

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัดเม็ดและการใช้ปุ๋ยเคมี
ต่อผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในระบบการผลิตข้าว

A Comparative Study on Environmental Impacts of Using Pelleted High-quality
Organic Fertilizer and Chemical Fertilizer in Rice Production Systems

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ^{1*} และจีระศักดิ์ ขอบแต่ง²

Auraiwan Isuwan^{1*} and Jeerasak Chobtang²

¹คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี เพชรบุรี 76120

²สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ปทุมธานี 12000

¹Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Petchaburi Campus
Petchaburi, Thailand 76120

²Bureau of Animal Nutrition Development, Department of Livestock Development, Pathumthani, Thailand 12000

*Corresponding author: isuwan_a@silpakorn.edu

Received: March 23, 2020

Revised: August 21, 2020

Accepted: October 09, 2020

Abstract

Strategic use of fertilizers is one of the most important approaches to improve productivity of rice farming. Fertilizer types, and rates and methods of application lead to degree of environmental impacts. The present research aimed to compare the environmental impacts of rice farming systems that received either chemical fertilizers or high-quality organic fertilizers using a cradle-to-farm gate Life Cycle Assessment (LCA) approach. Four environmental indicators used comprised climate change (CC), Acidification Potential (AP), Freshwater Eutrophication Potential (FEP) and Marine Eutrophication Potential (MEP). Results showed that rice applied with chemical fertilizers obtained more nitrogen and phosphorus minerals at approximately 6 and 3 folds, respectively compared with the rice received organic fertilizers. However, fertilizer regimes had no effects on grain yield (kg/rai) and the CC indicator ($P>0.05$). In contrast, the use of organic fertilizers led to lowering the AP, FEP and MEP indicators ($P<0.05$). In conclusion, the use of organic fertilizers in rice production systems does not negatively affect grain production but reduce some environmental impacts.

Keywords: environmental impact, chemical fertilizer, organic fertilizer, rice
sugar industrial by product

บทคัดย่อ

การใช้ปุ๋ยเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตการทำนา การเลือกใช้ชนิดปุ๋ย อัตราการใช้ปุ๋ย และวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมช่วยลดความเข้มข้นของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างการปลูกข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) โดยมีตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ ค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศ (Climate Change, CC) ดัชนีการเกิดฝนกรด (Acidification Potential, AP) ดัชนีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำจืด (Freshwater Eutrophication Potential, FEP) และดัชนีการปนเปื้อนของมหาสมุทร (Marine Eutrophication Potential, MEP) ผลการศึกษาพบว่าข้าวในระบบการทำนาแบบใส่ปุ๋ยเคมีได้รับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่าข้าวในระบบการทำนาแบบใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 6 และ 3 เท่า ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวเปลือกและค่า CC ต่อ 1 กิโลกรัมข้าวเปลือกมาตรฐานแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในทางกลับกันการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยลดค่า AP, FEP และ MEP ($P < 0.05$) ผลการศึกษารูปได้ว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระบบการปลูกข้าวนั้นนอกจากจะไม่กระทบต่อการให้ผลผลิตของข้าวแล้ว ยังช่วยลดค่าดัชนีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมบางค่าด้วย

คำสำคัญ: ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ปุ๋ยเคมี
ปุ๋ยอินทรีย์ ข้าว ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม
น้ำตาลทราย

คำนำ

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental impact) ที่เกิดจากระบบการปลูกข้าวมีมากขึ้น IPCC (2006) รายงานว่า การผลิตข้าวทั่วโลกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) คิดเป็นร้อยละ 13 ของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งหมด Bacenetti *et al.* (2020) และ Brodt *et al.* (2014) พบว่านอกจากก๊าซมีเทนแล้วการใช้ปุ๋ยเคมีมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น Nunes *et al.* (2016) รายงานว่า ร้อยละ 34 ของค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลก (Climate change) ของข้าวเกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตปุ๋ยเคมีมีการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมสูงมาก (Bacenetti *et al.*, 2020; Hasler *et al.*, 2015)

นอกจากนี้ Ghosh and Bhat (1998); Isuwan *et al.* (2018a); Meng *et al.* (2014) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนนั้นนอกจากจะส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide) แล้วยังส่งผลทำให้การชะละลาย (Leaching) ของไนเตรต (Nitrate) ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในหลายๆ รูปแบบ เช่น ก๊าซแอมโมเนียมีผลต่อการเพิ่มสภาวะความเป็นกรด (Acidification) ของระบบนิเวศ โดยเมื่อก๊าซแอมโมเนียตกลงมาสู่ระบบนิเวศ (Atmospheric deposition) และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะถูกแบคทีเรียในดินเปลี่ยนให้กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น ไนไตรต์ (Nitrite) และไนเตรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดไฮโดรเจน

ไอออนอิสระ (H^+) ซึ่งก่อให้เกิดภาวะดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Bolan and Hedley, 2003) หรือก๊าซไนโตรัสออกไซด์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลกและการชะละลายของไนเตรตส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำตามธรรมชาติรวมถึงมหาสมุทร (Eutrophication) ในทำนองเดียวกัน การใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสก็มีผลทำให้เกิดการชะละลายและไหลบ่าของสารประกอบฟอสฟอรัสไปสู่ระบบนิเวศส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของฟอสฟอรัสตามธรรมชาติและก่อให้เกิดภาวะการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (Ortiz-Reyes and Anex, 2018) ดังนั้น การลดการใช้ หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของระบบการปลูกข้าว

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรนั้น นอกจากจะสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านการจัดการของเสียแล้วยังสามารถช่วยลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมี ในระบบการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยจะมีกากตะกอนอ้อย (Filter cake) กากน้ำตาล และซีเถ้าขานอ้อย เป็นวัสดุเหลือใช้ที่สำคัญ วัสดุเหลือใช้เหล่านี้สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงได้ (Meunchang *et al.*, 2005) และสามารถใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกข้าวได้โดยไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต (Isuwan *et al.*, 2018b) และการให้ผลผลิตของข้าว (Isuwan *et al.*, 2018c) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายในระบบการปลูกข้าว ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของข้าวที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำจากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล อ้อยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี

วิธีดำเนินการวิจัย

ประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ISO 2006:14040 และ ISO 2006:14044 โดยจะมีการประเมินปริมาณปัจจัยการผลิตที่ใช้และปริมาณมลพิษที่มีการปลดปล่อย (Emissions) สู่อากาศในสิ่งแวดล้อมในการผลิตข้าวเปลือกมาตรฐาน 1 กิโลกรัม (ข้าวเปลือกที่มีความชื้นร้อยละ 14)

กลุ่มตัวอย่าง

เกษตรกรที่เข้าร่วมการวิจัยนี้เป็นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 8 ราย ในตำบลไร่สะท้อน และตำบลไร่ส้ม อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี พื้นที่ศึกษาทั้งหมดเป็นชุดดินเพชรบุรีซึ่งเป็นชุดดินหลักที่มีการทำนาในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี เกษตรกรทั้งหมดปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยวิธีการหว่าน มีอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเกษตรกรแต่ละรายมีการทำนาทั้ง 2 รูปแบบ แต่มีการแบ่งพื้นที่การปลูกข้าวระหว่างแปลงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัดเม็ด (แปลงขนาด 1-3 ไร่) และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี (แปลงขนาด 1-3 ไร่) ออกจากกันอย่างชัดเจนทำให้ไม่มีการปนเปื้อนของปุ๋ยระหว่างแปลง และมีเพียงรูปแบบการจัดการปุ๋ยเท่านั้นที่แตกต่างกัน ส่วนการจัดการแปลงด้านอื่นๆ เช่น การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้วิธีการเดียวกัน สำหรับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัดเม็ดจะมีการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวต่อ 1 รอบการผลิต โดยใส่พร้อมการเตรียมดิน ในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของ Isuwan *et al.* (2018c) ส่วนการปลูกข้าวใช้ปุ๋ยเคมีนั้นเป็นการใส่ปุ๋ยตามปกติของเกษตรกรโดยมีการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ต่อ 1 รอบการผลิต

โดยครั้งที่ 1 ใส่มือข้าวอายุ 22 วัน โดยใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะข้าวแตกกอหรือเมื่อต้นข้าวอายุ 55 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ รวบรวมข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงผลผลิตข้าวเปลือกโดยวิธีการบันทึกข้อมูลร่วมกับการสัมภาษณ์เกษตรกร เนื่องจากเกษตรกรทุกรายเก็บเกี่ยวข้าวและทิ้งฟางข้าวไว้ในนา ดังนั้น ผลผลิตเพียงอย่างเดียวที่เกิดจากระบบการผลิตข้าวนี้ คือ ข้าวเปลือก

หน่วยอ้างอิง (Functional unit) และขอบเขตของระบบ (System boundary)

การวิจัยใช้ปริมาณข้าวเปลือกมาตรฐาน 1 กิโลกรัม เป็นหน่วยอ้างอิง โดยที่ข้าวเปลือกมาตรฐานหมายถึง ข้าวเปลือกที่มีการทำความสะอาดแล้วและปรับความชื้นเป็นร้อยละ 14 และการประเมินวัฏจักรชีวิตของข้าวจะรวบรวมปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตและการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมดเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (Acquisition of raw material) จนถึงการได้ข้าวเปลือกที่หน้าฟาร์ม (Cradle-to-farm gate) (Figure 1)

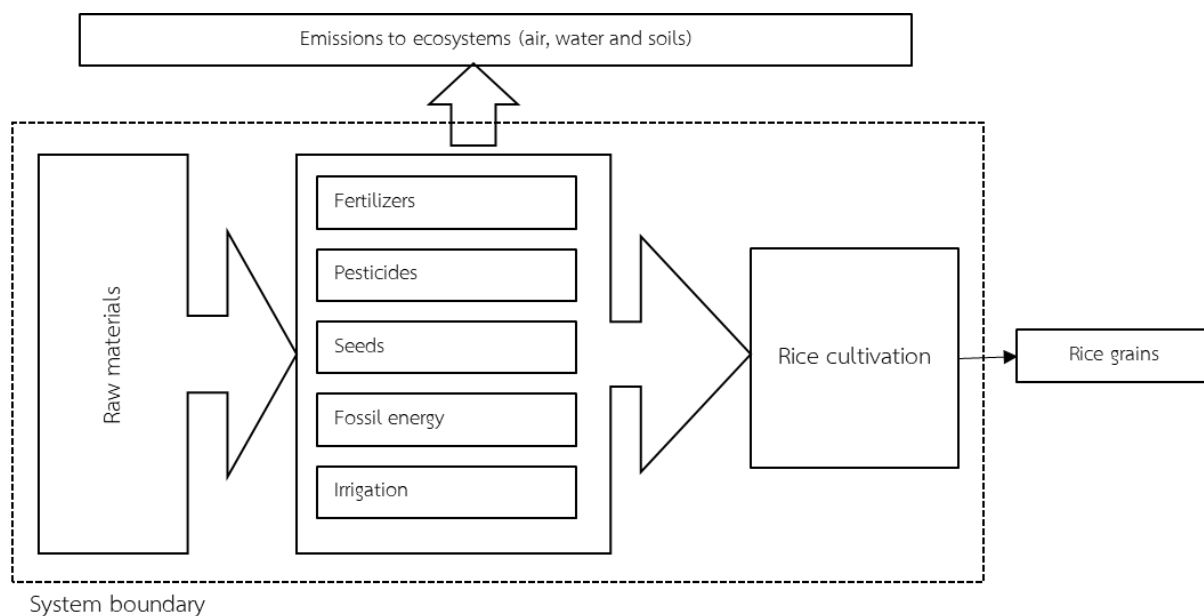


Figure 1 Elementary flows and system boundary of rice farming systems

การจัดทำบัญชีมลพิษ (Life cycle inventory analysis)

ข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตและการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดจากการผลิตวัตถุดิบหรือปัจจัยการผลิต (Background process) ในระบบการผลิตข้าว (เช่น ปุ๋ยเคมี น้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า และสารกำจัดศัตรูพืช) จะได้จากฐานข้อมูลสำเร็จรูป Ecoinvent database version 3.4 (www.ecoinvent.org)

สำหรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตข้าวโดยตรง (Foreground process) จะได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Inventory models) และ/หรือค่าคงที่ (Inventory factors) ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้จากคำแนะนำของ IPCC (2006) และจากรายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature) เช่น Thanawong *et al.* (2014) ซึ่งเคยศึกษาประสิทธิภาพทางด้านสิ่งแวดล้อมของข้าว

ที่ปลูกโดยระบบน้ำฝนและนาชลประทานในพื้นที่ภาคอีสานของประเทศไทย คำนวณปริมาณมลพิษที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ยตามวิธีของ Nemecek *et al.* (2016) สำหรับรายละเอียดอื่นๆ ในการจัดทำบัญชีมลพิษและวิธีการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้แสดงใน Isuwan *et al.* (2018a) อย่างไรก็ตาม คำนวณมลพิษที่เกิดจากการทำปุ๋ยหมักในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ (Emission factors) ของการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ที่แนะนำโดย Martínez-Blanco *et al.* (2010) ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีรายงานปริมาณมลพิษที่เกิดจากการทำปุ๋ยอินทรีย์หมักที่มีการใช้กากตะกอนอ้อย ชี้เถ้าอ้อย มูลโค และปุ๋ยเคมีเป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้ยังมีสมมติฐานที่สำคัญ คือ การกำหนดให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (กากตะกอนอ้อย ชี้เถ้าอ้อย กากน้ำตาล มูลโค และน้ำนมโคที่ไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภค) ที่นำมาทำปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีภาระมลพิษ (Burden-free) Figure 2 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายและการไหลเวียนของวัตถุดิบที่ใช้ในระบบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ด สำหรับขั้นตอนการเตรียมและคุณสมบัติของปุ๋ย

อินทรีย์ปั้นเม็ดแสดงรายละเอียดใน Isuwan *et al.* (2018b) โดยมีวิธีการพอสังเขปดังนี้ นำกากตะกอนอ้อย 100 กิโลกรัม ปุ๋ยนม 10 ลิตร ชี้เถ้าชานอ้อย 10 กิโลกรัม มูลวัวสด 10 กิโลกรัม และปุ๋ยเคมีสูตร 18-46-0 จำนวน 3.2 กิโลกรัม มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 60 จากนั้นตั้งกองปุ๋ยหมักให้มีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 1×1.5×1 เมตร ทำการกลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 7 วัน โดยมีการปรับความชื้นกองปุ๋ยและคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วตั้งกองให้มีขนาดความสูงและความกว้างเท่าเดิม ส่วนความยาวอาจลดลงตามระยะเวลาการหมักหมักนาน 60 วัน นำปุ๋ยหมักที่ได้มาบดและปั้นเม็ดด้วยจานปั่น ผึ่งเม็ดปุ๋ยให้แห้งในที่ร่ม โดยปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดที่ได้มีคุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงของ Department of Agriculture (2005) คือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) พอสเฟตทั้งหมด (Total P₂O₅) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K₂O) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0, 2.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักตามลำดับ และมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 9.0 โดยน้ำหนักแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

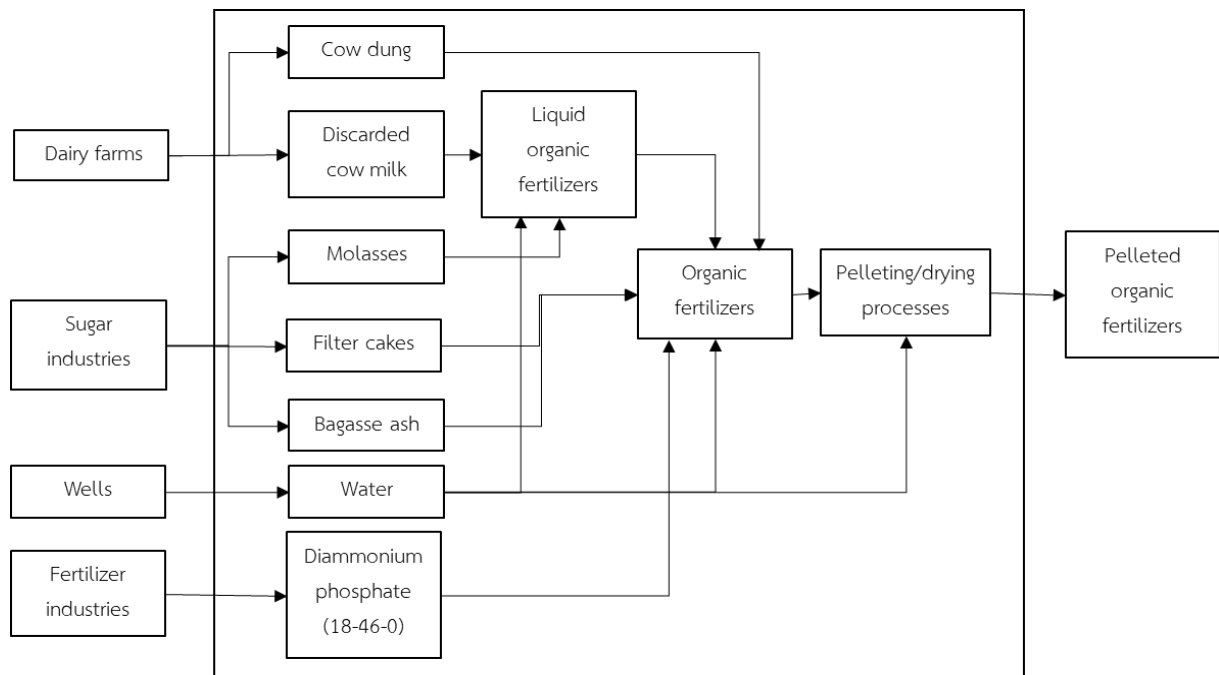


Figure 2 Elementary flows of pelleted high-quality organic fertilizer production systems

ตัวชี้วัดด้านผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment)

ตัวชี้วัดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 4 ตัวชี้วัด (Table 1) ได้แก่ 1) ค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศ (Climate change, CC) 2) ค่าดัชนี

การเกิดฝนกรด (Acidification potential, AP) 3) ค่าดัชนีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication potential, FEP) และ 4) ค่าดัชนีการปนเปื้อนของมหาสมุทร (Marine eutrophication potential, MEP)

Table 1 Environmental indicator used

Impact category	Units*	Source
Climate change	kg CO ₂ equivalent	Myhre <i>et al.</i> (2013)
Acidification Potential	mol _c H ⁺ equivalent	Posch <i>et al.</i> (2008); Seppälä <i>et al.</i> (2006)
Freshwater Eutrophication Potential	kg P equivalent	Struijs <i>et al.</i> (2009)
Marine Eutrophication Potential	kg N equivalent	Struijs <i>et al.</i> (2009)

* CO₂ = carbon dioxide; mol_c = mole of charge; H⁺ = hydrogen ion; N = nitrogen; P = phosphorus

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต่างๆ ระหว่างระบบการให้น้ำที่ใช้ปุ๋ยเคมีและใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดคุณภาพสูง โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่ม (Paired comparison t-test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SAS, 2003)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทั่วไปของระบบการปลูกข้าว

จากข้อมูลใน Table 2 แสดงการใช้ปัจจัยการผลิตของระบบการปลูกข้าวทั้ง 2 รูปแบบ จะเห็นได้ว่ามีเพียงปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน (P<0.05) ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดให้ใช้ปัจจัยการผลิตอื่นๆ ในปริมาณเท่ากัน โดยนาข้าวที่ได้รับปุ๋ยเคมีมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่านาข้าวที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 6 และ 3 เท่า ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันมากแต่ไม่ทำให้ข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 รูปแบบ มีผลผลิตข้าวเปลือกมาตรฐานแตกต่างกัน (P>0.05) กล่าวได้ว่า อัตราการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรเกินความต้องการของข้าว การจัดการปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยเคมีโดยคำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่แล้วในดินและความต้องการธาตุอาหารพืชของข้าวจะช่วยให้ระบบการผลิตข้าวมีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ดีกว่าการจัดการปุ๋ยแบบอื่นๆ (Isuwan, 2013; 2014a, b; 2015; 2016) ในทำนองเดียวกัน Isuwan *et al.* (2018a) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Site-specific fertilizer management) นั้น นอกจากจะไม่กระทบต่อการให้ผลผลิตของข้าวแล้วยังช่วยลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและเพิ่มรายได้จากการทำนา เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยตามปกติของเกษตรกรซึ่งส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยเกินความต้องการของข้าว นับเป็นการสูญเสียทรัพยากรอย่างเปล่า

ประโยชน์และปุ๋ยส่วนเกินเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ Bacenetti *et al.* (2020) และ Hasler *et al.* (2015) รายงานว่าในระบบการผลิตปุ๋ยเคมีนั้นมีการปลดปล่อย

มลพิษสู่สิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มข้นสูงมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการช่วยลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในระดับสูงสุด

Table 2 Inputs and grain yield of rice received either chemical fertilizers or organic fertilizers (on a per rai basis)

Inputs	Rice received	Rice received	P-value
	chemical fertilizers	organic fertilizers	
Seed (kg)	25.00	25.00	ns
Fossil diesel (L)	12.69	12.69	ns
Gasoline (L)	2.71	2.44	ns
Nitrogen fertilizer (kg N)	11.97	1.89	***
Phosphorus fertilizer (kg P)	3.91	1.19	**
Potassium fertilizer (kg K)	3.13	2.15	ns
Herbicides (ml)	176.38	176.38	ns
Insecticides (ml)	122.88	122.88	ns
Standard grain yield (kg)	839.63	930.75	ns

ns = non-significant, ** = significant at a level of 0.01 and *** = significant at a level of 0.0001

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

การใส่ปุ๋ยทั้ง 2 รูปแบบไม่ทำให้ตัวชี้วัดด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change, CC) แตกต่างกัน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณามลพิษรายชนิด ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีมีสัดส่วนของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงกว่า ($P < 0.05$) ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตและการใช้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตาม ชาวที่ได้รับปุ๋ยเคมีมีค่าดัชนีการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential, AP) ค่าดัชนีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำจืด (Freshwater Eutrophication Potential, FEP) และค่าดัชนีการปนเปื้อนของมหาสมุทร (Marine Eutrophication Potential, MEP) สูงกว่า ($P < 0.05$) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (Table 3) โดยมลพิษที่มีผลทำให้ค่า

ดัชนี AP, FEP และ MEP มีค่าสูง ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการผลิต (ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์) และการใช้ปุ๋ยเคมี (ก๊าซแอมโมเนีย สารประกอบฟอสฟอรัสและไนเตรต)

Ghosh and Bhat (1998) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนส่งผลให้เกิดก๊าซแอมโมเนียซึ่งมีผลในการเพิ่มศักยภาพการทำให้เกิดกรดของระบบนิเวศ (Acidification) (Bolan and Hedley, 2003) และการชะละลายของสารไนเตรตจากปุ๋ยเคมีดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อสมดุลตามธรรมชาติของไนโตรเจนในระบบน้ำใต้ดิน น้ำผิวดินและมหาสมุทร (Eutrophication) (Struijs *et al.*, 2009) สำหรับในระบบการปลูกข้าว Tayefeh *et al.* (2018) รายงานว่า อัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ตัวชี้วัดผลกระทบทางด้าน

สิ่งแวดล้อม ได้แก่ ค่าดัชนี AP และ ดัชนีการปนเปื้อนของระบบนิเวศบนพื้นดิน (Terrestrial eutrophication potential) เพิ่มขึ้น โดยส่วนหนึ่งเกิดจากระบบการผลิตปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่มีการใช้ทรัพยากรมาก อีกทั้งมีการปลดปล่อยมลพิษมากด้วย (Bacchetti *et al.*, 2020; Hasler *et al.*, 2015) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนต่างๆ (ก๊าซแอมโมเนีย

และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการใช้ปุ๋ย ในทำนองเดียวกัน Isuwan *et al.* (2018a) และ Meng *et al.* (2014) รายงานว่า การไหลบ่าและการชะละลายของสารประกอบฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีส่งผลกระทบต่อ การปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจืดซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติ

Table 3 Environmental indicators of rice farming systems received either chemical fertilizers or organic fertilizers (on a per kg standard grain basis)

	Rice received chemical fertilizers	Rice received organic fertilizers	P-value
Climate Change	1.14	0.90	ns
Carbon dioxide (%)	23.62	16.00	**
Methane (%)	65.76	75.51	**
Nitrous oxide (%)	10.13	8.33	*
Acidification Potential	0.0137	0.0057	*
Ammonia (%)	83.66	76.90	**
Nitrogen oxides (%)	6.98	11.28	**
Sulphur dioxides (%)	9.36	11.82	*
Freshwater Eutrophication Potential	0.0003	0.0001	**
Phosphorus (%)	100	100	ns
Marine Eutrophication Potential	0.0023	0.0011	*
Ammonia (%)	15.21	12.03	**
Nitrate (%)	62.68	57.61	*
Nitrogen oxides (%)	21.70	30.11	**

ns = non-significant, * = significant at a level of 0.05 and ** = significant at a level of 0.01

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตข้าวเปลือกและค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศ แต่จะมีผลทำให้ค่าดัชนีการเกิดฝนกรด ค่าดัชนีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำจืด และค่าดัชนีการปนเปื้อนของมหาสมุทรลดลง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- Bacenetti, J., L. Paleari, S. Tartarini, F.M. Vesely, M. Foi, E. Movedi, R.A. Ravasi, V. Bellopede, S. Durello, C. Ceravolo, F. Amicizia and R. Confalonieri. 2020. May smart technologies reduce the environmental impact of nitrogen fertilization? A case study for paddy rice. **Science of the Total Environment** 715: 136956. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136956> (20 March 2020).
- Bolan, N.S. and M.J. Hedley. 2003. Role of Carbon, Nitrogen and Sulfur Cycles in Soil Acidification. pp 29-56. *In* Rengel, Z. (ed). **Handbook of Soil Acidity**. NY: Marcel Dekker, Inc.
- Brodt, S., A. Kendall, Y. Mohammadi, A. Arslan, J. Yuan, I.N. Lee and B. Linquist. 2014. Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. **Field Crops Research** 169: 89-98. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.007> (20 March 2020).
- Department of Agriculture. 2005. **Organic Fertilizers: Production, Utilization, Standard and Quality**. Technical document number: 17/2005. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]
- Ghosh, B.C. and R. Bhat. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. **Environmental Pollution** 102(1): 123-126.
- Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olf. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001> (20 March 2020).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. pp. 4.1-4.83 *In* Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 Agriculture**. Kanagawa: Forestry and Other Land Use Global Environmental Strategies.

- Isuwan, A. 2013. Effects of a combination of nitrogen fertilizer and composted manure on production and nitrogen use Efficiency of paddy rice. **Thai Agricultural Research Journal** 31(3): 270-281. [in Thai]
- _____. A. 2014a. Effects of compost and site-specific fertilization regimes on growth and grain yield of Pathum Thani rice grown in Sappaya soil series. **Khon Kaen Agr. J.** 42(3): 369-374. [in Thai]
- _____. A. 2014b. Site-specific fertilizer management on growth, yield, and agronomic nitrogen use efficiency of rice grown in Sappaya soil series. **Journal of Agriculture** 30(2): 133-140. [in Thai]
- _____. A. 2015. Effects of site-specific fertilization on yields and chemical properties of rice (Pathum Thani) grown in Sappaya soil series. **Khon Kaen Agr. J.** 43(3): 423-430. [in Thai]
- _____. A. 2016. The effects of site-specific fertilizer management on yield and fertilizer nitrogen use efficiency of Supanburi 1 rice grown on Wattana soil series. **Khon Kaen Agr. J.** 44(3): 383-390. [in Thai]
- Isuwan, A., J. Chobtang and W. Sirirojjanaput. 2018a. Ecoomic and Environmental Sustainability of Rice Farming Systems in Thailand. pp. 300-303. *In The 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food (LCA FOOD 2018) 16-20 October 2018.* Bangkok: Centre of Excellence on Environmental Strategy for GREEN Business (VGREEN).
- Isuwan, A., T. Promchan, T. Wanna and P. Sakkara. 2018b. Potentials of Sugar Industrial By-products to Produce Organic Fertilizer and Effects of Its Use on Growth Performance of Rice (Pathum Thani 1). pp. 176-184. *In Proceedings of the 10th Rajamangala University of Technology National Conference RMUT Driving Innovation for Thailand 4.0. (Oral).* Trung: Rua Rasada Hotel. [in Thai]
- Isuwan, A. T. Promchan, N. Jeerasuk and T. Singchamna. 2018c. Effects of Organic Fertilizer on Yield Component and Economic Returns of Pathum Thani 1 Rice. pp. 185-192. *In Proceedings of the 10th Rajamangala University of Technology National Conference RMUT Driving Innovation for Thailand 4.0. (Oral).* Trung: Rua Rasada Hotel. [in Thai]

- Martínez-Blanco, J., J. Colón, X. Gabarrell, X. Font, A. Sánchez, A. Artola and J. Rieradevall. 2010. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. **Waste Management** 30(6): 983-994.
- Meng, F., J.E. Olesen, X. Sun and W. Wu. 2014. Inorganic nitrogen leaching from organic and conventional rice production on a newly claimed Calciustoll in Central Asia. **PLoS ONE** 9: e98138. [Online]. Available <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098138> (20 March 2020).
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R.W. Weaver. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. **Bioresource Technology** 96: 437-442.
- Myhre, G.D.S., F.M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. pp 659-740. *In* Stocker, T.F., D. Qin G.K. Plattner (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Nemecek, T., J. Schnetzer and J. Reinhard. 2016. Updated and harmonised greenhouse gas emissions for crop inventories. **International Journal of Life Cycle Assessment** 21(9): 1361-1378.
- Nunes, F.A., M. Seferin, V.G. Maciel, S.H. Flôres and M.A.Z. Ayub. 2016. Life cycle greenhouse gas emissions from rice production systems in Brazil: A comparison between minimal tillage and organic farming. **Journal of Cleaner Production** 139: 799-809. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.106> (20 March 2020).
- Ortiz-Reyes, E. and R.P. Anex. 2018. A life cycle impact assessment method for freshwater eutrophication due to the transport of phosphorus from agricultural production. **Journal of Cleaner Production** 177: 474-482.
- Posch, M., J. Seppälä, J.P. Hettelingh, M. Johansson, M. Margni and O. Jolliet. 2008. The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. **International Journal of Life Cycle Assessment** 13(6): 477-486.
- SAS. 2003. **Statistical Analysis System: SAS Release 9.1 for Windows**. NC: SAS Institute Inc. 5121 p.

- Seppälä, J., M. Posch, M. Johansson and J.P. Hettelingh. 2006. Country-dependent characterization factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as an impact category indicator. **International Journal of Life Cycle Assessment** 11(6): 403-416.
- Struijs, J., A.H.W. Beusen, H. van Jaarsveld and M.A.J. Huijbregts. 2009. **Chapter 6: Aquatic Eutrophication**. [Online]. Available <http://www.lcia-recipe.net>. (8 February 2020).
- Tayefeh, M., S.M. Sadeghi, S.A. Noorhosseini, J. Bacenetti and C.A. Damalas. 2018. Environmental impact of rice production based on nitrogen fertilizer use. **Environmental Science and Pollution Research** 25: 15885-15895.
- Thanawong, K., S.R. Perret and C. Basset-Mens. 2014. Eco-efficiency of paddy rice production in Northeastern Thailand: a comparison of rain-fed and irrigated cropping systems. **Journal of Cleaner Production** 73: 204-217. [Online]. Available <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.067> (20 March 2020).