บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

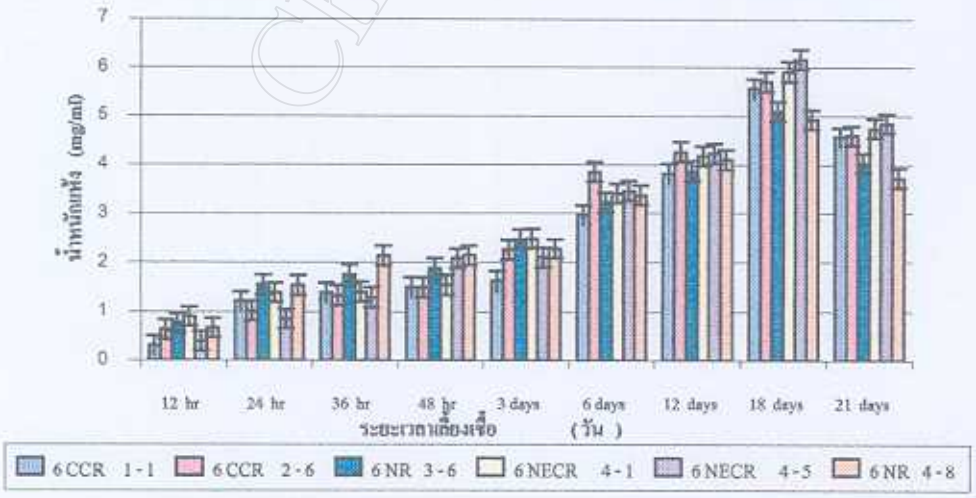
1. การคัดเลือกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

จากการคัดเลือกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีคุณสมบัติตรึงไนโตรเจนได้สูง และเจริญเติบโตเร็ว จากงานวิจัยของอภิชาติ (2544) พบว่า มีอยู่ 6 ตัวอย่าง ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ 6CCR1-1, 6CCR2-6, 6NR3-6, 6NECR4-1, 6NECR4-5 และ 6NR4-8 ในการทดลองนี้ จึงได้นำสาหร่ายทั้ง 6 ตัวอย่าง มาศึกษาหาองค์ประกอบต่างๆ ได้ผลดังนี้ คือ

1.1 มวลชีวภาพ (biomass)

จากการทดลองแสดงผลในรูปที่ 4 คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง มีมวลชีวภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติทุกช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้เลี้ยง เมื่อเลี้ยงสาหร่ายไว้นาน 18 วัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง มีการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยให้น้ำหนักแห้งมากที่สุด หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง ซึ่งเป็นระยะ declining relative growth rate แล้วเริ่มเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) ตามลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อที่เพาะเลี้ยงในปริมาตรจำกัด (ศิริเพ็ญ, 2537) ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NECR4-5 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 6.17 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NR4-8 มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด คือ 4.93 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

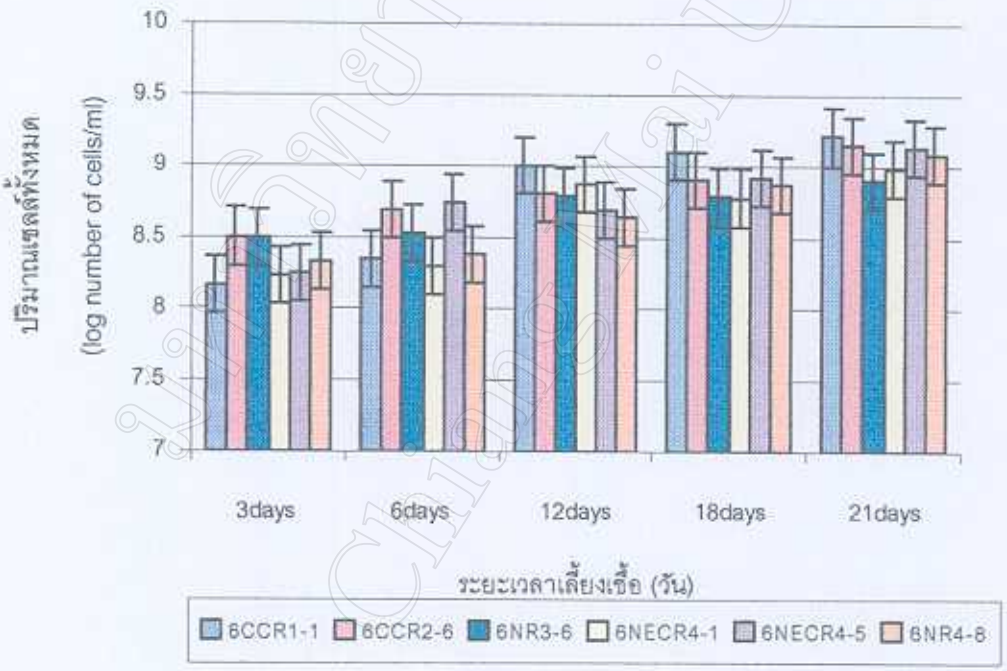
รูปที่ 4 มวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง



1.2 ปริมาณเซลล์ (Total cells)

จากรูปที่ 5 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มีปริมาณเซลล์ 10^9 เซลล์/มิลลิลิตร ตั้งแต่ระยะ 12 วันซึ่งมากที่สุด แตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 เป็นสาหร่ายที่มีการเจริญเติบโตเร็ว สามารถเพิ่มปริมาณเซลล์ได้มากที่สุด ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอีก 5 ตัวอย่าง พบว่าจะมีปริมาณเซลล์ 10^9 เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อครบ 21 วัน โดยที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NECR4-1 และ 6NR3-6 มีปริมาณเซลล์น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้นี้ เมื่อแยกเป็น vegetative cell, heterocyst cell และ akinete cell พบว่า เป็นไปในทางเดียวกันนั่นคือ สาหร่ายสีเขียวแคมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มีปริมาณเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่างอื่นๆ

รูปที่ 5 ปริมาณเซลล์ทั้งหมดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง

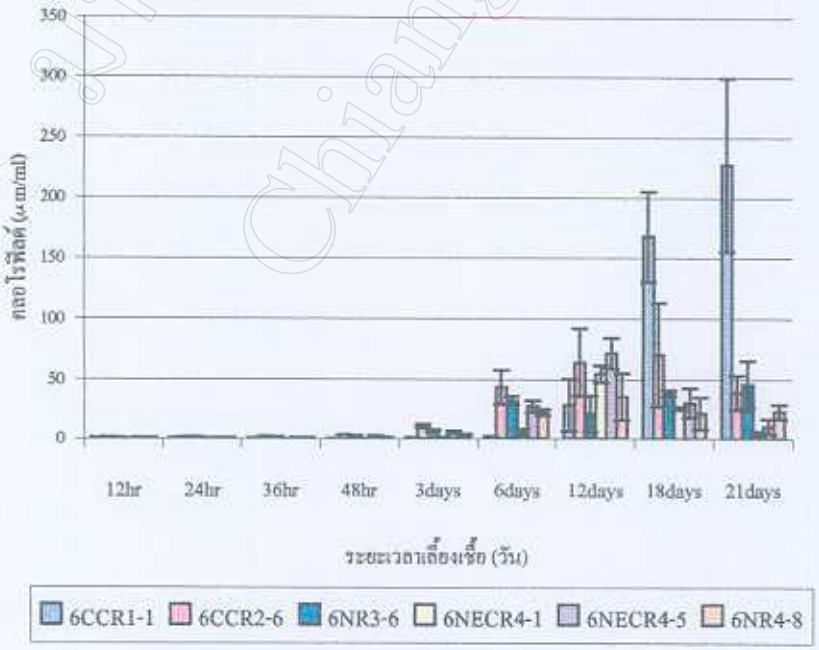


1.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 6 ตัวอย่าง มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งและปริมาณเซลล์ แสดงในรูปที่ 6 ที่เวลาครบ 18 และ 21 วัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 167.70 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และ 227.66 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ($P \leq 0.01$) ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอีก 5 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสง หากมีปริมาณคลอโรฟิลล์มาก สาหร่ายสามารถสร้างอาหารและสารประกอบอื่นซึ่งจำเป็นต่อขบวนการเจริญเติบโตได้มาก (ดนัย, 2539) ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตเร็ว และเพิ่มปริมาณเซลล์ได้มาก และปริมาณของคลอโรฟิลล์ในเซลล์ทำให้สาหร่ายมีสีแตกต่างกันไป (ศิริเพ็ญ, 2537) โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มีสีเขียวเข้มมากที่สุด ก็เพราะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ส่วนตัวอย่างอื่น ๆ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR2-6 มีสีเขียว-ฟ้า, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NR3-6 มีสีเขียว-เหลือง, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NECR4-1 มีสีเขียว-ฟ้าอ่อน, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NECR4-5 มีสีม่วง-ชมพู และ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NR4-8 มีสีฟ้าอ่อน จึงมีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยกว่าแตกต่างกันไปนั่นเอง

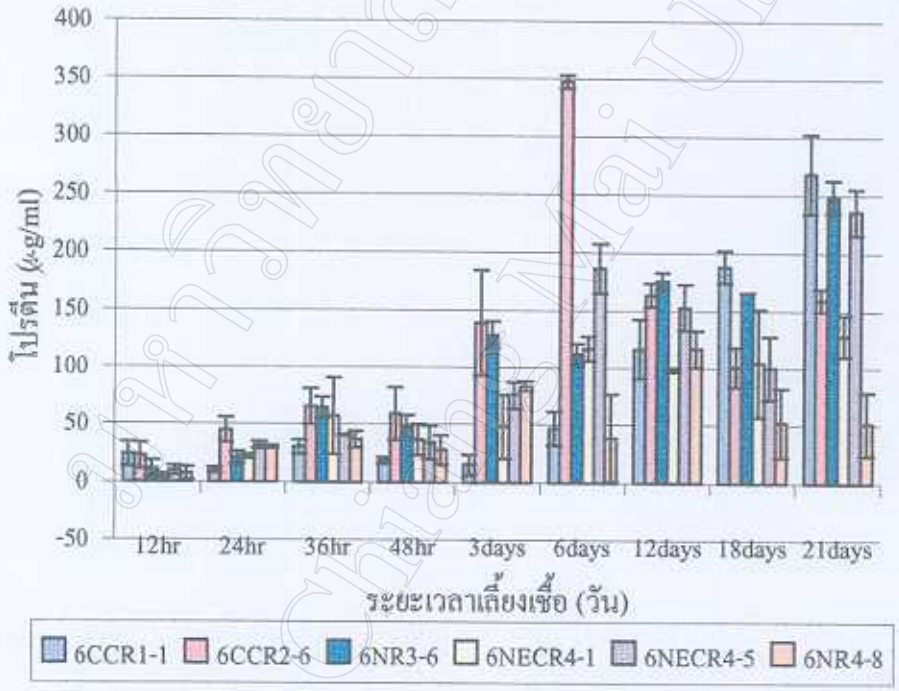
รูปที่ 6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง



1.4 ปริมาณโปรตีน (Protein)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตแสดงในรูปที่ 7 โดยที่เวลาครบ 18 วัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ตัวอย่าง 6CCR1-1 มีปริมาณโปรตีนมากกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 188.22 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมากที่สุด รองลงมาคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NR3-6 มีปริมาณโปรตีน 166.34 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร น้อยที่สุดคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง6NR4-8 มี 52.20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่ทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 4 ตัวอย่างที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

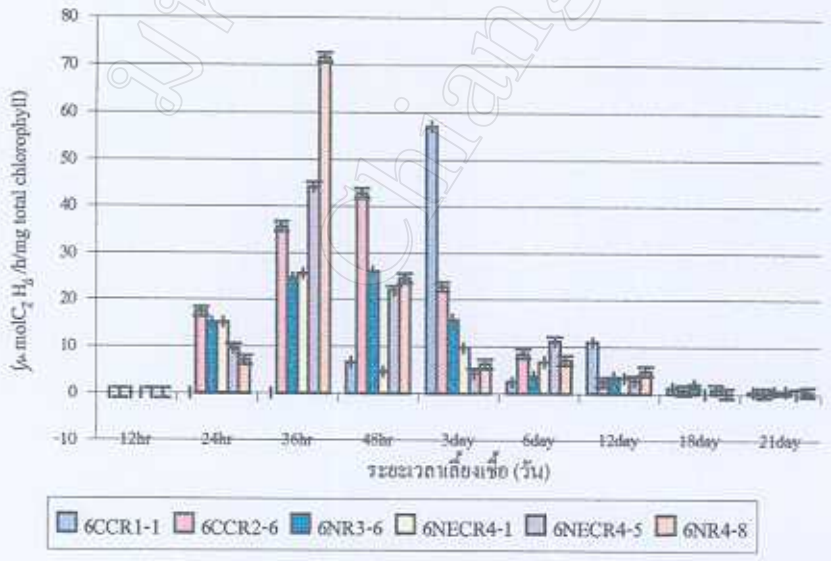
รูปที่ 7 ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง



1.5 ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน

สำหรับการตรึงไนโตรเจนนั้น ใช้วิธีวัดปริมาณเอทธิลีนที่เกิดขึ้น ถ้ามีปริมาณเอทธีลีนมาก แสดงว่าเชื้อสามารถตรึงไนโตรเจนได้มาก ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 8 พบว่าที่ระยะเวลาครบ 12 ชั่วโมง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง ยังไม่มีการตรึงไนโตรเจน โดยจะเริ่มวัดการตรึงไนโตรเจนได้หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง เพราะในระยะแรกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินยังมีปริมาณน้อยและต้องอาศัยเวลาในการปรับตัวในอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่จึงยังไม่เกิดการตรึงไนโตรเจน หรืออาจจะเกิดน้อยจนวัดค่าไม่ได้ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 จะเริ่มวัดการตรึงไนโตรเจนเมื่อครบ 48 ชั่วโมงเป็นต้นไป และที่เวลาครบ 12 วัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มีปริมาณเอทธิลีนมากที่สุด คือ 11.0 µmol C_2H_4/h/mg total chlorophyll ซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่าทุก ๆ ตัวอย่าง รองลงมาคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6NR3-6 และ 6NR4-8 (3.61 µmol C_2H_4/h/mg total chlorophyll และ 4.89 µmol C_2H_4/h/mg total chlorophyll ตามลำดับ) ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่างที่เหลือมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนน้อยกว่านี้ และความสามารถในการตรึงไนโตรเจนโดยเฉลี่ยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลงเมื่อเลี้ยงสาหร่ายไว้นานกว่า 12 วัน

รูปที่ 8 ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง



จากค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 6 ตัวอย่าง แม้ว่าจะไม่แตกต่างกันทางสถิติมากนัก แต่ก็พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว และมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่ง คือ เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่มีเมือกหุ้มเซลล์มากนัก ทำให้การเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพทำได้สะดวก รวดเร็ว ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 5 ตัวอย่างที่เหลือ เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีเมือกหุ้มเซลล์มาก ในการนำไปใช้ประโยชน์โดยการกรองเซลล์สาหร่ายทำได้ยากและใช้เวลานาน ในการทดลองนี้ จึงได้ใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 ซึ่งเป็นสาหร่ายที่อยู่ในสกุล *Nostoc* (อภิชาติ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

2. ผลการวิเคราะห์การตรึงไนโตรเจนและการดูดใช้ ^{15}N จากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

2.1 การตรึงไนโตรเจนจากอากาศของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ในเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 2) มีดังนี้ คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ BG_{11} ธรรมดา มีไนโตรเจน 7.27 เปอร์เซ็นต์ และมี % ^{15}N atom excess 0.023 เปอร์เซ็นต์

สำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ BG_{11} ที่เติม ($^{15}NH_4)_2SO_4$ (10% atom) มีไนโตรเจน 8.44 เปอร์เซ็นต์ และมี % ^{15}N atom excess 0.68781 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ BG_{11} ธรรมดา มี ^{15}N อยู่ในเซลล์ด้วย อาจเนื่องมาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ซึ่งมี ^{15}N ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ตามธรรมชาตินั่นเอง (natural abundance) ซึ่งในจำนวน 100 อะตอมของธาตุไนโตรเจนที่ปรากฏอยู่ในสารหนึ่ง ๆ ตามธรรมชาติ จะเป็น ^{14}N โดยเฉลี่ยประมาณ 99.634 อะตอม และเป็น ^{15}N ประมาณ 0.366 อะตอม (อำนาจ, 2531)

สำหรับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในสาหร่ายที่ได้จากไนโตรเจนที่ตรึงได้จากอากาศ (%Ndfa of BGA) มีค่าเท่ากับ 96.66% ซึ่งหาได้จากสูตร

$$(\%Ndfa\ of\ BGA) = \frac{(1 - \%\ ^{15}N\ atom\ excess\ ของสาหร่ายที่ตรึงไนโตรเจน\ ) \times 100}{\%\ ^{15}N\ atom\ excess\ ของสาหร่ายที่ไม่ตรึงไนโตรเจน}$$

แสดงว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR 1-1 ที่ใช้ในการทดลอง มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนได้สูง เนื่องจากในเซลล์มีไนโตรเจนที่ตรึงได้จากอากาศ 96.66 % นอกจากนั้นอาจเป็นไนโตรเจนที่สาหร่ายมีอยู่แล้วในเซลล์เริ่มแรก

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน, การสะสมไนโตรเจน และ %^{15}N atom excess ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	ไนโตรเจนในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน		
	%	กรัม/กระถาง	%^{15}N at. ex.
เลี้ยงในอาหาร BG_{11}ธรรมดา	7.27	0.29	0.023000
เลี้ยงในอาหาร BG_{11}ที่ใส่($^{15}NH_4)_2SO_4$	8.44	0.34	0.068781

2.2 ประสิทธิภาพของไนโตรเจน (%^{15}N Recovery) จากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(^{15}NH_4)_2SO_4$ 10% atom ^{15}N ที่สาหร่ายสามารถดูดขึ้นไปใช้

จากการติดฉลากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเติมปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(^{15}NH_4)_2SO_4$ 10% atom ^{15}N ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ BG_{11} พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 มี % ^{15}N Recovery ของปุ๋ยในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 84.9% แสดงว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตัวอย่าง 6CCR1-1 สามารถดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตไปสะสมที่เซลล์ได้ถึง 84.9%

ในการทดลองแม้ว่าจะใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตที่มี % atom ^{15}N ต่ำ ๆ ในการติดฉลากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก็ตาม แต่ก็ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีไนโตรเจน 8.44 เปอร์เซ็นต์ และมี % ^{15}N atom excess 0.68781 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าค่า natural abundance ของ ^{15}N ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.3663% ทำให้สามารถติดตามการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปยังต้นข้าวได้

3. การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ในการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในกระถาง ซึ่งรูปที่ 9-12 แสดงถึงการเจริญเติบโตของข้าวในระยะปักดำ, ระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวดังนี้

รูปที่ 9 การเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในกระถางในระยะปักดำ

รูปที่ 10 การเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในกระถางในระยะข้าวแตกกอสูงสุด

รูปที่ 11 การเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในกระถางในระยะข้าวออกดอก

รูปที่ 12 การเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในกระถางในระยะเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยขอนแก่น Khon Kaen University

3.1 การเจริญเติบโตของข้าว

ความสูงของต้นข้าว

จากการวัดความสูงของต้นข้าวที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ตารางที่ 3) และระยะข้าวออกดอก (ตารางที่ 4) พบว่า การใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ ทำให้ข้าวมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าต้นข้าวในตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 75.5 ซม. และ 106.13 ซม. ตามลำดับ รองลงมาคือ ต้นข้าวที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ที่มีความสูงเฉลี่ย 70.75 ซม. และ 100 ซม. ตามลำดับ ส่วนการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินธรรมดา ทำให้ข้าวมีความสูงเฉลี่ย 68.75 ซม. และ 95.5 ซม. ตามลำดับ และตำรับการทดลองที่ 1 control นั้นต้นข้าวมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 65 ซม. และ 93 ซม. ตามลำดับ

สำหรับในระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 5) ต้นข้าวทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงเฉลี่ย 111.75-123.25 ซม. และมีแนวโน้มว่า ข้าวในตำรับการทดลองที่ใส่ $(^{15}NH_4)_2SO_4$ สูงที่สุด คือ 123.25 ซม.

จำนวนต้นข้าวต่อกระถาง

จากการเก็บตัวอย่างข้าวที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด พบว่า การใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีจำนวนต้นข้าวเฉลี่ย 42.25 ต้นต่อกระถาง ซึ่งมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ส่วนอีก 3 ตำรับการทดลองที่เหลือจำนวนต้นข้าวต่อกระถางไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือ ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 1 control มีจำนวนต้นข้าวเฉลี่ย 32.25, 31.50 และ 31.50 ต้นต่อกระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ในระยะข้าวออกดอกจำนวนต้นข้าวต่อกระถาง ทั้ง 4 ตำรับการทดลอง มีจำนวนต้นต่อกระถางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ มีจำนวนต้นต่อกระถางอยู่ระหว่าง 27.2 – 31.50 ต้น (ตารางที่ 4)

สำหรับจำนวนต้นข้าวในระยะเก็บเกี่ยว การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งที่ติดฉลากด้วย ^{15}N , การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ได้ติดฉลาก และการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้มีจำนวนต้นข้าวเฉลี่ยมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนี้คือ 27.0, 24.75, 23.25 และ 17.25 ต้นต่อกระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

น้ำหนักแห้งของข้าว

ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด ตามตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ มีน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 19.84-25.19 กรัมต่อกระถาง โดยมีแนวโน้มว่า ข้าวในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด

น้ำหนักแห้งของต้นข้าวในระยะออกดอก พบว่า ข้าวที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ทำให้น้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 73.27 กรัมต่อกระถาง ซึ่งแตกต่างจากำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่อีก 3 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ก็มีแนวโน้มว่าข้าวในตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 2 BGA มีน้ำหนักแห้งมากกว่าตำรับการทดลองที่ 1 control โดยมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยดังนี้คือ 60.64, 60.19 และ 51.82 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 4)

จากตารางที่ 5 เป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ข้าวในตำรับการทดลองที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน, ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ และใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 99.29 - 94.82 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ 1 control มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดต่างจากตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 69.20 กรัมต่อกระถาง ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความสูง, จำนวนต้นต่อกระถาง, น้ำหนักแห้ง ของต้นข้าวที่เก็บที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด

ตำรับการทดลอง	ความสูง* (ซม.)	จำนวนต้น** (ต้น/กระถาง)	น้ำหนักแห้ง^{ns} (กรัม/กระถาง)
1. control	65.00 c	31.50 b	19.84 a
2. BGA	68.75 bc	31.50 b	18.20 a
3. ^{15}N BGA	70.75 ab	32.25 b	16.75 a
4. ($^{15}NH_4)_2SO_4$	75.50 a	42.25 a	25.19 a
C.V. (%)	4.98	8.01	19.10

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความสูง, จำนวนต้นต่อกระถาง, น้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่เก็บที่ระยะข้าวออกดอก

ตำรับการทดลอง	ความสูง* (ซม.)	จำนวนต้น^{ns} (ต้น/กระถาง)	น้ำหนักแห้ง* (กรัม/กระถาง)
1. control	93.00 b	27.25 a	51.82 b
2. BGA	95.50 b	31.50 a	60.19 b
3. ^{15}N BGA	100.00 ab	28.75 a	60.64 b
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	106.13 a	31.25 a	73.27 a
C.V. (%)	5.17	8.71	11.50

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยความสูง, จำนวนต้นต่อกระถาง, น้ำหนักแห้ง ของต้นข้าวที่เก็บที่ระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ความสูง^{ns} (ซม.)	จำนวนต้น* (ต้น/กระถาง)	น้ำหนักแห้ง* (กรัม/กระถาง)
1. control	111.75 a	17.25 b	69.20 b
2. BGA	118.00 a	27.00 a	99.29 a
3. ^{15}N BGA	119.50 a	23.25 ab	94.82 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	123.25 a	24.75 a	98.51 a
C.V. (%)	5.97	17.20	15.54

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยความสูง, จำนวนต้นต่อกระถาง และน้ำหนักแห้งของข้าว ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด พบว่า การใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ (10% atom ^{15}N) ลงไปในดินมีผลทำให้ข้าวมีความสูงและจำนวนต้นต่อกระถาง มากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งทำให้มีน้ำหนักแห้งของข้าวมากที่สุดด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ Sims *et al.* (1967) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโต มีผลทำให้ข้าวมีลำต้นสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนช่วยเร่งการเจริญเติบโตของข้าว และการใส่ปุ๋ยทำให้ข้าวนำไนโตรเจนไปใช้ได้ง่ายและมากขึ้น เพราะ ($^{15}NH_4)_2SO_4$ จะแตกตัวให้ NH_4^+ ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที ในขณะที่การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลงไปในดิน ซึ่งก็ถือว่าเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินเช่นเดียวกัน แต่การที่พืชจะนำไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปใช้ได้ ต้องรอการย่อยสลายของเซลล์เปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจน ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้เป็น NH_4^+ ก่อน แม้ว่าในการทดลองจะใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อบให้แห้งแล้วก็ตาม แต่ในระยะแรก ๆ อาจมีการย่อยสลายเซลล์ไม่มากนัก จึงมีปริมาณ NH_4^+ เพิ่มในดินไม่มาก ข้าวจึงอาจนำเอาไนโตรเจนจากสาหร่ายไปใช้ได้น้อย ทำให้การเจริญเติบโตน้อยกว่าการใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$) แต่ก็มากกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ได้ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สำหรับในระยะข้าวออกดอก ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกัน คือ ที่การใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ข้าวมีความสูง, น้ำหนักแห้งมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าจำนวนต้นต่อกระถางจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม แต่ก็มีแนวโน้มว่ามีปริมาณมากกว่า รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แสดงว่าไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นประโยชน์ต่อข้าวน้อยกว่าปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไนโตรเจนจากสาหร่ายจะเป็นประโยชน์ก็ต่อเมื่อเซลล์สลายตัวแล้วเท่านั้น

ในระยะเก็บเกี่ยว พบว่าความสูงของข้าวในแต่ละตำรับการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ต้นข้าวมีความสูงมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่จำนวนต้นต่อกระถาง ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA มีมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้มีน้ำหนักแห้งมากกว่าด้วย แต่ไม่ต่างจากตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ แสดงว่า ข้าวมีการดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยเฉพาะไนโตรเจนได้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป การย่อยสลายเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีเพิ่มมากขึ้น ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ข้าวดูดไปใช้ได้มาก จึงทำให้มีการเจริญเติบโตไม่ต่างกันทางสถิติ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หากในดินมีการเพิ่มไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ลงไปและอยู่ในรูปที่ข้าวสามารถดูดใช้ได้ง่าย จะทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตเร็ว เพิ่มความสูง, จำนวนต้นต่อกระถาง เป็นผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3.2 ผลผลิตข้าว

จำนวนและน้ำหนักเมล็ด

ผลผลิตข้าว แสดงในตารางที่ 6 ดังนี้ คือ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อกระถางในตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$, ตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินธรรมดา และใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 1755.8, 1807 และ 1681 เมล็ด ในขณะที่ control มีจำนวนเมล็ดน้อยที่สุดแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 1350 เมล็ดต่อกระถาง

สำหรับน้ำหนักของเมล็ดทั้งหมดต่อกระถาง แสดงในตารางเดียวกัน พบว่า หากข้าวมีจำนวนเมล็ดต่อกระถางมาก ก็ย่อมส่งผลให้เมล็ดมีน้ำหนักมากตามไปด้วย นั่นคือ ในตำรับที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$, ตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินธรรมดา และใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N มีน้ำหนักเมล็ดต่อกระถางไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ 25.62, 27.55 และ 21.29 กรัม ในขณะที่ control มีน้ำหนักเมล็ดน้อยที่สุดแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 16.04 กรัม

3.3 องค์ประกอบผลผลิต (ตารางที่ 6)

จำนวนรวงต่อกระถาง

จำนวนรวงต่อกระถาง พบว่า การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N และการใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ทำให้มีจำนวนรวงต่อกระถางไม่ต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ 21.5, 20.5 และ 20.5 รวง ในขณะที่ control นั้น ข้าวมีจำนวนรวงต่อกระถางน้อยที่สุด คือ 14.5 รวง ซึ่งแตกต่างจากตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

น้ำหนักแห้งของฟางข้าวต่อกระถาง

น้ำหนักแห้งของฟางข้าวในทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ มีน้ำหนักแห้งของฟางข้าวมากที่สุด คือ 70.79 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ฟางข้าวหนัก 71.5 กรัมต่อกระถาง และใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ได้ติดฉลาก ฟางข้าวหนัก 69.55 กรัมต่อกระถาง ที่น้อยที่สุดคือcontrol มี 49.11 กรัมต่อกระถาง

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

จากการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวในตำรับที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมากที่สุด คือ 61.96 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก และใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N คือ 58.17 และ 52.63 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ control มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีน้อยที่สุดคือ 50.92 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของทั้ง 4 ตำรับการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวในตำรับที่ใส่ปุ๋ย ($^{15}NH_4)_2SO_4$ มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด คือ 19.45 กรัม รองลงมาคือตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก, ตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N และ control โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ คือ 19.27 , 17.44 และ 17.94 กรัม

จากข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตในระยะเก็บเกี่ยว จะเห็นได้ว่า จำนวนรวง และน้ำหนักของฟางข้าวต่อกระถาง ในตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ได้ติดฉลาก, ตำรับที่ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N และตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ control มีจำนวนรวงและน้ำหนักของฟางข้าวต่อกระถางน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อมีจำนวนรวงมาก ข้าวย่อมมีโอกาสสร้างจำนวนดอกได้มาก แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อกระถางกลับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง คงเนื่องมาจากความสมดุลย์ทางธรรมชาติ เมื่อมีจำนวนของดอกมากขึ้น ย่อมมีเมล็ดลีบเพิ่มมาก โดยที่ไม่มีความสามารถที่จะทำให้เกิดเมล็ดดีได้มากขึ้นตามจำนวนของดอกที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก เป็นที่น่าสังเกตว่าใน control มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อกระถางถึง 50.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่กลับให้ผลผลิตต่ำที่สุด เนื่องจากมีจำนวนรวงต่อกระถาง และจำนวนเมล็ดต่อกระถางต่ำที่สุด ดังนั้นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีคงไม่ใช่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าว (ประสาน, 2517) ในส่วนน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ซึ่งแสดงถึงขนาดของเมล็ดข้าวนั้นพบว่า ทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่ทำให้ข้าวมีขนาดเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลผลิตของข้าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ด (นที, 2516) แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนเมล็ดในแต่ละตำรับการทดลองมากกว่า

แม้ว่าค่าองค์ประกอบผลผลิตส่วนใหญ่ของทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลับพบว่า ตำรับการทดลองที่มีการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนลงไปในดินเพื่อใช้ปลูกข้าว ไม่ว่าจะใส่เป็นรูปของปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ทำให้ข้าวมีจำนวนรวง จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด สูงกว่าตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ไนโตรเจนเพิ่มลงไป จึงเป็นผลทำให้มีผลผลิตข้าวสูงกว่านั่นเอง

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยจำนวนรวง , น้ำหนักของฟาง, น้ำหนัก 1,000 เมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี , จำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อกระถางของข้าวที่เก็บที่ระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวนรวง/กระถาง**	น้ำหนักของฟาง[ns]	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด[ns]	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี[ns]	จำนวนเมล็ด/กระถาง*	น้ำหนักเมล็ด/กระถาง*
1. control	14.50 b	49.11 a	17.94 a	50.92 a	1350.0 b	16.04 b
2. BGA	21.50 a	69.55 a	19.27 a	58.17 a	1807.0 a	27.55 a
3. ^{15}N BGA	20.50 a	71.50 a	17.44 a	52.63 a	1681.0 a	21.29 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	20.50 a	70.79 a	19.45 a	61.96 a	1755.8 a	25.62 a
C.V. (%)	8.91	20.09	14.92	27.77	12.18	26.11

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4. ประสิทธิภาพของไนโตรเจน (%N Recovery) จากดิน, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ต้นข้าวสามารถดูดขึ้นไปใช้

4.1 ระยะข้าวแตกกอสูงสุด

ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ตารางที่ 7) พบว่า %N Recovery จากตำรับการทดลองที่ 4 $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีค่าสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) คือ 65.14 % รองลงมาคือ %N Recovery จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก ในตำรับการทดลองที่ 2 (BGA) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในตำรับการทดลองที่ 3 (^{15}N BGA) คือ 27.07% และ 20.89 % ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 (control) มี %N Recovery จากดิน น้อยที่สุด คือ 5.89 %

การเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากดิน พิจารณาได้จาก ตำรับการทดลองที่ 1 control ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นั่นคือ ข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินไปใช้ได้เพียง 5.89 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนที่มีอยู่ทั้งหมดในดิน

การเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อบแห้งแล้วทั้งที่ไม่ติดฉลากและติดฉลากด้วย ^{15}N ลงไปในดินบริเวณรากข้าวในขณะการปักดำข้าว พบว่า ข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประมาณ 20-27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ว่าจะติดฉลากด้วย ^{15}N หรือไม่ติดฉลากก็มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ เนื่องจากเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ (10% atom ^{15}N) ลงไปในดิน พบว่าข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยถึง 65.14% นั่นคือ ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด ข้าวสามารถดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีไปใช้ได้มากที่สุด เพราะมีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์มาก สำหรับการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลงไปในดินเพื่อเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินนั้น เนื่องจากมีไนโตรเจนน้อยกว่าและต้องรอให้เซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินย่อยสลายปลดปล่อย NH_4^+ เสียก่อน ข้าวจึงจะสามารถดูดซับไปใช้ได้ จึงพบว่ามีการสะสมไนโตรเจนในต้นข้าวน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

4.2 ระยะข้าวออกดอก

จากการทดลอง ให้ผลเช่นเดียวกันกับระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ตารางที่ 7) คือ ในตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีค่า %N Recovery สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($P \leq 0.01$) คือ 84.44 % รองลงมาคือ %N Recovery จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก ในตำรับการทดลองที่ 2 (BGA) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในตำรับการทดลองที่ 3 (^{15}N BGA) คือ 58.06% และ 47.91 % ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 (control) มี %N Recovery จากดิน น้อยที่สุด คือ 7.34 %

จะเห็นได้ว่า ในระยะข้าวออกดอกนี้ %N Recovery ทั้ง 4 ตำรับการทดลองเพิ่มขึ้นจากระยะข้าวแตกกอสูงสุด ก็คือข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนได้มากขึ้น จึงทำให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น นั่นคือ ข้าวมีความสูง และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีการเจริญเติบโตมากที่สุด มี % N Recovery 84.44% แสดงว่าข้าวดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยไปใช้ได้ถึง 84.44% เป็นที่น่าสังเกตคือ %N Recovery จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มขึ้นเช่นกัน คือ ประมาณ 47-58 % แสดงว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการย่อยสลายเซลปลดปล่อย NH_4^+ มากขึ้น ข้าวจึงสามารถดูดซับใช้ได้มากขึ้นตามไปด้วย สำหรับ %N Recovery จากดิน แม้ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น คือ 7.34% แต่ก็ถือว่าน้อยมาก ข้าวจึงมีการสะสมไนโตรเจนได้น้อย ทำให้มีการเจริญเติบโตของข้าวน้อยกว่าด้วย

4.3 ระยะเก็บเกี่ยว

จากตารางที่ 6 พบว่า ทั้ง 4 ตำรับการทดลอง ในเมล็ดและฟางข้าวมี %N Recovery แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในเมล็ด ตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีค่า %N Recovery สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 41.34 % รองลงมาคือ %N Recovery จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก ในตำรับการทดลองที่ 2 (BGA) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในตำรับการทดลองที่ 3 (^{15}N BGA) คือ 24.10 % และ 22.99 % ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 (control) มี %N Recovery จากดิน น้อยที่สุด คือ 2.01%

สำหรับในฟางข้าว ตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$, ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลากในตำรับการทดลองที่ 2 (BGA) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในตำรับการทดลองที่ 3 (^{15}N BGA) มีค่า %N Recovery ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 30.15%, 28.76% และ 28.63% ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 (control) มี %N Recovery น้อยที่สุด คือ 3.53 %

เมื่อพิจารณาถึง %N Recovery ในเมล็ดและฟางข้าวรวมกันนั้น ตำรับที่ใส่ปุ๋ย $(^{15}NH_4)_2SO_4$ ใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ไม่ติดฉลาก ในตำรับการทดลองที่ 2 (BGA) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในตำรับการทดลองที่ 3 (^{15}N BGA) มีค่า %N Recovery ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 71.98%, 52.86% และ 51.26% ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 (control) มีค่า %N Recovery น้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) คือ 5.54 %

โดยปกติแล้ว เมล็ดข้าวจะมีการสะสมไนโตรเจนมากกว่าฟางข้าว ดังการทดลองของประสาน (2517) ที่ได้ศึกษาถึงปริมาณไนโตรเจน (^{15}N) ที่ข้าว พันธุ์ กข. 1 นำขึ้นไปใช้ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต พบว่า เมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน , การสะสมไนโตรเจน และมี

%N Recovery มากกว่าฟางข้าว ทุกตำรับการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ นพรัตน์ และ วิทยา (2534) ที่รายงานว่า ประสิทธิภาพของ ^{15}N ในเมล็ดมีค่ามากกว่าฟางข้าวเช่นกัน โดยตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยยูเรียให้ %N Recovery มากที่สุดทั้งในเมล็ดและฟางข้าว แต่จากการทดลองนี้พบว่า %N Recovery ของเมล็ดมีค่าน้อยกว่าในฟางข้าวทุกตำรับการทดลอง อาจเนื่องมาจากฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งมากกว่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดมาก จึงทำให้เมล็ดมีการสะสมไนโตรเจนได้น้อยกว่า ทำให้ %N Recovery น้อยตามไปด้วย แม้ว่าในเมล็ดจะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมากว่าฟางข้าวก็ตาม ซึ่งในแต่ละการทดลอง ใช้พันธุ์ข้าวไม่เหมือนกัน ดังนั้นน้ำหนักแห้งรวมถึงผลผลิตที่ได้จึงแตกต่างกันไปตามพันธุ์ สำหรับพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสม เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง คุณภาพเมล็ดคล้ายกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต้นจะสูงประมาณ 104-133 ซม. ทรงกอตั้ง (http:// www. rri.doa.go.th) ซึ่งเมื่อข้าวมีความสูงและแตกกอได้มาก ย่อมทำให้น้ำหนักแห้งของต้นเพิ่มตามไปด้วย

ตารางที่ 7 %N Recovery ของไนโตรเจนจากดิน, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในพืชที่ระยะข้าวแตกกอ, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ระยะข้าวแตกกอ %N Recovery**	ระยะข้าวออกดอก %N Recovery**	ระยะเก็บเกี่ยว %N Recovery		
			เมล็ด*	ฟาง*	รวม**
1. control	5.89 c	7.34 c	2.01 c	3.53 b	5.54 b
2. BGA	27.07 b	58.06 ab	24.10 bc	28.76 a	52.86 a
3. ^{15}N BGA	20.89bc	47.91 b	22.99 bc	28.63 a	51.63 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	65.14 a	84.44 a	41.84 a	30.15 a	71.99 a
C.V. (%)	26.15	28.97	71.14	51.72	28.25

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

5. ประสิทธิภาพของไนโตรเจน(% ^{15}N Recovery) จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (^{15}N BGA)และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($^{15}NH_4)_2SO_4$ในต้นข้าว และในดิน (ตารางที่ 8)

ในการทดลองมีการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในดินบริเวณรากข้าวก่อนปักดำ เพื่อที่จะติดตามการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปยังต้นข้าว จากการทดลอง พบว่า ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด มี % ^{15}N Recovery จากสาหร่าย 29.72% แสดงว่าประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ข้าวสามารถดูดขึ้นไปใช้ได้ 29.72% และมีไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเหลืออยู่ในดิน 40.0% เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ที่มี % ^{15}N Recovery 51.76% นั่นคือข้าวมีการดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยไปใช้ได้ถึง 51.76% และ 4.79% เหลืออยู่ในดิน สูญหายไป 43.45% ซึ่งมากกว่าไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สูญเสียไป 30.28%

ที่ระยะข้าวออกดอก มี % ^{15}N Recovery จากสาหร่ายเพิ่มขึ้น คือ 35.94% แสดงว่าประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากสาหร่ายข้าวสามารถดูดขึ้นไปใช้ได้ 35.94% เหลืออยู่ในดิน 43.31% สูญหายไป 20.75% ซึ่งน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนสูญหายไป 31.27% จึงไนโตรเจนจากปุ๋ยเหลืออยู่ในดินเพียง 3.90% และมี % ^{15}N Recovery ในข้าว 64.82%

ในระยะเก็บเกี่ยว % ^{15}N Recovery มีค่าลดลงจากระยะออกดอก คือ % ^{15}N Recovery ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 23.6% จากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 38.34% มีไนโตรเจนจากสาหร่ายเหลืออยู่ในดิน 37.22% และสูญหาย 39.18 % ส่วนไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($^{15}NH_4)_2SO_4$ เหลืออยู่ในดินน้อยกว่า คือ 4.27% จึงมีการสูญหายมากว่า คือ 57.39% ซึ่งในระยะนี้ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินน่าจะมีการปลดปล่อย NH_4^+ ได้มากขึ้น และไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีก็ยังมีอยู่ เพราะบางส่วนจะถูกยึดไว้กับแร่ดินเหนียว แล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมา ซึ่งข้าวมีการดูดไนโตรเจนลดลง ปริมาณไนโตรเจนในดินน่าจะมีเหลือมากกว่าทั้ง 2 ระยะที่ผ่านมา แต่จากการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและปุ๋ยเหลืออยู่ในดินน้อยกว่า ไนโตรเจนจึงเกิดการสูญหายได้มากกว่า

สำหรับค่า % ^{15}N Recovery เมื่อแยกเป็นเมล็ดและฟางข้าว พบว่า ในเมล็ดมี % ^{15}N Recovery น้อยกว่าฟางข้าว ของทั้งสองตำรับการทดลอง ซึ่งโดยปกติ % ^{15}N Recovery สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้ (Prayoon *et al.*, 1988)

$$\%NdfF = \frac{\%\ ^{15}N \text{ atom excess ในพืช}}{\%\ ^{15}N \text{ atom excess ของปุ๋ย}} \times 100$$

$$\text{Fertilizer N-Yield} = \frac{\%NdfF}{100} \times \text{total N-yield } (N_p)$$

$$\% \text{ N Recovery} = \frac{\text{Fertilizer N-Yield}}{\text{Fertilizer N-applied}} \times 100$$

จะเห็นได้ว่า % ^{15}N Recovery ขึ้นอยู่กับการสะสมไนโตรเจนในพืชด้วย หากพืชมีน้ำหนักแห้งมาก ค่าการสะสมไนโตรเจนย่อมมากตามไปด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ แม้ว่าในเมล็ดจะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมากกว่าฟางข้าวก็ตาม แต่ฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งมากกว่าเมล็ดมาก ประมาณ 4-5 เท่า ดังนั้น ค่าการสะสมไนโตรเจนของฟางข้าวที่คำนวณได้จึงมีค่ามากกว่าเมล็ด ทำให้ % ^{15}N Recovery มากด้วยเช่นกัน

ปทุม และคณะ (2536) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (^{15}N) ทำให้ต้นข้าวสามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้เพียง 20-40% ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ให้เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Snitwongse *et al.* (1988) ที่กล่าวว่า ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของต้นข้าวมีค่าระหว่าง 28-30% โดยการใส่ปุ๋ยที่ระดับ 10-12 ซม. จากผิวดิน จะทำให้ต้นข้าวใช้ปุ๋ยได้ดีขึ้น โดยให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยถึง 55%

สำหรับประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากการใส่ฟางข้าว เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี นพรัตน์ และวิทยา (2534) พบว่า ประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากฟางข้าวพืชดูดขึ้นไปใช้ได้ 25.1% เหลืออยู่ในดิน 72.1% ส่วนปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ให้ประสิทธิภาพ 51% ในต้นพืช และ 27% เหลืออยู่ในดิน สูญเสียไป 22% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ ที่การใส่ปุ๋ยเคมีจะให้ประสิทธิภาพของไนโตเจนจากปุ๋ยสูง และมีการสูญหายได้มากกว่าการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่แม้ว่าจะมีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินน้อยกว่าการใส่ฟางข้าว ก็เพราะว่า ฟางข้าวมีการย่อยสลายได้ยากกว่า จึงมีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากกว่า ทำให้มีการสูญหายน้อยกว่าการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนั่นเอง

ซึ่งการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กับข้าวนั้น พบว่ามี มี % ^{15}N Recovery ประมาณ 29-35% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tirol *et al.* (1982) ที่ทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc* sp. ที่ติดฉลากด้วย ^{15}N (75% atom) ในข้าว พบว่า ความสามารถในการดูดซับของไนโตรเจนจากสาหร่ายอยู่ระหว่าง 23-28% และ 27-36% ในฤดูปลูกแรกและฤดูปลูกที่ 2 ตามลำดับ โดยมีไนโตรเจนจากสาหร่ายตกค้างในดินประมาณ 57% และ 30-40% จากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งก็มีค่าไม่แตกต่างกันกับการใส่แหนแดงที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในงานทดลองของ Prayoon *et al.* (1988) ที่มีค่า % ^{15}N Recovery 33-40% ส่วนปุ๋ยยูเรีย มี % ^{15}N Recovery สูงถึง 73-79%

จากการทดลองแสดงว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของข้าว ประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากสาหร่าย ข้าวสามารถดูดขึ้นไปใช้ได้น้อยกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี เนื่องจากไนโตรเจนจาก

ปุ๋ยเคมีใช้ได้ง่ายกว่า และมีปริมาณมากกว่า แต่ก็พบว่ามีเหลืออยู่ในดินในปริมาณน้อยกว่าการใส่สาหร่าย อาจเนื่องมาจากการสูญหายที่เกิดมากกว่า เพราะธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในดินนา คือ leaching, denitrification, ammonia volatlization (ประสาน, 2517) สำหรับไนโตรเจนจากสาหร่ายยังเหลืออยู่ในดินถึง 40% ซึ่งอาจยังอยู่ในเซลของสาหร่ายที่ยังไม่สลายตัว จึงทำให้มีการสูญหายได้น้อยกว่า และเมื่อข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จนถึงระยะข้าวออกดอก ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวจะดูดใช้ไนโตรเจนมากขึ้น เพราะมี % ^{15}N Recovery เพิ่มขึ้น โดยข้าวดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยไปใช้ได้ถึง 64.82% ในขณะที่ดูดไนโตรเจนจากสาหร่ายไปใช้ 35.94% แต่ก็มีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากกว่าเช่นกัน คือ 43.31% จึงทำให้มีการสูญหายน้อยกว่า คือ 20.75% ในขณะที่ไนโตรเจนจากปุ๋ยเหลืออยู่ในดินเพียง 3.90% มีการสูญหาย 31.27%

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้กับข้าว ทำให้ข้าวสามารถดูดไนโตรเจนจากสาหร่ายไปใช้ได้จริง และมีการดูดใช้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต หากสาหร่ายมีการย่อยสลายเซลล์ได้เร็ว ย่อมมีการปลดปล่อย NH_4^+ ได้มาก และทำให้ข้าวมีโอกาสดูดใช้ได้มากขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ใช้ดินที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อในการทดลอง ดังนั้นกระบวนการย่อยสลายเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอาจเกิดขึ้นน้อยกว่าดินตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจากสาหร่ายที่ข้าวดูดขึ้นไปใช้อาจจะต่ำกว่าความเป็นจริง แม้ว่าข้าวมีการสะสมไนโตรเจนจากสาหร่ายจากการทดลองนี้มีน้อยกว่าการสะสมไนโตรเจนที่ได้จากปุ๋ยเคมีของก็ตาม แต่ก็ทำให้ข้าวมีผลผลิตไม่แตกต่างกัน เพราะเมื่อเวลาผ่านไป ไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีมีโอกาสที่จะเกิดการสูญหายไปจากดินได้ง่ายและเร็วกว่า จึงมีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่จะมีการปลดปล่อย NH_4^+ ได้มากขึ้น ข้าวก็มีการดูดใช้ได้มากขึ้นตามการเจริญเติบโต จึงทำให้มีการสูญหายได้น้อยกว่า มีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากกว่า

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการดูดใช้ไนโตรเจน (^{15}N) จากการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (^{15}N BGA) และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(^{15}NH_4)_2SO_4$ ในพืช, ไนโตรเจนที่ตกค้างในดิน และส่วนที่สูญหาย ที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว

	ระยะข้าวแตกกอ		ระยะข้าวออกดอก		ระยะเก็บเกี่ยว	
	%N จาก ^{15}N BGA	%N จาก $(^{15}NH_4)_2SO_4$	%N จาก ^{15}N BGA	%N จาก $(^{15}NH_4)_2SO_4$	%N จาก ^{15}N BGA	%N จาก $(^{15}NH_4)_2SO_4$
ในพืช	29.72	51.76	35.94	64.82	เมล็ด = 8.17 ฟางข้าว = 15.43	เมล็ด = 15.70 ฟางข้าว = 22.64
ในดิน	40.00	4.79	43.31	3.91	37.22	4.27
รวม	69.72	56.55	79.25	68.73	60.82	42.61
สูญหาย	30.28	45.45	20.75	31.27	39.18	57.39

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

6. การสะสมธาตุอาหารในข้าว

6.1 การสะสมไนโตรเจนในข้าว

ปริมาณไนโตรเจนในข้าว ในระยะข้าวแตกกอสูงสุดแสดงในตารางที่ 9 กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA ,ตำรับการทดลองที่ 2 BGA มีมากกว่าตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ และตำรับการทดลองที่ 1 control คือ 2.31, 2.15, 1.72 และ 1.57 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาถึงการสะสมไนโตรเจนในต้นข้าว พบว่า การสะสมไนโตรเจนในต้นข้าวของตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือ มีการสะสมไนโตรเจนในต้น 0.43 , 0.38 และ 0.37 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 control ข้าวมีการสะสมไนโตรเจนในต้น 0.30 กรัมต่อกระถาง ซึ่งน้อยที่สุด แตกต่างจากทั้ง 3 ตำรับข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ในระยะข้าวออกดอก (ตารางที่ 10)ให้ผลเช่นเดียวกันกับระยะข้าวแตกกอสูงสุด นั่นคือ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA , ตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ และตำรับการทดลองที่ 1 control มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้น 0.91, 0.89, 0.88 และ 0.72 ตามลำดับ สำหรับการสะสมไนโตรเจนในต้นข้าว พบว่า การสะสมไนโตรเจนในต้นข้าวของตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือ มีการสะสมไนโตรเจนในต้น 0.64 , 0.55 และ 0.54 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 control ข้าวมีการสะสมไนโตรเจนในต้น 0.38กรัมต่อกระถาง ซึ่งน้อยที่สุด แตกต่างจากทั้ง 3 ตำรับข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

และในระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 11) ทั้งเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและการสะสมไนโตรเจนในฟางข้าวและเมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมากกว่าฟางข้าวคือ 0.86%, 0.88% และ 0.88% ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA , ตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ โดยตำรับการทดลองที่ 1 control มี 0.83% น้อยที่สุด ส่วนเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในฟางข้าว มี 0.51%, 0.38%, 0.39% และ 0.37% ในตำรับการทดลองที่ 1 control , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA , ตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ สำหรับการสะสมไนโตรเจนกลับพบว่า ในเมล็ดมีการสะสมไนโตรเจนได้น้อยกว่าฟางข้าว ซึ่งการสะสมไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักแห้งของพืชด้วย หากพืชมีน้ำหนักแห้งมาก การสะสมไนโตรเจนก็จะมากตาม ดังนั้นในการทดลองนี้ พบว่า น้ำหนักของฟางข้าวมีค่ามากกว่าน้ำหนักของเมล็ดเป็นอย่างมาก แม้ว่าเมล็ดจะมี

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมากกว่าก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถทำให้มีค่าการสะสมไนโตรเจนในเมล็ดมากกว่าในฟางข้าวได้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แม้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นข้าวในระยะข้าวออกดอกมีค่าน้อยกว่าระยะข้าวแตกกอสูงสุด เนื่องมาจากเมื่อข้าวมีการเจริญเติบโต เพิ่มความสูง และจำนวนต้นมากขึ้น จึงมีการกระจายของไนโตรเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์น้อยลงนั่นเอง (dilution effect) แต่มีการสะสมไนโตรเจนในข้าวมากกว่า ซึ่งข้าวจะสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้เพิ่มขึ้นมีอัตราสูงสุดในระยะกำเนิดช่อดอก หลังจากนั้นจะลดลง โดยปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวนำไปใช้นั้น จะมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับการสร้างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวนำขึ้นไปใช้ ย่อมขึ้นอยู่กับระยะที่ข้าวมีการสร้างน้ำหนักแห้งได้เพิ่มขึ้นหรือลดลง คือ ถ้าอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งได้สูง ย่อมต้องการใช้ไนโตรเจนเป็นไปในอัตราสูงด้วย (Sims and Palace, 1968) ซึ่งข้าวในตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ที่มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด จึงทำให้มีไนโตรเจนสะสมอยู่ในต้นมากที่สุดด้วย รองลงมาคือ ข้าวในตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA แสดงว่า เมื่อใส่ไนโตรเจนให้กับข้าว ข้าวจะสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่ในรูปของปุ๋ยเคมี ซึ่งไนโตรเจนอยู่ในรูปที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีที่ใส่ แต่การใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แม้ว่าข้าวจะดูดไนโตรเจนไปใช้ได้ไม่ต่างจากการใส่ปุ๋ยทางสถิติก็ตาม แต่ปริมาณไนโตรเจนจากสาหร่ายเริ่มแรกยังคงมีน้อย เพราะต้องรอให้เซลสาหร่ายมีการสลายตัวให้ NH_4^+ ก่อน จึงมีการสะสมไนโตรเจนในต้นข้าวน้อยกว่า สำหรับข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่มีการใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือปุ๋ยไนโตรเจน ข้าวมีการดูดไนโตรเจนจากดินไปใช้ได้เช่นกัน แต่ในปริมาณที่น้อยกว่า เพราะในดินมีไนโตรเจนน้อย จึงมีการสะสมไนโตรเจนในต้นน้อยกว่า

นั่นคือ หากมีการใส่ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ให้กับข้าว ข้าวจะดูดไนโตรเจนไปใช้ได้มาก และเร็ว จึงทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตเร็ว มีความสูง น้ำหนักแห้ง และการแตกกอเพิ่มขึ้น เพราะไนโตรเจนช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช

6.2 การสะสมฟอสฟอรัสในข้าว

ระยะข้าวแตกกอสูงสุด แสดงในตารางที่ 9 พบว่า เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในต้นข้าวในตำรับการทดลองที่ 2 BGA มี 0.29%, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA มี 0.28%, และตำรับการทดลองที่ 1 control มี 0.25% มากกว่าตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 0.22% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับการสะสมฟอสฟอรัสในต้นข้าวนั้น ทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่

มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนี้ คือ 0.049, 0.051, 0.047 และ 0.054 กรัมต่อกระถาง ในตำรับการทดลองที่ 1 control , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ

สำหรับระยะข้าวออกดอก (ตารางที่ 10) เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกตำรับการทดลอง โดยมีฟอสฟอรัส 0.23%, 0.25%, 0.23% และ 0.22% ในตำรับการทดลองที่ 1 control, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ แต่พบว่าการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวในตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ข้าวในตำรับการทดลองที่ 1 มีการสะสมฟอสฟอรัสในต้นน้อยที่สุด คือ 0.1181 กรัมต่อกระถาง ซึ่งแตกต่างจากทั้ง 3 ตำรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

และในระยะเก็บเกี่ยว แสดงในตารางที่ 12 ทำการเก็บตัวอย่างโดยแบ่งเป็นเมล็ดและฟางข้าว พบว่า เปอร์เซ็นต์และการสะสมฟอสฟอรัสทั้งในเมล็ดและฟางข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางข้าวในตำรับการทดลองที่ 2 BGA มีมากที่สุด คือ 0.29% และ 0.11% ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA คือ 0.29% และ 0.12% รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ คือ 0.27% และ 0.09% และตำรับการทดลองที่ 1 control คือ 0.26% และ 0.09% สำหรับการสะสมฟอสฟอรัสในฟางข้าวมีมากกว่าในเมล็ด โดยในตำรับการทดลองที่ 1 control มีค่าน้อยที่สุด

โดยปกติข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในเขตร้อนนั้น จะนำธาตุฟอสฟอรัสขึ้นไปใช้ได้ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงข้าวออกรวง (Patnaik and Nanda , 1969) ซึ่งพืชจะดูดฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต โดยส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปสารอินทรีย์เมื่อเข้าสู่ราก หรือหลังจากที่เคลื่อนย้ายจากท่อน้ำเข้าสู่ยอด ฟอสฟอรัสจะต่างจากไนโตรเจน เพราะฟอสฟอรัสจะไม่ถูกรีดิวส์ในพืช โดยจะคงรูปเป็นฟอสเฟตอยู่ ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสมีส่วนช่วยในการแตกกอของข้าว และกระตุ้นให้พืชออกดอก ในการทดลอง พบว่า ที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด ในตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ มีเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส 0.22% ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการสะสมฟอสฟอรัสในต้นข้าว กลับพบว่ามีการสะสมฟอสฟอรัสมากที่สุด เพราะมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด จึงมีส่วนทำให้ข้าวมีการแตกกอมาก คือ มีจำนวนข้าว 42.25 ต้นต่อกระถาง ต่อมาในระยะข้าวออกดอก ก็เป็นตำรับการทดลองแรกที่ข้าวเริ่มออกดอกก่อนข้าวในตำรับการทดลองอื่น ๆ รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA ส่วนข้าวในตำรับการทดลองที่ 1 control พบว่า ข้าวจะออกดอกช้าที่สุด และมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในต้นข้าวน้อยที่สุดด้วย ทำให้ในระยะเก็บเกี่ยวมีการสะสมฟอสฟอรัสในฟางและเมล็ดน้อยกว่าด้วย

ดนัย (2539) กล่าวว่า ฟอสเฟตจะเคลื่อนย้ายกระจายไปยังอวัยวะต่าง ๆ ในพืชได้เร็ว และจะสะสมอยู่ที่ใบอ่อน ดอกอ่อน และเมล็ด ดังนั้นในระยะเก็บเกี่ยวจึงพบว่า เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสในเมล็ดมีมากกว่าฟางข้าว ก็แสดงว่าเมล็ดข้าวมีการสะสมธาตุอาหารมากขึ้น ซึ่งระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในใบข้าวที่เพิ่งจะคลี่เต็มที่ในระยะแตกกอ คือ 0.14-0.27 % ซึ่งในการทดลองแสดงว่า ข้าวได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

6.3 การสะสมโพแทสเซียมในข้าว

จากการทดลองพบว่า ในตัวอย่างพืชทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมไม่แตกต่างกันทางสถิติทุกระยะที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยในระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ตารางที่ 9) ข้าวมีปริมาณโพแทสเซียม 2.54%, 2.68%, 2.88% และ 2.32% ในตำรับการทดลองที่ 1 control, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ ตารางที่ 10 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในข้าวที่เก็บที่ระยะข้าวออกดอก คือ 1.53%, 1.48%, 1.56% และ 1.48% ในตำรับการทดลองที่ 1 control, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ

สำหรับในระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 13) นั้น เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในเมล็ดและในฟางข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยในฟางข้าวมีเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมมากกว่าในเมล็ด นั่นคือ 1.2% และ 0.47% ในตำรับทดลองที่ 1 control, 0.99% และ 0.47% ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA, 1.07% และ 0.53% ในตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 0.99% และ 0.48% ในตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ในฟางข้าวและเมล็ดตามลำดับ

การสะสมโพแทสเซียมในข้าว ในระยะแตกกอนั้น (ตารางที่ 9) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวในตำรับการทดลองที่ 4 มีการสะสมโพแทสเซียมมากที่สุดคือ 0.58 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 control 0.49 กรัมต่อกระถาง และตำรับการทดลองที่ 2 BGA และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA ไม่ต่างกันคือ 0.48 กรัมต่อกระถาง ต่อมาในระยะข้าวออกดอก ข้าวในตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ มีการสะสมโพแทสเซียมมากที่สุด แตกต่างจากตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) คือ 1.08 กรัมต่อกระถาง ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 control น้อยที่สุดคือ 0.79 กรัมต่อกระถาง และในระยะเก็บเกี่ยว การสะสมโพแทสเซียมทั้งในเมล็ดและฟางข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง แต่มีแนวโน้มว่า ในตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ทั้งเมล็ดและฟางข้าวมีการสะสมโพแทสเซียมมากที่สุด คือ 0.10 กรัมต่อกระถาง และ 0.71 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ โดยที่ตำรับการทดลองที่ 1 control มีการสะสมโพแทสเซียมน้อยที่สุดทั้งในเมล็ดและฟางข้าว คือ 0.06 กรัมต่อกระถางและ 0.61 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

ระดับธาตุโพแทสเซียมในใบข้าวที่เพิ่งจะคลี่เต็มที่ในระยะแตกกอ 1.52-2.69% แสดงว่าในการทดลองข้าวได้รับโพแทสเซียมในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทั้ง 4 ตำรับการทดลอง และเมื่อเข้าสู่ระยะข้าวออกดอก แม้ว่าเปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมจะน้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาถึงการสะสมโพแทสเซียมในต้นข้าวแล้ว พบว่าเป็นไปในทางเดียวกันธาตุอาหารอื่นๆ ที่มีการสะสมธาตุอาหารเพิ่มขึ้น เมื่อข้าวมีน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าเมื่อข้าวเจริญเติบโต ก็มีการสะสมโพแทสเซียมเพิ่มตามไปด้วย ซึ่งพืชจะดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณที่สูงพอ ๆ กับไนโตรเจน และประมาณ 3-4 เท่าของฟอสฟอรัส ซึ่งธาตุโพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับขบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล และขบวนการเคลื่อนย้ายของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งข้าวจะนำเอาโพแทสเซียมไปใช้ตั้งแต่ระยะปลูกจนถึงระยะที่เมล็ดข้าวเป็นแป้งแข็ง หากขาดโพแทสเซียมจะมีผลทำให้เมล็ดลีบสูงขึ้น จากการทดลองในระยะเก็บเกี่ยวแม้ว่า ข้าวทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ และปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่ในตำรับการทดลองที่ 1 control ที่ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีน้อยกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ ก็มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่าด้วย

Ramanathan *et. al.* (1973) รายงานว่า ธาตุโพแทสเซียมมากว่า 90% ได้มาจากการนำขึ้นไปใช้ก่อนที่ข้าวจะออกดอก หลังจากนั้นจะเคลื่อนไปสะสมในส่วนของดอก ดังนั้นประมาณ 59-84 เปอร์เซ็นต์ของธาตุอาหารที่มีอยู่ในระยะสุกแก่จะได้มากจากการนำขึ้นไปใช้ในระหว่างที่มีการแตกกอสูงสุดจนถึงระยะข้าวออกดอก

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน, ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนในข้าว, เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส, ปริมาณทั้งหมดของฟอสฟอรัสในข้าว, เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม และปริมาณทั้งหมดของโพแทสเซียมในข้าวของต้นข้าวที่เก็บที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด

ตำรับการทดลอง	ไนโตรเจน^{ns} %N	ไนโตรเจน** (กรัม/กระถาง)	ฟอสฟอรัส* %P	ฟอสฟอรัส^{ns} (กรัม/กระถาง)	โพแทสเซียม^{ns} %K	โพแทสเซียม^{ns} (กรัม/กระถาง)
1. control	1.57 a	0.30 b	0.25 ab	0.049 a	2.54 a	0.49 a
2. BGA	2.15 a	0.38 a	0.29 a	0.051 a	2.68 a	0.48 a
3. ^{15}N BGA	2.31 a	0.37 a	0.28 a	0.046 a	2.88 a	0.48 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	1.72 a	0.43 a	0.22 b	0.054 a	2.32 a	0.58 a
C.V. (%)	24.09	8.07	3.94	15.07	11.13	12.48

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน, ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนในข้าว, เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส, ปริมาณทั้งหมดของฟอสฟอรัสในข้าว, เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม และปริมาณทั้งหมดของโพแทสเซียมในข้าวของต้นข้าวที่เก็บที่ระยะข้าวออกดอก

ตำรับการทดลอง	ไนโตรเจน^{ns} %N	ไนโตรเจน** (กรัม/กระถาง)	ฟอสฟอรัส^{ns} %P	ฟอสฟอรัส** (กรัม/กระถาง)	โพแทสเซียม^{ns} %K	โพแทสเซียม** (กรัม/กระถาง)
1. control	0.72 a	0.38 b	0.23 a	0.12 b	1.53 a	0.79 c
2. BGA	0.91 a	0.55 ab	0.25 a	0.15 a	1.48 a	0.89 bc
3. ^{15}N BGA	0.89 a	0.54 ab	0.23 a	0.14 a	1.56 a	0.94 b
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	0.88 a	0.64 a	0.22 a	0.16 a	1.48 a	1.08 a
C.V. (%)	11.73	15.28	6.14	9.84	13.92	8.52

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน, ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนในเมล็ดและฟางข้าว ในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ไนโตรเจนในเมล็ด[ns]		ไนโตรเจนในฟางข้าว[ns]	
	%	(กรัม/กระถาง)	%	(กรัม/กระถาง)
1. control	0.83 a	0.10 a	0.51 a	0.18 a
2. BGA	0.86 a	0.17 a	0.38 a	0.26 a
3. ^{15}N BGA	0.88 a	0.14 a	0.39 a	0.28 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	0.88 a	0.19 a	0.37 a	0.27 a
C.V. (%)	7.51	34.41	39.49	24.14

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส, ปริมาณทั้งหมดของฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางข้าว ในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ฟอสฟอรัสในเมล็ด[ns]		ฟอสฟอรัสในฟางข้าว[ns]	
	%	(กรัม/กระถาง)	%	(กรัม/กระถาง)
1. control	0.26 a	0.03 a	0.09 a	0.04 a
2. BGA	0.29 a	0.06 a	0.11 a	0.07 a
3. ^{15}N BGA	0.29 a	0.04 a	0.12 a	0.08 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	0.27 a	0.06 a	0.09 a	0.07 a
C.V. (%)	6.41	41.38	21.99	31.24

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม, ปริมาณทั้งหมดของโพแทสเซียมในเมล็ดและฟางข้าวในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	โพแทสเซียมในเมล็ด[ns]		โพแทสเซียมในฟางข้าว[ns]	
	% K	(กรัม/กระถาง)	%K	(กรัม/กระถาง)
1. control	0.47 a	0.06 a	1.27 a	0.61 a
2. BGA	0.47 a	0.09 a	0.99 a	0.69 a
3. ^{15}N BGA	0.53 a	0.08 a	1.07 a	0.77 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	0.48 a	0.10 a	0.99 a	0.71 a
C.V. (%)	10.42	35.34	13.36	22.22

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

7. สมบัติของดินที่เก็บตัวอย่างเมื่อข้าวเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ

7.1 ปริมาณไนโตรเจนในดิน

จากตารางที่ 14 แสดงว่า ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด และระยะข้าวออกดอก เปอร์เซ็นต์และปริมาณไนโตรเจนในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินเท่ากันทั้ง 4 ตำรับการทดลอง คือประมาณ 0.4-0.5% ทั้ง 2 ระยะเก็บตัวอย่าง ส่วนปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในดินนั้น มีแนวโน้มว่า ตำรับการทดลองที่ 1 control คือ 4.02 และ 3.2 กรัมต่อกระถาง ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA คือ 3.92 และ 3.14 กรัมต่อกระถาง ,ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA คือ 3.31 และ 3.37 กรัมต่อกระถาง , ตำรับการทดลองที่ 4 $(^{15}NH_4)_2SO_4$ คือ 3.88 และ 3.53 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

สำหรับระยะเก็บเกี่ยว มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในดินเพิ่มขึ้นคือ ประมาณ 0.6-0.7% และ 4.59-5.53 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ โดยตำรับการทดลองที่ 4 $(^{15}NH_4)_2SO_4$ มีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากที่สุด น้อยที่สุดคือ ดินในตำรับการทดลองที่ 1 control

จากปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในดินที่ไม่แตกต่างกันของทั้ง 4 ตำรับการทดลอง แสดงว่า นอกจากข้าวในตำรับการทดลองที่ 2 BGA, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และ ตำรับการทดลองที่ 4$(^{15}NH_4)_2SO_4$ จะมีการดูดใช้ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินอยู่ก่อนแล้ว ยังสามารถดูดไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มลงไปในดินก่อนการปักดำไปใช้ได้อีก เพราะมีปริมาณไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินเท่า ๆ กับตำรับการทดลองที่ 1 control ที่ไม่มีการใส่ไนโตรเจนเพิ่ม จึงทำให้ข้าวของทั้ง 3 ตำรับการทดลองมีการเจริญเติบโตดีและเร็ว ซึ่งเมื่อข้าวมีการเจริญเติบโตไปถึงระยะออกดอก ไนโตรเจนยังถูกดูดไปเรื่อย ๆ เพราะข้าวมีการสะสมไนโตรเจนในต้นเพิ่มขึ้น ในระยะเก็บเกี่ยว แม้ว่าข้าวยังมีการดูดไนโตรเจนไป แต่ในปริมาณที่ใช้น้อยลง และจากที่มีต้นข้าวบางส่วนตายไป ก่อนถึงระยะเก็บเกี่ยว จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในดินหลังจากเก็บตัวอย่างพืชระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ระยะข้าวแตกกอ		ระยะข้าวออกดอก		ระยะเก็บเกี่ยว	
	ไนโตรเจน^{ns} (%)	ไนโตรเจน^{ns} (กรัม/กระถาง)	ไนโตรเจน^{ns} (%)	ไนโตรเจน^{ns} (กรัม/กระถาง)	ไนโตรเจน^{ns} (%)	ไนโตรเจน^{ns} (กรัม/กระถาง)
1. control	0.05 a	4.02 a	0.04 a	3.20 a	0.06 a	4.59 a
2. BGA	0.05 a	3.92 a	0.04 a	3.14 a	0.06 a	4.94 a
3. ^{15}N BGA	0.04 a	3.31 a	0.04 a	3.37 a	0.07 a	5.03 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	0.05 a	3.88 a	0.05 a	3.53 a	0.07 a	5.53 a
C.V. (%)	14.73	14.72	22.09	18.94	11.69	3.51

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

7.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน (pH)

จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดิน (pH) พบว่า ดินทั้ง 3 ระยะที่เก็บตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง คือ ดินทั้งในระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ตารางที่ 15) มีค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดิน (pH) 6.87, 6.56, 6.53 และ 6.54 ระยะข้าวออกดอก (ตารางที่ 16) ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดิน (pH) 6.76, 6.71, 6.67 และ 6.65 และระยะเก็บเกี่ยว (ตาราง ที่ 17) ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดิน (pH) 6.44, 6.29, 6.24 และ 6.42 ในตำรับการทดลองที่ 1 control, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ค่า pH ของดินมีค่าสูงขึ้นจากดินก่อนการปลูกข้าว (pH 6.1) อาจเนื่องจาก ดินที่มีน้ำขัง ค่า pH ของดินจะสูงขึ้น ซึ่งปฏิกริยาของดิน หรือค่า pH ของดิน มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชนั่นคือ หากดินมี pH ที่เหมาะสม ธาตุอาหารจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้มาก เช่น ธาตุไนโตรเจน, ธาตุฟอสฟอรัส, ธาตุโพแทสเซียม , ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นต้น (เกษมศรี, 2541)

7.3 อินทรีย์วัตถุในดิน

ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ดินใน 4 ตำรับการทดลอง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงในตารางที่ 15, 16 และ 17 ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตำรับการทดลองที่ 1 control 1.31%, 1.07% และ 1.62% ในตำรับการทดลองที่ 2 BGA 1.39%, 0.97% และ 1.57% ในตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 1.45%, 1.09% และ 1.54% สำหรับตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 1.53%, 1.09% และ 1.20% ตามลำดับ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับไนโตรเจน คือ มีปริมาณมากกว่าปริมาณของไนโตรเจนในดินประมาณ 20 เท่า ดังนั้นหากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมาก ไนโตรเจนมีปริมาณสูงตามไปด้วย จากการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 3 ระยะ พบว่า มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าในดินจะปริมาณไนโตรเจนต่ำด้วย

จากการทดลอง พบว่า ดินในระยะออกดอกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินในระยะแตกกอสูงสุดแสดงว่าข้าวมีการดูดใช้ธาตุอาหารไปใช้ โดยเฉพาะไนโตรเจนได้มาก ต่อมาในระยะเก็บเกี่ยวกลับพบว่า ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น แสดงว่าแม้ข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนไปใช้อยู่แต่ก็มีต้นข้าวที่ตายแล้วกลับลงไปอยู่ในดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินทางหนึ่ง ทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

7.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ระยะข้าวแตกกอสูงสุดแสดงในตารางที่ 15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยในตำรับการทดลองที่ 1 control มีฟอสฟอรัส 12.17 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 14.04 ppm , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 12.97 ppm และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 12.67 ppm

ในระยะข้าวออกดอก ปริมาณฟอสฟอรัสในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยในตำรับการทดลองที่ 1 control มีฟอสฟอรัส 14.99 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 10.79 ppm , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 12.11 ppm และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 12.52 ppm (ตารางที่ 16)

และระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 17) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลองเช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 11.26 ppm, 12.62 ppm, 11.91 ppm และ 12.14 ppm ในตำรับการทดลองที่ 1 control, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ดินที่เก็บในระยะข้าวแตกกอสูงสุด, ระยะข้าวออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าดินก่อนปลูก (ดินเริ่มแรกมีฟอสฟอรัส 9.93 ppm) เพราะก่อนการปักดำข้าว มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.20 กรัม P_2O_5/กระถาง และในสภาพที่ดินมีน้ำขังความเป็นกรดของดินจะลดลงนั่นคือ ค่า pH สูงขึ้น ทำให้ฟอสเฟตละลายออกมามากยิ่งขึ้น

สำหรับระดับฟอสฟอรัสในดินแต่ละระยะที่เก็บตัวอย่างมีปริมาณไม่ต่างกัน คือมีประมาณ 10-15 ppm ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ข้าวจึงมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

7.5 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

ปริมาณโพแทสเซียมในดินในระยะข้าวแตกกอสูงสุด ทั้ง 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15) คือ โดยในตำรับการทดลองที่ 1 control มีโพแทสเซียม 11.55 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 11.90 ppm , ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 10.48 ppm และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 8.75 ppm

ตารางที่ 16 แสดงถึงปริมาณโพแทสเซียมในดิน ในระยะข้าวออกดอก ซึ่งตำรับการทดลองที่ 1 control และตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากัน ซึ่งสูงกว่าอีก 2 ตำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีโพแทสเซียม 17.52 ppm รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ 2 BGA 15.12 ppm และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 15.30 ppm

ในระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณโพแทสเซียมในดินใน 4 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 17) คือ โดยในตำรับการทดลองที่ 1 control มีโพแทสเซียม 22.70 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 20.32 ppm ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 21.20 ppm และตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 17.45 ppm

ดินก่อนการปักดำข้าว มีโพแทสเซียม 42.57 ppm ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำ จึงมีการเติมปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 0.15 กรัม K_2O/กระถาง เพื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมในดิน ซึ่งก็ทำให้ข้าวไม่แสดงอาการขาดโพแทสเซียม เมื่อข้าวดูดใช้โพแทสเซียม จึงทำให้โพแทสเซียมในดินเหลืออยู่ไม่มากนัก แต่จากการทดลองพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว โดยที่ระยะเก็บเกี่ยวมีปริมาณมากที่สุด อาจเป็นเพราะข้าวดูดโพแทสเซียมได้น้อยลง ซึ่งแคลเซียมมีส่วนช่วยเพิ่มสัดส่วนระหว่าง Ca:K จึงอาจทำให้มีโพแทสเซียมเหลืออยู่ในดินมาก

ธาตุโพแทสเซียม แม้จะพบว่ามีอยู่ในปริมาณมากในดินส่วนใหญ่ แต่ที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มีอยู่น้อย ประมาณร้อยละ 1 ของโพแทสเซียมทั้งหมดเท่านั้นเป็นไอออนแลกเปลี่ยนได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

7.6 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน

ในการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 3 ระยะ พบว่า มีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 4 ตำรับการทดลอง โดยในระยะข้าวแตกกอสูงสุด ตำรับการทดลองที่ 1 control มี 357.50 ppm และ 44.38 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 364.38 ppm และ 45 ppm, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 396.88 ppm และ 48.75 ppm ส่วนตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 278.13 ppm และ 31.88 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ระยะข้าวออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวก็เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17 ซึ่งปริมาณแคลเซียมนั้น ในตำรับการทดลองที่ 1 control มี 711.88 ppm และ 716.88 ppm , ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 618.13 ppm และ 681.25 ppm, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 718.13 ppm และ 677.5 ppm ส่วนตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 776.88 ppm และ 754.38 ppm ตามลำดับ สำหรับปริมาณแมกนีเซียม ในตำรับการทดลองที่ 1 control มี 90 ppm และ 73.12 ppm, ตำรับการทดลองที่ 2 BGA 81.25 ppm และ 62.5 ppm, ตำรับการทดลองที่ 3 ^{15}N BGA 85.62 ppm และ 60.62 ppm ส่วนตำรับการทดลองที่ 4 ($^{15}NH_4)_2SO_4$ 83.75 ppm และ 85 ppm ตามลำดับ

แม้ว่าธาตุแคลเซียมและธาตุแมกนีเซียมจะมีความสำคัญกับพืช รองจากธาตุไนโตรเจน, ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโพแทสเซียม แต่พืชก็ต้องการในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตที่ดี ซึ่งข้าวมีความต้องการทั้ง 2 ธาตุในปริมาณที่เท่ากัน ๆ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณแคลเซียมในดิน เพิ่มขึ้นจากระยะข้าวแตกกอสูงสุด อาจเนื่องมาจาก ดินที่ใช้ในการทดลอง มี pH เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ เป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งความเป็นประโยชน์ของธาตุทั้งสองจะเพิ่มขึ้นหากดินมี pH ที่เหมาะสม นั่นคือ ประมาณ 6- 8.5 จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในดินมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณแมกนีเซียมจะถูกคอลลอยด์ของดินดูดยึดไว้ด้วยแรงที่น้อยกว่าแคลเซียม จึงทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมน้อยกว่าแคลเซียมในดินทั่ว ๆ ไป

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยความชื้น, pH, ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ปริมาณฟอสฟอรัส, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณแคลเซียม และปริมาณแมกนีเซียม ในดินที่เก็บที่ระยะข้าวแตกกอ

ตำรับการทดลอง	ความชื้น[ns] (%)	pH[ns]	อินทรียวัตถุ[ns] (%)	ฟอสฟอรัส[ns] ppm	โพแทสเซียม[ns] ppm	แคลเซียม[ns] ppm	แมกนีเซียม[ns] ppm
1. control	31.06 a	6.87 a	1.31 a	12.17 a	11.55 a	357.50 a	44.38 a
2. BGA	31.43 a	6.56 a	1.39 a	14.04 a	11.90 a	364.38 a	45.00 a
3. ^{15}N BGA	29.42 a	6.53 a	1.45 a	12.97 a	10.48 a	396.88 a	48.75 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	25.72 a	6.54 a	1.53 a	12.67 a	8.75 a	278.13 a	31.88 a
C.V. (%)	13.64	3.27	16.92	15.44	30.37	30.81	30.88

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยความชื้น, pH, ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ปริมาณฟอสฟอรัส, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณแคลเซียม และปริมาณแมกนีเซียม ในดินที่เก็บที่ระยะข้าวออกดอก

ตำรับการทดลอง	ความชื้น* (%)	pH^{ns}	อินทรียวัตถุ^{ns} (%)	ฟอสฟอรัส^{ns} ppm	โพแทสเซียม* ppm	แคลเซียม^{ns} ppm	แมกนีเซียม^{ns} ppm
1. control	27.72 b	6.76 a	1.07 a	14.99 a	17.52 a	711.88 a	90.00 a
2. BGA	32.86 a	6.71 a	0.97 a	10.79 a	15.12 b	618.13 a	81.25 a
3. ^{15}N BGA	33.85 a	6.67 a	1.09 a	12.11 a	17.52 a	718.13 a	85.62 a
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	32.68 a	6.65 a	1.09 a	12.52 a	15.30 b	776.88 a	83.75 a
C.V. (%)	7.27	2.07	3.01	34.94	6.53	10.95	11.85

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยความชื้น, pH, ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ปริมาณฟอสฟอรัส, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณแคลเซียม และปริมาณแมกนีเซียม ในดินที่เก็บที่ระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ความชื้น* (%)	pH^{ns}	อินทรียวัตถุ^{ns} (%)	ฟอสฟอรัส^{ns} ppm	โพแทสเซียม^{ns} ppm	แคลเซียม^{ns} ppm	แมกนีเซียม** ppm
1. control	34.88 a	6.44 a	1.62 a	11.26 a	22.70 a	716.88 a	73.13 ab
2. BGA	29.07 c	6.29 a	1.57 a	12.62 a	20.32 a	681.25 a	62.50 bc
3. ^{15}N BGA	34.62 ab	6.24 a	1.54 a	11.91 a	21.20 a	677.50 a	60.63 c
4. $(^{15}NH_4)_2SO_4$	30.76 bc	6.42 a	1.20 a	12.14 a	17.45 a	754.38 a	85.00 a
C.V. (%)	7.72	1.69	18.14	13.46	14.21	6.98	7.57

[1] Means within a column followed by the same letters are not significantly different

* Significantly different at $p \leq 0.05$

** Significantly different at $p \leq 0.01$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University