กรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม จังหวัดขอนแก่น

A case study of carbon footprint estimation in Khon Kaen dairy farm

มธุรส อรังศรี[1] และ วิโรจน์ ภัทรจินดา[1*]

Maturos Arangsri[1] and Virote Pattarajinda[1*]

บทคัดย่อ: การศึกษาในครั้งนี้ เป็นกรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากฟาร์มโคนมในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บข้อมูลจากฟาร์มโคนมตัวอย่าง โคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียน จำนวน 91 ตัว แบ่งโคเป็น 5 กลุ่มได้แก่ โคพักรีด, โครีดน้ำนม, โคสาว, โครุ่น, และลูกโค โดยทำการเก็บข้อมูล ปริมาณการกินได้, ผลผลิตน้ำนม และน้ำหนักตัวสัตว์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำนายปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ผลิตจากฟาร์มโคนม แล้วนำมาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม จากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ประเมินได้มีค่าเท่ากับ 0.89 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent; CO_2e) ต่อกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนมที่มีการปรับด้วยพลังงานในน้ำนม (ECM) ซึ่งปริมาณการผลิตคาร์บอนฟุตปริ้นท์จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของฟาร์ม ปริมาณผลผลิตน้ำนม การจัดการให้อาหาร และการจัดการมูลของแต่ละฟาร์ม

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนฟุตปริ้นท์ ฟาร์มโคนม

ABSTRACT: A case study of estimation on carbon footprint was carried out in a dairy farm in Khon Kaen province with ninety-one crossbreds Holstein Friesian. They were allocated into 5 groups: dry cows, lactating cows, older heifers, younger heifers, and calf. Feed intake, milk production, and body weight were collected to predict the greenhouse gas (GHG) emissions via carbon footprint equation. The result showed that carbon footprint was 0.89 kg of CO_2 equivalent units/kg of energy-corrected milk (ECM). However, carbon footprint value can be varied depending upon farm size, milk yield, feeding management and manure handing.

Keywords: greenhouse gas, carbon footprint, dairy farm

บทนำ

โลกกำลังประสบกับสภาวะอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (global warming) ซึ่งมีผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas; GHG) ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ในด้านการเกษตรมีการปลดปล่อย GHG ออกมา 8 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณ GHG ทั้งโลก (O' Mara, 2011) ในระบบการผลิตสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องถือเป็นกลุ่มหลักที่มีการปลดปล่อย GHG มาก ในระบบการผลิตโคนม มีการปลดปล่อยก๊าซหลายประเภทเช่น ก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O), และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

[1] ภาควิชาสัตว์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author: virote@kku.ac.th

โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซ CH_4 ที่ผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และจากมูลที่สะสมในฟาร์ม มีปลดปล่อยออกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่ากลุ่มอื่นๆ (Rotz et al., 2010) แหล่งหลักที่มีการปลดปล่อย GHG คือ ฟาร์มโคนม รวมถึง ตัวสัตว์ และสิ่งที่นำมาใช้ในฟาร์มเพื่อให้เกิดผลผลิตในฟาร์ม (การใช้ไฟฟ้า, น้ำมันเชื้อเพลิง, เครื่องจักร, สารกำจัดศัตรูพืช, เมล็ดพันธุ์, และพลาสติก) เพื่อนำมาใช้ในการทำนายปริมาณ GHG ในฟาร์มโคนม ปริมาณ GHG ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟาร์มสุทธิที่ผลิตในฟาร์มจะถูกนำมาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม เมื่อคิดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมเมื่อปรับพลังงานในน้ำนม (energy-corrected milk; ECM) จากการศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในต่างประเทศของ Rotz et al. (2010) ประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมใน Pennsylvania ที่มีการจัดการฟาร์มและขนาดของฟาร์มแตกต่างกัน พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.37 ถึง 0.69 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ Mc Geough et al. (2012) โดยการใช้สมการในการทำนายปริมาณ GHG พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.92 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ Flysjo et al. (2011) ศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มประเทศนิวซีแลนด์ ที่มีการเลี้ยงโคแบบปล่อยแปลง พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 1.52 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) และในประเทศสวีเดน ที่มีการเลี้ยงโคแบบขังคอก พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์อยู่ระหว่าง 0.83 ถึง 1.56 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนมที่ต่ำแสดงว่าในฟาร์มมีการบริหารจัดการฟาร์มที่ดี ส่วนในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นกรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนม เพื่อหาแนวทางในการลดการปลดปล่อย GHG ลดการสูญเสียพลังงานจากตัวสัตว์ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนในการผลิตในฟาร์มโคนม ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปลดปล่อย GHG ในระบบการเลี้ยงโคนมและหาแนวทางในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมประเทศไทย

วิธีการศึกษา

คัดเลือกฟาร์มตัวอย่างของเกษตรกรจำนวน 1 ฟาร์มในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน จำนวน 91 ตัว เก็บข้อมูลโดย แบ่งโคออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ โครีดนมจำนวน 40 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 549.55 กิโลกรัม โคพักรีดน้ำนม 23 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 594.78 กิโลกรัม โคสาวจำนวน 12 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 314.42 กิโลกรัมโครุ่นจำนวน 7 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 206.04 กิโลกรัม และลูกโคจำนวน 9 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 57.44 กิโลกรัม โดยในกลุ่มของโครีดน้ำนมและโคพักรีด มีการให้อาหารแบบแยกส่วนระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ ซึ่งมีการใช้หญ้ารูซี่เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก ส่วนในกลุ่มโคสาว โครุ่น และลูกโค ให้กินอาหารข้น และฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก เก็บข้อมูลปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนมตลอดทั้งปี วัดรอบอกโคเพื่อนำไปทำนายน้ำหนักตัวโค โดยใช้สมการทำนายน้ำหนักตัวที่มีความเหมาะสมกับโคนมในประเทศไทย (วิโรจน์และคณะ, 2550) เก็บตัวอย่างอาหารเพื่อนำไปคำนวณหาโภชนะในอาหาร โดยใช้โปรแกรม KCF 2011 (วิโรจน์ และมนต์ชัย, 2554) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำนายปริมาณ GHG โดยใช้สมการการผลิตก๊าซ CH_4 ในฟาร์ม (Chianese et al., 2009b) สมการทำนายก๊าซ N_2O (Chianese et al., 2009c) สมการทำนายก๊าซ CO_2 (Chianese et al., 2009a) และนำปริมาณน้ำนมที่ได้ไปประเมินหาปริมาณการปลดปล่อย GHG รวมระหว่างผลผลิตน้ำนม และผลผลิตสัตว์ที่เป็น

ผลผลิตจากฟาร์ม (allocated to milk) (Rotz et al., 2010) จากนั้นนำปริมาณ GHG ที่ได้สุทธิ มาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Rotz et al., 2010) ดังแสดงในสมการ

$$\text{Carbon footprint} = \frac{\text{Total GHG emission} \times \text{Allocated to milk}}{\text{Annual Milk Production/Cow}}$$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ปริมาณการกินได้และผลผลิตน้ำนมในฟาร์ม

จากการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม พบว่าในฟาร์มตัวอย่างมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 15.74, 12.20, 10.05, 5.75, และ 1.10 กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 17.84 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีผลผลิตน้ำนมรวมต่อตัวต่อปีที่มีการปรับพลังงานในน้ำนม (ECM) มีค่าเท่ากับ 5,100.92 กิโลกรัมต่อตัว ไขมันในน้ำนม 3.1 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนในน้ำนม 2.9 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตน้ำนมรวมตลอดทั้งปีในฟาร์มมีค่าเท่ากับ 204,037.07 กิโลกรัม ซึ่งจะนำไปประเมินหาการปลดปล่อย GHG รวมระหว่างผลผลิตน้ำนมและผลผลิตสัตว์ (allocated to milk) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า allocated to milk ที่มีการปลดปล่อย GHG มีค่าเท่ากับ 88.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง allocated to milk จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลผลิตน้ำนมในฟาร์มและปริมาณลูกโคและโคที่ขายออกจากฟาร์ม ซึ่งจากรายงานของ Rotz et al. (2010) รายงานว่า โดยทั่วไป allocated to milk ที่มีการปล่อย GHG สุทธิเท่ากับ 90 ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ allocated to milk มีค่าต่ำกว่าที่รายงานไว้ ทั้งนี้อาจจะเป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณน้ำนมและจำนวนของโคที่ขายออกนอกฟาร์ม

2. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas; GHG)

การปลดปล่อย GHG จากฟาร์มโคนม พบว่าในตัวสัตว์และโรงเรือนมีการปล่อยก๊าซ CH_4 สูงสุดเท่ากับ 39.14 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว (**Table 1**) ซึ่งจากการศึกษาของ Rotz et al. (2010) รายงานว่าปริมาณก๊าซ CH_4 ที่ปล่อยออกจากตัวสัตว์และโรงเรือนในการเลี้ยงโคแบบขังคอกและปล่อยเลี้ยงในแปลงหญ้า ในฟาร์มที่มีโค 60 ตัว ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 8,500 กิโลกรัมต่อตัว มีค่าเท่ากับ 233 และ 202 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว ส่วนในการเลี้ยงโคแบบขังคอก ที่มีโคจำนวน 500 ตัว ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 10,000 กิโลกรัมต่อตัว พบว่าปริมาณก๊าซ CH_4 ที่ปล่อยออกจากตัวสัตว์และโรงเรือนมีค่าเท่ากับ 145 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว ซึ่งทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากขนาดของตัวสัตว์, ผลผลิตน้ำนม, ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ให้สัตว์กิน ส่วนการปล่อยก๊าซ N_2O จากแปลงหญ้าสูงที่สุด และจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซ CO_2 จากแปลงหญ้ามีค่าติดลบเนื่องมาจากพืชมีการสะสมก๊าซ CO_2 เก็บสะสมในพืชจึงทำให้ค่าที่ได้ติดลบ และพบว่าการปลดปล่อย GHG จากการใช้ไฟฟ้า, น้ำมันเชื้อเพลิง,และ เครื่องจักรที่นำมาใช้ในฟาร์ม (secondary sources) มีการปลดปล่อย GHG เท่ากับ 4,932.67 กิโลกรัมของ CO_2e จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปริมาณ GHG ที่ปลดปล่อยจากฟาร์มโคนมตัวอย่างในจังหวัดขอนแก่นมีค่าเท่ากับ 5,141.12 กิโลกรัมของ CO_2e (**Table 1**) จากการศึกษาของ Rotz et al. (2010) โคจำนวน 60 ตัวโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างเลี้ยงโคแบบขังคอกและปล่อยแปลงหญ้า พบว่าปริมาณ GHG รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 6,372 และ 5,793 กิโลกรัมของ CO_2e ตามลำดับ และการเลี้ยงโคแบบขังคอก จำนวน 500 ตัว พบว่าปริมาณ GHG รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 5,753 กิโลกรัมของ CO_2e ซึ่งจะพบว่าการเลี้ยงปล่อยแปลงหญ้าจะมีปริมาณการปลดปล่อย GHG ต่ำกว่าในการเลี้ยงแบบขังคอก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับแหล่งของการปลดปล่อย GHG และการจัดการฟาร์มที่แตกต่างกัน จึงทำให้ปริมาณ GHG แตกต่างกัน

Table 1 Annual net contributions of each emission sources and total emissions from farm.

	Carbon Dioxide (kg CO_2 of/cow)	Methane (kg CH_4 of/Cow)		Nitrous Oxide (kg N_2O of/Cow)		total
	CO_2	CH_4	CO_2e[a]	N_2O	CO_2e[a]	CO_2e
Animal	109.21	32.17	804.25	-	-	913.46
Housing	1,015.69	6.97	174.25	0.0098	2.92	1,192.86
Manure storage	68.06	10.06	251.50	0.0128	3.8144	323.37
Pasture	-6,396	-	-	4.32	1,287.25	-5,108.75
Fuel combustion	2,887.51	-	-	-	-	2,887.51
Secondary Sources	-	-	-	-	-	4,932.67
Total farm emission						5,141.12
Allocated to milk (%)						88.87
Carbon footprint[1] (kg of CO_2e/kg of ECM)						0.89

[a]Assumes 1 CO_2e per unit of CO_2, 25 CO_2e per unit of CH_4, and 298 CO_2e per unit of N_2O.

[1]CO_2e = CO_2 equivalent. ECM = energy corrected milk with 3.5% fat and 3.1% protein concentrations.

3. ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนม

จากการนำปริมาณ GHG สุทธิมาใช้ประเมินหาปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนมจากฟาร์มตัวอย่าง พบว่าในการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม มีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 0.89 กิโลกรัม ของ CO_2e ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) (Table 1) ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์จะขึ้นอยู่กับปริมาณ GHG สุทธิทั้งหมดในฟาร์ม ผลผลิตน้ำนมในฟาร์มรวมทั้งหมดในรอบปีต่อตัว จากการศึกษาของ Mc Geough et al. (2012) โดยการใช้สมการในการทำนายปริมาณ GHG พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.92 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ Flysjo et al. (2011) ศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มประเทศสวีเดน ที่มีการเลี้ยงโคแบบให้อยู่โรงเรือนตลอดทั้งวัน พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์อยู่ระหว่าง 0.83 ถึง 1.56 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์จะมีความแตกต่างกันอาจจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณการปลดปล่อย GHG จากฟาร์ม, ขนาดของฟาร์ม, ผลผลิตน้ำนม, การจัดการการให้อาหาร, และการจัดการมูลในฟาร์ม ซึ่งถ้าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าต่ำแสดงว่าในฟาร์มมีการบริหารจัดการฟาร์มที่ดี ซึ่งแนวทางในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม ควรมีการจัดการด้านอาหาร เช่น การจัดสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น ชนิดของอาหารหยาบ การใช้พืชน้ำมัน การใช้สารอินทรีย์ (malate และ fumalate) และการใช้ probiotic เพื่อลดปริมาณการปล่อย GHG ในฟาร์มโคนม

สรุป

การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากฟาร์มตัวอย่างในจังหวัดขอนแก่น พบว่า ปริมาณ GHG ที่ปลดปล่อยจากฟาร์ม ส่วนใหญ่มาจากตัวสัตว์ ซึ่งในตัวสัตว์มีการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 สูงที่สุด เมื่อประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ต่อการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ซึ่งในการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่มีความแตกต่างกัน ขึ้นกับขนาดของฟาร์ม, การจัดการอาหาร, การจัดการฟาร์ม, และการจัดการมูลของแต่ละฟาร์ม ค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ต่ำแสดงว่าฟาร์มมีการบริหารฟาร์มที่ดี

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ โครงการส่งเสริมการวิจัยในระดับอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และโครงการกลุ่มวิจัยโคนมทนร้อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย, ฟาร์มตัวอย่างในจังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจากฟาร์ม และภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

วิโรจน์ ภัทรจินดา, มนต์ชัย ดวงจินดา, ปาริชาต คำฤาชา และ สมโภชน์ แก้วระหัน. 2550. การทำนายน้ำหนักโคตั้งแต่แรกเกิดถึงโครีดน้ำนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิโรจน์ ภัทรจินดา และมนต์ชัย ดวงจินดา. 2554. KCF 2011 โปรแกรมจัดการอาหารโคนมและคำนวณสูตรอาหารต่ำสุด. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Chianese, D.S., C.A. Rotz and T.L. Richard. 2009. Whole-farm greenhouse gas emissions: A review with application to a Pennsylvania dairy farm. Appl. Eng. Agric. 25:431-442.

Chianese, D.S., C.A. Rotz and T.L. Richard. 2009a. Simulation of carbon dioxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Trans. ASABE 52:1301-1312.

Chianese, D.S., C.A. Rotz and T.L. Richard. 2009b. Simulation of methane emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Trans. ASABE 52:1313-1323.

Chianese, D.S., C.A. Rotz and T.L. Richard. 2009c. Simulation of nitrous oxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Trans. ASABE 52:1325-1335.

Flysjo, A., M. Henriksson, C. Cederberg, S. Ledgard and J.- Eric Englund. 2011. The impact of various paramiters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. Agric. Syst. 104:459-469.

Mc Geough, E.J., S.M. Little, H.H. Janzen, T. A. McAllister, S.M. McGinn and K.A. Beauchemin. 2012. Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production in Eastern Canada: A case study. J. Dairy Sci. 95:5146-5175.

Rotz C.A., F. Montes and D.S. Chianese. 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. J. Dairy Sci. 93:1266-1282.

Rotz C.A., M.S. Corson, D.S. Chianese, F. Montes, S.D. Hafner, R. Jarvis and C.U. Coiner. 2011. Integrated farm system model: Reference manual, version 3.5. Pasture Systems and Watershed Management Research Unit Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. December 2011.