

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1. การจำแนกกระบือ

กระบือ (*Bubalus bubalis*) เป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องจัดอยู่ในวงศ์ Artiodactyla ลักษณะที่สำคัญคือเลี้ยงลูกด้วยนม มีกีบคู่และอยู่ใน suborder ruminantia คำว่า ruminant มาจากภาษาละตินว่า ruminare แปลว่านำมาเคี้ยวใหม่ (chew over again) เราจึงเรียกสัตว์พวกนี้ว่า สัตว์เคี้ยวเอื้อง (cud chewing) สัตว์เคี้ยวเอื้องจัดอยู่ใน infraorder pecora แบ่งออกได้เป็น 3 families ใหญ่ๆ ดังนี้

1. Cervidae ได้แก่พวก กวางชนิดต่างๆ มี 17 genera
 2. Giraffidae ได้แก่พวก ยีราฟชนิดต่างๆ มี 2 genera
 3. Bovidae ได้แก่พวก สัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีเขากว้าง มี 40 genera เช่น โค, กระบือ, กระบือไบซัน (bison), วัวแดง (bunteng), จามรี รวมทั้งแพะและแกะ ก็จัดอยู่ใน super families นี้
- โดยทั่วไปกระบือสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1. กระบือเอเชีย ได้แก่ กระบืออินเดีย (*Bubalus bubalis*) กระบือทามารอ (*Bubalus mindorensis*) กระบือแอนเนาว (*anoa*) (*Bubalus depressicornis*)
2. กระบือป่า แอฟริกัน (*Syncerus caffer*) (Mason, 1974) กระบืออินเดีย (*Bubalus bubalis*) เท่านั้นที่มนุษย์นำมาฝึกฝนเป็นสัตว์เลี้ยงเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ใช้งาน ให้เนื้อ ปัจจุบันสามารถแบ่งกระบือออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กระบือปลักและกระบือแม่น้ำ

2.1.1. กระบือปลัก (Swamp buffalo) เป็นกระบือที่มีโครโมโซม 48 คู่ (Mason, 1974) เลี้ยงกันมากในประเทศจีนตอนใต้ รวมทั้งประเทศต่างๆ ในแถบเอเชียอาคเนย์ กระบือปลักมีรูปร่างหนา ท้องกาง-กลม ออกใหญ่ แข็งขาสั้น เขาม้วนออกกว้าง หน้าผากเรียบรี หน้าสั้น หน้าแก (muzzle) กว้าง แนวสันหลังค่อนข้างเป็นเส้นตรงแล้วลากลงเป็นมุมหักตรงบั้นท้าย บั้นท้ายเล็กเมื่อเทียบกับส่วนหน้า กีบกว้าง กระบือปลักมีสีเทาแก่หรือเทาอมดำ มีความสามารถในการให้นมน้อยเพียงวันละ 13 ลิตร (เจริญ, 2527) ส่วนใหญ่เกษตรกรเลี้ยงไว้ใช้แรงงานและใช้บริโภคเนื้อ เมื่อปลดระวาง กระบือปลักชอบนอนแช่ปลักโคลนในเวลาที่อากาศร้อน ความชื้นต่ำ โดยใช้เวลาแช่ปลักวันละ 5-6 ชม. กระบือปลักจะทนร้อนไม่ได้นานเท่าโค ทั้งนี้เพราะกระบือไม่มีต่อมเหงื่ออยู่ที่ผิว

หนังเป็นสาเหตุให้การระบายความร้อนออกจากตัวได้ไม่ดี ถ้าร้อนมากจะแสดงอาการไม่สบาย หงุดหงิด จุนเจียว สายหัวไปมา เตชะ แกว่งหางเร็ว ต่อมาจะหยุดเคี้ยวเอื้อง หอบ น้ำลายไหล ฉะนั้นกระบือจึงชอบนอนแช่ปลักและพยายามตีปลักจนเป็นโคลนและให้โคลนพอกตามส่วนต่างๆ ของร่างกายเพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกายและป้องกันความร้อนจากแสงแดดอยู่เสมอ (จริญ, 2527; ประสบ, 2527)

2.1.2. กระบือแม่น้ำ (River buffalo) เป็นกระบือที่มีโครโมโซม 50 คู่ (Mason, 1974) เลี้ยงกันมากในประเทศอินเดียและปากีสถาน กระบือแม่น้ำจัดเป็นกระบือให้น้ำนม สามารถให้น้ำนมเฉลี่ย 1,400-3,000 กิโลกรัมต่อระยะการให้น้ำนม (lactation) ในช่วง 300 วัน (Kearl, 1982) กระบือแม่น้ำมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์มูร่า (Murrah) พันธุ์เซอร์ตี (Surti) พันธุ์กุนดิ (Kundi) ฯลฯ กระบือแม่น้ำมีสีดำและไม่มีโคลน เพศผู้มีน้ำหนักประมาณ 300-1,000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 250-650 กิโลกรัม (Fahimuddin, 1975)

Mason (1974) อ้างถึงใน (Keal, 1982) รายงานว่ากระบือปลักมีโครโมโซม 48 คู่ในขณะที่กระบือแม่น้ำมี 50 คู่ แม้ว่าจำนวนโครโมโซมจะแตกต่างกันก็สามารถสืบพันธุ์กันได้ และให้ลูกได้ ลูกที่เกิดมามีลักษณะกึ่งกลางระหว่างสองพันธุ์ ลูกชั่วที่หนึ่งให้นมได้ใกล้เคียงกับกระบือนม Tumwasom (1981) แนะนำให้ใช้การผสมข้ามระหว่างกระบือปลักกับกระบือนม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการให้น้ำนมและการทำงานของกระบือปลัก

2.2. แหล่งของกระบือในโลก

กระบือน้ำมีมากที่สุดในแถบเอเชีย โดยพบมากที่สุดในประเทศอินเดีย รองลงมาคือประเทศจีน และประเทศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบมากที่สุดในประเทศไทย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรของกระบือในประเทศต่างๆ ในแถบเอเชีย (Unit 1,000 heads)

ประเทศ	ปี					ค่าเฉลี่ยของผลต่าง
	1982	1989	1990	1991	1992	
กัมพูชา	406	730	750	760	794	5.6 %
อินเดีย	69,784	77,865	78,320	78,965	78,550	1.1 %
อินโดนีเซีย	2,513	3,244	3,335	3,311	3,400	3.0 %
ลาว	897	1,026	1,072	1,104	1,131	2.3 %
จีน	18,820	21,101	21,422	21,712	21,983	1.6 %
มาเลเซีย	257	210	206	209	200	-2.3 %
พม่า	2,018	2,020	2,060	2,100	2,099	0.2 %
ฟิลิปปินส์	2,908	2,842	2,765	2,647	2,569	-1.3 %
เวียดนาม	2,380	2,807	2,871	2,854	2,867	2.0 %
ไทย	6,417	5,443	4,694	4,805	4,793	-3.4 %

คัดแปลงจาก : Sasaki (1994)

2.3. บทบาทและความสำคัญของกระบือในประเทศไทย

การเลี้ยงกระบือในประเทศไทยมีมาตั้งแต่ในอดีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแรงงาน เช่น ไถนา คราด นวดข้าว ลากเกวียน เมื่อกระบือมีอายุมากจำเป็นต้องปลดระวางจากการทำงาน ก็จะถูกนำมาฆ่าเพื่อบริโภคเนื้อต่อไป กระบือเป็นเสมือนแหล่งเงินออมของเกษตรกร เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้เงินก็จะขายกระบือออกไป กระบือสามารถใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตรเป็นอาหาร ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งกระบือยังให้มูลที่เป็นปุ๋ยบำรุงดิน (จริญ, 2527)

ปัจจุบันการเลี้ยงกระบือในประเทศไทย นอกจากเลี้ยงไว้เพื่อใช้แรงงานแล้วยังมีการเลี้ยงกระบือโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตเนื้อสำหรับบริโภคด้วย แม้ว่าจำนวนผู้บริโภคมืออยู่จำกัด แต่ก็มีแนวโน้มว่าการบริโภคเนื้อกระบือเพิ่มขึ้น (เมธา และ ฉลอง, 2533) และจากสำนักงานสถิติ การเกษตร (2536) รายงานว่าปัจจุบันประเทศไทยมีกระบืออยู่ประมาณ 1,245,146 ตัว จำนวน

กระบือในปี พ.ศ. 2536 ลดลงจากปี พ.ศ. 2526 ถึง 5,192,287 ตัว การลดลงของประชากรกระบืออาจเนื่องมาจากการขาดแคลนทำเลเลี้ยงสัตว์ การขาดแรงงานดูแลสัตว์ การขายที่ดิน การขาดการส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ การขยายพันธุ์ที่ล่าช้า การหันมาใช้เครื่องทุ่นแรงมาแทนแรงงานจากสัตว์ ฯลฯ และสาเหตุหนึ่งที่มีส่วนที่ทำให้กระบือลดลงคือการฆ่ากระบือเพื่อบริโภคเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับประชากรกระบือในประเทศไทยในภาคต่างๆ

ข้อมูล	พ.ศ. 2526	พ.ศ. 2530	พ.ศ. 2536
จำนวนกระบือมีชีวิต (ตัว)			
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4,263,738	4,385,556	1,166,554
ภาคเหนือ	1,355,118	943,790	41,562
ภาคกลาง	574,995	463,238	34,697
ภาคใต้	243,582	205,839	2,333
รวมทั้งหมดทั่วราชอาณาจักร	6,437,433	5,998,423	1,245,146

ที่มา: คัดแปลงจากสำนักงานสถิติการเกษตร (2536)

2.4. ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารของกระบือ

2.4.1. ขนาดและความจุของกระเพาะ กระบือเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งมีกระเพาะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ กระเพาะหมัก (rumen), กระเพาะรังผึ้ง (reticulum), กระเพาะสามติบกลีบ (omasum) และกระเพาะแท้ (abomasum) โดยทั่วไปเชื่อกันว่ากระบือสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีกว่าโค (เมธา, 2533) ทั้งนี้เพราะกระบือมีความจุของกระเพาะหมักและกระเพาะรังผึ้งมากกว่าโค (Church, 1979) ส่งผลให้กระบือกินจุกว่าโค (จริญ, 2527) นอกจากนั้นยังพบว่ากระบือใช้เวลาในการบิบตัวของกระเพาะหมักและกระเพาะรังผึ้งในจังหวะปฐมภูมินานกว่าโคโดยในจังหวะทุติยภูมิไม่มีความแตกต่าง ส่งผลให้มีความถี่ในการเคลื่อนไหวในกระเพาะของกระบือต่ำเป็นเหตุให้อาหารมีอัตราการค้างค้ำในกระเพาะหมักนานกว่าโค (จริญ, 2527; Wanapat, 1989)

2.4.2. ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก การศึกษาปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการที่จะบอกถึงความสามารถของการย่อยสลายอาหารของสัตว์แต่ละชนิด (Byrant, 1963) เพราะเป็นที่ทราบกันแล้วว่าการให้อาหารแก่สัตว์เคี้ยวเอื้องแท้ที่จริงเป็นการให้อาหารแก่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมิใช่ให้แก่สัตว์โดยตรง (เมธา และ จลอง, 2533) ฉะนั้นประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักควรได้รับความดูแลให้อยู่ในสภาพสมดุลย์ของระบบนิเวศน์วิทยา คืออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (anarobic condition) และมีสมดุลย์ของกรด-ด่างในช่วง 6-7 ในอุณหภูมิ 39-40 องศาเซลเซียส (Van Soest, 1982) Wattanachant et al. (1989) รายงานว่าจากการศึกษาจำนวนของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะหมักของกระบือปลักและโคลูกผสม (บราห์มัน+พื้นเมือง) พบว่ากระบือจะมีจำนวน cellulolytic bacteria ที่ย่อยสลายเซลลูโลสมากกว่าในโค คือมีค่าเท่ากับ 9.8×10^9 และ 7.5×10^9 โคโลนี/มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.4.3. ความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ จากสาเหตุที่กระบือมีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดีกว่าในโค ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้กระบือมีความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยได้มากกว่าในโค (Krishna and Pradhan, 1984; Wattanachant et al., 1989)

2.4.4. ปริมาณการกินได้ของกระบือจะแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร คุณภาพของอาหาร ฤดูกาลในฤดูฝน กระบือมีการกินได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าในโค (Grant et al., 1974) และไม่ว่าจะให้อาหารอย่างจำกัดหรือไม่จำกัดก็ตาม กระบือจะมีการกินได้สูงกว่าในโค (Kennedy et al., 1987a) หรือเมื่อให้อาหารคุณภาพต่ำกับกระบือและโคพบว่ากระบือมีการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake) ได้สูงกว่าโค (Wanapat, 1987) อย่างไรก็ตามการกินได้ของวัตถุแห้งจะผันแปรไปตามชนิดของอาหาร ระดับโปรตีนและระดับเยื่อใยของอาหาร (Kearl, 1982) นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์

2.4.5. กรดไขมันที่ระเหยได้เป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการหมักประกอบด้วย กรดอะซิติก (acetic acid, C_2) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid, C_3) กรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้จะเป็นแหล่งของพลังงานเมตาโบไลซ์ (metabolizable energy, ME) (Orskov et al., 1979) การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้จะผันแปรไปตามความสามารถของการหมัก (fermentation) ของสัตว์แต่ละตัว ชนิดของสัตว์ (species) ความแตกต่างของอาหาร วิถีวิเคราะห์

วิธีการเก็บตัวอย่าง ระยะในการเก็บตัวอย่าง จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เป็นต้น (เมธา, 2533; Erfle et al., 1982) ความเข้มข้นของกรดอะซิติก, โพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก ในกระเพาะหมัก คิดเป็น ร้อยละ 62, 22 และ 16 ตามลำดับ (Hungate, 1966) กรดไขมันที่ระเหยได้เหล่านี้จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วและถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยขบวนการ ออกซิเดชัน (oxidation) (เมธา, 2533)

ปัจจัยทางด้านอาหารที่มีผลต่อการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ ได้แก่

1. ปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้และความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะหมัก Sutton (1980) พบว่าการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุโดยประมาณ (apparent digestible organic matter, ADOM) ในกระเพาะหมักมีความสัมพันธ์กัน คือ การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุโดยประมาณเป็นค่าที่ใช้ประมาณถึงจำนวนอินทรีย์วัตถุที่ถูกหมักในกระเพาะหมักเป็นเหตุให้อัตราการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ คือ ถ้ามีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ก็จะสูงตามไปด้วย

2. ลักษณะของเยื่อใยของอาหารหยาบและอาหารข้นกรดอะซิติกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัตว์ได้รับอาหารเยื่อใยสูงและความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะลดต่ำลงเมื่อสัตว์ได้รับอาหารข้นสูงขึ้น (Goetsch and Galyean, 1982) แต่ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบทั้ง กรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริกกลับสูงขึ้น (Bath and Rook, 1963; Erfle et al., 1982)

3. ปริมาณของอาหารที่สัตว์กินและความถี่ในการให้อาหาร โดยทั่วไปถ้าระดับการกินอาหารของสัตว์เพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลผ่านของอาหารจะเร็วขึ้น ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก (rumen retention) น้อยลง การย่อยได้ของโภชนาต่างๆ ลดลง แต่ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น สำหรับความถี่ในการให้อาหาร Bath and Rook (1963) รายงานว่าการเพิ่มอาหารจาก 1 ครั้งเป็น 4 ครั้ง พบว่าจะมีสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ค่อนข้างคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากเหมือนให้อาหารครั้งเดียว

4. ระดับโปรตีนในอาหารสัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงทำให้การผลิตกรดบิวทิริกและกรดไขมันที่ระเหยได้ (branched chain VFA) สูงตามไปด้วย Chanthai et al. (1987) พบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด ในกระบือที่ได้รับจากฟางหมักยูเรีย (5%) จะสูง

กว่าที่ได้รับจากฟางธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมีไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจึงทำให้ขบวนการหมักมีประสิทธิภาพ

5. การแปรรูปของอาหาร การอัดเม็ดของอาหารทำให้สัดส่วนของกรดอะซิติกต่อ กรดโพรพิโอนิกแคบลง จึงทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ การบด (Rhodes and Woods, 1962)

6. การเสริมอาหาร (feed additive) สัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องได้รับโภชนา จำนวนมากพอ ดังนั้นจึงต้องให้อาหารชั้นในระดับที่สูง ผลที่ตามมาก็คือความเป็นกรด-ด่างใน กระเพาะหมักไม่เหมาะสมต่อขบวนการหมัก ซึ่งจะส่งผลต่อกรดไขมันระเหยได้ ดังนั้นจึงต้อง ปรับความเป็นกรด-ด่าง โดยการเติมสารเสริม เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3), แคลเซียม คาร์บอเนต (CaCO_3) ฯลฯ ลงไป ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ซึ่งจะช่วยยก ระดับความเป็นกรดลง ทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้สูงขึ้น (Kaufmann et al., 1980)

2.4.6. การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน กระบือมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ จากไนโตรเจนได้สูงกว่าโค (Wanapat, 1989) การที่กระบือมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ จากไนโตรเจนสูงเป็นผลเนื่องมาจากการที่กระบือมีความสามารถในการนำเอาไนโตรเจนใน ปัสสาวะกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการสังเคราะห์เป็นยูเรียและส่งผ่านมาทางต่อมน้ำลายได้สูงกว่า โค ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับ Norton et al. (1979) ได้รายงานว่าเมื่อกระบือและโค ได้รับอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ กระบือมีความสามารถในการสังเคราะห์ยูเรียได้สูงกว่าโค

ตารางที่ 3 แสดงการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในกระบือปลักและโค ซึ่งมีโปรตีนหยาดตั้งแต่ 60-220 กรัม และพลังงานเท่ากับ 10.48 MJ.ME/กก. วัตถุแห้ง

ข้อมูล	กระบือปลัก	โค
การกินได้ในโตรเจนทั้งหมด (กรัม/วัน)	128.8	109.9
การกินได้ในโตรเจนทั้งหมด (0.75 กก. น้ำหนักตัว/วัน)	1.2	1.2
ไนโตรเจนทั้งหมดในมูล (กรัม/วัน)	50.1	42.3
ไนโตรเจนทั้งหมดในปัสสาวะ (กรัม/วัน)	27.4	53.5
ไนโตรเจนทั้งหมดที่ออกมา (กรัม/วัน)	52.5	67.6
สมมูลย์ของไนโตรเจนเมื่อคิดเป็น % ของการกินได้ (กรัม/วัน)	38.0	12.9
ไนโตรเจนที่ย่อยได้ทั้งหมดโดยประมาณ (กรัม/วัน)	78.7	67.6

(Devendra, 1984) อ้างถึงใน (Wanapat , 1989)

2.4.7. อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน หมายถึง การเพิ่มน้ำหนักโดยเฉลี่ยต่อวัน ซึ่งจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุกรรม, ชนิดและคุณภาพของอาหาร, เพศ, อุณหภูมิของอากาศและความเครียด (วินัย และ ศิริชัย, 2528 ; Hafez and Dyer, 1969) จากการศึกษาผลการทดลองของ จีรวรร และคณะ (2513) อ้างโดยจรัญ (2527) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเศรษฐกิจและการเจริญเติบโตของกระบือและโค พบว่ากระบือมีการเพิ่มน้ำหนักตัวดีกว่าโค แม้ว่าจะเลี้ยงด้วยอาหารเสริมหรือไม่เสริมก็ตาม (จรัญ, 2527) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสมรรถภาพการเจริญเติบโตของกระบือปลักและโคที่เลี้ยงในทุ่งหญ้าชน และได้รับอาหารเสริม

ลักษณะ	โค		กระบือ	
	อาหารเสริม	อาหารไม่เสริม	อาหารเสริม	อาหารไม่เสริม
จำนวนสัตว์ (ตัว)	10	10	10	10
ระยะทดลอง (เดือน)	12	12	12	12
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม (กิโลกรัม)	205.9	211.0	254.5	259.0
น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด (กิโลกรัม)	323.4	303.8	383.0	376.9
น้ำหนักเพิ่ม /ตัว /วัน (กรัม)	322.0	254.0	332.0	323.0
น้ำหนักเพิ่ม /ตัว /ปี (กรัม)	117.5	92.8	128.5	117.9
อาหารเสริม (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	1.1	-	1.1	-
น้ำหนักอาหาร/น้ำหนักเพิ่ม (กิโลกรัม)	1.1	-	37.8	-

ที่มา : จรรย์ (2527)

จากผลการทดลอง (จรรย์, 2527) พบว่ากระบือที่เลี้ยงโดยให้กินหญ้าเพียงอย่างเดียวจะมีน้ำหนักเพิ่ม/ตัว/วัน สูงกว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว คือ 323 และ 254 กรัม ตามลำดับ และกระบือที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น/ตัว/วัน สูงกว่าโค คือ 332 และ 322 กรัมตามลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากปริมาณการกินได้และมีความสามารถในการย่อยสลายอาหารคุณภาพต่ำได้สูง จึงส่งผลให้กระบือมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าโค

2.4.8. เนื้อ เนื้อกระบือและเนื้อโคที่มีอายุเดียวกันและถูกเลี้ยงด้วยอาหารชนิดเดียวกัน คุณภาพเนื้อย่อมทัดเทียมกัน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อระหว่างเนื้อกระป๋องและเนื้อโค

ชนิด	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
	 %			
เนื้อกระป๋อง	75.5	20.3	3.5	0.6
เนื้อโค	66.5	20.2	12.3	0.9

ที่มา : จรัญ (2527)

จากตารางพบว่าเนื้อกระป๋องมีโปรตีนร้อยละ 20 เท่ากับเนื้อโค แต่จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกต่ำกว่าเนื้อโค กระป๋องมีลักษณะทางธรรมชาติของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fasiculi) และเนื้อสัมผัสที่หยาบกว่าเนื้อโค (ชัยณรงค์ และคณะ 2525 ; จรัญ, 2527) และสีของเนื้อกระป๋องมีสีเข้มกว่าเนื้อโคเพราะมีรงควัตถุ (pigment) และไมโอโกลบิน (myoglobin) มากกว่าในโค โดยทั้งนี้สีของเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับอายุของกระป๋อง (Valin et al., 1984 ; ชัยณรงค์, 2529)

2.5. การนำใบพืชที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ได้จากผลพลอยได้ทางการเกษตรมาเสริมควบคู่กับอาหาร หยาบที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าพืชอาหารสัตว์ทางเขตร้อน (tropic) มีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการที่ต่ำกว่าพืชทางเขตอบอุ่นหรือในเขตหนาว โดยเฉพาะคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นแหล่งของโปรตีน พืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ แต่กลับมีองค์ประกอบของพวกเยื่อใยในระดับที่สูง โดยเฉพาะปริมาณของ เซลลูโลส (cellulose), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นเหตุให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เท่าที่ควร ทำให้ความสามารถในการย่อยได้และปริมาณกินได้ลดลง ด้วยจุดนี้เองเกษตรกรที่ทำการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ โคนม ฯลฯ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ยาวนานประมาณ 4-6 เดือน ต้องใช้ความพยายามอย่างยิ่งในการที่จะต้องแสวงหาพืชอาหารสัตว์ให้พอเพียงกับความต้องการ แต่การที่จะพึ่งปริมาณหญ้าจากตามธรรมชาติหรือจากสวนหลังบ้านเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของพืชอาหารสัตว์ดังกล่าวในช่วงนี้จะลดลงมาก ทำให้เกิดการขาดแคลนทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องหันมาพึ่งผลพลอยได้หรือส่วนที่เหลือจากการเกษตรที่มีในฤดูกาลให้มากขึ้น เช่น การนำฟางข้าวมาเลี้ยงสัตว์ การนำเปลือกของสับปะรด ฯลฯ มาเลี้ยงสัตว์แทน (เมธาและฉลอง, 2533) อย่างไรก็ตามยังพบว่าผลพลอยได้เหล่านี้ ซึ่งเมื่อนำมาใช้ประโยชน์แล้วก็ยังให้โภชนาการที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โดยเฉพาะในเรื่องของระดับโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็นและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการใช้ผลพลอยได้ตามที่กล่าวมาจะต้องมีการนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ โดยการทำเป็นฟางหมักเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Wanapat, 1985) หรืออีกวิธีการหนึ่งคือการใช้ฟางควบคู่กับอาหารข้น โดยในอาหารข้นก็ใส่ใบพืชที่เป็นแหล่งของโปรตีนที่ได้จากผลพลอยได้ทางการเกษตรมาเสริมด้วย อาทิเช่น ใบมันสำปะหลัง (cassava leaf), ใบกะถิน (lucaena leaf) ฯลฯ มาเสริมเข้าไปในสูตรอาหารเพื่อเลี้ยงสัตว์ก็จะส่งผลให้ความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบคุณภาพต่ำดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยทดแทนแหล่งโปรตีนราคาแพงอีกด้วย

2.5.1. การนำใบมันสำปะหลังตากแห้งมาใช้เสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องควบคู่กับการใช้อาหารหยาบ มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*, Crantz.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของเกษตรกรโดยเฉพาะเขตจังหวัดชลบุรี จังหวัดระยองและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังไปยังประเทศต่างๆ โดยเฉพาะประเทศในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (European Economic Community, EEC) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญต่อการ

ปลูกมันสำปะหลังคือการตลาด เนื่องจากกลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรปได้ลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังจากประเทศไทย ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อปริมาณมันสำปะหลังที่มีในประเทศไทย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์มันสำปะหลังมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.5.1.1. ปริมาณและคุณค่าทางอาหารของใบมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังนอกจากจะมีโปรตีนสูงถึง 25 % ดังแสดงในตารางที่ 6 ยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่สูงด้วย โดยเฉพาะไลซีน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 แสดงคุณค่าทางโภชนาในส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง	โปรตีนหยาบ	เถ้า	เยื่อใย
	%	-----	% วัตถุแห้ง	-----
หัวมัน	32.6	2.4	2.4	4.2
มันเส้น	88.3	1.4	2.4	3.4
มันอัดเม็ด	90.3	2.1	5.2	3.6
ใบมัน	90.0	24.7	7.9	17.3
กากมันสำปะหลัง	83.5	1.8	3.0	14.1

ที่มา: เมธา (2538)

ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่มีอยู่ในใบมันสำปะหลัง

ชนิดของกรดอะมิโน	ใบมันสำปะหลัง (%ของวัตถุแห้ง)
ไลซีน	5.87
เมทไทโอนีน	1.86
ซีสตีน	1.40
กรดแอสพาร์ติก	9.77
ทรีโอนีน	4.39
กรดกลูตามิก	12.32
ไกลซีน	4.86
อะลานีน	5.73
วาลีน	5.56
ไอโซลิวซีน	4.50
ลิวซีน	8.19
ไทโรซีน	4.04
เฟนิลอะลานีน	5.42
ฮิสติดีน	2.30
อาร์จินีน	5.34
ทริปโตเฟน	1.99
ค่าทางชีวภาพ (biological value, BV)	48.90
ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถที่ย่อยได้จริง (true digestibility %)	74.50

ที่มา: เมธา (2538)

จากรายงานการศึกษาวิจัยของ เจริญศักดิ์ และคณะ (2531) ศึกษาถึงปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลังทั้งหมด 13 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณโปรตีนหยาบในใบเฉลี่ย 23.7 % (21.6-25.3 %ของวัตถุแห้ง) ถือได้ว่าเป็นใบพืชที่มีโปรตีนสูงสามารถที่จะนำมาเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารสัตว์ทดแทนแหล่งโปรตีนที่มีราคาสูง เช่น กากถั่วเหลือง เป็นต้น การนำมาใช้ของใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งของโปรตีนยังมีอยู่น้อย ซึ่งปริมาณใบมันสำปะหลังที่เป็นผลพลอยได้

จากการปลูกมันสำปะหลังมืออยู่ในปริมาณที่มาก Bezkorowajnyi et al. (1986) รายงานว่าเมื่อเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุที่ 6 เดือน โดยเก็บส่วนล่างของลำต้นประมาณครึ่งต้น จะสามารถเก็บใบมันสำปะหลังได้ถึง 150 กก./ไร่ ต่อ 2 ครั้ง หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 50 กก./ไร่ ซึ่งในปี พ.ศ. 2533 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากถึง 9.6 ล้านไร่ คิดเป็นปริมาณใบมันสำปะหลังมากถึง 480,000 ตัน แต่ วัชชกิจ (2522) รายงานว่าสามารถเก็บใบมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน จะได้ปริมาณของใบมันสำปะหลังทั้งหมด 925 กก./ไร่ คิดเป็นใบมันสำปะหลังแห้งมากถึง 308 กก./ไร่

อย่างไรก็ตามการใช้ใบมันสำปะหลังมาเป็นอาหารสัตว์จะต้องมีการลดปริมาณไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังเสียก่อน เทคโนโลยีที่ใช้ในการลดปริมาณสารดังกล่าวทำได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้วิธียุ่งยาก คือ การตากแดด ประมาณ 1-2 แดด ซึ่ง เมธา (2531) รายงานว่าถ้านำใบมันสำปะหลังสดมาตากแดด ประมาณ 1-2 วัน สามารถลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก จาก 2,098 มก./กก. เหลือเพียง 314 มก./กก. ซึ่งอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์

2.5.1.2. การใช้ใบมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้อง การใช้ใบมันสำปะหลังได้มีการศึกษาการใช้ในรูปของการเสริม (supplementation) และการใช้เป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารข้น

2.5.1.3. การนำใบมันสำปะหลังแห้งมาใช้เป็นแหล่งของโปรตีนในสูตรอาหาร ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นใบพืชที่มีโปรตีนสูง มีคุณค่าทางอาหารไม่ต่างจากใบกระถิน เมธา และ จลอง (2533) รายงานว่าใบมันสำปะหลังแห้งมีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักค่อนข้างต่ำ มีปริมาณโปรตีนไหลผ่านไปยังระบบอาหารส่วนล่างได้มากกว่าใบกระถิน, ใบผักตบชวาและใบปอ จึงเป็นแหล่งโปรตีนที่น่าจะมีการนำใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะให้เสริมสำหรับสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำหรือใช้ทดแทนแหล่งโปรตีนที่มีราคาแพงในสูตรอาหารข้น

เมธา (2531) ได้ศึกษาวิจัยการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเสริมสำหรับกระบือใช้งานในระดับหมู่บ้าน ในช่วงฤดูแล้ง พบว่าการเสริมด้วยใบมันสำปะหลังแห้ง 500 กรัม/ตัว/วัน ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของกระบือใช้งานในช่วงฤดูแล้ง กล่าวคือ กระบือที่ได้รับการเสริมด้วยใบมันสำปะหลังแห้งจะมีการสูญเสียน้ำหนักตัวน้อยกว่ากระบือที่ไม่ได้รับการเสริมด้วย

ไขมันสำปะหลังแห้ง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องจากการช่วยเพิ่มระดับของแอมโนเนีย-ไนโตรเจนใน กระเพาะหมักของกระบือให้เพียงพอต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์

นอกจากนี้การศึกษาวิจัยการใช้ไขมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารชั้นมี รายงานศึกษาของ Wanapat et al. (1992) ได้ทำการทดลองการทดแทนกากถั่วเหลือง โดยไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารดัง ตารางที่ 8 จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับพบว่าอาหารชั้นที่มีไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารในระดับ 20 และ 30 % มีความน่ากินสูง สัตว์ชอบกินและโดยสภาพทั่วไปของกระบือทดลองในด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกับกระบือที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ผลที่ได้รับในเบื้องต้นนี้เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสามารถที่จะใช้ไขมันสำปะหลังทดแทนในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ในระดับ 30 % หรือใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้เกือบทั้งหมด โดยมีการปรับสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบอาหารอื่นๆ ให้เหมาะสมและที่สำคัญที่สุดเป็นการลดต้นทุนอาหารชั้นลงถึง 30 %

ตารางที่ 8 แสดงส่วนประกอบของอาหารชั้นของการใช้ไขมันสำปะหลังแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 12 %

แหล่งวัตถุดิบ	ระดับการใช้ไขมันสำปะหลัง				
	สูตรควบคุม	7.50	15.0	22.5	30.10
-----% ของน้ำหนักเปียก-----					
มันเส้น	66.30	61.30	56.20	51.00	46.10
ปลายข้าว	15.00	16.50	18.20	20.00	21.50
กากถั่วเหลือง	16.50	12.00	8.50	4.10	-
ไขมันสำปะหลังแห้ง	-	7.50	15.00	22.50	30.10
ยูเรีย	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ปูนขาว	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
กำมะถัน	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
เกลือ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ที่มา: Wanapat et al. (1992)

ไขมันสำปะหลังแห้ง (ตากแดด) สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีน ได้เป็นอย่างดีเพราะมีโปรตีนในระดับสูง (20-25 %CP) มีการย่อยได้ดีและสัตว์ชอบกิน ซึ่งอาจจะให้โค-กระบือกินไขมันสำปะหลังแห้งโดยตรง หรือผสมเป็นส่วนประกอบของอาหารข้น โดยใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ในระดับสูงถึง (80-100 %) โดยมีระดับการใช้ประมาณ 30 % ในสูตรอาหาร การใช้มันไขมันสำปะหลังแห้งและกากมันสำปะหลังเลี้ยงสัตว์ จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ซึ่งเป็นแนวทางในการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่นและใช้ผลพลอยได้จากทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพและนอกจากนั้นยังเป็นการพัฒนาการใช้มันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

2.5.2. การนำเอาใบกระถินมาเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องควบคู่กับการใช้อาหารหยาบ กระถิน *Leucaena leucocephala* (Lam.) เป็นพืชที่รู้จักและคุ้นเคยกันดีในประเทศไทย เพราะมีขึ้นอยู่ทั่วไป เป็นไม้ยืนต้น ปลูกง่าย ทนแล้งได้ดี ปราศจากโรคและแมลงรบกวน นิยมปลูกเป็นรั้วบ้าน (ชาอู๋ชัย, 2526) ตามรั้วสวน เพราะให้ร่มเงา บังลม (Blom, 1980) กั้นการกัดเซาะทำลายและช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้หน้าดิน มีผู้รายงานว่า จุลินทรีย์ในปมรากของกระถินสามารถตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศได้ เฉลี่ยในปริมาณถึงปีละ 80 กิโลกรัมต่อไร่ เทียบได้กับปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต 400 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (National Academy of Science, 1984) และนอกเหนือจากนั้นกระถินยังมีคุณสมบัติคือ ใช้เป็นอาหารคนและอาหารสัตว์ (Manidool and Chantkam, 1986) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเลี้ยงยีสต์ (tural yeast) เพื่อนำยีสต์ไปใช้เป็นอาหารสัตว์ด้วย (ปศุสัตว์อาเซียน, 2520)

บทบาทที่สำคัญของกระถินในแง่เป็นอาหารสัตว์ ในประเทศไทยได้เริ่มใช้ในสัตว์ปีกก่อน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ได้เริ่มพัฒนาขึ้นและแหล่งที่ผลิตใบกระถินเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผสมในอาหารสัตว์แหล่งใหญ่ของประเทศคือจังหวัดกาญจนบุรี (Manidool, 1983)

2.5.2.1. ลักษณะทั่วไปของกระถิน

1. ชื่อพฤกษศาสตร์ (Botanical name) ในปี ค.ศ. 1916 De Wit ได้ตั้งชื่อกระถินว่า *Leucaena leucocephala* (Lam.) แทนชื่อเดิม *Mimosa glauca*. L. ที่ Linnaeus ได้ตั้งไว้

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1753 เนื่องจากตรวจสอบแล้วว่าไม่ถูกต้อง กระถินจัดอยู่ใน Tribe Eumimoseae (Gray, 1968) family Mimosaceae (Blom, 1980)

2. แหล่งดั้งเดิมและการแพร่กระจายของกระถิน กระถินเป็นพืชดั้งเดิมแถบอเมริกากลาง ในประเทศเม็กซิโกเริ่มจาก Jalisco ถึง Michoacan ใน Chiapas และ Yucatan ต่อมาได้แพร่กระจายกลายเป็นพืชธรรมชาติของประเทศรอบๆ อ่าวเม็กซิโกและหมู่เกาะทะเลแคริบเบียน นักเดินเรือชาวสเปนได้นำกระถินมาแพร่กระจายที่หมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียและแปซิฟิกเมื่อประมาณตอนปลายของคริสต์ศตวรรษที่ 16 (Gray, 1968)

3. ประวัติการนำพันธุ์กระถินเข้าประเทศไทย พระยาวิจิตรนันท (อ้างถึงใน ชาญชัย, 2526) สันนิษฐานว่ากระถินถูกนำเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกก่อนสมัยอยุธยา โดยอาจมาจากประเทศอินเดียหรือเขมรและแพร่กระจายไปโดยเร็ว กลายเป็นไม้พื้นเมือง เป็นพันธุ์ต้นเล็ก ซึ่งกรมป่าไม้เชื่อว่าเป็นกระถินกลุ่มฮาวาย ต่อมาไม่มีรายงานการนำกระถินพันธุ์ใหม่เข้ามาในประเทศจนถึงปี พ.ศ. 2505 จึงได้มีการนำกระถินพันธุ์เปรู (Peru) มาจากประเทศออสเตรเลีย ปี พ.ศ. 2509 ได้นำกระถินเข้ามาอีก 9 พันธุ์ คือ พันธุ์ฮาวาย ไอวอรีโคสต์ (Ivory Coast ; PI 286295 No. 62) เอลซาลวาดอร์ (El Salvador) ออสเตรเลีย ได้หวัน โคตัมเบีย นิวินี 70, 71 และ 72 (ชาญชัย, 2526) Manidool (1983) รายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำเข้าว่าในปี พ.ศ. 2519 สำนักงานพัฒนาการปศุสัตว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้นำเข้ากระถินพันธุ์คันทันนิ่งแฮม (Cunningham) และระหว่างปี พ.ศ. 2520-2523 กรมป่าไม้และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้นำกระถินสายพันธุ์เค เข้ามาในประเทศ จุดประสงค์หลักเพื่อการทำไม้และการปลูกป่า

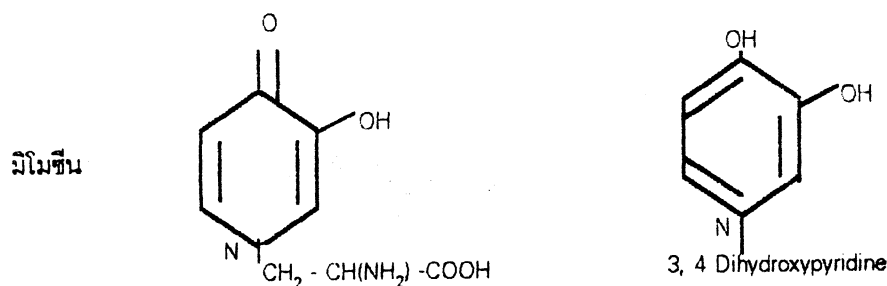
4. ชื่อสามัญของกระถิน กระถินมีชื่อสามัญเรียกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น ในอินโดนีเซีย เรียก Lamtoro ในฟิลิปปินส์ เรียก ipil-ipil ในฮาวาย เรียก koahaola ในลาตินอเมริกา เรียก Guaje ในประเทศที่เคยเป็นอาณานิคมของอังกฤษมาก่อน เรียก wild หรือ Horse tamarind (Blom, 1980) ในเปอร์โตริโก เรียก Hediondilla (เฉลิมพล, 2523) ในมาเลเซีย เรียก Accacia (ทวี, 2526) สำหรับประเทศไทย เรียก กระถิน

5. คุณค่าทางโภชนาของใบกระถิน เมธา และฉลอง (2533) ได้รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางเคมีของใบกระถินแห้งพบว่า มีค่าความชื้น 8.8 เปอร์เซ็นต์, โปรตีน

26.7 เปอร์เซ็นต์, ไชมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์, เชื้อไขหยาบ 16.3 เปอร์เซ็นต์, เถ้า 8.6 เปอร์เซ็นต์, แคลเซียมและฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.8 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.5.2.2. สารพิษในกระถินและการเป็นพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. โครงสร้างทางเคมีของสารพิษในใบกระถิน สารพิษในใบกระถิน คือ สารมิโมซีน (mimosine) ซึ่งเป็นกรดมิโมซีนที่มีชื่อทางเคมีว่า β -[N-(3-hydroxy-4-oxopyridyl)]- α -amino propionic acid (Megarrity, 1978) ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโนตัวอื่นๆ โดยผ่านหลายๆ วิธี กรดอะมิโน ไลซีน (lysine) เป็นโครงสร้างหลักของสารมิโมซีน (ประวีร์, 2522; อุดร และคณะ, 2526) สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความทนทานต่อการเป็นพิษของสารมิโมซีนสูงกว่าสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง เพราะจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถเปลี่ยนสารมิโมซีนให้ไปเป็นสาร 3,4-dihydroxypyridine หรือ DHP ได้ (ประวีร์ 2522; ผกาพรหม, 2529; อุดร และคณะ, 2526; Jones, 1979; Megarrity, 1978; National Academy of Science, 1984) สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารพิษ ได้แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารมิโมซีนและ 3,4 dihydroxypyridine

ที่มา: National Academy of Science (1984)

2. ปริมาณของสารพิษในใบกระถิน ปริมาณของสารมิโมซีนในใบกระถินจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (อุดร และคณะ, 2526; Gray, 1968) โดยทั่วไปมีประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (Jones, 1979; Megarrity, 1978; National Academy of Science, 1984) อุดร และคณะ (2526) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสารมิโมซีนในกระถินพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย พบว่าสายพันธุ์ของกระถินที่มีปริมาณของสารมิโมซีนสูง ได้แก่ พันธุ์สายบัว, พันธุ์เฮลชะลาวาดอร์ และพันธุ์พื้นเมือง คือมีระดับมิโมซีนประมาณ 8-9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ที่พบ

ว่ามีปริมาณสารมิโมซินค่อนข้างต่ำกว่าพันธุ์อื่น ได้แก่ พันธุ์เค 156, พันธุ์โคลัมเบีย และพันธุ์ นิกินี 72 คือ มี 5-6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของมิโมซินในกระดินยังขึ้นอยู่กับระยะของการเจริญเติบโต คือใบที่เก็บในช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงมีระดับของมิโมซินสูงกว่าในช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ Jones (1979); Megarrity (1978) พบว่าปริมาณของมิโมซินยังมีความแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ ของกระดิน คือส่วนยอดที่กำลังเจริญเติบโตมี 12 เปอร์เซ็นต์ ในใบอ่อนมี 3-5 เปอร์เซ็นต์ ในฝักมี 3-5 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดมี 4-5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ในลำต้นอ่อนจะมีมากกว่าลำต้นแก่ คือ เมื่อเป็นลำต้นอ่อนมี 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแก่จะลดลงเหลือเพียง 1 เปอร์เซ็นต์

3. อาการเป็นพิษจากสารพิษในใบกระดินของสัตว์เลี้ยง สารมิโมซินจะมีพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ เมื่อสารพิษมิโมซินถูกเชื้อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนให้กลายเป็น 3,4 dihydroxypyridine หรือ DHP เมื่อ DHP ดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตจะไปมีผลต่อต่อมไทรอยด์ (Thyroid) ทำให้การผลิตฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxin) ลดลง ซึ่งมีผลเกี่ยวข้องกับขบวนการเผาผลาญไอโอดีน ทำให้เกิดโรคคอหอยพอกเนื่องจากการขยายตัวของต่อมไทรอยด์ (ผกาพรรณ, 2529; Blom, 1980; National Academy of Science, 1984)

นอกจากนี้ความเป็นพิษของ DHP ยังทำให้สัตว์จับน้ำลายออกมามากเกินไป ทำให้น้ำลายไหลยืดตลอดเวลา น้ำตาไหล โคลและกระบือมีสุขภาพเสื่อมโทรม ขนร่วง โดยเฉพาะบริเวณส่วนหางและบั้นท้าย เกิดแผลในปากและหลอดลม การเจริญเติบโตลดลง เพราะสัตว์เบื่ออาหาร มีผลทำลายระบบสืบพันธุ์

Gray (1968) ได้สรุปว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องแสดงอาการของการเป็นพิษจากการที่สัตว์กินใบกระดินน้อยกว่าสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์ที่เคี้ยวเอื้องสามารถที่จะทำลายสารพิษนั้น สอดคล้องกับที่ Jones and Hegarty (1981) ได้รายงานไว้ สัตว์เคี้ยวเอื้องต่างชนิดกันมีความสามารถทำลายพิษของสารพิษจากใบกระดินได้แตกต่างกัน คือ โคกับแพะสามารถทนต่อสารมิโมซินได้ดีพอๆ กัน (ประวีร์, 2522) ในขณะที่แกะจะทนได้น้อยกว่าโค (Compere อ้างถึงใน Blom, 1980)

2.5.2.3. ผลของการใช้กระดินเป็นอาหารสัตว์เลี้ยง จินตนา และคณะ (2527) และ สาโรช (2523) ได้แนะนำว่าการใช้ใบกระดินในอาหารโคไม่ควรให้เกิน 50 เปอร์เซ็นต์

ของน้ำหนักแห้งของอาหารที่กิน แต่ที่ออสเตรเลีย Jones and Hegarty (1984) แนะนำว่าไม่ควรให้กระดินแก่โคกินเกิน 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เพราะถ้าให้เกินนั้นสัตว์จะแสดงอาการเป็นพิษ (เมธา และ ฉลอง, 2533) จินดา และคณะ (2527ก) รายงานว่าใบกระดินสดสามารถใช้เสริมโปรตีนให้กับกระบือที่กินข่อยข่อยอบแห้งเป็นอาหารหลักและเสริมด้วยใบกระดินในเวลากลางวัน พบว่ากระบือที่เลี้ยงด้วยข่อยข่อยอบแห้งกินกระดินได้ 10.58 กก.ต่อตัวต่อวัน (6.03 กก.ต่อตัวต่อวัน เมื่อคิดเป็นวัตถุดิบแห้ง) และการเพิ่มน้ำหนักของกระบือสูงกว่ากลุ่มที่กินข่อยข่อยอบแห้งอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Siebert (อ้างถึง Jones, 1979) ได้ขุนโคเพศผู้ด้วยต้นข่อยสับแล้วเสริมด้วยกระดิน โคลเพิ่มน้ำหนักได้ 0.6 กิโลกรัมต่อวัน

จินดา และคณะ (2528) ได้ทดลองใช้ใบกระดินแห้งเป็นแหล่งเสริมโปรตีนในสูตรอาหารมันสำปะหลังสำหรับกระบือ โดยกระบือได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหลัก เสริมด้วยอาหารข้นวันละ 3 กก. พบว่าสามารถใช้ใบกระดินในสูตรอาหารข้นเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนได้สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร โดยที่สัตว์ไม่แสดงอาการเป็นพิษจากการกินใบกระดินระดับสูงแต่อย่างใด บุญเสริม และ บุญล้อม (2528) ได้เสริมรำละเอียด 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวให้กับโคที่ได้รับฟางข้าวเสริมใบกระดินแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณฟางที่กินได้ของกลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่ง กินอาหารหยาบต่ำกว่าพวกที่ได้รับฟางธรรมชาติเสริมใบกระดินแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.4 กับ 1.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ซึ่งอาจเนื่องมาจากใบกระดินช่วยให้โปรตีน พลังงาน แร่ธาตุ วิตามิน แก่จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ จึงช่วยให้การย่อยอาหารดีขึ้นทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter) กลุ่มที่ได้รับฟางธรรมชาติเสริมใบกระดินแห้งจะสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดจนถึงน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง กล่าวคือกลุ่มที่ได้รับใบกระดินมีการเพิ่มน้ำหนักตัวเพียง 0.23 กก.ต่อตัวต่อวัน ดังนั้นถ้าให้ฟางธรรมชาติเสริมด้วยใบกระดินแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและรำละเอียดอีก 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวทำให้สมรรถภาพการผลิตของโครุ่นดีขึ้น



๖๖

SF

ส 821

2.6. อาหารโปรตีน

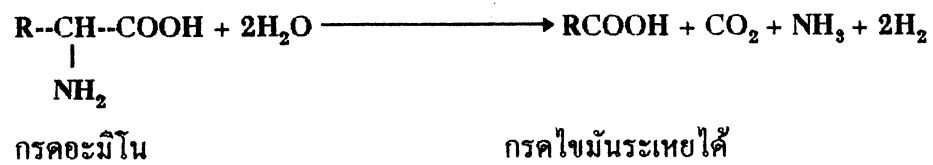
เป็นที่ทราบกันแล้วว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถพิเศษที่แตกต่างไปจากสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องตรงที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้อาหารหยาบเป็นอาหารหลักและสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (non-protein nitrogen, NPN) ได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ากระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ กระเพาะหมัก (rumen), กระเพาะรังผึ้ง (reticulum), กระเพาะสามสิบกลีบ (omasum) และส่วนของกระเพาะจริง (abomasum) (Church, 1979) เป็นสาเหตุให้อาหารส่วนใหญ่ที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ในกระเพาะหมัก จุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายอาหารต่างๆ โดยตรง (Hungate, 1966) โดยเฉพาะอาหารประเภทโปรตีน สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถเปลี่ยนโปรตีนจากอาหารหยาบคุณภาพต่ำให้มีคุณภาพทางโภชนาการสูงขึ้น โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในการเปลี่ยนเป็นจุลินทรีย์โปรตีนซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าโปรตีนคุณภาพต่ำที่สัตว์ได้รับเข้าไปโดยตรง

2.6.1. การแบ่งส่วนประกอบของโปรตีนในอาหารสัตว์ตามลักษณะส่วนประกอบที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

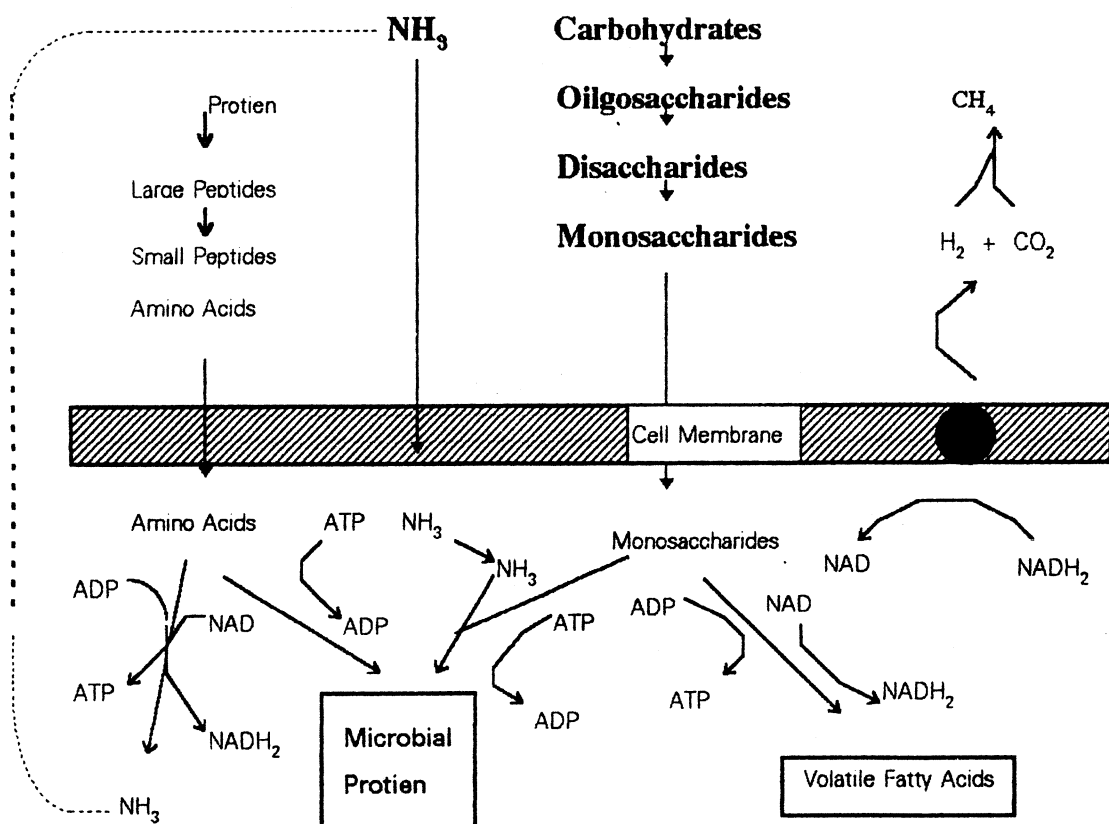
1. โปรตีนทั้งหมด (total protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วย โปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้
2. โปรตีนแท้ เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจับกันเป็นสายยาว เรียกว่า เปปไทด์ (peptide)
3. ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระ (free amino acid), เปปไทด์, กรดนิวคลีอิก (nucleic acid), เอไมด์ (amides), เอมีน (amines), เกลือแอมโมเนียม (ammonia salts), ไนเตรท (nitrate), ไนไตรท์ (nitrite), ยูเรีย (urea) และไบยูเรท (biurate)

2.6.2. การเมทาโบไลต์ของสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน เมื่อสัตว์ได้รับโปรตีนในอาหารเข้ามาในกระเพาะรูเมนจุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ให้สายโพลีเปปไทด์ของโปรตีนแตกเป็นส่วนที่เล็กลงและเปลี่ยนให้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ (small peptides) และกรดอะมิโน ซึ่งขบวนการนี้จะเกิดภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย จากนั้นเปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนก็จะเข้าสู่เซลล์ โดยเปปไทด์ที่ถูกไฮโดรไลซ์เข้าไปในเซลล์จะเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนและกรดอะมิโนนี้ก็จะถูกนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์

โปรตีนหรือบางส่วนอาจถูกสลายได้เป็นกรดไขมันระเหยได้, แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์
 ดังแสดงในสมการ (บุญล้อม, 2527)



โดยที่ผลผลิตสุดท้าย (end product) ที่ผลิตได้นี้จะถูกหลั่งออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรีย
 กลับออกมาสู่ของเหลวในกระเพาะหมัก ดังแสดงในภาพที่ 2

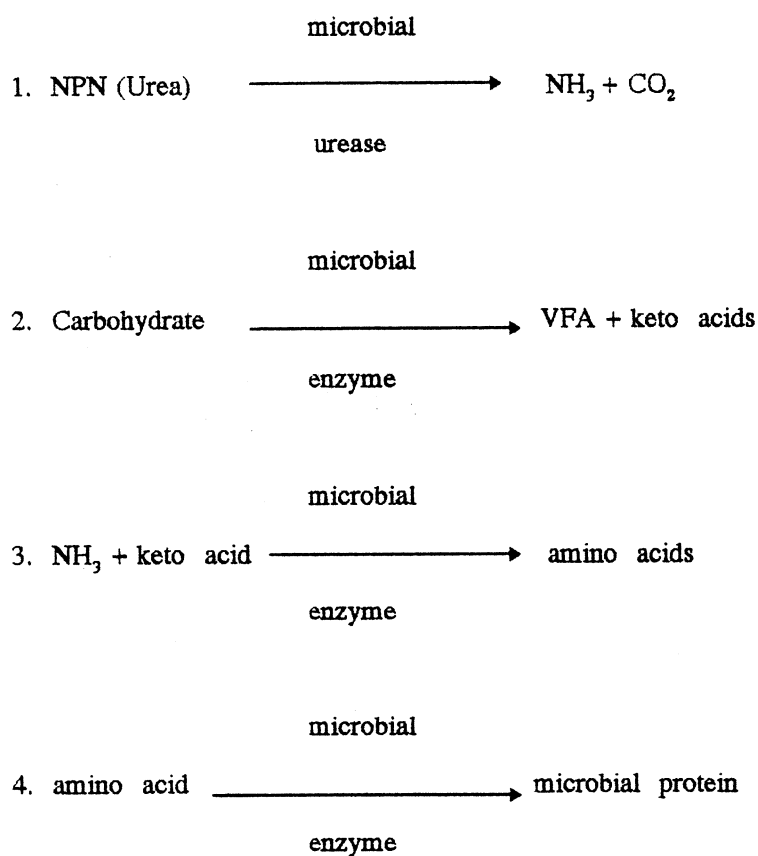


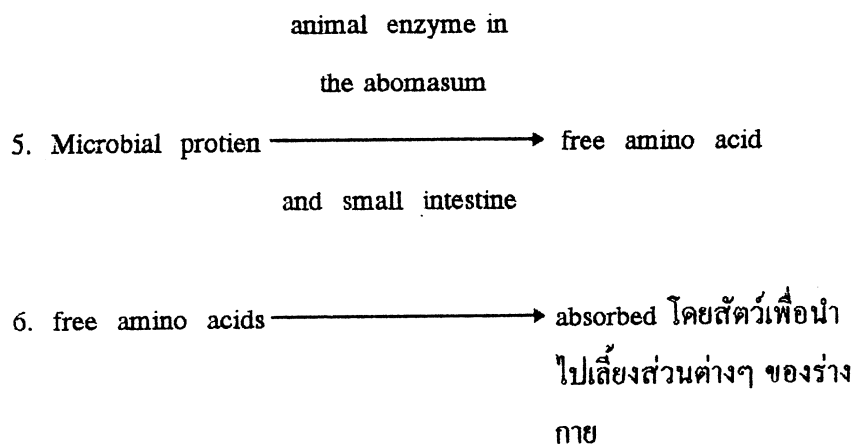
ภาพที่ 2 แสดงการย่อยสลายและการใช้ประโยชน์ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโดยแบคทีเรีย
 กระเพาะหมัก

ที่มา: Nocek and Russell (1988)

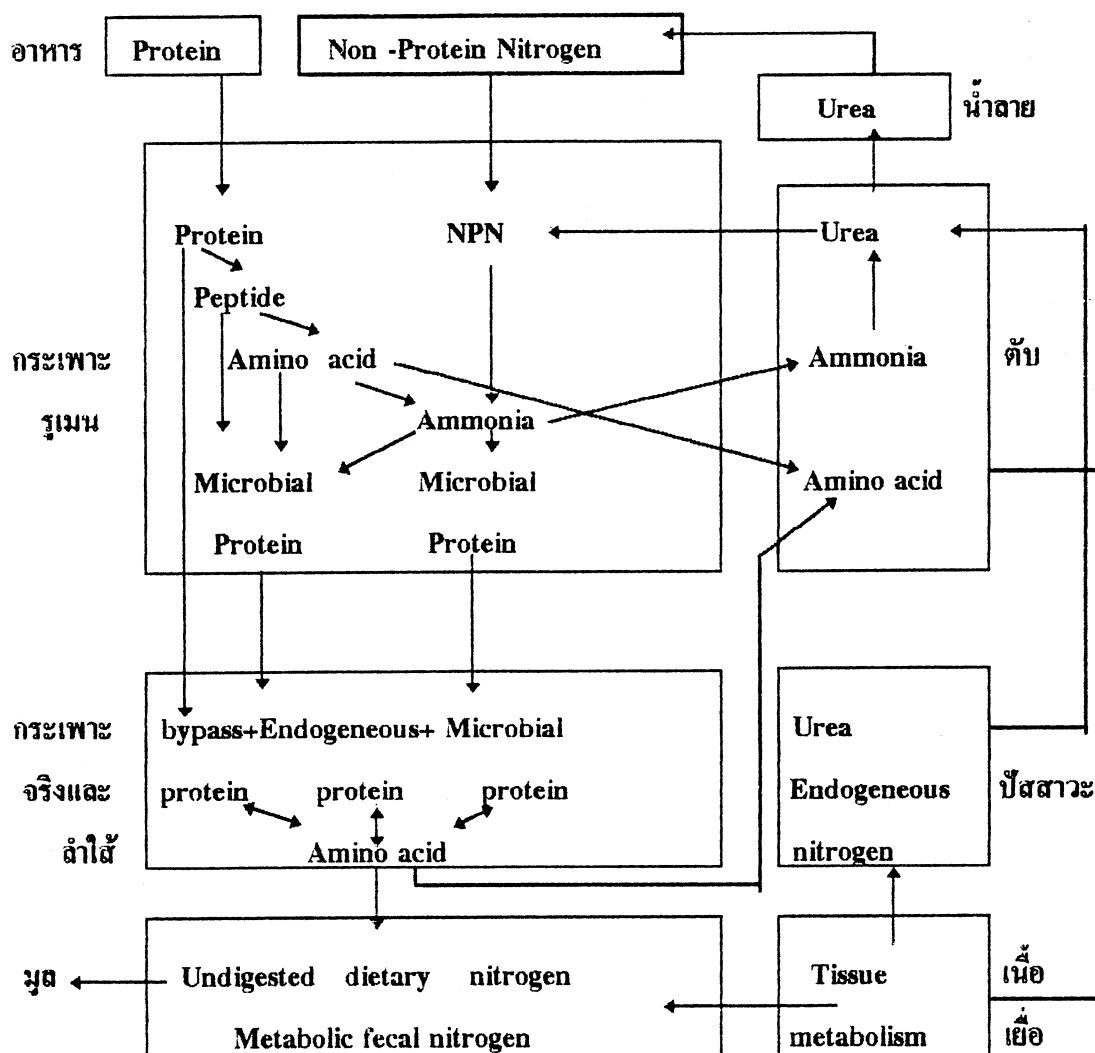
แอมโมเนียสำคัญต่อการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน ประมาณว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยในรูเมน ซึ่งในจำนวนนี้ 29 เปอร์เซ็นต์ จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปกรดอะมิโนและอีก 71 เปอร์เซ็นต์ ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของโปรตีน โดยเฉพาะความสามารถในการละลายได้ (protein solubility) และความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการย่อยสลายโปรตีนของจุลินทรีย์ อยู่ระหว่าง 6-7 (เมธา, 2533)

2.6.3. ขบวนการใช้ในโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ในกระเพาะรูเมน เมธา (2533)
สรุปขบวนการใช้ในโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ในกระเพาะรูเมนไว้ดังนี้





จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าแอมโมเนียจะเป็นตัวทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ในโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถที่จะย่อยสลายประกอบไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ให้ได้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปอิสระสลายประกอบนั้นก็ไม่มีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน ส่วนไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้อื่นๆ ก็คล้ายกับขบวนการใช้ยูเรียข้างต้น กรณีการใช้ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำที่ย่อยสลายได้ยากจะเป็นผลให้ขบวนการขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 กรณีนี้จะเกิดการจำกัดการผลิตกรดคีโต (keto acid) ที่จะนำมาใช้สังเคราะห์กรด อะมิโน ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียแอมโมเนียผ่านกระเพาะรูเมนทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าระดับของยูเรียเหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตจะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3



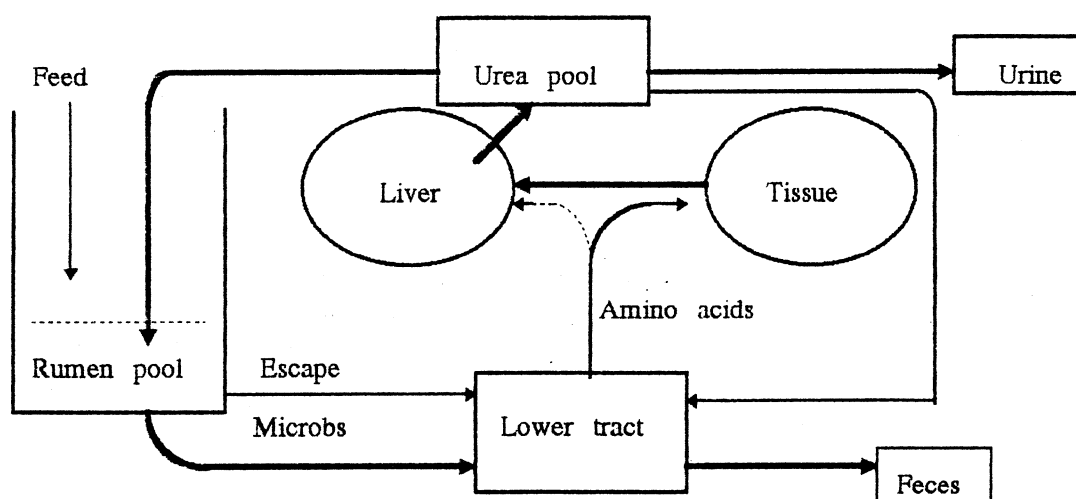
ภาพที่ 3 แสดงขบวนการเมทาโบลิซึมของไนโตรเจนในระบบของสัตว์เคี้ยว

ที่มา: Mercer and Annison (1967) อ้างถึงใน เมธา, 2523)

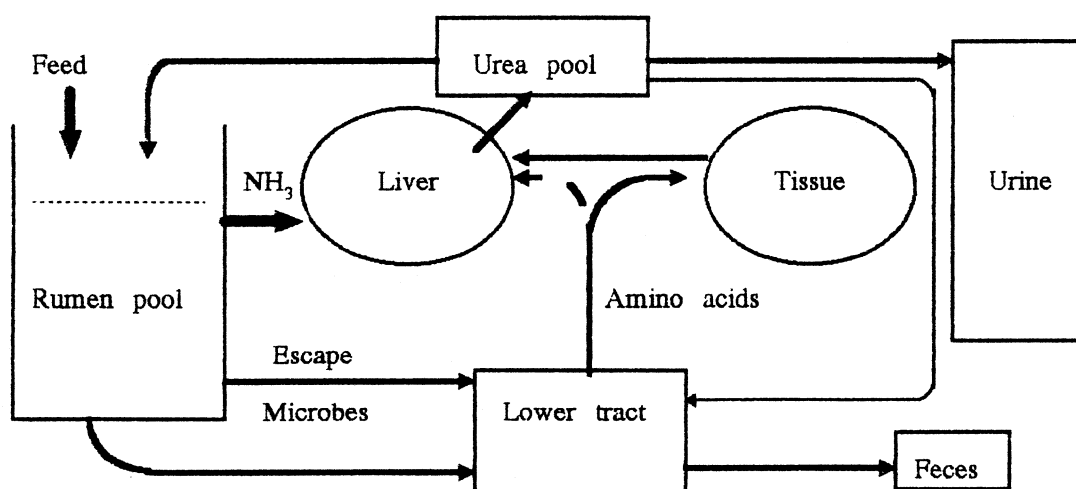
2.6.4. การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมน (rumen - recycling)

ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่กระเพาะหมักในรูปของยูเรีย โดยการผ่านทางน้ำลายและโดยการแพร่ของยูเรียในเลือดผ่านผนังกระเพาะหมัก บุญล้อม (2527) และ Church (1983) รายงานว่าการแพร่ผ่านผนังกระเพาะรูเมนของยูเรียจะสูงกว่าผ่านมาทางน้ำลายถึง 16 เท่า โดยยูเรียที่ผ่านมาทางผนังกระเพาะหมักจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งจะสามารถแพร่ผ่านได้เร็วกว่ายูเรียและการนำกลับของยูเรียเข้าสู่กระเพาะหมักจะช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนมีประสิทธิภาพขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำหรือในระยะอดอาหารซึ่งในระยะที่กล่าวมานี้ได้

จะลดการขับยูเรียทางปัสสาวะ จึงทำให้มียูเรียเก็บกักไว้ในเลือดมาก การนำกลับของยูเรียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับไนโตรเจนที่สัตว์กินเข้าไป ถ้าสัตว์กินอาหารที่มีระดับไนโตรเจนสูงการนำกลับของยูเรียก็จะต่ำและในทางตรงกันข้ามถ้าสัตว์กินอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำการนำกลับของไนโตรเจนก็จะสูงทั้งนี้เพื่อให้ระดับของไนโตรเจนอยู่ในสถานะสมดุล ดังภาพที่ 4



A. Low Nitrogen intake



B. High Nitrogen intake

ภาพที่ 4 เปรียบเทียบการเมทาโบลิซึมในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารที่มี ไนโตรเจนต่ำ (A) และ อาหารที่มีไนโตรเจนสูง (B)

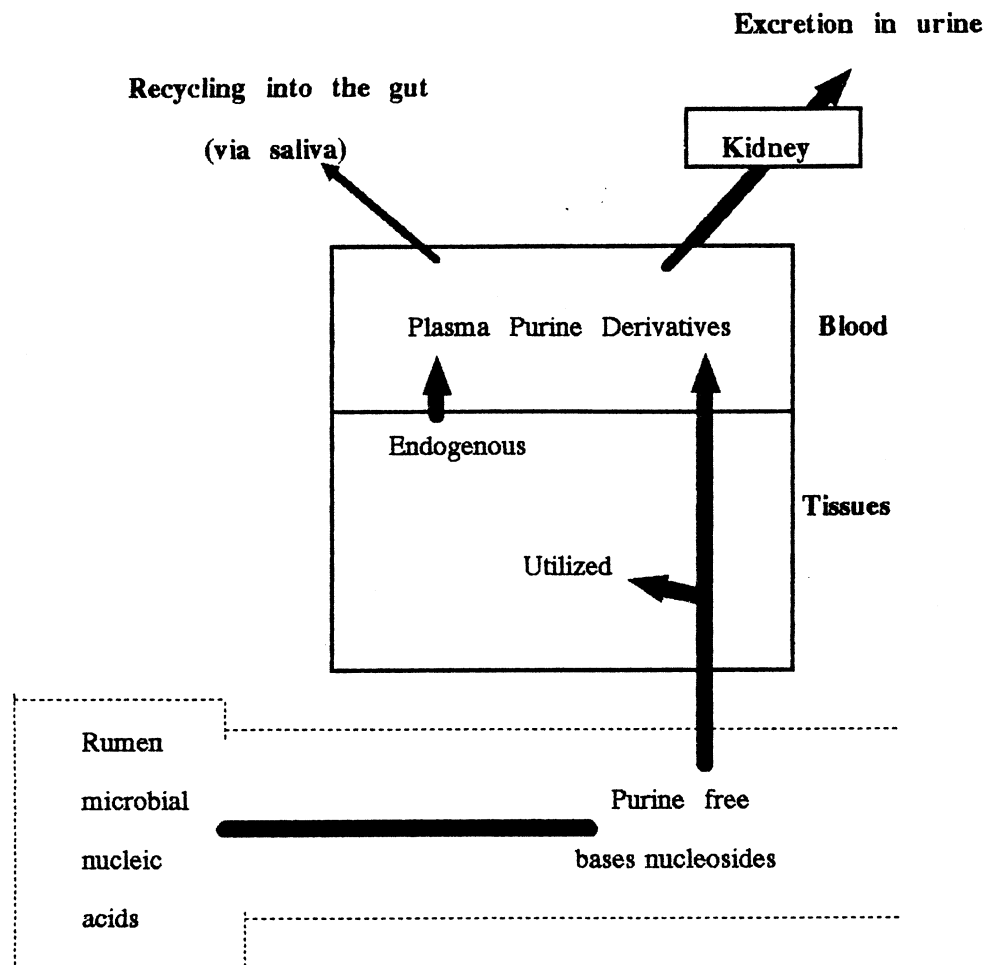
ที่มา: Van Soest (1982) อ้างถึงใน (เมธา, 2533)

2.7. การตรวจวัดหาปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ภายในรูเมน โดยใช้อนุพันธ์ฟิวรีนที่ขับออกมาเป็นตัววัด

การตรวจวัดหาปริมาณโปรตีนที่ได้จากเซลล์จุลินทรีย์ (จุลินทรีย์โปรตีน) ที่ถูกสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน พบว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจทั้งนี้เป็นที่ทราบกันแล้วว่าจุลินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ในที่สุดก็จะถูกย่อยสลายแล้วใช้เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่นอกเหนือจากโปรตีนไหลผ่าน (undegradable protein) และโปรตีนที่ได้จากผนังของเยื่อลำไส้ (endogenous protein) แล้วถือว่ามีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน โดยเฉพาะในเรื่องเกี่ยวกับการนำไปสร้างเป็นผลผลิตที่เป็นประโยชน์ คือ เนื้อ นม ให้กับสัตว์ต่อไป โดยในอดีตที่ผ่านมาการตรวจวัดหาปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนได้รับความสนใจมาก ในกลุ่มนัก วิชาการซึ่งต่างก็พยายามคิดค้นทำการวิจัยด้วยกรรมวิธีต่างๆ เพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์โปรตีน อาทิเช่น การใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ซึ่งใช้กัมมันตรังสี (35S หรือ 15N) เป็นตัววัด (Chen and Gomes, 1992) นอกจากนี้ยังใช้โปรตีนในตัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นตัวชี้บ่ง เช่น RNA และ DAPA แต่วิธีดังกล่าวมีข้อเสียคือยุ่งยาก ซับซ้อนและสิ้นเปลืองเพราะก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องมีการผ่าตัดฝังท่อที่ส่วนต้นของลำไส้เล็กซึ่งถ้าผู้ทดลองขาดความชำนาญก็อาจไม่ประสบความสำเร็จได้ อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อสัตว์อีกด้วย

ด้วยเหตุนี้นักวิชาการกลุ่มหนึ่งที่ได้ให้ความสนใจกับการตรวจวัดหาจุลินทรีย์โปรตีนก็ได้พยายามศึกษาหาวิธีการใหม่ๆ เพื่อเอาชนะจุดยุ่งยากที่ผ่านมา ก็ค้นพบว่าการนำปัสสาวะของสัตว์มาตรวจวัดหาระดับของอนุพันธ์ฟิวรีนที่ถูกขับออกมากับปัสสาวะ ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะทำให้ทราบถึงปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะว่าระดับของอนุพันธ์ฟิวรีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของกรดนิวคลีอิกที่ขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะซึ่งจะเป็นตัวชี้บ่งถึงปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วย (Kahn and Nolan, 1992) กล่าวคือถ้ามีการขับระดับของอนุพันธ์ฟิวรีนออกมาในปริมาณที่สูงแสดงว่าอาหารที่สัตว์ได้รับเข้าไปนั้นมีผลต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์สูงตามไปด้วย (Chen and Gomes, 1992)

2.7.1. เมทาบอลิซึมของกรดนิวคลีอิกในส่วนของลำไส้เล็ก เป็นที่ทราบกันแล้วว่ากรดนิวคลีอิกซึ่งได้มาจากเซลล์ของจุลินทรีย์จะไหลผ่านออกจากรูเมน ดังภาพที่ 5



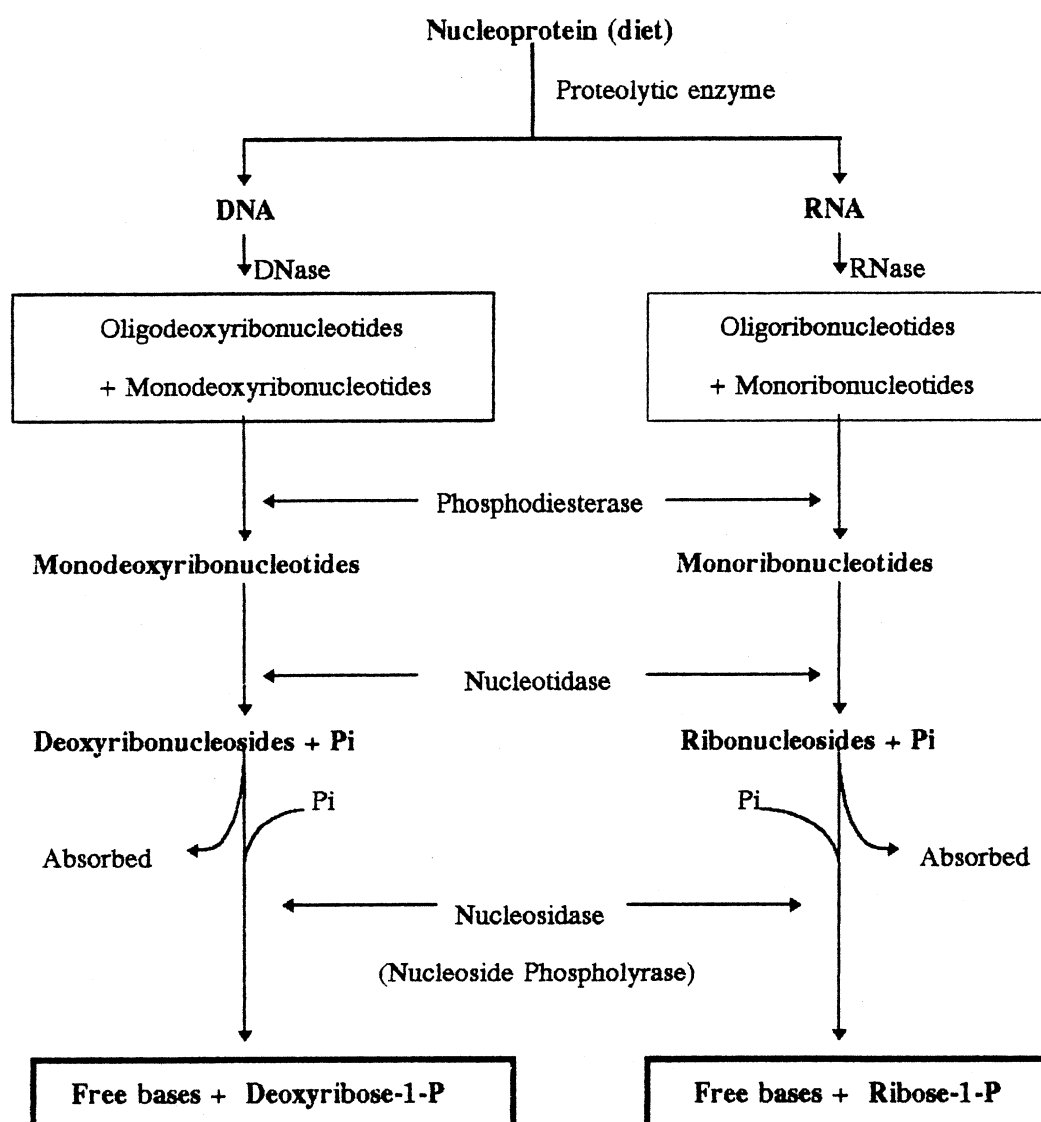
ภาพที่ 5 วิธีเมทาโบลิซึมของกรดนิวคลีอิกในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา: Chen and Gomest (1993)

และจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) โดยในช่วงแรกกรดนิวคลีอิกจะแยกตัวออกจากนิวคลีโอโปรตีน โดยการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งการสลายโปรตีน (proteolytic enzyme) จากนั้นก็จะถูกย่อยสลายต่อโดยเอนไซม์นิวคลีเอส (nuclease) ซึ่งได้จากน้ำย่อยของตับอ่อนได้เป็นโอลิโกนิวคลีโอไทด์ (oligonucleotides) และโมโนนิวคลีโอไทด์ (mononucleotide) ซึ่งเอนไซม์นิวคลีเอส สามารถแบ่งออกได้เป็น ไรโบนิวคลีโอไทด์เนส (ribonucleotides, RNase) และดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์เนส (deoxyribonucleotides, DNase) ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อย RNA และ DNA ตามลำดับ ในส่วนของลำไส้เล็กนั้นนอกจากจะมีเอนไซม์นิวคลีเอส แล้วยังมีเอนไซม์ฟอสโฟไดเอสเทอเรส (phosphodiesterase) หรือโพลีนิวคลีโอไทด์เนส ที่มาช่วยในการย่อยโดยจะทำหน้าที่ย่อยพวกโอลิโกนิวคลีโอไทด์ให้เป็นโมโนนิวคลีโอไทด์ ส่วนโมโนนิวคลีโอไทด์ที่เกิด

ขึ้นจะถูกสลายต่อในลำไส้เล็กโดย เอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) หรือ นิวคลีโอไทเดส (nucleotidase) ได้เป็นนิวคลีโอไซด์ (nucleoside), ฟอสเฟต (Pi) และนิวคลีโอไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมผ่านเยื่อผนังลำไส้ (intestinal mucosa) และถูกย่อยสลายต่อไปในตับและเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น น้าม, ไตและไขกระดูก โดยเอนไซม์ฟอสโฟริเลส (phosphorylase) หรือ นิวคลีโอไซด์ (nucleosidase) ได้เป็นเบสอิสระ คือ พิวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) (อาภัสรา, 2537)

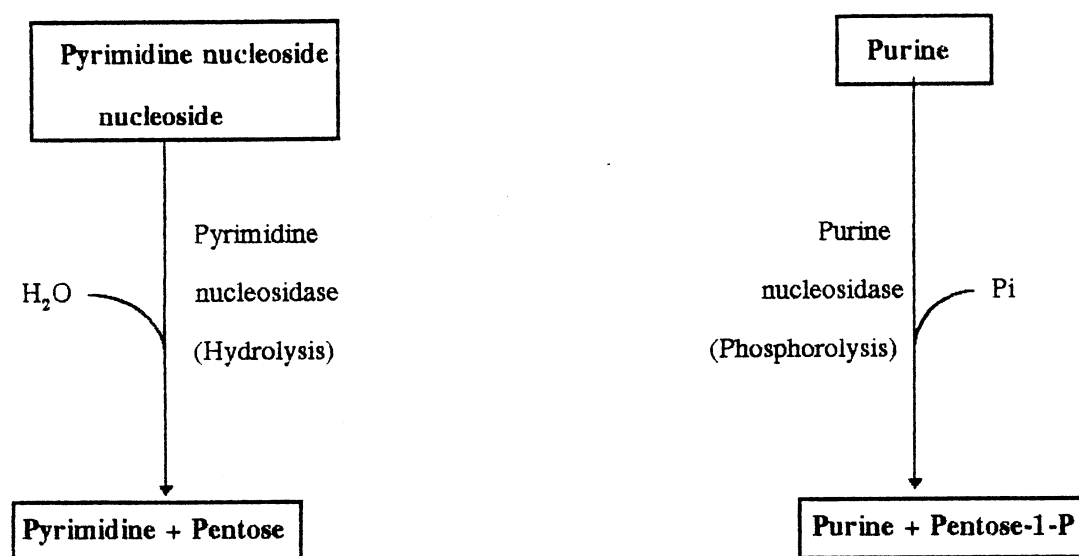
ดงภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การย่อยสลายของกรดนิวคลีอิกในลำไส้เล็ก

ที่มา: อาภัสรา (2537)

นิวคลีโอไซด์ ที่พบในเนื้อเยื่อนี้มี 2 ชนิด คือ ชนิดหนึ่งจะทำหน้าที่จำเพาะกับไพริมิดีน นิวคลีโอไซด์จะถูกไฮโดรไลซ์เป็น พันธะไกลโคซิดิก ได้เป็น เบสไพริมิดีนและน้ำตาลเพนโตส อีกชนิดหนึ่งจะทำหน้าที่จำเพาะกับพิวรีน นิวคลีโอไซด์ โดยจะกระตุ้นปฏิกิริยาการแยกสลายพันธะไกลโคซิดิก โดยมีการเติมหมู่ฟอสเฟตเข้าไปได้เป็นเบสพิวรีนและเพนโตส-1 ฟอสเฟต (pentose-1 phosphate) ดังภาพที่ 7

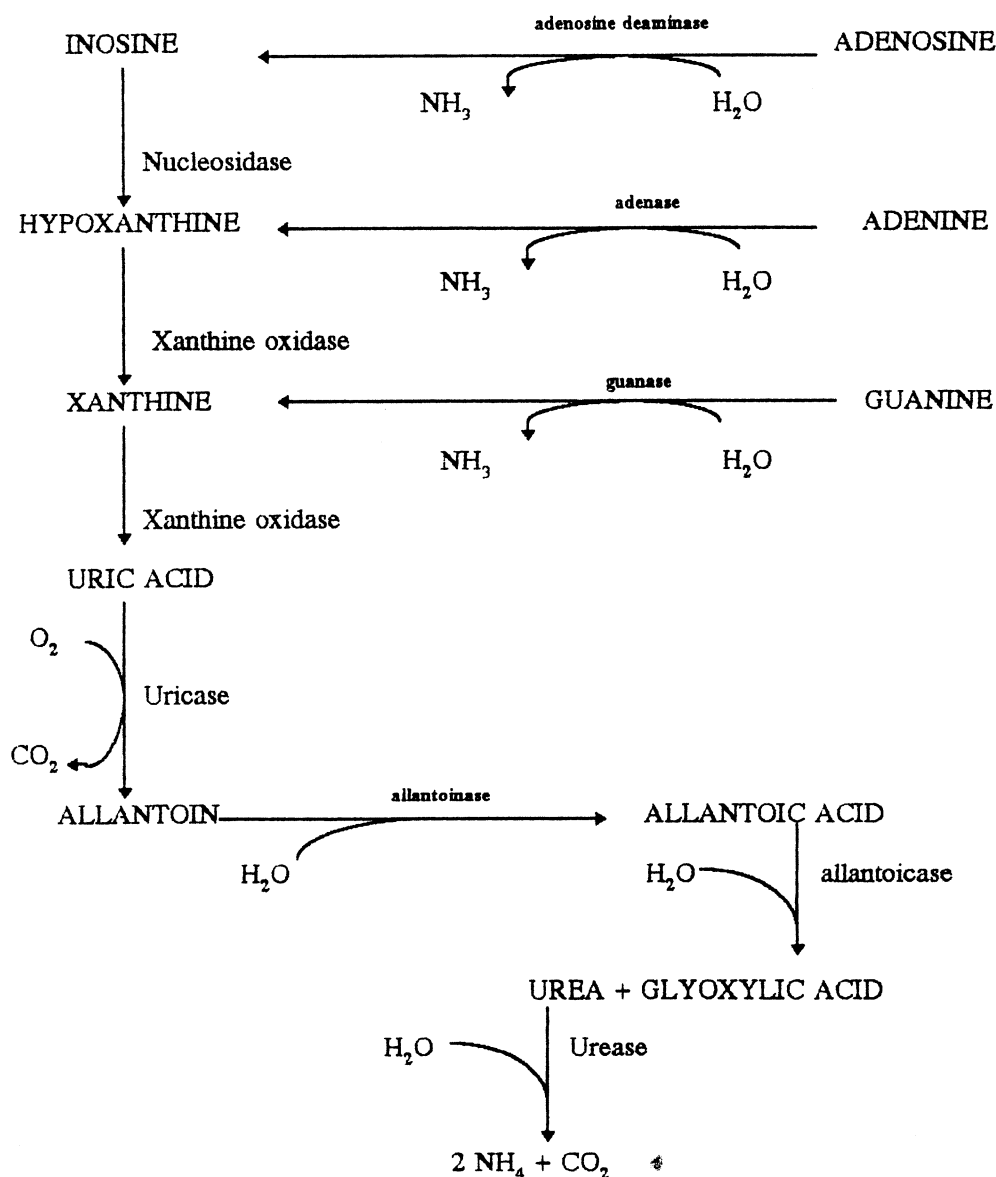


ภาพที่ 7 การย่อยสลายของนิวคลีโอไซด์ในเนื้อเยื่อต่างๆ

ที่มา: อากัสรา (2537)

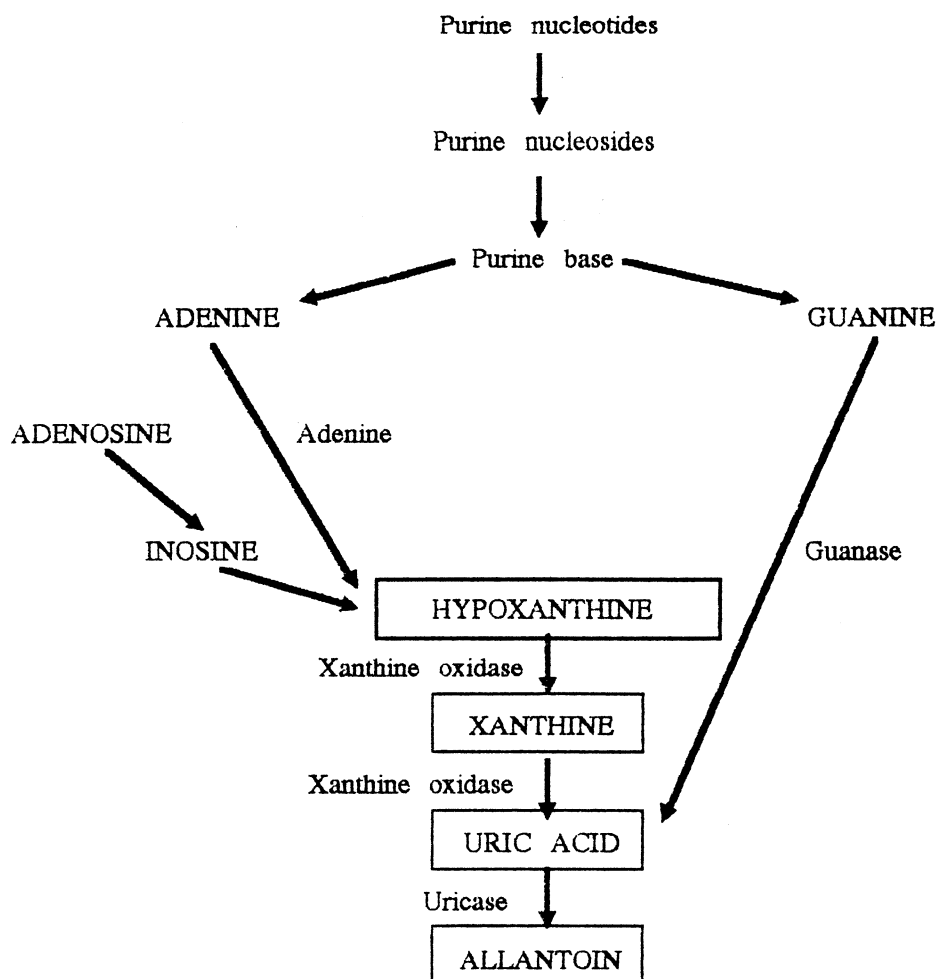
โดยที่ฟอสเฟตและน้ำตาลจะสามารถถูกนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต สำหรับเบสพิวรีนและไพริมิดีนสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกได้โดยวิถี ซาลเวจ (salvage pathway) (อากัสรา, 2537; Ellis and Bleichner, 1969) แต่ส่วนใหญ่จะถูกสลายต่อและถูกขับออกนอกร่างกาย

2.7.2. การสลายของพิวรีน (catabolism of purines) เบสอิสระพิวรีนที่เกิดขึ้นจากการสลายของกรณิกนิวคลีอิกที่มีอยู่ในอาหาร ส่วนใหญ่จะถูกสลายต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งจะแตกต่างกันในสัตว์ชนิดต่างๆ และจะถูกขับออกทางปัสสาวะ ดังแสดงในภาพที่ 8 และ 9



ภาพที่ 8 วิธีการสลายเบสพิวรีน

ที่มา: อากัสตรา (2537)



ภาพที่ ๑ วิธีการสลายอนุพันธ์พิวรีน

ที่มา: Chen and Gomest (1992)

ปฏิกิริยาเริ่มแรกของการสลายพิวรีน คือการจัดหมู่กรดอะมิโน (deamination) เบสอะดีนีนจะถูกดึงเอาหมู่อะมิโนออก โดยเอนไซม์อะดีนีน (adenase) หรือ อะดีนีน คีอะมิเนส (adenine deaminase) ได้เป็นไฮโปแซนทีน เอนไซม์อะดีนีนพบอยู่ในพวกจุลินทรีย์และในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrates) แต่ไม่พบหรือพบได้น้อยมากในเนื้อเยื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammalian tissues) ดังนั้นในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมการสลายของเบสอะดีนีนจะเริ่มตั้งแต่ระดับของนิวคลีโอไซด์ กล่าวคืออะดีโนซีนจะถูกดึงเอาหมู่อะมิโนออกไปโดยเอนไซม์อะดีโนซีน คีอะมิเนส (adenosine deaminase) ได้เป็นอิโนซีน (inosine) ซึ่งจะสลายต่อไปเป็นไฮโปแซนทีน โดยเอนไซม์นิวคลีโอไซด์ ฟอสโฟไรเลส (nucleoside phosphorylase) หรือ นิวคลีโอซิเดส สำหรับเบสกวานีนก็จะถูกดึงเอาหมู่อะมิโนออกไปเช่นกัน โดยเอนไซม์กวานเนส (guanase) หรือ

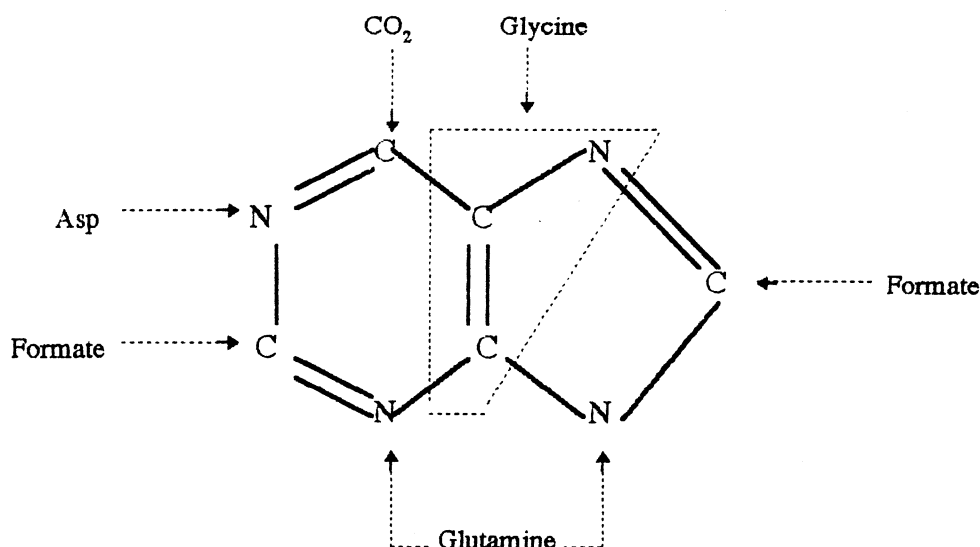
กวานีน คืออะมีเนส (guanine deaminase) ได้เป็นแซนทีน สำหรับเอนไซม์กวานเนส มีอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ม้าม ดังนั้นในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมการสลายเบสกวานีนจึงเริ่มจากเบสอิสระได้

ไฮโปแซนทีนที่เกิดขึ้นถูกออกซิไดซ์เป็นแซนทีน และแซนทีนจะถูกออกซิไดซ์ต่อได้เป็นกรดยูริก (อาภัสรา, 2537) เอนไซม์ที่คะตะไลซ์ปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งสองนี้คือ เอนไซม์แซนทีน ออกซิเดส (xanthine oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มี FAD, Fe^{+2} , Mo^{+6} เป็นโคแฟกเตอร์ เอนไซม์แซนทีน ออกซิเดสมีอยู่ในตับและลำไส้เล็ก ถ้าไม่มีเอนไซม์นี้กรดยูริกจะไม่ถูกสร้างขึ้นมา กรดยูริกเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการสลายพิวรีนในคน

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมชนิดอื่นนอกจากไพรเมต กรดยูริกจะถูกออกซิไดซ์ในตับโดยเอนไซม์ยูริเคส (uricase) หรือ ยูเรท ออกซิเดส (urate oxidase) ได้เป็นอัลแลนโตอิน (allantoin) ซึ่งถูกขับออกนอกร่างกาย

2.7.3. การสังเคราะห์ไรโบนิวคลีโอไทด์ (synthesis of ribonucleotides) เบสพิวรีนและเบสพิริมิดีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรคนิวคลีโอติก ไม่จำเป็นต้องได้รับจากแหล่งภายนอกหรือจากอาหาร เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในรูปของพิวรีน ไรโบนิวคลีโอไทด์และพิริมิดีน ไรโบนิวคลีโอไทด์ พิวรีน ไรโบนิวคลีโอไทด์และพิริมิดีน ไรโบนิวคลีโอไทด์สามารถสังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้นกำเนิดที่มีโมเลกุลเล็กได้แก่ กรดอะมิโน, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), แอมโมเนียและฟอร์มेट (formate) การสังเคราะห์แบบนี้เรียกว่า การสังเคราะห์แบบ ดี โนว (de novo synthesis) หรืออาจจะถูกสังเคราะห์ขึ้นจากเบสพิวรีนและเบสพิริมิดีนที่มีอยู่แล้วโดยตรงก็ได้ วิธีการสังเคราะห์แบบหลังนี้เรียกว่า วิธีสากลweg ความสำคัญของวิธีการสังเคราะห์ทั้ง 2 แบบนี้อาจจะแปรเปลี่ยนได้อย่างมากในเซลล์ต่าง ๆ กัน

2.7.3.1. การสังเคราะห์พิวรีน ไรโบนิวคลีโอไทด์ (biosynthesis of purine ribonucleotide) วิธี ดี โนว เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นทั่วๆ ไปภายในเซลล์ จากการศึกษาหาสารตั้งต้นกำเนิดของวงแหวนพิวรีน (purine ring) โดยให้นักพิลาบกินสารอาหารที่ถูกประทับตราด้วยสารกัมมันตภาพรังสี ก็จะขับเอาไนโตรเจนที่ร่างกายไม่ต้องการ (waste nitrogen) ออกมาในรูปของกรดยูริกและโดยการแยกสลายของกรดยูริกด้วยวิธีทางเคมีทำให้พบว่าทั้ง 9 อะตอมของวงแหวนพิวรีนนั่นได้มาจากสารตั้งต้นกำเนิดชนิดต่างๆ 5 ชนิดด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แหล่งกำเนิดของอะตอมไนโตรเจนและคาร์บอนของวงแหวนพิวรีน
ที่มา: อากัสรา (2537)

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พิวรีน ไรโบนิวคลีโอไทด์แบ่งออกเป็น 11 ขั้นตอน และเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์นี้จะอยู่ในไซโตพลาสซึม

ขั้นตอนที่ 1 สารประกอบ 5 - ฟอสโฟไรโบซิล - 1 - ไพโรฟอสเฟต (5 - phosphoribosyl - 1 - pyrophosphate, PRPP) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในกระบวนการสังเคราะห์พิวรีน ไรโบนิวคลีโอไทด์ถูกสร้างจากปฏิกิริยาของไรโบส - 5 ฟอสเฟต (ribose - 5 - phosphates) กับ ATP โดยมีเอ็นไซม์ PRPP synthetase ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ไคเนสชนิดหนึ่งทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาการย้ายหมู่ไพโรฟอสเฟตของ ATP ไปให้กับไรโบส - 5 - ฟอสเฟต ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาควคุมวิถีเมทาบอลิซึมของพิวรีน นิวคลีโอไทด์ทั้งหมด และ PRPP ไม่ได้เป็นสารที่สำคัญเฉพาะการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์แต่ยังเป็นสารที่สำคัญของการสังเคราะห์พรีมิดีน นิวคลีโอไทด์อีกด้วยซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 PRPP ทำปฏิกิริยากับกลูตามีนโดยหมู่ไพโรฟอสเฟตของ PRPP จะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ จากกลูตามีนได้เป็น 5-ฟอสโฟไรโบซิลเลมิน (5-phosphoribosylamine) ปฏิกิริยานี้ถูกกระตุ้นโดยเอ็นไซม์อะมิโดทรานเฟอร์เรส (amidotransferase) ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาเริ่มแรกที่แท้จริงของการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์และเป็น “committed step” หรือ

“rate-limiting step” กล่าวคือ สามารถถูกยับยั้งแบบย้อนกลับ (feedback inhibition) โดยพิวรีน นิวคลีโอไทด์ต่างๆ เช่น ATP, ADP, AMP, GTP, GDP, GMP, และ IMP

ขั้นตอนที่ 3 ฟอสโฟไรโบซิลเลีน ทำปฏิกิริยากับไกลซีน ได้เป็นไกลซีนามิโดไรโบซิลฟอสเฟต (glycinamide ribosyl-5-phosphate, GAR) ปฏิกิริยานี้ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ ไกลซีนามิโด คิโนซินทีเตส (glycinamide kinosynthetase) และต้องการ ATP เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการเติมหมู่ฟอร์มิล (formyl group) ให้กับ GAR และเปลี่ยนเป็นฟอร์มิลไกลซีนามิโดไรโบซิลฟอสเฟต (formylglycinamide ribosyl-5-phosphates, FGAR) ปฏิกิริยานี้ต้องการ N^5, N^{10} -methenyl tetrahydrofolate เป็นตัวที่ให้หมู่ฟอร์มิล และต้องการ เอนไซม์ฟอร์มิลทรานสเฟอเรส (formyltransferase) กระตุ้นปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 5 FGAR ทำปฏิกิริยากับกลูตามีนได้เป็น ฟอร์มิล ไกลซีนามิดีนไรโบซิลฟอสเฟต (formyl glycinamidine ribosyl-5-phosphates, FGAM) เอนไซม์ที่ใช้คือ FGAM synthetase ปฏิกิริยานี้ต้องการ ATP

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการปิดของวงแหวนอิมิดาโซล (imidazole ring) ของวงแหวนพิวรีนได้เป็นอะมิโนอิมิดาโซลไรโบซิลฟอสเฟต (aminoimidazole ribosyl-5-P, AIR) ปฏิกิริยานี้ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ AIR synthetase และต้องการ ATP

ขั้นตอนที่ 7 เป็นการเติม CO_2 แก่ AIR ได้เป็นอะมิโนอิมิดาโซลคาร์บอกซิเลตไรโบซิลฟอสเฟต (aminoimidazole carboxylate ribosyl-5-phosphates, AICAR) เอนไซม์ที่กระตุ้นปฏิกิริยา คือ carboxylase และต้องการไบโอติน (biotin) เป็นโคเอนไซม์

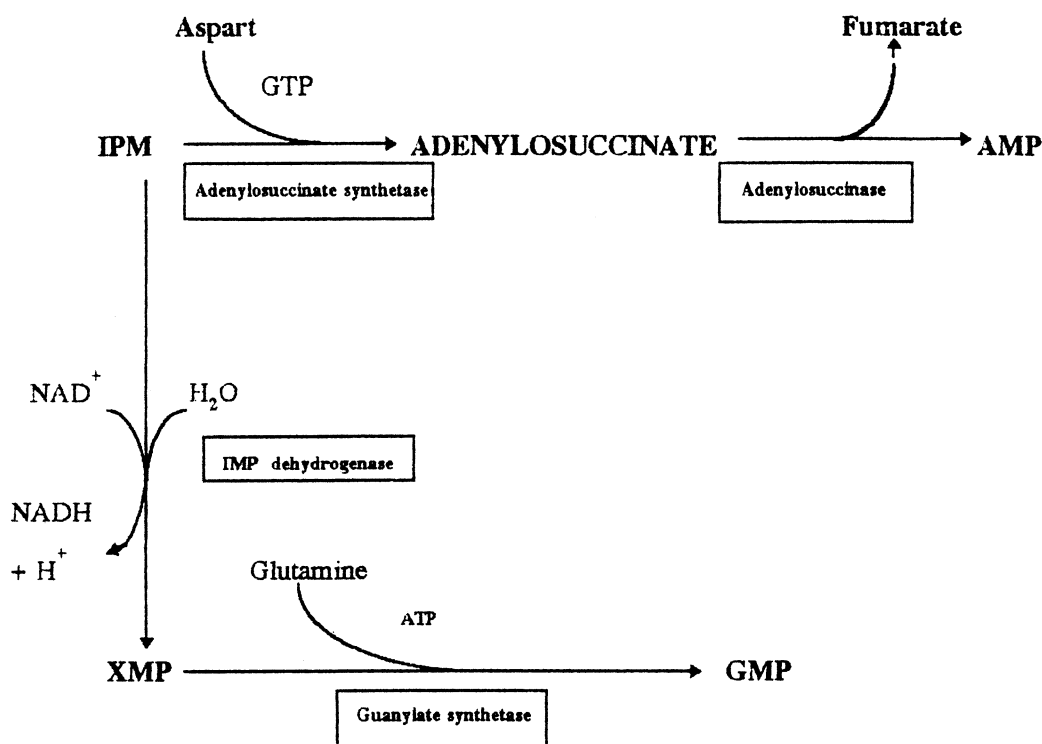
ขั้นตอนที่ 8 AICAR ทำปฏิกิริยากับกรดแอสพาร์ติกได้เป็น ซักซินิลอะมิโนอิมิดาโซลคาร์บอกเซไมด์ไรโบซิลฟอสเฟต (succinyl aminoimidazole carboxamide ribosyl-5-phosphates, SIACAR) โดยมีเอนไซม์ SAICAR synthetase เป็นตัวกระตุ้น ปฏิกิริยานี้ต้องการ ATP

ขั้นตอนที่ 9 หมู่ซัคซินิลของ SAICAR จะถูกแยกออกมาในรูปของกรดฟูมาริก (fumaric acid) โดยเอนไซม์อะดีนิลโอซัคซิเนส (adenylosuccinase) ที่เหลือคืออะมิโนอิมิดาโซล คาร์บอกเซไมด์ ไรโบซิล ฟอสเฟต (aminoimidazole carboxamide ribosyl-5-phosphates)

ขั้นตอนที่ 10 เป็นการเติมหมู่ฟอร์มิลจาก N^{10} -formyltetrahydrofolate ให้แก่ อะมิโนอิมิดาโซล คาร์บอกเซไมด์ ไรโบซิล ฟอสเฟต ได้เป็นฟอร์มมิดอิมิดาโซล คาร์บอกเซไมด์ ไรโบซิล ฟอสเฟต (formamidoimidazole carboxamide ribosyl-5-phosphates) เอนไซม์ที่ กระตะไลซ์ปฏิกิริยานี้คือ ฟอร์มิลทรานสเฟอเรส (formyltransferase)

ขั้นตอนที่ 11 เป็นการปิดวงแหวนโดย เอนไซม์ไอเอ็มพี ไซโคลไฮโดรเลส (IMP cyclohydrolase) กระตะไลซ์ปฏิกิริยาการดึงเอาน้ำออกไป ผลผลิตที่ได้ก็คือ IMP (inosine monophosphate หรือ inosinic acid) ซึ่งเป็นพิวรีน นิวคลีโอไทด์ตัวแรกที่ได้จากการสังเคราะห์ แบบ คี โนโว

IMP ซึ่งเป็นพิวรีน นิวคลีโอไทด์ตัวแรกที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก วิธี de novo จะถูกเปลี่ยนเป็น AMP และ GMP ได้ต่อไป AMP เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเติมหมู่อะมิโนที่ C6 ของ IMP โดยกรดแอสพาร์ติก จะทำปฏิกิริยากับ IMP ได้เป็น อะดีนิลโอซัคซิเนต (adenylosuccinate) ปฏิกิริยานี้ถูกกระตะไลซ์โดยเอนไซม์ อะดีนิลโอซัคซิเนส ซินติเตส (adenylosuccinate synthetase) และต้องการ GTP เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยานี้ ต่อจากนั้นกรดฟูมาริกจะแยกออกไปโดยเอนไซม์อะดีนิลโอซัคซิเนส (adenylosuccinase) เป็นตัว กระตะไลซ์ ได้ผลผลิตสุดท้ายคือ AMP (adenosine monophosphate หรือ adenylic acid) ดัง แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนจาก IMP ไปเป็น AMP และ GMP

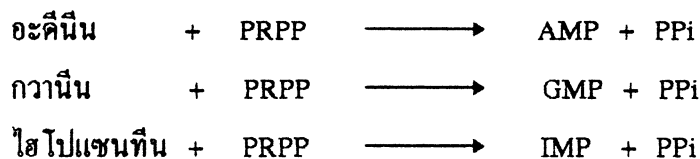
ที่มา: อากัสตรา (2537)

สำหรับ GMP จะเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน เช่นเดียวกัน ขั้นตอนแรก IMP จะถูกออกซิไดซ์ได้เป็น XMP (xanthosine monophosphate หรือ xanthylic acid) โดยมี เอ็นไซม์ไอเอ็มพี ดีไฮโดรจีเนส (IMP dehydrogenase) เป็นตัวคะตะไลซ์ และมี NAD⁺ เป็น โคเอ็นไซม์ ขั้นต่อไปเป็นปฏิกิริยาการเติมหมู่อะมิโนที่ C2 ของ XMP ได้เป็น GMP (guanosine monophosphate หรือ guanylic acid) โดยกลูตามีนเป็นตัวให้ N (N donor) ปฏิกิริยานี้ถูกคะตะไลซ์โดยเอ็นไซม์กวานิเลท ซินติเตส (guanylate synthetase) และต้องการ ATP เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยา

2.7.3.2. วิธี ซาลเวจ ของพิวรีน นิวคลีโอไทด์ ในเนื้อเยื่อบางชนิดสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถนำเอาเบสพิวรีนอิสระและพิวรีน นิวคลีโอไซด์ ซึ่งได้จากการสลายของกรดนิวคลีอิก หรือ พิวรีน นิวคลีโอไทด์เองกลับมาใช้ในการสร้างพิวรีน นิวคลีโอไทด์ขึ้นใหม่ได้อีก วิธีการนี้เรียกว่า วิธีซัลเวจ ซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัด (Lehninger, 1982) เนื่องจากไม่ได้นำเอาสารโมเลกุลชนิดอื่นๆ มาใช้ดังเช่นใน วิธี ดี โนโว (de novo pathway) แต่เป็นการนำเอาสารซึ่งเกิด

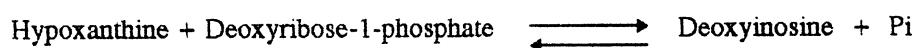
ขึ้นจากการสลายของสารชนิดหนึ่งกลับมาใช้ในการสังเคราะห์สารชนิดนั้นขึ้นใหม่ ปฏิกริยาของวิธีสากลเวจ มี 2 แบบ คือ

แบบแรก เบสพิวรีนที่อยู่เป็นอิสระสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ PRPP ได้เป็นนิวคลีโอไซด์-5-โมโนฟอสเฟต (nucleoside-5-monophosphate) ในเนื้อเยื่อของคนมีเอนไซม์ 2 ตัวที่เกี่ยวข้องคือ อะดีนีน ฟอสโฟไรโบซิล ทรานสเฟอเรส (adenine phosphoribosyl transferase) ซึ่งจะ催化ปฏิกิริยาการย้ายหมู่ฟอสโฟไรโบซิลของ PRPP ไปให้กับอะดีนีนทำให้เกิดเป็น AMP เอนไซม์อีกตัวหนึ่งคือ ไฮโปแซนทีน-กวานีน ฟอสโฟไรโบซิล ทรานสเฟอเรส (hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transferase, HGPRT) จะ催化ปฏิกิริยาการย้ายหมู่ฟอสโฟไรโบซิลของ PRPP ไปให้กับกวานีนหรือไฮโปแซนทีนทำให้ได้เป็น GMP หรือ IMP ตามลำดับ ดังปฏิกิริยาข้างล่างนี้

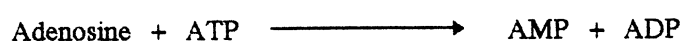


เอนไซม์ HGPRT มีความสำคัญ พบว่าการขาดเอนไซม์ HGPRT จะทำให้เกิดภาวะผิดปกติที่เรียกว่า Lesch Nyhan syndrome โรคนี้เป็นภาวะผิดปกติในเมทาโบลิซึมที่เป็นมาแต่กำเนิด (inborn error of metabolism) ผลที่เกิดตามมาจากการขาดเอนไซม์ HGPRT ก็คือ ทำให้มีการสร้างกรดยูริกมากขึ้น ลักษณะของโรคนี้คือ คนไข้จะมีอาการทางประสาท มีความประพฤติก้าวร้าว ชอบทำร้ายตัวเอง และพบว่ามีระดับของยูเรตในเลือดสูง มีกรดยูริกถูกขับออกทางปัสสาวะเพิ่มมากขึ้น อาจจะมีผลึกของกรดยูริกไปเกาะอยู่ในไตและอาจมีผลทำให้เกิดภาวะไตล้มเหลว (real failure) ได้

แบบที่สอง เป็นการเปลี่ยนเบสพิวรีนอิสระให้เป็นนิวคลีโอไซด์และเปลี่ยนจากนิวคลีโอไซด์ให้เป็นนิวคลีโอไทด์ โดยเบสพิวรีนจะทำปฏิกิริยากับ ribose-1-phosphate หรือ deoxyribose-1-phosphate ได้เป็นพิวรีน นิวคลีโอไซด์ ปฏิกริยานี้ถูก催化โดยเอนไซม์ purine nucleoside phosphorylase ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

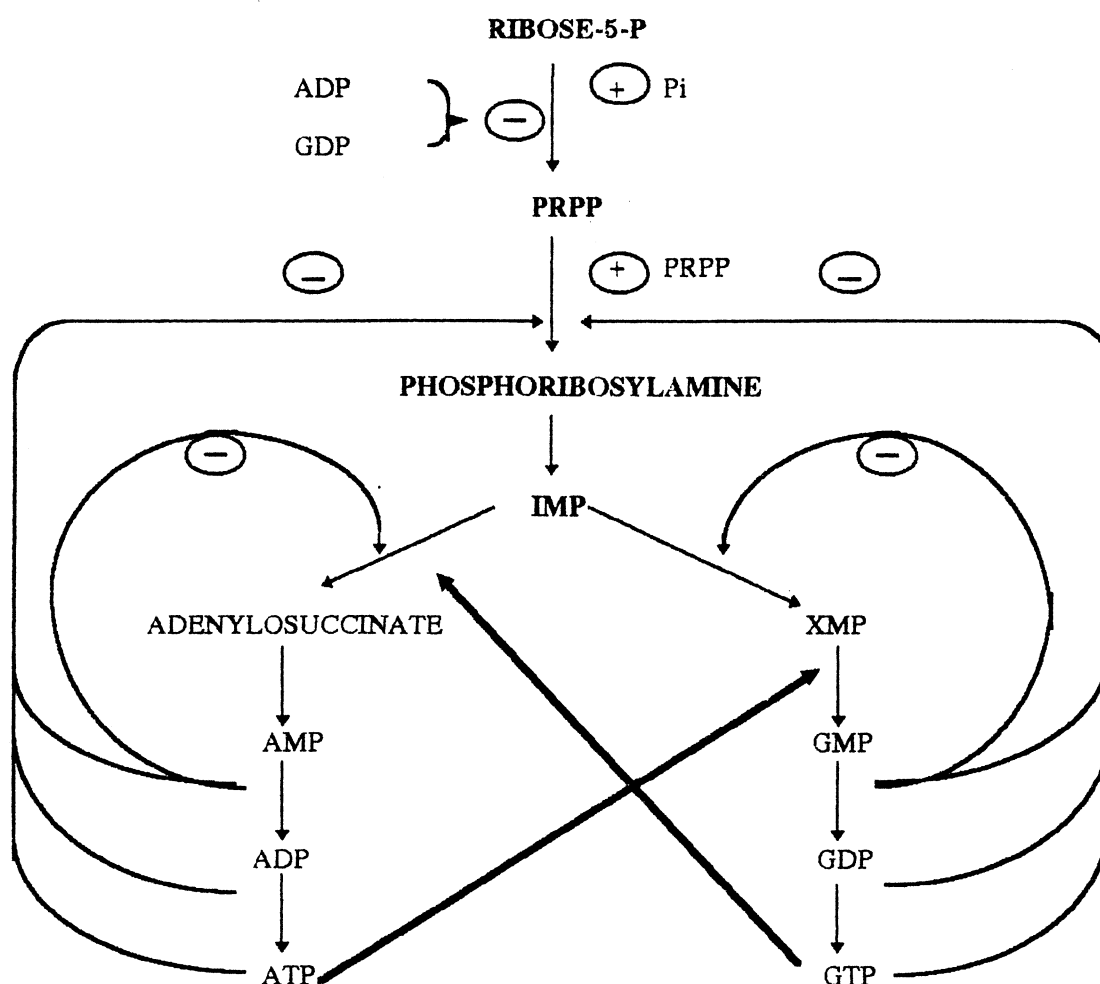


สำหรับอะดีโนซีนและคิออกซิอะดีโนซีนจะไม่เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ เนื่องจากไม่ได้เป็นสับสเตรตของเอนไซม์พิวรีน นิวคลีโอไซด์ ฟอสโฟริเลส พิวรีน นิวคลีโอไซด์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นพิวรีน นิวคลีโอไทด์ โดยปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟต ซึ่งถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ไคเนสที่จำเพาะ (specific kinase) ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ adenoside kinase จะกระตุ้นการเติมหมู่ฟอสเฟตให้แก่อะดีโนซีน ทำให้ได้เป็น AMP



ในคนการขาดเวจ ของพิวรีน ไรโบนิวคลีโอไซด์ไปเป็นพิวรีน นิวคลีโอไทด์อาศัยเอนไซม์ adenosine kinase เท่านั้น

2.7.3.3. การควบคุมการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์ (regulation of purine nucleotide biosynthesis) การควบคุมการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์เกิดขึ้นได้ที่ปฏิกิริยาหลายแห่ง ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การควบคุมการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์

- ลูกศรเล็ก แสดงถึงการยับยั้งปฏิกิริยา
- ลูกศรใหญ่ แสดงถึงการเร่งปฏิกิริยา

ที่มา: อภัสรา (2537)

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ฟอสโฟไรโบซิเลมิน เอ็นไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้คือ amidotransferase ซึ่งถูกควบคุมการทำงานโดยกลไกแบบ อัลโลสเตอริก (allosteric mechanism) โดยมี PRPP เป็นตัวแปลงบวก (positive effector) และมีผลิตภัณฑ์สุดท้ายของวิถีการสังเคราะห์พิวรีน นิวคลีโอไทด์เป็นตัวแปลงลบ (negative effector)

IMP เป็นสารตั้งต้นกำเนิดของการสังเคราะห์ AMP และ GMP ซึ่ง GMP จะยับยั้งการเกิด XMP และ AMP จะยับยั้งการสังเคราะห์อะดีนีนไซคลอซิกจินต์ กลไกการยับยั้ง

แบบนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสังเคราะห์ AMP หรือ GMP ต่อไปในกรณีที่สารทั้ง 2 มีปริมาณมากเกินไป ไม่ว่าจะเป็นได้มาจากการสังเคราะห์แบบ ดี โนโว หรือ แบบ ซาลเวจ

เนื่องจากการสังเคราะห์ AMP เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาที่ต้องการ ATP ดังนั้น การควบคุมการสังเคราะห์ AMP และ GMP จาก IMP จึงขึ้นอยู่กับระดับของ ATP และ GTP ด้วย กล่าวคือถ้าระดับของ ATP สูง ก็จะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ GMP มากขึ้นมีผลทำให้ GTP มากขึ้นด้วย และในทำนองเดียวกันถ้ามีระดับของ GTP สูงก็จะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ AMP มากขึ้นมีผลทำให้ ATP มากขึ้นด้วย ดังนั้นสรุปได้ว่าอะดีนีน นิวคลีโอไทด์ และกวานีน นิวคลีโอไทด์ จะควบคุมการสังเคราะห์ซึ่งกันและกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาให้ระดับของพิวรีน นิวคลีโอไทด์ทั้ง 2 ชนิดสมดุลกัน และอยู่ในปริมาณที่พอเพียงสำหรับจะนำไปใช้ได้ต่อไป