บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินและเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนทำการทดลอง

ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จ. ลำปาง ก่อนทำการทดลอง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อจะประเมินความเป็นไปได้ของการเป็นแหล่งธาตุอาหาร ที่มีผลต่อผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ [ซิลิกอน (Si)] และธาตุพิษ [นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) อลูมิเนียม (Al)] โดยมีผลการศึกษาดังนี้

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

ความเป็นกรดเป็นด่างก่อนทำการเพาะปลูกของดินมีค่าเท่ากับ 4.46 และของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 10.2 (ตารางที่ 4.1) จัดได้ว่าความเป็นกรดเป็นด่างก่อนทำการเพาะปลูกของดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) ส่วนความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์จัดได้ว่าเป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline) ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1)

- **ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์**

ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนทำการเพาะปลูกคือ ธาตุซิลิกอน โดยในการศึกษาวิจัยได้วัดปริมาณธาตุซิลิกอนของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในรูปของ SiO_2 มีค่าเท่ากับ 68.26 % และ 47.06 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

- **ปริมาณธาตุพิษ**

ปริมาณธาตุพิษของดินและเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนทำการเพาะปลูกคือ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน ประเมินจากสารสกัด 0.005 M DTPA สำหรับปริมาณธาตุพิษทั้งหมดสกัดด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) ในอัตราส่วน 2 :1 (ตารางที่ 4.1) พบว่าดินมีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดเท่ากับ 11.30 มิลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) โดยที่พืชสามารถดูดดึงได้เพียง 0.61 mg/kg และมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (970 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม; µg/kg) มากกว่าปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ (28.00 µg/kg) 34.64 เท่า แต่มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดสูงมากถึง 44,666.67 mg/kg โดยที่พืชสามารถดูดดึงได้เพียง 62.00

mg/kg สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดเท่ากับ 31.25 mg/kg ในขณะที่พืชสามารถดูดดึงได้เพียง 0.08 mg/kg ส่วนปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (69.00 µg/kg) มากกว่าปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ (51.00 µg/kg) 1.35 เท่า และมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดสูงมากถึง 23,162.64 mg/kg โดยที่พืชสามารถดูดดึงได้เพียง 0.68 mg/kg

กล่าวได้ว่า ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดในดินมีมากกว่าปริมาณที่พืชดูดดึงได้ 18.52 34.64 และ 720.43 เท่า ตามลำดับ สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์นั้น ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดมีมากกว่าปริมาณที่พืชดูดดึงได้ 390.63 1.35 และ 34,062.71 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินและเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนทำการทดลอง

ลักษณะสมบัติทางเคมี	ก่อนทำการทดลอง	
	ดิน	เถ้าลอยลิกไนต์
ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน : น้ำ = 2 :1)	4.46	10.2
ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ • ธาตุซิลิกอน (% SiO_2)	68.26	47.06
ธาตุพิษ (ปริมาณทั้งหมด) • นิกเกิล (mg/kg)	11.30	31.25
• แคดเมียม (µg/kg)	970.00	69.00
• อลูมิเนียม (mg/kg)	44,666.67	23,162.64
ธาตุพิษ (ปริมาณที่พืชดูดดึงได้) • นิกเกิล (mg/kg)	0.61	0.08
• แคดเมียม (µg/kg)	28.00	51.00
• อลูมิเนียม (mg/kg)	62.0	0.68

4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินหลังเติมสิ่งทดลอง

ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินหลังเติมสิ่งทดลองจะบ่งชี้ถึง ความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับต้นข้าวและโอกาสที่ต้นข้าวดูดดึงธาตุพิษในแต่ละระยะการเจริญเติบโต สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินประกอบด้วย ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ได้แก่ซิลิกอน (Si) และธาตุพิษได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) อลูมิเนียม (Al) โดยทำการเก็บตัวอย่าง 4 ระยะ คือที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง และระยะก่อนเกี่ยวของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สิ่งทดลอง (ปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์) ทำปฏิกิริยากับสารละลายดิน เพื่อให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินคงที่ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) สำหรับการเติมสิ่งทดลองนั้นที่ระยะนี้ มีการเติมปุ๋ยเคมี เติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ เฉพาะระยะทำเทือกเท่านั้น ส่วนตำรับทดลองที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ยังไม่เติมเถ้าลอยลิกไนต์นั่นหมายถึง เงื่อนไขการเติมสิ่งทดลอง ยังคงเป็นเช่นเดียวกับ ตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมี

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.2) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี (pH = 4.95) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (pH = 5.16) และการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (pH = 5.35) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c , b , a และ F-value = 11.70*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินเดิมมีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น กล่าวคือเพิ่มจาก 5.07 เป็น 5.16 การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ มีผลทำให้เพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ระยะหลังทำเทือกร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เทียบเคียงได้กับการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ เพียงอย่างเดียวลงดิน ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีลงดินส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง

- **ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์**

ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ที่ทำการศึกษาคือ ซิลิกอน (Si) โดยทำการวัดปริมาณซิลิกอนด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence ซึ่งวัดในรูปซิลิกา (% SiO_2) (ตารางที่ 4.2) พบว่าการเติม

สิ่งทดลองได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ลที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ และเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ ไม่มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในดินมีความแตกต่างทางสถิติ (F-value = 0.20^{NS})

โดยสรุปการเติม เถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ไม่มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในดินเพิ่มขึ้น

- **ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด**

ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ธาตุพิษของดินที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด ใช้ กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) ในอัตราส่วน 2 :1 เป็นสารสกัด โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.3) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.06^{NS})โดยปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง จะอยู่ในช่วง 5.76 - 7.65 mg/kg โดยการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (5.76 mg/kg) และเติมปุ๋ยเคมี (6.51 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดน้อยกว่าที่พบในดินเดิม (7.64 mg/kg) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของนิกเกิลในดิน

2) แคดเมียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.06^{NS})โดยปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง อยู่ในช่วง 32.83 – 57.50 µg/kg การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (32.83 µg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (44.17 µg/kg) และเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (40.00 µg/kg) มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดน้อยกว่าที่พบในดินเดิม (57.50 µg/kg) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ล และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของแคดเมียมในดิน

3) อลูมิเนียม

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.35^{NS}) โดยปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง อยู่ในช่วง 22,916.67 – 27,683.33 mg/kg การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (23,850.00 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (26,375.00 mg/kg) และเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (27,233.33 mg/kg) มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (22,916.67 mg/kg) แต่ก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ล และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมในดิน

โดยสรุป ในระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนาล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของ ปริมาณทั้งหมดในธาตุพิษ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม

- **ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้**

ธาตุพิษของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน ใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัดโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.4) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เท่ากับ 1.35 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c และ F-value = 8.91*) ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือกมีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากที่มีอยู่ในดินเดิม 1.56 mg/kg เป็น 1.71 mg/kg (อยู่กลุ่มอักษร b และ a) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (พิจารณาได้จากตำรับทดลองดินเดิมเติมปุ๋ยเคมี หรือดินเดิมเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะแตกกอ หรือที่ระยะตั้งท้อง) มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินเพิ่มมากขึ้น (กลุ่มอักษร ab และ b)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะหลังทำเทือก ส่งผล

ให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มมากขึ้น

2) แคดเมียม

เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ (20.33 μg/kg) ต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c และ F-value = 27.73*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (แคดเมียม = 32.33 μg/kg) หรือการเติมปุ๋ยเคมี (แคดเมียม = 31.67 μg/kg) ไม่มีความต่างกันทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ (กลุ่มอักษร a เดียวกัน) แต่ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในดินเดิม (แคดเมียม = 25.67 μg/kg)

แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลง เมื่อเติมปูนมาร์ล แต่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเติมปุ๋ยเคมี หรือ เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะหลังทำเทือก

3) อลูมิเนียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะหลังทำเทือก ส่งผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ (6.65 mg/kg) มากกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร a และF-value = 71.81*) ในขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมี ก็มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 1.52 mg/kg เป็น 5.66 mg/kg แต่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ กลับไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินเดิม (กลุ่มอักษร c เดียวกัน)

โดยภาพรวม การเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะหลังทำเทือก เป็นการเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ให้กับดิน ส่วนการเติมปูนมาร์ลกลับไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน

ตารางที่ 4.2 ความเป็นกรดเป็นด่างและธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ในดินที่ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติทางเคมีของดิน	
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ (SiO_2 (%))
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	5.07^{bc}	64.35
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	5.35^{a}	64.71
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	4.95^{c}	65.63
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	5.16^{b}	63.97
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	4.97^{c}	64.55
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	4.99^{c}	64.74
F-value	11.70*	0.20^{NS}
CV	3.10 %	2.49 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

ตำรับทดลอง	ปริมาณทั้งหมด		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	7.64	57.50	22,916.67
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	5.76	32.83	23,850.00
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	6.51	44.17	26,375.00
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	7.65	40.00	27,233.33
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	7.57	39.17	25,933.33
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	7.43	47.50	27,683.33
F-value	1.06^{NS}	1.06^{NS}	0.35^{NS}
CV	18.18 %	16.52 %	18.56 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	1.56 ^{b}	25.67 ^{b}	1.52 ^{c}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	1.35 ^{c}	20.33 ^{c}	1.47 ^{c}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	1.63 ^{ab}	31.67 ^{a}	5.66 ^{b}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	1.71 ^{a}	32.33 ^{a}	6.65 ^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	1.64 ^{ab}	31.33 ^{a}	5.62 ^{b}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	1.65 ^{ab}	31.33 ^{a}	5.72 ^{b}
F-value	8.91*	27.73*	71.81*
CV	8.55 %	16.17 %	50.30 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ระยะต้นข้าวแตกกอ

ระยะต้นข้าวแตกกอ เป็นระยะที่ต้นข้าวต้องการธาตุอาหารมากเพื่อนำไปสร้างจำนวนกอ ความสูง ความกว้างของใบ เพราะต้นข้าวที่แตกกอมากมีแนวโน้มที่จะให้จำนวนรวงต่อกอมากเช่นกัน (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) สำหรับการเติมสิ่งทดลองนั้นที่ระยะนี้มีการเติมปุ๋ยเคมี เติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ สำหรับตำรับทดลองที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง ยังไม่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ตำรับทดลองนี้ จึงมีเงื่อนไขการทดลองเช่นเดียวกับ ตำรับทดลองดินเดิมเติมปุ๋ยเคมี

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ (ตารางที่ 4.5) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี (pH = 5.05^{d}) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (pH = 5.19^{c}) ระยะต้นข้าวแตกกอ (pH = 5.31^{b}) และเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (pH = 5.46^{a}) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 25.22*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินเดิม (pH = 5.28) มีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ แต่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดต่ำลง

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวแตกกอร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เทียบเคียงได้กับการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ เพียงอย่างเดียวลงดิน ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมี และเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง นั่นหมายถึงว่าระยะเวลาในการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

- **ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด**

ธาตุพิษของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด ใช้ กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) ในอัตราส่วน 2 :1 เป็นสารสกัด โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.6) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.004^{NS}) โดยปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ จะ

อยู่ในช่วง 8.22-8.37 mg/kg โดยการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (8.33 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (8.33 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก (8.36 mg/kg) และระยะต้นข้าวแตกกอ (8.37 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (8.22 mg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของนิกเกิลในดิน

2) แคดเมียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 2.06 ^{NS}) โดยปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ จะอยู่ในช่วง 48.83-57.50 μmg/kg โดยการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (48.83 μg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (54.75 μg/kg) และเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ ระยะต้นข้าวแตกกอ (55.00 μg/kg) มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดน้อยกว่าที่พบในดินเดิม (55.83 μg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของแคดเมียมในดิน

3) อลูมิเนียม

เมื่อพิจารณาปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.07 ^{NS}) โดยปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ จะอยู่ในช่วง 20,277.50 - 21,708.33 mg/kg การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (21,708.33 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (21,362.33 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก (21,641.67 mg/kg) และระยะแตกกอ (21,421.67 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (20,277.50 mg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จึงอาจสรุปได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมในดิน

โดยภาพรวม เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดิน ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ พบว่าการเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนาล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดิน

- **ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้**

ธาตุพิษของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน ใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัดโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.7) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวแตกกอมีข้อมูลดังปรากฏในตารางที่ 4.7 พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เท่ากับ 1.55 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c และ F-value = 3.10*) จึงกล่าวได้ว่าการเติมปูนมาร์ลมีแนวโน้มทำให้พืชดูดดึงนิกเกิลได้น้อยลง โดยที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิม 1.60 mg/kg เป็น 1.76 mg/kg (อยู่กลุ่มอักษร bc และ a) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (พิจารณาได้จากตำรับทดลองดินเดิมเติมปุ๋ยเคมี หรือดินเดิมเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง) และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินเพิ่มมากขึ้น (อยู่กลุ่มอักษร abc, ab และ bc)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ลทำให้พืชดูดดึงนิกเกิลได้ลดลง ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ มีแนวโน้มที่จะทำให้พืชสามารถดูดดึงนิกเกิลได้เพิ่มขึ้น

2) แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวแตกกอมีข้อมูลดังปรากฏในตารางที่ 4.7 พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือกและที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ทำให้มีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เท่ากับ 31.33 และ 31.67 µg/kg ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร a และ F-value = 16.16*) ในขณะที่ การเติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 24.67 µg/kg เป็น 29.33 µg/kg (อยู่กลุ่มอักษร c และ ab) ส่วนการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ (23.00 µg/kg) ต่ำกว่าที่พบในดินเดิม แต่ก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร c เดียวกัน)

อาจสรุปได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปูนมาร์ลกลับไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน

3) อลูมิเนียม

เมื่อพิจารณาปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ (ตารางที่ 4.7) พบว่าตำรับทดลองดินเดิมเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เท่ากับ 3.06 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c และ F-value = 19.18*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี รวมทั้งการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ก็มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 4.12 mg/kg เป็น 5.46 6.10 และ 5.73 mg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร b และ a)

แสดงว่า ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงเมื่อเติมปูนมาร์ล แต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเติมปุ๋ยเคมี หรือเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะต้นข้าวแตกกอ

ตำรับทดลอง	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	5.28^{bc}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	5.46^{a}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	5.05^{d}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	5.19^{c}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	5.31^{b}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	5.09^{d}
F-value	25.22*
CV	2.91 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดที่ระยะต้นข้าวแตกกอ

ตำรับทดลอง	ปริมาณทั้งหมด		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	8.22	55.83	20,277.50
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	8.33	48.83	21,708.33
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	8.33	54.75	21,362.33
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	8.36	55.83	21,641.67
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	8.37	55.00	21,421.67
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	8.32	57.50	21,414.17
F-value	0.004^{NS}	2.06^{NS}	0.07^{NS}
CV	13.77 %	7.48 %	14.55 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	1.60^{bc}	24.67^{c}	4.12^{b}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	1.55^{c}	23.00^{c}	3.06^{c}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	1.64^{abc}	29.33^{ab}	5.46^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	1.76^{a}	31.33^{a}	6.10^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	1.75^{ab}	31.67^{a}	5.73^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	1.66^{abc}	28.33^{b}	5.47^{a}
F-value	3.103*	16.16*	19.18*
CV	6.73 %	12.61 %	23.39 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ระยะต้นข้าวตั้งท้อง

ระยะต้นข้าวตั้งท้อง เป็นระยะที่ต้นข้าวต้องการธาตุอาหารมากเพื่อนำไปสร้างสร้างรวงและเมล็ดที่สมบูรณ์ (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) สำหรับการเติมสิ่งทดลองนั้นที่ระยะนี้มีการเติมปุ๋ยเคมี เติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (ตารางที่ 4.8) พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH = 5.83) สูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร a และ F-value = 15.43*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมี (pH = 5.09) การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (pH = 5.14) และระยะต้นข้าวแตกกอ (pH = 5.19) ส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าที่พบในดินเดิม (pH = 5.48) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร d, cd, และb) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (pH = 5.34) มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินเดิม มีความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเช่นเดียวกับ การเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ เพียงอย่างเดียวลงดิน ส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินเดิมมีความเป็นกรดเป็นด่างลดลง ในขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และที่ระยะต้นข้าวแตกกอ จึงอาจสรุปได้ว่าระยะเวลาในการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

- **ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด**

ธาตุพิษของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด ใช้ กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) ในอัตราส่วน 2 :1 เป็นสารสกัด โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.9) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.9) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.03 ^{NS}) โดยปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง จะอยู่ในช่วง 10.44 – 10.79 mg/kg โดยการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (10.79 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (10.61 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก (10.68 mg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ (10.72 mg/kg) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (10.66 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (10.44 mg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แสดงว่า การเติมสิ่งทดลองต่าง ๆ (ปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของนิกเกิลในดิน

2) แคดเมียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (ตารางที่ 4.9) พบว่า การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 46.83 µg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร d และ F-value = 15.33*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้องส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 50.00 µg/kg เป็น 54.17 55.00 และ 55.42 µg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร c, ab และ a) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (52.42 µg/kg) มีแนวโน้มที่จะทำให้ ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น (กลุ่มอักษร bc)

จึงสรุปได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะหลังทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ การเติมปูนมาร์ลส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเพิ่มมากขึ้น

3) อลูมิเนียม

เมื่อพิจารณาปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.9) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.09 ^{NS}) โดยปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง จะอยู่ในช่วง 22,825.00 – 23,816.50 mg/kg โดยที่การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (23,610.83 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (23,464.17 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก (23,816.50 mg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ (23,613.33 mg/kg) และระยะ

ต้นข้าวตั้งท้อง (23,690.67 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (22,825.00 mg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จึงอาจสรุปได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมในดิน

โดยภาพรวม เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดิน ได้แก่ นิกเกิล และอลูมิเนียม ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง พบว่าการเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนาล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดิน ส่วนปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์

- **ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้**

ธาตุพิษของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน ใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัดโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.10) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีข้อมูลดังปรากฏในตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินที่ได้รับการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ เท่ากับ 1.29 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร c และ F-value = 3.68*) โดยที่การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินเพิ่มมากขึ้น(อยู่กลุ่มอักษร ab) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 1.35 mg/kg เป็น 1.55 และ 1.56 mg/kg (อยู่กลุ่มอักษร bc และ a)

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ลทำให้พืชดูดดึงนิกเกิลได้ลดลง ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือกมีแนวโน้มที่จะทำให้พืชสามารถดูดดึงนิกเกิลได้เพิ่มขึ้น

2) แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีข้อมูลดังปรากฏในตารางที่ 4.10 พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก

ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 23.67 µg/kg เป็น 30.73 29.00 และ 29.33 µg/kg (อยู่กลุ่มอักษร bc, a และ F-value = 10.42*) ส่วนการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มที่จะทำให้พืชสามารถดูดดึงแคดเมียมได้เพิ่มขึ้น (กลุ่มอักษร c) ในขณะที่ การเติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มที่จะทำให้พืชสามารถดูดดึงแคดเมียมได้ลดลง (กลุ่มอักษร b)

แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมปูนมาร์ล แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปุ๋ยเคมี ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) อลูมิเนียม

เมื่อพิจารณาปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (ตารางที่ 4.10) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในดินเดิม 3.05^{c} mg/kg เป็น 5.13^{b} 6.56^{a} 6.34^{a} และ 6.09^{ab} mg/kg ตามลำดับ (F-value = 21.84*) แต่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ ไม่แตกต่างกับดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร c เดียวกัน)

โดยภาพรวม ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมปุ๋ยเคมี หรือเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่วนการเติมปูนมาร์ล กลับไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง

ตำรับทดลอง	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	5.48[b]
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	5.83[a]
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	5.09[d]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	5.14[cd]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	5.19[cd]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	5.34[bc]
F-value	15.43*
CV	5.17 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง

ตำรับทดลอง	ปริมาณทั้งหมด		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	10.44	50.00^{c}	22,825.00
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	10.79	46.83^{d}	23,610.83
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	10.61	52.42^{bc}	23,464.17
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	10.68	54.17^{ab}	23,816.50
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	10.72	55.00^{ab}	23,613.33
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	10.66	55.42^{a}	23,690.67
F-value	0.03^{NS}	15.33*	0.09^{NS}
CV	9.68 %	7.42 %	7.17 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	1.35^{bc}	23.67^{bc}	3.05^{c}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	1.29^{c}	21.03^{c}	2.77^{c}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	1.48^{ab}	24.93^{b}	5.13^{b}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	1.52^{ab}	30.73^{a}	6.56^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	1.55^{a}	29.00^{a}	6.34^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	1.56^{a}	29.33^{a}	6.09^{ab}
F-value	3.68*	10.42*	21.81*
CV	9.05 %	14.75 %	33.19 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 ระยะก่อนเกี่ยว

ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว จะบ่งชี้ถึง ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่พืชดูดดึงไปใช้ตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต และความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับต้นข้าวในการทำนาครั้งต่อไป ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว ที่ศึกษาคือ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ได้แก่ซิลิกอน (Si) และธาตุพิษได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) อลูมิเนียม (Al) โดยเก็บดินก่อนเกี่ยวข้าว 2 วัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว (ตารางที่ 4.11) พบว่า การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (pH = 5.86) มีความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร a และ F-value = 67.87*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (pH = 5.05^{de}) ระยะต้นข้าวแตกกอ (pH = 5.14^{cd}) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (pH = 5.21^{bc}) มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น อย่างสอดคล้องกับ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่อย่างไรก็ตาม การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ ก็ส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำกว่าในดินเดิม (pH = 5.33) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (pH = 4.94) มีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กล่าวได้ว่า ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะก่อนเกี่ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีการเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินเดิมมีความเป็นกรดเป็นด่างลดลง นอกจากนี้การเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ เพียงอย่างเดียวลงดินส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

- **ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์**

ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ที่ทำการศึกษาคือ ซิลิกอน (Si) โดยทำการวัดปริมาณซิลิกอนด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence ซึ่งวัดในรูปซิลิกา (% SiO_2) (ตารางที่ 4.11) พบว่าปริมาณซิลิกอนของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว จะอยู่ในช่วง 64.35 – 65.89 % SiO_2 โดยการเติมสิ่งทดลองได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ลที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ และเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในดินมีความแตกต่างทางสถิติ (F-value = 0.61^{NS})

โดยสรุป การเติม การเติมสิ่งทดลองต่าง ๆ (ปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกอนในดิน

- **ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด**

ธาตุพิษของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด ใช้ กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$)ในอัตราส่วน 2 :1 เป็นสารสกัด โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.12) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.07^{NS})โดยปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว จะอยู่ในช่วง 11.10 – 12.61 mg/kg โดยการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ (11.65 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมี (11.37 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก(12.21 mg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ (12.44 mg/kg) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (12.61 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (11.10 mg/kg) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของนิกเกิลในดินที่ระยะก่อนเกี่ยว

2) แคดเมียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 2.21^{NS})โดยปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว อยู่ในช่วง 49.17-58.00 µg/kg การเติมสิ่งทดลองได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ลที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ และเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลทำให้แคดเมียมทั้งหมดในดินมีความแตกต่างทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ล และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของแคดเมียมในดินที่ระยะก่อนเกี่ยว

3) อลูมิเนียม

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.14^{NS}) โดยปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว อยู่ในช่วง 25,633.33 – 27,358.33 mg/kg การเติมสิ่งทดลองได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปูนมาร์ลที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ และเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าว

ตั้งท้อง มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดมากกว่าที่พบในดินเดิม (อลูมิเนียม = 25,633.33 mg/kg) แต่ก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล เติมปุ๋ยเคมี เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมในดินที่ระยะก่อนเกี่ยว

โดยสรุป ที่ระยะก่อนเกี่ยว การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนา ล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของ ปริมาณทั้งหมดในธาตุพิษ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม

- **ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้**

ธาตุพิษของดินที่ระยะก่อนเกี่ยว ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียมและอลูมิเนียม ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน ใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัดโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.13) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นิกเกิล

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะก่อนเกี่ยว (ตารางที่ 4.13) พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ มีปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เท่ากับ 1.39 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร d และF-value = 10.09*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 1.49 mg/kg เป็น 1.62 และ 1.63 mg/kg (อยู่กลุ่มอักษร b และ a) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (1.54 mg/kg) และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (1.59 mg/kg) มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินเพิ่มมากขึ้น (กลุ่มอักษร bc, abc และ c)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มมากขึ้น

2) แคดเมียม

เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะก่อนเกี่ยว (ตารางที่ 4.13) พบว่าการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ (แคดเมียม = 25.33 μg/kg) ต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร b และ F-value = 5.11*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (แคดเมียม = 31.33 μg/kg) การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะหลังทำเทือก (แคดเมียม = 32.67 μg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ(แคดเมียม = 32.33 μg/kg) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (แคดเมียม = 33.67 μg/kg) มีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ มากกว่าที่พบในดินเดิม (แคดเมียม = 30.67 μg/kg) แต่ก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร a เดียวกัน)

แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเติมปูนมาร์ล ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี หรือ เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง กลับไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน

3) อลูมิเนียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะก่อนเกี่ยว (ตารางที่ 4.13) พบว่า การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ เท่ากับ 2.70 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร d และ F-value = 13.83*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 4.62 mg/kg เป็น7.35 6.79 และ 6.59 mg/kg (อยู่กลุ่มอักษร c, a และ ab) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (อลูมิเนียม = 5.37 mg/kg) ก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินเดิมเพิ่มขึ้น (อยู่กลุ่มอักษร bcและ c)

โดยภาพรวม การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะหลังทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง เป็นการเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ให้กับดิน แต่การเติมปูนมาร์ล กลับส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.11 ความเป็นกรดเป็นด่างและธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ในดินที่ระยะก่อนเกี่ยว

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติทางเคมีของดิน	
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ (SiO_2 (%))
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	5.33^{b}	64.35
ดินเดิม + ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	5.86^{a}	64.71
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	4.94^{e}	64.96
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	5.05^{de}	65.64
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	5.14^{cd}	65.89
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	5.21^{bc}	65.74
F-value	67.87*	0.61^{NS}
CV	5.89 %	1.89 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดที่ระยะก่อนเกี่ยว

ตำรับทดลอง	ปริมาณทั้งหมด		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	11.10	54.17	25,633.33
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	11.65	49.17	25,919.67
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	11.37	55.00	26,810.00
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	12.21	58.00	27,176.67
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	12.44	56.67	27,300.00
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	12.61	57.50	27,358.33
F-value	1.07^{NS}	2.21^{NS}	0.14^{NS}
CV	8.27 %	7.42 %	11.84 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้ที่ระยะก่อนเกี่ยว

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	1.49^{c}	30.67^{a}	4.62^{c}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	1.39^{d}	25.33^{b}	2.70^{d}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	1.54^{bc}	31.33^{a}	5.37^{bc}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	1.62^{ab}	32.67^{a}	7.35^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	1.63^{a}	32.33^{a}	6.79^{ab}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	1.59^{abc}	33.67^{a}	6.59^{ab}
F-value	10.09*	5.11*	13.83*
CV	6.10%	10.61 %	31.78 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก และดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นตัวบ่งชี้ถึง ศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับต้นข้าว ของดินเดิม และสิ่งทดลองที่เติมลงในดินนา ได้แก่ ปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ ในขณะที่ดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพของธาตุอาหารจากดินเดิม และสิ่งทดลองที่เติมลงในดินนา ในการนำไปสร้างผลผลิต

- **ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105**

เมื่อพิจารณาผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ตารางที่ 4.14) พบว่า ตำรับทดลองดินเดิม (ไม่มีการเติมสิ่งทดลอง ตลอดการทดลอง) ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพียง 431.87 กิโลกรัม/ไร่ (กก./ไร่) เทียบเคียงได้กับ การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ เพียงอย่างเดียวลงดิน ซึ่งให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเท่ากับ 455.43 กก./ไร่ (อยู่กลุ่มอักษร b และF-value = 12.15*) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว(ทำเทือก ต้นข้าวแตกกอ และต้นข้าวตั้งท้อง)ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเท่ากับ 533.53 540.45 543.77 และ 546.94 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร a เดียวกัน) แต่มากกว่าตำรับทดลองดินเดิมและตำรับทดลองดินเดิมเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แสดงว่า การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ (ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง) ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเติมปูนมาร์ล กลับไม่ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเปลี่ยนแปลง

- **ดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105**

ดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ตารางที่ 4.14) ในแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.83^{NS}) โดยตำรับทดลองดินเดิม การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ การเติมปุ๋ยเคมี รวมทั้งการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.60 0.60 0.63 0.60 0.61 และ 0.62 ตามลำดับ ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุด

โดยสรุป ดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเติมสิ่งทดลองต่างๆ ลงในดินนา

ตารางที่ 4.14 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และดัชนีการเก็บเกี่ยว

ตำรับทดลอง	ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก (กก./ไร่)	ดัชนีการเก็บเกี่ยว
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	431.87[b]	0.60
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	455.43[b]	0.60
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	533.53[a]	0.63
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	540.45[a]	0.60
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	543.77[a]	0.61
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	546.94[a]	0.62
F-value	12.15*	0.83[NS]
CV	10.37 %	4.26 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว จะบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดดึงธาตุอาหารและธาตุพิษ ตลอดระยะการเจริญเติบโต สำหรับการศึกษาครั้งนี้ องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ได้แก่ ซิลิกอน (Si) ธาตุพิษได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) อลูมิเนียม (Al) และองค์ประกอบทางเคมีด้านคุณภาพข้าว ได้แก่ ปริมาณอมิโลส (Amylose) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) โดยทำการสุ่มตัวอย่างต้นข้าว แล้วนำไปแยกเป็น ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบจากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 องค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุอาหารเสริมประโยชน์

ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ที่ทำการศึกษาคือ ซิลิกอน (Si) โดยทำการวัดปริมาณซิลิกอนด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence ซึ่งวัดในรูปซิลิกา (% SiO_2) โดยศึกษาในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ ซึ่งผลการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.15) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ฟางข้าว**

เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่4.15) พบว่าการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ ไม่เติมสิ่งทดลอง ปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ ปุ๋ยเคมี รวมทั้งการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวเท่ากับ 13.21 12.14 13.54 13.98 14.55 และ 14.49 % SiO_2 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (F-value = 1.79^{NS})

อาจสรุปได้ว่า การเติมสิ่งทดลองต่าง ๆ (ปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง) ไม่มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

- **ข้าวสาร**

เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนในข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่4.15) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.88^{NS}) โดยปริมาณซิลิกอนในข้าวสารจะอยู่ในช่วง 0.126 – 0.149 % SiO_2 โดยที่ การเติมปุ๋ยเคมี (0.135 % SiO_2) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (0.142 % SiO_2) ระยะต้นข้าวแตกกอ (0.149 % SiO_2) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (0.147 % SiO_2) มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในข้าวสารมากกว่าที่พบในดินเดิม (0.133 % SiO_2) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จึงอาจสรุปได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกอนในข้าวสาร

- **แกลบ**

เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนในแกลบในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่4.15) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในแกลบ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 25.35 % SiO_2 เป็น 27.35 27.70 และ 27.66 % SiO_2 ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร ab, a และ F-value = 2.99*) ในขณะที่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (23.37 % SiO_2) มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในแกลบ มีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร b) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี (25.45 % SiO_2) กลับไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซิลิกอนในแกลบ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (กลุ่มอักษร ab เดียวกัน)

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณซิลิกอนในแกลบลดลง ในขณะที่ การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณซิลิกอนในแกลบเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกอนในแกลบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 องค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ใน ฟาง ข้าวสาร และแกลบ

ตำรับทดลอง	ซิลิกอน [SiO_2 (%)]		
	ฟาง	ข้าวสาร	แกลบ
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	13.21	0.133	25.35^{ab}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	12.14	0.126	23.37^{b}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	13.54	0.135	25.45^{ab}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	13.98	0.142	27.35^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	14.55	0.149	27.70^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	14.49	0.147	27.66^{a}
F-value	1.79^{NS}	0.88^{NS}	2.99 *
CV	9.33 %	11.49 %	8.21 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 องค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุพิษ

องค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุพิษของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ที่ทำการศึกษาคือ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม โดยศึกษาในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ ทั้งนี้ ปริมาณธาตุพิษ ใช้ กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) ในอัตราส่วน 2 :1 เป็น สารสกัด ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICPMS) ซึ่งผลการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ฟางข้าว**

1) นิกเกิล (Ni)

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.16) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 3.79 mg/kg เป็น 5.15 5.35 และ 5.09 mg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร b, a และ F-value = 8.71*) แต่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (3.59 mg/kg) และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน (3.98 mg/kg) กลับไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (กลุ่มอักษร b เดียวกัน)

กล่าวโดยสรุปสำหรับปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ได้ว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าว ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะ ต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2) แคดเมียม (Cd)

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.16) ทุกตำรับทดลองมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้กล่าวคือ ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวัด ได้จากเครื่อง ICPMS น้อยกว่า 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (µg/kg)

3) อลูมิเนียม (Al)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่4.16) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะ ทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของ

ฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 50.13 mg/kg เป็น 84.79 86.45 และ 79.87 mg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร b, a และ F-value = 11.22*) แต่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (48.00 mg/kg) และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน (58.46 mg/kg) กลับไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของฟางข้าวในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (กลุ่มอักษร b เดียวกัน)

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของฟางข้าว ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

- **ข้าวสาร**

1) นิกเกิล (Ni)

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.17) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.88 ^{NS}) โดยปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของข้าวสาร จะอยู่ในช่วง 0.42 – 0.51 mg/kg โดยที่ การเติมปุ๋ยเคมี (0.48 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (0.50 mg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ (0.49 mg/kg) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (0.51 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในข้าวสารมากกว่าที่พบในดินเดิม (0.46 mg/kg) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติ

ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนา ล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของ ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของข้าวสาร

2) แคดเมียม (Cd)

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของข้าวสารในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ทุกตำรับทดลองมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้กล่าวคือ ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง ICPMS น้อยกว่า 10 μg/kg

3) อลูมิเนียม (Al)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่4.17) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 7.00 mg/kg เป็น 7.73 7.67 และ 7.68 mg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร bc, a และ F-value = 5.48*) ในขณะที่การเติมปูนมาร์ล 0.50

ตัน/ไร่ (6.65 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (อยู่กลุ่มอักษร c และ bc) แต่การเติมปุ๋ยเคมี (7.45 mg/kg) กลับมีแนวโน้มที่จะทำปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (อยู่กลุ่มอักษร ab และ bc)

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารลดลง ในขณะที่ การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของข้าวสารเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มที่จะทำให้ข้าวสารดูดดึงปริมาณอลูมิเนียมได้เพิ่มขึ้น

- **แกลบ**

1) นิกเกิล (Ni)

เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของแกลบ (ตารางที่4.18) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.51 ^{NS}) โดยปริมาณนิกเกิลที่แกลบดูดดึงได้ จะอยู่ในช่วง 2.85 – 3.17 mg/kg ทั้งนี้ การเติมปุ๋ยเคมี (2.97 mg/kg) เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (3.01 mg/kg) ระยะต้นข้าวแตกกอ (3.12 mg/kg) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (3.17 mg/kg) มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของแกลบ มากกว่าที่พบในดินเดิม (2.91 mg/kg) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติ

อาจสรุปได้ว่า การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ หรือไม่เติมสิ่งทดลองลงในดินนา ล้วนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของ ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของแกลบ

2) แคดเมียม (Cd)

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของแกลบในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ทุกตำรับทดลองมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้กล่าวคือ ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง ICPMS น้อยกว่า 10 µg/kg

3) อลูมิเนียม (Al)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของแกลบ (ตารางที่4.18) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของแกลบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 25.00 mg/kg เป็น 32.47 33.67 และ 32.67 mg/kg ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร b, a และ F-value = 7.78*) ในขณะที่การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (22.20 mg/kg) และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน (26.93 mg/kg) ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของแกลบ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (กลุ่มอักษร b เดียวกัน)

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการดูดดึงอลูมิเนียมของแกลบ ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้แกลบดูดดึงอลูมิเนียมได้เพิ่มขึ้นจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.16 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวด้านธาตุพิษ

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษในฟางข้าว		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	3.79[b]	trace	50.13[b]
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	3.59[b]	trace	48.00[b]
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	3.98[b]	trace	58.46[b]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	5.15[a]	trace	84.79[a]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	5.35[a]	trace	86.45[a]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	5.09[a]	trace	79.57[a]
F-value	8.71 *	-	11.22 *
% CV	18.29 %	-	26.64 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4) Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ กล่าวคือ มีค่าน้อยกว่า 10 µg/kg

ตารางที่ 4.17 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารด้านธาตุพิษ

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษในข้าวสาร		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	0.46	trace	7.00^{bc}
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	0.42	trace	6.65^{c}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	0.48	trace	7.45^{ab}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	0.50	trace	7.73^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	0.49	trace	7.67^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	0.51	trace	7.68^{a}
F-value	0.95^{NS}	-	5.48*
% CV	11.22 %	-	7.01 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4) Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ กล่าวคือ มีค่าน้อยกว่า 10 µg/kg

ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบด้านธาตุพิษ

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุพิษในแกลบ		
	นิกเกิล (mg/kg)	แคดเมียม (µg/kg)	อลูมิเนียม (mg/kg)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	2.91	trace	25.00[b]
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	2.85	trace	22.20[b]
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	2.97	trace	26.93[b]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	3.01	trace	32.47[a]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	3.12	trace	33.67[a]
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	3.17	trace	32.67[a]
F-value	1.51[NS]	-	7.78 *
% CV	6.16 %	-	18.28 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4) Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ กล่าวคือ มีค่าน้อยกว่า 10 µg/kg

4.4.3 องค์ประกอบทางเคมีด้านคุณภาพข้าว

องค์ประกอบทางเคมีคุณภาพข้าวประกอบด้วยปริมาณอมิโลส (Amylose) และความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) ซึ่งเป็นคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ เมื่อแยกวิเคราะห์ ตามการวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี (งามชื่น คงเสรี, 2542) ของข้าวสารในตำรับทดลองดินเดิม (ชุดควบคุม) การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ การเติมปุ๋ยเคมี รวมถึงการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ซึ่งผลการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ปริมาณอมิโลส**

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอมิโลสของข้าวสาร (ตารางที่ 4.19) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอมิโลสในข้าวสารมีค่าลดลง แต่ไม่ถึงขั้นก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าวสำหรับอมิโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เพราะปริมาณอมิโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีค่าอยู่ในช่วง 12-18 % (งามชื่น คงเสรี, 2542: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) แต่มีผลทำให้ปริมาณอมิโลสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 16.86 % เป็น 14.82 14.83 และ 14.09 % ตามลำดับ (อยู่กลุ่มอักษร a, b และ F-value = 6.19*) ส่วนการเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ (17.00 %) และการเติมปุ๋ยเคมี (17.18 %) ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอมิโลส เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองดินเดิม (กลุ่มอักษร a เดียวกัน)

แสดงว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอมิโลสของข้าวสาร ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอมิโลสของข้าวสารลดลงจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

- **ความคงตัวของแป้งสุก**

เมื่อพิจารณาความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.19) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.24^{NS}) โดยความคงตัวของแป้งสุกจะมีค่าอยู่ในช่วง 78.0-82.7 มิลลิเมตร (มม.) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ค่าความคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิมเท่ากับ 79.50 มิลลิเมตร เป็น 81.66 81.67 และ 81.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีความต่างทางสถิติ และไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าวสำหรับความคงตัวของแป้งสุก ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เพราะความคงตัวของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แป้งสุก ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีค่าอยู่ในช่วง 61.0-100.0 มิลลิเมตร (งามชื่น คงเสรี, 2542: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3)

แสดงว่า การเติมสิ่งทดลองได้แก่ ปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสาร

ตารางที่ 4.19 องค์ประกอบทางเคมีด้านคุณภาพข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของคุณภาพข้าว	
	ปริมาณอมิโลส (%)	ความคงตัวของแป้งสุก (มม.)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	16.86[a]	79.50
ดินเดิม +ปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่	17.00[a]	78.00
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	17.18[a]	79.00
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ทำเทือก)	14.82[b]	81.66
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะแตกกอ)	14.83[b]	81.67
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ (ที่ระยะตั้งท้อง)	14.09[b]	81.00
F-value	6.19*	0.24[NS]
CV	9.37 %	5.55 %

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

2) * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %

3) NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %