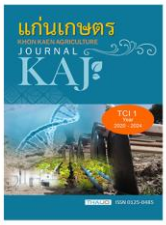
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



ผลของการใช้ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงต่อผลผลิต คุณภาพ และประสิทธิภาพการใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินสรรพยา

Effects of use of high-quality composts on grain yield quality and nitrogen use efficiency of Pathum Thani 1 rice grown on Supphaya soil series

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์[1]* และธนวดี พรหมจันทร์[1]

Auraiwan Isuwan[1]* and Thanawadee Promchan[1]

[1] *คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120*

[1] *Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Petchaburi Campus, Cha-Am, Petchaburi, Thailand 76120*

บทคัดย่อ: การจัดการปุ๋ยและความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช รวมถึงผลกำไรของระบบการปลูกข้าว การใช้วัสดุเศษเหลือหรือของเสียจากการเกษตรและเกษตรอุตสาหกรรม เช่น กากตะกอนอ้อย และขี้เถ้าชานอ้อยที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย มาผลิตเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพสูงเป็นหนึ่งในแนวทางในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงที่ผลิตจากกากตะกอนอ้อยและขี้เถ้าชานอ้อยที่มีต่อลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยของพืชและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินสรรพยา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (completely randomized block design, RCBD) มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลอง คือ รูปแบบของปุ๋ยและการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน มี 4 ตำรับการทดลอง ดังนี้ 1) การไม่ใส่ปุ๋ย (กลุ่มควบคุม; C) 2) การใส่ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงให้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเท่ากับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือ อัตรา 8.0 – 13.6 – 12.9 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่ (CP_{SSF}) 3) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง หรือ อัตรา 8.0 – 1.7 – 1.0 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่ (SSF) และ 4) การใส่ปุ๋ยหมักทางการค้าในอัตราตามปกติที่เกษตรกรใช้ หรือ อัตรา 3.01 – 2.80 – 2.17 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่ (F) ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ย SSF ส่งผลให้ข้าวมีลักษณะการเจริญเติบโต (ความสูงและจำนวนแขนง/กอ) จำนวนรวง/กอและจำนวนเมล็ด/รวงสูงที่สุด ($P<0.01$) นอกจากนี้ ข้าวที่ได้รับปุ๋ย SSF มีผลผลิต (868 กก./ไร่) ให้ผลตอบแทนหลังหักต้นทุนค่าปุ๋ย (6,020 บาท/ไร่) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ย (42.39%) และประสิทธิภาพการผลิตพืช (8.53%) สูงที่สุด ($P<0.01$) รองลงมา คือ ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักคุณภาพสูง CP_{SSF} (774 กก./ไร่ 4,152 บาท/ไร่ 30.59% และ 6.31% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม รูปแบบการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผล ($P>0.05$) ต่อเปอร์เซ็นต์อะไมโลสและอัตราการขยายตัวของข้าวสุก ถึงแม้ว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักคุณภาพสูงจะได้รับไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับหรือสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีแต่ปริมาณธาตุอาหารที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้อาจจะน้อยกว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ในปุ๋ยหมักคุณภาพสูงเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับสูตรปุ๋ยให้มีธาตุอาหารพืชเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของข้าวต่อไป

คำหลัก: ปุ๋ยหมัก; ข้าว; กากตะกอนอ้อย; ผลิตภาพ; ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากปุ๋ย

ABSTRACT: Fertilizers and soil fertility management largely influence productivity, nutrient use efficiency and hence profitability of rice production systems. The use of agricultural and agro-industrial residues, such as filter cake and bagasse ash from the sugar industry, to produce high-quality composts is one of the most promising approaches to increase soil fertility while reducing environmental impacts. Therefore, an objective of this study was to investigate

* Corresponding author: isuwan_a@silpakorn.edu

Received: date; June 22, 2020 Accepted: date; October 12, 2020 Published: date April 15, 2021

the effects of high-quality composts produced mainly from filter cake and bagasse ash on growth characteristics, yield and yield components, nitrogen use efficiency and economic returns over fertilizer cost of Pathum Thani 1 rice grown on Sapphaya soil series. A randomized block design with four replications was used. Treatments were four different fertilizer regimens: 1) no fertilizer use (control, C), 2) a use of high-quality composts (produced mainly from filter cake and bagasse ash) at a nitrogen rate of site-specific fertilizer management or at a rate of 8.0 – 13.6 – 12.9 kg N – P_2O_5 – K_2O /rai (CP_{SSF}), 3) a use of chemical fertilizers at an NPK rate of site-specific fertilizer management or a rate of 8.0 – 1.7 – 1.0 kg N – P_2O_5 – K_2O /rai (SSF) and 4) a use of commercial composts at a rate traditionally used by farmers or at a rate of 3.01 – 2.80 – 2.17 kg N – P_2O_5 – K_2O/rai (F). Results showed that the SSF rice had plant heights, tiller numbers, spikes/hill and grains/spike superior to ($P<0.01$) those from other treatments. In addition, the SSF rice had yield (868 kg/rai) that provided economic returns over fertilizer cost (6,020 Baht/rai), nitrogen use efficiency (42.39%) and agronomic nitrogen use efficiency (8.53%) higher than ($P<0.01$) those from other treatments. However, different fertilizer regimens had no effects ($P>0.05$) on amylose contents and elongation ratios of cooked rice. Interestingly, although the CP_{SSF} rice received total NPK nutrients equal to or greater than the SSF rice did, they may receive lower available nutrients than chemical fertilizers. Thus, it is important to quantify the available nutrient content of high-quality composts in order to modify the composts to contain optimally available nutrient contents for rice.

Keywords: compost; rice; filter cake; productivity; fertilizer nitrogen use efficiency

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยส่งออกข้าวไปต่างประเทศประมาณ 11 ล้านตัน ข้าวสาร คิดเป็นมูลค่าประมาณ 180,000 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลิตภาพของข้าวไทยกลับลดลงอย่างต่อเนื่อง (โดยมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 421 กก./ไร่ ในปี พ.ศ. 2560 และเหลือเพียง 409 กก./ไร่ ในปี พ.ศ. 2561 หรือลดลง 2.85%) ในขณะต้นทุนการผลิตกลับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) เทคโนโลยีและการจัดการต่าง ๆ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต และ/หรือ เพิ่มผลิตภาพจึงเข้ามามีบทบาท โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดการด้านปุ๋ยและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งนี้ ต้นทุนค่าปุ๋ยและการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินคิดเป็น 22% ของต้นทุนการผลิตข้าวทั้งหมด (ธนกฤต และ อุไรวรรณ, 2561) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียหรือวัสดุเศษเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแนวทางหนึ่งที่นอกจากจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มผลิตภาพการผลิตพืชและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเศษเหลือแล้ว (Thongjoo et al., 2005) ยังสามารถช่วยลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดจากการจัดการของเสียหรือวัสดุเศษเหลือเหล่านั้นอย่างไม่ถูกต้องและเหมาะสม (Jeong et al., 2018)

กากตะกอนอ้อย (filter cake) และขี้เถ้าชานอ้อย (bagasse ash) เป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย โดยในแต่ละปีจะมีกากตะกอนอ้อยประมาณ 3 ล้านตัน ซึ่งเป็นปริมาณที่มากจนเป็นปัญหาในการจัดการ อย่างไรก็ตาม กากตะกอนอ้อยมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการปรับปรุงดิน ช่วยให้ดินร่วนซุยซึ่งจะช่วยให้รากพืชสามารถแผ่ขยายและชอนไชไปหาแร่ธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น (สุธีรา, 2550) ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วสามารถนำไปใช้ได้ต้องมีค่าต่าง ๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยในกรณีจัดเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพสูงนั้นเกณฑ์ทั่วไปเหมือนปุ๋ยหมักปกติ แต่ปริมาณธาตุอาหารหลักจะสูงกว่า เป็น ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0% ของน้ำหนัก ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 2.5% ของน้ำหนัก และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 1.0% ของน้ำหนัก หรือ ปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่ต่ำกว่า 9.0% ของน้ำหนัก และไม่เกิน 20% (กรมวิชาการเกษตร, 2548) มีรายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนอ้อยในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ยังช่วยให้ข้าวยังมีค่าคงตัวแป้งสุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวมีความเหนียวนุ่มมากขึ้น (สุธีรา, 2550; อุไรวรรณ, 2557; ประเสริฐ และคณะ, 2542 และ กรรณิกา และคณะ, 2552) สำหรับในด้านการจัดการปุ๋ยและความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้นการใช้ปุ๋ยในอัตราที่ถูกต้องและในปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการปุ๋ยของข้าวและสมบัติของดิน หรือ เทคโนโลยีการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (site-specific fertilizer management) เป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยที่มีศักยภาพซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของข้าว (Buresh et al., 2019; Sharma et al., 2019; Dobermann et al., 2002) มีรายงานว่าการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ข้าวมีผลผลิตที่ดี ลดต้นทุนค่าปุ๋ยและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้ประโยชน์จากปุ๋ยของข้าว (อุไรวรรณ, 2559; 2558; 2557)

ชุดดินสรรพยาเป็นกลุ่มดินร่วนเกิดจากตะกอนลำน้ำในส่วนต่ำของพื้นที่ริมแม่น้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกลาง การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) เป็นชุดดินที่สำคัญของจังหวัดเพชรบุรีที่นิยมใช้ในการปลูกข้าว โดยข้าวสายพันธุ์หนึ่งที่นิยมปลูกในพื้นที่ดังกล่าว ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นข้าวหอมพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุเก็บเกี่ยว 104-126 วัน ให้ผลผลิตสูง ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้งและเพลี้ยกระโดด สามารถตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยดี (กรมการข้าว, 2550) ซึ่งปัจจุบันยังขาดคำแนะนำในการใช้ปุ๋ยหมักและการจัดการปุ๋ยในรูปแบบที่เหมาะสม ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบการใช้และการจัดการปุ๋ยหมักคุณภาพสูง ที่ผลิตจากกากตะกอนและขี้เถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าว

วิธีการศึกษา

1. สถานที่ผลิตปุ๋ยหมัก สมบัติของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก และสมบัติของปุ๋ยหมักคุณภาพสูง

ทำปุ๋ยหมัก ณ ศูนย์ฝึกอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี วิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนอ้อยและขี้เถ้าชานอ้อยและผลการวิเคราะห์แสดงใน **Table 1** รายละเอียดเกี่ยวกับสูตรปุ๋ยและวิธีการทำปุ๋ยหมักคุณภาพสูงแสดงใน อุไรวรรณ และคณะ (2561a) โดยมีวิธีการพอสังเขป ดังนี้ นำกากตะกอนอ้อยจำนวน 100 กก. ปุ๋ยนมจำนวน 10 ลิตร ขี้เถ้าชานอ้อยจำนวน 10 กก. มูลวัวสดจำนวน 10 กก. และปุ๋ยเคมีสูตร 18-46-0 จำนวน 3.2 กก. มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นด้วยน้ำให้มีความชื้น 60% (ปรารถนา, 2552) จากนั้น ตั้งกองปุ๋ยหมักให้มีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 1 x 1.5 x 1 ม. ทำการกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 7 วัน หมักนาน 60 วัน ในระหว่างนี้จะมีการปรับความชื้นกองปุ๋ยให้มีความชื้นด้วยน้ำและคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง จากนั้น ตั้งกองให้มีขนาดความสูงและความกว้างเท่าเดิม ส่วนความยาวอาจลดลงตามระยะเวลาการหมัก สุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักสำหรับวิเคราะห์คุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และผลการวิเคราะห์แสดงใน **Table 3**

Table 1 Analyzed properties of filter cake and bagasse ash used in the present study

item	Methods	Filter cake	Bagasse ash
Total N (%)	Bremner and Mulvaney (1982)	1.27	0.01
Total P_2O_5 (%)	Bray and Kurtz (1945)	0.82	0.16
Total K_2O (%)	Peech et al. (1947)	0.38	1.15
Total Ca (%)	Peech et al. (1947)	0.53	0.11
Total Mg (%)	Peech et al. (1947)	0.18	0.15

2. สถานที่ปลูกข้าวและสมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดำเนินการทดลองปลูกข้าวโดยใช้แปลงนาของเกษตรกรซึ่งเป็นชุดดินสรรพยา (Fine-loamy, mixed, active nonacid, isohyperthermic Aquic (Fluvenntic) Haqlustepts) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) ในพื้นที่ตำบลไร่มะขาม อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ก่อนเริ่มการทดลอง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินสำหรับใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและใช้ในการคำนวณความต้องการธาตุอาหารของข้าว ประเมินความต้องการปุ๋ยของข้าวโดยใช้โปรแกรม Sim Rice (http://oss102.ldd.go.th/onfarm/) สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลองแสดงใน **Table 2** ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.89 มีไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ 0.03% 134 มก./กก. และ 1,181 มก./กก. ตามลำดับ และอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 8.0 กก. N /ไร่ 1.7 กก. P_2O_5 /ไร่ และ 1.0 กก. K_2O /ไร่

Table 2 Analyzed properties of soil used in the present study

Soil properties	Methods	Units	Analyzed value	Interpretation
pH	McLean (1982)	-	6.89	neutral
Electrical conductivity	Jackson (1958)	dS/m	0.02	non saline
Organic matter	Walkley (1947); FAO (1974)	%	0.96	very low
Total nitrogen	Bremner and Mulvaney (1982)	%	0.03	very low
Available phosphorus	Bray and Kurtz (1945)	mg/kg	134	very high
Exchangeable potassium	Peech et al. (1947)	mg/kg	1,181	very high
Exchangeable calcium	Peech et al. (1947)	mg/kg	366	very low
Exchangeable magnesium	Peech et al. (1947)	mg/kg	84	very low

3. แผนการทดลองและตำรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design) มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลองได้แก่ รูปแบบการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน มี 4 ตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักคุณภาพสูง (กลุ่มควบคุม; C)

ตำรับการทดลองที่ 2 การใส่ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงให้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CP_{SSF}) โดยมีอัตราที่ใส่ คือ 500 กก./ไร่ หรือ เท่ากับอัตรา 8.0 – 13.6 – 12.9 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่

ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แนะนำให้ใส่ตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (SSF) โดยมีอัตราปุ๋ยที่ใส่ คือ 8.0 -1.7 - 1.0 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่

ตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยหมักทางการค้าในอัตราปกติที่เกษตรกรใช้ (F) โดยมีอัตราที่ใส่ คือ 700 กก./ไร่ หรือ เท่ากับอัตรา 3.01 – 2.80 – 2.17 กก. N – P_2O_5 – K_2O /ไร่ ผลวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักที่เกษตรกรใช้แสดงใน **Table 3**

Table 3 Analyzed properties of composts produced

Items	Analyzed properties of composts produced	
	used in the present study	used by farmers
1. pH (1: 10)	6.40	7.82
2. Moisture Content at 75 °C 20 hrs. (%)	3.38	5.66
3. Total N (%)	1.59	0.43
4. Total P_2O_5 (%)	2.72	0.40
5. Total K_2O (%)	2.58	0.31
6. Water Soluble Sodium (%)	0.10	0.01
7. EC (1.10) (dSm^{-1})	9.02	5.70
8. Organic Carbon (%)	15.12	5.81
9. Organic Matter (%)	26.07	10.01
10. C: N ratio	11.65	43.48
11. Plastic, Glass Etc.	0	0
12. Gravel (%)	0	0
13. Sieve size (12.5*12.5 mm.) (%)	100	100

Items	Analyzed properties of composts produced	
	used in the present study	used by farmers
14. Germination Index (123.18 %)	Fertile	Fertile
15. Physical property	grain	powder
16. Color	black	black

4. การปลูกและการดูแลข้าว

ขั้นตอนและรายละเอียดการปลูกและการดูแลข้าวแสดงใน อุไรวรรณ และคณะ (2561b) โดยมีวิธีการพอสังเขป ดังนี้

ไถ ทำเทือกและยกคันดินสูง 50 ซม. เพื่อทำแปลงย่อยขนาด 4 × 5 ม. จำนวน 16 แปลง โดยให้แต่ละแปลงห่างกัน 1 ม. ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 โดยวิธีการย้ายกล้าที่อายุ 20 วัน ปักดำ กอละ 3 ต้น แต่ละกอห่างกัน 20 ซม.

ในตำรับการทดลองที่ 2 และ 4 จะทำการคลุกเคล้าปุ๋ยหมักกับดินในขั้นตอนการทำเทือกก่อนการย้ายปลูก 7 วัน ส่วนในตำรับการทดลองที่ 2 จะแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่เมื่อย้ายปลูก ได้ 20 วัน โดยจะใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 50% ปุ๋ยฟอสฟอรัส 100% และปุ๋ยโพแทสเซียม 100% ของอัตราที่กำหนด และครั้งที่ 2 ใส่ระยะข้าวแตกกอ หรือ เมื่อต้นข้าวอายุได้ 52 วัน หลังการย้ายปลูก โดยจะใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 50% ของอัตราที่กำหนด

กำจัดวัชพืชโดยการถอนก่อนการใส่ปุ๋ยเคมี 1 วัน

5. การวัดผลผลิต การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ทางเคมี

สุ่มเก็บข้อมูลความสูงและจำนวนต้น/กอ โดยใช้กรอบสุ่มที่มีขนาด 1 × 1 ม. เมื่อข้าวอายุ 30 50 และ 70 วัน หลังการย้ายปลูก และสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวโดยตัดสูงจากพื้นดิน 5 เซนติเมตร และผลผลิตข้าวเปลือกเมื่อข้าวอายุ 120 วัน วิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนโดยวิธี Kjedahl Method (Bremner and Mulvaney, 1982) และวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (dry weight) โดยการอบในตู้อบแบบเป่าลมร้อน (oven dry) นาน 72 ชม. สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเพื่อบันทึกองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวง/กอ จำนวนเมล็ด/รวง น้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และน้ำหนักผลผลิตข้าวเปลือก/ไร่ สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกสำหรับใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีของข้าวสาร ได้แก่ ปริมาณแป้งชนิดอะไมโลส (amylose) ตามวิธีการของ งามชื่น (2545) และอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio) ดัดแปลงจากวิธีการของงามชื่น (2536)

6. การคำนวณและวิเคราะห์ทางสถิติ

คำนวณผลผลิตข้าวมาตรฐานโดยปรับให้มีความชื้น 14% คำนวณอัตราการขยายตัวของข้าวสุก (ER) โดยที่

ER = ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก/ความยาวเฉลี่ยข้าวสาร

และคำนวณประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนตามวิธีของ Ladha et al. (2005) ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (recovery of nitrogen use efficiency; RNUE) โดยที่ RNUE = $(U_T - U_O)/F_N$ และ

2) ประสิทธิภาพการผลิตพืช (agronomic nitrogen use efficiency; ANUE) โดยที่ ANUE = $(Y_T - Y_O)/F_N$

กำหนดให้

U_T หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนจากส่วนที่เหนือดินทั้งหมดของข้าว (ต้นข้าว+เมล็ดข้าว) (กก./ไร่) จากตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่าง ๆ

U_O หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนจากส่วนที่เหนือดินทั้งหมดของข้าว (ต้นข้าว+เมล็ดข้าว) (กก./ไร่) จากตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

F_N หมายถึง อัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (กก./ไร่)

Y_T หมายถึง ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าว (กก./ไร่) จากตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่าง ๆ

Y_O หมายถึง ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าว (กก./ไร่) จากตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

วิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบต้นทุนในการใช้ปุ๋ยในทุกตำรับการทดลองและเปรียบเทียบรายได้ก่อนและหลังหักต้นทุนค่าปุ๋ย

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของข้าว

ความสูงและจำนวนแขนงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับการจัดการปุ๋ยแตกต่างกันแสดงใน **Table 4** ผลการทดลอง พบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยเคมีแบบ SSF มีความสูงและจำนวนแขนงมากกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักและข้าวที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยซึ่งมีความสูงไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ในทำนองเดียวกัน ข้าว SSF มีจำนวนแขนงมากกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักและข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ย อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจำนวนแขนงของข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักทั้ง 2 รูปแบบจะไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีจำนวนมากกว่า (P<0.01) ข้าวที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ย ปุ๋ยมีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและความสูงของข้าวอย่างมากโดยเฉพาะเมื่อข้าวอายุ 50-80 วัน หลังการย้ายปลูก (ยงยุทธ และคณะ, 2551) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินช่วยให้ข้าวใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารได้อย่างสมดุลและเหมาะสมทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ อุไรวรรณ (2557; 2561b) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินส่งผลให้ข้าวมีจำนวนแขนงต่อกอมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว

Table 4 Effects of fertilization regimens on growth characteristics of rice

	C	CP_{SSF}	SSF	F	%CV	SE	P-value
Plant height (cm)							
• 30 day	49.82	51.62	51.22	49.85	17.45	0.79	ns
• 50 day	59.20^{b}	60.90^{b}	71.25^{a}	59.20^{b}	14.53	1.67	**
• 70 day	86.30^{b}	91.13^{b}	98.86^{a}	84.89^{b}	12.45	2.19	**
Tiller number (tillers per plant)							
• 30 day	9.76	9.53	9.98	10.35	12.31	0.64	ns
• 50 day	14.15^{c}	16.53^{b}	17.77^{a}	14.92^{bc}	14.25	0.69	**
• 70 day	15.08^{c}	17.63^{b}	20.43^{a}	17.23^{b}	12.71	0.57	**

**; P<0.01, ns; non-significance

2. องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิตข้าวเปลือกและผลตอบแทนหลังหักต้นทุนค่าปุ๋ย

จำนวนรวง/กอ จำนวนเมล็ด/รวง น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ ผลผลิตข้าวและผลตอบแทนหลังหักต้นทุนค่าปุ๋ยแสดงใน **Table 5** ผลการทดลอง พบว่า รูปแบบการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลทำให้ข้าวมีผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตและรายได้หลังหักต้นทุนค่าปุ๋ยแตกต่างกัน (P<0.01) ยกเว้น น้ำหนัก 100 เมล็ดซึ่งโดยปกติการจัดการปุ๋ยไม่ค่อยมีอิทธิพลกับน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวปทุมธานี 1 (อุไรวรรณ และคณะ, 2561b; นิตยา, 2551)

แม้ว่าการใส่ปุ๋ยแบบ SSF ทำให้ข้าวมีจำนวนรวง/กอ แตกต่างอย่างชัดเจนกับการจัดการปุ๋ยแบบอื่น ๆ แต่ทำให้ข้าวมีจำนวนเมล็ด/รวงสูงกว่า (P<0.01) การจัดการปุ๋ยแบบอื่น ๆ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า ข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยหมักตามวิธีการปกติของเกษตรกรมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูงกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยแบบอื่น ๆ รวมถึงข้าวที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ย และเมื่อพิจารณาการให้ผลผลิต ผลการทดลอง พบว่า ข้าวที่ได้รับปุ๋ย SSF มีผลผลิตสูงกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักคุณภาพสูงซึ่งมีผลผลิตสูงกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักตามวิธีของเกษตรกรซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่า (P<0.01) ข้าวที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตาม จากความแตกต่างของต้นทุนค่าปุ๋ยซึ่งทำให้ข้าวที่ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงและข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยมีผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ยไม่แตกต่างกัน (P>0.05) และถึงแม้ข้าวดังกล่าวจะมีผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ยสูงกว่า (P<0.01) ข้าวที่ใส่ปุ๋ยหมักตามวิธีการของเกษตรกรแต่มีค่าต่ำกว่า (P<0.01) ข้าวที่ได้รับปุ๋ย SSF

ผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ อุไรวรรณ (2557; 2558; 2559) และ อุไรวรรณ และคณะ (2561b) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ผลผลิตข้าวเปลือกและรายได้หลังหักต้นทุนค่าปุ๋ยสูงกว่าการใส่ปุ๋ยรูปแบบอื่น ๆ

Table 5 Effects of fertilization regimens on yield and yield components and economic returns over fertilizer cost of rice

	C	CP_{SSF}	SSF	F	%CV	SE	P-value
Spikes number (spikes per hill)	15.75^{ab}	14.69^{ab}	17.56^{a}	13.44^{b}	9.12	0.87	**
Grain number (seeds per spike)	81.31^{b}	96.69^{b}	124.88^{a}	97.75^{b}	10.27	6.14	**
100-grain weight (g)	2.85	2.87	2.85	2.88	8.10	0.05	ns
Good grains (%)	81.06^{a}	83.31^{a}	82.38^{a}	73.76^{b}	7.29	1.42	**
Infertile grains (%)	18.94^{b}	16.69^{b}	17.63^{b}	26.34^{a}	6.57	1.42	**
Grain yield (kg/rai)	529^{d}	774^{b}	868^{a}	614^{c}	13.73	22.83	**
economic returns (Baht/rai)	$3,866^{b}$	$4,152^{b}$	$6,020^{a}$	$2,388^{c}$	10.58	166.69	**

**; P<0.01, ns; non-significance

Provided: Fertilizer 46-0-0 = 12.40 Baht/kg, Fertilizer 18-46-0 = 21.60 Baht/kg, Fertilizer 0-0-60 = 17.80 Baht/ kg, composts = 3.00 Baht/kg and grain price = 7.30 Baht/kg

3. ไนโตรเจนในต้นข้าว อะไมโลส และอัตราการขยายตัวของข้าวสุก

ไนโตรเจนในต้นข้าว อะไมโลส และอัตราการขยายตัวของข้าวสุก แสดงใน **Table 6** การใส่ปุ๋ยมักคุณภาพสูง ส่งผลให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้น (0.89%) สูงที่สุด (P<0.01) อย่างไรก็ตาม การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์อะไมโลสและอัตราการขยายตัวของข้าวสุก (P>0.05) ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จัดเป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 10-19% เมื่อหุงสุกข้าวจะนิ่ม (กรมการข้าว, 2550) และจากการศึกษาของกนกพร (2544) พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวและใช้ปุ๋ยเคมีที่อัตราต่าง ๆ ในทุกตำรับการทดลองไม่มีผลต่อปริมาณอะมิโลสในข้าว

Table 6 Effects of fertilization regimens on nitrogen contents of rice plants and properties of rice grains

	C	CP_{SSF}	SSF	F	%CV	SE	P-value
Nitrogen content (%)	0.38^{d}	0.89^{a}	0.77^{b}	0.64^{c}	7.45	0.02	**
Amylose content (%)	12.72	13.02	13.26	13.11	9.32	0.4	ns
Elongation ratio	1.5	1.52	1.51	1.51	5.42	0.03	ns

**; P<0.01, ns; non-significance

4. ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าวที่ได้รับปุ๋ย SSF สูงกว่า (P<0.05) ของข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักทั้ง 2 รูปแบบซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) และประสิทธิภาพการผลิตพืชของข้าวที่ได้รับปุ๋ย SSF สูงกว่า (P<0.01) ของข้าวได้รับปุ๋ยหมักคุณภาพสูงซึ่งมีค่าสูงกว่า (P<0.01) ของข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักตามวิธีของเกษตรกร (**Table 7**) เนื่องจากตำรับ SSF คือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงในดินเมื่อเจอความชื้นจะละลายและปลอดปล่อยธาตุอาหารให้พืชดูดไปใช้ได้ทันที จึงทำให้มีค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนที่สูงกว่ากลุ่มที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหาร (ยงยุทธ และคณะ, 2551) จากการศึกษาของ อุไรวรรณ (2551) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (SSF) ทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าวดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราอื่น ๆ และปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ยงยุทธ และคณะ (2551) และ อุไรวรรณ (2557) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยที่สอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารของข้าวส่งผลให้ข้าวมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้ดีขึ้น ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือ แบบ SSF มีความสอดคล้องกับความต้องการของข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินสรรพยาดีกว่าการใส่ปุ๋ยหมักคุณภาพสูง

Table 7 Effects of fertilizer regimens on fertilizer nitrogen use efficiency of rice

	C	CP_{SSF}	SSF	F	%CV	SE	P-value
Nitrogen use efficiency (%)	-	30.59^{b}	42.39^{a}	28.20^{b}	11.63	3.27	*
Agronomic nitrogen use efficiency (kg rice grain/kg N)	-	6.31^{b}	8.53^{a}	4.82^{c}	9.07	0.36	**

*; P<0.05, **; P <0.01

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาถึงผลของการใช้ปุ๋ยหมักคุณภาพสูงสำหรับการผลิตข้าวและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากปุ๋ย ผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (SSF) สามารถให้ธาตุอาหารพืชที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินสรรพยามากกว่าการใส่ปุ๋ยหมักคุณภาพสูง และถึงแม้ว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักคุณภาพสูงจะได้รับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยแบบ SSF แต่ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารพืชที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความแตกต่างของการให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปุ๋ยหมักคุณภาพสูงทั้งนี้เพื่อจะได้ผลผลิตปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสอดคล้องกับความต้องการของข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กนกพร ชัยวุฒิกุล. 2544. ผลของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อองค์ประกอบทางเคมีและผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สหสาขาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

กรมการข้าว. 2550. พันธุ์ข้าว. แหล่งข้อมูล: http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=61.htm. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2561.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2561. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคกลาง. แหล่งข้อมูล: http://www. ldd.go.th>pf_desc>central. ค้นเมื่อธันวาคม 2561.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ. เอกสารวิชาการ, ลำดับที่ 17/2548 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรรณิกา นากลาง, สิริมา ปั้นศิริ, วราภรณ์ วงศ์บุญ, ประเสริฐ ไชยวัฒน์, สว่าง โรจนกุศล, วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, องอาจ วีระโสภณ, จินตนา หัสวายุกุล, ชนินทร์ เภสัชชา และเภสัช ลวดเงิน. 2552. การจัดการการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดการเสี่ยงในการผลิตข้าว. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. กรมการข้าว.

งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี. น. 54-70. ใน: เอกสารประกอบการบรรยายการ ฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. สถาบันวิจัยข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2545. ปัจจัยคุณภาพข้าวสารและข้าวสวย. น. 13-18. ใน: เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรหลักและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพข้าว. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

ธนกฤต เขียวอร่าม และอุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2561. ผลของการจัดการรูปแบบปุ๋ยที่มีต่อการให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินสมุทรปราการ. น. 274-279. ใน: การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 3 เรื่องนวัตกรรมที่พลิกโฉมสังคมโลก 25 พฤษภาคม 2561. มหาวิทยาลัยราชธานี, อุบลราชธานี.

นิตยา รื่นสุข, ประนอม มงคลบรรจง และวาสนา อินแถลง. 2551. การจัดการเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวลูกผสมสายพันธุ์ PTT06001H. น. 74-90. ใน: ประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองเหนือ ปี 2551. ณ. โรงแรมชลจันทร์ รีสอร์ท พัทยา, ชลบุรี.

ปรารถนา ปลอดดี. 2552. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ สองเมือง, ทวี ธนาวีร์, ธีรพันธ์ แพทยารักษ์, แพรวพรรณ กุลนทีทิพย์, กรรณิกา นากลาง และสว่าง โรจนกุศล. 2542. การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวระยะยาวต่อสรีรนิเวศวิทยาของข้าว และสมบัติของดินที่สถานีทดลองข้าวพิมายสถานีทดลองข้าวสุรินทร์. น. 22-56. ใน: รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2536-2539. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุธีรา สุนทรารักษ์. 2550. การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักกากตะกอนอ้อยสำหรับการเป็นวัสดุปลูกดาวเรือง. ระบบคลังข้อมูลทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2557. ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานีในชุดดินสรรพยา. แก่นเกษตร. 42: 369-374.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2558. ผลของการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต่อผลผลิตและสมบัติทางเคมีของข้าวพันธุ์ปทุมธานีในชุดดินสรรพยา. แก่นเกษตร. 43: 423-430.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2559. ผลของการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในชุดดินวัฒนา. แก่นเกษตร. 44: 383-390.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์, ธนวดี พรหมจันทร์, ฐิตินันท์ วรรณา และปภัสรา สักการะ. 2561a. ศักยภาพของวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายสำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์และผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1. น. 176-184. ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10 วันที่ 1-3 สิงหาคม 2561. ณ โรงแรมเรือรัษฎา อำเภอเมือง, จังหวัดตรัง.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์, ธนวดี พรหมจันทร์, ณัฐกมล จีระสุข และธนัญญา สิงห์ชำนาญ . 2561b. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1. น. 185-192 ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10 วันที่ 1-3 สิงหาคม 2561. ณ โรงแรมเรือรัษฎา อำเภอเมือง, จังหวัดตรัง.

Bray, R. H., and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Science. 59: 39-45.

Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen Total. P. 595-624. In: A. L. Page (Edition), Methods of Soil Analysis: Agron. NO. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

Buresh, R. J., R. L. Castillo, J. C. D. Torre, E. V. Laureles, M. I. Samson, P. J. Sinohin, and M. Guerra. 2019. Site-specific nutrient management for rice in the Philippines: Calculation of field-specific fertilizer requirements by Rice Crop Manager. Field Crops Research. 239: 56–70.

Dobermann, A., C. Witt, D. Dawe, S. Abdulrachman, H. C. Gines, R. Nagarajan, S. Satawathananont, T. T. Son, P. S. Tan, G. H. Wang, N. V. Chien, V. T. K. Thoa, C. V. Phung, P. Stalin, P. Muthukrishnan, V. Ravi, M. Babu, S. Chatuporn, J. Sookthongsa, Q. Sun, R. Fu, G. C. Simbahan, and M. A. A. Adviento. 2002. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. Field Crops Research. 74: 37–66.

FAO. 1974. The Euphrates Pilot Irrigation Project. Methods of Soil Analysis, Gadeb Soil Laboratory (A Laboratory manual). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Jackson, M. L. 1958. Soluble Salt Analysis for Soils and Water. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.

Jeong, S. T., G. W. Kim, H. Y. Hwang, P. J. Kim, and S. Y. Kim. 2018. Beneficial effect of compost utilization on reducing greenhouse gas emissions in a rice cultivation system through the overall management chain. Science of the Total Environment. 613–614: 115–122.

Ladha, J. K., H. Pathak, T. Krupnik, J. Six, and C. van Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. Advance Agronomy. 87: 85-156.

Mclean, E. O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. P. 199-224. In: A. L. Page (Ed.) Methods of Soil Analysis.

Peech, M., L. T. Alexander, L. A. Dean, and J. F. Reed. 1947. Method of Soil Analysis for Soil Fertility Investigation. Government Printing Office. Washington, U.S.

Sharma, S., P. Panneerselvam, R. Castillo, S. Manohar, R. Raj, V. Ravi, and R. J. Buresh. 2019. Web-based tool for calculating field-specific nutrient management for rice in India. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 113: 21–33.

Thongjoo, C., S. Miyagawa, and N. Kawakubo. 2005. Effect of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. Plant Production Science. 8: 475-481.

Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining of organic carbon in soil: Effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Science. 63: 251-263.