate)

2.2 ฟอสฟอรัส มักจะรวมตัวอยู่กับแคลเซียมเพื่อเป็นส่วนประกอบของโครงร่าง ประมาณ 80% ของฟอสฟอรัสจะอยู่ที่โครงร่างของสัตว์ ส่วนที่เหลืออีก 20% จะเป็นส่วนประกอบโปรตีน ไขมัน และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts)

2.3 โซเดียม โปแตสเซียม และคลอรีน จะอยู่ในร่างกายของสัตว์ในรูปเกลืออนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ คืออยู่ตามส่วนที่เป็นของเหลวในร่างกายสัตว์

2.4 แมกนีเซียม ส่วนใหญ่จะอยู่ตามกระดูก แต่พบแมกนีเซียมตามส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย

2.5 ซัลเฟอร์ จะอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลของโปรตีน (the protein molecule)

นอกจากแร่ธาตุที่กล่าวมาแล้ว ยังมีแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ ในร่างกายสัตว์ แต่แร่ธาตุเหล่านี้มีจำนวนเพียงเล็กน้อย เช่น ไอโอดีน ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โคบอลท์ เหล็ก และฟลูออรีน แร่ธาตุพวกนี้จะเป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงร่างหรือที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตะโบลิซึม นอกเหนือจากนี้ก็มีแร่ธาตุโบรอน ซิลิคอน โบรมีน อะลูมินั่ม นิเกิล และอาร์เซนนิค พบมีอยู่ในร่างกายสัตว์ด้วย แต่ยังไม่ทราบหน้าที่ที่แท้จริง

3. เลือด (blood)

ร่างกายสัตว์ประกอบไปด้วยเลือดประมาณ 5-10% ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์และสภาพของอาหารที่ได้รับ

3.1 หน้าที่ของเลือด (functions of the blood)

เลือดมีหน้าที่สำคัญ ๆ ในร่างกายสัตว์ ดังนี้

3.1.1 นำอาหารจากทางเดินอาหารไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ

3.1.2 นำออกซิเจนจากปอดไปสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ

3.1.3 นำของเสีย (waste products) ที่เกิดจากการเมตะโบลิซึมของเนื้อเยื่อไปสู่อวัยวะที่มีหน้าที่ขับของเสียออกจากร่างกาย

3.1.4 นำสิ่งที่ขับออกมาจากต่อมไร้ท่อ (endocrine or ductless glands) เช่น พวกฮอร์โมน ไปยังเนื้อเยื่อ

3.1.5 รักษาความสมดุลของน้ำภายในร่างกายสัตว์

3.16 ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

3.17 ช่วยต่อต้านพวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ

3.18 เกี่ยวข้องกับการควบคุมความเข้มข้นของอิออนไนโตรเจน (hydrogen ion concentration) ในร่างกายสัตว์

3.2 ส่วนประกอบของเลือด

เลือดประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่าพลาสมา (plasma) และส่วนที่เป็นเม็ดเลือดหรือเซลล์ (corpuscles or cells) ซึ่งจะลอยตัวอยู่ในพลาสมา ส่วนที่เป็นเซลล์ได้แก่เม็ดเลือดแดง (erythrocytes or red blood cells) เม็ดเลือดขาว (leukocytes or white blood cells) และแผ่นเลือด (thrombocytes or platelets) ส่วนที่เป็นพลาสมาจะมีของแข็งประมาณ 10% ครึ่งหนึ่งของของแข็งจะเป็นพวกโปรตีน ส่วนที่เหลือครึ่งหนึ่งเป็นพวกไขมัน, น้ำตาล, สารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน แต่มีไนโตรเจนอยู่ด้วย (non-protein nitrogenous compounds) และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts) แร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ โซเดียม คลอรีน โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่น ๆ ส่วนประกอบของพลาสมา พอจะเขียนแสดงได้ดังนี้

1. น้ำ

2. ก๊าซ
   - ออกซิเจน
   - คาร์บอนไดออกไซด์
   - ไนโตรเจน

- อัลบูมิน (albumin)

3. โปรตีน กลูบูมิน (globulin)
ไฟบริโนเจน (fibrinogen)

4. กลูโคส แลคโตส และไพรูเวท

5.ลิพิด
- ไขมัน
- เลคซิติน (lecithin)
- คลอเลสเตอรอล (Cholesterol)

6. สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน
- ยูเรีย
- กรดอะมิโน
- ครีเอทีน (creatine)
- ครีเอทินีน (creatinine)
- เกลือแอมโมเนียม
- อื่นๆ

7. สารอนินทรีย์
- โซเดียม
- โปแตสเซียม
- แคลเซียม
- แมกนีเซียม
- ไอรอน
- คลอไรด์
- ซัลเฟต
- ฟอสเฟต
- แมงกานีส
- โคบอลท์
- คอปเปอร์
- สังกะสี
- ไอโอดีน

(โคบอลท์ ถึง ไอโอดีน: แร่ธาตุที่ต้องการน้อยหรือต้องการน้อยมาก)

8. เอนไซม์ ฮอร์โมน วิตามิน เม็ดสี และอื่นๆ

ส่วนประกอบของพืช (Composition of plants)

อาหารเป็นแหล่งที่ให้โภชนะต่าง ๆ แก่สัตว์ สัตว์รับเอาโภชนะต่าง ๆ ไปใช้ในการซ่อมแซม, ใช้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย และใช้ในการสร้างผลิตผลต่าง ๆ เช่นเนื้อ นม ไข่ และขนสัตว์ นอกจากนี้อาหารยังเป็นแหล่งให้พลังงาน อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่จะได้มาจากทางพืช แต่ก็มีสัตว์บางชนิดเท่านั้นที่กินเนื้อเป็นอาหาร ฉะนั้นแทบจะกล่าวได้ว่าพืชเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญในการดำรงชีพของสัตว์ พืชรับพลังงานจากแสงแดดเอาไปสร้างเป็นสารอาหารซึ่งจะเป็นอาหารสำหรับสัตว์ พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ไนเตรต และเกลือแร่อื่น ๆ ในการสร้างคาร์โบไฮโดรต ไขมัน และโปรตีน สัตว์จะใช้โภชนะดังกล่าวในการเสริมสร้างร่างกายและนำโภชนะไปทำให้เกิดการสลายตัวดูดซึมไปใช้ในการดำรงชีวิต

พืชประกอบด้วยสารต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่พบในร่างกายสัตว์ แต่ปริมาณที่มีอยู่จะแตกต่างกัน พืชต่างชนิด (species) ก็ยิ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันได้มาก พืชทุกชนิดจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ จำนวนน้ำในพืชจะลดลงเมื่อพืชแก่ตัว ข้อแตกต่างระหว่างส่วนประกอบของพืชและสัตว์คือ วัตถุแห้ง (dry matter) วัตถุแห้งของพืช ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ก็เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างพืช และเป็นแหล่งสำรองอาหารของพืช แต่ในสัตว์นั้นโครงสร้างประกอบด้วยโปรตีนโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม (soft tissues) ในร่างกายสัตว์พบว่า มีคาร์โบไฮเดรตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เช่นพบตามตับ กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อ คาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์ เพราะเป็นแหล่งให้พลังงานแก่สัตว์ และสัตว์ยังสามารถเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นไขมัน เก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

โปรตีนจะพบในเนื้อเยื่อเจริญของพืช ดังนั้นในใบพืชจึงมีโปรตีนมากกว่าในต้นพืช ในใบของพืชตระกูลถั่วจะมีโปรตีนมากกว่าในใบของพืชตระกูลหญ้า เมื่อพืชแก่ตัว โปรตีนที่อยู่สูงตามส่วนต่าง ๆ จะเคลื่อนตัวไปอยู่ที่เมล็ดพืช ดังนั้นเมื่อพืชโตเต็มที่ เมล็ดพืชจะมีโปรตีนมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของพืช

ไขมัน พบมากในใบพืชมากกว่าในลำต้นพืช แต่ไขมันพบมีมากที่สุดในเมล็ดพืช ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพืชเก็บไขมันไว้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในการงอก ในพืชหลายชนิดเช่น ข้าวโพด และธัญพืชอื่น ๆ (cereals) จะเก็บพลังงานไว้ในรูปของคาร์โบไฮเดรต แต่สำหรับเมล็ดพืชน้ำมัน เช่นเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดฝ้ายจะเก็บพลังงานไว้ในรูปของการสกัดน้ำมัน เช่นกากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ เมล็ดพืชน้ำมันนอกจากมีน้ำมันสูงแล้วยังมีโปรตีนสูงกว่าโปรตีนในเมล็ดธัญพืช

ยกเว้นพืชน้ำมัน ผลิตผลที่ได้จากพืชทุกชนิดส่วนใหญ่จะได้ในรูปคาร์โบไฮเดรต รูปของคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของพืชจะแตกต่างกัน เช่น คาร์โบไฮเดรตที่พบอยู่ตามเมล็ดจะอยู่ในรูปของแป้ง (starch) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนลำต้น และใบจะมีเซลลูโลสมาก ตามเปลือกนอกของเมล็ด ประกอบด้วยเซลลูโลสและสารประกอบอื่น ๆ ที่ย่อยยาก ในทางอาหารสัตว์จัดเซลลูโลสและสารที่ย่อยยากไว้เป็นพวกเยื่อใย ส่วนต่าง ๆ ของพืชจะมีคุณค่าทางอาหารมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับการที่สัตว์สามารถจะย่อยได้มากหรือน้อย อาหารที่มีเยื่อใยสูง เช่น หญ้าแห้ง ฟางข้าว และหญ้าสดมักมีการย่อยได้ต่ำ อาหารพวกนี้จัดไว้เป็นอาหารหยาบ ส่วนอาหารข้นเป็นอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ การย่อยได้จึงสูงกว่าอาหารหยาบ

แร่ธาตุที่มีอยู่ในพืชมีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พืชชนิดเดียวกันมีแร่ธาตุอยู่ตามส่วนต่าง ๆ แตกต่างกัน เปรียบเทียบระหว่างพืชและสัตว์แล้ว ร่างกายสัตว์มีปริมาณแร่ธาตุมากกว่าในพืช แม้ว่าพืชจะมีแร่ธาตุอยู่น้อย แต่แร่ธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แร่ธาตุที่สำคัญในพืชเช่น ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียมนอกจากนี้ก็มีแร่ธาตุที่จำเป็นชนิดอื่น ๆ พืชได้รับแร่ธาตุจากพื้นดินในรูปของสารละลายพวกเกลือแร่ โดยการดูดซึมผ่านทางรากพืช แร่ธาตุที่พบส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ เช่น ซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ซึ่ง ฟอสโฟลิพิดจะ

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรโตพลาสซึม (protoplasm) แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ คลอโรฟิวล์ (chlorophyll) สำหรับธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นแร่ธาตุสำคัญสำหรับสัตว์นั้น ในพืชพบแคลเซียมในใบมากกว่าส่วนที่เป็นลำต้น เมล็ดพืชมีแคลเซียมน้อยกว่าส่วนอื่น ๆ ของพืช ตรงกันข้ามธาตุฟอสฟอรัสจะพบว่ามีมากในเมล็ด ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในพืชจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับดินที่ใช้ปลูกพืชและปัจจัยอื่น ๆ

บทที่ 4
การจำแนกประเภทของอาหารสัตว์

องค์ประกอบของอาหารสัตว์

อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์มีมากมายหลายชนิด แต่อาหารทุกชนิดจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ น้ำ และวัตถุแห้ง

1. น้ำหรือความชื้น (water or moisture)

อาหารทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบไม่มากก็น้อย เช่น หญ้าสด ข้าวโพดสด รวมทั้งพืชอาหารสัตว์หมัก กลุ่มนี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง แต่พืชอาหารสัตว์ตากแห้ง อาหารกลุ่มกระดูกป่น วิตามิน และแร่ธาตุ มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อย

2. วัตถุแห้ง (dry matter, DM)

คือส่วนของอาหารที่ได้ทำการไล่น้ำออกไปจนหมดสิ้นแล้ว ส่วนที่เป็นวัตถุแห้งเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และวิตามินต่าง ๆ

2.1 สารอินทรีย์ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มมีไนโตรเจน และกลุ่มไม่มีไนโตรเจน โดยกลุ่มมีไนโตรเจนแบ่งย่อยเป็นกลุ่มโปรตีนและกลุ่มไม่ใช่โปรตีน ส่วนกลุ่มไม่มีไนโตรเจนแบ่งเป็นไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่กลุ่มแร่ธาตุต่าง ๆ

2.3 วิตามินต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินชนิดละลายได้ในน้ำ และวิตามินชนิดละลายได้ในไขมัน

ส่วนประกอบของอาหารอาจแสดงโดยยึดถือวัตถุแห้งเป็นหลักได้ดังต่อไปนี้

As fed บางทีเรียกว่า wet or fresh basis (สภาพที่ยังสดอยู่) โดยยึดหลักว่าอาหารมีวัตถุแห้งตั้งแต่ 0 - 100%

Air dry โดยยึดหลักว่าอาหารจะมีวัตถุแห้ง 90% วิธีนี้มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบอาหารที่มีความชื้นแตกต่างกันส่วนมากการให้อาหารจะให้อาหารในสภาพ Air – dry แก่สัตว์

Oven dry โดยยึดหลักว่าอาหารไม่มีน้ำอยู่เลยหรือมีวัตถุแห้ง 100% วิธีนี้ก็มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบอาหารที่มีความชื้นแตกต่างกัน

โดยการยึดหลักทั้งสามที่กล่าวมา สามารถแสดงส่วนประกอบของอาหารได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมี	As fed	Air – dry	Oven-dry
น้ำ (water)	ปริมาณน้ำขึ้นกับวัตถุดิบนั้นๆ	ปกติ 10%	0
โปรตีน (crude protein) ไขมัน (crude fat) เยื่อใย (crude fiber) คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen free extract, N F E) แร่ธาตุ (ash)	ส่วนนี้ทั้งหมดเป็นวัตถุแห้งหาได้จาก 100-% น้ำ	ปกติ 90%	100%

การคำนวณหาส่วนประกอบของอาหาร โดยการยึดถือวัตถุแห้งเป็นหลัก คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\frac{\%\text{ ส่วนประกอบในอาหาร (สภาพใดๆที่กำหนดให้)}}{\%\text{ วัตถุแห้งในอาหารนั้น (เหมือนสภาพที่กำหนดให้)}} = \frac{\%\text{ ส่วนประกอบในอาหาร (สภาพอื่นๆที่ต้องการหา)}}{\%\text{วัตถุแห้งในอาหาร (เหมือนสภาพที่ต้องการหา)}}$$

ตัวอย่าง ถ้าอาหารมีโปรตีน 4 % ในสภาพสด (on fresh basis) และมีน้ำ 75% จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนในสภาพแห้งตามธรรมชาติ (on air-dry basis) ว่ามีอยู่เท่าไร

วิธีคำนวณ วัตถุแห้งของอาหารในสภาพสด (on fresh basis) = 100 – 75 = 25 %

ดังนั้นในสภาพแห้งตามธรรมชาติ (on air-dry basis)จะมีโปรตีนเท่ากับ

$$\frac{4}{25} = \frac{x}{90}$$

$$25x = 360$$

$$x = 14.4\ \%\text{ (on air – dry basis)}$$

การแบ่งประเภทของอาหาร (classification of feeds)

อาหารสัตว์แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ

1. อาหารข้น (concentrates)

1.1 อาหารข้นกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbonaceous concentrates)

เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง ส่วนใหญ่ได้จากเมล็ดพืชหรือผลิตผลพลอยได้ (by products) อาหารกลุ่มนี้มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 20% และมีเยื่อใยต่ำกว่า 18%

ลักษณะทั่วไปของอาหารข้นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมีดังนี้

- มีพลังงานสูง (TDN หรือ NE)
- มีเยื่อใยต่ำ
- มีโปรตีนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมัน
- คุณค่าของโปรตีนผันแปรและโดยทั่วไปมีคุณภาพของโปรตีนค่อนข้างต่ำ
- ระดับของแร่ธาตุ มีธาตุฟอสฟอรัสพอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอาหารสัตว์ แต่มีธาตุแคลเซียมต่ำ
- ระดับของวิตามิน มีวิตามิน ดี และวิตามิน เอ ต่ำ ยกเว้นข้าวโพดเหลือง มีวิตามิน บี 1 สูง มีวิตามิน บี 2 บี 12 และแพนโททีนิคต่ำ มีไนอาซีนสูง แต่เป็นไนอาซีนที่อยู่ในรูปเอาไปใช้ได้ยาก มีวิตามิน อี พอสมควร

1.2 อาหารข้นกลุ่มโปรตีน (pertinacious concentrates)

เป็นอาหารที่ใช้เสริมโปรตีนให้แก่สัตว์ อาหารกลุ่มนี้มีความสำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์มาก เพราะอาหารข้นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและอาหารหยาบนั้นมีโปรตีนต่ำ ซึ่งบางครั้งไม่พอกับ ความต้องการของสัตว์ จึงจำเป็นต้องเสริม (supplements) อาหารข้นกลุ่มโปรตีนมีโปรตีนสูงกว่า 20% และมีเยื่อใยต่ำกว่า 18% มีแหล่งที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ

1.2.1 อาหารข้นกลุ่มโปรตีนที่ได้จากพืช (supplements of vegetable origin) เช่น กากถั่วเหลือง (soybean meal) กากถั่วลิสง (peanut meal) กากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal) การลินสิด (linseed meal), กากงา (sesame meal) เป็นต้น

1.2.2 อาหารข้นกลุ่มโปรตีนที่ได้จากทางสัตว์ (supplements of animal origin) เช่น เนื้อป่น (meat meal) เลือดป่น (blood meal) ปลาป่น (fish meal) ผลิตภัณฑ์นม (milk product) เป็นต้น

2. อาหารหยาบ (roughages)

เป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำและมีเยื่อใย มากกว่า 18 % อาหารหยาบแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 อาหารหยาบกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbonaceous roughages)

เป็นพืชในตระกูลหญ้า เช่น หญ้าต่าง ๆ ฟางข้าว ข้าวโพด และข้าวฟ่างหมัก เป็นต้น

2.2 อาหารหยาบกลุ่มโปรตีน (pertinacious roughages)

เป็นพืชในตระกูลถั่ว เช่น ถั่วแห้ง (legume hays) ถั่วหมัก (legume silage) ต้นถั่วต่าง ๆ เป็นต้น

3. วัตถุเสริม (Additive Materials) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

3.1 กลุ่มโภชนะ (nutrients) ได้แก่ วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ

3.2 กลุ่มไม่ใช่โภชนะ (no nutrients) ได้แก่ ยาปฏิชีวนะ (antibiotics) ฮอร์โมน และ ยาอื่นๆ (medicants)

ตัวอย่างของอาหารข้นประเภทต่างๆ

1. อาหารข้นกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbonaceous concentrates)

อาหารข้นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารให้พลังงาน หรือใช้เป็นอาหารฐาน (basal feeds) ในการผสมอาหาร อาหารข้นกลุ่มนี้ที่นิยมใช้มากได้แก่

1.1 รำข้าว (rice bran)

มีหลายชนิดเช่น รำข้าวอัดน้ำมัน ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมอัดน้ำมันจากรำเพื่อเอาน้ำมันไปเป็นอาหารของมนุษย์ รำที่อัดแล้วเรียกว่า รำอัดน้ำมันยังมีปลายข้าวอยู่บ้าง รำข้าวขาวหรือรำละเอียด เป็นรำข้าวที่ได้จากการสีข้าวและไม่ได้สกัดน้ำมัน รำละเอียดมีจมูกข้าวซึ่งอุดมไปด้วยโภชนะ รำละเอียดจะมีโปรตีนประมาณ 12 % (สูงกว่าข้าวโพด) นอกจากนี้รำละเอียดยังมีวิตามิน บี 1 และไนอาซีนสูง มีน้ำมันประมาณ 13 % และมีกลุ่มเยื่อใยราว 12 % เนื่องจากไม่ได้สกัดน้ำมันออก เมื่อเก็บรำชนิดนี้ไว้นาน ๆ จะมีการเหม็นหืน (rancidity) ปัจจุบันมีการใช้รำเป็นอาหารสัตว์มากโดยเฉพาะในการเลี้ยงไก่ การเลี้ยงสุกร

1.2 ปลายข้าว (rice broken)

ปลายข้าวเป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีราคาไม่แพงนัก คุณภาพใกล้เคียงกับข้าวโพด ให้พลังงานสูง ในสุกรมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3, 596 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในสัตว์ปีก3, 500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในการผสมอาหารสัตว์ปีกอาจใช้สัดส่วนของปลายข้าวเท่ากับข้าวโพดหรือต่างกันก็ได้ โดยพิจารณาถึงราคาเป็นหลัก ปลายข้าวจะมีโปรตีนประมาณ 8 % มีไขมันและเยื่อใยต่ำ เก็บไว้ใช้ได้นานโดยไม่หื่น

1.3 ข้าวโพด (cone)

ข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในบ้านเรา ปัจจุบันเป็นข้าวโพดเหลือง (yellow corn) ลูกผสมสายพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งให้ผลผลิตสูง ข้าวโพดดังกล่าวมีคุณค่าทางอาหารไม่แตกต่างกันนัก เวลาใช้เป็นอาหารสัตว์ถ้าบดควรบด และใช้ทันที ไม่ควรบดแล้วเก็บไว้นาน ๆ เพราะจะทำไขมันในข้าวโพดเกิดการเหม็นหืน ทำให้สัตว์ไม่ชอบกิน และอาจมีราก<u>ลุ่ม Aspergillus flavus</u> ซึ่งผลิตสารอะฟลาทอกซินที่เป็นพิษต่อสัตว์ ข้าวโพดเป็นอาหารสำคัญอย่างหนึ่งของไก่กระทงเพราะย่อยได้ง่ายกว่าเมล็ดธัญพืชอื่น ๆ ข้าวโพดมีวิตามิน เอ สูง ช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้น มีกรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์ คือ linoleic สูง โดยทั่วไปข้าวโพดจะมีโปรตีนประมาณ 8.8 % มีไขมัน 7-9% ข้อเสียของข้าวโพดก็คือมีแคลเซียมค่อนข้างต่ำ มี riboflavin และ pantothenic acid ต่ำ มักขาดวิตามิน บี. 12 นอกจากนี้ยังขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อสัตว์ 3 ชนิด คือ เมทไธโอนีน, ไลซีน และ ทริฟโตเฟน

1.4 ข้าวฟ่าง (sorghum grain)

ข้าวฟ่างมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 70% ซึ่งเป็นจำนวนใกล้เคียงกับคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวและข้าวโพด จำนวนโปรตีนในข้าวฟ่างมีมากกว่าจำนวนโปรตีนในข้าวโพดเพียงเล็กน้อย (แต่เป็นโปรตีนชนิดให้ประโยชน์น้อย) วิตามินบีรวมมีเท่ากับข้าวโพดแต่มีไนอาซีนสูงกว่าข้าวโพด ข้อเสียของข้าวฟ่างคือขาดแคโรทีน (carotene) และข้าวฟ่างบางพันธุ์มีแทนนิน (tannin) สูง การย่อยได้ของข้าวฟ่างต่ำกว่าข้าวโพด นอกจากนี้ข้าวฟ่างมีแคลเซียมต่ำ อาจใช้ข้าวฟ่างได้บ้างถ้าราคาถูกกว่าปลายข้าวและข้าวโพด ข้าวฟ่างมีการย่อยได้ของโภชนะทั้งหมด (TDN) ต่ำกว่าข้าวโพด โดยข้าวฟ่างมี TDN 75 – 80 % ขณะที่ ข้าวโพดมีTDN 80%

1.5 มันสำปะหลังแห้ง (cassava)

มันสำปะหลังเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง แต่มีโปรตีนและไขมันต่ำมาก ราคาถูกกว่าปลายข้าวและข้าวโพด โดยทั่วไปอยู่ในรูปของมันเส้นซึ่งเป็นการนำหัวมันสดมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้งประมาณ 3-5 วัน ส่วนมันสำปะหลังที่ส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศมักจะอยู่ในรูปของมันอัดเม็ด มันสำปะหลังมีวัตถุแห้งประมาณ 75-80% มีพลังงานใกล้เคียงกับข้าวโพด มีโปรตีนประมาณ 2.8 % ไขมัน 0.5 % N F E 84 % เยื่อใย 3.4% และแร่ธาตุ 5% ในหัวมันและใบมันสดมีกรดไฮโดรไซยานิคหรือกรดพรัสสิด ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์ แต่สามารถทำลายหรือลดความเป็นพิษได้โดยความร้อน เช่น การผึ่งแดด อาการของสัตว์ที่ได้รับสารพิษจากมันสำปะหลังจะคล้ายๆกับอาการเป็นพิษจากการได้รับยูเรียในปริมาณมาก เยาวมาลย์และสาโรจน์ (2519) พบว่ามันสำปะหลังอัดเมล็ดที่เสริมด้วยเมทไธโอนีนใช้แทนข้าวโพดได้ถึง 30% ในอาหารไก่กระทง ในสูตรอาหารสุกรเล็กและลูกไก่เล็กไม่ควรใช้เกิน 20%

2. อาหารข้นกลุ่มโปรตีน (proteinaceous carbohydrates)

ส่วนใหญ่เป็นอาหารที่ใช้เสริมโปรตีน (protein supplements) อาหารข้นกลุ่มโปรตีน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 อาหารข้นกลุ่มโปรตีนที่ได้จากพืช ที่สำคัญ เช่น

2.1.1 กากถั่วเหลือง (soybean meal)

เป็นแหล่งสำคัญของโปรตีนจากพืช ใช้มากในอาหารสัตว์ กากถั่วเหลืองมีโปรตีนสูงแต่อาจจะมีกรดอะมิโนที่สำคัญบางอย่างต่ำ เช่น เมทไธโอนีน และ ไลซีน นอกจากนี้กากถั่วเหลืองมีวิตามินบี 12 ต่ำ ถั่วเหลืองดิบไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะมีสารต่อต้านการใช้ประโยชน์ของโปรตีน คือ anti-trypsin หรือ trypsin inhibitor สารนี้จะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) ไม่ให้ย่อยโปรตีน แต่เมื่อให้ความร้อน 100-120 °C เวลา 15-20 นาที จะทำลายสารนี้ได้ กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกโดย กรรมวิธีทางเคมีจะมีโปรตีนประมาร 44 % ไขมัน 1 % แต่กากถั่วเหลืองชนิดที่สกัดน้ำมันออกโดยการอัดเป็นแผ่น ๆ จะมีโปรตีนราว 41 % ไขมัน 5-6 % กากถั่วเหลืองชนิดโปรตีน 44 % ให้ ME = 2,260 กิโลแคลอรี / ก.ก. ส่วนชนิด 50 % ให้ ME = 2,440 กิโลแคลอรี / ก.ก. โดยทั่วไปกากถั่วเหลืองจะมีเยื่อใยต่ำ คือมีไม่มากกว่า 7 % มี TDN 71-80 % มีแคลเซียมต่ำประมาณ 0.29 % และมีฟอสฟอรัสพอสมควร ประมาณ 0.63 %

2.1.2 กากถั่วลิสง (peanut meal)

กากถั่วลิสงมีโปรตีนแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งที่ปลูก ประโยชน์ของกากถั่วลิสงใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง กากถั่วลิสงชนิดอัดน้ำมันดีกว่าชนิดสกัดน้ำมันด้วยวิธีเคมี ในกากถั่วลิสงมีแคลเซียมต่ำ และมีฟอสฟอรัสเพียงครึ่งหนึ่งของกากเมล็ดฝ้าย เช่นเดียวกับเมล็ดถั่วชนิดอื่น ๆ คือ กากถั่วลิสงไม่มีแคโรทีน ไม่มีวิตามินดี มี ไรโบฟลาวินต่ำ มีวิตามินบี 1 ปานกลาง แต่มีไนอาซีนสูงมาก ตามปกติกากถั่วลิสงจะมีโปรตีน 40 ถึง 48% มีเยื่อใยประมาณ 13 % ขาดความสมดุลของ กรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไลซีน และ เมทไธโอนีน อันตรายที่อาจเกิดจากการให้กากถั่วลิสงที่มีเชื้อรา เช่น เชื้อ Aspergillus flavus ทำให้เกิดอะฟลาทอกซิน ซึ่งเป็นพิษแก่สัตว์ ควรจะได้ระมัดระวังการใช้กากถั่วลิสงอย่าให้เกิดเชื้อราดังกล่าว การใช้กากถั่วลิสงในอาหารสุกร และอาหารสัตว์ปีกสามารถใช้แทนกากถั่วเหลืองได้ 5-10 % อาหาร หรือ 30-50 % ของกากถั่วเหลือง สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องการใช้กากถั่วลิสงมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับการใช้กากถั่วเหลือง การเก็บรักษากากถั่วลิสงให้มีคุณภาพดี ไม่เกิดการเหม็นหืน ควรเก็บไว้ไม่เกิน 6 สัปดาห์

2.1.3 กากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal)

กากฝ้ายมีโปรตีนประมาณ 20-40 % ซึ่งขึ้นอยู่กับการเอาเปลือกออกหรือไม่ กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารโปรตีนที่มีราคาถูก กากฝ้ายมี TDN 61-70 % มีเยื่อใย 10-14 % มีแคลเซียมต่ำประมาณ

0.16 % แต่มีฟอสฟอรัสสูง 1.2 % คุณภาพโปรตีนในกากเมล็ดฝ้ายต่ำ ฉะนั้น จึงใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสุกรและอาหารสัตว์ได้ไม่มากนัก อันตรายที่เกิดจากการใช้กากฝ้ายเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีกคือ ในกากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษที่เรียกว่า กอซซิพอล (gossypol) ปริมาณ 0.03-0.2 % โดยเฉพาะเมื่อใช้เลี้ยงสัตว์ดังกล่าวขณะมีอายุน้อย เช่น ใช้เลี้ยงลูกไก่และลูกสุกร ไก่กระทงจะไม่กระทบกระเทือนถ้าระดับกอซซิพอล ที่ได้รับมีเพียง 0.015 % ส่วนลูกสุกรสามารถทนทานต่อระดับกอซซิพอล ถึง 0.01 % การเติม เฟอรัส ซัลเฟต (ferrous sulfate) ลงไปในอาหารจะช่วยลดอันตรายจากพิษของกอซซิพอลการใช้เฟอรัส ซัลเฟต ใช้ในอัตรา 1:1 ของกอซซิพอลอิสระ ในการปฏิบัติทั่ว ๆ ไปสำหรับอาหารไก่จะใช้กากเมล็ดฝ้ายไม่เกิน 5 % ในอาหาร อาการเป็นพิษของกอซซิพอล จะมีอาการคล้าย ๆ กับโรคปอดบวม (pneumonia) การใช้กากเมล็ดฝ้ายมากกว่า 5 % ในอาหารไก่ไข่จะทำให้ไข่ขาวมีสีชมพูและไข่แดงเป็นสีแดงคล้ำ สีเขียวหรือสีน้ำตาล การใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ได้ดีและไม่เกิดเป็นพิษ

2.1.4 กากงา (sesame meal)

มีโปรตีนราว 40 % หรือมากกว่า หรือ ใกล้ เคียงกับจำนวนโปรตีนในกากถั่วเหลืองแต่คุณภาพโปรตีนสู้กากถั่วเหลืองไม่ได้ (ในแง่ที่จะใช้เสริมโปรตีนให้แก่สัตว์กลุ่มสุกรและสัตว์ปีก) หากากงามีมากหาได้ง่ายและราคาถูก สามารถใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนกับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เป็นอย่างดี ข้อดีของกากงาคือไม่เหม็นหืนได้ง่ายอย่างกลุ่มกากถั่ว

2.1.5 กากมะพร้าว (coconut meal)

ในบ้านเรากากมะพร้าวที่ใช้เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่สกัดน้ำมันออกโดยวิธีเคมี กากมะพร้าวมีราคาถูก กากมะพร้าวชั้นดีต้องมีสีขาวหรือสีน้ำตาลอ่อน และต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหืน ใช้ผสมในอาหารราว 2.5-5 % ในอาหารไก่ไข่ แต่อาจใช้สูงมากกว่านี้ถ้ามีอาหารโปรตีนที่ดีชนิดอื่นกากมะพร้าวผสมกับกากน้ำตาลเข้ากันได้ดี มีโปรตีน 21.8% เยื่อใย 12% ไขมัน 6.3%

2.1.6 ใบ กระถินป่น (leucaena leaf meal)

ใบกระถินป่นมีโปรตีน 20 % ไขมัน 4.2 % เยื่อใย 13.4 % แร่ธาตุ 13.8 % NFE 3.4 % และความชื้น 11.2 % ใบกระถินป่นใช้ในอาหารลูกไก่ได้ไม่เกิน 3 % ในอาหารไก่ใหญ่ใช้ไม่เกิน 7-8 % ถ้าใช้เกินกำหนดสารแอลคาลอย ซึ่งเรียกว่า มิโมซีน (memosine) จะทำให้ลูกไก่โตช้า การงอกของขนช้าและไม่เป็นผลดีต่อการไข่ ทำให้ขนไก่ร่วง การผสมพันธุ์ไม่ดี ในใบกระถินมี อาร์จินีน แคโรทีน , ไอโซลูซีน ไรโปฟลาวิน ไนอาซีน และเพนโททานิคสูง การใช้ใบกระถินป่นเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่เกิดอันตรายแต่ประการใด

2.2. อาหารข้นกลุ่มโปรตีนที่ได้จากสัตว์ ที่สำคัญได้แก่

2.2.1 ปลาป่น (fish meal)

ปลาป่นมีหลายชนิด และมีคุณภาพแตกต่างกัน ปลาป่นอาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิดตามวิธีการทำคือ

1) ปลาป่นเค็ม ได้แก่ปลาที่ดองเกลือหรือดองกับเกลือทำเป็นปลาเค็มก่อนแล้วจึงนำไปตากแห้ง ดังนั้นจึงมีเกลือสูงประมาณ 8-15 % ไม่เหมาะที่จะทำอาหารป่นแห้งเลี้ยงสัตว์ เพราะอาจเกิดเป็นพิษเนื่องจากเกลือสูงปลาป่นชนิดนี้มีโปรตีนสูงประมาณ 40-45 %

2) ปลาป่นกร่อย มีเกลือน้อยกว่าชนิดแรก คือ มีเกลือประมาณ 3-5 % ใส่ เกลือเพียงเพื่อป้องกันการเน่าเสียของปลา แล้วนำมาผึ่งแดดทำเป็นปลาป่น เมื่อใช้ปลาป่นชนิดนี้ไม่ควรเติมเกลือลงไปในอาหารอีก ข้อเสียของปลาป่นกร่อยคือ มีไขมันสูง และมีความชื้นสูง จึงเหม็นหืนได้ง่าย ระดับโปรตีนในปลาป่นกร่อยมีประมาณ 45-50 %

3) ปลาป่นจืดไม่อัดน้ำมัน คือ ปลาป่นที่นำปลาไปต้มเสียก่อนให้สุกพร้อมกับเติมเกลือ ลงไปเล็กน้อยขณะต้มแล้วจึงนำมาผึ่งแดดให้แห้ง ปลาป่นชนิดนี้ถ้าผลิตจากปลาที่นำมันน้อย เช่น ปลาปลาแป้น ปลาอกกะแล จะมีโปรตีนประมาณ 60 % และสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน แต่ถ้าผลิตจากปลาที่มีน้ำมันมาก เช่น ปลาทู อาจทำให้เหม็นหืนได้ง่าย มีความชื้นประมาณ 9-10 % ปลาป่นชนิดนี้มีคุณภาพดีกว่า 2 ชนิดแรก

4) ปลาป่นจืดอัดน้ำมัน นับเป็นปลาป่นที่มีคุณภาพดีที่สุดในกลุ่มปลาป่นด้วย กัน มีโปรตีนสูงกว่า 60 % ปลาป่นชนิดนี้มีวิธีการทำเช่นเดียวกันกับชนิดที่สาม แต่ก่อนจะนำปลาไปทำให้แห้ง คือ หลังจากต้มปลาให้สุก แล้วจะเอาปลานั้นเข้าเครื่องอัดเอาน้ำปลา และน้ำมันออก เสร็จแล้วนำไปทำให้แห้งโดยเร็ว ด้วยวิธีการตั้งบนกระทะหรือแผ่นโลหะ ที่มีความร้อนแทนปลาป่น ชนิดนี้สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานานโดยไม่เหม็นหืน และถือว่าเป็นปลาป่นที่ถูกต้องตามมาตรฐานอาหารสัตว์สากลใช้เลี้ยงสัตว์ได้เป็นอย่างดี ปลาป่นมีไอโอดีน ไวตามินบีชนิดต่าง ๆ และไวตามินอี สูงมาก มีโปรตีนสูง แต่มีไวตามิน เอ และไวตามินดี มีแคลเซียมราว 4% และฟอสฟอรัส 2 %

2.2.2 เนื้อป่น (meat scrap or meat meal)

เนื้อป่นได้จากการนำเนื้อและกระดูก ไม่รวมขน หนัง เขา กีบ เลือด และเครื่องใน แต่อาจมีเลือดปนลงไปด้วยทำให้มีโปรตีนสูงขึ้น เนื้อป่นมีประโยชน์น้อยกว่าปลาป่น หรือผลิตผลพลอยได้จากนม ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อป่นขาดเมทไธโอนีน เนื้อป่นถ้ามีเอ็นและกระดูกมาก คุณภาพของโปรตีนย่อมต่ำลง เนื้อป่นจะมีโปรตีนราว 50 –55 % ควรใช้ผสมในอาหารไม่เกิน 10% เนื่องจากมีโปรตีนย่อยยาก โดยถ้าเป็นอาหารสุกรไม่ควรใช้เกิน 5% และในสัตว์ปีกไม่เกิน 7-10%

2.2.3 เลือดป่น (blood meal)

เลือดที่รวบรวมได้จากโรงฆ่าสัตว์ ได้ถูกความร้อนจนสุกแล้ว เลือดป่นมีโปรตีนสูงกว่า 65 % คุณภาพของโปรตีนต่ำกว่าเนื้อป่น หรือเศษเนื้อ เพราะเลือดป่นไม่มีไอโซลูซีน เลือดป่นมีแคลเซียมและฟอสฟอรัสต่ำ แต่มีไลซีนสูงมาก ข้อเสียของเลือดป่นคือย่อยยาก บางทีมีกลิ่นทำให้สัตว์ไม่ค่อยชอบ นอกจากนี้มีความน่ากินต่ำ (low palatability)

2.2.4 ขนไก่ป่น (feather meal)

เป็นผลิตผลพลอยได้จากโรงฆ่าไก่ มีโปรตีนสูง 85-88 % ข้อเสียของขนไก่ป่นคือ ขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อสัตว์หลายชนิด แม้จะมีโปรตีนสูงแต่เป็นโปรตีนคุณภาพต่ำกว่าของปลาป่น หรือของถั่วเหลือง เพราะกรดอะมิโนกลุ่ม ไลซีน เมทไธโอนีน ทริฟโตเฟน ฮีสติดีนน้อยมาก แต่ขนไก่ป่นมีไกลซีน ซีสตีน และอาร์จินีนมาก ขนไก่ป่นอาจใช้แทนโปรตีนอย่างอื่นในอาหารไก่ไข่ และไก่กระทงได้ 10-20 %

2.2.5 นมผง (milk powder)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำนมโค โดยการทำให้น้ำระเหยออกด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ จนกลายเป็นผง นมผงมี 3 ชนิด คือ นมผงธรรมดา (whole milk powder) ซึ่งเป็นนมผงที่มีไขมันไม่ต่ำกว่า 26 % ของน้ำหนักและมีความชื้นไม่มากกว่า 5 % ของน้ำหนัก นมผงชนิดที่สอง คือ นมผงพร่องมันเนย (partly skimmed milk powder) นมผงชนิดนี้มีไขมันไม่น้อยกว่า 1.5 % ของน้ำหนักและมีความชื้นไม่มากกว่า 5 % ของน้ำหนัก ส่วนนมผงชนิดที่สามเรียกว่าหางนมผง (skimmed milk powder) เป็นนมผงที่มีไขมันน้อยกว่า 1.5 % ของน้ำหนักและมีความชื้นไม่มากกว่า 5 % ของน้ำหนัก

นมผงธรรมดามีโปรตีนประมาณ 26 % มีคาร์โบไฮเดรต 38 % และมีแร่ธาตุ 6 % ส่วนหางนมผงมีโปรตีน 36 % มีคาร์โบไฮเดรต 52 % และมีแร่ธาตุ 8.0 % คุณภาพของโปรตีนในนมผงมีคุณภาพดี ดังนั้นจึงใช้นมผงเป็นอาหารของลูกสัตว์ทำให้ลูกสัตว์มีการเจริญเติบโตได้ดี เช่นใช้เลี้ยงลูกโค ลูกไก่ นมผงถ้าใช้เลี้ยงสัตว์ที่กำลังให้ผลผลิต เช่น ไก่ไข่ ก็ช่วยให้ไข่ดกดี แต่ราคาของนมผงมีราคาแพง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้นมผง

2.2.6 ผลิตผลพลอยได้จากสัตว์ปีก (poultry by-products)

เป็นส่วนของซากสัตว์ปีกที่ไม่ได้นำไปใช้เป็นอาหารคน เช่น ส่วนที่เป็นหัวไก่ แข้งไก่ ไข่ที่ฟักไม่ออก และส่วนที่เป็นลำไส้ โดยไม่รวมส่วนที่เป็นขน ผลิตผลพลอยได้จากสัตว์ปีกจะทำให้แห้งแล้วบด โดยทั่วไปจะมีโปรตีน 55-60 % และมีแร่ธาตุ 75 %

2.2.7 ของเสียจากสัตว์ (animal wastes)

ของเสียจากสัตว์ เช่น มูล และปัสสาวะสัตว์ มีส่วนประกอบต่าง ๆ แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเสียจากสัตว์

องค์ประกอบทางเคมี	ไก่ไข่	ไก่เนื้อ	วัว	สุกร
CP %	*28.0*	*31.3*	*12.7*	*22-27*
CF %	12.7	16.8	37.5	- - -
EE %	2.0	3.3	2.5	- - -
Ash %	28.0	15.0	16.1	- - -
TDN %	52.3	72.5	45.0	45.0

ปัจจุบันได้มีการนำเอาของเสียจากสัตว์มาระเหยน้ำหรือทำให้แห้ง หรือเอาหมักไว้แล้วเติมโภชนะอย่างอื่น ๆ ที่ต้องการให้สัตว์ได้รับลงไป นำมาใช้เลี้ยงสัตว์อีกทีหนึ่ง การใช้ของเสียจากสัตว์กลับมาเลี้ยงสัตว์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการเลี้ยงสัตว์ในบ้านเรา แต่ในต่างประเทศ เช่น อเมริกาได้มีการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้กันมากแล้ว

ตัวอย่างของอาหารหยาบประเภทต่างๆ

ลักษณะทั่วไปของอาหารหยาบ

1. เป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำและมีเยื่อใยมากกว่า 18%
2. มีเยื่อใยมากกว่าเยื่อใยของอาหารข้นและโดยปกติจะมีพลังงานต่ำกว่าพลังงานในอาหารข้น
3. เป็นแหล่งอาหารที่ให้วิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมัน
4. เป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง
5. อาหารหยาบที่ได้จากพืชตระกูลถั่วปกติจะมีโปรตีนและวิตามินมาก
6. เป็นอาหารที่ใช้น้อยสำหรับการเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก
7. เป็นอาหารที่ช่วยรักษาระดับไขมันในน้ำนมของ โคนมให้อยู่ในระดับปกติ
8. โภชนะการเป็นองค์ประกอบมีปริมาณผันแปรได้มาก ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวและวิธีการเก็บรักษา

1. อาหารหยาบกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbonaceous roughages)

อาหารหยาบกลุ่มนี้จะมีโปรตีนต่ำกว่า 10 % (DM basis) ส่วนใหญ่ได้มาจากพืชตระกูลหญ้า (Gramineae) เช่น

1.1 หญ้าขน (paragrass)

หญ้าขนเป็นพืชค้างปี (pernnial) ชนิดเลื้อยพัน มีลำต้นค่อนข้างหยาบ เจริญไปตามผิวดินซึ่งอาจมีความยาวได้ถึง 3-4 เมตร ใบค่อนข้างกว้างและยาวกว่าส่วนอื่น ๆ ของลำต้น หญ้าขนสามารถขึ้นได้ดีใน

ดินทั่ว ๆ ไป ขอให้ดินนั้นมีความชื้นเพียงพอหญ้าขนสนองตอบการใส่ปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน สามารถปลูกหญ้าขนร่วมกับถั่วเมืองร้อนได้ดีหลายชนิด เช่น ถั่วลาย (centrosema)

หญ้าขนไม่ค่อยทนทานต่อการเหยียบย่ำ และไม่ทนแล้งเมื่อเปรียบเทียบกับหญ้ากินนี และหญ้าเนเปียร์ ประโยชน์ของหญ้าขนใช้ได้ทั้งในรูปปล่อยสัตว์ลงกิน ตัดมาให้สัตว์กินสด ๆ และตัดทำหญ้าแห้ง

1.2 หญ้าเนเปียร์ (napier grass)

หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าค้างปี ใบใหญ่ลักษณะคล้ายต้นอ้อย ต้นสูงประมาณ 0.5-1.5 เมตร เนื่องจากเป็นหญ้าที่มีระบบรากชอนไชลงไปใต้ดินได้ลึก หญ้าเนเปียร์จะทนทานต่อความแห้งแล้ง ผลผลิตของเนเปียร์ค่อนข้างสูง ตัดครั้งหนึ่งจะได้ 5,000 กก./ไร่ สัตว์ชอบกินแต่เนเปียร์ไม่ทนต่อการเหยียบย่ำ จึงเหมาะสมจะใช้ตัดให้สัตว์กินสด ๆ ในหน้าฝนจะตัดได้ทุก ๆ 5-6 สัปดาห์ การตัดสูงเกินไปจะทำให้การแตกกอไม่ดี เนเปียร์ลูกผสมจะมีโปรตีน 1.1% มีเยื่อใย 9% มีแร่ธาตุ 2.6%

1.3 หญ้ากินนี (guinea grass,<u>panicum</u> <u>maximum</u>)

เป็นพืชค้างปี (perennial) มีลักษณะลำต้นตั้งตรงเป็นกอคล้ายตะไคร้ ใบยาวและกว้าง ตามต้นตามใบมีขน ใบกว้างประมาณ 3.5 ซม. ยาว 30-75 ซม. หญ้ากินนีขึ้นได้ดีในเขตที่มีอากาศร้อนและชื้น มีฝนตกมากกว่า 35 นิ้ว เนื่องจากหญ้ากินนีมีระบบรากลึก มีความหนาแน่นของรากมากและเป็นรากฝอย จึงทำให้หญ้าชนิดนี้ทนทานต่อความแห้งแล้งได้นาน แต่ถ้าอากาศเย็นจะทำให้ผลผลิตลดลง ข้อดีของหญ้ากินนีคือ ทนทานต่อสภาพที่เป็นร่มเงา (shade tolerance) สามารถปลูกใต้ต้นไม้และใต้ร่มเงาของไม้พุ่มต่าง ๆ ได้ดี หญ้ากินนีทนทานต่อการเหยียบย่ำ ทนทานต่อไฟไหม้ การปล่อยสัตว์ลงแทะเล็มนั้น ทางที่ดีไม่ควรให้สัตว์แทะเล็มจนเหลือกอต่ำกว่า 6-9 นิ้ว สามารถปลูกหญ้ากินนีร่วมกับถั่วได้หลายชนิด เช่น ถั่วเซนโตรซิมา ถั่วซิราโทร เป็นต้น ประโยชน์ของหญ้ากินนีนอกจากจะใช้ทำทุ่งหญ้าปล่อยสัตว์กินแล้ว ยังสามารถตัดมาให้สัตว์กินสด ๆ หรือตัดทำหญ้าแห้งก็ได้ การตัดครั้งหนึ่งจะได้ประมาณ 4,000 กก./ไร่ หญ้ากินนีมีหลายสายพันธุ์ เช่น gatton panic, hamil, coloniao, greeen panic เป็นต้น

1.4 หญ้าบาเฮีย (bahia grass, <u>paspalum</u> <u>notatum</u>)

เป็นพืชค้างปี มีระบบรากลึกและแน่น สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกชนิด ทนทานต่อสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ประโยชน์ในการทำทุ่งหญ้าปล่อยสัตว์ลงแทะเล็มหรือตัดทำหญ้าแห้ง หญ้าบาเฮียมีหลายสายพันธุ์ เช่น pensacola, argentine ข้อดีของหญ้าบาเฮีย คือไม่ค่อยเป็นโรค ergot (<u>claviceps pasapli</u>) และไม่ถูกรบกวนโดยแมลง

1.5 หญ้าบัฟเฟล (buffel grass, <u>cenchrus ciliaris</u>)

เป็นพืชค้างปี ที่ทนทานต่อความแห้งแล้งและทนทานต่อการเหยียบย่ำ มีระบบรากแข็งแรงหยั่งลึกลงไปใต้ดิน เจริญได้ดีในดินร่วนที่มีการระบายน้ำได้ดี ทนทานได้พอสมควรกับสภาพดินเป็นเกลือ

ไม่ชอบดินที่มีน้ำขัง ใช้ปลูกร่วมกับถั่วลาย ถั่วซิราโทรได้ดี หญ้าบัพเฟล มีหลายสายพันธุ์ เช่น biloela, nonbank, boorara, tawinnabar, molopa และ lawes ประโยชน์ของหญ้าบัพเฟลใช้ปลูกเพื่อทำทุ่งหญ้า

1.6 หญ้าไคคูยู (kikuyu grass, pennisetum clandestinum)

เป็นหญ้าต้นเตี้ย มีระบบรากลึกและเป็นพืชค้างปี เหมาะที่ใช้ปลูกบนที่สูง ทนทานต่อสภาพอากาศหนาว หญ้าชนิดนี้ตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี หญ้าไคคูยูเป็นหญ้าที่ใช้ป้องกันการพังทะลายของดินได้ดีมาก ข้อเสียของหญ้าชนิดนี้คือ การจัดการเป็นไปอย่างยากลำบาก เมื่อแง่ง (rhizomes) แน่นเป็นผืนทำให้อาหารส่งขึ้นไปเลี้ยงส่วนตอนบนๆดินเป็นไปได้ยาก ซึ่งจะทำให้บางส่วนของแปลงหญ้าตายได้ และข้อเสียอีกประการหนึ่งคือการรักษาความสมดุลย์ระหว่างหญ้าและถั่ว ทำได้ด้วยความลำบาก

1.7 หญ้าซิกแนล (signal grass, brachiaria decumbens)

เป็นหญ้าค้างปีประเภทเลื้อย การเจริญเติบโตเหมือนหญ้าขน ชอบอากาศร้อนชื้น ทนต่อความแห้งแล้งได้ดีกว่าหญ้าขน สามารถขึ้นบนดินที่เป็นเนิน ทนทานต่อการเหยียบย่ำ ให้ผลผลิตสูง ปลูกเพื่อทำทุ่งหญ้าปล่อยสัตว์ลงกิน

1.8 หญ้าซอร์กั้ม (columbus grass, sorghum almum)

เป็นกลุ่มหญ้ายืนต้นที่มีอายุสั้น (short-lived perennial) มีลำต้นแข็งแรงตั้งตรง ถ้าปลูกภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะสูงถึง 10 ฟุต ใบยาวและกว้าง หญ้าชนิดนี้เจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อน สามารถปรับตัวเข้าได้กับที่มีฝนตก 20-35 นิ้ว/ปี ได้ดีมาก ชอบดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากหญ้าซอร์กั้มมีอายุสั้นจึงใช้ปลูกระหว่างแถวร่วมกับหญ้าค้างปีชนิดอื่น ๆ ข้อดีของหญ้าซอร์กั้มคือทนทานต่อการแทะเล็มของสัตว์อาจใช้ได้ถึงสองสามปี แต่ถ้าเป็นซอร์กั้มอย่างอื่นจะใช้ได้ดีเพียงปีเดียว ปีต่อไปการเจริญเติบโตไม่ค่อยดี หรือบางที่หยุดชงักการเจริญเติบโตไปเลย หญ้าซอร์กั้มมีหลายสายพันธุ์ เช่น nunbank และ crooble

1.9 หญ้าซูดาน (sudan grass, sorghum sudanense)

เป็นกลุ่ม biennial หรือ annual ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดการและสภาพของดินฟ้าอากาศ หญ้าซูดานเจริญเติบโตได้สูงถึง 10 ฟุต แต่มีลำต้นบอบบางกว่าหญ้าซอร์กั้ม เจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อน และทนทานต่อความแห้งแล้ง ชอบดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ปรับตัวเข้ากับที่ที่มีฝนตก 20-35 นิ้ว/ปี เนื่องจากมีอายุสั้น จึงทำให้ทำทุ่งหญ้าชั่วคราว

1.10 หญ้าเบอร์มิวดาหรือหญ้าแพรก (bermuda grass, cynodon dactylon)

เป็นพืชค้างปี เจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิเกินกว่า 24^0C หากอุณหภูมิลดลงเหลือ 6-9 ^{0}C หญ้าชนิดนี้จะเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย หญ้าเบอร์มิวดาสามารถเจริญเติบโตในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และดินนั้นจะต้องมีการระบายน้ำได้ดีมีความชื้นเพียงพอ แม้ว่าหญ้าเบอร์มิวดาจะทนทานต่อการถูกน้ำท่วมได้เป็นเวลานาน ๆ ก็ตาม แต่พบว่าการเจริญเติบโตมีเพียงเล็กน้อยในสภาพดินที่มีน้ำขัง การเจริญเติบโตในดินเหนียวดีกว่าในดินปนทรายทั้งนี้ก็เนื่องจากดินเหนียวมีความอุดมสมบูรณ์ และเก็บความชื้นได้ดีกว่าดินปนทราย หญ้าเบอร์มิวดาใช้ประโยชน์ในการทำทุ่งหญ้าถาวร หรือตัดทำหญ้าแห้ง ปลูกกันมากในรัฐทางใต้ของอเมริกา หญ้าเบอร์มิวดามีหลายพันธุ์ เช่น common, coastal, suwanee, midland, coastcross-1, tifton 44, callic,ฯลฯ

1.11 หญ้าแพงโกล่า (pangola grass, digitaria decumbens)

เป็นพืชค้างปี ประเภทเลื้อยไปตามดิน เจริญเติบโตในที่ที่มีฝนตกมากกว่า 40 นิ้ว/ปี หน้าหนาวการ

เจริญเติบโตไม่ดี หญ้าชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินทราย มีความทนทานต่อสภาพน้ำขังและตอบสนองดีต่อปุ๋ย

ไนโตรเจน ประโยชน์ใช้ปลูกทำทุ่งหญ้า

1.12 หญ้าโรด (rhodes grass, chloris gayana)

เป็นพืชค้างปี มีไหลอยู่เหนือดิน มีใบมาก ชอบชื้นในที่ที่มีฝนตก 25-50 นิ้ว/ปี แต่ถ้าได้รับน้ำมากเกินไปใบจะเหลืองแคระแกรน ทนทานต่อสภาพดินเค็ม ทนทานต่อการเหยียบย่ำ ประโยชน์ใช้ปลูกทำทุ่งหญ้าและใช้เป็นพืชคลุมดิน ป้องกันการพังทะลายของดิน หญ้าโรดมีหลายสายพันธุ์ เช่น callide, samford, katambora

1.13 หญ้าเซททาเรีย (setaria grass, setaria anceps)

เป็นหญ้าที่มีลักษณะเป็นกอแน่น มีลำต้นใต้ดิน ใบบาง ยาว ไม่มีขน ลำต้นมีความสูง 15-20 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนหรือเขตกึ่งร้อน ทนทานต่อการแทะเล็มของสัตว์ หญ้าชนิดนี้มีหลายสายพันธุ์ เช่น nandi, narok, และ kazungula

1.14 หญ้าพาสพาลัม (paspalum grass, paspalum dilatatum)

เป็นหญ้าค้างปี มีลำต้นใต้ดินสั้น ๆ ชอบขึ้นในที่ที่มีอากาศเย็นชื้น ขึ้นได้ดีในดินเหนียว ไม่ชอบดินทราย

ต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง หญ้าชนิดนี้ทนทานต่อการเหยียบย่ำ และการแทะเล็มของสัตว์ ใบค่อนข้างกว้าง

ยาวและนุ่ม และมีความน่ากิน ใช้ปลูกร่วมกับถั่วซิราโทร, เดสโมเดียม, กรีนลีฟ ได้ดี

1.15 หญ้าโมล้าสส์ (molasses glass, melinis minutiflora)

เป็นหญ้าค้างปี ใบมีขนมากและมีน้ำมันชนิดระเหยได้ จึงทำให้มีกลิ่น แต่กลิ่นจะไม่ปรากฏในน้ำนมหรือในเนื้อ ขึ้นได้ดีในที่ที่มีระดับน้ำฝนมากกว่า 40 นิ้ว/ปี ขึ้นได้ดีในดินที่เป็นทรายจัดหรือดินที่เป็นกรด ไม่ชอบน้ำขัง ไม่ทนทานต่อไฟไหม้ ไม่ทนทานต่อการแทะเล็มของสัตว์ เป็นเวลานาน ๆ ไม่ควรปล่อยเข้ากินในขณะที่ลำต้นมีความสูงต่ำกว่า 6-9 นิ้ว

2. อาหารหยาบกลุ่มโปรตีน (proteinacekous roughages)

อาหารหยาบกลุ่มนี้จะมีโปรตีนมากกว่า 10 % (dry matter basis) ส่วนใหญ่ได้จากพืชตระกูลถั่ว (leguminoseae) หรือได้จากหญ้าอ่อน ๆ บางชนิด ถั่วโดยทั่วไปจะมีแคลเซียมสูง (มีแคลเซียมมากกว่า 0.9 %) นอกจากนี้ถั่วจะมีวิตามิน เอ สูง และยังใช้ประโยชน์จากถั่วโดยการปลูกร่วมกับหญ้า ช่วยในการบำรุงดินและเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่สัตว์ ตัวอย่างอาหารหยาบกลุ่มโปรตีนมีดังต่อไปนี้

2.1 ถั่วซิราโทร (siratro, <u>macroptilium atropurpureus</u>)

เป็นถั่วค้างปี ผสมพันธุ์ขึ้นมาโดย Dr. E.M.Hutton of C.S.I.R.O. ถั่วซิราโทรเป็นถั่วเหลืองเลื้อยพัน มีความสามารถสร้างหน่อ (stolons) ตามข้อ มีรากหยั่งลึกลงไปในดิน ดอกมีสีแดงเข้ม ขึ้นได้ดีในแถบที่มีอากาศกึ่งร้อนหรืออากาศร้อนชื้น ปรับตัวเข้ากับที่ที่มีฝนตก 35-70 นิ้ว/ปี ทนทานต่อความแห้งแล้งทนทานต่อการเหยียบย่ำ และการแทะเล็มของสัตว์ เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองหรือถั่วลูเซิน (lucerne) พบว่าถั่วซิราโทรมีความต้องการโภชนะน้อยกว่า ข้อดีของซิราโทรก็คือ เป็นถั่วที่มีความสามารถกระจายไนโตรเจนให้กับหญ้าที่ปลูกร่วมได้ดีมาก และยังเป็นถั่วที่มีความทนทานต่อไส้เดือนฝอย (vematodes) ประโยชน์ใช้ปลูกเป็นทุ่งหญ้าถาวร

2.2 ถั่วเซนโตรซิมาหรือถั่วลาย (<u>centrosema pubescens</u>)

เป็นถั่วค้างปี ประเภทเลื้อยพัน เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้น มีฝนตกมากกว่า 50 นิ้วต่อปี มีระบบรากดีซึ่งทำให้ถั่วชนิดนี้ทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นเวลานาน ๆ มีการตอบสนองต่อปุ๋ยซูเปอร์ ฟอสเฟตและแร่ธาตุปลีกย่อยอื่น ๆ ได้ดี

ถั่วเซนโตรซิมาสามารถเจริญได้ดีในสภาพดินเป็นกรด ทนทานต่อการแทะเล็มของสัตว์ ปลูกร่วมกับหญ้ากินนีได้ดี ทำให้เพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่สัตว์ ถั่วเซนโตรซิมามีแร่ธาตุและโปรตีนสูง

2.3 ถั่วแลบแลบ (lablah purpureus)

เป็นถั่วอายุสั้นหรือเป็นถั่วล้มลุก เจริญเติบโตได้ในที่ที่สามารถปลูกถั่วคาวพี (cowpeas) ถั่วชนิดนี้ดีกว่าถั่วคาวพีหลายอย่าง เช่น ทนทานต่อโรคดีกว่า ทนทานต่อการรบกวนของแมลง มีประโยชน์เมื่อปลูกร่วมกับหญ้าหรือทำปุ๋ยพืชสด ข้อควรระมัดระวังก็คือ โรคท้องอืดอาจเกิดขึ้นกับสัตว์ที่กินถั่วชนิดนี้ ฉะนั้นในการปล่อยสัตว์ลงกินไม่ควรปล่อยสัตว์ลงกินในขณะที่ถั่วยังอ่อน ๆ อยู่หรือในขณะที่สัตว์หิว

2.4 ถั่วสไทโล (stylo, stylosanthes guyanensis)

เป็นถั่วค้างปีใช้ในการทำทุ่งหญ้าในหลายประเทศเช่น West Indies, Hawaii, Fiji, Kenya, Uganda, Nigeria และ Southern Rhodesia ถั่วสไทโลมีลำต้นแข็งและเต็มไปด้วยขน ใบยาวแต่แคบ ใบเป็นแบบ trifoliato มีดอกสีเหลืองขนาดเล็ก ขึ้นได้ดีในที่มีอากาศอบอุ่น ชอบอากาศร้อนกว่าถั่วเหลือง ไม่ทนทานต่ออากาศหนาว ไม่ทนทานต่อไฟไหม้ แต่ทนทานต่อความแห้งแล้ง ทนทานต่อสภาพของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สามารถปลูกได้ในดินทีเป็นกรดและทนทานต่อสภาพดินที่มีน้ำขัง นอกจากนี้สามารถปลูกถั่วสไทโลได้ในดินทราย ดินที่เป็นหิน ข้อเสียของสไทโลคือ ไม่ค่อยทนทานต่อการแทะเล็มมาก ๆ ฉะนั้นในการปล่อยสัตว์เข้าไปกินควรจะได้จัดโปรแกรม จัดจำนวนสัตว์ให้พอเหมาะ ถั่วสไทโลมีหลายสายพันธุ์ เช่น Schfield, Cook, Endevour และ Oxley

2.5 ถั่วทาวน์สวิลล์สไทโล (townsville stylo, stylosanthes humilis)

เป็นถั่วล้มลุก อายุเพียงสองปี ลักษณะต้นเตี้ย ใบเป็นแบบ trifoliato ลักษณะของใบแคบยาวและแหลม ถั่วชนิดนี้ขึ้นได้ดีในดินหลายชนิดที่มีการระบายน้ำดี ทนทานต่อสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทนทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดีพอสมควร มีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต ข้อเสียของถั่วทาวน์สวิลล์ คือ ไม่ทนทานต่อสภาพที่เป็นร่มเงา สามารถปลูกร่วมกับหญ้า buffol,birdwood, angleton และ urochloa ประโยชน์ใช้ทำทุ่งหญ้า ถั่วทาวน์สวิลล์สไทโลมีหลายสายพันธุ์ เช่น Patetrson, Lawson, Gordon, Kulumbaru เป็นต้น

2.6 ถั่วคาโลโพ (caolpo, calopogonium mucuoides)

เป็นถั่วอายุสั้น ๆ เป็นเถาเลื้อยพัน ดอกมีสีฟ้าอ่อน ๆ ฝักมีความยาว 1-2 นิ้วปกคลุมด้วยขนสีน้ำตาลอ่อน ถั่วคาโลโพเหมาะสำหรับในที่มีระดับน้ำฝนมากกกว่า 50 นิ้วต่อปี ขึ้นได้ดีในที่อากาศอบอุ่น ทนทานต่ออากาศหนาวได้เพียงเล็กน้อย และทนทานต่อสภาพร่มเงาได้ปานกลาง

2.7 ถั่วเดสโมเดียส ,กรีนลีฟ (desmodeun , greenleaf, <u>desmodim intortum</u>)

ถั่วกรีนลีฟเป็นถั่วประเภทค้างปี ชนิดเลื้อยพัน ลำต้นค่อนข้างหนาหยาบ ใบมีสีน้ำตาลปนแดง ถั่วชนิดนี้สามารถปรับตัวเข้าได้กับสภาพดินหลายชนิดในเขตกึ่งร้อนและเขตร้อน เจริญเติบโตได้ดีในเขตที่มีอากาศเย็นชื้น และต้องการความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลาง ทนทานต่อการเหยียบย่ำ ไม่เหมาะที่จะใช้ปลูกในที่ที่ระดับน้ำฝนต่ำกว่า 35-40 นิ้วต่อปี ทนทานต่อการดินที่มีน้ำขังและดินที่มีสภาพเป็นกรดตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตได้ดีมาก ปลูกร่วมกับหญ้า nandi setaria, guinea, green panec, molasses,และ plicatulum ได้ดี ในฤดูแล้งบางทีจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นเนื่องจาก amnemus or leptopius weevil ก่อนปลูกควรคลุกเมล็ดด้วยเชื้อ rhizobium เพื่อช่วยในการตรึงไนโตรเจน ประโยชน์ใช้ในการปรับปรุงทุ่งหญ้าธรรมชาติโดยการหว่านเมล็ด ถั่วกรีนลีฟทับลงไป

2.8 กระถิน (leuceana, <u>leucena leucocephala</u>)

เป็นไม้พุ่มประเภทค้างปี มีระบบรากลึก กระถินบางสายพันธุ์มีความสูงถึง 30 ฟุต ใบแคบและเป็นใบแบบ bipinnate กระถินขึ้นได้ดีในดินหลายชนิด ชอบอากาศร้อน ชอบดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ทนทานต่อสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่ทนทานต่อสภาพดินที่มีความเป็นกรด เหมาะที่จะใช้ปลูกในที่มีระดับน้ำฝนมากกว่า 30 นิ้วต่อปี กระถินเป็นพืชที่แข็งแรงและให้ผลผลิตโปรตีนคุณภาพดี ข้อเสียของกระถินคือ มีสารแอลคาลอยที่เรียกว่า mimosine อยู่สูง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสัตว์กระเพาะเดียวเช่น ม้า หมู สัตว์ปีก นอกจากนี้สารดังกล่าวว่าจะทำให้ขนร่วง จึงไม่แนะนำสำหรับใช้เลี้ยงแกะ ประโยชน์ปลูกเพื่อให้สัตว์แทะเล็มกินหรือตัดมาให้กินสด ๆ ส่วนใหญ่ใช้กับการเลี้ยงโคนม โคเนื้อ กระถินมักมีหลายสายพันธุ์ เช่น กระถินเปรู (Peruvian type) กระถินฮาวาย (Hawaiian type) กระถินเอลซัลวาดอร์ (E1 Salvakdor type) เป็นต้น

2.9 ถั่วแระ หรือถั่วมะแฮะ (pigean pea ; <u>cajanus cajan</u>)

เป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียและอาฟริกา เป็นถั่วอายุสั้นมีลักษณะเป็นพุ่ม ใบเป็นแบบ trifoliate มีระบบรากลึก ทนทานต่อความแห้งแล้ง ชอบดินที่ไม่มีน้ำขัง ปลูกเพื่อปล่อยให้โคลงกิน ซึ่งจะพบว่าโคจะเพิ่มน้ำหนักได้ 1 ½ - 2 ¾ ปอนด์ต่อวัน มีโปรตีน 7.11% ไขมัน 1.65% เยื่อใย 10.72% แร่ธาตุ 2.64%

2.10 ถั่วพิวโร (puero, <u>pueraria phasioloides</u>)

เป็นถั่วประเภทค้างปีเป็นเถาเลื้อย มีลำต้นและแขนงแข็งแรง ลำต้นที่เลื้อยไปตามพื้นดินอาจยาวถึง 25 ฟุต ใบกลมใหญ่ แต่ค่อนข้างบางปกคลุมไปด้วยขน ชอบอากาศร้อนชื้น ทนทานต่อสภาพร่มเงา ทนทานต่อสภาพน้ำขังและสภาพดินเป็นกรด ประโยชน์ปลูกทำทุ่งหญ้าแบบรีบด่วนเพราะการเจริญเติบโตเร็ว

2.11 ถั่วเลสพิเดซ่า (lespedeza)

ถั่วเลสพิเดซ่ามีทั้งประเภทล้มลุกและประเภทค้างปี

ประเภทล้มลุกมีสองสายพันธุ์ คือ Lespedeza striata และ Lespodeza stipulacea

ประเภทค้างปีมีหลายสายพันธุ์ เช่น L. cuneata, L. latissima, L. juneaca และL. hedysaroides

ถั่วเลสพิเดซ่า เหมาะที่จะใช้ปลูกในดินหลายชนิดที่มีระดับน้ำฝนมากกว่า 30-35 นิ้วต่อปี เจริญเติบโตในดินที่เรียกว่า sandy loams ชอบดินที่เป็นกรดหรือเป็นด่าง แต่จะไม่ชอบขึ้นในดินที่มีระดับ pH 6.0-6.5 ถั่วชนิดนี้มีระบบรากหยั่งลึกลงไปใต้ดินประมาณ 18 นิ้ว ประโยชน์ปลูกทำทุ่งหญ้าปล่อยสัตว์ลงแทะเล็มกิน หรือตัดทำถั่วแห้ง ข้อควรปฏิบัติก็คือ ไม่ควรตัดหรือปล่อยสัตว์ลงกินในปีแรก ๆ การตัดควรตัดเมื่อต้นสูง 12-14 นิ้ว ถ้าปล่อยให้ต้นสูงกว่านี้จะทำให้มีลิกนินสูงและระดับโปรตีนต่ำลง นอกจากนี้ใช้ถั่วเลสพิเดซ่าเป็นพืชคลุมดินป้องกันการพังทะลายตามไหลทาง ข้อเสียของ lespedeza คือจะมี tannin สูง ปัจจุบันได้มีการพยายามาผสมพันธุ์ให้ได้สายพันธุ์ใหม่ ๆ เพื่อลดระดับ tannin

2.12 ถั่วคุดซู (kudzu, pueraria spp.)

เป็นถั่วค้างปีมีลักษณะเป็นเถาเลื้อยพัน ลำต้นมีขนปกคลุม ใบเป็นแบบ pinnately 3- foliat ใบใหญ่ ดอกสีม่วงอมแดง ถั่วชนิดนี้มีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับ alfalfa ถั่วชนิดนี้ไม่ทนต่อการเหยียบย่ำ ปลูกเพื่อทำทุ่งหญ้าปล่อยให้สัตว์เข้าไปกินเป็นครั้งคราว หรือตัดทำถั่วแห้ง นอกจากนี้ใช้ประโยชน์เป็นพืชคลุมดินป้องกันการพังทะลายของดิน

วิธีการนำพืชอาหารสัตว์ไปใช้ประโยชน์

1. จัดทำทุ่งหญ้า (pasture) หมายถึงพื้นที่ที่มีพืชอาหารสัตว์เจริญเติบโตสำหรับปล่อยให้สัตว์ลงแทะเล็มกิน (grazing) ทุ่งหญ้าทีดีจะต้องมีพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เขียวและอ่อนอยู่เสมอ คุณภาพของทุ่งหญ้าจะแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทสภาพการเจริญเติบโต และอายุของพืชอาหารสัตว์ ทุ่งหญ้ามีหลายประเภทขึ้นอยู่กับหลักที่จะใช้ในการพิจารณาแบ่งประเภท ถ้าในแง่เปรียบเทียบแล้ว แบ่งทุ่งหญ้าออกได้ดังต่อไปนี้

1.1 Legumes VS Non legumes

ถั่ว (legumes) เป็นพืชที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากการที่รากถั่วจะมีปมแบคทีเรีย แบคทีเรียจะช่วยในการตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศ รากถั่วบางชนิดไม่มีปมแบคทีเรีย ฉะนั้นก่อนปลูกควรคลุกเมล็ดถั่วกับเชื้อแบคทีเรียเสียก่อน

พืชที่ไม่ใช่ถั่ว (nonlegumes) พืชเหล่านี้ไม่มีความสามารถในการตรึง ไนโตรเจนจากอากาศ ฉะนั้นไนโตรเจนที่จะได้รับจะได้มาจากการใส่ปุ๋ย

1.2 Annuals VS Perennials

พืชล้มลุก (annuals) เป็นพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ทุ่งหญ้าที่ใช้พืชล้มลุกจะต้องจัดทำใหม่ทุก ๆ ปีเพราะใช้ได้ไม่นาน

พืชค้างปีหรือพืชยืนต้น (perennials) เป็นพืชที่ปลูกครั้งหนึ่งเสร็จ สามารถใช้ได้เป็นเวลานาน ๆ อายุยืนยาว

1.3 Summer VS. Winter

ทุ่งหญ้าฤดูร้อน (summer pasture) เป็นทุ่งหญ้าที่จัดทำตอนที่มีอากาศร้อน

ทุ่งหญ้าฤดูหนาว (winter pasture) เป็นทุ่งหญ้าที่จัดทำในฤดูใบไม้ร่วงเพื่อให้ทันใช้ในฤดูหนาว และจะใช้ติดต่อกันไปจนถึงฤดูใบไม้ผลิต

สำหรับในบ้านเรานั้นการทำทุ่งหญ้ามักจะทำในตอนใกล้ฤดูฝน แต่ถ้ามีการชลประทานดีจะจัดทำในฤดูไหนก็ได้ เพียงแต่ขอให้เลือกพืชที่จะนำมาทำทุ่งหญ้าให้เหมาะสมกับฤดูกาล

1.4 Temporary VS. Permanent

ทุ่งหญ้าชั่วคราว (temporary pasture) เป็นทุ่งหญ้าที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในระยะสั้นเป็นการชั่วคราว เช่นใช้เพียงหนึ่งฤดูของการปล่อยสัตว์ลงกิน พืชที่จะใช้ปลูกเป็นพืชล้มลุกชนิดเดียว หรือเป็นพืชล้มลุกหลาย ๆ ชนิดปลูกรวมกัน

ทุ่งหญ้าถาวร (permanent pasture) เป็นพืชที่ปลูกค้างปีเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน

1.5 Mixtures VS. Pure seedings

Mixtures หมายถึง ทุ่งหญ้าที่ปลูกที่ปลูกพืชสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดในที่เดียวกัน เพื่อหวังผลในแง่ใช้ประโยชน์และแง่คุณค่าทางอาหาร

Pure seedings เป็นทุ่งหญ้าที่ปลูกพืชพันธุ์แท้เพียงสายพันธุ์เดียว

การจัดการทุ่งหญ้า (pasture management) ที่ดีต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

1) ควบคุมการแทะเล็มของสัตว์ (controlled grazing)

1.1. ในปีแรก ๆ หลังจากทำทุ่งหญ้าเสร็จ ควรปล่อยสัตว์ลงกินเพียงเล็กน้อยในทางปฏิบัติควรตัดหญ้าให้เหลือตอสูงเพียง 3 นิ้ว แล้วนำหญ้านั้นไปทำหญ้าแห้งหรือทำหญ้าหมัก

1.2. หมุนเวียนสัตว์เข้าไปแทะเล็มกิน โดยแบ่งทุ่งหญ้าออกเป็น 2-4 แปลง ให้มีขนาดเท่ากันหมุนเวียนสัตว์เข้ากิน

1.3. มีการย้ายที่ให้เกลือแร่และที่ให้น้ำโดยพยายามย้ายไปในที่ ๆ สัตว์มีการแทะเล็มน้อย

1.4. หลีกเลี่ยงไม่ให้สัตว์ลงแทะเล็มเป็นเวลานานเกินไปจนกระทั่งเหลือตอพืชสั้น ๆ ปกติอย่าให้สัตว์แทะเล็มตอพืชสั้น ๆ นั้นจะทำให้ลดผลผลิตของทุ่งหญ้าเปิดโอกาสให้วัชพืชเติบโต และทำให้การพังทลายของดินเพิ่มขึ้น

1.5. หลีกเลี่ยง under grazing หมายถึงการปล่อยสัตว์เข้าไปกินน้อยครั้งหรือจำนวนสัตว์ไม่สมดุลกับการเจริญเติบโตของทุ่งหญ้าทำให้เกิดผลเสียคือ ทำให้ทุ่งหญ้าแก่ สัตว์ไม่ชอบกินและคุณค่าทางอาหารต่ำ เปิดโอกาสให้วัชพืชเจริญเติบโตได้

2) มีการตัดแต่งทุ่งหญ้าและควบคุมวัชพืช (clipping pasture and controlling weeds)

2.1 มีการตัดแต่งทุ่งหญ้าเป็นครั้งคราวตามความจำเป็นเพื่อควบคุมวัชพืชและกำจัด

2.2 ตอพืชแข็ง ๆ ไม่น่ากิน

2.3 ทุ่งหญ้าที่ปล่อยให้สัตว์กินติดต่อกันไป ควรจะมีการตัดแต่งก่อนเวลาทำหญ้าแห้ง

2.4 ทุ่งหญ้าแบบหมุนเวียนอาจจะตัดใกล้ระยะเวลาการปล่อยสัตว์ลงแทะเล็ม

3) มีการใส่ปุ๋ย (topdressing)

หลังการตัดแต่งควรมีการให้ปุ๋ย หว่านปูนขาว (ถ้าจำเป็น) เพื่อให้ทุ่งหญ้ามีคุณภาพดี

4) ทำการคราดเป็นครั้งคราว เพื่อเกลี่ยมูลสัตว์ให้กระจายไปทั่วแปลงหญ้า

5) ปล่อยสัตว์เข้าแทะเล็มมากกว่าหนึ่งชนิด

สัตว์แต่ละอย่างมีการแทะเล็มหญ้าไม่เหมือนกัน บางชนิดชอบหญ้าอีกอย่างหนึ่ง แต่สัตว์อีกชนิดชอบหญ้าตรงกันข้าม

6) จัดระบบการให้น้ำทุ่งหญ้าอย่างเพียงพอ

2. ตัดมาให้กินสด ๆ (soilage or soiling)

หมายถึงการตัดพืชอาหารสัตว์ในขณะพืชสด ๆ อยู่ แล้วนำมาให้สัตว์กินถึงคอก เช่น การตัดหญ้า ตัดต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่างที่สด มาใช้เลี้ยงโคนม โคเนื้อ ฯลฯ

ข้อดี

1) ผลผลิตต่อไร่สูง

2) มีการสูญเสียโภชนะน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ

3) สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย เพราะไม่ต้องทำรั้วกั้นเป็นแปลง ๆ แบบปล่อยให้สัตว์ลงแทะเล็มกิน

4) ลดปัญหาโรคท้องอืดซึ่งอาจเกิดขึ้น

5) ใช้มากในการเลี้ยงโคนมเพื่อการค้า

ข้อเสีย

1) ขาดความสม่ำเสมอในเรื่องคุณภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ และความแก่อ่อนของพืช

2) อาจมีปัญหาในฤดูฝน การตัดอาจลำบาก

3) อาจเป็นวิธีที่แพงถ้าแรงงานและเครื่องมือที่ใช้มีราคาสูง

4) ไม่สามารถมีพืชสำหรับตัดให้กินตลอดปี

3. หญ้าแห้งและการทำหญ้าแห้ง (hay and hay making)

ประเทศไทยมีการทำหญ้าแห้งน้อยมาก ไม่เหมือนประเทศในแถบหนาว เช่น ประเทศทางยุโรป ทางอเมริกา ประเทศดังกล่าวมีการทำหญ้าแห้งมาก จุดประสงค์เพื่อเก็บไว้ให้สัตว์กินในฤดูหนาวซึ่งไม่สามารถปลูกพืชอาหารสัตว์ได้เพียงพอ ประเทศเราประสพปัญหาขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ในฤดูแล้ง โค กระบือ สูญเสียน้ำหนักมากหากเราจะได้ทำหญ้าแห้งในฤดูที่อาหารงอกงามดีแล้วเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้วจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

จุดประสงค์ในการทำหญ้าแห้ง

จุดประสงค์ของการทำหญ้าแห้งเพื่อลดจำนวนน้ำที่มีอยู่ในพืชสีเขียว ให้เหลือจำนวนน้ำเหมาะที่จะเก็บรักษาหญ้าแห้งไว้ได้อย่างปลอดภัยโดยปราศจากการเน่าเสียหรือการสูญเสียโภชนะต่าง ๆ ในการทำหญ้าแห้งมีข้อความคำนึงดังต่อไปนี้

1. หญ้าแห้งแบบอัดเป็นฟ่อนควรมีความชื้นประมาณ 18-22 %

2. หญ้าแห้งที่ยังแห้งไม่ดีพอมีความชื้นสูง หากนำไปเก็บไว้อาจเกิดลุกติดเป็นไฟได้เอง ซึ่งเป็นผลมาจาก spontaneous combustion.

3. หญ้าแห้งที่มีความชื้นสูงมาก อาจทำให้เกิดเชื้อราทำให้เน่าเสียซึ่งไม่เหมาะเป็นอาหารสัตว์

4. หญ้าแห้งที่ทำจากพืชที่อยู่ในระยะยังไม่เหมาะจะเก็บเกี่ยวหรือทำมาไม่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดการสูญเสีย คือการร่วงหล่น (shattering) เช่น การหลุดร่วงของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารมากที่สุด ใบของถั่วต่างๆ จะหลุดร่วงได้ง่ายกว่าใบของหญ้า

4.1. การสูญเสียจากน้ำชะล้าง (leaching) ในระยะที่กำลังทำหญ้าแห้งหากมีฝนตกลงมาฝนจะชะล้างหญ้าแห้งทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะ โดยเฉพาะโภชนะที่ละลายได้ง่าย

4.2. การสูญเสียจากการฟอกสี (bleaching) หญ้าแห้งที่ผึ่งแดดมานานเกินไปจะทำให้สีเขียวถูกฟอกเปลี่ยนเป็นสีซีดๆ ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนมาก

คุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

หญ้าแห้งมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าหญ้าสด เพราะว่ามีความชื้นน้อยกว่า ประมาณว่าหญ้าสด 3 กิโลกรัม มีคุณค่าทางอาหารเท่ากับหญ้าแห้ง 1 กิโลกรัม หญ้าแห้งที่ทำจากพืชตระกูลถั่วหรือทำจากพืชตระกูลถั่วผสมกับหญ้า ถ้าทำอย่างถูกต้องและเก็บรักษาอย่างถูกวิธีจะมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก คือจะมีโปรตีน แร่ธาตุ วิตามินสูงกว่าหญ้าแห้งที่ได้จากพืชอื่นๆ

ชนิดของหญ้าแห้ง

1. หญ้าแห้งชนิดผึ่งแดด (field-cured hay) เป็นหญ้าแห้งที่ตัดแล้ว ทำการผึ่งแดดไว้ในแปลงหญ้าเป็นแถวๆเมื่อแห้งพอสมควร จึงทำการเก็บกวาดมาสุมไว้เป็นกองหลวมๆ ตากแดดไว้อีก 2-3 วัน เมื่อตรวจสอบความชื้นให้เหลือ 15-20 % แล้วจึงทำการอัดเป็นฟ่อนๆ(baled hay) หรือจะทำการเก็บโดยไม่ต้องอัดฟ่อน (loose hay)

หญ้าแห้งชนิดนี้ ถ้าทำอย่างระมัดระวังปฏิบัติให้ถูกต้อง จะมีการสูญเสียประมาณไม่เกิน 30% เช่น การร่วงหล่นของใบ การสูญเสียเนื่องจากการสลายตัวของโปรตีนและวิตามิน
เนื่องจากความร้อนจากแสงแดด

2. หญ้าแห้งชนิดตากแห้งในโรง (barn-cured hay) เป็นหญ้าแห้งที่ตัดแล้วตากในแปลงพอแห้งหมาดๆ จากนั้นรีบนำไปกองไว้ในโรงแล้วใช้ความร้อน หรือลมช่วยไล่ความชื้นทำ
การอบอยู่ประมาณ 4 – 7 วัน พอแห้งได้ที่ก็ทำการอัดเป็นฟ่อนหรือเก็บแบบเป็นกองสุมไว้ในโรง หญ้าแห้งที่ทำ โดยวิธีนี้มีการสูญเสียน้อยมาก แต่ต้นทุนในการผลิตอาจจะสูง เพราะต้องลงทุนสร้างโรงอบและเสียค่าเครื่องทำความร้อนเพิ่มขึ้น

3. หญ้าชนิดระเหยน้ำโดยเร็ว (dehydrated hay) เมื่อตัดหญ้าเสร็จแล้วก็จะนำมาสับเป็นท่อนๆ นำไปทำให้แห้งด้วยลมร้อนในตู้ หรือปล่องที่มีความร้อนประมาณ 315 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาสั้นๆ ทำให้สามารถรักษาสีเขียวและโภชนะได้ดีที่สุด ถ้าปฏิบัติอย่างดีการสูญเสียจะไม่มีการเกิน 5 % หญ้าแห้งแบบนี้ลงทุนสูงมาก

4. หญ้าแห้งอัดเม็ดหรืออัดเป็นก้อน (pelleted hay and water) ได้แก่ การนำหญ้าแห้งบางชนิดมาหั่นหรือบดให้เล็กลง แล้วเข้าเครื่องอัดเม็ด เพื่อจะได้สะดวกในการขนส่งการเก็บรักษาและการเลี้ยงดู

ขั้นตอนในการทำหญ้าแห้งแบบผึ่งแดด

1. ทำการตัดพืชทันทีที่พืชอยู่ในระยะ early bloom stage of maturity ถ้าตัดพืชช้าไปกว่าระยะนี้จะทำให้ได้หญ้าแห้งที่มีคุณภาพต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจมีความจำเป็นที่จะต้องตัดพืชช้าไปบ้างเนื่องจากทัศนวิสัยไม่อำนวย เช่น มีฝนตก หรือมีแสงแดดไม่เพียงพอ

2. การตัดหญ้าเริ่มตัดในตอนเช้าจนถึงเที่ยง ไม่ควรตัดหญ้าในตอนบ่ายมาก จุดประสงค์เพื่อให้หญ้าเหี่ยวทำให้เซลล์พืชตายในวันที่ตัด ถ้าปล่อยให้หญ้าสดข้ามคืนเซลล์พืชมีการหายใจทำให้เกิดการสูญเสีย

3. หญ้าที่ตัดควรวางกระจายบางๆ ปล่อยให้แดดเผาให้แห้งโดยเร็วในแปลงปล่อยหญ้านั้นทิ้งไว้ข้ามคืน รุ่งเช้าหญ้าโดยความชื้นจากน้ำค้างหญ้าจะอ่อนตัวลงบ้าง ใบพืชไม่ทันกรอบ ใช้คราดมารวมกันเป็นกองหรือเป็นแถว สุมกองอย่างหลวมๆ ให้อากาศผ่านได้ จะใช้เวลาประมาณ 2 วัน จึงจะแห้งพอเก็บได้

4. เมื่อหญ้าแห้งพอสมควรมีความชื้นเหลือไม่เกิน 20% ให้เก็บในโรงเก็บ การเก็บควรกองอย่างหลวมๆให้อากาศผ่านเข้ากองหญ้าได้ ถ้าจะอัดเป็นฟ่อนต้องตากให้มีความชื้นเหลือไม่เกิน 15%

<u>หมายเหตุ</u> วันที่ทำหญ้าแห้งควรเป็นวันที่มีอากาศดีไม่มีฝนตก มีแสงแดดเพียงพอ ปกติจะใช้เวลาทำหญ้าแห้งประมาณ 2 – 3 วัน ฉะนั้นควรจะได้ฟังรายงานลักษณะอากาศเพื่อประกอบการพิจารณาในการทำหญ้าแห้ง

หญ้าและถั่วที่นิยมใช้ทำหญ้าแห้ง

หญ้าแห้งอาจทำมาจากพืชตระกูลหญ้าหรือตระกูลถั่วหรือจากหญ้าผสมกับถั่วก็ได้พืชตระกูลหญ้าที่นิยมใช้ทำหญ้าแห้งได้แก่ หญ้าขน (paragrass) หญ้าบลูแพนนิค (blue panic grass) หญ้าโคสตัล เบอร์มิวดา (Coastal bermuda grass) หญ้าจอนสัน (Johnson grass) เป็นต้น พืชตระกูลถั่วที่นิยมใช้ทำหญ้าแห้ง ได้แก่ Alfalfa , Birdsfoot terfoil , red clovers , ถั่วเหลือง (sotbean) , Sweet clovers เป็นต้น ในบ้านเราการทำหญ้าแห้งใช้หญ้าขนเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการใช้พืชตระกูลถั่วทำหญ้าแห้งยังมีน้อย

ความสำคัญของหญ้าแห้งในการใช้เป็นอาหารสัตว์

1. หญ้าแห้งส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (โค กระบือ แพะ แกะ) และใช้เป็นอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ม้า

2. หญ้าแห้งเป็นอาหารที่ให้พลังงานเพื่อเสริมการสร้างผลิตผลต่างๆ ชองสัตว์ เช่น เนื้อ นม ขนสัตว์ และแรงงานจากสัตว์ พลังงานที่ได้จากหญ้าแห้งมีราคาถูกกว่าพลังงานที่ได้จากอาหารข้น (concentrates) เช่น เมล็ดธัญญพืช (cereal grains) และจากเมล็ดพืชที่ให้น้ำมัน

3. หญ้าแห้งเป็นแหล่งให้วิตามิน และแร่ธาตุ สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร และสัตว์ปีก

4. จำนวนไขมันในน้ำนมจะลดลงหากเราให้โคนมกินอาหารข้นมากๆ (โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งหรือในระยะที่ขาดหญ้าสด) แต่ถ้าเราจัดหญ้าแห้งให้โคนมกินวันละ 3 – 6 กิโลกรัม จะช่วยรักษาระดับไขมันในน้ำนมให้เป็นปกติ

5. หญ้าแห้งเป็นอาหารที่มีราคาถูก สามารถเก็บสำรองไว้ให้สัตว์กินในยามขัดสน เช่นในฤดูแล้ง หรือในระยะที่มีฝนตกมากๆ

ลักษณะของหญ้าแห้งที่ดี

1.มีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น มีโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน

2.มีสัดส่วนของใบมากกว่าส่วนอื่นของพืช และใบมีสีเขียวจัด

- ใบมีโปรตีนมากว่าลำต้นประมาณ 2 – 3 เท่า
- ใบมีแคโรทีน (carotene) มีวิตามิน บี แร่ธาตุและพลังงานมาก

3. มีลำต้นอ่อนนุ่มไม่แข็ง สัตว์กินได้หมด

4. มีรสดี กลิ่นหอม มีความน่ากิน

5. ต้องไม่มีสิ่งปลอมปน สิ่งปลอมปนมีทั้งกลุ่มที่ไม่เป็นอันตราย เช่น วัชพืช เมล็ดพืช และกลุ่มที่เป็นอันตราย เช่น สารพิษในพืช สารพิษจากจุลินทรีย์ เชื้อรา เศษไม้ หิน ลวด ตะปู ฯลฯ

ปัจจัยที่มีผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพของหญ้าแห้ง

1. อายุของพืชที่ตัดมาทำหญ้าแห้ง พืชที่ตัดในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีคุณค่าทางอาหารสูง สัตว์ชอบกินมากกว่าพืชที่ตัดในระยะอื่นของการเจริญเติบโต

2. เปอร์เซ็นต์ของใบ หญ้าแห้งถ้ามีใบมากคุณค่าทางอาหารสูงกว่าหญ้าแห้งที่มีใบน้อยหญ้าแห้งที่ดีพอสมควรจะมีใบเหลืออยู่ประมาณ 60 – 65 %

3. วิธีทำหญ้าแห้ง หญ้าแห้งที่ทำโดยวิธีผึ่งแดด หรือทำให้แห้งในโรง คุณภาพสู้หญ้าแห้งที่ทำโดยวิธีการระเหยน้ำโดยเร็วไม่ได้ เพราะหญ้าแห้งทำโดยวิธีผึ่งแดด หรือทำให้แห้งในโรงมีการสูญเสียมาก

(1). หญ้าแห้งที่ทำให้แห้งโดยวิธีผึ่งแดด หรือทำให้แห้งในโรงมีการสูญเสีย ดังนี้

% การสูญเสีย

วัตถุแห้ง (DM)	20 – 30
โปรตีน (Protein)	27 – 30
โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN)	25 – 28
แคโรทีน (Carotene)	90 – 97

(2). หญ้าแห้งที่ทำโดยวิธีระเหยน้ำมีการสูญเสีย ดังนี้

	% การสูญเสีย
วัตถุแห้ง (DM)	16
โปรตีน (Protein)	18
โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN)	13
แคโรทีน (Carotene)	76

4. ลักษณะทางฟิสิกส์ของหญ้าแห้งที่ใช้เลี้ยงสัตว์

5. ชนิดของพืชที่ใช้ทำหญ้าแห้ง (forage species)

6. หญ้าหมักและการทำหญ้าหมัก (Silage and Silage Making)

หญ้าหมักเป็นอาหารที่หมักไว้โดยการใช้ส่วนต่างๆของต้นพืชหมักไว้ในสภาพอวบน้ำในที่ที่ไม่มีอากาศ ที่หมักหญ้าหมักเราเรียกว่า ไซโล (silo)

ประเภทของไซโล มีหลายแบบ

1. แบบหลุมยาว (trench silo) มักขุดเป็นหลุมยาวโดยเลือกขุดในที่ที่มีน้ำท่วมไม่ถึง ไซโลแบบนี้มีหลายขนาด แต่ตามปกติจะมีความกว้าง 15 – 20 ฟุต ความยาว 100 – 300 ฟุต และลึก 10 – 20 ฟุต ตามธรรมดาก้นหลุมจะแคบกว่าตอนปากหลุม ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์ในการอัดหญ้าหมักให้แน่น ผนังและพื้นเป็นคอนกรีต สามารถรับน้ำหนักรถแทรกเตอร์ ซึ่งจะต้องวิ่งเข้าออกในการบรรจุและอัดหญ้าหมัก

2. แบบหลุมสี่เหลี่ยมเหนือดิน (bunker) มักใช้ในที่ราบ ที่เป็นหิน และ/หรือในที่ดินไม่เหมาะจะทำ Trench silo ผนังอาจใช้พลาสติกหรือกระดาษหนาๆส่วนพื้นเป็นคอนกรีต ตอนปลายของหลุมหมักแบบนี้จะมีช่องทางเปิด

3. แบบคอหอย (tower silo) มีรูปร่างกลมสร้างเหนือดิน ปัจจุบันมักทำด้วยคอนกรีต หรือแผ่นไม้บางๆ เสริมคอนกรีต (concrete staves) ไซโลแบบนี้มีหลายขนาดปกติจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 – 20 ฟุต และมีความสูงเหนือดินประมาณ 40 – 80 ฟุต

4. แบบหลุมกลม (pit silo) ขุดเป็นหลุมกลมๆ ในแนวดิ่ง ค่าใช้จ่ายถูกแต่ถ้าพื้นและผนังก่อด้วยอิฐ หรือทำด้วยคอนกรีตค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น ปกติจะขุดให้ลึกและกว้างประมาณ 2 – 3 เมตร

5. แบบกองบนดิน (stack) โดยใช้วัสดุบางอย่างปกคลุม เช่น พลาสติกขนาดใหญ่

ชนิดของพืชที่ใช้ทำหญ้าหมัก (forages used for silage)

มีการใช้พืชหลายชนิดทำหญ้าหมัก แต่พืชที่นิยมใช้ทำหญ้าหมักมากมี 2 ชนิด คือ

1. ข้าวโพด (corn) ในสหรัฐอเมริกามีการปลูกข้าวโพดเพื่อทำหญ้าหมักมากกว่าการปลูกข้าวฟ่างถึง 10 เท่าตัว หญ้าหมักที่ทำจากข้าวโพดให้วัตถุแห้งและ TDN มากกว่าข้าวฟ่าง ข้อเสียของข้าวโพด คือ มีโปรตีนต่ำ มีแร่ธาตุต่ำโดยเฉพาะแคลเซียมและแมงกานีส ฉะนั้นถ้าใช้ข้าวโพดหมักเป็นอาหารโคควรเสริมโภชนะดังกล่าว

การเติมยูเรียในอัตราส่วน 4 – 5 กิโลกรัม / ตัน ของ 30 % dry matter corn forage ขณะบรรจุหญ้าหมักจะทำให้ข้าวโพดหมักมีโปรตีนประมาณ 12 % (crude protein on a dry basis)

2. ข้าวฟ่าง (sorghum) ข้าวฟ่างหมักโดยทั่วๆไป ไปจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าข้าวโพดเพียงเล็กน้อย ข้อเสียของข้าวฟ่างก็เช่นเดียวกับข้าวโพด คือ มีโปรตีนและแคลเซียมต่ำ นอกจากนี้ข้าวฟ่างหมักมีค่าพลังงานต่ำ อย่างไรก็ตามยังนิยมปลูกข้าวฟ่างแทนข้าวโพดในแถบที่ไม่สามารถปลูกข้าวโพดได้ดี เพื่อนำข้าวฟ่างมาทำหญ้าหมักเลี้ยงสัตว์ เช่น ในแถบตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา

การเตรียมพืชเพื่อทำหญ้าหมัก

1. พืชที่ใช้ที่ทำหญ้าหมักควรมีความชื้นประมาณ 65 – 75 % (25-35% DM) สำหรับข้าวโพดควรอยู่ในระยะ early don't stage ถ้าเป็นข้าวฟ่างควรอยู่ในระยะ late dough stage หญ้าหมักที่มีความชื้นมากกว่า 75 %(มี DM ต่ำกว่า 25%) จะมีรสเปรี้ยวจัดและมีการสูญเสียโภชนะมาก สำหรับหญ้าหมักที่มี DM มากกว่า 35% และมีความชื้นต่ำกว่า 65% ทำให้อัดลำบากและมักเกิดเชื้อราอยู่เสมอ เพราะมีช่องให้อากาศเข้าได้

2. พืชที่จะใช้ทำหญ้าหมักควรหั่นให้มีขนาดเล็ก ปกติจะมีขนาดยาวประมาณ 1 นิ้วหรือยาวกว่าหนึ่งนิ้ว เพราะจะทำให้สะดวกในการอัดให้แน่น สำหรับต้นข้าวฟ่างควรทุบให้แตกเพื่อไล่อากาศออกบ้าง บางครั้งมีการเติมข้าวโพดบด กากน้ำตาล หินปูนป่น ยูเรีย และ/หรือสารเคมีอื่นๆ เพื่อลดการสูญเสียจากการหมักบูด (fermentation) ซึ่งจะทำให้หญ้าหมักมีคุณภาพดี และ /หรือเพื่อคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

การหมักหญ้าหมัก

นำพืชที่ได้เตรียมไว้แล้วเข้าไปอัดในไซโล พยายามอัดให้แน่น ถ้าเป็นไซโลแบบหลุมยาว (trench Silo) ก็ใช้แทรกเตอร์ย่ำไปมา ถ้าเป็นไซโลแบบอื่นอาจต้องใช้แรงคนหรือเครื่องมืออย่างอื่นช่วย หากจำเป็นต้องเติมข้าวโพดบดประมาณ 40 กิโลกรัม ต่อพืช 1 ตัน ถ้าใช้กากน้ำตาลใช้ในอัตรา 30 ลิตร / พืช 1 ตัน เมื่ออัดจนแน่นแล้วใช้หญ้าแห้ง ฟาง หรือพลาสติกหนาปูทับ แล้วกลบด้วยดินให้หนาประมาณ

6 – 12 นิ้ว เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลซึมลงไปที่หญ้าหมัก ควรทำดินที่กลบให้มีรูปเป็นหลังเต่า น้ำฝนที่ตกลงมาจะได้ระบายง่าย

ขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการหมักพืช

ในการทำหญ้าหมัก ต้นพืชสดจากไร่จะถูกสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอัดให้แน่นในไซโลซึ่งมีสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition or without oxygen) แบคทีเรียจะทำการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้พืชหมักมีระดับ pH ประมาณ 3.5 – 4.5 กรดที่เกิดขึ้นจะทำลายแบคทีเรียให้หมดสิ้นไป ทำให้สามารถเก็บหญ้าหมักไว้ได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป ขบวนการหมักบูดหญ้าหมัก (fermentation) แบ่งออกได้เป็น 5 ระยะด้วยกัน คือ

1. ระยะที่ 1 (phase 1)

เริ่มตั้งแต่เอาพืชสดใส่เข้าไปในไซโล เซลล์ของพืชยังมีชีวิตอยู่จะหายใจโดยการใช้ออกซิเจน ซึ่งอยู่ระหว่างชั้นพืชและคายคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา และทำให้เกิดพลังงานและความร้อน ผลตามมาทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม yeast และ mold เจริญและเพิ่มจำนวน ระยะนี้อุณหภูมิอาจสูงถึง 100° F โดยวิธีนี้ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ออกซิเจนที่มีอยู่จะถูกใช้หมดไปจนในที่สุดเซลล์ของพืชหยุดการหายใจและตาย กล่าวโดยย่อระยะที่ 1 คือ ระยะเซลล์พืชหายใจ (cell respiration) มีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (production of CO_2) และเป็นระยะที่มีการผลิตความร้อน
(production of heat)

2. ระยะที่ 2 (phase 2)

เมื่อไม่มีอากาศ เชื้อราและแบคทีเรียที่ต้องการอากาศจะหยุดการเจริญเติบโต แต่มีแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic bacteria) เจริญ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการผลิตกรดโดยการเปลี่ยนแป้งและน้ำตาลที่มีอยู่ในพืชให้เป็นกรดดังกล่าว เมื่อกรด acetic ถูกผลิตขึ้นมากความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก็จะเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 3

3. ระยะที่ 3 (phase 3)

เป็นระยะที่แบคทีเรียสร้างกรด lactic เมื่อมีการผลิตกรด lactic แบคทีเรียที่ผลิตกรด acetic เริ่มลดจำนวนลง เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่มีความทนทานต่อความเป็นกรดสูง

ระยะที่ 1, ระยะที่ 2 , ระยะที่ 3 จะใช้เวลาประมาณ 3 – 5 วัน นับแต่วันที่เริ่มเอาพืชเข้าไปหมัก

4. ระยะที่ 4 (phase 4)

เป็นระยะที่มีการผลิตกรด lactic มาก ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15 - 20 วัน เมื่อระดับกรดมากพอสมควร คือ มีระดับ pH ประมาณ 3.5 – 4.5 แบคทีเรียต่างๆจะหยุดการเจริญ

5. ระยะที่ 5 (phase 5)

ระยะที่ 5 ขึ้นอยู่กับผลของ 4 ระยะแรก ถ้ามีกรด acetic และ lactic เกิดขึ้นเพียงพอที่จะหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแล้ว การเปลี่ยนแปลงต่างๆ จะไม่เกิดขึ้นอีก ทำให้สามารถเก็บรักษาหญ้าหมักไว้ได้นานๆ อย่างไรก็ตามถ้าระดับกรดทั้งสองชนิดดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยจะมีแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่ง (เป็นแบคทีเรียที่เราไม่พึงปรารถนา) ทำการผลิตกรด butyric ทำให้หญ้าหมักมีกลิ่นและรสไม่ดี สัตว์ไม่ชอบกิน นอกจากนี้โปรตีนในหญ้าหมักจะถูกทำลายทำให้หญ้าหมักเกิดการเน่าเสีย

การสูญเสียของโภชนะในการทำหญ้าหมัก

1. การสูญเสียเนื่องจากการบูดของหญ้าหมัก คือ ทำให้แป้งและน้ำตาลถูกทำลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การสูญเสียทางนี้ไม่ควรเกิน 5 – 10 %

2. การสูญเสียเนื่องจากอากาศเข้า ตอนบนของหญ้าหมักในไซโล ซึ่งมีอากาศเข้าได้เพราะอัดให้แน่นไม่ได้ ถ้าไซโลสูงและแคบการสูญเสียก็จะมีน้อย ปกติหญ้าหมักจะเสียตอนปากถังไม่เกิน 5 %

3. การสูญเสียเนื่องจากมีน้ำมาก จะทำให้นะไหลพาเอาโภชนะบางส่วนไป การสูญเสียควรไม่เกิน 3 % ถ้าพืชหมักมีน้ำมากและน้ำไหลหนีไม่ได้จะทำให้หญ้าหมักมีรสเปรี้ยวจัด สัตว์ไม่ชอบกิน วิธีแก้ไข คือ ผึ่งแดดให้พืชเหี่ยวเสียก่อนแล้วจึงนำไปหมัก

การใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์

1. หญ้าหมักนิยมใช้เลี้ยงโคเนื้อและโคนม โดยใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาหารหยาบ หรือใช้เป็นอาหารหยาบแทนพืชสด หญ้าหมักใช้เลี้ยงแกะได้ดี หญ้าหมักเป็นอาหารที่ไม่ดีนักสำหรับม้า และไม่นิยมใช้หญ้าหมักเลี้ยงสุกร

2.ใช้หญ้าหมักประมาณ 2.5 – 3 ปอนด์ แทนหญ้าแห้ง 1 ปอนด์ ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าหมักมีวัตถุแห้งต่ำ

3. เมื่อเอาหญ้าหมักออกเลี้ยงสัตว์แล้ว ต่อไปจะต้องเอาหญ้าหมักออกทุกวัน วันละ 2-5 นิ้ว ทั้งนี้ก็เพื่อรักษาหญ้าหมักให้สดอยู่เสมอ แต่ถ้าอากาศร้อนขึ้นควรเอาหญ้าหมักออกเลี้ยงสัตว์มากกว่าวันละ 2 – 5 นิ้ว จนกว่าหญ้าหมักหมดถัง

4. การใช้หญ้าหมักหมักใช้ในเวลาที่ทุ่งหญ้าไม่ดีพอ หรือในระยะที่ขาดแคลนอาหารพืชสด

5.ในระยะที่มีอากาศร้อน หญ้าหมักเป็นอาหารหยาบที่ดี สำหรับใช้เลี้ยงโคในโรง

ข้อดีของหญ้าหมัก

1.ให้จำนวน TDN / ไร่สูง

2. เป็นอาหารที่มีสภาพอวบน้ำ อาหารแห้งก่อนถูกย่อยมักจะถูกทำให้อิ่มน้ำ

3. ไม่มีการสูญเสีย เนื่องจากการร่วงหล่น การถูกฝนชะล้าง และการถูกฟอกสีโดยแสงแดด

4. สามารถกินได้ทุกส่วน แม้จะเป็นลำต้นที่แข็งหรือส่วนที่เป็นซังข้าวโพด

5. วัชพืชสามารถใช้เป็นหญ้าหมักได้

6. สามารถทำหญ้าหมักได้ทุกฤดู

7.ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับไฟไหม้ ซึ่งมักเกิดกับหญ้าแห้ง

8. ลดปัญหาเกี่ยวกับพยาธิภายใน ถ้าเป็นทุ่งหญ้าจะมีปัญหาดังกล่าวมาก

9. ทำให้จัดโปรแกรมการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรได้สะดวก

10. สามารถใช้ที่ดินปลูกพืชอื่นได้เร็วขึ้น

ข้อเสียของหญ้าหมัก

1. ต้องการแรงงานพิเศษในการบรรจุพืชลงในไซโล

2. ต้องการอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บเกี่ยว การรักษา และการใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์

3. DM จากหญ้าหมักจะต่ำกว่าหญ้าแห้งหรือเมล็ดที่แห้ง (จากพืชชนิดเดียวกัน) ฉะนั้น เมื่อใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า หรืออาจจะใช้เวลาเลี้ยงนานกว่าจะส่งตลาดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พืชชนิดเดียวกันในรูปขิงหญ้าแห้ง หรือเมล็ดพืช

4. หญ้าหมักมีน้ำมาก การทำงานอาจจะไม่สะดวก

5. หญ้าหมักไม่เหมาะที่จะใช้เลี้ยงสัตว์เป็นระยะๆแล้วหยุดไป โดยไม่ใช้ติดต่อกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้

ตัวอย่างวัตถุเสริม (additive materials)

1. วัตถุเสริมประเภทแร่ธาตุ (mineral additive)

แหล่งของแร่ธาตุ (sources of minerals)

1. แร่ธาตุที่ต้องการมาก (major minerals)

แร่ธาตุกลุ่มนี้อาจอยู่ในรูปของแร่ธาตุชนิดเดียวล้วน ๆ หรือเป็นแร่ธาตุผสม

1.1 แหล่งของธาตุแคลเซียมและ/ หรือ ฟอสฟอรัส มีดังแสดงในตาราง 5

ตารางที่ 5 แหล่งของธาตุแคลเซียมและ/ หรือ ฟอสฟอรัส

Mineral source	% Ca	% P	Remarks
Limestone	33 –38	0	
Oyster shell	34 –39	0	
Soft colloidal phosphate	18 –19	9 – 10	
Steamed bone meal	24 –30	12 – 14	12 –13% CP
Curacao phosphate	34 –36	12 – 15	
Raw rock phosphate	29 –30	12 – 15	2 – 4% F
Defluorinated rock phosphate	32 – 33	16 – 18	<1 past F to 100 parts P
Dicalcium phosphate	23 – 28	18 – 22	
Diammonium phosphate	0	20 – 24	Not < 17% N
Monosodium phosphate	0	22 – 26	16 –19 % Na
Phosphoric acid	0	22 – 31.6	

แหล่งของธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส แตกต่างกันในด้านการนำไปใช้ประโยชน์และการหาได้ง่ายหรือหาได้ยาก ตามตาราง phosphoric acid, dicalcium phosphate, และ steamed bone meal เป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัสที่หาได้ง่าย นำไปใช้ประโยชน์ได้ดี แต่ soft colloidal phosphate เป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัสที่สัตว์เอาไปใช้ได้ยากไม่สู้จะเป็นประโยชน์ ส่วน raw rock phosphate มีธาตุ F สูงซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ ในพืชประมาณ 1/2 - 2 /3 ของฟอสฟอรัสจะอยู่รวมกับ phytic acid (เรียก phytin P) นั้นเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวนำไปใช้ได้ยากไม่สู้จะเป็นประโยชน์

1.2 เกลือ (แหล่งของธาตุโซเดียมและคลอรีน)

1.2.1. Common or flain salt

1.2.2. Iodized salt

1.2.3.Trace mineral salt -เป็นเกลือเข้าธาตุไอโอดีน และมีส่วนผสมของแร่ธาตุปลีกย่อยอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย เช่น มีธาตุโคบอลท์ แมงกานิส, เหล็ก, สังกะสี, และ ทองแดง เกลือดังกล่าวในข้อ 1.2 มีขายในรูปเกลือป่นหรือแบบอัดเป็นแท่ง

2. แร่ธาตุที่ต้องการน้อย (trace minerals)

แร่ธาตุกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันในแง่การใช้ประโยชน์ และความเสียหายเพียงพอ ส่วนมากจะอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์หรือในรูปของอ๊อกไซด์ ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงคุณค่าทางชีวะของ Trace minerals ดังนี้

1) การละลายได้ในน้ำหรือในกรดเจือจาง
2) ประสิทธิผลในการป้องกันหรือการรักษาอาการของการขาดแร่ธาตุ
3) ผลที่มีแร่ธาตุจำนวนมากในเนื้อเยื่อหรือระดับที่จะเป็นพิษ

ต่อไปนี้เป็นแร่ธาตุที่ใช้เสริมลงไปในอาหารและการใช้กันทั่ว ๆ ไป

2.1 แมกนีเซียม เช่น

2.1.1 Magnesium oxide	- หาได้ง่ายมีเพียงพอ
2.1.2 Magnesium carbonate	- หาได้ง่ายมีเพียงพอ
2.1.3 Magnesium sulfate	- หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.2 โปแตสเซียม เช่น

2.2.1 Potassium chloride	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.2.2 Potassium sulfate	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.2.3 Potassium carbonate	- หาได้ง่ายเพียงพอ

2.3 กำมะถัน

2.3.1 สารประกอบกลุ่มซัลเฟตสามารถทำให้ธาตุกำมะถัน เช่น sodium sulfate (22.5 % S) ใช้มากในอาหารโคเนื้อที่มียูเรีย

2.4 เหล็ก เช่น

2.4.1 Ferrous sulfate	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.4.2 Ferrous gluconare	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.4.3 Ferrous fumarate	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.4.4 Ferrous ammonium citrate	- หาได้ง่ายเพียงพอ
2.2.5 Ferrous chloride	- หาได้ยากมีไม่เพียงพอ
2.2.6 Ferrous carbonate	- ส่วนใหญ่หาได้ยาก
2.2.7 Ferric oxide	- ส่วนใหญ่หาได้ยาก มักจะใช้เป็นสารให้สี

2.5 ทองแดง เช่น

2.5.1 Copper sulfate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ, สัตว์เคี้ยวเอื้องใช้ได้ดี

2.5.2 Copper carbonate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.5.3 Copper oxide - ปานกลางถึงหาได้ยาก

2.5.4 Copper chloride - ปานกลางถึงหาได้ยาก

2.6 แมงกานีส เช่น

2.6.1 Manganese sulfate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.6.2 Manganese oxide - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.6.3 Manganese carbonate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.6.7 Native manganese ores - หาได้ยากมีไม่เพียงพอ

2.6.8 Manganese dioxide - หาได้ยากมีไม่เพียงพอ

2.7 สังกะสี เช่น

2.7.1 Zinc oxide - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.7.2 Zinc carbonate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.7.3 Zinc sulfate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.7.4 Zinc chloride - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.7.5 Zinc sulfide (sphalerite) - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.8 ไอโอดีน เช่น

2.8.1 Calcium iodate และ potassium iodide หาได้ง่ายมีเพียงพอ แต่ถูกทำลายได้ง่ายโดย oxidation เมื่อผสมกับอาหารอย่างอื่น

2.8.2 3, 5 – diiodosalicylic acid (D I S) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่หาได้ง่าย , ต้านทาน Oxidation ได้ แต่อยู่ในร่างกายได้ไม่นาน

2.8.3 Ethylenediamine dihydroiodide (E D D I) เป็นรูปของสารประกอบไอโอดีนที่ทนทานและหาได้ง่าย

2.9 โคบอลท์ เช่น

2.9.1 Cobalt carbonate - หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2.9.2 Cobalt oxide - หาได้ง่ายปานกลาง

2.9.3 Cobalt chloride - หาได้ง่ายปานกลาง

2.9.4 Cobalt sulfate - หาได้ง่ายปานกลาง

2.10 ซีลีเนียม

2.10.1 F D A (food and drug administration) รับรองให้ใช้เป็นอาหารเสริมของสุกร ไก่กระทง และไก่งวง

2.10.2 Sodium selenite และ sodium selenate หาได้ง่ายมีเพียงพอ

2. วัตถุเสริมประเภทวิตามิน (vitamins additives)

วิตามินที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปมักจะเป็นวิตามินเดี่ยว ๆ เพียงชนิดเดียวหรืออาจอยู่ในรูปผสม วิตามินละลายได้ในไขมันมักต้องการ stabilizer หรือ antioxidant เพื่อช่วยรักษาอำนาจของวิตามิน ผลิตภัณฑ์วิตามินที่มีจำหน่ายส่วนใหญ่ถูก stabilized มาแล้ว วิตามินที่ละลายได้ในน้ำบางชนิดถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน ฉะนั้นควรได้ระมัดระวังในการเก็บรักษา

2.1 วิตามินละลายได้ในไขมัน (fat soluble vitamins)

2.1.1 วิตามิน เอ ตามธรรมชาติอยู่ในรูปของ carotene ซึ่งพบอยู่ตามส่วนที่มีสีเขียวของพืชและในรูปของวิตามิน เอ แอลกอฮอล์ ซึ่งพบอยู่ตามน้ำมันตับปลาหรือน้ำมันพืชบางชนิดเช่นน้ำมันแครอท ส่วนวิตามิน เอ ในรูปสารสังเคราะห์เคมีนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.1.2 วิตามิน ดี ตามธรรมชาติพบอยู่ในหญ้าแห้ง ที่ทำให้แห้งโดยวิธีผึ่งแดดและพบอยู่ในน้ำมันตับปลา (D3) ส่วนวิตามิน ดี รูปสังเคราะห์ได้จากการ activations สารกลุ่ม sterol ในสัตว์โดยแสงอุตราซึ่งจะได้วิตามิน ดี3 ส่วนการ activation สารกลุ่ม sterols ในพืช จะได้วิตามิน ดี2 นอกจากนี้วิตามิน ดี2 ยังได้จากการนำยีสต์แห้งไปผ่านรังสีอุลตรา

2.1.3 วิตามิน อี เป็นสารประกอบกลุ่ม tocopherols ซึ่งสารกลุ่มนี้มีหลายชนิด แต่ที่ให้วิตามิน ดี ที่มีฤทธิ์มาก คือ D – alpha ตามธรรมชาติพบวิตามินอีที่ปุ่มงอกของเมล็ดพืช พืชสีเขียว และหญ้าแห้งที่ทำให้แห้งอย่างดี ปัจจุบันมีวิตามินอี ในรูปสารสังเคราะห์จำหน่าย

2.1.4 วิตามิน เค ตามธรรมชาติพบในพืชสีเขียว หญ้าแห้งที่มีคุณภาพดี และในเมล็ดพืช ส่วนวิตามินเครูปสารสังเคราะห์เช่น monadine sodium bisulfite และ menadione dimethyl pyrimidinol bisulphite.

2.2 วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble vitamins)

2.2.1 Riboflavin

1) แหล่งธรรมชาติ พบอยู่ในผลิตภัณฑ์นม, ตับป่น,ยีสต์แห้ง, ถั่วแห้งที่มีใบมาก, ธัญพืชแห้ง, ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นและจากการหมัก

2) สารสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์หรือโดยทางเคมี

2.2.2 Niacin

1) แหล่งธรรมชาติ พบตามอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป แต่ในเมล็ดธัญพืชมี niacin ต่ำ ไม่เพียงพอกับความต้องการของสุกร

2) สารสังเคราะห์ เช่น amide form of nicotinic acid, niainide หรือ nicotinamide

2.2.3 Pantothenic acid

1) แหล่งธรรมชาติ มีอยู่ในอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป แต่ปริมาณผันแปรตามชนิดของอาหารสัตว์ เช่น มีอยู่น้อยมากในข้าวโพด

2) สารสังเคราะห์ เช่น calcium pantothenate

2.2.4 Choline

1) แหล่งธรรมชาติ มีอยู่ในอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

2) สารสังเคราะห์ เช่น choline chloride (นิยมใช้) และ choline xanthate

2.2.5 วิตามิน บี 12 (vitamin B12)

1) ตามธรรมชาติวิตามิน บี 12 พบอยู่ในโปรตีนที่ได้จากสัตว์ เช่น เนื้อป่น ปลาป่น ฯลฯ

2) ในทางการค้าเตรียมวิตามิน บี12 จากขบวนการหมักบูด แม้ว่าจะทราบโครงสร้างของวิตามิน ชนิดนี้แล้วก็ตาม ยังไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ต้องอาศัยจุลินทรีย์ทำการหมักบูด

3. วัตถุเสริมประเภทที่ไม่ใช่โภชนะ ได้แก่ สารเสริม (feed additives)

สารเสริม คือสารที่นอกเหนือไปจากโภชนะที่กล่าวข้างต้น (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามิน) เติมลงไปในอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ กัน สารเสริมมีมากมายหลายชนิด เช่น

1. ปฏิชีวนสาร (antibiotics)

เป็นสารที่จุลินทรีย์ (microorganisms) ได้กลั่นออกจากตัว (synthesized) เพื่อใช้ทำลายจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ เนื่องจากว่าตลอดชีวิตของจุลินทรีย์เต็มไปด้วยการต่อสู้เพื่อการดำรงอยู่และอาวุธที่ใช้ก็คือสารกลุ่ม organic ซึ่งเป็นพิษต่อกลุ่มอื่น ๆ แต่ไม่เป็นพิษต่อกลุ่มเดียวกัน ในราวปี พ.ศ. 2420 Plasture ได้สังเกตเห็นโดยบังเอิญว่ามีจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งได้ทำลายเชื้อ anthrax bacilli ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค

anthrax ในสัตว์ ทำให้ Plasture เกิดแนวความคิดที่จะค้นหาจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงและมนุษย์เข้ามาทำลายล้างจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค

Alexander Fleming ได้ค้นพบเชื้อราชนิดหนึ่งชื่อว่า Penicillium notatum หรือตัวเชื้อราที่ให้ตัวยา Penicillin ที่ใช้รักษาโรคต่าง ๆ การค้นพบปฏิชีวนสาร ค้นพบและผลิตครั้งแรกในประเทศอังกฤษทั้งสิ้น แต่เนื่องจากเงินทุนที่จะลงทุนไม่มี Lord Florey และ Ernest Chain ซึ่งเป็นผู้สกัด penicillin ออกมาได้ จึงติดต่อกับบริษัทต่าง ๆ ในอเมริกาให้เป็นนายทุน ปฏิชีวนสารจึงไปแพร่หลายในอเมริกา

บทบาทของปฏิชีวนสาร

ปฏิชีวนสาร เข้ามามีบทบาทในการเลี้ยงสัตว์อย่างบังเอิญ ครั้งแรกไม่มีผู้ใดทราบว่าปฏิชีวนสารสามารถทำให้สัตว์เจริญเติบโตเร็วขึ้น ทราบกันแต่ว่าวิตามินอย่างเดียวมีผลดังกล่าวและได้มีการทดลองวิตามินต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ในการทดลองครั้งหนึ่งได้ใช้วิตามินบี 12 ซึ่งสกัดออกมาในรูปของวิตามินบริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับวิตามินบี 12 ในรูปของกากปฏิชีวนสาร (residue) ซึ่งเหลือจากการสกัดเอาตัวยา chlortetracycline แล้วผลปรากฏว่าการใช้กากปฏิชีวนสารช่วยทำให้ลูกไก่เจริญเติบโตได้ดีกว่าวิตามินบี 12 ในรูปของสารบริสุทธิ์ ทำให้สงสัยว่าอาจจะไม่ใช่วิตามินบี 12 เพียงอย่างเดียวที่ช่วยการเจริญเติบโตของลูกไก่ การทดลองครั้งนี้ทำให้เกิดการพิสูจน์ต่อไปและได้พบว่าปฏิชีวนสาร chlortetracycline ซึ่งหลงเหลือในกากเป็นตัวส่งเสริมการเจริญเติบโตของลูกไก่ นับแต่นั้นมาการทดลองเกี่ยวกับปฏิชีวนสารต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตเพื่อประโยชน์ต่อการผลิตสัตว์เป็นไปอย่างกว้างขวางขึ้น

ระดับการใช้ปฏิชีวนสารในอาหารสัตว์ แบ่งระดับการใช้ออกเป็น 2 ระดับ คือ

1. การใช้ระดับต่ำ (nutritional level)

เป็นการใช้ปฏิชีวนสารตั้งแต่ 1 ถึง 50 กรัมต่ออาหาร 1 ตัน เฉพาะในไก่มักจะใช้ 10 กรัมต่ออาหาร 1 ตัน ส่วนในโคและสุกรบางครั้งอาจใช้ 10 กรัม ต่ออาหาร 1 ตัน ในการใช้ปฏิชีวนสารในระดับต่ำ มีลักษณะดังนี้

1.1. ใช้กับสัตว์ที่ไม่มีอาการเป็นโรค

1.2. มุ่งหวังให้สัตว์โตรวดเร็วขึ้น

1.3. รักษาสุขภาพสัตว์ ลดจำนวนการตายให้น้อยลง

1.4. เพิ่มประสิทธิภาพของอาหารต่อหน่วยน้ำหนัก

1.5. ทำให้สัตว์ในฝูงโตอย่างสม่ำเสมอ

2. การใช้ระดับสูง (high level)

เป็นการใช้ปฏิชีวนสารตั้งแต่ 50 กรัมขึ้นไป โดยมีจุดประสงค์ในการป้องกันและรักษาโรค เช่น ใช้ป้องกันและรักษาโรคท้องร่วง (scours) โรคจมูกบวม (atrophic rhinitis) โรคเลป-โตสไปโรซีส (leptospirosis) ในสุกร ใช้ป้องกันและรักษาโรคเรื้อรังในระบบหายใจ (chronic respiratory disease) โรคหงอนดำ (blue comb) โรคเยื่อหุ้มข้ออักเสบ (synovitis) ในไก่ เป็นต้น

ตารางที่ 6 ประโยชน์ของปฏิชีวนสารบางชนิด

ชื่อปฏิชีวนสาร	ประโยชน์
Bacitracin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ อาหารในไก่ ไก่งวง สุกร และโค ที่เลี้ยงในคอก 2. เพิ่มการให้ไข่และการฟักออกเป็นตัวในไก่และไก่งวง
Bacitracin Methylene Disalicylate	1. ประโยชน์เช่นเดียวกับ bacitracin 2. ลด Liver abscesses ในโคที่เลี้ยงในคอก
Bactitacin Zinc	1. ประโยชน์เช่นเดียวกับ bacitracin
Bambermycins	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่กระทงและสุกร
Chlortetracycline	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง สุกร โค แกะ และม้า 2. เพิ่มการให้ไข่และการฟักออกเป็นตัวในไก่และไก่งวง 3. ช่วยป้องกัน Liver abscesses ในโคที่เลี้ยงในคอก 4. ลด enterotoxaemia ในแกะ
Erythromycin	1.ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ที่กำลังเจริญเติบโต ไก่งวง (อายุต่ำกว่า 12 สัปดาห์) สุกรและโคที่เลี้ยงในคอก
Lincomycin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่กระทงและสุกร
Monensin	1. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในโคเนื้อ
Oleandomycin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่กระทง ไก่งวง และสุกร

Oxytetracycline	1.ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง สุกร โค และแกะ 2.เพิ่มการให้ไข่และการฟักออกเป็นตัวในไก่ ไก่งวง และปรับปรุงคุณภาพของเปลือกไข่ 3.ช่วยลดอุบัติเหตุและความรุนแรงของโรคท้องอืด Liver abscesses ในโคเนื้อ 4. ช่วยลดความสูญเสียเนื่องจาก enterotoxaemia ในแกะ

ตารางที่ 6 ประโยชน์ของปฏิชีวนสารบางชนิด (ต่อ)

ชื่อปฏิชีวนสาร	**ประโยชน์**
Penicillin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง และสุกร 2. ช่วยลดการสูญเสียและความรุนแรงของโรคท้องอืดในโคที่เลี้ยงในแปลงถั่ว
Tylosin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่และสุกร 2. ลดอุบัติเหตุของ liver abscesses ในโคที่เลี้ยงในคอก
Virginiamycin	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหารในสุกรจากระยะหย่านม ไปจนถึงน้ำหนัก 60 กก.

2. Chemotherapeutic Agents

เป็นสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ที่ไปลดการเจริญของจุลินทรีย์และเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ chemotherapeutic agents มีหลายชนิด เช่น

2.1 Arsanilic Acid (หรือ Sodium Arsanilate)

2.1.1 เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้อาหารในไก่ ไก่งวงและสุกร

2.1.2 ช่วยการงอกของขนและการให้สีในไก่และไก่งวง

2.2 Carbadox

2.2.1 เพิ่มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารของสุกร

2.3 Furazolidone

2.3.1 ช่วยการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่และไก่งวง

2.3.2 ช่วยการเจริญเติบโตในสุกร

2.4. Ipronidazole

2.4.1 ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่งวงที่กำลังเจริญเติบโต

2.5 Roxarsone

2.5.1 ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ ไก่งวงและสุกร

2.5.2 ปรับปรุงการให้สีในไก่และไก่งวง

3. ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายฮอร์โมน (Hormonelike Products)

3.1 Diethylstilbestrol (stilbestrol)

3.1.1 ใช้ในการขุนโค และแกะ เพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (10-20%) และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ (10-15%)

3.1.2 ใช้ 10 มิลลิกรัม/โค 1 ตัว/วัน ที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 350 กิโลกรัม และใช้ 2 มิลลิกรัม/แกะ 1 ตัว/วัน โคที่น้ำหนักมากกว่า 750 ปอนด์ จะใช้ diethylstilbestrol จาก 10-20 มิลลิกรัม/ตัว/วัน

3.1.3 ก่อนส่งโรงฆ่า 14 วันต้องงดให้ Diethylstilbestrol

3.1.4 ไม่ควรใช้กับสัตว์ที่ใช้ผสมพันธุ์หรือสัตว์ให้นม หรือกับสุกร หรือกับสัตว์ปีก

3.1.5 อาจใช้ฝังกับสัตว์ดังต่อไปนี้

- ลูกโค (น.น.ต่ำกว่า 200 กก.) ใช้ 1-2 มิลลิกรัม/ตัว
- ลูกโค (น.น.มากกว่า 200 กก.) และ yearlings ใช้ 24-36 มิลลิกรัม/ตัว
  (การฝัง Stilbestrol นี้ ผลของสารดังกล่าวจะมีฤทธิ์อยู่ประมาณ 100 ถึง 120 วัน)
- การขุนแกะใช้ 3 มิลลิกรัม/ตัว

3.1.6 Stilbestrol ใช้ได้ผลดีกับ steers และ wethers

3.2 MGA (Melengestrol Acetate)

3.2.1 ใช้ 0.25-0.5 มิลลิกรัม/ตัว/วัน (ให้กับโคสาวที่เลี้ยงในคอก)

3.2.2 เร่งการเจริญเติบโต (7-11%)

3.2.3 ช่วยหยุดการเป็นสัด

3.3 Ralgro (Zearalanol) ใช้ฝัง

3.3.1 ปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโต (10-12%) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (7-10%) ในโคเนื้อและแกะ

3.3.2 ใช้ฝัง 3 เม็ดในโคและใช้ฝัง 1 เม็ดในแกะ

3.3.3 ไม่ควรส่งโรงฆ่าภายในเวลา 65 วันนับจากวันทำการฝัง ralgro

3.4 Synovex (ใช้ฝัง)

3.4.1 Synovex-s (ใช้ฝังกับ Steer) แต่ละเม็ดจะมี Progesterone 20 มิลลิกรัมและมี estradiolbenzoate 20มิลลิกรัม

3.4.2 Synovex-H (ใช้ฝังกับ heifer) แต่ละเม็ดจะมี testosterone 200 มิลลิกรัม และมี estradiol benzoate 20 มิลลิกรัม

3.4.3 Synovex ทั้งสองชนิดดังกล่าวช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (10-15%) และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร (8-12%) ในโคเนื้อ

3.4.4 ไม่ควรส่งโรงฆ่าภายในเวลา 60 วัน นับจากวันฝัง

3.5 Thyroprotein (ชื่อการค้า stimulac, protamone < และ Pro-Tone

3.5.1 เป็นสารกลุ่ม iodinated eascin (synthetic thyroxine)

3.5.2 ใช้กับแม่โคกำลังให้นมหรือกับแม่สุกรกำลังให้นม เพื่อกระตุ้นและเพิ่มการให้นม

3.5.3 ใช้ได้ดีกับแม่สุกรที่หย่านม เมื่อลูกสุกรอายุได้ 3 สัปดาห์

3.5.4 การใช้กับแม่โคกำลังให้นม ผลที่ได้รับยังผันแปรอยู่ถ้าการผลิตฮอร์โมน thyroxine ของแม่โคผลิตได้จำกัด thyroprotein จะช่วยเพิ่มการผลิตนม เพิ่มจากเดิม 6-12%

3.5.5 โดยทั่วไปไม่แนะนำให้ใช้กับแม่โคนม เพราะราคา thyroprotein ยังมีราคาแพง และผลที่ได้รับยังผันแปรและมีปัญหาเมื่องดการให้ thyroprotein

3.5.6 ระดับการใช้ในอาหาร

แม่โค : ใช้ ½ - 1 ½ กรัม/น.น. ตัว 50 กิโลกรัม

แม่สุกร : ใช้ 100 มิลลิกรัม/1 ปอนด์ของอาหาร หรือใช้ 100 กรัม/อาหาร 1 ตัน

4. ยาถ่ายพยาธิ (worming or anthelmintic agents)

4.1 Banminth (pyrantel tartrate) - ใช้ผสมในอาหาร โดยใช้ 60 กรัม/อาหาร 1 ตัน (ใช้ติดต่อกันไป) แต่ถ้าใช้เพียงครั้งเดียวเพื่อหวังผลในการขับพยาธิใช้ 800 กรัม/อาหาร 1 ตัน

4.2 Coumaphos (Meldane or Baymix) - ใช้ผสมในอาหารไก่ โคเนื้อ หรือโคนม เพื่อใช้เป็นครั้งคราวในระยะสั้น ๆ

4.3 Dichlorvos ใช้ผสมในอาหารสุกรหรือม้าเป็นครั้งคราว (ใช้ในระยะสั้น)

4.4 Hygromix (hygromycin B) - ใช้ผสมลงในอาหารไก่ (ใช้ 8-12 กรัม/อาหาร 1 ตัน) และอาหารสุกร (ใช้ 12 กรัม/อาหาร 1 ตัน) และให้อาหารผสมยาถ่ายพยาธิติดต่อกันไปจนกระทั่งอาหารที่ผสมหมด

4.5 Phenothiazine ใช้ผสมลงในอาหารหรือผสมกับเกลือใช้ได้กับสัตว์ทุกชนิด (ไก่,โค,สุกร,แกะ, และม้า) และใช้ผสมกับอาหารได้ทีละมาก ๆ หรือผสมกับอาหารเพื่อใช้ในระยะสั้น ๆ

4.6 Piperazine ใช้ผสมกับอาหารและจัดให้สัตว์กินให้หมดภายใน 1 วัน (ใช้เติมลงในอาหาร 0.2-0.4%) หรือใช้ระดับ 0.1-0.2% ในน้ำ ยาถ่ายพยาธินี้ใช้ได้ดีกับไก่ ไก่งวง และสุกร

4.7 Thibenzole (thiabenzadole) ผสมลงในอาหารสัตว์ โดยผสมดังนี้

อาหารโคใช้ 3-5 กรัม/น้ำหนักตัว 100 ปอนด์

แกะ ใช้ 2 กรัม/น้ำหนักตัว 100 ปอนด์

สุกร ใช้ 0.005 - 1% ของอาหาร

4.8 Tramisol (levamisole hydrochloride) ผสมลงในอาหารโค ใช้ 0.08 - 0.8% -ของ อาหาร หรืออาหารสุกรใช้ 0.08% ของอาหาร การใช้ ให้ใช้เพียงครั้งเดียวหมด

นอกจากนี้มียาถ่ายพยาธิอีกหลายชนิด ซึ่งการใช้จำเป็นต้องปรึกษากับสัตวแพทย์

5. Goitogenes เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้หยุดยั้งการทำงานของต่อมไทรอยด์เพื่อลด metabolic activity สารกลุ่มนี้มีหลายอย่าง ยกตัวอย่าง เช่น thiourea, thiouracil และ tapazole

6. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันโรคท้องอืด

6.1 Poloxalene มีชื่อทางการค้าว่า Bloat Guard การใช้ ใช้ 1-2 กรัม/น้ำหนักตัว 100 ปอนด์/วัน

6.2 น้ำมันพืช (vegetable oils) ใช้พ่นในแปลงหญ้า แต่ค่าใช้จ่ายสูง หรือใช้ฉีดเข้ากระเพาะผ้าขี้ริ้ว

7. Tranquilizers การใช้ผสมกับอาหารยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ การใช้ฉีดเข้ากล้ามเพื่อทำให้สัตว์ไม่ตื่นง่ายในเวลาเข้าประกวด อาจใช้บ้างโดยผสมกับอาหารไก่เพื่อลดความเครียด ตัวอย่างของ tranquilizers เช่น hydroxyzine และ reserpine

ตารางที่ 7 สารเสริมสำหรับสุกร

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Arsanilic Acid	Pro-gen	ช่วยการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร, ควบคุมโรค ; dysentery	45-90กรัม/อาหาร 1 ตัน (ใช้ติดต่อกัน) 227-363 กรัม/อาหาร 1ตัน (ใช้ในเวลา 5-6 วัน)
Bacitracin		ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ; bacterial enteritis	10-50กรัม/ตัน 50-100 กรัม/ตัน
Bacitracin Methylene disalicylate	Bacitracin MD	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ; bacterial enteritis	10-50กรัม/ตัน 50-100 กรัม/ตัน
Bacitracin,Zinc	Baciferm	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ; bacterial enteritis.	10-100 กรัม/ตัน 50-100 กรัม/ตัน
Bambermycin	Flavomycin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร	2 กรัม/ตัน
Carbadox	Mecabox	เพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ; Swine dysentery	10-50 กรัม/ตัน 50 กรัม/ตัน
Chlortetracycline	Aureomycin	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหาร ป้องกันและรักษาโรคหลายชนิด	10-50 กรัม/ตัน 50-400 กรัม/ตัน P-50กรัม/ตัน
Chlortetracyclin	ASP-250	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่ม	C-100กรัม/ตัน

sulfa, and Penicillin	CAP – 250	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ป้องกันและรักษาโรคหลายชนิด	S- 100กรัม/ตัน P-50กรัม/ตัน

ตารางที่ 7 สารเสริมสำหรับสุกร (ต่อ)

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Dichlorvos	Atgard	ยาถ่ายพยาธิ	0.0384% diet 2 วัน
Dichlorvos	KLP-30	ปรับปรุงการผลิตลูก/คอก	0.0366-0.055% diet last 30 days gestation
Erythromycin	Gallimycin	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	10 กรัม/ตัน
Ethylenediamine dihydriodide	EDDI.	Expectorant	250-500 มิลลิกรัม/ตัว/วัน เป็นเวลา 7 วัน
Furazolidone	NF-180 or Furox	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ป้องกันรักษาโรคหลายชนิด	100-300 กรัม/ตัน
Hygromycin B	Hygromix	ยาถ่ายพยาธิ	12 กรัม/ตัน
Levamisole hydrochloride	Tramisol	ยาถ่ายพยาธิ	0.08 % diet
Lincomycin	Lincomix	ควบคุมและรักษา Swine dysentery	40 กรัม/ตัน 100 กรัม/ตัน
Neomycin Sulfate	Neomycin	Enteritis	70-140 กรัม/ตัน
Neomycin Sulfate and Oxytetracy-clin	Neo-Terramycin	โรค enteritis และ dysentery ในลูกสุกร	N - 35-140 กรัม/ตัน O-50-100 กรัม/ตัน

Nitrofurazone	NFZ	Enteritis	500 กรัม/ตัน 5-7 วัน
Olendomycin	OM-5	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	5-11.25 กรัม/ตัน

ตารางที่ 7 สารเสริมสำหรับสุกร (ต่อ)

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Oxytetracycline	Terramycin	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ป้องกันและรักษาโรคหลายชนิด	7.5-500 กรัม/ตัน
Penicillin	Pro-pen	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	10-500 กรัม/ตัน
Penicillin and Streptomycin	Penstrep Prostrep	ช่วยกรเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร; Enteritis	P:S = 1:5 50 กรัม / ตัน 90-270 กรัม/ตัน
Phenothiazine		ยาถ่ายพยาธิ	5-30 กรัม/ตัว/วันให้ครั้งเดียว
Piperazine		ยาถ่ายพยาธิ	0.2-4% ในอาหาร
Pyrantel tartrate	Banminth	ยาถ่ายพยาธิ	56 กรัม/ตัน (ใช้ติดต่อกัน) 800 กรัม/ตัน(ใช้ในครั้งเดียว)
3 nitro-4 hydroxy phenylarsonic acid	Roxarsone	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร; Dysentery	22.7-68 กรัม/ตัน (ใช้ติดต่อกัน) 181กรัม/ตัน (5-6วัน)
Thiabenzadole	Thibenzole	ยาถ่ายพยาธิ	0.005-0.1% of diet continuous
Thyroprotein (iodinated casein)	Protamone	เพิ่มการให้น้ำนม	100-200 กรัม/ตัน
Tyrosin	Tylan	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร : รักษาโรค	10-100 กรัม/ตัน 40-100 กรัม/ตัน

Tyrosin and Sulfamethazine	Tylan plus Sulfa	รักษาโรค	100 กรัม/ตัน
Virginiamycin	Stafac	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร Swine dysentery	10 กรัม/ตัน 25-100 กรัม/ตัน

ตารางที่ 8 *สารเสริมสำหรับโคเนื้อ*

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Amprolium	Amprol	ป้องกันและรักษา cocccidiosis	5 มิลลิกรัม/น.น. ตัว 1 กก. (21 วัน) 10 มิลลิกรัม/นน. ตัว 1 กก. (5 วัน)
Bacitracin	Bacitracin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต	35 มก./ตัว/วัน
Bacitracin methylene dialicylate	Fortracin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ; ลด liver abscesses	35 มก./ตัว/วัน 70 มก./ตัว/วัน
Bacitracin Zine	Baciferm	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	35-70 มก/ตัว/วัน
Chlortetracy Cline	Aureomycin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ใช้กับโรคหลายชนิด	0.1-0.5 มก./ตัว/วัน
Chlortetracycline and Sulfamethazine	AS.700	Shipping fever	350 มก./ตัว/วัน (28 วัน)
Coumaphos	Baymix	ยาถ่ายพยาธิ	0.091กรัม/น.น.ตัว 100 ปอนด์/วัน(6วัน)
Diethylstilbestrol	DES or Stilbestrol	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร	10 หรือ 20 มก./ตัว/วัน
Erythromycin	Gallimycin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร	37 มก./ตัว/วัน
Ethylenidiamine Dihydriodide	EDDI	ป้องกันโรค Foot rot และ Soft tissue Lumpy jaw; รักษาโรค Food rot และ Soft	50 มก./ตัว/วัน (ใช้ติดต่อกัน) 400-500 มก./ตัว/วัน

		tissue Lumpy jaw	(2 – 3 สัปดาห์)
Levamisole Hydrochloride	Tramisol	ยาถ่ายพยาธิ	0.08-0.8% diet
Melengestrol Acetate	MGA	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	0.25-0.50 มก./ตัว/วัน

ตารางที่ 8 สารเสริมสำหรับโคเนื้อ (ต่อ)

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Monensin sodium	Rumensin	ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร	5-30 กรัม/ตัน (ใช้ติดต่อกัน)
Oxytetracycline	Terramycin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและใช้กับโรคหลายอย่าง	0.1 มก.-0.5 มก./ lb.b.w./วัน
Phenothiazine		ลดแมลงวันคอกสัตว์ ยาถ่ายพยาธิ	0.26 รัม/100 lb.b.w./วัน 10-20 กรัม/100 lb.b.w. (single dose)
Poloxalene	Bloat Guard	ป้องกันโรคท้องอืด	1.0-2.0 กรัม/100 lb. b.w./วัน
Rabon		ควบคุมแมลงวันตามกองปุ๋ยคอก	0.07 กรัม/100 lb.b.w. / วัน
Ronnel	Trolene 18 or Rid-Ezy	ควบคุมหนอนและแม่ลงวัน	% Ronnel at rate of 0.25 Lb/100 lb.b.w.(75วัน)
Thiabenzadole	Thibenzole	ยาถ่ายพยาธิ	3 หรือ 5 กรัม/100lb. b.w.(single dose)
Tylosin	Tylan	ลด Liver abscesses	60-90 มก./ตัว/วัน

ตารางที่ 9 สารเสริมสำหรับแกะ

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Chlortetracycline	Aureomycin	เพิ่มการเจริญเติบโต และ	20-50 กรัม/ตัน

		ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ; enterotoxemia.	20 กรัม/ตัน
Diethylstilbestrol	DES or Stil bestrol	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร	2 มก./ตัว/วัน

ตารางที่ 9 สารเสริมสำหรับแกะ (ต่อ)

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Ethylenediamine dihydriodide	EDDI	ป้องกันเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม lumpy jaw	12 มก./ตัว/วัน
Neomycin sulfate	Neomycin	Bacterial enteritis and dysentery	70-140 กรัม/ตัน diet
Oxytetracycline	Terramycin	เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ; Diarrhea และ dysentery enterotoxaemia.	10-20 กรัม/ตัน 50-100 กรัม/ตัว/วัน 25 มก./ตัว/วัน
Phenothiazine		ควบคุมพยาธิบางชนิดภายในลำไส้	1.0 กรัม /ตัว /วัน (ใช้ติดต่อกัน)
Thiabenzadole	Thibenzole	ยาถ่ายพยาธิ	2 กรัม/นน.ตัว 100 ปอนด์ (single dose)

ตารางที่ 10 สารเสริมสำหรับโคนม (โคกำลังให้นม)

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Chlertetracycline	Aureomycin	Bacterial diarrhea ; Food rot ; Respiratory infection	0.1 มก./นน. 1 ปอนด์/วัน
Oxytetracycline	Terramycin	Bacterial diarrhea; ลดโรคท้องอืด,เพิ่มการให้นม	75-100 มก./ตัว/วัน
Thyroprotein (iodinated casein)	Protamone	เพิ่มการให้นม	0.5-1.5 กรัม/นน.ตัว 100 ปอนด์

ตารางที่ 11 สารเสริมสำหรับม้า

ชื่อยา	ชื่อการค้าหรือชื่อสามัญ	ประโยชน์	ระดับการใช้
Chlortetracy cline	Aureomycin	ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร	85 มก./ตัว/วัน (ใช้ไปจนกระทั่งสัตว์อายุถึง 1 ปี)

บทที่ 5
โภชนะในอาหารอาหารสัตว์

ปัจจุบันเรารู้จักธาตุมากกว่า 100 ธาตุ แร่ธาตุอย่างน้อย 20 ธาตุ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโภชนะต่าง ๆ ในอาหาร ธาตุทั้ง 20 ธาตุมีสัญลักษณ์และน้ำหนักอะตอมดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงสัญลักษณ์และน้ำหนักอะตอมของธาตุต่าง ๆ

ชื่อธาตุ	สัญลักษณ์	น้ำหนัก
คาร์บอน (carbon)	C	12
ไฮโดรเจน (hydrogen)	H	1
อ๊อกซิเจน (oxygen)	O	16
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	P	31
โปแตสเซียม (potassium)	K	39
ไอโอดีน (iodine)	I	127
ไนโตรเจน (nitrogen)	N	14
ซัลเฟอร์(sulfur)	S	32
แคลเซียม (calcium)	Ca	40
เหล็ก (iron)	Fe	55.8
แมกนีเซียม (magnesium)	Mg	24.3
คลอรีน (chlorine)	Cl	35.5
โคบอลท์ (cobalt)	Co	59
ทองแดง (copper)	Cu	63.5
ฟลูออรีน (fluorine)	F	19
แมงกานีส (manganese)	Mn	55
สังกะสี (zinc)	Zn	65.4
โมลิบดีนัม (molybdenum)	Mo	96
ซีลีเนียม (selenium)	Se	79
โซเดียม (sodium)	Na	23

ธาตุดังกล่าวเพียงหนึ่งธาตุหรือหลาย ๆ ธาตุรวมกันเข้า เป็นองค์ประกอบของโภชนะในอาหารแยกออกได้เป็น 6 ชนิดดังนี้

1. น้ำ

น้ำประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจน สัตว์เลี้ยงใช้น้ำมากกว่าวัตถุแห้ง ประมาณ 3-8 เท่าตัว สัตว์เมื่อขาดน้ำจะตายได้ในเวลาอันรวดเร็วกว่าการขาดโภชนะอื่น ๆ ตามที่เคยได้กล่าวไว้แล้วว่า ร่างกายสัตว์ประกอบด้วยน้ำมากกว่า 50% เนื้อเยื่อหลายอย่างประกอบด้วยน้ำตั้งแต่ 70-90 % อาหารสัตว์ทุกชนิดจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบไม่มากก็น้อย

โดยทั่วไปอาหารแห้ง (air-dry feeds) จะมีน้ำอยู่ประมาณ 10 % แต่ถ้าเป็นอาหารพืชสดอาจมีน้ำมากกว่า 80 % อาหารที่มีน้ำมากเกินไปจะมีความร้อนและมีเชื้อราเกิดขึ้น ซึ่งทำให้คุณภาพของอาหารลดลง เปอร์เซ็นต์น้ำในอาหารต่าง ๆ ควรมีไม่เกิน ดังต่อไปนี้

อาหารแห้งบดละเอียด	มีน้ำไม่เกิน	11 %
เมล็ดธัญพืช	มีน้ำไม่เกิน	13 %
เมล็ดข้าวโพด	มีน้ำไม่เกิน	15 %
หญ้าแห้ง	มีน้ำไม่เกิน	20 %
กากน้ำตาล	มีน้ำไม่เกิน	40 %
พืชอาหารสัตว์หมัก	มีน้ำไม่เกิน	75 %

เพื่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาอาหารสัตว์ ควรจะได้คำนึงถึงเปอร์เซ็นต์น้ำในอาหารไว้ด้วย สัตว์เลี้ยงได้รับน้ำจากแหล่งต่าง ๆ 3 แหล่งด้วยกันคือ จากน้ำที่ดื่มเข้าไปเอง จากน้ำที่มีอยู่ในอาหาร และจากน้ำที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในร่างกายสัตว์ น้ำชนิดนี้เรียกว่าน้ำจากกระบวนการเมตะ-โบลิซึม หรือจากการออกซิเดชั่น (metabolism or oxidation water) ยกตัวอย่าง เช่น กลูโคสเมื่อถูกออกซิไดส์ (oxidized) จะให้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6\,H_2O$$

จากสมการ ออกซิไดส์ กลูโคสจะให้น้ำ 60 %

ส่วนการเมตะโบลิซึมของโปรตีนจะให้น้ำ 42 % และการเมตะโบลิซึมของไขมันจะให้น้ำมากกว่า 100 %

น้ำจากกระบวนการเมตะโบลิซึมอาจเกิดขึ้นได้จากการสังเคราะห์โดยการลดน้ำของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตภายในร่างกาย ภายใต้บางสภาวะ น้ำจากกระบวนการเมตะโบลิซึมเพียงพอกับความต้องการของสัตว์บางชนิด โดยเฉพาะสัตว์จำศีล (Hibernating animals) สัตว์กลุ่มนี้จะทำการ เมตะโบลิซึม อาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสำรองไว้ในร่างกายให้เป็นพลังงาน น้ำจากกระบวนการเมตะโบลิซึมที่เกิดขึ้นมาเพียงพอที่จะรักษาความสมดุลของน้ำที่สูญไปทางการหายใจและการระเหยน้ำ

หน้าที่ของน้ำ (function of water)

1. ช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติโดยอุณหภูมิปกติของร่างกายสัตว์เป็นดังนี้

โค	101.5^0F
สุกร	102.6^0F
ม้า	100.2^0F
แกะ	103.5^0F
ไก่	105^0F

2. เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาทางชีวเคมีในร่างกายสัตว์
3. เป็นส่วนประกอบของเซลล์ ของเนื้อเยื่อ ของเลือดและของน้ำเหลือง
4. นำโภชนะไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
5. เป็นส่วนประกอบของ synovial fluid ซึ่งเป็นของเหลวที่หล่อลื่นตามข้อต่อต่าง ๆ (joints)

6. เป็นส่วนประกอบของของเหลวภายในสมอง
7. ช่วยในการรักษารูปร่างของสัตว์
8. เป็นตัวนำเสียงในหูและนำแสงในตา
9. ช่วยในการขับถ่ายของเสีย เช่น มูลสัตว์ ปัสสาวะ เหงื่อ
10. เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยและเป็นสื่อกลางทำให้เกิดการย่อยอาหารและการดูดซึมอาหาร
11. เป็นส่วนประกอบในการสร้างนมและไข่

ความต้องการน้ำของสัตว์เลี้ยง

สัตว์เลี้ยงต้องการน้ำมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ระดับของการผลิต ระดับของอาหารที่สัตว์กิน สภาพของอากาศ ชนิดของอาหารที่สัตว์กิน ขนาดของร่างกาย การทำงานและการเคลื่อนไหวของสัตว์ โดยเฉลี่ยสัตว์ต้องการน้ำ ดังนี้

โคนม ต้องการน้ำ 40-50 ลิตร/วัน หรือต้องการน้ำ 3.0-4.0 กิโลกรัม/ 1 กิโลกรัม ของอาหารแห้ง
โคเนื้อ ต้องการน้ำ 20-30 ลิตร/วัน หรือต้องการน้ำ 3.0-8.0 กิโลกรัม/ 1 กิโลกรัม ของอาหารแห้ง
สุกร ต้องการน้ำ 8 ลิตร/วัน หรือต้องการน้ำ 2.0-2.5 กิโลกรัม/ 1 กิโลกรัม อาหารแห้ง
แพะแกะ ต้องการน้ำ 8 ลิตร/วัน
ไก่ 100 ตัว ต้องการน้ำ 16 ลิตร/วัน

ผลกระทบของการขาดน้ำ

สัตว์มีความสามารถที่แตกต่างกันในการที่จะเก็บรักษาน้ำไว้ในร่างกาย และแตกต่างกันในความทนทานต่อการขาดน้ำ มนุษย์เมื่ออยู่ในสภาพร้อนแห้ง ถ้าขาดน้ำจะแสดงการกระหายน้ำ เมื่อร่างกายขาดน้ำ 4-5 % ของน้ำหนักตัว จะไม่สบายและเบื่ออาหาร ถ้าการขาดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 6-10 % จะปวดศีรษะ การเคลื่อนไหวช้าลง เสียงเริ่มแหบและผิวหนังเริ่มเปลี่ยนเป็นสีม่วง ยิ่งถ้าการขาดน้ำเพิ่มเป็น 12-14 % ตาเริ่มแห้ง ผิวหนังย่น ไม่มีความสามารถในการกลืนอาหาร และเริ่มเพ้อคลั่ง เลือดเมื่อขาดน้ำความเข้มข้นของเลือดและการไหลเวียนของเลือดจะเพิ่มขึ้น ในสภาพอากาศร้อน เมื่อร่างกายขับน้ำออกจากร่างกายประมาณ 12 % ก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกาย สัตว์ทะเลทรายบางชนิด เช่น อูฐ และสัตว์ที่ใช้ฟันแทะอาศัยในโพรง (gerbil) มีความทนทานต่อการขาดน้ำได้ดีกว่ามนุษย์และสุนัขโดยไม่เป็นอันตรายจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์หาน้ำในอาหาร

การวิเคราะห์หาน้ำในอาหารทำได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์หาน้ำจำนวนเพียงเล็กน้อย (ปกติจะต่ำกว่า 10 กรัม)
2. นำไปทำให้แห้งโดยการอบในตู้อบ (oven) จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารหลังจากทำให้แห้ง
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำจากสูตร

$$\%\text{ น้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายระหว่างการทำให้แห้ง}}{} \times 100$$

น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำให้แห้ง

หรือจากสูตร

$$\%\ DM\ (dry\ matter) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทำให้แห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำให้แห้ง}} \times 100$$

$$\%\ \text{น้ำ} = 100 - DM$$

คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจน เท่ากับ 2 : 1 ดังนั้นสูตรทั่ว ๆ ไปของคาร์โบไฮเดรตคือ $Cx(H_2O)y$ โดย x และ y จะมีค่าเท่ากับเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรตในพืชมีวัตถุแห้งที่เป็นคาร์โบไฮเดรตถึง 75 % ร่างกายสัตว์มีคาร์โบไฮเดรตน้อยเพราะคาร์โบไฮเดรตถูกนำไปใช้อยู่ตลอดเวลา เช่น ถูกนำไปใช้ในรูปของพลังงาน เพื่อขบวนการต่าง ๆ ของชีวิตสัตว์ พืชเป็นแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญสำหรับสัตว์ คาร์โบไฮเดรตได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส กัม (gums) ฯลฯ

การสร้างคาร์โบไฮเดรตในพืช (formation of carbohydrates in plants)

คาร์โบไฮเดรตในพืชเกิดขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) พืชนำคาร์บอนได อ๊อกไซด์จากอากาศเข้าไปทางปากใบ (stomata) ของใบพืช คาร์บอนไดอ๊อกไซด์จะไปรวมตัวกับน้ำซึ่งดูดขึ้นมาจากทางราก สำหรับพลังงานที่ใช้มาจากแสงอาทิตย์ โดยคลอโรฟิว (chlorophyll) เป็นตัวจับพลังงาน (radiant energy) จากแสงอาทิตย์

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + 673\ Kcal \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

(กลูโคส)

จากน้ำตาลกลูโคส พืชสามารถสร้างสารประกอบอินทรีย์ที่สลับซับซ้อนอื่น ๆ ได้

การแบ่งประเภทของคาร์โบไฮเดรต (classification of carbohydrates)

การแบ่งประเภทของคาร์โบไฮเดรตทางเคมีแบ่งออกได้ดังนี้

1. น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (simple sugars, monosaccharides)

เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวาน พบอยู่ตามธรรมชาติ น้ำตาลกลุ่มนี้จะไม่ถูก ย่อย อีกต่อไป น้ำตาล monosaccharides แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1 น้ำตาลเพนโตส (pentose) เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ซึ่งมีสูตรทั่ว ๆ ไป $C_5H_{10}O_5$ น้ำตาลเพนโตส มีหลายชนิดแต่ที่รู้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

1.1.1 ไซโลส (xylose) ได้จากการย่อย (hydrolysis) ซังข้าวโพด เปลือกเม็ดนุ่น เปลือกข้าวโอ๊ต รำข้าว หญ้าแห้ง และไม้หลายชนิด

1.1.2 ไรโบส (ribose) เป็นผลิตผลที่ได้จากการย่อยของกรดนิวเคลอิก (nucleic acids) น้ำตาล ไรโบส มีบทบาทสำคัญในการ เมตะโบลิซึมของสัตว์ เช่นเป็นส่วนประกอบของสารให้พลังงานสูง เช่น เอดีพี (adenosine diphosphate,

ADP), เอทีพี (adenosine triphosphate, ATP) นอกจากนี้ไรโบสยังเป็นองค์ประกอบของไรโบฟลาวิน (riboflavin) อาร์เอ็นเอ (ribonucleic acids, RNA) และ ดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acids, DNA) ซึ่งจะพบอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

1.1.3 อะราบิโนส (arabinose) เป็นผลิตผลที่ได้จากการย่อย gum arabic และอาจได้จากการย่อย รำข้าว และ cherry gum

1.2 น้ำตาลเฮกโซส (hexoses) เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งมีสูตรทั่วไปคือ $C_6H_{12}O_6$ น้ำตาลเฮกโซสที่สำคัญ เช่น กลูโคส ฟรุกโตส และกาแลคโตส

1.2.1 น้ำตาลกลูโคส (glucose) มีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น เดกซ์โตรส (dextrose) น้ำตาลองุ่น(grape sugar) น้ำตาลกลูโคสพบอยู่ตามธรรมชาติ เช่นพบอยู่ตามผลไม้ น้ำผึ้ง นอกจากนี้พบกลูโคสรวมตัวอยู่ในน้ำตาล 2 โมเลกุลหลายชนิด เช่น ซูโครส มอลโตส แลคโตส และเซลโลไบโอส น้ำตาล กลูโคสถือเป็นน้ำตาลชนิดเดียวที่พบอยู่ในเลือด โดยปกติในเลือดมีกลูโคสประมาณ 0.1% ทางอาหารสัตว์ให้ความสนใจกลูโคสเป็นพิเศษ เพราะว่าผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่สลับซับซ้อนในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องจะได้กลูโคส และกลูโคสจะไหลเวียนไปตามเลือด สัตว์นำกลูโคสไปใช้เป็นพลังงาน น้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลที่มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลที่ได้จากอ้อย

1.2.2 น้ำตาลฟรุกโตส (fructose) มีชื่อเรียกได้อย่างอื่นอีกคือ ลีวูโลส (levulose) และน้ำตาลผลไม้ (fruit sugar) น้ำตาลฟรุกโตสพบอยู่ตามธรรมชาติในผลไม้ที่สุก และพบในน้ำผึ้ง น้ำตาลชนิดนี้มีความหวานที่สุด และเมื่อถูกหมักบูดโดยยีสต์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์

1.2.3 น้ำตาลกาแลคโตส (galactose) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อยน้ำตาลแลคโตสซึ่งพบอยู่ในน้ำนม ฉะนั้นจะไม่พบกาแลคโตสแยกอยู่โดดเดี่ยวในธรรมชาติ

1.2.3 น้ำตาลแมนโนส (mannose) ซึ่งจัดเป็นน้ำตาลเฮกโซสนั้น ไม่สู้มีความสำคัญในด้านอาหารสัตว์ เพราะพบแมนโนสอยู่ตามธรรมชาติน้อยมาก

2. น้ำตาล 2 โมเลกุล (disaccharides)

เป็นน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด หรือ 2 โมเลกุล โดยการลดน้ำออก 1 โมเลกุล ฉะนั้นสูตรทั่ว ๆ ไปของ น้ำตาล 2 โมเลกุล คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$

$$\underset{\text{(เฮกโซส)}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{(เฮกโซส)}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{(น้ำตาล 2 โมเลกุล)}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O$$

น้ำตาล 2 โมเลกุลสามารถละลายได้ในน้ำ แต่การละลายได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของ น้ำตาล 2 โมเลกุล ซึ่งมีหลายชนิด เ ช่น ซูโครส มอลโตส แลคโตส และเซลโลไบโอส

2.1 ซูโครส (sucrose) เป็นน้ำตาลที่พบอยู่ในอ้อย ในหัวผักกาด น้ำตาลที่ใช้ในครัวเรือนเป็นน้ำตาลชนิดนี้ นอกจากนี้พบซูโครสในผลไม้สุก น้ำตาลซูโครสเมื่อถูกย่อยด้วยน้ำย่อยซูเครส (sucrase) จะได้น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสดังสมการ

$$\underset{\text{(ซูโครส)}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[\text{ซูเครส}]{} \underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{(ฟรุกโตส)}}{C_6H_{12}O_6}$$

เนื่องจากพบน้ำตาลซูโครสมีมากในอ้อยและหัวผักกาด บางทีจึงเรียกชื่อน้ำตาลชนิดนี้ว่าน้ำตาลอ้อย (cane sugar) หรือ น้ำตาลหัวบีท (beet sugar)

2.2 มอลโตส (maltose or malt sugar) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งจากพืช ความหวานของ มอลโตสจะหวานเพียง 1ใน 4 ของความหวานของซูโครส น้ำตาลมอลโตสเมื่อถูกย่อยด้วยน้ำย่อย มอลเตส (maltase) จะได้น้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล ดังสมการ

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\text{มอลเตส}]{} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(มอลโตส) (กลูโคส) (กลูโคส)

2.3 แลคโตส (lactose or milk sugar) เป็นน้ำตาลที่พบอยู่ในน้ำนมสัตว์ มีความหวาน 1ใน 6 ของความหวานของซูโครส ฉะนั้นเวลาดื่มนมจึงไม่รู้สึกหวาน แลคโตสเมื่อถูกย่อยด้วยน้ำย่อยแลคเตส (lactase) จะได้กลูโคสกับกาแลคโตสอย่างละ 1 โมเลกุล ดังสมการ

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\text{แลคเตส}]{} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(แลคโตส) (กลูโคส) (กาแลคโตส)

ในบรรดาน้ำตาลด้วยกันแลคโตสจัดเป็นน้ำตาลที่ถูกดูดซึมได้ช้า น้ำนมมีแลคโตสโดยเฉลี่ยประมาณ 4.8% แลคโตสมีความสำคัญในอุตสาหกรรมทำนมเปรี้ยว เนื่องจาก แลคโตสถูกทำให้สลายตัวได้โดย แบคทีเรียทำให้เกิดกรดแลคติก ซึ่งทำให้นมมีรสเปรี้ยว ดังสมการ

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\text{แบคทีเรีย}]{} 4C_3H_6O_3$$

(แลคโตส) (กรดแลคติก)

แบคทีเรียที่นิยมนำมาใช้ในการทำนมเปรี้ยว เช่น *Lactobacilus bulgaricus และ Streptococcus thermophilus*

นอกจากจะใช้ประโยชน์ในการทำนมเปรี้ยวแล้วแลคโตสยังนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบอาหารทารกและอาหารพิเศษสำหรับคนไข้บางประเภท ใช้ในการทำยาบางชนิด เป็นอาหารเชื้อราในการเตรียมปฏิชีวนะสารพวกเพนนิซิลิน (penicillin) ใช้ทำสี คาราเมล(caramel) และใช้แลคโตสเป็นเชื้อทำให้เกิดการตกผลึกละเอียด ในทางอาหารสัตว์ก็ได้ให้ความสนใจน้ำตาลแลคโตสมาก เนื่องจากเกือบครึ่งหนึ่งของ ๆ แข็งที่อยู่ในน้ำนม จะเป็นแลคโตส น้ำนมเป็นอาหารสำหรับลูกสัตว์ แลคโตสช่วยทำให้เกิดการเป็นกรดภายในลำไส้ ซึ่งทำให้แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ขยายตัว แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเป็นตัวคอย ชะงักการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่ไม่เป็นประโยชน์ได้ แต่ถ้าลูกสัตว์ได้รับแลคโตสมากเกินไป จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เป็นโรคท้องร่วง (diarrhea)

เซลโลไบโอส (cellobiose)โครงสร้าง ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล เช่นเดียวกับมอลโตส แต่การจับตัวของกลูโคสจะแตกต่างกัน

3. น้ำตาล 3 โมเลกุล (trisaccharides)

เกิดขึ้นจากการรวมตัวของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 โมเลกุล โดยการลดน้ำออก 2 โมเลกุล ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_{18}H_{32}O_{16} + 2\,H_2O$$

ตัวอย่างของน้ำตาล 3 โมเลกุล เช่น ราฟิโนส (raffinose) พบในหัวผักกาดหวาน เมล็ดนุ่น ราฟิโนสเมื่อถูกย่อยจะให้กลูโคส ฟรุกโตส และกาแลคโตส อย่างละ 1 โมเลกุล ดังสมการ

$$C_{18}H_{32}O_{16} + 2\,H_2O \xrightarrow{C_6H_{12}O_6} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(ราฟิโนส) (กลูโคส) (ฟรุกโตส) (กาแลคโตส)

เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่าง

แลคโตส	มีความหวานเท่ากับ	16
ราฟิโนส	มีความหวานเท่ากับ	22.6
กาแลคโตส	มีความหวานเท่ากับ	32.1
มอลโตส	มีความหวานเท่ากับ	32.5
กลูโคส	มีความหวานเท่ากับ	74.3
ซูโครส	มีความหวานเท่ากับ	100
ฟรุกโตส	มีความหวานเท่ากับ	173

4. โพลีแซกคาไรด์ (polysaccharides)

เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน และพบตามธรรมชาติมากที่สุด โครงสร้างประกอบด้วยอณูของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีขนาดของโมเลกุลใหญ่และมีน้ำหนักมาก มีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำตาล คือไม่มีรสหวาน และไม่เป็นผลึก ละลายน้ำอยู่ในรูปคอลลอยด์เป็นส่วนมาก เมื่อถูกแปรสภาพด้วยกรดหรือน้ำย่อย จะได้ผลิตภัณฑ์ตัวกลาง (intermediate products) ต่าง ๆ แต่ผลผลิตขั้นสุดท้ายจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

โพลีแซกคาไรด์ที่มีความสำคัญทางอาหารสัตว์ ได้แก่ แป้งจากพืช (starch) เด็กซ์ตริน (dextrin) ไกลโคเจน (glycogen) เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

4.1 แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชเก็บสำรองไว้ในส่วนหัว เมล็ด และ ผลไม้ เมื่อแป้งเมื่อถูกย่อยด้วยกรดหรือน้ำย่อย ขั้นแรกจะแปรสภาพเป็นเด็กซ์ตริน ต่อมาจะเป็นมอลโตส และผลสุดท้ายให้กลูโคส แป้งของพืชแต่ละชนิดมีลักษณะของเมล็ดแป้งแตกต่างกัน จึงง่ายต่อการพิสูจน์ว่าเป็นแป้งของพืชชนิดใด

แป้งจากพืชโดยปกติไม่ได้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่บริสุทธิ์ มักมีสารอื่น ๆ รวมอยู่ เช่น มี โปรตีน กรดไขมัน (fatty acids) และฟอสฟอรัส แป้งจากพืชเวลาทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สีน้ำเงิน

4.2 เด็กซ์ติน หรือแป้งเปียก เป็นผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่ได้จากการ ย่อยแป้ง หรือได้จากการเปลี่ยนแปลงของไกลโคเจน

แป้ง ..... เด็กซ์ตริน ..... มอลโตส ..... กลูโคส

ไกลโคเจน

เด็กซ์ตินมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากแป้งคือละลายน้ำได้มากกว่า และมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า เด็กซ์ตินเมื่อละลายน้ำจะมีลักษณะเหนียวคล้ายกัม เด็กซ์ตินพบมีอยู่เพียงชั่วครั้งชั่วคราวทั้งในพืชและในสัตว์ ซึ่งเป็นผลมาจากขบวนการเมตะโบลิซึม ในพืชพบเด็กซ์ตินอยู่ในราก ลำต้น และใบ แป้งในเมล็ดพืชที่อยู่ในระยะพักตัว (resting stage) จะมีเด็กซ์ตินอยู่เพียงเล็กน้อย แต่เด็กซ์ตินจะมีมากในเมล็ดพืชที่กำลังงอก (germinating seeds) เด็กซ์ตินเมื่อถูกย่อยด้วยน้ำย่อยเช่น ไทยาลิน(ptyalin)หรืออะไมโลปซิน(amylopsin) และ ไดแอสแตส (diastase) จะได้มอลโตส และผลสุดท้ายจะได้กลูโคส เช่นเดียวกับแป้ง

เด็กซ์ติน ..... Ptyalin or Amylopsin or Diastase ..... มอลโตส

มอลโตส ..... maltase ..... กลูโคส

เด็กซ์ตินเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม Acidophilic ในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับ แลคโตส

- ไกลโคเจน (glycogen or animal starch) แป้งชนิดนี้ปรากฏอยู่ในตับ กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายสัตว์เก็บสะสมไว้ เมื่อร่างกายต้องการใช้ ไกลโคเจน จะถูกเปลี่ยนเป็น กลูโคส จากนั้น กลูโคส ถึงจะถูกนำไปใช้ในรูปของพลังงาน ไกลโคเจน ที่บริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ง่าย เมื่อละลายน้ำจะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ไกลโคเจน ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน จะให้สีน้ำตาลจนถึงสีแดง (brown to red color)

- เซลลูโลส (cellulose) พบอยู่ตามส่วนที่เป็นเยื่อใยของพืช โครงสร้างของ เซลลูโลส ประกอบไปด้วย กลูโคส ต่อกันเป็นลูกโซ่ เซลลูโลส ทนต่อการเปลี่ยนแปลงโดยสารเคมีมากกว่าแป้ง เช่น ทนต่อกรดและด่างที่เจือจาง แต่จะสลายตัวได้โดยกรดอย่างแรง เซลลูโลส ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยที่สร้างจากทางเดินอาหารหรืออวัยวะที่อยู่นอกทางเดินอาหาร เซลลูโลส จึงจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยยาก ยกเว้นสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์พวกม้า ลา พ่อ สามารถย่อยได้โดยอาศัยการกระทำของจุลินทรีย์ในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว (rumen) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง หรือจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง และปลายลำไส้ใหญ่ (colon) ของม้า จุลินทรีย์จะทำการหมักบูด (fermentation) เซลลูโลส ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย volatile fatty acids (VFA) เช่น กรดอะซิติก (acetic) กรดโพรพิโอนิค (propionic) และ บิวทีริค (butyric) ซึ่งร่างกายสัตว์จะนำกรดเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์อีกทีหนึ่ง นอกจากนี้การหมักบูดดังกล่าวมีแก๊สต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และ ไอโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

- เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่รวมอยู่กับ เซลลูโลส ในใบและส่วนอ่อนของพืช นอกจากนี้ยังมีอยู่ในเมล็ดของพืช เฮมิเซลลูโลสนอกจากจะเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืชแล้ว บางครั้งบางคราว ยังเป็นแหล่งเก็บอาหารสำรองของพืช เช่น ในรากของพืชจะมี เฮมิเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมาก คาร์โบไฮเดรตชนิดนี้มีความต้านทานสารเคมีได้น้อยกว่า เซลลูโลส ฉะนั้น เฮมิเซลลูโลสจึงสลายตัวได้โดยกรดเจือจางหรือด่างเจือจาง ซึ่งปกติจะให้ ไซโลส, กลูโคส, กาแลคโตส, อะราบิโนส (arabinose) และ uronic acid ดังนั้น จึงจัด เฮมิเซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตที่สัตว์ย่อยได้และเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากในพืชอ่อน และจะลดน้อยลงเมื่อพืชแก่ขึ้น

- ลิกนิน (lignin) ไม่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรต แต่มักจะพบเป็นส่วนประกอบอยู่ตามส่วนแข็งๆ ของพืช เป็นสารที่ไม่มีน้ำย่อยชนิดใดสามารถย่อยได้ จึงไม่มีประโยชน์ในทางอาหาร โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน ยังไม่ทราบแน่นอน ลิกนินประกอบด้วยธาตุ C, H, และ O แต่สัดส่วนของ H ในลิกนิน สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ลิกนินมี N อยู่ตั้งแต่ 1-5 % ถ้ามีลิกนินอยู่ในอาหารชนิดใดก็ตามจะทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในอาหารนั้นลดลง นอกจากนี้คุณค่าทางอาหารของลิกนินยังไม่ทราบแน่ชัด ทราบแต่เพียงว่าลิกนินมีคุณสมบัติเป็น bulk factor

การแบ่งคาร์โบไฮเดรตในทางวิเคราะห์

ในทางวิเคราะห์แบ่งคาร์โบไฮเดรต ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เยื่อใย (crude fiber, CF)
2. ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (nitrogen free extract, NFE)

1. เยื่อใย หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง รวมทั้งลิกนินซึ่งไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่มักอยู่รวมกับคาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ในผนังเซลล์พืช ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับพืช วิธีวิเคราะห์หา เยื่อใย ได้ทำมามากว่า 90 ปี มาแล้ว โดยนักวิทยาศาสตราชาวเยอรมันสองท่าน คือ Hennebery (1825-1890) และ Stohmann (1832-1897) และวิธีวิเคราะห์หานี้เรียกว่า Weena Method โดยให้ชื่อตามสถานีทดลองแห่งนั้น การวิเคราะห์หา เยื่อใย ทำได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์หา เยื่อใย มาเพียงเล็กน้อย (ปกติจะใช้ต่ำกว่า 5 กรัม)

2) ทำการไล่น้ำโดยการนำตัวอย่างอาหารไปอบในเตาอบ (oven)

3) ทำการสกัดไขมันด้วยอีเทอร์ (ether)

4) นำส่วนที่เหลือหลังจากได้สกัดไขมันออกแล้ว ต้มกับกรดซัลฟูริคอย่างจาง (H_2SO_4 1.25%) เป็นเวลา 30 นาที เสร็จแล้วทำการกรองกนำส่วนที่กรองได้ไปต้มกับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างจาง (NaOH 1.25%) เป็น เวลา 30 นาที สารกลุ่มโปรตีน น้ำตาล แป้ง เฮมิเซลลูโลส แร่ธาตุที่ละลายได้ และอาจมี ลิกนิน บ้าง ถูกสกัดออกไป

5) ทำการกรองและทำให้ตกตะกอนที่ได้แห้ง โดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 100^0C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เสร็จแล้วทำให้เย็น แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่

6) สารที่เหลือจากการสกัดประกอบด้วย เยื่อใย และเกลือแร่ที่ไม่ละลายน้ำในกรด และด่าง

7) นำสารที่เหลือไปเผาที่อุณหภูมิ 600^0C ± 15^0C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น (desiccators) ชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่

8) น.น. เยื่อใย = น.น. คงที่ (ข้อ 5.) - น.น. คงที่ (ข้อ 7.)

9) คำนวณหาเยื่อใยรวม จากสูตร

$$\% \text{ เยื่อใยรวม} = \frac{\text{น.น. เยื่อใย}}{\text{น.น. ตัวอย่างอาหาร}} \times 100$$

2. ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) เป็นคาร์โบไฮเดรตพวกน้ำตาล, แป้ง, เฮมิเซลลูโลส ที่ย่อยได้ การวิเคราะห์หา NFE ทำได้หลายวิธี แต่เป็นการยุ่งยากและสิ้นเปลืองทั้งเวลาและเงินทอง ฉะนั้นการวิเคราะห์หา NFE จึงใช้วิธีอ้อม คือ ไปทำการวิเคราะห์หา % น้ำ, % โปรตีนรวม, % ไขมันรวม, % เยื่อใย และ % เถ้า เสียก่อน จากนั้น นำเปอร์เซ็นต์ที่วิเคราะห์ได้ดังกล่าวรวมกัน ลบออกจาก 100 ก็จะได้ % NFE

% NFE = 100 - (% น้ำ + % โปรตีนรวม + % ไขมันรวม + % เยื่อใยรวม + % เถ้า)

การวิเคราะห์หาเยื่อใยโดยวิธีการของ Van Soest

Neutral Detergent Fiber (NDF)

NDF เป็นส่วนที่อยู่ตามผนังเซลล์ (cell wall) NDF ไม่ละลายใน detergent ที่เป็นกลาง NDF ประกอบด้วย เซลลูโลส, ลิกนิน, Silica, เฮมิเซลลูโลส และโปรตีนอยู่บ้าง การวิเคราะห์หา NDF โดยวิธีการของ Van Soest ทำได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งได้ตากแห้งแล้วจำนวน 1 กรัม

2. นำตัวอย่างอาหารไปต้มกับ acid detergent solution (49.04 กรัม H_2SO_4 Conc. และ 20 กรัม cetyl trimethyl ammonium bromide /ลิตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรอง นำตะกอนที่กรองได้ใส่ลงใน crucible (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน) แล้วนำไปทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนัก crucible + NDF (น.น.คงที่)

3. ล้างตะกอนที่อยู่ใน crucible ให้หมด แล้วนำ crucible ไปอบ ที่อุณหภูมิ 100^0C นาน 8 ชั่วโมง นำ crucible ออกมาทิ้งให้เย็น แล้วชั่งหาน้ำหนักคงที่

4. คำนวณหา NDF จากสูตร

$$\% \text{ NDF} = \frac{A - B}{} \times 100$$

$$\frac{A - B}{S}$$

A = น.น. crucible + NDF

B = น.น. crucible

S = น.น. ตัวอย่างอาหารแห้ง

เมื่อได้ % NDF แล้วก็สามารถคำนวณหา % NDS ได้จากสูตร

%NDS = 100 - % NDF

NDS = Neutral Detergent Solubles เป็นส่วนที่อยู่ภายในเซลล์ (cell contents) NDS ประกอบด้วย ลิพิด, Sugars, Starches และโปรตีน

ประโยชน์ของ NFE และ เยื่อใย

NFE เป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ จึงเรียกว่า soluble carbohydrates ประกอบด้วย น้ำตาล, แป้ง, เฮมิเซลลูโลส และบางส่วนของ เซลลูโลส และ เพนโตแซน (pentosan) ที่ละลายได้ ฉะนั้น เมื่อสัตว์กินอาหารดังกล่าวเข้าไป ก็จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่าง ๆ ในทางเดินอาหาร แปรสภาพของ NFE ให้เป็น monosaccharide ก่อนจะถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารเข้าสู่ร่างกาย สำหรับใช้เป็นประโยชน์ให้เป็นพลังงานและความร้อน ในการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายให้เป็นปกติ เนื่องจาก NFE เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย เมื่อมีมากในอาหารใดก็จะทำให้อาหารนั้นมีพลังงานสูง คาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้มีมากใน เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวจ้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ในข้าวโพดและข้าวฟ่างมี NFE อยู่ประมาณ 70% นอกจากนี้ NFE มีอยู่ในราก และหัวของพืช หญ้าแห้งและอาหารหยาบอื่น ๆ มี NFE ต่ำ ส่วนใบและต้นพืชทั้งถั่วและหญ้า มี NFE ต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอาหารหลักของสัตว์พวกเป็ด ไก่ และสุกร

เยื่อใย เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย เซลลูโลส และคาร์โบไฮเดรต ส่วนอื่น ๆ ที่มีความทนทาน ไม่ละลายในกรดและด่างอย่างจาง ในกลุ่มอาหารหยาบ จะมีเยื่อใยสูงกว่าเมล็ดพืช อาหารกลุ่มเยื่อใยจึงจัดเป็นอาหารที่ย่อยได้ยากและเป็นประโยชน์ต่อสัตว์น้อย แต่ในสัตว์บางกลุ่มจะย่อยเยื่อใยได้โดยอาศัยการกระทำของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย จึงสามารถนำเยื่อใยไปใช้เป็นประโยชน์ การย่อยได้ของเยื่อใยไม่ใช่จะแตกต่างกันตามลักษณะของอาหารอย่างเดียว แต่ยังแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การย่อยได้ของเยื่อใยในสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดสัตว์	แหล่งทำการย่อย	% ย่อยได้
สัตว์เคี้ยวเอื้อง	rumen, colon	50-90
ม้า	cecum, colon	13-40
สุกร	cecum, colon	3-25
เป็ด, ไก่	ceca	20-30

เยื่อใย เป็นสิ่งจำเป็นในอาหารสัตว์ทุกชนิด เว้นลูกสัตว์อายุยังน้อย คือ เยื่อใย ช่วยการย่อยอาหารโดยช่วยให้อาหารข้นพองตัว เพื่อให้น้ำย่อยแทรกเข้าไปได้ทั่วถึงและยังช่วยให้อาหารในทางเดินอาหาร เคลื่อนตัวได้สะดวก เยื่อใย มีคุณสมบัติเป็นยาระบายอ่อน ๆ (laxative) ไก่ที่กิน เยื่อใย น้อยเกินไปจะเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ไก่เป็นโรคจิกกันเอง สำหรับม้า โค กระบือ ถ้าได้รับ เยื่อใย น้อยจะเกิดเป็นโรคกระเพาะแน่น อาหารไม่ย่อย แต่ถ้าให้กิน เยื่อใย มากเกินไปจะทำให้สัตว์มีอาการท้องกาง คือในอาหารมีกากมาก มีเนื้ออาหารน้อย และจะทำให้อาหารต่าง ๆ ย่อยได้ยากขึ้น ซึ่งจะเกิดผลร้ายมากกว่าผลดี ทั้งสัตว์จะต้องเสียพลังงานในการย่อยมากขึ้น

หน้าที่ของคาร์โบไฮเดรต (functions of carbohydrates)

1. เป็นแหล่งพลังงานความร้อน ทั้งนี้ก็เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่ถูกทำให้สลายตัวจะให้ กลูโคส แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานชั้นสูง ที่เรียกว่า Adenosine Triphosphate (ATP) เพื่อใช้เป็นพลังงานความร้อนของขบวนการต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น การเคลื่อนไหว การหายใจ กายย่อยอาหาร การหมุนเวียนโลหิต และการสืบพันธุ์
2. เป็นโภชนะสำหรับสร้างนม สร้างไข่
3. เป็นพลังงานสำรอง (reserved energy) อาหารคาร์โบไฮเดรต เมื่อสัตว์กิน เข้าไปเหลือใช้ สัตว์จะเปลี่ยนเป็นไขมันเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เมื่อสัตว์ขาดแคลนพลังงานหรือได้รับอาหารพลังงานไม่เพียงพอ สัตว์จะดึงพลังงานสำรองมาใช้

3. โปรตีน

โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในร่างกายสัตว์ คือเป็นส่วนประกอบของอวัยวะต่าง ๆ และโครงสร้างที่อ่อนนุ่ม สัตว์ต้องการใช้โปรตีนตลอดชีวิต เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เซลล์ของสัตว์ประกอบด้วยโปรตีน แต่ละเซลล์ของพืชประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้สัตว์ยังต้องการโปรตีนเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของเลือด เนื้อ และยังนำไปสร้างผลผลิตเพื่อการสืบพันธุ์ สร้างย้ำย่อย สร้างฮอร์โมนต่าง ๆ

หน้าที่ของโปรตีน (function of proteins)

1. เป็นส่วนประกอบของร่างกาย เช่น เลือด, เนื้อ, ขน, เขา, กีบสัตว์ และอวัยวะอื่น ๆ
2. เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์ที่สึกหรอไปภายในร่างกายสัตว์
3. เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนและน้ำย่อย ซึ่งเป็นตัวคอยควบคุมการทำงานของต่อมต่าง ๆ และการย่อยอาหารภายในร่างกายสัตว์ให้เป็นปกติ
4. ช่วยสร้างความเจริญเติบโตของลูกสัตว์ในท้อง, สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต
5. ช่วยในการสร้างผลผลิตต่าง ๆ เช่นการให้นม การให้ไข่ และการให้เนื้อของสัตว์
6. ช่วยให้ร่างกายมีความต้านทานโรค เนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบของสารที่มีอำนาจต่อต้านเชื้อโรค สารนั้นเรียกว่า antibody
7. ช่วยในการสืบพันธุ์ให้แก่สัตว์ เพราะ sperm และ ovum จะสร้างได้ก็ต้องมีโปรตีน
8. เป็นแหล่งพลังงาน เพราะโปรตีนก็ให้พลังงานพอ ๆ กับคาร์โบไฮเดรต

ส่วนประกอบของโปรตีน (elementary composition of proteins)

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และ ไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส และ/หรือ ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย ตามธรรมชาติโปรตีนมีลักษณะเป็นสาร colloid และมีน้ำหนักสูง อาหารโปรตีนโดยเฉลี่ยจะมีธาตุไนโตรเจน 16% โปรตีนเกิดขึ้นจากการรวมตัวของกรดอะมิโนหลายชนิด โปรตีนบางชนิดจะมีกรดอะมิโนมากกว่า 25 ชนิด ซึ่งกรดอะมิโนเป็นกรดอินทรีย์ มีหน้าที่นำกลุ่มอะมิโน (amino group, NH_2)

การแบ่งประเภทของโปรตีน (classification of proteins)

โปรตีนเป็นสารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนยากต่อการจำแนก ไม่สามารถที่จะแยกความแตกต่างของโปรตีนแต่ละอย่างโดยวิธีอย่างง่าย ๆ แต่ถ้าจะแบ่งตามการละลาย (solubility) การแข็งตัว (coagulation) การตกตะกอน (precipitation) และผลผลิตที่ได้จากการสลายตัว จะแบ่งโปรตีนได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. โปรตีนธรรมดา (simple proteins) เป็นโปรตีนที่พบอยู่ตามธรรมชาติ เมื่อถูกย่อยด้วย กรด ด่าง หรือน้ำย่อย จะได้กรดอะมิโนเพียงอย่างเดียว โปรตีนที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่

1.1. Albumins โปรตีนชนิดนี้ละลายได้ในน้ำบริสุทธิ์ และแข็งตัวเมื่อถูกความร้อน พบอยู่ในไข่ขาว เรียกว่า egg albumin พบในนม เรียกว่า lactalbulin และพบในเลือด เรียกว่า serum albumin

1.2. Globulins เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในน้ำเกลือ แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน globulin พบอยู่ในไข่แดง เรียกว่า ovoglobulin นอกจากนี้พบอยู่ในกล้ามเนื้อและเมล็ดพืช

1.3. Glutelins เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำบริสุทธ์ ไม่ละลายในน้ำเกลือเป็นกลางแต่ละลายได้ในกรดและด่างที่เจือจาง แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน โปรตีนกลุ่มนี้อยู่ในปุ่มงอกของเมล็ด (endosperm) ของเมล็ดธัญพืช เช่น ในข้างสาลีเรียกว่า glutenin ในข้าวจ้าวเรียกว่า oryzenin

1.4. Prolamines เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ 70% ไม่ละลายในน้ำ โปรตีนกลุ่มนี้ได้แก่โปรตีนในเมล็ดข้าวโพด เรียกว่า zein ในเมล็ดข้างสาลี เรียกว่า gliadine ในเมล็ดข้าวบาเลย์ เรียกว่า hordeine

1.5. Histones เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำแต่ไม่ละลายในแอมโมเนียที่เจือจางมาก ไม่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน เมื่อสลายตัวจะให้กรดอะมิโนไลซีน histones พบอยู่ในต่อมไทมัส และใน hemoglobin ของส่วนที่เรียกว่า globin

1.6. Aluminoids เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในสารที่เป็นกลางแต่จะละลายในกรดและด่างที่เข้มข้น โปรตีนชนิดนี้พบอยู่เฉพาะในสัตว์ เช่นพบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน(connective tissues) เรียกว่า collagen และพบใน epidermal tissues เรียกว่า keratin ตัวอย่างของ aluminoids เช่น ขน เขา กีบของสัตว์เป็นต้น

1.7. Protamines เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำและใน amonium hydroxide แต่ไม่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน protamines เป็นโปรตีนธรรมชาติ ที่มีหน่วยเล็กที่สุดพบในอสุจิของปลา (fish sperm)

2. โปรตีนประกอบ (conjugated or compound proteins) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนธรรมดาและ สารอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน (non- protein group) โปรตีนพวกนี้พบมากในเนื้อเยื่อของสัตว์ เมื่อถูกย่อยจะได้กรดอะมิโนและสารอื่น เช่น ลิพิด คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โปรตีนประกอบที่สำคัญ ได้แก่

2.1. Nucleoproteins เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโปรตีนหนึ่งโมเลกุล หรือมากกว่า และยังมีกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) รวมอยู่ด้วย ส่วนมากพบในเมล็ดพืชและต่อมต่างๆภายในอวัยวะของสัตว์

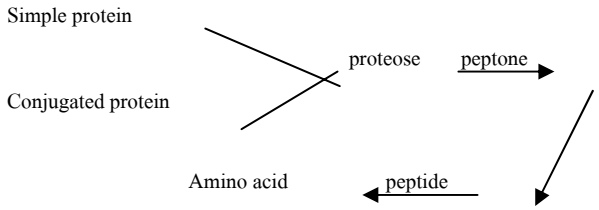
2.2 Glycoproteins เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตกลุ่มน้ำตาลเฮกโซส โปรตีนชนิดนี้พบอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆในลำไส้ และในไข่ขาว

2.3. Phosphoproteins เป็นโปรตีนที่มีกลุ่มฟอสฟอรัส (P- group) ตัวอย่างเช่น casein ในน้ำนม หรือ vitellin ในไข่แดง

2.4. Chromoproteins เป็นโปรตีนที่มีสารให้สี เช่น hemoglobin ซึ่งประกอบด้วย globin และ hematin รวมตัวกันทำให้เกิดสีแดงในเลือด

2.5. Lecithoproteins เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนกับ lecithin โปรตีนชนิดนี้พบอยู่ในกล้ามเนื้อทั่วๆ ไป ตัวอย่างเช่น tissue fibrinogen

3. **โปรตีนอนุพันธ์ (derived proteins)** เป็นโปรตีนที่ได้จากการแปรสภาพ (degrade) ของโปรตีนธรรมดาหรือโปรตีนประกอบ ด้วยความร้อน น้ำย่อย กรด และด่าง ในทางเดินอาหาร โปรตีนชนิดนี้ที่สำคัญ ได้แก่



3.1. Proteose เป็นผลิตผลขั้นแรกที่ได้จากการแปรสภาพของโปรตีนด้วยกรด ความร้อนหรือน้ำย่อย มีคุณสมบัติละลายในน้ำและไม่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน แต่ยังมีขนาดอณูเท่าเดิม

3.2. Peptone เป็นโปรตีนที่ได้จากการแปรสภาพของ proteose มีขนาดอณูเล็กกว่า แต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ proteose คือละลายน้ำได้ แต่ไม่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน

3.3. Peptide เป็นสารที่ได้จากการแปรสภาพของ peptone ก่อนจะเป็นกรดอะมิโน peptide ถ้าประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 อณู เรียกว่า dipeptide และถ้ามีกรดอะมิโน 3 อณู เรียกว่า tripeptide

3.4. Amino acid โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยกรดอะมิโน โดยจำนวนและชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีนแต่ละชนิดมักแตกต่างกัน กรดอะมิโนเป็นผลิตผลขั้นสุดท้ายที่ได้จากการต้มโปรตีนกับกรดที่เข้มข้นเป็นเวลานานหลายชั่วโมง หรือถูกย่อยโดยน้ำย่อยที่เหมาะสม

ชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีน (kinds of amino acids)

กรดอะมิโนที่ประกอบขึ้นเป็นโปรตีน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น ดังแสดงในตารางที่ 14

1. กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) เป็นกรดอะมิโนที่สัตว์ต้องการและร่างกายขาดไม่ได้ ถ้าขาดจะทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์ไม่เป็นไปตามปกติ ร่างกายสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ จำเป็นที่ต้องได้รับจากทางอาหาร

2. กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non - essential amino acids) กรดอะมิโนกลุ่มนี้ร่างกายสามารถสร้างได้จากสารที่มีไนโตรเจน หรือสร้างมาจากกรดอะมิโนที่จำเป็น กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น แม้ร่างกายจะขาดไปก็ไม่กระทบกระเทือนต่อสัตว์

ตารางที่ 14 ชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีน

Essential Amino Acids	Non-essential Amino Acids
Arginine	Alanine
Histidine	Aspartic acid
Isoleucine	Citrulline
Leucine	Cystine
Lysine	Glutamic acid
Methionine	Glycine
Phenylalanine	Hydroxyproline

Threonine	Proline
Tryptophan	Serine
Valine	Tyrosine

กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมดนี้ เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสุกร ส่วนในสัตว์ปีกต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นอีก 2 ชนิด คือ glycine และ glutamic acid

โค กระบือ แพะ แกะ และม้า สามารถสร้างกรดอะโนที่จำเป็นขึ้นเองได้จากการกระทำของจุลินทรีย์ในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว หรือ ไส้ติ่ง และ ปลายลำไส้ใหญ่ (colon) ของม้า โดยเปลี่ยนสารที่มีไนโตรเจนไปเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์เอง โปรตีนที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมาประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น แล้วสัตว์จะย่อยโปรตีนเหล่านี้ไปใช้อีกทีหนึ่ง ฉะนั้นคุณภาพของโปรตีนจึงไม่มีความหมายสำหรับสัตว์กลุ่มนี้

นอกจากนี้พบว่า cystine และ tyrosine มีมาก ๆ จะใช้แทนกรดอะมิโนบางชนิดได้ คือ

cystine	สามารถแทน	methionine	=1/6
tyrosine	สามารถแทน	phenylalanine	=1/2

คุณสมบัติของโปรตีน (Properties of proteins)

1. โปรตีนสามารถรวมตัวได้กับกรดและด่าง จึงมีคุณสมบัติเป็นพวก amphoteric substances ฉะนั้นเมื่อสัตว์กินโปรตีนเข้าไปจะถูกกรดและน้ำย่อยภายในกระเพาะทำให้โปรตีนสลายตัวให้อณูของโปรตีนเล็กลงจนเป็น amino acid ใช้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายต่อไป
2. โปรตีนเป็นสารกลุ่ม colloid จึงไม่ซึมผ่าน membranes หรือ gels
3. โปรตีนละลายได้ในน้ำ แต่ละชนิดได้มากน้อยไม่เท่ากัน
4. โปรตีนละลายได้ในน้ำเกลือ บางชนิดละลายได้ในแอลกอฮอล์ ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน จากคุณสมบัตินี้เราใช้แยกโปรตีนจากสารอื่น ๆ และยังนำไปสังเคราะห์โปรตีนที่บริสุทธิ์ได้
5. โปรตีนเมื่อถูกความร้อนทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป คืออาจทำให้คุณค่าของอาหารสูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้ โดยเฉพาะการต้มโปรดตีนโดยผ่านความร้อนไอน้ำ จนพบว่าการย่อยได้ของโปรตีนจะเสื่อมลงโดยเฉพาะโปรตีนที่ได้จากพืช เช่นโปรตีนที่อยู่ในข้าวโพด เมื่อถูกความร้อนจะทำให้เสื่อมคุณภาพและยังเป็นสาเหตุให้เกิดโรคฝี (ulcer) ภายในกระเพาะสัตว์ได้ประมาณ 22-30% โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนม ถ้าเอามาต้มโดยใช้ความร้อนสูง ๆ จะทำให้คุณค่าอาหารต่ำลงมา คุณค่าทางอาหารจะเสื่อมไปมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ (temperature) และระยะเวลา (duration) แต่การใช้ความร้อนทำให้คุณภาพของโปรตีนสูงขึ้นได้เหมือนกัน เช่นถั่วเหลือง ถั่วลิสง มีสารบางชนิดอยู่ ซึ่งทำให้คุณค่าทางอาหารต่ำถ้าไม่ผ่านความร้อน สารที่มีอยู่นั้นเรียกว่า anti - enzyme สารนี้จะป้องกันมิให้น้ำย่อย trypsin เข้าไปทำการย่อยโปรตีน เราจึงเรียกให้ชัดลงไปอีกว่าพวกถั่วเหลือง ถั่วลิสงมีสารพวก anti - trypsin ถ้าถูกความร้อน anti - trypsin จะสลายไป นอกจากนี้ในถั่วเหลืองมีสารพวก soyin ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ ถ้าถูกความร้อน soyin จะถูกทำลายให้น้อยลงและหมดไป

แหล่งของโปรตีน (sources of proteins)

แหล่งที่มาของโปรตีน มี 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ

1. โปรตีนจากสัตว์ (animal protein) เป็นโปรตีนที่ได้จากสัตว์หรือผลิตผลพลอยได้จากสัตว์ โปรตีนที่ได้จากสัตว์จะมี animal protein factor (APF) ปัจจุบันทราบแล้วว่า APF มี วิตามินบี12 เป็นองค์ประกอบ โปรตีนจากสัตว์ เช่น เนื้อป่น ปลาป่น นมผง หางนมผง เลือดป่น กุ้งป่น เป็นต้น โปรตีนจากสัตว์มักจะมีคุณภาพสูง เพราะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อสัตว์อยู่มากชนิด

2. โปรตีนจากพืช (plant protein) เป็นโปรตีนที่ได้จากพืชหรือผลิตผลพลอยได้จากพืช เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย กากงา ใบกระถินป่น โปรตีนจากพืชมักจะมีคุณภาพต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์ แต่ราคาจะถูกกว่า

ระดับโปรตีนในอาหาร

ระดับโปรตีนในอาหารมีอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ คือ

1. อาหารที่มีโปรตีนระดับต่ำ คือ จะมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 1-15 % ได้แก่หญ้าต่าง ๆเช่น หญ้าขน หญ้าเนเปียร์ หญ้ากินนี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นต้น

2. อาหารที่มีโปรตีนระดับปานกลาง คือ มีโปรตีนระหว่าง 16-40% เช่น ใบกระถินป่น กากมะพร้าว เป็นต้น

3. อาหารที่มีโปรตีนระดับสูง คือ มีโปรตีนระหว่าง 41-80 % เช่น กากถั่วต่าง ๆ เนื้อป่น เลือดป่น ปลาป่น เป็นต้น

คุณภาพของโปรตีน (protein quality)

Magendie ได้ยืนยันว่าโปรตีนทุกชนิดมีคุณภาพไม่เหมือนกัน โดยได้ทำรายงานเกี่ยวกับเรื่อง gelatin ที่พิมพ์ในปี ค.ศ. 1841 แสดงให้เห็นว่า gelatin นั้น ไม่สามารถใช้แทนโปรตีนที่ได้จากเนื้อ เนื่องจากคุณภาพแตกต่างกัน

ปัจจุบันเราทราบว่าโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนต่างชนิด ต่างจำนวนกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้โปรตีนแต่ละชนิดแต่ละอย่างมีคุณภาพแตกต่างกันออกไป โปรตีนใดมีกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นอยู่มากชนิด และปริมาณที่มีอยู่ก็มีมาก ย่อมมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าโปรตีนที่มีกรดอะมิโนอยู่น้อยชนิด หรือเป็นจำนวนน้อย เช่น โปรตีนจากนมผงจะมีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนจากกากถั่ว ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจากนมประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สัตว์ต้องการอยู่มากชนิด และจำนวนก็มีมากกว่า จึงมีคุณภาพสูง ส่วนโปรตีนจากกากถั่วขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อสัตว์หลายอย่าง จึงเป็นเหตุให้คุณภาพต่ำ

โดยทั่วไปแล้วโปรตีนที่ได้จากสัตว์จะมีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้โปรตีนที่ได้จากสัตว์มีสารเสริมพิเศษที่เรียกว่า APF ซึ่งช่วยให้สัตว์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น สารเสริมพิเศษนี้มีวิตามิน บี 12 เป็นองค์ประกอบ

ค่าทางชีวะ (biological value)

ค่าทางชีวะของโปรตีน หมายถึง เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ย่อยได้ของอาหาร หรืออาหารผสมซึ่งสัตว์สามารถเอาโปรตีนนั้นไปใช้ได้ ค่าทางชีวะของโปรตีนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นหรือไม่จำเป็น ขึ้นอยู่กับความต้องการของสัตว์ ว่ามีความต้องการกรดอะมิโนชนิดไหน เป็นจำนวนเท่าใด โปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นตามความต้องการของสัตว์อยู่อย่างสมดุลย์ จะมีค่าทางชีวะสูง โปรตีนชนิดนี้จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี ส่วนโปรตีนที่ขาดกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นไปเพียงหนึ่งชนิด หรือมากกว่าจะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ

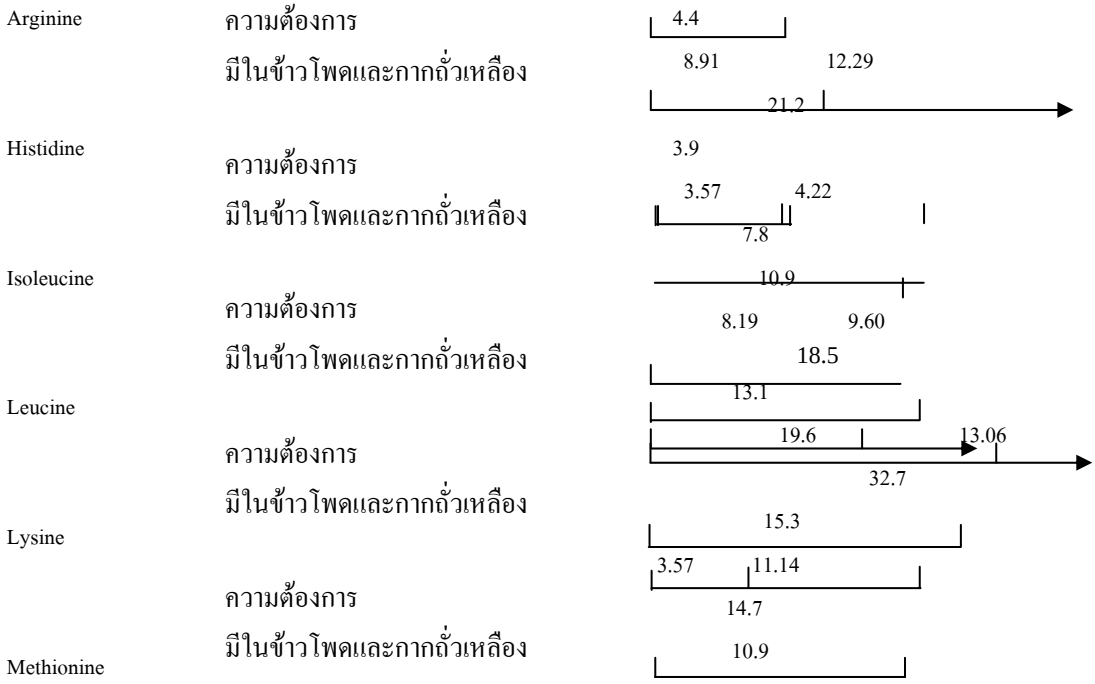
ผลการให้โปรตีนแก่สัตว์มากเกินไป

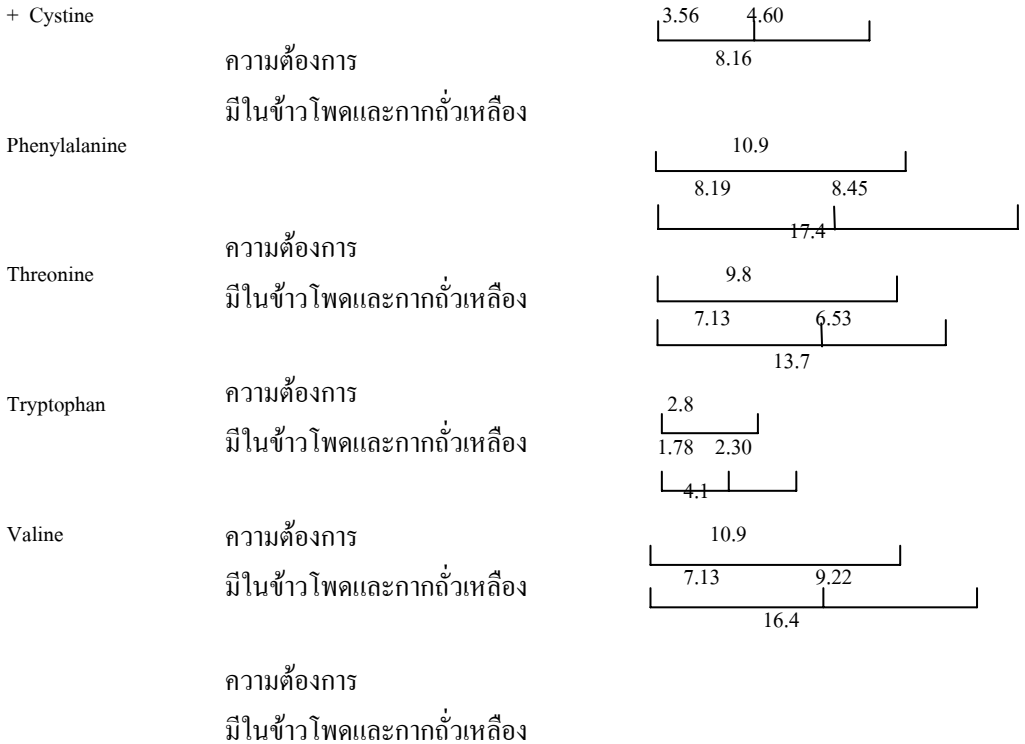
โดยทั่วไปอาหารที่ให้โปรตีนสูง มักมีราคาแพงกว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ในทางปฏิบัติการให้อาหารโปรตีนแก่สัตว์ เรามักให้เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์ เพื่อให้สัตว์ให้ผลตอบแทนแก่เราดีที่สุด แต่ในบางครั้งอาหารที่มีโปรตีนสูง มีราคาถูกกว่าอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ทำอย่างไรจึงจะไม่ให้เกิดอันตรายแก่สัตว์ เมื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนมาก ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องจากถ้าสัตว์ได้รับโปรตีนมากเกินไป จะทำให้เป็นการเพิ่มการทำงานของตับและไตในการขับไนโตรเจน

จากการทดลองของนักโภชนศาสตร์หลายท่านแสดงให้เห็นว่าไม่มีอันตรายแต่อย่างใด เมื่อให้สัตว์เลี้ยงได้รับโปรตีนมากเกินไปจากความต้องการของสัตว์ แต่บางท่านก็กล่าวว่า การให้อาหารที่มีโปรตีนสูง เช่นกากเมล็ดฝ้ายหรืออาหารข้นที่มีโปรตีนสูงแก่แม่โคนม จะเป็นการเพิ่มปัญหาเกี่ยวกับโรคเต้านมอักเสบและโรคอื่น ๆ แต่ก็ยังไม่ได้พิสูจน์ว่าเป็นความจริงหรือไม่ตามคำกล่าวนั้น แม้ว่าการป่วยของสุกร บางครั้งตรวจพบว่ามีสาเหตุมาจากการเป็นพิษของโปรตีน เนื่องจากให้อาหารมีโปรตีนมากเกินความต้องการ แต่ก็ยังเป็นที่สงสัยเพราะจากการทดลองที่ Ohio สหรัฐอเมริกา โดยสุกรได้รับโปรตีน 42 % เป็นเวลา 13 สัปดาห์ ผลของการทดลองพบว่าสุกรยังคงมีสุขภาพดีและมีการเพิ่มน้ำหนักไปตามปกติ และจากการทดลองที่ Illinois โดยให้สุกรได้รับโปรตีน 30% หลังการหย่านมเป็นต้นไป พบว่าไม่เกิดอันตรายแต่อย่างใดแก่สุกร แม้กระทั่งการทดลองให้หนูได้รับอาหารที่มีโปรตีนถึง 90% หนูก็ยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ

Supplementary effect of proteins

เมื่อโปรตีนสองชนิดมีกรดอะมิโนอยู่อย่างจำกัดทั้งชนิด และปริมาณ แต่โปรตีนชนิดหนึ่งมีกรดอะมิโนมากกว่าโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง การเสริมกรดอะมิโนให้แก่กันจะเกิดขึ้นเมื่อเอาโปรตีนทั้งสองชนิดรวมกันเข้า แสดงให้เข้าใจได้ง่ายดังนี้





หมายเหตุ ความต้องการเป็นความต้องการต่อวันของสุกรน้ำหนัก 47.5 กิโลกรัม โดยใช้ข้าวโพด 1.981 กิโลกรัม + กากถั่วเหลือง 0.384 กิโลกรัม/วัน และให้แร่ธาตุและวิตามิน เพียงพอกับความต้องการ

โปรตีนเหลือใช้

สัตว์เมื่อได้รับโปรตีนมาก หรือไม่ตรงกับความต้องการของร่างกาย ร่างกายจะแยกกลุ่มอะมิโน (NH_2 group) ออกจากกรดอะมิโน แล้วขับออกจากร่างกายในรูปของยูเรียทางปัสสาวะ ประมาณ 30 กรัมของยูเรีย จะถูกขับออกมาภายในเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนประกอบที่เหลือจากการแยกร่างกายจะนำไปใช้เผาผลาญให้เป็นพลังงาน หรือความร้อน ได้เช่นเดียวกับอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยที่เหตุที่โปรตีนเป็นอาหารที่มีราคาแพง เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันเส้น ปลายข้าว ฯลฯ ดังนั้น การให้อาหารโปรตีนแก่สัตว์มากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ซึ่งผู้เลี้ยงควรจะได้ระมัดระวัง ไม่ควรให้มากเกินความต้องการ และควรให้อาหารที่มีคุณภาพสูง

การใช้ประโยชน์จากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน หรือ non-protein nitrogen (NPN) จุลินทรีย์ในกระเพาะ ผ้าขี้ริ้วของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์โปรตีนจาก NPN ได้ ฉะนั้น NPN อาจใช้แทนโปรตีนสำหรับเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่การใช้ NPN นั้น จะต้องจัดอาหารคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หรือกากน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งให้พลังงานเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานสร้างโปรตีนให้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้องอย่างเพียงพอ

การใช้ยูเรีย

มีการศึกษาหาผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมื่อนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งให้สาร NPN ปัจจุบันมีการใช้ยูเรียเป็นสารหลักสำหรับให้ NPN ในการเลี้ยงสัตว์ ยูเรียได้จากการรวมตัวของแก๊สธรรมชาติกับน้ำและอากาศ มีสูตรทางเคมี คือ $CO(NH_2)_2$ ในลักษณะที่บริสุทธิ์ ยูเรียมีไนโตรเจน 46.6% ซึ่งจะให้โปรตีน (crude protein) ถึง 281% (45.0 X 6.25) จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้ยูเรียโดยขั้นแรกยูเรียถูกย่อยดังสมการ

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \longrightarrow CO + 2NH_3$$

การย่อยเกิดขึ้นโดยอาศัยน้ำย่อย Urease ซึ่งจุลินทรีย์สร้างขึ้นมา จะทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการหมักบูด (fermentation) ภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว ซึ่งจะได้เกลือแอมโมเนียม (ammonium salts) เช่น ammonium acetate, ammonium propionate ต่อจากนั้นจุลินทรีย์จะ metabolize เกลือแอมโมเนียมเพื่อสร้างเป็นโปรตีนของเซลล์จุลินทรีย์

การเป็นพิษของยูเรีย (urea toxicity)

ตามปกติร่างกายจะขับยูเรียออกทางปัสสาวะ การให้ยูเรียในระดับปกติจะไม่เกิดเป็นพิษต่อสัตว์ ตัวยูเรียเองมิได้เป็นพิษต่อสัตว์โดยตรง แต่แอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดขึ้นจากการย่อยยูเรีย ถ้าเกิดมากเกินไปจะเป็นพิษ เพราะ NH_3 ไปรวมตัวกับกรดอินทรีย์ได้ไม่หมด ทำให้ NH_3 ที่ไม่รวมตัวกับกรดอินทรีย์ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะผ้าขี้ริ้ว เข้าสู่เส้นเลือดไปสร้างเป็น alkalosis ซึ่งก่อให้เกิดอันตราย ทำให้สัตว์ตายได้ ฉะนั้น การให้ยูเรียแก่สัตว์จะต้องจัดคาร์โบไฮเดรตให้แก่สัตว์อย่างเพียงพอ เพื่อรักษาระดับการเป็นกรดภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว ให้สูง เมื่อระดับการเป็นกรดต่ำ นอกจากจะทำให้มีกรดอินทรีย์ไม่เพียงพอแล้ว ยังทำให้เอนไซม์ยูรีเอสทำงานได้ไม่ดี (เอนไซม์ยูรีเอสทำงานได้ดีที่ pH 6-8) นอกจากนี้การที่มี NH_3 มากเกินไปจะทำให้มี NH_4OH เกิดขึ้นภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว NH_4OH จะไปลดระดับการเป็นกรด

การใช้ยูเรียมีการใช้มากกับสัตว์เคี้ยวเอื้อง การใช้ยูเรียไม่ควรใช้เกินกว่า 1/3 ของโปรตีนในสูตรอาหาร ถ้าใช้เกินไปจากจำนวนดังกล่าว จะทำให้เกิดเป็นพิษและประสิทธิภาพการใช้จะลดลง

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (The chemical determination of proteins)

ในการวิเคราะห์หาโปรตีนในอาหารไม่นิยมหาโดยวิธีตรง ในทางปฏิบัติใช้วิธีหาปริมาณของไนโตรเจนแทน เนื่องจากอาหารโปรตีนทุกอย่างจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างจะคงที่เฉลี่ยโดยทั่วไปแล้วโปรตีนจะมีไนโตรเจนประมาณ 16% ดังนั้น แฟคเตอร์ที่ใช้คือ 6.25 (100-16) โดยนำแฟคเตอร์นี้ไปคูณกับไนโตเจนทรี่วิเคราะห์ได้ ก็จะทำให้ทราบว่าอาหารชนิดนั้น ๆ มีโปรตีนเป็นเท่าไร สำหรับแฟคเตอร์ 6.25 นั้นนิยมใช้กันทั่ว ๆไป แต่อาหารบางอย่าง เช่นโปรตีนในน้ำนมจะมีไนโตรเจนโดยเฉลี่ย 15.7% แฟคเตอร์ที่ใช้จึงเป็น 6.38 โปรตีนในแป้งข้าวสาลีมีไนโตรเจน 17.5% แฟคเตอร์ที่ใช้จึงเปลี่ยนเป็น 5.71 แทน ในการวิเคราะห์หาโปรตีนทำได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. ชั่วตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์หาโปรตีนมาเพียงเล็กน้อย (ปกติจะใช้ 1-5 กรัม)
2. วิเคราะห์หาไนโตรเจนโดยการใช้ Kjedahl method

2.1 ทำการย่อยอาหารด้วยกรดซัลฟูริค โดยมี $CuSO_4$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมี Na หรือ potassium sulfate เป็นตัวช่วยให้จุดเดือดสูงขึ้น ในระหว่างการย่อย ดังสมการ

$$3H_2SO_4 \dashrightarrow 3H_2O + 3SO_2 + 3O$$

$$CH_2(NH_2)COOH + 3\,O \longrightarrow 2\,CO_2 + H_2O + NH_3$$

$$2\,NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2\,SO_4$$

ทำการกลั่น (distillation) ภายหลังการย่อยเสร็จแล้วก็นำมากลั่น โดยต้มกับด่างอย่างแรง เช่น NaOH , เพื่อไล่ NH3 ออกมาดังสมการ

$$(NH_4)_2\,SO_4 + NaOH \longrightarrow Na_2\,SO_4 + 2\,NH_3 + 2\,H_2O$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4\,OH$$

2.2 เก็บ NH_4OH ที่ได้โดยกรดซัลฟูริคมาตรฐาน (0.1 N,H_2SO_4) ที่ทราบหาปริมาณที่แน่นอน

2.3 Titration หาปริมาณกรดที่เหลือด้วยด่างามาตรฐาน (0.1N, NaOH) ก็จะทราบปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยา

3. คำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่างอาหาร โดยใช้ปริมาณไนโตรเจน X 6.25

4. คำนวณหา crude protein จากสูตร

$$\text{Crude protein} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างอาหาร X 100}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร}}$$

โปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นโปรตีนรวม (crude proteins) ไม่ใช่โปรตีนแท้ ๆ เพราะจะประกอบไปด้วยโปรตีนแท้ ๆ (true proteins) และสารอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน แต่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น amides, amino acids, nitrogenous glucosides and fats, alkaloids, ammonium salts

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen compounds, NPN)

สารอื่นที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีไนโตเจนเป็นองค์ประกอบ ดังได้กล่าวแล้วนั้น สารพวก amides และ amino acids มักพบว่ามีอยู่ในอาหารสัตว์มากกว่าสารอื่น อาหารบางอย่างมีสารสองอย่างนี้อยู่ในปริมาณที่มาก เช่นในหญ้าที่กำลังเจริญอย่างรวดเร็ว จะมี amides และ amino acids มากกว่า 1/3 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในหญ้า สำหรับเมล็ดพืชที่กำลังเจริญ จะมี NPN มาก แต่ปริมาณของ NPN จะลดลงเมื่อเมล็ดพืชแก่ พืชที่ใช้ทำหญ้าหมักเมื่อตัดขณะยังอ่อนจะมี NPN สูง ส่วนหญ้าแห้งที่ทำมาจากหญ้าแก่ และอาหารข้นที่ประกอบด้วยเมล็ดพืชหรือผลิตผลพลอยได้จะมี NPN ต่ำ

4. ไขมันและสารที่คล้ายไขมัน (lipids)

ในอาหารสัตว์มีสารอินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนคือ ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายใน ether, benzene, chloroform, alcohol สารที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ fats, waxes, phospholipids, glycolipids, sterols, และอื่น ๆ ในบรรดาลิพิดด้วยกันถือว่าไขมันเป็นองค์ประกอบที่พบอยู่ในร่างกายสัตว์ และในอาหารสัตว์ ฉะนั้นกล่าวได้ว่าไขมัน เป็นลิพิดที่สำคัญที่สุด แต่มี ลิพิดบางชนิดที่มีความสำคัญในด้านอาหารสัตว์และสำคัญต่อสรีรวิทยาของสัตว์ ยกตัวอย่าง เช่น ergosterol ซึ่งเป็นสารที่จะให้วิตามินดี ไขมันประกอบด้วยธาตุ C, H และO เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต แต่สัดส่วนของ C และ H จะมากกว่า O

	คาร์บอน	**ไฮโดรเจน**	**ออกซิเจน**
ไขมัน	77%	12%	11%
แป้ง	44%	6%	50%

ลิพิดบางชนิดนอกจากจะมีธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบแล้ว ยังมีธาตุอื่น เช่น N และ P เป็นองค์ประกอบด้วย

ความสำคัญของลิพิดที่มีต่อมนุษย์และสัตว์

1. เป็นอาหารที่ให้พลังงานและความร้อนแก่ร่างกายได้เช่นเดียวกับอาหารคาร์โบไฮเดรต แต่จะให้พลังงานมากกว่าประมาณ 2.25 เท่า ทั้งนี้เนื่องจาก

คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงานความร้อน 4.23 Kcal.

ลิพิด 1 กรัม ให้พลังงานความร้อน 9.33 Kcal.

$\therefore$ ลิพิด ให้พลังงานความร้อนสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต

$$= \frac{9.33}{4.23} = \frac{9}{4} = 2.25 \text{ เท่า}$$

2. ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความหนาวจากอากาศภายนอก จึงทำให้ร่างกายอบอุ่น
3. ทำหน้าที่เป็นตัวกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายในร่างกาย
4. ช่วยในการละลายและดูดซึมวิตามินบางชนิด โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามิน เอ ดี อี และเค

การแบ่งประเภทของไขมันและสารที่คล้ายไขมัน (classification of lipids)

ลิพิด แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ลิพิดธรรมดา (simple lipids) ลิพิดประเภทนี้มีโครงสร้างอยู่ในรูปโมโนกลีเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์ และไตรกลีเซอร์ไรด์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ไขมัน (fats) ประกอบด้วยสารสองชนิด คือ ester fatty acid กับ กลีเซอรอล

1.2 ขี้ผึ้ง (waxes) ประกอบด้วยสารสองชนิด คือ คือ ester fatty acid กับ alcohol

2. ลิพิดเชิงประกอบ (compound lipids) เป็นลิพิดที่นอกจากจะประกอบด้วย ester fatty acid กับ กลีเซอรอล หรือ alcohol แล้ว ยังประกอบด้วยอณูของสารอื่น ที่พบมาก คือ

2.1 Phospholipids ลิพิดชนิดนี้นอกจากจะมี ester fatty acid แล้ว ยังมีธาตุฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบ ฟอสฟอรัสพบอยู่ในรูปของ phosphoric acid แต่ phospholipids หลายชนิดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบด้วย ตัวอย่างของ phospholipids เช่น lecithin, cephalin, sphingomyelin เป็นต้น

2.2 Glycolipids เป็นลิพิดที่นอกจากจะมี ester fatty acid แล้วยังมี คาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ลิพิดชนิดนี้ไม่มี phosphoric acid ตัวอย่าง เช่น cerebrosides

2.3 Aminolipids เป็นลิพิดที่นอกจากจะมี ester fatty acid แล้วยังมี amino acids องค์ประกอบด้วย

2.4 Sulfolipids เป็นลิพิดที่นอกจากมี ester fatty acid แล้วจะพบว่ามีธาตุซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

3. ลิพิดอนุพันธ์ (derived lipids) เป็นลิพิดที่ได้จากการ ย่อย ของลิพิดธรรมดาและลิพิดเชิงประกอบ ที่สำคัญได้แก่ sterols ซึ่งส่วนใหญ่ของ sterols จะมีแอลกอฮอล์โมเลกุลใหญ่เป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติมักรวมตัวอยู่กับกรดไขมัน sterols ละลายได้ในสารละลายไขมัน

กรดไขมัน (fatty acids)

ไขมันและสารที่คล้ายไขมันแทบทุกชนิด จะมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ในระหว่างคาร์บอนอะตอม กรดไขมันที่จัดไว้ในประเภทนี้ แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว

กรด (acids)	สูตร (formula)	จุดหลอมเหลว (melting point) (^{0}C)
Butyric (butanoic)	C_3H_7COOH	-7.9
Caproic (hexanoic)	$C_5H_{11}COOH$	3.2
Caprylic (octanoic)	$C_7H_{15}COOH$	16.3
Capric (decanoic)	$C_9H_{19}COOH$	31.2
Lauric (dodecanoic)	$C_{11}H_{23}COOH$	43.9

Myristic (tetradecanoic)	$C_{13}H_{27}COOH$	54.1
Palmitic (hexadecanoic)	$C_{15}H_{31}COOH$	62.7

ตารางที่ 15 ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว (ต่อ)

กรด (acids)	**สูตร (formula)**	**จุดหลอมเหลว (melting point) (^{0}C)**
Stearic (octadecanoic)	$C_{17}H_{35}COOH$	69.6
Arachidic (eicosanoic)	$C_{19}H_{39}COOH$	76.3
Ligoceric (tetracosannoic)	$C_{23}H_{47}COOH$	86

กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า 10 จะมีลักษณะเป็นของเหลวในอุณหภูมิห้องธรรมดา ส่วนกรดไขมันที่มี คาร์บอนอะตอมมากกว่า 10 จะมีลักษณะเป็นของแข็ง

1. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม ตัวอย่างที่สำคัญ แสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ตัวอย่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว

กรด (acids)	**สูตร (formula)**	**จุดหลอมเหลว (melting point) (^{0}C)**
Palmetoleic (hexadecanoic)	$C_{15}H_{29}COOH$	0
Oleic (octadecanoic)	$C_{17}H_{33}COOH$	13
Linoleic (octacecadienoic)	$C_{17}H_{31}COOH$	-5
Linolenic (octadecatrienoic)	$C_{17}H_{29}COOH$	-14.5
Arachidonic (eicosatetraenoic)	$C_{19}H_{31}COOH$	-49.5
Clupanodoic (docosapentaenoic)	$C_{21}H_{33}COOH$	Liquid

จะเห็นว่ากรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงมีลักษณะเป็นของเหลวในอุณหภูมิธรรมดา

กรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์ (essential fatty acids, EFA)

กรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์ มี 3 ชนิด คือ linoleic, linolenic และ arachidonic กรดทั้ง 3 ชนิด นี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโต, การสืบพันธุ์, การให้นม, และจำเป็นต่อสุขภาพของสัตว์ เช่น หนู สุกร เป็ด ไก่ ลูกโค ลูกแพะ ถ้าขาดจะทำให้เป็นโรคผิวหนัง เติบโตช้า และในที่สุดถึงตายได้, EFA มีอยู่ในอาหารที่มีไขมันหลายชนิด เช่น น้ำมันจากข้าวโพด, ถั่วเหลือง, เมล็ดฝ้าย, ถั่วลิสง อาหารสัตว์โดยทั่วไปจะมี EFA เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ การให้สัตว์ได้รับ EFA มากเกินความต้องการของสัตว์ จะทำให้เกิดผลเสียคือทำให้ร่างกายมีความต้องการวิตามิน อี สูง เพื่อป้องกันการเหม็นหืนภายในร่างกายสัตว์ ซึ่งจะทำให้ร่างกายมีวิตามิน อี ไม่เพียงพอที่จะป้องกันโรคกล้ามเนื้อเสื่อม (muscular dystrophy) และ โรคเกี่ยวกับสมองหรือประสาท (encephalomalacia)

ไขมันและขี้ผึ้ง (the fats and waxes)

ไขมัน (fats) ในรูปบริสุทธิ์เป็นสารไม่มีสี แต่เมื่อปรากฏในธรรมชาติ ไขมันบางชนิดมีสารให้สีเป็นองค์ประกอบอยู่ เช่น ไขมันน้ำนมและไขมันในไข่จะมีสารให้สีคือแคโรทีน และ เซนโทฟิล (xanthophyll)

ขี้ผึ้ง (waxes) ประกอบด้วยกรดไขมัน (fatty acid) และแอลกอฮอล์ ขี้ผึ้งเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวสูง และยากต่อการที่จะทำให้เกิด saponification ดังนั้น จึงจัดเป็นสารที่ย่อยยาก ขี้ผึ้งเป็นสารที่ขับออกมาทางมูลสัตว์หลายชนิด โดยเฉพาะพวกแมลง และ พบขี้ผึ้งในรูปต่าง ๆ อยู่ในพืช เช่น ในรูป protecting coatings เป็นต้น

คุณสมบัติบางประการของไขมัน

1. Hydrolysis ไขมันเมื่อถูก ย่อย ด้วยน้ำย่อยไลเปสจะสลายตัวให้กรดไขมันกับกลีเซอรอล

$$\text{Fat} \xrightarrow{\text{lipase}} \text{fatty acid} + \text{glycerol}$$

2. Oxidation ไขมันจะถูก oxidized ได้อย่างรวดเร็วตรงพันธะคู่ซึ่งจะทำให้ไขมันเกิดลักษณะเหนียวและแข็ง ยกตัวอย่างสีทาบ้านเมื่อแห้งก็เกิดลักษณะดังกล่าว ทั้งนี้ก็เนื่องจากสีทาบ้านจะใช้ linseed oils เป็นส่วนผสม linseed oils มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว

3. Rancidity (การเหม็นหืน) ไขมันเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะเกิดการเหม็นหืน ปัจจัยที่ช่วยทำให้เกิดการเหม็นหืนได้แก่ ความร้อน, อากาศ, แสงสว่าง, ความชื้น, น้ำย่อย, แบคทีเรีย และโลหะโดยเฉพาะเหล็กและทองแดง อาหารสัตว์ที่มีน้ำมาก เช่น รำ กากถั่วต่าง ๆ ถ้าเก็บไว้เป็นเวลานานจะมีกลิ่นเหม็นหืน ทำให้สัตว์ไม่ชอบกินหรือเป็นพิษได้ วิธีป้องกันการเหม็นหืน โดยใช้สารป้องกันการเหม็นหืน (antioxidants) เช่น crude lecithin, hydroguinone, วิตามินซี วิตามินอี สารเหล่านี้จะไปเกาะกับกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว จึงทำให้กรดไขมันมีโอกาสถูก oxidized ได้ยาก ทำให้ไม่เกิดการเหม็นหืน

4. Iodine number คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนซึ่งจะถูกดูดซึมไว้ด้วยไขมันจำนวน 100 กรัม ไขมันที่ไม่อิ่มตัวสามารถรวมตัวกับไอโอดีนได้ โดยไอโอดีน 2 อะตอม จะเข้าไปแทนที่ 1 double bond ฉะนั้นจึงใช้ iodine number เป็นตัวตรวจสอบองศาของความไม่อิ่มตัวของไขมัน

5. Saponification number คือ จำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งใช้ Saponification ไขมันหรือน้ำมันหนึ่งกรัม ไขมันเมื่อนำมาต้มกับด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ KOH จะได้ กลีเซอรอล และ alkali salt ซึ่ง alkali salt ก็คือสบู่นั่นเอง เราเรียกขบวนการนี้ว่า Saponification ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อมีการย่อยไขมัน ไขมันจะถูกน้ำดี (Bile) ซึ่งสร้างมาจากตับทำให้เกิดขบวนการดังกล่าว

6. Reichert –Meissl number คือ จำนวนมิลลิกรัมของ 0.1N KOH หรือ NaOH ซึ่งใช้ในการทำให้กรดไขมันที่กลั่นจากไขมัน 5 กรัม ให้มีฤทธิ์เป็นกลาง กรดไขมันที่กลั่นได้คือกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids) ซึ่งจะมีขนาดเล็กมีคาร์บอนประมาณ4-12 อะตอม ยกตัวอย่างเช่น ไขมันในน้ำนม (Butter-fat) มี Reichert-Meissl number 23-33 แต่ไขมันจากมะพร้าว (Coconut fat) มี Reichert-Meissl number เพียง 6-8

การสะสมไขมันในร่างกายสัตว์ (Fat Deposition)

ไขมันที่สะสมอยู่ในร่างกายสัตว์มาจากไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน สำหรับคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เมื่อสัตว์ได้รับมากๆร่างกายสัตว์สามารถเปลี่ยนไปเป็นไขมันสะสมไว้ในร่างกายได้ประมาณ 50% ของไขมันที่สะสมไว้ในร่างกายจะพบอยู่ใต้ผิวหนัง เช่น subcuteneous fat นอกจากนี้พบไขมันอยู่รอบๆอวัยวะต่างๆ เช่น รอบๆ ไต ลำไส้ ในกล้ามเนื้อ และส่วนอื่นๆของร่างกาย

ประเภทของลิพิดที่มีอยู่ในร่างกายสัตว์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเรียกว่า constant element ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า variable element ซึ่ง variable element เป็นลิพิดที่ร่างกายสัตว์สามารถถอนเอามาใช้เป็นพลังงานได้ เมื่อร่างกายขาดแคลนหรือเมื่อไม่ได้รับพลังงานจากอาหาร ส่วน constant element ไม่สามารถถูกถอนเอาไปใช้เพราะเป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างร่างกายสัตว์ โดยเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ constant element ประกอบด้วย phospholipids และ sterols ส่วน variable element ประกอบด้วยไขมันเป็นส่วนใหญ่ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานสำรองของสัตว์ ในสัตว์เลือดเย็น จะมี ไขมันที่มีลักษณะอ่อนนุ่มกว่าในสัตว์เลือดอุ่น และสัตว์ที่กินเนื้อเป็นอาหาร (carnivora) จะมีไขมันในร่างกายอ่อนนุ่มมากกว่าสัตว์กินพืชเป็นอาหาร (herbivora)

ตัวอย่างของลิพิดประกอบ (compound lipids)

1. Phospholipids อาจเรียกชื่ออื่นได้อีกคือ phosphatides หรือ phospholipins เป็นลิพิดที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ พบอยู่ในเซลล์ของพืชและสัตว์ทุกชนิด phospholipids เมื่อถูก ย่อย จะให้

กรดไขมัน และ phosphoric acid เป็นส่วนใหญ่ แต่ก็ให้กลีเซอรอล และ nitrogenous base ออกมาด้วย ตัวอย่าง ที่สำคัญ เช่น

1.1 Lecithin เป็นสารประกอบพวกไขมัน ซึ่งกรดไขมันในโครงสร้างสามารถถูกทดแทนที่ด้วย phosphoric acid และ nitrogenous base choline โดย Lecithins พบเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายสัตว์

1.2 Cephalins เป็น phospholipids ที่คล้ายคลึงกับ lecithins แต่แทนที่จะมี choline ในโครงสร้าง กลับมี amino-ethyl alcohol แทน

1.3 Sphingomyelins เป็น phosphoric acid ที่ถูกย่อยแล้วจะให้ fatty acids, choline, phosphoric acid และ complex nitrogenous base sphingosine, โดย Sphingomyelins ไม่มี กลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบอยู่เลย ทั้ง cephalins และ sphingomyelins พบอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเฉพาะในสมอง

Phospholipids พบอยู่ในเมล็ดพืช จะอยู่ในรูปของ reserve material แต่ถ้าอยู่ในใบพืชจะเป็นส่วนประกอบของโปรโตปลาสซึม

2. Glycolipids เป็น ลิพิดที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮเดรต กาแลคโตส นอกจากนี้มีกรดไขมัน และ sphigosine เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ในโครงสร้าง glycolipids ที่พบอยู่ในสมองเรียกว่า cerebrosides

ตัวอย่างของลิพิดอนุพันธ์ (derived lipids)

ลิพิดอนุพันธ์ ที่สำคัญได้แก่ sterols ต่าง ๆ sterols เป็น solid alcohols ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสาร sterols หลายอย่างที่มีความสำคัญทางชีวภาพ เช่น กรดน้ำดี (bile acids) และฮอร์โมนเพศ (sex hormones) sterols เป็น unsaponifiable fraction ของลิพิด ไขมันจากสัตว์และพืชมี sterols น้อย แต่น้ำมันตับปลาบางชนิดจะมี sterols มาก เช่นน้ำมันตับปลาฉลาม sterols ที่สำคัญได้แก่

1. Cholesterol ($C_{27}H_{45}OH$) เป็น sterol ที่สำคัญ พบในเนื้อเยื่อของสัตว์ cholesterol เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์ในเลือด เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายไขมัน cholesterol ที่สำคัญ คือ 7 - dehydrocholesterol ซึ่งสังเคราะห์ได้ภายในร่างกายสัตว์ แต่จะเดินทางไปอยู่ที่ผิวหนังชั้นนอกของสัตว์ เมื่อผิวหนังถูกแสงแดดจะทำให้ ultraviolet ที่มีอยู่ในแสงแดด ทำปฏิกิริยากับ 7 - dehydrocholesterol แล้วได้วิตามินดี3

7 - dehydrocholesterol + UVL ⋯⋯► Vit. D_3 (Cholecalciferol)

2. Phytosterols เป็น sterols ที่พบในพืช มีหลายชนิด sitosterol พบอยู่ในข้าวโพด แต่ในพืชมี sterol ที่สำคัญชนิดหนึ่งคือ ergosterol ซึ่งให้วิตามินดี2 เมื่อถูกแสง ultraviolet

$$\underset{(C_{28}H_{43}OH)}{\text{Ergosterol}} + \text{UVL} \dashrightarrow \underset{\text{(ergocalciferol)}}{\text{Vit. } D_2}$$

การวิเคราะห์หาลิพิดและสารที่คล้ายลิพิด (The determination of lipids)

การวิเคราะห์หาลิพิดทำได้โดยการใช้ anhydrous ethyl ether เป็นตัวสกัด สารที่ได้จากการสกัดนี้เรียกว่า ether extract ซึ่งมีไขมันแท้ ๆ (true fat) และสารที่คล้ายไขมัน (fat - like substance) การหาแบบนี้ตัวเลขที่ได้อาจไม่ถูกต้องนัก เพราะสารให้สีบางชนิด เช่น chlorophyll, xanthophyll และ carotene จะละลายปนออกมาด้วย แม้ว่าตัวเลขทีได้จะคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงก็คลาดเคลื่อนไปไม่มากนัก การวิเคราะห์หาลิพิดมีขั้นตอน ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์ (ปกติจะใช้น้อยกว่า 5 กรัม)
2. ทำการไล่น้ำที่มีอยู่ในอาหารออกโดยการนำไปอบใน Oven
3. ทำการสกัดด้วยอีเทอร์ใน Soxhlet extractor เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
4. ทำการระเหยอีเทอร์ออกจากตัวอย่างหลังจากได้ทำการสกัดเสร็จแล้ว ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ ก็จะได้น้ำหนักของ ลิพิด
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของลิพิด จากสูตร

$$\% \text{ ลิพิด} = \frac{\text{น้ำหนักของ ลิพิด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่ใช้}} \times 100$$

5. วิตามิน (Vitamins)

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่สัตว์ต้องการน้อยเมื่อเทียบกับโภชนะอื่นๆ สัตว์ต้องการ วิตามินเพื่อเอาไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างปกติเช่น เพื่อการดำรงชีพ (Maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Growth) เพื่อการให้ผลผลิต (Production) เพื่อการสืบพันธุ์ (Reproduction) เพื่อสุขภาพของสัตว์ (Health) และการให้สีของขน (Pigmentation)

ก่อนศตวรรษที่ 20 ยังไม่มีการบัญญัติใช้คำว่า “วิตามิน” ทั้งนี้ก็เนื่องจากความรู้ ความเข้าใจในเรื่องวิตามินมีน้อย การนำเอาคำว่า วิตามินมาใช้เพิ่งจะเริ่มตอนต้น ๆ ของศตวรรษที่ 20 การค้นพบวิตามินเริ่มจากทางภาคตะวันออก โดยการพบว่า การให้ข้าวที่ไม่ได้ขัดแก่นักโทษ นักโทษจะไม่เป็นโรคเหน็บชา (Beri Beri) แต่ถ้าเอาข้าวที่ขัดให้นักโทษ ปรากฏว่านักโทษจะเป็นโรคเหน็บชา ทำให้เกิดทฤษฎีว่าข้าวที่ไม่ได้ขัดมีแฟคเตอร์ทางอาหารที่ป้องกันโรคเหน็บชา เพื่อยืนยันทฤษฎีดังกล่าวได้มีการทดลองกับไก่ ผลก็ออกมาเช่นเดียวกัน จึงมีการวิเคราะห์หาแฟคเตอร์นั้น พบว่าเป็นสารพวก amine (มีไนโตรเจน

เป็นองค์ประกอบ) เป็นสารที่จำเป็นสำหรับชีวิต จึงได้ชื่อว่า “Vitamins” หลังจากนั้นมีการค้นพบแฟคเตอร์ทางอาหารในไขมันที่ได้จากน้ำนม แฟคเตอร์นี้มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากแฟคเตอร์ที่พบในข้าว คือ สามารถป้องกันโรค nightblindness ในลูกโค ซึ่งต่อมาได้ตั้งชื่อแฟคเตอร์ทางอาหารที่พบในข้าวเป็น วิตามินบี และแฟคเตอร์ที่พบในไขมันที่ได้จากนมเป็น วิตามินเอ ต่อจากนั้นก็มีการพบแฟคเตอร์ทางอาหารตัวที่สามในผลไม้ ซึ่งป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน (Scuruy) และได้ตั้งชื่อเป็น วิตามินซี แต่เนื่องจากในภายหลังพบว่า วิตามินบี นั้นมิได้ประกอบด้วยแฟคเตอร์ทางอาหารเพียงชนิดเดียว แต่มีแฟคเตอร์ตัวอื่น ๆ ด้วย จึงได้แยกตั้งชื่อวิตามินบี1 วิตามินบี 2 ปัจจุบันได้ค้นพบวิตามินที่จำเป็นสำหรับสัตว์ถึง 16 ชนิด

ประเภทของวิตามิน

วิตามินแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามคุณสมบัติของการละลาย ของวิตามิน

1. วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (Fat Soluble Vitamins) ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี และ เค
2. วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (Water Soluble Vitamins) ได้แก่ วิตามินบีรวม (B-Complex vitamins) และวิตามินซี ซึ่งวิตามินบีรวมประกอบด้วย Thiamine(B_1), Riboflavin (B_2), Niacin, Pantothenic Acid, Pyridoxine (B_6), Biotin, Folic Acid, Choline, Inositol, Para-aminobenzoic Acid และ Cyanocobalamin (B_{12})

การเก็บสำรองวิตามินไว้ในร่างกาย (Body Reserves)

สัตว์จะเก็บสำรองวิตามินบางชนิดสำรองไว้ในร่างกาย วิตามินที่ถูกเก็บสำรองไว้มักจะเป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมักละลายสูญหายหรือลดน้อยลง เมื่อน้ำผ่านเข้าไปในร่างกายหรืออวัยวะต่าง ๆ วิตามินที่สัตว์เก็บสำรองไว้ เช่น วิตามิน เอ/ แคโรทีน (carotene) ซึ่งจะถูกเก็บไว้ตามตับ (liver) และตามเนื้อเยื่อพวกไขมัน (Fatty tissue) เป็นจำนวนเพียงพอจะนำไปใช้ได้ตามความต้องการของสัตว์ เป็นเวลานานถึง 6 เดือน หรืออาจนานกว่านี้ นอกจากนี้สัตว์ยังสามารถเก็บสำรองวิตามินไว้ในร่างกาย เมื่อร่างกายขาดวิตามินดี.โดยไม่ได้รับจากทางอาหาร สัตว์สามารถดึงเอาวิตามินดี ที่เก็บสำรองมาใช้ได้

การดูดซึมวิตามิน

วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ถูกดูดซึมเข้าทาง Lymphatic System หรือทางสายน้ำเหลือง
วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ถูกดูดซึมเข้าทาง Portal System หรือทางสายเลือด

สีของวิตามิน

วิตามินส่วนมากเป็นสารไม่มีสี แต่มีสารบางชนิดที่สามารถให้วิตามินได้ เช่น สารพวกแคโรทีน (Carotene) เป็นสารที่มีสีเหลือง สารพวกนี้สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอ ตรงผนังลำไส้เล็กของสัตว์ สัตว์ที่ให้นม เช่น โคนมบางพันธุ์ มีความสามารถในการเปลี่ยนแคโรทีนให้เป็นวิตามินเอ ได้ต่ำ จึงทำให้มีแคโรทีนตกค้างในน้ำนมมาก ทำให้นมที่ได้เป็นสีเหลือง

การสังเคราะห์วิตามินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ภายใต้สภาวะปกติจุลินทรีย์ภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen) สามารถสังเคราะห์ วิตามินบีรวม (B-Complex Vitamins) ได้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ ฉะนั้น จึงไม่จำเป็นจะต้องจัดวิตามินบีรวม ให้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่สัตว์กระเพาะเดี่ยว (simple stomach animals) เช่น สุกร เป็ด ไก่ สังเคราะห์วิตามิน บีรวม ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ผู้เลี้ยงจะต้องจัดวิตามิน ดังกล่าวให้

ความทนทานของวิตามิน (เรียงตามความทนทานมากที่สุด) กับสิ่งต่อไปนี้

ความร้อน	Oxidation	แร่ธาตุ	แสงสว่าง
Choline	Folic acid	Pantothenic acid	Pantothenic acid
Folic acid	Pantothenic acid		Vitamin D
Riboflavin	Choline		
Vitamin D			

ความไม่ทนทานของวิตามิน (เรียงจากความทนทานน้อยที่สุด) กับสิ่งต่อไปนี้

ความร้อน	Oxidation	แร่ธาตุ	แสงสว่าง
Thiamine	Thiamine	Thiamine	Folic acid
Pantothenic acid	Vitamin A	Vitamin A	Riboflavin
Vitamin A	Vitamin E	Vitamin D	Vitamin K
Vitamin K			
Vitamin E			

การละลายได้ในน้ำ (เรียงตามการละลายได้มากที่สุด)

1. Choline
2. Pantothenic Acid
3. Niacin
4. Vitamin B_{12}
5. Rifoflavin
6. Vitamin A
7. Vitamin E

ลำดับความทนทานของวิตามิน เมื่ออยู่ในรูปของอาหารผสมสำเร็จ

1. Vitamin B_{12}
2. Choline
3. Niacin
4. Riboflavin
5. Pantothenic Acid
6. Vitamin D
7. Vitamin E
8. Vitamin A

5.1 วิตามิน เอ (vitamin A) สูตรทั่วไป $C_2 H_{30}O$

วิตามิน เอ เป็นวิตามินที่สัตว์ทุกชนิดต้องการ และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของสัตว์ให้เป็นไปตามปกติ วิตามินนี้พบอยู่ในร่างการสัตว์ เราจะไม่พบวิตามิน เอ ในพืช แต่ในพืชมีสารชนิดหนึ่งเรียกว่า แคโรทีน (Carotene) ซึ่งถือเป็นสารที่จะให้วิตามินเอ (Provitamin A) ทั้งนี้ก็เนื่องจากสัตว์เมื่อได้รับแคโรทีน สัตว์จะเปลี่ยนแคโรทีนให้เป็นวิตามิน เอ ตรงผนังลำไส้เล็กของสัตว์

หน้าที่ของ วิตามิน เอ

1. ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในสัตว์อ่อน
2. ช่วยรักษาเยื่อบุในระบบการหายใจ ทางเดินอาหาร นัยน์ตาและเยื่อบุอื่น ๆ ให้แข็งแรง มีความต้านทานต่อโรค
3. ช่วยป้องกันโรคผิวหนัง
4. ช่วยให้การมองเห็นของสัตว์ ในเวลาพลบค่ำหรือในเวลาที่ไม่มีแสงแดดได้ ทั้งนี้ก็เนื่องจาก Vitamin A + protein in Visual Purple -→ Sight วิตามิน เอ สามารถช่วยป้องกันโรคตาบอดกลางคืน (Nightblindness) และโรคตาบวมอักเสบ (Xeropthalmia)
5. ช่วยในการสืบพันธุ์ให้เป็นปกติ
6. ช่วยในการสร้างกระดูก
7. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำตาล กลูโคส

การขาดวิตามิน เอ

สัตว์เมื่อขาดวิตามิน เอ จะทำให้สัตว์เบื่ออาหาร การเจริญเติบโตช้า มีการอักเสบตามเยื่ออ่อน ๆ ของตา ของจมูก ของโพลงจมูก เปลือกตาหนาทำให้เปลือกตาในคลุมบางส่วนของลูกตา ทำให้สัตว์มองไม่เห็นในตอนพลบค่ำ ซึ่งทำให้เป็นโรคตาบอดกลางคืน (Nightblindess) และโรคตาอักเสบ (Xerophanomia) นอกจากนี้การขาดวิตามิน เอ ทำให้สัตว์มีผิดหนังหยาบแห้ง เป็นปุ่มขรุขระ, มีเชื้ออสุจิไม่แข็งแรง ผสมไม่ติดหรือผสมติดอาจแท้งได้ และลูกที่เกิดมามักอ่อนแอหรือตายได้, มีการบวมตามข้อต่อของกระดูกและระดับของวิตามิน เอ ในตับจะต่ำ

หน่วยของวิตามิน เอ

หน่วยของ วิตามิน เอ เรียกว่า I.U. (International Unit) หรือ USP (United State Pharmaceutics)

1 หน่วย I.U. ของ วิตามิน เอ = 0.3 ไมโครกรัมวิตามิน เอ แอลกอฮอลล์ = 0.344 ไมโครกรัมวิตามิน เอ อะซิเตท (Acetate) = 0.544 ไมโครกรัมพาลมิเตท (palmitate) ดังนั้น 1 มิลิกรัมของวิตามิน เอ แอลกอฮอลล์ = 3,333 IU.

1 หน่วย IU. ของวิตามิน เอ สมมูลย์จาก แคโรทีน (Carotene) = 0.6 ไมโครกรัม เบตา (β) แคโรทีน

ความแตกต่างระหว่างชนิดของสัตว์

(1) หนูและสัตว์ปีก - 1 หน่วย IU. ของวิตามิน เอ สมมูลย์จากแคโรทีน = 1 หน่วย IU.
วิตามิน เอ

ดังนั้น 1 มิลลิกรัม แคโรทีน = 1,000 = 1,667 IU.วิตามิน เอ

(2) สุกร - 1 หน่วย IU. ของวิตามิน เอ สมมูลย์จากแคโรทีน = 1/3 IU.

วิตามิน เอ หรือ 1 มิลิกรัมแคโรทีน = ประมาณ 500 IU. วิตามิน เอ

(3) โค - 1 หน่วย IU. ของวิตามิน เอ สมมูลย์จากแคโรทีน = 1/4

วิตามิน เอ หรือ 1 มิลิกรัมแคโรทีน = ประมาณ 400 IU. วิตามิน เอ

การเก็บสะสม วิตามิน เอ ไว้ในร่างกายสัตว์

การเก็บสะสมวิตามิน เอ และแคโรทีน ไว้ในตับและตามส่วนที่เป็นไขมันในร่างกาย แม่โคซึ่งได้รับแคโรทีนจำนวนมากเกินความต้องการนั้น ประมาณ 0.5 – 0.7 กรัม (สำหรับแม่โคอายุน้อย) แต่ถ้าเป็นแม่โคอายุมากจะเก็บวิตามิน เอ และแคโรทีนไว้ในร่างกายได้ถึง 3.6 กรัม ประมาณ 67 – 93% ของวิตามิน เอ จะเก็บไว้ที่ตับ ส่วนแคโรทีนส่วนใหญ่เก็บไว้ตามส่วนที่เป็นไขมัน (depot fat)

การเป็นพิษของวิตามิน

สัตว์เมื่อได้รับวิตามิน เอ มากเกินความต้องการและได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้สัตว์ลดการเจริญเติบโต มีกระดูกผิดปกติ ตัวอย่างเช่น การทดลองให้วิตามินเอ แก่ลูกสุกร (น้ำหนัก 8. 4 กิโลกรัม) ซึ่งมากเกินความต้องการ จำนวน 440,000 IU. / กิโลกรัม ของอาหาร จะเป็นพิษต่อลูกสุกรภายในเวลา 43 วัน ซึ่งจำนวน 440,000 IU. เป็นจำนวนเกินความต้องการของลูกสุกรถึง 20 เท่า

ความสัมพันธ์ของวิตามิน เอ กับ x- disease

การสูญเสียสัตว์จากโรค x-disease หรือ hyperkeratosis โรคดังกล่าวแสดงอาการหลายอย่างคล้ายคลึงกับการขาดวิตามินเอ อาการของโรค คือ มีผิวหนังหนา เบื่ออาหาร การเจริญเติบโตของลูกสัตว์ชะงัก หรือหยุดการเจริญเติบโต ตัวผู้เป็นหมันเนื่องจากระทบกระเทือนต่อการสร้างอสุจิ ตัวเมียมีการแท้งลูกบ่อย ๆ รังไข่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ

โรคเมื่อเกิดกับโคทำให้โคตายบ่อย ๆ โคบางตัวแม้ไม่ตายก็เสียประโยชน์ทางเศรษฐกิจมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้รายงานว่าอาการของโรค x-disease เนื่องจากมีระดับวิตามิน เอ ในพลาสม่าต่ำมาก การให้อาหารที่มีวิตามิน เอ สูงจะทำให้ระดับวิตามิน เอ ในพาสม่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าหากไม่มีการให้อาหารที่มีวิตามิน เอ สูงแก่สัตว์ต่อเนื่องกันไปจะทำให้ระดับวิตามิน เอ ในพลาสม่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อให้อาหารที่มีแคโรทีนแก่สัตว์ระดับแคโรทีนในพลาสม่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่ได้ทำให้ระดับวิตามิน เอ ในพลาสม่าสูงตามไปด้วย สัตว์พวก แพะ แกะ สุกร หมู และไก่ มีระดับ แคโรทีนในพลาสม่าเพียงเล็กน้อย สัตว์กลุ่มนี้มีความต้านทานโรค x-disease ได้มากกว่าโค

แหล่งของวิตามิน เอ และแคโรทีน

วิตามิน เอ พบมากในตับของปลาบางชนิด เช่น ปลาฉลาม ปลา Halibut ปลาดาบ นอกจากนี้วิตามิน เอ ยังมีมากในไขมันที่ได้จากนม และไข่แดง (egg yolk) สำหรับในพืชไม่มี วิตามิน เอ อยู่เลย แต่มีสารชนิดหนึ่งเรียกว่า แคโรทีน ซึ่งเป็นที่มาของ วิตามิน เอ (provitamin A or precusor of vitamin A) เมื่อสัตว์กินเข้าไปก็สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ ได้ แคโร

ทีนมีมากในพืชสีเขียว หัวแครอท หัวมันเทศ เมล็ดข้าวโพดเหลือง ในเมล็ดและกากเมล็ดพืช เช่น กากถั่ว กากฝ้าย มีแคโรทีนอยู่น้อยหรือไม่มีอยู่เลย

ในหญ้าและถั่วสดมีแคโรทีนมากกว่าในหญ้าหรือถั่วแห้ง และในพืชอ่อนมีแคโรทีนมากกว่าพืชแก่ สำหรับต้นหรือใบพืชที่นำมาทำให้แห้งอาจจะมีการสูญเสียค่าของแคโรทีนมากหรือน้อยประมาณได้จากความเข้มของสีเขียว ฉะนั้นในการวัดว่าหญ้าแห้งดีหรือเลว การสังเกตุจากสีเขียวมีมากหรือน้อยก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้วัดคุณภาพของหญ้าแห้ง

ถั่วและหญ้าสุด (ที่ยังไม่แก่)	มีแคโรทีน	15-40 มิลลิกรัม/ปอนด์
ถั่วหมัก (legume silage)	มีแคโรทีน	5-20 มิลลิกรัม/ปอนด์
ข้าวโพดและข้าวฟ่างหมัก	มีแคโรทีน	2-10 มิลลิกรัม/ปอนด์
หญ้าแห้งที่ไม่ได้ทำจากถั่ว	มีแคโรทีน	9-14 มิลลิกรัม/ปอนด์
ถั่วแห้ง (ทำให้แห้งโดยเร็วโดยใช้แสงแดด)	มีแคโรทีน	35-40 มิลลิกรัม/ปอนด์

5.2 วิตามิน ดี (vitamin D)

Vitamin D_2 - $C_{27}H_{44}O$ (Ergocalciferol)

Vitamin D_3 - $C_{27}H_{44}O$ (Cholecalciferol)

วิตามิน ดี เป็น วิตามินที่จำเป็นต่อการใช้ประโยชน์ในการดูดซึมธาตุแคลเซียมและธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ในการสร้างกระดูก เนื่องจากวิตามิน ดี สามารถป้องกันโรคกระดูดอ่อน (ricket) ได้ ดังนั้นบางทีจึงเรียกวิตามินนี้ว่า anti – rachitic Vitamin

ความต้องการวิตามิน ดี มีมากระหว่างการเจริญเติบโต ทั้งนี้ก็เนื่องจากในระยะนี้โครงร่างของสัตว์กำลังขยายตัว สัตว์ที่โตเต็มที่แล้วมีความต้องการวิตามิน ดี น้อย แต่ถ้าเป็นสัตว์กำลังให้ผลิตผล เช่น กำลังให้นม กำลังให้ไข่ มีความต้องการวิตามิน ดี มาก เพราะสัตว์ต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสมาก เพื่อเอาไปเป็นส่วนประกอบในการสร้างผลิตผลดังกล่าว นอกจากนี้วิตามิน ดี จำเป็นสำหรับ Carbohydrate Metabloism (Phosphorylation) จำเป็นต่อการสืบพันธุ์ของสัตว์

การขาดวิตามิน ดี

การขาดวิตามิน ดี ในสัตว์ทำให้สัตว์แสดงอาการ ดังนี้

1. เป็นโรคกระดูกอ่อน (Ricket) ซึ่งจะเป็นกับสัตว์ในระยะกำลังเจริญเติบโต
2. เป็นโรคกระดูกเปราะ (Osteomalacia) ในสัตว์ที่โตแล้ว
3. สัตว์จะเจริญเติบโตช้า แกรน เป็นง่อย ข้อเท้าข้อกระดูกและซี่โครงบวม
4. ไข่เปลือกบางและลดการผลิตไข่ มีเปอร์เซนต์การฟักออกเป็นตัวต่ำ
5. ไก่มีกระดูกอกคด กระดูกขา กระดูกตรงปีกเปราะหักได้ง่าย

การวัดค่าของวิตามิน ดี

1 หน่วย I.U. ของ วิตามิน ดี = 0.025 ไมโครกรัม

ดังนั้น 1 ไมโครกรัม = 1/0.025 40 I.U.

1 หน่วย ICU (International Chick Unit) = 0.025 ไมโครกรัม วิตามิน ดี 3

(ไก่ไม่สามารถใช้ วิตามิน ดี2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ)

การเก็บวิตามิน ดี ไว้ในร่างกายสัตว์

สัตว์มีความสามารถที่จะเก็บวิตามิน ดี ไว้ในร่างกาย ส่วนใหญ่จะเก็บวิตามิน ดี ไว้ที่ตับ แต่ก็พบวิตามิน ดี เก็บไว้ที่ปอด, ไต และส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย วิตามิน ดี ที่เก็บสำรองไว้นี้ สัตว์สามารถนำเอามาใช้ได้ในระยะที่ขาดแคลน ยกตัวอย่างเช่น ลูกแกะ ที่เกิดใหม่หากไม่ได้รับ วิตามิน ดี สามารถดึง วิตามิน ดี ที่เก็บไว้มาใช้เพียงพอกับความต้องการเป็นเวลานานถึง 6 สัปดาห์

ร่างกายของสัตว์สามารถสังเคราะห์สาร 7-dehydrocholesterol สารนี้จะเคลื่อนย้ายไปอยู่ที่ผิวหนังชั้นนอก เมื่อผิวหนังชั้นนอก เมื่อผิวหนังชั้นนอกถูกแสงแดดรังสีอุลตรา (Ultra violet) ในแสงแดด จะทำปฏิกิริยากับ 7-dehydrocholesterol แล้วได้ วิตามิน ดี3

7-dehydrocholesterol + UVL → Vit. D_3 (Cholecalciferol)

ฉะนั้น สัตว์ที่เลี้ยงกลางแจ้งถูกแสงแดด จึงไม่ค่อยขาดวิตามิน ดี สำหรับในพืชมีสารที่เรียกว่า Ergosterol สารดังกล่าวเมื่อทำปฏิกิริยากับรังสีอุลตรา ในแสงแดดจะให้ได้วิตามิน ดี2

Ergosterol + UVL -→ Vit. D_2 (Ergocalciferol)

แหล่งของวิตามิน ดี

วิตามิน ดี มีมากในน้ำมันตับปลา ไข่แดง หญ้าแห้งที่ทำโดยวิธีผึ่งแดด ส่วนในน้ำนมสัตว์มีจำนวนวิตามิน ดี ไม่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับไขมันในน้ำนมเป็นสำคัญ (ปกติในน้ำนมมีวิตามิน ดี 5-40 IU. / ครัอท) แต่เมื่อเอาน้ำนมไปผ่านรังสีจะทำให้มีวิตามินเพิ่มมากขึ้น 400 IU. / ครัอท นอกจากนี้วิตามินดี มีอยู่ในรูปวิตามินดี สังเคราะห์

5.3 วิตามิน อี (vitamin E)

วิตามิน อี มีหลายรูปเช่น alpha tocopherol ($C_{29}H_{50}O_2$) beta tocopherol ($C_{28}H_{48}O_2$) และ gamma tocopherol ($C_{28}H_{48}O_2$) วิตามิน อี มีความสำคัญต่อการสืบพันธุ์ (simininferous epithelium) ช่วยให้ร่างกายใช้ประโยชน์จาก วิตามิน เอ ในอาหารให้ดีขึ้น, ช่วยป้องกันไขมันมิให้ถูก oxidation ซึ่งจะช่วยป้องกันการเหม็นหืนของไขมัน, ช่วยลด Peroxide ที่เป็นพิษในร่างการสัตว์ให้น้อยลง, เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อ, และวิตามิน อี ยังช่วยเร่งขบวนการ metabloism ต่าง ๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ

การขาดวิตามิน อี

การขาด วิตามิน อี ในโค จะไม่กระทบกระเทือนต่อการสืบพันธุ์ แต่ในลูกโค วิตามิน อีจำเป็นต่อการทำงานของหัวใจ การขาดวิตามิน อี มักเกิดกับลูกโคที่มีอายุถึง 3 สัปดาห์ ซึ่งจะกระทบกระเทือนต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งจะทำให้ลูกโคตายทันที่โดยไม่ได้แสดงอาการปรากฏให้สังเกตเห็น

สำหรับไก่เมื่อขาด วิตามิน อี จะเป็นอัมพาตที่ขา ที่ปีกและคอ บางทีคอบิดหกหัวไปข้างหลังคล้ายอาการของโรค New Castle เรียกโรคนี้ว่า Crazy – chick disease or nutritional enoephalomalacia ทั้งนี้ก็เพราะของเหลวที่จะไปหล่อเลี้ยงสมองและส่วนอื่น ๆ เป็นไปอย่างไม่ปกติ สำหรับพ่อพันธุ์ไก่เมื่อขาด วิตามิน อี จะทำให้น้ำเชื้อมีความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ แต่ถ้าตัวเมียขาด วิตามิน อี จะทำให้ไข่ลดและมีเปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวต่ำ ตัวอ่อนจะตายวันที่ 4 ของการเอาเข้าฟัก

ลูกไก่งวงที่ขาด วิตามิน อี จะทำให้กระดูกบวม แต่ในสุกรที่ขาด วิตามิน อี จะทำให้แม่สุกรผสมไม่ติด ถ้าผสมติดลูกมักตายในท้อง มีอาการเหมือนลูกโค คือกล้ามเนื้อหัวใจทำงานผิดปกติ และสัตว์มักจะตายในทันทีทันใด

แหล่งของวิตามิน อี

วิตามิน อี มีอยู่ในเมล็ดธัญพืช, ในกระถินป่น, ตับ และในหญ้าสด แต่จะมีมากในปุ่มงอกของเมล็ดพืช (Embryo) ในรำข้าวมีวิตามิน อี อยู่พอสมควร วิตามิน อี ถูกทำลายได้ง่าย เช่นเดียวกับ วิตามิน เอ เสื่อมตัวลงเนื่องจากการเหม็นหืนของน้ำมัน ฉะนั้นจึงไม่ควรใช้วัตถุที่เหม็นหืนผสมลงไปในอาหารสัตว์ เพื่อป้องกันการเหม็นหืนควรผสมสารป้องกันการเหม็นหืนลงไปในอาหารเพื่อช่วยรักษาปริมาณของ วิตามิน อี ไว้

5.4 วิตามิน เค (vitamin K)

K_1 - ($C_{31}H_{45}O_2$, phylloquinone)

K_2 - ($C_{41}H_{56}O_2$, Menaquinone)

K_3 - ($C_{11}H_8O_{21}$ Menadione)

วิตามิน เค เป็นวิตามินที่จำเป็นต่อการสร้างโปรทิมบิน (prothrombin) และพลาสม่าโปรตีนในตับ สารดังกล่าวมีความสำคัญต่อการแข็งตัวของเลือด

Prothrombin $\xrightarrow{Ca^{++}}$ Thrombin + Fibrinogen = Fibrin (clot)

วิตามิน เค แม้ว่าจะจำเป็นสำหรับสัตว์ทุกชนิด แต่ไม่จำเป็นต้องจัดให้ทางอาหาร เพราะสัตว์สามารถได้รับจากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียในทางเดินอาหาร ยกเว้นสัตว์ปีก โดยเฉพาะ ลูกไก่ ลูกห่าน ลูกนกพิราบ และลูกเป็ด ซึ่งสร้าง วิตามิน เค ได้แต่ไม่เพียงพอกับความต้องการ

การขาดวิตามิน เค

สัตว์เมื่อขาด วิตามิน เค เมื่อเกิดบาดแผลจะทำให้เลือดไหลไม่หยุด ทำให้การแข็งตัวของเลือดเนิ่นนานออกไป มีระดับโปรทอมบินในเลือดต่ำ แม่ไก่ไข่เมื่อให้อาหารที่ขาด วิตามิน เค จะให้มีไข่มีวิตามิน เค ต่ำ ถ้านำไข่นั้นไปฟักจะพบว่าลูกไก่ที่ฟักออกมาจะมีระดับ วิตามิน เค ในร่างกายต่ำ เมื่อลูกไก่เกิดมีบาดแผลจะทำให้เลือดไหลไม่หยุดและอาจถึงตายได้

Hemorrhagic sweet clover disease เป็นโรคที่ทำให้สารโปรทอมบินในเลือดมีระดับต่ำ เมื่อเกิดบาดแผลทำให้เลือดไหลไม่หยุด เช่นเดียวกับการขาด วิตามิน เค ทั้งนี้เนื่องจากใน sweet clover ที่เน่าเสียจะมีสารประกอบชนิดหนึ่งเรียกว่า dicumarol สารชนิดนี้จะไปลดระดับโปรทอมบินในเลือด สัตว์ถ้าไปกิน Sweet clover ที่เน่า เวลาเกิดมีบาดแผลทำให้เลือดไหลไม่หยุดได้

การสังเคราะห์ วิตามิน เคในสัตว์

สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ แกะ สามารถสังเคราะห์ วิตามิน เค ภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้วโดยอาศัยการกระทำของแบคทีเรีย ส่วนในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องมีการสังเคราะห์ วิตามิน เค ภายในลำไส้ใหญ่

การวัดค่าของวิตามิน เค

0.3 มิลลิกรัม menadione = 1 มิลลิกรัม K_1

0.5 มิลลิกรัม menadione sodium bisulfite = 1 มิลลิกรัม K_1

แหล่งของ วิตามิน เค

พืชสีเขียวทั้งสดและแห้งจะมีวิตามิน เค สูง ส่วนอาหารที่ได้จากสัตว์ เช่น ตับ ไข่ เนื้อป่น และปลาป่น ก็มีวิตามิน เค สูง

5.5 วิตามิน บี 1 (vitamin B1, thiamine)

Thiamine Hydrochloride – ($C_{12}H_{18}O\ N_4\ SGl_2$)

วิตามิน บี1 มีหน้าที่ภายในเซลล์ทุกเซลล์คือ วิตามิน บี1 เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์carboxylase (thiamine pyrophosphate) ซึ่งจำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร pyruvate ให้เป็น acetate ฉะนั้น วิตามิน บี 1 จึงจำเป็นต่อการใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นพลังงานภายในร่างกาย นอกจากนี้ วิตามิน บี 1 ยังจำเป็นในการป้องกันโรคเหน็บชา (beriberi) ในมนุษย์ และป้องกันโรคสันนิบาต (polyneuritis) ในสัตว์ปีก

การขาด วิตามิน บี 1

สัตว์เมื่อขาด วิตามิน บี 1 จะเริ่มด้วยอาการเบื่ออาหาร (loss of appetite) ซูบผอมลง (emaciation) กล้ามเนื้ออ่อนแอ (muscular weakness) ต่อมาระบบประสาทจะไม่ทำงานทั้งนี้เนื่องจาก วิตามิน บี 1 เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์ carboxylase ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตให้เป็นพลังงานภายในร่างกายสัตว์ ดังนั้น การขาดวิตามินนี้จะทำให้ขบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดมี pyruvic acid และ lactic acid คั่งค้างภายในเนื้อเยื่อของร่างกาย ทำให้มีผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานของระบบประสาทอย่างรุนแรง

ไก่เล็กและไก่ใหญ่ เมื่อขาด วิตามิน บี 1 ทำให้เป็นโรคสันนิบาต (polyneuritis) ไก่ใหญ่จะแสดงอาการให้เห็นภายในเวลา 3 สัปดาห์ นับจากวันที่เริ่มขาด ส่วนลูกไก่แสดงอาการให้เห็นได้รวดเร็วกว่า คือภายในเวลา 2 สัปดาห์ อาการของโรคเริ่มด้วยการเบื่ออาหาร ซูบผอม กล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ยหรือเป็นตะคริว หัวใจบวมโต ตกใจง่ายและในที่สุดจะเป็นโรคเหน็บชา ถ้าเป็นถึงขั้นนี้แล้วหัวจะหกไปข้างหลัง ทั้งนี้เพราะกล้ามเนื้อตรงคอส่วนหน้าเป็นอัมพาต และจะพบว่าไก่ไม่สามารถยืนได้อย่างปกติ จะล้มตัวลงนอนโดยหัวจะไปข้างหลัง อุณหภูมิของร่างกายจะลดลงต่ำจนถึง 96 °F อัตราการหายใจลดลง adrenal glands มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดบวมน้ำ (edema) ตามเนื้อเยื่อโดยเฉพาะตรงผิวหนัง

สุกรที่ขาด วิตามิน บี 1 จะเบื่ออาหาร การเจริญเติบโตหยุดชะงักและมีอาการอาเจียน และหายใจขัด ลูกสัตว์ที่เกิดออกมามักอ่อนแอ หรือตายในขณะเกิดได้

ในม้าที่ให้อาหารมี วิตามิน บี 1 ต่ำ พบว่าจะทำให้ม้ามีอาการทางประสาท ซึ่งชี้ให้เห็นว่าม้าต้องการ วิตามิน บี 1 จากทางอาหาร

นอกจากนี้การขาด วิตามิน บี 1 ยังมีผลทำให้การสืบพันธุ์ในสัตว์ประสบความล้มเหลวทั้งในเพศผู้และเพศเมีย ความต้องการ วิตามิน บี 1 จะมีมากในระยะการให้นมมากกว่าระยะการเจริญเติบโต เพราะในระยะให้นม metabolism จะเพิ่มขึ้น

การสังเคราะห์ วิตามิน บี 1

การสังเคราะห์ วิตามิน บี 1 ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว วิตามิน บี 1 ที่สังเคราะห์ขึ้นมานี้มีเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ดังกล่าว สำหรับในม้าสามารถสังเคราะห์ วิตามิน บี 1 ได้ตรงไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ แต่จากการศึกษาพบว่า วิตามิน บี 1 ที่สังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ส่วนในสัตว์ปีกการสังเคราะห์วิตามินนี้เกิดขึ้นในลำไส้ ปริมาณการสังเคราะห์จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทของคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับ ถ้าได้รับอาหารแห้งการสังเคราะห์ วิตามิน บี 1 จะมีมากกว่าการได้รับน้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาล ซูโครส แต่

วิตามิน บี 1 ที่สัตว์ปีกสังเคราะห์ได้นำไปใช้ได้ไม่ดี เนื่องจากการสังเคราะห์ เกิดตรงตอนปลายของลำไส้ จึงทำให้การดูดซึม วิตามิน บี 1 ไปใช้มีน้อย

แหล่งของวิตามิน บี 1

วิตามิน บี 1 มีมากในเมล็ดธัญพืช (Cereal grains) และจากผลิตผลพลอยได้ของ ธัญพืช เช่น รำข้าว นอกจากนี้พบไไไ วิตามิน บี 1 ในพืชสีเขียว ตับ ไข่แดง หมูเนื้อแดง กากส่าเหล้า (yeast) ไส่วนในหญ้าแห้งจะมี วิตามิน บี 1 มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสีเขียว ความมีใบมากหรือน้อยและขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในหญ้าแห้ง สำหรับน้ำนมมี วิตามิน บี 1 การพลาสเจอไรด์ โดยใช้อุณหภูมิ 145 °F เป็นเวลา 30 นาที จะทำลาย วิตามิน บี 1 ถึง 25 %

5.6 วิตามิน บี 2 (vitamin B_2, riboflavin) สูตรทั่วไป $C_{17}H_{20}N_4O_6$

วิตามิน บี 2 เป็นวิตามินที่เกี่ยวข้องกับระบบน้ำย่อยหลายชนิดที่เกี่ยวกับการย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน โดย วิตามิน บี 2 จะเป็นส่วนประกอบของ Coenzyme สองชนิด คือ Flavine Mononucleotide (FMN) และ Flavin Ademine Dinucleotide (FAD)

วิตามิน บี 2 จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต บางทีเรียกวิตามินนี้ว่า Vitamin G (Growth Vitamin) ในรูปที่บริสุทธิ์ วิตามิน บี 2 จะมีลักษณะเป็นผนึกสีเหลืองแกมเขียวละลายในน้ำ ทนต่อความร้อนในสารละลายที่เป็นกรด แต่ละถูกทำลายได้ง่ายในสภาพที่เป็นด่างถูกทำลายได้รวดเร็วโดยแสงสีน้ำเงินและแสงสีม่วง วิตามิน บี 2 ที่อยู่ในน้ำนมระหว่างการพลาสเจอไรด์และถูกแสงสว่างจะถูกทำลายประมาณ 10-20 %

การขาดวิตามิน บี 2

ลูกไก่เมื่อขาด วิตามิน บี 2 จะเติบโตช้า เป็นอัมพาตที่ขา เวลาเดินจะเดินด้วยเข่า นิ้วเท้าจะงองุ้มเข้าข้างในเรียกโรคนี้ว่า curled toe paralysis อาการท้องร่วง (diarrhea) เป็นอาการที่มักจะพบเสมอในลูกไก่ที่ขาดวิตามินนี้ สำหรับในไก่ไข่การขาด วิตามิน บี 2 มีผลทำให้การให้ไข่ลดลงและเปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวต่ำ

สุกรที่ขาด Riboflavin จะเบื่ออาหาร การเจริญเติบโตหยุดชะงัก อาเจียน ผิวหนังหยาบกร้าน และมีการอาการผิดปกติที่ตา การสืบพันธุ์และการให้นมพลอยกระทบกระเทือนไปด้วย

อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง เป็นอาการทั่ว ๆ ไปที่พบในสัตว์ทุกชนิดที่ได้รับวิตามิน บี 2 ไม่เพียงพอกับความต้องการ ในม้าสามารถสังเคราะห์ Riboflavin ได้ตรงไส้ติ่ง แต่ปริมาณที่สังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ

แหล่งของ วิตามิน บี 2

วิตามิน บี 2 มีมากในหางนมผง ยีสต์ (มี วิตามินบี2 เท่ากับ 125ไมโครกรัม/ยีสต์ 1 กรัม) ไข่ ตับ หัวใจ ไต และจากกล้ามเนื้อ ส่วนในเมล็ดพืชและผลิตผลพลอยได้จะมีวิตามินนี้อยู่น้อย ปัจจุบัน วิตามิน บี 2 ในรูปสารสังเคราะห์ใช้กันอย่างแพร่หลาย

5.7 ไนอาซีน (niacin)

Nicotinamide, Nicainamide - $C_6H_6N_2O$

Nicotinic Acid - $C_6H_5O_2N$

ไนอาซีนทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ สองชนิด คือ

1. Nicotinamide Adenine Dinucleotide (N A D ก่อนนี้เรียก D P N)

2. Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate (N A D P ก่อนนี้เรียก T P N)

น้ำย่อยที่มี NAD และ NADP เป็นองค์ประกอบ มีความสำคัญต่อการ metabolism ของ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ไนอาซีนเป็นวิตามินที่สลายตัวได้ยาก ทนต่อความร้อน กรดและด่าง

การขาดไนอาซีน

สัตว์ที่ขาดไนอาซีน จะแสดงอาการที่ประกอบด้วยอาการน้ำหนักลด (loss of weight) อาเจียน (vomiting) ท้องร่วง (diarrhea) ผิวหนังอักเสบ (dermatitis) มีสมองพิการ (dementia) และเป็นโรคโลหิตจาง (normocytic Anemia)

ไก่ที่ขาดไนอาซีนทำให้ลิ้นดำ (Black tongue) คือมีลักษณะอาการเป็นแผลอักเสบภายในช่องปาก และส่วนบนของหลอดคอ ไก่ลดการกินอาหาร การเจริญเติบโตลดลง การงอกของขนช้า และในที่สุดเป็นโรคเอ็นเคลื่อน (pesosis or slipped tendon) คือเอ็นตรงข้อข้อจะเคลื่อนไปจากเดิมทำให้ข้อขาบวมหรือพังออก

สุกรเมื่อขาดไนอาซีนจะเติบโตช้า ผิวหนังหยาบกร้าน และท้องร่วง

สัตว์ที่เลี้ยงด้วยข้าวโพดในระดับสูงมักขาดไนอาซีน ทั้งนี้ก็เนื่องจากในข้าวโพดมีกรดอะมิโนที่จำเป็นคือ tryptophan ต่ำ tryptophan มีความสัมพันธ์กับไนอาซีน โดย tryptophan เป็น precusor สำหรับการสังเคราะห์ไนอาซีนภายในร่างกาย ดังนั้น อาหารที่ให้ไก่และสุกรที่ใช้ข้าวโพดมาก ๆ จะต้องเพิ่มไนอาซีนให้เป็นพิเศษ

แหล่งไนอาซีน

ผลิตผลพลอยได้จากสัตว์ เช่น เนื้อป่น ปลาป่น ตับป่น มีไนอาซินอยู่สูง นอกจากนี้ไนอาซินมีมากใน ยีสต์ ในเมล็ดพืชที่ผ่านการกลั่น สำหรับนมและผลิตภัณฑ์นม รวมทั้งไข่ มีไนอาซีนต่ำ ปัจจุบันไนอาซีนที่เป็นรูปสารสังเคราะห์นิยมใช้กันมากในการผสมลงในอาหารไก่และสุกร

5.8 แพนโตทีนิค แอซิด (pantothenic acid) สูตรทั่วไป $C_9H_{17}O_5N$

แพนโตทีนิค แอซิด เป็นวิตามินที่เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์เอ ซึ่งโคเอนไซม์เอจะทำปฏิกิริยา กับ pyruvic acid ภายในร่างกายเพื่อให้ได้ hydrogen atoms และ hydrogen atoms จะถูกนำไปสังเคราะห์ ATP

$$C_3H_4O_3 + CoA \text{ ------ } C_2H_3O\,S\,CoA + CO_2 + 2H$$

(pyruvic Acid) (acetyl CoA)

นอกจากนี้แพนโตทีนิค ยังเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ผิว (epithelial Cells)

การขาดแพนโตทีนิค

สัตว์เมื่อขาดแพนโตทีนิค ประกอบด้วยอาการดังนี้คือ การสืบพันธุ์ประสบความล้มเหลวเป็นแผลตามผิวหนังและตามระบบประสาท มีอาการทางระบบทางเดินอาหาร

ไก่ เมื่อขาดแพนโตทีนิคจะทำให้การเจริญเติบโตและการงอกของขนช้า ต่อมามีแผลที่ริมฝีปาก มุมเปลือกตาแตกตกสะเก็ด (dermatitis) เมื่ออาการหนังขึ้นตาก็ปิด ตามตัวตามเท้าอาจเป็นแผลตกสะเก็ด ตับถูกทำลายและประสาทสันหลังทำงานผิดปกติ ถ้าเป็นไก่ไข่จะทำให้ได้ไข่ที่มีเปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวต่ำ

สุกรที่ขาดวิตามินนี้จะเติบโตช้า ขนร่วงและผิวหนังตกสะเก็ด มีสารสีเหลืองอยู่รอบ ๆ ตา มีปัญหาเกี่ยวกับทางเดินอาหาร และสุกรจะเดินคล้ายห่าน (goose – stepping) ถ้าเป็นมาก ๆ ทำให้สุกรยืนไม่ได้

แหล่งของแพนโตทีนิค

แพนโตทีนิคมีมากในกากถั่วลิสง กากน้ำตาล รำข้าว เชื้อยีสต์ เมล็ดธัญพืช และผลิตผลพลอยได้ ในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ วิตามินนี้จะอยู่ในรูปของโคเอนไซม์เอ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเรียกว่า bound form

5.9 ไพริด๊อกซิน (vitamin B.6, pyridoxine)

Pyridoxine - $C_8H_{11}O_3N$

Pyridoxal - $C_8H_9NO_2$

Pyridoxamine - $C_8H_{11}N_2O$

ไพริด๊อกซิน เป็นวิตามินที่เกี่ยวข้องกับการ metabolism ของโปรตีนและไขมัน และเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อการสร้าง antibody

การขาดไพริด๊อกซิน

สุกรเมื่อขาดไพริด๊อกซินจะทำให้เติบโตช้า เป็นโรคโลหิตจาง (microcytic hypochromic anemia) มีการชักกระตุก ขนหยาบกร้าน เมื่อผ่าซากดูจะพบสีสนิมเหล็กภายในร่างกาย

ลูกไก่และลูกไก่งวงเมื่อขาดวิตามิน บี6 จะทำให้เติบโตช้า วิ่งอย่างปราศจากจุดหมายปลายทาง มีอาการชักกระตุก และอาการทางประสาทอื่น ๆ และในที่สุดทำให้สัตว์ถึงตายได้ ถ้าเป็นไก่ไข่ต้องการวิตามิน บี6 ในการช่วยให้มีเชื้อไข่เพื่อให้ฟักออกเป็นตัวได้ดี

แหล่งของไพริด๊อกซิน

ไพริด๊อกซินมีอยู่ในอาหารทั่ว ๆ ไป แต่มีมากในยีสต์ ตับ กล้ามเนื้อ นม พืชสีเขียว รำข้าว และในธัญพืชต่าง ๆ อาหารที่เราใช้เลี้ยงสัตว์มักไม่ค่อยขาดวิตามิน บี6

5.10 ไบโอติน (biotin)

ไบโอตินเป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ carboxylase และวิตามินนี้ยังเกี่ยวข้องกับ carbondioxide fixatim และ decarboxylation โครงสร้างของไบโอตินมีธาตุซัลเฟอร์เช่นเดียวกับวิตามิน บี1 ตามธรรมดาไบโอตินค่อนข้างอยู่ตัวไม่ถูกทำลายง่าย แต่ถูกทำลายได้โดย nitrous acid ฟอร์มาลดีไฮด์กรด และด่างอย่างเข้มข้น

ไบโอตินช่วยป้องกันโรคเอ็นเคลื่อน (perosis or slipped tendon) และป้องกันโรคผิวหนังตกสะเก็ด (dermatitis) ในสัตว์ปีก โรคผิวหนังตกสะเก็ดที่เกิดจากการขาดไบโอติน จะแตกต่างไปจาก dermatitis ที่ขาด pantothenic acid กรณีแรกหนังตรงฝ่าเท้าหน้าแตกตกสะเก็ด กรณีหลังแสดงอาการที่มุมปากและผิวหนังด้วย แต่การขาดไบโอตินไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการผลิตไข่

ในไข่ขาวดิบ มีโปรตีนชนิดหนึ่งเรียกว่า Advidin (เป็นโปรตีนกลุ่ม Glycoprotein) ถ้าให้ไข่ขาวดิบแก่สัตว์จะมีผลกระทบกระเทือนในการสร้างประโยชน์จากไบโอติน ทั้งนี้เนื่องจาก Advidin จะไปทำให้มีปฏิกิริยากับไบโอตินทำให้ได้สารที่เรียกว่า Adidin-biotin complex จึงทำให้สัตว์ไม่สามารถนำไบโอตินไปใช้เป็นประโยชน์ได้เพราะลดการละลายได้ของไบโอติน

แหล่งของไบโอติน

อาหารที่มีไบโอตินสูงได้แก่ ข้าวโพด ข้าวบาเลย์ กากถั่วเหลือง alfalfa ใบกระถินป่น ในอาหารสัตว์ตามธรรมดาไม่ขาดวิตามินนี้

5.11 โฟลิค แอซิด (folic acid)

Folacin - $C_{19}H_{19}N_7O_6$

โฟลิค แอซิด มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ Purines และ Pyrimidines ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญที่จะนำไปสร้าง Nucleic Acid ถ้าร่างกายมี Nucleic Acid ไม่เพียงพอก็จะกระทบกระเทือนต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง โฟลิค แอซิค เป็นวิตามินที่อยู่ตัว ไม่ถูกทำลายง่าย

การขาดโฟลิค แอซิค

ลูกไก่และลูกไก่งวง เมื่อขาดวิตามินนี้จะทำให้การเจริญเติบโตช้า เป็นโรคโลหิตจาง (Macrocytic Anemia) สำหรับไก่ใช้ทำพันธุ์เมื่อขาดจะทำให้ได้ไข่มีเปอร์เซ็นการฟักออกเป็นตัวต่ำ ทำให้ embryo ตายทันทีหลังจากเจาะช่องอากาศออกมา

แหล่งของโฟลิค แอซิค

โฟลิค แอซิค มีมากใน ตับป่น alfalfa กากถั่วเหลือง ใบกระถินป่น ยีสต์ พืชสีเขียว เมล็ดธัญพืช

5.12 โคลีน (choline) สูตรทั่วไป $C_{15}H_{15}O_2N$

โคลีนเป็นส่วนประกอบของ phospholipid lecithin ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ และเนื้อเยื่อในร่างกาย ดังนั้นโคลีนจึงจำเป็นสำหรับการสร้างและบำรุงรักษาเซลล์ และโคลีนยังเกี่ยวข้องกับการ metabolism ของไขมันภายในตับ ป้องกันการสะสมไขมันในตับ (fatty-livers) ทั้งนี้เนื่องจากโคลีนช่วยในการลำเลียง lecithin และช่วยการใช้ประโยชน์ของกรดไขมันในตับ นอกจากนี้โคลีนยังจำเป็นสำหรับการสร้าง adetylcholine ซึ่งมีหน้าที่ช่วยในการทำงานของประสาท

การขาดโคลีน

ไก่ถ้าขาดโคลีนจะเป็นโรคเอ็นเลื่อน (perosis or slipped tendon) อาการของโรคเริ่มจากข้อขาบวม ขาข้างหนึ่งเป็นง่อย และเหยียดออกข้างหน้าหรือข้างหลัง อาการดังกล่าวอาจเป็นกับขาข้างเดียวหรือสองข้างก็ได้ ไก่ป่วยไม่สามารถกินน้ำหรือกินอาหารได้เต็มที่ และอาจถูกลูกไก่อื่นเหยียบย่ำตาย โรคเอ็นเคลื่อนอาจเกิดขึ้นจากการให้อาหารที่ขาดแมงกานิส ไบโอติน ไนอาซิน และโฟลิค แคซิด ไก่พันธุ์หนักมีโอกาสเป็นโรคนี้ง่ายกว่าไก่พันธุ์เบา นอกจากนี้ถ้าขาดโคลีน ตับจะอักเสบ หรือมีไขมันสะสมอยู่ที่ตับมาก (Fatty livers) ไก่และไก่งวงที่โตเต็มที่แล้ว จะสร้างโคลีนได้ในตัวของมันเอง จึงไม่จำเป็นต้องเติมโคลีนลงในอาหารอีก

สุกรที่ขาดโคลีนจะทำให้เจริญเติบโตช้า มีไขมันสะสมที่ตับมาก และประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ลดลง

แหล่งของโคลีน

โคลีนมีมากในกากถั่ว กากเมล็ดพืชอัดน้ำมัน นอกจากนี้โคลีนมียีสต์ ไต ไข่แดง สำหรับสารเคมีCholine Chloride เป็นสารสังเคราะห์ที่ย่อยและละลายได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับใช้ผสมลงในอาหาร

5.13 อินโนซิทอล (inositol) สูตรทั่วไป $C_6H_{12}O_6$

ยังไม่ทราบหน้าที่ที่แน่นอนของวิตามินนี้ อินโนซิทอลพบอยู่ในผลิตพันธ์ที่ได้จากพืช โดยเป็นส่วนประกอบของ phytin ในสัตว์พบอินโนซิทอลเป็นส่วนประกอบของ cephalins บางชนิด อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์โดยทั่วไปจะมีอินโนซิทอลเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ ดังนั้นสัตว์ไม่ค่อยขาดวิตามินนี้

5.14 กรดพาราอะมิโนเบนโซอิค (paraaminobenzoic acid) สูตรทั่วไป $C_7H_7O_2N$

พาราอะมิโนเบนโซอิค จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด ดังนั้นวิตามินนี้อาจช่วยให้จุลินทรีย์สังเคราะห์วิตามินบีรวมได้ดีขึ้น โดยทั่วไปสัตว์จะไม่ขาดพาราอะมิโนเบนโซอิค

5.15 วิตามิน บี 12 (vitamin B12, cyanocobalamin) สูตรทั่วไป $C_{63}H_{90}O_{14}N_{14}PCo$

วิตามิน บี 12 ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ในขบวนการ metabolism หลายชนิด ด้านโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องให้ความสนใจวิตามินนี้เป็นพิเศษ ทั้งนี้เนื่องจากวิตามิน บี 12 มีบทบาทสำคัญต่อการผลิต propionic acid ที่เกิดขึ้นจากการหมักบูดอาหารคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate fermentation) ในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว นอกจากนี้วิตามิน บี 12 ยังทำหน้าที่สำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนและ purine metabolism, APA (antipernicious anemia factor) และ APF (animal protein factor) มีวิตามินนี้เป็นองค์ประกอบ

การขาด วิตามิน บี 12

สัตว์เคี้ยวเอื้องเมื่อขาดวิตามิน บี 12 จะทำให้ไม่มีความสามารถในการ metabolism กรดโพรพิออนิค (propionic acid) ในลูกโคเมื่อขาดวิตามินนี้พบว่าการเจริญเติบโตลงลง เบื่ออาหาร เป็นโรคโลหิตจาง (macrocytic anemia)

คนเราถ้าขาด วิตามิน บี 12 จะเป็นโรคโลหิตจาง (pernicious Anemia) แต่โรคโลหิตจาง ชนิดนี้ไม่ปรากฏว่าเกิดกับสัตว์เลี้ยง

ไก่ที่ขาดวิตามินนี้ ทำให้การเจริญเติบโตชะงัก แต่ไม่กระทบกระเทือนต่อการให้ไข่ แต่จะทำให้เปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวต่ำ ในลูกไก่ที่ฟักออกมาใหม่ ๆ ถ้าขาดวิตามินนี้จะทำให้มีกระดูดผิดปกติคล้าย ๆ กับการเป็นโรคเอ็นเคลื่อน

สุกรที่ขาด วิตามิน บี 12 จะมีผลทำให้การสืบพันธุ์ลดลง

แหล่งของ วิตามิน บี 12

วิตามิน บี 12 พบในตับ ปลาป่น เนื้อป่น อาหารโปรตีนที่ได้จากสัตว์ มูลโค จุลินทรีย์ ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์วิตามินนี้ได้อย่างเพียงพอ ถ้าหากให้อาหารที่มีโคบอลท์อยู่บริบูรณ์

5.16 วิตามิน ซี (vitamin C, ascorbic acid) สูตรทั่วไป $C_6H_8O_6$

วิตามิน ซี เป็นวิตามินที่ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ดังนั้นบางทีจึงเรียกวิตามินนี้ว่า antiscorbutic factor วิตามิน ซี จำเป็นต่อการ natabolism ของ tyrosine และจำเป็นต่อ การเปลี่ยนแปลง folic acid ให้เป็น folinic acid พบวิตามิน ซี ในส้มต่าง ๆ ผักต่าง ๆ คน ลิง และหนู มีความต้องการวิตามินซีสูง

6. แร่ธาตุ (minerals of ashes)

แร่ธาตุเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งพบอยู่ในอาหารสัตว์ แต่มีแร่ธาตุบางชนิดไปเป็นส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น ธาตุ P, S เป็นส่วนประกอบของโปรตีนบางอย่าง, เหล็กเป็นส่วนประกอบของ hemoglobin ในเลือด แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบของ chlorophyll เป็นต้น ตามเนื้อเยื่อต่างๆของสัตว์ มีแร่ธาตุประมาณ 24 ชนิดหรือมากกว่า แร่ธาตุบางอย่างพบอยู่น้อย แร่ธาตุบางอย่างมีหน้าที่สำคัญๆ หลายอย่าง แต่ยังไม่ทราบหน้าที่ที่แท้จริง

ประเภทของแร่ธาตุ

ธาตุที่จำเป็นต่อสัตว์เท่าที่ทราบมีอยู่ประมาณ 15 – 16 ชนิด ถ้าหากแบ่งตามจำนวนมีมากน้อยภายในร่างกาย แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม

1. **แร่ธาตุที่ต้องการมาก (Major or Macro Elements)**

เป็นแร่ธาตุที่มีมากในร่างกายสัตว์ และจะต้องมีจำนวนเพียงพอในอาหารสัตว์ แร่ธาตุกลุ่มนี้ได้แก่ Ca, P, Na , K , Cl , Mg และ S

2. **แร่ธาตุที่ต้องการน้อย (Minor Elements)**

เป็นแร่ธาตุที่สัตว์ต้องการน้อย แต่ขาดไปก็ไม่ได้ แร่ธาตุเหล่านี้ได้แก่ Fe , I , Cu , Co, Mn, Zn , Mo

3. **แร่ธาตุที่ต้องการน้อยมาก (Trace Elements)**

กลุ่มนี้บางทีก็เป็นประโยชน์ แต่ถ้ามีมากก็เป็นพิษต่อสัตว์ เช่น ธาตุ F, Se

หน้าที่โดยทั่วไปของแร่ธาตุ (General Functions of Minerals)

ในรางกายสัตว์มีแร่ธาตุอยู่ประมาณ 3 % ของน้ำหนักตัว ประมาณ 80 % ของแร่ธาตุทั้งหมด พบเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน เพื่อช่วยค้ำจุนและให้ความแข็งแกร่งแก่โครงร่างของสัตว์ แร่ธาตุมีหน้าที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน กระดูกและฟันจะมีแร่ธาตุสูง กระดูกที่ยังสดอยู่ มีส่วนประกอบดังนี้

น้ำ	45 %
แร่ธาตุ	25 %
โปรตีน	20 %
ไขมัน	10 %

2. เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ เช่น โปรตีนและ lipides ซึ่งสารอินทรีย์ดังกล่าวเป็นส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ อวัยวะ เซลล์ของเลือด และเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มภายในร่างกายสัตว์
3. เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย , ฮอร์โมน และวิตามินต่างๆ
4. ทำหน้าที่เป็น soluble salts ในเลือด และของเหลวภายในร่างกาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันออสโมซิส และการรักษาความสมดุลของการเป็นกรดและด่าง (Acid – base balance or Acid base equilibrium) โดยการช่วยรักษาระดับ pH ของของเหลวภายในร่างกาย ให้มี pHประมาณ 7.0
5. มีหน้าที่เกี่ยวกับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อและการทำงานของประสาท
6. เป็นส่วนประกอบของผลิตผลต่างๆ เช่น เนื้อ นม ไข่ และลูกสัตว์ในท้อง
7. เป็นส่วนประกอบของขน ,เขา และกีบสัตว์
8. เกี่ยวข้องกับ Metabolic cycles
9. เป็นส่วนประกอบของร่างกาย ในร่างกายสัตว์มีแร่ธาตุอยู่หลายชนิด ยกตัวอย่าง เช่น steer จะมีแร่ธาตุต่างๆ ดังนี้

แคลเซียม 1.33 %

ฟอสฟอรัส	0.74 %
โปแตสเซียม	0.19 %
โซเดียม	0.16 %
ซัลเฟอร์	0.15 %
คลอรีน	0.11 %
แมกนีเซียม	0.04 %

เหล็ก 0.01 %

2.73 { 49 % Ca., 27 % P., 24 % แร่ธาตุอื่น ๆ

โคบอลท์
ทองแดง
ฟลูออรีน
ไอโอดีน
แมงกานีส
โมลิบดินั่ม
ซิลีเนียม
สังกะสี
อื่นๆ
} Trace amounts

1. แคลเซียมและฟอสฟอรัส (Calcium and Phosphorus)

มากกว่า 70 % ของแร่ธาตุในร่างกายสัตว์ เป็นธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส แคลเซียมส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน (คือประมาณ 99 % ของแคลเซียมทั้งหมด) ส่วนที่เหลือเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเลือด ในเลือดมีแคลเซียมประมาณ 9 – 12 มิลลิกรัม / เลือด 100 ซีซี. สำหรับธาตุฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับธาตุแคลเซียม คือ ประมาณ 80 % ของฟอสฟอรัสจะเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ส่วนที่เหลืออีก 20 % ของฟอสฟอรัสจะเป็น ส่วนประกอบของเนื้อเยื่อและของเหลวในร่างกายสัตว์ เช่น เป็นส่วนระกอบของ Phosphoproteins , Nucleic acid และ Phospholipids ในเลือดมีฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 35 – 45 มิลลิกรัม /เลือด 100 ซีซีส่วนใหญ่อยู่ในซีรั่ม (Serum) และมีมากที่สุดในเม็ดเลือดแดงใน Plasma ของเลือดมีฟอสฟอรัส 4 – 9 มิลลิกรัม / เลือด 100 ซีซี. และอยู่ในรูปของอนินทรีย์คือ เป็นฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในร่างกายที่จะถูกนำไปใช้ทางปฏิกิริยาเคมีต่างๆ

หน้าที่สำคัญของแคลเซียมและฟอสฟอรัส

1. เป็นส่วนประกอบของโครงร่าง เช่น กระดูกและฟัน
2. รักษาความสมดุลของการเป็นกรดและด่าง
3. เป็นส่วนประกอบของเลือด ,ของเหลว และเนื้อเยื่อต่างๆภายในร่างกาย

4. ช่วยในการดูดซึมไขมัน

5. แคลเซียมช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบประสาท,กล้ามเนื้อ,และการเต้นของหัวใจให้เป็นไปตามปกติ

6. แคลเซียมช่วยในการแข็งตัวของเลือด โดยแคลเซียมเป็นตัวสำคัญในการสร้าง Thrombin จาก Prothrombin ทำให้เลือดจับตัวเป็นลิ่ม เราเรียกว่า Clot

7. แคลเซียมช่วยกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อย (activate enzyme) บางอย่างเช่นน้ำย่อย Lipase และน้ำย่อยที่ย่อยโปรตีนต่างๆ

8. ฟอสฟอรัสเกี่ยวข้อง เกี่ยวกับการ Metabolism ต่างๆภายในร่างกาย เช่น

- energy metabolism
- carbohydrate metabolism
- amino acid & fat metabolism
- nervous tissue metabolism

9. ฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายกรดไขมันและ ลิพิด อื่นๆ ภาในร่างกายสัตว์

10. ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ Nucleic Acids

11. ฟอสฟอรัสช่วยในการถ่ายทอดลักษณะกรรมพันธุ์ โดยฟอสฟอรัสจะเป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA โดย

DNA = Deoxyribonucleic acid อยู่ที่นิวเคลียสของเซลล์ มีหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในพืชและสัตว์ เป็นตัวควบคุมลักษณะทางกรรมพันธุ์

RNA = Ribonucleic acid อยู่ที่ cytoplasm ของเซลล์ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน RNA มีหลายชนิด แต่ที่สำคัญคือ

- t RNA (transfer RNA) มีหน้าที่นำ Enzyme – activated amino acids ไปสู่ ribosomes
- m RNA (Massager RNA) มีขนาดโมเลกุลใหญ่และซับซ้อนมากกว่า t RNA

12. แคลเซียมและฟอสฟอรัสจำเป็นสำหรับสัตว์ที่อยู่ในระหว่างการเจริญเติบโต การให้ผลิตผล เช่น เนื้อ นม ไข่ และสัตว์ที่กำลังอุ้มท้อง

ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินดี

การที่ร่างกายสัตว์จะดูดซึมแคลเซียมและไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้ จำเป็นต้องเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับปัจจัย 3 ประการคือ

1. มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสเพียงพอ
2. มีอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมและฟอสฟอรัสเหมาะสม
3. มีวิตามินดีเพียงพอ

ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสต้องมีเพียงพอ เพราะเป็นสิ่งจำเป็น ที่ร่างกายสัตว์จะดูดซึมเอาไปใช้ แต่ทั้งนี้อัตราส่วนของธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสต้องอยู่ในสัดส่วนที่พอเหมาะ

โดยทั่วไปแล้ว Ca : P = 2 : 1 และ 1 : 1

อาหารสุกรควรมี Ca : P = 1.5 : 1 ถึง 2.5 : 1

อาหารสัตว์ปีกควรมี Ca : P = 1 : 1 ถึง 2 : 1

อาหารลูกโคควรมี Ca : P = 1 : 1 ถึง 7 : 1

สำหรับวิตามินดี เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีเพียงพอ เพราะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัส

ส่วนประกอบของกระดูก

ประมาณ 99% ของแคลเซียมและ 80 % ของฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ จะพบอยู่ตรงกระดูกและฟัน ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามอายุ สภาพของอาหารและชนิดของสัตว์ ในสัตว์ที่โตแล้ว กระดูกจะประกอบด้วยน้ำ 45 % ,แร่ธาตุ 25 % ,โปรตีน 20 % และไขมัน 10 % ในกระดูกของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีแคลเซียม 36 % , ฟอสฟอรัส 17 % และแร่ธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย

แคลเซียมและฟอสฟอรัสในเลือด

เซลล์ของเลือดจะไม่มีแคลเซียม แต่จะพบแคลเซียมในซีรั่ม ในซีรั่มมีแคลเซียมประมาณ 9 – 12 มิลลิกรัม / 100 ซีซี.ของเลือด ในไก่ไข่ ระดับแคลเซียมจะสูงในระยะให้ไข่ แคลเซียมที่พบอยู่ในเลือดสัตว์มี 2 ประเภทคือ ประเภท Diffusible และประเภท Non-diffusible พบอยู่รอบๆโปรตีน ส่วนใหญ่แคลเซียมพวก Diffusible มีประมาณ 60 % หรือมากกว่าของแคลเซียมทั้งหมดนั้น ส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของสารประกอบ phosphate และ Bicarbonate

เลือดมีฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 35 – 45 มิลลิกรัม / 100 ซีซี.ของเลือด ส่วนใหญ่ของฟอสฟอรัสพบอยู่ที่เซลล์ของเลือด ในพลาสมามีฟอสฟอรัส 4 – 9 มิลลิกรัม / 100 ซีซี. ของเลือด ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุและชนิดของสัตว์ ระดับของฟอสฟอรัสในขณะสัตว์กำลังคลอดลูกจะมีสูงกว่าเมื่อสัตว์โตเต็มที่แล้ว

แคลเซียมและฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม

1 % ของแคลเซียมในร่างกายสัตว์จะพบตามอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ ในสภาพของสารคอลลอยด์ สำหรับธาตุฟอสฟอรัสที่พบอยู่ตามส่วนอื่นๆ นอกเหนือไปจากกระดูกแล้ว มักจะพบเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ เช่น Phosphoprotein , Nucleoprotein , Phospholipids , Phosphocreatine , Hexose phosphate และอื่นๆ Phosphate เป็นส่วนประกอบของระบบน้ำย่อยหลายชนิด เนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มจะมีฟอสฟอรัสประมาณ 0.15 ถึง 0.2 %

แคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหาร

อาหารข้นและอาหารหยาบชนิดต่างๆ มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสอยู่มากพอ แต่อาหารบางชนิดจะมีแร่ธาตุทั้งสองไม่เพียงพอ โดยปกติ เมล็ดพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มีแคลเซียมอยู่น้อย แต่พวกเมล็ดถั่วมักมีแคลเซียมสูงกว่าเมล็ดธัญพืช ฉะนั้นกากถั่วทุกชนิดจึงมีแคลเซียมสูง พวกหญ้ามีแคลเซียมน้อยกว่าพวกถั่วทุกชนิด นม กระดูกป่น ปลาป่น และเนื้อป่นมีแคลเซียมสูง สำหรับธาตุฟอสฟอรัส มักมีอยู่ในเมล็ดพืชทุกชนิด รวมทั้งผลผลิตพลอยได้จากเมล็ดพืช เช่น รำข้าว และกากเมล็ดพืช กระดูกป่นมีทั้งแคลเซียมและฟอสฟอรัส พืชจะมีฟอสฟอรัสมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับดินที่ใช้ปลูกพืชนั้น แคลเซียมและฟอสฟอรัสได้มาจากกอาหารดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แหล่งของแคลเซียมและฟอสฟอรัส

วัตถุดิบ	% Ca	%P
กระดูกป่น (Bone Meal)	23 – 26	8 – 18
เนื้อและกระดูกป่น (Meat and Bone meal)	11.42	1.69
ปลาป่น (Fish Meal)	2 – 14	2 – 7
เปลือกหอยป่น (Oyster shell Meal)	38	-
เนื้อป่น (Meat Scrap)	8.49	4.18
ผลิตผลพลอยได้ป่น (ของสัตว์ปีก) (Poultry by – product Meal)	3.00	1.70
กากงา (Sesame oil Meal)	1.99	1.33
ถั่วลิสงแห้ง (Peanut hay)	1.16	0.22
ถั่วเหลืองแห้ง (Soybean Hay)	1.08	-
หินปูนป่น (Limestone)	39	-
นมผง (Dried Whole Milk)	0.90	0.72
เศษเนื้อป่น	9 – 14	3 – 7.5
กากน้ำตาล (Cane Molasses)	0.81	0.08
รำข้าว (Rice Bran)	0.07	1.59
Dicalcium Phosphate	20 – 30	18 – 22
Dofluorinated Phosphate	33	14 – 18
กระดูกป่น นึ่งแล้ว (Bone Meal , Steamed)	30.92	14.01

โทษ และอาการขาดธาตุแคลเซียมและธาตุฟอสฟอรัส

ทำให้สัตว์ชะงักการเจริญเติบโต ร่างกายแคระแกรน กระดูกและฟันไม่เจริญ

ทำให้สัตว์เป็นง่อยหรือชักกระตุก

ทำให้สัตว์เป็นโรค คือ

3.1 โรคกระดูกอ่อน (Ricket) โรคนี้มักเกิดกับสัตว์ในระยะกำลังเจริญเติบโต สาเหตุเนื่องจากสัตว์ได้รับ Ca, P หรือวิตามินดีจากอาหารไม่เพียงพอ ทำให้การสร้างกระดูกเป็นไปได้ช้ากว่าปกติ และหากขาดเป็นเวลานาน จะทำให้กระดูกอ่อน มีข้อต่อและข้อขาบวม ทำให้สัตว์พยุงตัวและเดินลำบาก ถ้าหากได้รับการแก้ไขเสียแต่ระยะแรก คือให้สิ่งที่ขาดไปในอาหารเพื่อให้พอกับความต้องการของสัตว์ ก็จะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ แต่ถ้าหากแก้ไขในระยะที่ร่างกายผิดปกติไปมากแล้ว มักจะไม่สามารถแก้ไขความพิการของสัตว์ได้

โรคกระดูกอ่อนเป็นโรคที่พบอยู่เสมอในลูกโค ลูกสุกร ลูกโคเมื่อเป็นโรคกระดูกอ่อน จะแสดงอาการคือ การเจริญเติบโตลดลง กระดูกไม่แข็งแรง ทำให้เดินลำบาก มีอาการบวมและเจ็บตรงข้อต่อ หลังโก่ง เมื่อตรวจดูเลือดจะพบว่ามีแคลเซียมต่ำมากกว่าที่พบว่ามีฟอสฟอรัสในเลือดต่ำกว่าปกติ สำหรับในสุกรเมื่อเป็นโรคกระดูกอ่อน พบว่า การ

เจริญเติบโตชะงัก ตรงข้อต่อบวมขยายใหญ่ กระดูกผิดไปจากปกติ ทำให้เป็นอัมพาต ในลูกสุกรเมื่อตรวจเลือดจะพบว่ามีฟอสฟอรัสต่ำ แต่ถ้าหาก Ration มีแคลเซียมต่ำ เลือดก็จะมีแคลเซียมต่ำด้วย ลูกแกะเมื่อเป็นโรคกระดูกอ่อนจะพบว่าตรงข้อต่อบวมขยายใหญ่ และแสดงอาการเจ็บปวดตรงข้อต่ออยู่เสมอ ทำให้ลูกแกะเดินลำบาก และทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้แล้ว โรคกระดูกอ่อนก็พบเป็นกับสัตว์พวกม้า ไก่ สุนัข และสัตว์อื่นๆอีกหลายชนิด

3.2 โรคกระดูกเปราะสัตว์ที่โตแล้ว เมื่อขาดแคลเซียม , ฟอสฟอรัสหรือวิตามินดี จะทำให้เป็นโรคกระดูกเปราะ ทั้งนี้ก็เนื่องจากจะมีการถอนเอาแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่อยู่ตรงกระดูกมาใช้ ทำให้กระดูกส่วนนั้นเปราะหักง่าย เราเรียกโรคนี้ว่า โรคกระดูกเปราะ การเคลื่อนตัวของแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากกระดูกเกิดขึ้นมาก อาจเนื่องจากสาเหตุเพราะต่อม Parathyroid ทำงานมากเกินไป สัตว์ที่กำลังท้อง หรือให้นมมาก ซึ่งเป็นระยะที่ร่างกายต้องการธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัสเป็นจำนวนมากกว่าปกติ ร่างกายจะถอนแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่สะสมไว้ในกระดูกมาใช้ ทำให้กระดูกอ่อนแอและหักได้ง่าย

การให้ผลิตผลเช่น เนื้อ นม ไข่ ลดลง และพบว่าไข่เปลือกบาง

สัตว์เมื่อขาดแคลเซียมจะทำให้มีการตกเลือดภายในร่างกาย (internal hemorrhang) ได้ง่าย มี Basal Metabolic Rate สูง ระดับ Urine เพิ่มมาก, และทำให้เกิดการแท้งในสัตว์ที่ตั้งท้อง

สัตว์เมื่อขาดฟอสฟอรัสจะแสดงอาการ ผิดปกติ จะกัดกินไม้ ดิน หิน เป็นต้น เราเรียกว่า Pica ทำให้การผสมพันธุ์ต่ำ กระทบกระเทือนต่อการสร้าง high energy phosphate , DNA , RNA และน้ำย่อย

2. โซเดียม,โปแตสเซียม และคลอรีน (Sodium , Potassium and Chlorine)

ส่วนใหญ่ของแร่ธาตุทั้งสามนี้ จะพบตามส่วนที่เป็นของเหลวและเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม หน้าที่ของโซเดียม,โปแตสเซียม และคลอรีน คือรักษาแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure) และรักษาความสมดุลย์ของการเป็นกรดและด่าง (Acid – Base Equilibrium) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการเดินทางของโภชนะต่างๆ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงของน้ำ (Water Metabolism) ตามลำดับ การขาดแร่ธาตุทั้งสามจะทำให้สัตว์เบื่ออาหาร ชะงักการเจริญเติบโต น้ำหนักลด การให้ผลิตผลลดลง และยังทำให้ระดับของเลือดลดลง

2.1 โซเดียม (Na)

ร่างกายสัตว์ มีโซเดียมประมาณ 0.2% โซเดียมในรูปที่ไม่ละลายหรือในรูปที่ไม่ว่องไว พบอยู่ในโครงร่าง (Skeleton) แต่โซเดียมในรูปที่ว่องไว พบอยู่ตามส่วนที่เป็นของเหลวของเซลล์ เม็ดเลือดไม่มีโซเดียม แต่จะพบโซเดียมมีมากในกล้ามเนื้อ การขาดโซเดียมทำให้การย่อยโปรตีนไปใช้ประโยชน์ การใช้พลังงาน และการสืบพันธุ์ของสัตว์ ลดลง เกลือของโซเดียมถูกดูดซึมและหมุนเวียนไปใช้ตามส่วนต่างๆของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว ไตมีหน้าที่ขับโซเดียมออกจากร่างกายในรูปของสารคลอไรด์และฟอสเฟต โซเดียมบางส่วนจะถูกขับออกมาทางเหงื่อ โดยเฉพาะในเวลาที่มีอากาศร้อน ความต้องการธาตุโซเดียมเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์ประมาณ 0.1 – 0.2 % ของ Ration โดยปกติทั่วไปแล้วอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์มักมีโซเดียมไม่พอกับความต้องการของสัตว์

2.2 โปแตสเซียม (K)

โปแตสเซียม มีอยู่ในร่างกายสัตว์ พอๆกับจำนวนของโซเดียม แต่ส่วนใหญ่จะพบโปแตสเซียมที่เซลล์ ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ของเลือดมนุษย์ มีโปแตสเซียมมากกว่าในพลาสมาประมาณมากกว่า 20 เท่า โปแตสเซียมทำหน้าที่สำคัญๆ ในกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อมีโปแตสเซียมมากกว่าโซเดียมประมาณ 6 เท่า

มีการทดลองการขาดธาตุโปแตสเซียมกับสัตว์หลายชนิด อาการที่พบ ไม่พบอาการที่แสดงอย่างแน่ชัดชี้เฉพาะลงไป แต่เมื่อตรวจสอบพบว่า โปแตสเซียมในหัวใจและอวัยวะอื่นๆ มีระดับต่ำลง หัวใจมีบาดแผล ท่อภายในไตเสื่อม

เป็นต้น จากการศึกษากับหนู สุกร และไก่ พบว่า มีความต้องการโปแตสเซียมมากกว่าโซเดียม คือต้องการโปแตสเซียม 0.2 – 0.3 % ของ dry ration โปแตสเซียมถูกดูดซึมได้รวดเร็วเช่นเดียวกับธาตุโซเดียม ร่างกายสัตว์เมื่อได้รับโปแตสเซียมมากเกินความต้องการ จะทำการขับโปแตสเซียมออกทางปัสสาวะได้ถึง 90 % แต่เวลามีการขับเหงื่อมากๆ โปแตสเซียมก็ถูกขับออกมามากทางเหงื่อ

2.3 คลอรีน (Cl)

แตกต่างไปจากโซเดียมและโปแตสเซียมก็คือ ธาตุคลอรีนจะพบมากในเซลล์และนอกเซลล์ของเนื้อเยื่อของร่างกายสัตว์ เซลล์ของเลือดมีคลอรีนมากกว่าในพลาสมา ประมาณ 10 – 20 %ของคลอรีนในร่างกายพบรวมตัวกับสารอินทรีย์กับสารคลอไรด์ของเลือด ส่วนใหญ่เป็นโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบถึง สองในสามของ acidic ions แสดงให้เห็นว่าคลอรีนมีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเป็นกรดและด่าง น้ำย่อยจากกระเพาะมีคลอรีนอยู่ในรูปกรดและในรูปของเกลือ ร่างกายสามารถเก็บคลอรีนไว้ในผิวหนัง และเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังร่างกายจะขับคลอรีนออกมาพร้อมกับโซเดียม และโปแตสเซียม สำหรับความต้องการของร่างกายต้องการคลอรีนประมาณครึ่งหนึ่งของความต้องการโซเดียม

เกลือ

เกลือเป็นสารประกอบที่ให้ธาตุโซเดียมหรือโปแตสเซียมและคลอรีน (NaCl หรือ KCl) เกลือนอกจากจะเป็นส่วนปรุงแต่งให้อาหารมีรสดีแล้ว เกลือยังถือเป็นโภชนะที่สัตว์ต้องการ เกลือช่วยกระตุ้นการขับน้ำลาย และปฏิกิริยาของ diastic enzymes เมื่อร่างกายได้รับเกลือน้อย ร่างกายสัตว์จะปรับการขับธาตุโซเดียมและคลอรีนออกทางปัสสาวะ คือเกือบไม่มีการขับออกมาเลย ในทางตรงกันข้าม ถ้าร่างกายได้รับเกลือมาก การขับเกลือก็มีมาก ทำให้ร่างกายสัตว์มีความต้องการน้ำมาก

จากการศึกษาของ Babcock ในปี ค.ศ. 1905 พบว่าแม่โคที่ไม่ได้รับเกลือ จะเบื่ออาหาร น้ำหนักตัวและการให้น้ำนมลดลง การให้เกลือในอาหารจะช่วยให้สัตว์ฟื้นตัวจากอาการที่แสดงนั้น การขาดเกลือจะทำให้สัตว์แสดงอาการดังต่อไปนี้

1. ทำให้สัตว์เบื่ออาหาร ชะงักการเจริญเติบโตและทำให้น้ำหนัก และผลิตผลน้อยลง
2. การให้ไข่และการให้นมของสัตว์จะลดลง วัวนมที่ให้นมสูงๆ ถ้าขาดเกลือมากๆ อาจทำให้ถึงตายได้
3. นัยตาแห้ง ขนหยาบกร้าน
4. ไก่ที่ขาดเกลือจะเป็นโรคจิกกันเอง (Cannibalism)

แหล่งที่มาของเกลือ

ในอาหารสัตว์ ปกติจะมี K อยู่บริบูรณ์ ส่วน Na และ Cl มีอยู่น้อยในอาหารที่ได้จากพืช แต่มีมากในอาหารที่ได้จากสัตว์ เช่น เนื้อป่น ปลาป่น นอกจากนี้มีมากในเกลือทะเล ฉะนั้น สัตว์กินพืชเป็นอาหาร เช่น โค กระบือ แพะ แกะ

และม้า จึงมีความต้องการธาตุทั้งสองมากกว่าเป็ด ไก่ และสุกร ในทางปฏิบัติ ควรมีเกลือตั้งทิ้งไว้ให้ โค กระบือ ม้า แพะ แกะ กินตามความต้องการ

การเสริมเกลือให้แก่สัตว์

ควรได้เสริมเกลือให้แก่สัตว์ เพราะอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์มักมีเกลือไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ เกลือจำเป็นสำหรับสัตว์เลี้ยงทุกชนิด การเสริมเกลือให้แก่สัตว์ ทำได้ดังนี้

1. เกลืออัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม มีหลายชนิด คือ
   แท่งสีขาว – จะมีแต่ NaCl
   แท่งสีเหลือง – จะมีแต่ NaCl + S
   แท่งสีแดง ,แท่งสีน้ำตาล ,หรือแท่งสีม่วง – โดยปกติจะมี NaCl + Critical trace minerals
2. รูปเกลือป่น เป็นรูปเกลือล้วน ๆ หรืออาจเป็นรูป Trace mineralized
3. แร่ธาตุผสม จะมีเกลือล้วนๆ หรือ Trace mineralized ประมาณ 20 – 50 %
4. ใช้เกลือผสมกับอาหาร ปกติจะใช้เกลือ 0.25 – 0.5 % ของอาหาร

ความต้องการเกลือของสัตว์

สัตว์ต้องการเกลือ (NaCl) ประมาณ 0.25 – 0.5 % ของอาหารทั้งหมด หรือ 0.005 – 0.010 % ของน้ำหนัก ตัว / วัน ความต้องการเกลือของสัตว์จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ชนิดของสัตว์
2. ประเภทของอาหารที่สัตว์ได้รับ
3. กิจกรรมของสัตว์
4. การสร้างผลิตผลของสัตว์

สัตว์ที่กินพืช ต้องให้เกลือเพิ่มมากกว่าสัตว์ที่กินเนื้อ เพราะในพืชทั่ว ๆ ไป จะมีเกลือน้อยกว่าในเนื้อสัตว์

3. แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่ในร่างกายสัตว์น้อย แต่เป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัส ประมาณ 70 % ของแมกนีเซียมในร่างกายเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ส่วนที่เหลือของแมกนีเซียมกระจายอยู่ตามส่วนที่เป็นของเหลว และอยู่ตามเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มต่างๆ ประมาณ 1 ใน 3 ของแมกนีเซียมที่อยู่ตรงกระดูกร่างกายสามารถถอนเอาไปใช้ในเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มได้ เมื่อสัตว์ได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ ซีรั่มของเลือดมีแมกนีเซียมอยู่ตั้งแต่ 2 – 5 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 ซีซี (ขึ้นอยู่กับชนนิดของสัตว์ และลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์) แมกนีเซียมถูกขับออกมาทางปัสสาวะและทางมูลของสัตว์ได้ เช่นเดียวกับธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส แต่พบว่าแมกนีเซียมขับออกมาทางมูลมากกว่าทางปัสสาวะ

หน้าที่ของแมกนีเซียม

1. จำเป็นสำหรับระบบน้ำย่อยหลายชนิด
2. เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตในร่างกาย (Carbohydrate Metabolism)

3. จำเป็นสำหรับการทำหน้าที่ของระบบประสาท

การขาดธาตุแมกนีเซียม

การขาดธาตุแมกนีเซียมในอาหารมีผลทำให้ร่างกายสัตว์มีแมกนีเซียมในเลือดต่ำ ซึ่งมีอาการตามลำดับดังนี้คือ มีความดันของเลือดต่ำ (Vasodilation) มีระบบประสาทไวต่อความรู้สึกและทำงานผิดปกติ (Hyperirritability) และมีอาการชักกระตุก (Tetany) ในที่สุดถึงตายได้

Grass tetany หรือ Grass Stagger เป็นโรคที่พบเกิดกับโคและแกะ ที่เลี้ยงในพื้นที่ที่มีแมกนีเซียมต่ำ และไม่ให้แมกนีเซียมเพิ่มเติมในอาหาร เช่น ในท้องที่บางแห่งของ Netherland และ New Zealand ซึ่งพบว่า สัตว์ที่เป็นโรคดังกล่าวจะมีระดับแมกนีเซียมในเลือดต่ำ (ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม / เลือด 100 ซีซี .) ซึ่งจะทำให้สัตว์มีอาการทางประสาท เบื่ออาหาร หายใจถี่และชีพจรเต้นเร็ว ในที่สุดมีอาการชักกระตุก และทำให้สัตว์ตายอยู่เสมอ โรคนี้มักเกิดกับแม่โคนมหลังจากคลอดลูกแล้ว แต่มีรายงานว่าโรคนี้เกิดกับโคนมแห้ง (Dry Cow) , โคตอนเมื่ออายุยังน้อย (Steer) และลูกโค (Calves) การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยการให้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 2 ส่วน เกลือ 1 ส่วน จัดให้สัตว์กิน หรืออาจใช้ 30% Magnesium oxide + 32 % defluorinated phosphate + 30 % trace mineralized salt + 8 % cottonseed meal จัดให้สัตว์กินแบบตามใจชอบ ก็จะแก้ปัญหาโรค grass tetany ได้

ความต้องการและแหล่งของแมกนีเซียม

จากการศึกษาความต้องการของธาตุแมกนีเซียมของสัตว์จะแตกต่างกัน แต่ปรากฏว่าความต้องการแมกนีเซียมสำหรับการเจริญเติบโตจะอยู่ประมาณ 0.06 % ของ Dry Ration ทั้งนี้จะต้องมีธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ และจะต้องมีไม่มากเกินความต้องการของสัตว์ แมกนีเซียมมีมากในรำข้าวสาลี ยีสต์ และในอาหารโปรตีนจากพืชโดยเฉพาะกากฝ้าย ในอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไปมีแมกนีเซียมอยู่บริบูรณ์ ไม่จำเป็นที่ผู้เลี้ยงจะต้องกังวลอีก

4. ซัลเฟอร์ (Sulfer)

ในร่างกายสัตว์มีซัลเฟอร์อยู่ประมาณ 0.15 % ธาตุนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ โดยเป็นส่วนประกอบของโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น Cystine และ Methionine ขนสัตว์มีซัลเฟอร์ประมาณ 4 % นอกจากนี้ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของ glutathione , insulin และเป็นส่วนประกอบของ วิตามิน 2 ชนิดคือ thiamine และ biotin ซัลเฟอร์ยังพบอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ คือพบใน chondroitin sulfate ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระดูกอ่อน ในเลือดมี sulfate เพียงเล็กน้อย พบซัลเฟอร์ในน้ำดี (Bile) ร่างกายสัตว์จะขับกำมะถันออกทางมูลและทางปัสสาวะ

การขาดธาตุซัลเฟอร์

สัตว์ถ้าขาดซัลเฟอร์ทำให้ชะงักการเจริญเติบโต เพราะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ Methionine การให้ซัลเฟอร์แก่สัตว์โดยทั่วไปต้องให้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่นให้ในรูปของกรดอะมิโน ยกเว้นในสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถให้ซัลเฟอร์ในรูปสารอนินทรีย์ได้ นอกจากนี้การขาดซัลเฟอร์ทำให้การงอกของขนโดยเฉพาะในไก่ช้าลง ทำให้กระบวนการเผาผลาญในร่างกายสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่

ความต้องการซัลเฟอร์ของสัตว์

โคและแกะมีความต้องการซัลเฟอร์ 0.1% ration dry matter

แหล่งของซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์พบอยู่ในธัญพืชต่าง ๆ เมล็ดพืชอื่น ๆ ในกรดอะมิโน พวก Methionine, Cystine และจากกำมะถันผง กำมะถันผงจะใช้ได้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ แกะ โดยการช่วยเหลือของแบคทีเรีย ในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว สามารถใช้ซัลเฟอร์ในกำมะถันผงไปสร้างกรดอะมิโนชนิดที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบได้

5. เหล็ก (Iron)

ในร่างกายสัตว์มีเหล็กอยู่เพียง 0.004% เหล็กเป็นธาตุที่สำคัญต่อขบวนการชีวิตสัตว์ เหล็กเป็นองค์ประกอบของ Hemoglobin จำเป็นต่อหน้าที่ของอวัยวะ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ธาตุเหล็กพบอยู่ที่นิวเคลียสในรูปของ iron- porphyrin หรือที่เรียกว่า heme เหล็กพบอยู่ในโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของ Cytochrone C , Peroxidase , Catalase และน้ำย่อยอื่น ๆ มากกว่าครึ่งหนึ่งของธาตุเหล็กในร่างกายสัตว์พบที่ hemoglobin นอกจากนี้ ธาตุเหล็กพบตามตับ (liver), ม้าม (spleen), ไต (kidney) และโพรงกระดูก (bone marrow) ร่างกายสามารถถอนเหล็กจากแหล่งดังกล่าวมาใช้ได้ในยามขัดสน

หน้าที่ของ Hemoglobin

Hemoglobin มีหน้าที่นำออกซิเจนออกจากปอด ไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์ของร่างกายไปสู่ปอด

$$Hb + O_2 \longrightarrow HbO_2$$

(Hemoglobin) (Oxyhemoglobin)

Hemoglobin สามารถรวมตัวได้กับ CO_2 และรวมตัวได้มากกว่ารวมตัวกับ O_2 ถึง 210 เท่า

$Hb + CO > Hb + O_2$ ถึง 210 เท่า ฉะนั้นในแหล่งที่มีไอเสียมากๆจะทำให้ขาดออกซิเจนที่ร่างกายจะนำไปใช้

การสร้าง Hemoglobin

เซลล์ของเม็ดเลือดที่มีเฮโมโกลบินสร้างมาจากโพรงกระดูก (bone marrow) ขบวนการสร้างเฮโมโกลบินเรียกว่า hemopoiesis เม็ดเลือดแดงถูกทำลายและสร้างขึ้นมาใหม่ตลอดเวลา Life span ของเม็ดเลือดแดง เฉลี่ยประมาณ 127 วัน (ตามที่ได้มีการศึกษาไอโซโทฟกับหนู)ในการทำลายเม็ดเลือดแดงนั้น สาร hematin ของเฮโมโกลบินถูกแยกเป็นสารประกอบเหล็ก Bilirubin และสารให้สีอื่น ๆ สารดังกล่าวนี้ถูกนำไปยังตับและขับออกไว้ในน้ำดี เหล็กที่ได้จากการทำลายเม็ดเลือดแดงที่ปกติ สามารถนำไปสร้างเฮโมโกลบินได้อีก อย่างไรก็ตาม โรคสัตว์บางชนิด การทำลายเม็ดโลหิตแดงเกิดขึ้นได้รวดเร็ว ทำให้ธาตุเหล็กเกิดเป็นพิษ ไม่สามารถนำไปสร้างเฮโมโกลบินได้

โรคโลหิตจาง (Anemia)

สัตว์เมื่อได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ทั้งนี้เพราะเหล็กเป็นธาตุที่สำคัญในการสร้างเฮโมโกลบิน โดยทั่วไปแล้วในสัตว์ที่ปกติทั้งหลายมีเฮโมโกลบินประมาณ 10 – 18 กรัม / เลือด 100 ซีซี. ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด ,เพศ และอายุของสัตว์ สัตว์ที่เป็นโรคโลหิตจางมากๆ พบว่าระดับของเฮโมโกลบินอาจลดต่ำลงถึง $\frac{1}{2}$ หรือ $\frac{1}{3}$ ของระดับปกติ โรคโลหิตจางอาจเกิดขึ้นได้ทุกระยะถ้าสัตว์ได้รับเหล็กไม่เพียงพอ โรคนี้มักพบในลูกสัตว์ที่ดูดนม ทั้งนี้เพราะในน้ำนมแม่มีธาตุเหล็กอยู่น้อย โดยปกติมักเป็นกับลูกสุกรก่อนหย่านมที่เลี้ยงในคอก และไม่ปล่อยลงดินหรือแปลงหญ้า ซึ่งต้องการธาตุเหล็กสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติประมาณ 7 มิลลิกรัมต่อวัน แต่ในน้ำนมแม่สุกรสามารถ

ให้ธาตุเหล็กเพียง 1 มิลลิกรัมต่อวัน ฉะนั้นต้องเพิ่มให้อีก 6 มิลลิกรัมต่อวัน ลูกสุกรจึงไม่เป็นโรคโลหิตจาง เพื่อป้องกันอาจให้ยาเข้าธาตุเหล็กป้ายลิ้นหรือฉีดกับลูกสุกร ลูกสุกรเมื่อขาดธาตุเหล็กจะแสดงอาการดังนี้ .-

1. มีเฮโมโกลบินในเลือดต่ำ
2. หายใจลำบาก
3. เซื่องซึมไม่กระตือรือร้น
4. ผิวหนังหยาบ ย่น
5. หนังตา หู และจมูกซีด

การให้ธาตุเหล็ก

1. ให้ ferrous sulfate หรือสารละลายธาตุเหล็กทางปากเพียง 2 – 3 หยด / วัน ระหว่าง 3 – 4 สัปดาห์แรก หรือให้ $\frac{1}{3}$ - 1 ช้อนชา / สัปดาห์
2. ฉีด Iron dextrin จำนวน 100 มิลลิกรัม เมื่ออายุได้ 3 วัน , 50 มิลลิกรัม เมื่ออายุได้ 21 วัน

การดูดซึมธาตุเหล็ก (Iron Absorption)

ธาตุเหล็กถูกดูดซึมได้ตรงลำไส้เล็ก แต่บางส่วนของธาตุเหล็กถูกดูดซึมได้ตรงกระเพาะอาหาร การให้ธาตุเหล็กอย่างเพียงพอในอาหารของสัตว์ ทำให้สัตว์สามารถมีการดูดซึมธาตุเหล็กเป็นไปอย่างปกติตามความต้องการใช้ธาตุเหล็กของสัตว์ ฉะนั้นสัตว์ที่มีสุขภาพสมบูรณ์จึงมีความต้องการธาตุนี้น้อยมาก ยกเว้นสัตว์ที่เสียเลือดมากๆ หรืออยู่ในระยะอุ้มท้อง มีความต้องการธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น จากการศึกษาโดยการใช้ F^{50} ได้แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นในขณะสัตว์กำลังอุ้มท้อง ทั้งนี้ก็เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการเพื่อการเจริญของลูกสัตว์ในท้อง

ความต้องการธาตุเหล็กของสัตว์

80 มิลลิกรัมของธาตุเหล็ก / กิโลกรัม ของ diet เป็นจำนวนเพียงพอสำหรับความต้องการของสัตว์

ลูกสุกรที่มีน้ำหนัก 3 – 50 ปอนด์ ต้องการธาตุเหล็ก 100 – 110 ส่วนในล้านส่วนของอาหารข้น สำหรับลูกไก่ที่มีอายุ 2 – 3 สัปดาห์แรกต้องการธาตุเหล็ก 40 ส่วนในล้านส่วนของอาหารข้น

แหล่งของธาตุเหล็กในอาหาร

เหล็กมีอยู่ในอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป มีมากในพืชสีเขียว,ต้นพืชตระกูลถั่วและเยื่อหุ้มเมล็ด (Seedcoats) ธาตุเหล็กอยู่ในรูปต่างๆ บางชนิดสามารถนำไปใช้ได้ดี แต่บางชนิดอยู่ในรูปที่ร่างกายดูดซึมและนำไปใช้ได้ยาก เช่น เลือดป่น (Blood Meal) เป็นอาหารที่มีธาตุเหล็กมาก แต่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้อยมาก

7. ไอโอดีน (Iodine)

สัตว์ที่โตเต็มที่แล้วจะมีไอโอดีนในร่างกายประมาณ 0.00004 % ประมาณ 65 % ของไอโอดีนพบเป็นส่วนประกอบของฮอร์โมน Thyroxine ส่วนไอโอดีนที่เหลืออีก 35 % พบอยู่ที่ต่อมน้ำลาย,กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ขน รังไข่ รก และที่ต่อมกลั่นสร้างน้ำนม

ต่อมไทรอยด์ (Thyroid Gland)

ต่อมไทรอยด์เป็นต่อมที่มี 2 พู แต่ละพูจะติดอยู่ข้างๆตอนบนสุดของ Trachea ในมนุษย์ต่อมไทรอยด์จะหนักประมาณ 25 – 35 กรัม แต่จะแตกต่างกันไปตามอายุและปริมาณของไอโอดีน ต่อมไทรอยด์เจริญเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อเยื่อชนิดอื่น ต่อมนี้เจริญดีในระยะเป็นหนุ่มเป็นสาวและระยะแก่ตัว หรือขณะร่างกายขาดไอโอดีน ต่อมไทรอยด์จะขยายใหญ่ หน้าที่ของต่อมไทรอยด์คือผลิตฮอร์โมน Thyroxine

Iodine + Tyrosine → Thyroxine

หน้าที่ของไทร๊อกซีน

1. ควบคุมอัตราของ Energy Metabolism หรือระดับของ Oxidation ของเซลล์ต่างๆ
2. ควบคุมการเจริญเติบโตและการแก่ตัวของสัตว์ ถ้าสัตว์ขาดไทร๊อกซีนจะทำให้สัตว์แคระแกรนเจริญเติบโตช้า
3. เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของอวัยวะเพศ
4. เกี่ยวข้องกับการทำงานของต่อมไร้ท่อ (Endocrine glands) โดยเฉพาะ hypophysis และ gonads
5. มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ
6. มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบเส้นเลือด
7. มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท
8. มีหน้าที่เกี่ยวกับ diffusion ของน้ำของเกลือภายในร่างกาย

การขาดธาตุไอโอดีน

สัตว์ที่ได้รับไอโอดีนที่มีอยู่ในอาหารน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะทำให้ร่างกายสัตว์พยายามขยายต่อมไทรอยด์ เพื่อจะผลิตฮอร์โมน thyroxine ให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ซึ่งเป็นผลให้ต่อมไทรอยด์โตขึ้นเรื่อยๆ เพราะว่าต้องทำงานมากเพื่อจะสร้างฮอร์โมนให้มากขึ้น เมื่อต่อไทรอยด์โตขึ้นทำให้บริเวณคอหอยพองโต ยื่นออกมาและเห็นได้ชัดเจน เราเรียกโรคนี้ว่า คอหอยพอก (goiter) ในทางแพทย์ แบ่งโรคคอหอยพอกออกเป็น 2 ประเภท คือ simple of endemic goiter เป็นโรคคอหอยพอกที่มีสาเหตุมาจากการขาดไอโอดีน และอีกประเภทหนึ่งเรียกว่า exophthamic goiter เป็นโรคคอหอยพอกที่มักพบเห็นเสมอ โรคนี้ถ้าเป็นในระยะให้ลูก พบว่า ลูกสัตว์ที่คลอดออกมาจะไม่มีขน อ่อนแอ หรือลูกออกมาตาย ลูกสัตว์บางตัวอาจจะมีชีวิตรอดก็จะแสดงอาการคอบวม ลุกลำบาก เดินไม่ไหว ในลูกโค ,ลูกแกะ และลูกแพะจะพบต่อมไทรอยด์ขยายใหญ่เมื่อเกิดออกมา ในสุกรพบว่า ถ้าขาดไอโอดีนเวลาเกิดออกมาไม่มีขน สำหรับลูกม้า จะแสดงอาการอ่อนแอมากขณะเกิดออกมา เป็นผลให้ไม่สามารถยืนและดูดนมได้ เช่นเดียวกับสัตว์ปีก และปลา สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เมื่อขาดไอโอดีน ต่อมไทรอยด์ก็จะขยายใหญ่

ความต้องการไอโอดีนของสัตว์

ระดับ 0.2 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของ air – dry dict เป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์

โคต้องการ 1.0 – 2.0 ไมโครกรัม / น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม / วัน

สุกรต้องการ 4.4 ไมโครกรัม / น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม / วัน

ไก่เริ่มเลี้ยงและไก่ทำพันธุ์ ต้องการ 0.5 มิลลิกรัม / อาหาร 1 ปอนด์

ไก่กำลังเจริญเติบโตและไก่ไข่ ต้องการ 0.2 มิลลิกรัม / อาหาร 1 ปอนด์

ความต้องการไอโอดีนมีอยู่ตลอดชีวิตสัตว์ เพื่อทำให้ต่อมไทรอยด์ทำงานได้ตามปกติ ในท้องที่ที่ขาดไอโอดีนควรเสริมไอโอดีนให้พอกับความต้องการของสัตว์ เพราะถ้าสัตว์ขาดไอโอดีนก็แสดงอาการเป็นโรคคอหอยพอก

การเสริมไอโอดีนให้แก่สัตว์ทำได้ง่าย โดยการใช้เกลือไอโอดีน เช่น 0.1 % โปแตสเซียมไอโอได (KI) หรือ 0.0076 % ไอโอดีน

แหล่งของธาตุไอโอดีน

ในอาหารสัตว์ ส่วนมากมีไอโอดีนอยู่น้อย แต่จะมีมากในอาหารที่ได้จากทะเล เช่น ปลาป่น เกลือป่น ซึ่งจะเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ทุกชนิด สำหรับไอโอดีนในพืชจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอโอดีนในดิน ฉะนั้นปริมาณไอโอดีนในพืชจะแตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นที่ที่พืชขึ้นอยู่ ในท้องที่บางแห่ง มีไอโอดีนอยู่น้อย เช่น ภาคเหนือ ภาคอีสาน โดยมากสัตว์ที่เลี้ยงในท้องที่ดังกล่าวมักขาดไอโอดีน ในกรณีเช่นนี้ การให้อาหารที่มีเกลือไอโอดีน จึงเป็นสิ่งจำเป็น

8. ทองแดง (Copper)

จากการศึกษาที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน ในปี ค.ศ. 1925 พบว่า ทองแดงจำนวนเพียงเล็กน้อยจำเป็นเกี่ยวข้องกับการสร้างเฮโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง แต่ธาตุทองแดงมิได้เป็นส่วนประกอบของเฮโมโกลบินโดยตรง ทองแดงพบอยู่ใน hemocuprien ในเซลล์ของเลือด ในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังพบทองแดงใน hemocyanin ซึ่ง hemocyanin มีหน้าที่นำออกซิเจนในสัตว์ดังกล่าว นอกจากนี้พบทองแดงที่ตับ ,หัวใจ, ปอด และไต

หน้าที่ของทองแดง

1. เกี่ยวข้องกับการดูดซึมธาตุเหล็ก
2. ช่วยให้ธาตุเหล็กไปเป็นส่วนประกอบของเฮโมโกลบิน
3. ช่วยให้เม็ดเลือดแดงแก่ตัว (maturation)
4. ทำหน้าที่ activated enzymes เช่น Ascorbic acid oxidase , tyrosinase , Cytochrome oxidease และ Catalase
5. สังเคราะห์ Keratin ของขนและการเจริญของขนสัตว์

การขาดธาตุทองแดง

เนื่องจากธาตุทองแดงมีหน้าที่หลายอย่างในร่างกายสัตว์ ฉะนั้นการขาดก็จะทำให้สัตว์มีอาการแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานที่เลี้ยงสัตว์และขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ การขาดธาตุทองแดงไม่มีอาการที่เฉพาะ แต่การขาดธาตุทองแดง ประกอบด้วยอาการดังนี้ .-

1. มีระดับทองแดงในเลือดและในตับต่ำ
2. มีการผิดปกติของขนสัตว์ เช่นทำให้ขนโคซีดขาว และทำให้การเจริญของขนแกะขึ้นช้าผิดไปจากปกติ
3. ทำให้สัตว์มีกระดูกผิดไปจากปกติ (bone disorder) เช่นเกิดกับลูกแกะ,โค, ลูกสุกร ,ไก่ , และสุนัขซึ่งทำให้ขาสัตว์เสีย มีอาการบวมตรงข้อต่อ และทำให้กระดูกสัตว์เปราะ แตกได้ง่าย

4. ลูกสัตว์อ่อนแอเมื่อเกิดออกมา
5. เป็นโรคโลหิตจาง (Anemia) และเป็นโรคอุจจาระร่วง (Diarrhea)

สัตว์ที่เลี้ยงบนพื้นที่ที่มีธาตุทองแดงน้อย จะทำให้เกิดโรคซึ่งมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามชนิดของสัตว์ หรือของท้องที่ เช่น Enzootic ataxia หรือ awayback คือมีอาการหลังแอ่นผิดปกติ และชักกระตุกซึ่งเป็นลักษณะอาการของโรคที่เกิดจากการขาดธาตุทองแดงกับลูกแกะในอังกฤษและออสเตรเลีย สำหรับที่เลี้ยงบนพื้นที่ที่มีธาตุนี้อยู่น้อย ทำให้เป็นโรค falling disease มีอาการคือ ยืนซวนเซ และล้มตายทันที เป็นโรคที่พบในออสเตรเลีย

ความต้องการทองแดงของสัตว์

โคและแกะมีความต้องการ 4 –5 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของอาหาร
สุกร มีความต้องการ 6 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของอาหาร
ม้า มีความต้องการ 5 – 8 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของอาหาร
ลูกไก่อายุ 1 – 2 อาทิตย์ ต้องให้ธาตุทองแดง 3.2 ส่วนในอาหารล้านส่วน

ถ้าระดับของโมลิบดีนัม และ/หรือ ซัลเฟตสูง ความต้องการธาตุทองแดงจะเพิ่มเป็น 2 – 3 เท่าตัว เกลือเข้าธาตุทองแดงแบบเป็นแท่ง สำหรับให้สัตว์เลียกิน ควรมี Copper Sulfate ($CuSO_4$ * $5H_2O$) ประมาณ 0.25 – 0.5 % ใช้ได้ผลดีในการป้องกันในแหล่งที่ที่มีธาตุทองแดงต่ำ

แหล่งของธาตุทองแดง

ในอาหารสัตว์ตามธรรมชาติ มีทองแดงอยู่บริบูรณ์ ปริมาณทองแดงในพืชจะมีความสัมพันธ์กับระดับทองแดงในดิน คือถ้าในดินมีทองแดงมาก จะทำให้พืชที่ขึ้นอยู่ มีธาตุนี้มากขึ้นด้วย ทองแดงพบมากในเมล็ดและผลิตผลพลอยได้จากเมล็ด (grains and grain – by products) เช่นรำและกากถั่ว ส่วนในฟางข้าวมีธาตุนี้อยู่น้อยมาก

9. โคบอลท์ (Cobalt)

โคบอลท์เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของสัตว์ สัตว์ที่ใช้หญ้าเป็นอาหาร เช่น โค แพะ แกะ ที่ขาดธาตุนี้ จะทำให้เป็นโรคที่มีชื่อเรียกต่างๆ กันไปตามท้อที่ที่เลี้ยงสัตว์ สาเหตุเนื่องจากในดิน และพืชมีธาตุโคบอลท์อยู่น้อยมาก เช่นท้องที่บางแห่งของออสเตรเลีย ,รัฐบางรัฐในสหรัฐอเมริกา เช่น ฟลอริดา , มิชิแกน , วิสคอนซิน , นิวแฮมเชียร์ ,นิวยอร์ค และนอทแคโรไลน่า เป็นต้น โรคขาดธาตุธาตุโคบอลท์เรียก Bush sickness ,Coast disease ,Salt disease หรือบางทีก็เรียกว่า Pining Nutritional Anemia

หน้าที่ของธาตุโคบอลท์

เชื่อกันว่าธาตุโคบอลท์มีหน้าที่เกี่ยวกับการเจริญของแบคทีเรียในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว ถ้าขาดโคบอลท์จะทำให้จำนวนและชนิดของแบคทีเรียลดลง โคบอลท์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวิตามินบี 12 วิตามินนี้จำเป็นสำหรับสัตว์ทุกชนิด แต่ในโค กระบือ แพะ แกะ สามารถสร้างวิตามินบี 12ได้จากการกระทำของจุลินทรีย์ ถ้าได้รับธาตุโคบอลท์ ฉะนั้นถ้าหากขาดโคบอลท์ ก็มีผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถสร้างวิตามิน บี 12 ได้เพียงพอกับความต้องการ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค สำหรับ เป็ด ไก่ และสุกร พวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถสังเคราะห์ วิตามินบี 12 ได้ แต่ไม่เพียงพอกับความต้องการ เพื่อป้องกันการขาดธาตุนี้ ในทางปฏิบัติอาจเลือกให้อาหารที่มีวิตามินบี . 12 อยู่มาก เช่น ปลาป่น น้ำปลาข้น ผสมกับอาหารข้น ร่วมกับเกลือของโคบอลท์

การขาดธาตุโคบอลท์

อาการขาดธาตุโคบอลท์ในโค กระบือ และแกะ จะทำให้สัตว์มีลักษณะซึมเซา เบื่ออาหาร ร่างกายผอมลง น้ำหนักลด ขนหยาบกระด้าง อ่อนแอ เป็นโรคโลหิตจาง มีความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ และการให้นม , การให้ขนสัตว์ลดลง

ความต้องการธาตุโคบอลท์ของสัตว์

อาหารสำหรับโคและแกะ ถ้ามีโคบอลท์ 0.05 – 0.10 มิลลิกรัม / อาหาร 1 กิโลกรัมเพียงพอที่จะป้องกันอาการขาดธาตุโคบอลท์ได้ สำหรับม้ามีความต้องการโคบอลท์น้อยกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนสุกรต้องการเพียงวิตามินบี 12

การให้โคบอลท์แก่สัตว์ อาจให้ในรูปของ Cobolt Chloride , Cobolt Sulfate , หรือ Cobalt Carbonate โดยมีโคบอลท์อยู่ในระดับ 12.5 กรัม / 100 กิโลกรัม ของสารดังกล่าว

แหล่งของธาตุโคบอลท์

มีอยู่ในอาหารทั่ว ๆไป ในประเทศไทย สัตว์ไม่ค่อยขาดธาตุโคบอลท์ โคบอลท์มีมากในปลาป่น น้ำปลาข้น นอกจากนี้มีในสารเคมี เช่น Cobalt Sulfate , Cobalt Carbonate และ Cobalt Chloride

10. แมงกานีส (Manganese)

แมงกานิสเป็นธาตุที่มีหน้าที่อยู่ในร่างกายน้อยมาก ส่วนใหญ่ของธาตุนี้มีอยู่ที่ตับนอกจากนี้แมงกานีสจะพบอยู่ที่ตับอ่อน,ไต , ต่อมใต้สมอง (Pituitary gland) ผิวหนัง ,กล้ามเนื้อ , และกระดูก

หน้าที่ของแมงกานีส

แมงกานิสมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับระบบน้ำย่อย ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเป็นสัด การเจริญของลูกสัตว์ในท้อง การเจริญของเต้านม การสร้างน้ำนม การเจริญเติบโต และการขยายตัวของโครงร่างของสัตว์ โดยแมงกานิสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำย่อยที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันในร่างกาย

การขาดธาตุแมงกานีส

จากการทดลองการให้อาหารที่ขาดธาตุแมงกานีสกับหนูและกระต่าย พบว่าหนูมีการเจริญเติบโตลดลง , มีกระดูกผิดปกติ ,และการสืบพันธุ์ลดลง สำหรับกระต่ายมีกระดูกอ่อนแอ ไม่แข็งแรงและมีขาโก่งงอ แมงกานิสเป็นธาตุที่สัตว์ทุกชนิดต้องการน้อยมาก สัตว์เลี้ยงตามธรรมชาติทั่ว ๆไป มักไม่แสดงอาการขาดธาตุนี้ สัตว์ถ้าขาดแมงกานิสจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นหนุ่มเป็นสาวช้า การเป็นสัด (estrus) ไม่สม่ำเสมอ การผสมพันธุ์ไม่ค่อยติด ถ้าผสมพันธุ์ติด ลูกที่เกิดออกมาจะอ่อนแอหรือตาย ถ้าเป็นตัวผู้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเยื่อบุภายในอัณฑะ ทำให้น้ำเชื้อเสื่อม ตัวอสุจิผิดปกติ และอ่อนแอ สำหรับลูกไก่ได้รับแมงกานีส ไม่พอจะทำให้เป็นโรคเอ็นเคลื่อน (slipped tendon or perosis) คือมีอาการผิดปกติของกระดูกขา ข้อเข่าบวม และเอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon) เลื่อนไปจาก Condiles.

สำหรับไก่ไข่จะทำให้การให้ไข่ลดลง เปลือกไข่แตกง่ายและไข่ฟักออกน้อย สำหรับสุกรจะมีอาการเป็นง่อย โครุ่นที่เล็มหญ้าบนดินทรายหรือกินพืชที่ขึ้นอยู่บนดิน ที่มีธาตุนี้น้อยมาก จะเจริญเติบโตช้า มีกระดูกขาผิดปกติ มีการผสมพันธุ์ต่ำ และมักแท้ง

ความต้องการแมงกานีสของสัตว์

โคเนื้อและแกะต้องการ	1 – 25 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของ diet
โคนม ต้องการ	10 – 20 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของ diet
สุกร ต้องการ	20 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของ diet
ลูกไก่ ต้องการ	25 มิลลิกรัม / อาหาร 1 ปอนด์
แม่ไก่ใช้ทำพันธุ์ต้องการ	0.5 มิลลิกรัม / อาหาร 1 ปอนด์

แหล่งของธาตุแมงกานีส

แมงกานีสมีอยู่ในอาหารทั่วๆไป อาหารหยาบมีแมงกานีส 40 – 140 มิลลิกรัม / กิโลกรัม เมล็ดพืชที่นอกเหนือไปจากข้าวโพด มีแมงกานีส 15 – 45 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ข้าวโพดมีแมงกานีสน้อยมาก ประมาณ 5 มิลลิกรัม / กก . แมงกานีสซัลเฟตมักนิยมใช้เสริมธาตุแมงกานีสให้สัตว์ปีก คือจะใช้ $\frac{1}{4}$ ปอนด์ของแมงกานีสซัลเฟต / อาหารสัตว์ปีก 1 ตัน ซึ่งสามารถป้องกันการขาดแมงกานีสในสัตว์ปีกได้

11. สังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นธาตุที่พบในเนื้อเยื่อทุกชนิดของสัตว์ ธาตุนี้พบอยู่มากในใน Epidermal tissues เช่น ผิวหนัง ขน ขนสัตว์ แต่พบสังกะสีอยู่น้อยในกระดูก กล้ามเนื้อ เลือด และอวัยวะ อื่นๆ

หน้าที่ของสังกะสี

1. หน้าที่ที่แท้จริงยังไม่ทราบ
2. ป้องกันโรค Parakeratosis
3. ช่วยในการเจริญเติบโตการสร้างขน และสุขภาพของสัตว์
4. เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยหลายชนิด

การขาดธาตุสังกะสี

อาหารสัตว์ธรรมชาติจะมีสังกะสีอยู่เพียงพอและสัตว์เลี้ยงทั่ว ๆ ไปมักไม่แสดงอาการขาดธาตุนี้ แต่สุกรซึ่งเป็นสัตว์ที่มีความต้องการสังกะสีสูง เมื่อขาดสังกะสีจะทำให้เป็นโรคผิวหนังที่เรียกว่า parakeratosis ซึ่งทำให้สุกรเติบโตช้า มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ผิวหนังเป็นจุดแดงพุพอง สุกรที่เลี้ยงบนพื้นคอนกรีตโดยให้กินอาหารที่มีแคลเซียมสูงแต่มีสังกะสีต่ำมักจะเป็นโรคนี้ นอกจากนี้การขาดสังกะสีทำให้สัตว์มีขนหยาบ เมื่อเกิดบาดแผลทำให้หายช้า ปัญหาการขาดสังกะสีแก้ไขได้โดยให้สังกะสีเพิ่มเติมประมาณ 50 มิลลิกรัม / อาหารแห้ง 1 กิโลกรัม การให้สังกะสีอาจให้ในรูปสารเคมี $ZnCo_3$ หรือ $ZnSO_4$

ความต้องการธาตุสังกะสีของสัตว์เลี้ยง

โคเนื้อต้องการ	20 – 30 มิลลิกรัม / อาหารแห้ง 1 กิโลกรัม
แกะ ต้องการ	20 – 30 มิลลิกรัม / อาหารแห้ง 1 กิโลกรัม
สุกร ต้องการ	50 มิลลิกรัม / อาหารแห้ง 1 กิโลกรัม
ไก่ ต้องการ	50 ppm. ของอาหารทั้งหมด

แหล่งของธาตุสังกะสี

มีในนม ผัก และพืชอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป นอกจากนี้ มีในสารเคมี $ZnS0_4$ $Zn\,CO_3$

12. โมลิบดีนั่ม (Molybdenum)

ธาตุโมลิบดีนั่ม ถ้ามีน้อยเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ แต่ถ้ามีมากจะเป็นพิษ โมลิดีนั่มเป็นสารประกอบสำคัญของน้ำย่อย Xanthine oxidase ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับ Purine Metabolism , Xanthine oxidase พบที่ตับและเนื้อเยื่อของลำไส้ โมลิบดีนั่มจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของลูกไก่ ในลูกไก่ต้องการ Xanthine oxidase มากเพราะน้ำย่อยชนิดนี้มีความสำคัญเกี่ยวกับการสร้าง Urie adie (ผลผลิตขั้นสุดท้ายของ Nitrogen Metabolism) ถ้าเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องโมลิบดีนั่มจำเป็นในการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว

ความต้องการธาตุโมลิบดีนั่มของสัตว์

โคเนื้อและสัตว์เลี้ยงอื่น ๆ มีความต้องการโมลิบดีนั่มประมาณ 0.01 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของอาหารแห้ง หากสัตว์ได้รับโมลินั่มในระดับ 5 – 10 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ของอาหารก็จะเกิดการเป็นพิษต่อสัตว์คือจะไปกระทบกระเทือนต่อระบบน้ำย่อยบางชนิด และกระทบกระเทือนต่อ Copper Metabolism

แหล่งของธาตุโมลิบดีนั่ม

ธาตุนี้มีอยู่ในอากาศทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะพวกถั่ว

13. ฟลูออรีน (Fluorine)

ฟลูออรีนมีอยู่ที่กระดูกและฟันประมาณ 0.04 – 0.06 % ฟลูออรีนถ้ามีมากก็จะเป็นพิษต่อสัตว์คือจะทำให้กระดูกและฟัน เป็นสีเหลือง กระดูกและฟันไม่แข็งแรง ถ้าตรวจดูที่ฟันจะพบคล้าย ๆ แผ่นหินปูนไปเกาะอยู่ แต่ถ้ามีน้อยจะเป็นประโยชน์คือ ทำให้กระดูกและฟันแข็งแรงและมีสีขาว

ความต้องการธาตุฟลูออรีน

โค แพะ แกะ และสุกร ต้องการ	0.1 % dry ration
ลูกไก่ ต้องการ	0.035 % dry ration
ไก่ไข่ ต้องการ	0.053 % dry ration

14. ซีลีเนียม (Selenium)

ซีลีเนียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมและการนำวิตามิน อี ไปใช้เป็นประโยชน์และช่วยป้องกันโรคเนื้อเยื่ออักเสบในตับ (Liver Necrosis) และโรคกล้ามเนื้อพิการ (Muscular dyptrophy) ของลูกแกะ ลูกโค

การขาดซีลิเนียม

สัตว์เมื่อขาดซีลิเนียมจะแสดงอาการเช่นเดียวกับการขาดวิตามิน อี, คือ

1. เป็นโรคกล้ามเนื้อพิการ (Nutritional muscular dystrophy) ในลูกแกะและลูกโค
2. กระทบกระเทือนต่อการทำงานของหัวใจทำให้ลูกสัตว์ตายทันที
3. เป็นอัมพาต
4. การเจริญเติบโตไม่ดี
5. ความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ
6. เป็นโรคเนื้อเยื่อตับอักเสบ (liver necrosis)

การเป็นพิษของซีลิเนียม

สัตว์ถ้าได้รับซีลีเนียมมากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อสัตว์ ทำให้สัตว์เป็นโรคที่เรียกว่า Alkali stagger หรือ blind stagger ซึ่งมักเป็นกับโคและม้าที่กินพืชบางชนิดที่มีธาตุซีลิเนียมอยู่ 10 – 30 ppm. สัตว์ที่เป็นโรคนี้จะมีอาการซึม ข้อขาแข็ง ขาเสีย และมีขนร่วงตามบริเวณแผงคอและที่หาง

ความต้องการธาตุซีลิเนียมของสัตว์

สัตว์ที่มีความต้องการ 0.1 มิลลิกรัม หรือน้อยกว่า / อาการแห้ง 1 กิโลกรัม ถ้าสัตว์ได้รับมากกว่า 5 มิลลิกรัม / อาการแห้ง 1 กิโลกรัม ก็จะเป็นพิษต่อสัตว์

หลักการให้แร่ธาตุแก่สัตว์

1. จัดเกลือให้แก่สัตว์ประมาณ 0.25 - 0.50% ของอาหาร ถ้าให้เกลือต่ำกว่าระดับดังกล่าว ควรจัดเกลือแก่สัตว์โดยให้กินแบบอิสระตามใจชอบ (Free choice)

2. การใช้แคลเซียมและฟอสฟอรัส ควรจัดให้ตามความจำเป็นโดยเติมลงในสูตรอาหารเพื่อทำให้อาหารเกิดความสมดุลย์

3. การให้เกลือแก่สัตว์ต้องจัดน้ำไว้ให้เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์

4. หากคิดว่า trace minerals อาจขาด ควรเติม trace – mineralized salt ซึ่งมีราคาถูก ไม่เป็นอันตายต่อสัตว์และเป็นประโยชน์ต่อสภาพของดิน

5. การจัดแร่ธาตุให้แก่สัตว์แบบ Free choice มีวิธีการให้ 2 วิธีคือ

5.1 Cafeteria style จัดแร่ธาตุแต่ละอย่างแยกกันต่างหากแล้วให้สัตว์เลือกกินเองความต้องการ

5.2 Single mixtures จัดแร่ธาตุแต่ละอย่างมาผสมกัน หากใช้เมล็ดพืชเป็นหลักในการ เลี้ยงสัตว์ ควรผสมแร่ธาตุดังนี้

เกลือ	1 ส่วน
Difluorinated phosphate of Steamed Bone Meal	1 – 2 ส่วน
เปลือกหอยป่นหรือหินปูนป่น	1 – 2 ส่วน

หากเป็นสัตว์ที่เลี้ยงในทุ่งหญ้า , เลี้ยงด้วยหญ้าแห้ง ควรผสมแร่ธาตุดังนี้

เกลือ	1 ส่วน
Difluorinated phosphate of Steamed Bone Meal	1 – 3 ส่วน

การวิเคราะห์หาแร่ธาตุ

การวิเคราะห์หาแร่ธาตุในอาหารทำได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์หาแร่ธาตุมาเพียงเล็กน้อย ใส่ลงไปใน Crucible
2. นำไปเผาใน furnace (อุณหภูมิ 600 ° C) เป็นเวลาหลายชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักเถ้า ซึ่งจะเป็นน้ำหนักของแร่ธาตุ
4. คำนวณหา % ของแร่ธาตุ จากสูตร

$$\% \text{ ของแร่ธาตุ} = \frac{\text{นน.ของเถ้า}}{\text{นน.ของอาหาร}} \times 100$$

บทที่ 6
ความสำคัญของโภชนะในอาหารที่มีต่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตของสัตว์เลี้ยง

การดำรงชีพของสัตว์ (maintenance)

หมายถึง การรักษาชีวิตสัตว์ให้อยู่ในสภาพที่ดีหรือมีสุขภาพดี อาหารที่สัตว์ต้องการเพื่อการดำรงชีพเป็นจำนวนโภชนะที่น้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของระบบต่าง ๆภายในร่างกายให้ดำเนินไปอย่างปกติ เพื่อให้ร่างกายมีชีวิตอยู่ได้โดยที่สัตว์ไม่มีการสร้างผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษ เช่น ไม่มีการผลิตลูกสัตว์ ไม่มีการเจริญเติบโต ไม่มีการสะสมไขมัน ไม่มีการผลิตน้ำนมหรือผลิตผลอื่นใด โดยเฉลี่ยประมาณครึ่งหนึ่งของอาหารที่ให้สัตว์กินจะถูกนำไปใช้เพื่อการดำรงชีพ อาหารถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆดังต่อไปนี้

1. เป็นพลังงานเพื่อทำหน้าที่สำคัญต่าง ๆ

1.1 พลังงานสำหรับการทำงานของหัวใจ การหมุนเวียนโลหิต และการทำงานที่สำคัญอื่น ๆ ของร่างกาย

1.2 พลังงานที่ต้องการอยู่ในรูปของพลังงานสุทธิ (net energy)

1.3 พลังงานที่ใช้ทำหน้าที่สำคัญต่าง ๆ ในที่สุดจะถูกขับออกมาเป็นความร้อน

1.4 ความร้อนที่เกิดขึ้นตามข้อ 1.3 จะถูกนำไปใช้รักษาอุณหภูมิของร่างกาย

1.5 การทำงานของหน้าที่ที่สำคัญต่าง ๆ มักกล่าวเป็น basal metabolism

1.6 Basal metabolism วัดหรือคำนวณจากการแลกเปลี่ยนระหว่าง O_2 และ CO_2

1.7 Basal metabolism เป็นปฏิภาคกับพื้นที่ผิวของร่างกายสัตว์ (body surface) ไม่ได้เป็นปฏิภาคกับน้ำหนักสัตว์

2. เป็นความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่

สัตว์เลี้ยงเป็นสัตว์เลือดอุ่น ฉะนั้นจึงต้องมีความต้องการความร้อนเพื่อใช้รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ อุณหภูมิปกติของร่างกายสัตว์ มีดังนี้ ม้า 100.2° F โค 101.5° F สุกร 102.6°F แกะ 103.5 °F และสัตว์ปีก 105 °F ความร้อนที่ใช้รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติมาจากแหล่งต่างๆ คือ

1) ความร้อนจากการทำงานของอวัยวะที่สำคัญต่าง ๆ
2) ความร้อนจากการใช้ประโยชน์จากโภชนะ
3) ความร้อนจากการทำงานของกิจกรรมต่าง ๆ
4) ความร้อนจากการหนาวสั่นของสัตว์

ขณะที่สัตว์มีการ oxidation ภายในร่างกาย สัตว์ต้องใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ เรียกอุณหภูมินั้นว่าอุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ซึ่งอุณหภูมิวิกฤติผันแปรได้มากซึ่งขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดของสัตว์ (species of animal)
2) ขนที่ห่อหุ้มตัวสัตว์ (hair or wool coat of animal)
3) การสะสมไขมันของสัตว์ (fatness of animal)
4) ระดับของอาหาร (level of feed animal)
5) กิจกรรมของสัตว์ (activity of animal)
6) การเคลื่อนไหวของอากาศ (air movement)
7) ความชื้น (humidity)

โดยปกติอุณหภูมิวิกฤต มักไม่ค่อยเกิดกับสัตว์ เว้นเสียแต่ว่าจะมีอากาศหนาวเย็นมาก

3. โปรตีนเพื่อการซ่อมแซมเนื้อเยื่อของร่างกาย

3.1 โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อมีการชำรุดเสียหายอยู่ตลอดเวลา

3.2 โปรตีนมีการสูญเสียไปทุก ๆ วัน เช่น สูญเสียทางยูเรีย ทางฮอร์โมนน้ำย่อย และผิวหนังลำไส้สึกกร่อน

3.3 โปรตีนที่สูญเสียไปตามข้อ 3.1 และ 3.2 จะถูกซ่อมแซมโดยโปรตีนที่ ได้รับจากอาหาร

3.4 ความต้องการโปรตีนสำหรับการดำรงชีพของสัตว์จะเท่ากับจำนวนไนโตรเจนที่ขับออกทาง Urine ในระหว่างที่สัตว์อดอาหาร

3.5 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพเป็นปฏิภาคกับพื้นที่ผิวของร่างกาย (Body surface area)

3.6 โปรตีนเพื่อการดำรงชีพจะต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี นั่นคือจะต้องมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อสัตว์อยู่อย่างเพียงพอ

4. แร่ธาตุต่าง ๆ เพื่อชดเชยแร่ธาตุที่สูญเสียไป

4.1 การสูญเสียแร่ธาตุที่จำเป็นต่าง ๆ เป็นไปอย่างคงที่ เช่น แคลเซียมและ ฟอสฟอรัส เปลี่ยนไปเป็นส่วนประกอบของกระดูก การสูญเสียโซเดียมทางเหงื่อ เป็นต้น

4.2 อาหารที่ต้องการเพื่อการดำรงชีพจะต้องมีแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่อย่างเพียงพอเพื่อชดเชยจำนวนแร่ธาตุที่สูญเสียไป

4.3 อาหารของสัตว์โดยทั่วไปจะมีจะมีแร่ธาตุอยู่อย่างเพียงพอ ยกเว้นเกลือ

5. วิตามินบางอย่างที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพ

5.1 วิตามินทุก ๆ อย่างจำเป็นสำหรับชีวิตสัตว์

5.2 วิตามินทุกชนิดมีการถูกทำลาย และ / หรือสูญเสียไปจากร่างกายค่อนข้างคงที่

5.3 ควรคำนึงถึงการให้วิตามินแก่สัตว์เพื่อชดเชยจำนวนที่สูญเสียไป

6. น้ำ

6.1 สัตว์เมื่อขาดน้ำจะตายได้อย่างรวดเร็วกว่าการขาดโภชนะอื่น ๆ

6.2 สัตว์ต้องการน้ำเพื่อการทำงานที่สำคัญต่าง ๆ ภายในร่างกาย

6.3 การสูญเสียน้ำจากร่างกายสัตว์ค่อนข้างคงที่เช่น การสูญเสียน้ำทางปัสสาวะ มูลเหงื่อ และการหายใจ

7. กรดไขมันบางชนิด

สัตว์ต้องการกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพ เพื่อรักษาสุขภาพ กรดไขมันที่สัตว์ต้องการเป็นประเภทกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น linoleic, linolenic และ arachidonic

การเจริญเติบโต (growth)

หมายถึงกระบวนการทางสรีรวิทยาในการเพิ่มกล้ามเนื้อ กระดูก อวัยวะต่าง ๆ (organs) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) การทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงเป็นกุญแจสำคัญในการเลี้ยงสัตว์

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

W_1 = นน. เริ่มต้นของสัตว์

W_2 = นน. สุดท้ายของสัตว์

t_1 = เวลาเริ่มการทดสอบ

t_2 = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเติบโต} = \frac{W_2 - W_1}{W_2}$$

สัตว์จะใช้อาหารที่เหลือจากการดำรงชีพไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยปกติสัตว์อ่อนมักจะมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency) ดีกว่าสัตว์ที่โตแล้ว เพราะสัตว์อ่อนกำลังอยู่ในวัยที่กำลังเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{\text{จำนวนอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{นน.ที่เพิ่มตลอดการศึกษา}}$$

โภชนะต่าง ๆ ที่สัตว์ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต มีดังต่อไปนี้

1. โปรตีน เนื่องจากกล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และกระดูก มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นโปรตีนจึงเป็นโภชนะที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต และต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่เพียงพอตามความต้องการของสัตว์

2. พลังงาน การสร้างเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติ ต้องการพลังงานสุทธิ

3. แร่ธาตุต่าง ๆ เนื่องจากการสร้างกระดูกเป็นกิจกรรรมขั้นแรกของการเจริญเติบโต กระดูกมีธาตุแคลเซียม และธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ดังนั้นแร่ธาตุทั้งสองจึงจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต ส่วนแร่ธาตุอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารและการใช้ประโยชน์จากอาหารก็มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต

4. วิตามินต่าง ๆ วิตามินดีสำคัญสำหรับการสร้างกระดูก วิตามินอื่น ๆ มีหน้าที่สำคัญในขบวนการ metabolism ซึ่งเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการใช้โภชนะอื่น ๆ สำหรับการเจริญเติบโต

5. น้ำ เนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อที่ปราศจากไขมัน มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 79 - 80 % ดังนั้นน้ำจึงเป็นโภชนะที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโต

การเพิ่มไขมันของสัตว์ (fattening)

หมายถึงการสะสมไขมันไว้ในเซลล์หรือระหว่างเซลล์ของร่างกาย ทำให้สัตว์อ้วนขึ้น การสะสมไขมันของสัตว์มี 2 ประเภท

1. Abdominal , intramuscular and subcutaneous deposition เป็นการสะสมไขมันไว้ตามท้อง ระหว่างกล้ามเนื้อ และตามใต้ผิวหนัง

2. Intramuscular deposition เป็นไขมันที่แทรกอยู่ตามเนื้อสัตว์ ซึ่งเรียกว่า marbling

จุดประสงค์ในการทำให้สัตว์อ้วนหรือที่เรียกว่าการขุนสัตว์นั้น ก็เพื่อทำให้เนื้อนุ่มชุ่ม และมีรสดี แต่เนื่องจากการเพิ่มไขมันในสัตว์สิ้นเปลืองเงินทองมาก ฉะนั้น ในการขุนสัตว์ควรขุนให้สัตว์อ้วนอยู่

ในขอบเขตเพียงเพื่อให้เนื้อมีไขมันแทรกเพียงพอสำหรับความนิยมของผู้บริโภคเท่านั้น ไม่ควรขุนสัตว์ให้อ้วนมากเกินไป ความต้องการอาหารเพื่อขุนสัตว์มีดังนี้

1. พลังงานที่ต้องการเป็นพลังงานสุทธิ (net energy) ซึ่งจะได้มาจากอาหารที่ให้พลังงานต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส โปรตีน และไขมัน
2. การขุนสัตว์เป็นการเพิ่มความต้องการโปรตีนมากเกินกว่าความต้องการโปรตีนสำหรับการดำรงชีพและการเจริญเติบโต
3. การขุนสัตว์อาจเพิ่มความต้องการวิตามินต่างๆที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับenergy metabolism
4. อาหารต้องมีโปรตีนเพียงพอ โดยเฉพาะเวลาขุนสัตว์อ่อน
5. อาหารต้องมีแร่ธาตุเพียงพอแก่ความต้องการ

เปรียบเทียบการขุนสัตว์กับการเจริญเติบโต

น้ำหนักเพิ่มของสัตว์ได้มาจากการเจริญเติบโต การขุนสัตว์ และจากน้ำหนักของอาหารและน้ำที่สัตว์ได้รับ การผลิตสัตว์เพื่อให้ได้น้ำหนักเพิ่มไปจากเดิมนั้น พบว่าน้ำหนักเพิ่มที่ได้จากการเจริญเติบโตผลิตได้ในราคาถูกกว่าน้ำหนักเพิ่มที่ได้จากการขุนสัตว์ (เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเพิ่มจำนวนเท่ากัน) น้ำหนักเพิ่มจากการเจริญเติบโตจะอยู่ในรูปเนื้อเยื่อ โปรตีน และกระดูก ส่วนน้ำหนักเพิ่มจากการขุนสัตว์อยู่ในรูปของไขมัน เนื้อเยื่อโปรตีนประกอบด้วยโปรตีน 25 % และน้ำ 75 % โภชนะโปรตีนมีราคาแพง แต่น้ำมีราคาถูก ดังนั้นจึงทำให้น้ำหนักเพิ่มที่ผลิตได้จากการเจริญเติบโตมีราคาถูก การเติบโตของกระดูกต้องการธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสมาก แต่ธาตุทั้งสองมีราคาถูกจึงทำให้น้ำหนักเพิ่มที่ผลิตได้สิ้นเปลืองเงินทองน้อย น้ำหนักเพิ่มจากไขมันโดยทั่วไปผลิตได้ในราคาที่แพง เนื่องจากการสร้างไขมัน 1 กิโลกรัมต้องใช้พลังงานมากกว่าการสร้างโปรตีน 1 กิโลกรัม ถึง 2.25 เท่า

เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักที่ได้จากการเจริญเติบโต มีประสิทธิภาพมากกว่า และผลิตได้ในราคาถูกกว่าเพิ่มน้ำหนักจากการขุนสัตว์ และสัตว์มีอายุยังน้อยมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ผู้ที่ผลิตสัตว์เพื่อหวังให้ได้น้ำหนักเพิ่มมากควรกระทำขณะสัตว์อายุน้อย เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ต่าง ๆ ถูกกว่าการผลิตสัตว์ที่มีอายุมากแล้ว สำหรับสัตว์ที่มีอายุมากจะขุนให้อ้วนได้เร็วกว่าสัตว์อายุน้อย เพราะว่าพลังงานส่วนใหญ่ที่เหลือจากการดำรงชีพถูกนำไปเก็บสะสมเป็นไขมัน

การผลิตนม (milk production)

น้ำนมส่วนใหญ่ได้มาจากโคนม แต่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิดมีการผลิตนมเพื่อใช้เลี้ยงลูก สัตว์บางชนิดมีประสิทธิภาพในการผลิตได้ดีพอ ๆ กับโคนม น้ำนมสัตว์ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ น้ำ (water) และวัตถุแห้ง (dry matter) ส่วนที่เป็นวัตถุแห้งนั้น บางทีก็เรียกว่าส่วนที่เป็น

ของแข็ง (solids) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ไขมันนม (milk - fat) โปรตีน น้ำตาลแลคโตส และแร่ธาตุ โดยเฉลี่ยทั่วไปน้ำนมประกอบด้วยสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ น้ำ 87.25 % และวัตถุแห้ง 12.75 % โดยวัตถุแห้งประกอบด้วย ไขมัน 3.80 % โปรตีน 3.50 % แลคโตส 4.80 % และแร่ธาตุ 0.65 %

เปรียบเทียบส่วนประกอบของน้ำนมสัตว์ชนิดต่าง ๆ

	% น้ำ	**% วัตถุแห้ง**
น้ำนมโค	**87.2**	**12.8**
น้ำนมแกะ	80.8	19.2
น้ำนมแพะ	86.8	13.2
น้ำนมม้า	90.6	9.4
น้ำนมสุกร	79.9	20.1
น้ำนมกระบือ	81.6	18.4
น้ำนมคน	87.8	12.2

การผลิตน้ำนม (milk secretion)

น้ำนมผลิตขึ้นมาโดยต่อมสร้างน้ำนม (mammary glands) ซึ่งอยู่ภายในเต้านมต่อมสร้างน้ำนมประกอบด้วยต่อมกลั่นสร้างน้ำนมเล็ก ๆ เรียกว่า alveolus ต่อมนี้มีขนาดเล็กมากมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ น้ำนมผลิตขึ้นมาภายในต่อมกลั่นสร้างน้ำนม โดยต่อมกลั่นสร้างน้ำนมจะคัดเลือกเอาโภชนะที่ส่งมาตามเลือด แล้วเปลี่ยนโภชนะดังกล่าวให้เป็นส่วนประกอบของน้ำนม โภชนะที่ต้องการใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำนมได้มาจากอาหารที่ให้สัตว์กินเป็นส่วนใหญ่ โภชนะที่สัตว์ต้องการเพื่อใช้ผลิตน้ำนมมีดังต่อไปนี้

1. โปรตีน

ต้องเป็นโปรตีนมีคุณภาพดี ตรงตามความต้องการในการผลิตน้ำนม หากอาหารมีโปรตีนไม่เพียงพอ โปรตีนที่เก็บไว้ตามเนื้อเยื่อจะถูกนำไปสร้างเป็นน้ำนมแทน การขาดโปรตีนเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้การผลิตน้ำนมลดลง

2. พลังงาน

ต้องเป็นพลังงานสุทธิ (net energy) พลังงานอาจได้มาจากอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน หรือจากโปรตีนที่เหลือใช้ภายในร่างกาย สัตว์จะไม่ผลิตนมหรือผลิตน้อยถ้าได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ถ้า

อาหารที่ได้รับมีพลังงานต่ำ สัตว์จะใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายไปผลิตน้ำนม การขาดพลังงานเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้การผลิตนมลดน้อยลง

3. แคลเซียมและฟอสฟอรัส

ได้มาจากอาหารหรือจากอาหารเสริม สัตว์จะไม่ผลิตนมถ้ามีธาตุทั้งสองต่ำ ถ้าสัตว์ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่เพียงพอสัตว์จะถอนเอาแคลเซียม และ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในกระดูกมาใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำนม ซึ่งจะทำให้กระดูกเปราะหักง่าย การขาดแคลเซียมและ / หรือฟอสฟอรัส เป็นเวลานาน ๆ ทำให้การผลิตนมต่ำลง

4. วิตามิน เอ และ / หรือ แคโรทีน

อาจไม่สำคัญเป็นพิเศษสำหรับการผลิตน้ำนม สัตว์สามารถผลิตน้ำนมได้ แม้จะได้รับวิตามินดังกล่าวต่ำ นมที่มีวิตามิน เอ และ / หรือ แคโรทีนสูง เป็นที่ต้องการของตลาด แคโรทีน และ / หรือ วิตามิน เอ สำหรับการผลิตนมได้มาจากอาหาร หรือจากการสะสมไว้ในร่างกาย จำนวนวิตามินเอ และแคโรทีนในน้ำนมจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มวิตามิน เอ และแคโรทีนให้แก่สัตว์

5. วิตามินดี

จากหลักฐานบางแห่งเชื่อได้ว่าวิตามิน ดี จำเป็นสำหรับการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำนม วิตามินดีในน้ำนมสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มวิตามินให้แก่สัตว์ทางอาหาร

6. โซเดียมและคลอรีน (เกลือ)

สำคัญสำหรับการย่อยโภชนะเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำนม ตามปกติน้ำนมจะมีเกลือบางชนิดอยู่

7. แร่ธาตุและวิตามินอื่น ๆ

แร่ธาตุหลายอย่างเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากโภชนะ แร่ธาตุและวิตามินอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับสร้างนมได้มาจาก อาหาร น้ำ หรือจากการสังเคราะห์ของกระเพาะผ้าขี้ริ้วหรือจากการสังเคราะห์ของร่างกาย

การพัฒนาลูกสัตว์ในท้อง (fetal development)

สิ่งสำคัญ 2 ประการ ในการให้อาหารระหว่างการตั้งท้องของสัตว์ มีดังนี้

1. ควรจัดโภชนะเพียงพอสำหรับการพัฒนาของลูกสัตว์และการพัฒนาของเยื่อ การพัฒนาของลูกสัตว์ในท้องเป็นการเจริญเติบโตก่อนที่จะคลอดออกมา ความต้องการโภชนะเพื่อพัฒนาลูกสัตว์ใกล้เคียงกับการเจริญเติบโต โภชนะที่ต้องการ ได้แก่ โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน ดี รวมทั้งโภชนะอื่น ๆ ปริมาณความต้องการโภชนะเพื่อพัฒนาลูกสัตว์เป็นจำนวนไม่มากมายนัก ลูกโคที่เกิดออกมาใหม่ ๆ มีน้ำหนักประมาณ 37 กิโลกรัม จะมีส่วนประกอบที่เป็นวัตถุแห้งเพียง 25 % (ซึ่ง

เท่ากับน้ำหนักแห้งต่ำกว่า 10 กก.) หรือเทียบได้เท่ากับน้ำนมเพียง 75 กิโลกรัมเท่านั้น ถ้าสัตว์ได้รับแคลเซียม ฟอสฟอรัส โปรตีน และ/หรือพลังงานไม่เพียงพอสัตว์จะดึงเอาโภชนะดังกล่าวจากร่างกายไปพัฒนาลูกสัตว์ ถ้าสัตว์ที่ตั้งท้องใหม่ ๆ ได้รับโภชนะไม่เพียงพอ ลูกสัตว์ที่อยู่ในท้องจะไม่พัฒนาหรือหยุดพัฒนา ร่างกายของแม่ จะดูดซึมตัวอ่อนกลับคืนหรือเกิดแท้งลูก

2. ควรจัดอาหารให้แก่สัตว์ระหว่างการอุ้มท้องให้เพียงพอ เพื่อสัตว์จะได้นำเอาโภชนะต่าง ๆ ไปเก็บสำรองไว้ในร่างกาย แล้วสัตว์จะนำอาหารที่เก็บสำรองไว้นั้นมาผลิตเป็นน้ำนมภายหลังคลอดลูก สัตว์เลี้ยงบางตัวมีความสามารถกินอาหาร ย่อยอาหารและใช้อาหาร ให้เพียงพอแก่ความต้องการระหว่างการให้น้ำนมมาก ๆ แต่สัตว์ส่วนมากแล้วมักจะดึงเอาอาหารที่เก็บสำรองไว้ในร่างกายในรูปของไขมัน โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามิน เอ และโภชนะอื่น ๆ มาใช้สร้างผลิตผลดังกล่าว ดังนั้น การให้อาหารระหว่างการตั้งท้องต้องเผื่ออาหารไว้ให้สัตว์ได้เก็บสำรองไว้ใช้ด้วย ตอนปลาย ๆ ของระยะการให้นม โภชนะที่เหลือใช้จะถูกนำไปเก็บสำรองไว้การให้อาหารแก่สัตว์มากเกินไปในระยะปลาย ๆ ของการให้นม มีผลทำให้ลูกสัตว์ในท้องมีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งเป็นปัญหาทำให้คลอดยาก

การผลิตขนสัตว์ (wool production)

ขนสัตว์ประกอบด้วย

1. Wool fiber เป็นส่วนที่ประกอบด้วยโปรตีนบริสุทธิ์ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ส่วนที่เป็น wool fiber มีอยู่ประมาณ 20 – 75 % องค์ประกอบทางเคมี มีดังนี้ C 50 %, N 18 %, S 3 %, H 7 % และ O 22 %

2. Yolk or grease ประกอบด้วย

2.1 Suint สารประกอบของโปแตสเซียมกับกรดอินทรีย์ละลายในน้ำได้มีอยู่ประมาณ 15 –50 %

2.2 Wool fat ส่วนนี้รู้จักในชื่อของ lanolin ซึ่งเป็นสารพวกขี้ผึ้งไม่สามารถละลายในน้ำ มีอยู่ประมาณ 8 – 30 % องค์ประกอบมี C, H และO

ความต้องการอาหารสำหรับการผลิตขนสัตว์

1. โปรตีน ต้องเป็นโปรตีนที่มีธาตุกำมะถัน หรือโปรตีนที่สังเคราะห์ภายกระเพาะผ้าขี้ริ้ว

2. พลังงาน ต้องจัดพลังงานให้แก่แกะมากและเกินความต้องการโปรตีนที่จะเอาไปสร้าง yolk in wool พลังงานต้องเป็นพลังงานสุทธิซึ่งได้มาจากอาหารที่ให้พลังงาน

3. โปแตสเซียม ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ suint ในขนสัตว์ แต่ในอาหารสัตว์โดยทั่วไปมีธาตุโปแตสเซียมเพียงพอแก่ความต้องการ

4. แร่ธาตุและวิตามินอื่น ๆ แร่ธาตุและวิตามินหลายอย่าง สำคัญโดยทางตรงและทางอ้อมในการผลิตขนสัตว์

การสืบพันธุ์ (reproduction)

เป็นการเพิ่มหรือทวีจำนวนสัตว์ให้มากขึ้น การสืบพันธุ์เป็นการผลิตรูปหนึ่ง ก่อนที่สัตว์จะสืบพันธุ์ได้ สัตว์จะต้องสร้างความเป็นหนุ่มเป็นสาว แล้วจึงผลิตไข่และน้ำเชื้อมาผสมกัน

โภชนะเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้สัตว์โตเป็นหนุ่มเป็นสาว (puberty) เพื่อพร้อมที่จะผสมพันธุ์ให้ลูกสืบไป ฉะนั้นจึงจำเป็นที่สัตว์ในระยะผสมพันธุ์ต้องได้รับอาหารตรงความต้องการของร่างกายและต้องมีจำนวนอาหารเพียงพอที่จะใช้สร้างลูกสัตว์ การให้อาหารไม่ถูกต้องแก่แม่พันธุ์ที่อยู่ในระยะผสมพันธุ์ ทำให้ลูกสัตว์ที่เกิดออกมาไม่สมบูรณ์ เลี้ยงยาก สำหรับการให้อาหารแก่พ่อพันธุ์ก็ต้องจัดให้เพียงพอและถูกต้องเพื่อจะให้พ่อพันธุ์มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง (high fertility)

โภชนะสำหรับแม่พันธุ์

1. โปรตีน ความต้องการโปรตีนระหว่างการอุ้มท้องมักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจาก ลูกสัตว์ประกอบไปด้วยโปรตีน ความต้องการโปรตีนมีมากที่สุดระหว่างช่วงที่สามของการตั้งท้อง เพราะในระยะนี้ลูกสัตว์มีการเจริญเติบโตเร็วมากที่สุด โปรตีนที่ต้องการสำหรับการตั้งท้องนอกจากจะมีจำนวนเพียงพอแล้วต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี

2. แคลเซียมและฟอสฟอรัส ต้องมีจำนวนเพียงพอ เพราะลูกสัตว์กำลังเจริญเติบโตต้องการใช้ส่วนประกอบของกระดูก

3. วิตามินเอ หรือแคโรทีน ต้องมีจำนวนเพียงพอแก่ความต้องการ เพราะเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อการสร้างไข่ และสร้างลูกสัตว์ การขาดวิตามิน เอ นอกจากจะกระทบกระเทือนต่อลูกสัตว์ในท้องแล้วยังกระทบกระเทือนต่อนมน้ำเหลือง (colostrum) จะทำให้นมน้ำเหลือง ขาดวิตามิน เอ หรือแคโรทีน

4. วิตามิน ดี วิตามิน อี และวิตามินอื่น ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของ embryo

5. แร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ไอโอดีน เหล็ก ทองแดง และโคบอลต์ จำเป็นสำหรับบางท้องที่ซึ่งอาจขาดธาตุใดธาตุหนึ่ง ผู้เลี้ยงจะต้องจัดธาตุที่ขาดให้แก่สัตว์

โภชนะสำหรับพ่อพันธุ์

สัตว์ที่ใช้เป็นพ่อพันธุ์ควรได้รับการเลี้ยงดูให้อยู่ในสภาพที่ดี มีอำนาจในการผสมพันธุ์ หรือมีความสมบูรณ์พันธุ์สูง ฉะนั้นต้องจัดให้พ่อพันธุ์ได้รับอาหารตรงตามความต้องการและมีจำนวนอาหารเพียงพอ อาหารที่พ่อพันธุ์ต้องการเช่น โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินต่าง ๆ

การผลิตแรงงาน (Work Production)

แรงงานจากสัตว์ยังมีความจำเป็นสำหรับประเทศที่มีอาชีพทางการเกษตร แรงงานของสัตว์เป็นการเคลื่อนไหวของสัตว์ ประเภทของแรงงานมีดังนี้

1. Involuntary เช่นการทำงานของหัวใจและอวัยวะที่สำคัญ involuntary เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการดำรงชีพ
2. Voluntary เช่นแรงงานที่ใช้สำหรับการพักผ่อน

โภชนะที่ต้องการสำหรับแรงงานมีดังนี้

1. พลังงาน ต้องเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานสุทธิ พลังงานสำหรับแรงงานต้องมากกว่าและเหนือกว่าพลังงานที่ต้องการเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ พลังงานสำหรับแรงงานได้มาจากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ / หรือ โปรตีนที่เหลือใช้ ถ้าพลังงานที่ได้รับจากอาหารไม่เพียงพอ สัตว์จะดึงเอาไขมันที่เก็บไว้ในร่างกายมาใช้

2. โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน ความต้องการโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินสำหรับการทำงานของสัตว์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโปรตีนจำเป็นในการสร้างน้ำย่อย ฮอร์โมน สัตว์ที่ใช้แรงงานจึงขาดโปรตีนไม่ได้สัตว์ต้องการธาตุโซเดียม คลอรีน ซึ่งจะสูญเสียทางเหงื่อ ธาตุเหล็กสูญเสียเนื่องจากเม็ดเลือดมีการแตกสลาย ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยวิตามิน ต้องมีเพียงพอ เพราะถูกใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย ส่วนวิตามิน เอ ดี และ เค ต้องการเพิ่มไม่มากนัก

การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อสัตว์ (muscle contraction) เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ดังนี้

เซลล์ของสัตว์จับพลังงานน้ำตาลกลูโคส (glucose) ในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) โดย ATP ได้มาจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของ ADP (adenosine diphosphate) กับ inorganic phosphate ($HPO^{=}_{4}$) ดังสมการ

$$ADP + HPO^{=}_{4} + \text{energy} \longrightarrow ATP$$

ATP + muscle protein ⟶ muscle contraction + ADP

ตารางที่ 18 สรุปความต้องการโภชนะสำหรับการผลิตสัตว์

	พลังงาน	**โปรตีน**	**แคลเซียม**	**ฟอสฟอรัส**	**วิตามินเอ**	**วิตามินดี**	**แร่ธาตุอื่น ๆ**	**วิตามินอื่น ๆ**
การดำรงชีพ	/	/	/	/	/	/	/	/
การเจริญเติบโต	/ ส่วนใหญ่จากโปรตีน	/	/	/	/	/	/	/
การขุน	/	/ ต้องการเพียงเพื่อการย่อย	□	□	possibly	□	probably	probably
การผลิตนม	/	/	/	/	/ ไม่ต้องการแต่อยากให้มีในน้ำนม	/ ต้องการน้อยมาก	/ ต้องการน้อยมาก	/ ต้องการน้อยมาก
การพัฒนาลูกสัตว์	/ ส่วนใหญ่จากโปรตีน	/	/	/	/	/	probably	probably
การผลิตขนสัตว์	/	□	□	□	□	□	/ โดยเฉพาะธาตุกำมะถัน	probably
การผลิตแรงงาน	/	/ เล็กน้อย	□	□	Possibly	□	/	/

หมายเหตุ : / = ต้องการ □ = ไม่ต้องการ

บทที่ 7

สรีระวิทยา การย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในร่างกายสัตว์

ทางเดินอาหาร (digestive tract or alimentary canal)

ทางเดินอาหารคือส่วนของร่างกายที่อาหารผ่านไป เริ่มตั้งแต่ปากและไปสิ้นสุดที่ทวารหนัก ทางเดินอาหารบางตอนมีลักษณะเป็นถุง แต่บางตอนมีลักษณะเป็นท่อ พื้นผนังมี mucous membrane บุอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันมิให้ทางเดินอาหารถูกย่อยโดยน้ำย่อย ผนังบางตอนของทางเดินอาหารมีช่องเปิดให้น้ำย่อยจากตับอ่อนและน้ำดีจากตับเข้ามาทำการย่อยอาหาร และช่วยในการย่อยอาหารตามลำดับ

หน้าที่ของทางเดินอาหาร มีหน้าที่ใหญ่ๆ 5 ประการ ดังนี้

1. การรับอาหาร (ingestion)
2. การบดอาหาร (grinding)
3. การย่อยอาหาร (digestion)
4. การดูดซึมอาหาร (absorption)
5. การขจัดของเสียเช่นมูลสัตว์ (elimination of solid wastes)

ส่วนต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร

1. ปาก (mouth)
2. คอหอย (pharynx)
3. หลอดคอ (esophagus)
4. กระเพาะ (stomach)
5. ลำไส้เล็ก (small intestine)
6. ลำไส้ใหญ่ (large intestine)
7. ทวารหนัก (anus)

ต่อมหรืออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร (glands or organs)

เป็นต่อมหรืออวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร เช่น ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง หรือสร้างน้ำย่อยหรือสารเคมีที่ช่วยในการย่อยอาหาร ต่อมหรืออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหารมีดังนี้ คือ ฟัน (teeth) ลิ้น (tongue) ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ตับ (liver) และตับอ่อน (pancreas)

1. ปาก (mouth)

เป็นส่วนรับประทานอาหารและบดอาหารรวมไปถึงการคลุกเคล้าอาหารให้เข้ากับน้ำลายเพื่อสะดวกในการกลืน ในบริเวณปากของสัตว์บางชนิดจะมีต่อมสำหรับกลั่นสร้างน้ำลาย (saliva) ต่อมนี้เรียกว่าต่อมน้ำลาย (salivary glands) ต่อมน้ำลายชนิดผลิตน้ำย่อย salivary amylase หรือบางทีเรียกว่า ptyalin ซึ่งช่วยย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งหรือ maltose ให้เป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) หน้าที่ของปากและอวัยวะที่เกี่ยวข้อง (ลิ้นและฟัน) ยังมีหน้าที่รวมไปถึงการจับอาหาร การบดเคี้ยวอาหาร

2. คอหอย (pharynx)

เป็นทางผ่านของอาหารและอากาศ พื้นผนังของคอหอยมี mucous membrane บุอยู่ และถูกล้อมรอบด้วยกล้ามเนื้อ จากคอหอยมีช่องทางเปิดไปสู่ปาก ไปสู่หลอดคอ และไปสู่ด้านบนของรูจมูก

3. หลอดคอ (esophagus)

เป็นท่อยาวที่เชื่อมต่อระหว่างคอหอยและกระเพาะ หลอดคอมีกล้ามเนื้อหุ้ม กล้ามเนื้อนี้มีคุณสมบัติยืดตัวและหดตัวในลักษณะเป็นลูกคลื่น (peritalsis) เพื่อบีบไล่อาหารให้ผ่านจากหลอดคอไปสู่กระเพาะ

4. กระเพาะ (stomach)

เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างหลอดคอและลำไส้เล็ก กระเพาะเมื่ออยู่ในลักษณะว่างเปล่าจะมีรูปคล้ายตัวเจ แบ่งกระเพาะสัตว์เป็น 2 ชนิด คือ กระเพาะรวม (compound stomach) ซึ่งเป็นกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (โค กระบือ แพะ แกะ และอูฐ) และกระเพาะเดี่ยว (simple stomach) ซึ่งเป็นกระเพาะของสัตว์พวกสุกร คน ม้า และไก่

4.1 กระเพาะรวม (compound stomach) มีลักษณะเป็นถุง 4 ถุง คือ

4.1.1 กระเพาะผ้าขี้ริ้วหรือกระเพาะที่หนึ่ง (rumen or paunch)

เป็นกระเพาะที่มีขนาดใหญ่มาก จึงมีความจุมาก จุได้ถึง 80% ของปริมาตรของกระเพาะทั้ง 4 ถุงรวมกัน หรือจุได้ถึง 40 แกลลอน ลักษณะภายในมีลักษณะคล้ายผ้าขี้ริ้ว มีแถบของกล้ามเนื้อเรียกว่า pillars ทำหน้าที่แบ่งกระเพาะผ้าขี้ริ้วออกเป็น 4 ตอน คือ dorsal sac 1 ตอน ventral sac 1 ตอน และ posterior sacs 2 ตอน นอกจากทำหน้าที่แบ่งกระเพาะออกเป็นตอนๆ แล้ว pillars ยังทำหน้าที่บังคับให้อาหารภายในกระเพาะหมุนเวียนไปมาเพื่อให้อาหารผสมคลุกเคล้าเข้ากับน้ำภายในกระเพาะ พื้นผนังของกระเพาะนี้มีอวัยวะคล้ายนิ้วมือบุอยู่เรียกอวัยวะนี้ว่า papillae หน้าที่ของ papillae คือ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของกระเพาะให้มีมากขึ้น เพื่อให้มีการดูดซึมอาหารให้ได้มากขึ้น กระเพาะที่หนึ่งไปอยู่ทางด้านซ้ายของช่องท้อง ภายในกระเพาะจะมีจุลินทรีย์ (microorganisms) เช่น แบคทีเรีย (bacteria) และโปรโตซัว (protozoa) จุลินทรีย์พวกนี้อาศัยอยู่แบบพึ่งพาอาศัย (symbiotic relationship) อุณหภูมิภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว 38 ─ 42 ^{o}C ระดับ pH 6 ─ 7, และค่าของ Eh (oxidation ─ reduction potential) - 250 ถึง ─ 450 Mv เมื่อลูกสัตว์มีขนาดเล็กกระเพาะ rumen ยังไม่ขยายใหญ่จึงใช้งานยังไม่ได้ น้ำนมที่ลูกสัตว์กินจะผ่านตรงไปยัง

กระเพาะที่สามและที่สี่ แต่เมื่อลูกสัตว์ (ลูกโค) อายุได้ 4 — 6 สัปดาห์ กระเพาะ rumen จะขยายใหญ่ขึ้น แต่จะทำงานได้เต็มที่เหมือนกระเพาะของโคใหญ่ก็ต่อเมื่อลูกโคอายุได้ 1 ปีขึ้นไป เนื่องจากพื้นผนังกระเพาะผ้าขี้ริ้ว ไม่มีต่อมกลั่นสร้างน้ำย่อย ฉะนั้นจึงผลิตน้ำย่อยไม่ได้ การย่อยอาศัยจุลินทรีย์ หน้าที่ของกระเพาะที่หนึ่งมีดังนี้

1) เป็นที่พักอาหาร (storage place) อาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปเช่น หญ้า ตอนแรกสัตว์จะมีการเคี้ยวพอให้กลืนลงสู่กระเพาะผ้าขี้ริ้วเท่านั้น อาหารพวกนี้จะถูกส่งกลับขึ้นมายังปากเพื่อทำการเคี้ยวให้ละเอียดอีกทีหนึ่ง

2) เป็นที่หมักบูดอาหารโดยจุลินทรีย์ (place for fermentation) เนื่องจากกระเพาะผ้าขี้ริ้วมีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต การขยายตัวของจุลินทรีย์ เช่น การไหลเข้าของน้ำและอาหารเป็นไปอย่างคงที่ อุณหภูมิและระดับ pH เหมาะสม มีความชื้นคงที่ และมีแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ใกล้เคียงกับความดันของเลือด จุลินทรีย์ดังกล่าวมีหน้าที่ ดังนี้

2.1) ช่วยย่อยอาหารเยื่อใย (crude fiber) เนื้อเยื่อของพืชประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตประมาณ 75% ส่วนใหญ่คาร์โบไฮเดรตที่พบในหญ้าหรือพืชอาหารสัตว์จะเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกเยื่อใย พวกเยื่อใยจะมี cellulose เป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ อาหารพวกเยื่อใยไม่มีน้ำย่อยในทางเดินอาหารย่อยได้ แต่จุลินทรีย์มีความสามารถผลิตน้ำย่อยขึ้นมาเพื่อทำการย่อย ผลผลิตที่ได้จากการย่อยอาหารพวกเยื่อใยโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ acetic acid, propionic acid, butyric acidซึ่งกรดเหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะผ้าขี้ริ้วเข้าสู่สายเลือด

2.2) ช่วยสังเคราะห์โปรตีน จุลินทรีย์สามารถสร้าง กรดอะมิโน จากสารที่ไม่ใช่โปรตีน แต่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้ โปรตีนที่สร้างขึ้นมาจะเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ตายก็ถูกย่อยโดยสัตว์เคี้ยวเอื้อง นำโปรตีนที่ย่อยได้นั้นไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกายอีกทีหนึ่ง ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องจัดโปรตีนที่มีคุณภาพให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

3) ช่วยสร้างวิตามินบีรวม (B-Complex vitamins) จุลินทรีย์สร้างวิตามินบีรวม เช่น thiamine, riboflavin, niacin, pantothenic acid, pyridoxin, cyanocobalamin และอื่นๆ ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องจัดวิตามินบีรวมให้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้อง

การหมักบูดอาหาร (fermentation) โดยจุลินทรีย์ทำให้เกิดแก๊ส CO_2, methane (CH_4) และ ammonia ซึ่งแก๊สทั้งสามชนิดนี้จะเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้มี H, H_2S, และ CO เกิดขึ้นเป็นจำนวนน้อย ปกติแก๊สเหล่านี้จะออกจากร่างกายโดยการเรอ (belching) ของสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งสัตว์ไม่สามารถขับแก๊สออกจากร่างกาย ก็จะทำให้สัตว์เป็นโรคท้องอืด (bloat) ได้

ในการสังเคราะห์วิตามินบีรวมและโปรตีนโดยจุลินทรีย์มีความต้องการโภชนะจากอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องอยู่ตลอดเวลา อาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ คือ

1) อาหารที่ให้พลังงาน
2) อาหารที่ให้แอมโมเนีย เช่น โปรตีน ยูเรีย เกลือแอมโมเนีย (ammonia salts)
3) แร่ธาตุที่ต้องการมาก เช่น โซเดียม, โปแตสเซียมและฟอสฟอรัส
4) โคบอลท์หรือแร่ธาตุที่ต้องการน้อยมากชนิดอื่นๆ (trace minerals)
5) ปัจจัยสำหรับการเติบโต (growth factors) เช่น branched ─ chain volatile fatty acids.

4.1.2 กระเพาะรังผึ้ง หรือกระเพาะที่สอง (reticulum or honeycomb)

กระเพาะรังผึ้งวางตัวอยู่ข้างหน้ากระเพาะผ้าขี้ริ้ว โดยธรรมชาติ กระเพาะผ้าขี้ริ้วและกระเพาะรังผึ้งไม่ได้ถูกกันแบ่งกันอย่างเด็ดขาด ดังนั้น จึงทำให้อาหารจากกระเพาะทั้งสองผ่านไปหากันได้อย่างอิสระ พื้นผนังของกระเพาะรังผึ้งมีลักษณะรูปแอ่งหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง หน้าที่หลักของกระเพาะรังผึ้งคือ ทำหน้าที่กรองอาหาร กระจายอาหาร และช่วยในการเคลื่อนอาหารระหว่างกระเพาะ rumen กับหลอดคอ และกระเพาะที่สามในระหว่างทำการเคี้ยวเอื้อง วัตถุหนักๆ เช่น ตะปู ลวด ที่สัตว์ได้รับพร้อมอาหารมักตกค้างอยู่ที่กระเพาะนี้ แต่เนื่องจากกระเพาะรังผึ้งอยู่ใกล้หัวใจ หากของมีคมดังกล่าวแทงทะลุกระเพาะนี้ก็จะไปถูกหัวใจ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สัตว์ตายได้ เรียกโรคนี้ว่า hardware stomach กระเพาะที่สองไม่มีการสร้างน้ำย่อย

4.1.3 กระเพาะสามสิบกลีบหรือกระเพาะที่สาม (omasum or manyplies)

มักจะเรียกกระเพาะที่สามแทนที่จะเรียกกระเพาะสามสิบกลีบ เนื่องจากกระเพาะที่สามมีลักษณะเป็นกลีบหรือหลีบ จำนวนมากคล้ายกับกลีบของกะหล่ำปลี จำนวนกลีบมีมากเกินกว่าสามสิบกลีบ ความรู้ความเข้าใจถึงหน้าที่ที่แท้จริงของกระเพาะที่สามยังมีน้อย ปัจจุบันเชื่อว่าหน้าที่ของกระเพาะที่สาม คือ ทำการลดจำนวนน้ำที่มีอยู่ในอาหาร และทำหน้าที่บดขยี้อาหารที่ยังเป็นก้อนให้กระจายและหลวมตัว เพื่อส่งให้กระเพาะที่สี่ กระเพาะที่สามไม่มีน้ำย่อยเช่นเดียวกัน

4.1.4 กระเพาะที่สี่ หรือกระเพาะจริง (abomasum or true stomach)

กระเพาะนี้มีลักษณะเหมือนกระเพาะเดี่ยว เป็นกระเพาะที่มีต่อม (glandular portion) เช่น ต่อมกลั่นสร้างน้ำย่อย การวางตัวของกระเพาะที่สี่วางตัวอยู่ใต้กระเพาะที่สาม ตรงรอยต่อระหว่างส่วน pyrolus ของกระเพาะที่สี่กับลำไส้เล็กมีกล้ามเนื้อ sphincter muscle น้ำย่อยที่ผลิตจากกระเพาะนี้ได้แก่ pepsin, rennin และ HCl สภาพของอาหารที่ผ่านไปจากกระเพาะที่สี่จะมีสภาพเป็นของเหลว ของเหลวดังกล่าวจะถูกส่งไปยังลำไส้เล็ก เพื่อทำการย่อยและดูดซึมต่อไป

4.2 กระเพาะเดี่ยว (single or simple stomach)

เป็นกระเพาะของคน ม้า และสุกร กระเพาะแบบนี้เป็นถุงเดียว ตั้งอยู่ทางด้านหลังไปทางซ้ายของกระบังลม (diaphragm) กระบังลมเป็นแผ่นกล้ามเนื้อทำหน้าที่กั้นแบ่งหน้าอก (thoracic) และช่องท้อง (abdominal cavity) ตรงรอยต่อระหว่างหลอดคอและกระเพาะมีกล้ามเนื้อวงแหวนเรียกว่า sphincter

muscle เมื่อกล้ามเนื้อนี้หดตัวจะทำหน้าที่ปิดทางเข้าของกระเพาะ ตามปกติปากทางเข้าของกระเพาะจะปิดอยู่เสมอ เพื่อป้องกันมิให้ของที่อยู่ในกระเพาะไหลย้อนกลับขึ้นสู่หลอดคอ โดยเฉพาะในขณะที่กระเพาะมีการเคลื่อนไหวระหว่างการย่อยอาหาร ปากทางเข้าของกระเพาะจะเปิดก็ต่อเมื่อมีการยืดหดตัวแบบลูกคลื่นของหลอดคอเพื่อขับอาหารให้ลงสู่กระเพาะ กระเพาะเดี่ยวแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ cardia (ทางเข้า), esophageal, fundus และ pylorus (ทางออก) cardia และ pylorus เป็นกล้ามเนื้อ sphincter ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการไหลของอาหารภายในกระเพาะ esophageal region มีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ และเป็นส่วนไม่มีต่อม fundus region เป็นส่วนที่มีต่อมสำหรับผลิตกรดเกลือ (HCl) และน้ำย่อย pepsin ส่วนสุดท้ายของกระเพาะเดี่ยวเรียกว่า pylorus เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับส่วนต้นของลำไส้เล็ก (duodenum) ซึ่งpylorus มีหน้าที่สร้างน้ำย่อย pepsin และ rennin หน้าที่โดยทั่วไปของกระเพาะเดี่ยว คือ ทำหน้าที่ย่อยอาหารและเป็นที่พักอาหารชั่วคราว ความจุอาหารของกระเพาะเดี่ยวแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ เช่น กระเพาะของม้าจุได้ 3 ─ 4.75 แกลลอน ของสุกรจุได้ 2.125 แกลลอน

5. ลำไส้เล็ก (small intestine)

ลำไส้เล็กเป็นท่อยาวมาก ขดไปมาและเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากกระเพาะลงไป แบ่งลำไส้เล็กออกได้เป็น 3 ตอน คือ

5.1 ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) อยู่ติดกับผนังของร่างกาย ท่อที่มาจากตับและตับอ่อนเปิดเข้าสู่ส่วนนี้ของลำไส้ ลักษณะของ duodenum จะเป็นรูปคล้ายตัวซี duodenum ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ descending, transverse และascending หากส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าพื้นผนังของ duodenum ประกอบด้วย

1) Villi เป็นอวัยวะคล้ายนิ้วมือ ซึ่งมีหน้าที่ช่วยให้พื้นที่ผิวของการดูดซึมอาหารมีมาก

2) Intestinal glands เป็นต่อมที่มีหน้าที่กลั่นสร้างน้ำย่อย

3) Brunner's glands เป็นต่อมซึ่งมีหน้าที่กลั่นสร้างด่างซึ่งข้นและเหนียว

5.2 ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) เป็นส่วนที่เริ่มต้นตรงจุดที่เรียกว่า mesentery โดย jejunum ไม่ได้แยกตัวออกอย่างเด่นชัดจากส่วน duodenum และ ileum

5.3 ลำไส้เล็กส่วนปลาย (ileum) เป็นลำไส้ส่วนที่อยู่เชื่อมติดต่อกับ jejunum โดยไม่มีเส้นแบ่งแยกชัดเจนเช่นเดี่ยวกัน ในกรณีของม้า ileum จะไปเชื่อมต่อกับไส้ติ่ง ส่วนสัตว์อื่น ileum จะไปเชื่อมต่อกับไส้ติ่งและ colon

ลำไส้เล็กมีความยาวและมีความจุแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ เช่น ลำไส้เล็กของสุกรยาวประมาณ 15 ─ 21 เมตร และมีความจุประมาณ 2 ─ 5 แกลลอน ส่วนลำไส้เล็กของโคยาว 27 ─ 49 เมตร และมีความจุประมาณ 14.7 แกลลอน ลำไส้เล็กของม้ายาว 19 ─ 30 เมตร และลำไส้เล็กของแกะยาว 18 ─ 35 เมตร

6. ลำไส้ใหญ่ (large intestine)

แบ่งลำไส้ใหญ่ออกได้เป็น 3 ตอน

1) ไส้ติ่ง (cecum) เป็นถุงปิด เป็นส่วนแรกมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ในสุกรไส้ติ่งมีหน้าที่ไม่สู้สำคัญมากนัก

2) Colon เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลาง และเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของลำไส้ใหญ่ colon ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ ascending, transverse และ descending ส่วนที่เป็น descending colon จะไปสิ้นสุดที่ rectum และ anus

3) Rectum เป็นส่วนปลายของลำไส้ใหญ่ มีช่องเปิดออกสู่ทวารหนัก

หน้าที่ของลำไส้ใหญ่

(1) เป็นส่วนที่ดูดซึมน้ำ

(2) เป็นที่พักของอาหารที่ไม่ถูกย่อย

(3) เป็นที่หมักบูดของจุลินทรีย์ (bacterial fermentation) เพื่อสังเคราะห์วิตามินบีรวม บางชนิดและวิตามิน เค และแบคทีเรียบางชนิดทำการย่อยอาหารที่มีเยื่อใยนอกจากนี้ก็จะสังเคราะห์โปรตีนได้บ้าง

เนื่องจากลำไส้ใหญ่ของสัตว์แตกต่างกันมาก (โดยเฉพาะส่วนที่เป็น ascending colon) ฉะนั้น จึงจำเป็นจะต้องแยกอธิบายเป็นสัตว์แต่ล่ะชนิดดังนี้

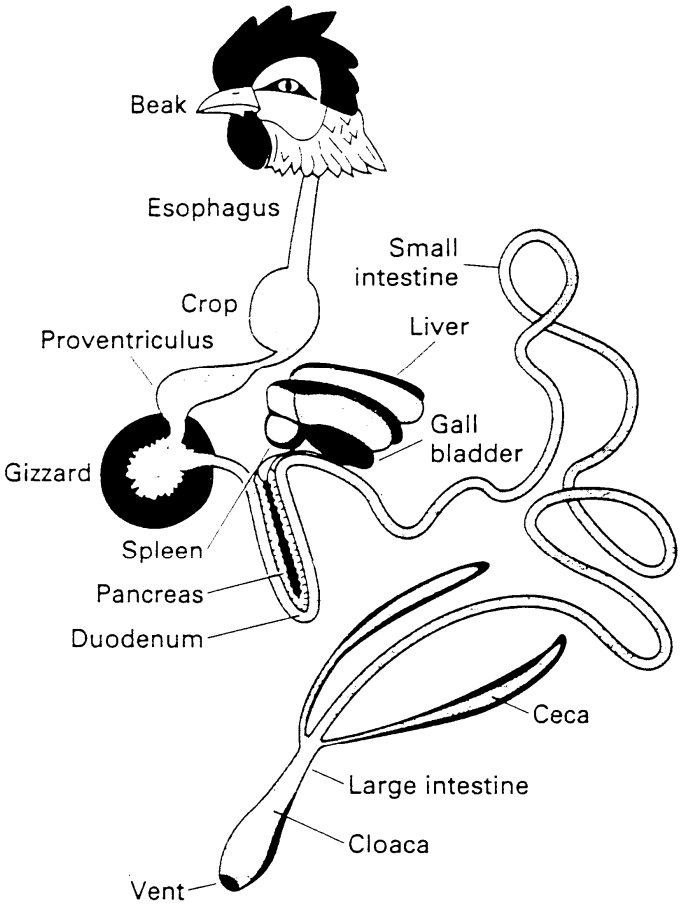
6.1 ลำไส้ใหญ่ของม้า ในบรรดาสัตว์เลี้ยงด้วยกันม้าเป็นสัตว์ที่มีลำไส้ใหญ่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากที่สุด มีความจุประมาณมากกว่า 60% ลำไส้ใหญ่ของม้าแบ่งออกได้ คือ cecum, large colon, small colon และ rectum โดยเฉพาะส่วน cecum และ large colon มีแบคทีเรียซึ่งมีจำนวนใกล้เคียงกับจำนวนจุลินทรีย์ภายในกระเพาะ rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียที่อยู่ตามส่วนดังกล่าวของลำไส้ใหญ่ของม้าจะทำหน้าที่ย่อย cellulose และอาหารและคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ซึ่งทำให้ได้กรดไขมันระเหยได้ (VFA เช่น acetic, propionic, butyric acids) นอกจากนี้แบคทีเรียยังสังเคราะห์วิตามินบีรวมและโปรตีน การดูดซึม VFA จะเกิดขึ้นบ้างที่ cecum ส่วน small colon เป็นส่วนที่ดูดซึมน้ำจาก intestinal contents อีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากลำไส้ใหญ่ของม้ามักจะขยายตัวอยู่เสมอ เนื่องจากมีอาหารเข้าไป ฉะนั้น การแน่นของลำไส้จึงเกิดขึ้นได้ง่าย

6.2 ลำไส้ใหญ่ของสุกร ลำไส้ใหญ่ของสุกรแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ cecum, colon และ rectum ลำไส้ใหญ่ของสุกรมีหน้าที่ดังต่อไปนี้ เป็นที่ดูดซึมน้ำ ขับแร่ธาตุบางอย่าง เช่น แคลเซียม เป็นที่พักของอาหารที่ไม่ถูกย่อย และเป็นที่หมักบูดอาหาร โดยการกระทำของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าว สามารถสังเคราะห์วิตามินบีรวมบางชนิด และวิตามิน เค และแบคทีเรีย สามารถทำการย่อยอาหารที่มีเยื่อใยได้ และสังเคราะห์โปรตีนได้บ้าง

6.3 ลำไส้ใหญ่ของสัตว์ปีก มีขนาดสั้น (2 — 3 นิ้ว) แต่ประกอบด้วยไส้ติ่ง (cecum) 2 อัน ซึ่งมีลักษณะเป็นถุงปิด ลำไส้ใหญ่ของสัตว์ปีกเป็นที่สำหรับดูดซึมน้ำ ย่อยอาหารเยื่อใยได้บ้าง เป็นที่สังเคราะห์วิตามินบีรวม โดยอาศัยการกระทำของแบคทีเรีย แต่ปริมาณที่สังเคราะห์ได้ มีปริมาณน้อย

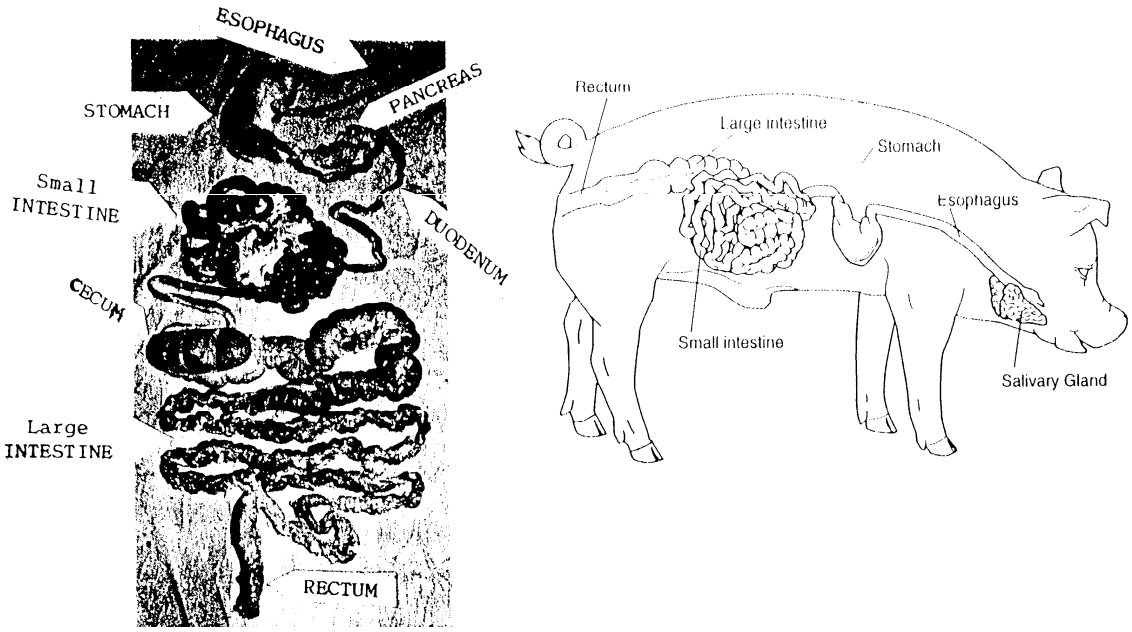
6.4 ลำไส้ใหญ่ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ลำไส้ใหญ่ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีลักษณะและทำหน้าที่คล้ายของสุกร

ดังนั้นระบบทางเดินอาหารของสัตว์แต่ละชนิดก็จะคล้ายคลึงกัน อาจจะมีมีบางส่วนที่แตกต่างกันบ้าง เช่น ในสัตว์ปีกจะไม่มีฟัน ไม่มีแก้มเหมือนสัตว์ชนิดอื่น แต่จะมีกระเพาะพัก และกึ๋นซึ่งในสัตว์ชนิดอื่นไม่มี โดยระบบทางเดินอาหารของสัตว์แต่ล่ะชนิดแสดงในภาพที่ 1- 4



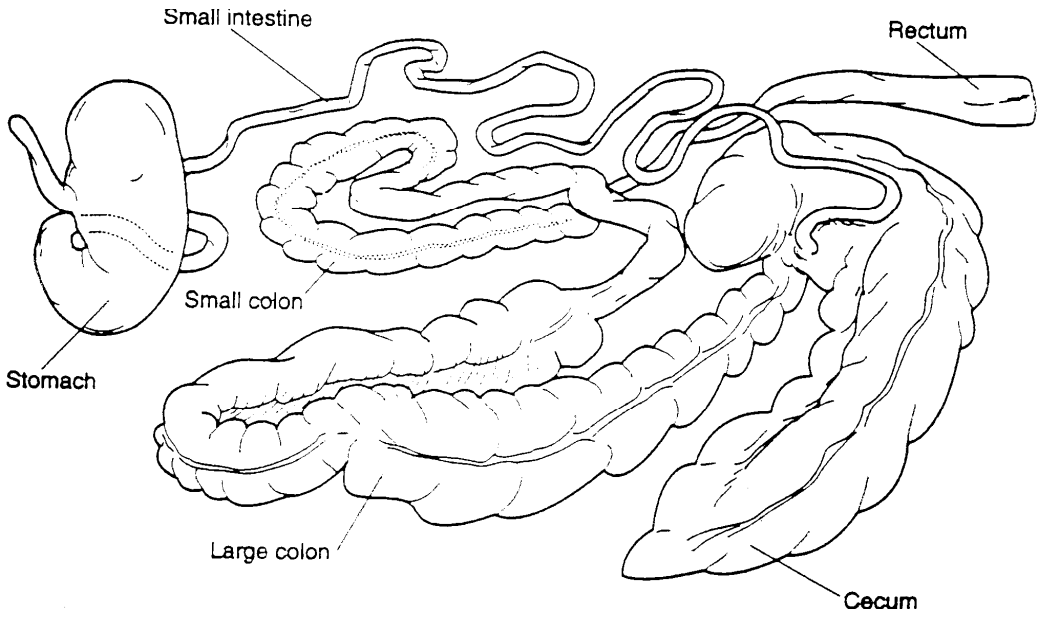
ภาพที่ 1 ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

ที่มา: Taylor, 1995



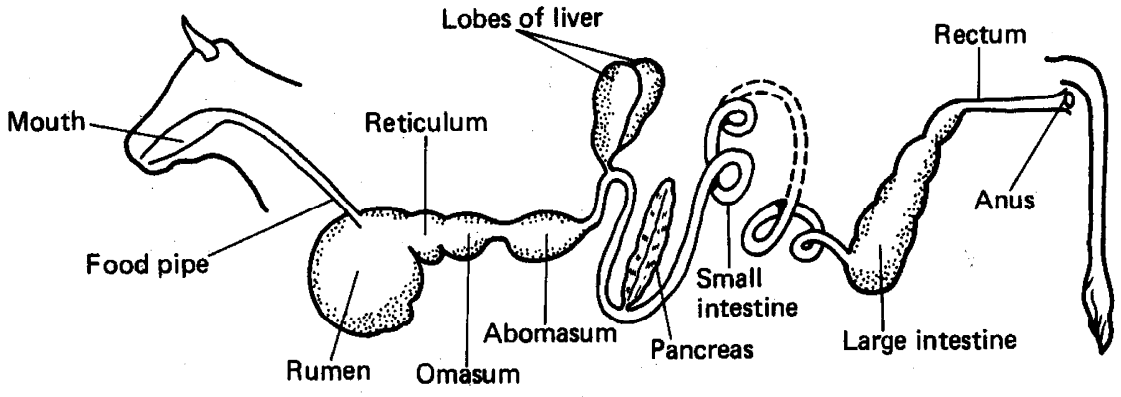
ภาพที่ 2 ระบบทางเดินอาหารของสุกร

ที่มา: Herren, 1994 และ Pond *et al*., 1995



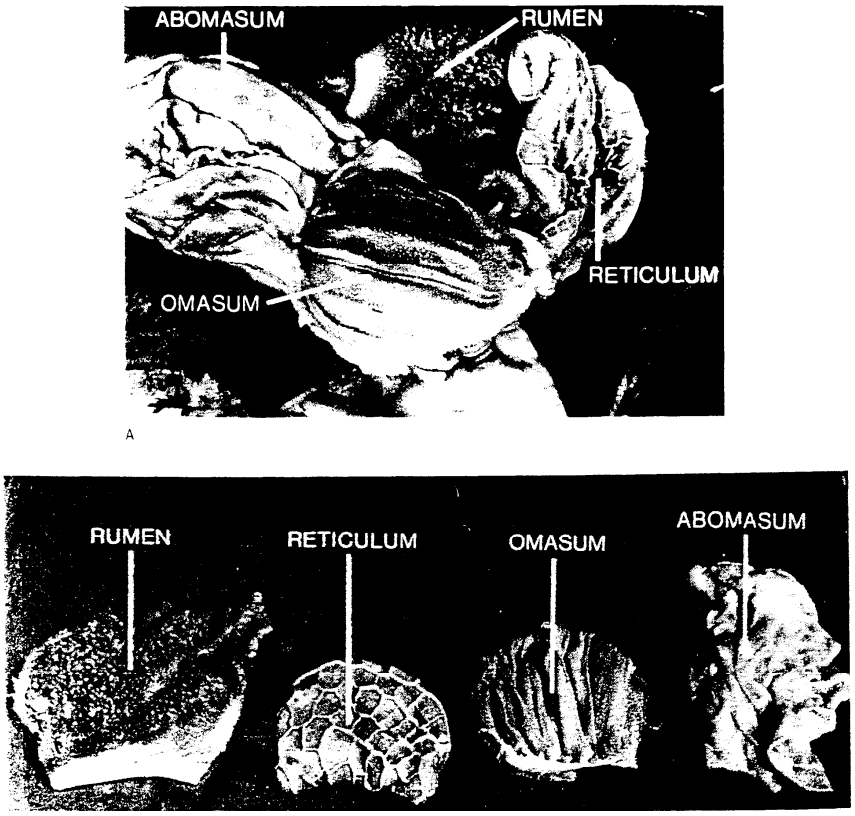
ภาพที่ 3 ระบบทางเดินอาหารของม้า

ที่มา: Pond *et al*., 1995



ภาพที่ 4 ระบบทางเดินอาหารของโคที่โตเต็มที่

ที่มา: Taylor, 1995



ภาพที่ 5 ผนังภายในของกระเพาะโคแต่ล่ะส่วน

ที่มา: Taylor, 1995

การย่อยอาหาร (digestion)

หมายถึง ขบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารที่สัตว์กินเข้าไปให้มีขนาดเล็กลง และให้อยู่ในสภาพสารละลายที่ร่างกายสามารถดูดซึมเอาไปใช้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ขบวนการย่อยอาหารของสัตว์แบ่งออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ

1. การย่อยทางกล (mechanical digestion) ได้แก่ การบดเคี้ยวอาหารภายในปาก เพื่อให้อาหารมีขนาดเล็กลงโดยอาศัยปาก ฟัน และอวัยวะที่เกี่ยวข้อง การย่อยวิธีนี้รวมไปถึงการบีบตัวหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อทำการบีบนวดอาหาร การย่อยอาหารภายในกึ๋นของไก่ (gizzard)

2. การย่อยทางเคมี (chemical digestion) เป็นการย่อยโดยอาศัยน้ำย่อยที่ผลิตขึ้นมาจากทางเดินอาหารหรือจากส่วนอื่นของร่างกาย และรวมไปถึงการใช้น้ำดี (Bill) และกรดเกลือ (HCL)

3. การย่อยโดยจุลินทรีย์ (microbial digestion) เป็นการย่อยโดยอาศัยจุลินทรีย์ (microorganisms) ซึ่งได้แก่แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protosoa) จุลินทรีย์จะทำการหมักบูดอาหาร (fermentation) การย่อยแบบนี้เกิดขึ้นมากที่กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องและตรงไส้ติ่งกับลำไส้ใหญ่ของสุกร ม้า เป็ด และไก่

ผลผลิตขั้นสุดท้ายของการย่อยอาหาร (end products of digestion)

ผลผลิตขั้นสุดท้าย หมายถึงรูปหรือสภาพของอาหารที่ถูกเปลี่ยนจนกระทั่งอยู่ในสภาพที่จะถูกดูดซึมผ่านทางเดินอาหารเพื่อร่างกายจะได้ดูดซึมน้ำไปใช้ได้ ผลผลิตขั้นสุดท้ายของอาหารมีดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงผลผลิตขั้นสุดท้ายในระบบทางเดินอาหาร

โภชนะ (Nutrient)	ผลผลิตขั้นสุดท้าย (End products)
โปรตีน (Protein)	กรดอะมิโน (Amino acids)
แป้ง (Stanch)	กลูโคส (Glucosc)
น้ำตาลซูโครส (Sucrose)	กลูโคสและฟรุคโตส (Glucose and fructose)
น้ำตาลแลคโตส (Lactose)	กลูโคสและกาแลคโตส (Glucose and galactose)
เซลลูโลส (Cellulose)	กรดอินทรีย์และเกลือของกรดอินทรีย์ (Organic acids and Salts of organic acids)

ไขมัน (Fats) แร่ธาตุ (Minerals) วิตามิน (Vetamins)	***กรดไขมันและกลีเซอรอล (Fatty acids and glycerol)*** สารละลาย (any soluble form) สารละลาย (any soluble form)

หมายเหตุ : Fructose และ Galactose จะถูกเปลี่ยนให้เป็น Glucose เสียก่อน ก่อนที่จะมีการดูดซึม

น้ำย่อย (Enzymes)

น้ำย่อยเป็น Organic catalysts ส่วนใหญ่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ น้ำย่อยแต่ละชนิดมีหน้าที่เฉพาะที่จะทำการย่อยอาหารเป็นเฉพาะอย่างไป (ยกตัวอย่างเช่นน้ำย่อยที่ย่อยโปรตีนก็จะทำการย่อยเฉพาะอาหารพวกโปรตีนเท่านั้น จะไม่ไปทำการย่อยอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและอาหารพวกไขมัน) น้ำย่อยผลิตมาจากต่อมกลั่นสร้างน้ำย่อยภายในทางเดินอาหาร หรือจากอวัยวะอื่นที่อยู่นอกทางเดินอาหาร น้ำย่อยจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับอาหารเพื่อให้อาหารมีขนาดเล็กลง น้ำย่อยส่วนใหญ่มีชื่อลงท้ายด้วยคำว่า “ase” แต่มีน้ำย่อยเพียงสองสามชนิดที่มีชื่อลงท้ายคำว่า”in” ตัวอย่างน้ำย่อยมีดังต่อไปนี้

1. Salivary Amylase
2. Salevary Maltase
3. rennin
4. pepsin
5. Gastric Lipase
6. Pancreatic Amylase
7. Trypsin
8. Pencreatic Lepase
9. Intestenal Peptidases (Erepsin)
10. Intestinal Maltase
11. Sucrase
12. Lactase

ตารางที่ 20 สรุปการย่อยอาหาร

โภชนะ (Nutrient)	ปาก **(Mouth)**	**กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen)**	**กระเพาะของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องและ กระเพาะที่ 4 ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Nonruminant stomcah and ruminant abomasum)**	**ลำไส้เล็ก (Small intestine)**	**ไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ (Cecum and Large intestine)**
โปรตีน (Protein)	ไม่ถูกย่อย	บางส่วนถูกย่อยให้เป็น amend acid โดยการหมักบูดของจุลินทรีย์บางชนิดมีการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้	น้ำย่อย rennin ทำให้นมจับตัวเป็นก้อน น้ำย่อย pepsin ย่อยโปรตีนให้เป็น proteoses, polypep tides และ peptices	น้ำย่อย trypsin และน้ำย่อยบางชนิดของ pancreatic,juice ทำการย่อยโปรตีนและ IPBP ให้เป็น IPBP และ amino acids (IPBP= intermedeate protein breakdown products เช่น proteoses, polypip tides, peptides) น้ำย่อย Intestinal peptidases ทำการย่อย IPBP ให้เป็น amino acids.	ดำเนินปฏิกิริยาการย่อยของ trypsin และ peptidase

ตารางที่ 20 สรุปการย่อยอาหาร (ต่อ)

โภชนะ **(Nutrient)**	**ปาก (Mouth)**	**กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen)**	**กระเพาะของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง และ กระเพาะที่ 4 ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Nonruminant stomach and ruminant abomasum)**	**ลำไส้เล็ก (Small intestine)**	**ไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ (Cecum and Large intestine)**
แป้ง (Starch)	-ในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง น้ำย่อย salivary amylase ทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล maltose -น้ำย่อย salivary maltase ย่อย maltase ย่อย maltose ให้เป็นน้ำตาล glucose	- บางส่วนของแป้งจะถูกหมักบูด โดย bacteria และ protozoa ให้เป็น acetic, propionic, butyic และ กรดไขมันระเหยได้บางชนิด (Volatile Fatty Acids,VFA) methane (CH_4) CO_2 และความร้อน	- ไม่ถูกย่อย	- น้ำย่อย pancreatic amylase ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล maltose - น้ำย่อย intestinal maltose ย่อย maltose ให้เป็นน้ำตาล glucose	- ดำเนินปฏิกิริยาการย่อยของ pancreatic amylase และ intestinal maltase
น้ำตาลซูโครส (Sucrose)	- ไม่ถูกย่อย	- เช่นเดียวกับการย่อยแป้ง	- ไม่ถูกย่อย	- น้ำย่อย intestinal sucraseทำการย่อย sucrose ให้เป็นน้ำตาล glucose และ fructose	- ดำเนินปฏิกิริยาการย่อยของ intestinal sucrase (ถ้า sucrose ยังคงมีอยู่)

ตารางที่ 20 สรุปการย่อยอาหาร (ต่อ)

โภชนะ **(Nutrient)**	**ปาก (Mouth)**	**กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen)**	**กระเพาะของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง และ กระเพาะที่ 4 ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Nonruminant stomach and ruminant abomasum)**	**ลำไส้เล็ก (Small intestine)**	**ไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ (Cecum and Large intestine)**
น้ำตาลแลคโตส (Lactose)	-ไม่ถูกย่อย	- น้ำตาล lactose จะไม่พบในกระเพาะผ้าขี้ริ้วที่ทำหน้าที่ได้แล้ว	- ไม่ถูกย่อย	- น้ำย่อย intestinal lactase ทำการย่อย lactose ให้เป็นน้ำตาล glucose และ galactose	- ดำเนินปฏิกิริยาการย่อยของ intestinal lactase
เซลลูโลส (Cellulose)	-ไม่ถูกย่อย	- ถูกย่อยเช่นเดียวกับแป้ง	-ไม่ถูกย่อย	- ไม่ถูกย่อย	- ถูกย่อยเช่นเดียวกับการย่อยภายในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว แต่ย่อยได้น้อยกว่า(ยกเว้นในม้า)
ไขมัน (Fat)	-ไม่ถูกย่อย	- จุลินทรีย์บางชนิดจะทำการหมักบูดไขมันให้เป็น fatty acids และ glycerol	- น้ำย่อย gestric lipase ทำการย่อยไขมันให้เป็น fatty acids และ glycerol	- น้ำดีทำปฏิกิริยากับไขมันบางส่วนให้ได้ soap และ glycerol - น้ำย่อย pancreatic lipase ทำการย่อยไขมันให้เป็น fatty acids และ glycerol	- ดำเนินปฏิกิริยาการย่อยของ pancreatic lipase

ตารางที่ 21 แสดงน้ำย่อยชนิดต่างๆ

น้ำย่อย	*สร้างมาจาก*	**แหล่งที่ทำการย่อย**	**ทำการย่อย**	**การย่อยต้องการความเป็นกรดหรือด่าง**	**ผลผลิตที่ได้จากการย่อย**
Salivary amylase	Salivary glands	Mouth	Starch	Neutral to slightly alkaline	Maltose
Salevary maltase	Salivary glands	Mouth	Maltose	Neutral to slightly alkaine	Glucose
rennin	Wall of Stomach	Stomach or abomasum	Milk protein	Acid	**Cord**
pepsin	Wall of Stomach	Stomach or abomasum	Protein	Acid	Proteoses, Poly, peptides, peptides
Gastric Lipase	**Wall of Stomach**	Stomach or abomasum	Fats	Acid	Fatty acidy, glycarol
Paneretic Amylase	Pancreas	Upper small intestine	Starch	Alkaline	Maltose
Trypsin	Pancreas	Upper small intestine	Proteins, proteoses, polypeptides, peptides	**Alkaline**	Intermaediate protein breakdown products, aminoacids

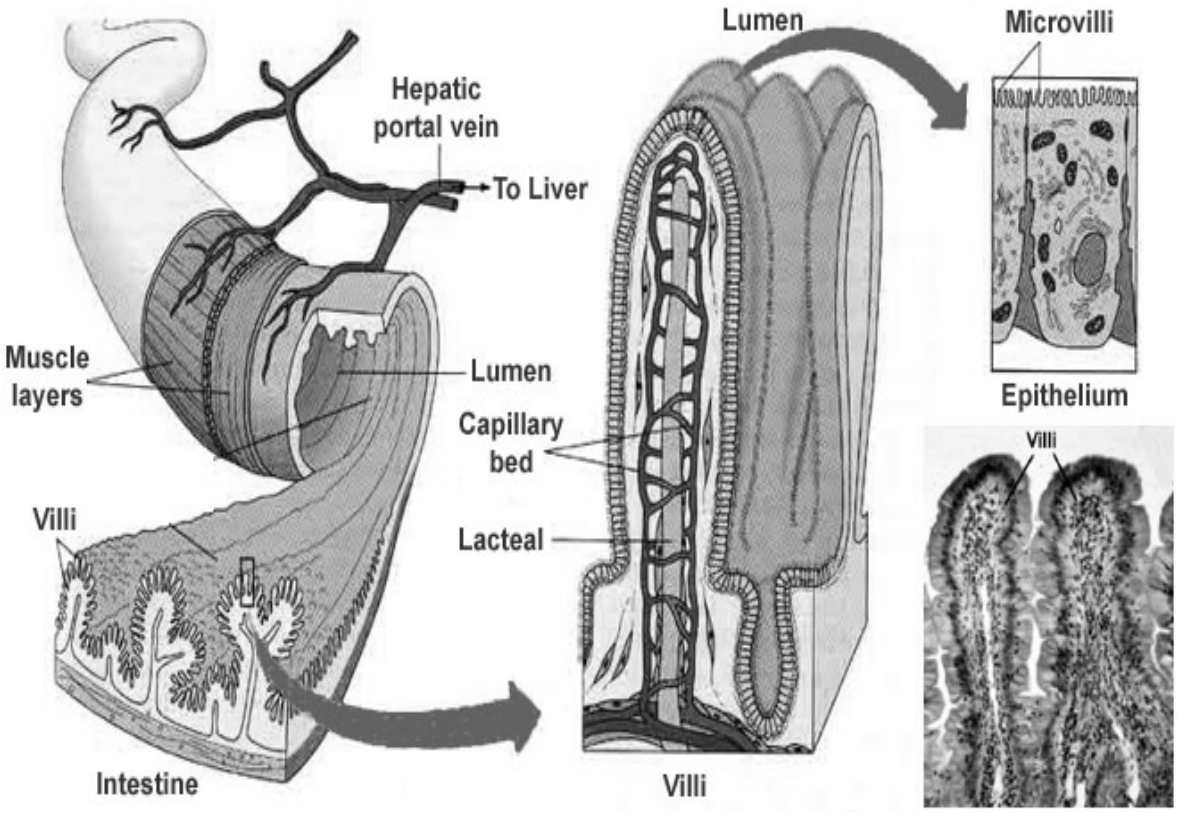
ตารางที่ 21 แสดงน้ำย่อยชนิดต่างๆ (ต่อ)

น้ำย่อย	*สร้างมาจาก*	แหล่งที่ทำการย่อย	ทำการย่อย	การย่อยต้องการความเป็นกรดหรือด่าง	ผลผลิตที่ได้จากการย่อย
Pancroatic Lepase	Pancreas	Upper small intestine	**Fats**	Alkaline	Fatty acids, glycerol, maneglyceerides.
Intestinal peptidases (Eropsin)	Wall of small intestine	Small intestine	IPBP	Alkaline	Amino acids
Intestinal maltase	Wall of small intestine	Small intestine	Maltose	Alkaline	Glucose
Sucrase	Wall of small intestine	Small intestine	Sucrose	Alkaline	Glucose, fructose
Lacrase	Wall of small intestine	Small intestine	Lactose	Alkaline	Glucose, fructose
Bile (ไม่ถือเป็นน้ำย่อย)	Liver	Upper small intestine	Bile reacts with fats	Alkaline	Soap, glycorol

การดูดซึมอาหาร (Nutrient absorption)

หมายถึง การเคลื่อนตัวของผลผลิตขั้นสุดท้ายของการย่อยอาหารจากทางเดินอาหารเข้าสู่เลือด และ/ หรือระบบน้ำเหลือง การดูดซึมอาหารอาศัยขบวนการออสโมซิส ผ่าน Semi permeable membranes ซึ่งบุอยู่ตามทางเดินอาหารในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง การดูดซึมอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ลำไส้เล็ก ภายในลำไส้เล็กจะมี Villi ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยในการดูดซึมอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องการดูดซึมอาหารจะเกิดขึ้นที่กระเพาะผ้าขี้ริ้วเช่นเดียวกับที่ลำไส้เล็ก

น้ำตาล glucose, amino, water soluble vitamins, แร่ธาตุถูกดูดซึมเข้าสู่สายเลือด (blood stream) ส่วนไขมันและวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบน้ำเหลือง



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของวิลไล (villi)

ที่มา: http://www.colorado.edu/intphys/Class/IPHY3430-200/020digestion.htm

การลำเลียงโภชนะ (Nutrient transport)

หมายถึงการเคลื่อนตัวของโภชนะจากจุดที่ถูกดูดซึมไปยังจุดที่มีการใช้โภชนะนั้น เลือดจะมีหน้าที่ลำเลียงอาหารและสารอื่น ๆ ภายในร่างกาย แต่อย่างไรก็ตาม น้ำเหลืองเป็นตัวเชื่อมขั้นสุดท้ายระหว่างเส้นโลหิตฝอยและเซลล์ที่มีการใช้โภชนะ โภชนะทุกอย่างถูกลำเลียงไปในสภาพสารละลาย โภชนะหลายอย่างถูกซึมจากน้ำเหลืองเข้าสู่เซลล์ที่มีการใช้โภชนะโดยขบวนการออสโมซิส

กระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism)

Metabolism หมายถึงผลรวมของขบวนการทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอาหาร อาศัยน้ำย่อยเป็นตัวเร่งขบวนการที่ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงประกอบด้วยขบวนการทำให้อาหารเกิดการสลายตัว (Breaking – down Process) โดยอาหารจะถูกอ๊อกซิไดส์ เกิดเป็นพลังงานและความร้อน และขบวนการสร้าง (Building up Process) ซึ่งนำเอาพลังงานและสารประกอบคาร์บอนสร้าง หรือซ่อมแซมเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย ก่อให้เกิดการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ ตลอดจนการเคลื่อนไหวและการขับถ่ายของเสียออกจากเซลล์ metabolism แบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

1. กระบวนการสลาย (catabolism) เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลใหญ่ๆ ของอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เช่น เปลี่ยนแปลงอาหารดังกล่าวให้เป็น lactic, acetic, Co_2, แอมโมเนีย และยูเรีย เป็นต้น

2. กระบวนการสร้าง (anabolism) เป็นกระบวนการสังเคราะห์โมเลกุลค่อนข้างใหญ่จากโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น การสังเคราะห์โปรตีน หรือ การสร้างไขมัน

กระบวนการเมตาโบลิซึมคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate metabolism)

การย่อยน้ำตาลและแป้ง (The Digestion of Sugars and Starch)

คาร์โบไฮเดรตพวกน้ำตาลและแป้ง เมื่อถูกย่อยโดยน้ำย่อยที่เหมาะสมซึ่งขับออกมาจากทางเดินอาหารจะสลายตัวให้ simple sugars

Specific Enzyme

Starch ⟶ **Glucose**

(End product)

กลูโคสถูกนำไปใช้ในรูปของพลังงาน เพื่อใช้ในขบวนการต่างๆ กลูโคสเมื่อเหลือใช้จะถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจน (แป้งจากสัตว์) เก็บไว้ตามตับ หรือเปลี่ยนเป็นไขมันในร่างกาย (body fat) เก็บไว้ตามสัดส่วนต่างๆ ของร่างกาย

ในสัตว์ที่กำลังดูดนมแม่ จะพบว่ามีน้ำตาลกาแลคโต เกิดขึ้นจากการย่อยน้ำนม แต่ถ้าเราให้สัตว์กินอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส เช่น กินหัวผักกาดหวาน นอกจากนี้น้ำตาลฟรุกโตสก็เป็นน้ำตาลอีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการย่อยหัวผักกาดหวาน

การย่อย Polysaccharides โดยจุลินทรีย์

Polysaccharides พวกซลลูโลส หรือสารประกอบอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งถ้าจะเรียกรวมๆ กันก็คืออาหารพวกเยื่อใย (Crude Fiber) นั่นเอง อาหารพวกนี้ไม่มีน้ำย่อยชนิดใดที่ขับออกมาจากทางเดินอาหารของสัตว์ สามารถจะทำการย่อยได้ แต่จะถูกย่อยได้โดยน้ำย่อยของพวกจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญ คือ แบคทีเรีย จุลินทรีย์ที่ทำการย่อยอาหารพวกเยื่อใยจะอยู่ในแบบ Symbiotic Relationship จุลินทรีย์ดังกล่าวนี้จะมีมากในกระเพาะ Rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จุลินทรีย์จะทำการย่อยอาหารพวกเยื่อใยซึ่งจะได้กรดไขมันระเหยได้ (Volatile Fatty Acids) ได้แก่ กรด Acetic, Butyric และ Propionic กรด Acetic จะเกิดขึ้นประมาณ 2/3 – ¾ ของ Volatile Fatty Acids ทั้งหมด รองลงมาก็เป็น Propionic และน้อยที่สุดก็คือ Butyric โดย Volatile Fatty Acids นี้มิใช่ว่าจะเกิดมาในกระเพาะ Rumen โดยการ Ferment อาหารพวกคาร์โบไฮเดรตแต่เพียงอย่างเดียว อาจจะเกิดขึ้นมาได้จากการกระทำของจุลินทรีย์ที่มีกับอาหารโปรตีน และ Nitrogenous Compounds ได้ด้วย สำหรับแก๊สที่เกิดขึ้นมาจากการ ferment อาหารพวกเยื่อใย ได้แก่ CH_4, CO_2, H_2S, บางครั้งอาจพบ H_2 เกิดขึ้นด้วย

จุลินทรีย์นอกจากจะมีหน้าที่ดังกล่าวแล้ว ยังสามารถสังเคราะห์โภชนะที่จำเป็นบางอย่าง โดยเฉพาะกรดอะมิโน และวิตามินต่างๆ แม้ว่าการย่อยอาหารพวกเยื่อใยโดยจุลินทรีย์จะมีมากในกระเพาะ Rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในสัตว์อย่างอื่น การย่อยชนิดนี้ก็ขึ้นได้ในทางเดินอาหารของสัตว์ เช่น ม้า สุกร หนู กระต่าย เป็นต้น และก็มีกรดไขมันระเหยได้ทั้งสามชนิดเกิดขึ้นเหมือนกัน ส่วนใหญ่แล้วการย่อยโดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นที่ colon บางทีก็เกิดตรง Cecum โดยเฉพาะในม้า

ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยอาหารเยื่อใยโดยจุลินทรีย์

เนื่องจากในสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร อาหารประมาณ 20% หรือมากกว่าจะถูกย่อยโดยการกระทำของจุลินทรีย์เท่านั้น เช่น อาหารที่มีเยื่อใย (Crude Fiber) พวกจุลินทรีย์จะทำการย่อย Crude Fiber ได้ดีหรือไม่เพียงใดนั้นก็มีปัจจัยหลายประการที่คอยควบคุมอยู่ ซึ่งพอจะกล่าวเป็นข้อๆ ได้ คือ

1. Characters of Feeds หมายถึง ลักษณะของอาหารทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น ถ้าเอาหญ้าแก่ๆ กับหญ้าอ่อนๆ ให้สัตว์กินจะพบว่า จุลินทรีย์จะย่อยหญ้าอ่อนได้ดีกว่าหญ้าที่แก่

2. Kinds of the Microorganism หมายถึง ชนิดของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อย Crude Fiber ได้แตกต่างกันออกไป พวก Bacteria จัดเป็นจุลินทรีย์ที่ทำการย่อย Crude Fiber ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ

3. Number of Microorganism หมายถึง จำนวนของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ถ้ามีมากจะทำการย่อย Crude Fiber ได้มาก

4. Kinds of Feeds หมายถึง ชนิดของอาหาร พบว่าถ้าให้อาหารคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย เช่น แป้ง น้ำตาลจากอ้อย หรือกากน้ำตาล พวก Bacteria จะไปย่อยอาหารพวกน้ำตาลหมด ทำให้การย่อยอาหารพวกเยื่อใยต่ำลง ตรงกันข้ามถ้าให้อาหารโปรตีน พบว่า activity ต่างๆ ของ Microorganisms จะทำงานได้ดี คือจะย่อย Crude Fiber ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เชื่อกันว่า Bacteria มีความต้องการโปรตีนสำหรับใช้ในตัวของมันเอง ทำให้ตัวของมันแข็งแรง

การดูดซึมและการนำกรดไขมันระเหยได้ไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาของ Barcroft และผู้ร่วมงาน และในภายหลังจากท่านอื่นๆ ทำให้ทราบว่ากรดไขมันที่ได้จาก fermentation ถูกดูดซึมโดยตรงเข้าสู่สายเลือดตรงกระเพาะ Rumen, Reticulum, Omasum และตรงลำไส้ใหญ่ (Large intestion) โดย Propionic จะถูกนำไปสร้างเป็น glycogen ส่วน Acetic และ Butyric อย่างใดอย่างหนึ่ง ก็สามารถถูกดูดซึมไปสร้างเป็น glycogen ได้ กรดทั้งสองนี้ยังถูกนำไปใช้เพื่อให้เกิดเป็นพลังงานที่ต้องการสำหรับร่างกายสัตว์ นอกจากนี้ Acetic และ Butyric สามารถเข้าสู่วงจรการเปลี่ยนแปลงของไขมัน (The Metabolic Cycle of Fat) เพื่อเปลี่ยนเป็นไขมันของร่างกาย ในต่อมน้ำนมของสัตว์เคี้ยวเอื้อง Acetic ถูกนำไปสังเคราะห์เป็นกรดไขมันที่เป็นแบบ short – chain ของน้ำนม ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่า นอกเหนือจากแก๊สต่างๆ ผลผลิตที่ได้จากการ ferment อาหารคาร์โบไฮเดรตถูกนำไปใช้เป็นพลังงานในขบวนการต่างๆ และนำไปสร้างเป็นไขมันของร่างกายสัตว์

การดูดซึมและการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล Hexoses

มีหลักฐานยืนยันได้ว่า น้ำตาล glucose สามารถผ่านเข้าสู่สายเลือดได้ตรงกระเพาะ Rumen แต่โดยทั่วไปแล้ว น้ำตาล glucose และน้ำตาล Hexoses อื่นๆ เช่น Fructose, Galactose จะถูกดูดซึมที่ลำไส้โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็ก แล้วจึงถูกนำไปยังตับและเนื้อเยื่อเพื่อเปลี่ยนเป็น glycogen โดยglycogen นี้จะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็น glucose ทีละเล็กละน้อยเพื่อใช้ในร่างกายสัตว์ ตับของสัตว์เป็นแหล่งสำหรับเก็บ glycogen ประมาณ 10 –15 % ของน้ำหนักตับจะเป็น glycogen และ glycogen อาจพบอยู่ตามเนื้อเยื่อ แต่จำนวนที่มีอยู่เพียงเล็กน้อย เช่น ตามกล้ามเนื้อ ในเลือดไม่พบว่ามี glycogen อยู่เลย ถ้าสัตว์ได้รับ glucose มากเกินไปจนกระทั่งตับ และกล้ามเนื้อไม่สามารถควบคุมดูแลได้ glucose ก็จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ ตับของสัตว์นอกจากจะเป็นแหล่งเก็บ glycogen ยังทำหน้าที่คอยควบคุมระดับของน้ำตาลในโลหิตมิให้มีมาก

หรือน้อยเกินไป เช่น ในโลหิตของโคและแกะจะมี glucose อยู่ประมาณ 40 – 60 mg. / เลือด 100 ซีซี ในนกจะมีระดับน้ำตาลในเลือดอยู่สูงกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม แต่ในสัตว์เลือดเย็น มีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ เช่น กบ มีเพียง 20 mg./ เลือด 100 ซีซี

glucose หลังจากถูกดูดซึมจะถูกเก็บไว้เป็นการชั่วคราวในรูปของ glycogen ทั้งนี้ เพื่อป้องกันมิให้เกิดระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ (Hyperglycemia) และหลังจากนั้น glycogen จึงจะถูกนำออกมาใช้โดยเปลี่ยนเป็น glucose เพื่อให้เกิดการสมดุลย์ เนื่องจากน้ำตาลในเลือดถูกดึงไปใช้ โดยเนื้อเยื่อต่างๆ และเป็นการป้องกันมิให้เกิดระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าปกติ (Hypoglycemia) พบว่ามีฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดคือ Adrenaline ซึ่งสร้างมาจาก Adrenal gland ฮอร์โมนชนิดนี้มีหน้าที่ทำให้ระดับน้ำตาลในโลหิตสูง และยังมีฮอร์โมนอีกชนิดหนึ่ง คือ Insulin สร้างมาจาก Island cell ของ Pancreas ฮอร์โมนนี้จะคอยควบคุมระดับน้ำตาลให้มีน้อยลง คือจะทำการกระตุ้นให้ร่างกายมีการเผาผลาญ glucose ให้เกิดเป็นพลังงานขึ้นมา และทำการกระตุ้นตับให้เปลี่ยน glucose ในเลือดเป็น glycogen เพื่อให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับสม่ำเสมอ หากมี Insulin น้อยหรือไม่ทำงาน จะทำให้การเผาผลาญน้ำตาลเพื่อเอาไปใช้ในร่างกายลดลง ทำให้มีน้ำตาลในเลือดมากกว่าปกติ ซึ่งน้ำตาลนี้จำเป็นต้องถูกขับออกทางปัสสาวะ ทำให้เกิดเป็นโรคเบาหวาน (Diabetes)

การเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นไขมัน

เนื่องจากความสามารถของตับและเนื้อเยื่อที่จะเก็บน้ำตาลไว้ในรูป glycogen นั้นมีขอบเขตจำกัด ดังนั้น เมื่อสัตว์ได้รับคาร์โบไฮเดรตมากเกินพอที่ร่างกายจะเอาไปใช้เป็นพลังงาน น้ำตาลที่เหลือจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไขมัน ขบวนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่เหลือเป็นไขมันจะเกิดมากในสัตว์ที่ทำการขุน ทั้งนี้ก็เนื่องจากอาหารของสัตว์ที่ทำการขุนประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนใหญ่

คาร์โบไฮเดรตในเนื้อเยื่อร่างกาย

คาร์โบไฮเดรตจำนวนเล็กน้อย พบอยู่กับโครงสร้างในเนื้อเยื่อบางอย่าง เช่น น้ำตาล pentose พบอยู่เป็นส่วนประกอบของ cell nucleic acids, น้ำตาลกาแลคโตสรวมตัวกับลิพิดอยู่ในเนื้อเยื่อของประสาท คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ พบว่ารวมอยู่กับโปรตีน มีอยู่ในกระดูกอ่อน กระดูกและเอ็นต่างๆ

กระบวนการเมตาโบลิซึม (protein metabolism)

ผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากการย่อยโปรตีนในทางเดินอาหาร คือกรดอะมิโน อาหารโปรตีนจะถูกย่อยด้วย proteolytic enzymes ที่กระเพาะและลำไส้ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจุลินทรีย์จะมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยอาหารโปรตีน

กระบวนการเมตาโบลิซึมในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับ Carbohydrate metabolism ชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียและ จุลินทรีย์อื่นๆ มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน เช่น ช่วยย่อย crude fiber ขณะที่แบคทีเรียเพิ่มจำนวนจะทำการสังเคราะห์โปรตีน เพื่อเอาไปใช้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย โดยจุลินทรีย์จะใช้วัตถุดิบจากอาหาร เช่น amides, ammonium salts และแม้กระทั่งไนเตรตไปสร้างเป็นโปรตีน โปรตีนที่สร้างโดยแบคทีเรียต่อไปจะถูกย่อยตรงกระเพาะและลำไส้เล็กของสัตว์ สัตว์จะนำผลิตผลขั้นสุดท้ายที่ได้จากการย่อยไปใช้เป็นประโยชน์อีกทีหนึ่ง

อาหารโปรตีนที่ให้สัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนใหญ่จะถูกจุลินทรีย์ย่อยให้เป็น amino acids และสารประกอบที่มีไนโตรเจนอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย สารประกอบที่มีไนโตรเจนดังกล่าวต่อไปจะถูกแบคทีเรียนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนเพื่อเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ส่วนน้อยของโปรตีนจะผ่านไปที่กระเพาะและลำไส้ซึ่งจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยที่ย่อยโปรตีน

การย่อยโปรตีนโดยน้ำย่อย

การย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน โดยน้ำย่อยที่สร้างจากทางเดินอาหารนั้น ทราบกันมาเป็นเวลานานแล้ว โดยอาหารโปรตีนจะถูกย่อยครั้งแรกภายในกระเพาะ

proteins - - - - - - - - - - - - - -> proteoses + peptones

proteoses และ peptones มีลักษณะเป็นสารละลาย แต่ยังมีโครงสร้างสลับซับซ้อน เมื่อ proteoses และ peptones รวมทั้งโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยโดย pepsin ผ่านไปสู่ลำไส้เล็กของสัตว์จะถูกน้ำย่อย trypsin ซึ่งสร้างมาจากตับอ่อนทำการย่อยให้เป็นกรดอะมิโนต่อไป กรดอะมิโนซึ่งอยู่ในสภาพสารละลายจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วโดย villi ซึ่งอยู่ตามผนังลำไส้ จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกส่งไปตามเส้นเลือดเพื่อนำไปเลี้ยงยังส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์

สัตว์ที่กำลังดูดนมหรือสัตว์อื่นๆ ที่กินนม น้ำย่อย rennin ซึ่งสร้างจากกระเพาะของสัตว์จะมีหน้าที่เปลี่ยนน้ำนมจากสภาพเป็นของเหลวให้เป็นก้อนแข็ง เพื่อให้น้ำนมผ่านกระเพาะอย่างช้าๆ เพื่อเปิดโอกาสให้น้ำย่อยภายในกระเพาะทำการย่อย

ไนโตรเจนในมูล (fecal nitrogen)

สารประกอบที่มีไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาทางมูลสัตว์ ประกอบด้วยอาหารไนโตรเจนที่ไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึม และไนโตรเจนที่มาจากส่วนอื่นๆ เรียกรวมๆ กันว่า metabolic fecal nitrogen

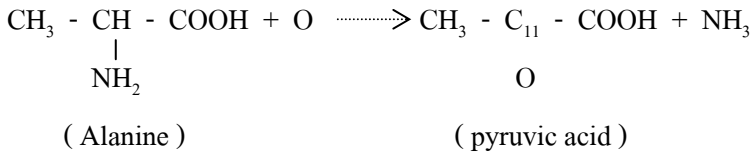
ไนโตรเจนจากส่วนอื่นๆ ที่ถูกขับออกมาทางมูลนั้นมาจากเศษเหลือของน้ำดีและน้ำย่อยอื่นๆ epithelial cells จากทางเดินอาหาร และ/หรือ เศษเหลือของจุลินทรีย์

การดูดซึมกรดอะมิโน

ผลิตผลขั้นสุดท้ายที่ได้จากการย่อยโปรตีนคือ กรดอะมิโน โดยกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมผ่านเข้าไปยังสายเลือด แอมโมเนีย และเพปไทด์ถูกดูดซึมเพียงเล็กน้อย ต่อจากนั้นกรดอะมิโนถูกนำไปใช้ดังต่อไปนี้

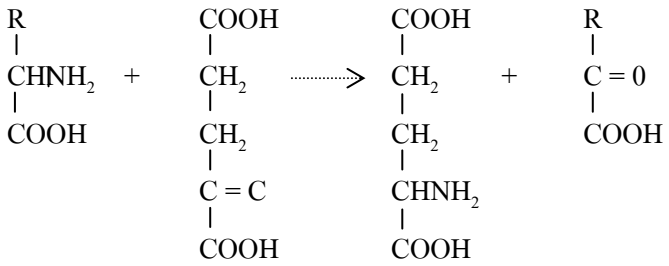
1. กรดอะมิโนถูกนำไปสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อโปรตีน และเนื้อเยื่ออื่นๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การสังเคราะห์ดังกล่าวรวมทั้งการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมและการซ่อมแซมโปรตีนตามเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้กรดอะมิโนยังถูกนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยและฮอร์โมน ยกตัวอย่างเช่น phenylalanine และ tyrosine ใช้เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมน thyroxine และ adrenaline

2. กรดอะมิโนถูก deaminated เช่น Oxiditive deamination



(Alanine) (pyruvic acid)

หรือ transmination เช่น



(Amino acids) (∝ keto glutaric â) (glutamic â) (keto â)

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกขับออกจากร่างกายในรูปของยูเรีย ส่วนใหญ่ยูเรียถูกขับออกทางปัสสาวะ แต่ถ้าเป็นสัตว์ปีกจะขับแอมโมเนียออกจากร่างกายในรูปของ uric acid

ในสัตว์ที่ไม่ให้ผลิตผล (เช่น นม ไข่ ขนสัตว์ หรือลูกสัตว์) ความต้องการโปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์มีน้อย สัตว์ดังกล่าวต้องการโปรตีนไปซ่อมแซมส่วนสึกหรอ

กระบวนการเมตาโบลิซึมลิพิด (lipid metabolism)

ในร่างกายสัตว์มี Lipids เป็นส่วนประกอบแต่ไม่มากนัก แต่ Lipids ก็เป็นอาหารที่สำคัญในการดำรงชีพของสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของเซลล์ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของกรดที่นิวเคลียสของเซลล์ นอกจากนี้ Lipids ถูกนำไปสร้างผลผลิตเช่น เป็นส่วนประกอบของไขมันในน้ำนม เป็นส่วนประกอบของไข่ ไขมันที่สัตว์ได้รับถูกนำไปใช้ในรูปของพลังงาน ไขมันที่เหลือใช้จะถูกเก็บสะสมไว้ตามอวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะใต้ผิวหนัง เยื่อบุช่องท้อง หรือตามอวัยวะอื่นๆ ไขมันที่อยู่ตามอวัยวะภายในร่างกาย จะช่วยการพยุงโครงร่าง ไขมันที่อยู่ใต้ผิวหนังเป็นสื่อป้องกันมิให้ความร้อนหนีออกจากร่างกายได้เร็วเกินไป

การย่อยลิพิด (The Digestion of Lipids)

อาหารไขมันซึ่งจัดเป็น Lipid ชนิดหนึ่ง เมื่อผ่านไปถึงลำไส้เล็กของสัตว์จะถูกน้ำดี (Bile) ซึ่งสร้างมาจากตับ (Liver) ทำให้ไขมันเกิด sponification และ emulsification เสียก่อน ต่อไปน้ำย่อย Pancreatic Lipase ซึ่งสร้างมาจากตับอ่อน (Pancreas) จะทำการย่อยไขมันให้ได้กรดไขมัน (Fatty $\hat{a}$) และ glycerol

$$\text{Fat} \xrightarrow[\text{emulsificat}]{\text{bile}} \text{Sponification} \xrightarrow{\text{Pancreatic}} \text{fatty } \hat{a} + \text{glycerol}$$

การขับลิพิดออกทางมูล (Fecal Lipids)

Lipids ที่ขับออกมาทางมูลสัตว์ ประกอบด้วย ไขมันที่ไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อย ในทางเดินอาหารของสัตว์ Lipids ไม่ถูกดูดซึม เช่น sterols ที่มีในพืช, และในมูลสัตว์ยังมีสารที่ไม่ใช่ Lipids เช่น สารให้สีต่างๆ

การดูดซึมไขมัน (The Absorption of Fat)

กรดไขมัน (fatty acids) และ glycerol จะถูกดูดซึมโดยอวัยวะที่เรียกว่า Villi ซึ่งอยู่ตามผิวหนังของลำไส้เล็ก บางส่วนของไขมันที่ไม่เปลี่ยนแปลงอาจถูกดูดซึมโดยการกระทำของน้ำดี (Bile) กรดไขมันเป็นส่วนน้อยจะรวมตัวกับ alkalies เป็นสบู่ซึ่งจะถูกดูดซึมได้เช่นเดียวกัน กรดไขมันและ glycerol หรือ soaps จะถูกนำมารวมตัวกันเสียใหม่ เป็นไขมันภายในอวัยวะที่เรียกว่า villi จากนั้นไขมันถูกส่งเข้าสู่ระบบน้ำเหลืองนำไปสู่เส้นเลือดดำที่อยู่ใกล้หัวใจ อันเป็นแหล่งที่ไขมันจะเข้าสู่ระบบการหมุนเวียนของเลือดต่อไป

บทที่ 8
การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าของอาหารสัตว์เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตสัตว์เพราะข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์แก่นักอาหารสัตว์ในการที่จะประกอบสูตรอาหารให้มีโภชนะในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดต้นทุนการผลิต วิธีการประเมินคุณค่าอาหารสัตว์ สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การประเมินคุณค่าอาหารสัตว์โดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพ
   1.1 การศึกษาลักษณะภายนอกโดยการดูด้วยตาเปล่า
   1.2 การประเมินความน่ากินของอาหาร
   1.3 การตรวจสอบคุณภาพอาหารโดยใช้กล้องจุลทรรศน์
2. การประเมินโดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี มีดังนี้

2.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยทั้งหมด เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย

2.2 การวิเคราะห์เยื่อใยโดยใช้สารฟอก (Detergent fiber analysis)

การประเมินหาเยื่อใยประกอบด้วยการวิเคราะห์ผนังเซลล์และส่วนประกอบภายใน การวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลส และการวิเคราะห์ลิกนิน

2.3 การวิเคราะห์โดยใช้แสงอินฟราเรด

2.4 การวิเคราะห์หากรดอะมิโน

2.5 การวิเคราะห์วิตามิน

2.6 การวิเคราะห์สารพิษ

3. การวิเคราะห์คุณค่าอาหารสัตว์โดยการหาการย่อยได้ของสัตว์ ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป
4. การประเมินคุณค่าอาหารสัตว์โดยการวัดค่าพลังงานในอาหารสัตว์
   4.1 การหาโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrient, TDN)
   4.2 การวัดค่าพลังงานตามขั้นตอนการใช้ประโยชน์
   4.3 การหาอัตราส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น
   4.4 การวิเคราะห์หาพลังงานโดยใช้เครื่อง bomb calorimeter
5. การประเมินคุณค่าอาหารสัตว์โดยการวัดและประเมินคุณค่าอาหารของโปรตีน
   5.1 การหาปริมาณโปรตีนที่แท้จริง (true protein)
   5.2 การหาปริมาณที่ย่อยได้

5.3 การหาอัตราส่วนประสิทธิภาพโปรตีน

5.4 การหาอัตราส่วนโปรตีนสุทธิ

5.5 การหาค่าทางชีวะ (biological value)

5.6 การหาการใช้ประโยชน์โปรตีนสุทธิ

5.7 การหาค่าสมดุลไนโตรเจน

การย่อยได้ของอาหาร (digestibility)

หมายถึงจำนวนอาหารที่สัตว์ได้ดูดซึมเพื่อนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อาหารแต่ละชนิดมีการย่อยได้แตกต่างกันไป การย่อยได้ของอาหารมักวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ การที่จะทราบว่าอาหารนั้นๆ มีการย่อยได้เท่าไหร่จะต้องทำการทดลองหาการย่อยได้ ซึ่งเรียกว่า Digestion Trial หรือ Metabolism Trial เสียก่อน การทดลองหาการย่อยได้ ทำได้ดังนี้

1. วิเคราะห์หาส่วนประกอบของอาหารว่ามีโภชนะอะไรบ้าง จำนวนเท่าใด
2. จัดอาหารให้สัตว์กิน (โดยทราบจำนวนที่แน่นอน)
3. รวบรวมมูลที่สัตว์ถ่ายออกมา
4. วิเคราะห์หาส่วนประกอบของมูลว่ามีโภชนะอะไรบ้าง จำนวนเท่าใด
5. คำนวณหา % การย่อยได้ ซึ่งเรียกว่า apparent digestibility

$$\% \text{ apparent digestibility} = 100 \times \frac{\text{โภชนะที่สัตว์กิน} - \text{โภชนะที่ถ่ายออกทางมูล}}{\text{โภชนะที่สัตว์กิน}}$$

ตัวอย่าง **แม่โคนมตัวหนึ่ง กินหญ้าแห้งซึ่งมีวัตถุแห้ง (dry matter) หนัก 50,800 กรัม ในวัตถุแห้งดังกล่าวมีโปรตีน 10,216 กรัม, เยื่อใย 8,255 กรัม, NFE 20,823 กรัม และไขมัน 1,697 กรัม จำนวนมูลที่แม่โคถ่ายออกมาหนัก 11,609 กรัม นำมูลนั้นไปวิเคราะห์พบว่ามีโปรตีน 2,559 กรัม, เยื่อใย 2,158 กรัม, NFE 4,043 กรัม และไขมัน 783 กรัม อยากทราบว่ามี % การย่อยได้ของโภชนะแต่ละอย่างเป็นจำนวนเท่าใด**

การคำนวณ

$$\% \text{ การย่อยได้ของโปรตีน} = 100 \times \frac{\text{จำนวนโปรตีนในอาหาร} - \text{จำนวนโปรตีนในมูล}}{\text{จำนวนโปรตีนในอาหาร}}$$

$$= 100 \times \frac{10,216 - 2,559}{10,216}$$

$$= \underline{74.95\ \%}$$

% การย่อยได้ของเยื่อใย $$= 100 \times \frac{\text{จำนวนเยื่อใยในอาหาร} - \text{จำนวนเยื่อใยในมูล}}{\text{จำนวนเยื่อใยในอาหาร}}$$

$$= 100 \times \frac{8{,}255 - 2{,}158}{8{,}255}$$

$$= \underline{73.9\ \%}$$

% การย่อยได้ของ NFE $$= 100 \times \frac{\text{จำนวน NFE ในอาหาร} - \text{จำนวน NFE ในมูล}}{\text{จำนวน NFE ในอาหาร}}$$

$$= 100 \times \frac{20{,}823 - 4{,}042}{20{,}823}$$

$$= \underline{80.6\ \%}$$

% การย่อยได้ของไขมัน $$= 100 \times \frac{\text{จำนวนไขมันในอาหาร} - \text{จำนวนไขมันในมูล}}{\text{จำนวนไขมันในอาหาร}}$$

$$= 100 \times \frac{1{,}697 - 783}{1{,}697}$$

$$= \underline{53.9\ \%}$$

สัมประสิทธิ์การย่อย (digestion coefficients)

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อย} = \frac{(\text{น.น. ของอาหาร x \% โภชนะในอาหาร}) - (\text{น.น. ของมูล x \% โภชนะในมูล})}{\text{น.น. ของอาหาร x \% โภชนะในอาหาร}} \times 100$$

ค่าของสัมประสิทธิ์การย่อยวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ สัมประสิทธิ์ของการย่อยของอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 สัมประสิทธิ์การย่อยของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดของอาหาร **(Feeding stuff)**	**สัมประสิทธิการย่อย**			
	โปรตีน **%**	**ไขมัน** **%**	**เยื่อใย** **%**	**NFE** **%**
กากงา (sesame oil meal)	91	65	55	65
รำข้าว (rice bran)	68	83	28	76
กากถั่วเหลือง (soybean oil meal, solvent, all analyses)	92	47	87	94
นมผง (skimmilk, dried)	90	100	-	93
ยีสต์ (yeast, brewer's, dried)	86	0	0	88
เลือดป่น (blood meal)	71	38	18	25
หญ้าซูดาน (sudan grass)	69	71	67	49
หญ้าเนเปียร์ (napier grass, immature)	29	65	50	40
ข้าวโพด (corn, dent, well-matured, well-eared)	55	78	64	74

ความคลาดเคลื่อนของการย่อยได้ของอาหาร

การย่อยได้ของอาหารที่ได้จากการทดลองหาการย่อยได้อาจคลาดเคลื่อน ไม่ได้ตัวเลขที่ถูกต้อง ทั้งนี้ก็เนื่องจากโภชนะที่ขับออกมาทางมูลสัตว์นั้นอาจมีโภชนะที่มาจากแหล่งอื่นมิได้มาจากอาหารที่สัตว์กินโดยตรง เช่น

1. มาจากน้ำย่อย
2. มาจากบัคเตรี
3. มาจากผนังของทางเดินอาหารที่แตก
4. มาจากแร่ธาตุในทางเดินอาหาร

นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของการย่อยได้อาจเนื่องมาจากข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์หาโภชนะ และการตกหล่นของอาหารและมูลสัตว์

ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยได้ของอาหาร

1. อายุของสัตว์ – มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่เกี่ยวกับฟันและอวัยวะที่เกี่ยวข้อง
2. โรค และ/หรือ พยาธิ
3. แหล่งของอาหารและส่วนประกอบ – อาหารมักจะแตกต่างกันในประเภทของเยื่อใย และ/หรือ ไขมัน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการย่อยได้ของอาหาร
4. ระดับของอาหารที่ให้สัตว์ – ขณะที่ระดับของอาหารที่สัตว์ได้รับเพิ่มขึ้นเกินกว่าระดับที่สัตว์จะรับได้ การย่อยได้ของอาหารจะลดลง
5. อัตราการไหลของอาหารผ่านลำไส้

   ไหลเร็ว – ทำให้มีเวลาน้อยที่ย่อย และดูดซึมอาหารได้ไม่หมด

   ไหลช้า – อาจสิ้นเปลืองเวลามากเกินไปในการหมักบูดอาหาร

   ขนาดและการเตรียมอาหาร – มีอิทธิพลต่อการไหลของอาหาร
6. การได้รับโภชนะมาก หรือการขาดโภชนะ – อาจเป็นสาเหตุทำให้การดูดซึมและการใช้โภชนะอย่างอื่นได้ไม่ดี

โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients)

TDN หมายถึง ผลรวมของโภชนะที่ย่อยได้ทุกชนิด แต่ไม่คิดรวมถึงน้ำ แร่ธาตุ และไวตามิน เพราะโภชนะทั้งสามนี้ไม่ให้พลังงาน TDN เป็นหน่วยที่ใช้วัดค่าของพลังงานในอาหารแต่ละชนิด ใช้ประโยชน์ในการประเมินคุณค่าและราคาของอาหาร อาหารที่มี TDN สูง เป็นอาหารที่สัตว์ย่อยได้มาก และเป็นอาหารที่มีพลังงานสูง หน่วยของ TDN มักแสดงเป็นปอนด์หรือกิโลกรัม หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ (ปอนด์หรือกิโล ของ TDN ต่อ 100 ปอนด์หรือกิโลของอาหาร) การคำนวณหา TDN ใช้สูตรดังนี้

TDN = โปรตีนที่ย่อยได้ (digestible crude protein) + เยื่อใยที่ย่อยได้ (digestible crude fiber) + 2.25 x ไขมันที่ย่อยได้ (digestible crude fat) + แป้งและน้ำตาลที่ย่อยได้ (digestible nitrogen free extract)

ตารางที่ 23 ตัวอย่างการหา TDN ของรำข้าว

โภชนะ (Nutrient)	% โภชนะในอาหาร (% Nutrient)	ส.ป.ส. การย่อย (Dig. Coeff.)	โภชนะที่ย่อยได้ (Dig. Nutrient)
โปรตีน	12.4	68	$\frac{12.4 \times 68}{100} = 8.432$
เยื่อใย	11.6	28	$\frac{11.6 \times 28}{100} = 3.248$
ไขมัน	13.6	83	$\frac{13.6 \times 83}{100} = 11.288$
NFE	39.9	76	$\frac{39.9 \times 76}{100} = 30.324$

$\therefore$ TDN = 8.432 + 3.248 + (11.288 x 2.25) + 30.324 = 67.39

โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด หรือ TDN นี้ไม่ได้เป็นโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดอย่างแท้จริง ทั้งนี้ก็เนื่องจาก

1. ไม่ได้รวมถึงแร่ธาตุที่ย่อยได้
2. ไขมันที่ย่อยได้ต้องคูณด้วย 2.25 ทำให้ค่าของพลังงานเพิ่มขึ้น อาหารใดที่มีไขมันสูงบางครั้งทำให้มีค่า TDN เกิน 100 %

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าของ TDN

1. เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (the percentage of dry matter)

น้ำที่มีอยู่ในอาหารไม่ได้นำมาคิด อาหารใดที่มีน้ำมากจะมีโภชนะอื่นๆ น้อย ทำให้อาหารนั้นมีค่า TDN ต่ำ ยกตัวอย่างเช่น นม ในสภาพที่แห้ง คุณค่าทางอาหารจะสูง แต่นมในสภาพที่สดจะมี TDN ต่ำ (16%) ทั้งนี้ก็เนื่องจากนมสดมีน้ำ เป็นองค์ประกอบ ถึง 87% หญ้าหมักมี TDN ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าแห้ง ก็เพราะความแตกต่างของน้ำ

2. การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (the digestibility of the dry matter)

วัตถุแห้งที่มีอยู่ในอาหาร มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารนั้นๆ ยกตัวอย่าง mineral oil มีค่า gross energy สูง แต่ไม่สามารถถูกย่อยโดยสัตว์ ดังนั้นจึงไม่มี

พลังงานที่ย่อยได้ หรือ TDN สารพวกลิกนินที่มีอยู่ในพืชก็เหมือนกัน ไม่มีค่าของ TDN อาหารที่มีเยื่อใยสูง โดยทั่วไปจะมี TDN ค่อนข้างต่ำ ทรายเป็นวัตถุแห้งที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ ฉะนั้นจึงมีค่าของ TDN = 0.0

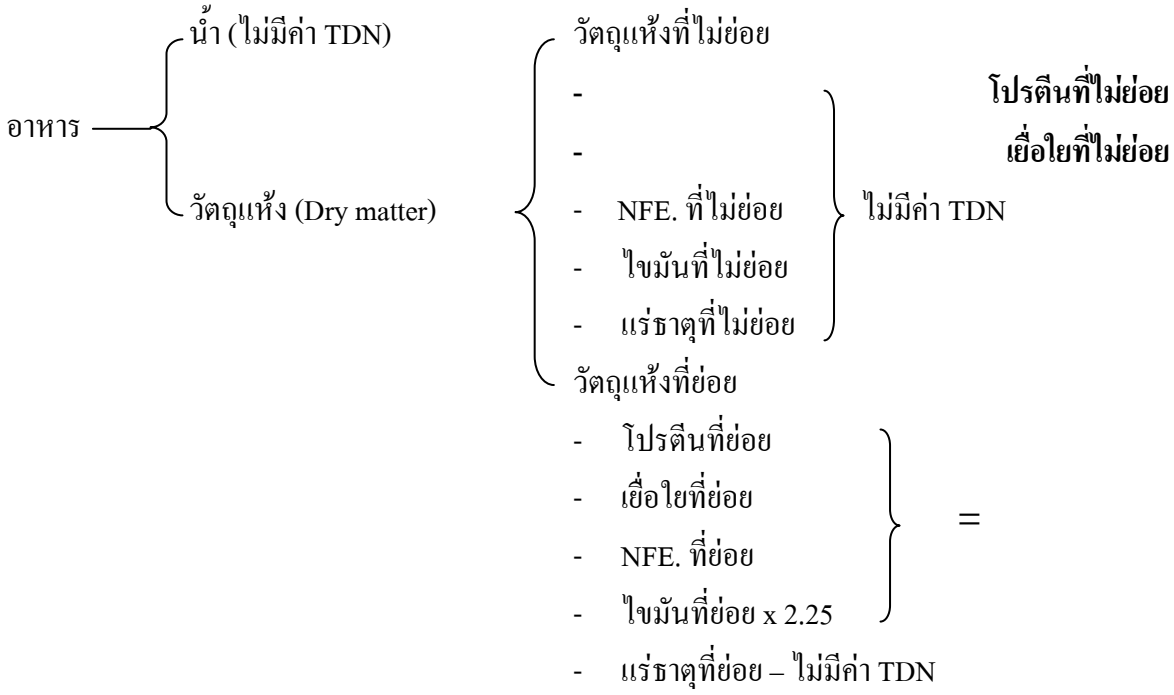
3. จำนวนของแร่ธาตุที่มีอยู่ในวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (the amount of mineral matter in the digestible dry matter)

แร่ธาตุที่อยู่ในอาหารสัตว์สามารถถูกย่อยได้ แต่แร่ธาตุเป็นโภชนะที่ไม่ให้พลังงาน ฉะนั้น จึงไม่มีค่าของ TDN แร่ธาตุดังกล่าว เช่น เกลือ หินปูน เป็นต้น อาหารใดที่มีแร่ธาตุสูงก็จะทำให้มีค่า TDN ต่ำ

4. จำนวนของไขมันที่มีอยู่ในวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (the amount of fat in the digestible dry matter)

ตามที่ได้กล่าวแล้วว่า ในการคำนวณหา TDN ถ้าเป็นไขมันที่ย่อยได้ จะต้องนำมาคูณ 2.25 เสียก่อน ทั้งนี้ก็เนื่องจากไขมันมีพลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนถึง 2.25 เท่า ฉะนั้น อาหารที่มีไขมันย่อยได้สูงจะทำให้ค่าของ TDN สูง ยกตัวอย่างเช่น นมผง อาจมีค่า TDN มากกว่า 100%

แผนภูมิต่อไปนี้ อาจช่วยให้เข้าใจถึงปัจจัยที่กระทบกระเทือนต่อค่าของ TDN ในอาหารได้ง่ายขึ้น



ตัวอย่างค่า TDNของอาหาร

อาหารที่มีไขมันสูง

1. ไขมันจากสัตว์	มี TDN 175.2 %
2. น้ำมันข้าวโพด	มี TDN 172.8 %
3. นมผง (dried whole milk)	มี TDN 110.1 %
4. แป้งข้าวโพด	มี TDN 85.8 %
5. เมล็ดถั่วเหลือง	มี TDN 83.1 %
6. Peanut kernels	มี TDN 131.1 %
7. Ground cottonseed	มี TDN 86.6 %

อาหารที่ได้จากเมล็ดพืชหรือผลิตผลพลอยได้ที่มีเยื่อใยต่ำ อาหารโปรตีนที่มีเยื่อใยและมีกระดูกต่ำ และเปลือกส้มและกากน้ำตาลจากอ้อย

1. เมล็ดข้าว wheat	มี TDN 78.3 %
2. Yellow shelled corn	มี TDN 78.0 %
3. Dried whey	มี TDN 77.8 %
4. หางนมผง	มี TDN 77.4 %
5. Dried citrus pulp	มี TDN 76.6 %
6. 49 % กากถั่วเหลือง	มี TDN 76.3 %
7. Corn gluten meal	มี TDN 75.4 %
8. กากน้ำตาล	มี TDN 73.9 %
9. 49 % กากเมล็ดฝ้าย	มี TDN 73.6 %
10. กากลินสิด	มี TDN 73.6 %
11. Poultry by – product meal	มี TDN 73.0 %
12. กากงา	มี TDN 72.6 %
13. ข้าวฟ่าง (Hegari)	มี TDN 72.0 %
14. 44 % กากถั่วเหลือง	มี TDN 72.0 %
15. Potato meal	มี TDN 71.7 %
16. Grain sorghum grain	มี TDN 71.3 %

17. กากถั่วลิสง มี TDN 70.5 %

อาหารข้นที่ได้จากเมล็ดพืชและผลิตผลพลอยได้ซึ่งมีเยื่อใยมาก อาหารโปรตีนที่มีกระดูกสูง และกากน้ำตาลจากหัวผักกาดหวาน

1. Safflower meal without hulls มี TDN 69.5 %
2. 41% Safv. – extd cottonseed meal มี TDN 68.5 %
3. รำข้าวโพด มี TDN 68.1 %
4. ปลาป่น มี TDN 67.8 %
5. Dried beet pulp 1 molasses มี TDN 67.7 %
6. 36 % กากเมล็ดฝ้าย มี TDN 67.1 %
7. Digester tankage มี TDN 65.5 %
8. Dried beet pulp มี TDN 65.2 %
9. Tankage with bone มี TDN 62.7 %
10. Wheat bran มี TDN 62.7 %
11. ขนไก่ป่น มี TDN 62.2 %
12. Meat scrap มี TDN 62.0 %
13. กากน้ำตาลจากหัวผักกาดหวาน มี TDN 61.1 %
14. เนื้อและกระดูกป่น มี TDN 60.6 %
15. กากทานตะวัน มี TDN 60.6 %
16. Brevers dried grains มี TDN 60.3 %

หญ้าแห้ง, ฟางข้าว, ซังข้าวโพด, ต้นข้าวโพดแก่, กากน้ำตาลจากส้มและไม้ และเลือดป่น

1. รำข้าว มี TDN 58.9 %
2. เลือดป่น มี TDN 58.8 %
3. เปลือกถั่วเหลือง มี TDN 58.8 %
4. ถั่วลิสงแห้ง มี TDN 58.3 %
5. หญ้าจอนสันแห้ง มี TDN 53.8 %
6. กากน้ำตาลจากไม้ มี TDN 53.4 %
7. ถั่วคาวพี แห้ง มี TDN 53.3 %
8. หญ้าซูดานแห้ง มี TDN 53.1 %

9. กากน้ำตาลจากส้ม	มี TDN 52.5 %
10. ต้นข้าวโพดแก่	มี TDN 51.4 %
11. เปลือกเมล็ดฝ้าย	มี TDN 46.5 %
12. ถั่วเหลืองแห้ง	มี TDN 45.8 %
13. ซังข้าวโพดบด	มี TDN 44.8 %
14. หญ้าแพรกแห้ง	มี TDN 44.7 %
15. ฟางข้าว Barley	มี TDN 38.2 %

อาหารที่มีความชื้น และมีแร่ธาตุสูง , เปลือกถั่วลิสงและแกลบข้าว

1. มันฝรั่ง	มี TDN 25.4 %
2. เศษอาหาร	มี TDN 22.4 %
3. หญ้าหมักทำจากต้นข้าวโพดแก่	มี TDN 20.2 %
4. หญ้าหมักทำจาก grain sorghum	มี TDN 17.6 %
5. เปลือกถั่วลิสง	มี TDN 16.7 %
6. นมสด	มี TDN 16.1 %
7. กระดูกป่นอบไอน้ำ	มี TDN 15.0 %
8. Carrots	มี TDN 10.6 %
9. แกลบข้าว	มี TDN 10.0 %
10.หางนมสด	มี TDN 8.5 %
11. หัวกะหล่ำปลี	มี TDN 8.3 %
12. Defluorinated phosphate	มี TDN เพียงเล็กน้อย
13. Ground limestone	มี TDN เพียงเล็กน้อย
14. Oyster shell flour	มี TDN เพียงเล็กน้อย

บทที่ 9

พลังงานในอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์จากพลังงาน

คำจำกัดความเบื้องต้น

1. แคลอรี่ (calorie, cal.)

คือ จำนวนพลังงานหรือความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัมร้อนขึ้น 1 องศาเซลเซียส จาก 14.5 ^{o}C เป็น 15.5 ^{o}C

2. กิโลแคลอรี่ (kilocalorie, kcal.)

คือ จำนวนพลังงานหรือความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัมร้อนขึ้น 1 ^{o}C จาก 14.5 ^{o}C เป็น 15.5 ^{o}C

3. เมกะแคลอรี่ (megacalorie, Mcal.)

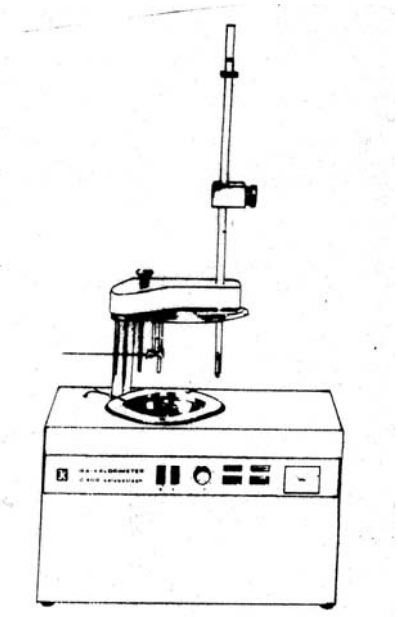
1 Mcal. = 1,000 Kcal. หรือ 1,000,000 cal.

4. บีทียู (British Thermal Unit, BTU)

คือ จำนวนพลังงานหรือความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 ^{o}F

1 BTU = 252 แคลอรี่ (ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้ในอาหารสัตว์)

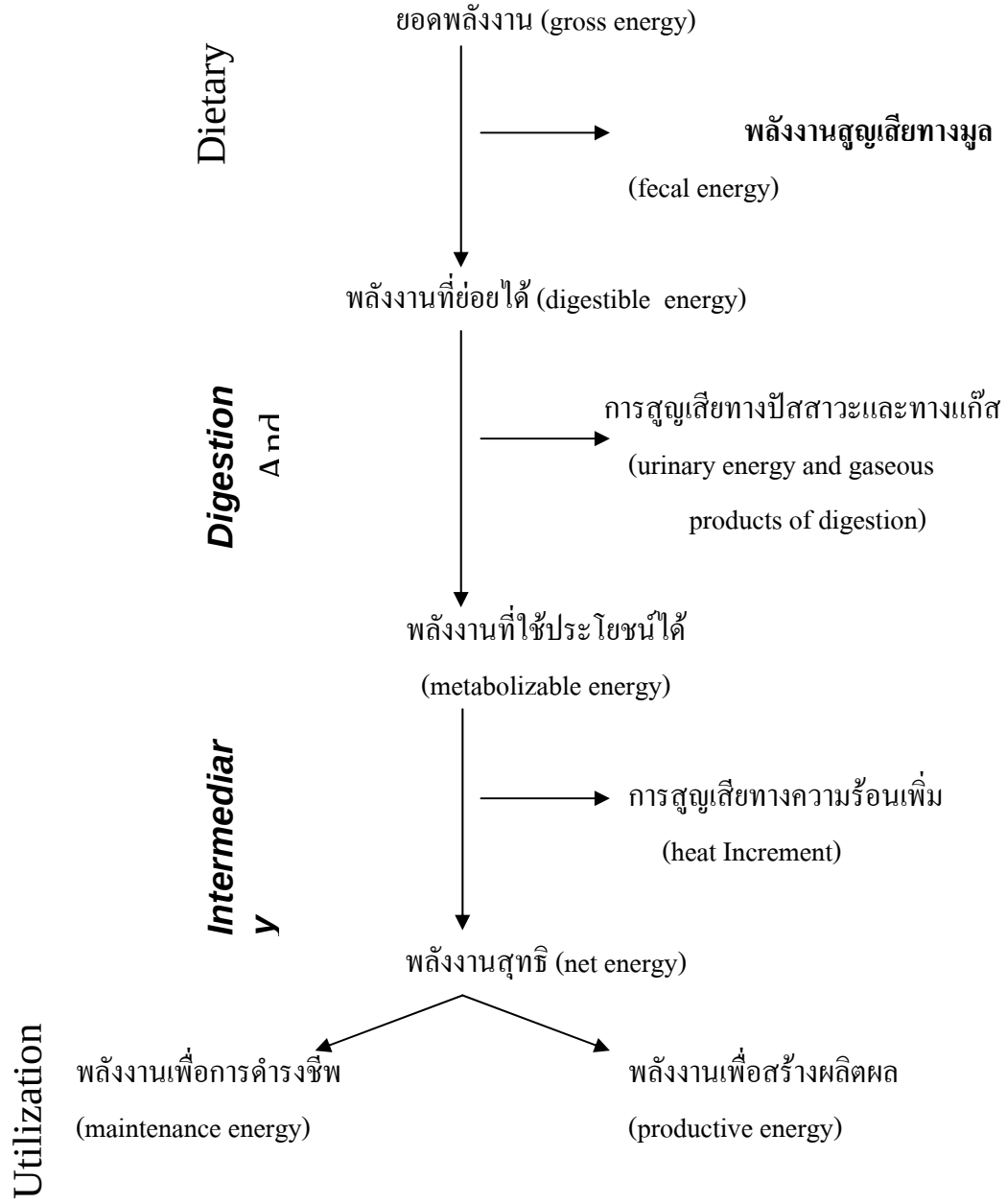
5. Bomb calorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้หา gross energy



ภาพที่ 7 เครื่อง Bomb calorimeter

ที่มา:

แผนภูมิแสดงพลังงานและการใช้ประโยชน์จากพลังงาน



ยอดพลังงาน (gross energy, GE)

คือ พลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้อาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน บางทีเรียกความร้อนหรือพลังงานที่เกิดขึ้นนี้ว่า Heat of combustion การหา GE ใช้ bomb calorimeter (ความร้อนที่เกิดขึ้นวัดเป็นแคลอรี่) โดยทั่วไปจะวัดเป็นกิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมของอาหาร หรือ Kcal. / Kg. ค่า GE จะไม่มีความสัมพันธ์กับ metabolizable energy หรือ net energy จำนวน NE นั้นจะน้อยกว่า GE เสมอ ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถ่านหิน น้ำมันแร่ และลิกนิน มีค่า GE สูง แต่เนื่องจากไม่สามารถถูกย่อยได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงไม่มีคุณค่าทางด้านพลังงานที่จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ อาหารหยาบหลาย

อย่าง มีค่า GE ใกล้เคียงกับอาหารข้น (concentrates) แต่อาหารหยาบมีค่า ME, DE และ NE แตกต่างจากอาหารข้นมาก

พลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE.)

คือ จำนวนพลังงานที่สัตว์ย่อยได้จริงๆ โดยหักพลังงานที่สูญเสียทางมูลสัตว์ออกแล้ว ดังนั้นจึงเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

DE = GE – FE (Fecal Energy) (1)

จำนวน DE. นี้มีค่าของ ME, urinary energy, และ gaseous energy รวมอยู่ด้วย หรือเขียนเป็นสูตรเสียใหม่ได้ คือ

DE = ME + urinary energy + gaseous Energy (2)

DE. แตกต่างจาก TDN ก็คือในการคำนวณหา TDN นั้นไม่ได้นำเอาพลังงานที่สูญเสียทางปัสสาวะ (urinary energy) มาคิด ซึ่งการสูญเสียดังกล่าวมีมากโดยเฉพาะ จาก protein metabolism

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME)

คือ จำนวนพลังงานที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อทำงาน (work), การเติบโต (growth), การทำให้อ้วน (fattening) , การพัฒนาของลูกสัตว์ (fetal development), การผลิตน้ำนม (milk production), และ/หรือ heat production

หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ME ก็คือส่วนหนึ่งของ GE หลังจากหักการสูญเสียทางมูล การสูญเสียทางปัสสาวะ และการสูญเสียทางแก๊ส (ส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน) ตามสูตร

ME = GE – UE (urinary energy) – gaseous energy

แต่เนื่องจาก DE = GE – FE

ดังนั้น ME = DE – UE – Gaseous Energy

ถ้าเปรียบเทียบกับ TDN

ME = TDN – พลังงานสูญเสียทางแก๊สจากการ fermentation

พลังงานสุทธิ (net energy, NE)

คือพลังงานส่วนหนึ่งของ ME ซึ่งสัตว์เอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้จริงๆ ตามความต้องการของสัตว์ โดยสัตว์นำไปใช้เพื่อการทำงาน การเจริญเติบโต การทำให้อ้วน การพัฒนาลูกสัตว์ การสร้างน้ำนม และ/หรือ heat production, NE แตกต่างจาก ME คือ NE ไม่ได้รวมถึงความร้อนจากการหมักบูด (heat of fermentation) และ nutrient metabolism หรือการเพิ่มความร้อน (heat increment)

NE = GE – FE – UE – Gaseous Energy – Heat Increment

หรือ NE = DE – UE - Gaseous Energy – Heat Increment

หรือ NE = ME – HI (Heat Increment)

พลังงานสุทธิที่ใช้ในการดำรงชีพของสัตว์ (NE for maintenance, NE_m)

1) BM (basal metabolism) เป็นพลังงานที่สัตว์ต้องการใช้หรือสัตว์ระบายออกนอกร่างกาย ในขณะที่สัตว์อยู่เฉยๆ โดยไม่มีการผลิต และไม่กินอาหาร หรืออาจพูดอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นพลังงานที่สัตว์ต้องการใช้ในการหายใจ การหมุนเวียนโลหิต การทำงานของกล้ามเนื้อบางส่วน การสร้างน้ำย่อย การสร้างฮอร์โมน และการทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของร่างกายขณะอยู่เฉยๆ พลังงานนี้มีจำนวนน้อยที่สุด บางทีเรียกพลังงานนี้ว่า fasting or resting catabolism

การวัด BM ใช้ BMR (basal metabolic rate) ซึ่งสัตว์ที่จะใช้วัดหา BMR นั้น ต้องอยู่ในสภาพดังต่อไปนี้

ได้รับอาหารที่ดีมาแล้ว

ก. อุณหภูมิรอบตัวประมาณ 25 ^{o}C

มีการพักผ่อนตามสบายก่อนการวัด

ผ่านระยะการย่อยและการดูดซึมอาหารมาแล้ว

2) VAE (voluntary activity energy) เป็นพลังงานที่ต้องการใช้ในการลุก การยืน การเคลื่อนไหวไปมาเพื่อกินอาหาร และการเล็มหญ้า การดื่มน้ำ การนอน ฯลฯ

3) HBW (heat to keep body warm) เป็นพลังงานที่ต้องการเพิ่มเติม เพื่อทำให้ร่างกายอบอุ่น เมื่ออุณหภูมิภายนอกร่างกาย หรือสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำ อย่างเช่นในฤดูหนาว HI (heat increment) และ HF. (heat of fermentation) เป็นพลังงานทั้งหมดหรือบางส่วนที่สัตว์ใช้ในการทำให้ร่างกายเกิดความอบอุ่น

4) HBC (heat to keep body cool) เป็นพลังงานพิเศษเพิ่มเติมที่สัตว์ใช้ในขณะที่สิ่งแวดล้อมมีอากาศร้อนเกินกว่าระดับ thermal neutrality

พลังงานสุทธิที่ใช้ในการสร้างผลผลิตของสัตว์ (net energy for production, Ne_p)

เป็นพลังงานสุทธิที่สัตว์ต้องการเพิ่มเติมไปจาก Ne_m เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโต หรือการสร้างไขมัน การสร้างลูกสัตว์ การผลิตนม การผลิตไข่ การสร้างขนสัตว์ ฯลฯ

พลังงานที่สูญเสียไป

1. พลังงานสูญเสียทางมูล (fecal energy, FE)

ระหว่างการย่อยและการดูดซึม GE จะถูกแยกออกส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปทางมูล นอกจากจะมีส่วนของอาหารที่ไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึมแล้ว สิ่งที่ปนออกมากับมูลสัตว์มีเซลล์ของ villi, เศษเหลือของจุลินทรีย์ที่ไม่ถูกย่อย และน้ำย่อย เป็นต้น การหา FE โดยการเก็บข้อมูลสัตว์แล้วนำไปหาพลังงานโดยการใช้ bomb calorimeter การสูญเสียทางมูลเป็นการสูญเสียที่สูง

2. พลังงานสูญเสียทางปัสสาวะ (urinary energy, UE)

เป็นพลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะในรูปของ Urea, citric acid, และสารประกอบที่มีไนโตรเจนอื่นๆ

3. พลังงานสูญเสียทางแก๊ส (gaseous energy)

พลังงานจำนวนน้อยสูญเสียทาง combustible gases โดยเฉพาะทางแก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งเกิดจากการหมักบูด (fermentation) อาหารเซลลูโลส, pentosans และอาหารคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ พลังงานที่สูญเสียทางแก๊สประมาณน้อยกว่า 10% ของพลังงานทั้งหมด

4. พลังงานที่สูญเสียทางความร้อนเพิ่ม (heat increment, HI)

เป็นพลังงานที่สูญเสียไปในการเคี้ยว การบดอาหาร การกลืน การย่อยอาหาร การดูดซึม และการนำเอาอาหารไปใช้ การหา HI เป็นเรื่องยุ่งยากและสลับซับซ้อน เครื่องมือที่ใช้หาเรียกว่า Respiration Calorimeter.

เปรียบเทียบ TDN, DE, ME และ NE

DE มีความถูกต้องแน่นอนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ TDN, ME และ NE เพราะ DE นั้นรวมเอาพลังงานทุกอย่าง (ยกเว้นพลังงานที่สูญเสียทางมูล) โดยมิได้คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานระหว่างการย่อยอาหาร และการใช้อาหารให้เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

TDN เป็นการวัดหาพลังงานที่ดีกว่าDE แต่ค่าของTDNมีข้อเสียตรงที่ว่าไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียทางแก๊ส โดยเฉพาะในการหมักบูดอาหารหยาบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนี้ค่าของ TDN อาจกระทบกระเทือนเนื่องจากการสูญเสียพลังงานโปรตีนทาง Urine

ME เป็นการวัดหาพลังงานที่ดีกว่า DE หรือ TDN เพราะเอาค่าของพลังงานที่สูญเสียทาง Urine และทางแก๊สมาคิดด้วย การใช้ ME จึงเหมาะสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะในสัตว์ดังกล่าว การสูญเสียพลังงานมีมากทั้งทาง urine และทางแก๊ส

NE เป็นการวัดหาพลังงานที่ดีที่สุด และถูกต้องแน่นอนกว่าวิธีอื่นๆ เพราะเป็นการวัดหาจำนวนพลังงานที่สัตว์ต้องการใช้จริงๆ และคำนึงถึงการสูญเสียของพลังงานที่เกิดขึ้นทุกๆ ทาง

บทที่ 10
การคำนวณสูตรอาหารสัตว์เบื้องต้น

หลักเกณฑ์ประกอบในการคำนวณสูตรอาหาร

ในการคำนวณสูตรอาหาร ควรจะได้พิจารณาถึงหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ต้องทราบความต้องการอาหารของสัตว์แต่ละชนิดตามขนาด อายุ น้ำหนัก และกำลังผลิตว่ามีความต้องการโภชนะต่างๆเท่าไร จากข้อมูลของกองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ แสดงให้เห็นว่าสัตว์แต่ละชนิดมีความต้องการแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 24 - 27

1.2 ในการคำนวณสูตรอาหารมักคำนวณวัตถุแห้ง (Dry matter) โปรตีน (Protein) พลังงาน (Energy) แคลเซียม (Calcium) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และแคโรทีน หรือวิตามิน เอ (Carotene or Vitamin A)

สำหรับสุกรและไก่ ควรคำนวณหากรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) และวิตามินอื่นๆด้วย

1.3 ต้องทราบค่าโภชนะต่างๆที่มีอยู่ในอาหารว่าอาหารแต่ละชนิดที่จะใช้มีโปรตีน พลังงาน ฯลฯ อยู่เป็นจำนวนเท่าไร ยกตัวอย่างเช่น กากถั่วเหลืองมีโปรตีน 44 % ถ้าเราต้องใช้กากถั่วเหลืองจำนวน 15 กิโลกรัม ในสูตรอาหาร ก็สามารถคำนวณหาว่ากากถั่วเหลือง 15 กิโลกรัม ให้โปรตีนเท่าใด

ดังนั้นกากถั่วเหลือง 15 กิโลกรัม มีโปรตีน $= \frac{44 \times 15}{100}$

$= 6.6\ \%$

ดังนั้นโภชนะอย่างอื่นก็สามารถคำนวณหาได้เช่นเดียวกัน

1.4 เลือกอาหารที่จะใช้ผสมในสูตรอาหารให้ถูกต้อง เช่น เป็นอาหารที่ให้โภชนะสูง มีคุณภาพสูง เป็นอาหารที่หาง่าย ราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอื่น มีความน่ากิน และเป็นอาหารที่ไม่ทำให้โภชนะอื่นๆเสื่อมค่า ในกรณีของราคาวัตถุดิบจะแปรผันตลอดเวลา ดังนั้นต้องใช้ราคาในช่วงเวลาปัจจุบัน

1.5 จัดสัดส่วนวัตถุดิบให้เหมาะสม เช่น ให้มีอาหารพลังงาน 70 – 75 % โปรตีน 20% แร่ธาตุ วิตามินอื่น ๆ 5 – 10 % โปรตีนนั้นควรเป็นโปรตีนจากสัตว์ไม่น้อยกว่า 10 %

1.6 จะต้องมี essential amino acid ครบ ตามความต้องการของสัตว์

1.7 จะต้องมีวิตามินอยู่ครบโดยเฉพาะวิตามิน เอ ดี อี และเค

1.8 จะต้องมีพลังงานเพียงพอ

1.9 จะต้องมีแร่ธาตุเพียงพอ โดยเฉพาะแคลเซี่ยมและฟอสฟอรัส

1.10 เมื่อคำนวณสูตรอาหารออกมาแล้ว ต้องมีโภชนะต่างๆ ตรงตามความต้องการของสัตว์ เช่น

- ควรมีโภชนะต่างๆ ไม่ต่ำกว่าระดับ minimum ที่สัตว์ต้องการมากกว่า 3 %

- ควรมีพลังงานไม่เกินกว่าความต้องการมากกว่า 5 % เพราะสัตว์มีความสามารถใช้พลังงานได้จำกัด

- โปรตีนถ้ามีมากเกินความต้องการ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ แต่เป็นการสิ้นเปลืองเงินทองโดยใช่เหตุ

- แคลเซียมและฟอสฟอรัส เมื่อคำนวณออกมาแล้วมีมากเกินความต้องการถ้าจะให้ดีควรคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างแคลเซี่ยม: ฟอสฟอรัส ควรอยู่ระหว่าง 1: 1 และ 2: 1

- จำนวนแคโรทีนที่คำนวณได้อาจมีมากเกินความต้องการของสัตว์ บางครั้งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่แคโรทีนถึงจะมีมากก็ไม่เกิดอันตรายต่อสัตว์

ตารางที่ 24 ความต้องการโภชนะของไก่เนื้อ

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	ไก่เนื้อระยะแรก (อายุ 0-3 สัปดาห์)	ไก่เนื้อระยะรุ่น (อายุ 3-6 สัปดาห์)	ไก่เนื้อระยะขุน (อายุ 6 สัปดาห์ขึ้นไป)
โปรตีน (%)	23.00	20.00	18.00
พลังงาน (ก.แคล/กก.)	3180.00	3180.00	3200.00
แคลเซียม (%)	1.00	0.90	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.45	0.40	0.35
ไลซีน (%)	1.20	1.00	0.85
เมท+ซีส (%)	0.93	0.72	0.60

ตารางที่ 25 ความต้องการโภชนะของไก่ไข่

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	ไก่สาวก่อนไข่ (อายุ 14-20 สัปดาห์)	ไก่ระยะไข่ (ปริมาณกินได้ 90-100 กรัม/วัน)	ไก่ระยะไข่ (ปริมาณกินได้ 100-110 กรัม/วัน)
โปรตีน (%)	14.50	17.7	16.00
พลังงาน (ก.แคล/กก.)	2800.00	2900.00	2900.00
แคลเซียม (%)	1.05	4.15	3.75
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.50	0.39	0.35
ไลซีน (%)	0.80	0.79	0.71
เมทไธโอนีน+ซีสทีน(%)	0.56	0.67	0.61

ตารางที่ 26 ความต้องการโภชนะของเป็ดเนื้อ

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	เป็ดเนื้อระยะแรก (อายุ 0-2 สัปดาห์)	เป็ดเนื้อระยะรุ่น (อายุ 2-4 สัปดาห์)	เป็ดเนื้อระยะขุน (อายุ 4-7 สัปดาห์)
โปรตีน (%)	22.00	18.00	16.00
พลังงาน (ก.แคล/กก.)	3080.00	2900.00	2900.00
แคลเซียม (%)	1.00	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.45	0.40	0.35
ไลซีน (%)	1.20	1.00	0.90
เมท+ซีส (%)	1.00	0.80	0.80

ตารางที่ 27 ความต้องการโภชนะของเป็ดไข่

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	เป็ดสาวก่อนไข่ (อายุ9-20 สัปดาห์)	เป็ดไข่ (อายุ 24-48 สัปดาห์)	เป็ดไข่ (อายุ 48-72 สัปดาห์)
โปรตีน (%)	15.00	18.00	16.00
พลังงาน (ก.แคล/กก.)	2600.00	2700.00	2700.00
แคลเซียม (%)	1.10	2.50	2.10
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.42	0.50	0.42
ไลซีน (%)	0.82	0.88	0.65
เมทไธโอนีน+ซีสทีน (%)	0.58	0.89	0.59

ตารางที่ 28 ความต้องการโภชนะของสุกร

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	สุกรหย่านม (นน. 15-25 กก.)	สุกรรุ่น (นน.25-50 กก.)	สุกรขุน (นน. 50-90 กก.)
โปรตีน (%)	18.00	16.00	14.00
พลังงาน, ME (กิโลแคลอรี่/กก.)	3250.00	3150.00	3150.00
แคลเซียม (%)	0.70	0.60	0.60
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.32	0.50	0.50
ไลซีน (%)	0.95	0.75	0.60
เมทไทโอนีน+ซีสทีน (%)	0.48	0.41	0.34

ตารางที่ 29 ความต้องการโภชนะของโคนม

ความต้องการโภชนะ	เพื่อการดำรงชีพ			เพื่อการผลิตน้ำนม 1กก. และมีไขมัน (%)				เพื่อเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กก.
	นน.ตัว 400 กก.	นน.ตัว 450 กก.	นน.ตัว 500 กก.	3.0	3.5	4.0	4.5	
โปรตีน (ก./วัน)	318	341	364	78	84	90	96	320
โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (กก./วัน)	3.13	3.42	3.07	0.280	0.301	0.322	0.343	2.26
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/วัน)	12.01	13.12	14.20	1.07	1.15	1.24	1.32	8.56
แคลเซียม (ก./วัน)	16	18	20	2.73	2.97	3.21	3.45	-
ฟอสฟอรัส (ก./วัน)	11	13	14	1.68	1.83	1.98	2.13	-

ตารางที่ 30 แสดงคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์บางชนิด ร้อยละของสภาพที่ใช้เลี้ยง

ชนิดวัตถุดิบ	ส่วนประกอบ (%)						
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	เยื่อใย	ไขมัน	Ca	P

แหล่งอาหารพลังงาน							
รำละเอียด	12.00	10.90	12.00	11.00	12.00	0.06	0.47
ปลายข้าว	12.00	0.70	8.00	1.00	12.00	0.03	0.04
ข้าวโพด	13.00	1.30	8.00	2.50	4.00	0.01	0.10
ข้าวฟ่าง	11.20	-	11.00	2.00	11.00	0.04	0.29
มันสำปะหลัง	10.00	3.70	2.50	3.70	0.75	0.12	0.05
แหล่งอาหารโปรตีน							
กากถั่วเหลือง	10.00	6.00	44.00	7.00	1.00	0.25	0.20
กากถั่วลิสง	8.20	-	45.00	12.00	5.00	0.15	0.55
กากฝ้าย	10.00	6.00	41.00	12.00	1.50	0.15	0.33
กากงา	8.00	10.40	40.40	6.40	10.60	-	-
กากมะพร้าว	10.00	7.00	21.00	12.00	6.00	0.20	0.20
ใบกระถินป่น	10.00	8.80	20.20	18.00	3.50	0.54	0.30
ปลาป่น 60%	8.00	19.00	60.00	-	10.00	5.00	3.00
เลือดป่น	10.40	4.80	81.50	0.70	1.00	0.28	0.22

วิธีต่างๆในการคำนวณสูตรอาหาร

1.การคำนวณโดยใช้รูปสี่เหลี่ยมของเพียสัน (_Peason ‘s Square Method)

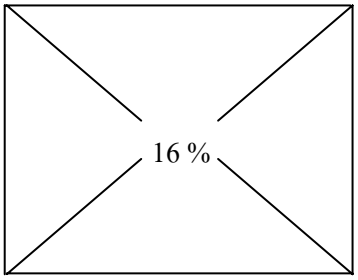
1.1 <u>เมื่อใช้อาหารเพียงสองชนิด</u>

ตัวอย่าง กสิกรผู้เลี้ยงสุกรต้องการผสมอาหารโดยการใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) ผสมกับอาหารเสริม (40 % โปรตีน) เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้อาหารที่มีโปรตีน 16 % ถ้ากสิกรผสมอาหาร 100 กิโลกรัม จะต้องใช้ข้าวโพด และอาหารเสริมอย่างละกี่กิโลกรัม

วิธีคำนวณ

1. เขียนรูปสี่เหลี่ยมดังภาพ

ข้าวโพด 8.8 24



อาหารเสริม 40.0 7.2

รวม 31.2

2. เขียน % โปรตีนของอาหารที่ใช้ด้านซ้ายบนและล่าง
3. เขียน % โปรตีนของอาหารที่ผสมไว้ตรงกลางรูปสี่เหลี่ยม
4. หาผลต่างของโปรตีน ตามเส้นทแยงมุม

16 – 8.8 = 7.2 (เขียนไว้ด้านล่าง)

40 – 16 = 24 (เขียนไว้ด้านบน)

5. หาผลรวมสัดส่วนของอาหารที่ใช้

24 + 7.2 = 31.2

6. คำนวณการใช้อาหารแต่ละชนิด

ใช้ข้าวโพด = $\frac{24}{31.2}$ x 100 = 76.92 ก.ก.

ใช้อาหารเสริม = $\frac{7.1}{31.2}$ x 100 = 23.08 ก.ก.

หรือใช้อาหารเสริม = 100 – 76.92 ก.ก.

= 23.08 ก.ก.

7. ตรวจสอบว่าการคำนวณถูกต้องหรือไม่ ดังต่อไปนี้

ข้าวโพดให้โปรตีน = $\frac{76.92 \times 8.8}{100}$ = 6.77 %

อาหารเสริมให้โปรตีน = $\frac{23.08 \times 40}{100}$ = $\frac{9.23\ \%}{16.00\ \%}$

แสดงว่าการคำนวณถูกต้อง

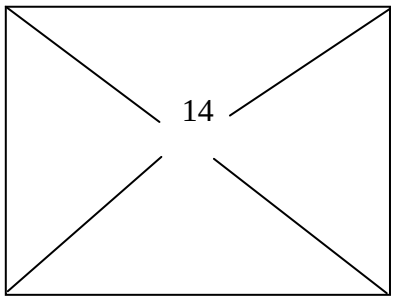
1.2 <u>เมื่อใช้อาหารสามชนิดหรือมากกว่าสามชนิด</u>

ตัวอย่างที่ 1 กสิกรต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้ข้างโพด (8.8 % โปรตีน) , รำข้าว (12 % โปรตีน) และอาหารเสริม (40 % โปรตีน) เมื่อผสมอาหารทั้งสามชนิดเข้าด้วยกันแล้วให้ได้โปรตีน 14 % (ใช้ข้าวโพด : รำข้าว = 2 : 1) อยากทราบว่าจะต้องใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

วิธีคำนวณ

1รำข้าว

2 ข้าวโพด 9.8 % 26



อาหารเสริม 40 4.13

รวม 30.13

1. หาส่วนผสมระหว่างข้าวโพด และรำข้าวเสียก่อนว่ามีโปรตีนกี่เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

ข้าวโพดมีโปรตีน	2 x 8.8	=	17.6
รำข้าวมีโปรตีน	1 x 12	=	12.0
	รวม	=	29.6 ÷ 3
ข้าวโพด + รำข้าวมีโปรตีน		=	9.87 %

2. ปฏิบัติตามขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1
3. คำนวณการใช้อาหารแต่ละชนิด

ใช้ข้าวโพด + รำข้าว	=	$\frac{26}{30.13}$ x 100	=	86.29 ก.ก.
ใช้อาหารเสริม	=	100 – 86.29	=	13.71 ก.ก.
ใช้ข้าวโพด	=	$\frac{2}{3}$ x 86.29	=	57.53 ก.ก.
ใช้รำข้าว	=	$\frac{1}{3}$ x 86.29	=	28.76 ก.ก.

4. ตรวจสอบการคำนวณ

ข้าวโพดให้โปรตีน = $\frac{57.53 \times 8.8}{100}$ = 5.063 %

รำข้าวให้โปรตีน = $\frac{28.76 \times 12}{100}$ = 3.451 %

อาหารเสริมให้โปรตีน = $\frac{13.71 \times 40}{100}$ = 5.484 %

รวม = 13.998 %

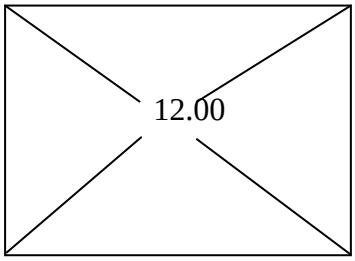
หรือ = 14 %

ตัวอย่างที่ 2 ต้องการผสมอาหารเลี้ยงโคเนื้อให้มีโปรตีน 12 % โดยใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) หญ้าแห้ง (9.0 % โปรตีน) , และกากถั่วเหลือง (45.8 % โปรตีน) ผสมอาหาร 100 กิโลกรัม อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด (กำหนดให้ใช้ข้าวโพด : หญ้าแห้ง = 4 : 1)

วิธีคำนวณ

๔ ข้าวโพด

1 หญ้าแห้ง 8.84 33.80



กากถั่วเหลือง 45.8 3.16

รวม 36.96

ข้าวโพดมีโปรตีน 4 x 8.8 = 35.2 %

หญ้าแห้งมีโปรตีน 1 x 9.0 = $\frac{9.0}{44.2 \div 5}$ %

ข้าวโพด + หญ้าแห้งมีโปรตีน = 8.84 %

ใช้ข้าวโพด + หญ้าแห้ง = $\frac{33.80}{36.96} \times 100$

= 91.45 กิโลกรัม

ใช้กากถั่วเหลือง = 100 – 91.45

= 8.55 กิโลกรัม

ใช้ข้าวโพด = $\frac{4}{5} \times 91.45$

= 73.16 กิโลกรัม

ใช้หญ้าแห้ง = 91.45 – 73.16

= 18.29 กิโลกรัม

ตรวจสอบการคำนวณ

ข้าวโพดให้โปรตีน	=	73.16 x $\frac{8.8}{100}$	=	6.45 %
หญ้าแห้งให้โปรตีน	=	18.29 x $\frac{9.0}{100}$	=	1.64 %
กากถั่วเหลืองให้โปรตีน	=	8.55 x $\frac{45.8}{100}$	=	3.91 %
รวม	=	12.00 %		

2. การคำนวณโดยวิธีพีชคณิต (Algebratic Method)

2.1 เมื่อใช้อาหารเพียงสองชนิด

ตัวอย่าง กสิกรผู้เลี้ยงสุกรต้องการผสมอาหารโดยการใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) ผสมกับอาหารเสริม (40 %โปรตีน) เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้อาหารที่มีโปรตีน 16% ถ้ากสิกรผสมอาหาร 100 กิโลกรัม จะต้องใช้ข้าวโพดและอาหารเสริมอย่างละกี่กิโลกรัม?

วิธีคำนวณ

X = กิโลกรัมข้าวโพด / 100กิโลกรัมอาหารผสม

Y = กิโลกรัมอาหารเสริม / 100 กิโลกรัมอาหารผสม

X + Y = 100 ---------- (1)

0.088 X + 0.40Y = 16.0 (กิโลกรัมโปรตีน / 100กิโลกรัมอาหารผสม) ---------- (2)

(1) คูณด้วย 0.088

0.088 X + 0.088 Y = 8.8 ----------(3)

(2) – (3) 0.31 Y = 7.2

Y = 23.08

X = 100 – 23.08

= 76.92

ใช้ข้าวโพด = 76.92 กิโลกรัม

ใช้อาหารเสริม = 23.08 กิโลกรัม

2.2 เมื่อให้อาหรสามชนิดหรือมากกว่าสามชนิด

ตัวอย่าง กสิกรต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้ข้าวโพด (8.8 %โปรตีน) รำข้าว (12 % โปรตีน) และอาหารเสริม (40 %โปรตีน) เมื่อผสมอาหารทั้งสามชนิดเข้าด้วยกันแล้วให้ได้โปรตีน 14% (ใช้ข้าวโพด :รำข้าว = 2 : 1) อยากทราบว่าจะต้องใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

วิธีคำนวณ

X = กิโลกรัมข้าวโพด + กิโลกรัมรำข้าว / 100 กิโลกรัมอาหารผสม

Y = กิโลกรัมอาหารเสริม / 100 กิโลกรัมอาหารผสม

$X + Y = 100$ ----------(1)

$\frac{(2 \times 8.8)}{3} + \frac{(1 \times 12)}{100} X + 0.40 Y = 14$ ----------(2)

$0.0987 X + 0.40 Y = 14$ ----------(3)

(1) คูณด้วย 0.0987

$0.0987 X + 0.0987 Y = 9.87$ ----------(4)

(3) – (4) $0.3013 Y = 4.13$

$Y = \frac{4.13}{0.3013}$

$= 13.71$

$X = 100 – 13.71$

$= 86.29$

∴ ใช้ข้าวโพด $\frac{2}{3} \times 86.29 = 57.53$ กิโลกรัม

ใช้รำข้าว $\frac{1}{3} \times 86.29 = 28.76$ กิโลกรัม

ใช้อาหารเสริม = 13.71 กิโลกรัม

2.3 เมื่อกำหนดจำนวนอาหารบางชนิด

ตัวอย่างที่1 ต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม ให้มีโปรตีน 14% โดยให้อาหารที่ผสมนั้นมีรำข้าว 17 % (11.7 % โปรตีน) และมีวิตามิน 3 % ส่วนที่เหลือเป็นข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) และกากถั่วเหลือง (44 % โปรตีน) อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

วิธีคำนวณ

17 กิโลกรัมของรำข้าวให้โปรตีน 17 x 0.117 = 1.99

3 กิโลกรัมของวิตามินให้โปรตีน 3 x 0 = 0

โปรตีน / 20 กิโลกรัม = 1.99

ต้องการให้มีโปรตีน 14 % ในอาหารผสม

14 กิโลกรัมโปรตีน / 100 กิโลกรัม อาหารผสม

โปรตีน 1.99 กิโลกรัม จากอาหารที่กำหนดให้ใช้

โปรตีน12.01 กิโลกรัม จากอาหารที่เหลือ 80 กิโลกรัม

หรือ $\frac{12.01}{80}$ = 15.0 % โปรตีนในอาหาร 80 กิโลกรัม

X = กิโลกรัมข้าวโพด

80 – X = กิโลกรัมถั่วเหลือง

$X(0.088) + (80 - X)(0.44)$ = 12.01

$0.088X - 44 + 35.2$ = 12.01

$-352X$ = -23.19

X = $\frac{23.19}{0.352}$

= 65.88 กิโลกรัม

∴ ใช้กากถั่วเหลือง = 80 – 65.88

= 14.12 กิโลกรัม

ตรวจสอบการคำนวณ

ใช้ข้าวโพด 65.88 กิโลกรัม ให้โปรตีน	=	65.08 x 0.088	=	5.80
กากถั่วเหลือง 14.12 กิโลกรัม ให้โปรตีน	=	14.12 x 0.44	=	6.21
รำข้าว 17 กิโลกรัม ให้โปรตีน	=	17 x 0.117	=	1.99
วิตามิน 3 กิโลกรัม ให้โปรตีน	=	3 x 0	=	0
รวม 100 กิโลกรัม				14 %

ตัวอย่างที่ 2 ***จงคำนวณสูตรอาหารเพื่อใช้เลี้ยงลูกสุกรหนัก 50 ปอนด์ จำนวน 2,000 ปอนด์ โดยกำหนดให้ใช้อาหารดังต่อไปนี้ข้าวโพด (8.8%โปรตีน) กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน) Dicalcium phosphate (22 % Ca , 18 % P) Calcium carbonate (38% Ca , 0 % P)ในสูตรอาหารให้มีเกลือ 10 ปอนด์, Vitamin premix 5 ปอนด์, Mineral premix 1 ปอนด์ และปฏิชีวนะสาร 2 ปอนด์ รวมทั้ง***

วิธีคำนวณ

ก่อนอื่นดูความต้องการของลูกสุกรหนัก 50 ปอนด์ พบว่ามีความต้องการดังนี้ โปรตีน 16 % แคลเซียม 0.65 % และฟอสฟอรัส 0 .50 %

ในสูตรอาหารให้ใช้

เกลือ	10	ปอนด์	} 18 ปอนด์
Vitamin premix	5	ปอนด์	
Mineral premix	1	ปอนด์	
ปฏิชีวนะ	2	ปอนด์	

Dicalcium phosphate และ Calcium carbonate 42 ปอนด์ (สมมุติเอาเอง)

รวมเป็น 60 ปอนด์

$\frac{60}{2000} \times 100$ = 3 % (อาหารไม่มีโปรตีน)

100 – 3 = 97 % (อาหารให้โปรตีน)

X = จำนวนข้าวโพดที่ใช้

97 – X = จำนวนกากถั่วเหลืองที่ใช้

$0.088\ X + 0.44\ (97 - X) = 16$

$0.088\ X + 42.68 - 0.44\ X = 16$

$0.088\ X - 0.44\ X = 16 - 42.68$

$-0.352\ X = -26.68$

$X = \frac{26.68}{0.352}$

$= 75.79\ \%$

∴ ใช้ข้าวโพด = 75.79 %

∴ ใช้กากถั่วเหลือง = 97 – 75.79

= 21.21 %

รายชื่ออาหาร	**%ที่ใช้ในสูตรอาหาร**	**%แคลเซี่ยม**	**%ฟอสฟอรัส**
ข้าวโพด	75.79	0.0076	0.189
กากถั่วเหลือง	21.21	0.053	0.127
รวม	97.00	0.0606	0.316

ความต้องการฟอสฟอรัสของลูกสุกร = 0.50 %

ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองให้ = 0.316 %

ยังขาดอยู่ = 0.184 %

จากโจทย์กำหนดให้ Dicalcium phosphate มี 22 % Ca และ 18 % P ส่วน Calcium carbonate มี 38 % Ca และ 0 % P

ดังนั้น $0.18\ X = 0.184$

$X = \frac{0.184}{0.18}$

= 1.02 %

ต้องใช้ Dicalciumphosphate 1.02 % ถึงจะได้ฟอสฟอรัสครบตามความต้องการ

ความต้องการแคลเซียมของสุกร = 0.65 %

ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองให้ = 0.0606 %

ยังขาดอยู่ = 0.5894 %

แต่ Dicalciumphosphate 1.02 % ให้ Ca = 0.2244 %

ยังขาด Ca = 0.365 %

$0.38\ X = 0.365$

$X = \frac{0.365}{0.38}$

= 0.96 %

ต้องใช้ Calcium carbonate 0.96 % ถึงจะได้แคลเซียมครบตามความต้องการ

ดังนั้นโดยสรุปต้องใช้

เกลือ	0.5 %
Vatamin premix	0.25 %
Mineral premix	0.05 %

	Antibiotics	0.10 %	
	Dicalcium phosphate	1.02 %	
	Calcium carbonate	0.96 %	
	รวม	2.88 %	(อาหารที่ไม่ให้โปรตีน)
100 – 2.88		=	97.12 % (อาหารให้โปรตีน)
0.088 X + 0.44 (97.12 – X)		=	16
0.088 X + 42.7328 – 0.44 X		=	16
0.088 X – 0.44 X		=	16 – 42.7328
- 0.352 X		=	- 26.7328
X		=	$\frac{26.7328}{0.352}$
		=	75.94 %
∴ ใช้กากถั่วเหลือง		=	97.12 – 75.94
		=	21.18 %

สูตรอาหารสำหรับลูกสุกรหนัก 50 ปอนด์ มีดังต่อไปนี้

1. ข้าวโพด	=	75.94 %
2. กากถั่วเหลือง	=	21.18 %
3. เกลือ	=	0.5 %
4. Vitamin premix	=	0.25 %
5. Mineral premix	=	0.05 %
6. Antibiotics	=	0.10 %
7. Dicalcium phosphate	=	1.02 %
8. Calcium carbonate	=	$\frac{0.96}{100}$ %

ตรวจสอบการคำนวณ	**% โปรตีน**	**% Ca**	**% P**
ข้าวโพด 75.94 %	6.68	0.0076	0.1898
กากถั่วเหลือง 21.18 %	9.32	0.0529	0.1271
เกลือ 0.5 %	-	-	-
Vit. premix 0.25 %	-	-	-
Mineral premix 0.05 %	-	-	-
Antibiotics 0.10 %	-	-	-

Dical . phosphate 1.02 %	-	0.2244	0.1836
Cal . carbonate 0.96 %	-	0.3648	-
รวม	16.00	0.65	0.50

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2551. ความต้องการโภชนะของสัตว์. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowlage/nutrition_1.htm (21 มกราคม 2551).

กวี จุติกุล. 2532. หลักโภชนศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น. 200 หน้า.

จรัส สว่างทัพ. 2548. อาหารและการให้อาหารสัตว์. สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์ บุรีรัมย์. 341 หน้า.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. 2550. ชีวเคมี พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. 534 หน้า

เทิดชัย เวียรศิลป์. 2548. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง พิมพ์ครั้งที่ 5. ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย. เชียงใหม่. 357 หน้า.

ธาตรี จีราพันธุ์. 2549. อาหารและการให้อาหารสัตว์. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา http://www.nsru.ac.th/e-learning/animal/project.php (21 มกราคม 2551).

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2541. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ธนบรรณการพิมพ์ เชียงใหม่. 178 หน้า

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2541. โภชนะศาสตร์สัตว์ พิมพ์ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่. 170 หน้า.

บุญเสริม ชีวอิสระกุล และ บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2542. พื้นฐานสัตวศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่. 186 หน้า.

ประดิษฐ์ มีสุข. 2547. ชีวเคมีเบื้องต้น (เคมีชีวิต) ฉบับปรับปรุงใหม่ พิมพ์ครั้งที่ 4. โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ. 445 หน้า.

พันทิพา พงษ์เพียรจันทร์. 2539. การผลิตอาหารสัตว์.โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ. 294 หน้า.

พันทิพา พงษ์เพียรจันทร์. 2547. หลักการอาหารสัตว์: หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์ เล่ม2. โอ-เดียนสโตร์ กรุงเทพมหาฯ. 611 หน้า.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พับลิชชิ่ง กรุงเทพฯ. 473 หน้า.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ และสาโรช ค้าเจริญ. 2530. อาหารและการให้อาหารสัตว์ปีก. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น. 335 หน้า.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ สาโรช ค้าเจริญ และ ภัทนีย์ เล็กศรีสมพงษ์. (2534). สถานการณ์ทางเศรษฐกิจต่ออนาคตของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ไทย. วารสารธุรกิจอาหารสัตว์. 8 (29) : 9 – 18.

วิโรจน์ จันทรัตน์. 2537. กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์ปีก. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 899 หน้า.

ศรีสกุล วรจันทรา และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์สัตว์. โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.กรุงเทพฯ. 216 หน้า.

สาโรช ค้าเจริญ. 2523. อาหารและการให้อาหารสัตว์เลี้ยง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น. 250 หน้า.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น. 669 หน้า.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2530. วัตถุดิบอาหารสัตว์: การใช้และการตรวจสอบคุณภาพ. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม. 135 หน้า.

สุวิทย์ ธีรพันธุวัฒน์. 2536. วัตถุดิบอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น. 167 หน้า.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 282 หน้า.

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม. 297 หน้า.

อาภัสสรา ชมิดท์. 2543. ชีวเคมี. รั้วเขียว กรุงเทพฯ. 589 หน้า.

Acker, D. and M. Cunningham. 1991. Animal Science and Industry. 4th edition. Prentice Hall, Englewood cliffs, New Jersey. 709 p.

Aehle, W. 2007. Enzymes in Industry: Production and Applications. 3rd edition. Wiley, Weinheim 489 p.

Church D.C. and W.G. Pond. 1982. Basic Animal Nutrition and Feeding. 2nd edition. John Wiley & Son Inc., New York. 300 p.

Cofee, C.J. 1999. Quick look Metabolism. Fence Creek Publishing, LLC, Madison, Connecticut. 194 p.

Fernandez, J.A., and J.N. Jorgensen. 1986. Digestibility and Absorption of Nutrients as Affected by Fiber Content in the Diet of the Pigs. Livestock Prod. Sci. 15, 53 – 71.

Herren, R.V. 1994. The Science of Animal Agriculture. Delmar publishers Inc., New York. 335 p.

Jurgen, M.H. 1982. Animal Feeding and Nutrition. 4th edition. Kendall Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa. 549 p.

Larbier, M., and B. Leclerco. 1994. Nutrition and Feeding of Poultry. Translated by Weisman, J. Leichester, England : Nottingham University Press. 305 p.

Lyons, T.P. and K.A. Jacques. 1997. Biotechnology in the Feed industry. Proceedings of Alltech's Thirteenth Annual Symposium. Nottingham University Press. 441 p.

Machlin, L.J. (1991). Handbook of Vitamins. 2nd edition. Mercel Decker, NewYork . 595 p.

Martin, D.W. 1981. Harper' s review of biochemistry. Lange Midical, Los Altos. 614 p.

Maynard, L.A. and J.K. Loosli. 1969. Animal Nutrition. 6th edition. McGraw - Hill Book Company, New York. 613 p.

Maynard, L.A., J.K. Loosli, H.F. Hintz and R.G. Warner. 1981. Animal Nutrition. 7 th edition. Tata McGraw - Hill Publishing Company Ltd., New Delhi. 602 p.

McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 1995. Animal Nutrition. 5 th edition. Longmann Scientific and Technique, New York. 607 p.

McDowell, L.R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press, San Diego. 524 p.

Naylor, M.J. and S.L. Ralston. 1991. Large Animal Clinical Nutrition. Mosby Year Book, St. Louis. 576 p.

NRC. 1994. Nutrient Requirements of Domestic Animals. 9th edition. National Academy Press, Washington, DC. 143 p.

NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th edition. National Academy Press, Washington, D.C. 155 p.

NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th edition. National Academy Press, Washington, DC. 189 p.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th edition. National Academy Press, Washington, DC. 381 p.

Orskov, E.R. 1988. Feed Science. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 336 p.

Pond, W.G., D.C. Church and K.R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4 th edition. John Wiley & Son, New York. 615 p.

Reece,W.O. 1991. Physiology of Domestic Animals. Lea & Febiger, Pennsyl. 370 p.

Riis, P.M. 1983. Dynamic Biochemistry of Animal Production. Elservier Science Publishers, Amsterdam. 501 p.

Schingoethe, D.J., F.M. Byers. and G.T. Schelling. 1988. Nutrient Needs During Critical Periods of the Life Cycle. Church, D.C. (Ed.). The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Prentice Hall, New Jersey. 564 p.

Suttle N.F. and D.G. Jones. 1989. Recent Developments in Trace Element Metabolism and Function. Trace Element, Disease Resistance and Immune Responsiveness in Ruminants. Nutrition. 119, 1055-1061.

Taylor, R.E. and T.G. Field. 1995. Scientific Farm Animal Production: An Introduction to Animal Science. 5 th edition. Prentice – Hall, Inc., London. 672 p.

Taylor, R.E. 1992. Scientific Farm Animal Production : An Introduction to Animal Science. 4 th edition. McMillan Publishing Company, New York. 626 p.

University of Colorado. 2008. Anatomy of the Small Intestine. Available http://www.colorado.edu/intphys/Class/IPHY3430-200/image/villi.jpg (30 January 2008).

Weisman, J. 1987. Feeding of Non-ruminant Livestock. Butterworth's, London. 214 p. nutritional aspects. Livestock Production Science. 16, 395-405.