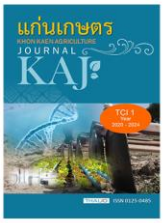
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



การศึกษาสมบัติทางเคมีและปริมาณโลหะหนักในมูลสุกรภายใต้ระบบการจัดการที่แตกต่างกันของฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรี

Study of chemical properties and heavy metals in pig manure under different farm management systems in Ratchaburi province

อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์[1]*, ณิภัชญา จันทร์ด้วง[1], หนึ่งฤทัย ศรีกาญจน์[1], พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์[1] และ พฤกษ์ ชุติมานุกูล[1]

Ornprapa Thepsilvisut[1]*, Nipatchaya Chandoung[1], Nuengruethai Srikan[1], Phakpen Poomipan[1] and Preuk Chutimanukul[1]

[1] *สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี 12120*

[1] *Major of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rungsit Centre, Pathum Thani 12120*

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและปริมาณโลหะหนักบางชนิดในมูลสุกรที่สุ่มจากตัวอย่างฟาร์มสุกรที่คัดเลือกแบบเจาะจงในจังหวัดราชบุรีซึ่งมีระบบการเลี้ยงแตกต่างกัน 3 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงแบบทั่วไป การเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP สำรวจระบบการเลี้ยงสุกรจากการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยใช้แบบสอบถามและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและการปนเปื้อนโลหะหนักของมูลสุกรในห้องปฏิบัติการ จากผลการศึกษาพบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในทุกระบบการเลี้ยงสามารถพัฒนาเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารหลัก (NPK) อยู่ในเกณฑ์สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ซึ่งพบว่า มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดถึงร้อยละ 3.50 และ 4.44 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแม้ว่ามูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในทุกระบบตรวจไม่พบโลหะหนักหลายชนิดอย่าง สารหนู ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม แต่พบว่ามีปริมาณทองแดงสูงกว่าค่ามาตรฐาน (> 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยเฉพาะมูลสุกรที่ได้จากระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานถึง 3 เท่า ซึ่งอาจเกี่ยวข้องโดยตรงกับอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรและการจัดการของเสียหรือการจัดการพื้นคอก ทั้งนี้ฟาร์มสุกรบางแห่งที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP (ร้อยละ 40) และระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP (ร้อยละ 20) ให้ข้อมูลในเชิงได้กำไรจากการเลี้ยงสุกรหลักหักต้นทุน ขณะที่ฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปทุกราย (ร้อยละ 100) มีรายได้หลังจากหักต้นทุนที่ไม่แน่นอน

คำสำคัญ: การจัดการฟาร์มสุกร; ปริมาณโลหะหนัก; มูลสุกร; สมบัติทางเคมีของปุ๋ยคอก

ABSTRACT: The aim of this research was to investigate chemical properties and some heavy metal concentrations in pig manure collected from swine farms that are managed under different systems. The swine farms selected for this study were in Ratchaburi province and consisted of farms under 3 different management systems, namely, conventional farming, GAP-based farming, and deep litter swine production with GAP standards. Swine production system data collection was conducted using an interview-based questionnaire. The collected pig manures were then analyzed for chemical properties and heavy metal contaminants in a laboratory. The results showed that the pig manure collected from farms with all of the farm management systems studied could be developed into organic fertilizer, since there was a high level of macronutrients (N-P_2O_5-K_2O), especially the pig manure from the farms under GAP-based farming systems, which contained 3.50% N and 3.50% P_2O_5, respectively. Although the pig manure

* Corresponding author: ornprapa@tu.ac.th, ornprapa@hotmail.com

Received: date; November 1, 2022 Accepted: date; May 8, 2023 Published: date;

collected from all production systems did not contain any of the heavy metal contaminants measured at rates exceeding the organic fertilizer limits, including those of As, Pb, Hg, and Cd, there was a high risk of copper contamination, which may be attributed to feeding, waste management, and farm floor management systems. In addition, some farms under GAP-based farming systems (40% of the interviewed farms) and GAP-certified deep litter swine production systems (20% of the interviewed farms) were found to generate stable income and gained some profits after deducting costs. In contrast, swine farms under a conventional system generated unstable earnings.
Keywords: pig farm management; heavy metal concentration; pig manure; composted manure properties

บทนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงสุกรถือเป็นอาชีพทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถเลี้ยงได้ในพื้นที่ขนาดเล็ก ใช้แรงงานน้อย ขยายพันธุ์ได้เร็ว จำหน่ายได้ตั้งแต่ระยะลูกสุกรไปจนถึงระยะโตเต็มวัย อีกทั้งยังสามารถนำเศษอาหารที่เหลือในครัวเรือนมาเป็นอาหารของสุกร และมูลสุกรยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูกพืชได้ ทั้งนี้จากการสำรวจจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในประเทศไทยโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรรวมทั้งหมด 168,529 ครัวเรือน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นฟาร์มขนาดเล็กโดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 98.7 และมีเพียงร้อยละ 0.1 เท่านั้นที่มีการเลี้ยงสุกรแบบฟาร์มขนาดใหญ่ (5,000 ตัวขึ้นไป) และหากพิจารณาที่อัตราการเติบโตของการผลิตสุกรนับตั้งแต่ พ.ศ. 2559-2563 พบว่า แหล่งผลิตสุกรที่สำคัญของไทยส่วนใหญ่ผลิตที่ภาคกลางซึ่งคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 70 ของปริมาณการผลิตสุกรทั่วประเทศ โดยจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดราชบุรี ชลบุรี พัทลุง ลพบุรี และสุพรรณบุรี ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) สำหรับระบบการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงแบบทั่วไป การเลี้ยงตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มสุกร (good agricultural practices for pig farm) ที่ได้รับการรับรองเป็นมาตรฐาน GAP และการเลี้ยงตามมาตรฐานปศุสัตว์อินทรีย์ ซึ่งจะได้รับการรับรองเป็น ปศุสัตว์อินทรีย์ หรือ Organic livestock farming ทั้งนี้จากการสำรวจข้อมูลของสำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ (2563) ของกรมปศุสัตว์ พบว่า เกษตรกรที่ได้รับรองมาตรฐานปศุสัตว์อินทรีย์ประเภทระบบการผลิตสุกรอินทรีย์ มีเพียงแค่ 6 รายเท่านั้น ซึ่งทั้งหมดอยู่ที่จังหวัดเชียงราย อย่างไรก็ตามจากสาเหตุของความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการขายผลผลิตเนื้อสุกรไปยังบริษัทใหญ่ซึ่งรับซื้อในปริมาณมาก ปัจจุบันเกษตรกรจึงเริ่มหันมาสนใจกับการเลี้ยงสุกรตามมาตรฐาน GAP ที่ประกาศโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกษ. 6403(G)-2558)) นอกจากนี้การเลี้ยงสุกรในระบบเกษตรธรรมชาติ หรือ “สุกรหลุม” ก็ถือเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการเลี้ยงสุกรที่มุ่งเน้นการเลี้ยงสุกรแบบปลอดภัยและสามารถพัฒนาไปสู่การขอรับรองมาตรฐาน GAP หรือเกษตรอินทรีย์ได้ โดยในระบบการเลี้ยงมีลักษณะการทำเป็นหลุมลึกและมีวัสดุรองพื้นคอกซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและราคาถูก โดยพบว่ามีข้อดีคือ การใช้วัสดุรองพื้นคอกช่วยในด้านลดการเกิดกลิ่นและมลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากมูลสุกรและน้ำเสีย อีกทั้งในระบบการเลี้ยงดังกล่าวมักหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะ ทำให้ผลผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและได้มูลสุกรที่มีความเสี่ยงต่ำในการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารพืชหรือการปนเปื้อนของโลหะหนักในมูลสุกรมักขึ้นอยู่กับระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร และรวมถึงการจัดการรวบรวมมูลและของเสียในฟาร์ม (Mazliah et al., 1989) โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยง (อุทัย และสุกัญญา, 2564) ซึ่งจะแตกต่างกันตามระบบการจัดการในแต่ละฟาร์ม โดยจากการศึกษาของ Zhao et al. (2016) พบว่าปริมาณแมกกานีสที่ตรวจพบในอาหารเลี้ยงสุกรของระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป (83.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่ามากกว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (11.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ถึง 7 เท่า ส่วนปริมาณของทองแดงพบว่า ในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป (159 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่ามากกว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (4.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ถึง 37 เท่า อีกทั้งระบบการเลี้ยงสุกรแบบทั่วไปนิยมใช้ยาปฏิชีวนะ น้ำยาล้างพื้นคอก และสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (ผสมในอาหาร) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ซึ่งอาจส่งผลต่อการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวในมูลสุกรได้ โดยจากงานวิจัยของ พิษณุ (2552) พบว่า ฟาร์มที่มีการใช้ ZnO และ $CuSO_4$ ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรตรวจพบปริมาณสังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำทิ้งภายในบ่อบำบัดก๊าซชีวภาพ (biogas system) ปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และพบปริมาณแคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในดินมูลสุกรที่ปนเปื้อนเกินระดับมาตรฐานที่กำหนดในดินที่ใช้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตามจาก

การศึกษาของ Linden et al. (2001) พบว่า ตัวอย่างมูลสุกรที่เก็บจากฟาร์มที่เลี้ยงในระบบปศุสัตว์อินทรีย์ตรวจพบแคดเมียมในปริมาณที่สูงกว่าระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการให้วิตามินและแร่ธาตุผสมที่แม้จะได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ในระบบปศุสัตว์อินทรีย์ แต่พบว่ามีปริมาณแคดเมียมสะสมอยู่สูงถึง 991 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่แร่ธาตุผสมอาหารที่ใช้ในระบบการเลี้ยงทั่วไปมีปริมาณแคดเมียมสะสมอยู่ที่ 589 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลของระบบการเลี้ยงต่อความเสี่ยงในการปนเปื้อนโลหะหนักในมูลสุกรยังมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย แต่มักพบการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการบ่อของเสียในฟาร์มสุกรที่มีผลต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในมูลสุกร ยกตัวอย่างเช่น ผลการศึกษาของ Tulayakul et al. (2011) ที่พบว่า การจัดการบ่อก๊าซชีวภาพช่วยทำให้ปริมาณเชื้อ *E. coli* และ coliform ปนเปื้อนในมูลสุกรลดลงกว่าการไม่มีบ่อก๊าซชีวภาพ แต่พบว่า ทั้งในมูลสุกรแห้งและกากตะกอนของเสียในบ่อบำบัดก๊าซชีวภาพมีการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วเกินค่ามาตรฐานซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบน้ำเสียในฟาร์มก่อนการนำไปใช้ในทางการเกษตรหรือปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้แม้ว่าการใช้มูลสุกรในการเพาะปลูกพืชอาจพบความเสี่ยงสูงในเรื่องการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่ดินและสิ่งแวดล้อม แต่พบว่ามูลสุกรก็อุดมไปด้วยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยสุกัญญาและคณะ (2550) ได้รายงานว่า ในมูลสุกรแห้งมีปริมาณมหธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด อยู่ในช่วงร้อยละ 2.88-3.19, 0.88-4.64, 1.20-1.33, 2.63-9.19 และ 1.09-1.65 ตามลำดับ อีกทั้งยังอุดมไปด้วยจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก (ร้อยละ 0.31-0.63) ทองแดง (ร้อยละ 0.07-0.14) แมงกานีส (ร้อยละ 0.05-1.00) สังกะสี (ร้อยละ 0.09-0.17) และโบรอน (ร้อยละ 0.0011-0.0026) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับระบบการเลี้ยงที่รวมไปถึงข้อมูลตั้งแต่การให้อาหาร การใช้ยาปฏิชีวนะ หรือการจัดการอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารรวมถึงปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในมูลสุกรถือเป็นเรื่องที่ยังคงต้องทำการศึกษาต่อไปเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับเกษตรกรที่ต้องการนำมูลสุกรไปใช้ในการเพาะปลูกพืชหรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เสริมต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาข้อมูลฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรีที่มีระบบการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกัน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรี จำนวน 15 ฟาร์ม โดยใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากฟาร์มสุกรที่อยู่ในอำเภอเมือง อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอปากท่อ และอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ที่มีรัศมีห่างกันไม่เกิน 70 กิโลเมตร **(Figure 1)** เป็นฟาร์มที่เลี้ยงแบบอิสระไม่มีพันธะสัญญากับบริษัทและอนุญาตให้เก็บตัวอย่างมูลสุกรในช่วงที่ทำการศึกษาวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) ฟาร์มสุกรทั่วไปที่ไม่ได้รับรองมาตรฐานฟาร์มจากกรมปศุสัตว์ จำนวน 5 ฟาร์ม ตั้งอยู่พิกัดดังนี้ ฟาร์มที่ 1: 13°41'12.6564"N, 99°50' 37.7442"E ฟาร์มที่ 2: 13°48' 51.5088"N, 99°51' 8.445"E ฟาร์มที่ 3: 13°24' 3.9024" N, 99°52' 23.1888"E ฟาร์มที่ 4: 13°44' 33.2406"N, 99°54' 26.8704"E และฟาร์มที่ 5: 13°47' 36.0348"N, 99°38' 57.2316"E

2) ฟาร์มสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานฟาร์มจากกรมปศุสัตว์ คือ มาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มสุกร (GAP) จำนวน 5 ฟาร์ม ตั้งอยู่พิกัดดังนี้ ฟาร์มที่ 1: 13°41' 45.1818"N, 99°41' 58.8762"E ฟาร์มที่ 2: 13°35' 30.5442"N, 99°50' 2.0466"E ฟาร์มที่ 3: 13°42' 5.1228"N, 99°50' 27.6534"E ฟาร์มที่ 4: 13°44'31.2306"N, 99°52' 23. 2415"E และฟาร์มที่ 5: 13°45'33.1396"N, 99°51' 27. 1335"E

3) ฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงแบบเกษตรธรรมชาติหรือสุกรหลุม และได้รับรองมาตรฐาน GAP จำนวน 5 ฟาร์ม ตั้งอยู่พิกัดดังนี้ ฟาร์มที่ 1: 13°41' 13.4448"N, 99°52' 18.7464"E ฟาร์มที่ 2: 13°36' 31.0926"N, 99°54' 42.8646"E ฟาร์มที่ 3: 13°32' 49.5672"N, 99°37' 35.3028"E ฟาร์มที่ 4: 13°25' 58.0398"N, 99°41' 9.366"E และฟาร์มที่ 5: 14°3' 31.0242"N, 99°56' 13.0626"E

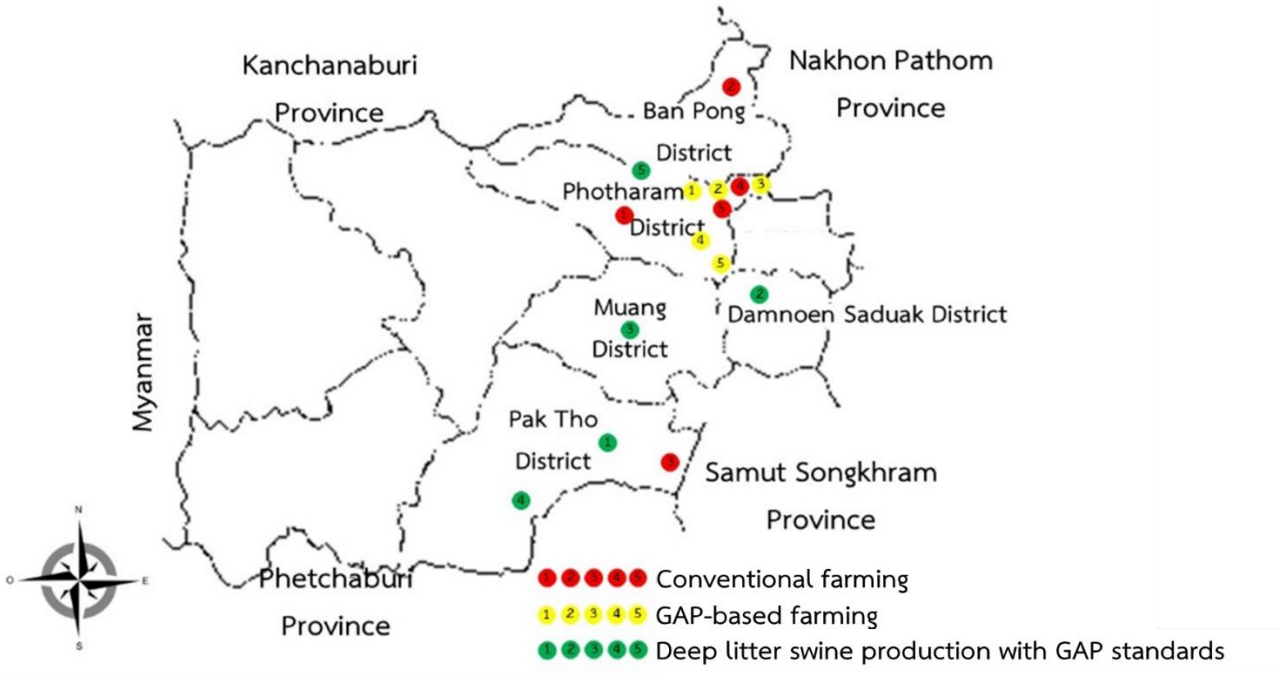


Figure 1 Study site of swine farms in 5 districts of Ratchaburi province

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ศึกษาข้อมูลเชิงสำรวจ (survey research) ร่วมกับการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) โดยใช้วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม (field study) จากแบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นแบบคำถามปลายปิด (close-ended question) และปลายเปิด (open-ended question) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกร ได้แก่ ชื่อ เพศ อายุ จำนวนสมาชิกในครอบครัว จำนวนแรงงาน ระดับการศึกษา รูปแบบการประกอบอาชีพ รายได้เฉลี่ย สถานที่ตั้งฟาร์ม แหล่งความรู้ที่ได้ในการเลี้ยงสุกร ความรู้และการจัดการมูลสัตว์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการมูลสัตว์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ส่วนที่ 2 ข้อมูลสภาพการเลี้ยงสุกร ได้แก่ ระยะวลาทำฟาร์มสุกร ขนาดฟาร์ม จำนวนโรงเรือน ประเภทของโรงเรือน จำนวนสุกรที่เลี้ยง จำนวนแรงงานในฟาร์ม ลักษณะการเลี้ยง รายได้ และการรับรองมาตรฐานฟาร์ม

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการจัดการภายในฟาร์ม ได้แก่ อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร (ซื้อสำเร็จรูป/ผสมเอง) การป้องกันกำจัดโรค (วัคซีนที่ใช้/ยารักษาโรค) การจัดการคอกเลี้ยงสุกร การทำความสะอาดโรงเรือน แหล่งน้ำที่ใช้ และการจำหน่ายมูลสุกร รวมถึงรายจ่ายและแหล่งเงินทุน

วิธีการศึกษาวิจัย

ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากแหล่งความรู้ต่างๆ เช่น หนังสือ บทความทางวิชาการ และข้อมูลจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากนั้นทำการสร้างและตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (แบบสอบถาม) โดยการทดสอบคุณภาพแบบสอบถาม ได้แก่ ความตรงของเครื่องมือ (validity) และ ปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องจนสมบูรณ์ (reliability) (กิตติพงษ์, 2561)

สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ เริ่มจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ ฟาร์มสุกรทั่วไปที่ไม่ได้รับรองมาตรฐานฟาร์มจากกรมปศุสัตว์ (5 ฟาร์ม) ฟาร์มสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานฟาร์มจากกรมปศุสัตว์ (5 ฟาร์ม) และฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงแบบเกษตรธรรมชาติหรือสุกรหลุม (5 ฟาร์ม) ซึ่งฟาร์มสุกรทั้งหมดอยู่ในพื้นที่จังหวัดราชบุรีที่มีรัศมีห่างกันไม่เกิน 70 กิโลเมตร และเริ่มดำเนินการสอบถาม โดยเริ่มจากเตรียมตัวผู้สัมภาษณ์จากการทำความเข้าใจเนื้อหาใน

แบบสอบถาม คำจำกัดความ ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์ สถานที่ที่จะไปเก็บข้อมูล และทำหนังสือขอความร่วมมือเพื่อที่จะติดต่อนัดหมายโดยกำหนดวัน เวลา และสถานที่ สำหรับขั้นตอนการสัมภาษณ์ ผู้สัมภาษณ์แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และอธิบายประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัยในครั้งนี้ จากนั้นนำแบบสัมภาษณ์สอบถามเกษตรกรแบบเจาะจงพื้นที่ (กิตติพงษ์, 2561) คือ ฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 3 ระบบ ในพื้นที่จังหวัดราชบุรีที่มีรัศมีห่างกันไม่เกิน 70 กิโลเมตร

นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกร ข้อมูลสภาพการเลี้ยงสุกร และข้อมูลการจัดการภายในฟาร์ม มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ การแจกแจงความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

การศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารของพืช และโลหะหนักบางชนิดในมูลสุกร

เก็บตัวอย่างมูลสุกรจากแต่ละฟาร์มในแต่ละระบบการเลี้ยง โดยรวบรวมมูลสุกรถ่ายใหม่จากสุกรขุนน้ำหนักประมาณ 150-200 กิโลกรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกปิดสนิท จากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งและบดละเอียด ร่อนผ่านตระแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท จากนั้นนำมูลสุกรมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ด้วยเครื่อง pH/EC meters ปริมาณอินทรียวัตถุวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Walkley และ Black (1934) ปริมาณธาตุพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjedahl method ส่วนปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม และนิเกิล รวมถึงโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ อะลูมินัม แคดเมียม สารหนู ปรอท และตะกั่ว วิเคราะห์ด้วยวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน (2553) โดยย่อยตัวอย่างด้วย $HClO_4$: HNO_3 อัตรา 1:2 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES, Thermo Fisher SCIENTIFIC, China) และคำนวณอัตราส่วนระหว่าง C/N ratio ต่อไป

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ขึ้นไป เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางชนิดในมูลสุกรที่มีการเลี้ยงในระบบที่แตกต่างกันต่อความเป็นไปได้และการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูกพืชที่เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติที่ประกาศโดยกรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาระบบการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกันของฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรี

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกสำหรับการรวบรวมข้อมูลสภาพการเลี้ยงสุกรในระบบที่แตกต่างกัน ระบบละ 5 ฟาร์ม พบว่าฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปทุกฟาร์ม (ร้อยละ 100) มีรายได้ไม่แน่นอน ในขณะที่ฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และฟาร์มสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP บางฟาร์ม (ร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ) ให้ข้อมูลในเชิงได้กำไรจากการหักต้นทุน ทั้งนี้จากการสอบถามเกี่ยวกับสภาพการเลี้ยงตั้งแต่อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรในฟาร์ม วัคซีนที่ใช้ การจัดการพื้นคอกและแหล่งน้ำที่ใช้ มีรายละเอียดดังนี้

อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร ในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกผสมอาหารเอง (ร้อยละ 60) ซึ่งส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60) ใช้ปลายข้าว รำละเอียด เกลือป่น กากถั่วเหลือง และวิตามินแร่ธาตุ (พรีมิกซ์) เป็นส่วนผสมของอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร โดยจากตัวแทนฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ให้รายละเอียดของส่วนประกอบที่ใช้ผสมอาหารเองดังนี้คือ ข้าวโพดบดร้อยละ 25 ปลาป่นร้อยละ 25 ปลายข้าวร้อยละ 20 ไขมันสัตว์ร้อยละ 5 ไดแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 5 รำละเอียดร้อยละ 10 เกลือป่นร้อยละ 1 กากถั่วเหลืองร้อยละ 25 และวิตามินแร่ธาตุ (พรีมิกซ์) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้ฟาร์มส่วนใหญ่ (ร้อยละ 80) จำแนกชนิดและปริมาณการให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตของสุกร สำหรับฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP พบว่าฟาร์มทั้งหมด (ร้อยละ 100) มีการผสมอาหารเองโดยใช้ปลายข้าว เกลือป่น และกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก และส่วนมาก (ร้อยละ 60) ใช้มันเส้นบด ไดแคลเซียมฟอสเฟต รำละเอียด และวิตามินแร่ธาตุ (พรีมิกซ์) เป็นส่วนผสมของอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้จำแนกประเภทของอาหารตามระยะการเจริญเติบโตของสุกร และสำหรับฟาร์มสุกรที่มี

ระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP พบว่า เกษตรกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) เลือกซื้ออาหารสำเร็จรูปจากบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด (SPM) แหลมทอง และ CP อีกทั้งยังมีการซื้อผักต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเลี้ยงสุกร และมีฟาร์มร้อยละ 20 ที่มีการผสมอาหารเอง โดยวัตถุดิบที่เกษตรกรเลือกใช้ คือ ข้าวโพดบด ปลาป่น ปลายข้าว มันเส้นบด รำละเอียด กากถั่วเหลือง และหยวกกล้วย โดยมีอัตราส่วนผสมในอาหารดังนี้คือ ข้าวโพดบดร้อยละ 10 ปลาป่นร้อยละ 5 ปลายข้าวร้อยละ 5 มันเส้นบดร้อยละ 10 รำละเอียดร้อยละ 50 หยวกกล้วยร้อยละ 5 และกากถั่วเหลืองร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และพบว่า ฟาร์มร้อยละ 60 จำแนกชนิดของอาหารตามระยะการเจริญเติบโต โดยแบ่งระยะตามน้ำหนักของสุกร ยกตัวอย่างเช่น การใช้อาหารของบริษัท SPM ในสุกรช่วงน้ำหนัก 15-30 กิโลกรัม 30-60 กิโลกรัม และ 60-90 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณเท่ากับ 0.6, 1.0 และ 1.5 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ เป็นต้น **(Table 1)**

วัคซีนที่ใช้ สำหรับระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปพบว่า ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 80) ใช้วัคซีนอื่นๆ เช่น วัคซีนโรคพิษสุนัขบ้า เทียมฉีดเมื่อสุกรอายุ 5 สัปดาห์ วัคซีนโรคพาร์โวไวรัสนิยมฉีดให้แม่พันธุ์ทุก ๆ 6 เดือน หรือวัคซีน PRRS ซึ่งช่วยป้องกันโรคระบบสืบพันธุ์และโรคในระบบทางเดินหายใจของสุกร ซึ่งจะฉีดให้สุกรตั้งแต่อายุ 4-5 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามหากระบุเป็นชนิดของวัคซีนที่ให้กับสุกร พบว่า ฟาร์มร้อยละ 60 มีการให้วัคซีนโรคปากและเท้าเปื่อย และวัคซีนอหิวาต์สุกร โดยให้ตามช่วงอายุของสุกร ทั้งนี้วัคซีนโรคปากและเท้าเปื่อยจะเริ่มให้เมื่อสุกรมีอายุประมาณ 8 สัปดาห์ และกระตุ้นในเข็มต่อไปหากกันอีก 1-3 สัปดาห์ และวัคซีนอหิวาต์สุกรจะเริ่มให้เมื่อสุกรมีอายุประมาณ 1 เดือน หรือในบางฟาร์มจะให้ตั้งแต่แรกเกิดคือ 1 วัน สำหรับการรักษาโรคของฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP พบว่า ฟาร์มร้อยละ 60 ให้วัคซีนโรคปากและเท้าเปื่อย วัคซีนอหิวาต์สุกร และวัคซีนโรคพิษสุนัขบ้าเทียม เป็นต้น และสำหรับฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP พบว่า บางฟาร์มมีการให้วัคซีนอหิวาต์สุกร กับวัคซีนอื่น ๆ อาทิ วัคซีนรวม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20 ส่วนระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP พบว่า ฟาร์มร้อยละ 20 ให้วัคซีนอหิวาต์สุกร และวัคซีนรวมกับสุกรที่เลี้ยง **(Table 1)**

การจัดการพื้นคอกและแหล่งน้ำที่ใช้ สำหรับระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปพบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) ไม่มีการใช้วัสดุรองพื้นคอก แต่ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 80) มีการล้างพื้นคอกทุกวันด้วยน้ำเปล่าที่ได้จากบ่อบาดาล (ร้อยละ 80) และพบว่าฟาร์มทั้งหมด (ร้อยละ 100) มีการทำบ่อเก็บมูลสุกร โดยบางฟาร์มทำบ่อเกรอะเป็นบ่อเก็บมูลสุกรซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 สำหรับการจัดการพื้นคอกของฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP พบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) ไม่มีการใช้วัสดุรองพื้นคอก และในด้านการทำความสะอาดโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) ทำความสะอาดโรงเรือนเลี้ยงสุกรทุกวัน โดยร้อยละ 60 ใช้น้ำเปล่าในการล้างพื้นคอก รองลงมาคือทำความสะอาดพื้นคอกด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อโรค เช่น เดทตอล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 สำหรับการทำบ่อเก็บมูลสุกร พบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) มีการจัดการของเสียโดยการทำบ่อเก็บมูลสุกร ซึ่งทำเป็นทั้งบ่อไบโอแก๊สและบ่อกำจัดน้ำเสีย และสำหรับแหล่งน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสุกร พบว่า เกษตรกรทั้งหมดใช้น้ำจากบ่อบาดาล (ร้อยละ 100) และมีบางฟาร์ม (ร้อยละ 40) มีการใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ อาทิ คลอง และแม่น้ำร่วมด้วย และสำหรับระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP พบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) มีการจัดการคอกเลี้ยงสุกร โดยใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้นคอก (ร้อยละ 100) รองลงมาคือ มีการใช้น้ำหมักจุลินทรีย์ (ร้อยละ 60) ใบไม้แห้งและฟาง (ร้อยละ 40) และมีเกษตรกรบางส่วนใช้วัสดุอื่น ๆ ที่หาได้ในท้องถิ่น อาทิ ผลไม้สุกตามฤดูกาล (ร้อยละ 20) ตามลำดับ สำหรับความสูงของวัสดุรองพื้นคอกใช้ความสูงเฉลี่ยประมาณ 80 เซนติเมตร และพบว่าฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100) ไม่ได้ทำความสะอาดพื้นคอกตลอดการเลี้ยงเนื่องจากมีวัสดุรองพื้นคอกอยู่ สำหรับแหล่งน้ำที่ใช้ พบว่า ในการเลี้ยงสุกรส่วนใหญ่ใช้แหล่งน้ำอื่น ๆ เช่น น้ำประปา คิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาร้อยละ 40 ใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น คลอง และแม่น้ำ เป็นต้น **(Table 1)**

Table 1 Background information of swine farm conditions under different management systems (n=5)

Background information of swine production	Conventional farming (%)	GAP-based farming (%)	Deep litter swine production with GAP standards (%)
1. Income after deducting costs			
Profit	0.00	40.00	20.00
Break-even	0.00	0.00	0.00
Loss	0.00	0.00	0.00
Uncertain	100.00	60.00	80.00
2. Farm standard certification from the Department of Livestock Development			
Non-certified	100.00	0.00	0.00
Certified	0.00	100.00	100.00
3. Pig feed (could answer more than one)			
Buy commercial feed (Cargill, Topfeed, CPF, SPM, Lam Tong)	40.00	0.00	100.00
Make your own pig feed	60.00	100.00	20.00
Corn meal	40.00	40.00	20.00
Fish meal	40.00	0.00	20.00
Broken-milled rice	60.00	100.00	20.00
Animal fat	20.00	0.00	0.00
Potato flakes	20.00	60.00	20.00
Dicalcium phosphate	40.00	60.00	0.00
Rice bran	60.00	60.00	20.00
Salt	60.00	100.00	0.00
Soybean meal	60.00	100.00	20.00
Vitamin, mineral (Premix)	60.00	60.00	0.00
Other (banana stalk)	0.00	0.00	20.00
4. Vaccine (could answer more than one)			
Foot and mouth disease vaccine	60.00	60.00	0.00
Swine fever virus vaccine	60.00	60.00	20.00
Pseudorabies vaccine	40.00	60.00	0.00
Vaccine against porcine parvovirus	40.00	0.00	0.00
Other (combined vaccine, PRRS, PCV2, SMD)	80.00	0.00	20.00

Table 1 Background information of swine farm conditions under different management systems (n=5) continues

Background information of swine production	Conventional farming (%)	GAP-based farming (%)	Deep litter swine production with GAP standards (%)
5. Stall management			
Did not done	100.00	100.00	0.00
Done (could answer more than one)	0.00	0.00	100.00
Rice husk	0.00	0.00	100.00
Rice bran	0.00	0.00	0.00
Microbial fermentation (EM)	0.00	0.00	60.00
Dry leaves	0.00	0.00	40.00
Rice straw	0.00	0.00	40.00
Other (ripe fruit in season)	0.00	0.00	20.00
6. Cleaning management of the stall or pig house (could answer more than one)			
Sweep dry feces and scoop out	60.00	0.00	0.00
Wash the stall with water	100.00	60.00	0.00
Wash the stall with disinfectant	80.00	40.00	0.00
Other (Dettol, Gutaraldehyde, lime)	80.00	40.00	0.00
Type of a pig manure pond (could answer more than one)			
Sludge treatment pond	20.00	0.00	0.00
Biogas pond	20.00	100.00	0.00
Wastewater treatment pond	0.00	100.00	0.00
Septic tank	40.00	0.00	0.00
Cleaning frequency			
Did not done throughout the production	0.00	0.00	100.00
Everyday	80.00	100.00	0.00
Once a week	20.00	0.00	0.00
7. Water source used for raising pigs (could answer more than one)			
Natural water source (canal, river)	0.00	40.00	40.00
Own water pond	0.00	0.00	0.00
Artesian well	80.00	100.00	0.00
Other (tap water)	20.00	0.00	60.00
8. Selling pig manure	0.00	0.00	0.00
Did not sell	40.00	40.00	20.00
Sell	60.00	60.00	80.00

สำหรับการจำหน่ายมูลสุกร พบว่า ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป และที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP และฟาร์มสุกรร้อยละ 80 ของฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP) มีการจำหน่ายมูลสุกรเป็นรายได้เสริม **(Table 1)** โดยพบว่ามีการบรรจุในกระสอบที่มีน้ำหนักและราคาขายที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีจำหน่ายมูลสุกรที่บรรจุใส่กระสอบประมาณ 20 กิโลกรัมต่อกระสอบ และจำหน่ายในราคาประมาณ 30 บาทต่อกระสอบ สำหรับระบบการเลี้ยงที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP จะบรรจุใส่กระสอบประมาณ 25 กิโลกรัมต่อกระสอบ และจำหน่ายในราคากระสอบละ 50 บาท ส่วนฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP นิยมบรรจุปริมาณ 20 กิโลกรัมต่อกระสอบ และจำหน่ายในราคากระสอบละ 40 บาท

การศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารรองของพืช และโลหะบางชนิดในมูลสุกร

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ รวมถึงประมาณธาตุอาหารพืชและโลหะหนักบางชนิดในมูลสุกร ที่รวบรวมจากฟาร์มสุกรจำนวน 15 ฟาร์ม ในจังหวัดราชบุรี ซึ่งมีระบบการจัดการฟาร์มที่แตกต่างกัน 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการเลี้ยงสุกรแบบทั่วไป ระบบการเลี้ยงสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP และระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP จากผลการทดลองพบว่า ระบบการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในมูลสุกร โดยพบว่า มูลสุกรที่รวบรวมได้มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.13-7.60 **(Table 2)** ทั้งนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในมูลสุกรอาจขึ้นอยู่กับระบบการจัดการในด้านการล้างพื้นคอกซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำเปล่า ที่พบว่าค่า pH ของน้ำโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (กองวิเคราะห์น้ำบาดาล, 2561) และสำหรับระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP จะไม่มีการจัดการด้านการล้างพื้นคอก แต่พบว่า วัสดุรองพื้นคอกส่วนใหญ่เป็นแกลบดิบ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลของแกลบดิบในงานวิจัยก่อนหน้า พบว่า มีค่า pH เท่ากับ 5.93 (ขจรยศ และอรประภา, 2563) ซึ่งมีความเป็นกรดเล็กน้อยจึงถือได้ว่าอาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในมูลสุกรมากนัก

สำหรับค่าการนำไฟฟ้า พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด คือ 4.99 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร รองลงมาคือ มูลสุกรที่ได้จากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.44 และ 3.40 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป และระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีการจัดการในด้านการล้างพื้นคอกซึ่งส่วนใหญ่ทำทุกวัน และเมื่อล้างพื้นคอกของเสียได้แก่สิ่งขับถ่าย รวมถึงมูลสุกรทั้งหมดจะถูกเก็บในบ่อเก็บมูลสุกร ทำให้เกิดการชะล้างปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกรบางส่วน ในขณะที่มูลสุกรที่รวบรวมได้จากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP เป็นมูลสุกรที่เกิดจากการทับถมในคอกและมีการเก็บออกเมื่อสุกรถูกจำหน่ายไปเรียบร้อยแล้ว จึงเกิดการสะสมของธาตุอาหารในมูลสุกรที่นำมาวิเคราะห์และมีความเป็นไปได้ที่จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่ามูลสุกรในระบบการเลี้ยงแบบอื่นๆ และสำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในมูลสุกร พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือร้อยละ 47.73 รองลงมาได้แก่ มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP (ร้อยละ 44.79) และมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยที่สุดคือร้อยละ 37.52 **(Table 2)** ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุพบความสอดคล้องกับการเก็บข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ที่พบว่า ระบบการเลี้ยงสุกรแบบทั่วไปมีการทำบ่อบำบัดดักตะกอน บ่อเกรอะ และบ่อพัก ซึ่งกากตะกอนในบ่อเกรอะจะถูกสะสมและทับถมกันมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งถึงจะถูกตักออกมา ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดการย่อยสลายอินทรียสารต่างๆ จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งถือเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ที่สำคัญ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุจึงได้ค่าการวิเคราะห์ที่สูงกว่ามูลสุกรที่รวบรวมจากระบบการเลี้ยงอื่นๆ อย่างไรก็ตามมูลสุกรที่ได้จากการรวบรวมในบ่อบำบัดตะกอนอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคสูง จึงจำเป็นต้องนำมาหมักหรือทำให้แห้งก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้สำหรับการปลูกพืชผัก (ศุภกาญจน์ และคณะ, 2553)

สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และการเลี้ยงแบบทั่วไป มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือ ร้อยละ 3.50 และ 2.85 ตามลำดับ ในขณะที่มูลสุกรที่รวบรวมจากการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือร้อยละ 1.22 และสำหรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมี

นัยสำคัญ คือร้อยละ 4.44 ในขณะที่มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือร้อยละ 1.05 **(Table 2)** ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในมูลสุกรอาจมีความเกี่ยวเนื่องกับอาหารที่สุกรกินเข้าไป เนื่องจากหากพิจารณาที่วัตถุดิบของอาหารจะเห็นได้ว่า สุกรที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) และสุกรที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ทั้งหมด (ร้อยละ 100 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ได้รับอาหารที่ผสมวัตถุดิบที่เป็นกากถั่วเหลืองซึ่งถือเป็นแหล่งของโปรตีนและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เนื่องจากเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังพบว่า มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 7.7 (Priya et al., 2016) นอกจากนี้สุกรที่เลี้ยงภายใต้การเลี้ยงทั้ง 2 ระบบดังกล่าวส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ยังมีการใช้ปลายข้าว และรำละเอียดเป็นส่วนประกอบในอาหารที่ผสมให้สุกรกิน ทั้งนี้แม้ว่าปลายข้าวถือเป็นวัตถุดิบที่ให้คาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก แต่พบว่ามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึงประมาณร้อยละ 8 ส่วนรำละเอียดที่ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการไม่แตกต่างกับปลายข้าวมากนัก แต่พบว่า มีโปรตีนสูงถึงประมาณร้อยละ 12 (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2560ก) ดังนั้นเมื่อสุกรกินเข้าไปจะเกิดการย่อยและดูดซึมโปรตีนไปบางส่วนและส่วนที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกมาและให้เป็นไนโตรเจนที่สะสมในมูลที่ขับถ่าย อย่างไรก็ตามบางฟาร์ม (ร้อยละ 20 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP ยังคงมีการใช้กากถั่วเหลืองผสมในอาหารร่วมด้วย

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในมูลสุกรพบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 4.44) ซึ่งมีผลสอดคล้องกับอาหารที่สุกรได้รับเช่นกัน โดยพบว่า สุกรในฟาร์มที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ได้รับไดแคลเซียมฟอสเฟตผสมในอาหาร ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสูงถึงประมาณร้อยละ 18 และมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 24 (อภินันท์ และสมบัติ, 2557) อีกทั้งในส่วนของเกลือป่น ที่พบว่า ฟาร์มสุกรทั้งหมด (ร้อยละ 100 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีการผสมเกลือป่นในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร ซึ่งเกลือป่นดังกล่าวจะมีการเติมฟอสเฟตผสมลงไปด้วยเพื่อป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน (ณัฐพล, 2557) จึงถือได้ว่าเกลือป่นเป็นอีกหนึ่งแหล่งของฟอสฟอรัสที่สุกรได้รับ และจากผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในมูลสุกรพบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 1.05) ทั้งนี้อาจมีความเกี่ยวข้องกับการให้อาหารสำเร็จรูป (ร้อยละ 100 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) ซึ่งพบว่า มีการใช้อาหารสำเร็จรูปจากบริษัท Cargill, Topfeed, CPF, SPM, แหลมทอง และ CP ที่เป็นบริษัทชั้นนำสำหรับการผลิตอาหารสัตว์และค่อนข้างมีสารอาหารครบถ้วน นอกจากนี้ฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP ยังมีการใช้ผักต่างๆ อย่างผักใบเขียว และหยวกกล้วยในการเลี้ยงสุกร ซึ่งกลุ่มผักสีเข้มถือได้ว่าเป็นแหล่งของโพแทสเซียมที่สำคัญ (ณัฐพล, 2557) โดยในผักใบเขียวสามารถพบโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำหนักแห้งถึงประมาณร้อยละ 3-5 (Huett et al., 1977) ทั้งนี้จากผลของปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในมูลสุกรที่มีความสอดคล้องกับอาหารที่สุกรกินเข้าไป สนับสนุนการรายงานของยงยุทธ และคณะ (2554) ที่กล่าวว่า ประมาณร้อยละ 75-90 ของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในอาหารจะถูกขับออกมาและสะสมอยู่ในมูลที่ขับถ่าย เนื่องจากระบบการย่อยอาหารของสุกรจะสามารถดูดซึมสารอาหารไปได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

สำหรับปริมาณธาตุอาหารรองของพืช ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด ในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมดในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีค่าสูงที่สุด คือร้อยละ 8.22, 2.06 และ 30.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในมูลสุกรดังกล่าวมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP (ร้อยละ 1.76) อย่างไรก็ตามพบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีปริมาณแคลเซียม และกำมะถันทั้งหมดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในอีก 2 ระบบการเลี้ยง ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 1.81 และ 11.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ **(Table 2)** ทั้งนี้สำหรับปริมาณแคลเซียมที่พบในมูลสุกรจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปถือว่ามีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งพบความเกี่ยวข้องกับข้อมูลการสัมภาษณ์เกี่ยวกับอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร ที่พบว่า มีจำนวนฟาร์มร้อยละ 40 ใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบในการผสมอาหารให้สุกรกิน ซึ่งปลาป่นหากนำมาผสมอาหารในปริมาณร้อยละ 55-60 ของปริมาณอาหารสัตว์ทั้งหมดจะทำให้

อาหารมีปริมาณแคลเซียมเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 5.0-7.7 (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2560ข) และสำหรับปริมาณธาตุแมกนีเซียม ที่พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีปริมาณแมกนีเซียมมากที่สุด คือร้อยละ 2.06 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP (ร้อยละ 1.73) ทั้งนี้ฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงสุกรแบบทั่วไป และระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมดที่สำรวจ) มีการใช้วัตถุดิบที่ได้จากพืช เช่น ปลายข้าว และรำละเอียด และบางฟาร์ม (ร้อยละ 20) ในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีการใช้วัตถุดิบที่ทำจากสัตว์ เช่น ไขมันสัตว์ เป็นส่วนผสมในอาหารของสุกร ซึ่งธนาภรณ์ (2557) รายงานว่า ธาตุแมกนีเซียมพบในปริมาณมากทั้งในเนื้อเยื่อของพืช และสัตว์โดยเฉพาะปลา อย่างไรก็ตาม สำหรับปริมาณกำมะถัน พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีปริมาณกำมะถันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือ 30.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจเป็นผลโดยตรงจากกระบวนการกำจัดหรือการทำบ่อบำบัดดักตะกอน ซึ่งพบว่า ในการจัดการบ่อบำบัดดักตะกอน บ่อเกรอะ และบ่อพัก นิยมใช้กรดชนิดต่างๆ อย่างกรดกำมะถัน (H_2SO_4) หรือกรดเกลือ (HCl) มาเติมลงในไปบ่อบำบัดเพื่อสะเทินน้ำเสียที่เป็นด่างให้มีค่าเป็นกลางก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

สำหรับปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป มีปริมาณเหล็ก (ร้อยละ 2.04) แมงกานีส (2,089.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทองแดง (1702.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี (2,187.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับปริมาณนิเกิลพบว่า ระบบการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในมูลสุกร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 44.21-44.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่า ในมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในทุกระบบการเลี้ยงไม่พบปริมาณโบรอนและโมลิบดินัมทั้งหมด **(Table 2)** จากผลของจุลธาตุอย่างเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีพบว่า ให้ผลสอดคล้องกับปริมาณวิตามินแร่ธาตุ (พรีมิกซ์) ที่สุกรได้รับ กล่าวคือ สุกรที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป และระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 ของจำนวนฟาร์มทั้งหมด) ได้รับวิตามินแร่ธาตุ “พรีมิกซ์” ซึ่งประกอบไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โซเดียม ไอโอดีน โคบอลต์ และโพแทสเซียม ในขณะที่ฟาร์มที่เลี้ยงสุกรในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP ที่สำรวจในงานวิจัยนี้ไม่มีการใช้วิตามินแร่ธาตุ “พรีมิกซ์” ผสมในอาหารเลี้ยงสุกร อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ที่แม้ว่าสุกรส่วนใหญ่จะได้รับวิตามินแร่ธาตุ “พรีมิกซ์” แต่พบว่าในมูลสุกรที่รวบรวมได้มีปริมาณจุลธาตุดังกล่าวน้อยกว่ามูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป และในบางธาตุอาหารให้ผลวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกับมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยในด้านการจัดการภายในฟาร์ม เช่น ระบบการกำจัดของเสียหรือการทำบ่อเก็บมูลสุกร ซึ่งพบว่า ฟาร์มทั้งหมด (ร้อยละ 100) ที่มีระบบการเลี้ยงสุกรตามมาตรฐาน GAP มีการจัดการของเสียโดยการทำบ่อเก็บมูลสุกรทั้งระบบบ่อไบโอแก๊สและบ่อกำจัดน้ำเสีย โดยเฉพาะระบบบ่อไบโอแก๊สที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการย่อยสลายมูลสุกรโดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้มูลสุกรเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยจุลธาตุออกมามากขึ้นและในขณะเดียวกันก็อาจสูญเสียไปกับการชะล้างได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ในด้านการจัดการแหล่งน้ำก็ถือเป็นปัจจัยหนึ่งมีสามารถส่งผลต่อปริมาณจุลธาตุที่ตรวจพบในมูลสุกร โดยในการเก็บข้อมูลพบว่า การเลี้ยงสุกรในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป และระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP มีการใช้แหล่งน้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาล ซึ่งจากการรายงานของรัชฎาพร และกมณชนก (2555) พบว่า แหล่งน้ำในธรรมชาติ โดยเฉพาะน้ำบาดาลมีปริมาณธาตุเหล็กอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคถึง 3 เท่า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($Fe(HCO_3)_2$) ที่ละลายได้ในน้ำ จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการที่มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มสุกรทั้ง 2 ระบบ มีปริมาณธาตุเหล็กปนเปื้อนอยู่สูงกว่ามูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP ซึ่งมีการใช้น้ำประปาเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60)

สำหรับปริมาณโลหะหนักอย่างสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว พบว่า ในมูลสุกรที่รวบรวมจากระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ตรวจไม่พบโลหะหนักดังกล่าว **(Table 2)** ซึ่งแม้จะมีการให้วัคซีนและการใช้ยารักษาโรคที่แตกต่างกันในแต่ละระบบการเลี้ยง และพบงานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานถึงการปนเปื้อนของปริมาณแคดเมียม ปรอท และตะกั่วในมูลสุกรที่มีสาเหตุมาจากการใช้วัคซีนและยารักษาโรคในสุกร (Wang et al., 2013; Ekhlas et al., 2023) และมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อนำมาใช้ในการเกษตรเช่นการนำมาเพาะปลูกพืชและอาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นอย่างสุขภาพของทั้งสัตว์และมนุษย์ (Luppi, 2017;

Kim et al., 2018; Skalny et al., 2020) แต่จากการสำรวจมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มสุกรที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า มูลสุกรที่เป็นผลพลอยจากทุกระบบการเลี้ยงตรวจไม่พบโลหะหนักอย่างสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากอัตราการใช้วัคซีน และการขับโลหะหนักของสุกรที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ ซึ่งทำให้ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวมีค่าแตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้า (Storelli and Marcotrigiano, 2003) และหากพิจารณาที่ปริมาณอะลูมินัม พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปและระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP มีการตรวจพบปริมาณอะลูมินัมทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ 74.62 และ 81.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงมาตรฐาน GAP ตรวจพบปริมาณอะลูมินัมทั้งหมดเพียง 4.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม **(Table 2)**

หากเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของมูลสุกรที่รวบรวมได้จากฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP กับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกาศในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2557 พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในทุกระบบการเลี้ยงสามารถนำมาจำหน่ายในรูปแบบของปุ๋ยอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูง กล่าวคือ มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด รวมกันประมาณร้อยละ 3.5-8.5 โดยเฉพาะมูลสุกรที่รวบรวมได้จากฟาร์มในระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP ที่พบว่า มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดถึงร้อยละ 3.50 และ 4.44 ตามลำดับ **(Table 2)** ซึ่งหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า เช่นการรวบรวมข้อมูลของจงรักษ์ (2541) พบว่า มูลสุกรมีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.6-2.2 และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-0.5 หรือจากการศึกษาของศุภามาศ (2529) ที่พบว่า มูลสุกรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 1.03-1.68 และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 1.74-2.69 เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีรายงานในเรื่องของมูลสุกรที่หากเป็นการวิเคราะห์สมบติทางเคมีของมูลสุกรเก่า จะพบว่ามีค่าฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงและสูงกว่าที่สำรวจได้ในงานวิจัยนี้ ยกตัวอย่างเช่น จากการเผยแพร่ข้อมูลของกรมวิชาการเกษตร (2548) ที่รายงานว่า มูลสุกรเก่าที่ศึกษาวิจัยมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 2.83 และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 6.25 หรือการรวบรวมข้อมูลของสำนักงานศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา (https://osd101.ldd.go.th/q/manual/ table_compost.pdf) ซึ่งพบว่า มูลสุกรเก่าที่วิเคราะห์ได้มีประมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 2.38 และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 16.25 เป็นต้น อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของสุกัญญา และคณะ (2550) ที่พบว่า มูลสุกรมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 2.83-3.19, 0.88-4.64 และ 1.20-1.33 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาที่ปริมาณโลหะหนักในส่วนของทองแดง พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากทุกระบบการเลี้ยงมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งมีปริมาณทองแดงปนเปื้อนในมูลสุกรสูงกว่าค่ามาตรฐานถึง 3 เท่า แต่สำหรับมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP พบว่า มีปริมาณทองแดงเกินค่ามาตรฐานมาเพียงเล็กน้อย (517.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณการใช้วัคซีนที่มีการฉีดวัคซีนเท่าที่จำเป็น และการไม่ได้ใช้วิตามินแร่ธาตุ “พรีมิกซ์” ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 0.001 หรือ 1 กรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้หากต้องการนำมูลสุกรจากระบบการเลี้ยงทั้ง 3 ระบบ ไปใช้ในทางการเกษตรเพื่อการเพาะปลูกพืชซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงการปนเปื้อนของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมหรือจุลธาตุอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นสูงอย่างเหล็ก แมงกานีส หรือสังกะสีที่อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรมีกระบวนการจัดการและการใช้ที่ถูกวิธี เช่น การหมักด้วยกระบวนการทางชีวภาพด้วยระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Shehata et al. (2019) พบว่า การหมักเป็นระยะเวลา 35 วัน สามารถช่วยลดปริมาณทองแดงลงได้ถึงร้อยละ 57.8 หรือการนำมูลสุกรไปผสมกับวัสดุอินทรีย์อื่นในการหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจากการศึกษาของ Du et al. (2020) พบว่า การหมักมูลสุกรผสมกับใบอ้อยที่อัตรา 2:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 วัน โดยการหมักในกรรมวิธีการผลิตไบโอแก๊ส ทำให้ปริมาณทองแดงในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากระบบไบโอแก๊สมีประมาณลดลง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักในอัตราส่วนระหว่างมูลสุกรต่อใบอ้อย อัตรา 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เป็นต้น

Table 2 Chemical properties of pig manure under different farm management systems (n=5)

Measured parameters	Conventional farming	GAP-based farming	Deep litter swine production with GAP standard	Sig.	C.V. (%)	Standard for organic fertilizer Thailand (Department of Agriculture, 2014)
pH (1:5 water)[1/]	7.60±0.56	7.13±0.55	7.22±0.34	ns	6.74	5.5-8.5
EC (1:10 water), dS/m[2/]	3.40±0.61[b8/]	3.44±0.15[b]	4.99±0.72[a]	*	14.02	≤ 6
Organic matter, %[3/]	47.73±1.20[a]	37.52±0.93[c]	44.79±0.38[b]	**	2.09	≥ 30
Total N, %[4/]	2.85±0.50[a]	3.50±0.60[a]	1.22±0.24[b]	**	18.62	≥ 1.0
Total P_2O_5, %[5/]	3.49±0.42[b]	4.44±0.25[a]	1.25±0.60[c]	**	9.24	≥ 0.5
Total K_2O, %[6/]	0.79±0.04[b]	0.56±0.01[c]	1.05±0.07[a]	**	5.57	≥ 0.5
Total Ca, %[6/]	8.22±1.04[a]	5.18±0.12[b]	1.81±0.38[c]	**	12.67	-
Total Mg, %[6/]	2.06±0.22[a]	1.73±0.17[ab]	1.26±0.34[b]	*	14.93	-
Total S, mg/kg[7/]	30.48±1.18[a]	19.07±0.30[b]	11.52±2.49[c]	**	7.86	-
Fe, %[7/]	2.04±0.34[a]	1.35±0.14[b]	0.43±0.03[c]	**	17.23	-
Mn, mg/kg[7/]	2,089.53±161.91[a]	380.60±9.06[b]	565.27±56.18[b]	**	9.81	-
Cu, mg/kg[7/]	1,702.87±266.30[a]	715.80±11.17[b]	517.33±71.09[b]	**	16.51	≤ 500
Zn, mg/kg[7/]	2,187.87±122.07[a]	743.53±14.12[b]	721.87±38.56[b]	**	4.59	-
B, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			-
Mo, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			-
Ni, mg/kg[7/]	44.32±0.02	44.21±0.04	44.25±0.11	ns	0.16	-
Al, mg/kg[7/]	74.62±11.56[a]	4.42±1.16[b]	81.43±5.65[a]	**	13.95	-
As, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			≤ 50
Cd, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			≤ 5
Hg, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			≤ 2
Pb, mg/kg[7/]	ND	ND	ND			≤ 500
C/N ratio[3/,4/]	7.77±1.27[b]	8.04±1.08[b]	21.16±4.06[a]	**	16.03	≤ 20:1

[1/] pH (1:5 H_2O); [2/] EC (1:10 H_2O); [3/] OM (Walkley and Black method); [4/] N (Kjeldahl method); [5/] P (Vanadomolybdate method); [6/] K, Ca, Mg (NH_4OAc method); [7/] S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni, Al, As, Cd, Hg, Pb (Acid digestion; Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni, Al, Cd, Hg, Pb analyze by ICP and S, As analyze by AAS) ND = non detect

ns = not significant; * Significance at the 95% confidence level ; ** Significance at the 99% confidence level

[8/] Mean ± SD followed by the same letters are not significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

ทั้งนี้หากเกษตรกรนำมูลสุกรไปจำหน่ายเป็นปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้เกษตรกรได้รับรายได้เพิ่มอีกช่องทางหนึ่ง โดยจากการสอบถามพบว่า เกษตรกรที่นำมูลสุกรมาจำหน่ายสามารถขายได้กิโลกรัมละ 1.5-2 บาท โดยเฉพาะหากเป็นมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มที่ได้รับรองมาตรฐาน GAP ทั้งการเลี้ยงในรูปแบบพื้นคอกซีเมนต์และการเลี้ยงแบบสุกรหลุม (มีวัสดุรองพื้นคอก) จะสามารถขายมูลสุกรได้ราคากิโลกรัมละ 2 บาท ในขณะที่หากเป็นมูลสุกรที่ได้จากฟาร์มในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปจะสามารถจำหน่ายได้กิโลกรัมละ 1.5 บาท

อีกทั้งจากการสัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลสภาพการเลี้ยงสุกรในแต่ละระบบ สามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่า ฟาร์มสุกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP ทั้งการเลี้ยงในรูปแบบพื้นคอกซีเมนต์และการเลี้ยงแบบสุกรหลุม ให้ข้อมูลในเชิงผลตอบแทนที่เป็นรายได้ของการเลี้ยงภายหลังจากหักต้นทุน โดยพบว่า มีบางฟาร์ม (ร้อยละ 20-40) ได้กำไรจากการทำฟาร์มสุกร ในขณะที่เกษตรกรทุกราย (ร้อยละ 100) ที่เป็นเจ้าของฟาร์มสุกรที่มีระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปให้ข้อมูลในด้านรายได้ว่า ได้รับรายได้ไม่แน่นอน ดังนั้นจากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า หากเกษตรกรมีการพัฒนาและปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงสุกรให้เป็นไปตามมาตรฐาน ย่อมมีโอกาสทั้งในด้านการต่อรองราคาของผลผลิตเนื้อสุกรและยังสามารถขายมูลสุกรที่เป็นผลพลอยได้ในราคาสูงขึ้น

สรุป

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของมูลสุกรเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้ประโยชน์จากมูลสุกรในการเพาะปลูกพืชหรือจำหน่ายเป็นรายได้เสริม ซึ่งเก็บข้อมูลระบบการเลี้ยงจากการสัมภาษณ์เชิงลึกและรวบรวมมูลสุกรที่ได้จากแต่ละฟาร์มในแต่ละระบบการเลี้ยงมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรีที่คัดเลือกแบบเจาะจงจากพื้นที่ที่มีรัศมีห่างกันไม่เกิน 70 กิโลเมตร ซึ่งมีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 3 ระบบ คือ ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ระบบการเลี้ยงตามมาตรฐาน GAP และระบบการเลี้ยงแบบสุกรหลุมที่ได้รับมาตรฐาน GAP พบว่า มูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในทุกระบบการเลี้ยงมีคุณสมบัติสามารถพัฒนาเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ โดยพบว่า มูลสุกรมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์สูง โดยเฉพาะมูลสุกรที่รวบรวมจากฟาร์มในระบบการเลี้ยงมาตรฐาน GAP ที่มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดถึงร้อยละ 3.50 และ 4.44 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า มูลสุกรจากที่รวบรวมจากทุกระบบยังคงมีปริมาณทองแดงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการหมักหรือการใช้อย่างถูกวิธีเพื่อลดการปนเปื้อนของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมหรือลดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชในด้านการได้รับปริมาณจุลธาตุในความเข้มข้นที่สูงเกินความต้องการของพืช ทั้งนี้หากต้องการเพิ่มมูลค่าของทั้งผลผลิตที่เป็นเนื้อสุกรและผลพลอยได้ที่เป็นมูลสุกร เกษตรกรควรพัฒนาระบบการเลี้ยงและมีการจัดการภายในฟาร์มให้ได้ตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน GAP ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีเกษตรกรตัวอย่างบางรายให้ข้อมูลในการสัมภาษณ์ว่ามีกำไรจากการเลี้ยงสุกรหลังจากหักต้นทุน

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ พิพิธกุล. 2561. คุณภาพเครื่องมือแบบสอบถาม: Validity กับ Reliability ในการวิจัยทางรัฐประศาสนศาสตร์. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 2: 104-110.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2558. คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยตนเอง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์. แหล่งข้อมูล: http://aglib.doa.go.th/lib/images/Downloads/2551/EB00008.pdf. ค้นเมื่อ 14 เมษายน 2565.

กองวิเคราะห์น้ำบาดาล. 2561. สาระน่ารู้เกี่ยวกับคุณภาพน้ำ: คุณภาพของน้ำบาดาล. แหล่งข้อมูล: http://www.dgr.go.th/dga/th/about/352. ค้นเมื่อ 14 เมษายน 2565.

ขจรยศ ศิรินิล และอรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์. 2563. การพัฒนาวัสดุดินผสมเพื่อการเพาะปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค. วารสารแก่นเกษตร. 48(5): 990-1001.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2541. ปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้. น. 487-497. ใน: ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณัฐพล เลาหเจริญยศ. 2557. อาหารและโพแทสเซียม. แหล่งข้อมูล: https://sriphat.med.cmu.ac.th/th/knowledge-62. ค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2565.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. 2557. การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ. แหล่งข้อมูล: https://www.fisheries.go.th/technical_group/. ค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2565.

รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมณชนก วงศ์สุขสิน. 2555. การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา. น. 341-348. ใน: การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 13, 17 กุมภาพันธ์ 2555. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พิษณุ ตุลยกุล. 2552. การศึกษาความสัมพันธ์ของระดับโลหะหนัก (zinc และ copper) และปริมาณของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* spp. ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2554. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน, พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรีย์นิดา วิวรรธมงคล. 2557. การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร และผลการใช้ของเสียฟาร์มสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกผักต่อการปนเปื้อนโลหะบนต้นผัก. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมฤทัย ตันเจริญ, ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมีภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อยศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศุภามาศ พานิชศักดิ์พัฒนา. 2529. จุลวิทยาเพื่อผลิตผลทางการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, ปฏิมา อู่สูงเนิน และอุทัย คันโธ. 2550. การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ. สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563: ปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา. 2537. ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห้งชนิดต่างๆ. แหล่งข้อมูล: https://osd101.ldd.go.th/q/manual/ table_compost.pdf. ค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2565.

สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์. 2563. ฟาร์มปศุสัตว์อินทรีย์ ที่ได้รับการรับรอง (2563). กรมปศุสัตว์, กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: http://certify.dld.go.th/certify. ค้นเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2564.

สำนักพัฒนาอาหารสัตว์. 2560ก. วัตถุดิบอาหารสัตว์: รำละเอียด. กรมปศุสัตว์. แหล่งข้อมูล: https://nutrition.dld.go.th/exhibision/feed_stuff/rice_bran.htm. ค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2565.

สำนักพัฒนาอาหารสัตว์. 2560ข. วัตถุดิบอาหารสัตว์: ปลาป่น. กรมปศุสัตว์. แหล่งข้อมูล: https://nutrition.dld.go.th/exhibision/feed_stuff/fish_meal.htm. ค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2565.

อภินันท์ จันทร์ทอง และสมบัติ ศรีจันทร์. 2557. ผลของการใช้กระดูกป่นและไดแคลเซียมฟอสเฟตขุนโคเนื้อ. น. 137- 142. ใน: รายงานสัมมนานักศึกษาปริญญาตรี สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช.

อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2564. การใช้ประโยชน์มูลสัตว์เป็นปุ๋ยให้กับพืชอย่างมีประสิทธิภาพ. แหล่งข้อมูล: http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/52/08-intregration/Uthai/intregration_00.html. ค้นเมื่อ 13 กันยายน 2565.

Department of Agriculture. 2014. Announcement of the Department of Agriculture subject: Organic fertilizer standard. Available: https://www.doa.go.th/ard/wpcontent/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf. Accessed May. 21, 2022.

Du, J., J. Jiao, X. Huang, Z. Li, and X.P. Liu. 2020. Effects of different proportions of pig manures and sugarcane leaves on Cu and Zn forms in dry fermentation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 615: 012094.

Ekhlas, D., H. Argüello, F.C Leonard, E.G. Manzanilla, and C.M. Burgess. 2023. Insights on the effects of antimicrobial and heavy metal usage on the antimicrobial resistance profiles of pigs based on culture-independent studies. Veterinary Research. 54: 14.

Huett, D.O., N.A. Maier, L.A. Sparrow, and T.J. Piggott. 1997. Vegetable crop. p. 383- 461. In: Plant Analysis: An Interpretation Manual (D.J. Reuter and J.B. Robinson eds.), Inkata Press, Melbourne.

Kim, H.T., J.P. Loftus, S. Mann, and J.J. Wakshlag. 2018. Evaluation of arsenic, cadmium, lead and mercury contamination in over-the-counter available dry dog foods with different animal ingredients (red meat, poultry, and fish). Frontiers in Veterinary Science. 5:264.

Lindén, L., K. Andersson, and A. Oskarsson. 2001. Cadmium in organic and conventional pig production. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 40(3): 425-431.

Luppi, A. 2017. Swine enteric colibacillosis: diagnosis, therapy and antimicrobial resistance. Porcine Health Management. 3:16.

Mazliah, J., S. Barron, E. Bental, and I. Reznik. 1989. The effect of chronic lead intoxication in mature chickens. Avian Diseases. 33(3): 566–570.

Priya, R., S. Anbu, and P. Saranraj. 2016. Microbially fermented soybean meal as natural fertilizer. Lap Lambert Academic Publishing, London.

Shehata, E., Y. Liu, Y. Feng, D. Cheng, and Z. Li. 2019. Changes in arsenic and copper bioavailability and oxytetracycline degradation during the composting process. Molecules. 24(23): 4240.

Skalny, A.V., T.R.R. Lima, T. Ke, J.C. Zhou, J. Bornhorst, S.I. Alekseenko, J. Aaseth, O. Anesti, D.A. Sarigiannis, A. Tsatsakis, M. Aschner, and A.A. Tinkov. 2020. Toxic metal exposure as a possible risk factor for COVID-19 and other respiratory infectious diseases. Food and Chemical Toxicology. 146: 111809.

Storelli, M.M., and G.O. Marcotrigiano. 2003. Heavy metal residues in tissues of marine turtles. Marine pollution bulletin. 46(4): 397–400.

Tulayakul, P., A. Boonsoongnern, S. Kasemsuwan, S. Wiriyarampa, J. Pankumnoed, S. Tippayaluck, H. Hananantachai, R. Mingkhwan, R. Netvichian, and S. Khaodhiar. 2011. Comparative study of heavy metal and pathogenic bacterial contamination in sludge and manure in biogas and non-biogas swine farms. Journal of Environmental Sciences. 23(6): 991-997.

Vargora, M., O. Ondrasovicova, N. Sasakova, M. Ondrasovic, K. Culenova, and S. Smirjakova. 2005. Heavy metal in sewage sludge and pic slurry solids and the health and environmental risk associated with their application to agricultural soil. Journal of Folia Veterinaria. 49(3): 28-30.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.

Wang, H., Y. Dong, Y. Yang, G.S. Toor, and X. Zhang. 2013. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. Journal of Environmental Sciences (China). 25(12): 2435–2442.

Zhao, Y., D. Wang, and S. Yang. 2016. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork. Meat Science. 118: 103-107.