รหัสโครงการ SUT1-104-51-12-14

รายงานการวิจัย

การศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากการทำฟาร์มปศุสัตว์: กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา

(THE STUDY OF CARBON MASS FLOW OF MEAT FOOD PRODUCTION FROM ANIMAL HUSBANDRY: CASE STUDY, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT1-104-51-12-14

รายงานการวิจัย

การศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากการทำฟาร์มปศุสัตว์: กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา

(THE STUDY OF CARBON MASS FLOW OF MEAT FOOD PRODUCTION FROM ANIMAL HUSBANDRY: CASE STUDY, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธานี

สาขาวิชาชีววิทยา

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. ราเชนทร์ โกศัลวิตร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2553

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคล ต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัย แนะนำ และแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิจัยเล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสภาวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2551

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย

ณัฐวุฒิ ธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

สภาวะเรือนกระจกก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่ง ตัวการที่ก่อให้เกิดปัญหานี้คือ แก๊ส CO_2 และ CH_4 การทำปศุสัตว์โดยเฉพาะโคนม โคเนื้อและกระบือ และการใช้พลังงานสำหรับการเลี้ยงสุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่เพื่อการผลิตเนื้อ นม ไข่เป็นสาเหตุของการเพิ่มปริมาณ CO_2 และ CH_4 ในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพื่อพัฒนาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำฟาร์มโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ และเพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากในพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ โดยการกิน การศึกษาอัตราการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตเนื้อ นม ไข่ และจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา กระทำโดยสำรวจเก็บข้อมูลจากฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์ใน 26 อำเภอ และ 6 กิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา จำนวนตัวอย่างของฟาร์มในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอ และตัวสัตว์แต่ละชนิดจะคำนวณจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% และวิเคราะห์ตัวอย่างพืชอาหาร มูลสัตว์ และเนื้อสัตว์ในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่า ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนที่น้ำหนักตัวของสัตว์เท่ากันจากการใช้พลังงานของฟาร์ม โรงฆ่าสัตว์ หรือสหกรณ์โคนม และตัวของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ มีค่าเท่ากับ 0.0072, 0.0066, 0.0051, 0.0339, 0.0851 และ 0.0450 กิโลกรัมคาร์บอน/กิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์/วัน ตามลำดับ และค่าปริมาณการตรึงคาร์บอนในรูปของนม เนื้ อวัยวะและไข่ไก่ของสัตว์ทั้ง 6 ชนิดที่ศึกษาเท่ากับ 0.0095, 0.0102, 0.0104, 0.0062, 0.0111 และ 0.0136 กิโลกรัมคาร์บอน/กิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์/วัน ตามลำดับ อัตราการถ่ายเทของปริมาณคาร์บอนจากหญ้าและพืชอาหารสัตว์ไปสู่ตัวของสัตว์แต่ละชนิดโดยการกินอาหารในแต่ละวันของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ มีค่าเท่ากับ 0.0154, 0.0148, 0.0143, 0.0087, 0.0184 และ 0.0220 กิโลกรัมคาร์บอน/กิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์/วัน ตามลำดับ และยังพบอีกว่าตัวของกระบือสามารถปลดปล่อยคาร์บอนออกมาต่ำสุดเพียง 27.67% ของปริมาณคาร์บอนจากพืชที่ถ่ายเทเข้าสู่กระบือโดยการกินในขณะที่ไก่เนื้อ โคนม ไก่ไข่ โคเนื้อ และสุกรจะปลดปล่อยคาร์บอนออกมาเท่ากับ 39.53% 38.60% 38.10% 30.85% และ28.78% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกจากการผลิตเนื้อไก่มีส่วนในการก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตเนื้อโค สุกร และกระบือ รวมทั้งการผลิตนมโค และไข่ไก่ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนของกระบือเท่ากับ 72.33% สุกร 71.22% โคเนื้อ 69.15% ไก่ไข่ 61.90% โคนม 61.40% และไก่เนื้อ 60.47% ดังนั้นการเลี้ยงกระบือและสุกร ควรถูกส่งเสริมมากกว่าการเลี้ยงสัตว์ชนิดอื่นเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผลการศึกษาสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกินพืชอาหารต่อตัวต่อวัน (Sig. $F < 0.05$) ดังสมการ $C\text{-emitted}_{\text{โคนม}} = 0.2907(C_{\text{พืช}}) + 0.6612$ ที่ Adj. R^2 =

0.77, สมการ C-emitted$_{\text{โคเนื้อ}}$ = 0.1853($C_{\text{พืช}}$) + 0.5515 ที่ Adj. R^2 = 0.98, สมการ C-emitted$_{\text{กระบือ}}$ = 0.1607($C_{\text{พืช}}$) + 0.7559 ที่ Adj. R^2 = 0.99, สมการ C-emitted$_{\text{สุกร}}$ = 0.1737($C_{\text{พืช}}$) + 0.1007 ที่ Adj. R^2 = 0.78, สมการ C-emitted$_{\text{ไก่เนื้อ}}$ = 0.6572($C_{\text{พืช}}$) - 0.0112 ที่ Adj. R^2 = 0.63 และสมการ C-emitted$_{\text{ไก่ไข่}}$ = 0.6283($C_{\text{พืช}}$) - 0.0107 ที่ Adj. R^2 = 0.87 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

One of the environmental threats that our planet faces today is the greenhouse effect. The global warming problem is caused by livestock production which releases CO_2 and CH_4 to the atmosphere. Dairy cows, ox, and buffaloes are herbivores while pigs, chickens, and hens are energy-using that are raised for their meat, milk, eggs, and all produce emissions of both CO_2 and CH_4. Therefore, it is important to determine carbon emitted factors, to investigate the rate of carbon massflow from plants to dairy cows, ox, buffaloes, pigs, chickens, and hens, and to study the carbon emission in energy patterns that are used in meat, milk, and egg production from dairy cow, ox, buffalo, pig, chicken, and hen farms and slaughterhouses, in 26 districts and 6 subdistricts of Nakhon Ratchasima province. Samples of grass and food used for feeding in meat production and the feces produced were collected and transferred to the laboratory for analysis. The study showed that the carbon emitted per living weight from dairy cows, ox, buffaloes, pigs, chickens, and hens and emission from farms, and slaughterhouses in meat production were 0.0072, 0.0066, 0.0051, 0.0339, 0.0851 and 0.0450 kg. C/kg. living weight/day, respectively. The carbon fixation in milk, meat, organs and eggs from dairy cows, ox, buffaloes, pigs, chickens, and hens were 0.0095, 0.0102, 0.0104, 0.0062, 0.0111, and 0.0136 kg.C/living weight/day, respectively. The rate of carbon massflow from grass and animal feed was 0.0154, 0.0148, 0.0143, 0.0087, 0.0184, and 0.0220 kg.C/living weight/day, respectively. The carbon emission from the buffalo was 27.67% of the carbon contents that were transferred to buffalo by feeding. On the other hand, emitted carbon from chickens, dairy cows, hens, ox, and pigs were 39.53%, 38.60%, 38.10%, 30.85%, and 28.78%, respectively. The carbon emitted from chicken meat production increased environmental problems more than from ox, pig, and buffalo meat production, milk, and egg production, respectively. The results also showed that carbon fixation in the buffalo was 72.33%, pig was 71.22%, ox was 69.15%, hen was 61.90%, dairy cow was 61.40%, and chicken was 60.47%. For an equal quantity of meat production it can be suggested that decreasing ox and chicken meat production and increasing buffalo and pig meat production can decrease the environmental problems. The carbon contents emitted from dairy cows, ox, buffaloes, pigs, chickens, and hens can be determined from the rate of carbon massflow from plants (Sig. $F < 0.05$) by using the equation as follow; $C\text{-emitted}_{\text{dairy cow}} = 0.2907(C_{\text{plant}}) + 0.6612$, Adj. $R^2 = 0.77$: $C\text{-emitted}_{\text{ox}} = 0.1853(C_{\text{plant}}) + 0.5515$, Adj. $R^2 = 0.98$: $C\text{-emitted}_{\text{buffalo}} = 0.1607(C_{\text{plant}}) + 0.7559$, Adj. $R^2 = 0.99$: $C\text{-emitted}_{\text{pig}} =$

0.1737(C_{plant}) + 0.1007, Adj. R^2 = 0.78: C-emitted$_{chicken}$ = 0.6572(C_{plant}) - 0.0112, Adj. R^2 = 0.63: C-emitted$_{hen}$ = 0.6283(C_{plant}) - 0.0107, Adj. R^2 = 0.87, respectively.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ i
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ท

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 5
1.3 ขอบเขตการวิจัย 6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 7

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบนิเวศและความสัมพันธ์เชิงระบบ 9
2.2 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนจากปริมาณปศุสัตว์ 34
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ 38
2.4 แนวทางในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากงานวิจัยในอดีต 47
2.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์ 51
2.6 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง 59

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ชนิดของปศุสัตว์ และพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา 74
3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 76
3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย 83

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 85
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 85
3.6 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย 88
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล
4.1 การสำรวจปริมาณสัตว์แต่ละชนิดที่มีการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา 92
4.2 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจาก การเลี้ยงสัตว์ 98
4.3 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในการ ผลิตเนื้อ นม ไข่ 121
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของพืชอาหารสัตว์ เนื้อ นม ไข่ และมูลจากสัตว์ และการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อม จากชนิดของการเลี้ยงสัตว์ 125
4.5 แนวทางในการวิเคราะห์ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน จากการผลิตเนื้อโคเนื้อ เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ นมโค และไข่ไก่ รวมทั้งแนวโน้มจากการทำปศุสัตว์ทั้ง 6 ชนิดในจังหวัดนครราชสีมา 134
4.6 สรุปภาพรวมการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง ๆ 139
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการศึกษา 150
5.2 สรุปแนวทางการลดการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อ นม และไข่ 154
รายการอ้างอิง 157
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดประเภทสันดาป เชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้คาร์บอนในรูปของ พลังงานต่าง ๆ 174
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนด้วยเครื่อง CNS – 2000 หรือ CHNS – 932 Analyzer 179

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. แบบตารางที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลภาคสนามจากฟาร์มเลี้ยง
และโรงฆ่าสัตว์ชนิดต่าง ๆ..... 182
ภาคผนวก ง. ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับ
คาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 187
ภาคผนวก จ. ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับ
คาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 191
ภาคผนวก ฉ. จำนวนฟาร์มและตัวสัตว์แต่ละชนิดในปี 2548 แยกเป็นรายอำเภอ
และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา..... 195
ภาคผนวก ช. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการเจริญเติบโต
เฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 198
ภาคผนวก ซ. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเพื่อคาดการณ์จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ กระบือ
ในปี 2009 - 2010..... 200
ภาคผนวก ฌ. ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอน
จากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อตามปกติ 10% 50% 60% 70%
และ 80% ในปีต่าง ๆ..... 203
ภาคผนวก ญ. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอน
จากจำนวนการเลี้ยงกระบือตามปกติ 20% 30% และ 40%
ในปีต่าง ๆ…..... 207
ภาคผนวก ฎ. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอน
จากจำนวนโคเนื้อและกระบือที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ..... 210
ภาคผนวก ฏ. แหล่งคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์แต่ละชนิด..... 213
ประวัตินักวิจัย..... 217

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต 13
2.2 ร้อยละของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์แต่ละชนิด 23
2.3 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537 34
2.4 การคำนวณการผลิตและการบริโภคของปศุสัตว์แต่ละชนิดเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอ 35
2.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane 42
2.6 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan 43
2.7 ตัวอย่างการจัดผลลัพธ์ในรูปของเมทริกซ์ 44
2.8 ตัวอย่างการคำนวณผลลัพธ์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์ใช้กฎของลาปาซ 45
2.9 ผลลัพธ์ที่สถานะ X 46
2.10 ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือก 47
2.11 ขนาดและการเพิ่มขึ้นของสัตว์เลี้ยงที่เลี้ยงจากฟาร์มในปี 1997 51
2.12 การกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมทางการเกษตร 52
2.13 การจำลองการถ่ายเทคาร์บอนของระบบการผลิตเนื้อวัวในอเมริกา 53
2.14 แหล่งการเกิดแก๊ส CH_4 จากกิจกรรมของมนุษย์ 59
2.15 ปริมาณแก๊สชีวภาพและส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน 70
2.16 ข้อมูลเกี่ยวกับแก๊ส CH_4 ที่ผลิตได้ 71
2.17 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากแก๊ส CH_4 71
3.1 ชนิดของปศุสัตว์ที่มีความสำคัญของจังหวัดนครราชสีมา 75
3.2 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่างโคนม โคเนื้อ กระบือ แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา 77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.3 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่าง สุกร ไก่ไข่ ไก่เนื้อ แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา 57

3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างในแต่ละอำเภอ 81

3.5 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอ 81

3.6 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในฟาร์มของอำเภอที่ 1 81

3.7 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด 82

3.8 วิธีการในการทดสอบคุณสมบัติของเนื้อ นม ไข่ และมูลสัตว์ของสัตว์แต่ละชนิด 83

3.9 ตัวอย่างเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากปศุสัตว์แต่ละชนิดที่ต้องการจากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มของแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอ 87

4.1 ปริมาณสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในแต่ละปีและแนวโน้มการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา 93

4.2 อัตราการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง ๆ 99

4.3 การปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันและการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันเทียบจากน้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่เท่ากัน 99

4.4 แก๊สที่เกิดจากสัตว์แต่ละชนิดที่เลี้ยงในฟาร์มต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 102

4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเท (C_{plant}) ตรึงสะสมในสัตว์ ($C_{fixation}$) ปลดปล่อยออกจากสัตว์ ($C_{emitted}$) ในมูลสัตว์ (C_{output}) และ $C_{emission}$ ของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูล การหายใจ และการย่อยอาหาร 106

4.6 สัดส่วนเนื้อรวมและเครื่องในของสัตว์แต่ละชนิด 110

4.7 ค่าเฉลี่ย C-emission จากพลังงานที่ฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมใช้ 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.8 ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักแห้ง ของพืชอาหาร ที่สัตว์กินและมูลสัตว์ที่ขับถ่ายออกมาต่อตัวต่อวันและระยะเวลา การเลี้ยงเฉลี่ยของสัตว์แต่ละชนิด 126

4.9 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอน ของพืชอาหารสัตว์ มูลสัตว์ น้ำนมโค เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ และไข่ไก่ 128

4.10 ผลการปลดปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำปศุสัตว์ ในรูปแมทริกซ์ 131

(ก) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาส 131

(ข) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎสูงสุดจากสูงสุด 132

(ค) ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำปศุสัตว์ 133

(ง) ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกทำปศุสัตว์ 134

4.11 การเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างจากตัวสัตว์ กับจากการใช้พลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ หรือสหกรณ์โคนม ใช้ในการผลิตเนื้อ นม ไข่ ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ 137

(ก) การทดลองปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือ 143

(ข) สัดส่วนของการทดลองปรับจำนวนการเลี้ยงกระบือ : จำนวนโคเนื้อ 144

5.1 อัตราการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอน ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ 132

ก.1 ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดประเภท การสันดาปเชื้อเพลิง 175

ก.2 ตัวอย่างการปล่อยมลพิษสำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี 2003 175

ก.3 การวิเคราะห์ค่า C-input จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 kWh จากสัดส่วน ของแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในปี 2548 176

ก.4 ค่าเฉลี่ย C-input จากพลังงานที่ฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์ หรือสหกรณ์โคนมใช้ 177

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ง.1 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 188

ง.2 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 188

ง.3 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 189

ง.4 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 189

ง.5 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 190

ง.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 190

จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนม 192

จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อ 192

จ.3 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 193

จ.4 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 193

จ.5 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 194

จ.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอน ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 194

ฉ.1 จำนวนฟาร์มและจำนวนสัตว์แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอ ในจังหวัดนครราชสีมาของปี 2548 196

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ช.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ของโคเนื้อ และกระบือที่อายุต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 199

ซ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนโคเนื้อและกระบือ ที่เลี้ยงในปี 2009-2010 201

ซ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนกระบือที่เลี้ยง ในปี 2009-2010 201

ซ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง ในปี 2009-2010 202

ฌ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อตามปกติในปีต่าง ๆ 204

ฌ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 10% ในปีต่าง ๆ 204

ฌ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 50% ในปีต่าง ๆ 205

ฌ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 60% ในปีต่าง ๆ 205

ฌ.5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 70% ในปีต่าง ๆ 206

ฌ.6 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 80% ในปีต่าง ๆ 206

ญ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงกระบือตามปกติในปีต่าง ๆ 208

ญ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงกระบือ 20% ในปีต่าง ๆ 208

ญ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก จำนวนการเลี้ยงกระบือ 30% ในปีต่าง ๆ 209

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ญ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก
จำนวนการเลี้ยงกระบือ 40% ในปีต่าง ๆ 209
ฎ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก
จำนวนโคเนื้อ และกระบือที่เลี้ยงตามปกติในปีต่าง ๆ 211
ฎ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก
การทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 80 : 20
ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ 211
ฎ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก
การทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 70 : 30
ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ 212
ฎ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจาก
การทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 60 : 40
ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ 212
ฏ.1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารในสัตว์ประเภทต่างๆ 215
ฏ.2 ส่วนประกอบของโภชนะในเนื้อสัตว์ประเภทต่างๆ 215
ฏ.3 รายละเอียดของสัตว์เศรษฐกิจแต่ละชนิดในจังหวัดนครราชสีมา 216

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศโลก 1
1.2 การประมาณการปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 4
1.3 การประมาณการปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน จำแนกตาม แหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-3563..... 5
1.4 ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสัตว์และความสัมพันธ์ของข้อมูล ปริมาณคาร์บอนที่ใช้..... 7
2.1 วัฏจักรคาร์บอน มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศโดยผ่านการสังเคราะห์แสง การหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 15
2.2 วัฏจักรคาร์บอน และปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็น 10^{15} กรัม..... 17
2.3 ความสัมพันธ์ของปัจจัยจำกัด และความหนาแน่นประชากร 19
2.4 ความสัมพันธ์เชิงระบบของคาร์บอนกับสิ่งมีชีวิต 20
2.5 การเกิดโปรตีนจากพันธะเพปไทด์..... 21
2.6 ไขมันจากการผสมกันของกลีเซอรอล และกรดไขมัน 22
2.7 ทางเดินอาหารของโคที่โตเต็มที่แล้ว..... 24
2.8 ระบบทางเดินอาหารของสุกร 28
2.9 แสดงระบบทางเดินอาหารของไก่..... 28
2.10 เมทาบอลิซึมในสิ่งมีชีวิต..... 32
2.11 ระบบการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มปศุสัตว์..... 39
2.12 การลดลงของการกระจายคาร์บอนจากโครงการ CDM 48
2.13 กระบวนการผลิตนม UHT จากน้ำนมดิบ..... 57
2.14 แบบจำลองความสัมพันธ์องค์ประกอบคาร์บอนจากระบบนิเวศ และระบบเศรษฐกิจ..... 66
3.1 ตำแหน่งของพื้นที่เป้าหมายทั้ง 26 อำเภอ 6 กิ่งอำเภอในการศึกษา..... 75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.2 ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสัตว์ และความสัมพันธ์ของข้อมูล ปริมาณคาร์บอนที่ใช้ 77

4.1 การเลี้ยงโคนมในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 93

4.2 การเลี้ยงโคเนื้อในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 94

4.3 การเลี้ยงกระบือในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 95

4.4 การเลี้ยงสุกรในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 96

4.5 การเลี้ยงไก่เนื้อในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 97

4.6 การเลี้ยงไก่ไข่ในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา 98

4.7 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสัตว์แต่ละชนิด 101

4.8 ร้อยละสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 และ CO_2 จากมูลสัตว์ การย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์ชนิดต่างๆที่น้ำหนักตัวเท่ากัน 103

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่สัตว์โดยการกิน (C_{plant}) กับปริมาณคาร์บอนปลดปล่อยออกจากสัตว์ (C-emitted) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 107

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกิน (C_{plant}) กับปริมาณคาร์บอนคาร์บอนที่ตรึงอยู่ในตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ (C-fixed) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 112

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ 115

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของโคเนื้อ และกระบือที่อายุต่าง ๆ 116

4.12 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของโคนมที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 118

4.13 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของโคเนื้อที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของกระบือที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 119

4.15 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของสุกรที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 119

4.16 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของไก่เนื้อที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 120

4.17 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของไก่ไข่ที่ถ่ายเทมาจาก พืชอาหารสัตว์ต่อวัน 120

4.18 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ โดยเทียบที่ น้ำหนักสัตว์เท่ากัน 123

4.19 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ ของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ หรือสหกรณ์โคนม โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน 124

4.20 การปลดปล่อยคาร์บอนของการใช้พลังงานผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ระหว่างฟาร์มกับโรงฆ่าสัตว์ หรือสหกรณ์โคนม โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน 124

4.21 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ นม เนื้อ ไข่ และมูลของสัตว์ชนิดต่าง ๆ 127

4.22 เปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์ และจากการใช้พลังงานของการผลิตเนื้อ นม ไข่จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่น้ำหนักเท่ากัน 136

4.23 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดต่อตัวต่อวันสำหรับ การผลิตเนื้อ นม ไข่ 136

4.24 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยในแต่ละปีสำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ จากสัตว์แต่ละชนิด 141

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.25 เปอร์เซ็นต์การลดลงของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อโค และเนื้อกระบือที่น้ำหนักตัวเท่ากันโดยการปรับเพิ่มจำนวนกระบือ และลดจำนวนโคเนื้อ 146
4.26 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตน้ำนมโค 147
4.27 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตเนื้อโค 147
4.28 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตเนื้อกระบือ 148
4.29 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตเนื้อสุกร 148
4.30 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตเนื้อไก่ 149
4.31 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับ การผลิตไข่ไก่ 149

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C	=	ปริมาณคาร์บอน
$C_{emission}$, C-emission	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4
$C_{emitted}$, C-emitted	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ซึ่งเกิดจากผลรวมของปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในมูลสัตว์รวมกับปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดขึ้นจากมูลสัตว์ การย่อยอาหาร และการหายใจของสัตว์
$C_{fixation}$, C-fixation	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกตรึงสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์ รวมทั้งน้ำนมโค หรือไข่ไก่
CH_4	=	แก๊สมีเทน
C_{input}, C-input	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่เกิดจากผลรวมของปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิดรวมกับปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในรูปของพลังงานที่ใช้
CO	=	แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์
CO_2	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
C_{output}, C-output	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในมูลสัตว์
C_{plant}	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ
FCR	=	การใช้อาหารเปลี่ยนเป็นร่างกาย เนื้อ น้ำนม หรือไข่ไก่
FE	=	พลังงานที่สูญหายในมูล
GE	=	พลังงานรวมในอาหาร
GWP_S	=	ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน
H	=	ไฮโดรเจน
Kcal	=	กิโลแคลลอรี่
kg	=	กิโลกรัม (กก.)
KJ	=	กิโลจูล
kWh	=	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
LPG	=	แก๊สปิโตรเลียมเหลว

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

m^3	=	ลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม.)
ME	=	พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้
MJ	=	เมกกะจูล (10^6)
N	=	ไนโตรเจน
N.D.	=	ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์
NH_3	=	แก๊สแอมโมเนีย
NO	=	แก๊สไนตริกออกไซด์
N_2O	=	แก๊สไนตรัสออกไซด์
O_2	=	แก๊สออกซิเจน
P	=	ฟอสฟอรัส
TS	=	ของแข็งทั้งหมดหรือวัตถุแห้ง
TVS	=	ของแข็งระเหยทั้งหมด
UE	=	พลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะ
UHT	=	Ultra High Temperature
VFA	=	กรดไขมันระเหยได้
°ซ	=	องศาเซลเซียส
°ฟ	=	องศาฟาเรนไฮต์
การย่อย (digestion)	=	ขบวนการเปลี่ยนลักษณะของอาหารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนให้อยู่ในรูปลักษณะเชิงเดี่ยว เพื่อง่ายต่อการดูดซึมและการนำไปใช้ประโยชน์
การดูดซึม (absorption)	=	ขบวนการขนถ่ายนำเอาโภชนะผ่านผนังของระบบการย่อยอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
อัตราการไหลผ่าน	=	ระยะเวลาที่ใช้ในการที่อาหารชนิดใดชนิดหนึ่งที่สัตว์กินเข้าไปถูกย่อยในระบบและถูกขับออกมา มีหน่วยของเวลาเป็นตัววัด
การขับแก๊ส (eructation)	=	ขบวนการที่สัตว์โค้งงอตัวเพื่อขับแก๊สที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมัก (fermentation) ส่วนใหญ่คือ แก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

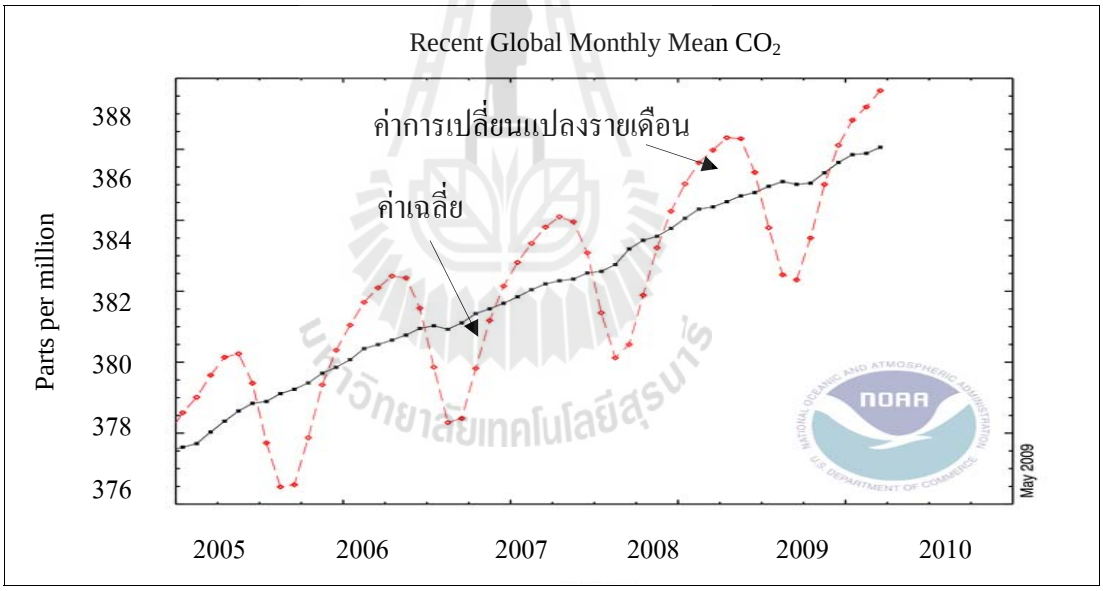
Rumen turnover time	=	ระยะเวลาที่ ingesta พักตัวอยู่ในรูเมน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความสะดวกของการเข้าหมักของจุลินทรีย์ อัตราการไหลผ่านของ ingesta ระยะพักตัวในรูเมนมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินได้ และค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารนั้น
Ingesta	=	อาหารที่สัตว์กินเข้าไปเมื่อได้คลุกเคล้ากับของเหลวในกระเพาะรูเมนแล้ว
Digesta	=	อาหารที่ไหลผ่านออกจากรูเมน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เพราะคาร์บอนเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เมื่อคาร์บอนรวมตัวกับออกซิเจนอย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และสัตว์ต่าง ๆ แก๊ส CO_2 เป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีผลทำให้โลกร้อนขึ้นดังรูปที่ 1.1 และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (อรรถชัย จินตะเวช, 2547)



รูปที่ 1.1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศโลก (จาก “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide-Global.” โดย NOAA, 2009, [On-line]. Available:http: //www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

โดยที่ประชุม Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] ในปี ค.ศ. 1995 ณ ประเทศอังกฤษ สรุปไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเกิดจากแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ การป้องกันหรือแก้ปัญหา โดยวิธีการที่มนุษย์จะต้องลดกิจกรรมที่ก่อ ให้เกิดแก๊สเรือนกระจกลง ตัวอย่างของผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกคือระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ซึ่ง IPCC (1995) ทำนายไว้ว่าในปี ค.ศ. 2100 ระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นประมาณ 3 ฟุต จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ เกิดการลดลงของป่าที่อุดมสมบูรณ์ เกิดการแพร่กระจายและเพิ่มจำนวนของเชื้อโรค อาจทำให้มนุษย์เสียชีวิตด้วยมลภาวะในอากาศและคลื่นความร้อน พืชผลทางการเกษตร และการปศุสัตว์จะได้รับผลกระทบเสียหายจากภัยแล้ง น้ำท่วม พายุ ซึ่งมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทุกที ภูเขาน้ำแข็งที่ขั้วโลกจะละลาย ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นท่วมผืนแผ่นดิน ซึ่งเป็นผลทำให้พื้นที่ในการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ลดลง เช่น พื้นที่ที่อยู่อาศัย พื้นที่เพื่อการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ ในขณะที่จำนวนประชากรของมนุษย์เพิ่มขึ้นจะทำให้มนุษย์ต้องบุกรุกและทำลายป่า ในที่สุดจะส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมกับโลกอีก วนเวียนเป็นปัญหาเช่นนี้เรื่อยไปและรุนแรงมากยิ่งขึ้น สามารถสังเกตได้จากความรุนแรงของภัยพิบัติทางธรรมชาติและมีผลเสียหายต่อชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเรื่อย ๆ การทำปศุสัตว์เพื่อผลิตอาหารของมนุษย์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องจะก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 และ CH_4 ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจก (Tamminga, 1992) ในขณะที่การใช้พลังงานสำหรับการเลี้ยงและฆ่า สุกรและไก่เนื้อ ก็ก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 ด้วยเช่นกัน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

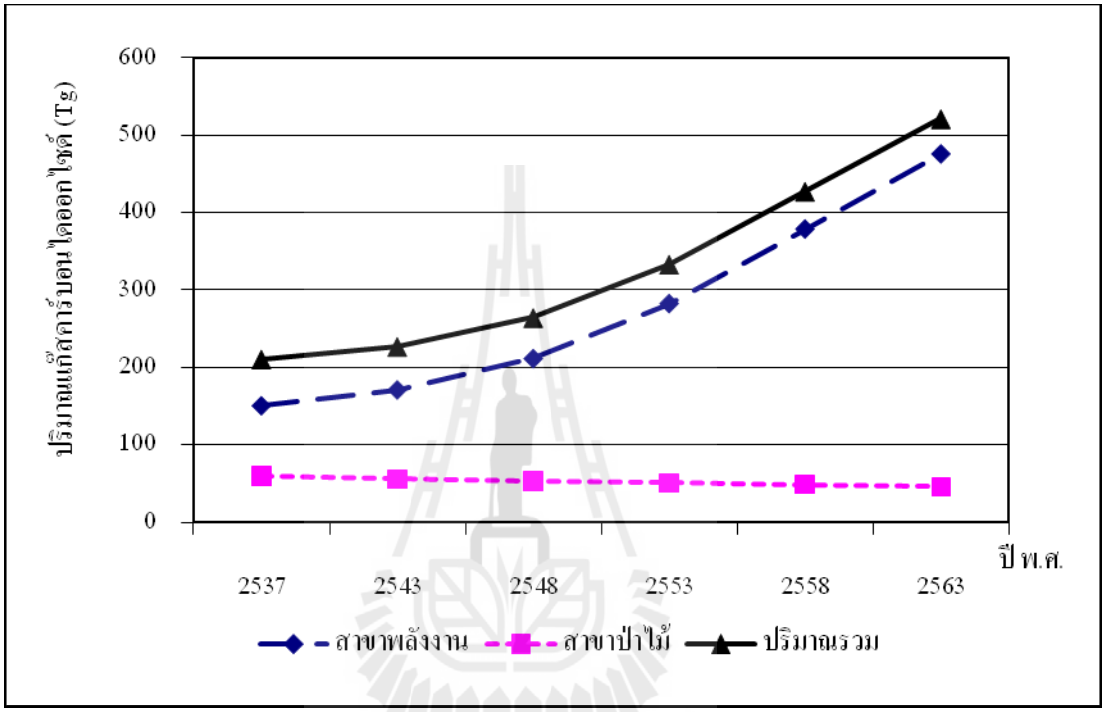
การเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศ และมหาสมุทรไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ มีส่วนต่อการเคลื่อนย้ายคาร์บอนในระบบนิเวศของโลก และเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนมีการสังเคราะห์สารชีวเคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานเคมีในรูปของการเจริญเติบโต และมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาผลาญ และการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตการที่จะรักษาสภาพของโลกให้อยู่ในสภาพเดิมได้นั้น จะต้องเกี่ยวข้องกับการรักษาระบบนิเวศตามธรรมชาติให้คงอยู่ในสภาพสมดุลซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด การดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศบนบกมีบทบาทสำคัญ คาร์บอนที่ถูกเก็บรักษาในรูปแบบนี้เสี่ยงต่อการถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้ อีกอย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนในระบบนิเวศบนบกจากกระบวนการดูดซับคาร์บอนไว้ในรูปต่าง ๆ เช่น พืช สัตว์ และอาศัยการตรึงคาร์บอนของต้นไม้และพื้นที่ป่าจะช่วยแบ่งเบาปัญหาการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศได้ ในขณะเดียวกัน มนุษย์มีการบุกรุกทำลายป่ามากขึ้นและมีการใช้พลังงานที่อยู่ใต้ดินซึ่งเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์มานานด้วย ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ล้วนมีส่วนต่อการกระจายคาร์บอนในบรรยากาศทั้งสิ้น (อรรถชัย จินตะเวช, 2547)

และนอกจากนี้ นิตยา เลาหะจินดา (2549) ยังได้กล่าวถึงการผลิตอาหาร และการย่อยสลายต้องได้สมดุลกัน จึงจะทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ในปัจจุบันมนุษย์ได้เพิ่มอัตราการย่อยสลายโดยการที่มนุษย์เผาถ่านหิน และเชื้อเพลิง การทำกสิกรรมและการเลี้ยงสัตว์เป็นเหตุให้เพิ่มปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศมากเกินกว่าที่ผู้ผลิตหรือพืชจะนำไปใช้ได้ทัน จึงส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลกในที่สุดก็ส่งผลกระทบต่อการกสิกรรม การดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ทั่วไปจัดเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลกในขณะนี้ ดังนั้นเราจึงต้องศึกษา และทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากการปศุสัตว์ และการถ่ายเทคาร์บอนจากสัตว์กินพืชรวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการปศุสัตว์ และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ได้แก่ เนื้อ นม ไข่

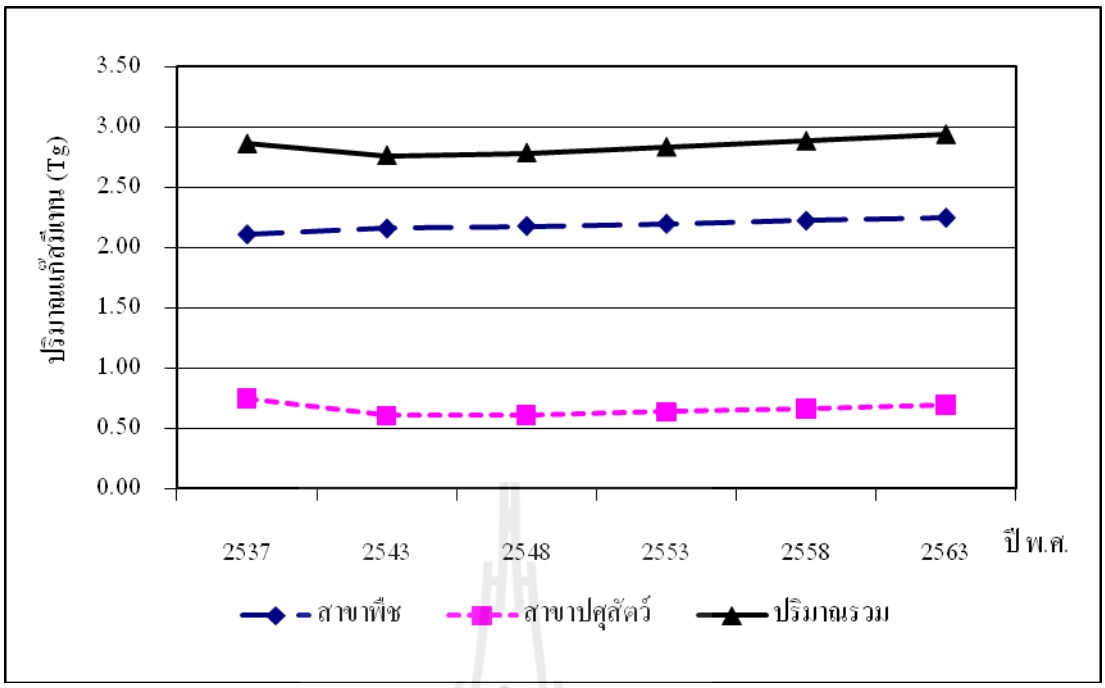
ระบบนิเวศบนบกมีศักยภาพในการตรึงคาร์บอนต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และสภาพของระบบนั้น ๆ โดยเฉพาะในด้านของความสามารถในการตรึงคาร์บอนไว้อยู่ในรูปของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ในแต่ละชนิด อายุของสัตว์ และการจัดการซึ่งกระบวนการถ่ายทอดคาร์บอนไปตามปิรามิดอาหารจึงเป็นกุญแจสำคัญของการศึกษานี้ ทันทีที่คาร์บอนถูกตรึงในรูปของชีวมวลคาร์บอนจะอยู่ในรูปเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ได้นานเท่าใดก่อนที่จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นแก๊ส CO_2 อีกครั้งหนึ่งอันเนื่องจากกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้นการตรึงคาร์บอน (carbon fixation) ในที่นี้คือการดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศแบบกึ่งถาวรมาอยู่ในรูปของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ซึ่งการสะสมปริมาณคาร์บอนสุทธิ (net carbon production) จึงเท่ากับอัตราการสะสมของปริมาณคาร์บอนระหว่างระยะของการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ ของสัตว์ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้อธิบายการหาปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยตามเวลา (time averaged C stocks) มีหน่วยวัดเป็นน้ำหนักของคาร์บอนต่อเวลา (van Noordwijk, Cerri, Woomer, Nugroho, and Bernoux, 1997; van Noordwijk, et al., 1998) ความหมายของการตรึงคาร์บอนนี้แสดงให้เห็นว่า การปลดปล่อยแก๊ส CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศจะถูกบรรเทาได้โดยกระบวนการตรึงคาร์บอนของพืชที่เป็นอาหารสัตว์และในรูปของเนื้อสัตว์ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE) (2000) ได้รายงานข้อมูลการประมาณปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สมีเทน จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 ในรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 1.2 และ1.3 ดังนั้นจากที่กล่าวมาจึงเป็นเหตุผลอย่างหนึ่งที่จะต้องทำการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา เพื่อหาค่าอัตราการปลดปล่อย และการถ่ายเทคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่

การผลิตเนื้อ นม และไข่ เช่น การเลี้ยงในระบบฟาร์ม การขนส่ง การฆ่า และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับเป็นฐานข้อมูลบัญชีคาร์บอนของประเทศเพื่อจัดลำดับความสำคัญของการผลิตอาหารจากการปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ ทั้งกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 น้อยที่สุด



รูปที่ 1.2 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.



รูปที่ 1.3 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สมีเทน จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยเรื่องการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมานี้คือ

1.2.1 เพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ โดยการกินตามห่วงโซ่อาหารก่อนถึงผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

1.2.3 เพื่อศึกษาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารประเภท เนื้อ นม ไข่ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ของจังหวัดนครราชสีมา

1.2.4 เพื่อเสนอแนะ การปรับการเลี้ยงสัตว์ประเภทที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศลดลง แต่ได้ปริมาณเนื้อสัตว์ใกล้เคียงกับของเดิม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

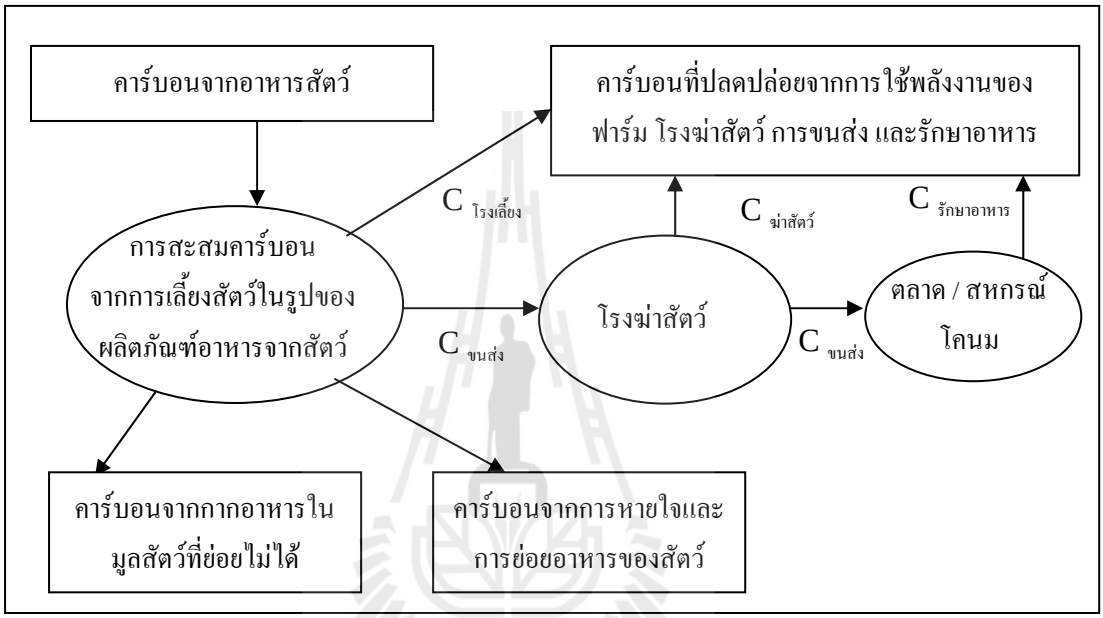
เพื่อให้การศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารเพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยโดยได้อาศัยข้อมูลปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษาเพราะเป็นจังหวัดที่มีจำนวนครัวเรือนและเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรซึ่งประกอบด้วยที่อยู่อาศัย ที่นา ที่พืชไร่ ที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น ที่สวนผักและไม้ดอก ที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ที่รกร้างว่างเปล่า และที่อื่น ๆ รวมแล้วเป็นเนื้อที่ถึง 7,793,412 ไร่ ในปี 2544 ซึ่งมากเป็นอันดับ 1 ของประเทศ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) และมีการทำปศุสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญหลายชนิดมากกว่าจังหวัดอื่น ๆ และเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ (กรมปศุสัตว์, www.dld.go.th/index.html, 2548) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้เป็นตัวแทนของประชากรปศุสัตว์ทั้งประเทศ

การศึกษานี้จะต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์ทั้ง 6 ชนิดได้แก่ โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ที่มีการเลี้ยงอยู่จริงในฟาร์มของเกษตรกรโดยไม่ได้คำนึงถึงพันธุ์ของสัตว์ในแต่ละชนิด แต่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะต้องมีอายุอยู่ในช่วงที่จะใช้ประโยชน์หรือให้เนื้อ นม และ ไข่เท่านั้น การศึกษานี้เน้นที่สัตว์กินพืช และสัตว์ที่มีลักษณะของการกินที่ทราบชนิดและปริมาณของอาหารที่สัตว์กินในทุก ๆ อำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมาซึ่งมีด้วยกัน 26 อำเภอ 6 กิ่งอำเภอ โดยจะเน้นแหล่งข้อมูลที่มีระบบการจัดการปศุสัตว์ในรูปของฟาร์มปศุสัตว์ที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นหลัก การประเมินและวิเคราะห์ระบบจะพิจารณาเสมือนระบบอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทมวลคาร์บอน (carbon mass flow concept) ซึ่งการประเมินปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงาน รวมทั้งการตรึงคาร์บอนของสัตว์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงถึงปริมาณคาร์บอนสุทธิที่ใช้ในการผลิตอาหารจากสัตว์โดยการสะสมคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ลบด้วยปริมาณคาร์บอนต่อตัวต่อวันที่ถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ในรูปของกากอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ จากการหายใจรวมทั้งจากการย่อยอาหารของสัตว์ตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงสัตว์จนส่งโรงฆ่าสัตว์ และคาร์บอนเฉลี่ยที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ขนส่ง ฆ่าสัตว์ โดยมีพลังงานส่วนสำคัญใหญ่ 4 ส่วน ที่เกี่ยวข้องได้แก่

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้า หรือน้ำมันที่ใช้ในโรงเรือนเพื่อการเลี้ยงสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการฆ่าสัตว์ และพลังงานความร้อนในการถอนขน หรือขูดขนสัตว์ ในโรงฆ่าสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แช่แข็ง และน้ำนมโค (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งตัวสัตว์ไปโรงฆ่าสัตว์ และขนส่งเนื้อสัตว์หลังชำแหละไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป หรือขนส่งน้ำนมโคจากฟาร์มไปสหกรณ์โคนมต่าง ๆ ในจังหวัด (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสัตว์และความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณคาร์บอนที่ใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ผลการศึกษาทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตรึงคาร์บอนจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาซึ่งได้แก่ โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ สำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม

จากสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิด รวมทั้งสัดส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนต่อคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์แต่ละชนิดโดยการกิน ทำให้สามารถใช้เป็นเหตุผลหนึ่งในการบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอายุของโคเนื้อ และกระบือจะทำให้สามารถทราบถึงแนวทางในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือ โดยควรที่จะขายโคเนื้อหรือกระบือเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์ในช่วงอายุไม่เกินไปจาก 2 ปี และ 4 ปี ตามลำดับ เพราะหลังจากนี้โคเนื้อ และกระบือจะมีอัตราการสะสมคาร์บอนไว้ในร่างกายลดลง

รวมทั้งสามารถเปลี่ยนแนวทางในการจัดการลดการปลดปล่อยคาร์บอน จากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานความร้อน ด้วยการปรับเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นแกลบหรือฟืนมาเป็นการใช้แก๊ส LPG แทน และแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อ โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ใหญ่ประเภทที่สามารถทดแทนกันได้ ด้วยการปรับลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อลง แล้วเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือทดแทน เพื่อชดเชยปริมาณการผลิตเนื้อสัตว์ให้มีอัตราเท่าเดิม

นอกจากนี้ผลการศึกษานี้ยังเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการวิจัยต่อไป โดยการเผยแพร่ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติแล้ว ผลการศึกษานี้ยังสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดทำรายงานแห่งชาติเสนอต่อสำนักเลขาธิการอนุสัญญาภายใต้พิธีสารเกียวโต ตามพันธกรณีที่ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันไว้ และเก็บผลการวิจัยไว้ในฐานข้อมูลเพื่อการวิจัยของสถาบันต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบนิเวศและความสัมพันธ์เชิงระบบ (Ecosystems and System Relationship)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเป็นการศึกษาทางนิเวศวิทยา (ecology) ซึ่งเป็นการศึกษาการประกอบกันของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าระบบนิเวศ (ecosystem) มุ่งเน้นการศึกษาในระดับประชากร (population) ชุมชน (community) และระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิต โดยสนใจบทบาทหรือการดำรงชีวิต การหมุนเวียนของสารและพลังงานอันนำไปสู่การเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ซึ่งมีกระบวนการของสิ่งมีชีวิตที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย เพื่อนำไปสู่ความสมดุลของระบบ

Marsh and Grossa (1996) ให้ความหมายของระบบนิเวศ หมายถึง กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่เชื่อมโยงปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับการถ่ายโยงพลังงานในห่วงโซ่อาหาร (food chain) รวมทั้งชุมชนของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตนั้น

มุกดา สุขสมาน (2536) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ระบบนิเวศ หมายถึง ระบบของความสัมพันธ์ของ สิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันโดยการแลกเปลี่ยนสสารแร่ธาตุและถ่ายทอดพลังงานกับสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อาหาร (food chain) มีลำดับขั้นของการกินเป็นทอด ๆ เริ่มจากพืชซึ่งเรียกว่าเป็นผู้ผลิต เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมี (คาร์โบไฮเดรต) โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง พลังงานเคมีนี้จะถูกถ่ายทอดไปอยู่ในผู้บริโภคโดยการกิน เมื่อสัตว์ตายซากสัตว์จะเน่าเปื่อยย่อยสลายโดยผู้ย่อยสลาย พลังงานถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดิน พืชหรือผู้ผลิตก็จะดูดธาตุอาหารเหล่านี้ไปทำให้สสารและแร่ธาตุมีการหมุนเวียนไปใช้ในระบบจนเกิดเป็นวัฏจักร (cycle) นั่นก็คือวัฏจักรของธาตุทำให้เกิดระบบนิเวศขึ้น เพราะฉะนั้นในระบบนิเวศจึงประกอบด้วยการถ่ายทอดพลังงานไปตามลำดับขั้นในห่วงโซ่อาหารเป็นช่วง ๆ วัฏจักรของธาตุ และกลไกการควบคุมประชากร การจำแนกองค์ประกอบของระบบนิเวศ ส่วนใหญ่จะจำแนกเป็น 2 องค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ องค์ประกอบที่มีชีวิต (biotic components) และองค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (abiotic components)

องค์ประกอบที่มีชีวิตในระบบนิเวศจะมีบทบาทและหน้าที่ (ecological niche) เฉพาะอย่างโดยองค์ประกอบที่มีชีวิตในระบบนิเวศ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับดังนี้

1) ผู้ผลิต (producers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้เองจากสารอนินทรีย์ โดยการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ซึ่งส่วนมากจะเป็นพืชที่มีคลอโรฟิลล์โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานให้เป็นพลังงานเคมีโดยอยู่ในรูปของสารอาหารได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ดังสมการที่ 2.1

แสงและคลอโรฟิลล์

$$nCO_2 + (n+m)H_2O \text{ ----------> } n(CH_2O) + nO_2 + mH_2O \qquad (2.1)$$

2) ผู้บริโภค (consumers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้แต่จะดำรงชีวิตได้โดยการบริโภคสารอาหารจากสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งสามารถจำแนกผู้บริโภคออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ผู้บริโภคที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivores) เช่น วัว ควาย ช้าง

กลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคที่กินสัตว์เป็นอาหาร (carnivores) เช่น สิงโต เสือ ปลาฉลาม งู

กลุ่มที่ 3 ผู้บริโภคที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (omnivores) เช่น หมู ไก่ คน

3) ผู้ย่อยสลาย (decomposers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ทำหน้าที่ย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วในรูปของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ จนกลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กในรูปของสารอาหาร ปลดปล่อยสารอาหารกลับคืนสู่พื้นดิน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของผู้ผลิตนำไปใช้ได้ใหม่ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา

องค์ประกอบของสิ่งที่มีชีวิต สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1) สารอนินทรีย์ (inorganic substances) ประกอบด้วย แร่ธาตุ และสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน CO_2 และน้ำ เป็นต้น

2) สารอินทรีย์ (organic substances) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อชีวิต เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และฮิวมัส เป็นต้น

3) สภาพภูมิอากาศ (climate regime) เป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อุณหภูมิ แสง ความชื้น อากาศ และพื้นผิวที่อยู่อาศัย

แหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในระบบนิเวศ คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ สารเคมีในรูปของอินทรีย์สารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงได้แก่ คาร์โบไฮเดรต และสารเคมีในรูปของอนินทรีย์สาร ได้แก่ ออกซิเจน และน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบเข้าด้วยกันในรูปของการรับ และการให้อาหารตามห่วงโซ่อาหาร

2.1.1 หน้าที่ที่สำคัญของระบบนิเวศ

หน้าที่สำคัญของระบบนิเวศ คือ คือการถ่ายทอดพลังงาน (energy flow) และการหมุนเวียนของธาตุอาหาร (nutrient cycle) กระบวนการส่งต่อพลังงานโดยการบริโภคเป็นการถ่ายทอดพลังงานเข้าไปในระบบนิเวศ และท้ายสุดก็มีพลังงานถูกถ่ายทอดออกจากระบบนิเวศในรูปของความร้อนเช่นกัน การถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศจะถ่ายทอดตามการบริโภคต่อกันเป็นระดับชั้นซึ่งเรียกว่า ถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) และข่ายใยอาหาร (food web) (อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531 และ Odum, 1971)

ห่วงโซ่อาหาร (food chain) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ห่วงโซ่อาหารชนิดที่มีการกินอาหารโดยตรง (grazing food chain) เริ่มจากพืชสีเขียว ถูกสัตว์กินพืชกินเป็นอาหาร จากนั้นสัตว์กินสัตว์ก็เข้ามากินสัตว์กินพืช และห่วงโซ่อาหารของการสลายอินทรีย์วัตถุ (detritus food chain) ห่วงโซ่อาหารประเภทนี้เริ่มจากซากสิ่งมีชีวิตเน่าสลายแล้วมีสัตว์อื่นเข้ามากิน

ข่ายใยอาหาร (food web) ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตไม่ได้ดำรงในลักษณะใด ๆ ส่งถ่ายทอดพลังงานตามห่วงโซ่อาหาร แต่สิ่งมีชีวิตจะเกิดการกินกันข้ามห่วงโซ่อาหาร สลับซับซ้อน ห่วงโซ่อาหารหลายห่วงโซ่ที่เชื่อมโยง และมีความสัมพันธ์กัน (interconnection) โดยผ่านการบริโภค เรียกว่า ข่ายใยอาหาร

2.1.1.1 การถ่ายทอดพลังงานจะเป็นไปตามกฎเทอร์โมไดนามิกส์ (Law of Thermodynamics) ซึ่งมีอยู่ 2 ข้อ คือ กฎข้อที่ 1 กฎแห่งการคงอยู่ (Law of Conservation) พลังงานไม่สามารถจะสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลายได้ แต่พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปใหม่ได้ และสามารถจะเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ และกฎข้อที่ 2 กฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of Entropy) พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปจะต้องมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ ความร้อนที่สูญเสียเป็นความร้อนที่มีอนุภาคต่ำไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เมื่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในรูปของสารอาหารจะถูกส่งต่อไปในระบบนิเวศ โดยจะมีการสูญเสียพลังงานไปในทุกขั้นตอนของการเปลี่ยนรูปในห่วงโซ่อาหาร สรุปได้ว่าพลังงานที่จะส่งต่อไปยังผู้บริโภคระดับสูงนั้นจะเหลือเพียงส่วนน้อยเนื่องจากมีพลังงานที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ 3 ส่วนคือ พลังงานในส่วนที่กินไม่ได้ พลังงานในส่วนที่ย่อยไม่ได้ และพลังงานที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน

2.1.1.2 การหมุนเวียนของธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายทอดพลังงานโดยธาตุที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการสร้างโมเลกุลมีทั้งหมด 15 ธาตุดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งธาตุหลัก 3 ธาตุ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ในการสังเคราะห์แสงคือ ไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน โดยที่ทั้ง 3 ธาตุนี้รวมกันจะมีสัดส่วนถึง 99.47% ของธาตุทั้งหมดที่มีความ

จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (Marsh and Grossa, 1996) ในการหมุนเวียนของธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายทอดพลังงาน โดยในที่นี้เริ่มจากจุลินทรีย์ในดินเป็นตัวการสำคัญในการย่อยสลายของอินทรียสาร และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาสำหรับใช้เป็นอาหารของพืช การถ่ายทอดพลังงานเป็นวงจรเปิด ซึ่งแตกต่างจากการหมุนเวียนของธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่หายไป แต่จะหมุนเวียนกลับมาให้พืชได้ใช้เป็นอาหารอยู่เสมอ แร่ธาตุที่เป็นหัวใจสำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส แร่ธาตุเหล่านี้จะมีการหมุนเวียนระหว่างสิ่งมีชีวิตและส่วนที่ไม่มีชีวิตในระบบนิเวศ จึงทำให้เกิดวัฏจักรที่มีความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งสะสมที่ผิวโลก (Kupchella and Hyland, 1989) จะเห็นว่าแร่ธาตุโดยเฉพาะแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตได้เคลื่อนย้ายผ่านไปในอากาศ ดิน น้ำ และผ่านเข้าไปในวงจรของสิ่งมีชีวิต และมีเฉพาะฟอสฟอรัสเท่านั้นที่จำกัดตัวเองอยู่ในดินและน้ำ ตามวงจรการหมุนเวียนในธรรมชาติหรืออาจจะพิจารณาการถ่ายทอดพลังงานในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ซึ่ง Odum (1971) และ Cunningham and Saigo (2001) ได้แสดงให้เห็นว่า สารอาหารในมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตจะถูกใช้ในการดำรงชีวิตซึ่งในการกินเป็นลำดับในห่วงโซ่อาหารนั้นมิใช่ทุกส่วนของพืชหรือสัตว์จะถูกกิน และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมสร้างเนื้อเยื่อของผู้บริโภคเพื่อการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด แต่จะมีเนื้อเยื่อส่วนที่กินไม่ได้รวมทั้งส่วนที่กินไปแล้วไม่สามารถย่อยได้ในระบบย่อยอาหาร จึงเป็นของเหลือที่ผู้ย่อยสลายซากจะได้ย่อยสลาย และกลายเป็นสารอาหารสะสมในระบบนิเวศ

2.1.2 วัฏจักรของแร่ธาตุในระบบนิเวศ

นักนิเวศวิทยากล่าวว่า วัฏจักรการหมุนเวียนทางชีวธรณีเคมีมี 2 ชนิด คือ

2.1.2.1 วัฏจักรในธรณีภาค (lithospheric cycles) เป็นวัฏจักรที่มีการหมุนเวียนของแร่ธาตุที่ถูกปลดปล่อยจากหินตะกอน ดินต่าง ๆ โดยกระบวนการชะล้าง (weathering) แหล่งสะสมส่วนใหญ่จึงอยู่ที่ผิวโลกส่วนธรณีภาค (lithosphere) เช่น ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น วัฏจักรในธรณีภาคนี้มักมีลักษณะสำคัญ คือ จะมีแหล่งสะสม (sink) ที่ธาตุเหล่านี้จะถูกตรึงเอาไว้เป็นเวลานานนอกวัฏจักร และจะมีการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ในวัฏจักรใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก (นิตยา เลาหะจินดา, 2549) ธาตุจากแหล่งเก็บกักสามารถหมุนเวียนสู่แหล่งพร้อมสู่กระบวนการ เพื่อให้พืชและสัตว์ลำเลียงไปใช้ในห่วงโซ่อาหาร ตัวอย่างเช่นแหล่งแร่ธาตุในดินจะถูกพืชดึงขึ้นมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและเก็บส่วนหนึ่งไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชและสัตว์ และธาตุจะกลับคืนสู่ดิน เมื่อเกิดการเน่าสลายของพืชและสัตว์ ส่วนแหล่งแร่ธาตุอีกส่วนหนึ่งก็จะถูกชะล้างพังทะลายโดยลม ฝน น้ำ ฯลฯ เพื่อลำเลียงธาตุสู่แม่น้ำทะเล มหาสมุทร สู่การกินของ

พืช และสัตว์เล็ก ๆ ในแหล่งน้ำ เช่น แพลงก์ตอน ปลา และมนุษย์ในที่สุด บางส่วนก็สามารถฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศ เช่น ซัลเฟอร์ คลอรีน เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงธาตุก็เกิดการแปรสภาพเป็นตะกอนในทะเล มหาสมุทร เป็นการแปรสภาพกลับคืนสู่แหล่งเก็บกักของธาตุโดยอยู่ในรูปของแหล่งแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต

ธาตุ	ร้อยละ	ความสำคัญ
ไฮโดรเจน	49.74	ธาตุหลัก 3 ธาตุ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสง
คาร์บอน	24.90	
ออกซิเจน	24.83	
ไนโตรเจน	0.272	Macronutrient คือธาตุที่จำเป็นสูงสำหรับสิ่งมีชีวิต
แคลเซียม	0.072	
โปรแตสเซียม	0.044	
แมกนีเซียม	0.031	
ซัลเฟอร์	0.017	
ฟอสฟอรัส	0.013	
ซิลิกอน	0.033	Micronutrients คือ ธาตุที่มีความจำเป็นรองลงไปสำหรับสิ่งมีชีวิต
อลูมินัม	0.016	
คลอรีน	0.011	
โซเดียม	0.006	
เหล็ก	0.005	
แมงกานีส	0.003	

หมายเหตุ : จาก Land Use and Earth Systems. Environmental Geography Science, Marsh and Grossa, 1996, New York: John Wiley & Sons.

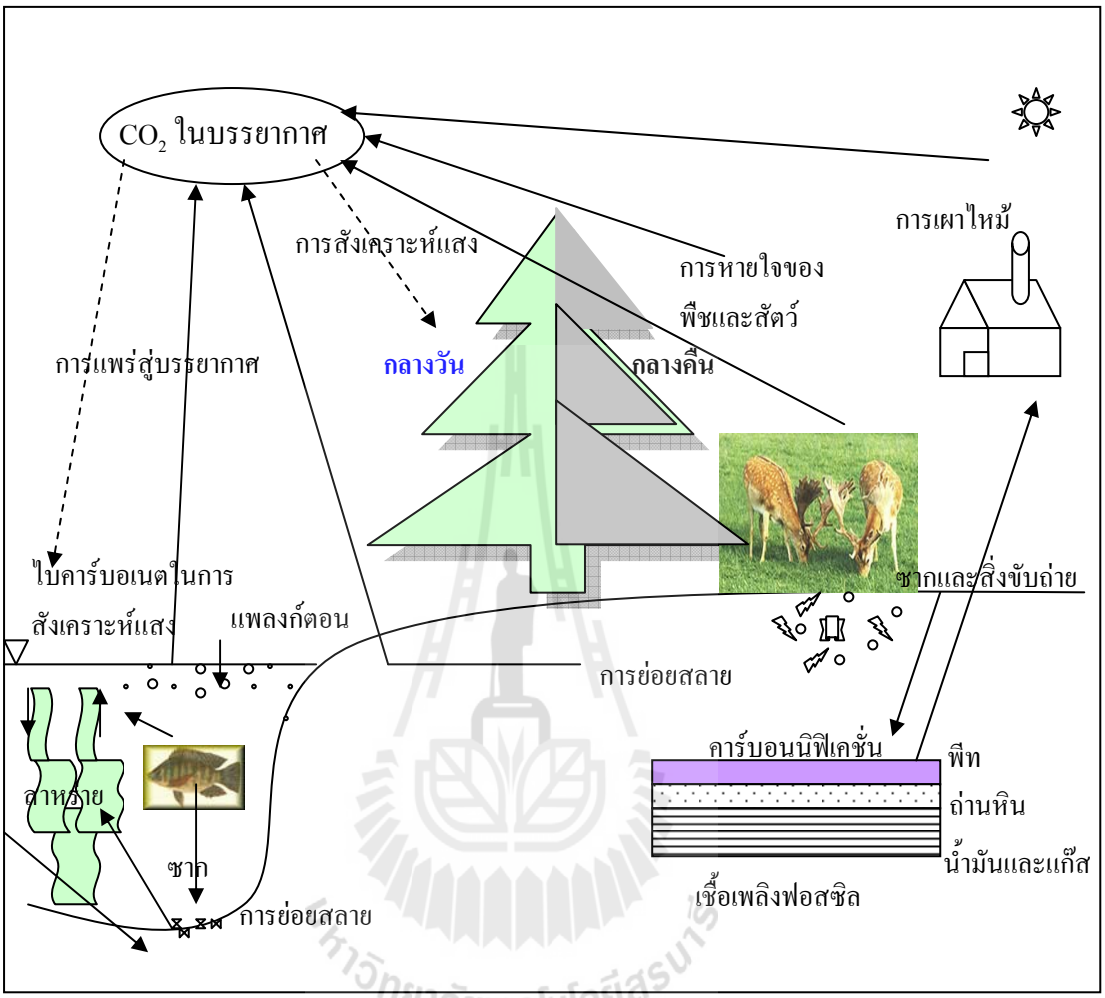
2.1.2.2 วัฏจักรในบรรยากาศ (atmospheric cycles) เป็นการหมุนเวียนของแร่ธาตุที่มีแหล่งสะสมส่วนใหญ่อยู่ในบรรยากาศ ในสถานะแก๊สเช่น คาร์บอน หรือไนโตรเจน ส่วนใหญ่จะเป็นวัฏจักรที่ใช้เวลาไม่ยาวนานนัก

การหมุนเวียนทางชีวธรณีเคมีจะเริ่มจากแหล่งแร่ธาตุ (pool) ซึ่งจะมี 2 ชนิด คือ แหล่งธาตุพร้อมสู่กระบวนการ (active pool) คือ แหล่งแร่ธาตุที่อยู่ในรูปและสถานที่ง่ายต่อการใช้ของกระบวนการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์เช่น O_2, CO_2 ในบรรยากาศ และแหล่งธาตุเก็บกัก (storage pool) คือแหล่งแร่ธาตุที่นำเข้าสู่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตได้ยาก แหล่งธาตุพร้อมสู่

กระบวนการจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าและเร็วกว่า แหล่งธาตุเก็บกัก ตัวอย่างเช่นในวัฏจักรของคาร์บอนกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการหายใจของพืชเป็นการใช้แก๊ส CO_2 ในบรรยากาศซึ่งเป็นแหล่งธาตุพร้อมสู่กระบวนการ ระยะเวลา อาจจะเกิดขึ้นสั้น ๆ ในขณะที่การแปรสภาพจาก CO_2 เป็นตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นแหล่งธาตุเก็บกักจะใช้เวลาหลายล้านปี

1) วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) มีการหมุนเวียนคาร์บอนเกิดขึ้นระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันเป็นหลัก โดยเกิดขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีการเผาไหม้ (combustion) ของเชื้อเพลิง และการผุพังอยู่กับที่ (weathering) ของหินปูนเข้ามาร่วมในวัฏจักรด้วย ธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบหลักที่ประกอบเป็นเซลล์ของสิ่งมีชีวิต หรือกล่าวได้ว่าคาร์บอนเป็นโครงร่างของสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด ดังนั้นจึงมีความสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตมาก วัฏจักรคาร์บอนอาจเริ่มที่พืชดึงแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ ไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ดึงคาร์บอนจากบรรยากาศมาใช้ จากนี้ธาตุคาร์บอนจะมีการหมุนเวียนไปตามห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศในสภาพสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ธาตุคาร์บอนจะหมุนเวียนกลับแหล่งสะสมในบรรยากาศใหม่โดยการหายใจของสิ่งมีชีวิต และการย่อยสลายซากของจุลินทรีย์และผู้ย่อยสลายอื่นๆ ซึ่งได้แก๊ส CO_2 กลับคืนสู่บรรยากาศใหม่ ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นที่ไม่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีการหมุนเวียน CO_2 สู่บรรยากาศเช่นเดียวกับ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตเช่น ซากสิ่งมีชีวิตที่ถูกทับถมภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนับร้อยล้านปีเกิดเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้เกิดแก๊ส CO_2 สู่บรรยากาศ จนเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effects) ขึ้นทั่วโลก คาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และ CO_2 โดย CO_2 ที่เข้าสู่พืชจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตนี้จะสลายตัวเป็น CO_2 ทั้งหมดในกระบวนการหายใจ สารอนินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ในหลายแหล่งภายในระบบนิเวศ เช่น CO_2 ในอากาศ CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำ คาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในน้ำ และคาร์บอเนตที่อยู่ในตะกอน คาร์บอนในแหล่งสะสมต่าง ๆ เหล่านี้สิ่งมีชีวิตนำเอาไปใช้มากน้อยต่าง ๆ กัน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนหรือไหลผ่าน คาร์บอนที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศเป็นไปอย่างช้ามาก ธาตุคาร์บอนในสภาพหินปูน (carbonate rock) อาจมีการผุกร่อนตามธรรมชาติ และมีการชะล้าง สะสมในแหล่งน้ำเป็นสารละลายคาร์บอเนต ซึ่งพืชน้ำจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ต่อไป บางส่วนของสารละลายคาร์บอเนตซึ่งมักอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้ CO_2 และน้ำ แก๊ส CO_2จากปฏิกิริยาการแตกตัวจะซึมผ่านผิวหน้าน้ำกลับสู่บรรยากาศได้ ปฏิกิริยาของ CO_2 ในน้ำสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.2 - 2.5 โดยสมการเคมีของ CO_2 ในน้ำนี้จะเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดได้ทั้งสองทาง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในน้ำ เช่น pH และอุณหภูมิ

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \text{ (กรดคาร์บอนิก)} \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอน มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศโดยผ่านการสังเคราะห์แสง การหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (จาก Ecology and Field Biology, Smith, 1974, New York : Harper and Row อ้างถึงใน นิตยา เลาหะจินดา, 2549, นิเวศวิทยา : พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา)

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO^-_3 \text{ (ไบคาร์บอเนตอิออน)} \qquad (2.3)$$

$$HCO^-_3 \longrightarrow H^+ + CO^{2-}_3 \text{ (คาร์บอเนตอิออน)} \qquad (2.4)$$

CO_3^{2-} + อิออนบวก เช่น Ca^{2+} ⟶ $CaCO_3$ (เกลือคาร์บอเนต) (2.5)

ดังนั้น วัฏจักรคาร์บอนในน้ำและบนบกจึงค่อนข้างจะแยกออกจากกัน โดยวัฏจักรของคาร์บอนที่บ่งบอกถึงปริมาณของคาร์บอนจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ปริมาณการปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้นทุกทีอาจกล่าวได้ว่าในศตวรรษหน้าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศจะมีถึง 2 เท่าของปัจจุบัน เนื่องจาก CO_2 เป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อการกำหนดคุณภาพของอากาศในโลก ดังนั้น ถ้ามีแก๊ส CO_2 มากเป็น 2 เท่า จะทำให้อากาศรอบ ๆ โลกร้อนขึ้นประมาณ 1.5 °ซ – 4.5 °ซ อีกทั้งการเพิ่มประชากรมนุษย์ของโลก ทำให้มีการตัดไม้ทำลายป่ากระจายไปทั่วโลกโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาเมื่อต้นไม้หมดไปจึงไม่มีต้นไม้มาซึมซับแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้น (มุกดา สุขสมาน, 2536)

2) วัฏจักรไนโตรเจน (nitrogen cycle) ไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นของสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง โดยจะเป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะไม่สามารถใช้แก๊ส N_2 ในบรรยากาศได้โดยตรงแต่จะใช้ได้เมื่ออยู่ในสภาพสารประกอบ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรต ดังนั้นแหล่งสะสมที่แท้จริงของไนโตรเจนจึงอยู่ในสภาพสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย โปรตีน กรดนิวคลีอิก ธาตุไนโตรเจนในบรรยากาศจึงจำเป็นต้องถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในสภาพที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะใช้ได้ ซึ่งเกิดโดยการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องอาศัยแบคทีเรียและจุลินทรีย์หลายชนิด จึงจะทำให้เกิดสมดุลของการหมุนเวียนแร่ธาตุเหล่านี้ได้ วัฏจักรไนโตรเจนและคาร์บอนในระบบนิเวศมีข้อแตกต่างที่สำคัญหลายประการเช่น การสลายตัวของสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นสารอนินทรีย์มีหลายขั้นตอนในบางขั้นตอนต้องการแบคทีเรีย และมีโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศเป็นจำนวนมาก (3.85×10^{21} กรัม) ซึ่งสิ่งมีชีวิตนำเอามาใช้ไม่ได้ ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตมีไนโตรเจนที่ไหลสู่ระบบนิเวศประมาณ 3% พืชดูดซึมเอาไนโตรเจนไปใช้ได้ไม่ถึง 1% ของปริมาณไนโตรเจนที่ไหลอยู่ในวัฏจักร พืชบกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไม้ใหญ่มีไนโตรเจนน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรต เช่น เซลลูโลส ลิกนิน (อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531)

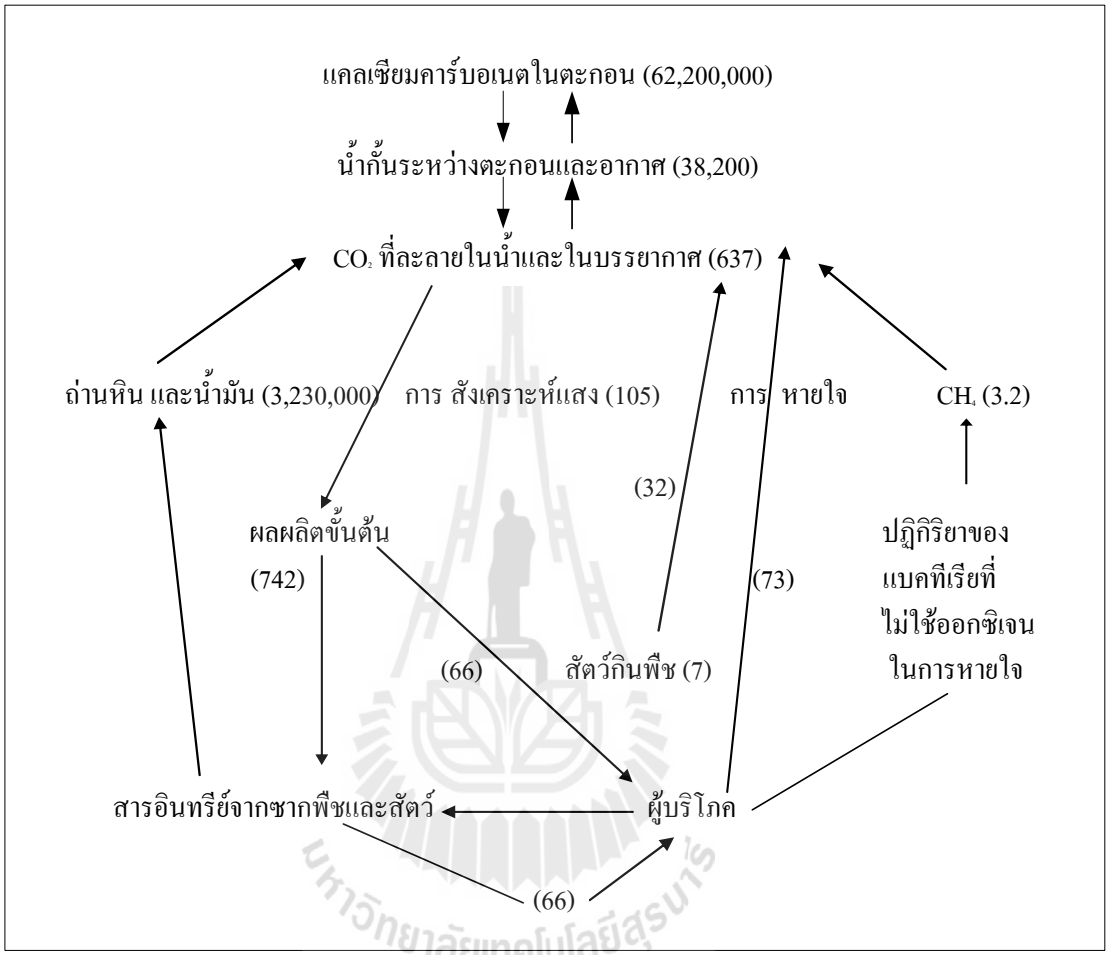
2.1.3 ปัจจัยหลักในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

ปัจจัยหลักในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ (physical factors) และปัจจัยทางชีวภาพ (biotic factors) (สมพงษ์ ธรรมถาวร, 2541)

2.1.3.1 ปัจจัยทางกายภาพได้แก่ สิ่งไม่มีชีวิต ทั้งหลายซึ่งอาจจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1) ปัจจัยเกี่ยวกับดิน (soil factor) ซึ่งหมายถึงคุณภาพ ประเภทและองค์ประกอบของดิน รวมทั้งพวกที่เป็นธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืช

2) ปัจจัยเกี่ยวกับน้ำ (water factor) รวมเอาความชื้นในอากาศและปริมาณน้ำฝนระหว่างปี ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในตัวของสิ่งมีชีวิต



รูปที่ 2.2 วัฏจักรคาร์บอน และปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็น 10^{15} กรัม (จาก Ecology, โดย Ricklefs, 1973, Massachusetts : Chirm Press, อ้างถึงในอู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531, นิเวศวิทยา (หน้า 115-117), กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช)

3) ปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ (temperature factor) มีผลต่อแบบแผนการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในเขตต่าง ๆ ของโลกเช่น เขตร้อน (tropical) เขตอบอุ่น (temperate) และเขตหนาว (tundra)

4) ปัจจัยเกี่ยวกับแสง (light factor) แสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแหล่งเดียวของโลก พืชจะเป็นผู้ถ่ายทอดเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงโดยการสังเคราะห์แสง ให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี (สารอาหาร) และแสงยังมีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตด้วยเช่น แสงกำหนดเวลาออกหาอาหารของสัตว์ เป็นต้น

5) ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพบรรยากาศที่ผิวโลก (atmospheric factor) เช่น สภาวะมลพิษทางอากาศ ปัญหาภาวะโลกร้อน การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลก เป็นต้น

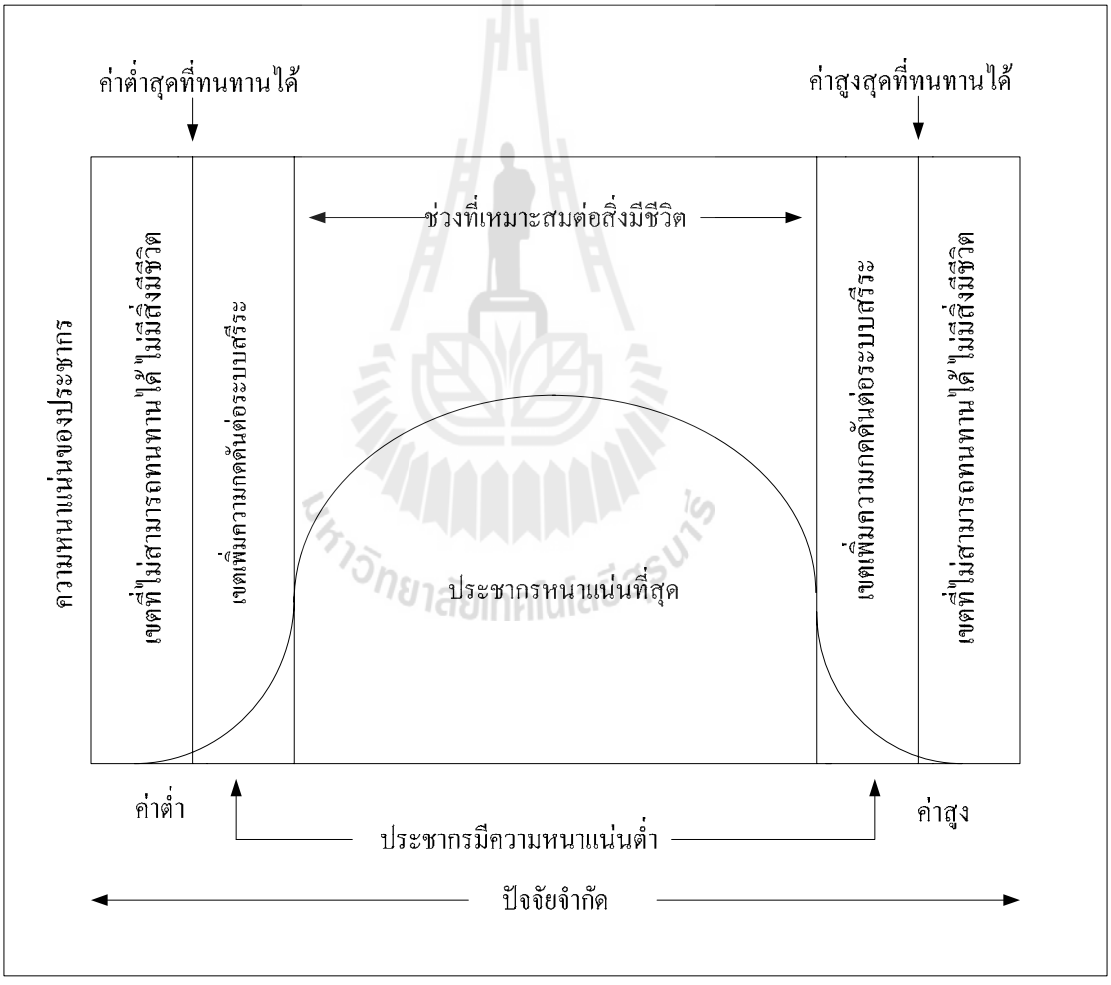
2.1.3.2 ปัจจัยทางชีวภาพ ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตด้วยกันเอง ทุกชั้น ทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ จุลชีพ ทั้งพวกที่สังเคราะห์แสงได้หรือพวกที่สังเคราะห์แสงไม่ได้ ซึ่งกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ได้แก่ พวกที่อาศัยอยู่ร่วมกัน (symbiotic phenomena) สัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivorous animals) พวกที่อยู่รวมกันและตรึงไนโตรเจนได้ (symbiotic nitrogen fixation) และพวกที่เป็นอิสระและตรึงไนโตรเจนได้ (nonsymbiotic nitrogen fixation)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดย่อมมีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตเฉพาะตัว และไม่เพียงแต่ปัจจัยจำกัดในสภาพที่น้อยเกินไปเท่านั้นที่มีผลให้สิ่งมีชีวิตตาย ปัจจัยจำกัดนี้ถ้ามีมากเกินไป จะเป็นสาเหตุให้สิ่งมีชีวิตตายได้เช่นกัน ดังนั้นสิ่งมีชีวิตจึงมีชีวิตอยู่ในช่วงต่ำสุดและสูงที่สุดของแต่ละปัจจัยจำกัด (limit of tolerance) ซึ่งนิตยา เลาหะจินดา (2549) ได้อธิบายไว้ว่า ความหนาแน่นของประชากรจะสูงสุดในช่วงที่ปัจจัยจำกัดอยู่ในช่วงกลาง ๆ หรือช่วงที่เหมาะสมที่สุด (optimum) ค่าความเหมาะสมนี้แตกต่างไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิต และในช่วงที่ปัจจัยจำกัดมีค่าต่ำสุดและสูงสุดจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและทำให้ความหนาแน่นของประชากรน้อยกว่าปกติ ในขณะที่ช่วงที่อยู่นอกขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุด ไม่มีสิ่งมีชีวิตที่สามารถอาศัยอยู่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

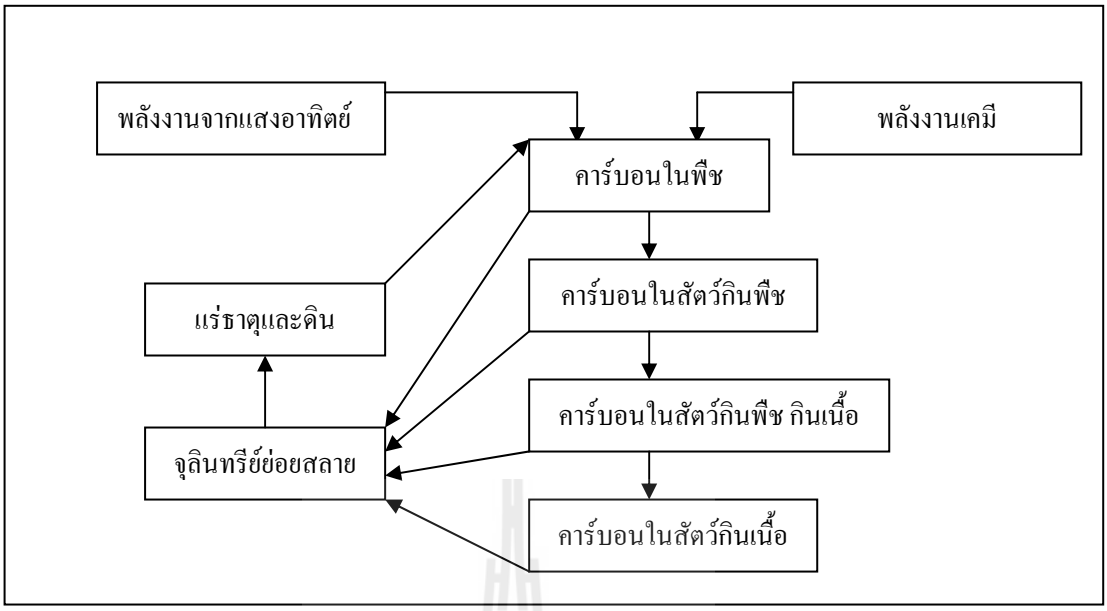
Stuth, Lyons, and Kreuter (1993) ได้กล่าวว่า ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการขยายการผลิตปศุสัตว์ ได้แก่ การเลือกชนิดของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ขนาดการใช้ที่ดินและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ ระดับของการเลือกบริโภคของมนุษย์ ตำแหน่งใกล้หรือไกลของพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์กับศูนย์กลางที่มีประชากรหนาแน่น นอกจากนี้ Simpson (1993) ยังได้กล่าวถึงความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มจำนวนของประชากรและผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมที่ตามมามากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยการเพิ่มความหนาแน่นของการผลิตปศุสัตว์ตามความต้องการอาหารของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการผลิตอาหารประเภท นม ไก่ และหมู ซึ่งการพัฒนาทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของคนทั้งในชนบทและในเมือง ต้องได้รับการสนับสนุนจากระบบการค้าขายที่เกิดจากการขายสินค้าเกษตร และสินค้าจากการปศุสัตว์ที่ผลิตได้

2.1.4 ความสัมพันธ์เชิงระบบของคาร์บอน

ดิน พืช สัตว์ และมนุษย์ ต่างก็พึ่งพาอาศัย และเกื้อกูลซึ่งกันและกัน และสามารถอธิบายได้ในเชิงของสมดุลมวลคาร์บอนโดยความสัมพันธ์ของคาร์บอนระหว่างทรัพยากรดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 พบว่าพืชเป็นตัวจักรสำคัญที่จะรับเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยใช้แก๊ส CO_2 ที่มีอยู่ในบรรยากาศ เพื่อสร้างเป็นเซลล์และเนื้อเยื่อของพืช จากนั้นเมื่อสัตว์กินพืชก็จะเกิดการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์ และในที่สุดสัตว์กินพืชเหล่านี้ ก็กลายเป็นอาหารของสัตว์กินเนื้ออีกทีหนึ่ง ซึ่งนั่นก็คือความสัมพันธ์ของการถ่ายทอดคาร์บอนจากสัตว์สู่สัตว์



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของปัจจัยจำกัด และความหนาแน่นประชากร
(จาก นิเวศวิทยา : พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา,
นิตยา เลาหะจินดา, 2549)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์เชิงระบบของคาร์บอนกับสิ่งมีชีวิต

การเลี้ยงสัตว์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสะสมคาร์บอนจากพืช เมื่อประชากรของโลกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การเลี้ยงสัตว์ย่อมจะมีประโยชน์และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากยิ่งขึ้นดังนี้

2.1.4.1 เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในรูปของอาหารโปรตีน และพลังงานที่มีคุณค่าสูง เช่น เนื้อ นม ไข่ ไขมัน เป็นต้น

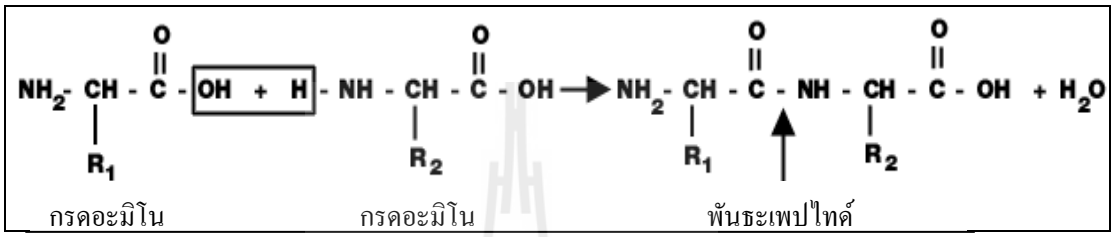
2.1.4.2 เปลี่ยนรูปคาร์บอนที่อยู่ในพืชผลที่มีราคาต่ำ (รำ ปลายข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง) เป็นรูปคาร์บอนของเนื้อ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงกว่า

ผลิตภัณฑ์จากสัตว์เป็นผลของการสะสมคาร์บอน ซึ่งจะมีมูลค่าของคาร์บอนมากกว่าที่พืช โดยแหล่งสะสมคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนสูง และมีความสำคัญคือ เนื้อสัตว์ รองลงมาเช่น นม ไข่ หนัง ขน ไขมัน กระดูก เขา และมูลสัตว์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2538) ได้กล่าวไว้ว่าคุณภาพทางด้านโภชนาการของเนื้อสัตว์โดยทั่วไปจะมีน้ำประมาณ 70% โปรตีน 20 - 23% (โปรตีนเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานโดยโปรตีน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 แคลอรี่ เป็นส่วนประกอบของเซลล์ เลือด และเนื้อเยื่อต่าง ๆ) ไขมัน 2 - 3.5% แร่ธาตุ 1 - 1.2% (ในร่างกายของสัตว์มีแร่ธาตุอยู่ประมาณ 3 - 5% ของน้ำหนักตัว และประมาณ 80% ของแร่ธาตุทั้งหมดเป็นกระดูกและฟัน) และไวตามินจำนวนเล็กน้อย ส่วนคาร์โบไฮเดรต (แป้ง น้ำตาล) นั้นมีอยู่น้อยมากประมาณ 1%

โปรตีนคือ สารชีวโมเลกุลประเภทสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O, N เป็นองค์ประกอบสำคัญ โปรตีนเป็นสารพวกพอลิเมอร์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากมาย

การเกิดพันธะเพปไทด์ คือ พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นระหว่าง C อะตอมในหมู่คาร์บอกซิล $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ ของกรดอะมิโน โมเลกุลหนึ่งยึดกับ N อะตอม ในหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของกรดอะมิโนอีกโมเลกุลหนึ่งดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดโปรตีนจากพันธะเพปไทด์ (จากเอกสารประกอบคำบรรยายวิชาเคมี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538, โครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษภาคฤดูร้อน Brand's Summer Camp'95)

ไขมัน ประกอบด้วยธาตุ C, H และ O คล้ายคาร์โบไฮเดรต แต่ไขมันจะมี C และ H ต่อ O มากกว่าพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมันยังให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า ซึ่งไขมันคือสารอินทรีย์ประเภทลิปิดชนิดหนึ่งได้จากเนื้อเยื่อพืชและสัตว์เกิดจากการผสมกันของกลีเซอรอลและกรดไขมัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 ไขมันเป็นของแข็งมักพบในสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ($C_nH_{2n+1}COOH$) มากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (C_nH_xCOOH; $x < 2n+1$) เช่นไขวัว ควาย

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) คือ สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H และ O อัตราส่วนโดยอะตอมของ H : O = 2:1 เช่น $C_3H_6O_3$, $C_6H_{12}O_6$, $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่หมู่คาร์บอกซาลดีไฮด์ (-CHO) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่คาร์บอนิล (-CO) เป็นหมู่ฟังก์ชัน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538)

เนื่องจากคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อสัตว์โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ โปรตีน และไขมัน ดังนั้นเราจึงสามารถหาปริมาณของคาร์บอนจากเนื้อสัตว์ได้โดยอาศัยตารางที่ 2.2

รูปที่ 2.6 ไขมันจากการผสมกันของกลีเซอรอล และกรดไขมัน (จาก <u>เอกสารประกอบคำบรรยาย วิชาเคมี</u>, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538, โครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษภาคฤดูร้อน Brand's Summer Camp'95)

เมธา วรรณพัฒน์ (2533) ได้กล่าวไว้ในหนังสือโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องว่า สัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) มีความสามารถพิเศษในการใช้อาหารหยาบ (roughage) กระเพาะของสัตว์เหล่านี้มีลักษณะพิเศษสามารถจุได้ 20-40 แกลลอน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์เอง กระเพาะทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ กระเพาะหมักหรือผ้าขี้ริ้ว (rumen) รังผึ้ง (reticulum) สามสิบกลีบ (omasum) และกระเพาะจริง (abomasum) ในบริเวณส่วนเหล่านี้โดยเฉพาะในกระเพาะรูเมน จะมีประชากรจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยหมักอาหารที่สัตว์กินเข้าไป สำหรับหน้าที่ของสามสิบกลีบเท่าที่มีรายงาน มีส่วนในการดูดซึมกลับของของเหลวหรือกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) ที่ผ่านไป ส่วนกระเพาะจริงจะทำหน้าที่ทุกอย่างคล้ายกับกระเพาะของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ดังรูปที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดดังนี้

กระเพาะหมัก หรือผ้าขี้ริ้ว (rumen) กระเพาะส่วนนี้มีปริมาตรความจุถึง 80% ของกระเพาะทั้งหมด อยู่ติดกับผนังด้านซ้ายของช่องท้อง ถัดไปทางด้านขวาของรูเมนจะเป็นส่วนของกระเพาะโอมาซั่มหรือสามสิบกลีบ กระเพาะอะโบมาซั่มหรือกระเพาะจริง และอวัยวะอื่น ๆ ผนังมีตุ่มเล็ก ๆ อยู่ทั่วไป จึงเรียกว่า ผ้าขี้ริ้ว ภายในมีจุลินทรีย์ที่ช่วยในการหมักอาหารหยาบก่อนที่สัตว์จะขยอกอาหารออกมาเคี้ยวอีกครั้งหนึ่ง โดยไม่มีการขับน้ำย่อยออกมาช่วยย่อยอาหาร

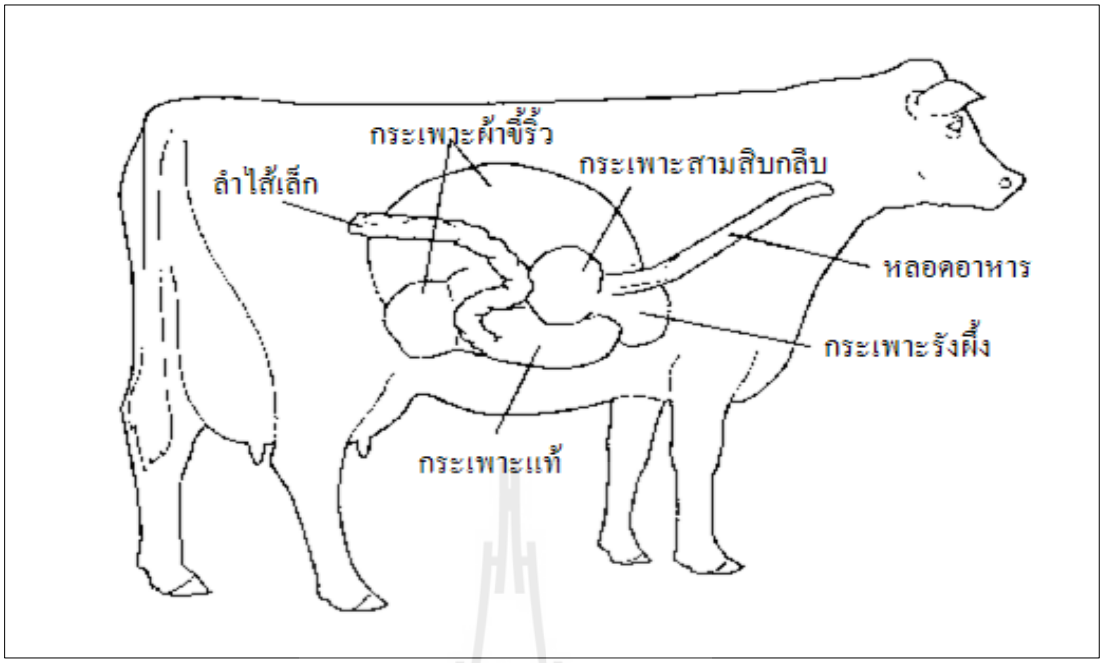
กระเพาะเรทติคูลั่ม หรือรังผึ้ง (reticulum) เป็นกระเพาะที่มีลักษณะเป็นถุงขนาดเล็ก มีปริมาตรความจุประมาณ 5% ของปริมาตรความจุทั้งหมดของกระเพาะ อยู่ติดกับส่วนหน้าของกระเพาะรูเมน ผนังมีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมเล็ก ๆ เรียงติดต่อกัน จึงเรียกว่า รังผึ้ง ไม่มีการขับน้ำย่อยออกมาช่วยย่อยอาหาร

ตารางที่ 2.2 ร้อยละของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์แต่ละชนิด

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์		พลังงาน (kcal/g)	ร้อยละของส่วนประกอบโดยน้ำหนัก			
			คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน
คาร์บอน	คาร์บอน	8.0	100	-	-	-
	CH_4	13.3	75	25		
คาร์โบไฮเดรต	กลูโคส	3.75	40	7	53	
	ซูโครส	3.96	42	6	52	
	แป้งและไกลโคเจน	4.23	45	6	49	
	เซลลูโลส	4.18	45	6	49	
กรดไขมันและไขมัน	กรดอะซีทิค	3.49	40	7	53	
	กรดโพรไพโอนิค	4.96	49	8	43	
	กรดบิวทิริค	5.95	55	9	36	
	กรดพามมิทิค	9.35	75	13	12	
	กรดสทีริค	9.53	76	13	11	
	กรดโอลิอิค	9.5	76	12	11	
	ค่าเฉลี่ยไทรกลิสซะไรด์*	9.45	75	13	12	
กรดอะมิโนและโปรตีน	กลิสซีน	3.11	32	7	42	19
	แอลละไนน	4.35	40	8	36	16
	ไทโรซิน	5.92	60	6	26	8
	ค่าเฉลี่ย โปรตีน*	5.65	52	7	23	16
สารจากระบบขับถ่าย	ยูเรีย	2.53	20	7	26	47
	กรดยูริค	2.74	36	2	29	33
	ครีเอทีน	4.24	37	7	24	32
	ครีเอทิไนน	4.6	43	6	14	37

* ค่าเฉลี่ยจากส่วนผสมที่ซับซ้อนของไขมันและโปรตีน

หมายเหตุ : จาก Bioenergetics and Growth, Brody, 1945, New York : Hafner ; จาก Animal Nutrition, Maynard and Loosli, 1969, New York : McGraw-Hill.



รูปที่ 2.7 ทางเดินอาหารของโคที่โตเต็มที่แล้ว (จาก The science of animal agriculture. โดย Herren, 1998, New York: Delmar publishers Inc.)

กระเพาะโอมาซั่ม หรือสามสิบกลีบ (omasum) กระเพาะส่วนนี้อยู่ติดกับผิวบนส่วนหน้าของกระเพาะรูเมน มีปริมาตรความจุประมาณ 7-8% ของกระเพาะทั้งหมด หน้าที่โดยตรงของ omasum คือ จะดูดเอาของเหลวในอาหารกลับ ทำให้อาหารมีลักษณะแห้ง สะดวกต่อการเคลื่อนตัวสู่กระเพาะจริง ไม่มีการหลั่งน้ำย่อยแต่ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ทำให้อาหารแห้งขึ้น

กระเพาะอะโบมาซั่ม หรือกระเพาะจริง (abomasums) จะอยู่ติดด้านขวาของกระเพาะรูเมนและอยู่ติดกับพื้นล่างของช่องท้อง ส่วนปลายของกระเพาะจะเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ขับน้ำย่อยออกมาย่อยอาหารเหมือนกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว อาหารจะผ่านส่วนต่าง ๆ ต่อจากกระเพาะแท้เหมือนกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวจนขับกากอาหารออกทางทวารหนัก

การบดเคี้ยว (chewing) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องลักษณะการเคี้ยวเป็นไปตามแนวราบ ทำให้อาหารฉีกขาดออกจากกัน ส่วนในสัตว์กระเพาะเดี่ยวลักษณะการเคี้ยวเป็นไปตามแนวดิ่ง

ขบวนการเคี้ยวเอื้อง (rumination) คือ ขบวนการที่เกิดขึ้นในระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- Regurgitation เป็นการขยอกกลับของ ingesta จาก reticulo-rumen เข้าสู่หลอดคอและปากตามลำดับ

- Swallowing หลังจากที่ ingesta ขยอกกลับถึงปากแล้ว สัตว์จะทำการกลืนกลับส่วนของของเหลวที่ขยอกกลับมาด้วยลงสู่กระเพาะรูเมน

- Remastication สัตว์จะทำการเคี้ยวอาหารอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ละเอียดยิ่งขึ้น

- Reinsalivation ในขณะที่สัตว์ทำการเคี้ยวอาหารอีกครั้งหนึ่ง จะมีการขับน้ำลายออกมาเพิ่ม และผสมคลุกเคล้ากับอาหารอีก

- Reswallowing เป็นขั้นตอนสุดท้ายของขบวนการเคี้ยวเอื้อง โดยสัตว์จะทำการกลืนอาหารทั้งหมดลงสู่กระเพาะรูเมน

การเคี้ยวเอื้องมีประโยชน์โดยทำให้การบดอาหารละเอียดยิ่งขึ้นส่งผลให้การย่อยหมักอาหารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเร่งให้การไหลผ่านของ ingesta เร็วขึ้นทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอาหารหยาบคุณค่าต่ำ และช่วยรักษาสภาวะให้ประชากรจุลินทรีย์มีความมั่นคงและสมดุล ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและขยายตัวได้เร็วขึ้น รวมทั้งทำให้การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น

Schalk and Amadon (1928) ได้สรุปลักษณะการกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดังนี้

- ใช้เวลากินอาหาร 1 ใน 3
- ใช้เวลาเคี้ยวเอื้อง 1 ใน 3
- และใช้เวลาพักผ่อน อีก 1 ใน 3

กลไกการเกิดขบวนการขับแก๊ส (mechanics of eructation) จะเกิดขึ้นร่วมกับการบีบตัวของกระเพาะรูเมน ในรอบการบีบตัวปกติของกระเพาะในสัตว์ที่โตแล้วจะสามารถขับไล่แก๊สได้ประมาณ 2 ลิตรต่อนาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่กินเข้าไป (เมธา วรรณพัฒน์, 2533; van Soest, 1982)

ทิม พรรณศิริ (2531) ได้กล่าวไว้ในหนังสือสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 12 ว่าสัตว์เลี้ยงที่ถือว่ามีความสำคัญและสามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกร คือ สัตว์เคี้ยวเอื้อง สัตว์กระเพาะเดี่ยว และสัตว์ปีก โดยมีรายละเอียดดังนี้

สัตว์เคี้ยวเอื้องได้แก่ สัตว์เลี้ยงพวกโค กระบือ แพะและแกะ ซึ่งเป็นสัตว์สี่กระเพาะ เมื่อกินอาหารเข้าไปแล้วจะคายออกมาเคี้ยวเอื้องอีกครั้งก่อนจะถูกนำไปใช้เป็นประโยชน์ สัตว์เคี้ยวเอื้องอาจแบ่งแยกประเภทออกได้ตามวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการเลี้ยงคือ

- โคเนื้อ โคที่เลี้ยงในบ้านเราเป็นโคขนาดเล็ก มีการเจริญเติบโตช้า ส่วนใหญ่เลี้ยงไว้ใช้งานเช่น ไถนา ทำไร่ และเทียมเกวียนหรือล้อ เพื่อใช้ในการขนส่งระยะสั้นๆ หลังจากเลิกใช้งานแล้วก็ส่งเข้าโรงฆ่า ชำแหละออกมาเป็นเนื้อวัวสำหรับบริโภค ปัจจุบันทางราชการได้นำโคพันธุ์เนื้อจากต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงหลายพันธุ์ และพบว่าโคเนื้อพันธุ์อเมริกันบราห์มัน หรือโคลูกผสม

อเมริกันบราห์มัน (เช่น โคพันธุ์เดราต์มาสเตอร์) สามารถเลี้ยงและเจริญเติบโตได้ดีในภูมิประเทศของบ้านเรา นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อโรคเหมือนโคพื้นเมืองของไทย

- โคนม ซึ่งเป็นโคพื้นเมืองของไทยให้นมน้อยประมาณวันละ 2-3 ลิตร ทางราชการจึงได้ทดลองนำโคพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงหลายพันธุ์ด้วยกัน และพบว่าโคพันธุ์แท้ที่นำเข้ามาทดลองเลี้ยงในบ้านเรายังไม่มีความเหมาะสมกับบ้านเรา โดยเฉพาะมีการแพ้โรคต่าง ๆ มาก และมักจะเสียชีวิตหลังจากนำเข้าไม่นานนัก จึงได้ผลิตโคลูกผสมโดยใช้โคพันธุ์นมจากต่างประเทศที่นำเข้ามาผสมกับโคพื้นเมือง และพบว่าโคนมลูกผสมขาวดำ (โฮลสไตน์ ฟรีเชียน) กับโคพื้นเมืองเป็นโคนมลูกผสมที่ให้นมดีที่สุด บางตัวให้นมสูงถึง 38 ลิตรต่อวัน และทั่ว ๆ ไปให้นมมากกว่า 10 ลิตรต่อวัน

- กระบืองานหรือกระบือปลัก กระบือบ้านเราเรียกทั่วๆ ไปว่ากระบือปลักหรือกระบือที่เลี้ยงไว้เพื่อใช้งานเป็นหลัก ให้น้ำนมน้อยประมาณวันละ 1-2 ลิตร และเมื่อเลิกใช้งานแล้วก็ส่งเข้าโรงฆ่าเอาเนื้อมาบริโภค

สัตว์กระเพาะเดี่ยวที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศคือสุกร ซึ่งมีการเลี้ยงกันมากทั่วประเทศ สุกรพื้นเมืองเดิมมีชื่อต่าง ๆ กัน เช่น พวง แรด และอื่น ๆ มีลำตัวค่อนข้างเล็ก แต่ให้ลูกดกและมีความทนทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดีซึ่งไม่เหมาะสมจะใช้เลี้ยงเพื่อธุรกิจการค้า ต่อมาจึงได้มีการนำสุกรพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยงในบ้านเราหลายพันธุ์ด้วยกัน และพบว่าสุกรพันธุ์แท้บางพันธุ์สามารถเลี้ยงได้ดีในบ้านเรา ซึ่งได้แก่ สุกรพันธุ์ดูร็อกเจอร์ซี ลาร์จไวต์ แลนด์เรซ นอกจากนี้ก็ได้มีผู้นำสุกรพันธุ์ผสมเข้ามาเลี้ยงอีกหลายพันธุ์ แต่ส่วนใหญ่เป็นสุกรพันธุ์ผสมซึ่งเกิดจากสุกรทั้งสามพันธุ์ดังกล่าวข้างต้น

สัตว์ปีกที่มีการเลี้ยงกันในแง่ของการค้าคือ ไก่ เป็ด ห่าน ไก่งวง และนกกระทา โดยในงานนี้จะสนใจเฉพาะไก่เนื้อ และไก่ไข่เท่านั้น

- ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงในบ้านเรา เป็นไก่ที่เจริญเติบโตช้า ให้ไข่น้อย และมีลำตัวค่อนข้างเล็ก แต่มีความทนทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดี

ปัจจุบันมีผู้นำไก่จากต่างประเทศมาเลี้ยงในรูปของการค้ากันมาก จนถึงกับมีการส่งเนื้อไก่ออกไปขายต่างประเทศจำนวนมาก ไก่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

- ไก่เนื้อ คือไก่ที่เลี้ยงประมาณ 8 สัปดาห์หรือ 56 วัน ก็จะส่งตลาดหรือเข้าโรงฆ่า เป็นไก่ที่มีการเจริญเติบโตเร็วและมีเนื้อมาก หากมีการให้อาหารตามคุณภาพที่กำหนด

ไก่เนื้อที่นำเข้ามาเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นไก่ลูกผสมที่ผลิตจากบริษัทในต่างประเทศ โดยประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตไก่เนื้อที่มีคุณภาพดีเท่าต่างประเทศได้ ไก่เนื้อที่นำเข้ามาส่วนใหญ่เป็นพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งเมื่อเลี้ยงแล้วผสมพันธุ์ ลูกที่ออกมาก็จะนำไปเลี้ยงเป็นไก่เนื้อส่งโรงฆ่า

- ไก่ไข่ในระยะเริ่มแรกที่นำเข้ามาเลี้ยง เมื่อประมาณ 40 ปีจนถึงเมื่อประมาณ 15 ปีที่แล้วมา ส่วนใหญ่เป็นไก่พันธุ์แท้ซึ่งได้แก่ ไก่พันธุ์โรดไอส์แลนด์แดง และพันธุ์เล็กฮอร์นขาวเป็นหลัก แต่ต่อมาได้มีการนำไก่ไข่ลูกผสมจากต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงเป็นส่วนใหญ่ จนอาจกล่าวได้ว่าปัจจุบันนี้ไม่มีผู้ใดเลี้ยงไก่ไข่พันธุ์แท้ก็ว่าได้ นอกจากไก่ของหน่วยงานของรัฐบาล

วิทธวัช โมพี. (2540). ได้อธิบายกระบวนการย่อยอาหาร และลักษณะทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไว้ในเอกสารประกอบการสอนโภชนศาสตร์สัตว์กระเพาะเดี่ยวว่า กระบวนการย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

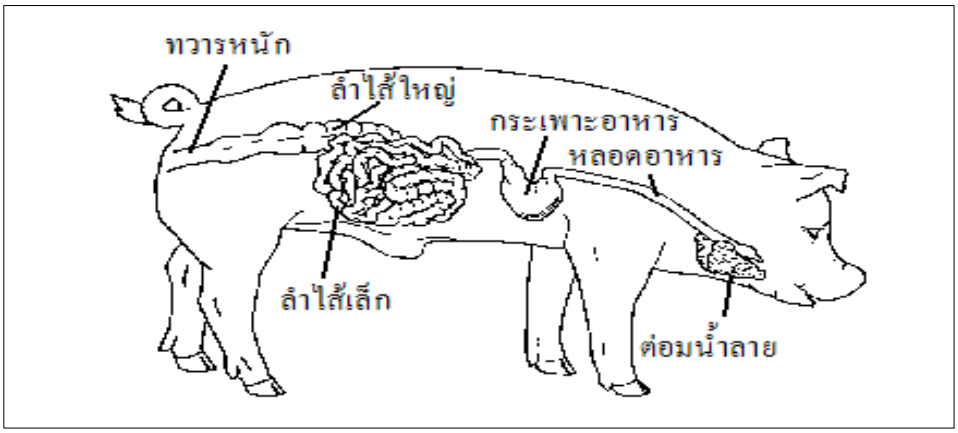
- การย่อยโดยวิธีกล (mechanical digestion) ได้แก่ การบดเคี้ยวอาหารในปาก การบีบและหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อบีบนวดอาหาร การบดเคี้ยวอาหารในกระเพาะบด (gizzard)

- การย่อยทางเคมี (chemical digestion) ได้แก่ การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารโดยกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

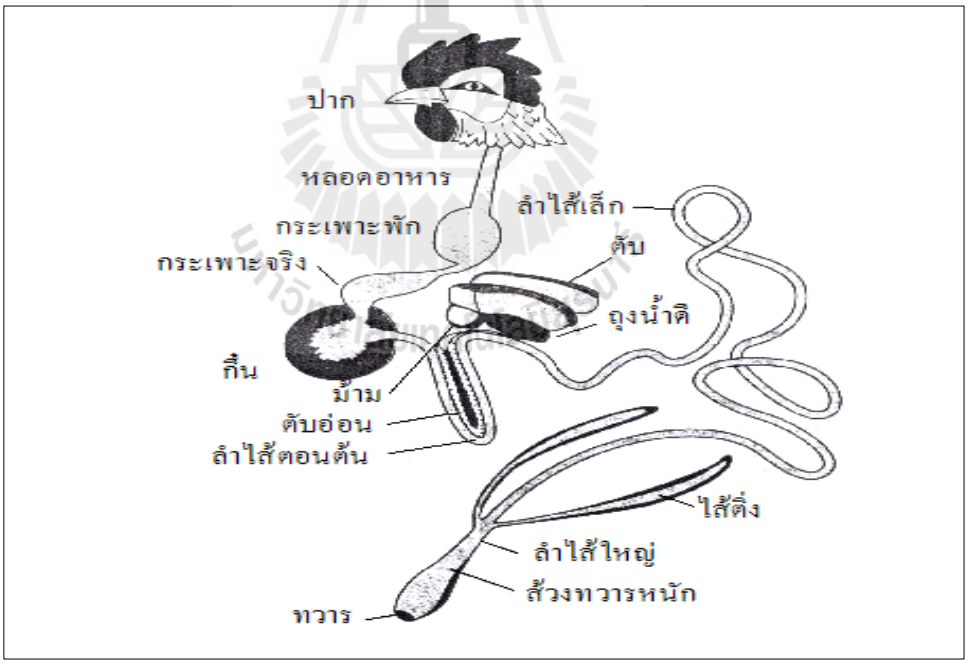
- การย่อยทางชีวภาพ (biological digestion) ได้แก่ การย่อยอาหารโดยการใช้ enzyme ในระบบทางเดินอาหารใน การย่อยอาหาร

ลักษณะทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Digestive tract) ทางเดินอาหารของสัตว์หมายถึง ช่องทางที่อาหารที่สัตว์กินเข้าไป เริ่มจากปากจนถึงทวารหนัก ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ในที่นี้ยกตัวอย่างทางเดินอาหารของไก่ และสุกร ดังรูปที่ 2.8 และ2.9

- ปาก (Mouth) เป็นส่วนที่รับอาหารเข้าสู่ร่างกาย และทำหน้าที่ในการบดอาหารด้วยวิธีกล ในสุกรจะมีฟันสำหรับช่วยในการบดอาหารด้วย ซึ่งแตกต่างกับไก่ เพราะไก่ไม่มีริมฝีปาก ฟันและแก้ม แต่จะมีจงอยปากเพื่อใช้ในการจิกอาหารและฉีกอาหาร ในปากจะมีต่อมน้ำลายเพื่อทำให้ปากมีความชุ่มชื้น และช่วยในการคลุกเคล้าและกลืนอาหารลงสู่หลอดอาหาร นอกจากนี้ในปากยังมี enzyme ptyalin เพื่อทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล แต่ในไก่จะไม่เกิดการย่อยนี้เพราะว่าระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากนั้นสั้นมาก



รูปที่ 2.8 ระบบทางเดินอาหารของสุกร (จาก Animal science and industry. โดย Acker, D. and Cunningham, M., 1991, New Jersey: Prentice Hall; จาก The science of animal agriculture. โดย Herren, 1994, New York: Delmar publishers Inc.



รูปที่ 2.9 แสดงระบบทางเดินอาหารของไก่ (จาก Animal science and industry. โดยAcker and Cunningham,1991, New Jersey: Prentice Hall.

- หลอดอาหาร (Esophagus) เป็นท่อยาวที่เชื่อมระหว่างปากกับกระเพาะ มีกล้ามเนื้ออยู่รอบ ๆ เพื่อบีบไล่อาหารให้ลงไปสู่กระเพาะอาหาร ในหลอดอาหารของไก่จะมีการขยายตัวเป็นถุงเรียกว่า กระเพาะพัก (modified esophagus) ทำหน้าที่ในการเก็บกักอาหาร ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะพักขึ้นอยู่กับขนาดของอาหาร ปริมาณอาหารที่กิน และปริมาณอาหารที่อยู่ในกึ๋น (gizzard) ในกระเพาะพักจะไม่มีการสร้าง enzyme เพื่อใช้ในการย่อยอาหาร

- กระเพาะ (Stomach) ในไก่แบ่งกระเพาะออกเป็น 2 ส่วนคือ กระเพาะส่วนหน้า เรียกว่า กระเพาะจริง (proventriculus) หรือ glandular stomach ทำหน้าที่เช่นเดียวกับกระเพาะของสุกร คือผลิต enzyme pepsin และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดย HCl ทำหน้าที่ในการ denature โปรตีน และกระตุ้นทำให้ pepsin ทำงาน pepsin ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง ส่วนหลังเรียกว่า กระเพาะบด (gizzard) หรือ muscular stomach เป็นอวัยวะที่มีผนังกล้ามเนื้อหนา แข็งแรง ทำหน้าที่บดเคี้ยวอาหารแทนฟันทำให้อาหารมีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้อาหารสามารถสัมผัสกับ enzyme ได้ดีขึ้น การเสริมก้อนกรวดลงในอาหารจะทำให้กระเพาะบดทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (วิทธวัช โมพี, 2540; สาโรช ค้าเจริญ, 2542) ในสุกรกระเพาะมีหน้าที่ในการย่อยอาหาร โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อ และการใช้ HCl กับ enzyme pepsin ในการย่อยอาหารประเภทโปรตีน เมื่ออาหารถูกย่อยจนมีขนาดเล็กลงแล้วอาหารจะถูกลำเลียงเข้าสู่ลำไส้เล็กต่อไป

- ลำไส้เล็ก (Small intestine) เป็นส่วนที่มีความยาวมากที่สุดในระบบทางเดินอาหารในไก่ยาว 62 นิ้ว ในสุกรยาว 16 เมตร ลำไส้เล็กทำหน้าที่สำคัญในการย่อยและการดูดซึมอาหารที่ได้รับการย่อยแล้วเข้าสู่ร่างกาย เพราะที่ผนังภายในลำไส้เล็กจะมีส่วนที่ยื่นออกมา เรียกว่า villi จำนวนมากเพื่อทำหน้าที่ในการย่อยสารอาหารให้เป็นสารอาหารที่มีขนาดเล็ก และจะทำการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อเลี้ยงส่วนต่างของร่างกายต่อไป ลำไส้เล็กแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรก เรียกว่า duodenum เป็นส่วนที่มีการปรับ pH ของอาหาร และเป็นส่วนที่มีการย่อยอาหารและดูดซึมอาหารมาก ส่วนที่ 2 เรียกว่า jejunum เป็นส่วนที่มีการดูดซึมอาหารและการดูดกลับของน้ำดี ส่วนสุดท้าย เรียกว่า ileum นอกจากนั้นยังมีอวัยวะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะอีกหลายอย่าง เช่น ตับ ตับอ่อน ทำหน้าที่ขับน้ำย่อยเรียกว่า pancreatic juices และถุงน้ำดี ทำหน้าที่ในการขับน้ำดีมาช่วยทำให้ไขมันเป็นสารแขวนลอย ทำให้ enzyme lipase ย่อยไขมันได้ดีขึ้น การทำงานของอวัยวะมีประสิทธิภาพ (ประภาพร ตั้งธนธานิช, 2545; สาโรช ค้าเจริญ, 2542)

- ไส้ติ่ง (Caecum) ไก่มีไส้ติ่ง 2 อัน สุกรมีหนึ่งอัน มีลักษณะเป็นถุงขยายใหญ่เชื่อมต่อกับทางเดินอาหารบริเวณรอยต่อระหว่างลำไส้เล็กกับลำไส้ใหญ่ เป็นส่วนสุดท้ายสำหรับการย่อยอาหารซึ่งเกิดการหมักย่อยเยื่อใยอาหาร โดย bacteria นอกจากนี้ไส้ติ่งยังทำหน้าที่ในการดูดกลับของน้ำในร่างกายของสัตว์อีกด้วย

- ลำไส้ใหญ่ (Large intestine) อยู่ต่อจากลำไส้เล็กมีขนาดใหญ่แต่สั้น ในไก่ลำไส้ใหญ่จะไปรวมกับท่อปัสสาวะ และขับถ่ายมูลกับปัสสาวะออกทางทวารรวม (cloaca) อาหารซึ่งถูกย่อยแล้วจะดูดซึมแล้วจะเคลื่อนตัวมาเก็บที่ลำไส้ใหญ่ เพื่อดูดน้ำจากกากอาหารกลับเข้าสู่ร่างกายเพื่อทำให้อาหารมีลักษณะแห้ง

- ทวาร (Anus) และทวารรวม (Cloaca) เป็นส่วนสุดท้ายของท่อทางเดินอาหาร ซึ่งมีกล้ามเนื้อสำหรับปิดเปิดเพื่อส่งกากอาหารออกนอกร่างกาย ในตัวไก่ทวารรวมเป็นท่อรวมทั้งระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2545) ได้กล่าวว่า การจัดการให้อาหารสัตว์แต่ละชนิด เพศ และวัย จะมีความต้องการอาหารที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

- การจัดการให้อาหารสุกรแต่ละเพศ และแต่ละช่วงอายุจะมีความต้องการอาหารแตกต่างกันออกไป สุกรพ่อแม่พันธุ์จะต้องมีการควบคุมอาหารไม่ให้สุกรกินจนอ้วนเกินไป ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์ลดลง สุกรขุนจะต้องมีอาหารให้กินตลอดเวลาเพื่อเร่งการเจริญเติบโต การให้อาหารสุกรขุน จะเป็นระยะที่สุกรต้องการอาหารมากเพื่อเร่งการเจริญเติบโต วิธีการให้อาหารนั้นควรให้วันละ 2 – 3 ครั้ง แต่ละครั้งที่ให้อาหารนั้นควรให้ในปริมาณที่สุกรสามารถกินได้หมดในแต่ละมื้อเท่านั้น และใช้อาหารสุกรขุนเลี้ยงตั้งแต่ 4 เดือนจนถึงระยะขาย ส่วนใหญ่จะเป็นอาหารที่มีพลังงานมาก แต่โปรตีนลดต่ำลงกว่าในระยะขุนหรือใกล้เคียงกับอาหารสำหรับพ่อพันธุ์ อาจใช้แบบหากินเองแบบอัตโนมัติหรือแบบให้เลือกกิน

- การจัดการให้อาหารไก่ไข่ ระยะไก่ไข่นั้นจะนับตั้งแต่ย้ายไก่สาวขึ้นกรงจนไข่ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแม่ไก่จะมีอายุประมาณ 4 ถึง 5 เดือน ระยะนี้แม่ไก่จะต้องการอาหารมากเพื่อนำไปเปลี่ยนเป็นไข่ ดังนั้น ผู้เลี้ยงจะต้องมีความเข้าใจเรื่องการให้อาหารพอสมควร โดยปกติก่อนแม่ไก่จะไข่เราจะให้อาหาร วันละ 100 – 110 กรัมต่อตัวต่อวัน แต่เมื่อแม่ไก่เริ่มให้ไข่ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้เราต้องให้อาหารแบบเต็มที่เพื่อให้แม่ไก่เพิ่มจำนวนไข่จนให้ไข่สูงสุด (peak) หลังจากแม่ไก่ให้ไข่สูงสุดแล้วจะลดอาหารลงเหลือไม่เกิน 120 กรัมต่อตัวต่อวัน

- การจัดการให้อาหารไก่เนื้อหรือบางทีเรียกว่า ไก่กระทง (broiler) เป็นไก่ลูกผสมที่เจริญเติบโตเร็ว ส่วนใหญ่จะมีขนสีเทา ใช้เวลาเลี้ยง 45 วัน จะได้น้ำหนักตัว 1.8 ถึง 2.0 กิโลกรัม โดยทั่วไปการให้อาหารไก่เนื้อจะให้แบบเต็มที่ให้ไก่กินอาหารได้ 24 ชั่วโมง โดยเปิดไฟให้ไก่ในช่วงเวลากลางคืน อาหารที่ใช้เลี้ยงไก่เนื้อในปัจจุบันจะเป็นอาหารเม็ดผสมเสร็จ การจัดการให้อาหารไก่เนื้อตามที่ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2545) แนะนำมีดังต่อไปนี้

1) อาหารไก่เนื้อระยะแรก (starter feed) เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงลูกไก่ ซึ่งลูกไก่มีอายุ 1 – 21 วัน อาหารระยะนี้จะเป็นอาหารเม็ดขบที่มีโปรตีนประมาณ 22 – 23 เปอร์เซ็นต์ อาหารระยะแรกจะใช้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่ไก่กินทั้งหมดตลอดช่วงอายุ

2) อาหารไก่เนื้อระยะที่สอง (grower feed) เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงไก่รุ่น ซึ่งไก่รุ่นมีอายุ 22 – 35 วัน โดยเป็นอาหารอัดเม็ด มีโปรตีนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ อาหารระยะนี้จะใช้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่ไก่กินทั้งหมด

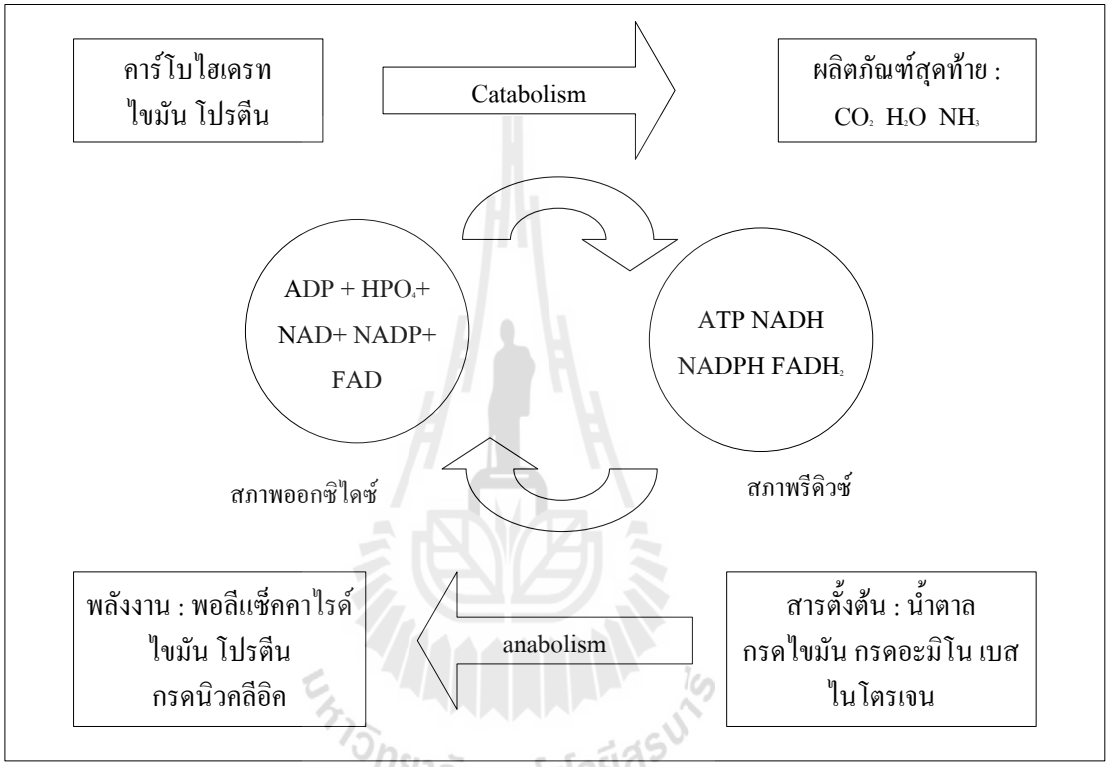
3) อาหารไก่เนื้อระยะสุดท้าย (finisher feed) เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงไก่เนื้อระยะสุดท้ายก่อนจับขาย อายุ 35 – 45 วัน อาหารระยะนี้เป็นอาหารอัดเม็ดที่มีโปรตีนประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ อาหารระยะนี้จะใช้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่ไก่กินทั้งหมด

- การจัดการให้อาหาร โคนม เป็นสัตว์สี่กระเพาะหรือเรียกอีกอย่างว่า สัตว์เคี้ยวเอื้อง อาหารที่โคนมต้องได้รับเป็นอาหารหลักในแต่ละวันคือ อาหารหยาบพวกหญ้า ถั่ว ฟางข้าว ฯลฯ แต่การเลี้ยงโคนม ถ้าต้องการจะได้ปริมาณน้ำนมสูง ๆ แล้วจำเป็นที่จะต้องเสริมอาหารข้นให้กับแม่โคนมในแต่ละวันด้วย ช่วงให้นมเป็นช่วงระยะเวลาที่แม่โคนมต้องการอาหารที่มีคุณภาพสูง ผู้เลี้ยงจะต้องให้แม่โคกินอาหารหยาบให้เต็มที่แล้วเสริมด้วยอาหารข้นช่วงเวลาเช้าและเย็น การจัดการให้อาหาร โคนมมีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

- การจัดการอาหารหยาบสำหรับโคนม อาหารหยาบหลักของแม่โคคือ หญ้า แม่โคนมต้องกินหญ้าคิดเป็นน้ำหนักแห้งไม่ต่ำกว่า 1.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตัวอย่าง เช่น แม่โคนมตัวหนึ่งหนัก 400 กิโลกรัม ดังนั้น แม่โคนมตัวนี้ต้องกินหญ้าเมื่อเทียบเป็นน้ำหนักแห้งแล้วเท่ากับ 5.6 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อเทียบกับเป็นน้ำหนักสดซึ่งโดยทั่วไปหญ้าสดมีวัตถุแห้งอยู่ 25 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ แม่โคนมควรจะได้รับหญ้าสดในปริมาณวันละ เท่ากับ 22.4 กิโลกรัม โดยทั่วไปเราจะให้อาหารข้นกับแม่โคนมโดยคิดจากน้ำนมที่ได้คือ ให้อาหารข้น 1 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำนมที่ให้ 4 กิโลกรัม และควรให้ในช่วงเวลาที่แม่โคยืนโรงรีดนม คือ ช่วงเช้าและเย็น

- การจัดการให้อาหาร โคเนื้อ ปฏิบัติคล้าย ๆ กับการให้อาหาร โคนม แต่อาหารหลักของโคเนื้อก็คือ อาหารหยาบ เช่น หญ้า ถั่ว ฟางข้าว ฯลฯ ซึ่งหากได้รับอาหารหยาบที่มีคุณภาพสูงแล้วอาจจะไม่ต้องเสริมอาหารข้นเลยก็ได้ การเลี้ยงโคเนื้อแบบชาวบ้านจะไม่เสริมอาหารข้นแต่ให้กินอาหารหยาบพวกหญ้าอย่างเดียว แต่หากเลี้ยงเพื่อขุนจำเป็นต้องเสริมอาหารข้นซึ่งมีสูตรแตกต่างกันออกไป การเสริมอาหารข้นให้โคเนื้อ 0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว แต่ถ้าอาหารหยาบที่ให้มีคุณภาพต่ำควรเสริมอาหารข้นเป็น 0.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และควรให้อาหารข้นที่มีโปรตีน 14 – 16 เปอร์เซ็นต์

พัชรา วีระกะลัส (2544) กล่าวว่า กระบวนการเมแทบอลิซึมประกอบด้วย ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสสาร และพลังงานที่เซลล์ได้รับจากสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นสสาร และพลังงานในรูปที่เซลล์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ได้ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถเจริญเติบโต และดำรงชีวิตต่อไปได้ดังรูปที่ 2.10 เมทาบอลิซึมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วย 2 กระบวนการย่อยคือ



รูปที่ 2.10 เมแทบอลิซึมในสิ่งมีชีวิต (จาก <u>พลังงานและเมทาบอลิซึม</u>
โดย พัชรา วีระกะลัส, 2544, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

- Catabolism คือ การสลายสารอาหารเพื่อให้ได้ ATP สารนำอิเล็คตรอน (NAD+, NADP+ และ FAD) และสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

- Anabolism เป็นการใช้ ATP สารนำอิเล็คตรอน รวมทั้งสารตั้งต้นที่ได้จากกระบวนการ catabolism ในการสังเคราะห์องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (1994) ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกว่า

ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก

= แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงาน + แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากพื้นที่ป่าที่สูญเสีย + แก๊สมีเทนจากการปลูกข้าว + แก๊สมีเทนจากปศุสัตว์ (2.6)

ปริมาณการปล่อย CO_2 จากผืนป่าที่สูญเสียไป

= พื้นที่ป่าที่ถูกทำลาย (พื้นที่ป่าในปีที่ t-1-พื้นที่ป่าในปีที่ t)
x 39.36 ตันคาร์บอน/ไร่ (2.7)

และแปลงหน่วยตันคาร์บอนเป็นหน่วยตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์โดยคูณด้วย 3.6667

ปริมาณการปล่อย CH_4 จากปลูกข้าว (ตันเทียบเท่า CO_2)

= อัตราการปล่อย CH_4 ข้าวนาปีและนาปรัง x พื้นที่ปลูกข้าวนาปีและนาปรัง x จำนวนวันในการเก็บเกี่ยว (2.8)

และแปลงหน่วยตันมีเทนให้เป็นหน่วยตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์โดยคูณด้วย 21

ปริมาณการปล่อย CH_4 จากปศุสัตว์ (ตันเทียบเท่า CO_2)

= อัตราการปล่อย CH_4 ของสัตว์แต่ละประเภท x จำนวนปศุสัตว์ (โคนม โคเนื้อ กระบือ หมู และไก่) (2.9)

และแปลงหน่วยตันมีเทนให้เป็นหน่วยตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์โดยคูณด้วย 21

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE) (2000) ได้รายงานข้อมูลปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537 ในรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537

แก๊ส	ปริมาณการปล่อยแก๊ส (พันตัน)	GWP* (เท่า)	เทียบเท่า CO_2 (พันตัน)	ร้อยละ
คาร์บอนไดออกไซด์	202,458.05	1	202,458	70.69
มีเทน	3,171.35	21	66,598	23.25
ไนตรัสออกไซด์	55.86	310	17,317	6.06
รวม			286,373	100.00

หมายเหตุ : * GWP = Global Warming Potential (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.)

2.2 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนจากปริมาณปศุสัตว์

การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนจะอาศัยการคำนวณการผลิต (production) และการบริโภค (consumption) ของปริมาณปศุสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งการผลิต หมายถึง ปริมาณสัตว์ที่จังหวัดสามารถผลิตได้ทั้งหมดรวมทั้งสัตว์ที่มีการเคลื่อนย้ายเข้าจริง และหักออกด้วยสัตว์ที่เคลื่อนย้ายออกจริง ส่วนปริมาณการบริโภค หมายถึง จำนวนซากสัตว์ที่จังหวัดสามารถผลิตได้ รวมถึงซากสัตว์ที่มีการเคลื่อนย้ายเข้าจริงและเคลื่อนย้ายออกจริงในรอบ 1 ปีปฏิทิน ซึ่งการคำนวณอัตราการผลิตและอัตราการบริโภคดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 การคำนวณการผลิต (production) และการบริโภค (consumption) ของปศุสัตว์แต่ละชนิดเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอ

ชนิดสัตว์	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การผลิต (production)	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การบริโภค (consumption)
1. โคนม (น้ำนมดิบ)	ข้อมูล : 1. น้ำนมที่ส่งให้ทุกศูนย์รวมนม สูตรการคำนวณ : อัตราการผลิต = ผลรวมน้ำนมที่ส่งให้ทุกศูนย์รวมนมภายในจังหวัดต่อปี	ข้อมูล : 1. ปริมาณความต้องการใช้น้ำนมดิบ สูตรการคำนวณ : ปริมาณความต้องการใช้น้ำนมดิบ = (ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ทั้งหมด - ปริมาณน้ำนมที่จำหน่ายออกนอกจังหวัด)
2. โคเนื้อ	ข้อมูล : 1. จำนวนโคพันธุ์เนื้อเพศเมียที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ 2. อัตราการให้ลูก 55% ต่อปี 3. จำนวนการเคลื่อนย้ายโคออกและเข้า 4. จำนวนแม่โคนมปลดระวาง 5. จำนวนโคนมเพศผู้ สูตรการคำนวณ : อัตราการผลิต = จำนวนโคทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอ + (จำนวนโคเนื้อเพศเมียทั้งหมดที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ในพื้นที่ x อัตราการให้ลูกต่อปี) + จำนวนโคเนื้อที่เคลื่อนย้ายเข้า – จำนวนโคเนื้อที่เคลื่อนย้ายออก	ข้อมูล : 1. จำนวนโคเนื้อ, โคนมที่เข้าโรงฆ่า 2. ปริมาณซากโคเนื้อ, โคนมที่นำเข้า 3. ปริมาณซากโคเนื้อ, โคนมที่ส่งออก 4.% ซาก = 55 5. น้ำหนักเฉลี่ย 350 กก.ต่อตัว สูตรการคำนวณ : ปริมาณการบริโภค = (จำนวนโคที่คาดว่าจะฆ่าจริง x น้ำหนักเฉลี่ยโคต่อตัว x % ซาก) + ปริมาณซากโคที่นำเข้า – ปริมาณซากโคที่ส่งออก *โค หมายถึง โคเนื้อทุกประเภท โคนมคัดทิ้ง โคนมเพศผู้

หมายเหตุ : จาก “การคำนวณอัตราการผลิตและอัตราการบริโภคของปศุสัตว์”, โดย สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด จังหวัดนครราชสีมา, 2549 (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

ตารางที่ 2.4 การคำนวณการผลิต (production) และการบริโภค (consumption) ของปศุสัตว์แต่ละชนิดเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอ (ต่อ)

ชนิดสัตว์	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การผลิต (production)	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การบริโภค (consumption)
3. กระบือ	ข้อมูล : 1. จำนวนกระบือเพศเมียที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ 2. อัตราการให้ลูก 45% ต่อปี 3. จำนวนการเคลื่อนย้ายกระบือออกและเข้า อัตราการผลิตกระบือ = จำนวนกระบือทั้งหมดในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอ + (จำนวนกระบือเพศเมียที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ในพื้นที่ x อัตราการให้ลูกต่อปี) + จำนวนกระบือที่เคลื่อนย้ายเข้า – จำนวนกระบือที่เคลื่อนย้ายออก	ข้อมูล : 1. จำนวนกระบือที่เข้าโรงฆ่า 2. ปริมาณซากกระบือที่นำเข้าและส่งออก 3. % ซาก = 45 4. น้ำหนักเฉลี่ย 450 .กก.ต่อตัว ปริมาณการบริโภค = (จำนวนกระบือที่คาดว่าจะฆ่าจริง x น้ำหนักเฉลี่ยกระบือต่อตัว x % ซาก) + ปริมาณซากกระบือที่นำเข้า - ปริมาณซากกระบือที่ส่งออก
4. สุกร	ข้อมูล : 1. จำนวนสุกรเพศเมียที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ 2. จำนวนครอกต่อแม่ต่อปี (2 คอกต่อแม่) 3. ค่าเฉลี่ยลูกหมูต่อครอก (10 ตัว) อัตราการผลิต = จำนวนสุกรทั้งหมดในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอ + [(จำนวนสุกรแม่พันธุ์ที่อยู่ในพื้นที่ x จำนวนครอกต่อปี x ค่าเฉลี่ยลูกสุกรต่อครอก x (1 – อัตราการตาย)] + จำนวนสุกรเล็กที่นำเข้า – จำนวนสุกรเล็กที่ส่งออก *สุกรเล็ก หมายถึง สุกรที่มีอายุตั้งแต่ 4 - 12 สัปดาห์	ข้อมูล : 1. จำนวนสุกรที่เข้าโรงฆ่า 2. ปริมาณซากสุกรที่นำเข้า - ออก (% ซาก = 75) 3. น้ำหนักเฉลี่ย 100 กก.ต่อตัว ปริมาณการบริโภค = (จำนวนสุกรที่คาดว่าจะฆ่าจริง x น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว x % ซาก) + ปริมาณน้ำหนักซากสุกรที่นำเข้า - ปริมาณน้ำหนักซากสุกรที่ส่งออก * ซากสุกร คือส่วนร่างกายทั้งหมดของสุกรหลังเอาเลือด ขน หัว เครื่องใน มันเปลว และเล็บออกแล้ว

หมายเหตุ : จาก “การคำนวณอัตราการผลิตและอัตราการบริโภคของปศุสัตว”, โดย สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด จังหวัดนครราชสีมา, 2549 (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

ตารางที่ 2.4 การคำนวณการผลิต (production) และการบริโภค (consumption) ของปศุสัตว์แต่ละชนิดเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอ (ต่อ)

ชนิดสัตว์	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การผลิต (production)	ข้อมูลและวิธีคำนวณ การบริโภค (consumption)
5. ไก่เนื้อ	ข้อมูล : 1. จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยงในพื้นที่ 2. จำนวนการเลี้ยง 5.5 รุ่นต่อปี 3. อัตราการตาย (3 เปอร์เซ็นต์) สูตรการคำนวณ : อัตราการผลิต = จำนวนไก่เนื้อที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่ x จำนวนรุ่นต่อปี x (1 – อัตราการตาย)	ข้อมูล : 1. จำนวนไก่เนื้อที่ผลิตได้ในพื้นที่ 2. ปริมาณซากไก่เนื้อนำเข้าและส่งออก 3. % ซาก = 63 4. น้ำหนักเฉลี่ย 2.2 กก.ต่อตัว สูตรการคำนวณ : ปริมาณการบริโภค = (จำนวนไก่เนื้อที่ส่งเข้าโรงฆ่าภายในจังหวัด x น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว x % ซาก) + ซากไก่เนื้อที่นำเข้า - ซากไก่เนื้อที่ส่งออก
6. ไก่ไข่	ข้อมูล : 1. จำนวนแม่ไก่ยืนกรงในพื้นที่ (อายุมากกว่า 22 สัปดาห์ขึ้นไป) = จำนวนแม่ไก่ยืนกรงเดิม + แม่ไก่สาวที่นำเข้า – แม่ไก่ปลดระวาง – แม่ไก่ตาย 2. จำนวนไข่เฉลี่ย ฟองต่อปี (275 ฟองต่อตัวต่อปี) 3. อัตราการตาย (3 เปอร์เซ็นต์) สูตรการคำนวณ : อัตราการผลิต = จำนวนแม่ไก่ที่สำรวจได้xจำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัวต่อปีx(1 - อัตราการตาย)	ข้อมูล : 1. จำนวนไข่ไก่ที่ผลิตได้ 2. จำนวนไข่ไก่ที่มีการนำเข้าและส่งออกในพื้นที่ สูตรการคำนวณ : ปริมาณการบริโภค=จำนวนไข่ไก่ที่ผลิตได้+จำนวนไข่ไก่ที่นำเข้า-จำนวนไข่ไก่ที่ส่งออก

หมายเหตุ : จากการคำนวณอัตราการผลิตและอัตราการบริโภคของปศุสัตว", โดย สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด จังหวัดนครราชสีมา, 2549 (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ

2.3.1 หลักการปลดปล่อยหรือถ่ายเทมวลของคาร์บอน (carbon massflow concept)

กิจกรรมของมนุษย์สำหรับการผลิตอาหารอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ กิจกรรมจากการปศุสัตว์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์ ตามระบบห่วงโซ่อาหาร เพื่อที่สัตว์จะนำคาร์บอนจากพืชไปสะสมและสร้างเป็นเนื้อเยื่อ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์เพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ ดังนั้น วิธีการคำนวณเพื่อที่จะทราบข้อมูลการถ่ายเทคาร์บอนสามารถทำได้โดยอาศัยสมการดังนี้

อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน = จำนวนสัตว์ x ปัจจัยการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหน่วย (2.10)

โดยที่ UNECE (2004) ได้อธิบายถึง การปลดปล่อยหรือการถ่ายเทของมวลคาร์บอนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ไว้ โดยอาศัยหลักของการอนุรักษ์มวล (mass conservation) ซึ่งจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้โดยวิธีการคำนวณการถ่ายเทหรือการปลดปล่อยมวลทั้งหมดของคาร์บอนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ ในรูปของน้ำหนักคาร์บอนต่อตัวของสัตว์ ที่น้ำหนักถูกฆ่าเฉลี่ย เช่น กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว หรือน้ำหนักคาร์บอนต่อพื้นที่ ในแต่ละแหล่งที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ที่ระยะเวลาในการเลี้ยงเฉลี่ย เช่น กิโลกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร เพื่อความเข้าใจได้ง่ายขึ้นจะสามารถแสดงการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมได้ดังรูปที่ 2.11 และสามารถเขียนเป็นสมการการถ่ายเทคาร์บอนได้ดังนี้

$$E_{total} = E_{metabolic} + E_{grazing} + E_{housing} + E_{storage} + E_{spreading} \quad (2.11)$$

โดยที่ E_{total} = คาร์บอนจากการถ่ายเททั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

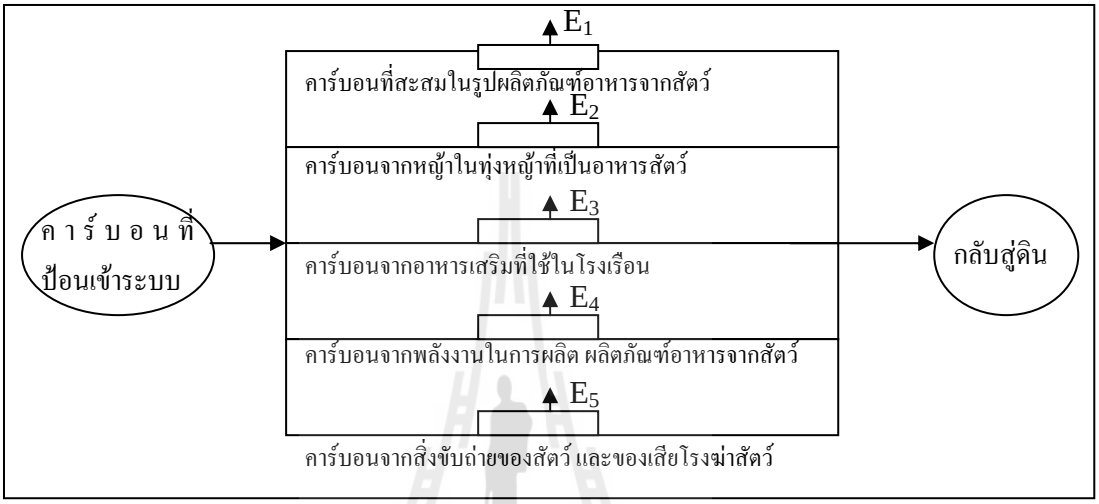
$E_{metabolic}$ = คาร์บอนที่สะสมในตัวสัตว์ ในรูปของเนื้อหรือผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

$E_{grazing} + E_{housing}$ = คาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ จากทุ่งหญ้า และจากการให้อาหารเสริมในโรงเรือน (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

$E_{storage}$ = คาร์บอนของพลังงานที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

$E_{spreading}$ = คาร์บอนในรูปของสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์กับจำนวนของสัตว์แต่ละชนิด (n_{animal}) จำนวนคาร์บอนที่ถ่ายเทมาอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ทั้งหมดของสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอหรือของจังหวัดนครราชสีมา สามารถคำนวณได้โดยอาศัย ผลรวมของปัจจัยการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละส่วนกิจกรรมของสัตว์แต่ละชนิด ดังนี้



รูปที่ 2.11 ระบบการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มปศุสัตว์
(จาก “Task Force on Emission Inventories and Projections”,
โดย UNECE, 2004, [On-line]. Available:
http://tfeip-secretariat.org/unece.htm)

$$E_{total} = n_{animal} \times (EF_{metabolic} + EF_{grazing} + EF_{housing} + EF_{storage} + EF_{spreading}) \quad (2.12)$$

เมื่อ n = จำนวนของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละพื้นที่

EF = ปัจจัยของการถ่ายเทคาร์บอนมาอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์แต่ละชนิด (กิโลกรัมคาร์บอน ต่อตัว ต่อพื้นที่) โดยคิดที่น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของสัตว์ที่ถูกฆ่าเป็นอาหารประเภทเนื้อ หรือระยะเวลาเฉลี่ยในการเลี้ยงสัตว์จนฆ่าเป็นอาหาร

Dämmgen and Webb (2006) รายงานถึงสนธิสัญญาที่นานาประเทศจะต้องทำการลดการกระจายสารมลพิษทางอากาศ รวมถึงการจัดทำรายงานข้อมูลมลพิษทางอากาศให้นานาประเทศรับรู้ โดยหนึ่งในการพิจารณาที่จะต้องลดสารมลพิษทางอากาศหรือรายงานสภาพสารมลพิษคือ มลพิษ

จากแหล่งกำเนิดทางเกษตรกรรมโดยเฉพาะจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งวิธีคิดเพื่อหาการกระจายของสารมลพิษในปัจจุบันได้รับการปรับปรุงล่าสุด โดยอาศัยการคำนวณอัตราการกระจายสารมลพิษจากปัจจัยการกระจายในแต่ละส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ เช่นจากโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ จากการจัดการมูลสัตว์เป็นต้น โดยใช้หลักการถ่ายเทมวล (mass flow concept) สำหรับสารทั้งไนโตรเจนและคาร์บอนจากแหล่งของการกระจายมลพิษทางอากาศต่างกันก็จะทำให้ค่าปัจจัยการกระจาย (emission factor) ต่างกันด้วย

IPCC and Schimel (1995) ได้อธิบายถึงองค์ประกอบหลักของวัฏจักร CO_2 ในบรรยากาศ โดยค่าในสมการจะเป็นค่าเฉลี่ยของคาร์บอนต่อปี (Pg C ต่อ ปี [1Pg = 10^{15}g]) ในปี ค.ศ. 1980 - 1989 ดังสมการ

$$\underset{5.5 \pm 0.5}{E_{ff}} + \underset{1.6 \pm 1.0}{E_{trop}} = \underset{3.3 \pm 0.2}{\Delta_{atm}} + \underset{2.0 \pm 0.8}{\Delta_{ocean}} + \underset{1.8 \pm 1.6}{(\Delta_{trop} + \Delta_{other})} \qquad (2.13)$$

โดยที่ E_{ff} = อัตราของการกระจายแก๊ส CO_2 จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง และการผลิตซีเมนต์

E_{trop} = อัตราของการกระจายแก๊ส CO_2 จากการทำลายป่า

Δ_{atm} = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ

Δ_{ocean} = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในมหาสมุทร

$\Delta_{trop} + \Delta_{other}$ = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในระบบนิเวศป่าเขตร้อนและระบบนิเวศบนบกอื่น ๆ

ซึ่งค่าของ E_{ff} และ Δ_{atm} ในสมการ ได้ถูกประมาณค่าไว้อย่างเป็นเหตุเป็นผลและมีความถูกต้องแล้ว แต่ค่าของ C ในเทอมอื่น ๆ ของสมการ ยังขาดความแน่นอนและขาดความถูกต้องโดยเฉพาะจากแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก (Δ_{other}) ซึ่งยังคงต้องการการศึกษาวิจัยถึงปริมาณ C ในระบบนิเวศบนบกนี้โดยละเอียด

2.3.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการทางสถิติ

กัลยา วานิชย์บัญชา (2545); Devore (1995); Mc Bean and Rovers (1998) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าจริงกับค่าประมาณใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นการหาขนาดตัวอย่าง จึงต้องมีการกำหนดความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ

ระดับความเชื่อมั่น หรือระดับนัยสำคัญ และความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้เกิดในการประมาณค่าเฉลี่ยประชากร (μ) ด้วยค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\overline{X}$)

ถ้าต้องการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยให้มีความผิดพลาดไม่เกินค่า e แล้ว ค่าประมาณแบบช่วงของค่าเฉลี่ยประชากรจะเท่ากับ $\overline{X} \pm e$ ดังนั้น

$$n = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{e} \right]^2 \qquad (2.14)$$

ศรเทพ ธัมวาสร (2545) กล่าวว่าความผิดพลาดในการประมาณค่าประชากรด้วยตัวอย่าง เนื่องจาก e = $|\overline{X} - \mu|$ ซึ่งในงานวิจัยทางสัตว์โดยส่วนใหญ่กำหนดให้เกิดความผิดพลาดสูงสุดได้ไม่เกิน 5% หรือ e = (0.05) x ($\overline{X}$) ดังนั้น ศรเทพ ธัมวาสร (2545) และ Marks (1982) จึงได้อธิบายวิธีการหาขนาดตัวอย่างสำหรับประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่เกี่ยวกับงานวิจัยทางสัตว์ดังนี้

$$n = \frac{n_0}{(1+\frac{n_0}{N})} \quad ; \text{เมื่อ} \quad n_0 = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{e} \right]^2 \qquad (2.15)$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างสุ่มที่ต้องการ

N = ขนาดประชากร

$Z_{1-\alpha/2}$ = ค่าปกติมาตรฐานที่ได้จากตารางทางสถิติขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่น โดยงานวิจัยทางสัตว์ส่วนใหญ่จะพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.96

σ^2 = ค่าความแปรปรวนของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จากการใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\overline{X}$) ประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) ซึ่งงานวิจัยทางสัตว์คิดความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดที่ 5%

นอกจากนี้ยังมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) ซึ่งเป็นวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัย เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดซึ่งส่วนมากได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณอยู่ที่ร้อยละ 0.05 โดยสูตรการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) คือ

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \tag{2.16}$$

เมื่อ n = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดประชากรทั้งหมด

e = ระดับความคลาดเคลื่อน (0.05)

และเพื่อความสะดวกได้มีทำตารางสำเร็จรูปของ Yamane (1973) โดยอาศัยการคำนวณจากสูตรดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่างความคลาดเคลื่อน (e) = ± 5%
500	222
1,000	286
2,000	333
3,000	353
5,000	370
8,000	381
10,000	385
15,000	390
20,000	392
25,000	394
50,000	397
100,000	398

หมายเหตุ : Mathematics for Economists : An Elementary Survey, Yamane, 1973, New Delhi : Prentice-Hall.

ประธาน เกิดกล่ำ (2549) ได้ทำผลงานเพื่อขอรับการประเมินเลื่อนขึ้นแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งสูงขึ้น โดยในผลงานดังกล่าวได้ใช้วิธีการศึกษาจำนวนตัวอย่างประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เกษตรกรอาสาพัฒนาปศุสัตว์ประจำหมู่บ้าน (อพปม.) จังหวัดน่าน ที่ยังคงปฏิบัติงานในปี 2547 จำนวน 858 คน โดยขนาดตัวอย่างคำนวณตามสูตรของ Yamane (Yamane, 1973) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (e) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้การสุ่มตัวอย่าง อพปม. แบบง่าย (Simple random sampling) ในแต่ละอำเภอ ได้ตัวอย่างทั้งสิ้นรวม 276 ตัวอย่าง

ปรารถนา ยศสุข (2551) ได้กล่าวไว้ว่า การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าทุกหน่วยประชากรได้มีโอกาสรับเลือกเป็นตัวแทนของประชากร งานวิจัยนิยมกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973) หรือ (Krejcie and Morgan, 1970) การที่จะให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสำคัญของปัญหา โดยทั่วไปแล้วมักจะยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ 5%

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ Robert V. Krejcie แห่งมหาวิทยาลัย Minisota และ Earyle W. Morgan แห่งมหาวิทยาลัย Texas ได้สร้างตารางขนาดประชากร และขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมา เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถเลือกขนาดของกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยไปใช้ได้โดยในตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างขนาดของกลุ่มตัวอย่างงานวิจัยจากจำนวนประชากร (Krejcie and Morgan, 1970)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan

จำนวนประชากร	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนประชากร	จำนวนตัวอย่าง
100	80	200	132
300	169	400	196
500	217	750	254
1000	278	1500	306
2000	322	3000	341
4000	351	5000	357
7000	364	9000	368
15000	375	20000	377
40000	380	50000	381
75000	382	100000	384

หมายเหตุ : Educational and Psychological Measurement (608-609), Krejcie and Morgan, 1970.

2.3.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ

สำหรับตัดสินใจบ่งชี้ชนิดของการทำปศุสัตว์ที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่า ไพบูลย์ แย้มเผื่อน (2542); Sullivan et al. (2003) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ ซึ่งไม่มีหลักตายตัวหรือแน่นอน แต่จำเป็นที่จะต้องหาวิธีวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ โดยจะกล่าวถึงวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

2.3.3.1 การจัดผลลัพธ์ในรูปของแมทริกซ์ (payoff matrix) หลักการจัดผลลัพธ์ในรูปของแมทริกซ์ (Payoff Matrix) คือ การนำเอาทางเลือกต่าง ๆ และสถานการณ์ต่าง ๆ มาเรียงกันในลักษณะตารางเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ตัวเลขที่อยู่ภายในแมทริกซ์เป็นค่าของผลลัพธ์ โดยให้ทางเลือกเป็นแนวนอน ซึ่งในที่นี้คือ ชนิดของการทำปศุสัตว์ และสถานการณ์เป็นแนวตั้ง ซึ่งในที่นี้คือ ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ และจากการใช้พลังงาน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.7 (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการจัดผลลัพธ์ในรูปของแมทริกซ์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/นน.สัตว์/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์	C-emission จากการใช้พลังงาน
โคนม		
โคเนื้อ		
กระบือ		
สุกร		
ไก่เนื้อ		
ไก่ไข่		

2.3.3.2 การวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542) ในบางครั้งไม่ทราบค่าความน่าจะเป็นของสถานการณ์ต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถตัดสินใจเลือกได้ การนำเอากฎของลาปลาซมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเลือกทำการปศุสัตว์ ทำได้โดยการกำหนดค่าของโอกาสที่จะเกิดของแต่ละสถานการณ์เท่า ๆ กัน เมื่อให้ n เท่ากับจำนวนสถานการณ์ต่าง ๆ ค่าของความน่าจะเป็นเท่ากับ 1/n ซึ่งในที่นี้จำนวนสถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน n = 2 (การปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ และจากการใช้พลังงาน) ทำให้โอกาสที่จะเกิด = ½ โดยให้ความสำคัญของสถานการณ์ต่าง ๆ เท่ากันหมด ดังนั้นการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซเพื่อการตัดสินใจนี้ จะได้ผลลัพธ์เฉลี่ยของแต่ละทางเลือกจากการรวมค่าการปลดปล่อยคาร์บอนของสถานการณ์ต่าง ๆ แล้วคูณกับความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเกิด โดยผลลัพธ์เฉลี่ย

ของทางเลือกใดมีค่าต่ำสุดแสดงว่า ควรเลือกทำการปศุสัตว์จากทางเลือกนั้นเพราะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่ำสุด ในขณะที่ผลลัพธ์เฉลี่ยจากทางเลือกใดมีค่าสูงสุดแสดงว่าทางเลือกของการทำปศุสัตว์นั้นถูกบ่งชี้ว่า ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.8 (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างการคำนวณผลลัพธ์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	**(ค่าการปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ + จากการใช้พลังงาน)/n**	**สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/นน.สัตว์/วัน)**
โคนม		
โคเนื้อ		
กระบือ		
สุกร		
ไก่เนื้อ		
ไก่ไข่		

2.3.3.3 กฎสูงสุดเพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์ใช้กระบวนการของเฮอร์วิกซ์ การประยุกต์กระบวนการของเฮอร์วิกซ์ (The Hurwicz procedure) เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกทำการปศุสัตว์ ทำโดยการเลือกสถานการณ์ที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุดของทุก ๆ ทางเลือก จากนั้นจะนำมาเลือกทางเลือกที่พบว่าให้ผลลัพธ์สูงสุดอีกครั้งหนึ่ง การใช้กระบวนการของเฮอร์วิกซ์ สามารถแสดงได้ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้ (Sullivan et al., 2003)

$$\max_{i}\left[\max_{j} Pij\right] \qquad (2.17)$$

เมื่อ P_{ij} เป็นผลลัพธ์ทางเลือก i ของสถานการณ์ j จากตารางที่ 2.7

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2.7 ซึ่งผลลัพธ์ถูกจัดอยู่ในรูปของแมทริกซ์ เมื่อเลือกสถานการณ์ที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดของทุกทางเลือก จะได้สถานะ X นำมาเขียนเป็นตารางดังแสดงในตารางที่ 2.9 ซึ่งจากตารางที่ 2.9 เลือกค่าสูงสุดจากทางเลือกต่าง ๆ โดยผลลัพธ์จากทางเลือกใดมีค่าสูงสุดแสดงว่าทางเลือกของการทำปศุสัตว์นั้นถูกบ่งชี้ว่า ก่อให้เกิดปัญหาทาง

สิ่งแวดล้อมสูงสุด ในขณะที่ผลลัพธ์ของทางเลือกใดมีค่าต่ำสุดแสดงว่า ควรเลือกทำการปศุสัตว์จากทางเลือกนั้นเพราะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่ำสุด (Sullivan et al., 2003)

ตารางที่ 2.9 ผลลัพธ์ที่สถานะ X

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\frac{\max Pij}{i(x)}$
โคนม	
โคเนื้อ	
กระบือ	
สุกร	
ไก่เนื้อ	
ไก่ไข่	

2.3.3.4 การวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยการประยุกต์กฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำปศุสัตว์ ถ้าผู้ตัดสินใจเลือกทางเลือกได้แล้วแต่ไม่ได้เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดก็จะเกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า ค่าความเสียใจ (regret) ซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างผลลัพธ์ที่ควรจะได้กับผลลัพธ์ที่ได้รับจากการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ด้อยกว่า กฎนี้ผู้ตัดสินใจต้องการที่จะหลีกเลี่ยงจากความเสียใจนั่นเอง โดยการเลือกค่าต่ำสุดจากค่าความเสียใจสูงสุด การประยุกต์ใช้คือเลือกผลลัพธ์ของทางเลือกที่มีการปล่อยคาร์บอนสูงสุดในแต่ละสถานการณ์ แล้วนำเอาผลลัพธ์ดังกล่าวตั้งลบด้วยค่าการปล่อยคาร์บอนทุกตัวของแต่ละทางเลือกในสถานการณ์เดียวกัน ค่าที่ได้เป็นค่าเสียใจ แล้วจัดให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ แล้วเลือกค่าเสียใจสูงสุดของแต่ละทางเลือกจากแถวในแนวนอน ซึ่งจะได้ดังตารางที่ 2.10 จากนั้นนำมาเลือกหาค่าต่ำสุดของแต่ละทางเลือก จะทำให้การตัดสินใจถูกต้องมากขึ้นมีความเสียใจหรือผิดพลาดน้อย สามารถเขียนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

$$\frac{\min}{i}\left[\frac{\max Rij}{j}\right] \tag{2.18}$$

เมื่อ R_{ij} คือ มูลค่าของความเสียใจ สำหรับทางเลือก i และ j ของสถานการณ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.10 ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือก

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\left[\frac{\max Rij}{j}\right]$
โคนม	
โคเนื้อ	
กระบือ	
สุกร	
ไก่เนื้อ	
ไก่ไข่	

ซึ่งจากตารางที่ 2.10 ค่าต่ำสุดจากทางเลือกต่าง ๆ ที่เลือกแสดงว่าทางเลือกของการทำปศุสัตว์นั้นถูกบ่งชี้ว่า ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด ในขณะที่ผลลัพธ์ของทางเลือกใดมีค่าสูงสุดแสดงว่า ควรเลือกทำการปศุสัตว์จากทางเลือกนั้นเพราะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่ำสุด (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

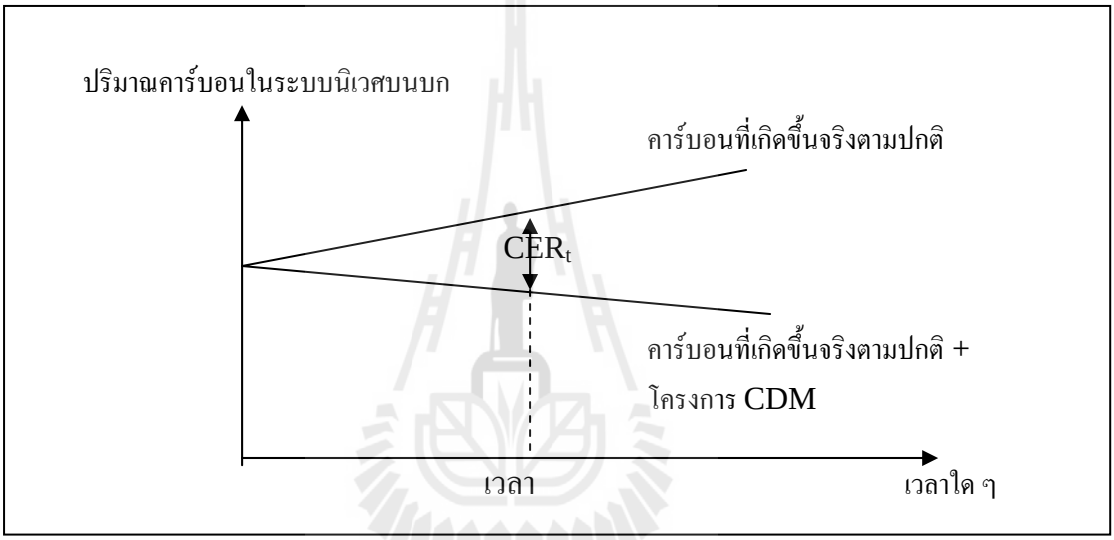
2.4 แนวทางในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากงานวิจัยในอดีต

Pfaff et al. (2000) ได้อธิบายไว้ว่า การป้องกันแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญได้แก่ ป่าในภูมิภาคเขตร้อนภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism: CDM) จะสามารถลดการกระจายคาร์บอนได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดิน (land use) กับปริมาณคาร์บอนพื้นฐาน การทำนายปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตเพื่อตอบสนองตลาด และการประเมินจุดเหมาะสมของตลาดที่ควรเป็นไปได้

การประมาณการสะสมของคาร์บอนภายใต้โครงการ CDM อาจจะนำไปสู่ การขายคาร์บอน (C-trading) ในอนาคต ซึ่งสามารถแสดงผลของการลดการกระจายคาร์บอนภายใต้โครงการ CDM ได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่ง CER_t (certified emission reduction) คือการลดการกระจายคาร์บอน ซึ่งวิเคราะห์จากปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์และระบบนิเวศจากการใช้ที่ดิน

Garton and Birkenholz (1998) กล่าวว่าการใช้เทคนิคการบริหารจัดการปศุสัตว์อย่างเหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค สามารถลดปริมาณการกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ ในปัจจุบันเกษตรกรและหน่วยงานของรัฐยังไม่มีเทคนิคใหม่และแนวทางในการจัดการ หรือทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง พืช และการปศุสัตว์ ทำให้ไม่สามารถจัดการผลิตทรัพยากรอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากร ทำให้เกษตรกรของทุกภูมิภาคในโลกบุกรุกถากถางป่า เพื่อเปลี่ยนเป็นผืนแผ่นดินที่ใช้ใน

การเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะกิจกรรมปศุสัตว์จำพวกสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 และ CH_4 สูงสุดจากการหายใจ และการย่อยสลายอาหารไฟเบอร์ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งแก๊ส CO_2 และ CH_4 ส่วนใหญ่จะแพร่กระจายสู่อากาศทางปากและจมูกของสัตว์ ถึงแม้ว่าการแพร่กระจายของแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมการปศุสัตว์จะไม่ได้ถูกกำจัดไปทั้งหมดแต่การจัดการที่ดีให้เหมาะสม หรือผลิตให้สมดุลกับความต้องการของผู้บริโภค นอกจากจะช่วยให้ผู้ผลิตมีกำไรมากขึ้นจากการผลิตแล้ว ยังสามารถช่วยลดการเกิดแก๊สเรือนกระจกได้จากการปศุสัตว์และช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกได้ด้วย



รูปที่ 2.12 การลดลงของการกระจายคาร์บอนจากโครงการ CDM (จาก “The Kyoto protocol and payments for tropical forest : An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM”, โดย Pfaff et al., 2000, Ecological Economics)

Leng (1991) ทำการศึกษาพบว่าการเกิด CH_4 ต่อปีจากการปศุสัตว์ทั่วโลกมีสัดส่วนประมาณ 28% ของ CH_4 ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ถึงแม้ว่าวัว 1 ตัวจะสามารถทำให้เกิด CH_4 เพียง 80 - 110 กิโลกรัมต่อปี ก็ตามแต่เมื่อรวมการปศุสัตว์ทั่วโลกที่มีประมาณ 1,200 ล้านตัว จึงทำให้การปศุสัตว์เป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของแหล่งกำเนิด CH_4 การปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากสัตว์ จะแสดงถึงการสูญเสียคาร์บอนที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์โดยไม่มีประสิทธภาพ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะทำให้อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในแต่ละมื้อกลายเป็นนมหรือเนื้อให้มากที่สุดโดยให้เกิดการสูญเสีย

พลังงานจากมื้ออาหารของสัตว์ไปในรูปของ CH_4 ให้น้อยที่สุด ดังนั้นการพัฒนาการจัดการปศุสัตว์จากอาหาร สามารถช่วยลดความเข้มข้นของแก๊ส CH_4 ในบรรยากาศได้โดยผ่านกลไกของคาร์บอนในดิน บนผืนแผ่นดินหรือทุ่งหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งการจัดการปศุสัตว์ที่ดีจะช่วยเพิ่มจำนวนของสารอินทรีย์ในดินและลดการแพร่กระจายของแก๊สเรือนกระจกสู่บรรยากาศได้

Sommer, Peteren, and Sogaard (2000) กล่าวว่าถ้ามีการควบคุมจำนวนสัตว์ให้เหมาะสมกับความต้องการในการบริโภคของคน จะทำให้การเลี้ยงสัตว์ไม่มากเกินความจำเป็น ส่งผลให้มูลสัตว์มีปริมาณน้อยและจัดการง่ายขึ้นซึ่งสิ่งสำคัญในการลดการแพร่กระจายของแก๊ส CH_4 เนื่องจากการสะสมของมูลสัตว์คือ

- การเก็บมูลสัตว์ เพื่อใช้งานในรูปของแข็งจะดีกว่าในรูปของเหลว
- การมีระบบการควบคุมการแพร่กระจายที่ดี
- การเติมอากาศที่ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 จะดีกว่าในรูปของแก๊ส CH_4
- ลดระยะเวลาของการเก็บมูลสัตว์ โดยนำไปใช้ให้เร็วขึ้น
- ลดการใช้หญ้าหรือฟาง ในการปูคอกสัตว์ จะทำให้ลดคาร์บอน ในมูลสัตว์ได้
- มูลสัตว์ที่เปียกให้เก็บใส่ภาชนะในที่เย็นเช่นใต้ดิน เพื่อให้การย่อยสลายคาร์บอนช้าลง
- การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียระบบปิด จะสามารถช่วยลดการกระจายของแก๊ส CH_4 ได้

Eghball, Power, Gilley, and Doran (1997) กล่าวว่า มีวิธีการในการบำบัดมูลสัตว์มากมาย แต่การหมักทำปุ๋ยคอก อาจเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะว่าปุ๋ยคอกจะปลดปล่อยแก๊ส CH_4 น้อยกว่าการเก็บมูลสัตว์แบบอื่น ๆ เนื่องจากต้องมีการเติมอากาศในระหว่างการหมัก ปุ๋ยคอกจากมูลวัวนี้จะสูญเสียคาร์บอนไปเป็นแก๊ส CO_2 ประมาณ 46 - 62%

Kirchgessner, Windisch, and Miller (1995) ได้รายงานถึงชนิดของอาหารที่เหมาะสมที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อลดการเกิดแก๊ส CH_4 จากการย่อยอาหารและจากการดำเนินชีวิตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่นการใช้อาหารประเภทแป้ง เพื่อช่วยทำให้เกิดกรดโพรไพโอนิค (propionic acid) เป็นต้น กระบวนการให้อาหารที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะมีความเป็นไปได้และมีประสิทธิภาพจากระบบอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ โดยที่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะสูญเสียแก๊ส CH_4 ประมาณ 1.5 กรัมต่อ (กิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้น)$^{0.75}$ ต่อวัน ในการดำเนินชีวิต โดยจากตารางที่ 2.11 สามารถคำนวณได้ว่า 85% ของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะนำมาใช้ในการดำเนินชีวิต ดังนั้น 85% ของแก๊ส CH_4 ที่ถูกผลิตมาจากสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเกิดเนื่องจากการใช้ในการรักษาไว้ซึ่งจำนวนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งถูกประมาณไว้ว่าแก๊ส CH_4 ที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปี จะมีประมาณ 80 x 10^{12} กรัม นั่นหมายความว่าแก๊ส CH_4 68 x 10^{12} กรัม สูญเสียไปในการดำเนินชีวิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องและที่เหลือ

อีก 12 x 10^{12} กรัม จะใช้ไปในการผลิต นม และเนื้อ ซึ่งการผลิตอาหารประเภท นม และเนื้อจากสัตว์เคี้ยวเอื้องนี้ มีความสำคัญที่ต้องศึกษาการลดลงของแก๊ส CH_4 จากระบบ ในรูปของอาหาร เพราะทั่วโลกมีปริมาณการเลี้ยงสัตว์ประเภทนี้สูงมาก และต้องคำนึงถึงปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เหล่านั้นเป็นหลักด้วย

Hartung and Phillips (1994) ได้กล่าวไว้ว่า มนุษย์เริ่มให้ความสนใจถึงแก๊สที่ถูกปล่อยออกมาจากการผลิตสัตว์ ซึ่งมีความรุนแรง และเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงชนิดและปริมาณของแก๊สที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ และจากที่เก็บกักมูลสัตว์ เพื่อหาทางป้องกันหรือลดการเกิดแก๊ส ซึ่งจากร่องรอยแก๊สที่เกิดขึ้นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ทั้ง 136 ชนิด แอมโมเนีย และ CH_4 เป็นแก๊สที่มีความเสี่ยงที่จะกระทบกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยเกิดจากมูลสัตว์สด ๆ อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และจากตัวของสัตว์เอง การกระจายของแอมโมเนียจากการผลิตและเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดในเยอรมันตะวันออกประมาณ 300,000 – 700,000 ตันต่อเอเคอร์ ซึ่งเป็นค่าที่เกินกว่าที่ธรรมชาติจะรับได้ มีผลกระทบโดยตรงกับต้นไม้รอบ ๆ โรงเรือน และส่งผลถึงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ อันเนื่องจากสาหร่ายในน้ำที่เบ่งบานเกินไป ปกคลุมผิวน้ำจนสิ่งมีชีวิตในน้ำดำรงชีวิตอยู่ไม่ได้ ในที่สุดก็ตาย และทำให้น้ำเน่าเสีย อีกทั้งดินมีสภาพเป็นกรด ปัจจัยที่ใช้ในการจัดการเพื่อลดการกระจายของแอมโมเนียในโรงเรือนคือ การควบคุมปริมาณโปรตีนในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ ค่า pH ของอาหารส่วนเพิ่มที่ใช้เลี้ยงสัตว์ อุณหภูมิอากาศ อัตราการระบายอากาศ สิ่งที่มีความสำคัญต่อปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สุดจากการเลี้ยงสัตว์คือ คาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CH_4 ที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก การลดการกระจายของแก๊ส CH_4 มีความจำเป็น และมีความสำคัญซึ่งไม่เพียงแค่การลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็นการลดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดอีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.11 ขนาดและการเพิ่มขึ้นของสัตว์ที่เลี้ยงจากฟาร์มในปี 1997

ชนิด	จำนวน ($x10^9$)	น้ำหนัก ($x10^6$ ตัน)	การผลิตต่อปี ($x10^6$ ตัน)	สัดส่วน
สัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่	1.41	332	52.6	0.16
สัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก	1.57	36	9.9	0.28
สัตว์กระเพาะเดี่ยว	1.36	47	87.2	1.85
สัตว์ปีก	13.9	12	58.1	4.84
รวมสัตว์ทั้งหมด	18.2	427	207.9	0.49

หมายเหตุ : จาก “Nutritional factors for the quantification of methane production”, โดย Kirchgessner, Windisch and Miller, 1995, In: Engelhardt, Leonhard-Marek, Breves, Giesecke, (eds.), Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 333-348.

2.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์

Tamminga (2003) อธิบายไว้ว่า การผลิตสัตว์หรือการปศุสัตว์จะทำให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมได้ทั้งดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งผลกระทบในส่วนที่เกิดกับดินและน้ำจะเกิดจาก NO_3^- P และ K ที่มาจากปุ๋ยมูลสัตว์ ซึ่งทำให้เกิดเหตุการณ์สาหร่ายเบ่งบานเต็มผิวหน้าของน้ำ และส่งผลทำให้น้ำเน่าเสียในที่สุด ส่วนผลกระทบที่เกิดกับอากาศจากการเลี้ยงสัตว์จะเป็นในเรื่องของภาวะโลกร้อนจากแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊ส CO_2 CH_4 และ N_2O ที่เกิดจากการปศุสัตว์แต่ Sauerbeck (2001) ได้พิสูจน์เอาไว้ว่าการกระจายของแก๊ส CO_2 ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันในขณะที่การกระจายของแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากภาคเกษตรกรรม และการเลี้ยงสัตว์จะเล็กน้อยไม่เกิน 5% แต่ถึงแม้ว่าจะน้อยก็มีความสำคัญที่ไม่สามารถมองข้ามได้ เนื่องจากปริมาณโดยรวมทั้งหมดมีจำนวนสูง ส่วนการกระจายของแก๊ส CH_4 จะเกิดจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศซึ่ง Johnson, Ward, and Bernal (1997) ได้กล่าวไว้ว่าแก๊ส CH_4 ประมาณ 20% ของค่าการเกิดแก๊สจากภาคเกษตรกรรมในตารางที่ 2.12 เกิดจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง และของเสียจากสัตว์ แก๊ส CH_4 ที่เกิดจากวัวนมมีส่วนทำให้โลกร้อนได้ถึง 55% ของการปศุสัตว์ทั้งหมด ส่วนแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการปศุสัตว์ตัวสุดท้ายคือ แก๊ส N_2O ซึ่ง Vermoesen, van Cleemput, and Hofman (1996) ได้ศึกษาไว้ว่าการกระจายของแก๊ส N_2O เกิดจากการใช้ที่ดิน เช่น การตัดหญ้าบนทุ่งหญ้า การเลี้ยงสัตว์บนทุ่งหญ้า และการปลูกข้าวโพด จะมีค่าเท่ากับ 2.8, 14.0 และ 3.2 กิโลกรัม N_2O ต่อเฮกตาร์ต่อปี

Johnson, Phetteplace, and Seidl (2001) ได้ศึกษาการจำลองสถานการณ์ การใช้พื้นที่เพื่อผลิตวัวเนื้อ โดยคำนึงถึงพื้นที่โดยเฉลี่ยที่จำเป็นสำหรับการเลี้ยงวัวหรือลูกวัวเพื่อขุนเท่ากับ 3 - 18.5 เอเคอร์ต่อวัว 1 ตัวพบว่า ค่าเฉลี่ยของการถ่ายเทคาร์บอนสำหรับการจัดการที่ดีที่สุด (best management practices: BMP) ของทุ่งหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ บริเวณที่ใช้เพื่อการปศุสัตว์และฟางหรือหญ้าแห้ง = 357, 45 และ 178 ปอนด์คาร์บอนต่อเอเคอร์ต่อปี หรือประมาณตามจำนวนวัวได้ว่าศักยภาพของการถ่ายเทคาร์บอนอยู่ในช่วง 46 - 94 ตันคาร์บอนต่อปีต่อวัว 100 ตัว ดังที่แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.13 การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทคาร์บอนสำหรับการปศุสัตว์ ในกรณีที่หมุนเวียนการให้กินหญ้าจะประมาณ 50 ตันต่อปีต่อฝูงวัว 100 ตัว หรือคิดเป็นการแพร่กระจายของการสมมูลแก๊ส CO_2 = 30% ของแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด

นอกจากนั้น Sere and Steinfeld (1996) ยังได้กล่าวถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเลี้ยงสัตว์มากเกินไปเพราะชนิดและความหนาแน่นของการเลี้ยงสัตว์เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่ต้องบุกรุกทำลายป่าซึ่งเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนที่สำคัญที่สุดของโลกเพื่อปลูกหญ้าหรือพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ไว้ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ นอกจากนั้นการเลี้ยงสัตว์ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของเสียหรือสิ่งที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์ ไม่ว่าจะเป็น แก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดจากระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องและการหายใจ และแม้กระทั่งมูลหรือสิ่งขับถ่ายที่เกิดจากสัตว์ที่ทำให้เกิดแก๊ส N_2O และ NO ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้นโดยเฉพาะปัญหาโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของโลก

ตารางที่ 2.12 การกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมทางการเกษตร

กิจกรรม	**CO_2 (ppb)**	**CH_4 (ppb)**	**N_2O (ppb)**
การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นต่อปี	1500	7.0	0.8
ศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (GWP)	1000	40	330
การเกิดแก๊สจากภาคเกษตรกรรม	5000	20	>50

หมายเหตุ : จาก “Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production” โดย Tamminga, 2003, Livestock Production Science, 84 : 101-111 ; จาก “Biotechnology mitigating the environmental effects of dairying: greenhouse gas emissions”, โดย Johnson, Ward and Bernal, 1997, In : Welch, Burns, Davis, Popay, Prosser (eds.), Milk Composition, Production and Biotechnology, 497-511.

ตารางที่ 2.13 การจำลองการถ่ายเทคาร์บอนของระบบการผลิตเนื้อวัวในอเมริกา

การถ่ายเทคาร์บอน	ปอนด์คาร์บอนต่อเอเคอร์ต่อปี	ค่าเฉลี่ยตันคาร์บอนต่อปีต่อวัว 100 ตัว
การจัดการที่ดีที่สุดของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	357	51
บริเวณที่ใช้เพื่อการปศุสัตว์และโรงเรือน	45	9
ฟางหรือหญ้าแห้ง	178	4
รวมคาร์บอนในอาหารสัตว์ทั้งหมด	580	64
คาร์บอนจากการปลูกพืช	714	14
รวมการถ่ายเทคาร์บอนทั้งหมด	1294	78

หมายเหตุ : จาก “Methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from ruminant livestock production systems”, โดย Johnson, Phetteplace and Seidl, 2001, Proceeding 1st International Conference Greenhouse Gases and Animal Agriculture, Obihiro, Japan.

อย่างไรก็ตามการปศุสัตว์ยังคงดำเนินต่อไปเพราะจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นและความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้น การปศุสัตว์จะเป็นการถ่ายเทชีวมวลที่อยู่ในพืชไปสู่สัตว์ ในรูปของเนื้อ นม ไข่ ขน หนัง แรงงานจากสัตว์ มูลสัตว์ และแก๊สที่เกิดจากการหายใจของสัตว์ ซึ่งดูเหมือนกับเป็นผลลัพธ์ของวัฏจักรของสาร C และ N ผ่านดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์และมูลสัตว์ที่ใช้เป็นปุ๋ย โดยอาศัยกลไกการสังเคราะห์แสงของพืช การตรึงไนโตรเจน (N-fixation) ไนตริฟิเคชั่น ดีไนตริฟิเคชั่น และเมื่อกิจกรรมของมนุษย์มารบกวนวัฏจักรของสารให้ขาดความสมดุลก็จะทำให้ C และ N ถูกปลดปล่อยออกจากระบบนิเวศไปสร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อม การแพร่กระจาย C และ N ที่เกี่ยวข้องกับการปศุสัตว์เป็นผลมาจากกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ทำให้เกิดแก๊ส CH_4 ส่วนการขับถ่ายของเสียจากสัตว์จะทำให้เกิดแก๊ส N_2O และ NO ซึ่งการผลิตสัตว์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ที่จะต้องเกิดของเสีย หรือสิ่งขับถ่ายจากสัตว์และจะต้องใช้อาหารในการเลี้ยงสัตว์ตามความสามารถของพื้นที่ ที่สามารถเพาะปลูกพืชอาหารสัตว์ได้ ถ้าการผลิตสัตว์มีมากเกินความสามารถที่พื้นที่นั้น ๆ จะสามารถรองรับได้แล้วจะทำให้เกิดผลเสียที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น (Tamminga, 2003)

Hogberg et al. (2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการปศุสัตว์กับสิ่งแวดล้อมและชุมชนในชนบท เนื่องจากใน 50 ปีที่ผ่านมา มีการเปลี่ยนแปลงมากมายของการปศุสัตว์ที่เกี่ยวกับการเพิ่มขนาดของการผลิตต่อหน่วย การใช้เทคโนโลยี การลดแรงงานคนในการผลิต การเพิ่มจำนวนสัตว์ด้วยการผสมพันธุ์และการตกลูกของสัตว์ และระบบการพัฒนาสายพันธุ์ให้ได้สายพันธุ์เฉพาะที่เหมาะสม ซึ่งเป้าหมายในระยะยาวคือ การเพิ่มศักยภาพทางอาหารเชิงปริมาณ 2 - 3 เท่า จาก

อาหารที่ได้จากสัตว์ รวมทั้งการผลิตนม และไข่ด้วย แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมคือ การผลิตปศุสัตว์ในปริมาณมาก บนพื้นที่น้อยหรือจำกัด ทำให้ความเข้มข้นต่อพื้นที่ของของเสียจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์มีความรุนแรงสูงขึ้น และยังสร้างปัญหามลภาวะต่าง ๆ ตามมาด้วย เช่น มลภาวะทางน้ำทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมทั้งเกิดปัญหาในเรื่องของกลิ่นรบกวนบริเวณใกล้เคียงหรือชุมชนเมืองที่ขยายตัวมาอยู่ใกล้ชิดกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์มากขึ้น และกลายเป็นปัญหากระทบกระทั่งกันระหว่างผู้ทำฟาร์มปศุสัตว์กับชุมชนอยู่เสมอ ๆ ส่งผลทำให้จำนวนผู้ประกอบการและขนาดกำลังการผลิตลดน้อยลงไปทุกทีจากผลของการขยายตัวของชุมชน

นอกจากนี้ผลการศึกษาของ NASS. (2002) ได้แสดงให้เห็นถึง ร้อยละของอายุฟาร์มปศุสัตว์ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา เช่น ฟาร์มไก่ลดลงจาก 78% เหลือแค่ 4.6% ฟาร์มโคนมลดลงจาก 68% เหลือแค่ 4.3% ฟาร์มหมูลดลงจาก 56% เหลือ 3.7% ในขณะที่ฟาร์มวัวเนื้อคงที่อยู่ที่ 41% ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา

U.S. Environmental Protection Agency (2002) รายงานว่า การปศุสัตว์ในอเมริกาก่อให้เกิดแก๊ส CH_4 ประมาณ 26% และแก๊ส N_2O มากกว่า 50% ซึ่งคิดเทียบเป็นการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 ประมาณ 15% ของแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่ถึงอย่างไรก็ตามระบบการปศุสัตว์ก็มีความสำคัญในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และการถ่ายเทคาร์บอน

De Boer (2003) ได้อธิบายถึงวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทั้งหมดของการผลิตนม โดยเริ่มตั้งแต่การปลูกพืชเลี้ยงวัวนมไปจนถึงการรีดนมวัว และเก็บรักษา ซึ่งไม่รวมถึงส่วนของการขนส่ง และการบริโภคนม และได้แยกการพิจารณาในเรื่องของยาฆ่าแมลงและยารักษาโรคออกไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลโดยผลกระทบที่ถูกประเมินจะแยกออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- ศักยภาพการเกิดสภาพกรด (acidification) จะพบแก๊สแอมโมเนียระเหยอยู่ที่ 78 - 97%
- ศักยภาพของการเกิดยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) เนื่องจาก N และ P ต่อตันของนม หรือต่อพื้นที่ฟาร์มนม
- ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการกระจายของแก๊สเรือนกระจกเช่น แก๊ส CH_4 48 - 65% ซึ่งการเกิดแก๊ส CH_4 ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของสัตว์ และการย่อยอาหารหยาบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (Wilkerson, Casper, Mertens, and Tyrell, 1994) การกระจายของ CO_2 จะเกิดจากการใช้น้ำมันในกิจการฟาร์ม (22%) และการขนส่ง (30%) และการใช้ปุ๋ย (21%) และการลดการเกิดแก๊ส N_2O ด้วยการใช้ปุ๋ยในอัตราที่สมดุลกับความต้องการปุ๋ยของพืช

Hirota et al. (2005) ได้ทำการศึกษาประเมินผลกระทบของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ต่อการเกิดแก๊สเรือนกระจก โดยศึกษาจากการเจริญเติบโตของพืช และการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ภายใต้สภาพพื้นที่ที่เป็นและไม่เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ของที่ราบสูงธิเบต พบว่า การใช้แก๊ส CO_2

ของระบบนิเวศสิ่งมีชีวิตเหนือพื้นดินสุทธิ มีความสำคัญน้อยกว่าการกระจายแก๊ส CH_4 ของระบบนิเวศเหนือพื้นดิน และภายใต้สภาพที่เป็นทุ่งเลี้ยงสัตว์จะมีความสำคัญมากกว่าสภาพที่ไม่ใช่ทุ่งเลี้ยงสัตว์ โดยผลการศึกษาพบว่า ในสภาพที่เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์จะมีการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 และ CH_4 สูงกว่าคิดเป็น 5.6 – 11.3 เท่าของสภาพที่ไม่ใช่ทุ่งเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์สำหรับการปศุสัตว์จะเป็นสาเหตุของการเพิ่มศักยภาพของสภาวะโลกร้อน

Paillat, Robin, Hassouna, and Leterme (2005) ได้ทำการศึกษาวัดการเปลี่ยนแปลงการกระจายของแก๊ส NH_3, N_2O, CO_2, CH_4 และน้ำ จากกองปุ๋ยหมัก 8 กอง เพื่อแสดงถึงช่วงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของไนโตรเจนและคาร์บอนที่อยู่ในมูลสัตว์จากการปศุสัตว์ การตรวจวัดจะพิจารณาในช่วงเวลา 2 เดือนแรกเนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายชีวมวลสูงสุดและมีอุณหภูมิอยู่ในสภาวะเทอร์โมฟิลลิค (thermophilic phase) โดยตัวแปรที่ศึกษาเพื่อใช้อธิบายจลนศาสตร์ของการกระจายแอมโมเนียคือ เวลาตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงเวลาที่เกิดความเข้มของการกระจายแอมโมเนียสูงสุด ช่วงกว้างของความสามารถในการย่อยสลายคาร์บอน การกระจายเนื่องจากการย่อยสลายไนโตรเจน และการกระจายสะสมซึ่งในกองปุ๋ยหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนอยู่ในช่วง 16.5 – 48.9% ของไนโตรเจนเริ่มต้นโดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายของ C และ N การเปลี่ยนแปลงการสะสมของการกระจายแก๊ส CO_2 และ CH_4 จะวิเคราะห์จากปริมาณของธาตุ N และ C ในสารละลายและในเซลลูโลสของมูลสัตว์สภาพแห้ง ผลจากการศึกษากองปุ๋ยหมักที่อยู่ในสภาพที่มีอากาศ ความชื้นน้อย และการกระจายของแก๊ส N_2O และ CH_4 ต่ำพบว่า ถ้ามีความสามารถในการย่อยสลาย C สูงจะทำให้ลดการกระจายของแอมโมเนียลงได้

Manlay et al. (2004) พบว่าระบบการผสมผสานการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงสัตว์ เป็นการจัดการทรัพยากรที่เป็นสารอินทรีย์อย่างหนึ่ง ซึ่งการประเมินสมดุลของสารอินทรีย์ถูกประเมินทั้งเป็นบางตำแหน่งและทั้งระบบของหมู่บ้านแห่งหนึ่งในแอฟริกาตะวันตกจะสามารถใช้บ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้ทรัพยากรสารอินทรีย์ได้ การกระจายของปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในดินและพืชของหมู่บ้านจะอธิบายได้ถึงความแตกต่างของระบบการใช้ที่ดิน และสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ คาร์บอนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตแสดงถึงทรัพยากรทางอาหาร เชื้อเพลิงจากไม้ และวัสดุในการก่อสร้างที่มนุษย์ต้องใช้ในการดำรงชีวิต และการปศุสัตว์ในรูปของอาหารสัตว์ การศึกษาเหตุการณ์ความสัมพันธ์ที่แน่ชัดของการกระจายคาร์บอนและสารอาหาร ตามหน้าที่ของกิจกรรมทางการเกษตรของระบบการใช้ที่ดินที่ขนาดต่าง ๆ กันจะเป็นปัจจัยหลักของการศึกษาเพื่อให้มั่นใจถึงหน้าที่ในหน่วยต่าง ๆ ของระบบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรที่เป็นสารอินทรีย์

การวิเคราะห์เกี่ยวกับโครงสร้างประชากรและค่าเฉลี่ยของการผลิตปศุสัตว์ โดยการคำนวณถ่วงน้ำหนักขนาดประชากรตามอายุ เพื่อบ่งชี้ถึงความต้องการอาหาร สำหรับประชากรที่มีอายุต่ำกว่า และมากกว่า15 ปี จะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักความต้องการอาหาร = 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของการผลิตปศุสัตว์จะถูกสำรวจถึงความสามารถในการผลิตในหน่วยน้ำหนักปศุสัตว์ ซึ่ง 1 TLU (tropical livestock units) = 250 กิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์ (live weight [LW]) โดยการคำนวณศักยภาพของความเพียงพอของพืชอาหารสัตว์ ที่ใช้ในการปศุสัตว์ (SSF_H) จาก

$$SSF_H = \frac{AFP_H}{NFI \times HS_H} \tag{2.19}$$

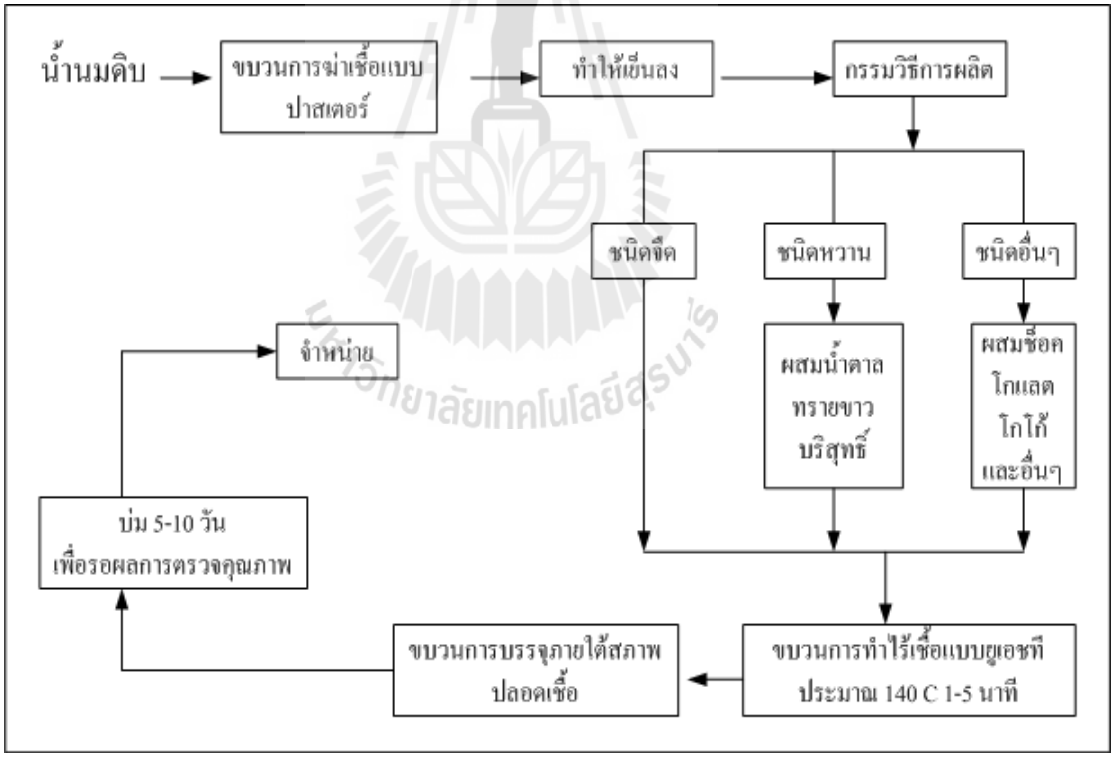
โดยที่ AFP_H = น้ำหนักพืชอาหารสัตว์ที่ผลิตได้ในแต่ละพื้นที่ (ตัน/ปี)

HS_H = จำนวนของสัตว์ทั้งฝูงในหน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัม)

NFI = ค่าเฉลี่ยโดยปกติในการกินพืชอาหารของสัตว์ที่เลี้ยงในฟาร์ม ซึ่ง Ickowicz et al. (1998) ทำการศึกษาพบว่า NFI = 15.4×10^{-3} ตัน/ปี/น้ำหนักสัตว์ 1 กิโลกรัม

นอกจากนี้การศึกษายังอธิบายถึง วิธีการประมาณค่าการใช้ปริมาณคาร์บอนจากพืชที่สัตว์กิน และปริมาณคาร์บอนที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์พร้อมกับมูลสัตว์ (Ickowicz, Richard and Usengumuremyi, 1999) ซึ่งดัชนีมูลสัตว์ (faecal indice) จะถูกใช้ในการประมาณการบริโภคสารอินทรีย์คาร์บอน (organic matter intake [OMI]) จากค่าของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกขับถ่ายออกมาพร้อมกับมูลสัตว์ (faecal organic matter excretion [FOME]) (Guérin et al. 1989) ซึ่งวิธีการหาปริมาณ C จากมูลสัตว์จะใช้วิธีการเผาที่ 850 °ซ และตามด้วยการโครมาโตกราฟี (Thermoquest NC soil 2000) การประมาณการบริโภคหรือได้รับคาร์บอนของสัตว์ในฟาร์มนี้ จะถูกสมมติให้เกิดได้จากการบริโภคอาหารที่เป็นชีวมวลเข้าไปในร่างกายโดยทางปากเท่านั้น โดยที่คาร์บอนที่สัตว์ได้รับจากการกินนี้จะถูกคำนวณจากค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิด (Manlay, Kaïré, Masse, Chotte, Ciornei, and Floret, 2002; Manlay, Chotte, Masse, Laurent, Feller, 2002) และคิดจากค่าการใช้หรือปริมาณการบริโภคสารอินทรีย์ในสภาพน้ำหนักแห้ง (dry matter intake [DMI]) ที่พัฒนามาจาก OMI โดยสมมติให้ร้อยละของขี้เถ้าเป็น 10% ซึ่งการคิดปริมาณคาร์บอนที่สัตว์บริโภค หรือใช้ในการเจริญเติบโตนี้จะคิดโดยคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ จนกระทั่งส่งไปฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์

พวงพร โชติกไกร (2534) ได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตนม Ultra High Temperature (UHT) จากนมดิบ โดยผ่านขบวนการฆ่าเชื้อแบบปาสเตอร์ ซึ่งมี 2 วิธีคือ วิธีให้ความร้อนจากไอน้ำด้วยอุณหภูมิต่ำ แต่ใช้ระยะเวลานาน (low temperature long time) โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 62.8°ซ (145°ฟ) เป็นเวลา 30 นาที หรือวิธีให้ความร้อนจากไอน้ำ ด้วยอุณหภูมิสูง แต่ใช้ระยะเวลาสั้น (high temperature short time) โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 71.7°ซ (161°ฟ) เป็นเวลา 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 4.4°ซ (40°ฟ) จะทำให้สามารถเก็บน้ำนมที่ผ่านจากขบวนการฆ่าเชื้อแบบปาสเตอร์นี้ได้นาน 2 - 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 1.6 - 4.4°ซ แต่ถ้าเก็บน้ำนมไว้ที่อุณหภูมิ 4.4 - 7.2°ซ จะสามารถเก็บได้นาน 1 - 2 สัปดาห์ หลังจากขบวนการฆ่าเชื้อแบบปาสเตอร์ จะนำน้ำนมดังกล่าวมาผ่านการให้ความร้อนจากไอน้ำอีกครั้งภายในระยะเวลาสั้น 1 - 5 วินาที ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะประมาณ 140°ซ หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลง น้ำนมที่ผ่านกระบวนการทำไร้เชื้อแบบ UHT จากน้ำนมดิบนี้จะสามารถเก็บได้นาน 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 1.6 - 4.4°ซ ดังที่แสดงกระบวนการผลิตน้ำนมในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตนม UHT จากน้ำนมดิบ (จากจุลชีววิทยาของอาหารและนม, โดย พวงพร โชติกไกร, 2534, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง)

ประทีป เด็ดแก้ว วนิดา วาเกริกกุลชัย สุกานดา โพธิ์ศรี และ ชาติ เกสรกุล (2540) ได้ทำการศึกษาสำรวจสภาพสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม และข้อมูลพื้นฐานของโรงฆ่าสัตว์พบว่า จำนวนสัตว์ที่ถูกฆ่าส่วนใหญ่เป็นสุกร อยู่ในช่วง 11 - 30 ตัวต่อวัน และโรงฆ่าสัตว์ส่วนใหญ่ จะฆ่าโคกระบือ 1 - 5 ตัวต่อสัปดาห์ โรงฆ่าสัตว์ทั้งหมดที่สำรวจ จะมีการตรวจสุขภาพสัตว์ ก่อนและหลังฆ่า สำหรับผู้ที่ทำหน้าที่ชำแหละสัตว์นั้น จะดำเนินการโดยเจ้าของสัตว์จะนำคนงานมาเอง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการต้มน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการขูดลอกขนส่วนใหญ่ใช้ไม้หรือฟืน โดยโรงฆ่าสัตว์ทุกแห่งมีเตาสำหรับต้มน้ำในกรรมวิธีขูดลอกขนอย่างเพียงพอทุกแห่ง และมีน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80°ซ ใช้อย่างเพียงพอ ระบบรางเหนือศีรษะที่ใช้สำหรับการขนส่งซากสัตว์ไปตามจุดต่าง ๆ พบว่าสำหรับโรงฆ่าสัตว์ที่มีรางลอกไม่มีการใช้ประโยชน์จากรางลอกที่มีเนื่องจากผู้ที่ฆ่าสัตว์มีความเคยชินในการชำแหละซากกับพื้น นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการใช้ฆ่าสัตว์มากที่สุด คือ การทุบหรือตีหัวให้สลบก่อนฆ่า ส่วนสัตว์ที่ฆ่าและชำแหละแล้ว มักขนส่งเพื่อไปจำหน่ายทันทีโดยเจ้าของสัตว์เป็นผู้ขนส่งเป็นส่วนใหญ่

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด จังหวัดนครราชสีมา (2549) ได้บอกถึงลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงไก่ที่มีการเลี้ยงในจังหวัดนครราชสีมาจากการขึ้นบัญชีฟาร์มเลี้ยงไก่ พบว่าการทำฟาร์มเลี้ยงไก่จะเลี้ยงในโรงเรือนปิด 3 แบบ คือ แบบโรงเรือนธรรมดา โรงเรือนเลี้ยงไก่แบบวิธีสปริงเกอร์ เป็นวิธีการเลี้ยงโดยให้ไก่อยู่กรงเดี่ยวเรียงเป็นแถวยาวโดยจะมีรางน้ำ และรางอาหารวางอยู่ตรงหน้ากรงไก่ โรงเรือนเลี้ยงไก่แบบสปริงเกอร์นี้เป็นโรงเรือนที่มีการระบายอากาศโดยการปล่อยน้ำให้ไหลจากบนหลังคา และส่วนใหญ่จะเป็นโรงเรือนแบบปรับอากาศ (Evaporative) ซึ่งคล้ายกับวิธีการเลี้ยงแบบสปริงเกอร์ แต่จะต่างกันตรงที่ไก่ที่เลี้ยงแบบวิธีอีแว็บจะอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับไก่

Hashizume et al., (1963) and Liang et al., (1989) ได้ทำการวัดแก๊สจากลมหายใจของสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้เทคนิคหน้ากากครอบหน้าของสัตว์ซึ่งในภายหลังได้เปลี่ยนเป็นการใช้ห้องวัดลมหายใจ (respiration chamber) แทนสำหรับการทดลองเพื่อทำการวัดพลังงานจากสัตว์ (Iwasaki, 1982) แต่อย่างไรก็ตามการใช้หน้ากากต่อเข้ากับถุงเก็บแก๊สเพื่อเก็บสะสมปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยการครอบหน้าและรัดแน่นให้สนิทเพื่อป้องกันแก๊สรั่วออกมาจะทำให้วัวเกิดความเครียดดิ้นซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมตัวสัตว์ นอกจากนี้ในประเทศไทย จังหวัดขอนแก่นโดยศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ขอนแก่นร่วมมือกับ JIRCAS ตั้งแต่ปี 1994 ได้ทำโครงการวิจัยโดยการใช้วิธีการวัดระบบการหายใจของวัวและกระบือซึ่งใช้หน้ากากครอบที่หน้าของสัตว์ (respiration trial system) สำหรับทำการศึกษาเมตาบอลิซึมของสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่เพื่อประเมินแหล่งการใช้อาหารเลี้ยงสัตว์ในท้องถิ่นซึ่งผล

การศึกษาพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถวัดค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดถึง 93.3% โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียงเล็กน้อย 0.8 - 1.7% เท่านั้น (Kawashima et al., 2000)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ต้นทุนคาร์บอนและแหล่งกำเนิดแก๊สเรือนกระจก

Hogan (1993) กล่าวว่า ถึงแม้ว่าแก๊ส CO_2 จะเป็นแก๊สที่มีน้อยในบรรยากาศคือมีแค่เพียง 0.33% เท่านั้น แต่แก๊ส CO_2 ก็มีความสำคัญเพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิของโลกได้ เนื่องจากเมื่อแก๊ส CO_2 มีมากขึ้น ก็จะสามารถรับแสงอินฟาเรดได้มากขึ้น และปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศ ของโลกได้มากขึ้น ซึ่งชนิดของแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ แก๊ส CO_2 CH_4 และ N_2O ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมปศุสัตว์ อาทิเช่น การหายใจ การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และการจัดการมูลสัตว์ เป็นต้น การตัดไม้ทำลายป่าเพื่อการเกษตรกรรม ซึ่งแก๊ส CH_4 ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ประมาณ 70% ของ CH_4 ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโลกหรือประมาณ 350 ล้านตันต่อปี และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมการปศุสัตว์ก็เป็นแหล่งของการเกิดแก๊ส CH_4 ที่ใหญ่ที่สุด ดังที่แสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แหล่งการเกิดแก๊ส CH_4 จากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งกำเนิด	จำนวนโดยประมาณ (ล้านตันต่อปี)
การปศุสัตว์ และการเลี้ยงสัตว์	80
นาข้าว	60
การใช้แก๊สธรรมชาติและปิโตรเลียม	50
การทำเหมืองถ่านหิน	40
การเผาชีวมวล	40
หลุมผังกลบขยะสุขาภิบาล	30
มูลสัตว์จากการปศุสัตว์ และการเลี้ยงสัตว์	25
การบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้อากาศ	25
รวม	**350**

หมายเหตุ : จาก Anthropogenic Methane Emissions in the United States : Estimates for 1990 Report to Congress, (Environmental Protection Agency Report No. 430-R-93-003), Hogan, 1993, Washington, DC : United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Watson et al. (2000) กล่าวไว้ว่าการประมาณต้นทุนคาร์บอนของโลก (global carbon budget) แสดงให้เห็นว่าในช่วงปี ค.ศ. 1850 - 1998 ระบบนิเวศบนบกเป็นแหล่งกำเนิดของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศสุทธิประมาณ (270 ± 30) x 10^{15} กรัมของคาร์บอนถูกปล่อยสู่บรรยากาศจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงและการผลิตซีเมนต์ และประมาณ (136 ± 55) x 10^{15} กรัมของคาร์บอน ถูกปล่อยออกมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการบุกรุกทำลายป่าซึ่งบรรยากาศสามารถจะกักเก็บคาร์บอนไว้ในบรรยากาศประมาณ (176 ± 10) x 10^{15} กรัมของคาร์บอน นั่นคือประมาณ 43% ของคาร์บอนที่แพร่กระจายสู่บรรยากาศทั้งหมด ดังนั้นคาร์บอนอีก (230 ± 60) x 10^{15} กรัมของคาร์บอน จะถูกเคลื่อนย้ายออกจากบรรยากาศเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กันคือ คาร์บอนจะเคลื่อนย้ายไปที่มหาสมุทร และไปยังระบบนิเวศบนบก ดังนั้นเมื่อทำสมดุลมวลพบว่า ระบบนิเวศบนบกมีการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศมากกว่าที่ตัวระบบนิเวศเองสามารถดูดซับไว้ได้ถึงประมาณ 21 x 10^{15} กรัมของคาร์บอน

เฉลิมศักดิ์ วานิชสมบัติ (2549) กล่าวว่าสภาวะเรือนกระจกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเกิดจากกิจกรรมตามธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ การตัดไม้ทำลายป่าซึ่งเป็นแหล่งในการดูดซับแก๊ส CO_2 ขยะ น้ำเสีย และการปศุสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยแก๊ส CH_4 ที่สำคัญจากการย่อยอาหารของสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง และกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรม ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตรจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศคือ ภัยแล้ง น้ำท่วม การเกิดโรคระบาด เช่น โรคซาร์ส โรควัวบ้า โรคไข้หวัดนก โรคปากเท้าเปื่อย เป็นต้น สิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ และการกระจายตัว พื้นที่ชุ่มน้ำลดลงส่งผลต่อแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งขยายพันธุ์ของพืชและสัตว์ อีกทั้งมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในบริเวณกว้าง เนื่องจากสุขภาพขึ้นอยู่กับอาหารที่เพียงพอ น้ำดื่มที่สะอาด ที่อยู่อาศัย และสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการควบคุมโรคติดต่อ ประเทศกำลังพัฒนาจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศรุนแรงที่สุด เพราะขาดความรู้ เทคโนโลยี และกลไกในการปรับตัว ซึ่งประเทศไทยยังขาดองค์ความรู้ที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการดำเนินการหลายประการ

ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเป้าหมายของอนุสัญญาฯ คือ การรักษาระดับความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกในบรรยายกาศให้คงที่ โดยไม่คุกคามต่อการผลิตอาหารของมนุษย์ นอกจากนั้นประเทศไทยยังได้ร่วมลงนาม และให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) โดยมีผลบังคับใช้เมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งไทยต้องจัดทำรายงานแห่งชาติเพื่อเสนอต่อประเทศภาคีสมาชิก และสนับสนุน

การวิจัยเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะจากแหล่งกำเนิด เช่น การรักษาพื้นที่ป่าเพื่อเพิ่มแหล่งดูดซับคาร์บอน และลดการปล่อยแก๊ส CH_4 ในภาคเกษตรและปศุสัตว์ ส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ในทุ่งหญ้า จูงใจให้มีการนำมูลสัตว์มาใช้ประโยชน์ และลดมูลสัตว์จากการผลิตสัตว์ โดยการผลิตสัตว์ในจำนวนที่สมดุลกับความต้องการบริโภค เป็นต้น จัดทำฐานข้อมูลการจัดการทรัพยากรเพื่อติดตามตรวจสอบบัญชีคาร์บอนของประเทศ และสร้างองค์ความรู้ การตระหนักและการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาแก่ประชาชน แต่ปัญหาในปัจจุบันคือ ข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนไม่เพียงพอ การศึกษากระบวนการวิเคราะห์ยังไม่เพียงพอที่จะเชื่อมโยงกับข้อมูลได้ การประมาณค่าปริมาณคาร์บอนมีค่าใช้จ่ายสูง ในขณะที่ค่าที่ได้หรือข้อมูลที่มีอยู่ยังไม่ละเอียด และที่สำคัญคือผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งสะสมคาร์บอนในภูมิภาคเขตร้อนมีน้อยมาก (Pfaff et al., 2000)

Perters and Vogel (2005) ได้อ้างอิงไว้ว่า การศึกษาคาร์บอนไอโซโทป (carbon isotope) จากกระดูกของมนุษย์โบราณสามารถชี้ให้เห็นถึง ลักษณะชนิดของอาหารที่มนุษย์โบราณบริโภค ซึ่งเทคนิคการศึกษาอยู่บนพื้นฐานของความจริงที่ว่า เนื้อเยื่อของพืชจำพวก C_4 จากการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกับคาร์บอนไอโซโทป ^{13}C นอกจากนั้นยังพิจารณาได้กับสัตว์ที่กินพืชอีกด้วย ซึ่งการเจริญเติบโตของพืชหรือสัตว์กินพืชเป็นส่วนหนึ่งของพลวัตของระบบการสร้างเนื้อเยื่อด้วยคาร์บอนของพืช และถ่ายทอดไปยังสัตว์กินพืช ปริมาณแก๊ส CO_2 สูงสุดที่พืชนำไปใช้คือ อัตราสูงสุดของการตรึงแก๊ส CO_2 ซึ่งนักสรีระวิทยาทางพืช เรียกว่า กลุ่มพืช C_4 เช่น หญ้า เป็นพืชที่มีความสามารถตรึงแก๊ส CO_2 ได้สูงกว่าพืชในกลุ่ม C_3 เช่น ข้าว เมื่อพิจารณาจากกระบวนการเจริญเติบโตโดยเฉพาะในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง หรือในประเทศเขตร้อน

Wortmann, Herrle, and Weissert (2004) กล่าวไว้ว่า การรบกวนวัฏจักรคาร์บอนซึ่งทำให้ระดับของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการเร่งรอบวัฏจักรน้ำให้เร็วขึ้นด้วย และเพิ่มการแปรปรวนของสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งมีผลต่อระบบนิเวศสิ่งมีชีวิตโดยผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมทางธรรมชาติอย่างหนึ่งที่มีการรบกวนวัฏจักรคาร์บอน คือกิจกรรมการระเบิดของภูเขาไฟ ซึ่งมีมาตั้งแต่ยุคก่อนไดโนเสาร์สูญพันธุ์ และมนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้

Canadell and Noble (2001) ได้กล่าวว่า ในขณะนี้โลกได้เริ่มเข้าสู่ยุคที่ยังไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมโลกที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กว่า 400 คนจากหลายประเทศ หาทางป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก โดยสามารถสรุปได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- วัฏจักรคาร์บอน โดยกิจกรรมของมนุษย์ทำให้ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 และ CH_4 เพิ่มขึ้นเกินกว่าที่เคยเกิดขึ้นมาก่อน และหลายครั้งเกิดเร็วกว่าที่ธรรมชาติจะสามารถปรับเปลี่ยนได้

ผลของการศึกษาแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการลดลงอย่างรุนแรงของแหล่งเก็บกักคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก (terrestrial carbon sink) ซึ่งอาจจะส่งผลรุนแรงประมาณปี 2050

- การผลิตอาหารของมนุษย์ลดลงมากกว่า 25% โดยเฉพาะผลผลิตอาหารจากประเทศยากจน ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัญหาโลกร้อน
- ปัญหาความรุนแรงของภัยแล้ง และน้ำท่วม
- อัตราการสูญพันธุ์ ของสิ่งมีชีวิตที่มีเพิ่มขึ้นทั้งในทะเล และในระบบนิเวศบนบก

Canadell and Pataki (2002) ได้กล่าวถึงแนวโน้มของงานวิจัยเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอนที่จำเป็นต้องมีในอนาคต ดังนี้

- การศึกษาวิธีการวัดแก๊ส CO_2 การหาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน (C fluxes) และการทดลองวัดจริงจากสนาม โดยขยายการศึกษาให้ครบครอบคลุมทุกภูมิภาค เช่น ในมหาสมุทรที่อยู่ในซีกโลกใต้ หรือในเอเชีย ในภูมิภาคเขตร้อน เพื่อให้สามารถอธิบายระบบคาร์บอนของทั้งโลกได้
- การพัฒนาข้อมูลของการกระจายคาร์บอนให้มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น
- การพัฒนารูปแบบใหม่จากการใช้ข้อมูลหลาย ๆ แหล่งเพื่อสร้างแบบจำลองทางคาร์บอน
- การปรับปรุงวิธีการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศ
- การศึกษาทำความเข้าใจถึงผลกระทบของไฟ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และวัฏจักรไนโตรเจนที่มีผลต่อวัฏจักรคาร์บอนในเชิงของข้อจำกัดของสารอาหาร
- การศึกษาวิเคราะห์ เพื่อสร้างความเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ของคาร์บอนระหว่างกลไกของแหล่งเก็บกักคาร์บอน (C sinks) และแหล่งกำเนิดคาร์บอน

2.6.2 การประเมินการสงวนรักษาคาร์บอนในพืชและจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน

Loladze (2002) กล่าวว่า พืชจะได้รับสารประกอบหลักคือ คาร์บอนจากแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ ส่วนสารประกอบทางเคมีอื่น ๆ พืชได้รับโดยการดูดซึมมาจากดิน จากการสมดุลมวลทางเคมีของธาตุแต่ละตัว (stoichiometry) ทำให้สามารถบอกได้ว่าแก๊ส CO_2 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบซึ่งรวมกันเป็นเนื้อเยื่อของพืช และสุดท้ายก็จะไปกระทบถึงสารอาหารที่มนุษย์ต้องการตามห่วงโซ่อาหาร การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 นอกจากจะมีผลกระทบต่อพืชแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสัตว์กินพืชอีกด้วย ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ด้วยการทำสมดุลมวลทางเคมีของธาตุแต่ละตัว

Davis and Paustian (2002) กล่าวไว้ว่า ดินเป็นแหล่งกำเนิดหลักของการกระจายแก๊ส N_2O และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์หรือการปลูกพืช

ตระกูลถั่วซึ่งสารอินทรีย์ในดิน (soil organic matter: SOM) จะใช้บ่งบอกถึงสถานการณ์วิกฤตของสมดุลคาร์บอนของโลก และปัญหาภาวะเรือนกระจก โดยที่

$$SOM = SOC \times conversion\ factor \quad (2.20)$$

โดยที่ soil organic carbon: SOC = คาร์บอนจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบโดยรวมจากแก๊สเรือนกระจกที่ส่งผลให้โลกร้อน (global warming potential [GWP]) จะพบว่าเมื่อกำหนดให้แก๊ส CO_2 ทำให้โลกร้อนโดยมีค่า GWP = 1

แก๊ส N_2O จะมีความรุนแรงมากกว่าแก๊ส CO_2 ถึง 300 เท่า ในขณะที่แก๊ส CH_4 จะมีความรุนแรงมากกว่าแก๊ส CO_2 ถึง 20 เท่า ดังนั้นถึงแม้ว่าแก๊ส N_2O และ CH_4 จะมีความเข้มข้นน้อยกว่าแก๊ส CO_2 มาก ก็สามารถทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนได้ โดยสรุปประโยชน์ของการลดการกระจายของแก๊สเรือนกระจกเป็นการสงวนรักษาดินและน้ำ และเป็นการปรับปรุงระบบนิเวศวิทยาให้สมบูรณ์

ผลการศึกษาของ Sundquist et al. (1998); Stallard (1998) ได้ทำการวิเคราะห์สมดุลระหว่างคาร์บอนในดินกับคาร์บอนในบรรยากาศ พบว่าการใช้ที่ดินที่ไม่คำนึงถึงความสมดุลทางธรรมชาติมุ่งหาแต่ประโยชน์โดยไม่มีการพัฒนาและปรับปรุงดิน และสภาพของระบบนิเวศเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มคาร์บอนในบรรยากาศเนื่องจากการปลดปล่อยคาร์บอนจากดินในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 สู่บรรยากาศ ในปี 2002 ได้มีผลการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงประชากรและพื้นที่เกษตรกรรมที่เวลาต่าง ๆ เพื่อศึกษาแบบจำลองพลวัตของวัฏจักรคาร์บอนของ Waisanen and Bliss (2002) พบว่า รูปแบบของการพัฒนาการเกษตรกรรมจะสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของสภาพอากาศ คุณสมบัติของดิน การเพิ่มขึ้นของประชากร การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงทางด้านพลังงานที่ใช้ในการขนส่ง และทำการเกษตร

Follett et al. (2001) ได้ออกแบบการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินศักยภาพของโครงการสงวนรักษาคาร์บอน ที่ถ่ายเทจากบรรยากาศมาอยู่ในดิน (conservation reserve program and C sequestration: CRP) โดยพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาประมาณ 13.9 ล้านเอเคอร์ อาศัยหลักการทางสถิติโดยคิด พื้นที่ได้เป็น 40% ของพื้นที่ทั้งหมดในโครงการที่ศึกษา ผลจากการศึกษาที่ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่าอัตราของการถ่ายเทคาร์บอน (sequestration rates) จะเท่ากับ 500 660 และ 810 ปอนด์ของคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในดิน (SOC) ต่อเอเคอร์ต่อปี ที่ความลึกจากผิวดิน 0 - 2 นิ้ว 0 - 4 นิ้ว และ 0 - 8 นิ้ว ตามลำดับ ถ้าคิดที่พื้นที่ 33.8 ล้านเอเคอร์ของโครงการ CRP ในสหรัฐอเมริกา จะพบว่า คาร์บอนจากสารอินทรีย์ในดินมีการถ่ายเท ประมาณ 8.5 - 13.5 ล้านตันต่อปี และเมื่อคิด

พื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดของสหรัฐอเมริกา จะคิดเทียบเป็นการแพร่กระจายของแก๊ส CO_2 ได้เท่ากับ 47.3 ล้านตันของคาร์บอนต่อปี

Davidson and Ackerman (1993); Harden et al. (1999) กล่าวว่า การรบกวนดิน เช่น การไถดิน การขุดและการพรวนดินล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดการลดลงของสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งการลดลงสูงสุดประมาณ 20 - 40% ของสารอินทรีย์คาร์บอนในดินอาจจะเกิดจากการเพาะปลูก โดยที่การลดลงของคาร์บอนในดินอย่างรวดเร็วมีสาเหตุใหญ่มาจากการไม่ได้บำรุงรักษาดินและการไม่ป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน แบบจำลองที่ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินจะมีความสมบูรณ์ได้จะต้องอาศัยข้อมูลในอดีต จากการสำรวจภาคสนามที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมาประกอบการศึกษาด้วย

Malhi and Grace (2000) ได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่า ป่าในภูมิภาคเขตร้อนมีความสำคัญและมีบทบาทหลักในปัจจุบันต่อความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ ทั้งจากแหล่งที่ก่อให้เกิดคาร์บอน (carbon source) จากการทำลายป่าในภูมิภาคเขตร้อนนี้ เพื่อใช้พื้นที่สำหรับการเพาะปลูกพืช โดยมีสัดส่วนถึง 55% ของป่าที่ถูกทำลายทั้งหมด หรือการทำลายป่าเพื่อต้องการพื้นที่ใช้ในการปศุสัตว์ ซึ่งมีสัดส่วนอยู่ประมาณ 20% จากพื้นที่ป่าที่ถูกทำลายทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าการทำลายป่า แม้ว่าจะเพื่อการปลูกพืชหรือการปศุสัตว์จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกได้ นอกจากแหล่งที่ก่อให้เกิดคาร์บอนแล้วยังมีแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชอีกแหล่งที่มีบทบาทต่อความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้จะทราบแหล่งที่มีบทบาทสำคัญต่อแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศทั้ง 2 แหล่งก็ตาม ในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรคาร์บอนของโลกก็ยังขาดความเข้าใจที่ชัดเจน

ความยั่งยืนของระบบฟาร์มจะสามารถได้รับความสำเร็จจากการใช้ผลการศึกษาพลวัตของ C N และ P ในลักษณะของการศึกษาทั้งระบบนิเวศของหมู่บ้านมากกว่าผลจากการศึกษาเฉพาะบางตำแหน่ง เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการเชื่อมต่อหน้าที่ระหว่างระบบการใช้ที่ดินจากการปลูกพืชกับการจัดการปศุสัตว์ และจะทำให้ได้ค่าต้นทุนปริมาณของคาร์บอน และสารอาหารที่ต้องการอย่างถูกต้องของแต่ละรูปแบบของการใช้ที่ดินจากขนาดของพื้นที่ คุณสมบัติดิน และประวัติของการปลูกพืช (Izac and Swift, 1994; Krogh, 1997; Landais and Lhoste, 1993)

Manlay et al. (2004) ได้ศึกษาการจัดการใช้ประโยชน์ทรัพยากรสารอินทรีย์ในระบบฟาร์มทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ของแอฟริกาตะวันตก โดยได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของ C, N และ P จากการใช้แหล่งสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันในปริมาณที่ไม่เท่ากันของแต่ละหมู่บ้านของการใช้ที่ดิน พบว่า การปศุสัตว์ การเก็บเกี่ยวพืช การเก็บสะสมกองไม้และกองฟางข้าว จะทำให้เกิด C เคลื่อนที่

ออกจากพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ของหมู่บ้านเท่ากับ 59% 27% และ 14% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากิจกรรมการ ปศุสัตว์มีส่วนทำให้เกิดการกระจายของ C มากที่สุดของกิจกรรมทางการเกษตร แต่ในที่สุดแล้วกิจกรรมการปศุสัตว์ก็จะทำให้เกิดการหมุนเวียน C, N และ P คืนกลับสู่ดินมากที่สุดด้วยเช่นกันคือประมาณ 80% ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ออกจากพื้นที่ ผลลัพธ์ของการเคลื่อนที่นี้และการกลับคืนสู่พื้นที่ของชีวมวลโดยเฉพาะ C ที่มีการหมุนเวียนสูง โดยจะกลายมาเป็นส่วนประกอบหลักของพืช ส่วน N และ P จะสูญเสียออกจากระบบเพียงประมาณ 4 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ต่อปี (kg.N/ha/yr) และ 1 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสต่อเฮกตาร์ต่อปี (kg.P/ha/yr) ตามลำดับเท่านั้น นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังแนะนำว่าการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยั่งยืนของระบบฟาร์ม เนื่องจากเกิดการเสียสมดุลระหว่างอุปสงค์ และอุปทานของแหล่งทรัพยากรสารอินทรีย์

2.6.3 แบบจำลองประเมินสถานการณ์คาร์บอน จากการใช้พื้นที่และผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

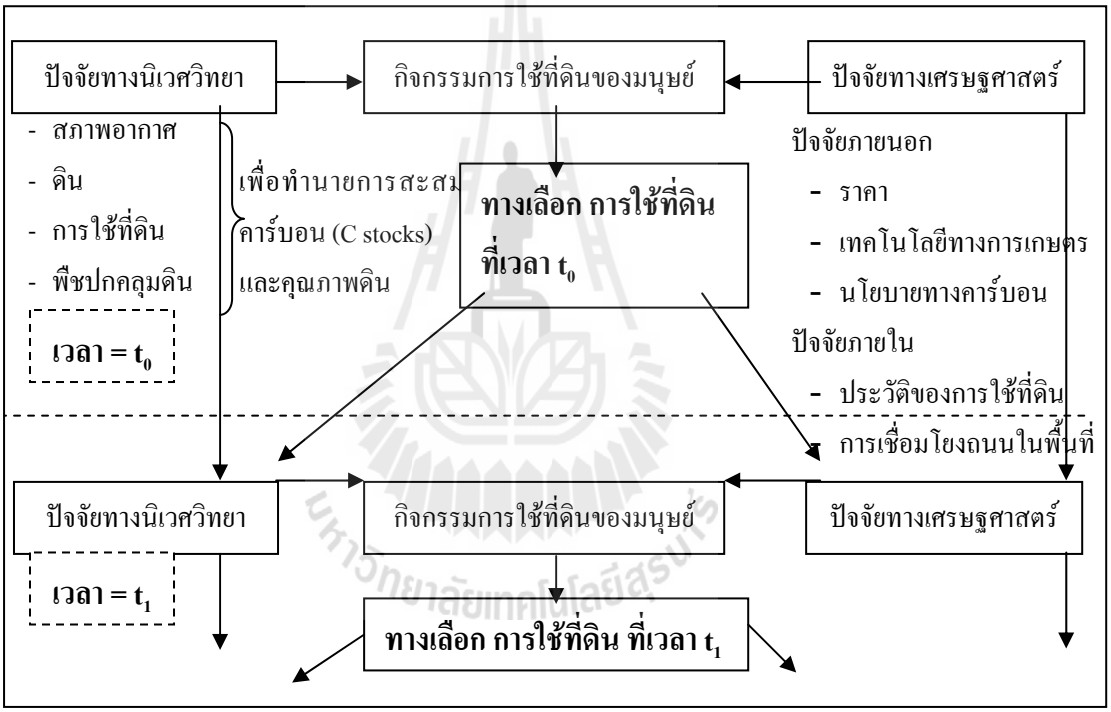
Pfaff et al. (2000) กล่าวว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่เคยมีผู้ศึกษาไว้แล้ว และงานผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องก่อนนั้นไม่ได้ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์และระบบนิเวศวิทยาไว้ จึงได้เสนอปัจจัยที่ควรต้องคำนึงในการสร้างวิธีการประมาณค่าคาร์บอน คือ

- การวิเคราะห์เศรษฐกิจของการใช้ที่ดินจากข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องเป็นจริง
- การวิเคราะห์ระบบนิเวศวิทยา จากความน่าเชื่อถือของการวัดหรือการประเมินคาร์บอนจากระบบนิเวศ

ดังนั้น การวิเคราะห์คาร์บอนด้วยการประเมินปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์โดยอาศัยการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ ร่วมกับการประเมินการสะสมคาร์บอนต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งจะวัดจากคาร์บอนที่อยู่เหนือดินและคาร์บอนจากดินในแต่ละพื้นที่ โดยจะวัดในลักษณะของพลวัตคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงไปตามการใช้ที่ดิน แบบจำลองที่ได้จึงจะมีคุณภาพสูงซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบจากทางเลือกของการใช้ที่ดินคือ การทำลายป่า การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตหรือการเพิ่มจำนวนประชากรและการเปิดเสรีทางเศรษฐกิจ

Kerr, Liu, Pfaff, and Hughes (2003) ได้ศึกษานโยบายเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ป่าเขตร้อนชื้น ที่มีศักยภาพในการช่วยบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาของโลกเพื่อต้องการพยากรณ์ภาพรวมของการใช้ประโยชน์ที่ดินและภาพรวมของการเก็บกักคาร์บอน (carbon storage) ในระยะยาว ซึ่งแบบจำลองที่ศึกษาจะเกี่ยวกับพลวัตของระบบการใช้ที่ดินของมนุษย์และแหล่งกักเก็บคาร์บอนในแต่ละระบบนิเวศที่มีความสัมพันธ์กัน (โดยแบบจำลองนี้จะเป็นภาพรวมในระดับชาติและข้อมูลที่ใช้ศึกษาอยู่ในช่วงระยะเวลามากกว่า 50 ปี) การศึกษาแบบจำลองนี้ประกอบด้วยกระบวนการทางนิเวศวิทยา ตัวแปรหรือข้อมูลจากการเก็บภาคสนาม ข้อมูล

แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ การประมาณการโดยอาศัยข้อมูลในอดีตที่เป็นจริง ซึ่งแบบจำลองที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภาพรวมของคาร์บอนจากระบบนิเวศและระบบเศรษฐกิจ (Integrated Carbon Ecology and Economy [ICEE] model) สามารถแสดงสรุปถึงองค์ประกอบที่ศึกษาได้ดังรูปที่ 2.14 จากรูปการพยากรณ์ จะได้เส้นแสดงค่าความคุ้มค่าจากการดำเนินงานการใช้ที่ดินตามปกติ (baselines) และการประมาณค่าการลดการกระจายของคาร์บอนจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและปัจจัยความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในภูมิภาคป่าเขตร้อนที่มีส่วนทำให้เกิดการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ซึ่งประโยชน์ของการประเมินด้วยกิจกรรมทางเศรษฐศาสตร์จะช่วยเพิ่มความถูกต้อง



รูปที่ 2.14 แบบจำลองความสัมพันธ์องค์ประกอบคาร์บอนจากระบบนิเวศและระบบเศรษฐกิจ (จาก “Carbon dynamics and land-use choices: building a regional-scale multidisciplinary model”, โดย Kerr, Liu, Pfaff and Hughes, 2003, Journal of Environmental Management)

Plant and Bouman (1999) ได้ศึกษาแบบจำลองการจัดการการเปลี่ยนแปลงของทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินร่วมกับ การเปลี่ยนแปลงการใช้

ที่ดิน จะเป็นตัวช่วยบ่งบอกขั้นต้นถึงการกระจายของแก๊ส N_2O และ NO ในภูมิภาคนั้น ซึ่งการใช้ที่ดินเป็นเรื่องที่ซับซ้อนระหว่างเทคโนโลยี เศรษฐกิจโลก สภาพการค้า และนโยบายการเมือง

Howden et al. (1999) ได้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแก๊ส CO_2 จากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยการจำลองสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในสภาวะอากาศต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต 4 เหตุการณ์โดยใช้โปรแกรม GRASP คือ เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่าและเพิ่มอุณหภูมิด้วย เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่าและเพิ่มอุณหภูมิด้วยในสภาพอากาศแห้งและเหตุการณสุดท้ายคือเมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่าและเพิ่มอุณหภูมิด้วยในสภาพอากาศเปียกชื้น โดยผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 จะก่อให้เกิดประโยชน์กับการเจริญงอกงามของทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์และพืชปกคลุมดิน, ส่วนผลของการเพิ่มแก๊ส CO_2 ที่มีต่อการเจริญของหญ้าหรือพืช ในสภาพอากาศแห้งจะดีกว่าในสภาพอากาศเปียกชื้น เนื่องจากไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีจำกัดในดิน ส่วนเหตุการณ์ที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่วมกับการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 จะมีผลทำให้ความสามารถในการผลิตสัตว์มีมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนวันที่สามารถเกิดการเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้นในเดือนที่มีอากาศเย็น และสุดท้ายในสภาพที่มีอากาศเปียกชื้นหรือฝนตก มีผลในเชิงบวกเล็กน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามสภาพอากาศแห้งจะกระทบกับการเจริญของพืชและการผลิตสัตว์ในทางลดลง

2.6.4 การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนจากการใช้พื้นที่

Houghton and Hackler (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก และการประมาณการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลพืชหรือธัญพืชที่ปกคลุมดิน โดยประเมินการดูดซับ และการปลดปล่อยคาร์บอนจากการเกษตรกรรมและป่า จากการคำนวณพบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดในช่วงปีค.ศ. 1700 - 1990 เป็น 32.6 x 10^{15} กรัมของคาร์บอน การดูดซับคาร์บอนในบริเวณพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 29 x 10^{15} กรัมของคาร์บอน และผลการศึกษาสรุปได้ว่าเหตุผลสำคัญของการเปลี่ยนแปลงแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองของ Ramankutty and Foley (1999) ที่ได้ศึกษาการใช้พื้นที่ระหว่างพื้นที่ที่เป็นทุ่งหญ้ากับพื้นที่ที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลประชากรในการพัฒนาหรือปรับปรุงการใช้พื้นที่ที่เป็นฟาร์มและพื้นที่ในการปลูกพืชโดยอาศัยภาพถ่ายดาวเทียมช่วยในการจำแนกแผ่นดินที่มีพืชปกคลุมก่อนที่จะมีมนุษย์เข้ามาตั้งถิ่นฐาน

Reiners et al. (2002) รายงานว่าพื้นที่เขตร้อนชื้นจะเป็นแหล่งใหญ่ของการปลดปล่อย N_2O และ NO สู่บรรยากาศ อัตราการแพร่กระจายจะอยู่ในช่วงกว้างตามสภาพของท้องถิ่น และลักษณะการใช้ที่ดิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามการขยายตัวของการตั้งถิ่นฐาน

การศึกษานี้เป็นการประมาณการแพร่กระจายของแก๊ส N_2O และ NO ทั้งในอดีตและในอนาคต จากที่ดิน 0.5 ล้านเอเคอร์ของ Costa Rica ซึ่งมีการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างรวดเร็ว โดยเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับอากาศกับสมการการจำลองสถานการณ์ระบบนิเวศวิทยา ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงจากป่ามาเป็นทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O และ NO ในภูมิภาคนี้ ซึ่งทราบได้จากข้อมูลการเคลื่อนไหวของแก๊ส N_2O และ NO ทั้งในอดีตและปัจจุบันของภูมิภาคนี้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O และ NO ดูได้จากการควบคุมการใช้ปุ๋ยและการขยายการจัดการความเข้มข้นของการปลูกพืช ส่วนอายุของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์จะเป็นสิ่งหนึ่งที่ใช้ชี้ขาดถึงความเป็นไปได้ ในการหาการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O สำหรับภูมิภาค

Keller, Veldkamp, Weitz, and Reiners (1993) รายงานผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O และ NO จากชนิดของพืชที่คลุมดินและดินที่ไม่มีพืชคลุมดินไว้ตามช่วงเวลาต่างๆไว้ว่า ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ใหม่จะมีการกระจายของแก๊ส N_2O และ NO สูงชั่วคราว หลังจาก 15 ปี อัตราการกระจายก็จะลดลงอยู่ในระดับต่ำโดย

- การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O ของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เก่า มีค่าเฉลี่ย = 2.1 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปีต่อ 2.471 เอเคอร์
- การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O ของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ใหม่ มีค่าเฉลี่ย = 21 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปีต่อ 2.471 เอเคอร์
- การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส NO ของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เก่า และดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุมหรือพื้นที่ที่เป็นป่า มีค่าเฉลี่ย = 0.9 กิโลกรัม ไนโตรเจนต่อปีต่อ 2.471 เอเคอร์
- การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส NO ของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ใหม่ มีค่าเฉลี่ย = 8.9 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปีต่อ 2.471 เอเคอร์

ปัจจัยหลักหรือแหล่งกำเนิดหลักของการเพิ่มแก๊ส N_2O คือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในภูมิภาคเขตร้อนชื้น (Bouwman, 1998) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแก๊ส N_2O จะเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของป่าหรือตัดไม้ทำลายป่า แล้วเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (Veldkamp et al., 1999; Verchot et al., 1999) หรือ การทำการเกษตรกรรม และการเพาะปลูก (Crill et al., 2000) รูปแบบของการพัฒนาการเกษตรกรรมอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงป่ากลายไปเป็นทุ่งหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และพื้นที่เพาะปลูก เช่นในพื้นที่ตอนเหนือของ Costa Rica พื้นที่ป่าลดลงจาก 73% ไปเป็น 6% ภายในเวลา 24 ปี (Veldkamp, Weitz, Staritsky, and Huising, 1992)

2.6.5 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สมคิด สลัดยะนันท์ วสันต์ จอมภักดี และสัมพันธ์ ไชยเทพ (2535) พบว่า การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพสามารถนำมาเป็นแก๊สเชื้อเพลิงใช้ทดแทนหรือร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้

เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น โดยการปรับปรุงอุปกรณ์หรือเครื่องยนต์ที่เคยใช้แก๊สหุงต้มหรือน้ำมันเชื้อเพลิงบางจุดก็จะสามารถใช้แก๊สชีวภาพได้ ซึ่งผลการทดลองใช้แก๊สชีวภาพที่มีแก๊ส CH_4 อยู่ประมาณ 59% โดยปริมาตรกับอุปกรณ์และเครื่องยนต์เช่นตู้เย็นขนาด 8.5 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งใช้แก๊สหุงต้มสามารถใช้แก๊สชีวภาพแทนได้ ด้วยการขยายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนมหนูเป็น 2 มม. ความดันแก๊สชีวภาพ 20 มิลลิบาร์ สิ้นเปลืองแก๊สชีวภาพประมาณ 173 ลิตรต่อชั่วโมง

ศุวศา กานตวนิชกูร (2538) ได้อธิบายไว้ว่า การเกิดแก๊สชีวภาพสามารถนำมาสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไป เช่น การบำบัด COD 1 กิโลกรัมจะได้แก๊สชีวภาพ 0.35 $ม^3$ ที่มาตรฐานของอุณหภูมิและความดัน STP ในขณะที่สารอินทรีย์คาร์บอน 1 กิโลกรัมจะให้แก๊สชีวภาพ 1.87 $ม^3$ ที่ STP ส่วนประกอบและปริมาณของแก๊สที่เกิดจากการหมักอย่างสมบูรณ์ สามารถคำนวณได้ทางทฤษฎีโดยใช้สมการดังนี้

$$C_cH_hO_oN_nS_s + 1/4\,(4c\text{-}h\text{-}2o\text{+}3n\text{+}2s)\,H_2O$$
$$= 1/8\,(4c\text{-}h\text{+}2o\text{+}3n\text{+}2s)\,CO_2 + 1/8\,(4c\text{+}h\text{-}2o\text{-}3n\text{-}2s)\,CH_4 + nNH_3 + sH_2S \quad (2.21)$$

โดยที่ c, h, o, n และ s เป็นจำนวนของอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ

หากไม่คำนึงถึงแก๊สอื่น ๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งในแก๊สชีวภาพที่เกิดในปริมาณน้อย และใช้สูตรอย่างง่ายในการคำนวณจะได้ว่า คาร์โบไฮเดรตจะให้ CO_2 73% และ CH_4 27% ไขมันจะให้ CO_2 52% และ CH_4 48% โปรตีนจะให้ CO_2 73% และ CH_4 27% โดยปริมาตรรวมของแก๊สชีวภาพที่เกิดจากสารอาหารแต่ละอย่างนี้คือ 0.75, 1.44, และ 0.98 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Buswell and Mueller, 1952) นอกจากนี้ Casey (1981) ก็ได้ทำการศึกษาการเกิดแก๊สชีวภาพและสัดส่วนของแก๊ส CH_4 และ CO_2 ที่เป็นส่วนประกอบ จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ปริมาณแก๊สชีวภาพและส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน

สารอาหาร	ปริมาณแก๊สที่เกิด ($ม^3$/กก.)	ส่วนประกอบ (%)	
		CH_4	CO_2
คาร์โบไฮเดรต	0.8	50	50
โปรตีน	0.7	70	30
ไขมัน	1.2	67	33

หมายเหตุ : จาก “Developments in anaerobic digestion”, โดย Casey, 1981, Transactions of the Institute of Engineers in Ireland, 105 : 25-32.

นอกจากนี้ยังได้มีการกล่าวถึงการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพในด้านพลังงาน ซึ่งสามารถใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจาก ฟืน ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้าได้ โดยแก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

- ให้ค่าความร้อน 3,000 - 5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัมเดือดได้
- ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60 - 100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5 - 6 ชั่วโมง หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.8 หน่วย (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง)
- ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง หรือเทียบเท่าน้ำมันดีเซล 0.6 ลิตร หรือเบนซิน 0.67 ลิตร
- สามารถหุงต้มได้ โดยเทียบเท่าแก๊สหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือฟืนไม้ 1.5 กิโลกรัม
- ทดแทนน้ำมันเตาโดยแก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าน้ำมันเตา 0.5 ลิตร

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543) ได้อธิบายไว้ว่า แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดได้แก่ แก๊ส CH_4 ประมาณ 70% แก๊ส CO_2 ประมาณ 30% และแก๊สอื่น ๆ อีกเล็กน้อยคือ แก๊ส N_2 H_2 H_2S ฯลฯ ปริมาณแก๊สที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ โดยแก๊สที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้คือ 0.5 $ม^3$ ของแก๊สที่ผลิตได้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.0 กิโลวัตต์ - ชม. ต่อไปนี้จะได้แสดงข้อมูลที่เป็น

ประโยชน์ต่อการคำนวณหาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.16 และ 2.17

ตารางที่ 2.16 ข้อมูลเกี่ยวกับแก๊ส CH_4 ที่ผลิตได้

สิ่งที่ก่อให้เกิดแก๊ส CH_4	**อัตราแก๊ส CH_4***
น้ำมัน (850 กก./ม^3 ที่ 25 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ)	1 ม^3 CH_4 / 0.84 กก.น้ำมัน
น้ำมัน	1 ม^3 CH_4 / 1.0 ลิตร น้ำมัน
ไข (fats)	0.75 ม^3 CH_4 / กก.ไข
คาร์โบไฮเดรต	0.42 ม^3 CH_4 / กก.คาร์โบไฮเดรต
โปรตีน	0.47 ม^3 CH_4 / กก.โปรตีน
ซีโอดี (COD)	0.25 กก. CH_4 / กก.COD
ซีโอดี (COD)	0.38 ม^3 CH_4 / กก.COD

หมายเหตุ : * 1 ม^3 แก๊ส CH_4 หนัก 0.667 กิโลกรัม ณ สภาวะมาตรฐาน 25 °ซ 1 ความดันบรรยากาศ (จากหนังสือวิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4, เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, มหาวิทยาลัยรังสิต)

ตารางที่ 2.17 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากแก๊ส CH_4

ค่าพลังงาน*	**ค่าพลังงานที่เกิดขึ้น**				
	ปริมาณแก๊ส CH_4 ในแก๊สทั้งหมด (%)				
	50	**60**	**70**	**80**	**100**
ค่าความร้อน (กิโลจูล/ม^3 แก๊ส)	17500	21000	24500	28000	35000
ค่าพลังงานไฟฟ้า:					
กระแสไฟฟ้าที่ได้ (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	1.5	1.7	2.0	2.3	2.9
ความร้อนที่เกิดขึ้น (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	2.5	2.9	3.4	3.9	4.9
ความสูญเสีย (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	1.0	1.1	1.3	1.5	1.9

หมายเหตุ : * 1 ม^3 CH_4 ได้ 35000 กิโลจูล และได้ 9.7 กิโลวัตต์. ชม.
(โดย 1 ม^3 CH_4 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งประกอบด้วย
1) 30% เป็นกระแสไฟฟ้า 2.9 กิโลวัตต์. ชม.
2) 50% เป็นความร้อน 4.9 กิโลวัตต์. ชม. และ
3) 20% เป็นความสูญเสีย 1.9 กิโลวัตต์. ชม.)

(จากหนังสือ วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4, เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, มหาวิทยาลัยรังสิต)

นพภาพร พานิช และคณะ (2547) กล่าวไว้ว่า การเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/kg) จากแก๊สหุงต้ม แกลบ และไม้ฟืนพบว่า แก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงเกิดเขม่าน้อย ไม่มีขี้เถ้าเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด โดยคุณสมบัติของแก๊สปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 11,832 - 12,034 Kcal/kg หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 13.70 kWh/kg ในขณะที่แกลบ 1 กิโลกรัมเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.49 kWh หรือแกลบ 1 kg เทียบเท่าพลังงาน 14.27 MJ/kg หรือ 3,410.611 Kcal/kg (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 1999) ส่วนเศษไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อปานกลางมีน้ำหนัก 748.23 $\pm$ 116.42 kg/m3 ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 0.21 kWh/kg ดังนั้นการใช้แก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนจะให้พลังงานความร้อนสูงกว่า และมีมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นฟืนหรือแกลบ

ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ (2551) กล่าวว่า กระบือและโคพื้นเมืองหรือลูกผสมบราห์มันซึ่งมีจำนวนโดยประมาณคิดเป็น 70% ของโคเนื้อทั้งหมดโดยเกษตรกรจะเลี้ยงเป็นเหมือนกระปุกออมสินในลักษณะปล่อยตามพื้นที่สาธารณะ ท้องนา ข้างถนน ที่รกร้าง ป่าชายเขา รวมทั้งบนภูเขา ลักษณะการเลี้ยงเป็นการไล่ต้อนไปตามแหล่งอาหารธรรมชาติโดยไม่มีการเสริมอาหารข้น และไม่มีกำหนดเวลาในการขายเพื่อนำเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์ที่แน่นอน การขายโคจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกษตรกรต้องการใช้เงินจริง ๆ (กันยา ตันติวิสุทธิกุล, 2551)

ธำรงค์ เมฆโหรา (2551) ได้ทำการศึกษาประเมินมูลค่าของโคไทยพื้นเมืองและลูกผสมบราห์มันต่อตัวโดยพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดนครราชสีมาพบว่า ระยะเวลาสำหรับโครุ่นไทยพื้นเมืองควรอยู่ที่ 1 - 1.5 ปี ส่วนลูกผสมบราห์มันควรอยู่ที่ 1.5 ปี

Ichhponani et al. (1971) and Kawashima et al. (2000) กล่าวว่ากระบือเป็นสัตว์ชนิดที่มีความสามารถในการย่อย และใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบกลุ่มเซลลูโลสได้ดีกว่าโคเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับ Czerkawski ให้ข้อมูลไว้ในหนังสือ An Introduction to Rumen Studies ว่าปริมาณอาหารที่สัตว์กินเท่ากัน 3600 กก./ตัว/ปี โคเนื้อจะมีการขับไล่แก๊ส CH_4 (Eructation) มากกว่ากระบือโดยจะเกิดแก๊ส CH_4 จากโคเนื้อและกระบือเท่ากับ 91 และ 73 ลูกบาศก์เมตร/ตัว/ปี ตามลำดับ (Czerkawski, 1986)

เมธา วรรณพัฒน์ (2533) กล่าวไว้ในหนังสือโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องว่า อาหารหยาบหรืออาหารข้นที่ถูกหมักในรูเมนจะให้ผลผลิตสุดท้ายแตกต่างกันโดยเฉพาะอาหารหยาบจะได้กรดอะซิเตทสูงกว่าอาหารข้น และทำให้อัตราส่วนของกรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทต่ำกว่าใน

อาหารข้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดแก๊ส CH_4 สูงตามไปด้วย หรือกล่าวได้ว่าอาหารกลุ่มที่มีเซลลูโลส เช่น หญ้าแห้งหรือฟางจะมีส่วนสนับสนุนการผลิตแก๊ส CH_4 มากกว่าอาหารพวกแป้ง (Moe and Tyrell, 1979)

นอกจากนั้นจากหลักการสมดุลคาร์บอนโดยเฉพาะการตรึงคาร์บอน ($C_{fixation} = C_{plant} - C_{emitted}$) มีแนวทางการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์โภชนะของสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วยหลักการทางพลังงานโดย

พลังงานที่ย่อยได้ = พลังงานรวมในอาหาร (GE) – พลังงานที่สูญเสียในมูล (FE) (2.22)

และการวิเคราะห์อัตราส่วนของการตรึงคาร์บอนต่อคาร์บอนในพืชอาหารที่สัตว์กินจะสอดคล้องกับอัตราส่วนของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy; ME) ต่อพลังงานรวมในอาหาร (gross energy; GE) (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) โดยที่

ME = GE – (FE + พลังงานที่สูญเสียใน{ปัสสาวะ[UE] + CH4}) (2.23)

Czerkawski (1986) ได้ให้ข้อมูลไว้ว่า การเกิดแก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจากการย่อยอาหารหยาบจะมากกว่าอาหารข้นโดยการย่อยอาหารหยาบจะเกิดแก๊ส CH_4 1.75 โมลต่อกิโลกรัม ส่วนอาหารข้นจะทำให้เกิดแก๊ส CH_4 1.40 โมลต่อกิโลกรัมที่โคเนื้อมีการผลิตแก๊ส CH_4 250 ลิตรต่อตัวต่อวัน

Chaturvedi et al. (1973) พบว่า การสับฟางและแช่น้ำค้างคืนทำให้โคและกระบือสามารถกินฟางได้มากขึ้น ซึ่งทำให้การผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงขึ้นด้วย ซึ่งการแปรรูปอาหารหยาบเช่นการสับหรือหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แทนการใช้อาหารข้นเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายก็จะสามารถช่วยให้การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้นและลดการเกิดแก๊ส CH4 ได้เพราะว่าอาหารละเอียดจะทำให้สัตว์สามารถกินหญ้าแห้งหรือฟางได้มากขึ้น ระยะพักตัวของอาหารสั้นหรืออัตราการไหลผ่านของอาหารได้เร็วทำให้อาหารผ่านออกหรือพักตัวในกระเพาะรูเมนน้อยลง ซึ่งทำให้จุลินทรีย์มีเวลาในการเข้าย่อยสลายน้อยลงนั่นคือแก๊ส CH_4 จะลดลงได้ (Reid, 1962; Church, 1979; Minson, 1980) นอกจากนี้ เมธา วรรณพัฒน์ได้กล่าวไว้ว่า การบดหรือการสับอาหารให้เล็กลงนั้นจะมีผลทำให้ผลผลิตกรดไขมันระเหย และแก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนไป โดยสัดส่วนของกรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทจะเพิ่มขึ้นและปริมาณแก๊ส CH_4 ลดลง (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

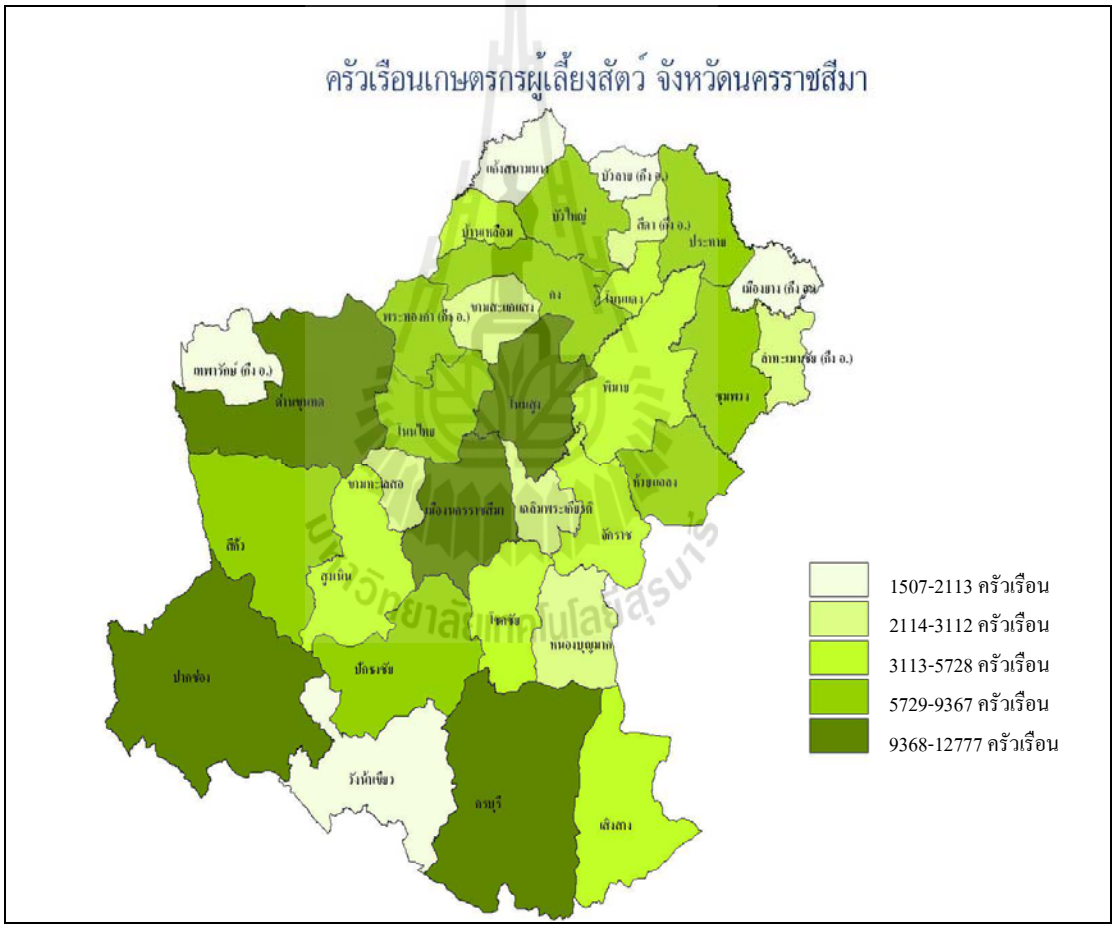
3.1 ชนิดของปศุสัตว์ และพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา

การดำเนินการวิจัยศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้การศึกษาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงาน จึงพิจารณาเลือกชนิดของปศุสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเน้นศึกษาที่ประเภทของสัตว์กินพืชเป็นหลักเพื่อพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์มาเป็นเนื้อ นมและไข่จากสัตว์แต่ละชนิด โดยสามารถแบ่งชนิดของปศุสัตว์ที่ต้องการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งมีประเด็นในการพิจารณาดังนี้ กลุ่มที่ 1 สัตว์บกสี่เท้าที่กินพืชเป็นอาหารโดยเฉพาะหญ้าหรือฟางและสุกรที่เลี้ยงในระบบฟาร์มซึ่งทราบชนิดและปริมาณการกินอาหารที่แน่นอนเนื่องจากสุกรเป็นแหล่งอาหารประเภทเนื้อที่สำคัญของมนุษย์ และกลุ่มที่ 2 สัตว์ปีกได้แก่ ไก่เนื้อและไก่ไข่ที่เลี้ยงในระบบฟาร์มซึ่งทราบชนิดและปริมาณการกินอาหารที่แน่นอน เพราะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์เช่นเดียวกับสุกร

การศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา โดยสามารถแสดงตำแหน่งและรายชื่อของทั้ง 26 อำเภอและ 6 กิ่งอำเภอ (จะรวมเรียกเป็น 32 อำเภอ) ของจังหวัดนครราชสีมาและตัวอย่างความหนาแน่นของฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของปี 2548 (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครราชสีมา, 2548) ตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 3.1 โดยกระบวนการศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากพืชที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นไปสู่สัตว์โดยเฉพาะสัตว์กินพืชเป็นหลักซึ่งเป็นผู้บริโภคขั้นต้นในห่วงโซ่อาหารและการแปรรูปคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ที่ถูกสัตว์กินพืชเหล่านี้กินมาเป็นคาร์บอนในรูปของอาหารประเภทเนื้อหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ได้แก่ นม ไข่ มูลสัตว์ โดยอาศัยข้อมูลปริมาณสัตว์และรายละเอียดในการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดจากฟาร์มปศุสัตว์ต่าง ๆ โรงฆ่าสัตว์ สัตวแพทย์ และสัตวบาล รวมทั้งเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา และจากการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามในพื้นที่เป้าหมายที่ศึกษาทั้ง 26 อำเภอ และ 6 กิ่งอำเภอ

ตารางที่ 3.1 ชนิดของปศุสัตว์ที่มีความสำคัญของจังหวัดนครราชสีมา

กลุ่ม	ชนิดของปศุสัตว์	ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ
กลุ่มที่ 1 (สัตว์บกสี่เท้า กินพืช)	โคนม	นม
	โคเนื้อ	เนื้อ
	กระบือ	เนื้อ
	สุกร	เนื้อ
กลุ่มที่ 2 (สัตว์ปีก)	ไก่เนื้อ	เนื้อ
	ไก่ไข่	ไข่



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งพื้นที่ในการศึกษาทั้ง 26 อำเภอ และ 6 กิ่งอำเภอ (จาก [ออนไลน์]ได้จาก http://www.dld.go.th/pvlo_nak, สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครราชสีมา, 2548)

3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การสำรวจด้วยตัวอย่างเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพียงบางส่วนของประชากรเพื่อเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ประชากร หมายถึง ปริมาณของปศุสัตว์แต่ละชนิดและเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ การเลือกตัวอย่างจากประชากรทำได้หลายวิธีแต่ไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็มีหลักเกณฑ์เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของประชากร นั่นคือตัวอย่างที่ถูกเลือกมาควรประกอบไปด้วยลักษณะต่าง ๆ ของประชากรครบถ้วน ดังนั้นในการศึกษานี้ทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่ขนาดความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ไม่เกิน 5% (ปรารถนา ยศสุข, 2551) โดยใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) เนื่องจากเป็นวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัย (ประธาน เกิดกล่ำ, 2549) เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดซึ่งส่วนมากได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณอยู่ที่ร้อยละ 0.05 โดยใช้สูตรการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้วในสมการที่ 2.16 หรือตารางที่ 2.5

จากวิธีการหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดของ Yamane (1973) ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างอยู่ที่ร้อยละ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะได้จำนวนตัวอย่างของฟาร์มและจำนวนตัวอย่างของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 แสดงจำนวนตัวอย่างฟาร์ม และจำนวนตัวอย่างสัตว์แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา (ใช้ฐานข้อมูลปี 2548) ที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งจำนวนฟาร์มตัวอย่าง และจำนวนของสัตว์ตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ในแต่ละอำเภอ สามารถคำนวณได้ตามสัดส่วนจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ต้องการโดยการเทียบสัดส่วนจากจำนวนฟาร์มเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดของเกษตรกร และจำนวนของสัตว์ที่มีการเลี้ยงจริง ในแต่ละอำเภอและมีรายชื่ออยู่ในฐานข้อมูลของปศุสัตว์ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละอำเภอได้ดังตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอได้ดังตารางที่ 3.5 และสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละฟาร์มตามอำเภอต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.6 ตามลำดับโดยที่ทำการเก็บจำนวนตัวอย่างจากสัตว์ เช่น น้ำหนักสัตว์ อาหารสัตว์ และมูลสัตว์ในแต่ละฟาร์มอย่างน้อยชนิดละ 1 ตัวอย่างเสมอ

การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติที่สนใจโดยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการของการศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจากพืชอาหารสัตว์และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ จากฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมาโดยการเก็บตัวอย่างนี้ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 18 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2550 ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2551 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.2 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่างโคนม โคเนื้อ กระบือแยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา

อำเภอ	โคนม				โคเนื้อ				กระบือ			
	จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร	
	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
เมือง	985	7	54	8	9,652	10	521	4	1,632	9	324	10
ขามทะเลสอ	1,530	10	104	15	6,403	7	284	2	683	4	63	2
ขามสะแกแสง	182	1	19	3	13,213	14	2,200	16	1,131	7	247	8
คง	5	0	1	0	19,443	20	4,554	32	6,773	39	1,402	43
ครบุรี	1,700	12	91	13	5,220	5	387	3	2,590	15	205	6
จักราช	-	-	-	-	17,495	18	2,814	20	865	5	174	5
ชุมพวง	775	5	37	5	19,365	20	3,032	21	3,025	18	684	21
โชคชัย	30	0	2	0	4,892	5	387	3	1,545	9	192	6
ด่านขุนทด	-	-	-	-	31,636	32	1,881	13	2,593	15	220	7
โนนสูง	-	-	-	-	21,626	22	7,165	51	2,729	16	487	15
โนนไทย	-	-	-	-	13,562	14	2,130	15	2,365	14	264	8
โนนแดง	30	0	2	0	8,925	9	2,285	16	3,602	21	1,240	38
บัวใหญ่	-	-	-	-	6,559	7	1,843	13	6,613	38	1,476	46
บ้านเหลื่อม	-	-	-	-	6,665	7	587	4	3,077	18	431	13
ปักธงชัย	3,257	22	72	10	17,544	18	1,546	11	3,878	23	519	16
ปากช่อง	39,059	267	1,559	222	7,162	7	536	4	545	3	102	3
ประทาย	192	1	2	0	23,656	24	5,269	37	3,471	20	723	22

ตารางที่ 3.2 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่างโคนม โคเนื้อ กระบือ แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา (ต่อ)

อำเภอ	โคนม				โคเนื้อ				กระบือ			
	จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร	
	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
พิมาย	3,564	24	151	21	22,090	23	2,741	19	690	4	143	4
สูงเนิน	3,152	22	128	18	11,700	12	859	6	1,394	8	166	5
เสิงสาง	690	5	40	6	4,932	5	708	5	854	5	87	3
สีคิ้ว	2,518	17	127	18	17,458	18	981	7	2,442	14	363	11
ห้วยแถลง	9	0	2	0	19,535	20	3,954	28	2,301	13	459	14
หนองบุญมาก	-	-	-	-	6,996	7	551	4	1,023	6	114	4
แก้งสนามนาง	-	-	-	-	12,505	13	1,559	11	2,213	13	328	10
วังน้ำเขียว	350	2	13	2	11,566	12	436	3	355	2	19	1
กิ่ง อ.เมืองยาง	72	0	5	1	11,475	12	1,736	12	1,986	12	362	11
กิ่ง อ.เทพารักษ์	-	-	-	-	13,195	14	725	5	592	3	63	2
กิ่ง อ.พระทองคำ	33	0	3	0	1,045	1	1,333	9	1,127	7	239	7
กิ่ง อ.ลำทะเมนชัย	6	0	2	0	9,057	9	203	1	997	6	57	2
เฉลิมพระเกียรติ	-	-	-	-	3,831	4	344	2	349	2	42	1
กิ่ง อ.สีดา	-	-	-	-	7,889	8	1,960	14	2,717	16	718	22
กิ่ง อ.บัวลาย	-	-	-	-	4,323	4	875	6	2,421	14	705	22
รวม	58,139	398	2,414	343	390,615	400	56,386	398	68,578	398	12,618	390

ตารางที่ 3.3 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่างสุกร ไก่ไข่ ไก่เนื้อ แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา

อำเภอ	สุกร				ไก่ไข่				ไก่เนื้อ			
	จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร	
	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
เมือง	8,017	13	68	2	1,431	0	53	12	14,596	0	736	123
ขามทะเลสอ	540	1	101	3	2,140	1	25	6	89,847	2	28	5
ขามสะแกแสง	1,766	3	183	6	346	0	48	11	9,530	0	1	0
คง	2,831	4	316	11	15,846	4	43	10	93,500	2	8	1
ครบุรี	7,432	12	389	13	123,715	30	32	7	210,500	5	20	3
จักราช	4,427	7	506	17	400	0	1	0	89,880	2	10	2
ชุมพวง	2,085	3	445	15	1,479	0	112	25	186,319	5	129	22
โชคชัย	3,394	5	88	3	-	-	-	-	2,693,600	67	14	2
ด่านขุนทด	4,430	7	684	23	79,984	20	253	57	337,754	8	236	39
โนนสูง	2,660	4	464	16	6,240	2	256	57	713	0	38	6
โนนไทย	9,528	15	712	24	36,603	9	45	10	724,700	18	74	12
โนนแดง	3,153	5	321	11	568	0	42	9	115	0	7	1
บัวใหญ่	5,803	9	417	14	341	0	50	11	50,841	1	47	8
บ้านเหลื่อม	1,638	3	271	9	514	0	15	3	122,282	3	66	11
ปักธงชัย	12,385	20	780	26	936,909	229	68	15	2,130,674	53	68	11
ปากช่อง	114,209	181	196	7	52,000	13	3	1	611,800	15	24	4
ประทาย	4,182	7	518	17	600	0	2	0	23,000	1	3	1

ตารางที่ 3.3 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์มและจำนวนตัวอย่างสุกร ไก่ไข่ ไก่เนื้อ แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา (ต่อ)

อำเภอ	สุกร				ไก่ไข่				ไก่เนื้อ			
	จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์มเกษตรกร	
	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
พิมาย	4,211	7	577	19	1,216	0	80	18	27,720	1	72	12
สูงเนิน	20,749	33	1,009	34	70,205	17	43	10	5,974,640	148	52	9
เสิงสาง	1,256	2	273	9	-	-	-	-	-	-	-	-
สีคิ้ว	4,735	8	216	7	129,501	32	50	11	177,369	4	165	28
ห้วยแถลง	12,101	19	748	25	10,000	2	3	1	422,326	10	35	6
หนองบุญมาก	5,760	9	570	19	28	0	1	0	1,743,000	43	23	4
แก้งสนามนาง	2,237	4	241	8	288	0	25	6	43	0	4	1
วังน้ำเขียว	1,809	3	160	5	937	0	15	3	173,267	4	48	8
กิ่ง อ.เมืองยาง	2,028	3	252	9	94	0	3	1	-	-	-	-
กิ่ง อ.เทพารักษ์	1,101	2	116	4	1,252	0	21	5	108,000	3	4	1
กิ่ง อ.พระทองคำ	1,127	2	72	2	31	0	4	1	148,503	4	67	11
กิ่ง อ.ลำทะเมนชัย	1,328	2	189	6	592	0	36	8	10,999	0	18	3
เฉลิมพระเกียรติ	2,373	4	376	13	162,633	40	25	6	251	0	16	3
กิ่ง อ.สีดา	996	2	76	3	453	0	16	4	305	0	17	3
กิ่ง อ.บัวลาย	1,543	2	212	7	177	0	13	3	18,000	0	9	2
รวม	251,834	400	11,546	390	1,636,523	400	1,383	310	16,194,074	400	2,039	340

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละอำเภอ

อำเภอ	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	A_1	$A_1/100*n$	$= X_1$
2	A_2	$A_2/100*n$	$= X_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
32	A_{32}	$A_{32}/100*n$	$= X_{32}$
Total	100		n_A

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอ

อำเภอ	ฟาร์ม (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	F_1	$F_1/100*n$	$= f_1$
2	F_2	$F_2/100*n$	$= f_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
32	F_{32}	$F_{32}/100*n$	$= f_{32}$
Total	100		n_f

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละฟาร์มของอำเภอที่ 1

ฟาร์ม	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	AF_1	$AF_1/100*X_1$	$= Y_1$
2	AF_2	$AF_2/100*X_1$	$= Y_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
f_1	.	.	.
Total	100		X_1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

น้ำหนักและชนิดของพืชอาหารสัตว์ที่ฟาร์มแต่ละแห่งใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดและน้ำหนักตัวของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา โดยสำรวจจากฟาร์มผู้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอโดยอาศัยการจับสลาก (ดัดแปลงมาจาก Cavana, Delahaye, and Sekaran, 2000) เมื่อทราบน้ำหนัก และชนิดของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้แล้วก็นำตัวอย่างพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิดจากการสุ่มเลือกชนิดละจำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	หมายเหตุ
ร้อยละของ ความชื้น และของแข็งทั้งหมด จากน้ำหนักแห้งคงที่ ที่ 70 °ซ	โดยน้ำหนัก ที่ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	Manlay et al. (2004)
ปริมาณคาร์บอน	CNS-2000 ELEMENTAL ANALYZER	Manlay et al. (2004)
ของแข็งระเหยง่าย (volatile solids)	โดยน้ำหนักที่หายไป จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
ของแข็งคงตัว (fixed solids)	โดยน้ำหนักที่เหลือ จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
น้ำหนักของสัตว์	โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก หรือใช้สายเทป CATTLE and PIG WEIGHING TAPE รัดรอบอกที่หลังขาหน้าของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร	Bunyavejchewin et al. (1985)

น้ำหนักตัวของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ เนื้อสัตว์ นม ไข่ และมูลสัตว์รวมทั้งแก๊ส CO_2, CH_4 จากการย่อยอาหาร และการหายใจของสัตว์แต่ละชนิด สำรวจโดยหาปริมาณ และน้ำหนักจากจำนวนของสัตว์แต่ละชนิดจากโรงฆ่าสัตว์และฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งการเลือกโรงฆ่าสัตว์ หรือฟาร์มใช้วิธีการจับสลาก (ดัดแปลงมาจาก Cavana, Delahaye, and Sekaran, 2000) เมื่อทราบถึงปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์แล้ว นำตัวอย่างเนื้อ นม ไข่

และมูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์แต่ละชนิดนั้นจากการสุ่มเลือกชนิดละจำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของเนื้อ นม ไข่ และมูลสัตว์จากสัตว์แต่ละชนิด

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	หมายเหตุ
ร้อยละของ ความชื้น และของแข็งทั้งหมดจากน้ำหนักแห้งคงที่ ที่ 70 °ซ	โดยน้ำหนัก ที่ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	Manlay et al. (2004)
ปริมาณคาร์บอน (C)	CNS-2000 ELEMENTAL ANALYZER และ GAS ANALYZER Respiration Trial system	Manlay et al. (2004) Kawashima, Terada, and Shibata (2000)
ของแข็งระเหยง่าย (volatile solids)	โดยน้ำหนักที่หายไป จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
ของแข็งคงตัว (fixed solids)	โดยน้ำหนักที่เหลือ จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
น้ำหนักของสัตว์	โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก หรือใช้สายเทป CATTLE and PIG WEIGHING TAPE รัดรอบอกที่หลังขาหน้าของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร	Bunyavejchewin et al. (1985)

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

การดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา สามารถสรุปขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ โดยสามารถขยายความถึงรายละเอียดของวิธีดำเนินการศึกษาในขั้นตอนต่าง ๆ ทั้ง 2 ขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนของการเข้าถึงแหล่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่ต้องการ ปริมาณของข้อมูลตามการคำนวณ โดยเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) ด้วยการออกสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับพืชอาหารสัตว์ การทำปศุสัตว์ น้ำหนักสัตว์ และสัดส่วนของซากสัตว์

แต่ละชนิดจากโรงฆ่าสัตว์ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.2 โดยวิธีการเก็บตัวอย่างในฟาร์ม ใช้วิธีจับสลากเลือกตัวสัตว์เฉพาะที่กำลังให้เนื้อ นม ไข่ โดยไม่สนใจ เพศ อายุ พันธุ์ หรือสภาวะต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ เช่น ตั้งท้อง ป่วย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นส่วนของการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าของคาร์บอนด้วยเครื่อง CNS-2000 ELEMENTAL ANALYZER และ GAS ANALYZER ได้แก่ ตัวอย่างพืชอาหารสัตว์และตัวอย่างเนื้อจากสัตว์แต่ละชนิด นมโค ไข่ไก่ และในมูลสัตว์ โดยอาศัยความร้อนในการเผาที่ 850°ซ และใช้หลักการแยกสารด้วยวิธีการดูดซึมมากน้อย (chromatography) โดยใช้น้ำหนักตัวอย่างที่ 0.2 กรัม ส่วนตัวอย่างหามาด้วยวิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างตามความสะดวก (convenience sampling) (ศรเทพ ธัมวาสร, 2545; สุรินทร์ นิยมางกูร, 2542; Cavana, Delahaye and Sekaran, 2000; Marks, 1982) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างในการวิเคราะห์จำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง เมื่อได้ค่าของคาร์บอนจากห้องปฏิบัติการแล้ว นำมาหาค่าปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากกิจกรรมการปศุสัตว์กับเวลา (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน) และนำมาใช้ในการศึกษาหาอัตราการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์ด้วยการกิน เพื่อบ่งชี้ถึงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนเทียบกับเวลา และการตรึงคาร์บอนสะสมอยู่ในรูปของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ โดยการสมดุลมวล รวมทั้งการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 CH_4 และมูลสัตว์ ซึ่งการวิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อวัน และปัจจัยของการปลดปล่อยคาร์บอนในแต่ละส่วนของขั้นตอนการถ่ายเทคาร์บอนจากการปศุสัตว์แต่ละชนิด อาศัยหลักการถ่ายเทมวลตาม (UNECE, 2004) โดยสมการการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$E_{total} = n_{animal} \times (EF_{metabolic} + EF_{spreading} + EF_{energy\ equivalent}) \quad (3.1)$$

โดยที่ n_{animal} = จำนวนของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละพื้นที่

E_{total} = คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยทั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อวัน)

$EF_{metabolic}$ = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

$EF_{energy\ equivalent}$ = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากพลังงานที่ใช้ในการผลิต เนื้อ นม ไข่ เช่น พลังงานน้ำมันในการขนส่งและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในฟาร์ม และโรงฆ่า รวมถึงพลังงานที่ใช้แช่เย็นนม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

$EF_{spreading}$ = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากสิ่งขับถ่ายและในรูปของเสียของสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดอาศัยความสัมพันธ์ของค่าปริมาณคาร์บอนที่ได้ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์กับปริมาณคาร์บอนของพืชที่ต้องใช้ในการเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงานในโรงเรือน ฆ่าสัตว์ ขนส่ง และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากสัตว์โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 ข้อมูลที่ต้องการจากการสำรวจฟาร์มปศุสัตว์คือ น้ำหนักสัตว์ ปริมาณมูลสัตว์ จำนวนสัตว์เลี้ยงและที่ส่งโรงฆ่าสัตว์ ชนิดและปริมาณพืชที่ใช้ ระยะเวลาเลี้ยง ปริมาณและระยะเวลาให้นม และไข่ พลังงานที่ใช้ในโรงเรือน และการขนส่ง ข้อมูลจากโรงฆ่าสัตว์คือ ร้อยละของเนื้อหลังการชำแหละ สัดส่วนของเครื่องใน กระดูก หัว คอ และอื่น ๆ ของสัตว์ และพลังงานที่ใช้ในโรงฆ่าสัตว์ที่อยู่ตามอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา โดยสรุปเป็นตารางบันทึกข้อมูลได้ดังแสดงในตารางที่ 3.9

3.4.2 ข้อมูลที่ต้องการจากห้องปฏิบัติการคือค่าปริมาณคาร์บอนจากการนำตัวอย่าง พืชอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด ชิ้นเนื้อ ผลิตภัณฑ์และมูลสัตว์ ของสัตว์แต่ละชนิด มาวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนด้วยเครื่อง CNS-2000 ELEMENTAL ANALYZER ซึ่งมีอยู่ที่อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.3 เครื่องมือสำคัญที่ต้องใช้ในการทดสอบ ร้อยละของความชื้น ของแข็งระเหยง่ายและขี้เถ้าได้แก่ ตาชั่งน้ำหนัก และเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.4 วิธีการเก็บตัวอย่างและรักษาตัวอย่าง โดยเฉพาะตัวอย่างที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพได้เมื่อเวลาหรือสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปเช่น การเก็บสิ่งขับถ่ายของสัตว์ นม เนื้อสัตว์ เป็นต้น โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก มัดปากถุงให้แน่นสนิท และแช่เย็นในถังน้ำแข็งเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อในห้องปฏิบัติการ ซึ่งที่ห้องปฏิบัติการนี้จะทำการเก็บรักษาตัวอย่างดังกล่าวโดยการแช่ตัวอย่างไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 4 องศาเซสเซียส เพื่อรอการนำไปวิเคราะห์ต่อไปแต่ทั้งนี้การเก็บรักษาตัวอย่างที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้จะต้องไม่เกิน 3 วัน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted) คือปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์ในรูปของมูลสัตว์ (C-output) และแก๊ส CO_2, CH_4 จากมูลสัตว์ การหายใจและการ

ย่อยอาหารของสัตว์ (C-emission) เทียบกับเวลา ซึ่งอัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted) ของสัตว์แต่ละชนิดนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้ โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2

อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted)

= (ปริมาณ C ในมูลสัตว์+จากแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์+ปริมาณ C จากลมหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์) เทียบกับเวลา (3.2)

3.5.2 อัตราการตรึงคาร์บอนจากการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์โดยน้ำหนักพืชและน้ำหนักสัตว์เทียบกับเวลาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3 ซึ่งอัตราการตรึงคาร์บอนนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันทำให้สามารถจัดลำดับความสามารถในการใช้อาหารของสัตว์แต่ละชนิดได้ โดยสัตว์ที่มีความสามารถในการใช้อาหารสูงจะมีอัตราการตรึงคาร์บอนสูงด้วย

อัตราการตรึงคาร์บอน (C-fixation)

= (ปริมาณ C ทั้งหมดในอาหารที่เลี้ยงสัตว์-ปริมาณ C ในมูลสัตว์- ปริมาณ C จากแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์ - ปริมาณ C จากลมหายใจ และการย่อยอาหารของสัตว์) เทียบกับเวลา (3.3)

3.5.3 การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเนื้อ นม ไข่ของสัตว์แต่ละชนิด เพื่อพิจารณาว่าปศุสัตว์ชนิดใดมีความเหมาะสมในการที่จะผลิตอาหารประเภท เนื้อ นม ไข่ มากกว่ากัน นั่นคือสัตว์ชนิดนั้นต้องมีค่าประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอนสูงกว่าของสัตว์ชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน วิธีการหาค่าประสิทธิภาพการผลิตเนื้อ นม ไข่ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอน

= $(\text{คาร์บอน}_{\text{อาหารสัตว์}} - \text{คาร์บอน}_{\text{ที่ปลดปล่อย}}) \div \text{คาร์บอน}_{\text{อาหารสัตว์}}$ (3.4)

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากปศุสัตว์แต่ละชนิดที่ต้องการ จากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มของแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอและโรงฆ่าสัตว์ต่าง ๆ

วัน/เดือน/ปี ...../...../.....

ชนิดสัตว์เลี้ยงทางเศรษฐกิจ	พืชที่ใช้เลี้ยง (กิโลกรัม/ตัว/วัน)		เลี้ยงสัตว์ เกิด จนถึงส่งโรงฆ่าสัตว์หรือขายตลาด		น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ที่ส่งฆ่าหรือตลาด (กิโลกรัม/ตัว)	น้ำหนัก หรือ ร้อยละ (% หรือ กิโลกรัม/ตัว)		เนื้อ นม ไข่ ที่ได้เฉลี่ย (ลิตรหรือกิโลกรัม หรือ ฟอง/ตัว/วัน)	ระยะเวลาผลิต เนื้อ นม ไข่ (วัน/ ปี)	น้ำหนักมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	ปริมาณพลังงานเฉลี่ยที่ใช้สำหรับ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อปี)			
	ชนิด	ปริมาณแต่ละชนิด	ระยะเวลา (วัน)	จำนวน (ตัว)		ซากสัตว์	เนื้อสัตว์จากซาก				ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	ขนส่งพืช เนื้อ นม ไข่	ฆ่าหรือทำความสะอาด	รักษาอาหาร
เนื้อโค														
เนื้อกระบือ														
เนื้อสุกร														
เนื้อไก่														
โคนม														
ไก่ไข่														

หมายเหตุ : ปริมาณพลังงานไฟฟ้า หรือน้ำมัน สำหรับให้แสงสว่าง ควบคุมอุณหภูมิ ระบายอากาศ ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า สำหรับใช้ในการฆ่าสัตว์
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า หรือ แก๊ส สำหรับทำความเย็นเพื่อการเก็บรักษาเนื้อและน้ำนม หรือความร้อนเพื่อใช้ในการกกลูกไก่หรือลูกสุกร
ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในการขนส่ง สัตว์จากฟาร์มไปส่งโรงฆ่าสัตว์ หรือส่งขายตลาด และขนส่งเนื้อ จากโรงฆ่าสัตว์ไปตลาดสด
หรือขนส่งนมไปสหกรณ์หรือโรงงานแปรรูป และขนส่งไข่ ไปขายตลาด

3.5.4 การวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการปศุสัตว์แต่ละชนิดสำหรับการผลิตอาหารประเภท เนื้อ นม ไข่ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยการเปรียบเทียบจากสัดส่วนระหว่างคาร์บอนที่ปลดปล่อยต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปอาหารของมนุษย์ นั่นหมายความว่าสัตว์ชนิดใดมีความเหมาะสมในการที่จะผลิตอาหารประเภท เนื้อ นม ไข่ จะต้องมีค่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้น้อยกว่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสัตว์ชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันซึ่งวิธีการหาค่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำได้โดย

$$\text{สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับการตรึงคาร์บอนที่เท่ากัน} = \frac{\text{คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย}}{\text{คาร์บอนที่ถูกตรึง}} \quad (3.5)$$

$$\text{สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่เท่ากัน} = \frac{\text{คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย}}{\text{คาร์บอนในอาหารสัตว์}} \quad (3.6)$$

โดยที่ คาร์บอนที่ถูกตรึง = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์สัตว์ในรูปของเนื้อ นม ไข่
คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ในรูปของการหายใจ การย่อยอาหาร และคาร์บอนจากมูลสัตว์
คาร์บอนในอาหารสัตว์ = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากหญ้า อาหารข้น และอาหารสำเร็จรูป

3.6 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้จะต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ที่มีการเลี้ยงอยู่จริงในฟาร์มของเกษตรกรโดยไม่ได้คำนึงถึงพันธุ์ของสัตว์ในแต่ละชนิด แต่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะต้องมีอายุอยู่ในช่วงที่จะใช้ประโยชน์หรือให้เนื้อ นม และไข่เท่านั้น การศึกษานี้เน้นที่สัตว์กินพืช และสัตว์ที่มีลักษณะของการกินที่ทราบชนิดและปริมาณของอาหารที่สัตว์กินในทุก ๆ อำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีด้วยกัน 26 อำเภอ 6 กิ่งอำเภอโดยจะเน้นแหล่งข้อมูลที่มีระบบการจัดการปศุสัตว์ในรูปของฟาร์มปศุสัตว์ที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นหลัก การประเมินและวิเคราะห์ระบบจะพิจารณาเสมือนระบบอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทมวลคาร์บอน (carbon massflow concept)

การศึกษานี้เป็นการพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ที่นิยมใช้เลี้ยงในฟาร์มปศุสัตว์ไปสู่สัตว์บกที่กินพืชเป็นหลักทั้ง 6 ชนิดที่ศึกษา ตามระยะเวลาการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด เพื่อ

ศึกษาการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชที่สัตว์เอาไปใช้ได้จริง (หักลบด้วยปริมาณคาร์บอนในมูลสัตว์) มาสะสมที่สัตว์ในรูปของเนื้อ นม และไข่ เพื่อการบริโภคของคนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยมีวิธีการประเมินการใช้พลังงานจากการสำรวจการใช้จริงของแต่ละฟาร์ม และประเมินการปลดปล่อย CO_2 เทียบเท่า จากปริมาณพลังงานแต่ละชนิดที่ใช้ ซึ่งแสดงค่าคงที่ดังแนบท้ายในตารางที่ 4.7 ซึ่งพลังงานส่วนสำคัญใหญ่ 4 ส่วน ที่เกี่ยวข้องได้แก่

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันที่ใช้ในโรงเรือนเพื่อการเลี้ยงสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน) เช่น พลังงานความร้อนที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือน พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และพลังงานที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นต้น โดยที่รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี2548 (2548) และนพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.18 กก. C / kWh ในขณะที่ การใช้แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม จะเกิด CO_2-emission = 3.0102 kg.CO_2/ 1 kg. LPG

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการฆ่าสัตว์ และพลังงานความร้อนในการถอนขนหรือขูดขนสัตว์ ในโรงฆ่าสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

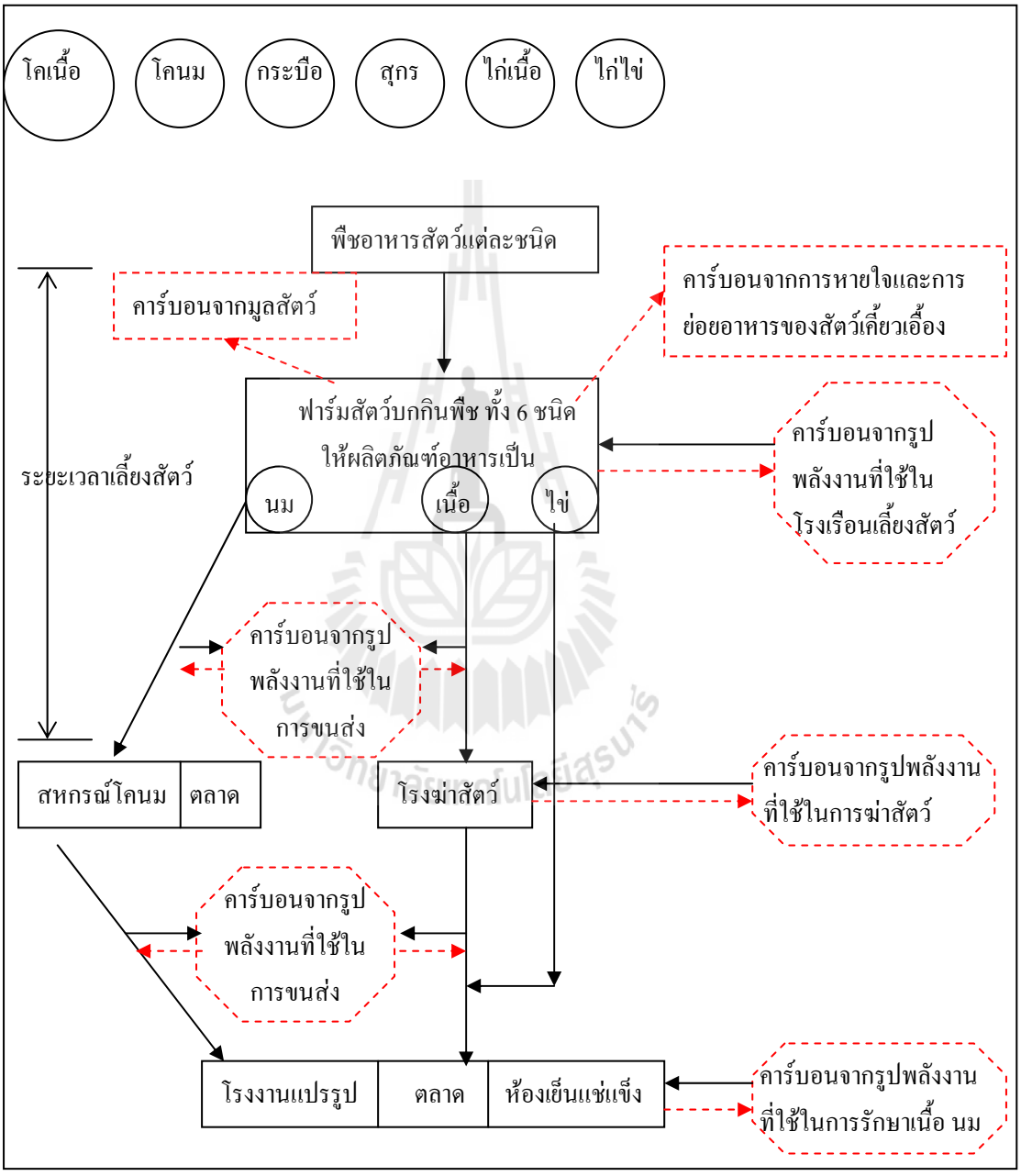
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แช่แข็ง และน้ำนมโค (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งตัวสัตว์ไปโรงฆ่าสัตว์ และขนส่งเนื้อสัตว์หลังชำแหละไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป หรือขนส่งน้ำนมโคจากฟาร์มไปสหกรณ์โคนมต่าง ๆ ในจังหวัด (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน) โดยที่ National Transportation Statistics (2000) ได้ประเมินค่า CO_2-emission จากพลังงานน้ำมันในการขนส่ง = 74.5 kg CO_2 / 1 ตันน้ำหนักบรรทุกทุก 500 กิโลเมตร และ U.S. EPA, AP-42 (1995) และWHO. (1993) ระบุไว้ว่า CO_2-emission จากน้ำมันดีเซล = 2.24 kg.CO_2/L ในขณะที่น้ำมันเบนซิน = 2.10 kg.CO_2/L

การศึกษานี้จะเก็บข้อมูลภาคสนามจากฟาร์มปศุสัตว์เกี่ยวกับปริมาณพืชอาหารสัตว์โดยทั่วไปที่สัตว์แต่ละชนิดกินต่อตัวต่อวัน จำนวน และน้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่ส่งไปโรงฆ่าสัตว์ เพื่อพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชมาสู่สัตว์ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดตั้งแต่เกิดจนกระทั่งโตเต็มที่พร้อมส่งโรงฆ่าสัตว์ได้ ระยะเวลาของการที่สัตว์ให้นมและไข่ โดยไม่ได้สนใจอายุและพันธุ์ของสัตว์ในแต่ละชนิด แต่จะจำกัดขอบเขตที่สัตว์ที่มีอายุในช่วงที่จะใช้ประโยชน์เท่านั้น

ข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนในอาหารประเภทเนื้อ และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น มูลสัตว์ นม และไข่ รวมทั้งคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ จะเก็บและรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส โดยการทำทดสอบให้เสร็จภายใน 3 วัน และอาศัยการวิเคราะห์หาค่าของคาร์บอนด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยเครื่องมือการวิเคราะห์ธาตุ ได้แก่ เครื่อง CNS-2000

ELEMENTAL ANALYZER ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อวัดปริมาณคาร์บอน (C) จากส่วนประกอบสารอินทรีย์หลายชนิด (Manlay et al., and Alhamd et al., 2004) เพื่อหาปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์ ในเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์เทียบกับเวลา



รูปที่ 3.2 แสดงขอบเขตการศึกษาการถ่ายเทและการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตอาหารจากการทำปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา

จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดโดยการนำข้อมูลคาร์บอนต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตอาหาร ได้แก่ คาร์บอนในพืชที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ คาร์บอนในมูลสัตว์ คาร์บอนในเนื้อ นม ไข่ คาร์บอนในรูปของพลังงาน 4 กลุ่มและเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเลี้ยงสัตว์โดยตรงและเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่ต้องใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ฆ่าสัตว์ ขนส่ง และเก็บรักษา เนื้อและนม มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้คาร์บอน (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อปี) ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ นม และไข่ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม และบ่งบอกถึงสัดส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปอาหาร เพื่อชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย นอกจากนี้ยังสามารถประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อหน่วยของพืชอาหารสัตว์มาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ในรูป เนื้อ นม ไข่ และอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหน่วยของมูลสัตว์ การหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์ และพลังงานที่ใช้ในการเลี้ยง การขนส่ง การฆ่าและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจากการปศุสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

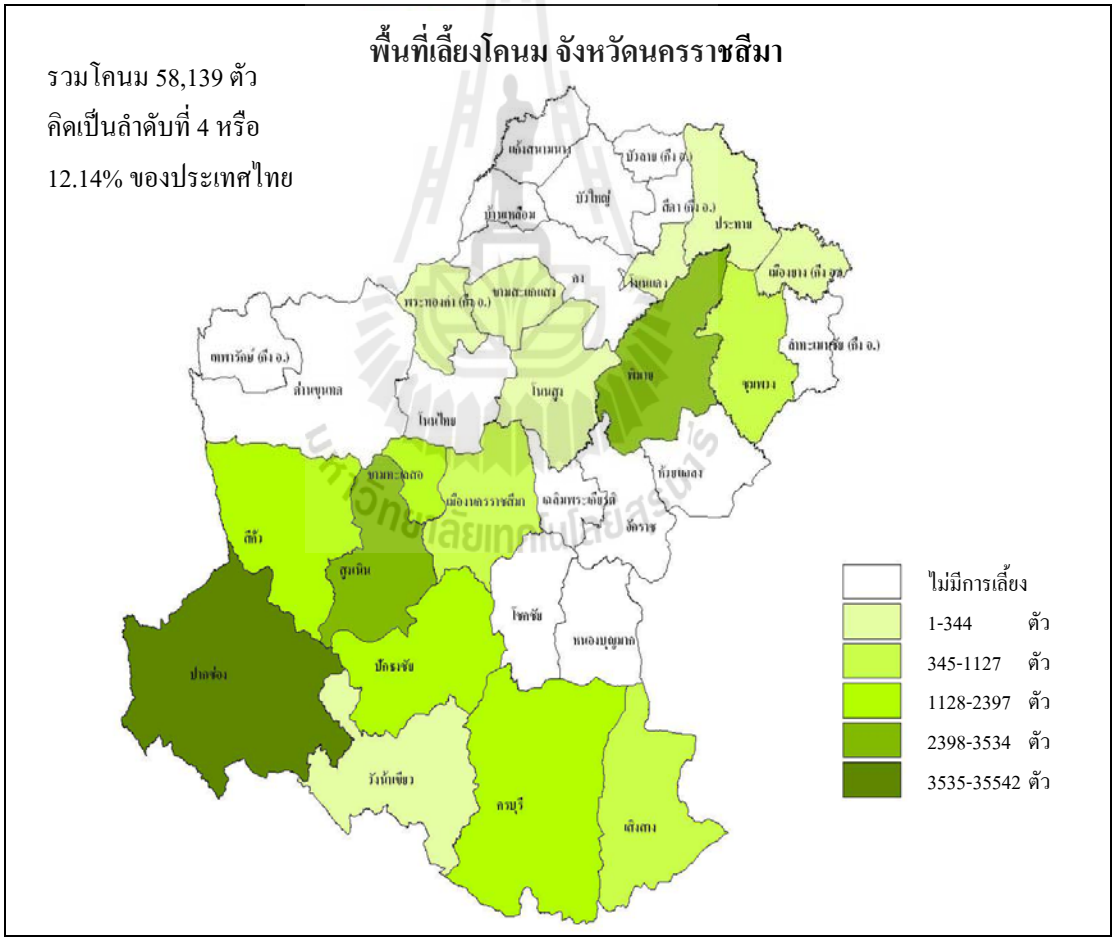
4.1 การสำรวจปริมาณสัตว์แต่ละชนิดที่มีการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา

ผลการศึกษาพบว่าสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในจังหวัดนครราชสีมาได้แก่ โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ตั้งแต่ปี 2544 - 2549 สัตว์แต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนการเลี้ยงโดยเฉพาะสุกร โคเนื้อ และไก่ไข่ ที่มีการเพิ่มจำนวนการเลี้ยง 2 - 3 เท่าดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมีการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดกระจายอยู่ตามอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.6 โดยจากรูป 4.1 และ 4.4 พบว่าการเลี้ยงโคนมและสุกรมีการเลี้ยงหนาแน่นมากที่อำเภอปากช่อง เกษตรที่เลี้ยงสุกรส่วนใหญ่จะเป็นลูกเล้าที่เลี้ยงให้กับบริษัท ซีพี ในขณะที่รูป 4.2 พบว่ามีการเลี้ยงโคเนื้อหนาแน่นมากที่อำเภอด่านขุนทดซึ่งมีจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อมากที่สุดของประเทศไทย (กรมปศุสัตว์, 2548) และรูป 4.3 พบว่าการเลี้ยงกระบือมีการเลี้ยงหนาแน่นมากในอำเภอบัวใหญ่ นอกจากนี้รูปที่ 4.5 แสดงว่ามีการเลี้ยงไก่เนื้อหนาแน่นมากที่อำเภอสูงเนิน ในขณะที่ไก่ไข่มีการเลี้ยงหนาแน่นมากที่อำเภอปักธงชัย ดังรูป 4.6 และผลจากการสำรวจสหกรณ์โคนม 9 แห่ง ที่กระจายอยู่ตามอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดนครราชสีมาโดยสหกรณ์โคนมที่มีการใช้พลังงานในการผลิตนมโคมากที่สุด ได้แก่ สหกรณ์โคนมปากช่อง ในขณะที่โรงฆ่าสัตว์ใหญ่โดยเฉพาะโคเนื้อ และกระบือ กระจายอยู่ตามอำเภอใหญ่ ๆ ทั้งสิ้น 17 แห่ง ทั้งที่มีใบอนุญาต และอยู่ในท้องที่ทุรกันดารซึ่งมีการฆ่าโคเนื้อ และกระบือ โดยเฉลี่ย 2 - 4 ตัวต่อวัน ส่วนโรงฆ่าสุกรและไก่เนื้อจะมีไม่มาก เนื่องจากปศุสัตว์ได้กำหนดให้มีการรวบรวมสุกร และไก่เนื้อมาฆ่าในที่เดียวกันเพื่อความสะดวกในการควบคุมโรค จากการสำรวจโรงฆ่าสุกรที่มีใบอนุญาตถูกต้องจำนวน 7 แห่ง โดยเฉพาะโรงฆ่าสุกรของบริษัท ราชสีมา - จอหอ โภคภัณฑ์ จำกัด มีการฆ่าสุกรประมาณ 250 - 370 ตัวต่อวัน โรงฆ่าไก่เนื้อขนาดใหญ่ในจังหวัดนครราชสีมาที่มีใบอนุญาต และมีจำนวนการเชือดไก่เนื้อต่อวันสูงประมาณ 25,000 - 185,000 ตัวมีจำนวน 3 แห่งเท่านั้น ได้แก่ โรงเชือดไก่ของบริษัท ซีพี และบริษัท เคพี อินเตอร์ฟู้ดส์ จำกัด ที่ตั้งอยู่ที่อำเภอโชคชัย และบริษัท แหลมทอง ที่ตั้งอยู่ในอำเภอสูงเนิน ซึ่งทั้งสามบริษัทนี้ส่วนใหญ่จะส่งผลิตภัณฑ์ไก่เนื้อขายต่างประเทศ ในขณะที่โรงฆ่าไก่เนื้อขนาดเล็กที่ทำการศึกษาจำนวน 18 แห่งมีการเชือดไก่เนื้อโดยเฉลี่ย 100 - 240 ตัวต่อวัน และยังพบว่ามีไก่เนื้อบางส่วนได้ถูกส่งไปเชือดที่จังหวัดอื่น ๆ เช่น สระบุรี ลพบุรี เป็นต้น ซึ่งเป็นไก่เนื้อของบริษัทต่าง ๆ เช่น สหฟาร์ม ซัลแวลเลย์ ซัลเนค เบทาโกร ซันฟู้ด เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในแต่ละปีและแนวโน้มการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา

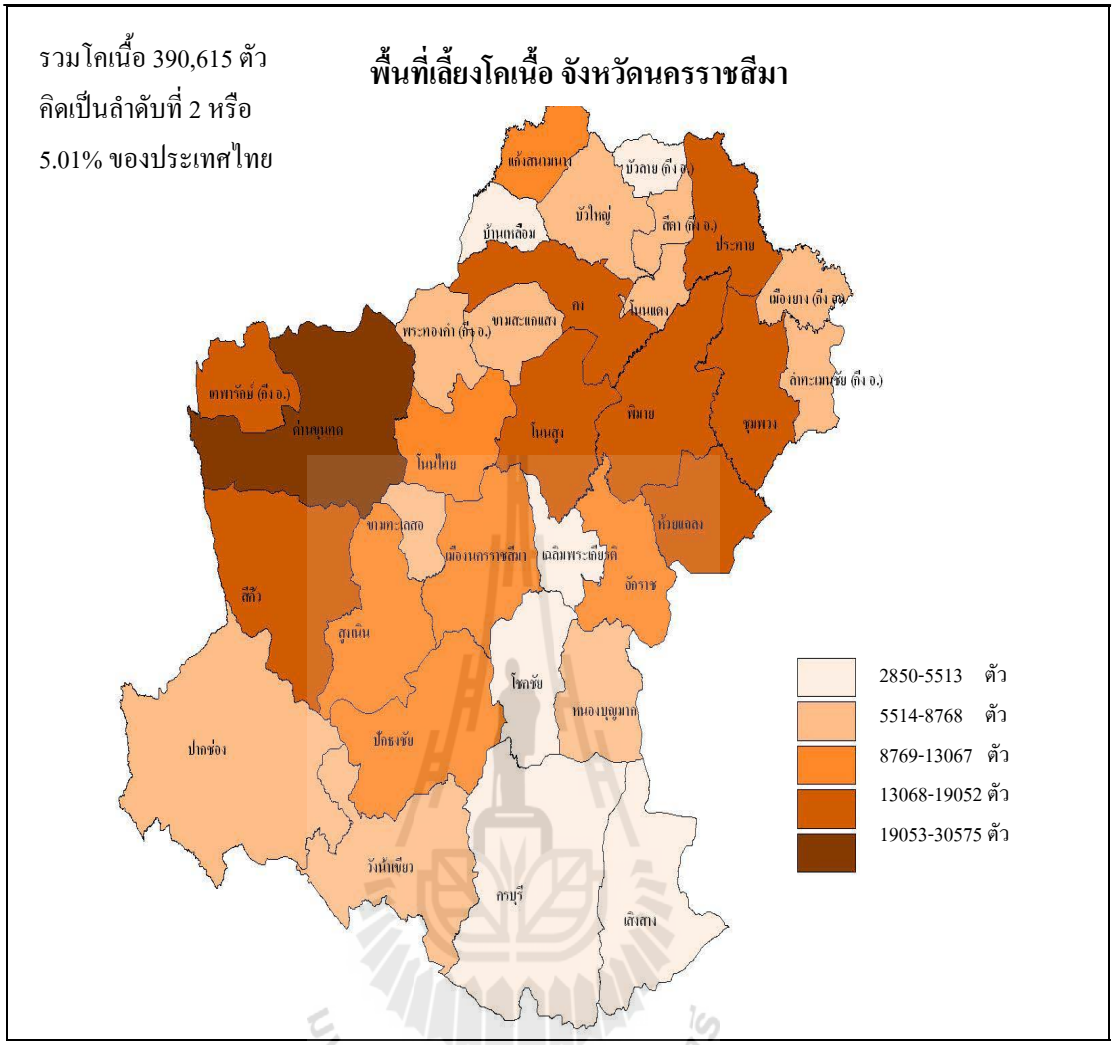
ปี	จำนวน โคนม	จำนวน โคเนื้อ	จำนวน กระบือ	จำนวน สุกรขุน	จำนวน ไก่เนื้อ	จำนวน ไก่ไข่
2544	25,307	273,085	61,897	119,674	14,011,798	1,106,195
2545	27,744	283,023	63,304	114,834	15,515,004	779,648
2546	29,968	290,642	66,778	122,467	14,207,282	1,133,824
2547	32,390	343,152	65,886	111,629	14,232,915	1,141,978
2548	32,922	390,615	68,578	157,397	16,194,074	1,636,523
2549	32,916	570,215	71,830	336,507	17,414,013	2,118,649

ที่มา: กรมปศุสัตว์

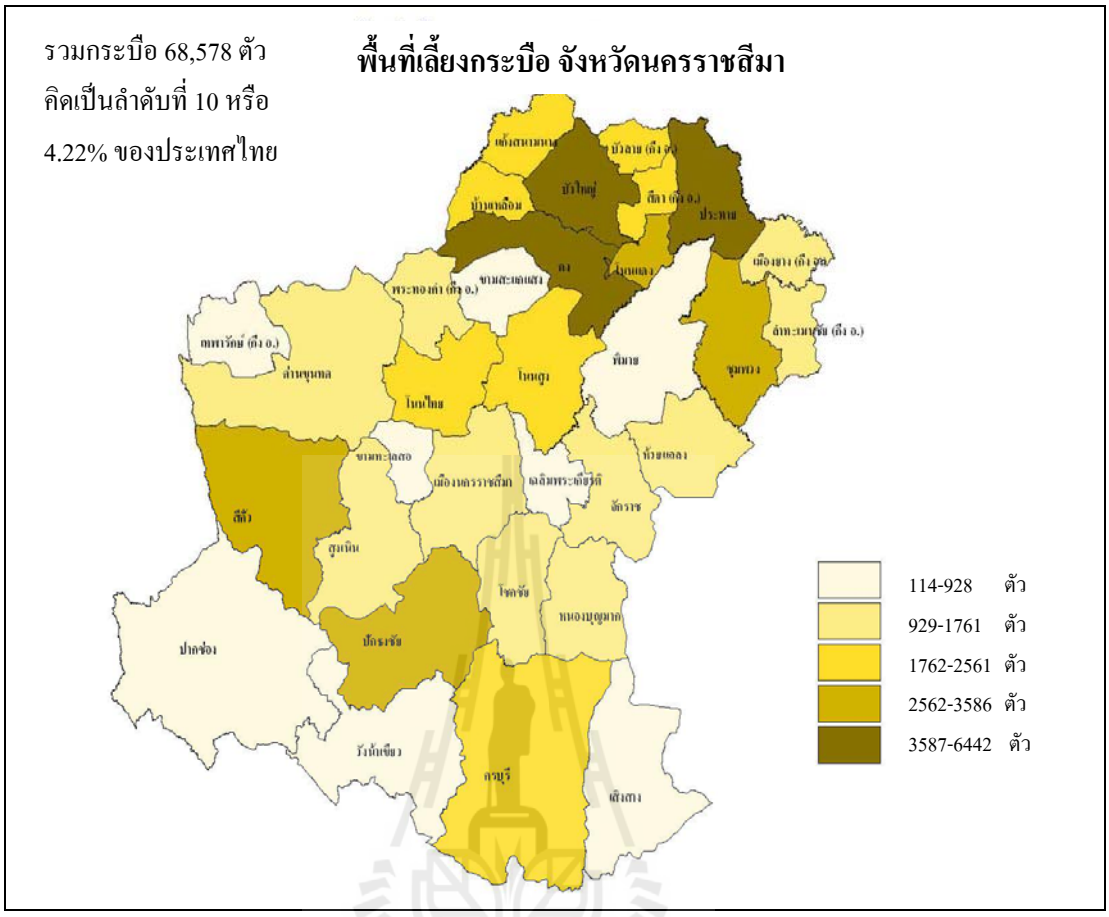


รูปที่ 4.1 การเลี้ยงโคนมในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา

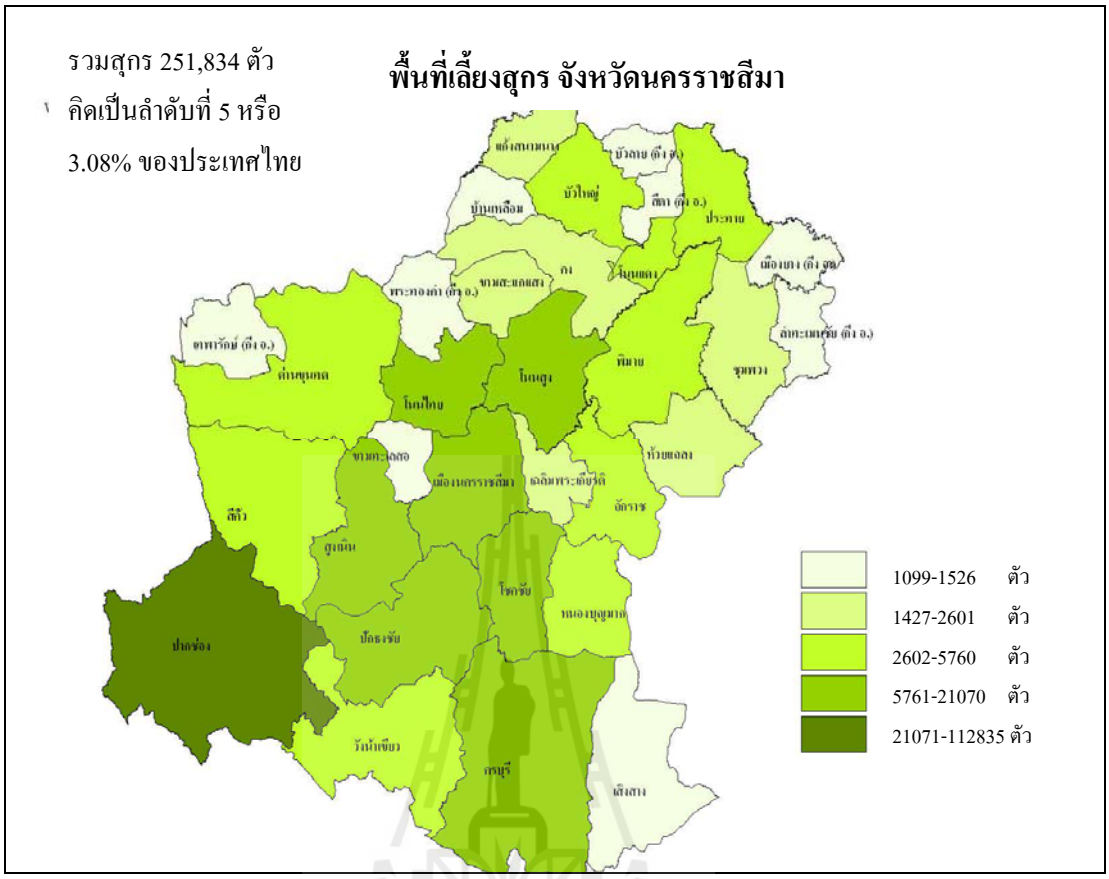
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)



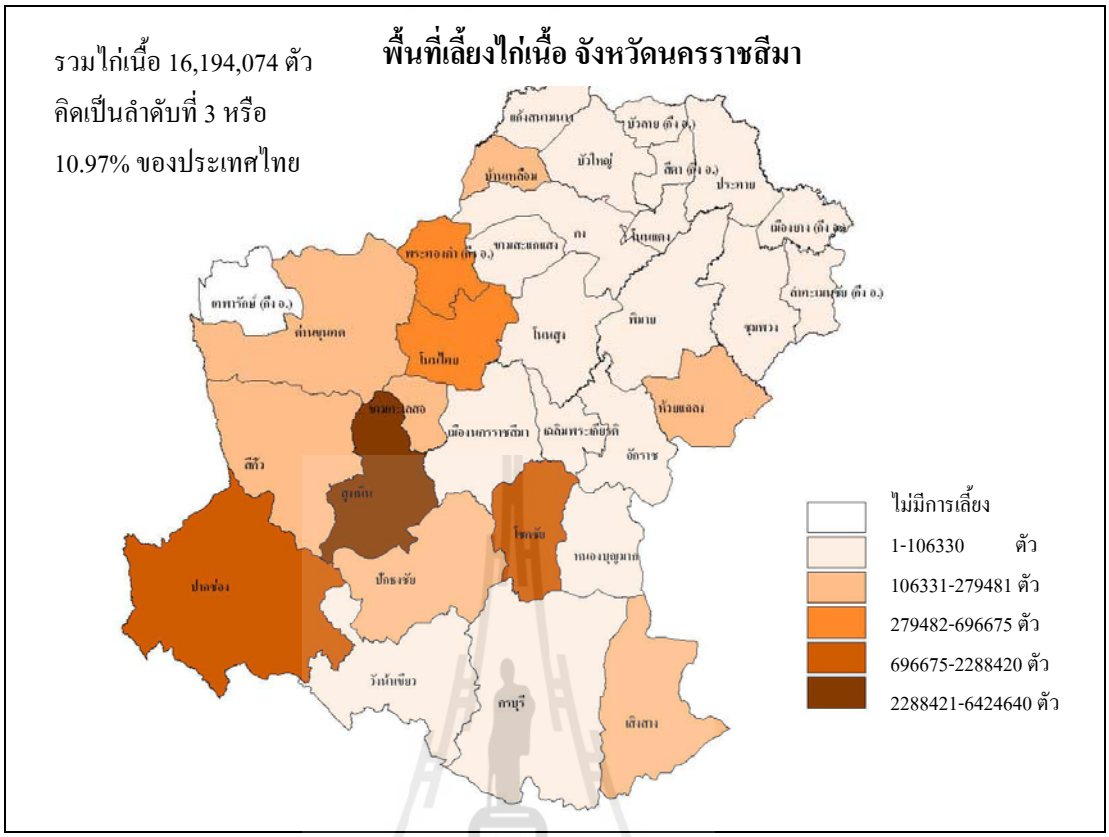
รูปที่ 4.2 การเลี้ยงโคเนื้อในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)



รูปที่ 4.3 การเลี้ยงกระบือในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)

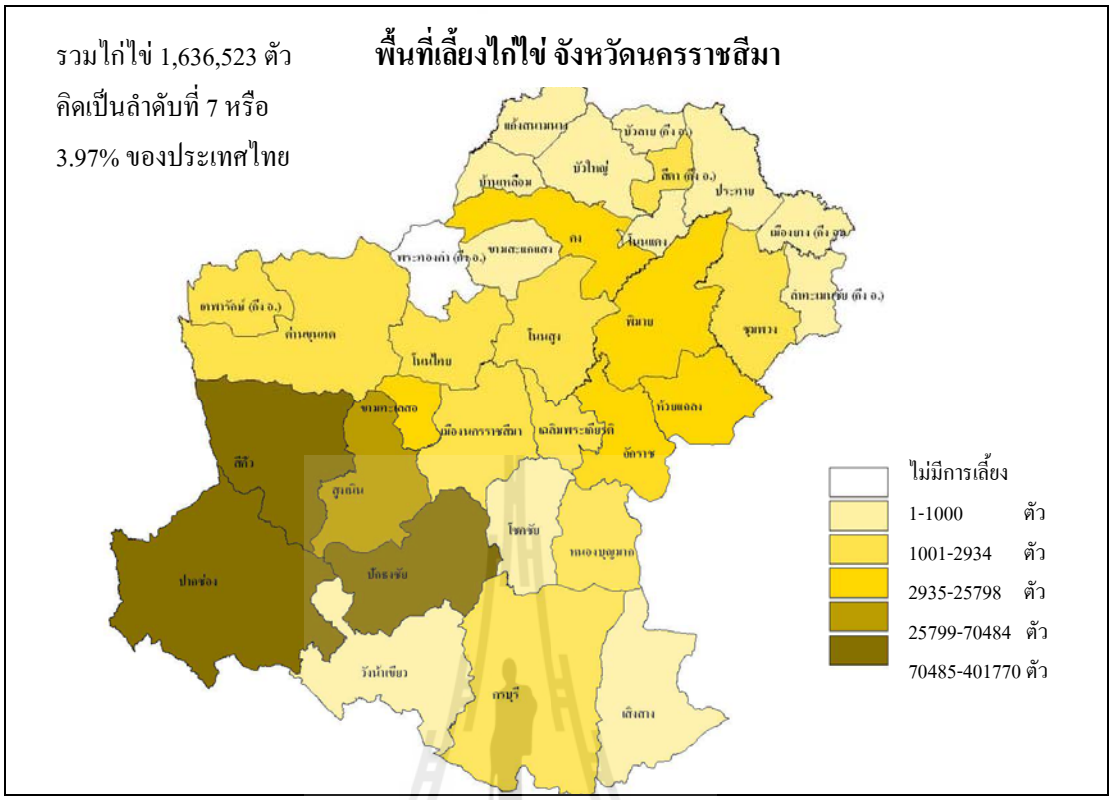


รูปที่ 4.4 การเลี้ยงสุกรในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)



รูปที่ 4.5 การเลี้ยงไก่เนื้อในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.6 การเลี้ยงไก่ไข่ในอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา
(จาก http://www.dld.go.th/index.html, กรมปศุสัตว์, 2548)

4.2 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์

การเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวโดยเทียบจากน้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ต่อวัน (กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) พบว่าไก่ไข่มีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงสุดเท่ากับ 8.377 x 10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน เนื่องจากในบรรดาสัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาพบว่า ไก่ไข่เป็นสัตว์ที่มีการรับคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินมากที่สุดถึง 21.99 x 10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่สุกรจะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันต่ำสุดเท่ากับ 2.477 x 10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน เพราะว่าสุกรรับคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินต่ำสุดเพียง 8.71 x 10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่มีความสามารถในการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้ถึง 71.22% นับเป็นอันดับสองรองจากกระบือ และเมื่อนำค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากสัตว์ชนิดดังกล่าวที่น้ำหนักเท่ากันมาเปรียบเทียบกัน พบว่าจะสามารถเรียงลำดับค่าการปลดปล่อยคาร์บอนของสัตว์แต่ละชนิดจากมากไปหาน้อยตามลำดับ ได้แก่ ไก่ไข่> ไก่เนื้อ>โคนม> โคเนื้อ>กระบือ>สุกร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 อัตราการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดสัตว์	น้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ย (กก./ตัว)	C_{plant} (กก.C/ตัว/วัน)	C_{plant}ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.C_{plant}/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{fixation}$(กก.C/ตัว/วัน)	$C_{fixation}$ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.$C_{fixation}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{emitted}$ (กก.C/ตัว/วัน)	$C_{emitted}$ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.$C_{emitted}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{emitted}$ /C_{plant}(%)	$C_{emitted}$ /$C_{fixation}$(%)	ประสิทธิภาพการตรึงC = (C_{plant} - $C_{emitted}$)/C_{plant} (%)
โคนม	449.19 ± 53.99	6.933 ±1.282	$15.43x10^{-3}$	4.257	$9.48x10^{-3}$	2.676 ±0.571	$5.96x10^{-3}$	38.60	62.86	61.40
โคเนื้อ	302.25 ±100.72	4.46 ± 1.93	$14.76x10^{-3}$	3.09	$10.22x10^{-3}$	1.376 ± 0.36	$4.57x10^{-3}$	30.85	44.53	69.15
กระบือ	456.10 ±134.38	6.51 ± 3.14	$14.27x10^{-3}$	4.72	$10.35x10^{-3}$	1.801 ± 0.51	$3.95x10^{-3}$	27.67	38.16	72.33
สุกร	100.91 ± 6.31	0.879 ± 0.30	$8.71x10^{-3}$	0.626	$6.20x10^{-3}$	0.253 ±0.058	$2.48x10^{-3}$	28.78	40.42	71.22
ไก่เนื้อ	2.34 ± 0.34	0.043 ±0.007	$18.38x10^{-3}$	0.026	$11.11x10^{-3}$	0.017 ±0.006	$7.27x10^{-3}$	39.53	65.38	60.47
ไก่ไข่	1.91 ± 0.15	0.042 ±0.004	$21.99x10^{-3}$	0.026	$13.61x10^{-3}$	0.016 ±0.003	$8.38x10^{-3}$	38.10	61.54	61.90

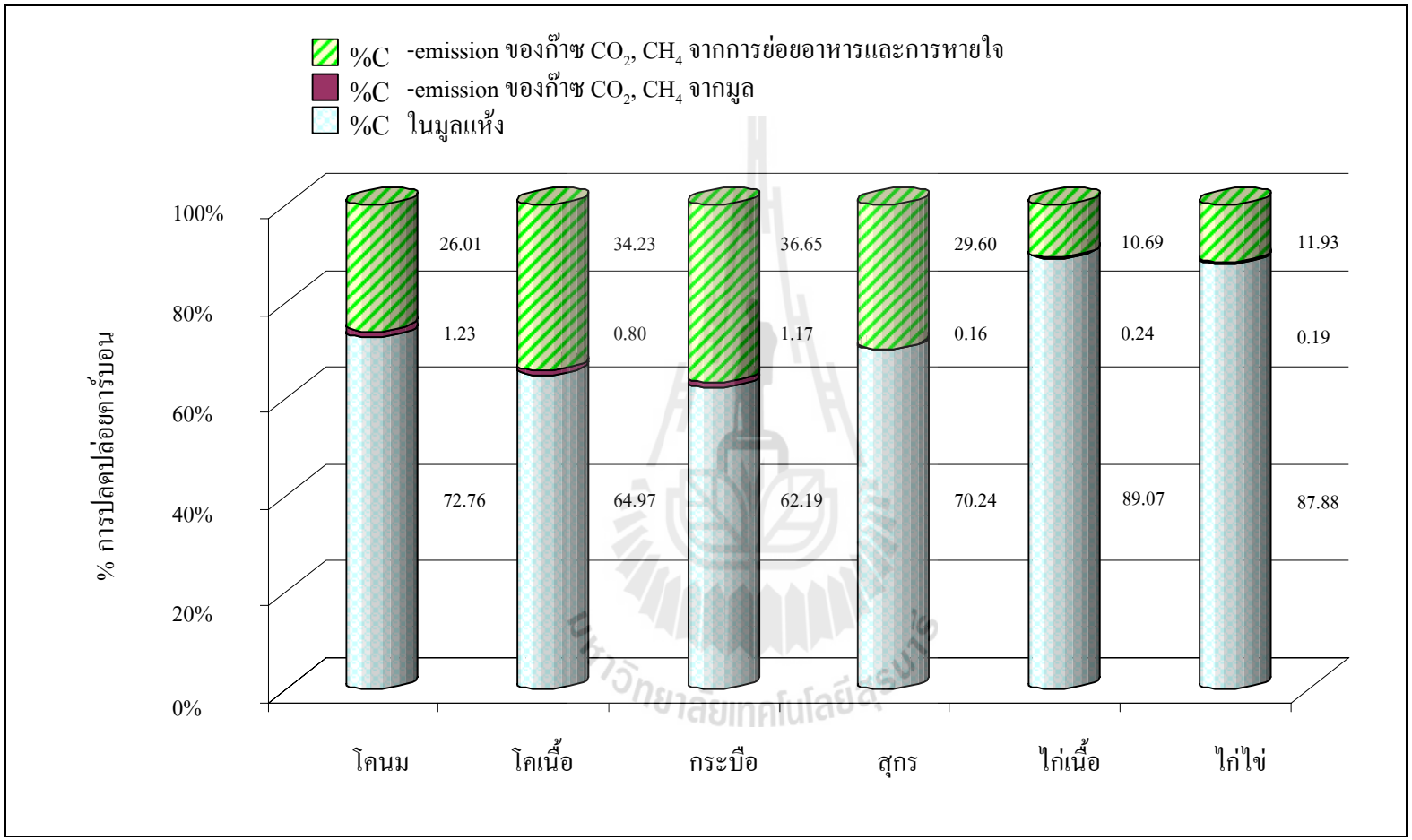
ตารางที่ 4.3 การปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันและการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันเทียบจากน้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่เท่ากัน (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	น้ำหนักมูลสดที่ขับถ่าย (กก./ตัว/วัน)	ร้อยละมูลที่ขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว	ค่าการปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/ตัว/วัน)	น้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยในฟาร์ม (กก./ตัว)	ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนเทียบจากน้ำหนักที่เท่ากัน (กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) x 10^{-3}	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักนมโคและไข่ไก่ (กก./ตัว/วัน)
โคนม	18.85 ± 3.41	4.20	2.68 ± 0.57	449.19 ± 53.99	5.96	11.14 ± 2.70
โคเนื้อ	14.27 ± 4.94	4.72	1.38 ± 0.36	302.25 ± 100.72	4.57	-
กระบือ	20.79 ± 8.08	4.56	1.80 ± 0.51	456.10 ± 134.38	3.95	-
สุกร	1.59 ± 0.33	1.58	0.25 ± 0.06	100.91 ± 6.31	2.48	-
ไก่เนื้อ	0.08 ± 0.01	3.42	0.017 ± 0.01	2.34 ± 0.34	7.27	-
ไก่ไข่	0.14 ± 0.01	7.33	0.016 ± 0.00	1.91 ± 0.15	8.38	0.047 ± 0.009

นอกจากนี้ผลการสำรวจพบว่า สัตว์แต่ละชนิดมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อตัวต่อวันแตกต่างกันโดยมีค่าสูงสุดที่โคนม ซึ่งมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมเท่ากับ 2.676 ± 0.571 กก.C/ตัว/วัน ซึ่งปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปมูลโคนมเป็นหลักคิดเป็น 72.76% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดดังในรูปที่ 4.7 ส่วนปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากลมหายใจและการย่อยอาหารของโคนมคิดเป็น 26.01% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมด ในขณะที่ไก่ไข่ 1 ตัวมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่ำสุดเท่ากับ 0.0158 ± 0.003 กก.C/ตัว/วัน ซึ่งปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของมูลไก่ไข่เป็นหลักคิดเป็น 87.88% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากลมหายใจ และการย่อยอาหารของไก่ไข่คิดเป็น 11.93% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.7 เช่นกัน

ค่าเฉลี่ยของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดจากมูล การย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ซึ่งถ้าเทียบจากสัตว์ทุกชนิดที่ทำการศึกษาพบว่าตัวไก่ไข่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 ต่อ CO_2 มากที่สุดถึง 3.141×10^{-4} เท่าเมื่อคิดเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากันซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าแก๊ส CH_4 มีศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potentials [GWPs]) ได้มากกว่าแก๊ส CO_2 ถึง 23 เท่า (IPCC, 2001)

นอกจากนี้ ถ้าเปรียบเทียบสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 และ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากมูลสัตว์ การย่อยอาหาร และการหายใจระหว่างสัตว์แต่ละชนิดจะได้ดังรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันโคเนื้อมีสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากมูลและจากการย่อยอาหารกับการหายใจสูงสุดคิดเป็น 35 - 36% ของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ รองลงมาได้แก่ กระบือ และโคนมตามลำดับเนื่องจากโคนม โคเนื้อ กระบือเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งทราบกันดีว่าจะมีการขับไล่แก๊ส CH_4 ออกมาจากการย่อยสลายอาหารจำพวกเส้นใยหรือเซลลูโลสของแบคทีเรียกลุ่มสร้าง CH_4 ที่อยู่ในกระเพาะรูเมน ดังนั้นจึงทำให้สามารถกล่าวได้ว่าภายใน 1 วัน โคเนื้อ 1 ตัวจากการเลี้ยงตามสภาพของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมา จะมีส่วนในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยแก๊ส CH_4 ได้มากกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ รวมทั้งกระบือ และโคนมตามลำดับ ในขณะที่ผลการศึกษาการปล่อยแก๊ส CO_2 พบว่าโคนมมีสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 จากมูลและจากการย่อยอาหารกับการหายใจสูงสุด โดยการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 จากการย่อยอาหารและการหายใจของโคนมใกล้เคียงกันกับโคเนื้อ และกระบือคิดเป็น 20 - 21% ของการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 จากมูลสัตว์นั้น พบว่าโคนมมีการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 สูงสุดถึง 40% รองลงมาเป็นกระบือ 23% และโคเนื้อ 17% ตามลำดับ



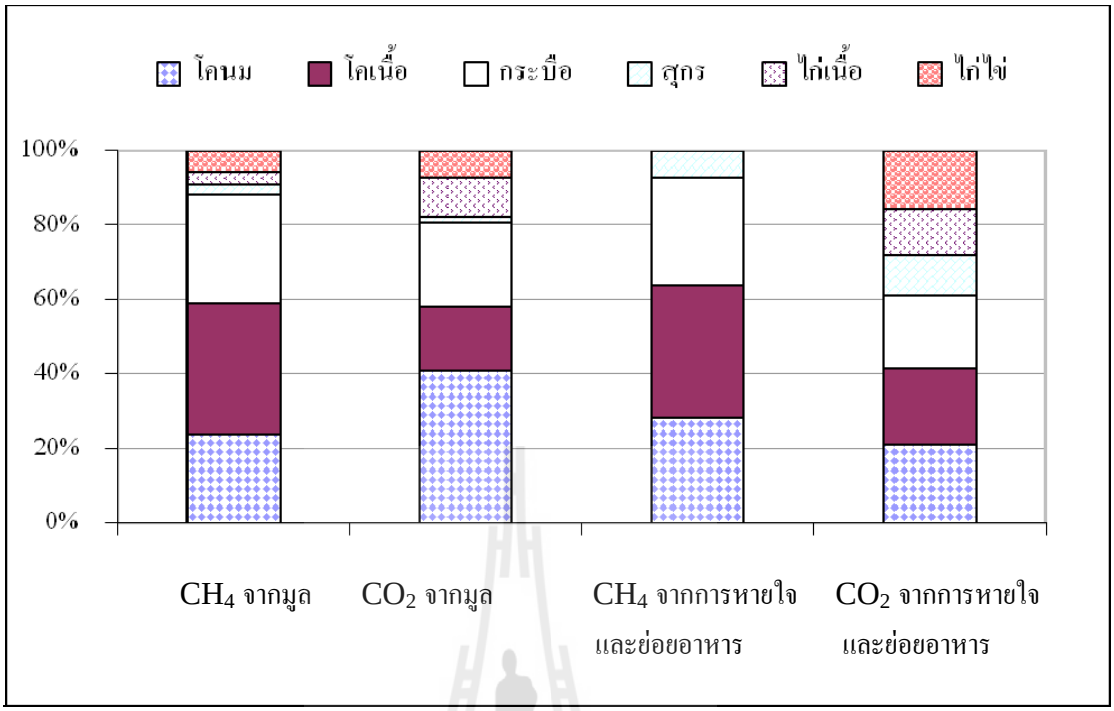
รูปที่ 4.7 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสัตว์แต่ละชนิด

ตารางที่ 4.4 แก๊สที่เกิดจากสัตว์แต่ละชนิดที่เลี้ยงในฟาร์มต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	ค่าเฉลี่ยของแก๊สจาก	CH_4 (กก./ตัว/วัน)	CO_2 (กก./ตัว/วัน)	สัดส่วน CH_4 : CO_2		CH_4 : CO_2 ที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน
โคนม	มูล	0.004 ± 0.001	0.110 ± 0.022	0.036	รวม 2 แหล่ง =	1.224×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.123 ± 0.037	2.211 ± 0.459	0.056	0.055	
โคเนื้อ	มูล	0.004 ± 0.002	0.031 ± 0.015	0.129	รวม 2 แหล่ง =	2.415×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.104 ± 0.063	1.440 ± 0.618	0.072	0.073	
กระบือ	มูล	0.005 ± 0.003	0.062 ± 0.035	0.081	รวม 2 แหล่ง =	1.359×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.127 ± 0.068	2.069 ± 0.942	0.061	0.062	
สุกร	มูล	0.0001 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0003	0.132	รวม 2 แหล่ง =	2.775×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.0071 ± 0.0074	0.2536 ± 0.1286	0.028	0.028	
ไก่เนื้อ	มูล	0.000003 ± 0.000002	0.000148 ± 0.000156	0.020	รวม 2 แหล่ง =	1.710×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	N.D.	0.006727 ± 0.000000	0.000	0.0004	
ไก่ไข่	มูล	0.000004 ± 0.000000	0.000080 ± 0.000027	0.049	รวม 2 แหล่ง =	3.141×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	N.D.	0.006954 ± 0.000000	0.000	0.0006	

หมายเหตุ : Hartung (1992), Klarenbeek (1988) และ Tamminga (1992) พบว่า จากการดำรงชีวิตของสัตว์เลี้ยงได้แก่ โคนมที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 650 กก. ปล่อยแก๊ส CH_4 = 0.274 กก./ตัว/วัน โคเนื้อที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 450 กก. ปล่อยแก๊ส CH_4 = 0.137 กก./ตัว/วัน สุกรขุนที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 7.5 กก. ปล่อยแก๊ส CH_4 = 0.0008 กก./ตัว/วัน ไก่ไข่ที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 5 กก. และไก่เนื้อที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.5 กก. ไม่ปล่อยแก๊ส CH_4 จากการดำรงชีวิต

N.D. = มีค่าน้อยมาก ๆ ไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.8 ร้อยละสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 และ CO_2 จากมูลสัตว์ การย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่น้ำหนักตัวเท่ากัน

จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่น้ำหนักตัวเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งในที่นี้ได้แก่ โคเนื้อ กระบือ โคนม มีสัดส่วนในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก CH_4 และ CO_2 ได้มากกว่าสัตว์เศรษฐกิจประเภทอื่นซึ่งในที่นี้คือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ โดยที่โคเนื้อมีส่วนในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้มากที่สุดจากการปลดปล่อยแก๊ส CH_4

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของอาหารที่โคนม โคเนื้อ และกระบือกิน พบว่าส่วนใหญ่โคเนื้อและกระบือจะกินแต่เฉพาะอาหารหยาบประเภทหญ้า และฟาง ในขณะที่โคนมจะกินอาหารข้นเสริมด้วยในทุกมื้อของอาหาร แสดงว่าชนิดของอาหารมีผลต่อการเกิดแก๊ส CH_4 ซึ่งจะเห็นได้จากการที่โคนมกินอาหารข้นด้วยจะทำให้การเกิดแก๊ส CH_4 น้อยกว่าโคเนื้อ และกระบือที่กินเฉพาะหญ้าและฟางเท่านั้น ซึ่งตรงกับที่ เมธา วรรณพัฒน์ (2533) ได้กล่าวในหนังสือโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องว่าอาหารหยาบหรืออาหารข้นที่ถูกหมักในรูเมนจะให้ผลผลิตสุดท้ายแตกต่างกัน โดยเฉพาะอาหารหยาบจะได้กรดอะซิเตทสูงกว่าอาหารข้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดแก๊ส CH_4 สูงตามไปด้วย ดังนั้นการควบคุมการใช้อาหารหยาบ และอาหารข้นในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อลดการปล่อยแก๊ส CH_4 เป็นเรื่องที่สามารถทำได้ ประกอบกับอาหารกลุ่มที่มีเซลลูโลส เช่น หญ้าแห้งหรือฟางจะมีส่วนสนับสนุนการผลิตแก๊ส CH_4 มากกว่าอาหารพวกแป้ง (Moe and Tyrell, 1979)

ในขณะที่ Czerkawski (1986) ได้ให้ข้อมูลไว้ว่า การเกิดแก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจากการย่อยอาหารหยาบจะมากกว่าอาหารข้นโดยการย่อยอาหารหยาบจะเกิดแก๊ส CH_4 1.75 โมลต่อกิโลกรัม ส่วนอาหารข้นจะทำให้เกิดแก๊ส CH_4 1.40 โมลต่อกิโลกรัมที่โคเนื้อมีการผลิตแก๊ส CH_4 250 ลิตรต่อตัวต่อวัน และถ้าเปรียบเทียบระหว่างโคเนื้อ และกระบือซึ่งถึงแม้ว่าจะกินอาหารเหมือนกันแต่จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า กระบือจะก่อให้เกิดแก๊ส CH_4 น้อยกว่าโคเนื้อ ซึ่งคล้ายกันกับ Ichhponani et al. (1971) สังเกตว่า กระบือจะย่อยเซลลูโลสได้ดีกว่าในโคเนื้อ

ผลจากการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวสัตว์แต่ละชนิดดังตารางที่ 4.5 และ UNECE TFEIP (2004) ได้อธิบายถึง การปลดปล่อยมวลคาร์บอนโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวลจะทำให้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ (ตันคาร์บอนต่อปี) ซึ่งในที่นี้ได้แก่โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ที่สัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดได้ดังสมการที่ 4.1

$$\text{C-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์})} = (0.98)\text{Dairy cows} + (0.50)\text{Oxen} + (0.66)\text{Buffaloes} + (0.09)\text{Pigs} + (0.0062)\text{Chickens} + (0.0058)\text{Hens} \quad (4.1)$$

โดยที่ $\text{C-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

ส่วนการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากพืชอาหารไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวด้วยการกิน แล้วมาสะสมเป็นร่างกาย และอวัยวะต่าง ๆ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายของสัตว์ในช่วงระยะเวลาของการเลี้ยงได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ด้วยเช่นกันโดยจะเห็นได้ว่าโคนม กระบือ โคเนื้อ ซึ่งเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก จะมีการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารไปสู่ตัวสัตว์หรือมีการบริโภคคาร์บอนต่อวันต่อตัวสูงกว่า สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีขนาดเล็กกว่า และเมื่อนำค่าการถ่ายเทมวลคาร์บอน (C-input จากพืชอาหารหรือ C_{plant}) ของสัตว์แต่ละชนิดมาเปรียบเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากัน จะพบว่าสามารถเรียงลำดับค่าการถ่ายเทมวลคาร์บอนจาก

มากไปหาน้อยได้โดยไก่ไข่>ไก่เนื้อ>โคนม>โคเนื้อ>กระบือ>สุกร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าลำดับของสัตว์ที่มีการบริโภคคาร์บอนที่น้ำหนักตัวเท่ากันนี้จะเหมือนกันกับลำดับของการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ในแต่ละชนิดแสดงว่าปริมาณการบริโภคคาร์บอน (C-input) มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ ($C\text{-emitted}_{\text{ตัวสัตว์}}$) ดังกราฟ และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัตว์แต่ละชนิดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในรูปที่ 4.9 โดยที่ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted) จากตัวของโคนมกับปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมโดยการกิน (C-input) สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก (multiple R=0.876) หรือมีความสัมพันธ์กัน 76.7% (R^2_{adj}=0.77) และสามารถอธิบายการทดสอบสมมติฐานได้โดย กำหนด

$H_0 : \beta_1 = 0$ หรือ H_0 : ค่า C-emitted จากตัวโคนมไม่ขึ้นกับ C-input โดยการกินของโคนม

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ หรือ H_1 : ค่า C-emitted จากตัวโคนมขึ้นกับ C-input โดยการกินของโคนม

ซึ่งจากผลลัพธ์ในรูปจะได้ $F = \frac{MSR}{MSE} = 1316.691$ ดังนั้นจะปฏิเสธ H_0 เพราะ $F > F_{0.95;1,398} = 3.84$ หรือสามารถพิจารณาจากค่า significance $F = 2.707 \times 10^{-128}$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวโคนมมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมโดยการกินที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการตัดแกน y จะทำได้โดยการกำหนดสมมติฐาน $H_0 : \beta_0 = 0$ และ $H_1 : \beta_0 \neq 0$

ซึ่งจากการพิจารณาค่า P-value = $1.59 \times 10^{-27} < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 หรือ $\beta_0 \neq 0$ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์โดยสถิติทดสอบสามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C-emitted กับ C-input ของโคนมคือ

$$C\text{-emitted}_{\text{โคนม}} = 0.2907\ (C\text{-input}_{\text{พืช}}) + 0.6612 \qquad (4.2)$$

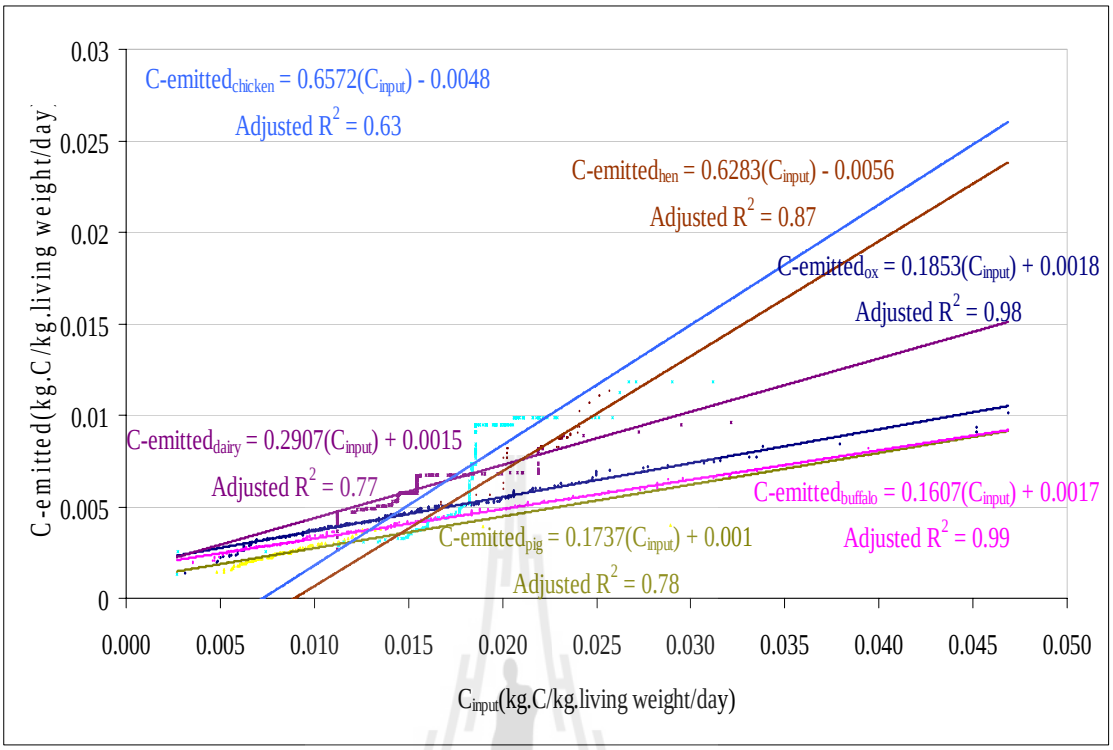
โดยที่ $C\text{-emitted}_{\text{โคนม}}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวโคนม (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{\text{พืช}}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมเพศเมียด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้นมโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.933 ± 1.282 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเท (C_{plant}) ตรึงสะสมในสัตว์ ($C_{fixation}$) ปลดปล่อยออกจากสัตว์ ($C_{emitted}$) ในมูลสัตว์ (C_{output}) และ $C_{emission}$ ของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูล การหายใจและการย่อยอาหาร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	ปริมาณ C ที่ถูกถ่ายเทจากพืชอาหารที่สัตว์กิน (กก.C/ตัว/วัน)	ปริมาณ C ที่ถูกตรึงสะสม (กก.C/ตัว/วัน)					ปริมาณ C ที่ถูกปลดปล่อย (กก.C/ตัว/วัน)			
		น้ำนมโคหรือไข่ไก่	รวม C สะสมในร่างกาย (สมดุลมวล)	เนื้อสัตว์	เครื่องใน	กระดูก หนัง เลือดและอื่น ๆ (สมดุลมวล)	รวม C ถูกปลดปล่อยจากสัตว์	มูลสัตว์แห้ง	C -emission ของแก๊ส CO_2 และ CH_4	
									มูลสัตว์	การย่อยอาหารและการหายใจ
โคนม	6.933 ± 1.282	0.716 ± 0.173	3.541 ± 1.371	N.D.	N.D.	N.D.	2.676 ± 0.571	1.947 ± 0.603	0.033 ± 0.006	0.696 ± 0.110
โคเนื้อ	4.46 ± 1.93	N.D.	3.09 ± 1.97	0.031	0.0040	3.055	1.376 ± 0.360	0.894 ± 0.31	0.011 ± 0.005	0.471 ± 0.188
กระบือ	6.51 ± 3.14	N.D.	4.72 ± 3.14	0.0198	0.0039	4.696	1.801 ± 0.51	1.120 ± 0.440	0.021 ± 0.012	0.660 ± 0.277
สุกร	0.879 ± 0.300	N.D.	0.626 ± 0.256	0.047	0.007	0.572	0.253 ± 0.058	0.178 ± 0.044	0.0004 ± 0.0001	0.075 ± 0.037
ไก่เนื้อ	0.043 ± 0.007	N.D.	0.026 ±0.007	0.0046	0.0008	0.021	0.017 ± 0.006	0.015 ± 0.006	0.00004 ± 0.00004	0.0018 ± 0.0000
ไก่ไข่	0.042 ± 0.004	0.013 ± 0.003	0.013 ± 0.004	N.D.	N.D.	N.D.	0.016 ± 0.003	0.014 ± 0.003	0.00003 ± 0.00001	0.0019 ± 0.0000

หมายเหตุ : N.D. = ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกิน (C_{plant}) กับปริมาณคาร์บอนปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ (C-emitted) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ส่วนผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง C-emitted กับ C-input ของโคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ทำให้ได้สมการความถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวของสัตว์แต่ละชนิดดังสมการที่ 4.3 - 4.7

$$C\text{-emitted}_{\text{โคเนื้อ}} = 0.1853\ (C\text{-input}_{\text{พืช}}) + 0.5515 \quad (4.3)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{\text{โคเนื้อ}}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวโคเนื้อ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{\text{พืช}}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 711.75 $\pm$ 121.55 วันโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.455 $\pm$ 1.933 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-emitted}_{\text{กระบือ}} = 0.1607\ (C\text{-input}_{\text{พืช}}) + 0.7559 \quad (4.4)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{กระบือ}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวกระบือ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 1277.50 ± 226.48 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.514 ± 3.138 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-emitted}_{สุกร} = 0.1737\ (C\text{-input}_{พืช}) + 0.1007 \quad (4.5)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{สุกร}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสุกร (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 131.24 ± 22.64 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.879 ± 0.297 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-emitted}_{ไก่เนื้อ} = 0.6572\ (C\text{-input}_{พืช}) - 0.0112 \quad (4.6)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{ไก่เนื้อ}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวไก่เนื้อ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 42.51 ± 4.48 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.043 ± 0.007 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-emitted}_{ไก่ไข่} = 0.6283\ (C\text{-input}_{พืช}) - 0.0107 \quad (4.7)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{ไก่ไข่}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวไก่ไข่ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้ไข่ หรือมีอายุเฉลี่ย 400.63 ± 109.72 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.042 ± 0.004 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

และจากการสมดุลมวลคาร์บอนพบว่า การสะสมปริมาณคาร์บอนในร่างกายต่อวันของสัตว์แต่ละชนิดดังกล่าวจากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของพืชอาหารสัตว์ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกินต่อวันหักออกด้วยปริมาณคาร์บอนในมูล และในแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์ การย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์ต่อวัน ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.5 ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้ว

และเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดต่อวัน ไม่ได้ถูกใช้เพื่อการเจริญเติบโตทั้งหมด โดยที่สัตว์แต่ละชนิดจะใช้อาหารที่ได้รับในแต่ละวันสร้างประโยชน์หลัก ๆ 4 ประการ (พานิช ทินนิมิต, 2535) คือ

- เพื่อใช้เป็นโครงสร้างหรือรูปร่างของสัตว์เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก ฟัน ผิวหนัง เอ็น ผม ขน เขา และกีบ เป็นต้น

- เพื่อการดำรงชีวิต ควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกาย

- เพื่อบำรุงเลี้ยงร่างกาย ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เนื่องจากเนื้อเยื่อของร่างกายจะมีการสร้างและการสลายตลอดเวลา

- เพื่อการสร้างผลิตผลต่าง ๆ เช่น เนื้อ นม ไข่ ขน หนัง เป็นต้น และสะสมไขมันในร่างกายโดยพลังงานที่ร่างกายได้รับจากอาหาร จะต้องถูกนำไปเป็นพลังงานสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ประมาณ 93% อีก 7% เป็นพลังงานที่ร่างกายเก็บสะสมไว้ใช้ยามขาดแคลน

พัชรา วีระกะลัส (2544) กล่าวว่า กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของสสารในอาหารที่บริโภคให้กลายเป็นสสารในรูปเซลล์และพลังงาน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น การเจริญเติบโต และการดำรงชีวิต พลังงานเคมีในรูปของสารอาหารจะถูกเปลี่ยนรูป และทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูป จะมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ ซึ่งเป็นไปตามกฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of Entropy) ของการถ่ายทอดพลังงาน ความร้อนที่สูญเสียเป็นความร้อนที่มีอนุภาคต่ำ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก สรุปได้ว่าพลังงานเคมีในรูปของสารอาหารที่ส่งต่อไปยังตัวสัตว์จากการกินอาหารของสัตว์นั้น จะเหลือเพียงส่วนน้อยที่ใช้ในการเจริญเติบโต เนื่องจากมีพลังงานที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ 3 ส่วนคือ พลังงานในส่วนที่กินไม่ได้ พลังงานในส่วนที่ย่อยไม่ได้ และพลังงานที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ซึ่งกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายทอดพลังงาน โดยธาตุที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการสร้างโมเลกุล ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน มีสัดส่วนรวมกันถึง 99.47% ของธาตุทั้งหมดที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (Marsh and Grossa, 1996); Odum (1971); Cunningham and Saigo (2001) ได้อธิบายไว้ว่า สารอาหารในมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตจะถูกใช้ในการดำรงชีวิต ใช้ในกิจกรรมประจำวัน และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ รวมทั้งจะมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ มิใช่ทุกส่วนของพืชหรือสัตว์จะถูกกิน และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมสร้างเนื้อเยื่อของผู้บริโภคเพื่อการเจริญเติบโตทั้งหมด

ดังนั้นไม่ใช่ว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์จากการทำสมดุลคาร์บอน ($C_{fixation} = C_{plant} - C_{emitted}$) จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์ทั้งหมด

แต่จะมีปริมาณคาร์บอนบางส่วนถูกใช้ไปในการสร้างเนื้อเยื่อ ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และปริมาณคาร์บอนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ในขณะที่บางส่วนก็จะสูญเสียไปทุกครั้งจากการเปลี่ยนรูปในลักษณะของความร้อน ซึ่งในเอกสารประกอบคำบรรยายวิชาเคมีของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2538) กล่าวไว้ว่าโปรตีนและไขมัน เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C : H : O เป็นองค์ประกอบสำคัญ และโปรตีน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ ในขณะที่ไขมันให้พลังงานประมาณ 9.45 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม มากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า (Brody, 1945)

จากการเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกตรึงสะสมอยู่ในร่างกายและน้ำนมโคหรือไข่ไก่ต่อปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากพืชอาหารที่สัตว์แต่ละชนิดกินต่อวัน ($C_{fixation}/C_{plant}$) พบว่า กระบือมีการตรึงปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารมาสะสมไว้ในร่างกายได้มากที่สุดถึง 72.33% แม้ว่ากระบือจะมีสัดส่วนของเนื้อรวมที่ได้น้อยที่สุดก็ตามเมื่อเทียบจากสัตว์ให้เนื้อที่ทำการศึกษา ดังผลการศึกษาร้อยละของเนื้อ เครื่องในรวม และหนัง เลือด กระดูกของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวจากโรงฆ่าสัตว์ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนเนื้อรวมและเครื่องในของสัตว์แต่ละชนิด (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	สัดส่วนเนื้อรวม (%)	สัดส่วนเครื่องในรวม (%)	สัดส่วนหนัง เลือด กระดูก หัว และอื่น ๆ	$C_{fixation}/C_{พืช}$
โคเนื้อ	46.55 ± 11.96	8.52 ± 2.61	44.93%	69.15%
กระบือ	34.65 ± 7.14	8.32 ± 1.06	57.03%	72.33%
สุกร	39.61 ± 1.64	7.77 ± 0.74	52.62%	71.22%
ไก่เนื้อ	48.64 ± 10.09	11.29 ± 1.91	38.85%	60.47%

ซึ่งผลจากการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวโดยการกิน ในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ และปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดรวมทั้งน้ำนมโค และไข่ไก่ ที่สัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์ในแต่ละชนิดนั้น และหลักการอนุรักษ์มวล (UNECE TFEIP, 2004) จะทำให้สามารบ่งบอกถึงการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากปริมาณการกินอาหารของสัตว์ทุกชนิดที่ทำการศึกษาดังสมการที่ 4.8 รวมถึงการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายของสัตว์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งน้ำนมโค และไข่ไก่ ดังสมการที่ 4.9

$$C_{plant} = (2.53)\text{Dairy cows} + (1.63)\text{Oxen} + (2.38)\text{Buffaloes} + (0.32)\text{Pigs} + (0.016)\text{Chickens} + (0.015)\text{Hens} \quad (4.8)$$

$$C_{fixation} = (1.55)\text{Dairy cows} + (1.13)\text{Oxen} + (1.72)\text{Buffaloes} + (0.23)\text{Pigs} + (0.0095)\text{Chickens} + (0.0095)\text{Hens} \quad (4.9)$$

โดยที่ C_{plant} = มวลคาร์บอนที่ถ่ายเทจากอาหารสัตว์ไปสู่ตัวสัตว์ จากการกินอาหารของสัตว์แต่ละชนิด ในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

$C_{fixation}$ = ปริมาณมวลคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดรวมทั้งน้ำนมโค และไข่ไก่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

และจากกราฟในรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกินกับปริมาณคาร์บอนที่ตรึงอยู่ในตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ (C-fixed) ซึ่งจะทำให้ได้สมการถดถอยที่แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวดังสมการที่ 4.10 - 4.15 โดยอาศัยผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนี้

$$\text{C-fixed}_{\text{โคนม}} = 0.8466\ (\text{C-input}_{\text{พืช}}) - 1.6117 \quad (4.10)$$

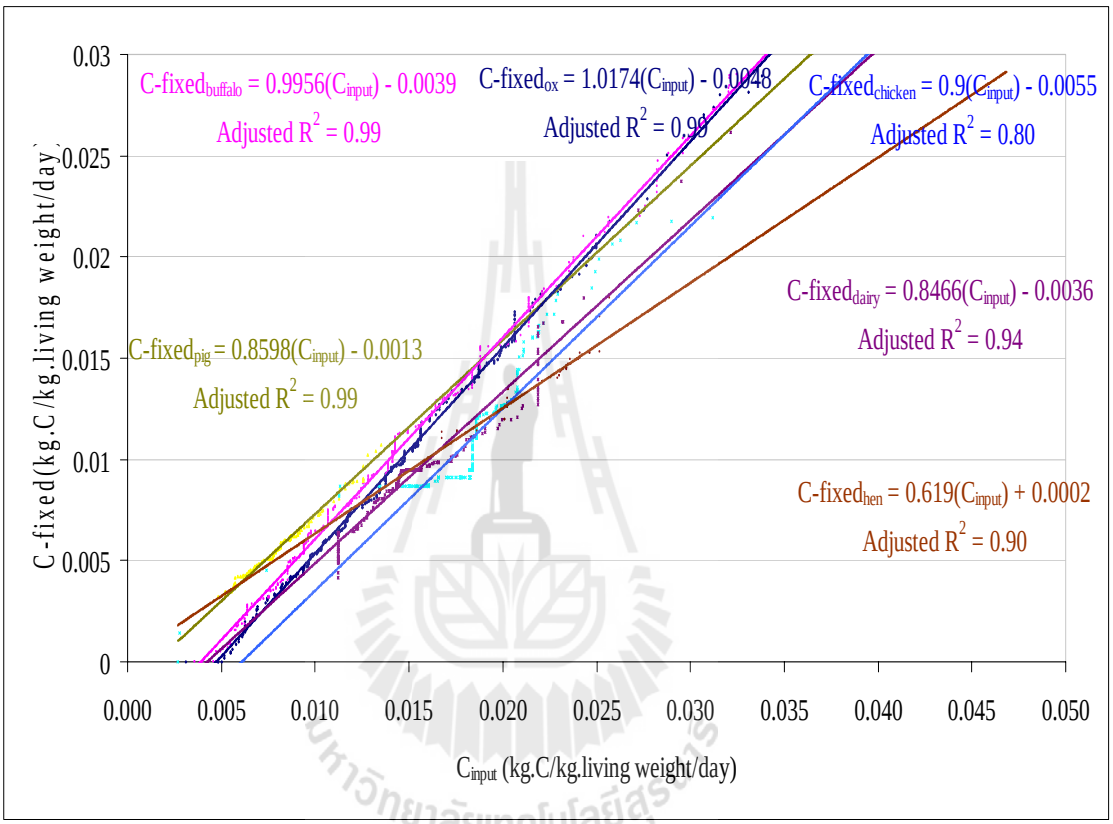
โดยที่ $\text{C-fixed}_{\text{โคนม}}$ = คาร์บอนถูกตรึงอยู่ในตัวของโคนมและน้ำนมโค (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$\text{C-input}_{\text{พืช}}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมเพศเมียด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้นม โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.933 ± 1.282 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$\text{C-fixed}_{\text{โคเนื้อ}} = 1.0174\ (\text{C-input}_{\text{พืช}}) - 1.4537 \quad (4.11)$$

โดยที่ $C\text{-fixed}_{\text{โคเนื้อ}}$ = คาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของโคเนื้อ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-input}_{\text{พืช}}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 711.75 ± 121.55 วันโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.455 ± 1.933 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกิน (C_{plant}) กับปริมาณคาร์บอนที่ตรึงอยู่ในตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ (C-fixed) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$C\text{-}fixed_{กระบือ} = 0.9956\ (C\text{-}input_{พืช}) - 1.7698 \quad (4.12)$$

โดยที่ $C\text{-}fixed_{กระบือ}$ = คาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของกระบือ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-}input_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 1277.50 $\pm$ 226.48 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.514 $\pm$ 3.138 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-}fixed_{สุกร} = 0.8598\ (C\text{-}input_{พืช}) - 0.1301 \quad (4.13)$$

โดยที่ $C\text{-}fixed_{สุกร}$ = คาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสุกร (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-}input_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 131.24 $\pm$ 22.64 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.879 $\pm$ 0.297 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-}fixed_{ไก่เนื้อ} = 0.9\ (C\text{-}input_{พืช}) - 0.0128 \quad (4.14)$$

โดยที่ $C\text{-}fixed_{ไก่เนื้อ}$ = คาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของไก่เนื้อ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-}input_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 42.51 $\pm$ 4.48 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.043 $\pm$ 0.007 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$$C\text{-}fixed_{ไก่ไข่} = 0.619\ (C\text{-}input_{พืช}) \quad (4.15)$$

โดยที่ $C\text{-}fixed_{ไก่ไข่}$ = คาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในตัวของไก่ไข่และไข่ไก่ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

$C\text{-}input_{พืช}$ = ปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ด้วยการกิน ในช่วงอายุที่กำลังให้ไข่ หรือมีอายุเฉลี่ย 400.63 $\pm$ 109.72 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.042 $\pm$ 0.004 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

โดยที่ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่โดยการกิน (C-input หรือ C_{plant}) กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของไข่ไก่และในร่างกายของไก่ไข่ (C-fixed) สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก (multiple R=0.95) หรือมีความสัมพันธ์กัน 90.46% (R^2_{adj}=0.90) และสามารถอธิบายการทดสอบสมมติฐานได้โดยกำหนด

$H_0 : \beta_1 = 0$ หรือ H_0 : ค่าC-fixed ไม่ขึ้นกับ C-input โดยการกินของไก่ไข่

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ หรือ H_1 : ค่าC-fixed ขึ้นกับ C-input โดยการกินของไก่ไข่

ซึ่งจากผลลัพธ์ในรูปจะเห็นได้ว่า $F = \frac{MSR}{MSE}$ = 3785.211 มากกว่า $F_{0.95;1,398}$ = 3.84 ดังนั้นจะปฏิเสธ H_0 หรือถ้าพิจารณาจากค่า significance F = 2.0874 x 10^{-205} ซึ่งน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนด (α = 0.05) จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ปริมาณคาร์บอนที่ตรึงอยู่ในรูปไข่ไก่ และในร่างกายของไก่ไข่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับปริมาณคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่โดยการกินที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการตัดแกน y จะทำได้โดยการกำหนดสมมติฐาน

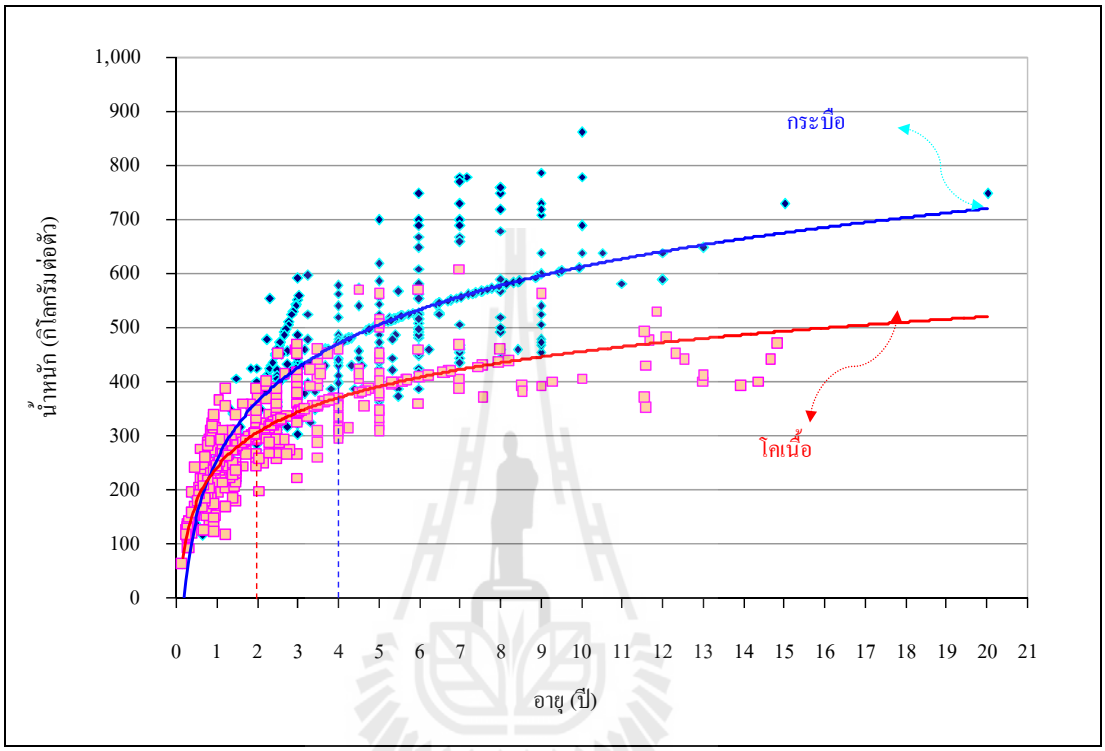
$H_0 : \beta_0 = 0$

$H_1 : \beta_0 \neq 0$

ซึ่งจากการพิจารณาค่า P-value = 0.477 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 หรือ $\beta_0 = 0$ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์โดยสถิติทดสอบสามารถสรุปได้ว่า สมการความถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C-fixed กับ C-input ของไก่ไข่คือ $C\text{-fixed}_{ไก่ไข่} = 0.619\ (C\text{-input}_{พืช})$

นอกจากนี้ผลตรวจวัดน้ำหนักโคเนื้อ และกระบือที่อายุต่าง ๆ จากสภาพการเลี้ยงจริงของเกษตรกรเพื่อหาระยะเวลาการเลี้ยงที่เหมาะสม และมีการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจากปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโคเนื้อ และกระบือ โดยเฉพาะในรูปมูล แก๊ส CH_4 และ CO_2 จากมูลสัตว์ การย่อยอาหาร และการหายใจ เนื่องจากกระบือ และโคพื้นเมืองหรือโคลูกผสมบราห์มัน ซึ่งมีจำนวนโดยประมาณคิดเป็น 70% ของโคเนื้อทั้งหมดโดยเกษตรกรจะเลี้ยงเป็นเหมือนกระปุกออมสินในลักษณะปล่อยตามพื้นที่สาธารณะ ทุ่งนา ข้างถนน ที่รกร้าง ป่าชายเขา รวมทั้งบนภูเขา ลักษณะการเลี้ยงเป็นการไล่ต้อนไปตามแหล่งอาหารธรรมชาติโดยไม่มีการเสริมอาหารข้น (ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ, 2551) และไม่มีกำหนดเวลาในการขายเพื่อนำเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์ที่แน่นอน ทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าในการใช้คาร์บอน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยจากปริมาณคาร์บอนที่เหลือจากการตรึงไว้ในร่างกายแล้วถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งสอดคล้องกับที่ภาควิชาสัตวบาล (2525)ได้กล่าวไว้ว่า การใช้อาหารเปลี่ยนเป็นเนื้อจากการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือจะมากกว่าการเลี้ยงสัตว์ประเภทอื่น

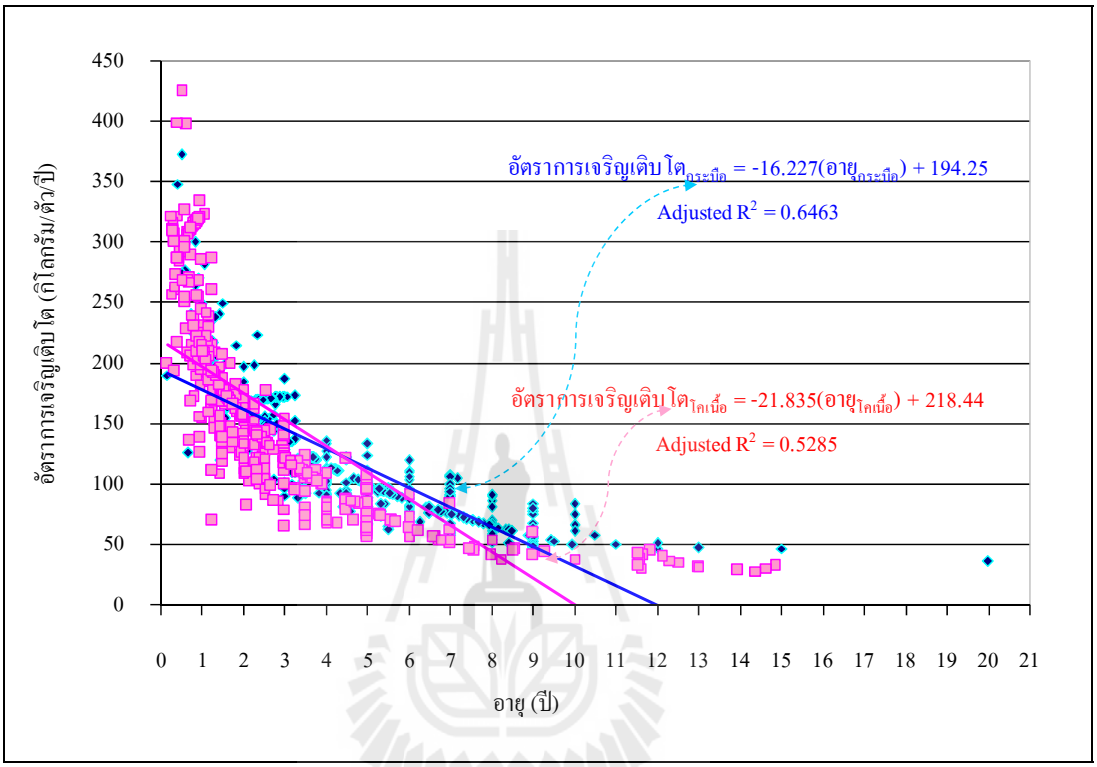
และนั่นหมายความว่าการเลี้ยงที่ไม่ทราบระยะเวลาการเลี้ยงที่แน่นอนเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือดังกล่าว การขายโคจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกษตรกรต้องการใช้เงินจริง ๆ (กันยา ตันติวิสุทธิกุล, 2551)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า โคเนื้อมีน้ำหนักตัวที่วัดได้อยู่ในช่วง 61 - 608 กิโลกรัม/ตัวและมีอายุอยู่ในช่วงประมาณ 2 เดือนถึง 14.84 ปี ส่วนกระบือมีน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 63 - 861 กิโลกรัม/ตัว และมีอายุอยู่ในช่วงประมาณ 2 เดือนถึง 20 ปี ซึ่งจะสามารถบ่งบอกอัตราการเจริญเติบโตได้จากการสังเกตอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตัวต่ออายุเฉลี่ยของโคเนื้อ และกระบือหรือจากความชันของกราฟในรูปที่ 4.11 ทำให้สามารถบอกได้ว่าที่อายุเท่ากันกระบือจะมีน้ำหนักมากกว่าโคเนื้อยกเว้นในช่วงประมาณ 0.8 ปีแรกเท่านั้นที่โคเนื้อจะมีน้ำหนักมากกว่ากระบือ นอกจากนั้นความชันของกราฟในรูปที่ 4.11 ยังแสดงให้เห็นว่า โคเนื้อสามารถสะสมปริมาณคาร์บอนจากในพืชอาหารมาเก็บไว้ในร่างกายได้สูงสุดในช่วงอายุ 0 - 2 ปี ในขณะที่กระบือจะอยู่ที่ 0 - 4 ปี ดังนั้นจึงควรที่จะขายโคเนื้อหรือกระบือเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์ในช่วงอายุไม่เกินไปจากนี้ เพราะหลังจากนี้โคเนื้อ และกระบือจะมีอัตราการสะสมคาร์บอนไว้ในร่างกายลดลง

ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของธำรงค์ เมฆโหรา (2551) โดยพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดนครราชสีมาเมื่อประเมินมูลค่าของโคไทยพื้นเมืองและลูกผสมบราห์มันต่อตัว พบว่า ระยะเวลาสำหรับโครุ่นไทยพื้นเมืองควรอยู่ที่ 1 - 1.5 ปี ส่วนลูกผสม บราห์มันควรอยู่ที่ 1.5 ปี



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ

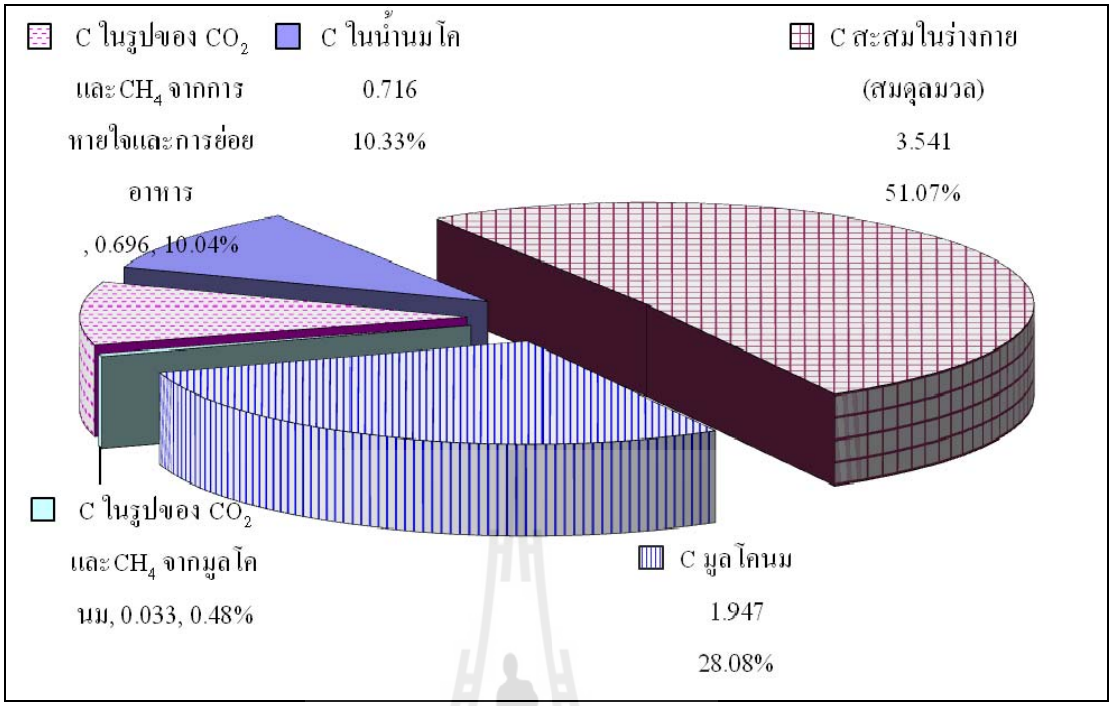
และจากกราฟรวมทั้งผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นในรูปที่ 4.12 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่อายุต่าง ๆ ของกระบือ และโคเนื้อมีสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน multiple R = 0.80 และ 0.73 ตามลำดับโดยมีค่า significance F และ P-value < 0.05 ทำให้สามารถบอกได้ว่าในช่วง 4.5 ปีแรกโคเนื้อจะมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่ากระบือที่อายุเท่ากัน หรือนั่นคือโคเนื้อจะมีการสะสมปริมาณคาร์บอนไว้ในร่างกายได้มากกว่ากระบือในช่วง 4.5 ปีแรกของการเลี้ยง แต่หลังจากนั้นกระบือจะมีอัตราการสะสมคาร์บอนได้ดีกว่าโคเนื้อดังสมการ

อัตราการเจริญเติบโตของกระบือ = -16.227 (อายุกระบือ) + 194.25 (4.16)

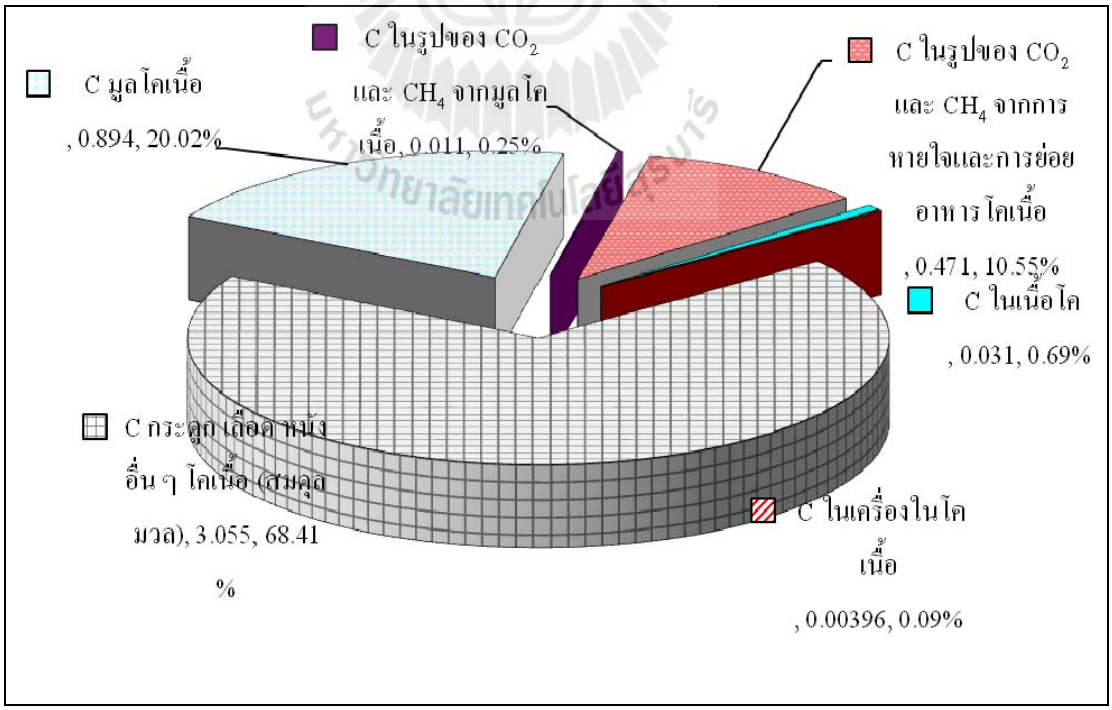
อัตราการเจริญเติบโตของโคเนื้อ = -21.835 (อายุโคเนื้อ) + 218.44 (4.17)

นอกจากนี้ยังพบว่าโคเนื้อมีช่วงการเจริญเติบโตสั้นกว่ากระบือโดยโคเนื้อและกระบือที่มีอายุประมาณตั้งแต่ 10 และ 12 ปีขึ้นไปตามลำดับ จะหยุดการเจริญเติบโต นั่นคือคาร์บอนจากหญ้าที่โคเนื้อ และกระบือกินเข้าไปต่อวันนั้นส่วนใหญ่จะไม่ได้ถูกสะสมไว้ในร่างกายเนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของโคเนื้อ และกระบือไม่เพิ่มขึ้น หมายความว่าคาร์บอนส่วนใหญ่ที่ถ่ายเทจากพืชไปสู่สัตว์จากการกิน จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของมูลสัตว์มากกว่าในช่วงที่ยังคงมีการเจริญเติบโตอยู่ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมามากกว่าช่วงที่ยังคงมีการเจริญเติบโตอยู่

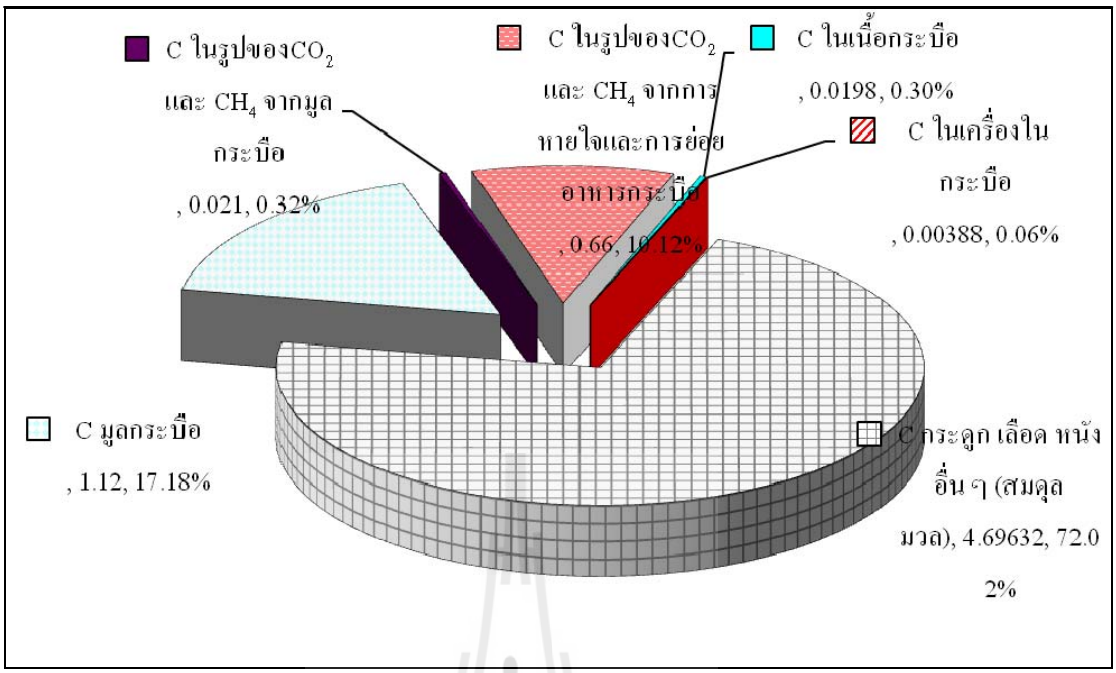
นอกจากนี้ในกราฟรูปที่ 4.13 - 4.18 แสดงถึงสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่ถ่ายเทไปสู่สัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดยการกินซึ่งจะถูกตรึงอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ มูลสัตว์ และแก๊ส CO_2, CH_4 จากการย่อยอาหาร และการหายใจต่อตัวต่อวัน ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ 100 ส่วนเมื่อถูกถ่ายเทมาสู่ตัวสัตว์จะถูกตรึงอยู่ในร่างกายหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ซึ่งในที่นี้ได้แก่ โคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ เท่ากับ 61.4% 69.18% 72.38% 71.18% 60.69% และ 62.00% ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนบางส่วนที่เหลือจากการตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวสัตว์โดยมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 38.6% 30.82% 27.62% 28.82% 39.31% และ 38.00% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากระบือสามารถตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้สูงสุดในขณะที่ปลดปล่อยคาร์บอนออกมาต่ำสุด ดังนั้นจึงอาจพูดได้ว่าในแต่ละวันกระบือ 1 ตัว มีส่วนทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาโดยเฉพาะไก่เนื้อ ซึ่งในแต่ละวันไก่เนื้อ 1 ตัวจะมีร้อยละของการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุดถึง 39.31% จากปริมาณคาร์บอนในอาหารที่กินเข้าไป ดังนั้นการเลี้ยงไก่เพื่อผลิตเนื้อ จึงมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงมากกว่าการผลิตเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ



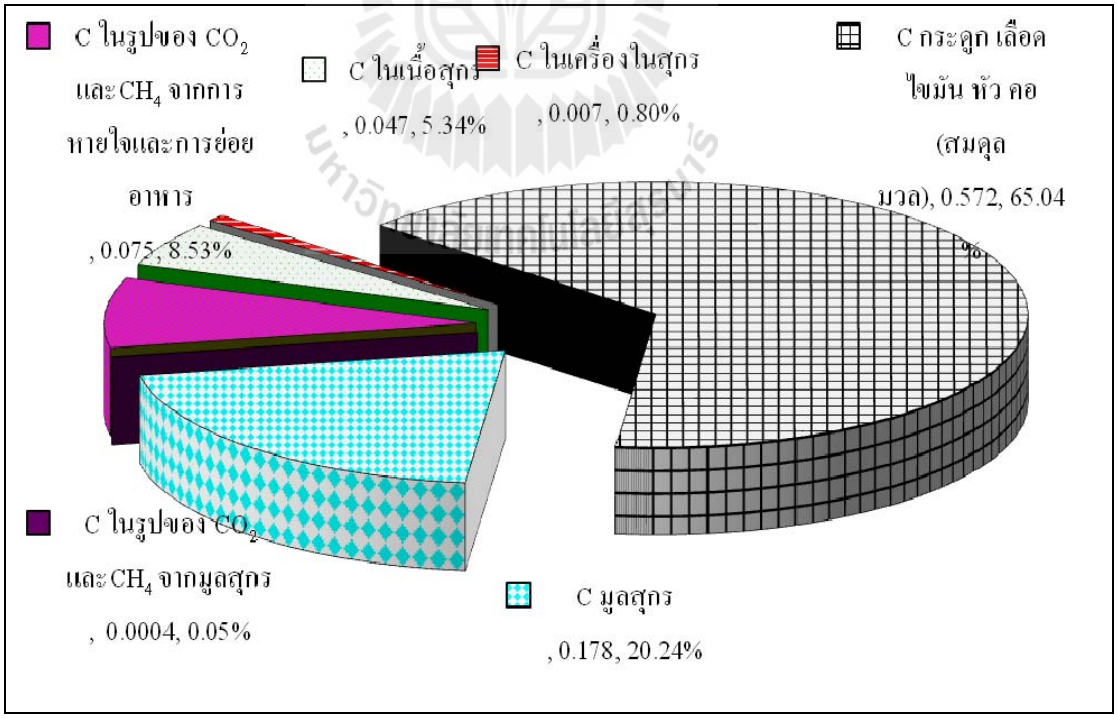
รูปที่ 4.13 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของโคนมที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน



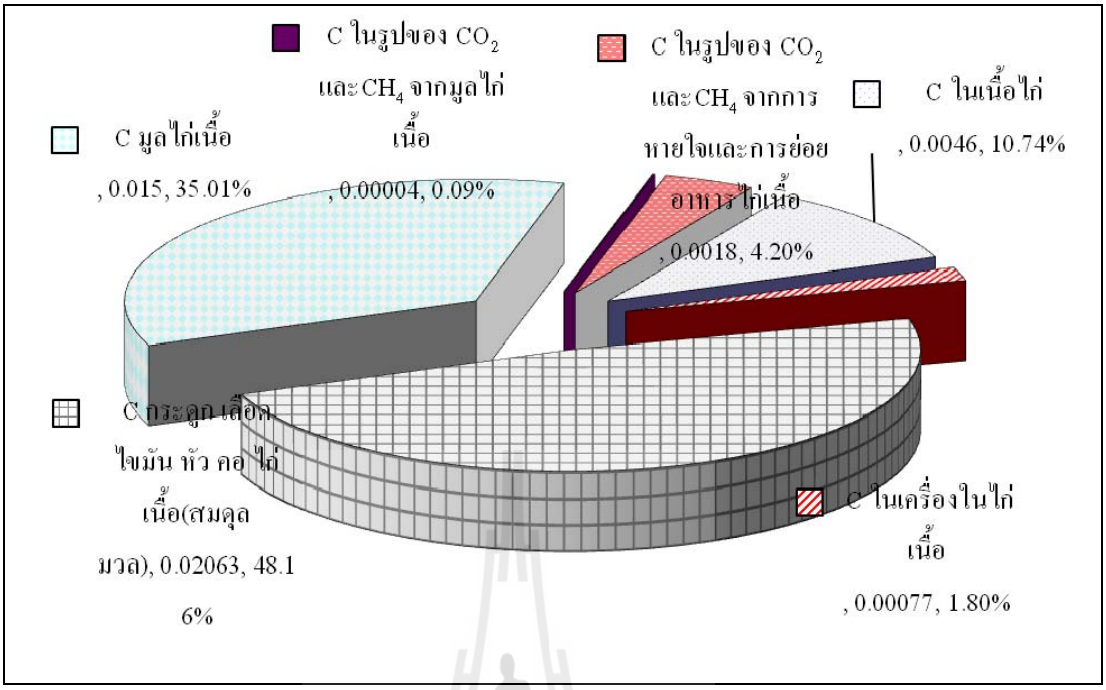
รูปที่ 4.14 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของโคเนื้อที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน



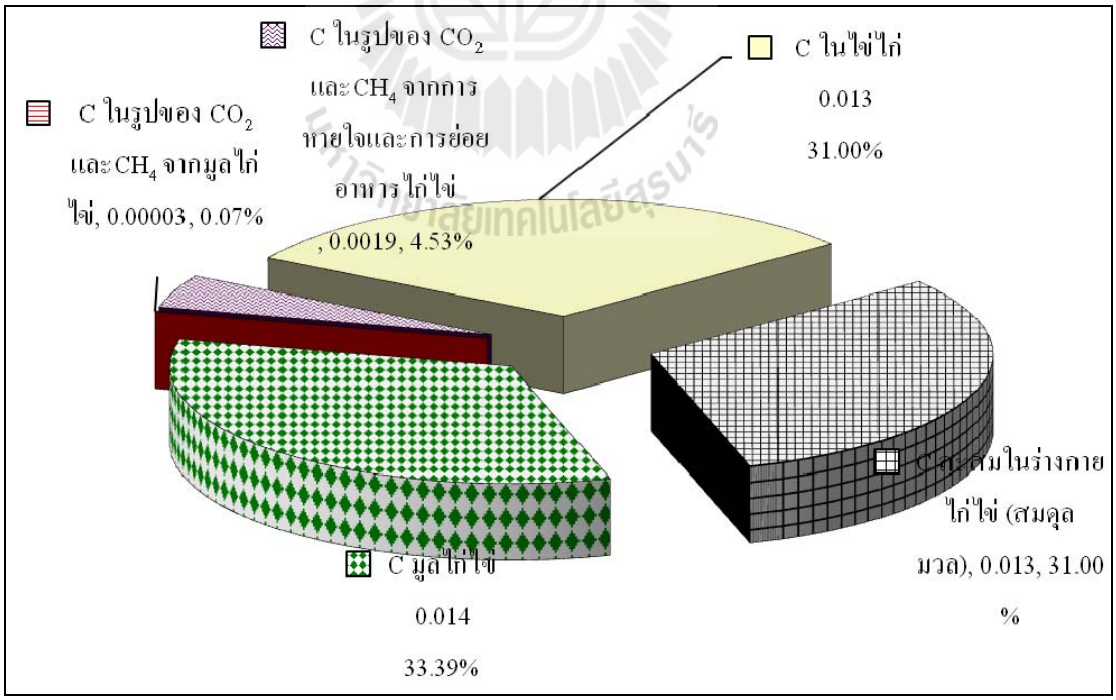
รูปที่ 4.15 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของกระบือที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน



รูปที่ 4.16 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของสุกรที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน



รูปที่ 4.17 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของไก่เนื้อที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน



รูปที่ 4.18 ร้อยละสัดส่วนปริมาณ C จากส่วนต่าง ๆ ของไก่ไข่ที่ถ่ายเทมาจากพืชอาหารสัตว์ต่อวัน

4.3 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในการผลิตเนื้อ นม ไข่

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวและโรงฆ่าสัตว์รวมทั้งสหกรณ์โคนมในจังหวัดนครราชสีมาพบว่า ฟาร์มแต่ละแห่งนั้นมีการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงสัตว์ต่อตัวต่อวันน้อยมากยกเว้นฟาร์มเลี้ยงสุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ซึ่งการใช้พลังงานจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในแต่ละแห่งที่พบได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำและแสงสว่าง พลังงานน้ำมันในการขนส่งน้ำนม ไข่ไก่ในแต่ละวัน ขนส่งอาหารสัตว์ รวมทั้งขนส่งตัวสัตว์มายังฟาร์มและเข้าโรงฆ่าสัตว์และพลังงานน้ำมันที่ใช้ในการตัดหญ้าและขนหญ้ามาใช้เป็นอาหารของโคนม โคเนื้อและกระบือรวมทั้งพลังงานจากการใช้ไฟฟ้าหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ในการกกลูกหมูหรือลูกไก่ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานทั้ง 3 ส่วนนี้ของฟาร์มเลี้ยงสุกรสูงที่สุดเท่ากับ 0.83 กก.C/ตัว/วัน โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันในการขนส่งอาหารและลูกสุกรเข้าฟาร์ม และสุกรเข้าโรงฆ่าสัตว์ แต่ถ้าพิจารณาเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานของฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่จะสูงสุดเท่ากับ 36.65×10^{-3} กก.C/กก.น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย/วัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันในการขนส่งอาหาร ตัวไก่ไข่รุ่นพร้อมเริ่มไข่ที่อายุ 18 สัปดาห์เข้าฟาร์มและขนส่งไข่ไก่ไปขายดังแสดงในตารางที่ 4.7

ในขณะที่โรงฆ่าสัตว์รวมทั้งสหกรณ์โคนมมีประเภทของการใช้พลังงานที่พบได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำ แสงสว่างกับพลังงานน้ำมันในการขนส่งเนื้อและน้ำนมโค รวมทั้งการใช้ฟืนแกลบหรือแก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนเพื่อลวก ถอนขนสุกรและไก่เนื้อ ซึ่งค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากพลังงานทั้ง 3 ส่วนนี้ที่ใช้ในการผลิตเนื้อจะสูงสุดเท่ากับ 2.34 กก.C/ตัว/วัน สำหรับการผลิตเนื้อสุกรโดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ฟืนหรือแกลบเพื่อต้มน้ำร้อนลวกขูดขน และถ้าคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเนื้อไก่มีค่าสูงสุดโดยมีค่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 56.92×10^{-3} กก.C/กก.น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย/วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 เช่นกัน

และถ้าพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานรวมที่ใช้จากทั้ง 2 แห่งคือ ฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมพบว่า โคนมโคเนื้อ กระบือ และไก่ไข่จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันส่วนใหญ่จากการใช้พลังงานน้ำมันขนส่ง ในขณะที่สุกรและ ไก่เนื้อจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดที่โรงฆ่าสัตว์จากการใช้ฟืนหรือแกลบดังแสดงในรูปที่ 4.19 โดยที่การผลิตเนื้อสุกรจะมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานรวมทั้งหมดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.17 กก.C/ตัว/วัน

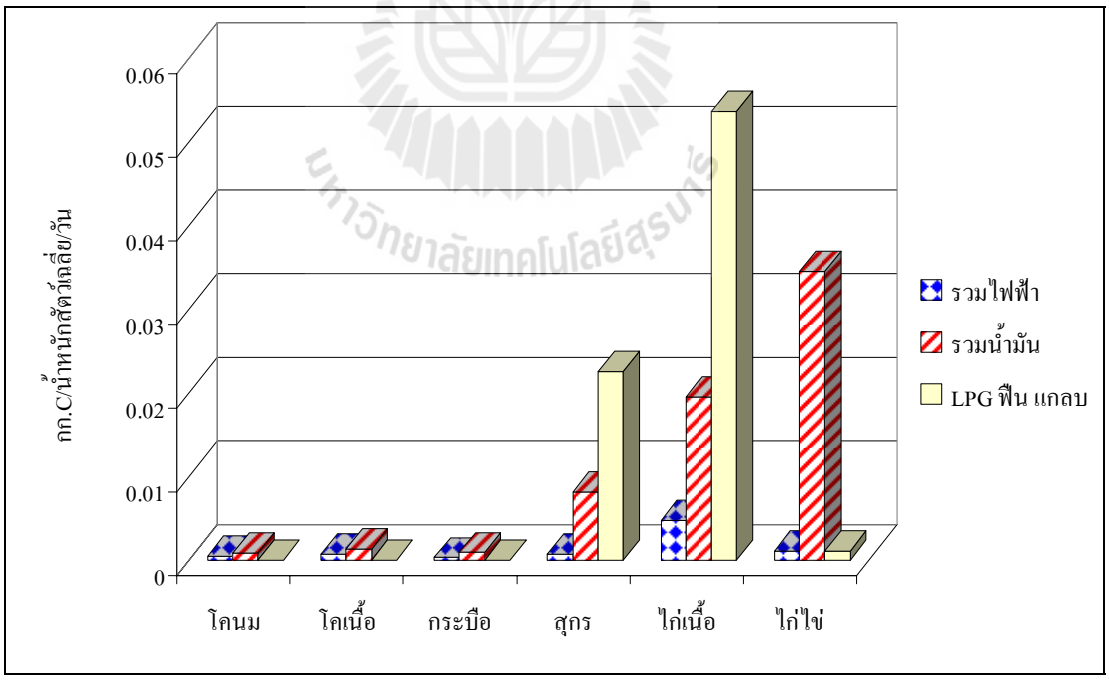
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย C-emission จากพลังงานที่ฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมใช้ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนจากพลังงาน		C-emission (กก. C /ตัว/วัน)					
		โคนม	โคเนื้อ	กระบือ	สุกร	ไก่เนื้อ	ไก่ไข่
ฟาร์ม	ไฟฟ้า *	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.02	0.002 ± 0.00	0.002 ± 0.00
	น้ำมันขนส่ง **	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.81 ± 0.85	0.044 ± 0.03	0.066 ± 0.03
	น้ำมันที่เครื่องจักรกลใช้***หรือ LPG****	0.12 ± 0.04	0.09 ± 0.13	0.07 ± 0.16	N.D.	0.003 ± 0.00	0.002 ± 0.00
	รวม C จากพลังงาน/ตัว/วัน	0.21	0.10	0.08	0.83	0.049	0.07
	รวม C จากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน	0.46×10^{-3}	0.33×10^{-3}	0.18×10^{-3}	8.25×10^{-3}	20.95×10^{-3}	36.65×10^{-3}
โรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม	ไฟฟ้า *	0.10 ± 0.05	0.22 ± 0.37	0.12 ± 0.04	0.05 ± 0.04	0.009 ± 0.004	N.D.
	น้ำมันขนส่ง **	0.24 ± 0.16	0.30 ± 0.26	0.32 ± 0.39	0.01 ± 0.00	0.0015 ± 0.0016	N.D.
	ฟืน แกลบหรือแก๊ส LPG****	N.D.	N.D.	N.D.	2.28±1.02	0.1227 ± 0.1708	N.D.
	รวม C จากพลังงาน/ตัว/วัน	0.34	0.52	0.44	2.34	0.1332	N.D.
	รวม C จากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน	0.75×10^{-3}	1.72×10^{-3}	0.96×10^{-3}	23.19×10^{-3}	56.92×10^{-3}	N.D.
รวม $C_{emission}$ จากการใช้พลังงานของทั้ง 2 แห่ง	กก.C/ตัว/วัน	0.55	0.62	0.52	3.17	0.1822	0.07
	กก.C/น้ำหนักสัตว์/วัน	1.21×10^{-3}	2.05×10^{-3}	1.14×10^{-3}	31.41×10^{-3}	77.86×10^{-3}	36.65×10^{-3}

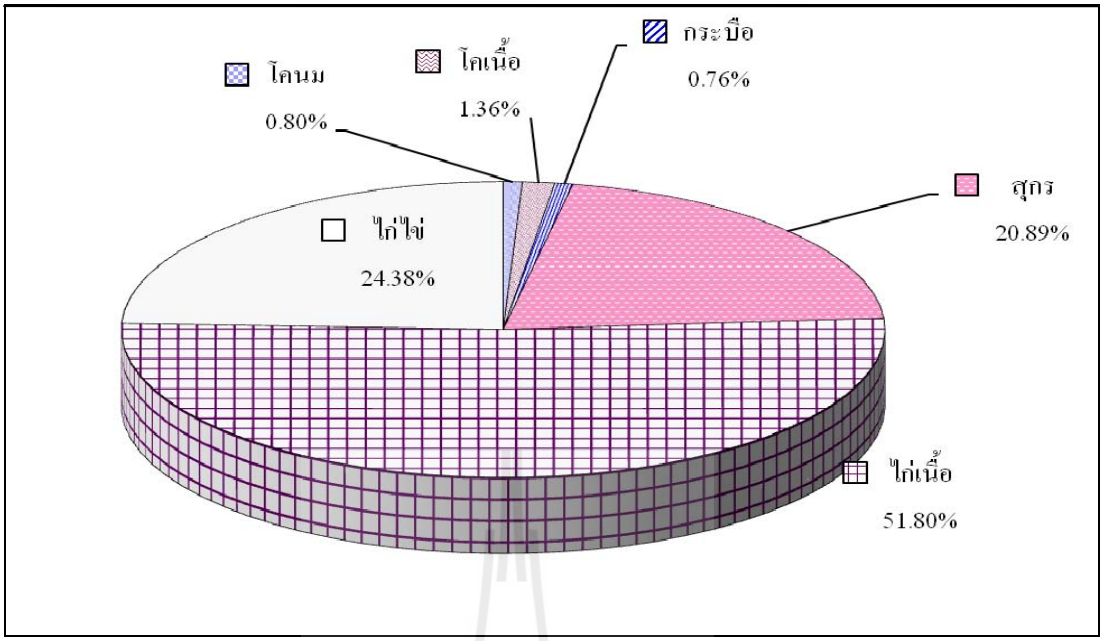
หมายเหตุ : * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี2548 (2548) และนพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.18 กก. C / kWh, ** National Transportation Statistics (2000) CO_2-emission จากพลังงานน้ำมันในการขนส่ง = 74.5 kg CO_2 / 1 ตันน้ำหนักบรรทุกทุก 500 กิโลเมตร, *** U.S. EPA, AP-42 (1995) และWHO. (1993) ระบุไว้ว่า CO_2-emission จากน้ำมันดีเซล = 0.61 kg C/L (2.24 kg.CO_2/L) น้ำมันเบนซิน = 0.57 kg C/L (2.10 kg.CO_2/L) และจากการใช้แก๊ส LPG จะเกิด CO_2-emission = 3.259 kg.CO_2/ 1 kg. LPG (0.889 kg. C/ 1 kg. LPG), ****นพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่าการใช้แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม จะเกิด CO_2-emission = 3.0102 kg.CO_2/ 1 kg. LPG (0.821 kg. C/ 1 kg. LPG) และการเผาไหม้ของธาตุคาร์บอน 1 kg ที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงจะได้สารที่เกิดจากการเผาไหม้เป็น CO_2 หนัก 3.667 kg.

แต่เมื่อเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่า ไก่เนื้อปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานรวมของฟาร์ม และโรงเชือดไก่ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเนื้อมากที่สุด คิดเป็น 51.80% ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาดังแสดงในรูป 4.20 โดยจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสูงสุดเท่ากับ 77.86×10^{-3} กก.C/กก.น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย/วัน สำหรับการผลิตเนื้อไก่ดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.7โดยพบว่า โรงเชือดไก่จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุด และสูงกว่าฟาร์มไก่ 2.72 เท่าดังรูปที่ 4.21 ดังนั้นผลรวมของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม จึงสามารถสรุปได้ว่า การผลิตเนื้อไก่มีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อคิดเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งผลการศึกษานี้จะทำให้สามารถบ่งบอกถึงการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานที่ฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมสำหรับการผลิตน้ำนมโค เนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่ ดังสมการที่ 4.18

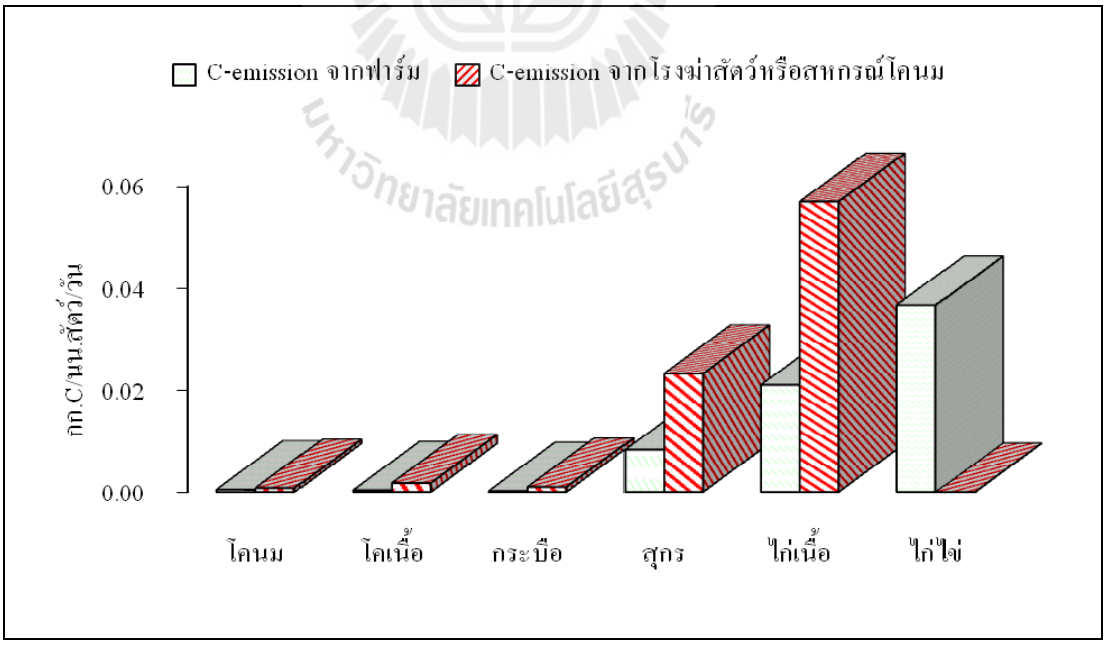
$$\text{C-emission}_{(\text{พลังงาน})} = (0.20)\text{Dairy cows} + (0.23)\text{Oxen} + (0.19)\text{Buffaloes} + (1.16)\text{Pigs} + (0.0665)\text{Chickens} + (0.0255)\text{Hens} \quad (4.18)$$



รูปที่ 4.19 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน



รูปที่ 4.20 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมโดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน



รูปที่ 4.21 การปลดปล่อยคาร์บอนของการใช้พลังงานผลิตเนื้อสัตว์ น้ำนมโค และไข่ไก่ระหว่างฟาร์มกับโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน

โดยที่ $C\text{-emission}_{(พลังงาน)}$= ปริมาณคาร์บอนรวมที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ นม ไข่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของพืชอาหารสัตว์ เนื้อ นม ไข่ และมูลจากสัตว์ และการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์

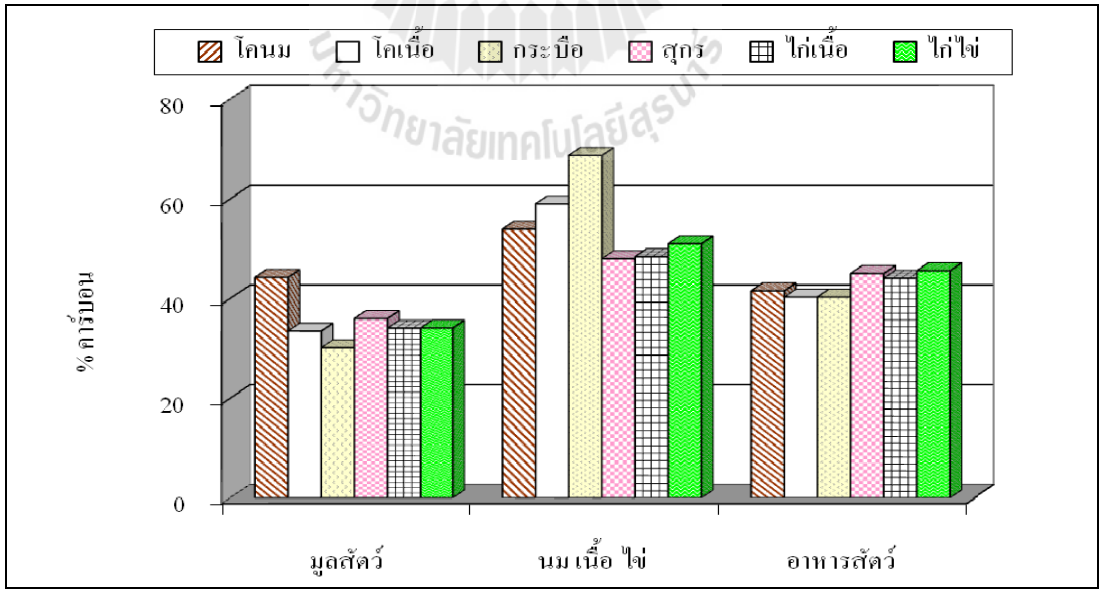
ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของพืชอาหารที่สัตว์กินและมูลแห้งที่สัตว์ขับถ่ายใน 1 วันต่อตัว รวมทั้งน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยจากฟาร์มต่าง ๆ ที่ศึกษา จะทำให้ได้สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมูลสัตว์แห้งที่ขับถ่ายออกมาต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของพืชอาหารที่สัตว์กินเข้าไปในแต่ละวันโดยจะเห็นได้ว่าไก่ไข่จะขับถ่ายมูลออกมามากที่สุดถึง 42.27% ของน้ำหนักพืชอาหารสัตว์ที่ไก่ไข่กินเข้าไป รองลงมาได้แก่ไก่เนื้อ 33.69% สุกร 26.17% โคเนื้อ 24.36% กระบือ 23.40% และโคนม 21.52% ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของพืชอาหารที่สัตว์กินต่อน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ย และน้ำหนักแห้งของมูลสัตว์ที่ถ่ายออกมาต่อน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าไก่ไข่และไก่เนื้อเป็นกลุ่มที่กินอาหารมากและขับถ่ายมูลออกมามากด้วย ในขณะที่สุกรกินอาหารเพียง 1.94% และขับถ่ายมูลออกมาน้อยที่สุดแค่ 0.51% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง C-input และ $C\text{-emitted}_{ตัวสัตว์}$ โดยสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

และถ้าพิจารณาเฉพาะสัตว์กลุ่มที่ให้เนื้อพบว่า กระบือจะขับถ่ายมูลออกมาน้อยที่สุดเท่ากับ 23.40% เมื่อคิดเทียบจากน้ำหนักของพืชอาหารที่สัตว์กินเข้าไปเท่ากันดังแสดงในตารางที่ 4.8 ประกอบกับในมูลกระบือแห้งมีผลการวิเคราะห์ร้อยละของคาร์บอนจากห้องปฏิบัติการต่ำสุดเท่ากับ 30.14 $\pm$ 6.07 โดยน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.22 แสดงว่ากระบือสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในพืชอาหารที่กินได้มากกว่าสัตว์ให้เนื้อชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในมูลสัตว์แต่ละชนิดขับถ่ายออกมาเทียบกับปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่สัตว์กินต่อวัน พบว่ากระบือมีร้อยละของสัดส่วนดังกล่าวต่ำสุดเท่ากับ 17.20 ดังในตารางที่ 4.8 เช่นกัน

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักแห้ง (นน.) ของพืชอาหารที่สัตว์กินและมูลสัตว์ที่ขับถ่ายออกมาต่อตัวต่อวันและระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ยของสัตว์แต่ละชนิด (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	ระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ยจากฟาร์มที่ทำการศึกษา (วัน)	นน. มูลสัตว์แห้งที่ขับถ่าย (กก./ตัว/วัน)	นน. แห้งพืชอาหารที่สัตว์กิน (กก./ตัว/วัน)	นน. CH_4จากสัตว์ต่อ นน.พืชอาหารแห้ง	นน. แห้งของพืชอาหารที่กินต่อ นน.สัตว์มีชีวิต	นน. แห้งของมูลต่อ นน.สัตว์มีชีวิต	นน. แห้งของมูลต่อ นน.แห้งของพืชอาหารที่สัตว์กิน	C ในรูปแก๊ส $CO_2 + CH_4$ ต่อ C พืชอาหาร	C มูลสัตว์ต่อ C พืชอาหาร
โคนม	N.D.หรือจนกว่าผสมเทียมไม่ติด	3.532	16.41 ± 0.58	0.75%	3.65%	0.79%	21.52%	10.51%	28.08%
โคเนื้อ	711.75 ± 121.55 หรือตามความต้องการใช้เงินของเกษตรกร	2.694	11.06 ± 5.07	0.94%	3.66%	0.89%	24.36%	10.81%	20.04%
กระบือ	1277.50 ± 226.48 หรือตามความต้องการใช้เงินของเกษตรกร	3.746	16.01 ± 7.77	0.79%	3.51%	0.82%	23.40%	10.46%	17.20%
สุกร	131.24 ± 22.64	0.513	1.96 ± 0.68	0.36%	1.94%	0.51%	26.17%	8.58%	20.25%
ไก่เนื้อ	42.51 ± 4.48	0.031	0.092 ± 0.02	0.00%	3.93%	1.32%	33.69%	4.28%	34.88%
ไก่ไข่	400.63 ± 109.72	0.041	0.097 ± 0.01	0.00%	5.08%	2.15%	42.27%	4.59%	33.33%

จากการศึกษายังพบว่าร้อยละของสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ต่อปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารที่สัตว์กินของโคเนื้อมากที่สุดถึง 10.81 และมากกว่ากระบือ ซึ่งสอดคล้องกับที่ Czerkawski (1986) ได้ให้ข้อมูลไว้ในหนังสือ An Introduction to Rumen Studies ว่าที่ปริมาณอาหารที่สัตว์กินเท่ากัน 3600 กก./ตัว/ปี โคเนื้อจะมีการขับไล่แก๊ส CH_4 (Eructation) มากกว่ากระบือโดยจะเกิดแก๊ส CH_4 จากโคเนื้อและกระบือเท่ากับ 91 และ 73 ลูกบาศก์เมตร/ตัว/ปี ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าในเนื้อกระบือจะมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าในเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ รวมทั้งนมโคและไข่ไก่ด้วยดังนั้นจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งสนับสนุนผลการศึกษาที่ว่า กระบือปลดปล่อยคาร์บอนสร้างปัญหากับสิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบือสามารถตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่นที่ทำการศึกษา และในตารางที่ 4.9 จะแสดงถึงค่าร้อยละของความชื้น ของแข็งระเหย ขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ น้ำนมโค ไข่ไก่ เนื้อสัตว์ เครื่องในต่าง ๆ และมูลของสัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษา รวมทั้งยังแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของของแข็งระเหย (%TVS) กับร้อยละของปริมาณคาร์บอน (%C) อีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนของสารต่าง ๆ ดังกล่าวจากห้องปฏิบัติการได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นเมื่อทราบค่าร้อยละของของแข็งระเหย เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของคาร์บอน (%C) ยังคงต้องใช้เครื่องมือเฉพาะและมีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ นม เนื้อ ไข่ และมูลของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของพืชอาหารสัตว์ มูลสัตว์ น้ำนมโค เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ และไข่ไก่ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิด	ความชื้น (%)	ของแข็งระเหย (% TVS)	ขี้เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน (% C)	ความสัมพันธ์ %TVS และ%C	R^2
หญ้ารูซี่	71.20 ± 1.58	85.41 ± 2.07	14.59 ± 2.07	41.55 ±0.31	%TVS= 5.02(%C) - 123.13	0.56
หญ้าขน	69.42 ± 5.77	86.40 ± 1.54	13.60 ± 1.54	43.05 ±0.17	%TVS= 9.07(%C) - 303.74	0.92
หญ้ากินนี	65.50 ± 3.67	77.23 ± 5.04	22.77 ± 5.04	40.46 ±2.19	%TVS= 3.24(%C) – 53.16	0.91
หญ้าสตาร์	61.49 ± 6.06	79.33 ± 2.69	20.67 ± 2.69	44.03 ±1.85	%TVS= 1.35(%C) + 19.92	0.86
หญ้าเนเปียร์	72.68 ± 4.20	80.95 ± 1.20	19.05 ± 1.20	41.33 ±0.62	%TVS= 2.05(%C) - 3.90	0.91
ฟางแห้ง/ฟางก้อน	7.79 ± 1.39	70.19 ± 2.74	29.81 ± 2.74	40.13 ±1.47	%TVS= 1.54(%C) + 8.26	0.69
ข้าวโพดแห้ง	9.00 ± 1.09	79.72 ± 1.58	20.28 ± 1.58	42.79 ±2.16	%TVS= 0.50(%C) + 58.19	0.71
ต้นข้าวโพดหมัก	70.51 ± 6.99	76.96 ± 2.52	23.04 ± 2.52	43.43 ±0.14	%TVS= 15.58(%C) - 599.97	0.96
หัวมันสำปะหลัง	10.79 ± 0.14	83.45 ± 1.12	16.55 ± 1.12	41.88 ±1.12	%TVS= 0.55(%C) + 60.33	0.92
ใบต้นมันสำปะหลัง	62.87 ± 0.16	73.38 ± 4.20	26.62 ± 4.20	43.67 ±0.19	%TVS= 20.82(%C) - 835.75	0.89
เปลือกหัวมันสำปะหลัง	74.85 ± 2.27	75.4 ± 6.79	24.6 ± 6.79	43.43 ±3.91	%TVS= 1.62(%C) + 5.84	0.97
กากมันสำปะหลัง	75.11 ± 0.28	76.78 ± 8.81	23.22 ± 8.81	41.32 ±0.47	%TVS= 16.60(%C) - 609.15	0.79
รำข้าว	8.86 ± 1.07	68.84 ± 5.78	31.16 ± 5.78	40.58 ±6.77	%TVS= 0.82(%C) + 35.59	0.92
อาหารข้นโคนม	9.51 ± 0.94	71.26 ± 2.91	28.74 ± 2.91	45.01 ±1.39	%TVS= 2.05(%C) - 21.03	0.96
อาหารหมักโคนม (TMR)	38.81 ± 8.97	71.32 ± 0.22	28.68 ± 0.22	42.16 ±1.97	%TVS= 0.11(%C) + 66.69	0.99
น้ำนมโค	88.35 ± 0.31	85.21 ± 3.30	14.79 ± 3.30	53.90 ±1.39	%TVS= 2.26(%C) - 36.87	0.91
มูลวัวนม	81.26 ± 4.71	70.95 ± 6.49	29.05 ± 6.49	44.24 ±2.53	%TVS= 2.45(%C) - 37.54	0.91
หญ้าโคเนื้อและกระบือ	76.64 ± 7.99	75.20 ± 3.45	24.80 ± 3.45	40.42 ±1.33	%TVS= 3.54(%C) - 68.59	0.89
อาหารข้นโคเนื้อ	8.64 ± 1.03	65.60 ± 2.26	34.40 ± 2.26	39.99 ±2.22	%TVS= 1.21(%C) + 17.26	0.94
เนื้อโค	73.05 ± 5.59	83.34 ± 4.20	16.66 ± 4.20	58.99 ±0.25	%TVS= 16.40(%C) - 884.11	0.94
หัวใจโคเนื้อ	76.98 ± 2.95	85.94 ± 3.50	14.06 ± 3.50	63.22 ±0.10	%TVS=33.05(%C) - 2003.50	0.88
ปอดโคเนื้อ	82.45 ± 1.46	86.35 ± 4.49	13.65 ± 4.49	50.15 ±0.14	%TVS= 30.95(%C) - 1465.60	0.96
ตับโคเนื้อ	75.31 ± 2.42	81.42 ± 1.52	18.58 ± 1.52	59.41 ±0.16	%TVS= 8.36(%C) - 415.58	0.74
ไตโคเนื้อ	77.67 ± 4.73	83.95 ± 4.09	16.05 ± 4.09	55.23 ±0.05	%TVS= 70.67(%C) - 3819.60	0.87
ม้ามโคเนื้อ	79.03 ± 1.30	87.11 ± 6.67	12.89 ± 6.67	56.34 ±0.15	%TVS= 29.53(%C) - 1576.90	0.57
กระเพาะโคเนื้อ	81.86 ± 3.54	84.38 ± 2.23	15.62 ± 2.23	51.07 ±0.12	%TVS= 18.06(%C) - 837.74	0.94

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของพืชอาหารสัตว์ มูลสัตว์ นมโค เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์และไข่ไก่ (ต่อ)

ชนิด	ความชื้น (%)	ของแข็งระเหย (% TVS)	ขี้เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน (% C)	ความสัมพันธ์ %TVS และ%C	R^2
ผ้าขี้ริ้วนอกโคเนื้อ	81.44 ± 3.37	86.71 ± 2.91	13.29 ± 2.91	67.98 ±0.15	%TVS=18.09(%C) - 1143.35	0.86
ผ้าขี้ริ้วในโคเนื้อ	86.13 ± 1.42	84.99 ± 3.67	15.01 ± 3.67	51.58 ±1.19	%TVS= 2.50(%C) - 44.10	0.66
ลำไส้โคเนื้อ	83.10 ± 4.16	86.30 ± 3.22	13.70 ± 3.22	49.17 ±0.21	%TVS= 0.91(%C) + 82.19	0.48
มูลโคเนื้อ	81.12 ± 3.78	62.18 ±10.48	37.82±10.48	33.47 ±5.08	%TVS= 2.65(%C) - 26.35	0.89
*เครื่องในรวม โคเนื้อ	80.44 ± 3.44	85.24 ± 1.79	14.76 ± 1.79	56.02 ±6.45	%TVS= 0.03(%C) + 83.52	0.30
เนื้อกระบือ	76.71 ± 1.85	86.61 ± 3.29	13.39 ± 3.29	68.67 ±0.21	%TVS= 14.90(%C) - 936.50	0.88
หัวใจกระบือ	79.24 ± 1.97	85.08 ± 3.14	14.92 ± 3.14	62.16 ±0.32	%TVS= 8.57(%C) - 447.53	0.74
ปอดกระบือ	79.82 ± 3.66	88.18 ± 2.23	11.82 ± 2.23	71.46 ±0.06	%TVS= 33.04(%C) - 2273.10	0.81
ตับกระบือ	73.71 ± 2.08	83.60 ± 1.88	16.40 ± 1.88	58.49 ±0.21	%TVS= 7.82(%C) - 373.73	0.73
ไตกระบือ	80.27 ± 2.85	83.06 ± 5.51	16.94 ± 5.51	78.88 ±0.20	%TVS= 19.24(%C) - 1434.36	0.47
ม้ามกระบือ	76.46 ± 5.43	85.23 ± 3.30	14.77 ± 3.30	51.36 ±0.36	%TVS= 5.78(%C) - 211.63	0.82
กระเพาะกระบือ	82.19 ± 1.44	85.17 ± 3.09	14.83 ± 3.09	72.03 ±0.27	%TVS= 10.98(%C) - 705.64	0.91
ผ้าขี้ริ้วนอกกระบือ	78.77 ± 4.11	86.80 ± 2.88	13.20 ± 2.88	55.48 ±0.68	%TVS= 3.80(%C) - 124.03	0.81
ผ้าขี้ริ้วในกระบือ	85.37 ± 2.21	84.86 ± 4.55	15.14 ± 4.55	67.63 ±0.67	%TVS= 4.89(%C) - 245.97	0.66
ลำไส้กระบือ	79.27 ± 4.49	89.33 ± 3.21	10.67 ± 3.21	55.00 ±0.10	%TVS= 26.07(%C) - 1344.52	0.90
มูลกระบือ	81.98 ± 4.42	54.45 ±11.23	45.55±11.23	30.14 ±6.07	%TVS= 2.31(%C) – 14.933	0.95
*เครื่องในรวม กระบือ	79.46 ± 3.28	85.70 ± 2.05	14.30 ± 2.05	63.61 ±9.36	%TVS= -0.08(%C) + 90.63	0.34
อาหารผสมสุกร	10.48 ± 2.22	70.28 ± 2.42	29.72 ± 2.42	45.02 ±2.05	%TVS= 0.93(%C) + 28.43	0.62
เนื้อสุกร	68.74 ± 5.63	82.62 ± 3.67	17.38 ± 3.67	48.00 ±5.09	%TVS= 0.70(%C) + 48.97	0.94
หัวใจสุกร	75.45 ± 2.40	82.15 ± 0.22	17.85 ± 0.22	49.94 ±0.71	%TVS= 0.30(%C) + 67.00	0.97
ตับสุกร	72.08 ± 1.72	82.40 ± 1.35	17.60 ± 1.35	50.77 ±7.21	%TVS= 0.15(%C) + 74.84	0.64
เซี่ยงจี่สุกร	80.49 ± 1.60	81.11 ± 0.90	18.89 ± 0.90	48.23 ±3.84	%TVS= 0.17(%C) + 73.07	0.51
ม้ามสุกร	77.98 ± 3.36	79.05 ± 0.07	20.95 ± 0.07	46.91 ±2.45	%TVS= 0.03(%C) + 77.65	0.91
กระเพาะสุกร	75.09 ± 1.70	83.18 ± 0.25	16.82 ± 0.25	47.31 ±4.73	%TVS= 0.05(%C) + 80.72	0.94
ไส้อ่อนสุกร	79.46 ± 1.70	78.31 ± 0.29	21.69 ± 0.29	42.42 ±4.09	%TVS= 0.07(%C) + 75.32	0.98

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของพืชอาหารสัตว์ มูลสัตว์ นมโค เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ และไข่ไก่ (ต่อ)

ชนิด	ความชื้น (%)	ของแข็งระเหย (% TVS)	ขี้เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน (% C)	ความสัมพันธ์ %TVS และ%C	R^2
ไส้ตันสุกร	82.04 ± 1.70	79.46 ± 1.20	20.54 ± 1.20	46.06 ±5.85	%TVS= 0.20(%C) + 70.44	0.91
มูลสุกร	67.71 ± 5.54	61.30 ± 3.40	38.7 ± 3.4	35.98 ±1.83	%TVS= 1.78(%C) - 2.78	0.92
*เครื่องในรวม สุกร	77.51 ± 3.49	80.86 ± 1.83	19.14 ± 1.83	47.67 ±4.95	%TVS= 0.25(%C) + 69.00	0.45
แกลบ	11.12 ± 1.01	60.67 ± 5.45	39.33 ± 5.45	35.56 ±3.33	%TVS= 1.64(%C) + 2.99	0.95
อาหารไก่เนื้อ	10.45 ± 1.25	72.82 ± 2.07	27.18 ± 2.07	44.06 ±4.52	%TVS= 0.40(%C) + 55.01	0.78
เนื้อไก่	65.71 ± 6.57	84.37 ± 4.01	15.63 ± 4.01	48.40 ±6.21	%TVS = 0.59x + 55.97	0.83
เอ็นไก่	51.08 ± 8.22	90.97 ± 1.26	9.03 ± 1.26	44.88 ±0.79	%TVS= 1.56(%C) + 20.87	0.97
ตับไก่	71.92 ± 0.86	85.63 ± 1.31	14.37 ± 1.31	46.71 ±1.18	%TVS=1.05(%C) + 36.61	0.90
หัวใจไก่	72.66 ± 0.36	85.73 ± 0.96	14.27 ± 0.96	49.78 ±0.28	%TVS= 3.38(%C) - 82.67	0.99
กึ๋นไก่	80.94 ± 0.28	80.04 ± 1.09	19.96 ± 1.09	45.14 ±0.79	%TVS= 1.16(%C) + 27.72	0.70
หนังไก่	48.49 ± 2.12	92.50 ± 0.88	7.50 ± 0.88	48.30 ±1.94	%TVS= 0.45(%C) + 70.96	0.58
ปลายปีกไก่	60.45 ± 0.99	77.11 ± 0.81	22.89 ± 0.81	46.18 ±1.26	%TVS= 0.61(%C) + 48.94	0.89
ตีนไก่	60.79 ± 1.63	73.45 ± 0.61	26.55 ± 0.61	41.92 ±2.24	%TVS= 0.26(%C) + 62.48	0.92
ข้อยาวไก่	65.07 ± 0.82	79.97 ± 1.76	20.03 ± 1.76	46.19 ±1.01	%TVS= 1.16(%C) + 26.43	0.44
มูลไก่เนื้อ	61.51±22.31	66.39 ± 9.16	33.61 ± 9.16	34.07 ±6.13	%TVS= 0.97(%C) + 33.23	0.42
*เครื่องในรวม ไก่เนื้อ	75.17 ± 5.01	83.80 ± 3.26	16.20 ± 3.26	47.21 ±2.36	%TVS= 1.15(%C) + 29.05	0.63
อาหารไก่ไข่	10.57 ± 0.62	68.31 ± 3.15	31.69 ± 3.15	45.58 ±4.05	%TVS= 0.73(%C) + 34.92	0.89
ไข่ไก่	40.55±10.62	92.89 ± 2.51	7.11 ± 2.51	50.99 ±1.17	%TVS= 2.01(%C) - 9.43	0.88
มูลไก่ไข่	70.38±12.21	57.85 ± 7.41	42.15 ± 7.41	34.09 ±2.56	%TVS= 2.37(%C) - 22.80	0.57

หมายเหตุ : *คิดจากการรวมค่าเฉลี่ยของเครื่องในแต่ละอย่าง

และผลของการศึกษานี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์เพื่อตัดสินใจบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาซึ่งจะอาศัยการจัดผลลัพธ์ในรูปของแมทริกซ์ (payoff matrix) โดยการนำเอาทางเลือกต่าง ๆ ได้แก่การทำปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ และสถานการณ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมาเรียงกันดังตารางที่ 4.10 แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542 และ Sullivan et al., 2003) ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการปลดปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำปศุสัตว์ในรูปแมทริกซ์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/นน.สัตว์/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์	C-emission จากการใช้พลังงาน
โคนม	5.96×10^{-3}	1.21×10^{-3}
โคเนื้อ	4.57×10^{-3}	2.05×10^{-3}
กระบือ	3.95×10^{-3}	1.14×10^{-3}
สุกร	2.48×10^{-3}	31.41×10^{-3}
ไก่เนื้อ	7.27×10^{-3}	77.86×10^{-3}
ไก่ไข่	8.38×10^{-3}	36.65×10^{-3}

การวิเคราะห์โดยประยุกต์กฎของลาปลาส (Laplace rule) มาใช้เพื่อบ่งชี้ชนิดของปศุสัตว์ที่สร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานการณ์ให้เท่า ๆ กัน ซึ่งหมายความว่า ให้ความสำคัญของสถานการณ์ต่าง ๆ เท่ากันหมด (ในที่นี้ n = 2) ดังผลลัพธ์ในตารางที่ 4.10 (ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลี้ยง และผลิตเนื้อกระบือจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกในการเลี้ยง และผลิตเนื้อไก่จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อประยุกต์ใช้กฎของลาปลาสในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.10 (ก) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาส

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	(C-emitted + C-emission)/n
โคนม	$(5.96+1.21)/2 \times 10^{-3}$
โคเนื้อ	$(4.57+2.05)/2 \times 10^{-3}$
กระบือ	$(3.95+1.14)/2 \times 10^{-3}$
สุกร	$(2.48+31.41)/2 \times 10^{-3}$
ไก่เนื้อ*	$(7.27+77.86)/2 \times 10^{-3}$
ไก่ไข่	$(8.38+36.65)/2 \times 10^{-3}$

หมายเหตุ : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ในขณะเดียวกันเมื่อนำกฎสูงสุดจากสูงสุด (maximax rules) มาประยุกต์ใช้เพื่อบ่งชี้ปัญหาจากการทำปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ ด้วยการเลือกสถานการณ์จากที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.10 ที่ได้ผลลัพธ์สูงสุด จากนั้นจะนำมาเลือกทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดของทุกทางเลือกอีกครั้งหนึ่ง โดยสามารถแสดงด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $\max_i \left[\max_j Pij \right]$

ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังในตารางที่ 4.10 (ข) โดยจะเห็นได้ว่าการเลี้ยงและผลิตเนื้อกระบือจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อไก่จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ตารางที่ 4.10 (ข) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎสูงสุดจากสูงสุด

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\frac{\max Pij}{i(x)}$
โคนม	5.96×10^{-3}
โคเนื้อ	4.57×10^{-3}
กระบือ	3.95×10^{-3}
สุกร	31.41×10^{-3}
ไก่เนื้อ*	77.86×10^{-3}
ไก่ไข่	36.65×10^{-3}

หมายเหตุ : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

และเมื่อนำกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ (minimax regret rule) มาประยุกต์ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงจากความเสียใจที่ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ด้อยกว่า ด้วยการเลือกผลลัพธ์สูงสุดในแต่ละสถานการณ์แล้วนำเอาผลลัพธ์ดังกล่าวตั้งลบด้วยค่าผลลัพธ์ทุก ๆ ตัวของแต่ละสถานการณ์และจัดให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ดังตารางที่ 4.10 (ค) แล้วเลือกค่าเสียใจสูงสุดของแต่ละทางเลือกจากนั้นนำมาเลือกหาค่าต่ำสุดของแต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งโดยสามารถแสดงด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $\frac{\min}{i}\left[\frac{\max Rij}{j}\right]$

ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังในตารางที่ 4.10 (ง) โดยจะเห็นได้ว่าการผลิตเนื้อจากการเลี้ยงกระบือและการผลิตน้ำนมโคจากการเลี้ยงโคนมจะเป็นทางเลือกที่ควรสนใจเลือกทำ ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อไก่จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุดจากการประยุกต์ใช้วิธีกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจนี้เช่นกัน

ตารางที่ 4.10 (ค) ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำปศุสัตว์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/นน.สัตว์/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์	C-emission จากการใช้พลังงาน
โคนม	2.42×10^{-3}	76.75×10^{-3}
โคเนื้อ	3.81×10^{-3}	75.81×10^{-3}
กระบือ	4.43×10^{-3}	76.72×10^{-3}
สุกร	5.9×10^{-3}	46.45×10^{-3}
ไก่เนื้อ	1.11×10^{-3}	0
ไก่ไข่	0	41.21×10^{-3}

ตารางที่ 4.10 (ง) ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกทำปศุสัตว์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\frac{\max Rij}{j}$
โคนม	76.75×10^{-3}
โคเนื้อ	75.81×10^{-3}
กระบือ	76.72×10^{-3}
สุกร	46.45×10^{-3}
ไก่เนื้อ*	1.11×10^{-3}
ไก่ไข่	41.21×10^{-3}

หมายเหตุ : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ดังนั้นจากผลของการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีและกฎต่าง ๆ อันได้แก่ การจัดผลลัพธ์ในรูปของเมทริกซ์ การประยุกต์กฎของลาปลาส กฎสูงสุดจากสูงสุด และกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ เพื่อตัดสินใจบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาพบว่า การเลี้ยงและผลิตเนื้อกระบือ จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อไก่ จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

4.5 แนวทางการวิเคราะห์ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อโค เนื้อ กระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ นมโค และไข่ไก่ รวมทั้งแนวโน้มจากการทำปศุสัตว์ทั้ง 6 ชนิดในจังหวัดนครราชสีมา

จากผลรวมค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์แต่ละชนิดในรูปของมูลสัตว์ แก๊ส CO_2 CH_4 จากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์แต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 4.5 รวมทั้งจากการใช้พลังงานของฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมในจังหวัดนครราชสีมาดังตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อตัวต่อปีของการผลิตน้ำนมโค เนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่เท่ากับ 1.18, 0.73, 0.85, 1.25, 0.07 และ0.03 ตันC./ตัว/ปี ตามลำดับ ซึ่งจากหลักการอนุรักษ์มวล (UNECE TFEIP, 2004) และผลการศึกษานี้ทำให้สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ นมโค และไข่ไก่ ดังสมการที่ 4.19 – 4.21 ตามลำดับดังนี้

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตเนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกรและเนื้อไก่

$$C\text{-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้})} = (0.73)\text{Oxen} + (0.85)\text{Buffaloes} + (1.25)\text{Pigs} + (0.07)\text{Chickens} \quad (4.19)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์แต่ละชนิดและจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Oxen = จำนวนโคเนื้อ (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือ (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกร (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อ (ตัว)

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตนมโค

$$C\text{-emitted}_{(\text{ตัวโคนม+พลังงานที่ใช้})} = (1.18)\ \text{Dairy cows} \quad (4.20)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวโคนม+พลังงานที่ใช้})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากโคนมและจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตนมโค (ตันคาร์บอนต่อปี)

Dairy cows = จำนวนโคนม (ตัว)

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตไข่ไก่

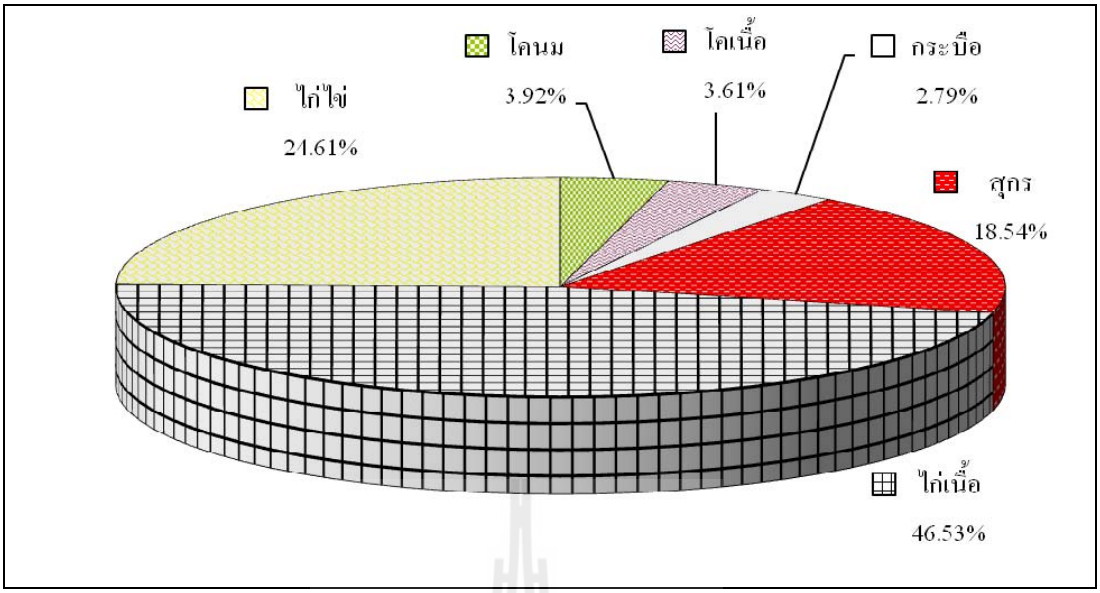
$$C\text{-}emitted_{(ตัวไก่ไข่+พลังงานที่ใช้)} = (0.03)Hens \quad (4.21)$$

โดยที่ $C\text{-}emitted_{(ตัวไก่ไข่+พลังงานที่ใช้)}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวไก่ไข่และจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตไข่ไก่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

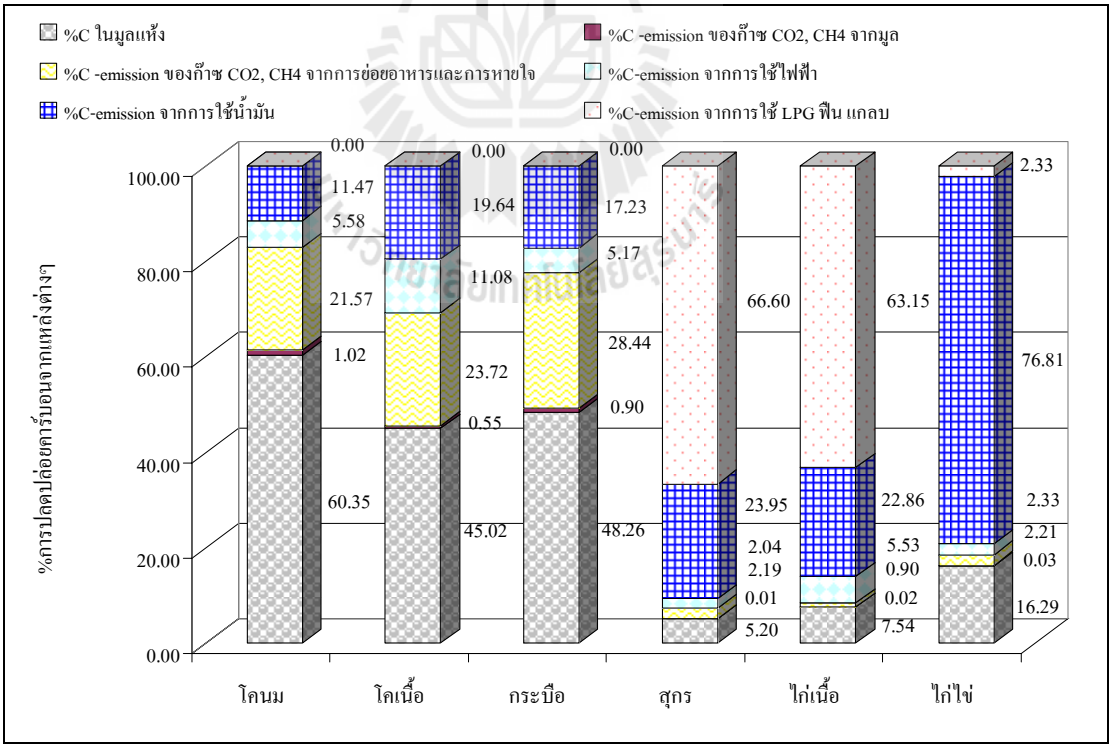
Hens = จำนวนไก่ไข่ (ตัว)

หรือถ้าคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน สำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวจะพบว่าค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวสัตว์ และจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันแก๊สปิโตรเลียมเหลว และฟืนหรือแกลบของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมเท่ากับ 2.62, 2.42, 1.86, 12.37, 31.07 และ 16.43 ตันC./ตัน$_{นน.สัตว์}$/ปี ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการผลิตเนื้อไก่จะทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสูงสุดคิดเป็น 46.53% ของการผลิตเนื้อ นม ไข่ทั้งหมดในขณะที่การผลิตเนื้อกระบือจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่ำสุดคิดเป็นแค่ 2.79% ของการผลิตเนื้อ นม ไข่ เท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 4.23 และในรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างตัวสัตว์แต่ละชนิด รวมกับจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ นม ไข่ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่น้ำหนักเท่ากัน ซึ่งจะพบว่า โคนม โคเนื้อ และกระบือ เป็นสัตว์ที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมาก ใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมัน ในการผลิตเนื้อและนมน้อย ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของมูลสัตว์ การย่อยอาหาร และการหายใจ ในขณะที่ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จากการใช้พลังงาน

ซึ่งจากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่า การผลิตเนื้อสุกรมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็น 92.60% โดยเฉพาะที่เกิดจาการใช้ฟืนหรือแกลบในการต้มน้ำร้อนเพื่อลวกทำความสะอาดและขูดขน โดยที่เหลืออีก 7.40% เกิดจากตัวของสุกรเอง ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานเพื่อการดังกล่าวในการผลิตเนื้อไก่เช่นกัน ดังในตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ และจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ นม ไข่ ของสัตว์แต่ละชนิด โดยจะเห็นว่าการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่ จากการใช้พลังงานมากกว่าจากตัวสัตว์



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงานของการผลิตเนื้อ นม ไข่จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่น้ำหนักเท่ากัน



รูปที่ 4.24 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดต่อตัวต่อวัน สำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างจากตัวสัตว์กับจากการใช้พลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมใช้ในการผลิตเนื้อ นม ไข่ ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

สัดส่วนคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกจาก	โคนม	โคเนื้อ	กระบือ	สุกร	ไก่เนื้อ	ไก่ไข่
ตัวสัตว์ (%)	82.95	69.28	77.60	7.40	8.46	18.54
การใช้พลังงาน (%)	17.05	30.72	22.40	92.60	91.54	81.46

ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน ควรสนใจที่ประเด็นของการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหรือเปลี่ยนแนวทางในการใช้เชื้อเพลิง ก็จะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกรและเนื้อไก่ลงได้ เช่นการใช้แก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลวในการต้มน้ำร้อนแทนการใช้ฟืนหรือแกลบ เนื่องจากแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงเกิดเขม่าน้อย ไม่มีขี้เถ้าเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด โดยคุณสมบัติของแก๊สปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 11,832 - 12,034 Kcal/kg หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 13.70 kWh/kg ในขณะที่แกลบ1 กิโลกรัมเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.49 kWh ส่วนเศษไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อปานกลางมีน้ำหนัก748.23 $\pm$ 116.42 kg/m^3 ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 0.21 kWh/kg (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) และกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (1999) กล่าวไว้ว่าแกลบ 1 kg เทียบเท่าพลังงาน 14.27 MJ/kg (3,410.611 Kcal/kg) หรือจากพื้นฐานการคำนวณการเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาหลักการ และกฎการทำปฏิกิริยาเคมีทั่วไปมาใช้ได้ ซึ่งจะได้ว่าการเผาไหม้โพรเพน (มีสัดส่วน 70% ของการผลิตแก๊สหุงต้ม) จะเกิดพลังงาน 499,000 Kcal/Kmol ดังสมการที่ 4.22 แสดงสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้โพรเพน

$$C_3H_8+5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O+2086 \text{ MJ/Kmol} \quad (4.22)$$

ในขณะที่การเผาไหม้ของคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปของฟืนหรือแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจะเกิดพลังงาน 97,000 Kcal/Kmol ดังสมการที่ 4.23 แสดงสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้คาร์บอน

$$C+O_2 \rightarrow CO_2+406 \text{ MJ/Kmol} \quad (4.23)$$

ดังนั้นการใช้แก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนจะให้พลังงานความร้อนสูงกว่าและมีมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นฟืนหรือแกลบจึงสามารถใช้แก๊ส LPG แทนการใช้ฟืนหรือแกลบในการต้มน้ำร้อนของโรงฆ่าสุกรและไก่ เพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานลงได้

ในขณะที่โคนม โคเนื้อ กระบือมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์มากกว่าจากการใช้พลังงาน ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนโดยเฉพาะแก๊ส CH_4 จึงควรพิจารณาที่ลักษณะของอาหารที่ใช้หรือปรับลดสัดส่วนปริมาณอาหารหยาบต่ออาหารข้นโดยเฉพาะอาหารหยาบจำพวกฟางหรือหญ้าแห้งที่ต้องใช้ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้องนานย่อยยากและมีเซลลูโลสสูง เพื่อลดปริมาณแก๊ส CH_4 ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยอาหารของแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตแก๊สCH_4 (methanogenic bacteria) เนื่องจากอาหารกลุ่มที่มีเซลลูโลสจะมีส่วนสนับสนุนการผลิตแก๊ส CH_4 มากกว่าอาหารพวกแป้ง (Moe and Tyrell, 1979)

นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 ที่เกิดขึ้นจากมูลสัตว์ การย่อยอาหารและการหายใจระหว่างสัตว์แต่ละชนิดดังรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันโคเนื้อมีสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากมูลและจากการย่อยอาหารกับการหายใจสูงสุดคิดเป็น 35 - 36% ของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ รองลงมาได้แก่กระบือและโคนมตามลำดับ เนื่องจากโคเนื้อ กระบือและโคนมเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งทราบกันดีว่าจะมีการขับไล่แก๊ส CH_4 ออกมาจากการย่อยสลายอาหารจำพวกเส้นใยหรือเซลลูโลสของแบคทีเรียกลุ่มสร้าง CH_4 ที่อยู่ในกระเพาะรูเมน ในขณะที่สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่มีการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากการย่อยอาหารน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของอาหารที่โคนม โคเนื้อ และกระบือกิน จากการศึกษาตามสภาพการเลี้ยงของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมา พบว่าส่วนใหญ่โคเนื้อและกระบือจะกินแต่เฉพาะอาหารหยาบประเภทหญ้าและฟาง ในขณะที่โคนมจะกินอาหารข้นเสริมด้วยในทุกมื้อของอาหาร แสดงว่าชนิดของอาหารมีผลต่อการเกิดแก๊ส CH_4 ซึ่งจะเห็นได้จากการที่โคนมกินอาหารข้นด้วยจะทำให้การเกิดแก๊ส CH_4 น้อยกว่าโคเนื้อและกระบือที่กินเฉพาะหญ้าและฟางเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 : CO_2 ของโคนม โคเนื้อ และกระบือ ดังตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าโคเนื้อมีอัตราส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 : CO_2 สูงสุดเท่ากับ 2.415×10^{-4} ซึ่งคิดเป็น 2 เท่าของอัตราส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 : CO_2 จากกระบือ ซึ่งเท่ากับ 1.359×10^{-4} และโคนมเท่ากับ 1.224×10^{-4} ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนผลการศึกษาที่ว่า การให้สัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารข้น หรือทำการปรับสัดส่วนการให้อาหารหยาบและอาหารข้น แทนที่จะให้กินแต่อาหารหยาบเพียงอย่างเดียว เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากกระบวนการย่อยอาหารได้ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 : CO_2 ระหว่าง

โคเนื้อและกระบือซึ่งถึงแม้ว่าจะกินอาหารหยาบเพียงอย่างเดียวเหมือนกัน แต่จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า กระบือจะก่อให้เกิดแก๊ส CH_4 น้อยกว่าโคเนื้อ ซึ่งคล้ายกันกับ Ichhponani et al. (1971) สังเกตว่ากระบือจะย่อยเซลลูโลสได้ดีกว่าในโคเนื้อ

ซึ่งตรงกับที่ เมธา วรรณพัฒน์ (2533) ได้กล่าวไว้ในหนังสือโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องว่า อาหารหยาบหรืออาหารข้นที่ถูกหมักในรูเมนจะให้ผลผลิตสุดท้ายแตกต่างกันโดยเฉพาะอาหารหยาบจะได้กรดอะซิเตทมากกว่าอาหารข้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดแก๊ส CH_4 สูงตามไปด้วย และเป็นที่ทราบดีว่าอาหารหยาบหรืออาหารข้นนั้นจะถูกหมักอยู่ในกระเพาะรูเมนแล้วให้ผลผลิตสุดท้ายแตกต่างกันโดยเฉพาะกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids; VFA) ซึ่งอาหารหยาบจะได้กรดอะซิเตทสูงกว่าอาหารข้น และทำให้อัตราส่วนของกรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทต่ำกว่าในอาหารข้น จึงทำให้ผลผลิต CH_4 สูงตามไปด้วย ดังนั้นการควบคุมการให้อาหารหยาบหรือสัดส่วนการใช้อาหารหยาบต่ออาหารข้น เพื่อลดการเกิดแก๊ส CH_4 และเพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียบกับปริมาณการเกิดแก๊ส CH_4 เป็นเรื่องที่สามารถทำได้ (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

หรือใช้การแปรรูปอาหารหยาบเช่นการสับหรือหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แทนการใช้อาหารข้นเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายก็จะสามารถช่วยให้การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้นและลดการเกิดแก๊ส CH_4 ได้เพราะว่าอาหารละเอียดจะทำให้สัตว์สามารถกินหญ้าแห้งหรือฟางได้มากขึ้น ระยะพักตัวของอาหารสั้นหรืออัตราการไหลผ่านของอาหารได้เร็วทำให้อาหารผ่านออกหรือพักตัวในกระเพาะรูเมนน้อยลง ซึ่งทำให้จุลินทรีย์มีเวลาในการเข้าย่อยสลายน้อยลงนั่นคือแก๊ส CH_4 จะลดลงได้ (Reid, 1962; Church, 1979; Minson, 1980) นอกจากนี้ Chaturvedi et al. (1973) พบว่า การสับฟางและแช่น้ำค้างคืนทำให้โคและกระบือสามารถกินฟางได้มากขึ้น ซึ่งทำให้การผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงขึ้นด้วย และเมธา วรรณพัฒน์ (2533) ได้กล่าวไว้ว่า การบดหรือการสับอาหารให้เล็กลงนั้นจะมีผลทำให้ผลผลิตกรดไขมันระเหย และแก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนไป โดยสัดส่วนของชนิดกรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทจะเพิ่มขึ้นและปริมาณแก๊ส CH_4 ลดลง

นอกจากนี้แนวทางในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการจัดลำดับความสำคัญเลือกชนิดของสัตว์ที่ควรส่งเสริมให้มีการเลี้ยงเพื่อการผลิตเนื้อเช่น ส่งเสริมให้มีการเลี้ยงกระบือเพื่อการผลิตเนื้อแทนการเลี้ยงโคเนื้อ (เนื่องจากเนื้อสัตว์ทั้งสองชนิดนี้สามารถทดแทนกันได้) เพราะว่าสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากตัวกระบือรวมกับจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ (เลี้ยง ขนส่ง และฆ่า) มีค่าต่ำสุดตามผลการศึกษาที่ได้ ประกอบกับ Ichhponani et al. (1971) สังเกตว่ากระบือจะย่อยเซลลูโลสได้ดีกว่าโคเนื้อ และที่ปริมาณอาหารที่กินเท่ากันโคเนื้อจะมีการขับไล่แก๊ส CH_4 (eructation) มากกว่ากระบือ (Czerkawski, 1986) ซึ่งสอดคล้องกับผลของการศึกษานี้ และควรคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือให้เหมาะสมกับน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ตามที่ได้เคยกล่าวถึงไว้แล้วเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก

ตัวเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ ดังในกราฟรูปที่ 4.11 เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนที่ไม่จำเป็นจากการเลี้ยงที่มีระยะเวลาเลี้ยงไม่เหมาะสม ซึ่งเกษตรกรส่วนมากจะขายเข้าโรงฆ่าสัตว์เมื่อต้องการใช้เงินจึงไม่มีกำหนดเวลาในการเลี้ยงที่แน่นอน (ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ, 2551) ส่วนการผลิตเนื้อจากสัตว์ขนาดเล็กควรส่งเสริมการผลิตเนื้อสุกรมากกว่าเนื้อไก่ ด้วยเหตุผลที่ว่าการผลิตเนื้อสุกรจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดต่ำกว่าการผลิตเนื้อไก่ที่น้ำหนักตัวเท่ากันและควรจัดการลดปริมาณการใช้พลังงานหรือเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงต้มน้ำร้อนที่ใช้ในโรงฆ่าสุกรด้วย ตามที่ได้กล่าวถึงไว้แล้วในตอนต้นก็จะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสัตว์ขนาดเล็กลงได้

นอกจากนี้เมื่อนำค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมในหน่วยตันต่อตัวต่อปีดังที่ได้เคยกล่าวแล้วมาคูณกับปริมาณการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละปีตามสถิติจำนวนปศุสัตว์ของจังหวัดนครราชสีมาตั้งแต่ปี 2544 ถึง ปี 2549 ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 แล้วเขียนกราฟแสดงการปลดปล่อยคาร์บอนในแต่ละปีจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ จะทำให้ได้สมการเชิงเส้น ซึ่งความชันของสมการเชิงเส้นนี้สามารถคาดการณ์แนวโน้มของการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงานเพื่อผลิตเนื้อ นม ไข่จากสัตว์ดังกล่าวได้ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยมีสมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตน้ำนมโค เนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่ ในจังหวัดนครราชสีมาดังนี้

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตน้ำนมโค ที่ $R^2 = 0.90$

$$C\text{-emitted}_{\text{นมโค}} = 1881.6(\text{ปี}) + 28939 \quad (4.24)$$

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตเนื้อโค ที่ $R^2 = 0.78$

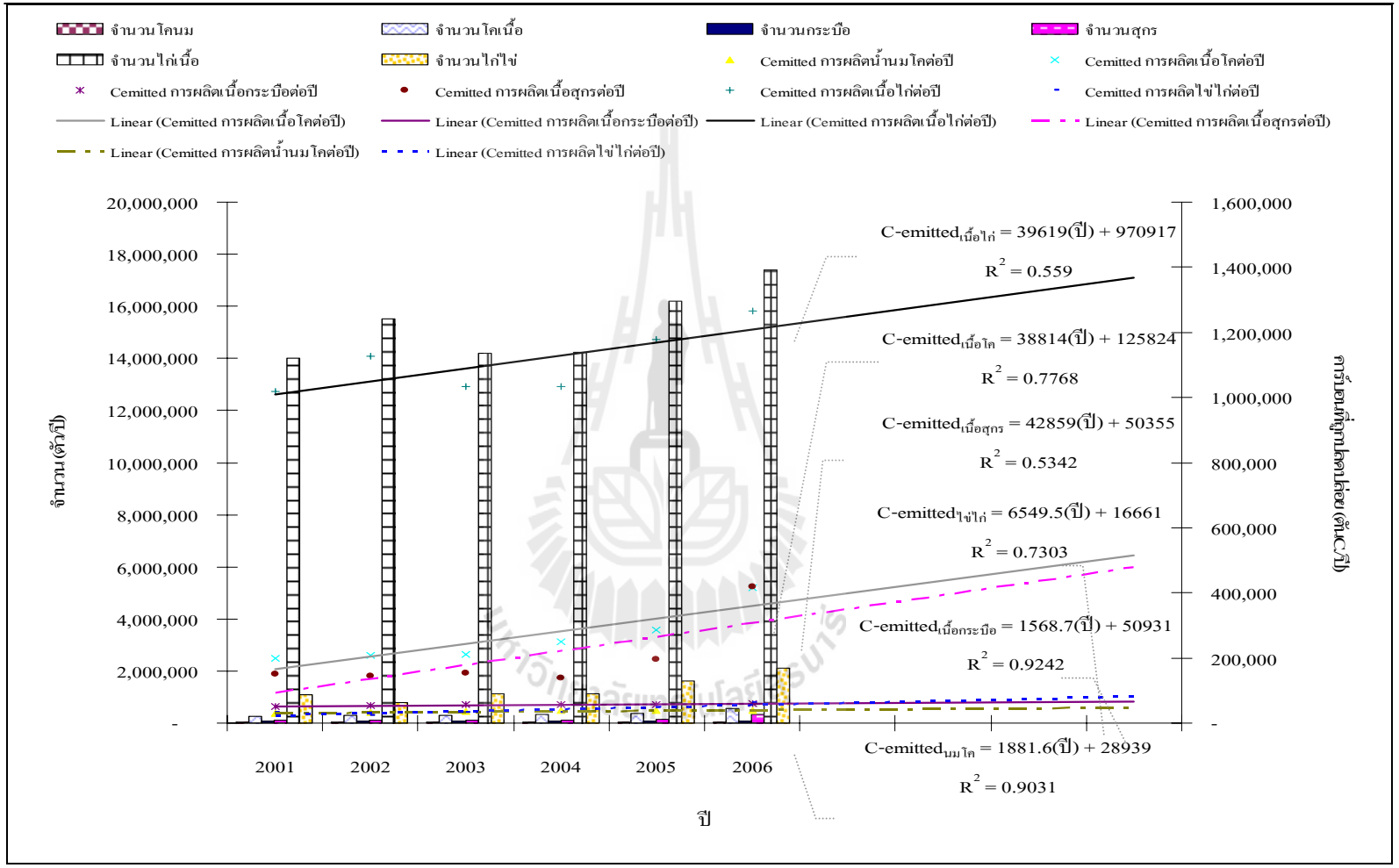
$$C\text{-emitted}_{\text{เนื้อโค}} = 38814(\text{ปี}) + 125824 \quad (4.25)$$

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตเนื้อกระบือ ที่ $R^2 = 0.92$

$$C\text{-emitted}_{\text{เนื้อกระบือ}} = 1568.7(\text{ปี}) + 50931 \quad (4.26)$$

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตเนื้อสุกร ที่ $R^2 = 0.53$

$$C\text{-emitted}_{\text{เนื้อสุกร}} = 42859(\text{ปี}) + 50355 \quad (4.27)$$



รูปที่ 4.25 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยในแต่ละปีสำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ จากสัตว์แต่ละชนิด

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตเนื้อไก่ ที่ $R^2 = 0.56$

$$C\text{-emitted}_{\text{เนื้อไก่}} = 39619(\text{ปี}) + 970917 \quad (4.28)$$

สมการการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิในแต่ละปีจากการผลิตไข่ไก่ ที่ $R^2 = 0.73$

$$C\text{-emitted}_{\text{ไข่ไก่}} = 6549.5(\text{ปี}) + 16661 \quad (4.29)$$

ซึ่งจะพบว่านอกจากการผลิตเนื้อไก่จะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุดที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันแล้ว จำนวนการเลี้ยงไก่เนื้อในแต่ละปีก็ยังมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้เส้นกราฟที่แสดงแนวโน้มการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อสุกรมีความชันมากที่สุด แสดงว่าแนวโน้มของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกรจะมากกว่าการผลิตเนื้อไก่ เนื้อโค และเนื้อกระบือตามลำดับ ซึ่งเมื่อประเมินแนวโน้มของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสัตว์ทั้ง 4 ชนิดจากความชันของเส้นกราฟจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสุกร เนื้อไก่และเนื้อโคจะปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในอัตราที่สูงและสูงกว่าการผลิตเนื้อกระบือมาก นั่นคือมีความเป็นไปได้ในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อ โดยเฉพาะเนื้อที่สามารถทดแทนกันได้ ด้วยการปรับลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อลง แล้วเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือทดแทนเพื่อชดเชยปริมาณการผลิตเนื้อสัตว์ให้มีอัตราเท่าเดิมดังนี้

การทำนายปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากการผลิตเนื้อโคและเนื้อกระบือจะอาศัยการคาดการณ์จำนวนการเลี้ยงกระบือ และโคเนื้อ ในปี 2009 - 2010 ด้วยสมการและผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นซึ่งมีค่า sig. F และ P-value < 0.05 คูณกับปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหน่วยต่อปีของกระบือและโคเนื้อตามลำดับที่น้ำหนักตัวเท่ากันและการประเมินจำนวนที่เหมาะสมของการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือที่ควรจะเป็นไปได้ดังตารางที่ 4.11 (ก) และ (ข) มาเขียนกราฟการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อโคและเนื้อกระบือทีละสัดส่วนของจำนวนการปรับเพิ่มหรือลดการเลี้ยงกระบือและโคเนื้อดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่ามีเส้นกราฟอยู่ 3 กลุ่ม โดยในกลุ่มแรก (กลุ่มที่อยู่ล่างสุด) จะเป็นกราฟที่แสดงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการเลี้ยงกระบือจำนวน 10% - 100% ของผลรวมจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือ ส่วนเส้นกราฟในกลุ่มที่สอง (กลุ่มที่อยู่ตรงกลาง) จะเป็นกราฟแสดงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการเลี้ยงโคเนื้อ จำนวน 10% - 100% ของผลรวมจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือ และเส้นกราฟในกลุ่มสุดท้าย (กลุ่มที่อยู่บนสุด) จะเป็นกราฟแสดงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากจำนวนการเลี้ยงสัตว์ทั้งสองชนิดโดยมีสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ

ตารางที่ 4.11 (ก) การทดลองปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือ

ปีที่	โคเนื้อ +กระบือ	โคเนื้อ (ปกติ)	จำนวนโคเนื้อจากการทดลองปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : จำนวนกระบือ									
2001	334,982	273,085	10 : 90	20 : 80	30 : 70	40 : 60	50 : 50	60 : 40	70 : 30	80 : 20	90 : 10	100 : 0
2002	346,327	283,023										
2003	357,420	290,642										
2004	409,038	343,152										
2005	459,193	390,615										
2006	642,045	570,215										
2007	617,384	544,549	61,738	123,477	185,215	246,954	308,692	370,431	432,169	493,908	555,646	617,384
2008	672,400	597,719	67,240	134,480	201,720	268,960	336,200	403,440	470,680	537,920	605,160	672,400
2009	727,415	650,888	72,741	145,483	218,224	290,966	363,707	436,449[a]	509,190[b]	581,932[c]	654,673	727,415
2010	782,430	704,058	78,243	156,486	234,729	312,972	391,215	469,458[a]	547,701[b]	625,944[c]	704,187	782,430

[a] จำนวนโคเนื้อที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 60 : 40)

[b] จำนวนโคเนื้อที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 70 : 30)

[c] จำนวนโคเนื้อที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 80 : 20)

ตารางที่ 4.11 (ข) สัดส่วนของการทดลองปรับจำนวนการเลี้ยงกระบือ : จำนวนโคเนื้อ

ปีที่	จำนวนกระบือ (ปกติ)	จำนวนกระบือจากสัดส่วนจำนวนกระบือ : จำนวนโคเนื้อที่ถูกปรับ เพื่อให้จำนวนโคเนื้อและกระบือเท่าเดิม									
2001	61,897	10 : 90	20 : 80	30 : 70	40 : 60	50 : 50	60 : 40	70 : 30	80 : 20	90 : 10	100 : 0
2002	63,304										
2003	66,778										
2004	65,886										
2005	68,578										
2006	71,830										
2007	72,835	61,738	123,477	185,215	246,954	308,692	370,431	432,169	493,908	555,646	617,384
2008	74,681	67,240	134,480	201,720	268,960	336,200	403,440	470,680	537,920	605,160	672,400
2009	76,527	72,741	145,483[c]	218,224[b]	290,966[a]	363,707	436,449	509,190	581,932	654,673	727,415
2010	78,372	78,243	156,486[c]	234,729[b]	312,972[a]	391,215	469,458	547,701	625,944	704,187	782,430

[a] จำนวนกระบือที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 60 : 40)

[b] จำนวนกระบือที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 70 : 30)

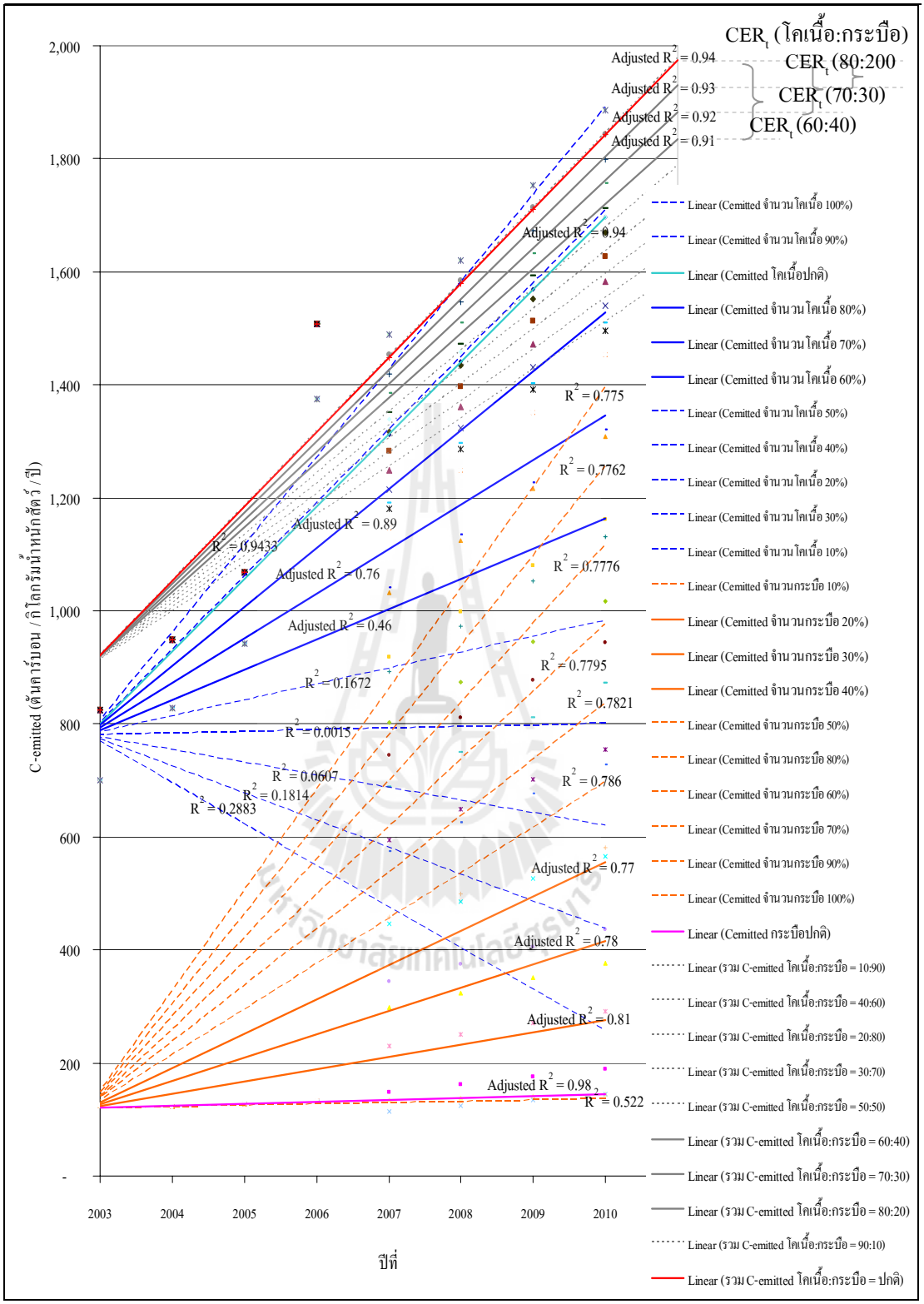
[c] จำนวนกระบือที่ควรเลี้ยงของ CER_t (จำนวนโคเนื้อ: กระบือ = 80 : 20)

สัดส่วนโคเนื้อ : กระบือ ตั้งแต่ (100 : 0) (90 : 10) (80 : 20) (70 : 30) (60 : 40)…(0 : 100) ซึ่งจากกราฟจะพบว่ามีสัดส่วนการปรับลดหรือเพิ่มจำนวนโคเนื้อ : จำนวนกระบือ 3 สัดส่วนคือ (80 : 20) (70 : 30) (60 : 40) ที่ให้ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเป็นจริงซึ่งจะทำให้สามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำปศุสัตว์ลงได้ (certified emission reduction: CER_t) ดังรูปที่ 4.26

ซึ่งจากการพิจารณากราฟที่อยู่ในกลุ่มตรงกลางจะเห็นว่ามีเส้นกราฟอยู่ 3 เส้นคือเส้นกราฟแสดง C-emitted จากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 60% 70% และ 80% ของผลรวมจำนวนการเลี้ยงสัตว์ทั้งสองชนิดที่ทำให้ค่า $C\text{-emitted}_{(โคเนื้อ+กระบือ)}$ รวมลดลงและทำให้ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นมีค่า sig. $F < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

และจากสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อที่มีความเป็นไปได้และทำให้ $C\text{-emitted}_{(โคเนื้อ+กระบือ)}$ รวมลดลง จึงได้ทำการตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นกราฟที่แสดง C-emitted จากจำนวนการเลี้ยงกระบือที่ 20% 30% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งผลของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นมีค่า sig. $F < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

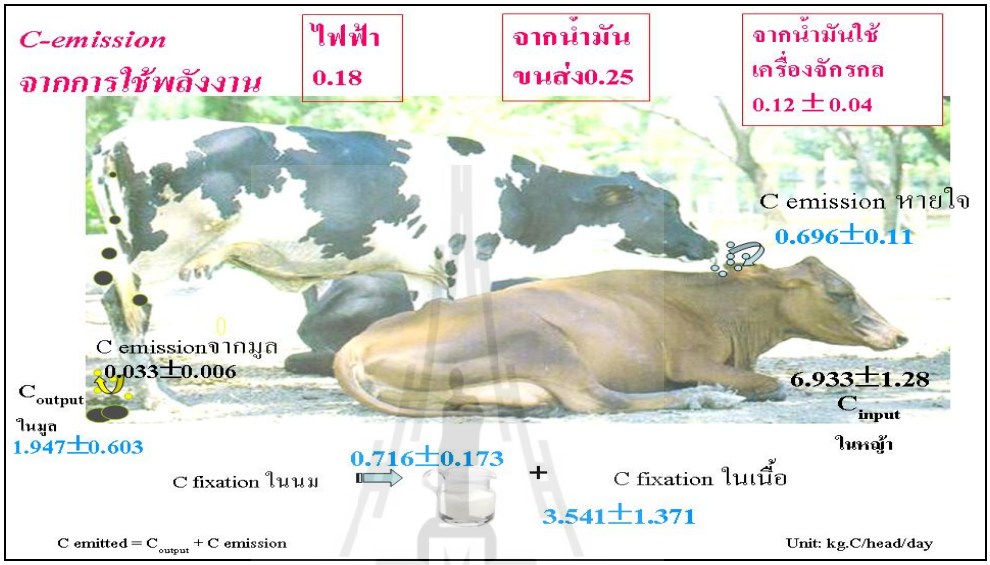
ดังนั้นการปรับสัดส่วนลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อแล้วเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือทดแทนในสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือเท่ากับ (80 : 20) (70 : 30) และ (60 : 40) จะทำให้สามารถลดค่า $C\text{-emitted}_{(โคเนื้อ+กระบือ)}$ รวมลงได้ โดยผลของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของค่า $C\text{-emitted}_{(โคเนื้อ+กระบือ)}$ รวมจากการปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ:กระบือ = 80 : 20 นี้มีค่า significance $F < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะทำให้สามารถบอกได้ว่าในปี 2010 จำนวนโคเนื้อโดยประมาณที่ควรเลี้ยงเท่ากับ 625,944 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.11 (ก) และจำนวนกระบือที่ควรเลี้ยงโดยประมาณเท่ากับ 156,486 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.11 (ข) โดยจะทำให้ได้ค่า CER_{2010} (80 : 20) เมื่อเทียบกับค่า $C\text{-emitted}_{(โคเนื้อ+กระบือ)}$ รวมปกติที่ไม่มีการปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงสัตว์ทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ 4.26 และผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นที่สัดส่วน 70 : 30 จะได้ค่า sig. $F < 0.05$ ซึ่งจะทำให้สามารถบอกได้ว่าในปี 2010 จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือโดยประมาณควรเท่ากับ 547,701 และ 234,729 ตัวตามลำดับและผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นที่สัดส่วน 60 : 40 จะได้ค่า sig. $F < 0.05$ เช่นกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะทำให้กล่าวได้ว่าในปี 2010 จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือโดยประมาณควรเท่ากับ 469,458 และ 312,972 ตัวตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.11 (ก) และ (ข) โดยที่สัดส่วนนี้จะทำให้ได้ค่า CER_{2010} (60 : 40) สูงสุดดังรูปที่ 4.26



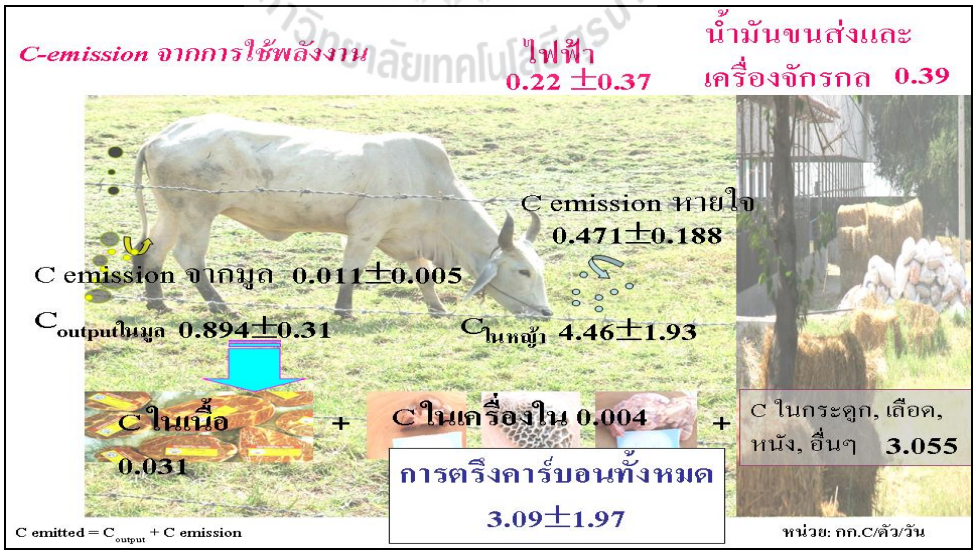
รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การลดลงของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อโคและเนื้อกระบือที่น้ำหนักตัวเท่ากันโดยการปรับเพิ่มจำนวนกระบือและลดจำนวนโคเนื้อ

4.6 สรุปภาพรวมการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ผลการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ การตรึงคาร์บอน และการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินรวมทั้งการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานสามารถสรุปภาพรวมสำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ ได้ดังรูปที่ 4.27 – 4.32

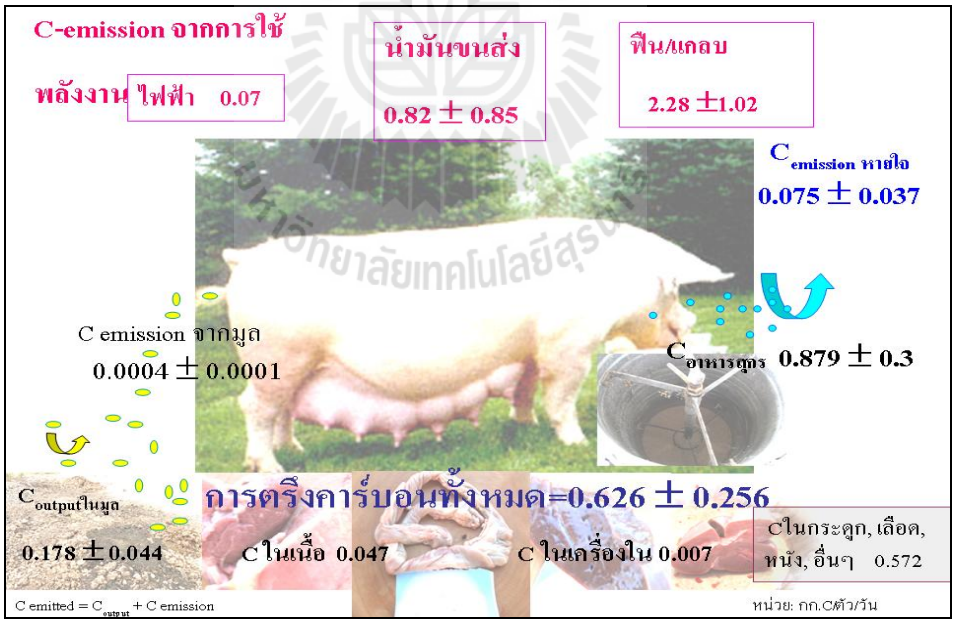


รูปที่ 4.27 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตน้ำนมโค

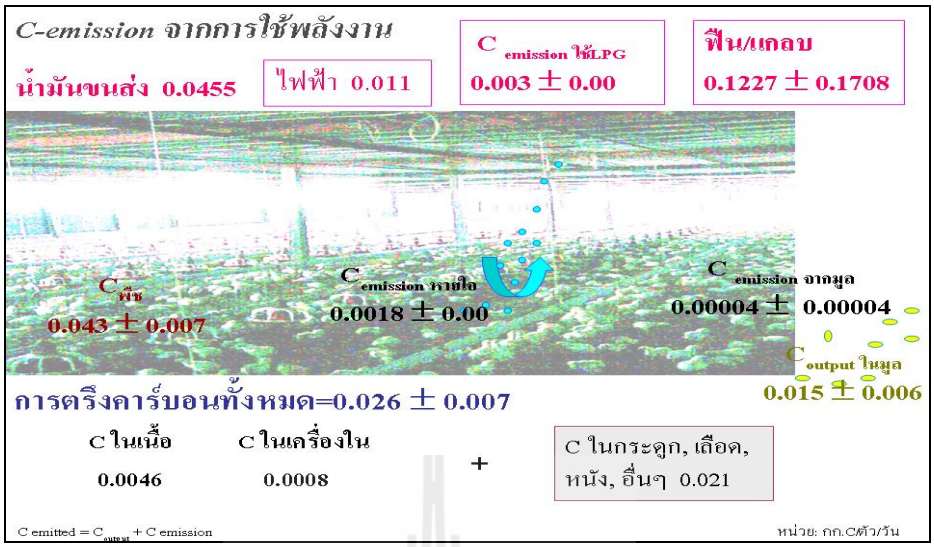


รูปที่ 4.28 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อโค

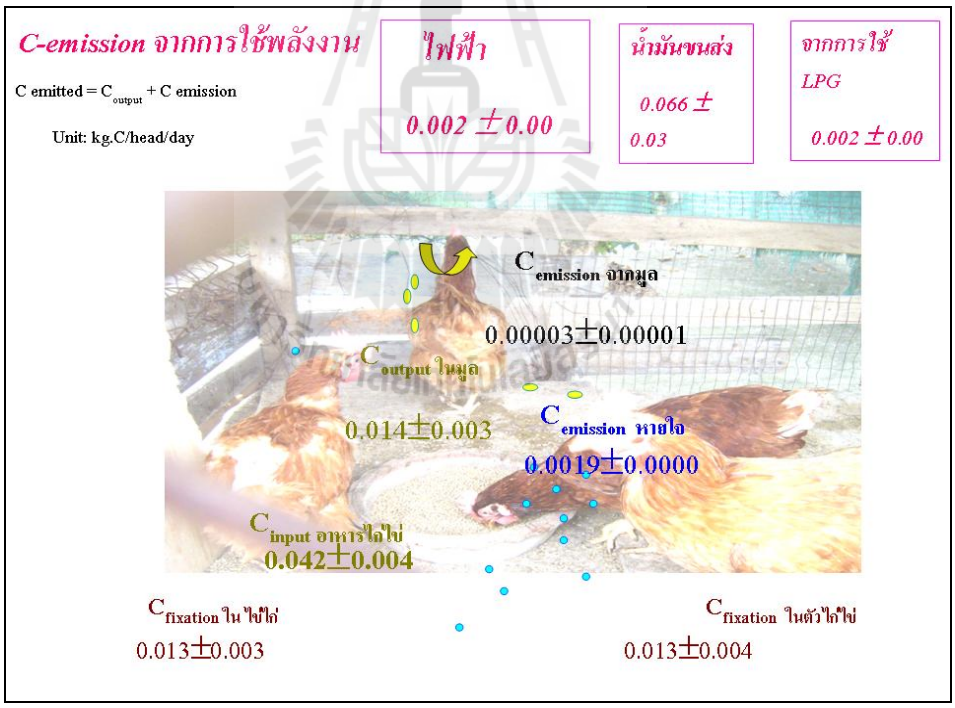
รูปที่ 4.29 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อกระบือ



รูปที่ 4.30 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกร



รูปที่ 4.31 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อไก่



รูปที่ 4.32 ภาพรวมของการถ่ายเท ตรึง และปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตไข่ไก่

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวโดยเทียบจากน้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ต่อวัน (กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) พบว่า ไก่ไข่มีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงสุดเท่ากับ 8.377×10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน ประกอบกับไก่ไข่เป็นสัตว์ที่มีการรับคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินมากที่สุดถึง 21.99×10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่สุกรจะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันต่ำสุดเท่ากับ 2.477×10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน เพราะสุกรรับคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินต่ำสุดเพียง 8.71×10^{-3} กก.C/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่มีความสามารถในการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้มากถึง 71.22% นับเป็นอันดับสองรองจากกระบือ และเมื่อนำค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากสัตว์ชนิดดังกล่าวที่น้ำหนักเท่ากันมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปมูลสัตว์เป็นหลักพบว่า สามารถเรียงลำดับค่าการปลดปล่อยคาร์บอนของสัตว์แต่ละชนิดจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ไก่ไข่>ไก่เนื้อ>โคนม>โคเนื้อ>กระบือ>สุกร

และที่น้ำหนักตัวสัตว์เท่ากันนี้ โคเนื้อมีสัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากมูลและจากการย่อยอาหารกับการหายใจสูงสุดคิดเป็น 35 - 36% ของการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ รองลงมา ได้แก่ กระบือ และโคนมตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าภายใน 1 วัน โคเนื้อ 1 ตัว จากการเลี้ยงตามสภาพของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมามีส่วนในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยแก๊ส CH_4 ได้มากกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีก 5 ชนิด

ผลจากการศึกษาการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์ และหลักการอนุรักษ์มวลทำให้ได้แนวทางในการบ่งชี้ถึงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดดังสมการที่ 5.1

$$\text{C-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์รวมทุกชนิด})} = (0.98)\text{Dairy cows} + (0.50)\text{Oxen} + (0.66)\text{Buffaloes} + (0.09)\text{Pig} + (0.0062)\text{Chickens} + (0.0058)\text{Hens} \quad (5.1)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์รวมทุกชนิด})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวของโคนม โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

ส่วนการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากพืชอาหารไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวด้วยการกิน แล้วมาสะสมเป็นร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายของสัตว์ในช่วงระยะเวลาของการเลี้ยง ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอน $(C_{plant} - C_{emitted}) / C_{plant}$ พบว่า กระบือมีประสิทธิภาพการตรึงปริมาณคาร์บอนจากหญ้ามาสะสมไว้ในร่างกายได้มากที่สุดถึง 72.33% ในขณะที่ไก่เนื้อมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนจากอาหารสัตว์ต่ำที่สุดเพียงแค่ 60.47%

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยต่อปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่ถ่ายเทไปสู่สัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดยการกินจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์บางส่วนที่เหลือจากการตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตัวไก่เนื้อเท่ากับ 39.53% โคนม 38.60% ไก่ไข่ 38.10% โคเนื้อ 30.85% สุกร 28.78% และต่ำสุด ได้แก่ กระบือเท่ากับ 27.67% ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในแต่ละวันกระบือ 1 ตัว มีความสามารถในการปลดปล่อยคาร์บอนออกจากร่างกายได้น้อยกว่าสัตว์ทุกชนิดดังกล่าวเมื่อเทียบจากปริมาณคาร์บอนที่กินเข้าไปเท่ากัน ดังนั้นกระบือจึงมีส่วนทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา ในขณะที่ไก่เนื้อ 1 ตัวมีร้อยละของการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงสุดถึง 65.38% เทียบจากปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในตัวไก่เนื้อเอง ดังนั้นการเลี้ยงไก่เพื่อผลิตเนื้อจึงมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าการเลี้ยงสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีก 5 ชนิด

ผลจากการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ โดยการกินที่สัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์ในแต่ละชนิดและหลักการอนุรักษ์มวลนั้นทำให้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากปริมาณการกินอาหารของสัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาดังสมการที่ 5.2 และปริมาณการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายสัตว์รวมทั้งนมโคและไข่ไก่ดังสมการที่ 5.3

$$C_{plant\ จากสัตว์ทุกชนิด} = (2.53)Dairy\ cows + (1.63)Oxen + (2.38)Buffaloes + (0.32)Pigs + (0.016)Chickens + (0.015)Hens \quad (5.2)$$

$$C_{fixation\ จากสัตว์ทุกชนิด} = (1.55)Dairy\ cows + (1.13)Oxen + (1.72)Buffaloes + (0.23)Pigs + (0.0095)Chickens + (0.0095)Hens \quad (5.3)$$

โดยที่ $C_{plant\ จากสัตว์ทุกชนิด}$ = ปริมาณมวลคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์จากปริมาณการกินพืชอาหารของสัตว์ทุกชนิด (ตันคาร์บอนต่อปี)

$C_{fixation\ จากสัตว์ทุกชนิด}$ = ปริมาณมวลคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งนมโคและไข่ไก่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

และจากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวและโรงฆ่าสัตว์รวมทั้งสหกรณ์โคนมในจังหวัดนครราชสีมาพบว่า มีการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเนื้อโค เนื้อกระบือ และนมโคน้อยมากซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 1.36% 0.76% และ 0.80% ตามลำดับเมื่อคิดเทียบจากสัตว์ทุกชนิดที่ทำการศึกษาโดย

- โคนมโคเนื้อ กระบือ และไก่ไข่ มีการปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จากการใช้พลังงานน้ำมันขนส่ง

- สุกร และไก่เนื้อมีการปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จากการใช้ฟืน หรือแกลบเพื่อต้มน้ำร้อนลวกขูดหรือถอนขน ซึ่งการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดที่โรงฆ่าสัตว์มากกว่าจากฟาร์ม

และเมื่อเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่า ไก่เนื้อมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานรวมของฟาร์ม และโรงเชือดไก่ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเนื้อมากที่สุดคิดเป็น 51.80% ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อ นม ไข่ จากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ดังนั้นจากผลรวมของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานที่ใช้

ทั้งหมดของฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม จึงสามารถสรุปได้ว่า การผลิตเนื้อไก่มีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน

ผลการศึกษานี้และจากหลักการอนุรักษ์มวลทำให้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากพลังงานที่ฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมใช้ในการผลิตน้ำนมโค เนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่ ดังสมการที่ 5.4

$$\text{C-emission}_{(\text{พลังงานจากการผลิตเนื้อ นม ไข่})} = (0.20)\text{Dairy cows} + (0.23)\text{Oxen} + (0.19)\text{Buffaloes} + (1.16)\text{Pigs} + (0.0665)\text{Chickens} + (0.0255)\text{Hens} \quad (5.4)$$

โดยที่ $\text{C-emission}_{(\text{พลังงานจากการผลิตเนื้อ นม ไข่})}$ = ปริมาณคาร์บอนรวมที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ นมไข่(ตันคาร์บอนต่อปี)

Oxen = จำนวนโคเนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือที่เลี้ยง (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อที่เลี้ยง (ตัว)

Dairy cows = จำนวนโคนมที่เลี้ยง (ตัว)

Hens = จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยง (ตัว)

นอกจากนี้ถ้าคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันสำหรับการผลิตนมโค เนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกร เนื้อไก่ และไข่ไก่ พบว่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งจากตัวสัตว์และจากการใช้พลังงานเท่ากับ 2.62, 2.41, 1.86, 12.38, 31.07 และ16.43 ตันC./ตัน$_{\text{นน.สัตว์}}$/ปี ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่าการผลิตเนื้อไก่ทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสูงสุดคิดเป็น 46.53% ของการผลิตเนื้อ นม ไข่ทั้งหมด ในขณะที่การผลิตเนื้อกระบือมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่ำสุดคิดเป็นแค่ 2.79% ของการผลิตเนื้อ นม ไข่ เท่านั้น และผลการศึกษานี้ยังทำให้สามารถระบุถึงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ นมโค และไข่ไก่ ได้ดังสมการที่ 5.5 – 5.7 ตามลำดับดังนี้

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตเนื้อโค เนื้อกระบือ เนื้อสุกรและเนื้อไก่

$$\text{C-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้})} = (0.73)\text{Oxen} + (0.85)\text{Buffaloes} + (1.25)\text{Pigs} + (0.07)\text{Chickens} \quad (5.5)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้})}$ = การปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากตัวสัตว์แต่ละชนิดและจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตเนื้อสัตว์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Oxen = จำนวนโคเนื้อ (ตัว)

Buffaloes = จำนวนกระบือ (ตัว)

Pigs = จำนวนสุกร (ตัว)

Chickens = จำนวนไก่เนื้อ (ตัว)

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตนมโค

$$C\text{-emitted}_{(\text{ตัวโคนม+พลังงานที่ใช้})} = (1.18)\text{Dairy cows} \quad (5.6)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวโคนม+พลังงานที่ใช้})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากโคนมและจากพลังงานที่ใช้สำหรับการผลิตนมโค (ตันคาร์บอนต่อปี)

Dairy cows = จำนวนโคนม (ตัว)

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตไข่ไก่

$$C\text{-emitted}_{(\text{ตัวไก่ไข่+พลังงานที่ใช้})} = (0.03)\text{Hens} \quad (5.7)$$

โดยที่ $C\text{-emitted}_{(\text{ตัวไก่ไข่+พลังงานที่ใช้})}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวไก่ไข่และจากพลังงานที่ใช้สำหรับการผลิตไข่ไก่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Hens = จำนวนไก่ไข่ (ตัว)

5.2 สรุปแนวทางการลดการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อ นม และไข่

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเนื่องจากโคนม โคเนื้อ กระบือ เป็นสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันในการผลิตเนื้อและนมน้อย ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของมูลสัตว์ การย่อยอาหารและการหายใจ ในขณะที่สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จากการใช้พลังงาน ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน จากการผลิตเนื้อสุกร และเนื้อไก่ ควรสนใจที่ประเด็นของการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหรือเปลี่ยนแนวทางในการใช้เชื้อเพลิงของโรงฆ่าสุกรและไก่ ก็จะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกรและเนื้อไก่ลงได้ เช่นการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ในการต้มน้ำร้อนแทนการใช้ฟืนหรือแกลบ

ในขณะที่โคนม โคเนื้อ กระบือมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์มากกว่าจากการใช้พลังงาน ดังนั้นแนวทางเลือกเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน แนวทางที่หนึ่งที่สามารถทำได้โดยการจัดลำดับความสำคัญเลือกชนิดของสัตว์ที่ควรส่งเสริมให้มีการเลี้ยงเพื่อการผลิตเนื้อ เช่น ส่งเสริมให้มีการเลี้ยงกระบือเพื่อการผลิตเนื้อแทนการเลี้ยงโคเนื้อ (เนื่องจากเนื้อสัตว์ทั้งสองชนิดนี้สามารถทดแทนกันได้) เพราะว่าสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากตัวกระบือรวมกับจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ (เลี้ยง ขนส่ง และฆ่า) มีค่าต่ำสุดตามผลการศึกษาที่ได้ ส่วนการผลิตเนื้อจากสัตว์ขนาดเล็กควรส่งเสริมการผลิตเนื้อสุกรมากกว่าเนื้อไก่ ด้วยเหตุผลที่ว่าการผลิตเนื้อสุกรจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดต่ำกว่าการผลิตเนื้อไก่ที่น้ำหนักตัวเท่ากัน

แนวทางที่สองที่สามารถทำได้ โดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือให้เหมาะสมกับน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนที่ไม่จำเป็นจากการเลี้ยงที่มีระยะเวลาเลี้ยงไม่เหมาะสม โดยโคเนื้อสามารถสะสมปริมาณคาร์บอนจากในหญ้ามาเก็บไว้ในร่างกายได้สูงสุดในช่วงอายุ 0 - 2 ปี ในขณะที่กระบือจะอยู่ที่ 0 - 4 ปี ดังนั้นจึงควรที่จะขายโคเนื้อหรือกระบือเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์ในช่วงอายุไม่เกินไปจากนี้เพราะหลังจากนี้โคเนื้อและกระบือจะมีอัตราการสะสมคาร์บอนไว้ในร่างกายลดลง

ส่วนแนวทางเลือกที่สาม เมื่อประเมินแนวโน้มของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสัตว์ทั้ง 4 ชนิดจากความชันของเส้นกราฟจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสุกร เนื้อไก่ และเนื้อโค จะปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในอัตราที่สูงและสูงกว่าการผลิตเนื้อกระบือมาก นั่นคือมีความเป็นไปได้ในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อ โดยเฉพาะเนื้อโค และเนื้อกระบือที่สามารถทดแทนกันได้ ด้วยการปรับลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อลง แล้วเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือทดแทนเพื่อชดเชยปริมาณการผลิตเนื้อสัตว์ให้มีอัตราเท่าเดิม ซึ่งผลจากการศึกษา เพื่อประเมินการลดปริมาณคาร์บอนในปี 2010 จากการปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือของจังหวัดนครราชสีมา ในปัจจุบัน สามารถสรุปได้ว่า

- จากการปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 80 : 20
  - โคเนื้อโดยประมาณที่ควรเลี้ยงเท่ากับ 625,944 ตัว
  - จำนวนกระบือที่ควรเลี้ยงโดยประมาณเท่ากับ 156,486 ตัว
  - C-emitted ลดลง = 43 Ton C/ปี (คิดที่สัตว์หนัก 1 kg./ตัว)
- ที่สัดส่วน 70 : 30
  - จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือโดยประมาณควรเท่ากับ 547,701 และ 234,729 ตัวตามลำดับ
  - C-emitted ลดลง = 87 Ton C/ปี (คิดที่สัตว์หนัก 1 kg./ตัว)

- ที่สัดส่วน 60 : 40
  - จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือโดยประมาณควรเท่ากับ 469,458 และ 312,972 ตัวตามลำดับ
  - C-emitted ลดลง = 130 Ton C/ปี (คิดที่สัตว์หนัก 1 kg./ตัว)

เนื่องจากสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือ ในปัจจุบันของจังหวัดนครราชสีมาอยู่ที่ 90 : 10 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ถ้ามีการปรับสัดส่วน ลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือ 3 สัดส่วนคือ(80 : 20) (70 : 30) (60 : 40) ที่ให้ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเป็นจริง ดังนั้นการปรับสัดส่วนลดจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อแล้วเพิ่มจำนวนการเลี้ยงกระบือทดแทน ในสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือเท่ากับ (80 : 20) (70 : 30) และ (60 : 40) จะทำให้สามารถลดค่า C-emitted$_{(\text{โคเนื้อ+กระบือ})}$ รวมลงได้ตามลำดับความเป็นไปได้ที่จะสามารถบริหารจัดการได้จากง่ายไปหายาก ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะต้องได้รับความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่ของกรมปศุสัตว์และเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ชนิดดังกล่าว

ซึ่งแนวทางเลือกบริหารจัดการจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือในจังหวัดนครราชสีมาเพื่อปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ : กระบือ = 80 : 20 เป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด เมื่อคิดถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการผลิตเนื้อ แต่แนวทางเลือกดังกล่าวก็เป็นเพียงแค่แนวทางเลือกหนึ่งเท่านั้น โดยที่ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ เช่นทางด้านสังคมและเศรษฐศาสตร์ประกอบ ซึ่งควรมีการศึกษาต่อยอดงานวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กันยา ตันติวิสุทธิกุล. (2551). โคเหนือเขื่อน. **ประชาคมวิจัย** ปีที่ 13. ฉบับที่ 78.

กรมการค้าภายใน. (7 กรกฎาคม 2549). ราคาพืชไร่และวัตถุดิบอาหารสัตว์ และราคาขายปลีกเนื้อสัตว์ ไข่ และราคาสัตว์น้ำ. **หนังสือพิมพ์ คม ชัด ลึก**.

กรมปศุสัตว์. (2548). **ข้อมูลสถิติปศุสัตว์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http:// www.dld.go.th/index.html

กรมปศุสัตว์. กองอาหาร. (2548). **การเลี้ยงโคและสุกร** [ออนไลน์]. ได้จาก: http:// www.dld.go.th/ict

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542). **Biomass Energy in Asia: A Study on Selected Technologies and Policy Options.** อ้างถึงในนพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (หน้า 3-1 ถึง 3-79) พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2545). **หลักสถิติ.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4**. มหาวิทยาลัยรังสิต.

จงจินต์ ผลประเสริฐ (2546). เราควรทำอย่างไร สำหรับพิธีสารเกียวโตในการลดปริมาณระบายแก๊สเรือนกระจก. **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.** (หน้า 167-175). ขอนแก่น:มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จรัญ จันทลักขณา. (2526). **การพัฒนาปศุสัตว์เพื่อชนบท**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เฉลิมศักดิ์ วานิชสมบัติ. (2549). สภาวะโลกร้อน การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ นโยบาย กฎระเบียบ กระบวนการ และข้อดีของกลไกการพัฒนาที่สะอาด. **การสัมมนาวิชาการ "ผู้ประกอบการได้อะไร...จากโครงการด้านกลไกการพัฒนาที่สะอาด: Clean Development Mechanism, CDM"**. (หน้า 1-31). สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว. และคณะ. (2528). **หลักการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป**. คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย

ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. (2551). ระบบการผลิตโคเนื้อของประเทศไทย. **ประชาคมวิจัย** ปีที่ 13. ฉบับที่ 78.

ดรุณี เอ็ดเวิร์ดส. (2534). **เทคโนโลยีการผลิตอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 8. ภาควิชาอุตสาหกรรมการบริการ. คณะบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ทิม พรรณศิริ. (2531). **ชนิดของสัตว์เลี้ยง.** สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 12.

ธนากร ฤทธิ์ไชสง. (2546). การเลี้ยงกวางเป็นสัตว์เศรษฐกิจ. **สัตว์เศรษฐกิจเงินล้าน.** บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด.

ธำรงค์ เมฆโหรา. (2551). จากฟาร์มสู่ตลาดของโคไทย. **ประชาคมวิจัย** ปีที่ 13. ฉบับที่ 78.

นิตยา เลาหะจินดา. (2549). **นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประทีป เด็ดแก้ว วนิดา วาเกริกกุลชัย สุกานดา โพธิ์ศรี และชาติ เกสรกุล. (2540). การศึกษาการจัดการการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม โรงฆ่าสัตว์. **วารสารการส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม** ปีที่ 20 ฉบับที่ 3.

ประธาน เกิดกล่ำ. (2549). **ความต้องการฝึกอบรมของอาสาพัฒนาปศุสัตว์ประจำหมู่บ้านในจังหวัดน่าน**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th/person/information/wor10/192.doc

ประภาพร ตั้งธนธานิช. (2545). **สรีรวิทยาระบบทางเดินอาหารและลำไส้**. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปรารถนา ยศสุข. (2551). **การสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย**. [ออนไลน์]. ได้จาก:http://sas.mjuknow.org/modules/extcal/event.php?event=2

พวงพร โชติกไกร. (2534). **จุลชีววิทยาของอาหารและนม.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

พานิช ทินนิมิตร. (2535). **หลักการเลี้ยงสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ

พัชรา วีระกะลัส. (2544). **พลังงานและเมแทบอลิซึม.** พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย. 438 หน้า

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2542). **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

ภาควิชาสัตวบาล. (2525). **หลักการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2538). **เอกสารประกอบคำบรรยาย วิชาเคมี ของโครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษภาคฤดูร้อน Brand's Summer Camp'95**. โครงการ Brand's Summer Camp พ.ศ.2538. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2545). **เอกสารการสอนชุดวิชา การผลิตสัตว์ หน่วยที่ 1 – 15.** นนทบุรี : มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยงเอื้อง.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

มุกดา สุขสมาน. (2536). **ชีวิตกับสภาพแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มัลลิกา บุนนาค. (2551). **สถิติเพื่อการวิจัยและตัดสินใจ.** พิมพ์ครั้งที่ 7. ภาควิชาสถิติ. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. (2536). **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ

วรวิทย์ วณิชาภิชาติ. (2525). **ไข่และการฟักไข่.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วรวิทย์ วณิชาภิชาติ. (2528). **นมและผลิตภัณฑ์นม.** ว.สงขลานครินทร์ 7: (3): 325-334

วินัย กาญจนมาลา. (2549). **โลกสัตว์เลี้ยง**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.vet.ku.ac.th.

วิทธวัช โมพี. (2540). เอกสารประกอบการสอน โภชนศาสตร์สัตว์กระเพาะเดี่ยว. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิทย์ ธารชลานุกิจ. (2527). การใช้มูลสุกรเลี้ยงปลา. **สัตว์เศรษฐกิจ.** 2 (11): 18-26.

ศรเทพ ธัมวาสร. (2545). **กลยุทธ์การวิจัยทางสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

ศิริพันธ์ โมราถบ และสมบูรณ์ เด่นวานิช. (2539). อุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อ และเนื้อไก่. **การพัฒนาปศุสัตว์ไทย**. สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2538). **การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2547). **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี ๒๕๔๗.** เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ ๔๑๐. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ.

สมคิด สลัดยะนันท์, วสันต์ จอมภักดี และสัมพันธ์ ไชยเทพ. (2535). การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ. **เอกสารประกอบการสัมมนาแก๊สชีวภาพในประเทศไทย: สถานภาพปัจจุบันและศักยภาพในอนาคต.** 27-28 กุมภาพันธ์. เชียงใหม่.

สมพงษ์ ธรรมถาวร. (2541). **หลักชีววิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีววิทยา. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สมโภชน์ ทับเจริญ. (2528). **การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตอายุการเป็นหนุ่ม และคุณภาพน้ำเชื้อของโคลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชี่ยน กับโคไทยสายเลือดซีบู ระดับสายเลือดร้อยละ 50, 75, และ 87.5**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช ค้าเจริญ. (2542). **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สัญชัย จตุรสิทธา. (2547). **Meat Management.** ภาควิชาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุรชัย ชาครียรัตน์. (2529). **หลักการผลิตสัตว์โดยภาพถ่าย.** สัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรินทร์ นิยมางกูร. (2542). **เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: เกษตรศาสตร์

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (1994). **Thailand's National Greenhouse Gas Inventory.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.thaiwikidata.org/wiki /index.php

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครราชสีมา. (2549). **สถิติปศุสัตว์รายอำเภอตั้งแต่ปี 2539-2548. จังหวัดนครราชสีมา.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th/pvlo_nak

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด จังหวัดนครราชสีมา. (2549). **การคำนวณอัตราการผลิตและอัตราการบริโภคของปศุสัตว.** (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 5 จังหวัดนครราชสีมา. (2547). **ทางเลือกในการผลิตทางการเกษตรปี 2547 จังหวัดนครราชสีมา.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

อรรถชัย จินตะเวช. (2547). **การสะสมคาร์บอน**. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). **นิเวศวิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช

Abstract from: **Department of Livestock Development**. (2004). [online]. Available on http://www. thaifeed.net/

Abstract from: **Kyoto Protocol to United Nations Framework Convention on Climate Change** [online]. Available on http://unfcc.int/resource/docs/ convkp/kpeng.html and http://unfccc.int /resource/conv/

Abstract from [online]. Available on http://www.mypyramid.gov/pyramid/meat_ amount

Acker, D. and Cunningham, M. (1991). **Animal science and industry.** 4th Edition. New Jersey: Prentice Hall, Englewood cliffs.

Agrawal, R.C. and Heady, E.O. (1972). **Operations Research Methods for Agricultural Decisions.** Iowa: The Iowa State University Press.

Alhamd, L., Arakaki, S., and Hagihara, A. (2004). Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan. **Forest Ecology and Management.** 202: 1-11.

APHA, AWWA, WEF. (1992). **Standard Methods for the Exmination of Water and Wastewater**. 18th Edition. Wash. D.C., USA: American Public Health Assoc.

Bishop, Paul L. (2000). **Pollution Prevention - Fundamentals and Practice**. New York: McGraw-Hill

Bouwman, A. F. (1998). Nitrogen oxides and tropical agriculture**. Nature**. 392: 866-867

Brody, S. (1945). **Bioenergetics and Growth**. New York: Hafner.

Bunyavejchewin, P., Rompopak, W., Vechabusakorn, O., Khumnerdpetch, W., Pikulthong, P., and Chantalakhana, C. (1985). **Comparative Efficiency of Tapes for Estimation of Weight of Swamp Buffaloes and Cattle. Annual Report 1985.** The National Buffalo Research and Development Center Project. Bangkok, Thailand.

Buswell, A. M., and Mueller, H. F. (1952). Mechanisms of methane fermentation. **Industrial Engineering Chemistry**. 44:550-552.

Casey, T. J. (1981). Developments in anaerobic digestion. **Transactions of the Institute of Engineers in Ireland.** 105:25-32.

Cavana, R. Y., Delahaye, B. L. and Sekaran, U. (2000). **Applied Business Research: Qualitative and Quantitative Methods.** New York: John Wiley&Sons.

Canadell, Josep G. and Noble, Ian. (2001). Challenges of a changing Earth. **Trends in Ecology & Evolution**. 16(12): 664-666.

Canadell, Josep G. and Pataki, Diane. (2002). New advances in carbon cycle research. **Trends in Ecology & Evolution**. 17(4): 156-158.

Chaturvedi, M.L., Singh, U.B., and Ranjhan, S.K. (1973). **Journal of Agricultural Science.** Camb. 80: 393.

Church, D.C. (1979). Livestock Feeds and Feeding. **O&B Books.** Oregon, U.S.A.: Corvallis.

Cole, H. H. (1966). **Introduction to Livestock Production, Including Dairy and Poultry**. Second Edition. San Francisco&London: W.H. Freeman and Company.

Crill, P. M., Keller, M., Weitz, A., Grauel, B, and Veldkamp, E. (2000). Intensive field measurements of nitrous oxide emissions from a tropical agricultural soil. **Global Biogeochem. Cycles**. 14: 85-95.

Cunningham, W. P. and Saigo, B. W. (2001). **Environmental Science**: A global concern McGraw-Hill higher education. Singapore. p 646.

Czerkawski, J.W. (1986). **An Introduction to Rumen Studies.** Pregamon. U.K.: Oxford.

Dämmgen, U., and Webb, J. (2006). The development of the EMEP/CORINAIR Guidebook with respect to the emissions of different nitrogen and carbon species from animal production. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** 112: 241-248.

Davidson, E.A., and Ackerman, I.L.(1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry.** 20: 161-193.

Davis, Jessica and Paustian, Keith. (2002). The greenhouse effect and carbon sequestration. **Publication of Cooperative Extension**. Department of Soil & Crop Sciences. Colorado State University. 22(2).

De Boer, I.J.M. (2003). Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**. 80: 69-77.

Devore, Jay L. (1995). **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**. 4th edition. USA.: Wadsworth.

Dunn, M. S., Camien, M. N., Malin, R. B., Murphy, E. A., and Reiner, P. J. (1949). Percentages of twelve amino acids in blood, carcass, heart, kidney, liver, muscle, and skin of eight animals. **University of California publications in Physiology.** 8: 293-325.

Eghball, B., Power, J. F., Gilley, J. E., and Doran, J. W. (1997). Nutrients, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feed lot manure. **Journal of Environmental Quality**. 26: 189-193.

Foley, R. C., Bath, D. L., Dickenson, F. N., and Tucker, H. A. (1972). **Dairy Cattle, Principles, Practices, Problems, Profiles.** 693. Philadelphia: Lea & Febiger.

Follett, R., Samson-Liebig, S. E., Kimble, J. M., Pruessner, E. G., and Waltman, S. W. (2001). Carbon sequestration under the CRP in the historic glassland soils in the USA. pp 27-40. In: Lal, R. and McSweeney, K. **Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration, Soil Science Society of America Special Publication**, Madison, WI.

Garton, Bryan L. and Birkenholz, Robert J. (1998). **Global Climate Change and Environmental Stewardship by Ruminant Livestock Producers.** (Environmental Protection Agency Report NO. CX824859-01-0) The United States Environmental Protection Agency in Cooperation with The National Council for Agricultural Education, and The National Future Farmers of America Foundation.

Guérin, H., Richard, D., Lefevre, P., Friot, D., and Mbaye, N. (1989). Prévision de la valeur nutritive des fourrages ingérés sur parcours naturels par les ruminants domestiques sahéliens et soudaniens. In: **XVIth International Grassland Congress. Institut National de la Recherche Agronomique**. pp. 879-880. 4-11 Octobre. France: Nice.

Hanzade, et al. (2001). **Energy Conversion & Management.** 42:11-20

Harden, J.W., Sharpe, J.M., Parton, W.J., Ojima, D.S., Fries, T.L., Huntington, T.G., and Dabney, S.M. (1999). Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland. **Global Biogeochemical Cycles.** 13: 855-901.

Hartung, J. (1992). Emission and control of gases and odorous substances from animal housing and manure stores. **Ziegler, Biersack and Littmark Hygiene.** 192(5): 389-418.

Hartung, J. and Phillips, V.R. (1994). Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 57(3): 173-189.

Hashizume, T., Masubuchi, T., Hamada, T., Abe, M., Chiba, H., and Yokota, C. (1963). Studies of energy metabolism in cattle. I. Influence of temperature on the resting metabolism of dry Hostein cows. **Bulletin of National Institute of Animal Industry.** In Japanese. 2: 61-68.

Herren, R.V. (1994). **The science of animal agriculture.** New York: Delmar publishers Inc.

Herren, R.V. (1998). **The science of animal agriculture.** 2nd ed., New York: Deimar. p 260.

Hirota, M., Tang, Y., Hu, Q., Kato, T., Hirata, S., Mo, W., Cao, G., and Mariko, S. (2005). **The potential importance of grazing to the fluxes of carbon dioxide and methane in an alpine wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau.** Atmospheric Environment. 39: 5255-5259.

Hogan, K.B. (1993). **Anthropogenic Methane Emissions in the United States: Estimates for 1990 Report to Congress.** (Environmental Protection Agency Report No. 430-R-93-003). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Hogberg, M.G., Fales, S.L., Kirschenmann, F.L., Honeyman, M.S., Miranowski, J.A., and Lasley, P. (2005). Interrelationships of animal agriculture, the environment, and rural communities. **Journal of Animal Science**. 83: E13-E17.

Houghton, R.A., and Hackler, J.L. (2000). Changes in terrestrial carbon storage in the United States, I, The roles of agriculture and forestry. **Global Ecology and Biogeography**. 9: 125-144.

Howden, S.M., Mc Keon, G.M., Walker, L., Carter, J.O., Conroy, J.P., Day, K.A., Hall, W.B., Ash, A.J., and Ghannoum, O. (1999). Global change impacts on native pastures in south-east Queensland, Australia. **Environmental Modelling&Software.** 14: 307-316.

Ichhponani, J.S., Makkar, G.S., and Sidu, G.S. (1971). **Indian Veterinary**. 1: 809.

Ickowicz, A., Usengumuremyi, J., Badiane, A., Richard, D., Colleye, F., and Dupressoir, D. (1998). Interactions entre jachére et systémes d'alimentation des bovines en zone soudanienne du Sénégal: choix techniques et dynamique de développement (zone soudanienne, Sénégal). In: **Floret, C., Pontanier, R. (eds.), Jachére et Systémes Agraires, Niamey, Niger.** pp. 123-138. 30 Septembre – 2 Octobre. ORSTOM: Dakar

Ickowicz, A., Richard, D., and Usengumuremyi, J. (1999). Estimation of organic matter transfers by cattle in a Senegalese village. In: **Proceedings of the VIth International Rangeland Congress**. pp. 500-502. 19-23 July. Australia: Townsville.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). **Climate Change 1995, The Science of Climate Change.** Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory.** [On-line]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jb/public/gl/invs1.htm (อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1-2547. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.)

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). **Climate Change 2001, The Scientific Basis.** The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Izac, A.-M.N., and Swift, M.J. (1994). On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in sub-Saharan Africa. **Ecological Economics.** 11:105-125.

Iwasaki, K., Haryu, T., Tano, R., Terada, F., Itoh, M., and Kameoka, K. (1982). New animal metabolism facility especially the description of respiration apparatus. **Bulletin of National Institute of Animal Industry.** In Japanese. 39: 41-78.

Johnson, D.E., Ward, G.M., and Bernal, G. (1997). Biotechnology mitigating the environmental effects of dairying: greenhouse gas emissions. In: Welch, R.A.S., Burns, D.J.W., Davis, S.R., Popay, A.I., Prosser, C.G. (eds.). **Milk Composition, Production and Biotechnology.** CAB International. Wallingford. UK, 497-511.

Johnson, D.E., Phetteplace, H.W. and Seidl, A.F. (2001). Methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from ruminant livestock production systems. **Proceeding 1st International Conference Greenhouse Gases and Animal Agriculture**., Obihiro, Japan.

Kawashima, T., Kurihara, M., Sumamal, W., Pholsen, P., Chaithiang, R., and Boonpakdee, W. (2000). Comparative study on rumen physiology between Brahman cattle and swamp buffalo fed with Ruzi grass hay with or without filter cake and rice bran mixture. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand.** 67-73.

Kawashima, T., Terada, F., Shibata, M. (2000). Respiration experimental system. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand.** 1-21.

Keller, M., Veldkamp, E., Weitz, A. M. and Reiners, W. A. (1993). Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica. **Nature.** 365: 244-246.

Kerr, S., Liu, S., Pfaff, Alexander S.P., and Hughes, R. Flint. (2003). Carbon dynamics and land-use choices: building a regional-scale multidisciplinary model. **Journal of Environmental Management.** 69: 25-37.

Kirchgessner, M., Windisch, W., and Miller, H.L. (1995). Nutritional factors for the quantification of methane production. In: Engelhardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves, G., Giesecke, D. (eds.). **Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction**. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 333-348.

Kirkwood, R.C. and Longley. (1995). **Clean Technology and The Environment**. London: Blackie Academic.

Klarenbeek, J.V. and Pain, B.F. (1988). **Anglo-Dutch experiments on odor and ammonia emissions from landspreading livestock wastes.** IMAG Research Report 88-2, Wageningen, Netherlands.

Koike, M., Sumamal, W. and Kawashima, T. (2000). Dairy development in Northeast Thailand. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand.** 179-187.

Krejcie, Robert V. and Morgan, Earyle W. (1970). **Educational and Psychological Measurement.** 608-609.

Krogh, L. (1997). Field and village nutrient balances in millet cultivation in northern Burkina Faso: a village case study. **Journal of Arid Environments**. 35(1):147-159.

Kupchella, C. E. and Hyland, M. C. (1989). **Environmental Science**: Living within the system of nature. 2nd edition. Boston: Allyn and Bacon. p 637.

Landais, E., Lhoste, P. (1993). Systémes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. II. Les systémes de gestion de la fumure animals et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. **Cahiers Agricultures**. 2: 9-25.

Leng, P.A.(1991). **Improving Ruminant Production and Reduction Methane Emissions From Ruminants by Strategic Supplementation.** (Report No. EPA/400//91/004). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Levin, E., Collins, V., Varner, D. S., Williams, G., and Hardenbrook, H. J. (1973). Dietary protein for man and animal. **Illinois Veterinarian.** 16: 10-14.

Liang, J. B., Terada, F., and Hamaguchi, I. (1989). Efficacy of using the face mask technique for the estimation of daily heat production of cattle. In: van der Honig, Y., and Close, W. H. (eds.). **Energy Metabolism of Farm Animals.** Pudoc Wageningen 348-351.

Loh, Jonathan (2000). **Living Planet Report 2000**. World Wide Fund for Nature. Gland. Switzerland.

Loladze, Irakli (2002). Rising atmospheric CO_2 and human nutrition: toward globally imbalanced plant stoichiometry? **Trends in Ecology & Evolution**. 17(10): 457-461

Malhi, Yadvinder and Grace, John (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Tree.** 15(8): 332-337.

Manlay, R. J., Kaïré, M., Masse, D., Chotte, J.-L., Ciornei, G., and Floret, C. (2002a). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna I. The plant component under semi-permanent cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment.** 88(3): 215-232.

Manlay, R. J., Chotte, J.-L., Masse, D., Laurent, J.-Y., and Feller, C. (2002b). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna II. Plant and soil components under continuous cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 88(3): 249-269.

Manlay, Raphaël J., Ickowicz, Alexandre, Masse, Dominique, Floret, Christian, Richard, Didier and Feller, Christian (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African savanna-I. Element pools and structure of a mixed-farming system. **Agricultural Systems.** 79: 55-81.

Manlay, Raphaël J., Ickowicz, Alexandre, Masse, Dominique, Feller, Christian and Richard, Didier (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna-II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. **Agricultural Systems**. 79: 83-107.

Marks, G. R. (1982). **Designing a Research Project.** Belmont, California: Lifetime Learning.

Marsh, William. M., and John Grossa, Jr. (1996). **Land Use and Earth Systems. Environmental Geography Science.** New York: John Wiley & Sons.

Martin, Bthel Austin. (1965). **ตำราโภชนาการเบื้องต้น. แปลและเรียบเรียงโดย ชวลิต รัตนกุล**. New York. USA: Holt Rinehart and Winston.

Masters, Gilbert M. (1998). **Introduction to Environmental Engineering and Science**. 2nd ed. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice-Hall.

Maynard, L. A. and Loosli, J. K. (1969)**. Animal Nutrition.** New York: McGraw-Hill.

McBean, Edward A. and Rovers, Frank A. (1998). **Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment**. New Jersey: Prentice-Hall.

Misra, K.B. (1996). **Clean Production - Environmental and Economic Perspectives**. Berlin: Springer-Verlag.

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE). (2000). **Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Bangkok:** MoSTE.

Minson, D.J. (1980). In: **Grazing Animals** (Ed. F.H.W. Morky). Elsevier Pub. Comp., The Netherlands: Amsterdam.

Moe, P.W., and Tyrell, H.F. (1979). **Journal of Dairy Science.** 62: 1583.

National Transportation Statistics. (2000). **C-emission from petrol used for transporting.** [On-line]. Available : http://www.vcacarfueldata.org.uk/downloads. and http://www.gdrc.org /uem/CO_2-Cal/CO_2-Calculator.html.

NASS. (2002). Census of Agriculture. **National Agricultural Statistics Service**, United States Department of Agriculture, Washington, DC.

National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA (2009). **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide-Global**. [On-line]. Available: http://www.esrl. noaa.gov /gmd/ccgg/trends. Accessed date: May 2009.

Odai, M., Sumamal, W., Narmsilee, R., Pholsen, P., Chuenpreecha, T., and Indramanee, S. (2005). An investigation into the reproductive ratio of dairy farming in Northeast Thailand. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of dairy cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand.** 55-64.

Odai, M., Sumamal, W. (2005). A farmer trial of feces management system to improve Northeast Thailand time and milk quality at a small dairy farming in Northeast Thailand. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of dairy cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand.** 65-70.

Odum, E. P. (1971). **Fundamentals of Ecology.** London: W.B. Saunders.

Paillat, Jean-Marie, Robin, P., Hassouna, M. and Leterme, P. (2005). Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. **Atmospheric Environment**. 39: 6833-6842.

Peters, Charles R. and Vogel, John C. (2005). Africa's wild C_4 plant foods and possible early hominid diets. **Journal of Human Evolution.** 48: 219-236.

Pfaff, Alexander. S. P., Kerr, S., Hughes, R. F., Liu, S., Sanchez-Azofeifa, G. A., Schimel, D., Tosi, J., and Watson, V. (2000). The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. **Ecological Economics**. 35: 203-221.

Plant, R. A. J., and Bouman, B. A. M. (1999). Modeling nitrogen oxide emissions from current and alternative pastures in Costa Rica**. Journal of Environmental Quality**. 28(3): 866-872.

Pollution Control Department. (2003). **Acid Deposition Control Strategy in the Kingdom of Thailand**. Japan International Cooperation Agency.

Polprasert, Chongrak (1996). **Organic Waste Recycling**. 2nd ed. Chichester: Wiley.

Ramankutty, N., and Foley, J. (1999). Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700-1992. **Global Biogeochemical Cycles.** 13: 997-1027.

Reid, R.L. (1962). **Final Report United States Department of Agriculture Contract 12-14-100-4524.** W. Va. Exp. Sta. Morgantown.
(อ้างถึงในเมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง (หน้า 146). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ฟันนี่พับบลิชชิ่ง)

Reiners, W.A., Liu, S., Gerow, K.G., Keller, M., and Schimel, D.S. (2002). Historical and future land use effects on N_2O and NO emissions using an ensemble modeling approach: Costa Rica's Caribbean lowlands as an example, **Global Biogeochemical Cycles**. 16 (4): 1068. doi: 10.1029/2001GB001437.

Ricklefs, R. E. (1973). **Ecology.** Massachusetts: Chirm Press.
(อ้างถึงในอู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). นิเวศวิทยา (หน้า 115-117). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช)

Robert (1978). **Meat, Paultry, and Seafood Technology.** New Jersey. USA: Prentice-Hall.

Sauerbeck, D.R. (2001). CO_2 emissions and C sequestration by agriculture-perspectives and limitations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 60: 253-266.

Schalk, A.F., and Amadon, R.S., (1928). **North Dakota. Bull. No. 216.**
(อ้างถึงในเมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง (หน้า 47). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ฟันนี่พับบลิชชิ่ง)

Schimel, D.S. (1995). Terrestrial ecosystems and the global carbon cycle. **Global Change Biology.** 1: 77-91.

Sere/, C., and Steinfeld, H., (1996). World livestock production systems: current status, issues and trends. **Animal Production and Health Paper**. Vol. 127. Rome. FAO.

Simpson, James R. (1993). Urbanization, agro-ecological zones and food production sustainability. **Outlook on Agriculture.** 22: 233-239.

Smith, R.L. (1974). **Ecology and Field Biology.** 2nd ed. New York. Harper and Row 850.
(อ้างถึงใน นิตยา เลาหะจินดา. (2549). นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา (หน้า 46). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

Sommer, S.G., Peteren, S.O., and Sogaard, H.T. (2000) Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. **Journal of Environmental Quality**. 29: 744-751.

Stallard, R.F. (1998). Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. **Global Biogeochemical Cycles**. 12: 231-257.

Stumn, Werner and Morgan, James J. (1996). **Aquatic Chemistry – Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**. 3rd ed. New York: Wiley.

Stuth, Jerry W., Lyons, Robert K., and Kreuter, Urs P. (1993). Animal/plant interactions: Nutrient acquisition and use by ruminants. In: Mark Powell (ed.). **Proceedings of Conference on Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa**. ILCA. Addis Ababa. Ethiopia.

Sullivan, William G., Wicks, Elin M., and Luxhoj, James T. (2003). **Engineering Economy**. 12th ed. New Jersey: Pearson Education.

Sundquist, E.T., Stallard, R.F., Bliss, N.B., Markewich, H.W., Harden, J.W., Pavich, M.J., and W.E. Dean Jr. (1998). Missisippi basin carbon project science plan. Open-File Report, OF 98-0177. **U.S. Geological Survey**. Reston, Va.

Tamminga, S. (1992). Feeding management for dairy cows as a means to contribute to environmental pollution control. **Journal of Dairy Science.** 75: 345-357.

Tamminga, S. (1992). Gaseous pollutants by farm animal enterprises. In: Phillips, C., Piggins, D. (eds.), **Farm Animals and the Environment.** (pp 345-357). CAB International, UK: Wallingford

Tamminga, S. (2003). Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science.** 84: 101-111.

Tissot, Bernard P. and Welte, Dietrich H. (1984). **Petroleum Formation and Occurrence**. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag.

UNECE. (2004). **Task Force on Emission Inventories and Projections**. [On-line]. Available: http://tfeip-secretariat.org/unece.htm

U.S. EPA, AP-42. (1995). **Compilation of Air Pollutant Emission Factors.** [On - line]. Available: http: // www. epa. gov / ttn / chief / ap42 / index. htm
(อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

U.S. Environmental Protection Agency. (2002). **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2000.**

van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K., and Bernoux, M. (1997). Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma.** 79: 187-225.

van Noordwijk, M., Murdiyarso, D., Hairiah, K., Wasrin, U. R., Rachman, A., and Tomich, T. P. (1998). Forest soil under alternatives to slash and burn agriculture in sumatra, Indonesia. In. A. Schulte and D. Ruhiyat (eds.). **Soils of Tropical Forest Ecosystems: Characteristics, Ecology and Management.** (pp 175-185). Berlin: Springer-Veriag.

van Soest, P.J. (1982). **Nutritional Ecology of the Ruminant**. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

Veldkamp, E., Weitz, A. M., Staritsky, and Huising, E. J. (1992). Deforestation trends in the Atlantic Zone of Costa Rica: A case study, **Land Degrad. Rehabil**. 3: 71-84.

Veldkamp, E., Davidson, E. A., Erickson, H. E., Keller, M., and Weitz, A. M. (1999). Soil nitrogen cycling and nitrogen oxide emissions along a pasture chronosequence in the humid tropics of Costa Rica. **Soil Biology and Biochemistry.** 31: 387-394.

Verchot, L. V., Davidson, E. A., Cattanio, J. H., Ackerman, I. L., Davidson, H. E., and Keller, M. (1999). Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**. 15: 31-46.

Vermoesen, A., Van Cleemput, O., and Hofman, G. (1996). Long term measurements of N_2O emissions. **Energy Conversion and Management.** 37: 1279-1284.

Waisanen, P.J., and Bliss, N.B. (2000). Changes in population and agricultural land in conterminous United States counties, 1790-1997. **Global Biogeochemical Cycles.** 16(4): 1137. doi: 10.1029/2001 GB 001843.

Ward, G. M. and Muscoto, T. (1978). Processing cattle waste for recycling as animal feed; in ruminant nutrition. **FAO Animal Production and Health Paper.** 12: 75-79. **FAO, Via delle Terme di Caracalla** (00100): 160. Rome. Italy.

Watson, R.T., Noble, L.R., Bolin, B, Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., and Dokken, D.J. (2000). Land use, land-use change, and forestry. **A Spec. Rep. IPCC. Published for the Intergovernment Panel on Climate Change.** New York: Cambridge Univ. Press.

Werner, U., Stoehr, U., and Hees, N. (1989). **Biogas plants in animal husbandry.** A publication of the Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH-1989.

Wilkerson, V.A., Casper, D.P., Mertens, D.R., and Tyrell, H.F. (1994). Evaluation of several methane producing equations for dairy cows. In: Aguilera, J.F. (ed.). **Energy Metabolism of Farm Animals.** Granada. Spain. EAAP. 76.

Williams, H. H., Curtin, L. V., Abraham, J., Loosli, J. K., and Maynard, L. A. (1954). Estimation of growth requirements for amino acids by assay of the carcass. **Journal of Biological Chemistry**. 208: 277-286.

World Health Organization. (1993). **Assessment of Source of Air, Water and Land Pollution.** [On-line]. Available: http://www.who.int/environmental_ information/ Information _resources / on - line_ general. htm.

(อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

World Wide Sires. (1986). Boar Sire Directory. P.O. Box 149. HanFord California 93232. USA. 57.

Wortmann, Ulrich Georg, Herrle, Jens Olaf, and Weissert, Helmut (2004). Altered carbon cycling and coupled changes in Early Cretaceous weathering patterns: Evidence from integrated carbon isotope and sandstone records of the western Tethys. **Earth and Planetary Science Letters.** 220: 69-82.

Yamane, Taro. (1973). **Mathematics for Economists: An Elementary Survey**. 2nd ed. New Delhi: Prentice-Hall.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดประเภทสันดาปเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้คาร์บอนในรูปของพลังงานต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยมลพิษสำหรับแหล่งกำเนิดประเภทสันดาปเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ตัวคูณการปล่อยมลพิษ (กก./1000 ลิตร)	
	CO	**CO_2**
น้ำมันเบนซิน	848.3	2,102
น้ำมันดีเซล	12.9	2,237
น้ำมันเตา NO. 1-3	0.6	-
น้ำมันเตา NO. 4	0.6	-
น้ำมันเตา NO.5-6	0.6	-
ลิกไนท์ (กก./ตัน)	0.25	-
แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)	0.4	1,760
แก๊สธรรมชาติ กก./10^6 $ม^3$.	560	1,900,000

หมายเหตุ : U.S. EPA, AP-42 (1995), WHO, Assessment of Source of Air, Water and Land Pollution, 1993

และจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมีการปลดปล่อยมลพิษจากการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินและปิโตรเลียม อ้างอิงจากฐานข้อมูลบัญชีรายการการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งประเทศ (Life cycle inventory of grid mix in Thailand: TEI, 2003) ร่วมกับฐานข้อมูลบัญชีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากฐานข้อมูล SIMPRO 7.0 พบว่าการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะมีการปลดปล่อยมลพิษดังแสดงในตารางที่ ฉ.2

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างการปล่อยมลพิษสำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี 2003

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้	มลพิษอากาศ	ปริมาณที่ปลดปล่อย
ลิกไนท์	2.07×10^{-1} กิโลกรัม	CO_2	7.15×10^{-1} กิโลกรัม
น้ำมันเชื้อเพลิง	1.17×10^{-2} ลิตร	CO	1.92×10^{-4} กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	2.26×10^{-4} ลิตร	CH_4	2.14×10^{-5} กิโลกรัม
แก๊สธรรมชาติ	7.06 $ฟุต^3$		

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ค่า C-input จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 kWh จากสัดส่วนของแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในปี 2548

สัดส่วนของแหล่งพลังงานที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย*	การผลิตพลังงานไฟฟ้า		ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์	C-input จากการใช้พลังงานไฟฟ้า	CO_2 emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า
	ความสามารถของเชื้อเพลิง	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง			
น้ำมันเตา 6.6%	11.05 kWh/ลิตร	น้ำมันเตาชนิดเบา ที่ 15°ซ = 930 กรัม/ลิตร	น้ำมันเตา C_nH_{2n+2} (C=14-20) = 168/198*930/11.05	0.072 กก. C_{C20H42}/kWh 0.0714 กก. C_{C14H30}/kWh	1.969 (lb CO_2 / kWh)
น้ำมันดีเซล 0.25%	10.12 kWh/ลิตร	น้ำมันดีเซล ที่ 20°ซ = 850 กรัม/ลิตร	น้ำมันดีเซล ($C_{12}H_{26}$) = 144/170*850/10.12	0.0711 กก. C_{C12H26}/kWh	1.969 (lb CO_2 / kWh)
ถ่านหินลิกไนต์ 15.01%	2.91 kWh/kg	ถ่านหินลิกไนต์**มี %C = 73% โดยน้ำหนัก		0.30 กก.$C_{ลิกไนต์}$/kWh	2.095 (lb CO_2 / kWh)
แก๊สธรรมชาติ (CH_4) 72.5%	0.29 kWh/m^3 (36.14 MJ/m^3)	1 m^3 CH_4 หนัก 0.667 kg (ที่สภาวะมาตรฐาน 20°ซ 1atm)	1g C_{CH4}=2.9/667*16/12 1 kg C_{CH4} = 5.783 kWh	0.173 กก.C_{CH4}/kWh	1.321 (lb CO_2 / kWh)
Biomass 3.99%	3.52 kWh/kg	Biomass*** (ชานอ้อย+แกลบ,เซลลูโลส) มี %C = 45% โดยน้ำหนัก		0.14 กก.$C_{biomass}$/kWh	1.378 (lb CO_2 / kWh)
พลังงานน้ำ 1.65%				-	-
พลังงานลม+แสงอาทิตย์ น้อยมาก				-	-
ดังนั้น การใช้พลังงานไฟฟ้า 1 kWh จะมี				0.18 กก. C / kWh	0.18 กก. C / kWh (0.66 กก. CO_2 / kWh)

หมายเหตุ : * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี2548 (2548) และนพภาพร พานิชและคณะ (2547)

** Hanzade et al. (2001)

*** Brody (1945) และ Maynard and Loosli (1969)

ตารางที่ ก.4 ค่าเฉลี่ย C-input จากพลังงานที่ฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนมใช้

ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนจากพลังงาน		C_{input} (กก. C /ตัว/วัน)					
		โคนม	โคเนื้อ	กระบือ	สุกร	ไก่เนื้อ	ไก่ไข่
ฟาร์ม	ไฟฟ้า*	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.02	0.002 ± 0.00	0.002 ± 0.00
	น้ำมันขนส่ง**	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.96 ± 0.99	0.052 ± 0.04	0.078 ± 0.034
	น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรกล** หรือแก๊ส LPG***	0.14 ± 0.04	0.11 ± 0.16	0.09 ± 0.19	N.D.	0.003 ± 0.00	0.002 ± 0.00
	รวม C จากพลังงาน/ตัว/วัน	0.23	0.12	0.10	0.98	0.057	0.082
	รวม C จากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน	0.51×10^{-3}	0.40×10^{-3}	0.22×10^{-3}	9.71×10^{-3}	24.37×10^{-3}	42.93×10^{-3}
โรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม	ไฟฟ้า*	0.10 ± 0.05	0.22 ± 0.37	0.12 ± 0.04	0.05 ± 0.03	0.009 ± 0.004	N.D.
	น้ำมันขนส่ง**	0.29 ± 0.19	0.35 ± 0.30	0.38 ± 0.46	0.01 ± 0.00	0.0018 ± 0.0019	N.D.
	ฟืน แกลบ หรือก๊าซ LPG***	N.D.	N.D.	N.D.	2.28±1.02	0.1227 ± 0.1708	N.D.
	รวม C จากพลังงาน/ตัว/วัน	0.38	0.57	0.49	2.34	0.1335	N.D.
	รวม C จากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน	0.85×10^{-3}	1.88×10^{-3}	1.07×10^{-3}	23.19×10^{-3}	57.05×10^{-3}	N.D.
รวม C จากพลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม/ตัว/วัน		0.611	0.69	0.59	3.32	0.1905	0.082
รวม C จากพลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์หรือสหกรณ์โคนม/น้ำหนักสัตว์/วัน		1.36×10^{-3}	2.28×10^{-3}	1.29×10^{-3}	32.90×10^{-3}	81.41×10^{-3}	42.93×10^{-3}

<u>หมายเหตุ</u> : N.D. = ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์ CO_2 1 ppm = 1.96 mg/m^3 CH_4 1 ppm = 0.71 mg/m^3

* รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี2548 (2548) และนพภาพร พานิชและคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่า C-input จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.18 กก. C / kWh

**U.S. EPA, AP-42 (1995) และWHO. (1993) วิเคราะห์ได้ว่า C-input จากการใช้น้ำมันดีเซล 1 ลิตรมี C_{C12H26} = 0.72 kg/Lและน้ำมันเบนซิน 1 ลิตรมี C = 0.67 kg/L

***นพภาพร พานิชและคณะ (2547) วิเคราะห์จากสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ว่าการใช้แก๊ส LPG 1 กิโลกรัมคิดเป็น C-input = 0.821 kg. C โดยการผลิตแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน (LPG) จะอัดแก๊สใส่ถังด้วยสัดส่วนของแก๊สโพรเพน (C_3H_8) 70% และบิวเทน (C_4H_{10}) 30% ซึ่งการเผาไหม้โพรเพน 1 kg จะเกิด CO_2 3 kg.CO_2 ในขณะที่การเผาไหม้ บิวเทน 1 kg จะเกิด CO_2 3.034 kg.CO_2

การเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส เชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงแข็งที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดคาร์บอนอิสระ เนื่องจากการแตกตัวด้วยความร้อนในกระบวนการเผาไหม้ทำให้มีเขม่า CO ไฮโดรเจนหรือ CH_4 ขึ้นในไอเสียจากการเผาไหม้ ซึ่งในการเกิดเขม่า เขม่าที่ถูกระบายออกมาจากปล่องเป็นเขม่าเพียงบางส่วน แต่ยังมีที่สะสมอยู่ที่ด้านในของปล่องควันหรือท่อไอเสียทำให้การวัดปริมาณอย่างเที่ยงตรงเป็นไปได้ยาก ซึ่งปริมาณไฮโดรเจนหรือ CH_4 ในไอเสียจะมีเพียงเล็กน้อย

ในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนมากแล้วมักจะเกิดเขม่าหรือเถ้าขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงได้รับความร้อนในสภาวะและบริเวณบางส่วนที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้เผาไหม้ไม่หมด นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่พุ่งไปปะทะผนังห้องเผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำทำให้เชื้อเพลิงไม่แตกเป็นละอองอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเถ้าที่เกิดขึ้นเหล่านี้เกิดขึ้นจากสภาพการขาดออกซิเจนเป็นบางส่วน แม้ว่าโดยรวมแล้วจะมีอากาศส่วนเกินสำหรับการเผาไหม้อยู่ก็ตาม

กลไกการเกิดเขม่าหรือเถ้าในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนยังไม่เป็นที่ทราบอย่างชัดเจนแต่มีการสันนิษฐานกันว่ามีการแยกตัวของไฮโดรเจนจนทำให้เกิดการต่อตัวของโมเลกุลและการจับตัวกันเป็นวงของกลุ่มอะโรแมติกจนเกิดเป็นสารที่มีปริมาณคาร์บอนสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสุดท้ายก็กลายเป็นคาร์บอน คุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีผลกระทบอย่างมากต่อการเกิดคาร์บอนหรือเขม่า ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไฮโดรเจนมากจะทำให้เกิดเขม่าได้ง่าย และสารไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นง่ายจะก่อให้เกิดเขม่าน้อย นั่นคือหากเชื้อเพลิงมีอันดับสูงขึ้นเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดเขม่าได้ง่ายขึ้นเท่านั้น ซึ่งทำให้แก๊สธรรมชาติ (เป็นแหล่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย) และแก๊ส LPG มีเขม่าเกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้อยที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนด้วยเครื่อง CNS – 2000 หรือ CHNS – 932 Analyzer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การใช้เครื่อง CNS – 2000 หรือ CHNS – 932 Analyzer สำหรับวิเคราะห์หาค่าคาร์บอน

หลักการ

เครื่อง CNS – 2000 หรือ CHNS – 932 Analyzer เป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ ประเภทเนื้อ นม และไข่ โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างก่อนใช้เครื่อง ซึ่งจะต้องทำให้ตัวอย่างแต่ละชนิดแห้งและเป็นเนื้อเดียวกัน การวิเคราะห์ตัวอย่างจะต้องชั่งตัวอย่างประมาณ 2 มิลลิกรัม ใส่ลงในภาชนะเฉพาะรูปทรงกระบอกที่ทำจากสังกะสี (tin capsule) หรือทำจากเงิน (silver capsule) ปิดปากภาชนะด้วยคีมและม้วนพับปากภาชนะให้สนิทเรียบร้อย จากนั้นนำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างไปใส่ลงในช่องสำหรับป้อนเข้าเตาเผา (loading chamber) โดยสารตัวอย่างต้องทำ 2-3 ซ้ำ ตามความเหมาะสม แล้วใช้อากาศ (air) และออกซิเจนจากในถัง ช่วยในการเผาไหม้ จะได้ CO_2, H_2, N_2, และ SO_2 ซึ่งแก๊สฮีเลียมเป็นตัวพาเข้าสู่ระบบตรวจสอบ คาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ จะถูกตรวจสอบโดย infrared absorption ใน IR cell ขณะที่ไนโตรเจนถูกตรวจสอบโดย thermal conductivity มีการนำ CO_2 และ H_2O ออกไปโดย lecosorb และ anhydrone ตามลำดับ ค่าที่ได้ออกมาเป็น %C, %H, %N และ%S

ขั้นตอนการเตรียม Blank ของสารตัวอย่าง

Blank ของสารตัวอย่างไม่ต้องใส่อะไร ซึ่งใช้ capsule เปล่า ใส่ลงไปใน loading chamber โดย Blank ต้องทำ 3 ซ้ำ

ขั้นตอนการเตรียม Standard ของสารตัวอย่าง

Standard ของสารตัวอย่าง จะต้องมีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ต้องการวิเคราะห์มากกว่าสารตัวอย่าง เพื่อให้ค่าที่ออกมามีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ชั่ง Standard ของสารตัวอย่างมาประมาณ 2 มิลลิกรัมจำนวน 3 ซ้ำ ใส่ลงไปใน capsule
2. นำ Stanard ที่ชั่งมา ใส่ลงไปใน loading chamber

ขั้นตอนการใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

1. เปิดปั๊มของเครื่อง
2. เปิดแก๊สฮีเลียม และแก๊สออกซิเจน
3. เปิด power supplies ในตัวเครื่องทั้งสองส่วน

4. ในตัวเครื่องจะต้องกดสวิทซ์ OFF ANALYZE ไปที่ ANALYZE STANDBY
5. ตั้งเครื่องให้เป็นอัตโนมัติ และให้สังเกตตำแหน่งที่มีไฟสีแดงในตัวเครื่องทั้งสามปุ่มกระพริบตลอดเวลา ซึ่งเป็นสัญญาณว่าเครื่องพร้อมทำงานแล้ว (อุณหภูมิของเตา oxidation และ reduction furnance temperature = 1000°ซ)
6. หน้าจอคอมพิวเตอร์จะขึ้นว่า Please Enter Security Access ให้กด Enter
7. จากนั้นหน้าจอคอมพิวเตอร์จะขึ้นว่า Please Enter Your name ให้ใส่ชื่อแล้วกด Enter ไปที่ Special
8. สุดท้ายจะต้องเลือกพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์หาคาร์บอน ซึ่งจะต้องใช้พารามิเตอร์ที่เป็น Chan# 1 โดยใช้นิ้วสัมผัสไปที่ View, System folder, System update, ANALYSIS CONST., Select Channel 1, Analysis Elements, Exit

ขั้นตอนการทำ Blank ของตัวอย่างในตัวเครื่อง

1. นำ capsule เปล่าโดยปิดปากให้เรียบร้อย ใส่ลงไปใน loading chamber
2. เข้าที่ Login แล้วคลิกคำว่า ID'S
3. คลิกเลื่อนหาคำว่า Blank แล้วคลิก ESC
4. เข้าไปที่ weight เพื่อใส่น้ำหนักของ blank = 2 มิลลิกรัม แล้วกด Enter และให้กด Analyze หลังจากนั้นให้ดูว่าค่าที่ได้คงที่หรือไม่ ถ้าไม่ให้กด Enter เพื่อเพิ่มจำนวน blank จนกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้คงที่ (ทำ blank 3 ซ้ำ)

การวิเคราะห์ Standard มีขั้นตอนดังนี้

1. เข้า Login ไปที่ ID เลือก Standard ที่ต้องการหา แล้วไปที่ Exit บอกน้ำหนักของ Standard ที่ชั่งมาแล้วกด Return และไปที่ Analyze
2. เมื่อ Analyze เสร็จแล้วให้ไปที่ view, system folder, system update, standard cal. แล้วเปลี่ยนเป็น Adjust Y/N, Process, Include Standard 3 ครั้ง, Process Result, ESC, Exit

ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. เข้า Login ไปที่ ID เลือก Sample แล้วพิมพ์น้ำหนักของตัวอย่างนั้น แล้วกด Return เมื่อเสร็จแล้วให้ไปที่ ANALYZE

ภาคผนวก ค

แบบตารางที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลภาคสนามจากฟาร์มเลี้ยงและโรงฆ่าสัตว์ชนิดต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางบันทึกข้อมูล **ไก่ไข่ / ไก่เนื้อ (วงกลมเลือก)** สำหรับลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มต่าง ๆ ของ อำเภอ……..						วันที่ / เดือน / ปี		พลังงาน ของ C-input ที่ใช้		หน้า.....	
	C-input (kg C./head/day)	C-fixation (kg C./head/day) ที่ไข่				C-output (kg C./head/day)		ไฟฟ้าที่ใช้		น้ำมันขนส่งอาหารไก่หรือไข่	
ชื่อฟาร์ม	ปริมาณอาหารแต่ละชนิดที่ให้ไก่ (kg/วัน)หรือ (kg/เดือน)	น้ำหนักเฉลี่ยไก่ (กก./ตัว)	น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กก./ฟอง)	จำนวนไข่ที่ได้ (ฟอง/วัน)	ไข่ที่ไก่ออก/ตัว/วัน (ฟอง/ตัว/วัน)	นน.เฉลี่ยขี้ไก่ (กก./ตัว/วัน)	จำนวนไก่ในเล้า(ตัว/เล้า)	วัตต์หลอดไฟ (วัตต์)	เวลาเปิด/วัน (ชั่วโมง/วัน)	น้ำมัน/เที่ยว (ลิตร/เที่ยว)	ระยะทางขนส่งอาหารไก่(km)
								วัตต์ pump (วัตต์)	เวลาใช้ pump ต่อเครื่อง (hr)	นน.ไข่ไก่ที่บรรทุก (กก.) หรือ (จำนวนฟองx นน.กก.ต่อฟอง)	ระยะทางขนส่งไข่ไก่(กิโลเมตร)
จำนวนไก่ให้ไข่/เนื้อ (ตัว)	ระยะเวลาไก่ให้ไข่ (วัน)	C-fixation (kg C./head/day) ที่ตัวไก่เป็นเนื้อและร่างกาย									
	(เริ่มไข่จนหมดไข่) =	นน.ไก่ให้ไข่ฟอง แรก (กก./ตัว)	น้ำหนักไก่ เริ่มขุน (กก./ตัว)	เวลาขุนไก่ (วัน เดือน สัปดาห์)	นน.ไก่สุดท้ายที่ขาย (กก./ตัว)	รอบเวลาเก็บขี้ (week เดือน วัน)	นน.ไก่เพิ่มขึ้น (กก./เวลา)	วัตต์พัดลม (วัตต์)	เวลาใช้พัดลมต่อเครื่อง (hr)	นน.ไก่เนื้อบรรทุกขาย (กก.) (จำนวนตัวxนน.กก.ต่อตัว)	ระยะทางขนส่งไก่เนื้อ(km)

ตารางบันทึกข้อมูล **เลือกวงรอบ วัวเนื้อ / กระบือ** สำหรับลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มต่าง ๆ ของ วันที่/เดือน/ปี หน้า.....

อำเภอ…….. .....

ชื่อฟาร์ม / น้ำหนัก โค/ควาย (กก./ตัว)	พืชและอาหารเสริมที่ใช้ ขุนโค/ควายเนื้อ (กก./ตัว/วัน) ปริมาณแต่ละชนิด	จำนวนขุน (ตัว) วัวขุน / กระบือ	โค/ เลี้ยง ทั้งหมด	ระยะเวลาการขุน (วัน/ เดือน)	ระยะทางจาก **ฟาร์มถึงโรงฆ่า** /ตลาดนัด (km)	**ค่าไฟฟ้าโรงฆ่า บาท/เดือน** วัตต์ หลอดไฟ	จำนวน หลอด	เวลาเปิด (hr/วัน)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ กำลังวัตต์ หลอดไฟ	จำนวน หลอดไฟ	ระยะเวลาการเปิด หลอดไฟ (ชั่วโมง)	น้ำหนักมูลสัตว์ (กก./ ตัว/วัน)	น้ำมัน ที่ใช้กับเครื่องจักรในฟาร์ม (บาท ,ลิตร/วัน)	GHG หายใจ CO2 ppm	CH4 ppm
													D		
นน. ก่อนขุน		ชนิดซาก	น้ำหนักละ	% ซาก/ ตัว	โรงฆ่า - ตลาด								B		
		เนื้อ			กม.				ค่าไฟฟ้าฟาร์ม/เดือน						
กก.				ชนิดสัตว์ฆ่า	จำนวนฆ่า/เดือน	ชนิด	/เดือน	น้ำหนัก	บาท						
จำนวนที่ขาย/ปี	อายุโค/ควายที่ขาย ปีแต่ละตัว		กระดูก		โค		LPG								
	1)	เครื่องใน		กระบือ		ฟัน/ถ่าน			น้ำหนักเนื้อ/ซาก		จำนวนซาก				
ตัว/ปี	2)	ของเสีย													

ตารางบันทึกข้อมูล **หมู** สำหรับลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มต่าง ๆ ของ อำเภอ……..				วันที่ / เดือน / ปี			พลังงาน ที่ใช้		หน้า.....		
C-input (kg C./head/day)	C-fixation (kg C./head/day) Average Daily Gain, ADG			C-output (kg C./head/day)						น้ำมันขนอาหารหมู	
อาหารแต่ละชนิดที่ให้ หมู (kg/วัน)	นน.ตัวหมูเพิ่มเฉลี่ย ADG(กก./ตัว/วัน)	นน.เฉลี่ยเริ่มต้น (กก./ตัว)	นน.หมูเฉลี่ยสิ้นสุด (กก./ตัว)	นน.เฉลี่ยขี้หมู (กก./ตัว/วัน)	จำนวนหมูใน เล้า(ตัว/เล้า)	นน.ขี้หมูที่เกิดขึ้นในเล้าต่อเวลากักขี้ (kg / เวลา)	จำนวนหลอดไฟ (หลอด)	วัตต์หลอดไฟ (วัตต์)	เวลาเปิด/วัน (ชั่วโมง/วัน)	นน.อาหารหมูที่บรรทุก (กก.) หรือ (จำนวนถุงxนน.กก./ถุง)	ระยะทางขนส่งอาหารหมู(km)
	ระยะเวลาเลี้ยง	เวลาใช้ pump	วัตต์ของ pump							ความถี่ในการซื้ออาหารหมูต่อรุ่น	
จำนวน pump	(วัน)			กำลังวัตต์ของเครื่องเติมอากาศ = วัตต์						(เที่ยวต่อรุ่นหมู) =	
จำนวนรุ่นหมูที่เลี้ยงต่อปี = รุ่น/ปี		LPG			kg		(เครื่อง)	(วัตต์)	ต่อเครื่อง (hr)	(จำนวนหมูxนน.กก. ต่อตัว)	หมูไปโรงฆ่า(Km)
จำนวนหมูขุน ที่เลี้ยงอยู่ (ตัว)	GHG จากการหายใจของหมู						จำนวนพัดลม (เครื่อง)	วัตต์พัดลม (วัตต์)	เวลาใช้พัดลม ต่อเครื่อง (hr)	นน.เนื้อหมูบรรทุก (กก.)หรือ (จำนวนซากxนน.กก. ต่อตัว)	ระยะทางขนส่งซาก เนื้อหมูไปตลาด (km)
	จำนวนหลอดไฟ	CO2 (ppm)	CH_4 (ppm)		จำนวนครั้งหายใจ/นาที						
วัตต์หลอดไฟ	เวลาเปิดไฟ/วัน	pump น้ำ	จำนวนหมูที่ฆ่าต่อวัน		ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้						
						(ตัว/วัน)					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างฟาร์มโคนมใน อำเภอ……..					ระยะทาง จาก	นน.นม เฉลี่ยที่		ค่า ไฟฟ้า เฉลี่ย						น้ำมันที่ใช้	น้ำหนักมูล สัตว์	GHG EMISSION จาก	
อาหารหยาบและข้นที่ ใช้เลี้ยง		นน.เฉลี่ย วัวนม	จำนวนวัว รีดนม	ปริมาณ น้ำนมที่ได้ เฉลี่ย	ฟาร์มถึง สหกรณ์	ขนส่ง (เช้า-บ่าย)		ใน ฟาร์ม	หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง			เครื่องรีดนม		เครื่องจักรกล	ที่เกิดขึ้น	ลมหายใจสัตว์ (ppm)	
ชนิด	ปริมาณ (กก./ตัว-วัน)	(กก./ตัว)	(ตัว)	(กก./ตัว-วัน)	(กิโลเมตร)	(กิโลกรัม)		(บาท/เดือน)	วัตต์	จำนวน	เวลาเปิด	(วัตต์)	เวลา	(ลิตร/วัน)	(กก./ตัว-วัน)	CO_2	CH_4
						เช้า									การจัดการมูลสัตว์		
						บ่าย											
						รวม											
						เช้า									การจัดการมูลสัตว์		
						บ่าย											
						รวม											

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted & C-input of Dairies**	
Regression Statistics				Observations	400
Multiple R		0.876292309		R Square	0.76788821
Adjusted R Square		**0.767305015**		Standard Error	0.188906036
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	46.986765	46.98676469	1316.691	**2.707E-128 < 0.05 (OK)**
Residual	398	14.202825	0.035685491		
Total	399	61.18959			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**0.661244846**	0.056333	11.7382	**1.59E-27 < 0.05 (OK)**	0.5505	0.77199	0.5504977	0.771992
X Variable 1	**0.290733222**	0.0080122	36.2862	**2.7E-128 < 0.05 (OK)**	0.2750	0.30648	0.2749817	0.3064848

ตารางที่ ง.2 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted & C-input of Oxen**	
Regression Statistics				Observations	400
Multiple R		0.988565768		R Square	0.977262278
Adjusted R Square		**0.977205148**		Standard Error	0.054554089
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	50.909857	50.90985751	17105.95	**0 < 0.05 (OK)**
Residual	398	1.1845072	0.002976149		
Total	399	52.094365			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**0.551460901**	0.0068752	80.2102	**8.3E-248 < 0.05 (OK)**	0.5379446	0.5649771	0.5379447	0.56497715
X Variable 1	**0.185277106**	0.0014166	130.790	**0 < 0.05 (OK)**	0.1824921	0.1880621	0.1824921	0.18806207

ตารางที่ ง.3 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted & C-input of Buffaloes**	
Regression Statistics					Observations	400
Multiple R		0.996735092			R Square	0.993480844
Adjusted R Square		**0.993464465**			Standard Error	0.03782013
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	86.75554618	86.75554618	60652.85		**0 < 0.05 (OK)**
Residual	398	0.569284163	0.001430362			
Total	399	87.32483035				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**0.755874704**	0.004652596	162.4630	**0 < 0.05 (OK)**	0.746728	0.76502144	0.746728	0.7650214
X Variable 1	**0.16072628**	0.000652621	246.278	**0 < 0.05 (OK)**	0.1594433	0.1620093	0.1594433	0.1620093

ตารางที่ ง.4 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted & C-input of Pigs**	
Regression Statistics					Observations	400
Multiple R		0.882210387			R Square	0.778295167
Adjusted R Square		**0.777738119**			Standard Error	0.015091334
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	0.31820538	0.31820538	1397.18		**2.9181E-132 < 0.05 (OK)**
Residual	398	0.090643851	0.000227748			
Total	399	0.408849231				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**0.100694196**	0.004153148	24.2453	**2.1E-80 < 0.05 (OK)**	0.092529	0.1088590	0.0925293	0.10885904
X Variable 1	**0.173674828**	0.004646338	37.3789	**2.9E-132 < 0.05 (OK)**	0.164540	0.1828092	0.1645404	0.18280926

ตารางที่ ง.5 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted & C-input of Chickens**	
Regression Statistics					Observations	400
Multiple R		0.794076054			R Square	0.63055678
Adjusted R Square		**0.62962853**			Standard Error	0.002808397
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	0.0053577	0.005357676	679.2968		**4.39767E-88 < 0.05 (OK)**
Residual	398	0.0031391	7.88709E-06			
Total	399	0.0084967				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-0.011172638**	0.0010944	-10.209	**6.87E-22 < 0.05 (OK)**	-0.013324	-0.009021	-0.0133241	-0.009021
X Variable 1	**0.657185232**	0.0252149	26.0633	**4.4E-88 < 0.05 (OK)**	0.607614	0.706756	0.6076141	0.706756

ตารางที่ ง.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted & C-input of Hens**	
Regression Statistics					Observations	400
Multiple R		0.93421438			R Square	0.872756505
Adjusted R Square		**0.872436798**			Standard Error	0.000368847
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	0.00037139	0.000371392	2729.861		**2.8419E-180 < 0.05 (OK)**
Residual	398	5.41471E-05	1.36048E-07			
Total	399	0.000425539				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-0.010736**	0.000507764	-21.1450	**4.57E-67 < 0.05 (OK)**	-0.01173	-0.0097	-0.01173	-0.0097
X Variable 1	**0.62833733**	0.012026038	52.2481	**2.8E-180 < 0.05 (OK)**	0.60469	0.65198	0.6046948	0.6519798

ภาคผนวก จ

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคนม

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Dairies**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.968943406			R Square	0.938851324		
Adjusted R Square	**0.938697684**			Standard Error	0.255351514		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	398.4462214	398.4462214	6110.726	**1.2776E-243 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	25.95134952	0.065204396				
Total	399	424.397571					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-1.611730**	0.076147283	-21.166	**3.71E-67 < 0.05 (OK)**	-1.76143	-1.4620295	-1.7614318	-1.4620295
X Variable 1	**0.8466263**	0.010830421	78.1711	**1.3E-243 < 0.05 (OK)**	0.825334	0.86791826	0.8253343	0.8679183

ตารางที่ จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวโคเนื้อ

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Oxen**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.998858355			R Square	0.997718014		
Adjusted R Square	**0.997712281**			Standard Error	0.093924313		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	1535.0905	1535.090547	174011.5	**0 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	3.511067	0.008821777				
Total	399	1538.6016					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-1.4537363**	0.0118368	-122.814	**0 < 0.05 (OK)**	-1.4770	-1.4304658	-1.4770069	-1.4304658
X Variable 1	**1.017390822**	0.0024389	417.147	**0 < 0.05 (OK)**	1.0126	1.02218561	1.012596	1.0221856

ตารางที่ จ.3 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกระบือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Buffaloes**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.998186393			R Square	0.996376075		
Adjusted R Square	**0.99636697**			Standard Error	0.174408349		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	3328.6007	3328.600694	109427.7	**0 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	12.106472	0.030418272				
Total	399	3340.7072					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-1.7698254**	0.0214555	-82.48801	**2.3E-252 < 0.05 (OK)**	-1.812006	-1.7276	-1.8120057	-1.727645
X Variable 1	**0.995563863**	0.0030096	330.79853	**0 < 0.05 (OK)**	0.989647	1.00148	0.9896472	1.0014805

ตารางที่ จ.4 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Pigs**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.995359796			R Square	0.990741124		
Adjusted R Square	**0.990717861**			Standard Error	0.013532769		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	7.7993492	7.799349186	42587.78	**0 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	0.0728881	0.000183136				
Total	399	7.8722372					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-0.1301437**	0.003724	-34.945	**2.5E-123 < 0.05 (OK)**	-0.13747	-0.122822	-0.1374653	-0.122822 0
X Variable 1	**0.859829419**	0.004166	206.368	**0 < 0.05 (OK)**	0.851638	0.8680205	0.8516384	0.868020

ตารางที่ จ.5 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่เนื้อที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Chickens**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.896899489			R Square	0.804428694		
Adjusted R Square	**0.803937309**			Standard Error	0.002477538		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	0.0100486	0.010048611	1637.063	**4.1538E-143 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	0.0024430	6.13819E-06				
Total	399	0.0124916					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**-0.012805629**	0.0009654	-13.263954	**1.66E-33 < 0.05 (OK)**	-0.0147	-0.0109076	-0.0147036	-0.010908
X Variable 1	**0.900020869**	0.022244	40.46064	**4.2E-143 < 0.05 (OK)**	0.8563	0.943752	0.8562897	0.943752

ตารางที่ จ.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอนกับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวไก่ไข่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				**C-fixed & input of Hens**			
Regression Statistics				Observations	400		
Multiple R	0.951240131			R Square	0.904857787		
Adjusted R Square	**0.904618736**			Standard Error	0.000308562		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	0.000360	0.000360391	3785.211	**2.0874E-205 < 0.05 (OK)**		
Residual	398	3.78937E-05	9.52103E-08				
Total	399	0.000398285					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**0.000302115**	0.000424774	0.71124	**0.477354 > 0.05 (no good)**	-0.00053	0.001137	-0.000533	0.0011372
X Variable 1	**0.618961501**	0.010060477	61.5241	**2.1E-205 < 0.05 (OK)**	0.599183	0.6387398	0.5991832	0.6387398

ภาคผนวก ฉ

จำนวนฟาร์มและตัวสัตว์แต่ละชนิดในปี 2548 แยกเป็นรายอำเภอและกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฉ.1 จำนวนฟาร์มและจำนวนสัตว์แยกเป็นรายอำเภอและกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมาของปี 2548

ลำดับ	อำเภอ	โคนม		โคเนื้อ		กระบือ		สุกร		ไก่ไข่		ไก่เนื้อ	
		จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)
1	เมือง	985	54	9,652	521	1,632	324	8,017	68	1,431	53	14,596	736
2	ขามทะเลสอ	1,530	104	6,403	284	683	63	540	101	2,140	25	89,847	28
3	ขามสะแกแสง	182	19	13,213	2,200	1,131	247	1,766	183	346	48	9,530	1
4	คง	5	1	19,443	4,554	6,773	1,402	2,831	316	15,846	43	93,500	8
5	ครบุรี	1,700	91	5,220	387	2,590	205	7,432	389	123,715	32	210,500	20
6	จักราช	-	-	17,495	2,814	865	174	4,427	506	400	1	89,880	10
7	ชุมพวง	775	37	19,365	3,032	3,025	684	2,085	445	1,479	112	186,319	129
8	โชคชัย	30	2	4,892	387	1,545	192	3,394	88	-	-	2,693,600	14
9	ด่านขุนทด	-	-	31,636	1,881	2,593	220	4,430	684	79,984	253	337,754	236
10	โนนสูง	-	-	21,626	7,165	2,729	487	2,660	464	6,240	256	713	38
11	โนนไทย	-	-	13,562	2,130	2,365	264	9,528	712	36,603	45	724,700	74
12	โนนแดง	30	2	8,925	2,285	3,602	1,240	3,153	321	568	42	115	7
13	บัวใหญ่	-	-	6,559	1,843	6,613	1,476	5,803	417	341	50	50,841	47
14	บ้านเหลื่อม	-	-	6,665	587	3,077	431	1,638	271	514	15	122,282	66
15	ปักธงชัย	3,257	72	17,544	1,546	3,878	519	12,385	780	936,909	68	2,130,674	68
16	ปากช่อง	39,059	1,559	7,162	536	545	102	114,209	196	52,000	3	611,800	24
17	ประทาย	192	2	23,656	5,269	3,471	723	4,182	518	600	2	23,000	3

ตารางที่ ฉ.1 จำนวนฟาร์มและจำนวนสัตว์แยกเป็นรายอำเภอและกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมาของปี 2548 (ต่อ)

ลำดับ	อำเภอ	โคนม		โคเนื้อ		กระบือ		สุกร		ไก่ไข่		ไก่เนื้อ	
		จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)
18	พิมาย	3,564	151	22,090	2,741	690	143	4,211	577	1,216	80	27,720	72
19	สูงเนิน	3,152	128	11,700	859	1,394	166	20,749	1,009	70,205	43	5,974,640	52
20	เสิงสาง	690	40	4,932	708	854	87	1,256	273	-	-	-	-
21	สีคิ้ว	2,518	127	17,458	981	2,442	363	4,735	216	129,501	50	177,369	165
22	ห้วยแถลง	9	2	19,535	3,954	2,301	459	12,101	748	10,000	3	422,326	35
23	หนองบุญมาก	-	-	6,996	551	1,023	114	5,760	570	28	1	1,743,000	23
24	แก้งสนามนาง	-	-	12,505	1,559	2,213	328	2,237	241	288	25	43	4
25	วังน้ำเขียว	350	13	11,566	436	355	19	1,809	160	937	15	173,267	48
26	กิ่ง อ.เมืองยาง	72	5	11,475	1,736	1,986	362	2,028	252	94	3	-	-
27	กิ่ง อ.เทพารักษ์	-	-	13,195	725	592	63	1,101	116	1,252	21	108,000	4
28	กิ่ง อ.พระทองคำ	33	3	1,045	1,333	1,127	239	1,127	72	31	4	148,503	67
29	กิ่ง อ.ลำทะเมนชัย	6	2	9,057	203	997	57	1,328	189	592	36	10,999	18
30	เฉลิมพระเกียรติ	-	-	3,831	344	349	42	2,373	376	162,633	25	251	16
31	กิ่ง อ.สีดา	-	-	7,889	1,960	2,717	718	996	76	453	16	305	17
32	กิ่ง อ.บัวลาย	-	-	4,323	875	2,421	705	1,543	212	177	13	18,000	9
	รวม	58,139	2,414	390,615	56,386	68,578	12,618	251,834	11,546	1,636,523	1,383	16,194,074	2,039
จำนวนตัวอย่าง		398	343	400	398	398	390	400	390	400	310	400	340

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ช.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของโคเนื้อและกระบือที่อายุต่าง ๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

SUMMARY OUTPUT				Buffaloes (Confidence level = 95%)				
Regression Statistics					Observations		400	
Multiple R		**0.804488152**			R Square		0.647201186	
Adjusted R Square		**0.646314757**			Standard Error		32.02115717	
ANOVA		*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***	
Regression		1	748633.6	748633.6	730.1217		**4.5E-92 < 0.05 (OK)**	
Residual		398	408091.1	1025.355				
Total		399	1156725					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**194.246113**	3.143665	61.78971	**4.4E-206< 0.05 (OK)**	188.0658	200.4264	188.0658	200.4264
X Variable 1	**-16.2268755**	0.600534	-27.0208	**4.5E-92 < 0.05 (OK)**	-17.4075	-15.0463	-17.4075	-15.0463

SUMMARY OUTPUT				Oxen (Confidence level = 95%)				
Regression Statistics					Observations		400	
Multiple R		**0.727822**			R Square		0.529725	
Adjusted R Square		**0.528544**			Standard Error		55.98974	
ANOVA		*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***	
Regression		1	1405396	1405396.3	448.31359		**3.4415E-67 < 0.05 (OK)**	
Residual		398	1247671	3134.851				
Total		399	2653067					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	**218.4393**	4.054188	53.87991	**6.23E-185 < 0.05 (OK)**	210.4690	226.4096	210.4690	226.40956
X Variable 1	**-21.8353**	1.03126	-21.1734	**3.441E-67 < 0.05 (OK)**	-23.8627	-19.8079	-23.8627	-19.80790

ภาคผนวก ซ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเพื่อคาดการณ์ จำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ และกระบือ ในปี 2009 - 2010

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ซ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนโคเนื้อและกระบือที่เลี้ยงในปี2009-2010

SUMMARY OUTPUT				สมการคาดการณ์จำนวนโคเนื้อ+กระบือ = 55015.171 (ปี) – 109798061.8			
Regression Statistics				Observations	6		
Multiple R	0.886537594			R Square	0.785948906		
Adjusted R Square	**0.732436132**			Standard Error	60052.77333		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	5.297E+10	52966709028	14.68712708	**0.018580235 < 0.05 (OK)**		
Residual	4	1.443E+10	3606335585				
Total	5	6.739E+10					

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-109798061.8	28760971	-3.81760618	**0.0188169 < 0.05 (OK)**	-189651319.8	-29944803.79	-189651319.8	-29944803.9
X Variable 1	55015.171	14355.359	3.832378	**0.0185802 < 0.05 (OK)**	15158.306	94872.036	15158.306	94872.036

ตารางที่ ซ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนกระบือที่เลี้ยงในปี 2009-2010

SUMMARY OUTPUT				สมการคาดการณ์จำนวนกระบือ = 1845.57(ปี) – 3631223.52			
Regression Statistics				Observations	6		
Multiple R	0.9613602			R Square	0.924213623		
Adjusted R Square	**0.905267028**			Standard Error	1105.424988		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	59607343.21	59607343.21	48.77993416	**0.002210695 < 0.05 (OK)**		
Residual	4	4887857.619	1221964.405				
Total	5	64495200.83					

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-3631223.52	529419.2858	-6.85888	**0.0023657 < 0.05 (OK)**	-5101127.11	-2161319.94	-5101127.11	-2161319.9
X Variable 1	1845.5714	264.247114	6.984263	**0.002210 < 0.05 (OK)**	1111.9038	2579.2390	1111.904	2579.239

ตารางที่ ซ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจำนวนโคเนื้อที่เลี้ยงในปี 2009-2010

SUMMARY OUTPUT				สมการคาดการณ์จำนวนโคเนื้อ = 53169.6(ปี) – 106166838.3			
Regression Statistics				Observations	6		
Multiple R	0.881364908			R Square	0.776804101		
Adjusted R Square	**0.721005126**			Standard Error	59612.83446		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***		
Regression	1	4.947E+10	49472611373	13.92147625	**0.020276576 < 0.05 (OK)**		
Residual	4	1.421E+10	3553690032				
Total	5	6.369E+10					

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-106166838.3	2855027	-3.71859	**0.020499671 < 0.05 (OK)**	-185435101.6	-26898574.94	-185435101.6	-26898574.94
X Variable 1	53169.6	14250.19	3.731149	**0.020276576 < 0.05 (OK)**	13604.72127	92734.47873	13604.72127	92734.47873

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ฌ

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอน จากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อตามปกติ 10% 50% 60% 70% และ 80% ในปีต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฌ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อตามปกติในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted โคเนื้อปกติ**			
Regression Statistics					Observations	10		
Multiple R		0.970851866			R Square	0.942553345		
Adjusted R Square		**0.935372513**			Standard Error	101.6042481		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*		*F*	***Significance F***		
Regression	1	1355048.721	1355048.721		131.2596308	**3.04894E-06 < 0.05 (OK)**		
Residual	8	82587.38578	10323.42322					
Total	9	1437636.107						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-255903.3504	22434.066	-11.4069	**3.15167E-06 < 0.05 (OK)**	-307636.40	-204170.30	-307636.40	-204170.30
X Variable 1	128.1594046	11.18626	11.45686	**3.04894E-06 < 0.05 (OK)**	102.363843 8	153.954965 3	102.363843 8	153.954965 3

ตารางที่ ฌ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 10% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT		**C-emitted จำนวนโคเนื้อ 10%**			**ไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%**			
Regression Statistics					Observations	10		
Multiple R		0.536919045			R Square	0.288282061		
Adjusted R Square		**0.199317319**			Standard Error	369.0839707		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*		*F*	***Significance F***		
Regression	1	441418.0233	441418.0233		3.240407981	**0.109534 > 0.05 (no good)**		
Residual	8	1089783.82	136222.9775		Total	9	1531201.843	
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	147282.7198	81493.19064	1.807300937	**0.108337 > 0.05 (no good)**	-40640.91463	335206.3543	-40640.91463	335206.3543
X Variable 1	-73.1472	40.63480781	-1.80011	**0.109534 > 0.05 (no good)**	-166.8512 9	20.556776	-166.85129	20.556776

ตารางที่ ฌ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 50% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT		**C-emitted จำนวนโคเนื้อ 50%**			**ไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%**			
Regression Statistics					Observations		10	
Multiple R		0.408910373			R Square		0.167207693	
Adjusted R Square		**0.063108654**			Standard Error		202.2672951	
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*		*F*		***Significance F***	
Regression	1	65714.4489	65714.4489		1.60623667		**0.240666648 > 0.05 (no good)**	
Residual	8	327296.4695	40912.05868		Total	9	393010.9184	
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-55745.4396	44660.3173	-1.248209761	**0.247247 > 0.05 (no good)**	-158732.3202	47241.43232	-158732.3202	47241.43232
X Variable 1	28.2230	22.26889628	1.26737	**0.2406666 > 0.05 (no good)**	-23.129148	79.575185	-23.129148	79.575185

ตารางที่ ฌ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 60% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted จำนวนโคเนื้อ 60%**			
Regression Statistics				Observations		10	
Multiple R		0.72176523		R Square		0.520945048	
Adjusted R Square		**0.461063179**		Standard Error		164.9546515	
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***	
Regression	1	236714.957	236714.957	8.699545558		**0.018439803 < 0.05 (OK)**	
Residual	8	217680.2965	27210.03706				
Total	9	454395.2536					
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-106502.4849	36421.7412	-2.924145892	**0.019169182 < 0.05 (OK)**	-190491.1707	-22513.79915	-190491.1707	-22513.79915
X Variable 1	53.565	18.16090942	2.9495	**0.0184398 < 0.05 (OK)**	11.6865	95.444720	11.686456	95.444720

ตารางที่ ฌ.5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 70% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted จำนวนโคเนื้อ 70%**	
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.886154406		R Square	0.785269631
Adjusted R Square		**0.758428335**		Standard Error	132.5077306
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	513686.0259	513686.0259	29.25602506	**0.000639209 < 0.05 (OK)**
Residual	8	140466.3894	17558.29867		
Total	9	654152.4152			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-157259.5258	29257.50942	-5.375014106	**0.000665596 < 0.05 (OK)**	-224727.4635	-89791.5882	-224727.4635	-89791.5882
X Variable 1	78.9081	14.588621	5.40888	**0.0006392 < 0.05 (OK)**	45.266737	112.54958	45.266737	112.54958

ตารางที่ ฌ.6 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อ 80% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted จำนวนโคเนื้อ 80%**	
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.950579447		R Square	0.903601286
Adjusted R Square		**0.891551446**		Standard Error	109.3473525
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	896627.6554	896627.6554	74.9886586	**2.4582E-05 < 0.05 (OK)**
Residual	8	95654.74802	11956.8435		
Total	9	992282.4035			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-208016.5668	24143.73246	-8.615758443	**2.55101E-05 < 0.05 (OK)**	-263692.1136	-152341.0199	-263692.1136	-152341.0199
X Variable 1	104.251	12.03874729	8.6595992	**2.4582E-05 < 0.05 (OK)**	76.489326	132.01213	76.489326	132.01213

ภาคผนวก ญ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงกระบือตามปกติ 20% 30% และ 40% ในปีต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ญ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงกระบือตามปกติในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted กระบือปกติ**	
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.991410931		R Square	0.982895634
Adjusted R Square		**0.980757588**		Standard Error	1.451852347
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	969.0257299	969.0257299	459.7168336	**2.35656E-08 < 0.05 (OK)**
Residual	8	16.8630019	2.107875238		
Total	9	985.8887318			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-6743.12249	320.5668343	-21.03499729	**2.73942E-08 < 0.05 (OK)**	-7482.350935	-6003.894045	-7482.350935	-6003.894045
X Variable 1	3.427209714	0.159843683	21.44100822	**2.35656E-08 < 0.05 (OK)**	3.058609521	3.795809907	3.058609521	3.795809907

ตารางที่ ญ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงกระบือ 20% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**C-emitted จำนวนกระบือ 20%**	
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.913862557		R Square	0.835144773
Adjusted R Square		**0.81453787**		Standard Error	31.1760867
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	39390.567	39390.56712	40.52742703	**0.000216837 < 0.05 (OK)**
Residual	8	7775.5870	971.9483817		
Total	9	47166.154			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-43643.98423	6883.633476	-6.340253934	**0.000222928 < 0.05 (OK)**	-59517.67148	-27770.29698	-59517.67148	-27770.29698
X Variable 1	21.8509	3.4323742	6.3661155	**0.0002168 < 0.05 (OK)**	13.93582	29.76596	13.93582	29.76596

ตารางที่ ญ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงกระบือ 30% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted จำนวนกระบือ 30%**			
Regression Statistics					Observations	10		
Multiple R		0.89679559			R Square	0.80424233		
Adjusted R Square		**0.779772621**			Standard Error	65.55913693		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*		*F*	***Significance F***		
Regression	1	141261.75	141261.75		32.86685336	**0.000437467 < 0.05 (OK)**		
Residual	8	34384.00348	4298.000435					
Total	9	175645.7535						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-82756.62473	14475.35972	-5.717068614	**0.000445534 < 0.05 (OK)**	-116136.8641	-49376.38539	-116136.8641	-49376.38539
X Variable 1	41.3795	7.217823423	5.7329620	**0.0004375 < 0.05 (OK)**	24.735177	58.023838	24.735177	58.023838

ตารางที่ ญ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนการเลี้ยงกระบือ 40% ในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT					**C-emitted จำนวนกระบือ 40%**			
Regression Statistics					Observations	10		
Multiple R		0.890112027			R Square	0.792299421		
Adjusted R Square		**0.766336849**			Standard Error	100.1454887		
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*		*F*	***Significance F***		
Regression	1	306058.4675	306058.4675		30.51698462	**0.000557607 < 0.05 (OK)**		
Residual	8	80232.95128	10029.11891					
Total	9	386291.4188						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-121869.2652	22111.97465	-5.511460066	**0.000566045 < 0.05 (OK)**	-172859.5702	-70878.96031	-172859.5702	-70878.96031
X Variable 1	60.908	11.02565543	5.524218	**0.0005576 < 0.05 (OK)**	35.482917	86.333331	35.482917	86.333331

ภาคผนวก ฎ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนโคเนื้อและกระบือที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฎ.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากจำนวนโคเนื้อและกระบือที่เลี้ยงตามปกติในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT		**รวม C-emitted โคเนื้อ : กระบือ = ปกติ (ไม่มีการปรับสัดส่วนจำนวนการเลี้ยงโคเนื้อและกระบือ**			
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.971987		R Square	0.944759
Adjusted R Square		**0.937854**		Standard Error	102.1795
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	1428491	1428491	136.8201	**2.6E-06 < 0.05 (OK)**
Residual	8	83525.16	10440.64		
Total	9	1512016			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-262646	22561.08	-11.6416	**2.7E-06 < 0.05 (OK)**	-314672	-210621	-314672	-210620.539
X Variable 1	131.586	11.24959	11.6970	**2.6E-06 < 0.05 (OK)**	105.645	157.5282	105.645	157.5282149

ตารางที่ ฎ.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 80 : 20 ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT				**รวม C-emitted โคเนื้อ:กระบือ = 80 : 20**	
Regression Statistics				Observations	10
Multiple R		0.969370719		R Square	0.939679591
Adjusted R Square		**0.93213954**		Standard Error	102.5994132
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Significance F***
Regression	1	1311883.47	1311883.474	124.6250965	**3.71084E-06 < 0.05 (OK)**
Residual	8	84213.1167	10526.63959		
Total	9	1396096.59			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-251660.6	22653.7975	-11.1089	**3.85098E-06 < 0.05 (OK)**	-303900.3	-199420.8	-303900.3	-199420.8
X Variable 1	126.1016	11.2958236	11.163561	**3.71084E-06 < 0.05 (OK)**	100.053401 3	152.149833 2	100.053401 3	152.1498 332

ตารางที่ ฎ.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 70 : 30 ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT					**รวม C-emitted โคเนื้อ : กระบือ = 70 : 30**	
Regression Statistics					Observations	10
Multiple R		0.965598386			R Square	0.932380244
Adjusted R Square		**0.923927774**			Standard Error	104.0263457
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	1193702.588	1193702.588	110.3086197		**5.87829E-06 < 0.05 (OK)**
Residual	8	86571.84481	10821.4806			
Total	9	1280274.433				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-240016.1506	22968.86209	-10.44963175	**6.10663E-06 < 0.05 (OK)**	-292982.4415	-187049.8597	-292982.4415	-187049.8597
X Variable 1	120.288	11.45292372	10.502791	**5.87829E-06 < 0.05 (OK)**	93.877175	146.69815	93.877175	146.69815

ตารางที่ ฎ.4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทดลองปรับสัดส่วนจำนวนโคเนื้อ : กระบือ = 60 : 40 ที่เลี้ยงในปีต่าง ๆ

SUMMARY OUTPUT					**รวม C-emitted โคเนื้อ : กระบือ = 60 : 40**	
Regression Statistics					Observations	10
Multiple R		0.960545726			R Square	0.922648091
Adjusted R Square		**0.912979103**			Standard Error	106.4400869
ANOVA	*df*	*SS*	*MS*	*F*		***Significance F***
Regression	1	1081099.04	1081099.04	95.42343387		**1.01075E-05 < 0.05 (OK)**
Residual	8	90635.9367	11329.49209			
Total	9	1171734.98				

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	***P-value***	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-228371.7501	23501.81254	-9.717197334	**1.05112E-05 < 0.05 (OK)**	-282567.027	-174176.47	-282567.03	-174176.47
X Variable 1	114.4737122	11.71866788	9.768491894	**1.01075E-05 < 0.05 (OK)**	87.4504156	141.4970	87.4504	141.4970

ภาคผนวก ฏ

แหล่งคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์แต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แหล่งคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์แต่ละชนิด

สิ่งสำคัญมากต่อกำไรหรือขาดทุนของฟาร์มคือ ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนอาหารให้เป็นผลผลิตได้แก่ น้ำหนักสด (1 กก.) ของเนื้อ หรือนม หรือผลผลิตต่อปริมาณอาหาร (วัตถุแห้ง, กก.) ที่สัตว์บริโภค ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนในการผลิตสัตว์ สุกรและโคเนื้อประมาณ 70% โคนมประมาณ51% เป็นค่าอาหารสัตว์ โดยในตารางที่ ฎ.1 ได้แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารให้เป็นผลผลิตของสัตว์เลี้ยงต่าง ๆ

เนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนประกอบทางโภชนาการซึ่งได้แก่ %ของโปรตีน และ %ไขมัน ที่อยู่ในเนื้อสัตว์แต่ละชนิด ดังในตารางที่ ฎ.2 จะแสดงส่วนประกอบทางด้านโภชนะในเนื้อสัตว์แต่ละประเภทดังรายละเอียดในตาราง และข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของสัตว์แต่ละชนิดที่ส่งขายตลาด ระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงและหลักเกณฑ์ทางโภชนะของเนื้อ %ซากหลังจากการชำแหละแล้ว สัดส่วน %ส่วนประกอบที่เป็น กระดูก เนื้อและไขมันซึ่งมักมีค่าไม่แน่นอนในซากของสัตว์แต่ละชนิดและผลิตภัณฑ์จากสัตว์ รวมทั้งรายละเอียดต่าง ๆ ของสัตว์แต่ละชนิดที่ถูกเลี้ยงอยู่ตามอำเภอ และกิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมาสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ ฎ.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฎ.1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารในสัตว์ประเภทต่าง ๆ

ประเภทของสัตว์	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เปลี่ยนเป็นผลผลิต (กก.)
โคนมพันธุ์แท้ (ดีเลิศ)[1]	1 : 0.9
โคนมพันธุ์แท้ (ดีปานกลาง)[1]	1 : 1.2
สุกรพันธุ์เนื้อ (ดีเลิศ)[2]	1 : 2
สุกรพันธุ์เนื้อ (ดีปานกลาง)[2]	1 : 2.5
สุกรพันธุ์เนื้อ (ดีพอควร)[3]	1 : 3
โคเนื้อพันธุ์แท้มาตรฐาน[4]	1 : 8
โคลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชี่ยนกับโคไทย สายเลือดซีบูเพศผู้[5]	1 : 8.65-9.65

หมายเหตุ : [1] Foley, R.C. et al., 1972. [2] World Wide Sires, 1986. Boar Sire Directory.
[3] Cole, H.H. 1966. [4] ภาควิชาสัตวบาล. 2525. [5] สมโภชน์ ทับเจริญ. 2528.

ตารางที่ ฎ.2 ส่วนประกอบของโภชนะในเนื้อสัตว์ประเภทต่าง ๆ

ชนิดผลิตภัณฑ์จากสัตว์แต่ละชนิด	% น้ำ	% C, H, O	แคลอรี่ (มิลลิกรัม)	% ไขมันเทียบจากนน.สัตว์	% โปรตีนเทียบจากนน.สัตว์
เนื้อโค	55.2	0	240.0*	17.65*	27.06*
ซี่โครงโค	55.9	0	319	28.2	15.1
เลือดโค	75.6	0	103	1.1	21.9
เครื่องในโค	75.66	1.9	125.89	5.5	16.3
เนื้อกระบือ	75.6	2.0	106	1.6	19.6
เนื้อไก่	64.7	0	140.0*	3.53*	31.76*
กึ๋น,ตับ,หัวใจ ของไก่	73.6	2.2	124.3	3.63	19.5
เนื้อสุกร	49.4	0	275.0*	22.35*	28.24*
ซี่โครงสุกร	55	0	326.5	29	15.2
เลือดสุกร	85.5	1.5	57	0.1	11.7
เครื่องในสุกร	79.52	2.4	98.1	3.27	14.4

หมายเหตุ : * กรมปศุสัตว์ กองอาหารสัตว์ (2548), Martin. (1965; 1963). ตำราโภชนาการเบื้องต้น แปลและเรียบเรียงโดย ชวลิต รัตนกุล

ตารางที่ ฎ.3 รายละเอียดของสัตว์เศรษฐกิจแต่ละชนิดในจังหวัดนครราชสีมา

ชนิดสัตว์เลี้ยงทางเศรษฐกิจ	ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	พื้นที่ที่ใช้เลี้ยง (m^2/ตัว)	อัตราการให้ลูกเฉลี่ยต่อปี	เวลาเลี้ยงสัตว์เกิด-ส่งตลาด	นน.เฉลี่ยต่อตัวที่ส่งขายที่ตลาด (กก./ตัว)	% ซากสัตว์ (เนื้อ+ไขมัน +กระดูก)	% เนื้อสัตว์จากซาก	%เนื้อโปรตีน	%ซากไขมัน	% กระดูก	ผลิตภัณฑ์ที่ได้เฉลี่ย (ลิตร, กก., ฟอง/ตัว/ปี)	ระยะเวลาผลิตผลิตภัณฑ์ (วัน/ ปี)
เนื้อโค	52.45	880	55%	10-12 เดือน/	350	55%	60[x]	27.06	17.65[x]	14[x]	นม = 3660	305
เนื้อกระบือ	42.65	4,800-8,000	45%		450	45%		17.7[x]		12-30[$]	--	--
เนื้อสุกร	93[#]	100	19.4 ตัว/ปี	0.5-0.58 ปี	100	75%	76*	28.24	11.2*	12.8*	--	--
											คนไทยบริโภคไข่ไก่คนละ 100 ฟอง/ปี///	
เนื้อไก่	53.62	0.9	5.335 รุ่น/ปี	0.096-0.153 ปี	2.2	63%		31.76	3.53		ไข่ =275*0.97=267	ราคา 2.25 บาท/ฟอง

หมายเหตุ : / สัญชัย จตุรสิทธา (2547), /// ศิริพันธ์ โมราถบ และสมบูรณ์ เด่นวานิช (2539), [x]กรมปศุสัตว์ กองอาหารสัตว์ (2548), [#] กรมการค้าภายใน (2549)

* Robert, 1978, [$]เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติคณะผู้วิจัย

1 หัวหน้าโครงการ

1.1 ชื่อ ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ นามสกุล ธานี

ASST. PROF. Dr. Nathawut Thanee

1.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 4099 00527 284

1.3 ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224298

โทรสาร 044-224633

อีเมล์ nathawut@sut.ac.th

1.5 ประวัติการศึกษา

Education	Year	Institutes
วท.บ. (ชีววิทยา)	2521	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
M.Sc. (Environmental Bilogy)	2523	มหาวิทยาลัยมหิดล
Ph.D. (Ecological Entomology)	2531	Massey University, New Zealand
Ph.D. (Plant Health)	2536	Massey University, New Zealand

1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Ecosystem analysis, Biological control, Wetland ecology

1.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1.7.1 ผู้อำนวยโครงการ

โครงการ “ลักษณะนิเวศวิทยา บางประการของสัตว์ป่า ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อม สะแกราชจังหวัดนครราชสีมา” ประกอบด้วยโครงการย่อย 3 โครงการ

โครงการที่ 1 “การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กและความสัมพันธ์กับระบบนิเวศที่แตกต่างกันในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา” หัวหน้าโครงการย่อยคือ นายทักษิณ อาชวาคม (ผอ.สถานีวิจัยฯ)

โครงการที่ 2 “การศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อและระบบนิเวศป่าแบบต่าง ๆ ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา” หัวหน้าโครงการย่อยคือ ดร. พงศ์เทพ สุวรรณวารี

โครงการที่ 3 “แมลงผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศป่า ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา” หัวหน้าโครงการย่อยคือ ดร.ณัฐวุฒิ ธานี

1.7.2 หัวหน้าโครงการ

โครงการที่ 1 “ความหลากหลายของชนิดแมลงในดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการที่สถานวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา”

โครงการที่ 2 “การใช้ที่ดินในลุ่มแม่น้ำชีและผลต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำชี

1.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1) ณัฐวุฒิ ธานี และวิฑิต ขอสันติวิวัฒน์ (2547). การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 543-552.

2) Onlamai, C. and Thanee, N. (2004). Some ecological aspects of little honeybee (*Apis florae* F.) and type of sugar contents in honey in Northeast Thailand. **Pakistan Journal of Biologcal Sciences**. 7(4): 658-661.

3) Pongswat, S., Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y., Thanee, N. and Somsiri, C. (2004). Phytoplankton in the Rama IX lake, a mand-made lake, Pathumthani province, Thailand. **Science Asia**. 30: 261-267.

4) Pongswat, S., Thanee, N., Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y. and Nontanum, S. (2005). Water quality and diversity of phytoplankton in a hard-water lake, Thailand. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 13(1): 55-70.

5) Chonglakmani, C., Noipaw, N., Chitnarin, A. and Thanee, N. (2006). Late Triassic (Norian) stromatolites and ostracods from the Huai Hin Lat Formation, North-Central Thailand. Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium, New Zealand (poster).

6) Thassanapak, H., Feng, Q., Chonglakmani, C., Udchachon, M. and Thanee, N. (2006) Middle Triassic radiolarians from Chiang Dao area, Northern Thailand. Interrad XI: Radiolarians in Stratigraphy & Paleoceanography, New Zealand (poster).

7) Chitnarin, A., Thanee, N., Crasquin-Soleau, S. and Chonglakmani, C. (2006). First discovery of Middle Triassic (Anisian) ostracods from the Pha Khan Formation, Northern Thailand. Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium, New Zealand (poster).

8) Uchachon, M. Chonglakmani, C., Campbell, H. and Thanee, N. (2006). Paleoecolgogy of the Permian Alatoconchid bivalves from North-Central Thailand. International Palaeontological Congress, China (poster).

2 ผู้ร่วมวิจัย

2.1 ชื่อ ดร. ราเชนทร์ นามสกุล โกศัลวิตร

Dr. Rachain Kosanlavit

2.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 3 3497 0001783 6

2.3 ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองผู้อำนวยการเทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224633

โทรสาร 044-224633

E-mail : rachain@sut.ac.th

2.5 ประวัติการศึกษา

Education	Year	Institutes
B.Sc. (Radiologic Technology)	1986	Chiang Mai University
M. Eng (Nuclear Technology)	1990	Chulalongkorn University
B.Sc. (Agricultural Technology)	1994	Nakornratchasima Rajabhat University
M.Sc. (Medical Sciences)	1996	Glasgow University, Scotland, U.K.
Ph.D. (Anatomy)	2001	Queen's University of Belfast, Northern Ireland, U.K.

2.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

พัฒนาชุมชน ปศุสัตว์ การจัดการระบบ

2.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ : ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอโครงการวิจัย เป็นต้น

2.7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ไม่มี

2.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

โครงการที่ 1 “สถานภาพ และทิศทางการพัฒนางานวิจัยทางรังสีชีววิทยในประเทศไทย” ระหว่าง มิถุนายน 2546 – พฤษภาคม 2548 รวมระยะเวลา 2 ปี แหล่งเงินทุน มทส งบประมาณ 50,000 บาท

2.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1) สำรี มั่นเขตต์กรน์, ราเชนทร์ โกศัลวิตร, จินตนา มีสูงเนิน, สมาน เดชสุภา, ไพบูลย์ เรืองพัฒนพงศ์, สุชาติ โกทันย์, นิตยา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, ชัชนก เลิศชุตินาท, มนตรี ตั้งใจ และ ฉรางค์ชัย อัศวพรพรหม. (2546). การถ่ายทอกเทคโนโลยีแบบอุตสาหกรรมครัวเรือนและอุตสาหกรรมชุมชน เพื่อการผลิตไวน์แดงสยามมัวร์ ที่ทำจากองุ่นพันธุ์ Portuguiser และบ่มในถังที่ทำจาก เนื้อไม้มะเม่า” ระหว่าง มิถุนายน 2545 – พฤษภาคม 2546 แหล่งเงินทุน สกอ. งบประมาณ 1,159,160 บาท ประชุมวิชาการและเผยแพร่ผลงานวิจัยเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา ณ ศูนย์ศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศิลปกร วิทยาเขตวังสนามจันทร์

2) ชื่อ โครงการวิจัย “เทคโนโลยีเกี่ยวกับไวน์สุขภาพและการต้านมะเร็ง” ระหว่าง มีนาคม 2547 – กันยายน 2547 แหล่งเงินทุน สกอ. งบประมาณ 2,539,100 บาท หน้าที่รับผิดชอบ ผู้ร่วมวิจัย

3) Kosanlavit, R and McCullough, S.J. (2544). The early effects of radiation on the ultrastructure of pancreatic acinar cells in mouse. การประชุมวิชาการ เนื่องในโอกาส คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถาปนาครบรอบ 25 ปี ระหว่างวันที่ 19-21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544.

4) Kosanlavit, R and McCullough, S.J. (2546). ผลระยะสั้นของรังสีต่อเซลล์ต่อมไร้ท่อของตับอ่อนหนู: การศึกษาแบบ Immunocytochemistry. การประชุมวิชาการเรื่อง “วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 9” นิวเคลียร์ไทย ทำได้ใช้จริง ระหว่างวันที่ 19-21 มิถุนายน พ.ศ. 2546 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิตติ์, กรุงเทพฯ

5) สมาน เดชสุภา, สุชาติ โกทันย์, จินตนา มีสูงเนิน, เจราร์ด ลิเช่ร์, อองตวน มาร์ติโน, มูนีร์ เทรเกีย, แจคกี้ แวร์โกท, ซิมอน เบรองเช่ร์, ราเชนทร์ โกศัลวิตร, ฌอง-ลุค

โมเคร์ที และ สำรี มั่นเขตต์กรน์. (2546). การถ่ายภาพซินทิกราฟีของเซลล์ที่ตัดสินใจตายของเซลล์มะเร็งเต้านม ในหนูเปลือยที่ได้รับการปลูกเซลล์มะเร็งเต้านมของคน ชนิด MDA-MB-435 โดยใช้สารเภสัชรังสี ^{99m}Tc-Annexin V การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 ระหว่างวันที่ 20-22 ตุลาคม 2546 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

6) Maxwell, W., Kosanlavit, R. and Graham, D. (1997). Quantitative, structure changes in the axolemma after stretch-injury to the guinea-pig nerve. Brain Pathology. 7(4):1378.

7) Maxwell, W., Kosanlavit, R. and Graham, D. (1997). Structural change in the internodal axolemma after stretch-injury to the guinea-pig optic nerve. Neuropathology and Applied Neurobiology. 23(2):165.

8) Maxwell, W.L., Kosanlavit, R., McCreath, B.J., Reid, O. and Graham, D.I. (1999). Freeze-fracture and cytochemical evidence for structural and functional alteration in the axolemma and myelin sheath of adult guinea pig optic nerve fibres after stretch injury. Journal of Neurotrauma. 16(4): 273-284.

2.7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ไม่มี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี