

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

### คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งเพื่อปรับปรุงดิน

การทดลองเลือกใช้วัสดุเหลือทิ้งเพื่อปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในการปลูกข้าว 4 ชนิด ได้แก่ ชังข้าวโพด (Corn cob, CC) ขุยมะพร้าว (Coir pith, CP) ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยด่าง (0.1 M NaOH) (CPm) และ เปลือกส้ม (Orange peel, OP) ซึ่งการทดลองได้วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหล่านี้ เช่น organic matter ค่าพีเอช ปริมาณเซลลูโลส ปริมาณลิกนิน และแคดเมียมที่ปนเปื้อน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดิน

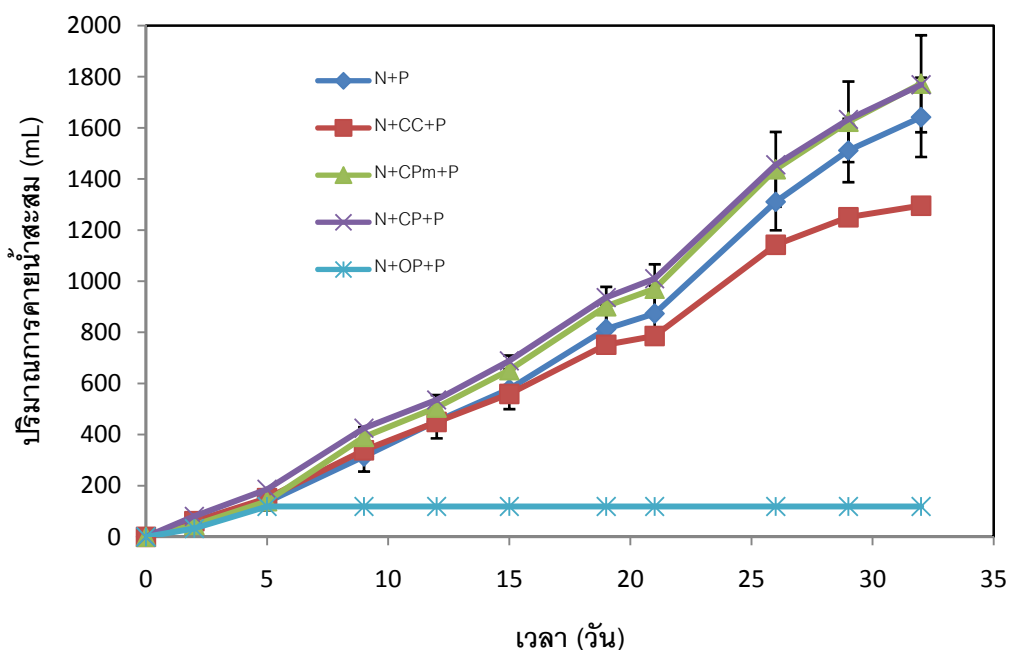
วัสดุปรับปรุงดิน	พารามิเตอร์				
	OM (%)	pH	Cd (mg Cd/kg)	Cellulose <sup>a</sup> (%)	Lignin <sup>b</sup> (%)
ชังข้าวโพด(CC)	98.7 ± 1.27	5.80 ± 0.15	0	50.5	15.0
ขุยมะพร้าว (CP)	92.15 ± 2.48	5.52 ± 0.18	0	45.6	37.5
ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยด่าง (CPm)	91.45 ± 0.35	6.18 ± 0.01	0	41.2	41.4
เปลือกส้ม (OP)	91.85 ± 1.20	5.01 ± 0.16	0.145	13.61	2.10

หมายเหตุ a,b นำข้อมูลมาจาก Wannapeera *et al.* (2008) , Ewecharoen *et al.*(2008), Vesveris *et al.*(2007)

จากผลการทดลองพบว่า วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินทั้ง 4 ชนิดล้วนมีปริมาณสารอินทรีย์ (organic matter) สูง โดยชังข้าวโพดมีปริมาณสารอินทรีย์สูงสุดโดยมีค่าสูงถึงร้อยละ 98.7±1.27 ซึ่งปริมาณ สารอินทรีย์ที่สูงจะช่วยให้การดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้นเนื่องจาก มีกลุ่มของ COO<sup>-</sup> groups ดูดซับโลหะหนักไว้ด้วยพันธะที่แข็งแรง (Reichman, 2002) ซึ่งจากผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่สูงของชังข้าวโพด ขุยมะพร้าว ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยด่างและเปลือกส้มจึงมีแนวโน้มว่าจะสามารถเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้และจากผลการทดลอง ยังพบว่าเปลือกส้มมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง โดยมีค่า 0.145 mg Cd/kg

### ผลของชนิดของวัสดุปรับปรุงดินต่อปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่มีสารปนเปื้อนแคดเมียม

ผลการทดลองศึกษาปริมาณของการคายน้ำสะสม (cumulative transpiration) ของต้นข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินที่ไม่มีสารปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้วัสดุในการปรับปรุงดินต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 ซึ่งจากการทดลองพบว่าขุยมะพร้าว (CP) และขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) ไม่ได้ขัดขวาง (inhibit) ต่อปริมาณการคายน้ำ (transpiration) ของต้นข้าวทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองแสดงว่าค่าปริมาณการคายน้ำไม่มีแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นสารปรับปรุงดิน (ไม่มีแคดเมียมปนเปื้อน) มีปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวต่ำกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้ใส่สารปรับปรุงดิน (N+P) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าซังข้าวโพดที่ใช้เป็นสารปรับปรุงดินอาจขัดขวางการคายน้ำของพืช อีกทั้งซังข้าวโพดน่าจะมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น และเมื่อใช้เปลือกส้ม (OP) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน พบว่าปริมาณการคายน้ำต่ำที่สุดเนื่องจากต้นข้าวตายหลังจากปลูกได้ 5 วัน ซึ่งสาเหตุที่ต้นข้าวตายอาจเนื่องจากในเปลือกส้มมีสารไลโมนีน (Limonene) ซึ่งป็นน้ำมันหอมระเหยชนิดหนึ่ง Ibrahim *et al* (2004) พบว่าสารไลโมนีนจะทำให้การสะสมของสารอาหาร (biomass) ที่จะเข้าสู่รากและลำต้นลดลงซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของคลอโรฟิลล์ และอัตราการไหลของน้ำออกจากปากใบ (stomatal conductance) อีกทั้งจากตารางที่ 4.1 พบว่าในเปลือกส้มมีแคดเมียมในเปลือกส้มสูงถึง 0.145 mg Cd/kg ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ต้นข้าวตายในเวลาเพียง 5 วัน



ภาพที่ 4.1 ปริมาณการคายน้ำสะสมของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่มีสารปนเปื้อนแคดเมียม (N) โดยมีการใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินแตกต่างกัน (ซังข้าวโพด : CC, ขุยมะพร้าว : CP, ขุยมะพร้าวปรับสภาพด้วยต่าง : CPm, เปลือกส้ม : OP)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการคายน้ำสะสมของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
N+P	1641.55 ± 155.28 c
N+CC+P	1295.74 ± 18.78 b
N+CPm+P	1772.76 ± 189.85 c
N+CP+P	1768.66 ± 30.77 c
N+OP+P	118.91 ± 46.20 a

1. CC: ขุยมะพร้าว, CPm: ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยด่าง, CP: ขุยมะพร้าว, OP: เปลือกส้ม, N: ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม
2. ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

ผลของการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ (4 mg Cd/kg Soil) และการคายน้ำของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน

ดินที่นำมาใช้ในการปลูกข้าวมาจากดินนาในเทศบาลแม่กุ อำเภอมะนัง จังหวัดตาก ซึ่งคุณลักษณะทางเคมีของดินแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะทางเคมีของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

พารามิเตอร์	ดินปนเปื้อนแคดเมียม
Organic matter (OM) %	11.45 ± 5.45
pH	7.06 ± 0.13
Cd conc. (mg Cd.kg <sup>-1</sup> )	4.0

และจากผลการทดลองไปวิเคราะห์ ICP พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมจากดินนาในเทศบาลแม่กุ มีความเข้มข้นประมาณ 4 mg Cd/kg ซึ่งจัดเป็นการปนเปื้อนแคดเมียมในนาในระดับต่ำ

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการระเหยของน้ำสะสม (cumulative evaporation) ของดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N) และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณต่ำเมื่อใส่สารปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน โดยไม่ได้มีการปลูกข้าว ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้วัสดุปรับปรุงดินในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม เช่น ชั่งข้าวโพด (CC) ขุยมะพร้าว (CP) และขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) จะช่วยให้ดินอุ้มน้ำส่งผลให้การระเหยของน้ำลดลง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่ได้เติมวัสดุปรับปรุงดิน (N) จะมีปริมาณการระเหยของน้ำสะสมสูงกว่าดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน

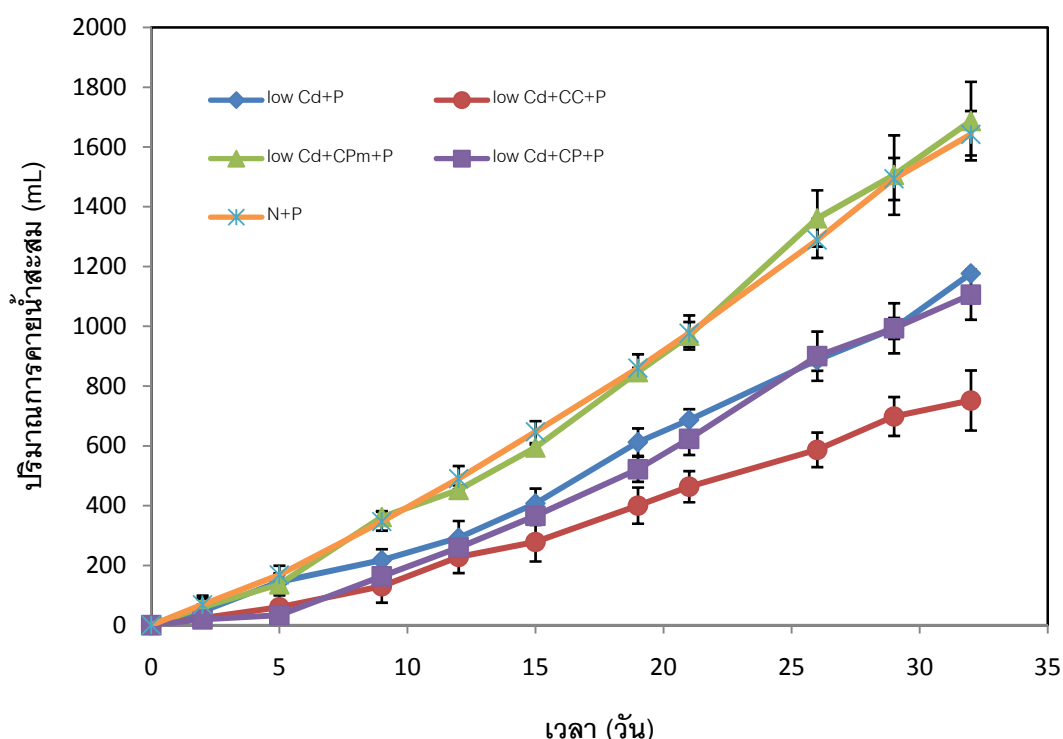
**ตารางที่ 4.4** การระเหยของน้ำสะสม (cumulative evaporation) ของดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N) ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำที่ใส่วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน

วัน	low Cd (mL)	low Cd + CC (mL)	low Cd + CP (mL)	low Cd + CPm (mL)	N (mL)
0	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a
5	486.7 ± 63.3 a	450.0 ± 43.3 a	470.0 ± 54.8 a	440.0 ± 56.6 a	258.3 ± 52.0 a
9	813.3 ± 40.1 c	733.3 ± 55.1 abc	705.0 ± 75.2 ab	645.0 ± 56.6 a	776.7 ± 33.3 bc
15	1176.7 ± 42.5 b	1045.0 ± 31.2 a	1047.5 ± 67.3 a	1037.5 ± 67.2 a	1188.3 ± 27.5 b
21	1583.3 ± 72.5 b	1376.7 ± 59.7 a	1400.0 ± 98.5 a	1395.0 ± 56.6 a	1656.7 ± 24.7 b
26	2085.0 ± 90.0 b	1776.7 ± 59.7 a	1770.0 ± 120.6 a	1757.5 ± 31.8 a	2131.7 ± 46.5 b
32	2463.3 ± 123.9 b	2141.7 ± 65.1 a	2157.5 ± 130.0 a	2145.0 ± 49.5 a	2608.3 ± 48.0 b

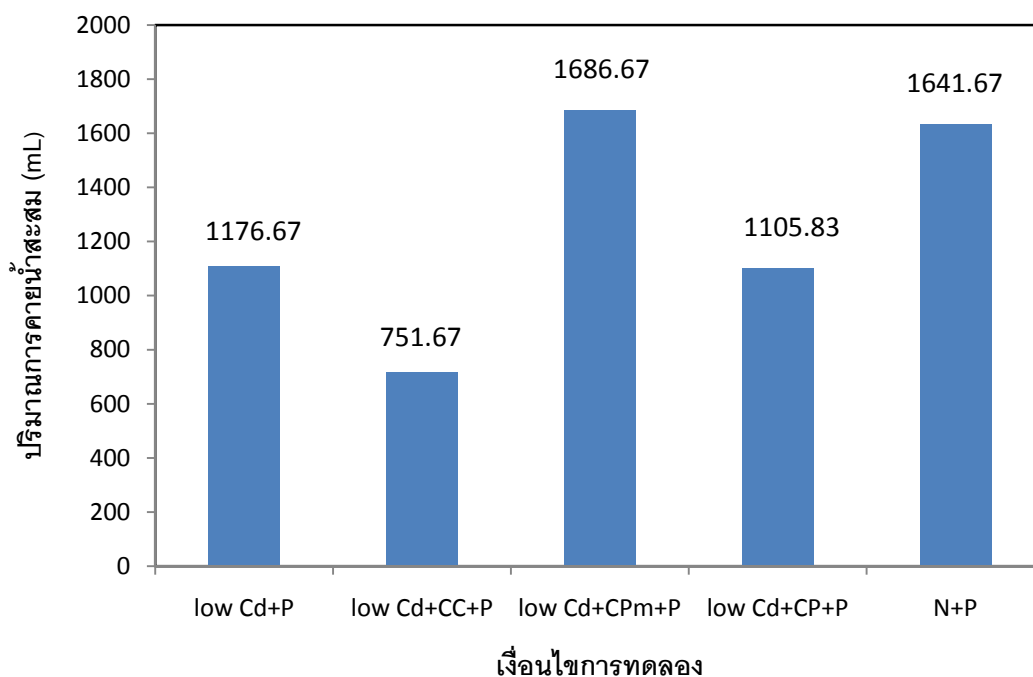
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

ภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณการคายน้ำสะสม (cumulative transpiration) เมื่อใช้วัสดุต่างชนิดกันในการปรับปรุงดิน ผลการทดลองพบว่าการปลูกต้นข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ (low Cd+P) และ ดินธรรมดาไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N+P) จากผลการทดลองพบว่าการเติมชั่งข้าวโพด (low Cd +CC+P) เป็นสารปรับปรุงดินในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ จะทำให้ปริมาณการคายน้ำลดลง (แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ) เมื่อเทียบกับดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่เติมสารปรับปรุงดิน (low Cd+P) โดยลดจาก 1176.67 mL เหลือ 751.67 mL ส่วนการเติมขุยมะพร้าว (low Cd+CP+P) ในดินปนเปื้อนแคดเมียมผลการทดลองจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่เติมสารปรับปรุงดิน (low Cd+P) ส่วนขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (low

Cd+CPm+P) เมื่อเติมในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมไม่ได้ขัดขวาง (inhibit) ต่อปริมาณการคายน้ำ (transpiration) ของพืชโดยจากรูปจะเห็นว่าปริมาณการคายน้ำสูงสุด และเมื่อพิจารณาปริมาณการคายน้ำของพืชที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd+P) และดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N+P) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พืชที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd+P) จะส่งผลให้ปริมาณการคายน้ำลดลง และจากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการคายน้ำเมื่อใส่สารปรับปรุงดินที่แตกต่างกันผลการทดลองพบว่าการใช้ซังข้าวโพด (low Cd+CC+P) เติมลงในดินปนเปื้อนแคดเมียมในการปลูกข้าวจะทำให้การคายน้ำต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใช้วัสดุชนิดอื่นๆ อาจเนื่องจากว่าซังข้าวโพดมีการอุ้มน้ำได้ดีกว่าวัสดุตัวอื่นๆ

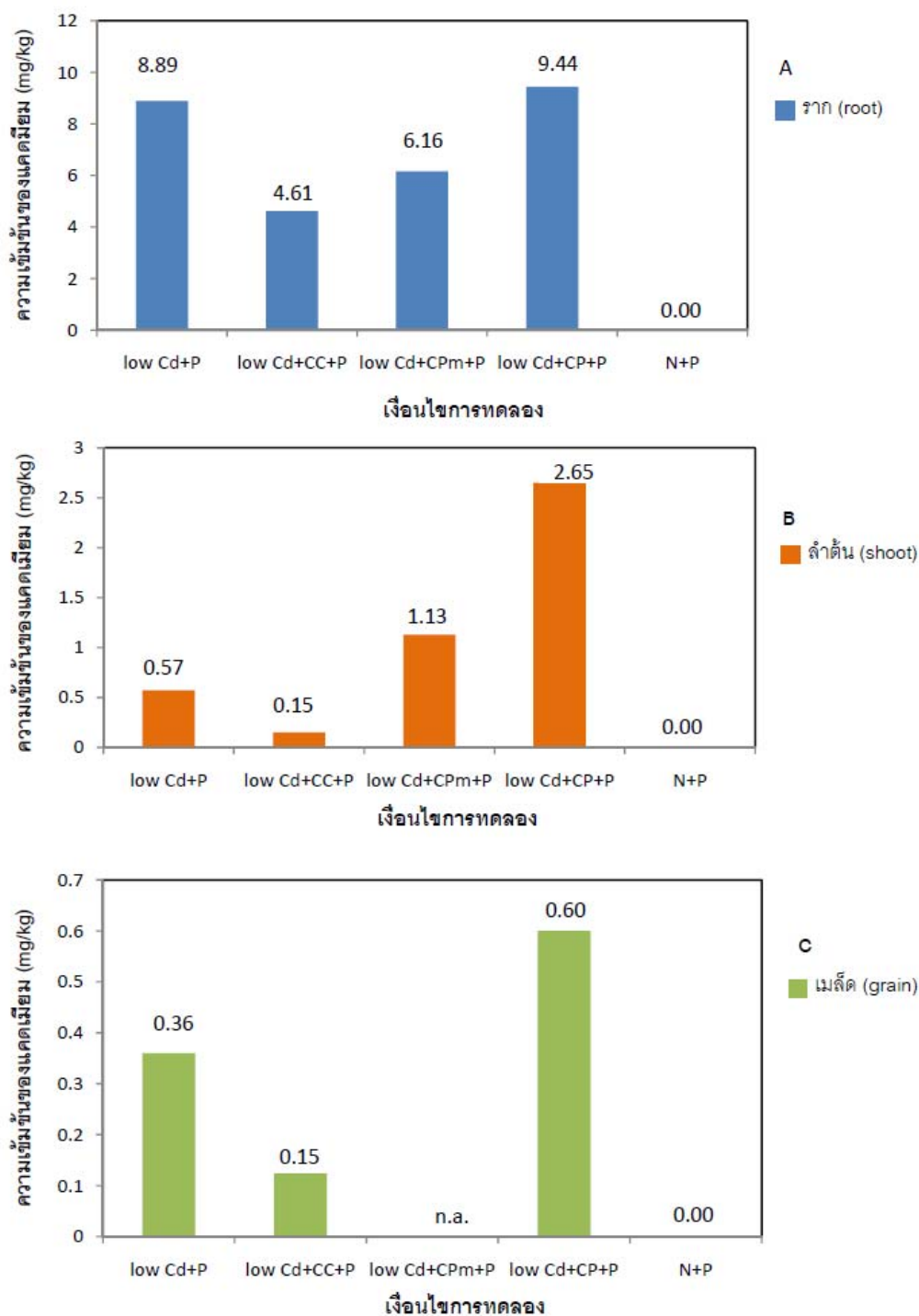


ภาพที่ 4.2 การคายน้ำสะสมของต้นข้าวเมื่อปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม(N+P) ดินปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd+P) และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำที่ใส่วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil )



ภาพที่ 4.3 การคายน้ำสะสมของต้นข้าวในวันที่ 32 เมื่อปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม(N+P) ดินปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd+P) และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมต่ำที่ใส่วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

นอกจากนี้การทดลองได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่กระจายตัวในส่วนของราก (root) ลำต้น (shoot) และเมล็ด (grain) โดยใส่วัสดุปรับปรุงดินต่างกัน (low Cd+CC+P, low Cd+CP+P, low Cd+CPm+P) และ ไม่ใส่สารปรับปรุงดินแต่ดินปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd+P) และดินธรรมดาไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N+P) แสดงดังภาพที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5-4.7



ภาพที่ 4.4 ปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินแตกต่างกัน (สะสมในราก (A), สะสมในลำต้น (shoot) (B) สะสมในเมล็ด (C) (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมในรากของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในราก วันที่ 40 (mg Cd/kg DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
low Cd+P	8.89 ± 0.26 c	1176.67 ± 5.00 b
low Cd+CC+P	4.61 ± 0.02 b	751.67 ± 100.54 a
low Cd+CPm+P	6.16 ± 1.32 b	1686.67 ± 131.37 c
low Cd+CP+P	9.44 ± 0.07 c	1105.83 ± 83.72 b
N+P	0.00 ± 0.00 a	1641.67 ± 78.58 c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

ตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการทดลองปลูกพืชได้ประมาณ 40 วัน เมื่อใช้ซังข้าวโพด(CC) และขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) เป็นวัสดุปรับปรุงดินจะมีแคดเมียมสะสมในรากต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขุยมะพร้าว (CP) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยมีปริมาณแคดเมียมในราก ประมาณ  $4.61 \pm 0.02$  mgCd/kg dry weight และ  $6.16 \pm 1.3$  mgCd/kg dry weight สำหรับการใส่ซังข้าวโพด (CC) และ ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) เป็นวัสดุปรับปรุงดินตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ปริมาณแคดเมียมในรากเมื่อใช้ซังข้าวโพดและขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) เป็นวัสดุปรับปรุงดินพบว่าปริมาณแคดเมียมในรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแคดเมียมในรากเมื่อใช้ของวัสดุปรับปรุงดินทั้งสองชนิดยังมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (CP) และเมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในรากข้าวเมื่อใช้วัสดุการปรับปรุงดินต่างกันจากปริมาณสูงไปต่ำ พบว่าดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่เติมสารปรับปรุงดิน (low Cd) = ดินที่เติมขุยมะพร้าว (CP) > ดินที่เติมขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง CPm= ดินที่เติมซังข้าวโพด (CC) และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณการคายน้ำสะสมเมื่อมีการทดลองปลูกต้นข้าว 32 วัน พบว่าปริมาณการคายน้ำน้อยที่สุดของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุซังข้าวโพดเป็นสารปรับปรุงดิน โดยปริมาณการคายน้ำ (transpiration) ของต้นข้าวลดลง จาก  $1176.67 \pm 5.00$  mL เหลือเพียง  $751.67 \pm 100.54$  mL เมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และจากผลการทดลองยังพบว่าถ้าปลูกข้าวในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม (low Cd) จะทำให้ปริมาณการคายน้ำลดลง (แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ) เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกพืชในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N) ซึ่งอาจจะเนื่องจากการปลูกข้าวเมื่อดินมีแคดเมียมปนเปื้อนจะทำให้ปากใบปิด (Prasad, 1996) ทำให้ปริมาณการคายน้ำน้อยเมื่อ

เปรียบเทียบกับ การปลูกข้าวในดินที่ไม่มีแคดเมียมปนเปื้อน (N+P) และโดยทั่วไปแล้วการสะสมแคดเมียมในรากจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวโดยเมื่อพืชมีการคายน้ำต่ำ จะทำให้การสะสมของแคดเมียมในรากต่ำด้วย เช่นเดียวกับเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะทำให้การสะสมของแคดเมียมในรากต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากซังข้าวโพดมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่นทำให้การดึงดูดของ น้ำ และ สารอาหาร จากดิน สู่อากพืชต่ำไปด้วย ส่งผลให้แคดเมียมเข้าไปยังรากต่ำและปริมาณการคายน้ำก็ต่ำไปด้วย

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการคายน้ำก็ไม่น่าจะเป็นปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อการดูดซับแคดเมียม โดยจากผลการทดลอง พบว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดินจะมีปริมาณการคายน้ำสูงสุด แต่ปริมาณแคดเมียมสะสมในรากต่ำกว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าวไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (CP) เป็นสารปรับปรุงดิน ทั้งนี้อาจเนื่องจากขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (NaOH) สามารถจับกับแคดเมียมสูงกว่าวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ เนื่องจาก Cd เข้าไปแทนที่ Na บนขุยมะพร้าว เกิดการจับ (bind) กันด้วยพันธะการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) จึงทำให้มีการดูดซับแคดเมียมในปริมาณที่สูง จึงทำให้การลดลงของแคดเมียมในดิน ซึ่งถ้ามีแคดเมียมในดินลดลงจึงทำให้ปากใบของต้นข้าวเปิดได้มากกว่าดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อนน้อย ดังนั้นปริมาณการคายน้ำจึงสูงที่สุด

**ตารางที่ 4.6** ปริมาณแคดเมียมในลำต้นของข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิด (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในลำต้น วันที่ 40 (mg Cd/kg DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสม วันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
low Cd+P	0.57 ± 0.28 b	1176.67 ± 5.00 b
low Cds+CC+P	0.15 ± 0.02 a	751.67 ± 100.54 a
low Cd+CPm+P	1.13 ± 0.22 c	1686.67 ± 131.37 c
low Cd+CP+P	2.65 ± 0.06 d	1105.83 ± 83.72 b
N+P	0.00 ± 0.00 a	1641.67 ± 78.58 c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

จากผลการทดลองศึกษาปริมาณแคดเมียมในลำต้น (ตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.4 B) พบว่าเมื่อใช้ซังข้าวโพด (low Cd+CC+ P) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะทำให้การสะสมแคดเมียมในลำต้นต่ำสุด ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากมีปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวต่ำสุดด้วย โดยมีปริมาณแคดเมียมที่สะสมใน

ลำต้นเท่ากับ  $0.15 \pm 0.02$  mgCd/kg dry weight ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ที่ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน นอกจากนี้จากผลการทดลอง ตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า เมื่อใช้ขุยมะพร้าว (low Cd+CP+P) และขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (low Cd+CPm+P) เป็นวัสดุปรับปรุงดินในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม ขุยมะพร้าวจะถูกละลายกลายเป็นกรด humic และกรด fulvic (Weber, 2011; Stevenson, 1982) ซึ่งจะทำให้มวลโมเลกุล (molecular weight) ของวัสดุปรับปรุงดินต่ำดังนั้นจึงทำให้แคดเมียมเคลื่อนเข้าไปในลำต้น (shoot) ได้ง่ายขึ้น และจากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 พบว่าการสะสมของแคดเมียมในลำต้นของข้าวเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดินมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ

**ตารางที่ 4.7** ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิด (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดวันที่ 40 (mg Cd/kg DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
low Cd+P	$0.36 \pm 0.010$ c	$1176.67 \pm 5.00$ b
low Cd+CC+P	$0.15 \pm 0.001$ b	$751.67 \pm 100.54$ a
low Cd+CPm+P	n.a.	$1686.67 \pm 131.37$ c
low Cd+CP+P	$0.60 \pm 0.001$ d	$1105.83 \pm 83.72$ b
N+P	$0.00 \pm 0.000$ a	$1641.67 \pm 78.58$ c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

ตารางที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.4 C แสดงปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าว ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะทำให้มีแคดเมียมสะสมในเมล็ดข้าวต่ำสุดเพียง  $0.15$  mgCd/kg dry weight ซึ่งก็จัดว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของแคดเมียมในเมล็ดข้าวซึ่งตามมาตรฐาน ของ Codex Committee on Food Additives and Contaminants (CCFAC) (Simon *et al*, 2005) กำหนดไว้ที่ไม่เกิน  $0.2$  mgCd/kg) และเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่เติมสารปรับปรุงดิน (low Cd+P) ยังพบว่ามีการลดลงจาก  $0.36 \pm 0.010$  mgCd/kg dry weight เหลือแคดเมียม  $0.15$  mgCd/kg dry weight ในเมล็ดข้าวเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และจากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าว (low CdsCP+P) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน มีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวสูงเกินมาตรฐาน โดยมีค่าเท่ากับ  $0.60 \pm 0.001$  mgCd/kg dry weight และนอกจากนี้พบว่าจะไม่พบเมล็ดข้าวเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินเป็นขุยมะพร้าว

ที่ปรับสภาพด้วยต่าง (low Cd+CP+P) พบเพียงเปลือกของข้าวเท่านั้น จึงไม่สามารถวิเคราะห์การสะสมของแคดเมียมในเมล็ดข้าวได้ (n.a)

ดังนั้นจากข้อมูลตารางที่ 4.5-4.7 และ ภาพที่ 4.4 พบว่า ปริมาณการคายน้ำน่าจะมีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโดยปริมาณการคายน้ำน้อยจะทำให้มีปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวด้วย จากผลการทดลองพบว่า หากใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดินจะทำให้ต้นข้าวมีการสะสมของแคดเมียมในเมล็ดข้าวต่ำสุด จึงน่าจะเลือกซังข้าวโพดเป็นสารปรับปรุงดิน

**ศึกษาน้ำหนักแห้งต้นข้าวต่อชนิดของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินที่ต่างกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)**

**ตารางที่ 4.8** น้ำหนักแห้งของต้นข้าว (dry weight of plants) ในวันที่ 40 และปริมาณการคายน้ำสะสมของต้นข้าวในวันที่ 32 และ เมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)	น้ำหนักแห้งของต้นข้าว วันที่ 40 (g)
low Cd+P	1176.67 ± 5.00 b	2.89 ± 0.36 b
low Cd+CC+P	751.67 ± 100.54 a	2.04 ± 0.27 a
low Cd+CPm+P	1686.67 ± 131.37 c	2.64 ± 0.12 ab
low Cd+CP+P	1105.83 ± 83.72 b	2.99 ± 0.29 b
N+P	1641.67 ± 78.58 c	3.00 ± 0.10 b

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวในวันที่ 40 และปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวในวันที่ 32 เมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินต่างชนิดกัน ซึ่งผลการทดลองพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นข้าวเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดินน้ำหนักจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกข้าวที่ไม่มีแคดเมียมปนเปื้อน (N+P) การปลูกข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนโดยไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (lowCd+P) และเมื่อ

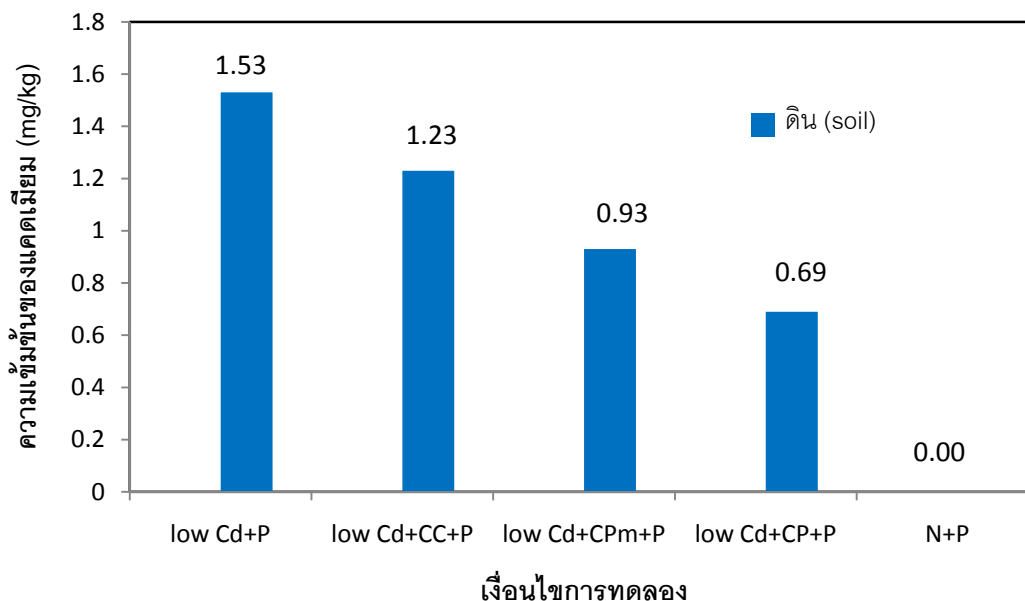
ใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน แต่น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปลูกข้าวโดยใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ผลของชนิดของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่อปริมาณของแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดิน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดินเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil )

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในดิน หลังจากปลูกข้าว 40 วัน (mg Cd kg <sup>-1</sup> soil)	ปริมาณการคายน้ำสะสม วันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
Cds+P	1.53 ± 0.2 d	1176.67 ± 5.00 b
Cds+CC+P	1.23 ± 0.08 cd	751.67 ± 100.54 a
Cds+CPm+P	0.93 ± 0.11 bc	1686.67 ± 131.37 c
Cds+CP+P	0.69 ± 0.17 b	1105.83 ± 83.72 b
N+P	0.00 ± 0.000 a	1641.67 ± 78.58 c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test



ภาพที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดินเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

ซึ่งจากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.5) พบว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าว (CP) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะทำให้แคดเมียมเหลืออยู่ในดินค่อนข้างต่ำประมาณ  $0.69 \pm 0.17$  mgCd/kg soil และมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ( $0.93 \pm 0.11$  mgCd/kg soil) ซึ่งเมื่อใช้วัสดุทั้งสองเป็นวัสดุปรับปรุงดินจะมีแคดเมียมในดินน้อยกว่าเมื่อปลูกข้าวบนดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมแต่ไม่ใช้สารปรับปรุงดิน (low Cd+P) ( $1.53 \pm 0.2$  mgCd/kg soil) ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอาจจะเนื่องมาจากแคดเมียมมีการดูดซับเข้าไปในลำต้นและเมล็ดข้าวสูงทำให้เหลือแคดเมียมในดินต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปลูกข้าวบนดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมแต่ไม่ใช้สารปรับปรุงดิน (low Cd+P)

และเมื่อพิจารณาผลของซึ่งข้าวโพดพบว่าปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดินหลังจากปลูกข้าวได้ 40 วัน มีปริมาณแคดเมียมประมาณ  $1.23 \pm 0.08$  mgCd/kg soil ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับใช้วัสดุอื่นเป็นสารปรับปรุงดิน จึงทำให้โอกาสที่แคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น และเมล็ด ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับใช้วัสดุตัวอื่นในการปรับปรุงดินซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์แคดเมียมในส่วนของ ลำต้น และเมล็ดที่มีปริมาณแคดเมียมอยู่ที่ต่ำเมื่อใช้ซึ่งข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ผลชนิดของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของน้ำและดินในการปลูกข้าวต่างกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil)

ตารางที่ 4.10 ค่าพีเอชของน้ำ และ ดิน ในการปลูกข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ 4 mgCd/kg soil )

พารามิเตอร์	low Cd + P	low Cd + CC + P	low Cd + CP+ P	low Cd + CPm + P	low Cd + OP+ P
solution pH:					
4 <sup>th</sup> day	8.51 ± 0.07	7.88 ± 0.06	8.13 ± 0.03	8.46 ± 0.11	5.51 ± 0.06
23 <sup>rd</sup> day	7.05 ± 0.09	7.42 ± 0.15	8.12 ± 0.03	7.17 ± 0.14	n.a.
40 <sup>th</sup> day	7.98 ± 0.10	7.09 ± 0.10	7.89 ± 0.13	7.83 ± 0.10	n.a.
soil pH:					
1 <sup>st</sup> day	7.15	6.68	6.76	7.18	7.09
40 <sup>th</sup> day	7.64	7.63	7.13	7.34	n.a.

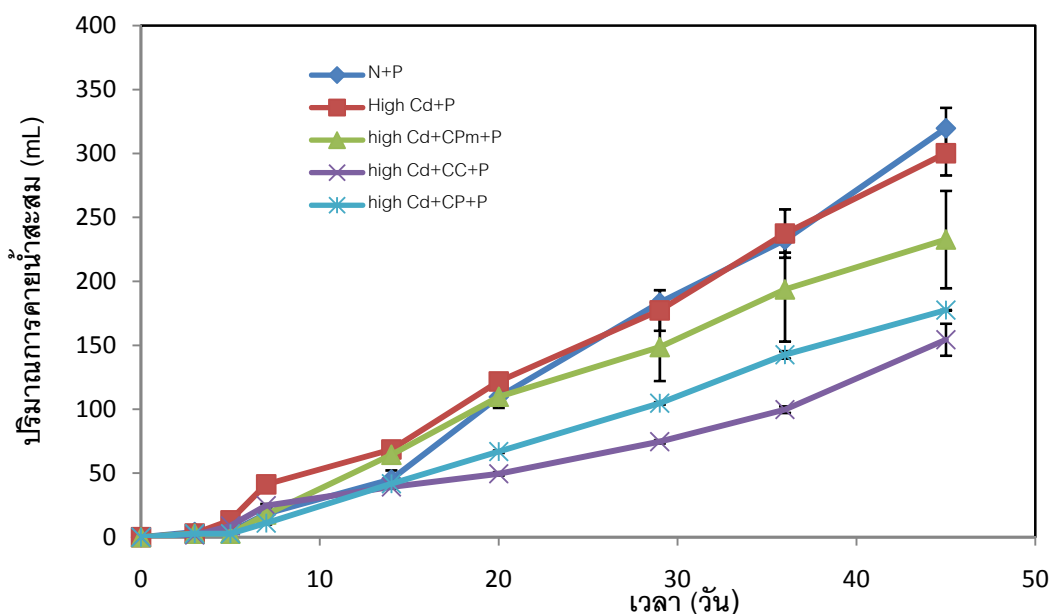
n.a = not available

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อวิเคราะห์พีเอชของน้ำในการปลูกข้าวในวันที่ 4, 23 และวันที่ 40 พบว่าค่าพีเอชลดลง และเมื่อนำดินมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ในวันที่ 1 และ วันที่ 40 พบว่า ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การที่พีเอชของน้ำในการปลูกข้าวลดลงอาจเนื่องจากการที่พืชดูดโลหะหนักทำให้ปลดปล่อย  $H^+$  จึงทำให้พีเอชลดลง (Sriprapat and Thiravetyan, 2011) ส่วนพีเอชของดินก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ผลของการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมสูง (145 mg Cd/kg Soil) และการคายน้ำของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน

การทดลองเลือกใช้วัสดุเพื่อปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในการปลูกข้าว 3 ชนิดได้แก่ ชังข้าวโพด (Corn cob, CC) ชุยมะพร้าว (Coir pith, CP) และชุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) ส่วนเปลือกส้มไม่ได้ศึกษาในเงื่อนไขที่ดินมีการปนเปื้อนแคดเมียมสูงเพราะต้นข้าวตายใน 2-3 วันแรก อาจเนื่องจาก ในเปลือกส้มมีสารไลโมนีน (limonene) เป็นน้ำมันหอมระเหยชนิดหนึ่ง ซึ่ง Irahim *et al* (2004) พบว่าสารไลโมนีนจะทำให้การสะสมของสารอาหาร (biomass) ที่จะเข้าสู่รากและลำต้นลดลงซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของคลอโรฟิลล์ และการอัตราการไหลของน้ำออกจากปากใบ (stomatal conductance)

โดยการทดลองใช้ดินปนเปื้อนแคดเมียมในการปลูกข้าวที่มีความเข้มข้นสูงในช่วง 96.26-215 mgCd/kg soil ซึ่งเฉลี่ย 145 mgCd/kg soil ซึ่งจะเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ว่า การเติมซังข้าวโพด (CC) ขุยมะพร้าว (CP) และขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) มีผลต่อการลดลงของแคดเมียมที่ถูกดึงเข้าไปในต้นข้าว ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้วัสดุต่างๆ เป็นวัสดุปรับปรุงดินจะมีผลต่อปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวเช่นเดียวกับการทดลองที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินต่างกันอัตราการคายน้ำของต้นข้าวก็แตกต่างกัน โดยมีปริมาณการคายน้ำจากสูงไปต่ำ ดังนี้ ดินปนเปื้อนแคดเมียมไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (high Cd>) > ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) > ซังข้าวโพด (CC) (ภาพที่ 4.6 ตารางที่ 4.11 และ ภาพที่ 4.7 ) สอดคล้องกับผลการทดลองของปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวเมื่อปลูกในที่มีแคดเมียมต่ำ (4 mgCd/kg soil )

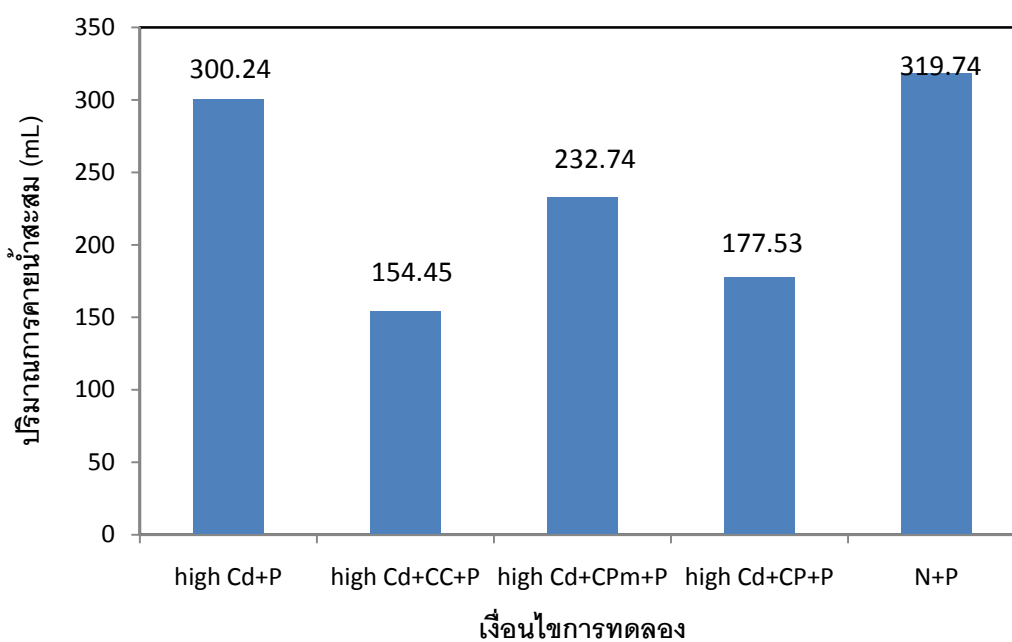


ภาพที่ 4.6 ปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N+P) ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ใส่วัสดุเหลือทิ้งที่ปรับปรุงดินต่างกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

ตารางที่ 4.11 ปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่อายุ 45 วัน เมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งในการปรับปรุงดิน ต่างกัน(สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 32 (Cumulative transpiration) (mL)
N+P	319.74 ± 16.04 c
high Cd+CC+P	154.45 ± 12.52 a
high Cd+CPm+P	232.74 ± 38.08 b
high Cd+CP+P	177.53 ± 0.18 ab
high Cd+P	300.24 ± 17.31 c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test



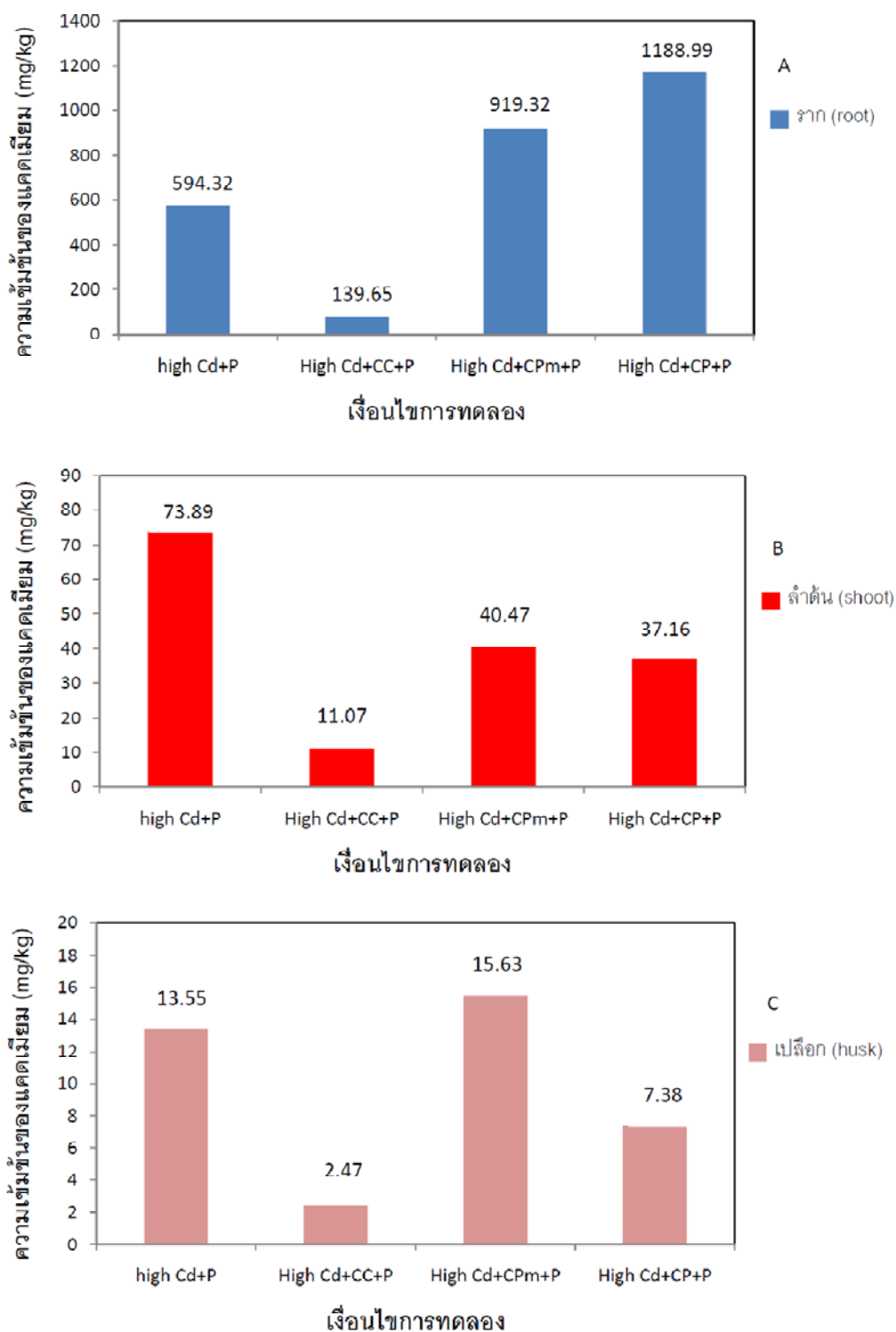
ภาพที่ 4.7 ปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่อายุ 45 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (N+P), ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (high Cd+P) ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและเติมวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างกัน (ซึ่งข้าวโพด:CC+P, ขุยมะพร้าว: CP+P, ขุยมะพร้าวปรับสภาพด้วยด่าง:CPm+P)(สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

จากการศึกษาของ Prasad (1995) พบว่าพืชที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมต่ำ ในช่วง 0.11-0.56 ppm ทำให้รากพืชเจริญเติบโตช้าแต่ไม่เป็นผลทำให้เป็นพืชต่อใบพืช เช่น จากการเพิ่มขึ้นของแรงดันเต่ง (turgor pressure) การเปิดของปากใบ และปริมาณการคายน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีหลักฐานสำหรับต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ความเข้มข้นสูงว่าจะมีความเป็นพืชต่อต้นข้าวอย่างไร ซึ่งแคดเมียมปริมาณสูงที่ถูกดูดเข้าไปในต้นข้าว อาจส่งผลต่อการคายน้ำ > การดูดน้ำของราก > การเปิดหรือปิดของปากใบ แต่อย่างไรก็ตามในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมสูง อัตราการคายน้ำจะลดลงทั้งนี้เนื่องจากรากพืชถูกทำลาย (Prasad, 1995)

จากผลการทดลองการสะสมของแคดเมียมในราก ในลำต้น และ เปลือกข้าว (ภาพที่ 4.8) และจากภาพที่ 4.8 A พบว่าปริมาณแคดเมียมในรากข้าวเมื่อใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (CP)  $\geq$  ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (CPm)  $\geq$  ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมแต่ไม่ได้ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (Cds)  $>$  เป็นซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (CC) และตารางที่ 4.12 พบว่าต้นข้าวที่ปลูกโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะมีปริมาณแคดเมียมในรากต่ำสุด ( $594.324 \pm 40.597$  mg Cd/kg dry weight) และปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุอื่นๆ เป็นวัสดุปรับปรุงดินแต่อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการสะสมแคดเมียมในรากข้าว โดยใช้วัสดุปรับปรุงดินแตกต่างกันกับปริมาณการคายน้ำของต้นข้าวที่ 45 วัน พบว่าไม่มีแนวโน้มแปรผันตามกัน เช่น เมื่อเปรียบเทียบการใช้วัสดุขุยมะพร้าวปรับสภาพด้วยต่าง และขุยมะพร้าว เป็นวัสดุปรับปรุงดิน พบว่าถึงแม้ปริมาณการคายน้ำของข้าวเมื่อใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จะต่ำกว่าปริมาณการคายน้ำของข้าวที่ใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดินแต่ปริมาณแคดเมียมในรากต้นข้าวเมื่อใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ( $1188.99 \pm 246.43$  mg Cd kg<sup>-1</sup> dry weight) จะสูงกว่าเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ( $919.33 \pm 226.92$  mg Cd kg<sup>-1</sup> dry weight) แสดงว่า ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) มีบทบาทในการดูดซับแคดเมียมเอาไว้ในขุยมะพร้าวปรับสภาพด้วยต่าง ซึ่งจะทำให้แคดเมียมไม่สามารถผ่านเข้าไปในชั้น epidermis ของรากต้นข้าวได้

**ตารางที่ 4.12** ปริมาณแคดเมียมในรากต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิด (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในรากวันที่ 50 (mg Cd kg <sup>-1</sup> DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 45 (Cumulative transpiration) (mL)
high Cd+P	594.32 ± 40.59 b	300.24 ± 17.31 c
high Cd+CC+P	139.65 ± 37.32 a	154.45 ± 12.52 a
high Cd+CPm+P	919.33 ± 226.92 bc	232.74 ± 38.08 b
high Cd+CP+P	1188.99 ± 246.43 c	177.53 ± 0.18 ab



ภาพที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินแตกต่างกัน (สะสมในราก (A), สะสมในลำต้น (shoot) (B) สะสมในเปลือก (C) (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

**ตารางที่ 4.13** ปริมาณแคดเมียมในลำต้นของข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิด (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคดเมียมในลำต้น วันที่ 50 (mg Cd kg <sup>-1</sup> DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสมวันที่ 45 (Cumulative transpiration) (mL)
high Cd+P	73.88 ± 21.10 d	300.24 ± 17.31 c
High Cd+CC+P	11.071 ± 3.70 ab	154.45 ± 12.52 a
high Cd+CPm+P	40.47 ± 3.96 c	232.74 ± 38.08 b
high Cds+CP+P	37.16 ± 10.11 bc	177.53 ± 0.18 ab

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

**ตารางที่ 4.14** ปริมาณแคดเมียมในเปลือกข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิด (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

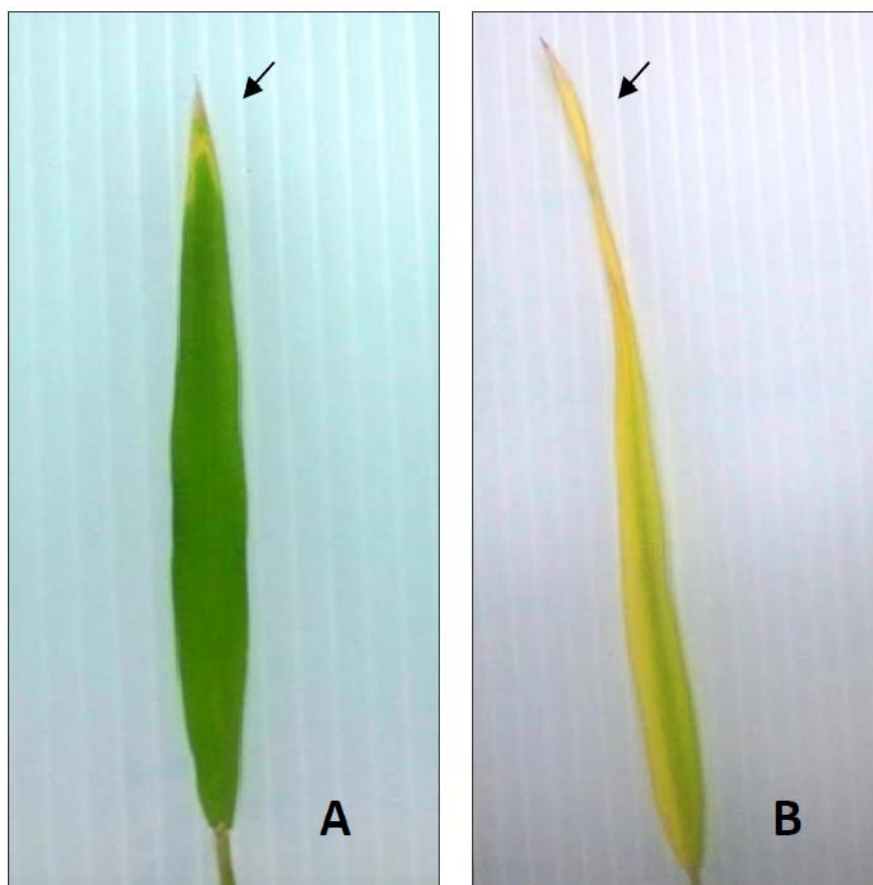
เงื่อนไขการ ทดลอง	ปริมาณแคดเมียมใน ลำต้นวันที่ 50 (mg Cd kg <sup>-1</sup> DW)	ปริมาณการคายน้ำสะสม วันที่ 45 (Cumulative transpiration)
high Cd+P	13.55 ± 1.66 c	300.24 ± 17.31 c
high Cd+CC+P	2.47 ± 0.82 a	154.45 ± 12.52 a
high Cd+CPm+P	15.63 ± 3.10 c	232.74 ± 38.08 b
high Cd+CP+P	7.38 ± 0.77 b	177.53 ± 0.18 ab

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกตาม Duncan multiple range test

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณแคดเมียมในลำต้นของต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินต่างๆ กัน ซึ่งผลการทดลองพบปริมาณแคดเมียมจากสูงไปต่ำดังนี้  $high Cd > CPm \geq CP \geq CC$  และจากตารางพบว่าเมื่อ ปริมาณการคายน้ำสะสม (45 วัน) เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณของแคดเมียมในลำต้นเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณการคายน้ำลดลง ปริมาณแคดเมียมในลำต้นก็ลดลงด้วย ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดินจะทำให้แคดเมียมที่สะสมในลำต้นข้าวน้อยที่สุดเหลือเพียง  $11.07 \pm 3.70 \text{ mg Cd kg}^{-1} DW$  ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการคายน้ำเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นสารปรับปรุงดินมีค่าต่ำสุด เหลือเพียง  $154.45 \pm 12.52 \text{ mL}$  และจากผลการทดลองในตารางที่ 4.13 ยังพบว่ากรณีที่แคดเมียมเคลื่อนที่จากรากไปสู่ลำต้นปัจจัยหนึ่งน่าจะมาจากชนิดของวัสดุปรับปรุงดินโดยพบว่าปริมาณแคดเมียมในลำต้นของการปลูกต้นข้าวเมื่อไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ( $high Cd$ ) จะมีปริมาณมากกว่าเมื่อใช้วัสดุต่างๆ ในการปรับปรุงดิน ถึงแม้ว่าปริมาณแคดเมียมในรากของการปลูกต้นข้าวเมื่อไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ( $high Cd$ ) จะมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัสดุปรับปรุงดินจะมีการดูดซับแคดเมียมไว้ในตัวมันเองทำให้แคดเมียมไม่สามารถจะเคลื่อนที่จากรากไปสู่ลำต้น

และจากผลของการทดลองในตารางที่ 4.14 พบว่า ปริมาณแคดเมียมในเปลือกข้าวเมื่อใช้วัสดุในการปรับปรุงดินแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า  $CPm = high Cd > CP > CC$  และการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการคายน้ำสะสมของต้นข้าวของวันที่ 45 กับปริมาณการสะสมแคดเมียมในเปลือกข้าวพบว่า เมื่อปริมาณแคดเมียมในเปลือกข้าวต่ำ ปริมาณการคายน้ำก็ต่ำด้วย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการคายน้ำต่อปริมาณแคดเมียมในลำต้น ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของวัสดุปรับปรุงดินก็มีผลต่อปริมาณการคายน้ำด้วย โดยเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุปรับปรุงดินจะทำให้แคดเมียมที่สะสมในเปลือกข้าวต่ำที่สุดเหลือเพียง  $2.47 \pm 0.82 \text{ mg Cd kg}^{-1} DW$  และจากผลการทดลองตารางที่ 4.14 ยังพบว่าปริมาณแคดเมียมในเปลือกข้าวเมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) จะมีค่าสูงสุด คือ  $15.63 \pm 3.10 \text{ mg Cd kg}^{-1} DW$  ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก เมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) เป็นวัสดุปรับปรุงดินข้าวจะออกรวงเร็วกว่าเมื่อใช้วัสดุอื่นๆ เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ทำให้การสะสมแคดเมียมหรือการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมจากรากมายังเปลือกข้าวได้มากกว่าเมื่อใช้วัสดุอื่นๆ เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

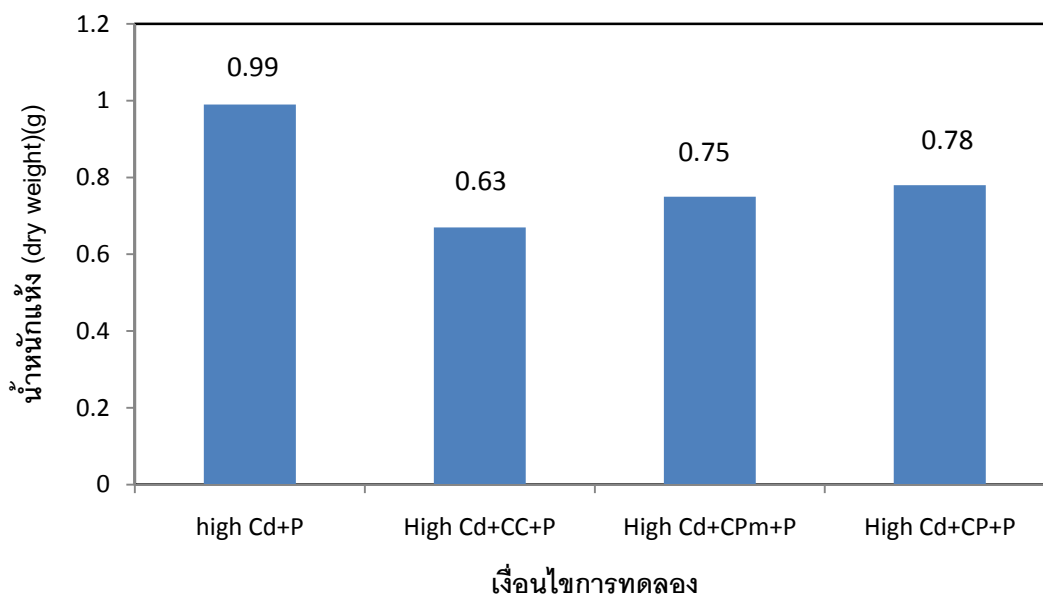
จากการสังเกตระหว่างการทดลองพบว่า เมื่อใช้ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่าง (CPm) เป็นวัสดุปรับปรุงดินพบว่า การเจริญเติบโต ออกรวงข้าว เร็วกว่าเมื่อใช้วัสดุอื่นๆ เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และเมื่อสังเกตใบพบว่าอาการของใบเป็นสีเหลืองชี้ให้เห็นว่าพร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ (ภาพที่ 4.9) นอกจากนี้ภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าใบพืชที่ปลูกในภาวะดินปนเปื้อนแคดเมียมปราศจากการเติมวัสดุปรับปรุงดินจะเห็นบริเวณปลายใบมีอาการใบตาย (necrosis)



ภาพที่ 4.9. อาการของใบข้าว (A) ปลุกข้าวในดินปนเปื้อนแคดเมียมไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (B) ปลุกข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ใส่ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยต่างเป็นวัสดุปรับปรุงดิน(สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

ศึกษาน้ำหนักแห้งของต้นข้าวต่อชนิดของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินที่ต่างกัน (สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil)

ภาพที่ 4.10 แสดงน้ำหนักแห้งของต้นข้าว (dry weight) ที่อายุ 50 วัน เมื่อใช้วัสดุการปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อย่างไรก็ตามการปลุกข้าวในการปนเปื้อนแคดเมียมสูง คือ 145 mgCd/kg soil ถึงแม้ต้นข้าวก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีแต่เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวข้าวจะไม่มีเมล็ด การทดลองจึงวิเคราะห์เฉพาะเปลือกข้าวเท่านั้น



ภาพที่ 4.10 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวอายุ 50 วัน เมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่างชนิดกัน (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

ผลชนิดของวัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของน้ำในการปลูกข้าว (สถานะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง 145 mgCd/kg soil )

การทดลองยังศึกษาค่าพีเอชของน้ำในการปลูกข้าว (ตารางที่ 4.15) เมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินแตกต่างกันผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุของต้นข้าวในวันที่ 30 ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องจาก พวก organic ligands และ inorganic ligands ที่อยู่บริเวณรากพืช เช่น  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (Dong *et al.*, 2007) จะจับกับแคดเมียมทำให้มีผลต่อ ค่าพีเอชของระบบโดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อต้นข้าวอายุได้ 30 วันเทียบกับวันแรกของการทดลอง

นอกจากนี้การทดลองยังได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ละลายออกมาในน้ำเมื่อใช้วัสดุในการปรับปรุงดินต่างกันผลการทดลองพบว่า ปริมาณแคดเมียมที่ละลายออกมาในน้ำของ CPm>CP>CC (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอช (pH solution) ของน้ำในต้นข้าวเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินแตกต่างกัน(สภาวะที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมสูง)

พารามิเตอร์	N + P	high Cd + P	high Cd + CC+ P	high Cd + CP+ P	high Cd+ CPm+ P
วันที่ 1	6.96 ± 0.15	8.20 ± 0.05	7.26 ± 0.08	6.87 ± 0.13	7.62 ± 0.14
วันที่ 30	7.39 ± 0.15	8.20 ± 0.04	7.81 ± 0.04	8.11 ± 0.06	8.16 ± 0.06

ตารางที่ 4.16 ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเมื่อใช้ วัสดุเหลือทิ้งปรับปรุงดินแตกต่างกัน

พารามิเตอร์	Control	CC	CP	CPm
Cadmium Concentration (mg Cd L <sup>-1</sup> )	12.243	11.621	9.332	8.777