

# ผลของปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอส (NBPT) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตข้าว

## Effect of Urea Coated with Urease Inhibitor (NBPT) on Rice Growth, Yield and Yield Components

เพ็ญญา จักรสมศักดิ์ และ สาวิกา กอนแสง\*  
Pennapa Jaksomsak and Sawika Konsaeng\*

สาขาวิชาเกษตรเคมี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Program in Agricultural Chemistry, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

\* Corresponding author: sawika.k@gmail.com

(Received: 29 August 2022; Revised: 12 November 2022; Accepted: 24 November 2022)

### Abstract

This research was carried out to determine the effect of urea coated with N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide (NBPT) on rice growth, yield and yield components in farmer's field at Chiang Mai province. Rice, variety San-pah-tawng 1, was grown as farmer's practice and applied with seven treatments of different nitrogen fertilizers including: no application of nitrogen fertilizer, application of urea coated with NBPT and without coated at 60, 90 and 120 kg N/ha. The result found that the application of coated urea with NBPT had no effect on plant growth of both stages in term of shoot dry weight, plant height, numbers of tiller per hill, SPAD value and nitrogen content in YEB and flag leaf which were increased with increasing of nitrogen rate. However, plant height at flowering stage showed no difference among nitrogen fertilizer treatments. Moreover, rice supplied with urea coated with NBPT at 120 kg N/ha gave the highest yield and yield components including grain yield, tiller number per hill and panicle number per hill. The results from this study is useful for efficient management of urea application for increasing yield productivity and reducing impact to environment.

**Keywords:** N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide (NBPT), urea, rice, yield and yield components

### บทคัดย่อ

งานวิจัยเพื่อศึกษาผลของปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยสาร N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide (NBPT) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียที่ไม่เคลือบและด้วย NBPT ในอัตรา 60, 90 และ 120 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ จากผลการทดลองไม่พบความแตกต่างด้านการเจริญเติบโตระหว่างปุ๋ยที่เคลือบ NBPT และไม่เคลือบ โดยน้ำหนักแห้งทั้งต้น ความสูง จำนวนหน่อต่อกอ ค่า SPAD และปริมาณไนโตรเจนในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ และใบธง เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นความสูงในระยะดอกบานที่ไม่พบความแตกต่างกันตามระดับไนโตรเจนที่ได้รับ สำหรับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วย NBPT อัตรา

120 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ ให้ผลผลิตเมล็ด จำนวนหน่อ และจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้นสูงสุด ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการจัดการปุ๋ยยูเรียในนาข้าวให้เพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านผลผลิต และลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้

**คำสำคัญ:** N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide (NBPT) ยูเรีย ข้าว ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

## คำนำ

ข้าวเป็นหนึ่งในแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่มนุษย์บริโภคเป็นอาหารหลัก ทำให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการมุ่งเน้นการผลิตข้าวที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต และเพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพที่ดีเพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Yamano *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม ในการผลิตข้าว มักพบปัญหาผลผลิตข้าวที่ลดลงและขาดคุณภาพ สาเหตุหลักเกิดจากการที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวใช้ประโยชน์จากที่ดินเป็นเวลานานทำให้ดินเสื่อมโทรม ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้ปุ๋ยไนโตรเจนถือเป็นธาตุอาหารหลักที่มักพบการขาดในพื้นที่ปลูกข้าว ดังนั้นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมจึงเป็นวิธีที่ดีและรวดเร็วที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของข้าว (ยงยุทธ, 2558) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งเป็นส่วนประกอบหลักของโปรตีน กรดนิวคลีอิก โคเอนไซม์ เอ็นไซม์ ไฟโตฮอร์โมน และสารทุติยภูมิที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสรีรวิทยาต่าง ๆ ดังนั้นไนโตรเจนจึงมีบทบาทต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของข้าว โดยทำให้ข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มพื้นที่ใบ ส่งเสริมการสร้างและเติมเต็มเมล็ด (Dobermann and Fairhurst, 2000)

ยูเรีย ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่เกษตรกรนิยมใช้ โดยจะปลดปล่อยแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) ซึ่งเป็นไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ที่มีเอ็นไซม์ยูเรียเอส (urease) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง เกิดการสูญเสีย  $\text{NH}_4^+$  ได้ง่าย ส่งผลให้ข้าวใช้ประโยชน์จากปุ๋ยยูเรียได้น้อย (ยงยุทธ, 2558) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากเกิดขึ้นภายใต้เขตภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้กิจกรรมของเอ็นไซม์ยูเรียเอสเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้ยูเรียสูญเสียไปจากดินได้สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ammonia volatilization เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และปลดปล่อยสู่บรรยากาศ สูงถึง 16 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณยูเรียที่ใส่ลงไปในดิน (Cantarella

*et al.*, 2018) จากที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้เกษตรกรสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้นเพื่อให้ข้าวได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ และอาจเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมหากมีการใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืช ดังนั้นการชะลอการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยยูเรียในนาข้าวที่มีน้ำขัง ทั้งนี้มีรายงานของ Cantarella *et al.* (2018) ที่พบว่า N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide (NBPT) เป็นสารที่มีการผลิตเชิงการค้าและจำหน่ายอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ยูเรียเอสหลายชนิดได้

NBPT เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ยูเรียเอส โดยจะแข่งกับ active site ของเอ็นไซม์ยูเรียเอส ส่งผลให้เอ็นไซม์ยูเรียเอสทำงานได้ลดลง และทำให้เกิดการสูญเสียก๊าซแอมโมเนียสู่บรรยากาศน้อยลง (Ray *et al.*, 2021) จากรายงานของ Silva *et al.* (2017) ที่ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยสาร NBPT ที่มีผลยับยั้งการปลดปล่อยแอมโมเนีย และเพิ่มผลผลิตของพืชอาหารหลัก เช่น ข้าวโพด และข้าวสาลี พบว่าปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ NBPT มีการสูญเสียแอมโมเนียประมาณ 31.0 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NBPT สูญเสียแอมโมเนียเพียง 14.8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าการสูญเสียลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ NBPT นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NBPT ช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 5.30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Meng *et al.* (2020) ได้รายงานว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วย DCD (dicyadamide) NP (nitrapyrin) และ NBPT ในนาข้าว ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนได้ดีขึ้นและลดการสูญเสียไนโตรเจนสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NBPT ในพื้นที่ปลูกข้าวหน้าน้ำขังในประเทศไทยยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยสาร NBPT ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลการจัดการธาตุอาหารไนโตรเจนในแปลงปลูกข้าวให้เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตและมีประสิทธิภาพสูงสุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินงานวิจัยในแปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในเขตอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ วิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดินในแปลงทดลองก่อนปลูก ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (นงลักษณ์, 2548) ผลวิเคราะห์ดินแสดงดัง Table 1 โดยดินในแปลงเป็นกรดจัดมาก มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ระดับต่ำมาก อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ระดับปานกลาง ปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1

ในฤดูนาปี พ.ศ. 2563 ด้วยวิธีนาดำตามรูปแบบการปลูกของเกษตรกร ขนาดแปลงย่อย 2×5 เมตร ใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 1 เดือน ปลูกโดยใช้ต้นกล้า 2-3 ต้น ระยะปลูก 25×25 เซนติเมตร ขนาดคั่นนาของแปลงย่อยและขนาดร่องน้ำล้อมรอบแปลงย่อย 0.5 เมตร รักษาระดับน้ำในแปลงปลูกประมาณ 10-15 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) กรรมวิธีในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 7 กรรมวิธี (Table 2) จำนวน 4 ซ้ำ

**Table 1** Soil properties in the rice field

Soil properties	Results	Soil test levels
pH	4.69	Very strongly acidic
Organic matter (%)	1.38	Very low
Total N (%)	0.07	Very low
Available P (mg/kg)	10.5	Moderate
Exchangeable K (mg/kg)	18	Very low
Exchangeable Ca (mg/kg)	901	Low
Exchangeable Mg (mg/kg)	134.5	Moderate

**Remarks:** Soil analysis methods: pH-1:1 soil: water, Organic matter-Walkley and Black, total N-Kjeldahl, available P-Bray II, exchangeable K, exchangeable Ca and exchangeable Mg-extracted by ammonium acetate and analyzed by atomic absorption spectrophotometer

**Table 2** Treatments of nitrogen fertilizer application in this study

Treatment	Description	Nitrogen rate (kg N/ha)
N0	No nitrogen supply	0
N60-urea	Nitrogen supply as simple urea	60
N60-urea-NBPT	Nitrogen supply as NBPT coated urea	60
N90-urea	Nitrogen supply as simple urea	90
N90-urea-NBPT	Nitrogen supply as NBPT coated urea	90
N120-urea	Nitrogen supply as simple urea	120
N120-urea-NBPT	Nitrogen supply as NBPT coated urea	120

**Remarks:** NBPT coated urea = coated urea by commercial product of N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide at the rate 3 ml/kg fertilizer

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ใช้ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบ และไม่เคลือบ NBPT แบ่งใส่ 2 ครั้ง ในอัตราที่เท่ากัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ครั้งที่ 1 ใส่ที่ระยะแตกกอสูงสุด โดยมีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0-42-0) อัตรา 30 กิโลกรัม P/เฮกตาร์ และโพแทสเซียม (0-0-60) อัตรา 30 กิโลกรัม K/เฮกตาร์ พร้อมกับปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่ที่ระยะดอกบาน เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนที่เหลืออีกครึ่งหนึ่ง อัตราการให้ปุ๋ยในงานวิจัยนี้อ้างอิงจาก Dobermann and Fairhurst (2000) หลังจากใส่ปุ๋ย 10 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว จำนวน 3 ต้น ทั้งระยะแตกกอ และระยะดอกบาน จากแต่ละแปลงที่มีการให้ปุ๋ยยูเรียในกรรมวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักต้น ความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อต้น ค่า SPAD โดยใช้เครื่อง SPAD meter (SPAD-502Plus) วัดใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (YEB) ที่ระยะแตกกอ และใบธงที่ระยะดอกบาน และนำตัวอย่างใบไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธี Kjeldahl method ที่ระยะสุกแก่ สุ่มเก็บตัวอย่างพื้นที่ 1x1 เมตร ในแปลงที่มีการกรรมวิธีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน บันทึกข้อมูล ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ผลผลิตฟางแห้ง และผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ สุ่มเก็บรวงข้าว 10 รวง นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของอิทธิพลของกรรมวิธีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Statistix 8 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ระยะแตกกอและระยะดอกบาน มีการตอบสนองในทิศทางบวกต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากน้ำหนักแห้งทั้งต้น ความสูง จำนวนหน่อต่อกอ ค่า SPAD และปริมาณไนโตรเจนในใบ YEB และใบธง มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นความสูงในระยะดอกบานที่ไม่มี ความแตกต่างกัน (Table 3 และ Table 4) สำหรับการเจริญเติบโตที่ระยะแตกกอพบว่า การให้ปุ๋ย N120-urea-NBPT มีผลให้ทุกค่าลักษณะของการเจริญเติบโตที่สูงที่สุดคือ มีน้ำหนักแห้ง 52.3 กรัม/กอ ความสูง 94.5 เซนติเมตร จำนวนหน่อ 17.8 หน่อ/กอ ค่า SPAD 41.5 หน่วย และปริมาณไนโตรเจนในใบ YEB 3.02 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N0) มีค่าน้อยที่สุดในทุกผลวิเคราะห์คือ มีน้ำหนักแห้ง 47.1 กรัม/กอ ความสูง 85.4 เซนติเมตร จำนวนหน่อ 12.0 หน่อ/กอ ค่า SPAD 36.2 unit และปริมาณไนโตรเจนในใบ YEB 2.23 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) เมื่อถึงระยะดอกบาน กรรมวิธี N120-urea-NBPT ยังคงส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีน้ำหนักแห้ง 86.6 กรัม/กอ จำนวนหน่อ 17.3 หน่อ/กอ ค่า SPAD 40.8 หน่วย และปริมาณไนโตรเจนในใบธง 2.88 เปอร์เซ็นต์ ส่วนต้นข้าวที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีการเจริญเติบโตที่น้อยที่สุดคือ มีน้ำหนักแห้ง 60.8 กรัม/กอ จำนวนหน่อ 11.1 หน่อ/กอ ค่า SPAD 35.2 และปริมาณไนโตรเจนในใบธง 2.04 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีในการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อความสูงของต้นข้าวซึ่งมีความสูง 94.2-98.5 เซนติเมตร (Table 4)

**Table 3** Dry weight of rice plant, plant height, number of tillering, SPAD value and nitrogen content in YEB of San-pah-tawng 1 variety at tillering stage under different urea fertilizer application

Urea application	Dry weight (g/hill)	Height (cm)	No. tiller/hill	SPAD (unit)	N (%)
N0	47.1 C	85.4 D	12.0 D	36.2 D	2.23 C
N60-urea	48.9 BC	89.8 C	14.1 C	37.6 CD	2.70 B
N60-urea-NBPT	50.9 AB	90.7 BC	15.5 BC	38.0 BCD	2.67 B
N90-urea	51.3 AB	92.9 AB	15.3 BC	38.2 BC	2.93 A
N90-urea-NBPT	51.6 AB	92.8 AB	15.3 BC	38.5 ABC	2.95 A
N120-urea	51.8 AB	93.1 AB	16.3 AB	40.2 AB	2.97 A
N120-urea-NBPT	52.3 A	94.5 A	17.8 A	41.5 A	3.02 A
P-value	*	***	***	**	***
LSD <sub>0.05</sub>	3.0	3.0	1.5	2.5	0.17

**Remarks:** Different uppercase letters designate a significant difference between means for urea application with LSD at p<0.05  
 \*, \*\* and \*\*\* means significant different at p<0.05, 0.01 and 0.001, respectively

**Table 4** Dry weight of shoot, plant height, number of tillering, SPAD value and nitrogen content in flag leaf of rice, San-pah-tawng 1 variety, at flowering stage under different urea fertilizer application

Urea application	Dry weight (g/hill)	Height (cm)	No. tiller/hill	SPAD (unit)	N (%)
N0	60.8 C	94.2	11.1 D	35.2 D	2.04 D
N60-urea	73.8 B	98.1	12.3 D	38.9 C	2.60 C
N60-urea-NBPT	78.1 AB	98.5	14.8 C	39.1 BC	2.72 BC
N90-urea	80.6 AB	96.3	15.3 C	39.9 ABC	2.76 AB
N90-urea-NBPT	84.9 A	97.3	17.0 BC	40.1 ABC	2.82 AB
N120-urea	85.3 A	95.9	15.6 AB	40.5 AB	2.81 AB
N120-urea-NBPT	86.6 A	95.9	17.3 A	40.8 A	2.88 A
<i>P</i> -value	***	ns	***	***	***
LSD <sub>0.05</sub>	10.4	-	1.5	1.5	0.14

**Remarks:** Different uppercase letters designate a significant difference between means for urea application with LSD at  $p < 0.05$   
ns means non-significant difference, \*\*\* means significant different at  $p < 0.001$

การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ทั้งในด้านผลผลิตในส่วนฟางและเมล็ด รวมทั้งองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนหน่อตอก จำนวนรวงตอก และจำนวนเมล็ดต่อรวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงใน Table 5 โดยการใส่ปุ๋ย N120-urea-NBPT มีผลทำให้ผลผลิตฟางมากที่สุด (1,327.5 กิโลกรัม/ไร่) แต่ไม่แตกต่างกับ N120-urea และ N90-urea-NBPT สำหรับผลผลิตเมล็ดนั้นพบว่า N120-urea-NBPT ทำให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดมากที่สุด (1,151.6 กิโลกรัม/ไร่) เช่นกัน รองลงมา คือ N120-urea และ N90-urea-NBPT (1,048.8 และ 1,031.0 กิโลกรัม/ไร่) สำหรับองค์ประกอบผลผลิตพบว่า การใส่ปุ๋ย N120-urea-NBPT มีผลให้จำนวนหน่อตอก และจำนวนรวงตอก มากที่สุดด้วยเช่นกัน (14.3 หน่อ/กอ และ 12.2 รวง/กอ) รองลงมาคือ N120-urea (13.0 หน่อ/กอ และ 11.0 รวง/กอ) โดย N120-urea-NBPT

มีจำนวนหน่อตอก และจำนวนรวงตอกมากกว่า N120-urea คิดเป็น 9 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่า กรรมวิธี N120-urea-NBPT และ N120-urea ทำให้ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุด (164.3 และ 158.6 เมล็ด) รองลงมาคือ การให้ปุ๋ยกรรมวิธี N60 และ N90 ทั้งแบบเคลือบและไม่เคลือบ NBPT ซึ่งทำให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดต่อรวงอยู่ในช่วง 137.0-144.7 เมล็ด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N0) ทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยในทุกกรรมวิธี โดยให้น้ำหนักฟาง 887.1 กิโลกรัม/ไร่ ผลผลิตเมล็ด 761.6 กิโลกรัม/ไร่ จำนวนหน่อตอก 11.0 หน่อ/กอ จำนวนรวงตอก 8.8 รวง/กอ และจำนวนเมล็ดต่อรวง 122.0 เมล็ด แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกรรมวิธีการให้ปุ๋ยต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 85.4-91.3 เปอร์เซ็นต์

**Table 5** Straw yield, grain yield and yield components (number of tillering per hill, numbers of panicle per hill, numbers of spikelet per panicle and percent of filled grain) at maturity stage under different urea fertilizer applications

Urea application	Straw yield (kg/ rai)	Grain yield (kg/ rai)	No. tiller/ hill	No. panicle/hill	Spikelet/ panicle	Filled grain (%)
N0	887.1 E	761.6 D	11.0 D	8.8 D	122.0 C	85.4
N60-urea	1,092.1 D	927.3 C	11.9 C	10.0 C	137.0 B	88.0
N60-urea-NBPT	1,109.3 CD	970.6 BC	12.2 BC	10.3 BC	144.3 B	87.6
N90-urea	1,207.2 BC	976.6 BC	12.4 BC	10.3 BC	140.0 B	90.6
N90-urea-NBPT	1,222.2 AB	1,031.0 B	12.6 BC	10.6 BC	144.7 B	90.9
N120-urea	1,228.5 AB	1,048.8 B	13.0 B	11.0 B	158.6 A	87.1
N120-urea-NBPT	1,327.5 A	1,151.6 A	14.3 A	12.2 A	164.3 A	91.3
<i>P</i> -value	***	***	***	***	***	ns
LSD <sub>0.05</sub>	112.7	95.9	0.9	0.8	13.0	-

**Remarks:** Different uppercase letters designate a significant difference between means for urea application with LSD at  $p < 0.05$   
 ns means non-significant difference, \*\*\* means significant different at  $p < 0.001$

เมื่อพิจารณาผลการศึกษา ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบ NBPT ต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแตกกอ (Table 3) แต่ในระยะดอกบาน พบว่า การใส่ปุ๋ยที่อัตรา N60 การเคลือบและไม่เคลือบ NBPT ทำให้จำนวนหน่อต่อกอแตกต่างกัน โดย N60-urea-NBPT มีจำนวนหน่อต่อกอเพิ่มขึ้น 20.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ N60-urea (Table 4) นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NBPT อัตรา N120 ให้ผลผลิตเมล็ด จำนวนหน่อ และจำนวนรวงต่อกอในระยะเก็บเกี่ยว สูงกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบคิดเป็น 10, 9 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dillon *et al.* (2012) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NBPT อัตรา 168 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ ทำให้การระเหยของก๊าซแอมโมเนียลดลง และส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ อาจอธิบายได้ว่า การที่ NBPT มีคุณสมบัติยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอสในดิน ช่วยลดการสูญเสียของแอมโมเนีย การใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบ NBPT จึงช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของพืชได้ดีกว่าปุ๋ยที่ไม่เคลือบ (Khan *et al.*, 2014; Linquist *et al.*, 2013) นอกจากนี้ ยังทำให้ข้าวมีการสะสมไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสร้างผลผลิตได้มากขึ้น เนื่องจาก

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ดีเอ็นเอ (DNA) และอาร์เอ็นเอ (RNA) ฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซินและไซโตไคนิน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช (Marschner, 2012)

ค่า SPAD ที่วัดได้ในแปลงทดสอบ และปริมาณไนโตรเจนในใบ YEB ที่ระยะแตกกอ และใบธงที่ระยะดอกบาน พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในทิศทางบวก (Table 6) จากความสัมพันธ์นี้จึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการตอบสนองไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตข้าวในขนาดตัดได้ โดยที่สามารถเลือกใช้วิธีการใดวิธีหนึ่งที่เหมาะสมต่องานทดลอง เช่น การประเมินจากค่า SPAD เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสะดวก รวดเร็วในการประเมินเบื้องต้น เนื่องจากประหยัดเวลา สามารถวัดได้ง่ายในแปลงปลูก ไม่ต้องเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ทำให้ทราบค่าได้ทันที อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งโดยทั่วไปค่า SPAD ที่เหมาะสมต่อพืชจะมีค่ามากกว่า 35 (Esfahani *et al.*, 2008) แต่ในกรณีที่ต้องการทราบปริมาณไนโตรเจนที่พอเพียงและเหมาะสมต่อพืชเพื่อใช้ในการงานวิจัยเชิงสรีรวิทยาในการดูใช้และเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร การวิเคราะห์

ไนโตรเจนจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม อย่างเช่นในงานทดลองนี้สามารถบ่งบอกได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนในส่วนใบในระยะแตกกอพบว่า กรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (N0) N60-urea และ N60-urea-NBPT มีค่าปริมาณไนโตรเจนในส่วนใบ YEB อยู่ในช่วง 2.2-2.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม (2.9-4.2

เปอร์เซ็นต์) ส่วนในใบธงที่ระยะออกดอกมีเพียงกรรมวิธี N0 ที่มีค่าไนโตรเจนต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม (2.2-3.0 เปอร์เซ็นต์) โดยมีค่าเท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (Dobermann and Fairhurst, 2000)

**Table 6** Correlation between SPAD value and N content in leaf at tillering and flowering stages

Correlation (r)	SPAD	
	Tillering	Flowering
N content	0.82 (p>0.05)	0.99 (p>0.001)
Equation	y = 5.13x + 24.34	y = 6.53x + 21.83

### สรุปผลการวิจัย

การใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วย NBPT ในข้าวส่งผลให้ผลผลิตเมล็ด และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวงมากกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ โดยควรใช้ที่อัตรา N120 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการจัดการไนโตรเจนในรูปยูเรียในนาข้าวให้เกิดประสิทธิภาพทั้งด้านผลผลิตและลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากบริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ขอขอบคุณ คุณพนมวัน บุญช่วย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่สำหรับจัดทำแปลงในการศึกษาวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ ภูมิพิพัฒน์ และคุณนุจรีย์ พรหมโสภาคย์เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการหน่วยวิเคราะห์ดิน น้ำ ปืช และปุ๋ยอินทรีย์ สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

### เอกสารอ้างอิง

นงลักษณ์ ปุระณะพงษ์. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.  
 ยงยุทธ โอสดสภา. 2558. ความต้องการธาตุอาหารของข้าว. น. 218-345. ใน: ยงยุทธ โอสดสภา (บ.ก.). ดิน ธาตุอาหารและปุ๋ยข้าว. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Cantarella, H., R. Otto, J.R. Soares and A.G.B. Silva. 2018. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *J. Adv. Res.* 13: 19-27.  
 Dillon, K.A., T.W. Walker, D.L. Harrell, L.J. Krutz, J.J. Varco, C.H. Koger and M.S. Cox. 2012. Nitrogen sources and timing effects on nitrogen loss and uptake in delayed flood rice. *Agron. J.* 104(2): 466-472.  
 Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management.* Oxford Graphic Printers, Singapore.  
 Esfahani, M., H.R.A. Abbasi, B. Rabiei and M. Kavousi. 2008. Improvement of nitrogen management in rice paddy fields using chlorophyll meter (SPAD). *Paddy Water Environ.* 6(2): 181-188.  
 Khan, M.J., A. Malik, M. Zaman, Q. Khan, H. ur Rehman and Kalimullah. 2014. Nitrogen use efficiency and yield of maize crop as affected by Agrotain coated urea in arid calcareous soils. *Plant Soil Environ.* 33 (1): 1-6.  
 Linquist, B.A., L. Liu, C. van Kessel and K.J. van Groenigen. 2013. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Res.* 154: 246-254.



- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, San Diego.
- Meng, X., Y. Li, H. Yao, J. Wang, F. Dai, Y. Wu and S. Chapman. 2020. Nitrification and urease inhibitors improve rice nitrogen uptake and prevent denitrification in alkaline paddy soil. *Appl. Soil Ecol.* 154: 103665, doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103665.
- Ray, A., C. Nkwonta, P. Forrestal, M. Danaher, K. Richards, T. O'Callaghan, S. Hogan and E. Cummins. 2021. Current knowledge on urease and nitrification inhibitors technology and their safety. *Rev. Environ. Health* 36(4): 477-491.
- Silva, A.G.B., C.H. Sequeira, R.A. Sermarini and R. Otto. 2017. Urease Inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. *Agron. J.* 109(1): 1-13.
- Yamano, T., A. Arouna, R.A. Labarta, Z.M. Huelgas and S. Mohanty. 2016. Adoption and impacts of international rice research technologies. *Glob. Food Sec.* 8: 1-8.