การถ่ายเทมวลคาร์บอนในกระบวนการผลิตปลาทับทิมที่เลี้ยงในบ่อดิน โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต กรณีศึกษาอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Carbon Massflow in Red Tilapia Cultured in Earthen bond by Using Life Cycle Assessment : A Case Study in Sena district, Phranakhon Si Ayutthaya Province

วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์1*

Watcharaporn Tantipanatip[1*]

Received: 17 October 2018 ; Revised : 7 January 2019 ; Accepted: 11 February 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของกระบวนการผลิตปลาทับทิมในบ่อดินจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยง โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต กรณีศึกษาอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระหว่างเดือนเมษายน – ธันวาคม พ.ศ. 2560 โดยการสำรวจและสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรเจ้าของฟาร์มประมงจำนวน 50 ฟาร์ม เกี่ยวกับรูปแบบการเลี้ยง ปริมาณอาหาร การใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สปิโตรเลียมเหลว นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างอาหาร เนื้อและมูลของปลาทับทิม ผลการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวปลาทับทิมผ่านการกินอาหารและการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายของปลาทับทิมเท่ากับ $3.6x10^{-3}$ และ $2.5x10^{-3}$ กก.คาร์บอน/ กก.ปลาทับทิม/วัน การปลดปล่อยคาร์บอนผ่านการขับถ่ายมูลสัตว์น้ำ การหายใจและการย่อยอาหารเท่ากับ $1.4x10^{-3}$ กก.คาร์บอน/กก.ปลาทับทิม/วัน ขณะเดียวกันตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 39.7952 กก.คาร์บอน/กก.ปลาทับทิม/วัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในฟาร์มประมง ดังนั้นแนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมควรพิจารณาในแง่ของการลดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง ซึ่งเกษตรกรควรลดระยะทางและจำนวนครั้งในการขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรควรเลือกซื้อลูกพันธุ์ปลาทับทิม อาหารและแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายในจังหวัดหรือพื้นที่ใกล้เคียงฟาร์มประมง

คำสำคัญ: การถ่ายเทมวลคาร์บอน การผลิตเนื้อปลาทับทิม ฟาร์มประมง การประเมินวัฏจักรชีวิต

Abstract

This article aims to study carbon massflow in red tilapia production from fishery farms located on Sena District, Phranakhon Si Ayutthaya Province, by using life cycle assessment during April to December, 2017. Fifty red tilapia farm owners were interviewed using a questionnaire about aquatic animal feed, electricity, gasoline and liquefied petroleum gas (LPG) use in their fishery farms. Furthermore, carbon content, carbon fixation and carbon emitted were also analyzed. The results revealed that the rate of carbon massflow from aquatic animal feed and carbon fixation in red tilapia meat were $3.6x10^{-3}$ and $2.5x10^{-3}$ kg.C/kg of red tilapia/day respectively. The ratio of carbon emitted from faeces, digestion and respiration was $1.4x10^{-3}$ kg.C/kg of red tilapia/day. Concomitant CO_2 emission from energy consumption in red tilapia farms was 39.7952 kg.C/kg of red tilapia/day. CO_2 emission from the use of fuel for

[1] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000*

[1] *Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat Province, 13000*

* *Corresponding author; Watcharaporn Tantipanatip, Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat Province, 13000, Thailand. momojay_25@hotmail.com*

transportation was the highest value followed by that of electrical energy. Therefore, efforts to reduce CO_2 emissions should be focused on reduction of energy consumption, especially in the use of diesel for transportation. Seeding farm at shorter distance, sorter shipment trips and nearer LPG distributors would be recommended to reduce the carbon emission course.

Keywords: Carbon massflow, red tilapia meat production, fishery farms, life cycle assessment

บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและภาคเกษตรกรรมเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย นอกเหนือจากภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม และภาคการจัดการของเสีย สำหรับภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ดินและป่าไม้มีการรายงานปริมาณการดูดกลับของก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 - 2553[1] ขณะเดียวกันสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม[2] ได้ประมาณอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย พบว่ามีปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 229 ล้านตัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2eq$) เป็นการปลดปล่อยจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและภาคเกษตรกรรมประมาณ 52 $MtCO_2eq$ (ร้อยละ 23 ของปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด) ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและภาคเกษตรกรรมทั่วโลก (ร้อยละ 14)

กิจกรรมการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมจัดเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย มีทั้งหน่วยงานภาครัฐบาลและเอกชนให้การสนับสนุน แนะนำและส่งเสริมแก่เกษตรกรให้มีการเพาะเลี้ยง ปลาทับทิมในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง สืบเนื่องจากปริมาณความต้องการบริโภคเนื้อปลาทับทิมทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับปลาทับทิมเป็นปลาน้ำจืดที่สามารถเพาะเลี้ยงและแพร่ขยายพันธุ์ได้ง่ายในทุกสภาพของท้องถิ่นทั้งในประเทศเขตร้อนและเขตอบอุ่น นอกจากนี้ยังเป็นสายพันธุ์ปลาที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ภายในบ่อเลี้ยงได้เป็นอย่างดี มีความแข็งแรงและทนทานต่อโรค การเจริญเติบโตดีและสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบการเพาะเลี้ยงตามธรรมชาติและการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ได้อย่างดี

แต่ในทางกลับกันนโยบายส่งเสริมกิจกรรม เพาะเลี้ยงปลาทับทิมในเชิงพาณิชย์จากทั้งภาครัฐบาลและเอกชนกลับเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลภาวะทางน้ำสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น ความเป็นกรดของอากาศและแหล่งน้ำจากก๊าซ ต่าง ๆ ที่อาจถูกปลดปล่อยจากกระบวนการเพาะเลี้ยง ปัญหาเศษอาหารเหลือทิ้ง การใช้ยารักษาโรคและสารเคมีในการเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการเปลี่ยนถ่ายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication และปัญหาการลดลงของทรัพยากรที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต[3]

ขณะเดียวกันการดำเนินกิจกรรมฟาร์มประมงยังก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งความต้องการใช้พลังงานนั้นเชื่อมโยงกับรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความหนาแน่นของสัตว์น้ำและวิธีการเลี้ยงสัตว์น้ำที่สัมพันธ์กับปริมาณของการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นอัตโนมัติ นอกจากนี้ความต้องการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทางอ้อม ได้แก่ อาหารสัตว์น้ำ สารเคมี ยารักษาโรคและปัจจัยในการผลิตวัสดุต่าง ๆ รวมทั้งการใช้พลังงานด้านคมนาคมขนส่งและการรักษาความสดของผลผลิตปลาทับทิม เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นตัวแปรสำคัญต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่อาจถูกปลดปล่อยในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ[4-6]

ดังนั้นการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ การดำเนินกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเลี้ยงปลาทับทิมในครั้งนี้ เพื่อหาแนวทางจัดการและส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทับทิมในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมเลี้ยงปลาทับทิมอย่างหนาแน่น ดังนั้นหากเกษตรกรตระหนักถึงความสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเลี้ยง การมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่เหมาะสมและยั่งยืน โดยประยุกต์ใช้แนวทางประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดขอบเขตการพิจารณาให้ครอบคลุมเฉพาะระยะการทำฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินเท่านั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวปลาทับทิมและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมต่อหน่วยการผลิตปลาทับทิม 1 กิโลกรัม เพื่อประโยชน์ต่อการทำข้อมูลบัญชีคาร์บอนของประเทศ ในการจัดลำดับความสำคัญของการผลิตอาหารประเภทเนื้อสัตว์น้ำ

จากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในปริมาณน้อยที่สุด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การกำหนดขอบเขตการศึกษา

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเกษตรกรผู้ประกอบอาชีพฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดิน ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา การกำหนดตัวอย่างเกษตรกร ในพื้นที่ศึกษาโดยอาศัยฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทับทิมที่ขึ้นทะเบียนกับสำนักงานประมงจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 73 ฟาร์ม โดยอาศัยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified sampling) เพื่อให้ครอบคลุมตัวแทนฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในขั้นตอนการกำหนดตัวอย่างฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมได้ประยุกต์ใช้วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างของ Krejcie and Morgan[7] และ Yamane[8] ทั้งนี้ในการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินได้ดำเนินการใน 50 ฟาร์ม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลสำหรับการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของกระบวนการผลิตปลาทับทิมของอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการประยุกต์ใช้วิธีประเมินวัฏจักรชีวิตขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีสัมภาษณ์ (Interview) เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทับทิมทั้ง 50 ฟาร์ม โดยแบบสัมภาษณ์ดังกล่าวได้ประยุกต์ตามคู่มือการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกและแนวทางประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์[3,9] ทั้งนี้แบบสัมภาษณ์ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเลี้ยง ระยะเวลาเลี้ยง ชนิดของอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำและปริมาณการใช้อาหาร ผลผลิตปลาทับทิม ปริมาณของเสียในรูปของ มูลสัตว์น้ำ น้ำทิ้งตลอดการเลี้ยงปลาทับทิม ประเภทและปริมาณการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)) เป็นต้น ซึ่งดำเนินการศึกษาระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

ตัวอย่างอาหารปลา เนื้อและมูลของปลาทับทิมที่รวบรวมได้จากฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมทั้ง 50 ฟาร์ม ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ในรูปของอาหาร เนื้อและมูลของปลาทับทิม (Table 1) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากมูลปลาทับทิมสดด้วยเครื่อง GAS Analyzer และส่วนที่ 2 วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนจากตัวอย่างอาหาร เนื้อและมูลปลาทับทิมที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาแล้วด้วยเครื่อง LECO CHN628 Series Elemental Analyzer

Table 1 Analyzing methods for red tilapia meat, aquatic animal feed and faeces

Property	Method
Moisture content	Dry weight of known samples, dried at 103 - 105^{O}C for 24 h[10]
Volatile solid	Lost weight from known weight of samples, incinerated at 550^{O}C for 30 min[11]
Fixed solid	Remaining weight from known weight of samples, incinerated at 550^{O}C for 30 min[11]
Carbon content	Carbon measurement of dried samples by LECO CHN628 Series Elemental Analyzer[10] and CO_2 measurement from faeces, digestion and respiration of fish by Gas Analyzer Respiration Trial System[12]

การคำนวณปริมาณการถ่ายเทมวลคาร์บอนในกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิม

การคำนวณปริมาณการถ่ายเทมวลคาร์บอนตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากตัวอย่าง ฟาร์มเลี้ยงทั้ง 50 ฟาร์ม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยรายงานในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อผลผลิตปลาทับทิม 1 กิโลกรัมต่อวัน (kg C/kg of fish/day) เมื่อทราบปริมาณคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมในตัวอย่างอาหาร เนื้อและมูลปลาทับทิมสามารถนำใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารปลาไปสู่ตัวปลาทับทิม (C_{input}) ซึ่งบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงมวลคาร์บอนเปรียบเทียบกับเวลาและอัตราการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในรูปของเนื้อปลาทับทิม ($C_{fixation}$) และการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของก๊าซ CO_2 และ CH_4 ($C_{emitted}$) ผ่านการหายใจและการขับถ่ายของเสีย โดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวล[13] ดังแสดงในสมการที่ (1)

$E_{total} = n_{fish} \times (EF_{metabolic} + EF_{spreading} + EF_{energy\ equivalent})$ (1)

โดยที่ E_{total} คือ คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยทั้งหมด (kg C/day)

n_{fish} คือ จำนวนปลาทับทิม (individual)

$EF_{metabolic}$ คือ คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากการหายใจของปลาทับทิม (kg.C/kg of red tilapia/day)

$EF_{spreading}$ คือ คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากสิ่งขับถ่าย (มูลปลาทับทิม) (kg.C/kg of red tilapia/day)

$EF_{energy\ equivalent}$ คือ คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานตลอดการผลิตปลาทับทิมและการรักษาความสดของผลผลิต (พลังงานเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และแก๊ส LPG (kg.C/kg of red tilapia/day)

ผลการศึกษา

กระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมและบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

ผลสำรวจข้อมูลจากเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินจำนวน 50 ฟาร์ม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีขนาดบ่อเลี้ยงระหว่าง 0.25 – 2 ไร่ สามารถจัดแบ่งรูปแบบการบริหารจัดการฟาร์มประมงออกเป็นการบริหารจัดการโดยเกษตรกรเป็นเจ้าของ (ร้อยละ 97) และการบริหารจัดการโดยภาคเอกชน (ร้อยละ 3) นอกจากนี้แต่ละฟาร์มประมงที่ดำเนินการศึกษามีการเลี้ยงปลาทับทิมเฉลี่ย 2 – 3 รุ่นต่อปี แต่ละรุ่น มีระยะเวลาเลี้ยงปลาทับทิมประมาณ 4 – 5 เดือน และ มีอัตราการปล่อยปลาทับทิมลงเลี้ยงระหว่าง 1,000 – 1,500 ตัว/ไร่ ขนาดผลผลิตปลาทับทิมที่จับจำหน่ายสู่ตลาดหรือผู้บริโภคประมาณ 0.6 – 0.8 กิโลกรัมต่อตัว ขณะที่รูปแบบ การเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินแบบพัฒนาในปัจจุบัน เกษตรกรนิยมใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 25 – 30% ในปริมาณ 3 – 4% ของน้ำหนักตัวปลาทับทิมและมีอัตรา การปล่อยปลาทับทิมลงเลี้ยงระหว่าง 5,000 – 8,000 ตัว/ไร่ รวมเวลาเลี้ยงทั้งสิ้น 5 – 6 เดือน และได้ผลผลิตปลาทับทิมขนาด 1 – 2 ตัวต่อกิโลกรัม[14] นอกจากนี้ผลการสำรวจพบว่าความต้องการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า แก๊ส LPG ทรัพยากรน้ำและปริมาณการใช้อาหารปลาทับทิมในแต่ละฟาร์มยังแปรผันตามความหนาแน่นของ ปลาทับทิมที่เลี้ยง (Table 2)

Table 2 Inventory and input–output analysis (mean±SD) for the red tilapia production of 1 kilogramme live-weight

Item		Unit	result
General information	Pond area	rai	1.05±0.57
	Duration of culture	day	128.00±0.61
	Feed conversion ratio	-	2.53±0.62
Input	Feed consumed	kg/rai/year	9,668.78±0.42
	Electricity use	kWh/kg of red tilapia/rai	1.41±0.47
	Diesel oil use	l/kg of red tilapia/rai	0.37±0.38
	LPG use	kg/kg of red tilapia/rai	0.32±0.30
Output	Fish production	kg/rai/year	3,826.22±0.59
	Waste water	cubic metre	4,027.48±0.60
	Faeces	kg/rai	368.50±0.38

การถ่ายเทมวลคาร์บอนของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยง

อัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากกระบวนการเลี้ยงปลาทับทิมจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่หนึ่งเป็นการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารที่เกษตรกรใช้สำหรับเลี้ยงปลาทับทิม (C_{input}) เท่ากับ 3.6×10^{-3} kg.C/kg of red tilapia/day ลักษณะ ที่สองเป็นปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมในรูปของเนื้อและอวัยวะต่าง ๆ ของปลาทับทิม ($C_{fixation}$) เท่ากับ 2.5×10^{-3} kg.C/kg of red tilapia/day และลักษณะสุดท้ายเป็นปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยในรูปแบบของมูล ($C_{emitted}$) เท่ากับ 1.2×10^{-3} kg.C/kg of red tilapia/day (Table 3 และ 4) ขณะเดียวกันพบว่าประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอน ($C_{fixation}$) ของปลาทับทิมคิดเป็นร้อยละ 69.44

Table 3 Carbon massflow of the red tilapia production from fishery farms (mean±SD)

Item	C transferred
Average of live-weight fish*	1.1970±0.2168
Weight of fresh faeces excreted**	0.0137±0.0106
Faeces excreted per weight fish (%)	1.25
C_{input}***	0.0036±0.0015
$C_{fixation}$***	0.0025±0.0018
$C_{emitted}$***	0.0012±0.0009
$C_{emitted}/C_{input}$ (%)	30.56
$C_{emitted}/C_{fixation}$ (%)	44.00
C-Fixation efficiency (%)	69.44

Note : * Unit = kg/individual

** Unit = kg/kg of red tilapia/day

*** Unit = kg.C/kg of red tilapia/day

การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้พลังงานในการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยง

ฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมทั้ง 50 ฟาร์ม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีความต้องการใช้พลังงานตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมเริ่มตั้งแต่การจัดหาลูกพันธุ์ปลาทับทิม การเลี้ยงปลาทับทิมในฟาร์มและการเก็บเกี่ยวผลผลิตพร้อมจำหน่ายสู่ผู้บริโภค ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊มน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยงและการให้แสงสว่าง การใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องให้อากาศ การใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องปั๊มน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยงและกระบวนการขนส่ง (ลูกพันธุ์ปลาทับทิม อาหารปลาและแก๊ส LPG มายังฟาร์มประมง รวมทั้ง การขนส่งผลผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเลี้ยงไปยังตลาด ร้านอาหารหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ)

Table 4 Average of C_{input} from feed, $C_{fixation}$ in fish bodies, and $C_{emitted}$ in the form of CO_2 and CH_4 from faeces, digestion and respiration of red tilapia (mean±SD)

Item			Carbon content
Carbon transferred from aquatic animal feed to red tilapia (C_{input}) (kg.C/kg of red tilapia/day)			0.0036±0.0015
Carbon fixation (kg.C/kg of red tilapia/day)	Meat		0.0008
	Bone and visceral organs		0.0017
	Total carbon accumulated in red tilapia body (mass equilibrium)		0.0025±0.0018
Carbon emitted (kg.C/kg of red tilapia/day)	Dry faeces		0.00108
	$C_{emitted}$ of CO_2 and CH_4	Faeces	0.00009
		Digestion and respiration	0.00000037
	Total carbon emitted from red tilapia		0.0012±0.0009

ก๊าซ CO_2 ที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมจำนวน 50 ฟาร์ม ($C_{emission}$) (Table 5) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.7952 kg.C/kg of red tilapia/day ซึ่งพบว่ากิจกรรมในภาคการคมนาคมขนส่งก่อให้เกิดความต้องการใช้พลังงานและปลดปล่อยก๊าซ CO_2 สูงที่สุด (39.6578 kg.C/kg of red tilapia/day)

Table 5 Average of $C_{emission}$ from energy consumption of red tilapia farm (mean±SD) (kg.C/kg of red tilapia/day)

Energy consumption	$C_{emission}$
Fuel for transportation	39.6578±7.5089
Fuel for machine	0.0013±0.0011
Electricity	0.1356±0.2333
LPG	0.0005±0.0011
Total $C_{emission}$ from energy use/1 kg red tilapia/day	39.7952

ดังนั้นเมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งพบว่าระยะทางในการขนส่ง น้ำหนักระหว่างการขนส่งและประเภทของรถยนต์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ซึ่งการศึกษานี้พบว่าระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งลูกพันธุ์ ปลาทับทิมมายังฟาร์มเลี้ยงเท่ากับ 83.5588 กิโลเมตร โดยเกษตรกรส่วนใหญ่มีการจัดซื้อลูกพันธุ์ปลาทับทิมจากหลายจังหวัด เช่น จังหวัดสุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง นครสวรรค์และนครปฐม เป็นต้น ระยะทางเฉลี่ย ในการขนส่งอาหารปลามายังฟาร์มเลี้ยงเท่ากับ 107.5318 กิโลเมตร และระยะทางเฉลี่ยของการขนส่งแก๊ส LPG มายังฟาร์มเลี้ยงเท่ากับ 10.1900 กิโลเมตร สำหรับระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งผลผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเลี้ยงไปยังตลาดหรือร้านอาหารเท่ากับ 46.7093 กิโลเมตร ทั้งนี้เกษตรกรนิยมใช้รถกระบะสำหรับการบรรทุกในทุกกิจกรรม โดยสามารถแสดงสัดส่วนความต้องการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งดังแสดงใน Figure 1

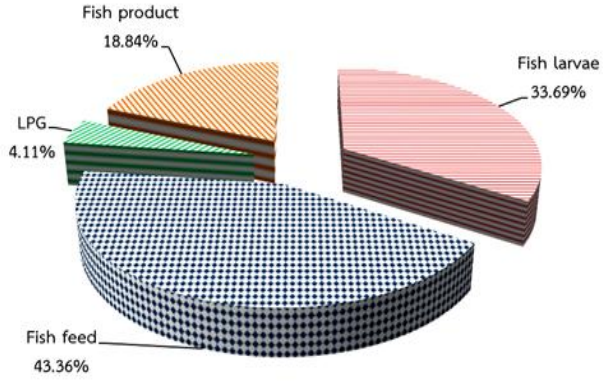

Figure 1 Proportion of fuel used for transportation of red tilapia farm

วิจารณ์และสรุปผล

ผลวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อดินจำนวน 50 ฟาร์ม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การถ่ายเทมวลคาร์บอนที่เกิดจากการกินอาหารของปลาทับทิม (C_{input}) การเก็บสะสมมวลคาร์บอนในร่างกาย ($C_{fixation}$) และมวลคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยในรูปของมูลสัตว์น้ำ ก๊าซ CO_2 และ CH_4 จากกระบวนการหายใจและการย่อยอาหาร ($C_{emitted}$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.6x10^{-3}$, $2.5x10^{-3}$ และ $1.2x10^{-3}$ kg.C/kg of red tilapia/day ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนมาเก็บสะสมไว้ในร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ ของปลาทับทิมคิดเป็นร้อยละ 69.44 ซึ่งมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนที่ได้รับจากอาหาร (C_{input}) และปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย ($C_{emitted}$) ซึ่งเป็นผลจากอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในกระบวนการผลิตปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ขณะเดียวกันเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนในสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ จากกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดินและมีรูปแบบการใช้อาหารสำเร็จรูปและกำหนดให้อาหารที่เกษตรกรนำมาเลี้ยงสัตว์น้ำเป็น แหล่งคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบเพียงอย่างเดียว พบว่า ปลาทับทิมมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนต่ำกว่า กุ้งก้ามกราม (ร้อยละ 99.11)[15] ปลากะพงขาว (ร้อยละ 98.73) และกุ้งขาวแวนนาไม (ร้อยละ 84.00) เมื่อเทียบในปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมเท่ากัน[16] เนื่องจากปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในอาหารสัตว์น้ำที่มีการปรับแต่งคุณค่าทางโภชนาการให้เหมาะสมต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำแต่ละชนิด

นอกจากนี้ของเสียในรูปของมูลสัตว์น้ำที่เกิดจากการขับถ่ายและเก็บสะสมไว้บริเวณหน้าดินภายในบ่อเลี้ยง เมื่อบริเวณหน้าดินอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนมวลคาร์บอนที่ถูกสะสมในรูปของมูลสัตว์น้ำจะถูกย่อยสลายและก่อให้เกิดก๊าซ CH_4 และ N_2O ขณะเดียวกันอาหารสัตว์น้ำที่เหลือทิ้งบริเวณพื้นบ่อพบว่าร้อยละ 5 ของเศษอาหารเหลือทิ้งทั้งหมดจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ให้กลายเป็นธาตุอาหารภายในบ่อเลี้ยง และ ประมาณร้อยละ 50 ของธาตุอาหารที่เกิดขึ้นนี้ประกอบด้วยมวลคาร์บอนประมาณ 25 กรัม ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนมวลคาร์บอนเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อีกครั้งและก่อให้เกิดก๊าซ CH_4 ประมาณ 33 กรัม[17, 18] ทั้งนี้ก๊าซ CH_4 มีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potentials: GWPs) สูงกว่าก๊าซ CO_2 ถึง 23 เท่า[19] ผลวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้พลังงานตลอดทั้งกระบวนการผลิตปลาทับทิมจาก การดำเนินกิจกรรมฟาร์ม

เลี้ยง ($C_{emission}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.7952 kg.C/kg of red tilapia/day โดยความต้องการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับ การขนส่งเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในปริมาณสูงสุดเท่ากับ 39.6578 kg.C/kg of red tilapia/day สอดคล้องกับผลการศึกษาที่สรุปว่าการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 [14, 15, 19] ดังนั้น เมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมพบว่าความต้องการใช้พลังงานในหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะภาคการขนส่งเป็นสาเหตุหลักในการปลดปล่อยก๊าซ CO_2

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเลี้ยง ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้ ซึ่งมีปัจจัยสำคัญด้านความต้องการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในปริมาณสูงที่สุด สอดคล้องกับผลการศึกษาอื่น ๆ ที่ระบุว่าความต้องการใช้พลังงานในภาคการคมนาคมขนส่งเป็นภาคที่ก่อให้เกิด การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด[9, 16, 20, 21]

แนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จาก การดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ควรเสนอแนะให้เกษตรกรลดความต้องการใช้พลังงานหรือปรับเปลี่ยนประเภทของพลังงานที่มีสัดส่วนในการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่น้อยลง เช่น การลดระยะทางและจำนวนเที่ยวในการขนส่ง ลูกพันธุ์ปลาทับทิม อาหารปลาและแก๊ส LPG มายังฟาร์มเลี้ยง ตลอดจนการขนส่งผลผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเลี้ยงไปสู่ตลาด ร้านอาหาร หรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยการเลือกซื้ออาหารปลาทับทิมแก๊ส LPG และตลาดหรือแหล่งขายผลผลิตปลาทับทิมภายในอำเภอหรือพื้นที่ใกล้เคียงกับฟาร์มเลี้ยง รวมทั้งส่งเสริมให้เกษตรกรมีระบบการจัดทำบัญชีรายการวัตถุดิบตลอดกระบวนการเลี้ยงปลาทับทิม เพื่อให้เกษตรกรสามารถประเมินปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการใช้ในแต่ละรอบของการเลี้ยงและนำมาใช้ในการบริหารจัดการเกี่ยวกับการจัดเตรียมและการขนส่งวัตถุดิบภายในฟาร์มเลี้ยงได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งวัตถุดิบต่าง ๆ และช่วยลดปริมาณก๊าซ CO_2 ที่ถูกปลดปล่อยผ่านการดำเนินกิจกรรมภายในฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในแง่ของการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) เป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องปั๊มน้ำของเกษตรกร จึงควรเสนอแนะให้เปลี่ยนมาใช้แหล่งกำเนิดพลังงานจากไฟฟ้าหรือการติดตั้งโซล่าเซลล์ เนื่องจากมีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากพลังงานไฟฟ้าเพียง 0.5821 Kg.CO_2/kWh ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิง (เผาไหม้อยู่กับที่) โดยน้ำมันดีเซลมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ประมาณ 2.7080 kg.CO_2/L[20] ขณะเดียวกันพลังงานไฟฟ้ายังมีประสิทธิภาพในกระบวนการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งยังไม่มีเขม่าควันและขี้เถ้าจากกระบวนการเผาไหม้ จึงช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศน้อยกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาทับทิม ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2560

เอกสารอ้างอิง

1. สิรินทรเทพ เต้าประยูร. สถานภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย แนวโน้มการปล่อยในอนาคต. (2554). ใน: รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก. สำนักงานกองทุนสนับสนุน การวิจัย.
2. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. Thailand's national greenhouse gas inventory. [ออนไลน์]. 2553. [สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2560]; ได้จาก: http://www.thaiwikidata.org/ wiki/index.php.
3. Pelletier NL, Ayer NW, Tyedmers PH, Kruse SA, Flysjo A, Robillard G, Ziegler F, Scholz AJ and Sonesson U. Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: Review and prospectus. Int J LCA. 2007; 12: 414-421.
4. Rakocy JE, Masser MP and Losordo TM. Recirculating aquaculture tank production systems aquaponics - integration fish and plant culture. Auburn, USA: SRAC Publication; 2006.
5. Colt J, Summerfelt S, Pfeiffer T, Fivelstad S and Rust M. Energy and resource consumption of land-based Atlantic salmon smolt hatcheries in the Pacific Northwest (USA). Aquaculture. 2008; 280: 94-108.
6. Adams CA, Andrews JE and Jickells T. Nitrous oxide and methane fluxes vs. carbon, nitrogen and phos-

phorous burial in new intertidal and saltmarsh sediments. Sci. Total Environ. 2012; 434: 240-251.

7. Krejcie RV and Morgan EW. Determining sample size for research activities. Educational and psychological measurement; 1970. P. 607-610.
8. Yamane T. Mathematics for economists: An elementary survey. 2nd Edition. New Delhi: Prentice-Hall; 1973.
9. Pelletier NL and Tyedmers PH. Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. J. Ind. Ecol. 2010; 14: 467-481.
10. Manlay RJ, Ickowicz A, Masse D, Floret C, Richard D and Feller C. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village in the West African savanna-II, element flows and functioning of a mixed-farming system. Agricultural Systems. 2004; 79: 83-107.
11. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Edition. Washington. D.C., USA: American Public Health Association; 1992.
12. Nathawut T, Wut D and Prayong K. Comparison of carbon emitted from ox, buffalo, pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. Suranaree J. Sci. Technol. 2009; 16(2): 79-90.
13. UNECE. Task Force on Emission Inventories and Projections. [On-line]. 2004. [Accessed date: October 20, 2016.]. Available: http://tfeip-secretariat.org/unece.htm.
14. นวลมณี พงศ์ธนา. ปัจจัยการเพาะเลี้ยงปลานิลและปลานิลแดงให้ประสบผลสำเร็จ. สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง; 2553. 47 หน้า
15. วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์, สุวิทย์ จิตรภักดี, ประยงค์ กีรติอุไร และ ณัฐวุฒิ ธานี. การปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานในฟาร์ม กุ้งก้ามกราม โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัย ราชภัฏกลุ่มศรีอยุธยา ครั้งที่ 7; วันที่ 7 – 8 กรกฎาคม 2559.
16. ณัฐวุฒิ ธานี. การศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวจาก การทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต: กรณีศึกษาจังหวัดตรัง ประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ; 2558.
17. Burg van den SWK, Taal C, Boer de IJM, Bakker T and Viets TC. Environmental performance of wild-caught North Sea whitefish: A comparison with aquaculture and animal husbandry using LCA. LEI, Den Haag; 2012.
18. Rasenberg MMM, Poelman M, Smith SR and Hoof van LJW. GHG emissions in aquatic production systems and marine fisheries. Netherlands: IMARES Wageningen UR; 2013.
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 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; 2001.
20. Mungkung RT, Haes de HAU and Clift R. Potentials and limitations of life cycle assessment in setting ecolabelling criteria: A case study of Thai shrimp aquaculture product. Int J LCA. 2006; 11: 55-59.
21. Tantipanatip W, Jitpukdee S, Keeratiurai P, Tantikamton K and Thanee N. Carbon massflow from Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*) production using life cycle assessment in Songkhla Province, Thailand. Int. j. adv. agric. environ. 2015; 2(1): 13-17.
22. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก. ใน: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. พิมพ์ครั้งที่ 1. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก; 2557. 49 หน้า.