ผลการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาวต่อสมบัติทางเคมีของดินและผลผลิตข้าว ทั้งในฤดูนาปรังและนาปีในศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี

The Effects of Long Term of Ammonium Sulphate Application on Properties of Paddy Soil and Rice Yield at Suphanburi Rice Research Centre in both Dry and Wet Seasons

วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์ [1/]
Wiwat Ingkapradit [1/]

สุรพล จัตุพร [2/]
Surapol Chatuporn [2/]

ABSTRACT

The effect of ammonium sulphate fertilizer in long term application on non-photosensitive rice varieties growing in both wet and dry seasons. The trials have been conducted on Pimai soil series (very fine clayey, mixed vertic tropaquepts), at Suphanburi Rice Research Centre, Suphan Buri province. The experiments have been established for the past 34 years by commencing from dry season in 1968 to wet season in 2002 to investigate the effect of long term application of ammonium sulphate fertilizer on the soil chemical changes and yield of rice. It was designed as a split plot in RCB with 4 replications. The treatments were comprised 3 non- photosensitive rice varieties as main plot and 7 rates of chemical fertilizers as a subplot namely 0-0-0, 0-6-6, 3-6-6, 6-6-6, 9-6-6, 12-6-6 and 18-6-6 of N-P_2O_5-K_2O kg/rai of the first experiment. The varieties have been changed periodiocally according to the popularity of each. The second experiment had the same rate of N-P_2O_5 without K_2O application as a subplot. In 1999, the results of the both experiments were indicated that soil pH was markedly decreased as the rate of ammonium sulphate application increased. In addition, soil organic matter contents was also increased as ammonium sulphate application increased. However, the available P_2O_5 concentrations of the soil was decreased as ammonium sulphate supply increased. Whereas, the extractable K_2O concentrations of the soil was not changed that was compared to the control treatments.

Key words : ammonium sulphate, rice, Suphanburi 1

[1/] สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กทม. 10900

[1/] Rice Research institute, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

[2/] ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000

[2/] Suphanburi Rice Research Centre, Muang district, Suphan Buri province 72000

บทคัดย่อ

ศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใส่ต่อเนื่องนาน 34 ปีต่อสมบัติทางเคมีของดิน และการตอบสนองของข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงทั้งฤดูนาปรังและฤดูนาปี ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี โดยดำเนินการตั้งแต่ฤดูนาปรังปี พ.ศ. 2511 ถึงฤดูนาปี ปี พ.ศ. 2545 เพื่อศึกษาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรียวัตถุในดิน ฟอสฟอรัสที่จะใช้ประโยชน์ โพแทสเซียม กำมะถัน และผลตอบสนองของข้าว ประกอบด้วย 2 การทดลอง แต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำ โดยพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง 3 พันธุ์ เป็น main plot เป็นปุ๋ย 7 ตำรับ sub plot ของการทดลองที่ 1 ดังนี้ 0-0-0 0-6-6 3-6-6 6-6-6 9-6-6 12-6-6 และ 18-6-6 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ส่วนการทดลองที่ 2 ใส่เฉพาะปุ๋ย N-P_2O_5 เท่านั้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียม จากการเก็บตัวอย่างดินและทำการวิเคราะห์ดินหลังการทดลองในฤดูนาปี พ.ศ. 2542 ทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราสูงขึ้น pH ของดินจะลดลง และจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการใส่ในอัตราสูง การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราสูงขึ้น ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ได้ในดินจะน้อยลง ส่วนปริมาณของ K_2O ที่สกัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (0-0-0) ผลผลิตของข้าวไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียม เนื่องจากสภาพของดินนาเป็นดินเหนียว การเจริญเติบโตของข้าว มีการตอบสนองต่อปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 18, 12 กก.N/ไร่ ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสูงขึ้น แตกต่างกับอัตรา 3 6 และ 9 กก.N/ไร่

คำหลัก : ข้าว แอมโมเนียมซัลเฟต สุพรรณบุรี 1

คำนำ

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต และต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์ข้าวลูกผสม (De Datta, 1981) ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีการตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ทำให้ได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองอย่างชัดเจน แต่ปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน คือ สภาพแวดล้อมและดินฟ้าอากาศ มีผลให้ประสิทธิภาพของต้นข้าวในการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้เพียง 35-50% (Prasad and De Datta,1979) นอกจากนั้นปุ๋ยไนโตรเจนยังมีราคาแพงและมีแนวโน้มที่จะแพงขึ้นเรื่อย ๆ เพราะราคาปุ๋ยผูกพันอยู่กับราคาของน้ำมัน

ในการวิจัยของกรมการข้าว ก่อนรวมกับกรมกสิกรรมเป็นกรมวิชาการเกษตร และอีกหลายประเทศพบว่า ปุ๋ยไนโตรเจนที่ละลายเร็ว เช่น ยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมคลอไรด์นั้น ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวได้ไม่แตกต่างกัน เมื่อใช้อัตราของไนโตรเจนเท่ากัน (วิทยาและประยูร, 2515) โดยที่ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนขึ้นอยู่กับชนิดของปุ๋ยและอัตราของไนโตรเจน ตลอดจนวิธีการและเวลาที่ใส่ปุ๋ย ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในดินนา เป็นปุ๋ยรองพื้นในรูปแอมโมเนียม จะให้ผลดีกว่าปุ๋ยในรูปไนเตรท (De Datta and

Magnaye,1969; Patnaik and Rao, 1979) แต่การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าให้กับข้าว ไม่ว่าจะใส่ในรูปแอมโมเนียมหรือไนเตรทให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตดี สามารถดูดดึงไนเตรทไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ก่อนที่จะสูญเสียไปโดยขบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) และซึมลงไปยังดินชั้นรีดิวส์ (reduced layer) (De Datta,1981) จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 10 การทดลองในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2509 - 2510 และ Anon (1973) ได้จัดอันดับประสิทธิภาพของชนิดปุ๋ยไนโตรเจนจากมากไปน้อยไว้ดังนี้ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟตไนเตรท ยูเรีย แคลเซียมแอมโมเนียมไนเตรท โดยทั่วไปการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรียนั้นใกล้เคียงกัน (Gasser, 1964; De Datta and Magnaye, 1969) ปุ๋ยยูเรียได้รับความนิยมจากเกษตรกรในเขตร้อนของทวีปเอเชีย เพราะเป็นปุ๋ยทางการค้าที่มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงสุดทำให้ประหยัดค่าขนส่ง แต่ปุ๋ยยูเรียมักจะชื้นง่าย และเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมได้รวดเร็ว ทำให้ pH สูงขึ้น ได้มีการผลิตสารที่ยับยั้งขบวนการเกิดไนตริฟิเคชั่น โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน เพื่อยับยั้งการเปลี่ยน NH_4^+-N เป็น NO_3^- ด้วยการยับยั้งการเจริญเติบโตหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก *Nitrosomonas* sp. ได้มีการทดลองใช้ปุ๋ยยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟต ร่วมกับสารยับยั้งดังกล่าวในการเกิดไนตริฟิเคชั่นในประเทศอินเดีย (Lakhdive and Prasad, 1970; 1971; Rajale and Prasad,1974) และในประเทศญี่ปุ่น (Nishihara and Tsuneyoshi, 1964; 1968) พบว่าให้ผลดีกว่าการใช้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว แต่การทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกาสารดังกล่าวใช้ไม่ได้ผลเท่าที่ควร (Patrick and Mahapata, 1968; Turner, 1977)

การลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของไนโตรเจนได้ด้วยการแบ่งใส่ 2-3 ครั้ง (Prasad *et al.*, 1970; De Datta *et al.*, 1974; Modgal *et al.*,1974) โดยแบ่งครึ่งใส่เท่า ๆ กัน เป็นปุ๋ยรองพื้นแบบฝังลึกลงไปในดิน (deep placement) ที่ระยะปักดำ และหว่านเป็นปุ๋ยแต่งหน้าที่ระยะกำเนิดช่อดอก (Singh and Murayama, 1963; Prasad and De Datta,1979) ขณะเดียวกันรายงานจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ว่าการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในขณะที่มีเมฆในฤดูแล้งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจน (Anon, 1974; 1975)

เนื่องจากการใช้พื้นที่นาปลูกข้าวติดต่อกันมาเป็นเวลานาน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินนาต่ำลง โดยทั่วไปไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่ไม่พอเพียงต่อการรักษาระดับของผลผลิต และ/หรือเพิ่มผลผลิตข้าว เนื่องจากข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงในปัจจุบัน มีศักยภาพในการให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปลูกได้ตลอดปีถ้ามีน้ำเพียงพอ แต่มีความต้องการธาตุอาหารไนโตรเจนในอัตราสูง ในระยะแตกกอและระยะสร้างเมล็ด การใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวโดยเฉพาะปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานนี้ ทำให้นักวิชาการและผู้ที่สนใจเกี่ยวกับปุ๋ยเคมีสงสัยกันว่าการปฏิบัติดังกล่าวจะทำให้ดินเสีย เช่น เป็นกรดเพิ่มขึ้นหรือไม่ และหรืออาจก่อให้เกิดพิษของซัลไฟด์ เพื่อขจัดความสงสัยนี้ จึงได้วางแผนการศึกษาผลกระทบระยะยาว ของการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องระยะยาวขึ้น ที่

ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี จ. สุพรรณบุรี ซึ่งเป็นดินตะกอนน้ำจืด โดยใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งมีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 24 % ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 34 ปี ซัลเฟตจากปุ๋ยที่ตกค้างสะสมอยู่ในดินอาจก่อให้เกิดภาวะเป็นพิษ มีผลให้สมบัติทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลง เป็นกรดเพิ่มมากขึ้น คุณภาพของดินเสื่อมลง และอาจทำให้ผลผลิตข้าวลดลงด้วย การทดลองนี้จึงได้เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบจากอิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ตั้งแต่อัตราต่ำถึงอัตราสูง ที่ใส่ต่อเนื่องระยะยาวทั้งนาปรังและนาปี ที่มีต่อสมบัติทางเคมีบางประการของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลอง แบ่งเป็น 2 การทดลองคือ

การทดลองที่ 1 (NPK) เริ่มตั้งแต่นาปรัง ปี พ.ศ. 2511 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์

การทดลองที่ 2 (NP) เริ่มตั้งแต่นาปี พ.ศ. 2511 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตร่วมกับปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เป็นระยะเวลา 7 ปี ถึงนาปี พ.ศ. 2518 หลังจากนั้นใส่เฉพาะปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตร่วมกับปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเท่านั้น ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์

วางแผนการทดลองแบบ Split plot design มี 4 ซ้ำ โดยพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง 3 พันธุ์เป็น main plot และ อัตราของปุ๋ยไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น sub plot รวม 7 อัตรา ในข้อ 3

1. ขนาดของแปลงย่อย 3 x 5 ม. มีคันดินกว้างและสูง 25 ซม. ล้อมรอบแปลง

2. ใช้กล้าข้าวพันธุ์ C_4-63 (พ.ศ. 2511-2513) เหลืองทอง (พ.ศ. 2511-2513) กข 2 (พ.ศ. 2511-2513) ที 442-36 (พ.ศ. 2514-2515) กข 1 (พ.ศ. 2515-2519) กข 3 (พ.ศ. 2515-2519) กข 5 (พ.ศ. 2515-2519) กข 9 (พ.ศ. 2515-2519) กข 11 (พ.ศ. 2528-2532) กข 7 (พ.ศ. 2528-2532) กข 21 (พ.ศ. 2524-2528) กข 23 (พ.ศ. 2524-2528) กข 25 (พ.ศ. 2524-2528) สุพรรณบุรี 90 (พ.ศ. 2534-2538) สุพรรณบุรี 1 (พ.ศ. 2534-2538) สุพรรณบุรี 60 (พ.ศ. 2532-2534) คลองหลวง 1 (พ.ศ. 2534-2538) หอมสุพรรณ (พ.ศ. 2534-2538) สุพรรณบุรี 2 (พ.ศ. 2534-2538) อู่ทอง (พ.ศ. 2534-2538) เหลืองทอง (พ.ศ. 2534-2538) ดอนเจดีย์ (พ.ศ. 2534-2538) รวม 22 พันธุ์ ซึ่งเปลี่ยนตรงตามคำนิยมของเกษตรกรเป็นช่วง ๆ ปักดำระยะ 25 x 25 ซม. โดยใช้กล้าที่มีอายุ 20-25 วัน ซ่อมต้นกล้าที่เสียหาย 15 วัน หลังปักดำ

3. การใส่ปุ๋ย กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย กรรมวิธีที่ 2-7 ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (45% P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O) รองพื้นก่อนปักดำข้าว 1 วัน ส่วนกรรมวิธีที่ 3 ถึง 7 ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (20% N) อัตรา 3 6 9 12 และ 18 กก.N/ไร่ ตามลำดับ แต่ละอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งครึ่งใส่ 2 ครั้ง โดยครึ่งแรกใส่รองพื้นระยะก่อนปักดำ 1 วัน พร้อมกับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ครึ่งที่ 2 ใส่ระยะข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงแต่ละพันธุ์

ให้กำเนิดช่อดอก หรือประมาณ 30 วันก่อนข้าวแต่ละพันธุ์ออกดอก สำหรับการทดลองที่ 2 (NP) หลังจากปี พ.ศ. 2518 งดใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K_2O) จนกระทั่งปัจจุบัน

4. เมื่อข้าวแต่ละพันธุ์ถึงกำหนดเก็บเกี่ยวให้เก็บเกี่ยวข้าวในพื้นที่ 2 x 4 ม. บันทึกจำนวนกอข้าวที่เก็บเกี่ยวจริงเพื่อปรับผลผลิตตามพื้นที่

5. บันทึกน้ำหนักเมล็ดดี ที่ความชื้นของเมล็ด 14%

6. การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ดิน

6.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2511 ก่อนทำการทดลอง เก็บตัวอย่างดินรวม (composite sample) ที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. จำนวน 20 จุด กระจายทั่วบริเวณที่ใช้ทำแปลงทดลอง นำไปผึ่งไว้ในร่มจนแห้ง บดคลุก และแบ่งบรรจุถุงประมาณ 1 กก. ทำการวิเคราะห์ โดยนายวิศิษฐ์ โชลิตกุล กองวิทยาการ กรมการข้าว

ดินบริเวณทำการทดลองเป็นดินนากลุ่มตะกอนน้ำจืด (fresh water alluvial) ชุดพิมาย (very fine clayey, mixed, Vertic Tropaquepts) เนื้อดิน (texture) เป็นดินเหนียว

ครั้งที่ 2 หลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี พ.ศ. 2515 เก็บตัวอย่างดินรวมของแต่ละ sub plot ของทุก main plot และทุกซ้ำรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง จำนวน 7 ตัวอย่าง จากการทดลองที่ 1 (ที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. ในแนวทแยงมุมของแต่ละแปลงย่อย แปลงย่อยละ 4 จุด เก็บ 12 แปลงย่อย (4 ซ้ำ ๆ ละ 3 พันธุ์) นำไปรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง ผึ่งไว้ในร่มจนแห้ง บด และแบ่งบรรจุถุงประมาณ 1 กก. รวม 7 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์โดย นางสาวมะลิวัลย์ กาญจนนิรัติศัยกองเกษตรเคมี

ครั้งที่ 3 และ 4 ในปี พ.ศ. 2519 และ 2524 หลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ทำการวิเคราะห์โดยนางประพิศ แสงทอง กองปฐพีวิทยา

ครั้งที่ 5 หลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ปี พ.ศ. 2542 ทำการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินส่วนกลาง กองปฐพีวิทยา เก็บตัวอย่างการทดลอง 28 ตัวอย่าง รวม 56 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินใช้วิธีการเดียวกับครั้งที่ 2 ทำการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินส่วนกลาง กองปฐพีวิทยา นำค่าวิเคราะห์ดิน ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Tables 2 and 5)

6.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ใช้ Potentiometric method โดยใช้ combined glass calomel electrode วัด pH อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter, OM) ใช้วิธี rapid dichromate oxidation (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ใช้วิธี Bray II (0.03 N NH_4F+0.1 N HCl แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธี Molybdinum Blue ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ สกัดดินด้วย ammonium acetate pH 7 แล้ววัดปริมาณธาตุด้วย flame spectrophotometer กำมะถันที่สกัดได้ สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Morgan (10% NaOAc + 3% HOAc) แล้ววิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน โดยการตกตะกอนด้วย $BaCl_2$ รายละเอียดการวิเคราะห์ตามหนังสือการวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี (จงรักษ์, 2541) โดยเริ่มการทดลองตั้งแต่นาปรัง ปี พ.ศ. 2511 ต่อเนื่องถึงนาปี

ปี พ.ศ. 2545 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี อ. เมือง จ. สุพรรณบุรี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องระยะยาวต่อคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดิน

ปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524

1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินลดลงค่อนข้างชัดเจน เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (กรรมวิธี 0-6-6) ในปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524 วัดค่า pH ของดินได้ 5.8 5.5 และ 5.2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงสุด (กรรมวิธี 18-6-6) ในปีเดียวกัน ปรากฏว่า ค่า pH ลดลง เป็น 5.3 4.9 และ 5.1 ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ดี ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ ไม่มีผลกระทบที่รุนแรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว เพราะในสภาพที่เป็นจริงดินดังกล่าวที่อยู่ในสภาพนาน้ำขัง ค่า pH ของดินจะเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

1.2 อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยตรง ทั้งนี้เพราะอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำรองธาตุอาหารพืชที่สำคัญ (Stevenson,1982) หรือกล่าวสรุปได้ว่าอินทรียวัตถุมีอิทธิพลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช จากผลการวิเคราะห์ดินปริมาณอินทรียวัตถุในดินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (กรรมวิธี 0-6-6) ในปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524 มีค่า 1.60 2.3 และ 2.0% ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงสุด (กรรมวิธี 18-6-6) ในปีเดียวกันพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ 2.0 2.19 และ 2.0% ตามลำดับ (Table 3)

ในปี พ.ศ. 2542 พบว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องกันทั้งในนาปรังและนาปี (การทดลองที่ 1 และ 2 ปลูก 65 และ 64 ฤดูตามลำดับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511-2542) นั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุ ในการทดลองที่ 1 (NPK) ส่วนการทดลองที่ 2 ถึงแม้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน แต่ก็มีแนวโน้มแสดงว่ามี

Table 1. Soil properties at Suphanburi Rice Research Centre in 1968

Soil properties	Phimai soil
pH 5.2	
OM % 2.79	
Available P (Bray II)	
P_2O_5 (ppm)	6
P (ppm)	3
Extractable K (NH_4OAc)	
K_2O (ppm)	90
K (ppm)	75
Exchangeable cation (me/100 g)	
Ca^{++}	15.78
Mg^{++}	12.70
K^+	0.46
Na^+	0.96
CEC (me/100 g)	21.98
Base saturation (%)	113.73

* Source : Saisoong *et al.*, (1969)

Table 2. Effect of soil properties to pH classified by year

Rate	pH		
$N-P_2O_5-K_2O$ (kg/rai)	1972	1976	1981
0-0-0	5.7	5.4	5.1
0-6-6	5.8	5.5	5.2
3-6-6	5.8	5.4	5.2
6-6-6	5.7	5.2	5.2
9-6-6	5.5	5.3	5.2
12-6-6	5.6	5.2	5.2
18-6-6	5.3	4.9	5.1

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมาจากสาเหตุประการแรกที่ว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวมีมวลชีวภาพเพิ่มมากขึ้นทั้งส่วนต้นและส่วนราก และวัชพืชก็มากขึ้นด้วย (De Datta, 1981) ดังนั้นจึงมีเศษซากพืช (organic residue) ในดินมากขึ้น อีกประการหนึ่งสภาพดินนาซึ่งมีช่วงเวลาเปียกและแห้งอยู่เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการปลูกข้าวปีละ 2 ครั้ง จะทำให้เกิดการชะลอการสลายตัวของเศษเหลือของพืช จึงเหลือเศษพืชสะสมต่อเนื่องอยู่ทุกฤดู และการที่ทั้ง 2 การทดลองมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มขึ้นและแตกต่างกัน (การทดลองที่ 1) และไม่แตกต่างกัน (การทดลองที่ 2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินชุดพิมาย มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง มีการให้น้ำชลประทาน ซึ่งมีธาตุอาหารพืชในน้ำอยู่ด้วย มีผลให้มีวัชพืชมากเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยฟอสฟอรัสให้อย่างเพียงพอ ทำให้จุลินทรีย์สามารถตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น วัชพืชอาจมีโอกาสได้รับไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ ทำให้สามารถรักษาระดับไนโตรเจนและคาร์บอนในดิน (Tables 8 and 9)

1.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยค่อนข้างต่ำ (กรรมวิธี 0-0-0, Table 1) วิเคราะห์ได้ในปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524 มีค่า 1 1 และ 2 ppm ตามลำดับ เมื่อได้รับปุ๋ยฟอสเฟต (6 กก.P_2O_5/ไร่) ติดต่อกัน ทำให้ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นค่อนข้างชัดเจน ค่าเฉลี่ยทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเท่ากับ 4 4 และ 9 ในปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524 ตามลำดับ (Table 4)

ในปี พ.ศ. 2542 ทั้ง 2 การทดลอง เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในการทดลองที่ 1 (0-6-6) และในการทดลองที่ 2 (0-6-0) ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (17 และ 14 ppm ตามลำดับ) เพิ่มขึ้น (Tables 8 and 9) แต่เมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราเพิ่มขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้กลับน้อยลง อาจเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มอัตราใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ข้าวเจริญเติบโตดีขึ้น ทำให้สามารถดูดดึงฟอสฟอรัสไปอยู่ในต้นพืชและผลผลิตได้มากขึ้นตามอัตราที่เพิ่มของปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวและตอซังออกไปจากแปลงทดลอง ทำให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสซึ่งใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นในอัตราๆเท่ากันทุกแปลงนั้นถูกนำออกไปจากดินเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของต้นข้าว จึงเหลือตกค้างอยู่ในดินแต่ละฤดูน้อยกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตราต่ำกว่าสามารถเห็นได้ชัดทั้ง 2 การทดลอง แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือตกค้างอยู่ในดินก็ยังมีมากกว่าในแปลงเปรียบเทียบ (0-0-0)

Table 3. Effect of soil chemical properties to organic matter

Rate	Organic Matter (%)		
$N-P_2O_5-K_2O$ (kg./rai)	1972	1976	1981
0-0-0	1.79	2.42	1.80
0-6-6	1.60	2.30	2.00
3-6-6	1.60	2.75	2.00
6-6-6	1.79	2.04	1.80
9-6-6	1.79	1.87	1.80
12-6-6	1.50	2.21	3.00
18-6-6	2.00	2.19	2.00

Table 4. Effect of soil chemical properties to available phosphorus (ppm)

Rate	Available phosphorus (ppm)		
$N-P_2O_5-K_2O$ (kg./rai)	1972	1976	1981
0-0-0	1	1	2
0-6-6	5	6	11
3-6-6	4	5	10
6-6-6	3	5	10
9-6-6	4	3	8
12-6-6	3	4	7
18-6-6	3	3	7
Average	4	4	9

1.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยค่อนข้างสูง (Table 1) (กรรมวิธี 0-0-0) วิเคราะห์ได้ในปี พ.ศ. 2515 2519 และ 2524 มีค่า 99 73 และ 100 ppm ตามลำดับ เมื่อได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูง (กรรมวิธี 18-6-6) ในปีเดียวกัน พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินลดลงวิเคราะห์ได้ 88 60 และ 69 ppm ตามลำดับ (Table 5) ปรากฏการณ์ดังกล่าวอธิบายได้ว่าเมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนมากขึ้น การเจริญเติบโตของต้นข้าวมีมากขึ้น ข้าวย่อมดูดดึงธาตุโพแทสเซียมจากดินขึ้นไปสะสมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ข้าวสามารถดูดดึงขึ้นไปใช้ได้ไม่จำกัด (luxury consumption) เนื่องจากดินที่ใช้ทำแปลงทดลองเป็นดินเหนียว มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมเพียงพอต่อความต้องการของข้าวทุกๆฤดูการปลูกที่ผ่านมา แต่จากค่าวิเคราะห์มีแนวโน้มแสดงว่าในระยะยาวนานไปค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินอาจถึงขั้นวิกฤตได้

ในปี พ.ศ. 2542 ในการทดลองที่ 1 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ จากแปลงเปรียบเทียบน้อยกว่าแปลงที่มีการใส่เฉพาะปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นปุ๋ยรองพื้น (0-6-6) (Table 8) แต่เมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราที่สูงขึ้น ปริมาณโพแทสเซียม ที่สกัดมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่แตกต่างกัน ส่วนการทดลองที่ 2 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้จากแปลงเปรียบเทียบ (0-0-0) กับแปลงที่เพิ่มอัตราใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มมีค่าลดลง ถึงแม้ว่าข้าวจะดูดดึงปริมาณโพแทสเซียมไปใช้ก็ตาม แต่ดินชุดพิมายมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้มีปริมาณสูง และจะถูกปลดปล่อยออกมาแทนที่เพื่อรักษาสมดุล (กรรณิกา, 2527) หรืออาจจะเป็นเพราะเมื่อเพิ่มอัตราใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ข้าวย่อมดูดดึงธาตุโพแทสเซียมจากดินขึ้นไปสะสมได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ไม่จำกัด เนื่องจากดินที่ใช้ทำแปลงทดลองเป็นดินเหนียว จึงมี

โพแทสเซียมเพียงพอกับความต้องการของข้าวทุก ๆ ฤดูการปลูก

1.5 ปริมาณกำมะถันในดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ซึ่งเป็นดินเหนียว (กรรมวิธี 0-0-0) ปี พ.ศ. 2519 และ 2524 มีค่า 119 และ 80 (me/100 g) ตามลำดับ เมื่อได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงขึ้น ปริมาณกำมะถันในดินเพิ่มขึ้นและในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูง (กรรมวิธี 18-6-6) เพิ่มเป็น 226 และ 120 (me/100 g) ในปี พ.ศ. 2519 และ 2524 ตามลำดับ (Table 6) กำมะถันจะถูกดูดซับไว้ด้วยอนุภาคของดินเหนียว และเหล็กออกไซด์ มีผลกระทบต่อต้นข้าวในระยะปักดำถึงระยะแตกกอ หลังจากนั้นจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก ภาวะเป็นพิษจากกำมะถันไม่มีโอกาสเกิดขึ้น แม้ว่าจะได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูง (18 กก. N/ไร่) การเพิ่มขึ้นของกำมะถันที่สกัดได้ในดิน ก็ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตในระยะแตกกอและในระยะข้าวสร้างผลผลิต แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียม ซัลเฟตติดต่อกัน 28 ครั้ง ในระยะเวลา 14 ปี กำมะถันจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตที่ตกค้างสะสมอยู่ในดินนาที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ pH ของดินลดลงจนเป็นอุปสรรคต่อการปลูกข้าว และไม่ทำให้ดินเสื่อม ดินเสีย ดินเลวลง แม้ว่าดินที่ใช้ทดลองจะมีซัลเฟตดั้งเดิมค่อนข้างสูง (Table 6) เพราะเป็นดินตะกอนน้ำจืด ชุดพิมายมีความเป็นกรด 5.2 ปริมาณกำมะถันที่เป็นประโยชน์กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (0-0-0) วิเคราะห์ปริมาณ (available sulphur) ได้ 39 ppm (Table 11) ซึ่งไม่แตกต่างกัน กับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย 0-6-6 3-6-6 และ 6-6-6 ซึ่งค่าวิเคราะห์ available sulphur เท่ากับ 39 42 และ 42 ppm ตามลำดับ

Table 5. Effect of soil chemical properties to exchangeable potassium classified by year in 1968 1972 1976 and 1981.

Rate	K_2O (ppm)		
N-P_2O_5-K_2O (kg./rai)	1972	1976	1981
0-0-0	99	73	100
0-6-6	106	81	91
3-6-6	101	72	80
6-6-6	91	72	81
9-6-6	96	60	73
12-6-6	89	60	76
18-6-6	88	60	69

Table 6. Effect of soil chemical properties to extractable sulphur (me/100g)

Rate	Extractable sulphur (me/100g)	
N-P_2O_5-K_2O (kg./rai)	1976	1981
0-0-0	119(100)	80(100)
0-6-6	154(129)	80(100)
3-6-6	165(139)	100(125)
6-6-6	178(150)	100(125)
9-6-6	162(136)	90(113)
12-6-6	201(169)	100(125)
18-6-6	226(190)	120(150)

Remarks : letter in bracket (s) is an index compared with non-fertilizer as a percentage

แสดงว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 3-6 กก.N/ไร่ ไม่ทำให้มีปริมาณ available sulphur เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน แต่ค่า available sulphur จะแตกต่างกันทางสถิติเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต

อัตรา 9-18 กก.N/ไร่ ซึ่งค่าวิเคราะห์ available sulphur เท่ากับ 50 50 และ 57 ppm ตามลำดับ (Table 7) จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตราตั้งแต่ 9-18 กก.N/ไร่ ทำให้ปริมาณ available sulphur เพิ่มขึ้นแตกต่างจากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0-6 กก. N/ไร่ แต่ต้นข้าวยังคงมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ แสดงให้เห็นว่าแม้จะมีการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงติดต่อกันยาวนานถึง 64 ฤดูปลูก available sulphur ที่สะสมในดินยังคงมีไม่มากพอที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวแต่อย่างใด

Table 7. Effect of of ammonium sulphate application on available sulphur after wet season 2002 (Experiment 1 NPK)

Rate (NP_2O_5K kg/rai)	Available (ppm)
0-0-0	39 b
0-6-6	39 b
3-6-6	42 b
6-6-6	42 b
9-6-6	50 a
12-6-6	50 a
18-6-6	57 a
Average (N)	46
CV = 10.70%	

Source : Chemical Soil Analysis, Soil Science Division, Department of Agriculture
Means fo;;owed by a common letter are not signifantly different at 5% level by DMRT.

ในปี พ.ศ. 2542 อิทธิพลของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ระยะยาวที่มีต่อ pH ของดิน (Table 8) จากการทดลองที่ 1 NPK และ (Table 9) จากการทดลองที่ 2 NP ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาว ฤดูที่ 65 และ 64 ส่งผลกระทบต่อ pH ของดิน ชี้ชัดว่า การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตให้กับข้าวต่อเนื่องกันนาน ๆ นั้น ทำให้ pH ลดลง กล่าวคือ เมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราที่สูงขึ้น ค่า pH จะยิ่งลดลง แปลงเปรียบเทียบของทั้ง 2 การทดลอง ซึ่ง pH = 5.03 และ 5.53 (Tables 8 and 9) เมื่อใส่ปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต เพิ่มขึ้นพืชย่อมเจริญเติบโตดีขึ้น ธาตุอาหารถูกดูดดึงออกไปจากดินมากขึ้น การเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปจากพื้นที่ จึงเป็นการนำเอาธาตุอาหารหลักออกไปจากระบบมากขึ้น ธาตุอาหารเหล่านี้หลายธาตุเป็นพวก basic cations จึงเป็นเหตุให้ pH ลดลง หรืออาจจะเป็นไปได้ว่าเมื่อใส่ปุ๋ยอัตราสูง NH_4^+N ถูกพืชดูดไปไม่หมด NH_4^+N ส่วนเกินจะถูก nitrifies เปลี่ยนเป็น NO_3 และปลดปล่อย H^+ ออกมา จึงทำให้ดินเป็นกรด (นิรนาม, 2523) ดังสมการ

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{Oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_2^- + H_2O + 4H^+ + \text{energy}$$

ค่าวิเคราะห์ของดินเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต จากการทดลองที่ 1 (NPK) กรรมวิธี 0-6-6 ซึ่งค่าของ pH 4.89 เปรียบเทียบกับกรรมวิธี 18-6-6 เป็นอัตราสูงสุด pH แตกต่างกัน และมีแนวโน้มว่าลดลง แต่การทดลองที่ 2 (NP) pH 5.44 (กรรมวิธี 0-6-0) และ 5.16 (กรรมวิธี 18-6-0) (Table 9) มีความแตกต่างกัน

Table 8. Soil chemical properties after wet season in 1999 (Experiment 1 NPK)

Rate	Soil chemical properties			
$N-P_2O_5-K_2O$ (kg/rai)	pH	OM(%)	P_2O_5 (ppm)	K_2O (ppm)
0-0-0	5.03 a	1.77 c	6.75 e	62.00 b
0-6-6	4.89 ab	1.83 bc	16.92 a	70.00 a
3-6-6	4.80 b	1.84 bc	14.83 b	64.92 ab
6-6-6	4.77 b	1.93 ab	13.25 bc	59.33 b
9-6-6	4.78 b	1.99 a	12.33 cd	58.92 b
12-6-6	4.75 b	2.01 a	11.08 d	60.67 b
18-6-6	4.74 b	1.96 ab	11.08 d	58.33 b
Average	4.82	1.90	12.32	62.02
CV %	3.4	8.6	16.6	14.2

Source : Central laboratory, Soil Science Division, Department of Agriculture

Table 9. Soil properties after wet season in 1999 (Experiment 2 NP)

Rate	Soil chemical properties			
$N-P_2O_5-K_2O$ (kg/rai)	pH	OM(%)	P_2O_5 (ppm)	K_2O (ppm)
0-0-0	5.53 a	1.97	5.00 d	62.25
0-6-0	5.44 ab	2.06	14.42 a	57.92
3-6-0	5.39 bc	2.07	13.75 ab	57.83
6-6-0	5.27 cd	2.14	11.83 bc	60.58
9-6-0	5.31 bc	2.10	10.58 c	55.75
12-6-0	5.34 bc	2.00	10.83 bc	58.58
18-6-0	5.16 d	2.17	9.67 c	57.00
Average	5.35	2.07	10.87	58.56
CV %	3.1	11.0	25.0	10.2

Source : Central laboratory, Soil Science Division, Department of Agriculture

Means in the same a column followed by a common letter are not significantiy different at 5% by DMRT.

อย่างไรก็ดีค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าว เพราะจากคำอธิบายผลการวิเคราะห์ดิน สำหรับดินนาที่ปลูกข้าวว่า ถ้าดินอยู่ในสภาพน้ำขัง pH ของดินจะอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.0 ไม่ว่าดินนั้นจะมีปฏิกิริยาเป็นกรด หรือปฏิกิริยาเป็นด่าง การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราเพิ่มขึ้นทำให้ค่าวิเคราะห์กำมะถัน ที่สกัดได้ในดินสูงขึ้น (Table 6) อย่างชัดเจนอาจจะเป็นสาเหตุให้ pH ของดินลดลงได้ ด้วยเหตุผลคือ กำมะถันที่สะสมในดินจะเปลี่ยนเป็นอนุมูลซัลเฟตเมื่อดินแห้ง เมื่อดินเริ่มขังน้ำจะแสดงฤทธิ์เป็นกรดอยู่ระยะหนึ่ง แต่เมื่อขังน้ำนานขึ้นดินจะขาดออกซิเจน ค่า pH จะสูงขึ้น และลดความเป็นพิษลง ต้นข้าวก็จะเจริญเติบโตเป็นปกติ จะเห็นว่าแม้กำมะถันที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณไม่สูงพอที่จะกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

2. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องระยะยาว มีผลกระทบต่อการตอบสนองของข้าว ผลการทดลองในช่วงหลังควรจะบ่งชี้ผลกระทบให้เห็นได้มากกว่าผลการทดลองในช่วงแรก ฉะนั้นจึงนำผลการทดลองตั้งแต่ฤดูนาปรัง พ.ศ. 2540 จนถึงฤดูนาปี พ.ศ. 2545 รวมเป็นเวลา 6 ปี หรือ 12 ฤดูปลูก โดยเลือกผลการวิเคราะห์ผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีระยะเวลาอยู่ในการทดลองนี้มากที่สุด เป็นตัวแทนของผลการทดลองทั้งหมดเพื่อพิจารณา แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า มีการตอบสนองของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต่อปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 3 6 9 12 และ 18 กก.N/ไร่ กล่าวคือผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ใส่เพิ่มขึ้นทุกฤดูการปลูก ในการทดลองที่ 1 (NPK) พบว่าการทดลองในนาปรังมีแนวโน้มไม่แตกต่างกับในฤดูนาปี และข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยสูงสุดที่อัตรา 18 กก./ไร่ ซึ่งได้ผลผลิตเฉลี่ย 777 กก./ไร่ ส่วนในการทดลองที่ 2 (NP) พบว่าการทดลองในฤดูนาปรังมีแนวโน้มแตกต่างกับฤดูนาปี กล่าวคือในฤดูนาปรังข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยสูงสุดที่อัตรา 18 กก.N/ไร่ แต่ในฤดูนาปีข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยสูงสุดที่อัตรา 12 กก.N/ไร่ โดยได้ผลผลิต 772 และ 700 กก./ไร่ ซึ่งสอดคล้องกับเยาวพา (2525) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการ และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีเหล่านั้น กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว และได้รวบรวมผลผลิตของข้าวนำค่าเฉลี่ยของผลผลิตของข้าว (/ไร่/ปี) โดยไม่คำนึงถึงพันธุ์ข้าว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511-2522 ยืนยันได้ว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 18 กก. N/ไร่ หรือเป็นปริมาณปุ๋ยสูงถึง 86 กก./ไร่ ต่อเนื่องกันมา 22 ฤดูปลูกนั้นมิได้ทำให้ผลผลิตของข้าวในช่วง 11 ปี ลดน้อยลง แต่จะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกับการเพิ่มของอินทรียวัตถุ ความเป็นกรดของดินที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ลัดดาวรรณ (2528) ก็พบว่าผลผลิตข้าวในดินที่ปรับ pH ตั้งแต่ 3 - 7 ก่อนปักดำข้าว 1 สัปดาห์ มิได้ทำให้ผลผลิตข้าวแตกต่างกัน ถ้าหากใส่ปุ๋ยอย่างพอเพียง ดังนั้นในปี พ.ศ. 2529 ประภา (2529) ได้ศึกษาผลกระทบระยะยาวของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราต่างๆ ต่อพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อาจเกิดจากการสะสมซัลเฟต พบว่า การใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตติดต่อกันนานถึง 31 และ 32 ฤดูปลูก ในดินตะกอนน้ำจืดนั้น ไม่มีผลทำให้กำมะถันที่

Table 10. Effect of long term application of ammonium sulphate on yield of Suphanburi 1 averaged (k/rai) from 1997-2002 in dry and wet seasons (Experiment 1 NPK) combined analysis of variance

Rate	Season,b (S)		Mean
N-P_2O_5-K_2O (kg./rai)	Dry season	Wet season	
0-6-6	541	541	541 f
3-6-6	589	600	594 e
6-6-6	651	652	651 d
9-6-6	729	692	710 c
12-6-6	762	729	746 b
18-6-6	805	750	777 a
Average	680	660	670
CV (a) = 10.2%	CV (b) = 8.7%		

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% by DMRT.

Table 11. Effect of long term application of ammonium sulphate on Suphanburi 1 on yield of Suphanburi 1 averaged (k/rai) from 1997-2002 in dry and wet seasons (Experiment 2 NP) combined analysis of variance

Rate	Season (S)		Mean
N-P_2O_5-K_2O (kg/rai)	Dry season	Wet season	
0-6-0	567 e	558 c	563
3-6-0	615 d	617 b	616
6-6-0	690 c	657 ab	673
9-6-0	735 bc	682 a	708
12-6-0	772 ab	700 a	736
18-6-0	772 a	699 a	736
Mean	692	652	672
CV (a) = 9.4%	CV (b) = 6.6%		

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% by DMRT.

สะสมในดินนั้น มีผลกระทบในทางลบต่อผลผลิตข้าวในดินนาภาคกลางของประเทศไทย อย่างไรก็ดีข้าวสุพรรณบุรี 1 มีการตอบสนองต่อปุ๋ยแอมโมเนียม ซัลเฟตในฤดูนาปรังและฤดูนาปีใกล้เคียงกันในการทดลองที่ 1 (NPK) แต่ในการทดลองที่ 2 (NP) ในฤดูนาปรังมีการตอบสนองสูงกว่าฤดูนาปี (Tables 10 and 11) และมีการตอบสนองเป็นสมการแบบ quadratic ดังนี้

● การทดลองที่ 1 (NPK) เฉลี่ยจากฤดูนาปรังและนาปี

$Y = 534.48 + 24.138 X - 0.583 X^2$

จากผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.995$**....(Figure 2a)

● การทดลองที่ 2 (NP) เฉลี่ยจากฤดูนาปรังและนาปี

ฤดูนาปรัง $Y = 557.05 + 27.176 X - 0.835 X^2$

จากผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.987$ *.....(Figure 2b)

(* = แตกต่างทางสถิติที่ P0.05)

ฤดูนาปี $Y = 560.28 + 19.90 X - 0.679 X^2$

จากผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.998$ **.....(Figure 2c)

(* และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P0.05 และ P0.01)

แสดงว่า เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นผลผลิตเพิ่มในอัตราที่คงที่ระยะหนึ่งแล้ว อัตราการเพิ่มจะค่อยๆลดลง เป็นผลให้การตอบสนองต่อปุ๋ยเป็นเส้นโค้ง

3. การประเมินหาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ผลผลิตนาปรัง 6 ฤดูการทดลอง (นาปรัง ปี พ.ศ. 2540-2545) และผลผลิตนาปี 6 ฤดูกาลทดลอง (ตั้งแต่นาปี พ.ศ. 2540-2545) ของการทดลองที่ 1 มาวิเคราะห์แบบ combine analysis of variance พบว่า การทดลองที่ 1 (NPK) ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและฤดูการทดลอง (ฤดูนาปรังและฤดูนาปี) กล่าวคือ ผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นทั้งในฤดูนาปรังและฤดูนาปี ไม่แตกต่างกัน (Table 10) แสดงว่าลักษณะการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในฤดูนาปรังและฤดูนาปี คล้ายคลึงกันค่อนข้างชัดเจน สามารถนำผลผลิตเฉลี่ยของฤดูนาปีและฤดูนาปรังมาศึกษา มาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าว กับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ (0 3 6 9 12 และ 18 กก.N /ไร่) ผลผลิตข้าวเฉลี่ยจากฤดูนาปรังและนาปี เท่ากับ 541 594 651 710 746 และ 777 กก.ต่อไร่ ตามลำดับ พบว่าผลผลิตตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจน ในรูปของสมการเส้นโค้ง (quadratic equation) ($Y= a+bX-cX^2$) ดังนี้

$Y = 534.48 + 24.138 X - 0.583 X^2$

จากผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.995$**

ค่า a เป็นผลผลิตข้าวเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน = 534.48 กก./ไร่

ค่า b เป็นสัมประสิทธิ์การตอบสนองต่ออัตราไนโตรเจนปุ๋ย

ค่า c เป็นสัมประสิทธิ์การตอบสนองต่ออัตราไนโตรเจนปุ๋ย

การประเมินหาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ โดยใช้อัตราเพิ่มของผลตอบแทน (Marginal Rate of Return, MRR) เป็นหลักตามรูปแบบวิธีวิเคราะห์ข้อมูลของ Fertilizer Programme (Anon, 1988) โดยใช้สูตรคำนวณหาอัตราปุ๋ย (X) ดังนี้

$$X = \frac{(MRR + 1) \times \text{ราคาปุ๋ย} - (\text{ราคาผลผลิต} \times b)}{2 \times \text{ราคาผลผลิต} \times c}$$

เมื่อ X = อัตราปุ๋ยที่เหมาะสม (กก.N/ไร่)

MRR = ผลตอบแทนสูงสุดในเชิงเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นจุดที่ตอบแทนส่วนเพิ่มเท่ากับต้นทุนค่าปุ๋ยที่เพิ่ม (MRR = 0)

ราคาปุ๋ย = 16.50 บาท/กก.N (คำนวณจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ราคา 3,300 บาท/ตัน)

ราคาผลผลิตข้าว = 4.5 บาท/กก.

b = 24.138 c = - 0.5833

ดังนั้น

$$X = \frac{(0+1) \times 16.50 - (4.50 \times 24.138)}{2 \times 4.50 \times (-0.5833)}$$

= 17.54 กก.N/ไร่

แสดงว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดในเชิงเศรษฐกิจต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินนาชุดพิมาย ทั้งในฤดูนาปรังและนาปี คือ 17.54 กก.N /ไร่

ในทำนองเดียวกัน การทดลองที่ 2 (NP) การตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยไนโตรเจนในฤดูนาปรังสูงกว่าในฤดูนาปี (Table 11) ดังนั้นจึงนำผลผลิตข้าวเฉลี่ยของฤดูนาปรัง 6 ฤดูปลูก และผลผลิตเฉลี่ยของฤดูนาปี 6 ฤดูปลูกมาคำนวณรูปแบบของ การตอบสนองของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต่อปุ๋ยไนโตรเจนในฤดูนาปรังและนาปี ผลปรากฏว่ารูปแบบการตอบสนองของผลผลิตต่ออัตราปุ๋ยเป็นสมการเส้นโค้งเช่นเดียวกันดังนี้

ฤดูนาปรัง

$Y_{ds} = 557.05 + 27.176 X - 0.835 X^2$ ------①

จากผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.987$ ** (Figure 2b)

ฤดูนาปี

$Y_{ws} = 560.28 + 19.90 X - 0.6799 X^2$ ------②

ผลการคำนวณค่า $R^2 = 0.998$** (Figure 2c)

นำมาประเมินหาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจ โดยวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ได้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดในเชิงเศรษฐกิจ ต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินนาชุดพิมาย ทั้งในฤดูนาปรังและนาปี

ฤดูนาปรัง = 14.08 กก. N/ไร่

ฤดูนาปี = 11.94 กก.N /ไร่

แสดงว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดในเชิงเศรษฐกิจ ต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินนาชุดพิมาย ทั้งในฤดูนาปรังและนาปี คือ 14.08 และ 11.94 กก.N /ไร่ตามลำดับ

ดังนั้นในการทดลองที่ 1 (NPK) ได้ค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง 17.54 กก.N/ไร่ ส่วนการทดลองที่ 2 (NP) ได้ค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ฤดูนาปรัง = 14.08 กก. N/ไร่ และฤดูนาปี เท่ากับ 11.94 กก.N /ไร่

สรุปผลการทดลอง

1. ผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องระยะยาวต่อสมบัติทางเคมีของดิน

1. ค่า pH ของดินลดลงเมื่อได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

2. ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูง (9-18 กก. N/ไร่) และมีแนวโน้มแสดงว่าอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกอัตรา

3. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

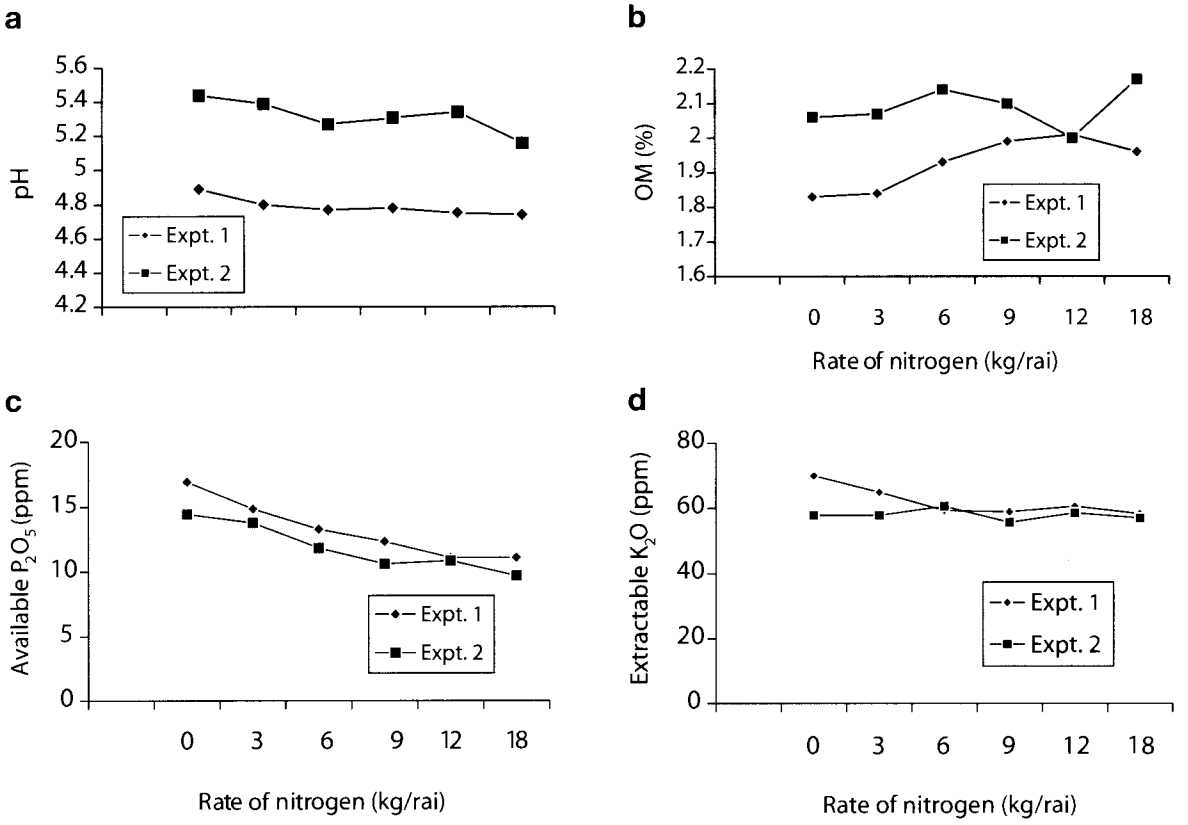

Figure 1. Effect of long term application of ammonium sulphate on pH (a), organic matter (b), available P_2O_5 (c) and extractable K_2O (d)

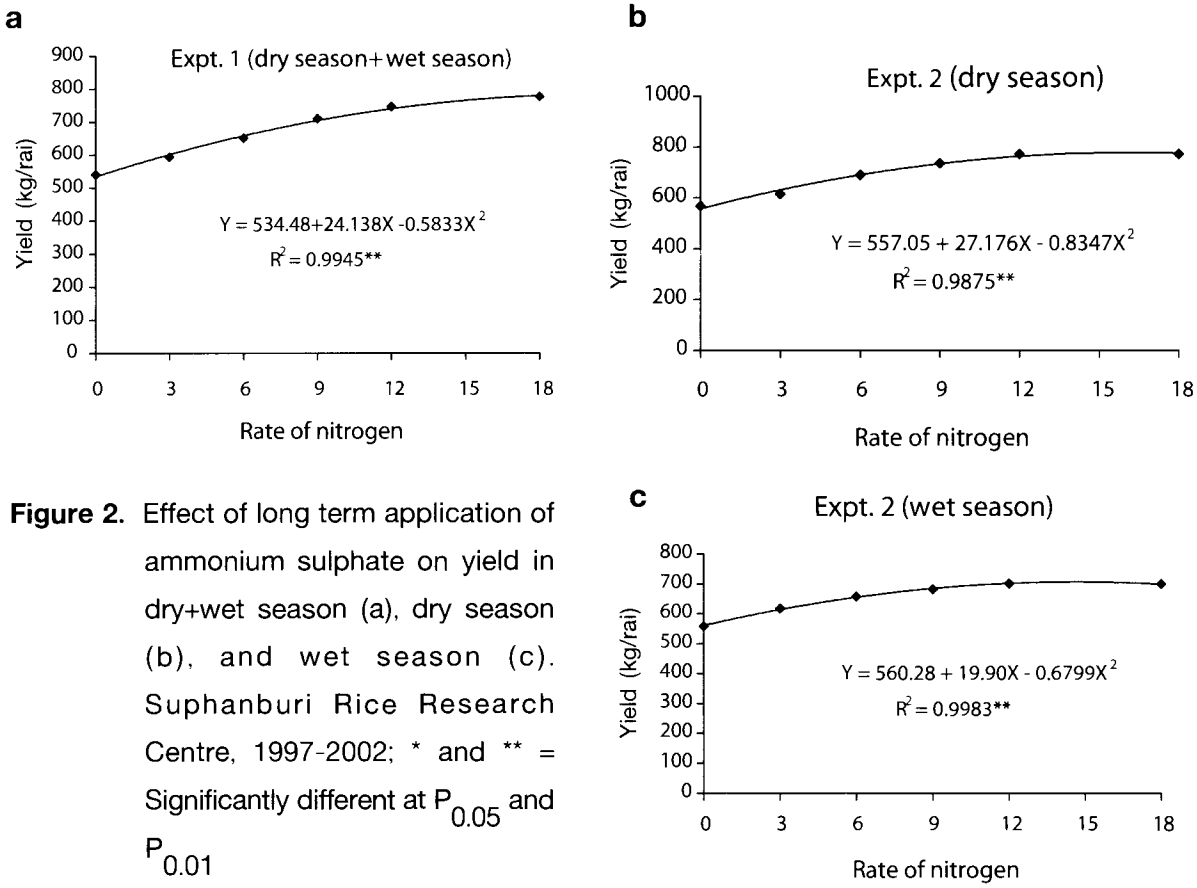

Figure 2. Effect of long term application of ammonium sulphate on yield in dry+wet season (a), dry season (b), and wet season (c). Suphanburi Rice Research Centre, 1997-2002; * and ** = Significantly different at $P_{0.05}$ and $P_{0.01}$

เพิ่มขึ้นค่อนข้างชัดเจน เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตติดต่อกันเป็นเวลานาน

4. ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ลดลงเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตราสูงขึ้น

5. ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

2. ผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อเนื่องระยะยาวต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง

1. ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 18-12 กก. N /ไร่ ทำให้ได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าอัตรา 9 6 และ 3 กก. N /ไร่

2. ผลตอบสนองของข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงในสภาวะแวดล้อมของฤดูนาปี ใกล้เคียงกับฤดูนาปรัง

3. การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ย NPK ใกล้เคียงกับการตอบสนองต่อปุ๋ย NP แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยโพแทสเซียมไม่จำเป็นต้องใช้ในนาดินเหนียว

3. การประเมินหาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

การทดลองที่ 1 (NPK) ได้ค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้แก่ 17.54 กก.N/ไร่ ส่วนการทดลองที่ 2 (NP) ได้ค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ฤดูนาปรัง = 14.08 กก. N/ไร่ และฤดูนาปี = 11.94 กก.N/ไร่ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดในเชิงเศรษฐกิจ ต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในนาดินเหนียวชุดพิมาย ทั้งฤดูนาปรังและฤดูนาปี คือ 18.0 กก. N/ไร่ ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารหลักครบ (NPK) หรือ 14 กก.N/ไร่ ในฤดูนาปรัง และ 12 กก.N/ไร่ ในกรณีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ใส่เฉพาะ NP)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยทุกท่าน จากศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี สถาบันวิจัยข้าว ที่มีส่วนทำให้การวิจัยดำเนินการไปตามขั้นตอนต่างๆ ด้วยดี จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินส่วนกลาง กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ในการวิเคราะห์ดิน ตลอดจนทุกท่านที่ช่วยแก้ไขปรับปรุงจนเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรรณิกา นากลาง, 2527. การศึกษาผลตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากปุ๋ยนาสูตรต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวและปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่ตกค้างอยู่ในดินนา 6 ชุดดิน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 235 หน้า.

นิรนาม, 2523. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น โดยคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 231 หน้า.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2541. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ. 213 หน้า.

ประภา กายี. 2529. อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาวที่มีต่อเคมีของไนโตรเจน และกำมะถันในดินนาภาคกลางในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์

ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 251 หน้า.

เยาวพา หัสธน. 2525. อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาวในดินนาภาคกลางที่มีต่อสมบัติทางเคมีบางประการของดิน, การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 127 หน้า.

ลัดดาวรรณ เพียรเพิ่มภัทร. 2528. อิทธิพลของความเป็นกรด อลูมินั่ม เหล็กและแมงกานีสที่มีต่อความเข้มข้นของสารพิษบางประการในดินและต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีบางประการของข้าว กข 23 ในดินเปรี้ยวจัด วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 153 หน้า.

วิทยา ศรีทานันท์ และประยูร สวัสดี. 2515 การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต ยูเรีย และแอมโมเนียมฟอสเฟต (16-20-0) โดยใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นปุ๋ยรองพื้นสำหรับข้าวนาดำ หน้า 29-36. *ใน* : รายงานผลการทดลองปุ๋ยข้าว สาขาทดลองปุ๋ยข้าว กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร

Anon. 1973. Research on Rice Project, Working Paper No. 1, Food and Agriculture Organization of The United Nation (FAO), Bangkok, Thailand. 132 p.

Anon. 1974. Annual report for 1973. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines. 266 p.

Anon. 1975 Annual report for 1974. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines. 384 p.

Anon. 1988. Marginal Rate of Return. An Economic Training Manual. CIMMYT, Lisboa, Mexico. 79 p.

Anon. 1980. Standard Method of Analysis for Soil Plant Tissue, Water and Fertilizer, Council for Agriculture and Resources Research, Farm Resources and Systems Research Division, Los Banos, Laguna, Philippines. 194 p.

Bray, R.H. and D.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.

De Datta, S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley and Sons, Inc., Singapore. 618 p.

De Datta, S.K.; C.P. Magnaye. 1969. A survey of the form and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. *Soil Fert.* 32(2) : 103-109.

De Datta, S.K., F.A. Saladaga, W.N. Obcemea and T. Yoshida. 1974. Increasing efficiency of fertilizer nitrogen in flooded tropical rice, Pages. 265-288. *In : The Fertilizer Association of India.* Proceedings of the FAI-FAO Seminar on Optimizing Agricultural Production under Limited Availability of Fertilizers, New Delhi, New Delhi.

Gasser, J.K.R. 1964 Urea as a fertilizer. *Soil Fert.* 27:175-180.

Lakhdive, B.A. and R. Prasad. 1970. Yield of a tall and dwarf indica rice as affected by fertilizer nitrogen with and without nitrification inhibitors. *J. Agric. Sci.* 75:375-379.

Lakhdive, B.A. and R. Prasad. 1971. Nitrogen uptake by rice as affected by various nitrogen fertilizer and nitrogen fixation inhibitor treatments. *Agrochemic* 15 : 377-383.

Modgal, S.C., V. Singh and R.C. Gautam. 1974. Effect of time on nitrogen application on the performance of high yielding rice varieties. *Ind. J. Agron.* 19: 237-242.

Nishihara, T. and Y. Tsuneyoshi. 1964. On the availability of urea mixed with nitrification inhibitors to the direct seeding paddy rice plants. (in Japanese with English summary). *Bull. Fac. Agr., Kagoshima Uni.* 15 : 91-99.

Nishihara, T. and Y. Tsune Yoshi. 1968. The effect of some nitrification inhibitors on the available of basic dressing nitrogen to direct sowing rice plants on dry paddy field (in Japanese with English summary). *Bull Fac. Agr. Kagoshima Un.* 18 : 133-141.

Patnaik, S. and M.V. Rao. 1979. Sources of nitrogen for rice production. Pages 25-44. *In:* Nitrogen and Rice. IRRI Los Banos, Laguna, Philippines.

Patrick, W.H., Jr. and I.C. Mahapatra. 1968 Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in water logged soils. *Adv. Agron.* 20: 323-359.

Prasad, R. and S.K. De Datta, 1979. Increasing fertilizer nitrogen effiency in wetland rice, Pages 465-484. *In :* Nitrogen and Rice, IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines.

Prasad, R., G.B. Rajale and B.A. Lakhdive. 1970. Effect of time and method of application of urea and its treatment with nitrification inhibitors on the yield and nitrogen uptake by irrigated upland rice. Ind. *J. Agr. Sci.* 40 : 1118-1127.

Rajale, G.B. and P. Prasad. 1974. Relative efficiency of urea nitrification inhibitor treated urea and slow-release nitrogen fertilizers for rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agr. Sci.* 83: 303-307.

Saisoong, C., S. Glawiggram, S. Suthani and S. Suwanawong. 1969. The response of new less phot-sensitive rice varieties to differrent levels of nitrogen fertilizer application during the dry and wet seasons. Pages 45-58. *In:* Symposium on Optimization of Fertilizer Effect in Rice Cultivation, Proceedings of a Symposium on Tropical Agriculture Research, September 8-10 1969, Tokyo, Japan.

Singh. J.N. and N. Murayama. 1963. Analytical studies on productive efficiency of nitrogen in rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 9 : 25-35.

Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York. 43 p.

Turner, F.T. 1977. Terrazole as a nitrification inbibitor. *Int. Rice Res.* Newl. 2(1) : 11.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic metter and a proposed modification of the chronic acid tritation method. *Soil Sci.* 37 : 29-38.