3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การรวมกลุ่มของอนุภาคใน activated sludge โดยสารละลายไคโตซาน

เมื่อเติมสารละลาย 0.2% ไคโตซานใน 1% กรดอะซิติก ด้วยอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน 1 มล.ต่อ activated sludge 100 มล.พบว่าอนุภาคต่างๆใน activated sludge เกิดการจับกันเป็นกลุ่มและตกตะกอนลงมาอย่างรวดเร็ว ชั้นของของเหลวมีลักษณะใส

รูปที่ 4 การตกตะกอนอนุภาคใน activated sludge ด้วยไคโตซาน
ก น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ก่อนการตกตะกอน
ข ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารละลายไคโตซาน

Hammer (1986) กล่าวว่าอนุภาคแขวนลอยใน activated sludge นอกจากประกอบด้วยสารชีวโมเลกุลและสารประกอบอนินทรีย์แล้ว ยังประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกลุ่มกันอยู่เช่น bacteria, fungi, algae และ protozoa Guerrero *et al*. (1998) กล่าวว่าการใช้ไคโตซานตกตะกอนอนุภาคใน activated sludge สามารถลดสารแขวนลอย (total suspended solid) ลงได้ถึง 45-82% Landes *et al*. (1976) รายงานว่าการที่ไคโตซาน

สามารถเร่งการตกตะกอนของอนุภาคใน activated sludge ได้เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น polyelectrolyte ที่มีประจุบวกอยู่มาก สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับอนุภาคที่มีประจุลบซึ่งกระจัดกระจายอยู่เข้ามารวมกันเป็นกลุ่มกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และมีความหนาแน่นสูงขึ้น แล้วตกตะกอนลงมาในที่สุด

รูปที่ 5 ลักษณะของอนุภาคในน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบ activated sludge ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง เมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (wet mount technique)

ก. ก่อนเติมสารละลายไคโตซาน (X100)

ข. หลังเติมสารละลายไคโตซาน (X100)

จะเห็นว่าอนุภาคต่างๆใน activated sludge ที่ยังไม่ผ่านการตกตะกอนเรียงตัวกันอยู่แบบกระจัดกระจายและประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด แต่เมื่อเติมสารละลายไคโตซานลงไปอนุภาคเหล่านั้นจะเกิดการจับกลุ่มกันอย่างหนาแน่นและมีขนาดใหญ่ขึ้น

Hammer (1986) รายงานว่า สิ่งมีชีวิตที่พบได้ใน activated sludge นอกจากจุลินทรีย์ในกลุ่มของ แบคทีเรีย โปรโตซัว,โรติเฟอร์ แล้ว ยังอาจพบ nematode, worm, insect larva และ algae ได้ด้วย อย่างไรก็ตามสิ่งมีชีวิตทั้งหมดนี้ทำหน้าที่ร่วมกันในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย

รูปที่ 6 ลักษณะของอนุภาคในน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบ activated sludge ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง เมื่อย้อมด้วยสีแกรม (Gram stain) และ ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ก. ก่อนตกตะกอน (X50), ภาพเล็ก (X400)

ข. หลังตกตะกอนด้วยสารละลายไคโตซาน (X50), ภาพเล็ก (X100)

จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะและส่วนประกอบในตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อย้อมด้วยสีแกรม (Gram stain) เปรียบเทียบกับ activated sludge ก่อนการตกตะกอนภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าอนุภาคส่วนใหญ่ย้อมติดสีแดงของ Safranin ในกรณีที่เป็นแบคทีเรียจึงจัดอยู่ในกลุ่มแกรมลบ (Gram negative) Mandelstam และ McQuillen (1973) รายงานว่าผนังเซลล์ชั้นในของแบคทีเรียชนิดแกรมลบมักมี peptidoglycan เป็นส่วนประกอบ ส่วนผนังเซลล์ชั้นนอกประกอบด้วย lipoprotein, lipopolysaccharide และ protein ซึ่งสามารถจับกับโพลิเมอร์ของไคโตซานแล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มที่ใหญ่และมีความหนาแน่นมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Muzzarelli (1977) ที่กล่าวว่าไคโตซานสามารถทำหน้าที่เป็น coagulant ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกลือของ alkali earth ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

Hammer (1986) รายงานว่าแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ activated sludge ส่วนใหญ่ประกอบด้วย *Alkaligenes*, *Flavobacterium*, *Bacillus* และ *Pseudomonas* ซึ่งอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มในรูป filamentous activated sludge floc นอกจากนั้นอาจพบแบคทีเรียชนิดอื่นรวมอยู่ด้วยเช่น *Spherotilus natans* ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นยาว (long sheath) และ *Escherichia coli* ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งสั้น สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียใน activated sludge มีการรวมกลุ่มเป็น filamentous floc เช่นกัน

Hammer (1986) กล่าวว่า filamentous bulking sludge หรือ filamentous floc เกิดจากกลุ่ม tread-like bacteria เป็นส่วนใหญ่ Muzzarelli (1977) กล่าวว่าเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบใน activated sludge ส่วนใหญ่จะมีประจุบนผนังเซลล์เป็นลบจึงจับกับโพลิเมอร์ของไคโตซานซึ่งมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte แล้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่

รูปที่ 7 ลักษณะของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

ก. ก่อนตกตะกอน (X44), ภาพเล็ก (X860)

ข. หลังตกตะกอนด้วยสารละลายไคโตซาน (X44), ภาพเล็ก (X860)

เมื่อนำ activated sludge ที่ตกตะกอนด้วยสารละลายไคโตซานมาสังเกตลักษณะการรวมกลุ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบกับตะกอนที่ไม่ผ่านกระบวนการตกตะกอน จะเห็นว่าอนุภาคต่างๆใน activated sludge มีลักษณะการเรียงตัวแบบหลวมๆ (รูปที่ 7ก.) แต่เมื่อเติมไคโตซานลงไปทำให้อนุภาคเหล่านั้นเข้ามารวมตัวอัดกันแน่น (รูปที่ 7ข.)เช่นเดียวกับที่ปรากฏเมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.2 ส่วนประกอบทางโภชนาการของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

3.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์โดยวิธีประมาณ (proximate analysis)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางโภชนาการของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ $\pm$ SD (n = 8)		
	ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น
ความชื้น (%)	7.32 $\pm$ 0.05	11.86 $\pm$ 0.07	5.52 $\pm$ 0.13
เถ้าถ่าน (%)	16.50 $\pm$ 0.03 (17.80)	5.36 $\pm$ 0.01 (6.08)	24.39 $\pm$ 0.16 (25.81)
ไนโตรเจน (%)	7.88 $\pm$ 0.17 (8.50)	7.01 $\pm$ 0.10 (7.95)	9.34 $\pm$ 0.20 (9.89)
Crude fat (%)	5.70 $\pm$ 0.27 (6.15)	2.06 $\pm$ 0.01 (2.34)	7.55 $\pm$ 0.03 (7.99)
Crude fiber (%)	3.48 $\pm$ 0.00 (3.75)	5.55 $\pm$ 0.00 (6.30)	1.23 $\pm$ 0.00 (1.30)
Calcium (%)	1.28 $\pm$ 0.05 (1.38)	0.69 $\pm$ 0.02 (0.78)	14.10 $\pm$ 1.74 (14.92)
Phosphorus (%)	1.80 $\pm$ 0.12 (1.94)	0.52 $\pm$ 0.02 (0.59)	2.75 $\pm$ 0.04 (2.91)
พลังงาน (cal/g)	4337 $\pm$ 42 (4680)	4457 $\pm$ 17 (5057)	3963 $\pm$ 26 (4195)

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บคือ % dry matter basis

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่อบแห้งและบดละเอียด เปรียบเทียบกับปลาป่นและกากถั่วเหลือง จะเห็นว่าตัวอย่างตะกอนมีส่วนประกอบของไนโตรเจน 8.50% ของน้ำหนักแห้ง หรือเมื่อประเมินเป็นปริมาณโปรตีนคือ 53.13% สำหรับปลาป่นและกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยโปรตีน 61.81% และ 49.69% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาโดย อุทัย (2529) และ Sibbald (1986) ที่รายงานว่าปลาป่นประกอบด้วยโปรตีนอยู่

ในช่วง 49.1-60.0% และ 60.6-74.4% ตามลำดับ สำหรับกากถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนอยู่ในช่วง 42.0-48.5% และ 46.9-56.9% ตามลำดับ

ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยไขมันรวม 6.15% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณที่พบในปลาป่น (7.99%) แต่มีค่าสูงกว่าในกากถั่วเหลือง (2.34%) ผลการวิเคราะห์ระดับ ไขมันในวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งสองชนิดที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Sibbald (1986) ที่รายงานว่าปลาป่นและกากถั่วมีส่วนประกอบของไขมันอยู่ในช่วง 2.03-16.61% และ 3.80-6.13% ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์แร่ธาตุในตะกอนพบว่ามีปริมาณแคลเซียม 1.38% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปลาป่น (14.92%) แต่สูงกว่ากากถั่วเหลือง (0.78%) เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในตัวอย่างตะกอนคือ 1.94% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปลาป่น (2.91%) แต่สูงกว่ากากถั่วเหลือง (0.59%) ในขณะที่ผลการศึกษาของ Sibbald (1986) พบว่าในปลาป่น มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์จากพืช เพราะนอกจากกระดูกจากตัวปลาแล้วหอยและปูซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบผลิตปลาป่นก็เป็นแหล่งแร่ธาตุทั้งสองชนิดด้วย โดยทั่วไปปลาป่นและกากถั่วเหลืองประกอบด้วยแคลเซียม 3.13 – 9.04% และ 0.21 – 0.39% ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสมักพบในวัตถุดิบทั้งสองชนิด 2.28 – 5.86% และ 0.80 – 1.07% ตามลำดับ ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนี้

ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีระดับพลังงานรวม 4680 แคลอรี่/กรัมของวัตถุแห้ง ส่วนปลาป่นและกากถั่วเหลืองมีระดับพลังงาน 4195 แคลอรี่/กรัม และ 5057 แคลอรี่/กรัมของวัตถุแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Sibbald (1986) ซึ่งรายงานว่ากากถั่วเหลืองพลังงานรวม 4641 – 4952 แคลลอรี่/กรัม ซึ่งสูงกว่าผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนี้

จากผลการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียข้างต้นจะเห็นว่าตะกอนดังกล่าวน่าจะมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารสัตว์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยวิธีประมาณยังไม่สามารถบ่งชี้คุณภาพทางโภชนาการได้อย่างชัดเจน

3.2.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในรูปสารละลายจากตะกอน

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่สกัดได้โดยวิธีการต่างๆ

วิธีสกัด	% โปรตีนที่สกัดได้ ± SD, n = 5		
	ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น
Kjeldahl method*	49.25 ± 1.08 (53.13)	43.81 ± 0.04 (49.69)	58.38 ± 1.24(61.81)
Alkali soluble with sonicate	11.80 ± 1.00 (12.73)	8.13 ± 0.18 (9.22)	4.84 ± 0.19 (5.12)
Alkali soluble with homogenize	24.35 ± 0.19 (26.27)	36.18 ± 2.79 (41.05)	44.38 ± 0.00 (46.97)
Water soluble with vortex	2.48 ± 0.13 (2.68)	-	-

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บคือ % dry matter basis

* เป็นค่าโปรตีนที่คำนวณจากปริมาณไนโตรเจน ที่ตรวจหาโดย Kjeldahl method

%ของโปรตีน = %ของไนโตรเจน x 6.25 (A.O.A.C.,1995)

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่สกัดโดยการโฮโมจีไนซ์ด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน

เวลาในการโฮโมจีไนซ์	ปริมาณโปรตีน (% air dry basis)	
(นาที)	สกัดด้วย 0.1N NaOH	สกัดด้วยน้ำกลั่น
2	21.61	4.21
4	21.18	4.12
6	21.19	4.04
8	19.77	3.95
10	19.35	3.87
15	21.55	4.31

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีประมาณเปรียบเทียบการหาปริมาณโดย Lowry's method (Tietz, 1982) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โปรตีนที่สกัดออกมาให้อยู่ในรูปสารละลาย 3 วิธีที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าปริมาณร้อยละของโปรตีนที่วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl มีค่าสูงสุดคือ 53.13% ของน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อใช้ Lowry's method จะตรวจพบปริมาณโปรตีนต่ำกว่าและมีค่าแตกต่างกันในช่วงกว้าง

ขึ้นอยู่กับวิธีสกัด คือการสกัดด้วยน้ำพร้อมการเขย่าอย่างแรงด้วยเครื่องเขย่าจะได้ปริมาณต่ำสุดคือ 2.68% เมื่อใช้ 0.1N NaOH เป็นตัวทำละลาย และสกัดด้วยคลื่นความถี่สูงเปรียบเทียบกับการบดด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที พบว่าปริมาณโปรตีนที่ตรวจได้ในสารละลายเป็น 12.73% และ 26.27% ตามลำดับ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการบดตัวอย่างตะกอน ใน 0.1N NaOH ด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 2 นาที ก็เพียงพอสำหรับสกัดเอาโปรตีนออกมา (ตารางที่ 4)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียอาจประกอบด้วยโปรตีนบางชนิดที่มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำหรือ 0.1N NaOH โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง (structural protein) เช่น lipoprotein และ glycoprotein จึงไม่สามารถตรวจหาด้วย Lowry's method ได้ ทำให้ค่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ต่ำกว่าวิธีของ Kjeldahl

3.2.3 ชนิดและปริมาณกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 5 ชนิดและปริมาณกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลือง และปลาป่น

ชนิดของกรดแอมิโน	ปริมาณ (% dry matter basis)		
	ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น
Nonessential amino acid			
Aspatic acid	3.98	5.01	3.19
Glutamic acid	4.46	7.87	7.21
Serine	1.92	2.16	2.13
Alanine	3.60	1.97	3.98
Proline	1.83	2.52	2.91
Tyrosine	1.49	1.41	1.92
Cystine	0.08	0.15	0.11
Glycine	3.12	2.16	4.65
Essential amino acid			
Threonine	1.91	1.51	1.95
Histidine	0.43	0.60	0.55
Arginine	2.27	3.37	3.65
Valine	3.10	2.18	2.83
Methionine	0.69	0.31	1.88
Isoleucine	2.02	2.24	2.80
Leucine	3.26	3.63	4.60
Phenylalanine	5.57	5.90	5.70
Lysine	3.81	4.65	9.01
Essential amino acid	23.06	24.39	32.97
Non esential amino acid	20.48	23.25	26.10
รวม	43.54	47.64	59.07
Essential amino acid / Nonessential amino acid	1.13	1.05	1.27

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อ-บำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น พบว่าตัวอย่างตะกอนประกอบด้วยกรดแอมิโน 17 ชนิดรวม 43.54% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณกรดแอมิโนในกากถั่วเหลือง คือ 47.64% แต่มีค่าต่ำกว่าที่ตรวจพบในปลาป่น (59.07%) อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์กรดแอมิโนได้เพียง 17 ชนิด ดังนั้นปริมาณที่ระบุจึงมีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาของ Sibbald (1986) ที่รายงานว่ากากถั่วเหลืองที่มีโปรตีน 54.19% จะมีกรดแอมิโนรวม 49.78% และปลาป่นที่มีโปรตีน 66.88% มีกรดแอมิโน 59.22% การที่ผลการวิเคราะห์กรดแอมิโนรวมมีค่าต่ำกว่าโปรตีนรวมที่วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl เนื่องจากวิธีหลังเป็นการประเมินจากปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างทั้งหมดซึ่งอาจไม่ใช่ส่วนประกอบของโปรตีนเช่น กรดนิวคลีอิก หรือ ผลิตผลจากการย่อยสลายโปรตีนเช่น แอมโมเนีย,ไนไตรท์ หรือ ไนเตรต

เมื่อพิจารณาแยกกลุ่มเป็นกรดแอมิโนจำเป็น (essential amino acid) คือ threonine, histidine, arginine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine และ lysineและกรดแอมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acid) คือ aspatic acid, glutamic acid, serine, alanine, proline, tyrosine, cystine และ glycine จะเห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีกรดแอมิโนจำเป็นรวม 23.06% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับส่วนประกอบในกากถั่วเหลือง (24.39%) แต่ต่ำกว่าปลาป่น (32.97%) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างกรดแอมิโนจำเป็น/กรดแอมิโนที่ไม่จำเป็น (essential amino acid/ non-essential amino acid) ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลือง และ ปลาป่น พบว่ามีค่า 1.13, 1.05 และ 1.27 ตามลำดับ

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียน่าจะมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับผลิตอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีส่วนประกอบและปริมาณของกรดแอมิโนคุณภาพดีกว่ากากถั่วเหลืองเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับของ methionine ซึ่งมีค่าต่ำมากในกากถั่วเหลือง

3.2.4 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น จะเห็นว่าในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยกรดไขมันรวม 2634 mg% ของน้ำหนักแห้ง โดยแยกเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) 915 mg% และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) 1719 mg% ซึ่งต่ำกว่าที่ตรวจพบในวัตถุดิบอาหารอีกสองชนิดคือ ในกากถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันรวม 6889 mg% (กรดไขมันอิ่มตัว 2006 mg% และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 4883 mg%) ปลาป่นตรวจพบปริมาณกรดไขมันรวม 18230 mg% (ไขมันอิ่มตัว 12188 mg% และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 6042 mg%) เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 0.53 ซึ่งสูงกว่าที่พบในกากถั่วเหลือง (0.41) แต่ต่ำกว่าที่พบในปลาป่น (2.02)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) คือ C18:3ω3 : C18:2 ω6 จะเห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียค่า 0.16 ซึ่งใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง (0.16) แต่ต่ำกว่าปลาป่น (0.41) ผลการทดลองนี้เป็นหลักฐานแสดงให้เห็นอีกประการหนึ่งว่าคุณภาพของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียน่าจะมีค่าใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง

3.3 การย่อยได้ที่แท้จริงของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียโดยไก่กระทง (true digestibility)

3.3.1 การย่อยได้ของวัตถุแห้งของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 7 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลือง และปลาป่นโดยไก่กระทง

ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณ (กรัม) ± SD			% true digestibility
	ได้รับจากวัตถุดิบ	ขับถ่ายเมื่อได้รับวัตถุดิบ(n=8)	ขับถ่ายเมื่ออดอาหาร	
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	37.07	36.77±1.27	7.37	20.69
ปลาป่น	37.79	25.05±0.87	7.37	53.22
กากถั่วเหลือง	35.26	23.61±2.04	7.37	53.94

ตารางที่ 7 แสดงผลการศึกษาการย่อยได้ของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียในไก่กระทงเปรียบเทียบกับการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองและปลาป่น จะเห็นว่าไก่กระทงสามารถย่อยตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียในสภาพแห้ง 20.69% โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าค่าการย่อยได้ของปลาป่น (53.22%) และ กากถั่วเหลือง (53.94%) ในสภาพเดียวกัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ไก่กระทงสามารถใช้ประโยชน์จากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้น้อยกว่ากากถั่วเหลืองและปลาป่น Scott *et al*. (1982) กล่าวว่าการศึกษาการย่อยได้ (digestibility) ในสัตว์ทดลองเป็นการศึกษาว่าสัตว์ชนิดนั้นๆสามารถย่อยและดูดซึมวัตถุดิบอาหารที่ได้รับมากน้อยเพียงใด Cole (1989) กล่าวว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผนังเซลล์มีโครง-สร้างซับซ้อน หรือมีไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบอยู่มากมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในระบบการย่อยเกิดขึ้นได้ยากขึ้น เช่นโพลิเมอร์ของ xylose ใน lupin cotyledon จะไม่ถูกย่อยในไก่เต็มวัย หรือถ้าวัตถุดิบอาหารมีเพคตินเป็นส่วนประกอบอยู่สูงสัตว์ปีกจะย่อยได้น้อยมาก Mandelstam และ Mc Quillen (1973) กล่าวว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มักจะประกอบด้วยแบคทีเรียมีผนังเซลล์ที่แข็งแรงเพราะโครงสร้างภายในคือ peptidoglycan ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ amino sugar โดยเฉพาะอย่างยิ่ง N-acetylglucosamine เรียงสลับกับ N-acetylmuramic acid ซึ่งอาจมีปริมาณมากถึง 10% ของน้ำหนักเซลล์ทั้งหมด จึงทำให้ไก่กระทงสามารถย่อยและดูดซึมตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยประสิทธิภาพต่ำ

3.3.2 การย่อยได้ของส่วนประกอบทางโภชนาการในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

3.3.2.1 การย่อยได้ของส่วนประกอบทางโภชนาการเมื่อวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ

ตารางที่ 8 ค่าการย่อยได้ของส่วนประกอบทางโภชนาการในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลือง และปลาป่น

ส่วนประกอบ	True digestibility (%)		
	ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น
เถ้าถ่าน	1.64	-27.60	3.80
ไนโตรเจน	10.80	29.54	51.06
Kjeldahl protein	10.80	29.54	51.06
alkali soluble protein	32.35	69.98	77.16
ไขมันรวม	20.62	65.25	87.55
neutral lipid	19.19	50.30	87.56
phospholipid	3.55	73.39	77.83
crude fiber	-6.12	9.91	-4.49
calcium	4.66	-216.86	18.19
phosphorus	13.94	52.07	12.57
พลังงาน	34.92	71.47	80.79

ตารางที่ 8 แสดงความสามารถของไก่กระทงในการย่อยส่วนประกอบทางโภชนาการในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น จะเห็นว่าไก่กระทงสามารถย่อยส่วนประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่างๆในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าส่วนประกอบทางโภชนาการเหล่านั้นในกากถั่วเหลืองและปลาป่น

เมื่อวิเคราะห์ผลการประเมินด้วยวิธีประมาณพบว่าไก่กระทงสามารถย่อยไนโตรเจนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้เพียง 10.80% ในขณะที่สามารถย่อยไนโตรเจน

ในกากถั่วเหลือง 29.54% และสามารถย่อยไนโตรเจนในปลาป่นได้สูงถึง 51.06% ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแม้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น แต่ไก่กระทงสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้น้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของโปรตีนที่วิเคราะห์โดยวิธีประมาณและวิธีของ Lowry's จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีแรกจะมีค่าการย่อยได้ต่ำกว่าวิธีหลัง ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนซึ่งสกัดออกมาได้ด้วยด่าง (alkali soluble protein) เป็นส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยได้ง่ายกว่า จึงทำให้ผลที่ปรากฏมีค่าสูงกว่า

Patrick (1980) กล่าวว่าสัตว์ปีกมีระบบทางเดินอาหารสั้นและถูกรบกวนได้โดยง่ายจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ทำให้โปรตีนในธรรมชาติหลายชนิดถูกย่อยได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ปริมาณและสมดุลของกรดแอมิโนจำเป็น ความยากง่ายในการละลาย รวมทั้งความซับซ้อนของโครง-สร้างของโปรตีนนั้นๆ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีสัดส่วนของโปรตีนที่ละลายได้น้อยกว่าในปลาป่นและกากถั่วเหลือง ดังนั้นค่าการย่อยได้ของโปรตีนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีนในวัตถุอาหารทั้งสองชนิด

ไก่กระทงสามารถย่อยไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้ต่ำมากเพียง 20% โดยย่อย neutral lipid ได้มากกว่า phospholipid คือ 19.19% และ 3.55% ตามลำดับ ในขณะที่สามารถย่อยไขมันในกากถั่วเหลือง 65.25% โดยย่อย neutral lipid ได้น้อยกว่า phospholipid คือ 50.30% และ 73.39% ตามลำดับ และสามารถย่อยไขมันในปลาป่นได้สูงถึง 87.55% โดยย่อย neutral lipid ได้มากกว่า phospholipid คือ 87.56% และ 77.83% ตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตว่าไก่กระทงสามารถย่อยส่วนประกอบของไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง phospholipid จึงเป็นไปได้ว่าไขมันดังกล่าวน่าจะเป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของ bacteria เป็นส่วนใหญ่ โดยถูกผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งอาจมีโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆปิดล้อมเอาไว้อย่างแน่นหนา น้ำดีไม่สามารถซึมผ่านทะลุเข้าไปทำให้เกิด chylomicron ได้ จึงทำให้ค่าการย่อยได้ของไขมันมีค่าต่ำมาก

ไก่กระทงสามารถดูดซึมแคลเซียมในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย 4.66% ซึ่งต่ำกว่าในปลาป่น (18.19%) มาก แต่สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้ในระดับที่ใกล้เคียงกับปลาป่นคือ 13.94% และ 12.57% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในวัตถุดิบทั้งสองชนิดพบว่า ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่า Ca/P เท่ากับ 0.71 ส่วนในปลาป่นมีค่า Ca/P เท่ากับ 5.13 NRC (National Research Council of U.S.A.) (1994) บันทึกไว้ว่าอัตราส่วนของ Ca/P ที่เหมาะสมที่สุดในวัตถุดิบอาหารสัตว์ควรจะเท่ากับ 2 และ การมีแคลเซียมที่มากเกินไปในอาหารสัตว์ จะมีผลไปลดความสามารถในการย่อยและดูดซึมแร่ธาตุชนิดอื่น นอกจากนั้นยังเป็นไปได้ว่าแคลเซี่ยมในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียอาจอยู่ในรูปที่ไม่ค่อยละลายจึงยากต่อการดูดซึม

การย่อยได้ของพลังงานรวมพบว่าไก่กระทงสามารถนำเอาแหล่งพลังงานในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียไปใช้ได้เพียง 34.92% เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่นซึ่งมีค่าการย่อยได้ 71.47% และ 80.79% ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่าแม้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีพลังงานรวมที่ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น แต่ไก่กระทงสามารถย่อยแหล่งพลังงานในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้ต่ำกว่ามากทั้งนี้อาจเนื่องจากคาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย โดยเอนไซม์ต่างๆในระบบทางเดินอาหารของไก่กระทงไม่สามารถย่อยสลายได้ จึงทำให้ค่าการย่อยของพลังงานรวมมีค่าต่ำ

ไก่กระทงสามารถย่อยเยื่อใยรวมในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียและปลาป่น ต่ำมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ถึงแม้กากถั่วเหลืองมีปริมาณเยื่อใยรวม 5.55% แต่มีค่าการย่อยได้ในไก่กระทงเพียง 9.91% ทั้งนี้เนื่องจาก เยื่อใยรวม (crude fiber) คือคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin เป็นส่วนใหญ่ สารประกอบเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืชและแบคทีเรีย ซึ่งไก่กระทงไม่สามารถย่อยได้ (Scott *et al.*,1982) ผลที่ปรากฏมีค่าเป็นลบอาจเกิดจากความผิดพลาดในระหว่างการวิเคราะห์ โดยเยื่อใยจากตัวอย่างดังกล่าวมีขนาดเล็กมากจึงสามารถผ่านทะลุกระดาษกรองหรือไม่ตกตะกอนลงมาระหว่างการหมุนเหวี่ยง

3.3.2.2 การย่อยได้ของโปรตีนและการดูดซึมกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 9 ค่าการย่อยได้ของกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลืองและปลาป่นโดยไก่กระทง

ชนิดของกรดแอมิโน	True digestibility (%)		
	ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น
Nonessential amino acid			
Aspatic acid	59.33	92.89	98.85
Glutamic acid	55.14	92.78	97.04
Serine	49.48	92.44	95.27
Alanine	50.22	84.67	93.88
Proline	60.23	92.90	92.41
Tyrosine	55.04	88.41	94.43
Cystine	51.81	89.47	91.40
Glycine	33.70	75.42	88.06
Essential amino acid			
Threonine	53.87	90.31	95.66
Histidine	45.99	92.25	91.21
Arginine	68.34	94.88	95.45
Valine	47.23	86.91	93.35
Methionine	64.67	72.85	92.90
Isoleucine	57.04	89.92	94.82
Leucine	57.70	90.38	95.67
Phenylalanine	36.29	74.63	75.16
Lysine	71.78	91.57	96.85
รวม	52.99	88.51	92.97

ตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าไก่กระทงสามารถย่อยโปรตีนและดูดซึมกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้เพียง 52.99% และในบรรดากรดแอมิโนเหล่านี้ไก่กระทงย่อยกรดแอมิโนไม่จำเป็นแต่ละชนิดได้ระหว่าง 33.70- 60.23% และย่อยกรดแอมิโนจำเป็นแต่ละชนิดได้ระหว่าง 36.29-71.78% ในขณะที่กรดแอมิโนในกากถั่วเหลืองไก่กระทงสามารถย่อยกรดแอมิโนได้ 88.51% โดยกรดแอมิโนที่ไม่จำเป็นแต่ละชนิดมีค่าการย่อยได้ระหว่าง 75.42-92.90% ส่วนกรดแอมิโนจำเป็นแต่ละชนิดมีค่าการย่อยได้ระหว่าง 72.85-94.88% ในขณะที่กรดแอมิโนในปลาป่นไก่กระทงมีค่าการย่อยได้ 92.97% โดยแบ่งเป็นการย่อยได้ของกรดแอมิโนที่ไม่จำเป็นแต่ละชนิดระหว่าง 88.06-98.85%และมีค่าการย่อยได้ของกรดแอมิโนจำเป็นแต่ละชนิดระหว่าง 75.16 -96.85 %

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไก่กระทงสามารถย่อยโปรตีนและดูดซึมกรดแอมิโนในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น จึงเป็นการยืนยันสมมุติฐานที่อธิบายไว้ในหัวข้อการย่อยได้ของโปรตีน (3.3.2.1)

3.3.2.3 การย่อยได้ของกรดไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียไก่กระทงสามารถย่อยและดูดซึมกรดไขมัน (fatty acid) ในได้ต่ำมากเพียง -46.16% คือในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มีการขับไขมันรวมออกมา 1.46 เท่า ของกรดไขมันรวมที่ได้รับจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาแยกในส่วนกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวพบว่ามีค่าการย่อยได้–91.44% และ –22.05% ตามลำดับ ในขณะที่กากถั่วเหลืองมีค่าการย่อยได้ของกรดไขมันรวม 89.03% โดยแยกเป็นการย่อยได้ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว 83.00% และ 91.52% ตามลำดับ ส่วนปลาป่นมีค่าการย่อยได้ของกรดไขมันรวม 93.66% โดยแยกเป็นการย่อยได้ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว 92.68% และ 95.64% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงค่า digestibility ของกรดไขมันจำเป็นคือ C18:3ω3 และ C18:2ω6 พบว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่า digestibility ของ C18:3ω3 และ C18:2ω6 เท่ากับ –62.23% และ –162.29% ตามลำดับ ในขณะที่กากถั่วเหลือง มีค่า digestibility ของ C18:3ω3 และ C18:2ω6 เท่ากับ 92.93% และ 94.45% ตามลำดับ ส่วนปลาป่นมีค่า digestibility ของ C18:3ω3 และ C18:2ω6 เท่ากับ 97.57% และ 89.21% ตามลำดับ

จากค่า digestibility ของกรดไขมันดังกล่าว ทั้งในแง่กรดไขมันรวม หรือแยกพิจารณาเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว หรือพิจารณาเฉพาะกรดไขมันจำเป็นคือ C18:3ω3 และ C18:2ω6 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีชนิดและปริมาณกรดไขมันที่ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง หรือน้อยกว่าในปลาป่นเพียงเล็กน้อย แต่ส่วนประกอบดังกล่าวในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย นอกจากไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในไก่กระทงได้เลยแล้วยังทำให้ไก่กระทงต้องสูญเสียกรดไขมันออกจากร่างกายเมื่อได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเข้าไป

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของกรดไขมันจำเป็นในวัตถุดิบอาหาร และในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ได้รับวัตถุดิบอาหารดังกล่าว พบว่าในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 เท่ากับ 0.16 แต่ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียพบว่ามีสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 เท่ากับ 0.09 และจากค่าการย่อยได้ของกรดไขมันทั้งสองชนิดที่มีค่าเป็นลบ แสดงว่าในสิ่งขับถ่ายของไก่-

กระทงมีการเพิ่มของ C18:2ω6 ในสัดส่วนที่มากกว่าการเพิ่มของ C18:3ω3 เมื่อเทียบกับปริมาณของกรดไขมันในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่กินเข้าไป จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่อไก่กระทงได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ทำให้ไก่กระทงต้องสูญเสียกรดไขมันจำเป็นออกมาในสิ่งขับถ่ายในปริมาณมากที่ได้รับ ในขณะที่ในกากถั่วเหลืองมีสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 เท่ากับ 0.16 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสัดส่วนในตะกอนจากบ่อบำบัด-น้ำเสีย แต่ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ได้รับกากถั่วเหลืองมีกรดไขมันทั้งสองชนิดลดลงในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน จึงเหลือสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 เท่ากับ 0.17 ส่วนในปลา-ป่นมีสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 เท่ากับ 0.41 แต่ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ได้รับปลาป่นมีสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 ลดลงเหลือเพียง 0.05 นั่นคือมีการลดของ C18:3ω3 ในสัดส่วนที่มากกว่าการลดของ C18:2ω6 ซึ่งในปลาป่นนี้มีค่าการย่อยได้ของกรดไขมันทั้งสองชนิดดังกล่าวสูงสุดเมื่อเทียบกับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียและกากถั่วเหลือง จากสัดส่วนของกรดไขมันจำเป็นที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของ C18:3ω3/C18:2ω6 ไม่ได้มีผลต่อค่าการย่อยได้ของกรดไขมันแต่อย่างใด

3.4 การศึกษาส่วนประกอบใน Neutral lipid ของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและปลาป่น

รูปที่ 8 การแยกส่วนประกอบของ Neutral lipid ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 1 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 2 neutral lipid ที่สกัดจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

Lane 3 สารละลายมาตรฐาน Neutral lipid ซึ่งประกอบด้วย

แถบ A. monoglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ B. 1,2 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ C. 1,3 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ D. cholesterol เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ E. free fatty acid เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ F. triglyceride เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ G. cholesteryl ester เข้มข้น 1 mg/ml

Lane 4,5 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

รูปที่ 9 การแยกส่วนประกอบของ neutral lipid ในปลาป่น ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินปลาป่น และในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 1 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 2 neutral lipid ที่สกัดจากปลาป่น

Lane 3 สารละลายมาตรฐาน Neutral lipid ซึ่งประกอบด้วย

แถบ A. monoglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ B. 1,2 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ C. 1,3 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ D. cholesterol เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ E. free fatty acid เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ F. triglyceride เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ G. cholesteryl ester เข้มข้น 1 mg/ml

Lane 4,5 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินปลาป่น

รูปที่ 10 การแยกส่วนประกอบของ neutral lipid ในกากถั่วเหลือง ในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินกากถั่วเหลือง และในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 1 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่ไม่ได้รับอาหาร

Lane 2 neutral lipid ที่สกัดจากกากถั่วเหลือง

Lane 3 สารละลายมาตรฐาน neutral lipid ซึ่งประกอบด้วย

แถบ A. monoglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ B. 1,2 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ C. 1,3 diglyceride เข้มข้น 1.5 mg/ml

แถบ D. cholesterol เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ E. free fatty acid เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ F. triglyceride เข้มข้น 1 mg/ml

แถบ G. cholesteryl ester เข้มข้น 1 mg/ml

Lane 4,5 neutral lipid ที่สกัดจากสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงที่กินกากถั่วเหลือง

เมื่อนำ neutral lipid จากตัวอย่างตะกอนบำบัดน้ำเสียมาแยกเป็นลำดับชั้นของไขมัน (lipid classes) ด้วย thin-layer chromatography (รูปที่ 8, lane ที่ 2) พบว่า ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรดไขมันอิสระ (free fatty acid), cholesteryl ester และ สาร unknown ที่มีค่า Rf สูงสุด ไขมันที่อยู่ในรูปสะสมคือ triglyceride ซึ่งมีปริมาณไม่มากนัก นอกจากนั้นพบ monoglyceride, 1,2-diglyceride, 1,3-diglyceride, cholesterol ปนอยู่เล็กน้อย

ของเสียที่ขับถ่ายออกมาจากไก่ที่ไม่ได้รับอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วย triglycerride, cholesterol และ free fatty acid และมีส่วนประกอบอื่นผสมอยู่เล็กน้อย (รูปที่ 8, 9 และ 10; lane ที่ 1) เป็นไปได้ว่าไขมันเหล่านี้น่าจะเป็นเป็นส่วนประกอบของ bile salts ที่หลั่งออกมาจากถุงน้ำดีสู่ทางเดินอาหาร (Martin *et al*., 1981; Burtis *et al*., 1994) ไก่ที่ได้รับตะกอนบำบัดน้ำเสียเป็นอาหาร (lane ที่ 4 และ 5) จะเห็นว่า มีส่วนประกอบของลำดับชั้นของไขมันที่คล้ายกับที่พบในตะกอน ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไก่สามารถย่อยและการดูดซึมส่วนประกอบต่างๆที่มีอยู่ใน neutral lipid จากตะกอนด้วยประสิทธิภาพต่ำมาก

เมื่อนำ neutral lipid จากปลาป่นมาแยกเป็นลำดับชั้นของไขมันด้วย thin-layer chromatography (รูปที่ 9, lane ที่ 2) พบว่า ส่วนใหญ่ประกอบด้วย triglyceride, free fatty acid, cholesterol, และมี cholesteryl ester เล็กน้อย นอกจากนั้นพบ monoglyceride, 1,2-diglyceride, 1,3-diglyceride ปนอยู่เล็กน้อย เมื่อไก่ได้รับปลาป่นเป็นอาหาร (รูปที่ 9, lane ที่ 4 และ 5) จะเห็นว่าสิ่งขับถ่ายมีส่วนประกอบของ triglyceride และ free fatty acid ต่ำมาก และใกล้เคียงกับที่พบในสิ่งขับถ่ายของไก่ที่อดอาหาร แสดงว่าไก่สามารถย่อยและการดูดซึมส่วนประกอบต่างๆที่มีอยู่ใน neutral lipid จากปลาป่นด้วยประสิทธิภาพสูงมาก

เมื่อนำ neutral lipid จากกากถั่วเหลืองมาแยกเป็นลำดับชั้นของไขมัน ด้วย thin-layer chromatography (รูปที่ 10, lane ที่ 2) พบว่า ส่วนใหญ่ประกอบด้วย triglyceride มี free fatty acid และ cholesterol เล็กน้อย เมื่อไก่ได้รับปลาป่นเป็นอาหาร (รูปที่ 9, lane ที่ 4 และ 5) จะเห็นว่าสิ่งขับถ่ายมีส่วนประกอบของ triglyceride และ free fatty acid ปริมาณสูงกว่าที่พบเมื่อไก่ได้รับปลาป่นเป็นอาหาร แสดงว่าไก่สามารถย่อยและการดูดซึมส่วนประกอบต่างๆที่มีอยู่ใน neutral lipid จากกากถั่วเหลืองด้วยประสิทธิภาพปานกลาง

3.5 triglyceride

เมื่อศึกษาปริมาณและค่า digestibility ของ triglyceride ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เปรียบเทียบกับในกากถั่วเหลืองและปลาป่นได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 13 ปริมาณและค่าการย่อยได้ของ triglyceride ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากถั่วเหลืองและปลาป่นโดยไก่กระทง

ชนิดของตัวอย่าง	% triglyceride $\pm$ SD		% True digestibility
	ในตัวอย่าง(air dry basis)	ใน Crude lipid	
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.06 $\pm$ 0.00	0.95 $\pm$ 0.08	-100.48
ปลาป่น	1.47 $\pm$ 0.07	19.41 $\pm$ 0.90	92.56
กากถั่วเหลือง	0.47 $\pm$ 0.00	23.01 $\pm$ 0.26	86.44

จากตารางแสดงปริมาณของ triglyceride จะเห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมี triglyceride เป็นส่วนประกอบอยู่ 0.06% โดยน้ำหนัก หรือ 0.95% โดยน้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณ triglyceride ในปลาป่นและกากถั่วเหลือง คือในปลาป่นมีปริมาณ triglyceride 1.47% โดยน้ำหนัก หรือ 19.41% โดยน้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ ในขณะที่กากถั่วเหลืองมีปริมาณ triglyceride 0.47% โดยน้ำหนัก หรือ 23.01% โดยน้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ Moreng และ Avens (1985) กล่าวว่าเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับ triglyceride แล้วมีการย่อยโดยเอ็นไซม์เฉพาะ จะเกิดปฏิกริยา hydrolysis ได้ glycerol และ free fatty acid แล้วดูดซึมเข้าสู่ร่างกายในรูปแบบที่อยู่ในลักษณะ micelle ผ่านเซลล์ชั้นผิวของ microvilli ในลำไส้เล็ก เข้าสู่ระบบการไหลเวียนของร่างกาย ในไก่กระทงจะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน การสร้างสารใหม่ หรือมีการสะสมเป็นเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง triglyceride มีค่าการย่อยได้ในไก่กระทง –100.48% แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสีย triglyceride ที่มีอยู่ในร่างกายเมื่อได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และไม่สามารถเก็บ triglyceride ที่ได้รับจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมาใช้ได้ ในขณะที่ triglyceride ที่ไก่กระทงได้รับจากกากถั่วเลืองและปลาป่น มีค่าการย่อยได้ 86.44% และ 92.56% ตามลำดับซึ่งแสดงว่าไก่กระทงมีการย่อยและดูดซึมไปใช้ได้มากกว่าในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

Razdan *et al*. (1997) พบว่าสามารถผสมไคโตซานลงไปในอาหารไก่กระทง 3% โดยไม่มีผลทำให้ระดับ triglyceride ใน Plasma เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ขั้นตอนการเก็บตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียนั้น สามารถมีไคโตซานตกค้างอยู่ได้ไม่เกิน 0.74% เพราะฉะนั้นค่าการย่อยได้ที่เป็นลบ หรือมีการสูญเสีย triglyceride ออกจากร่างกายของไก่กระทงจึงไม่ใช่ผลจากปริมาณไคโตซานตกค้างในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

3.6 cholesterol

เมื่อศึกษาปริมาณและค่า digestibility ของ cholesterol ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เปรียบเทียบกับในกากถั่วเหลืองและปลาป่นได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 14 ปริมาณและค่าการย่อยได้ของ cholesterol ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ปลาป่น และ กากถั่วเหลืองโดยไก่กระทง

ชนิดของตัวอย่าง	% cholesterol ในตัวอย่าง (air dry basis)	% cholesterol ใน Crude lipid	% True digestibility
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.08 $\pm$ 0.00	1.44 $\pm$ 0.05	-71.75
ปลาป่น	0.79 $\pm$ 0.00	10.47 $\pm$ 0.01	93.81
กากถั่วเหลือง	not detect	not detect	-

ตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีส่วนประกอบของ Cholesterol เพียง 0.08% หรือ 1.44% ในไขมันรวม และตรวจพบ 0.79%ในปลาป่น หรือ 10.47% ในไขมันรวมของปลาป่น สำหรับกากถั่วเหลืองไม่สามารถตรวจวัดได้โดยวิธีในห้องปฏิบัติการนี้ Mcdonald *et. al* (1978) กล่าวว่า cholesterol เป็นสารชีวโมเลกุลที่ตรวจพบเฉพาะในสัตว์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ประสาท อาจพบได้เล็กน้อยในเซลล์ทั่วไป

เมื่อไก่ได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นอาหาร พบว่า cholesterol จากแหล่งดังกล่าวถูกย่อยและดูดซึมได้ –71.75% แสดงว่าไก่ขับถ่าย cholesterol ออกมามากกว่าที่ได้รับจากอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อได้รับปลาป่นเป็นอาหาร ไก่สามารถย่อยและดูดซึม cholesterol จากแหล่งอาหารดังกล่าวได้สูงถึง 93.81%

ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีการใช้สารละลายไคโตซานในการตกตะกอน ปริมาณไคโตซานส่วนหนึ่งจึงยังคงเหลืออยู่ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ถึงแม้ไคโตซานจะมีความสามารถในการลด cholesterol ในร่างกายตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่นำมาศึกษามีไคโตซานเหลืออยู่ในปริมาณน้อย เพราะในขั้นตอนการตกตะกอนนั้นใช้ไคโตซานเพียง 0.74% ของน้ำหนักตะกอนแห้งที่นำมาทดสอบการเป็นอาหารไก่กระทง ซึ่ง Landes and Bough (1976) พบว่าการที่สัตว์ได้รับไคโตซานไม่เกิน 5% ในอาหารจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารจะลดลงถ้าได้รับไคโตซานในอาหารมากกว่า 10%

3.7 กรดยูริค

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดยูริคในวัตถุดิบอาหารและในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทง

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณของกรดยูริคในตัวอย่าง	
		% air dry basis	กรัม
สิ่งขับถ่ายเมื่อไม่ได้รับอาหาร	8.019	0.440 $\pm$ 0.023	0.035
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	40.000	0.024 $\pm$ 0.003	0.010
สิ่งขับถ่ายเมื่อได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	39.151	0.742 $\pm$ 0.159	0.291
ปลาป่น	40.000	0.049 $\pm$ 0.001	0.020
สิ่งขับถ่ายเมื่อได้รับปลาป่น	26.136	0.398 $\pm$ 0.095	0.104
กากถั่วเหลือง	40.000	0.017 $\pm$ 0.000	0.006
สิ่งขับถ่ายเมื่อได้รับกากถั่วเหลือง	24.943	0.519 $\pm$ 0.063	0.129

ตารางที่ 15 แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริคในตัวอย่างต่างๆ ข้างต้น จะเห็นว่าในสิ่งขับถ่ายของไก่กระทงในช่วง 3 วันที่ไม่ได้รับอาหารประกอบด้วยกรดยูริค 0.44% ของน้ำ

หนักแห้ง หรือเฉลี่ย 0.035 กรัมต่อไก่กระทงหนึ่งตัว กรดยูริกที่ถูกกำจัดออกมาจากไก่ที่ไม่ได้รับอาหารเป็นผลจากปฏิกิริยา deamination กำจัดหมู่อะมิโน ($-NH_2$) จากกรดแอมิโนในร่างกายแล้วผลิตผลที่เกิดขึ้นผ่านเข้าสู่วัฏจักรกรดไทรคาร์บอกซิลิก (tricarboxylic acid cycle : TCA) ไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Lehninger, 1975)

เมื่อไก่ได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นอาหาร จะเห็นว่ามีการขับกรดยูริคออกมาในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อไก่อดอาหาร ส่วนปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง จากการทดลองพบว่ามีกรดยูริคอยู่น้อย แต่เมื่อไก่กระทงได้รับวัตถุดิบอาหารดังกล่าว พบว่ามีการขับกรดยูริคออกมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อไก่กระทงได้รับตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งมีข้อมูลการนำไปใช้ได้ของส่วนประกอบทางโภชนาการที่น้อยมาก ทั้งในแง่พลังงาน และส่วนประกอบอื่นๆ เช่นโปรตีน ไขมัน ทำให้ไก่กระทงต้องมีการย่อยสลายอาหารสะสมในร่างกายที่มีอยู่ คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน รวมทั้งกรดแอมิโนที่มีอยู่ออกมาในปริมาณมาก จึงสามารถตรวจพบกรดยูริคในสิ่งขับถ่ายในปริมาณที่มากขึ้นด้วย

3.8 การคำนวณสูตรอาหารไก่กระทงโดยใช้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนผสม

การสร้างสูตรอาหารสำหรับไก่กระทงโดยใช้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนผสม เพื่อให้ได้มาตราฐาน ตามข้อกำหนดใน NRC (1994) ใช้ค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของส่วนประกอบทางโภชนาการต่างๆในตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียในการคำนวณ วัตถุดิบอาหารชนิดอื่นที่นำมาใช้คือ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม เปลือกหอยบด วิตามิน และเกลือแร่รวม dicalcium phosphate , NaCl, กรดแอมิโนจำเป็น (DL-methionine และ L-lysine) สร้างสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3 – 6 สัปดาห์ โดยใช้ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนผสม 4 ระดับ คือมีอัตราส่วน 2.5, 5.0, 7.5 และ 10% ของน้ำหนักรวม ผลการคำนวณปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดและราคาอาหารต่อหน่วยน้ำหนักแสดงในตารางข้างล่างนี้

สูตรที่ 1 อาหารชุดควบคุมสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3-6 สัปดาห์

ส่วนประกอบ	ราคา / กิโลกรัม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.55	64.87
กากถั่วเหลือง	8.00	27.12
ปลาป่น	15.50	4.95
น้ำมันปาล์ม	35.00	0.43
เปลือกหอยบด	3.60	0.01
วิตามินและเกลือแร่รวม	51.19	0.50
Dicalcium phosphate	6.00	0.47
Sodium chloride	3.13	0.25
DL-Methionine	280.00	0.18
L-Lysine	137.50	0.22

รวมน้ำหนัก 100 กิโลกรัม

รวมราคา 781.51 บาท

ราคา / กิโลกรัม 7.82 บาท

สูตรที่ 2 อาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยมีตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นส่วนผสม 2.5% โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	ราคา / กิโลกรัม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.55	63.00
กากถั่วเหลือง	8.00	25.51
ปลาป่น	15.50	4.97
น้ำมันปาล์ม	35.00	1.46
เปลือกหอยบด	3.60	0.94
วิตามินและเกลือแร่รวม	51.19	0.50
Dicalcium phosphate	6.00	0.47
Sodium chloride	3.13	0.25
DL-Methionine	280.00	0.18
L-Lysine	137.50	0.18
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.00	2.54

น้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม

ราคารวม 788.73 บาท

ราคา / กิโลกรัม 7.89 บาท

สูตรที่ 3 อาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยมีตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนผสม 5.0% โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	ราคา / กิโลกรัม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.55	61.58
กากถั่วเหลือง	8.00	23.84
ปลาป่น	15.50	4.98
น้ำมันปาล์ม	35.00	2.31
เปลือกหอยบด	3.60	1.19
วิตามินและเกลือแร่รวม	51.19	0.50
Dicalcium phosphate	6.00	0.00
Sodium chloride	3.13	0.25
DL-Methionine	280.00	0.17
L-Lysine	137.50	0.15
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.00	5.03

น้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม

ราคารวม 790.05 บาท

ราคา / กิโลกรัม 7.90 บาท

สูตรที่ 4 อาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยมีตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นส่วนผสม 7.5% โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	ราคา / กิโลกรัม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.55	59.74
กากถั่วเหลือง	8.00	22.26
ปลาป่น	15.50	4.99
น้ำมันปาล์ม	35.00	3.32
เปลือกหอยบด	3.60	1.12
วิตามินและเกลือแร่รวม	51.19	0.50
Dicalcium phosphate	6.00	0.00
Sodium chloride	3.13	0.25
DL-Methionine	280.00	0.17
L-Lysine	137.50	0.11
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.00	7.53

น้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม

ราคารวม 797.14 บาท

ราคา / กิโลกรัม 7.97 บาท

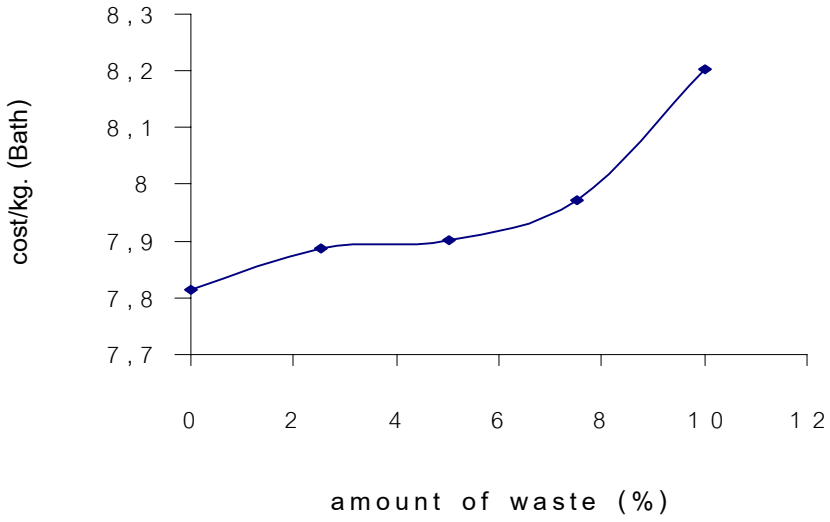
สูตรที่ 5 อาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระทงอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยมีตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นส่วนผสม 10.0% โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	ราคา / กิโลกรัม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.55	56.21
กากถั่วเหลือง	8.00	22.17
ปลาป่น	15.50	4.21
น้ำมันปาล์ม	35.00	4.93
เปลือกหอยบด	3.60	0.73
วิตามินและเกลือแร่รวม	51.19	0.50
Dicalcium phosphate	6.00	0.71
Sodium chloride	3.13	0.25
DL-Methionine	280.00	0.18
L-Lysine	137.50	0.08
ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.00	10.03

น้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม

ราคารวม 820.34 บาท

ราคา / กิโลกรัม 8.20 บาท



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียในสูตรอาหารไก่กระทงกับราคาที่ได้จากการคำนวณ

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียลงไปเป็นส่วนผสมในอาหารและควบคุมให้มีส่วนประกอบทางโภชนาการในอาหารสำหรับไก่กระทงตามที่กำหนดใน NRC (1994) พบว่าแทนที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารไก่กระทงต่ำลง กลับทำให้ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมของอาหารเพิ่มสูงขึ้น (คิดราคาตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 0 บาทต่อกิโลกรัม) แม้ว่าตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีส่วนประกอบทางโภชนาการอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่มีค่าการย่อยได้โดยไก่กระทงน้อยมาก เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารโดยให้มีส่วนประกอบทางโภชนาการเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไก่จึงต้องเติมวัตถุดิบอย่างอื่นที่มีราคาสูงเข้าไปปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันปาล์มเพราะไก่มีประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมสารอาหารที่เป็นแหล่งพลังงานจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียต่ำมาก ส่วนวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีราคาสูงก็มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียลงไปมากขึ้น ทำให้ราคาต่อกิโลกรัมของอาหารสูงขึ้นด้วย

3.9 ปริมาณโพแตสเซียมและแมกนีเซียมในตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาแร่ธาตุพบว่านอกจากแคลเซียมและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุส่วนใหญ่แล้ว ตะกอนยังประกอบด้วยโพแตสเซียม 0.74% และแมกนีเซียม 0.26% รวมทั้งอาจมีแร่ธาตุอื่นเป็นส่วนประกอบที่ไม่ได้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ จากส่วนประกอบทั้งหมดที่กล่าวมาตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียจึงน่าจะมีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งมีระบบการย่อยที่ซับซ้อนกว่าไก่กระทง และสามารถใช้อาหารที่มีคุณภาพต่ำกว่าอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวได้ หรือนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผลทางการเกษตร อย่างไรก็ตามการนำไปใช้ดังกล่าวยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป