บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว และสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่มีการปรุงแต่งด้วยเอนไซม์หรือการอัดพอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ฟางข้าวและสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์ มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน ขณะที่สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรุงแต่งด้วยการอัดพอง มีโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น แต่ เถ้า เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค ซึ่งเป็นผลจากการอัดพองที่ใช้ปลายข้าวเป็นสื่อในสัดส่วน 70 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์ (CWenz) และการอัดพอง (CWext)

Ingredients	DM	Ash	CP	NDF	ADF	ME[1]
	%	---------- % of DM ----------				Mcal/kgDM
Rice straw	91.5	9.3	3.8	75.8	55.0	1.66
CW	96.5	16.4	4.6	77.4	52.6	1.73
CWenz	95.3	15.0	4.7	78.3	60.7	1.50
CWext	90.6	5.0	7.5	25.2	23.4	2.54

Rice straw = ฟางข้าว

CWenz = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์

CWext = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยการอัดพอง

[1] by calculation

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมสำเร็จ มีโปรตีนหยาบและพลังงานใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.2) แต่เยื่อใย NDF และ ADF เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์หรือการอัดพอง อย่างไรก็ตาม ค่าเยื่อใย NDF และ ADF ในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรุงแต่งด้วยเอนไซม์มีค่าสูงกว่าในสูตรอาหารผสมสำเร็จปรุงแต่งด้วยการอัดพอง เนื่องจากสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรุงแต่งด้วยเอนไซม์มีค่าเยื่อใยที่สูงกว่าสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรุงแต่งด้วยการอัดพอง (ตารางที่ 4.1)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์ (CWenz) และการอัดพอง (CWext)

Chemical composition	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
DM, %	89.9	96.6	95.6	96.3	95.5	95.1	95.1
OM	92.8	92.0	90.8	88.5	93.0	93.5	93.0
CP	13.9	14.0	14.2	14.0	14.3	14.0	14.0
NDF	36.2	44.3	55.1	64.8	38.9	37.5	43.0
ADF	21.2	25.6	29.7	37.7	22.4	22.2	24.7
ME[1], Mcal/kgDM	2.47	2.42	2.40	2.37	2.48	2.44	2.40

DM = dry matter, OM = organic matter, CP = crude protein, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ME = metabolizable energy

CWenz = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยเอนไซม์

CWext = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรุงแต่งด้วยการอัดพอง

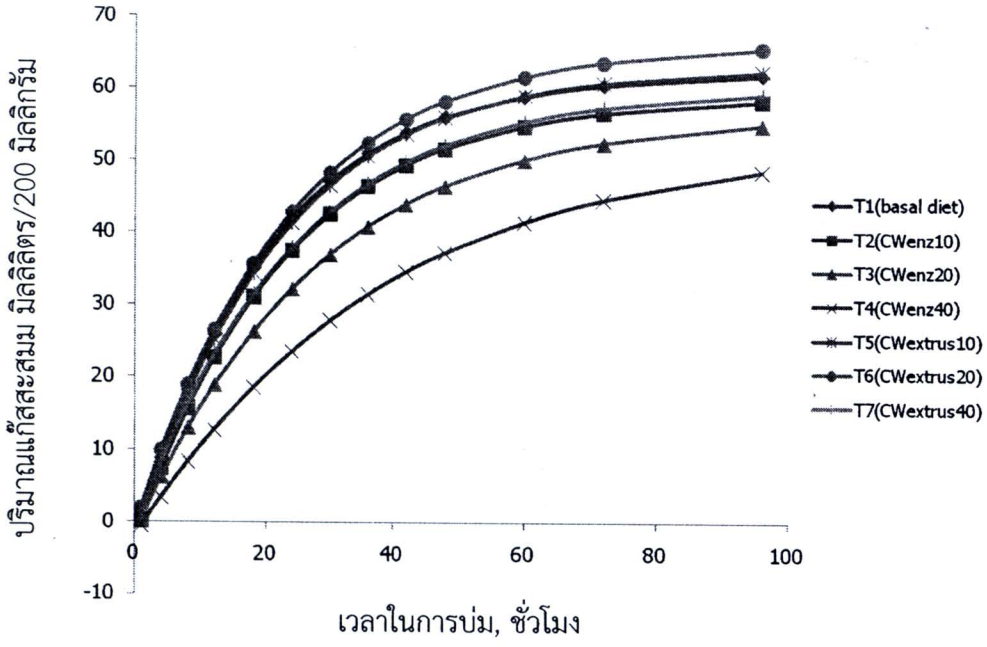
[1] Calculated from energy content of each ingredient

4.2 ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊ส จลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม การย่อยได้ ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของสูตรอาหารผสมสำเร็จ

จากการศึกษาการศึกษาการย่อยได้และปริมาณผลผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้จากการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยใช้เทคนิคทางห้องปฏิบัติการ คือ เทคนิคการวัดผลผลิตแก๊ส (in vitro gas production technique) เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ภาพที่ 4.1 แสดงถึงรูปแบบของผลผลิตแก๊สสะสมของระยะเวลาต่าง ๆ ที่ได้ทำการวัดจนถึง 96 ชั่วโมง ของสูตรอาหารผสมสำเร็จ แล้วทำการประเมินค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สจากกระบวนการหมักของสูตรอาหารผสมสำเร็จ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ค่า a เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่เกิดจากกระบวนการหมักขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.3) พบว่า ค่า a ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากค่าประเมินของค่า a เป็นลบ จึงได้ปรับค่าประเมินเป็นค่า lag time ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ก่อนเกิดกระบวนการหมักให้ได้แก๊สเกิดขึ้น พบว่า ค่า lag time ของสูตรอาหารผสมสำเร็จควบคุม (T1) มีค่าต่ำกว่ากับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) แต่มีค่าสูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือด้วยการอัดพองที่ระดับอื่นๆ (T2,T3, T5, T6, T7) แสดงว่า การใช้เอนไซม์หรือการอัดพอง มีผลช่วยทำให้กระบวนการหมักเกิดได้เร็วขึ้น การใช้สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ในระดับที่สูง (40 เปอร์เซ็นต์) มีผลต่อการเริ่มกระบวนการหมักได้ช้า เป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเอง คือ มีเยื่อใยที่สูง



ภาพที่ 4.1 ปริมาณแก๊สสะสมตามระยะเวลาต่างๆ ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง

ตารางที่ 4.3 จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สและปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมและการย่อยได้ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง

Item	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	SEM
Gas production kinetics								
a, ml	-3.21^{a}	-2.54^{ab}	-1.65^{cd}	-2.02^{bc}	-2.43^{b}	-0.84^{e}	-1.11^{de}	0.215
b, ml	65.02^{abc}	61.71^{bcd}	58.38^{ed}	55.03^{e}	65.68^{ab}	67.42^{a}	61.48^{bcd}	1.143
c, ml/hr	0.050^{a}	0.040^{b}	0.040^{b}	0.030^{c}	0.045^{ab}	0.040^{b}	0.040^{b}	0.002
d, ml	68.22^{a}	64.25^{ab}	60.03^{cd}	57.06^{d}	68.11^{a}	68.25^{a}	62.59^{bc}	1.194
Lag time, h	1.01^{b}	0.97^{b}	0.80^{b}	1.45^{a}	0.83^{b}	0.29^{c}	0.44^{c}	0.084
In vitro dry matter digestibility (IVDMD), %								
24 h	56.67^{a}	56.67^{a}	51.67^{a}	40.00^{b}	51.67^{a}	60.00^{a}	55.00^{a}	2.439
48 h	65.00^{ab}	58.34^{b}	61.67^{ab}	61.67^{ab}	68.34^{a}	65.00^{ab}	63.33^{ab}	2.357
mean	60.84^{ab}	57.50^{b}	56.67^{b}	50.84^{c}	60.01^{ab}	62.50^{a}	59.17^{ab}	2.400

a, b, c, d, e ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีอักษรกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สำหรับค่า b หรือค่าปริมาณผลผลิตแก๊สทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำ หากสูตรอาหารผสมสำเร็จมีค่า b สูง แสดงว่า มีศักยภาพในการย่อยสลาย

สูง เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่า b ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) มีค่าสูงใกล้เคียง ($P>0.05$) กับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองที่ระดับ 10 (T5) และ 20 เปอร์เซ็นต์ (T6) ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ค่าต่ำกว่า ($P<0.05$) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำที่สุด แสดงว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์น่าจะมีการย่อยสลายได้ยากกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง และในทำนองเดียวกัน มันเส้นที่เป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารผสมสำเร็จมีการย่อยสลายได้ง่ายกว่าสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่นำมาใช้ทดแทน

ส่วนค่า c คือ ค่าอัตราการผลิตแก๊ส เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเร็วหรืออัตราการหมักของสูตรอาหารทำให้ได้ผลผลิตแก๊สต่อชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า ค่า c ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง โดยสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) มีค่าสูงไม่แตกต่างกับ ($P>0.05$) กับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (T5) ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์และสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองมีค่าต่ำกว่า ($P<0.05$) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่มีเยื่อใยที่สูง

สำหรับปริมาณแก๊สสะสมหลังการบ่ม พบว่า ปริมาณแก๊สสะสมแตกต่างกันระหว่างสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง ($P<0.05$) และมีค่าที่สอดคล้องกับค่า b กล่าวคือ โดยสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) มีค่าสูงใกล้เคียง ($P>0.05$) กับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองที่ระดับ 10 (T5) และ 20 เปอร์เซ็นต์ (T6) ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ค่าต่ำกว่า ($P<0.05$) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำที่สุด (ตารางที่ 4.3)

สำหรับการย่อยได้ของวัตถุแห้งของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง ที่ 24 และ 48 ชั่วโมงหลังการบ่ม พบว่า ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ในระหว่างสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงของการบ่ม สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำสุด ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ 48 ชั่วโมงของการบ่ม มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง และค่าเฉลี่ยของการย่อยได้ของวัตถุแห้งของสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำสุด

ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) ของแต่ละสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่ 24 และ 48 ชั่วโมง หลังการบ่ม พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง (ตารางที่ 4.4) ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ (T5 และ T6) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่สูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือการอัดพองในระดับอื่นๆ (T2, T3, T7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำสุด ($P<0.05$)

สำหรับสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ ได้แก่ กรดอะซิติค (C2) กรดโพรพิโอนิค (C3) และกรดบิวทิริค (C4) มีความแตกต่างกันระหว่างสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง ($P>0.05$) ในเวลาที่ 24 และ 48 ชั่วโมงของการบ่ม (ตารางที่ 4.4) กรดอะซิคริคและกรดโพรพิโอนิคของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองทุกระดับ (T5, T6 และ T7) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่สูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ (T2, T3 และ T4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนกรดบิวทิริคของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองทุกระดับ (T5, T6 และ T7) สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (T2) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่สูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 20 c]t 40 เปอร์เซ็นต์ (T3 และ T4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลองที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ (T1) และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง (T5, T6) ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ทั้งที่ 24 และ 48 ชั่วโมงของการบ่ม (ตารางที่ 4.4) แต่มีค่าสูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ (T2, T3) หรือการอัดพอง (T7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ (T4) มีค่าต่ำสุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง

Item	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	SEM
24 h incubation								
Total VFA, mM	32.18^{a}	28.38^{b}	24.69^{c}	18.37^{d}	31.12^{ab}	32.49^{a}	28.55^{b}	0.957
C2, mol/100 mol	55.85^{c}	56.02^{c}	56.27^{b}	56.76^{a}	55.90^{c}	55.86^{c}	56.00^{c}	0.049
C3, mol/100 mol	33.74^{a}	33.61^{a}	33.38^{b}	32.97^{c}	33.70^{a}	33.74^{a}	33.62^{a}	0.041
C4, mol/100 mol	10.41^{a}	10.39^{a}	10.35^{b}	10.28^{c}	10.40^{a}	10.41^{a}	10.39^{a}	0.007
NH_3-N, mg/dl	23.19^{a}	21.72^{bc}	20.38^{d}	17.68^{e}	23.06^{ab}	23.38^{a}	21.80^{bc}	0.384
48 h incubation								
Total VFA, mM	41.21^{ab}	37.70^{c}	34.38^{d}	28.51^{e}	40.78^{abc}	42.43^{a}	38.10^{bc}	0.952
C2, mol/100 mol	55.76^{a}	55.87^{a}	56.03^{b}	56.28^{c}	55.79^{a}	55.76^{a}	55.85^{a}	0.034
C3, mol/100 mol	33.82^{a}	33.73^{a}	33.59^{b}	33.38^{c}	33.80^{a}	33.82^{a}	33.74^{a}	0.028
C4, mol/100 mol	10.43^{a}	10.41^{b}	10.38^{c}	10.34^{d}	10.42^{ab}	10.42^{ab}	10.40^{ab}	0.005
NH_3-N, mg/dl	26.80^{ab}	25.45^{cd}	24.25^{d}	21.74^{e}	26.92^{ab}	27.36^{a}	25.61^{bc}	0.382

a, b, c, d, e ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีอักษรกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3 จลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสม การย่อยได้ ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของสูตรอาหารผสมสำเร็จทดลอง ตามวิธีการปรับปรุงและระดับการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค

4.3.1 วิธีการปรุงแต่งสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค

ในส่วนของค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ได้นำเสนอในตารางที่ 4.5 พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง มีค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สที่ดีกว่า ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ ทั้งค่า a, b, c, d และ lag time

ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์

ส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด สัดส่วนของกรดอะซิตริค กรดโพรพิโอนิค กรดบิวทิริค และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง มีค่าที่ดีกว่า ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้ง

จากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ ทั้งที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมงของการบ่ม (ตารางที่ 4.5)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ไม่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค กับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือการอัดพอง พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่ไม่สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค (T1) มีค่าที่ดีกว่า ($P<0.05$) สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ (T2, T3, T4) ในทุกค่าที่วัด ยกเว้น ค่า lag time และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ 48 ชั่วโมงหลังการบ่ม ที่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ในขณะที่สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง (T5, T6, T7) มีค่า b, d และการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ 24 ละ 48 ชั่วโมงของการบ่ม ไม่แตกต่าง ($P>0.05$) จากสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ไม่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค (T1)

ส่วนผลผลิตจากกระบวนการหมัก ได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด สัดส่วนของกรดอะซิตริค กรดโพรพิโอนิค กรดบิวทิริค และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ตารางที่ 4.6) พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองมีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์

ตารางที่ 4.5 ผลของวิธีการปรับปรุงและระดับของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ ต่อจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมและการย่อยได้

	Method			Levels of CW				
Item	CWenz	CWext	SEM	0	10	20	40	SEM
Gas production kinetics								
a, ml	-2.07^{a}	-1.46^{b}	0.107	-3.20^{a}	-2.48^{ab}	-1.24^{c}	-1.57^{c}	0.152
b, ml	58.37^{a}	64.86^{b}	0.571	65.01^{a}	63.69^{a}	62.89^{a}	58.26^{b}	0.808
c, ml/h	0.035^{a}	0.044^{b}	.0009	0.050^{a}	0.045^{a}	0.040^{b}	0.034^{c}	0.001
d, ml	60.45^{a}	66.31^{b}	0.597	68.22^{a}	66.18^{a}	64.14^{ab}	59.82^{c}	0.844
Lag time, h	1.07^{a}	0.51^{b}	0.042	1.01^{a}	0.90^{a}	0.54^{b}	0.94^{c}	0.060
IVDMD, %								
24 h	49.44^{a}	55.56^{b}	1.219	56.67^{a}	54.17^{a}	55.83^{a}	47.50^{b}	1.724
48 h	60.56^{a}	65.56^{b}	1.179	65.00	63.33	63.33	62.50	1.667
Mean	55.00^{a}	60.56^{b}	0.649	60.83^{a}	58.75^{a}	59.58^{a}	55.00^{b}	0.918

$^{a, b, c}$ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีอักษรกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

CW = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค, CWenz = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์, CWext = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง

4.3.2 ระดับสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ

ในส่วนของจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สที่เป็นผลจากระดับของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ ได้นำเสนอในตารางที่ 4.5 พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือการอัดพองที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สและค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ 24 ชั่วโมงของการบ่ม ไม่แตกต่างกันกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.01$) แต่ดีกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือการอัดพอง ($P<0.01$)

ตารางที่ 4.6 ผลของวิธีการปรับปรุงและระดับของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคต่อความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

	Methods			Levels of CW				
Item	CWenz	CWext	SEM	0	10	20	40	SEM
24 h incubation								
Total VFA, mM	23.81[a]	30.72[b]	0.479	32.18[a]	29.75[a]	28.59[a]	23.46[b]	0.957
C2, mol/100 mol	56.34[a]	55.92[b]	0.025	55.85[a]	55.95[a]	56.06[b]	56.37[b]	0.049
C3, mol/100 mol	33.32[a]	33.68[b]	0.020	33.74[a]	33.65[a]	33.56[a]	33.30[b]	0.041
C4, mol/100 mol	10.33[a]	10.40[b]	0.004	10.41[a]	10.39[a]	10.38[a]	10.33[b]	0.007
NH_3-N, mg/dl	19.92[a]	22.74[b]	0.191	23.18[a]	22.39[a]	21.88[b]	19.74[c]	0.384
48 h incubation								
Total VFA, mM	33.53[a]	40.44[b]	0.476	41.21[a]	39.24[a]	38.41[a]	33.31[b]	0.952
C2, mol/100 mol	56.06[a]	55.80[b]	0.017	55.76[a]	55.83[a]	55.90[a]	56.07[b]	0.034
C3, mol/100 mol	33.56[a]	33.79[b]	0.014	33.82[a]	33.76[a]	33.70[a]	33.56[b]	0.028
C4, mol/100 mol	10.38[a]	10.41[b]	0.003	10.42[a]	10.41[a]	10.40[a]	10.37[b]	0.005
NH_3-N, mg/dl	23.81[a]	26.63[b]	0.191	26.79[a]	26.48[a]	25.81[a]	23.67[b]	0.382

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีอักษรกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

CW = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค, CWenz = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์, CWext = สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง

ส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด สัดส่วนของกรดอะซิตริค กรดโพรพิโอนิค กรดบิวทิริค และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์หรือการอัดพองมีค่าไม่แตกต่างกันกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ไม่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหาร ($P>0.01$) ขณะที่การเพิ่มระดับของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เมื่อเทียบกับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ไม่มีสิ่งเหลือทิ้ง

จากอุตสาหกรรมกรดซิตริค ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมงของการบ่ม (ตารางที่ 4.6)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ใช้ในการทดลอง มีคุณค่าทางโภชนะสูงกว่ากากมันจากการผลิตกรดซิตริคที่ใช้ในการทดลองของ ประพันธ์ศิลป์ (2551) ที่รายงานว่าระดับโปรตีนหยาบ เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF ไขมันรวม และเถ้า ของกากมันจากการผลิตกรดซิตริคมีค่าเท่ากับ 3.0, 86.1, 68.1, 0.5 และ 6.0 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตกรดซิตริคต่างกัน กล่าวคือ ในงานทดลองนี้การผลิตกรดซิตริคใช้มันเส้นเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตกรดซิตริค แต่ในงานทดลองของ ประพันธ์ศิลป์ (2551) ใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตกรดซิตริค จึงอาจมีผลทำให้คุณค่าทางโภชนะของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคมีความแตกต่างกัน

การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยผสมรวมกับสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคก่อนนำไปผสมในสูตรอาหารผสมสำเร็จในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งการผสมรวมกับเอนไซม์ทำให้องค์ประกอบของเยื่อใยของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากมีการย่อยสลายส่วนที่ย่อยได้ง่ายของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคโดยเอนไซม์ได้บ้างก่อนนำไปผสมในสูตรอาหารผสมสำเร็จ

การอัดพองสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคโดยใช้ปลายข้าวเป็นสื่อที่สัดส่วน สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคต่อปลายข้าวที่ 30 ต่อ 70 หลังจากอัดพอง พบว่า สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพอง มีโปรตีนเพิ่มขึ้น และองค์ประกอบเยื่อใยลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากมีการใช้สัดส่วนของปลายข้าวในสัดส่วนที่สูง ซึ่งปลายข้าวมีโปรตีน 7.7 เปอร์เซ็นต์และเยื่อใยหยาบต่ำมาก (0.55 เปอร์เซ็นต์) (กรมปศุสัตว์, 2547)

รูปแบบการผลิตแก๊ส จลนพลศาสตร์ ผลผลิตจากกระบวนการหมัก และการย่อยได้ของวัตถุแห้งของสูตรอาหารผสมสำเร็จในการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า เมื่อพิจารณาถึงจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สที่มีอิทธิพลจากวิธีการปรับปรุงสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค พบว่า การปรับปรุงด้วยการอัดพองมีผลดีกว่าการปรับปรุงด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในสัดส่วนของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยการอัดพองที่ระดับ 10, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคอยู่เพียง 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่ารูปแบบการผลิตแก๊ส จลนพลศาสตร์ผลผลิตจากกระบวนการหมัก ได้แก่ ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และการย่อยได้ของวัตถุแห้งไม่แตกต่างจากสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จากการศึกษาการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จสามารถใช้ได้เพียง 10-12 เปอร์เซ็นต์

สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ทั้งทางน้ำ ทางดิน และทางอากาศ ซึ่งสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคนั้นเป็นสิ่งเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก อีกทั้งยังพบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการและเยื่อใยที่อาจใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ จึงได้มีการศึกษาเพื่อนำสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคมาใช้โดย ฉลอง และคณะ (2552) ศึกษาระดับของกากซิตริคที่ใช้ทดแทนมันเส้นในอาหารข้นที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เพิ่มระดับการใช้ของกากซิตริคส่งผลให้ปริมาณการผลิตแก๊สสะสม และกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ยกเว้นที่ระดับการใช้ทดแทนที่ 10

เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่มีการใช้ทดแทน จึงสามารถใช้กากซิตริคทดแทนมันเส้นได้ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคเนื้อ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของอาหาร และผลผลิตที่ได้จากการหมักในกระเพาะรูเมน สำหรับการทดลองในตัวสัตว์ (in vivo) ประพันธ์ศิลป์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของการใช้กากซิตริคและกรดซิตริคในสูตรอาหารข้นอาหารโคเนื้อ ที่ระดับ 0, 10, 20 และ30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า สามารถใช้กากซิตริคในสูตรอาหารข้นของโคเนื้อได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าการใช้ที่ระดับนี้สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ และน้ำหนักตัวต่อวันมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กากซิตริค ในขณะที่ เวชสิทธิ์ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากการผลิตกรดซิตริคเพื่อใช้เป็นแหล่งทดแทนมันเส้น และเป็นอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคเนื้อ พบว่า สามารถใช้สิ่งเหลือทิ้งจากการผลิตกรดซิตริคเพื่อทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารผมสมสำเร็จได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อการย่อยได้ การเจริญเติบโต องค์ประกอบซาก และคุณภาพของเนื้อโคพื้นเมืองแต่อย่างไร และพบว่าการเสริมที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โคเนื้อมีปริมาณการกินได้ และน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุด ในขณะที่ สุทธิพงศ์ (2552) พบว่าการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากการผลิตกรดซิตริคที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ส่งผลให้มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและโปรตีนหยาบสูงที่สุด

การใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเพื่อทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารผสมนั้นต้องคำนึงถึงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนและความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร ซึ่งจะส่งผลถึงผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น และสมรรถนะการผลิตของสัตว์ได้ เนื่องจากสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค มีเยื่อใยประกอบอยู่ค่อนข้างสูง สัตว์สามารถนำใช้ประโยชน์ได้น้อย เพราะมีความสามารถในการย่อยได้ต่ำ ดังนั้น การใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค จึงควรมีการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อกระบวนการหมักย่อยของสัตว์ การปรับปรุงสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคด้วยเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่ใช้เป็นเอนไซม์ย่อยเยื่อใย ซึ่งสามารถช่วยให้มีการย่อยได้สูงขึ้น เมื่อนำมาทำการศึกษาในตัวสัตว์อาจส่งผลให้มีการย่อยได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งอาจทำให้มีการกินได้และผลผลิตของสัตว์เพิ่มขึ้นด้วย โดย Redriguez et al. (2008) ได้ทดลองเสริมไฟโบไลติคเอนไซม์ ในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยพบว่า ไฟโบไลติคเอนไซม์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของสัตว์ สอดคล้องกับ Krause et al. (1998) รายงานว่าในการเสริมเอนไซม์ในโคเนื้อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคมีค่า pH เท่ากับ 4 ซึ่งมีความเป็นกรดที่ค่อนข้างสูงอาจส่งผลต่อจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน รวมถึงการใช้เอนไซม์ร่วมด้วยนั้น ทำให้มีการย่อยได้ที่เพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลที่ตามมา คือ ทำให้เกิดความเป็นกรดในกระเพาะรุเมนมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาแนวทางการลดสภาวะความเป็นกรดภายในกระเพาะรูเมนควบคู่กันไปด้วย โดย วิศวะ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการเสริมโซเดียมไบคาร์บอเนทในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคทดแทนมันเส้น พบว่า สามารถเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของสูตรอาหารผสมสำเร็จ และเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้ง แต่พบว่า สามารถใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคนมที่มีฟางข้าวหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบได้ 10 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคปรับปรุงด้วยเอนไซม์ ถึงแม้ว่าจะยังไม่เห็นผลที่ชัดเจน ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่า ระยะเวลาที่เอนไซม์สัมผัสกับสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคน้อยเกินไป ทำให้จึงยังไม่เห็นผลถึงการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยเยื่อใยของ

สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค ดังนั้น ควรจะมีการหาแนวทางในการวิธีการหมักสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคร่วมกับเอนไซม์ ระยะเวลาที่เหมาะสม สภาวะที่เหมาะสม รวมทั้งระดับที่เหมาะสมด้วย

การปรับปรุงสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคด้วยการอัดพอง พบว่า การอัดพองจะส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ ของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค คือ ทำให้มีเยื่อใยต่ำลงและมีโปรตีนสูงขึ้น อมรเทพ (2553) ได้ทำการศึกษาผลของการอัดพองต่อการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารสัตว์ของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิดกรดซิตริค พบว่า การใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคที่ผ่านกระบวนการอัดพองที่ระดับ 99.99 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนข้าวโพด และรำละเอียด ในอาหารข้น มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ ผลผลิตแก๊สรวมสูงที่สุด จึงอาจเป็นแนวทางที่ดีในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ แต่เนื่องจากกระบวนการอัดพองต้องใช้ปลายข้าวเพื่อเป็นสื่อในกระบวนการ โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ปลายข้าว 70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การอัดพองสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคถึงแม้จะได้ผลดีการใช้เอนไซม์ แต่เนื่องจากการอัดพองมรผลทำให้มีต้นทุนการผลผลิตที่สูงมากขึ้นในการนำไปศึกษาในตัวสัตว์อาจยังไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการแปรรูปสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อไป

อย่างไรก็ตาม พีระพร และคณะ (2550) รายงานว่า กากกรดซิตริคหรือสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคสามารถใช้ได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารผสมสำเร็จ สอดคล้องกับรายงานของ วุฒิกร (2552) ดังนั้น หากมีการนำใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเป็นแหล่งของอาหารหยาบแทนที่ที่จะใช้เป็นแหล่งของอาหารข้น จะสามารถเพิ่มการนำใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง