บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองฟื้นฟูดินจากบ่อเลี้ยงกุ้ง สำหรับการปลูกพืชทนเค็มในครั้งนี้ ทำการทดลองในขอบเขตเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการปรับปรุงสภาพทางกายภาพและทางเคมีในการฟื้นฟูดินนากุ้งร้าง คือ การช่วยให้ดินมีการระบายน้ำดีขึ้น ช่วยในการล้างเกลือโซเดียมออกจากโซนของรากพืชและทดลองปลูกพืชทนเค็มบางชนิดในดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินที่ได้คัดเลือกไว้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการปรับปรุงการนำน้ำของดินนากุ้งร้าง

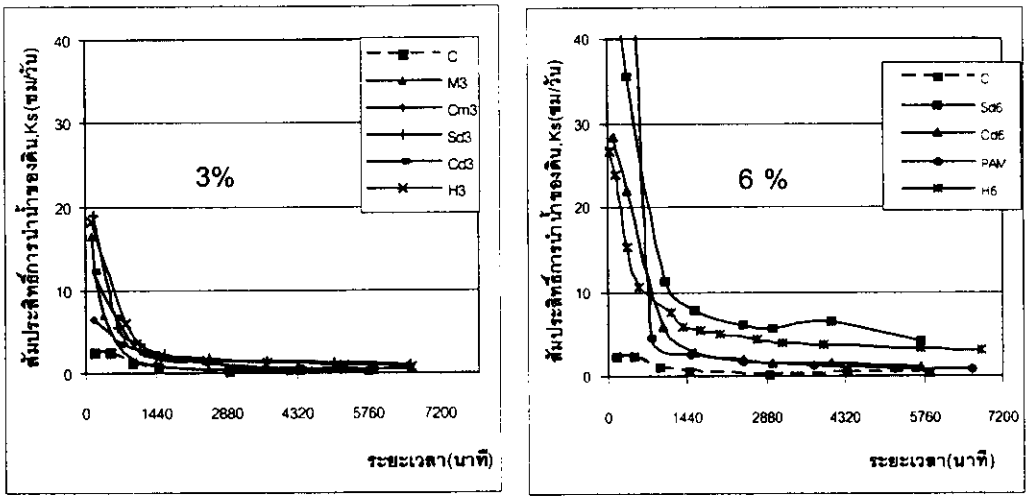
การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการปรับปรุงคุณสมบัติในการนำน้ำและการชะล้างเกลือในดินนากุ้งร้าง ประกอบด้วย วัสดุเนื้อหยาบ 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ (H) ขี้เลื่อย (Sd) และขุยมะพร้าว (Cd) วัสดุเนื้อละเอียด 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยคอก (M) และปุ๋ยขี้ไก่ (Cm) และสารโพลิเมอร์สังเคราะห์ (PAM) 1 ชนิด วัสดุเนื้อหยาบที่นำมาปรับปรุงดินจะผสมกับดินนากุ้งร้างในอัตรา 3% และ 6% โดยน้ำหนัก ปุ๋ยอินทรีย์ผสมในอัตรา 3 % โดยน้ำหนัก สำหรับ PAM ใช้ความเข้มข้น 140 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ดินเกาะกันเป็นเม็ดและทนต่อแรงปะทะของน้ำได้ดีที่สุด

การศึกษาสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินในการนำน้ำและการชะล้างเกลือโซเดียมจากดินนากุ้งร้างทั้งในส่วนที่ใส่และไม่ใส่ยิปซัมในการปรับปรุงดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำน้ำของดิน (Ks) ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้าง (Na) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำที่ถูกชะล้าง (SAR) ออกจากดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ หลังการทดลองนำตัวอย่างดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (EC 1:5) ผลการทดลองมีดังนี้

1.1 การปรับปรุงดินนากุ้งร้างด้วยวัสดุปรับปรุงดินโดยไม่ใส่ยิปซัม

1.1.1 การนำน้ำของดิน

การนำน้ำของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ตลอดระยะเวลา 4 วันของการทดลอง ซึ่งมีค่า สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินในขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Hydraulic Conductivity, Ks) เป็นตัวชี้วัด แสดงในภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ โดยไม่ใส่ยิปซัม กับ ระยะเวลา

จากภาพประกอบที่ 3 พบว่า รูปแบบการนำน้ำของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 3% และ 6% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในระยะเริ่มต้น Ks ของดินทุกตำรับมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก มีค่า Ks ของดินต่ำกว่าตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนัก ตลอดระยะเวลาการทดลอง

การที่ Ks ของดินมีค่าสูงในระยะแรกและลดลงจนคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในระยะแรกน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างในดินผสม ซึ่งการผสมวัสดุปรับปรุงดินในอัตราที่สูงขึ้นทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น ตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% จึงมี Ks ของดินสูงกว่าตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% สำหรับตำรับดินที่ผสม PAM ดินเกาะตัวกันเป็นเม็ดดินน้ำจึงไหลผ่านได้ดี (ภาพประกอบ 3, 6%) ทำให้ดินที่ผสม PAM มีค่า Ks สูงที่สุดในระยะแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจาก PAM ที่ใช้ละลายน้ำได้ง่ายจึงทำให้เม็ดดินแตก ทำให้ดินนากุ้งร้างซึ่งเป็นดินเค็มโซดิกเกิดการพองตัวและแน่นทึบ น้ำซึมผ่านได้ยาก ดังนั้น ค่า Ks ของ

ดินจึงลดลงและมีค่าต่ำ ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินผสมในขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีค่าคงที่ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่า Ks หลังสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์การนำน้ำ (Ks) ของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ โดยไม่ใส่ยิปซัมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตำรับการทดลอง	Ks (ซม/วัน)
C	0.41 ± 0.15^{c}
M3	0.29 ± 0.01^{c}
Cm3	0.46 ± 0.13^{c}
Sd3	0.83 ± 0.17^{bc}
Cd3	0.65 ± 0.10^{bc}
H3	0.84 ± 0.16^{bc}
Sd6	4.17 ± 1.57^{a}
Cd6	2.00 ± 0.88^{ab}
H6	2.95 ± 0.48^{a}
PAM	0.84 ± 0.11^{bc}
F - test	**
(%) C.V.	69.00

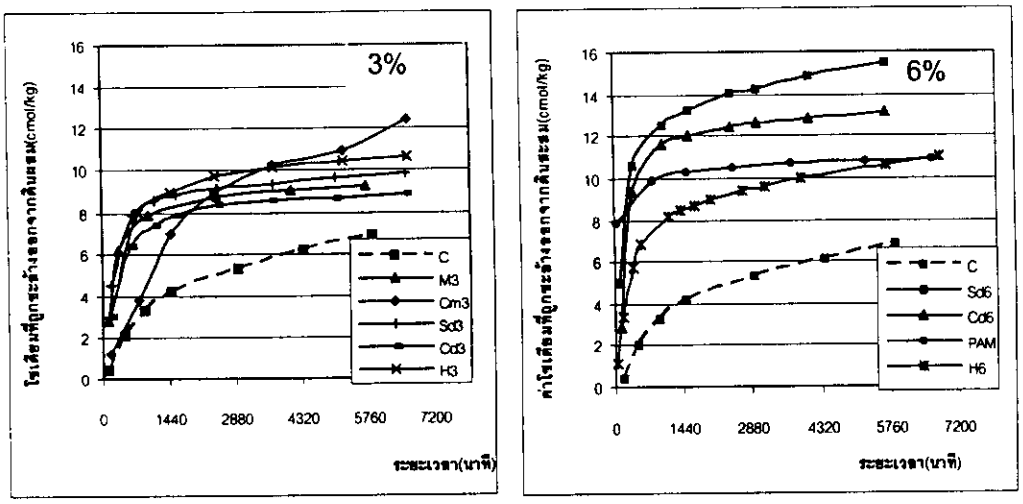
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

จากตาราง สามารถเรียงลำดับค่า Ks ของดินตำรับต่าง ๆ ดังนี้ Sd6 > H6 > Cd6 > PAM , H3 > Sd3 > Cd3 > Cm3 > C ตำรับที่ผสมวัสดุเนื้อละเอียดจำพวกปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ M3 และ Cm3 มีค่า Ks ประมาณ 0.2-0.4 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับ C ที่มีค่า Ks ประมาณ 0.4 เซนติเมตรต่อวัน ขณะที่การปรับปรุงดินด้วยวัสดุเนื้อหยาบในอัตรา 3% โดยน้ำหนัก Ks มีค่าดีขึ้นเล็กน้อย โดย Sd3 Cd3 และ H3 มีค่า Ks ประมาณ 0.6-0.8 เซนติเมตรต่อวัน และเมื่อเพิ่มวัสดุดังกล่าวเป็น 6% โดยน้ำหนัก ค่า Ks ของดินมีค่าประมาณ 2-4 เซนติเมตรต่อวัน สำหรับดินที่ผสม PAM ค่า Ks ของดินมีค่าประมาณ 0.8 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับการผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก

1.1.2 ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดิน

ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมจากดินนากุ้งร้างมีความสัมพันธ์กับการนำน้ำของดินผสม ดังนั้น ในระยะแรกปริมาณโซเดียมจึงถูกชะล้างออกจากดินมากและจะลดลงตามการนำน้ำที่ค่อย ๆ ลดลง ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ โดยไม่ใส่ยิปซัม กับ ระยะเวลา

จากภาพประกอบที่ 4 พบว่า ในทุกตำรับการทดลองระยะแรก โซเดียมถูกชะล้างออกมาสะสมจากดินมากและอัตราการชะล้างจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้โซเดียมสะสมที่ถูกชะล้างออกมาไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เนื่องจาก ในระยะเริ่มต้น น้ำที่ไหลออกมาชะล้างโซเดียมที่พร้อมจะละลายได้ในดิน แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างจะลดลง เนื่องจากดินฟุ้งกระจายและพองตัว ประกอบกับโซเดียมที่เหลืออยู่ในดินอยู่ในรูปที่ดินดูดยึดเอาไว้ ทำให้การชะล้างโซเดียมยากขึ้น ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดินจึงลดลง ดังนั้น ดินที่มีการนำน้ำได้ดีในช่วงแรกจึงมีโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมามาก ตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก มีค่าการนำน้ำต่ำจึงมีปริมาณโซเดียมถูกชะล้างออกมาสะสมต่ำกว่าตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนัก สำหรับตำรับที่ผสม PAM มีการนำน้ำและการชะล้างโซเดียมสูงสุดในระยะแรก แต่โซเดียมสะสมไม่ได้สูงสุด เพราะเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นดินที่ผสม PAM มีค่าการนำน้ำต่ำกว่าดินที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบในอัตรา 6% โดยน้ำหนัก จากตารางที่ 9 แสดงปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งสามารถเรียงลำดับตำรับการทดลองได้ดังนี้ Sd6 > Sd3 , Cd6 > H6 , Cm3 > H3 , Cd3 > PAM

> M3 > C ซึ่ง C มีปริมาณโซเดียมสะสมประมาณ 6 $cmol_c kg^{-1}$ และเมื่อผสมวัสดุเนื้อละเอียดจำพวกปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ M3 และ Cm3 ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมประมาณ 9-11 $cmol_c kg^{-1}$ เนื่องจาก วัสดุดังกล่าวมีโซเดียมเป็นองค์ประกอบอยู่มาก โซเดียมจึงถูกชะล้างออกจากดินได้มาก สำหรับวัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุเนื้อหยาบ ซึ่งได้แก่ Sd3, Cd3 และ H3 ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมมีประมาณ 10-12 $cmol_c kg^{-1}$ แต่เมื่อผสมวัสดุดังกล่าวเพิ่มเป็น 6% โดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมมีค่าเพิ่มขึ้น คือ ประมาณ 11-15 $cmol_c kg^{-1}$ ขณะที่ดินผสม PAM มีปริมาณโซเดียมถูกชะล้างออกมาสะสมประมาณ 9 $cmol_c kg^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก ดังนั้น ตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำดี ซึ่งได้แก่ วัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุเนื้อหยาบ จะสามารถชะล้างโซเดียมออกมาสะสมได้มากกว่าตำรับที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า คือ ตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินจำพวกปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 9 ปริมาณโซเดียมสะสม (Na) ที่ถูกชะล้างออกมาจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ โดยไม่ใส่ยิปซัมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

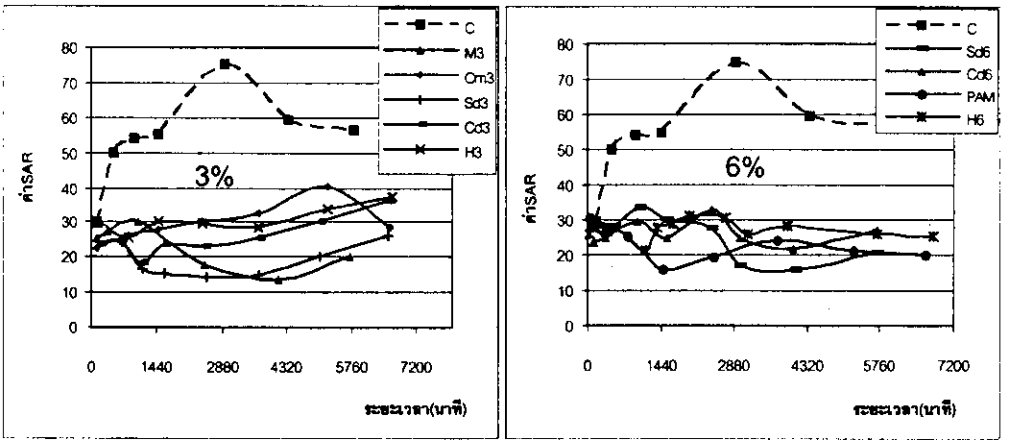
ตำรับการทดลอง	Na ($cmol_c Kg^{-1}$)
C	6.01 ± 0.84^{c}
M3	9.41 ± 0.70^{bc}
Cm3	11.20 ± 1.13^{ab}
Sd3	12.49 ± 2.67^{ab}
Cd3	10.59 ± 1.77^{b}
H3	10.66 ± 0.53^{b}
Sd6	15.50 ± 1.99^{a}
Cd6	12.32 ± 0.94^{ab}
H6	11.01 ± 0.63^{ab}
PAM	9.45 ± 0.99^{bc}
F - test	*
(%) C.V.	22.10

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

1.1.3 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำที่ถูกชะล้างจากดินผสม (Sodium adsorption ratio , SAR)

ถ้าพิจารณาการชะล้างโซเดียมของดิน โดยดูจากค่า SAR ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ Na^{+} กับผลรวมความเข้มข้นของ Ca^{++} และ Mg^{++} ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดิน จากภาพประกอบที่ 5 พบว่า ค่า SAR ของ C มีค่าสูงตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจาก C มีค่าการนำน้ำต่ำ Na^{+} ที่ถูกชะล้างออกมาเป็นโซเดียมที่ละลายน้ำได้ง่าย จึงมีความเข้มข้นของ Na^{+} สูงเมื่อเทียบกับ Ca^{++} และ Mg^{++} ที่มีอยู่น้อยในดิน ขณะที่ตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% และ 6% โดยน้ำหนัก มีค่า SAR ใกล้เคียงกัน แต่ค่า SAR ของตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป อาจเป็นเพราะในดินนี้ยังคงมีปริมาณโซเดียมที่คงเหลือในดินที่ยังไม่ถูกชะล้างออกไปในระยะแรกเนื่องจากการนำน้ำต่ำ โซเดียมจึงถูกชะล้างออกมาในระยะหลัง ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Na^{+} กับผลรวมความเข้มข้นของ Ca^{++} และ Mg^{++} มีค่าสูงขึ้น



ภาพประกอบที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ (SAR) ที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ไม่ใส่ยิปซัม กับ ระยะเวลา

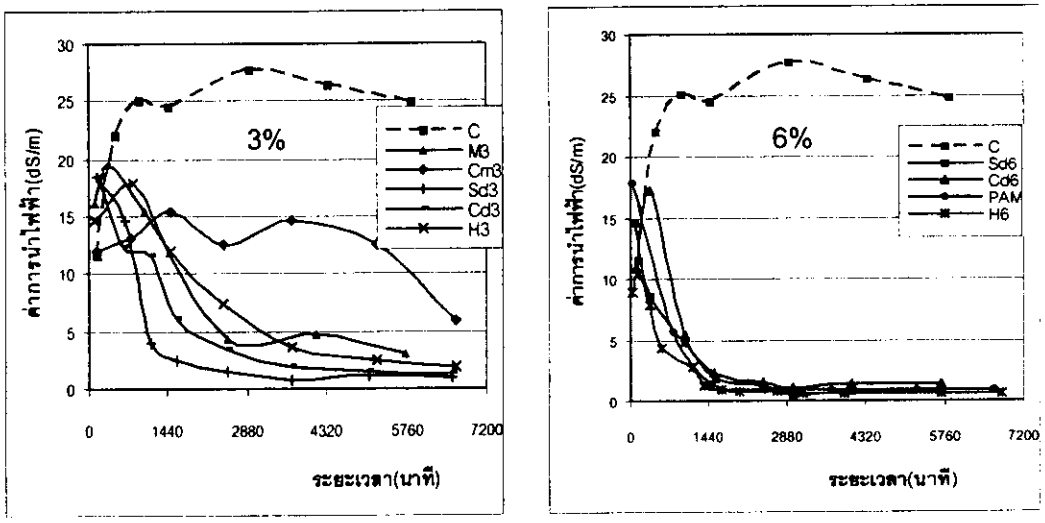
โดย $$SAR = Na^{+} / \left(\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2} \right)^{1/2}$$

หน่วยความเข้มข้นของ Na^{+} , Ca^{++} และ Mg^{++} เป็น $cmol_c\ L^{-1}$

1.1.4 การชะล้างเกลือออกจากดิน

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านดินจะชะล้างเกลือที่ละลายน้ำออกจากดิน ซึ่งเกลือที่ถูกชะล้างออกมามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า EC ของน้ำที่ไหลออกมา รูปแบบค่า EC ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป (ภาพประกอบที่ 6) เนื่องจากในระยะแรก เกลือที่ละลายน้ำง่ายได้ถูกชะล้างออกมาตามน้ำที่ไหลผ่านดิน เมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของเกลือจึงลดลง ซึ่งเกลือถูกชะล้างออกตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนัก ได้เร็วกว่าตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก ดังนั้น ค่า EC ของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนักจึงลดลงเร็วกว่าดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก สำหรับตำรับ C และ Cm3 ที่มีค่า EC สูงตลอดการทดลอง เนื่องจาก C มีค่าการนำน้ำต่ำ เมื่อเวลาผ่านไปและการไหลของน้ำลดลงเรื่อย ๆ ความเค็มของน้ำจึงสูงไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สำหรับ Cm3 วัสดุดังกล่าวมีโซเดียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูงเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น จึงทำให้น้ำที่ไหลออกมามีความเข้มข้นของเกลือสูง

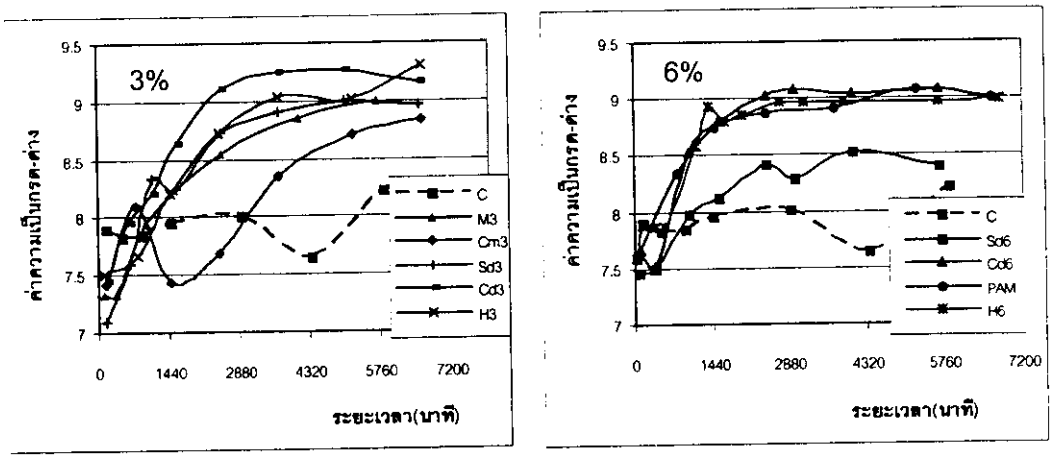
การที่น้ำที่ไหลผ่านดินค่า SAR สูงคงที่หรือเพิ่มขึ้น แต่ค่า EC ลดลง แสดงว่าเกลือที่ละลายน้ำได้ได้ถูกชะล้างออกจากดิน แต่ยังคงเหลือเกลือโซเดียมที่ถูกดูดยึดในดิน จึงทำให้ดินมีการพองตัวไปปิดช่องว่างการเรียงตัวของวัสดุซึ่งเป็นช่องทางที่น้ำเคลื่อนที่ผ่าน ทำให้ค่าการนำน้ำของดินที่ดีในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพประกอบที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ไม่ใส่ยิปซัม กับ ระยะเวลา

1.1.5 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ปริมาณเกลือที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ที่ไม่ใส่ยิปซัม จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ดิน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่างๆ ไม่ใส่ยิปซัม กับระยะเวลา

จากภาพประกอบที่ 7 พบว่า pH ของน้ำที่ไหลออกจากดินทุกตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินนากุ้งร้างเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจาก น้ำที่ไหลผ่านดิน ทำให้เกลือที่ละลายน้ำได้ถูกชะล้างออกไป เกลือที่เหลือในดินจึงน้อยทำให้อิทธิพลของเกลือที่บังคับไม่ให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (repressive effect) ลดลง ประกอบกับโซเดียมที่เหลืออยู่ในดินเมื่อละลายน้ำจะทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ดังนั้น pH ของน้ำที่ไหลออกจากดินทุกตำรับการทดลองที่เกลือถูกชะล้างออกมามากและยังคงมีค่า SAR สูงจะมี pH สูงกว่า 8.5

1.1.6 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินหลังสิ้นสุดการทดลอง

หลังสิ้นสุดการทดลองนำตัวอย่างดินมาตากแห้ง แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินซึ่งเป็นปริมาณเกลือที่สะสมอยู่ในดิน สามารถสรุปลำดับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินหลังจากสิ้นสุดการทดลอง ดังนี้ C > M3 > Cm3 , Cd3 > H3 ; Sd3 , Cd6 > Sd6 > PAM > H6 (ตารางที่ 10) โดย C มีค่า EC ของดินสูงสุด มีค่าสูงกว่า M3 และ Cm3 ซึ่งเป็นตำรับที่ปรับปรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโซเดียมเป็นองค์ประกอบ ขณะที่ตำรับที่ปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก มีค่าการนำน้ำต่ำ ความสามารถในการชะล้างความเค็มออกจากดินจึงน้อย ค่า EC ของดินจึงมีค่าสูงกว่าตำรับที่ปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 10 การนำไฟฟ้า (EC) ของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ไม่ใส่ยิปซัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตำรับการทดลอง	EC ดิน (dSm^{-1})
C	916.00 ± 39.00^{a}
M3	403.33 ± 55.96^{b}
Cm3	339.00 ± 13.01^{bc}
Sd3	323.33 ± 31.23^{bc}
Cd3	385.33 ± 44.56^{bc}
H3	325.67 ± 11.87^{bc}
Sd6	269.00 ± 33.13^{c}
Cd6	346.67 ± 47.84^{bc}
H6	156.33 ± 2.40^{d}
PAM	269.00 ± 24.00^{c}
F - test	**
(%) C.V.	16.53

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

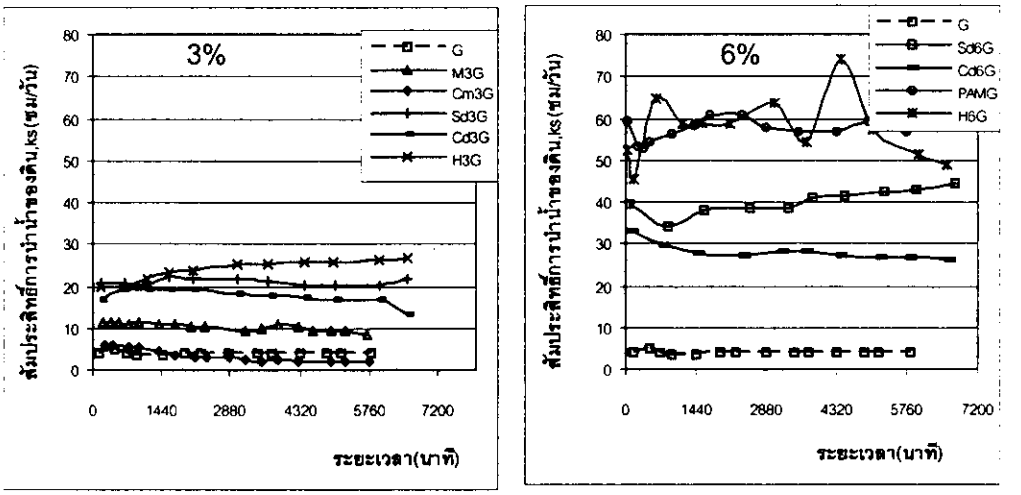
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่า วัสดุที่ช่วยให้การระบายน้ำของดินนากุ้งร้างดีขึ้น เป็นวัสดุเนื้อหยาบ ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย และขุยมะพร้าว ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพทำให้เกิดช่องขนาดใหญ่ในดินเพิ่มขึ้น และต้องผสมกับดินในอัตราที่สูงจึงจะช่วยให้การระบายน้ำในดินนากุ้งร้างดีขึ้นบ้าง และทำให้การชะล้างโซเดียมที่ละลายได้ออกจากดินได้ก่อน ดังนั้น ถ้าใช้วัสดุเหล่านี้ร่วมกับยิปซัมอาจจะช่วยในการชะล้างโซเดียมออกจากดินได้เร็วและปรับปรุงดินนากุ้งร้างในระยะเริ่มต้นได้เร็วขึ้น ส่วนวัสดุเนื้อละเอียด เช่น ขี้ไก่ และปุ๋ยคอก ไม่ได้เพิ่มขนาดช่องว่างในดินและยังมีความเค็มสูง ในการทดลองเบื้องต้นจึงไม่น่านำมาใช้ในการปรับปรุงการระบายน้ำของดินนากุ้งร้าง สำหรับสารโพลีเมอร์ (PAM) ทำให้ดินเกาะกันเป็นเม็ดใหญ่และทำให้ช่องในดินมีขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากสารที่ใช้ไม่มีคุณสมบัติในการทำให้ดินทนทานต่อการปะทะของน้ำ ตลอดจนดินทดลองมีค่า ESP สูงมาก ดังนั้น เม็ดดินจึงละลายและดินพองตัว ทำให้การนำน้ำของดินลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากการชะล้างดินโดยไม่ใส่ยิปซัม ความเค็มในดินยังมีค่าสูงอยู่ ดังนั้น จึงนำวัสดุดังกล่าวทั้งวัสดุเนื้อหยาบ วัสดุเนื้อละเอียด และ PAM มาใส่ยิปซัม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการนำน้ำของดินผสมและความสามารถในการชะล้างโซเดียมออกจากดิน ตลอดจนคุณสมบัติอื่น ๆ ของดิน

1.2 การปรับปรุงดินนากุ้งร้างด้วยวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับการใส่ยิปซัม

1.2.1 การนำน้ำของดิน

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม ในส่วนการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Ks) แสดงในภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ระยะเวลา

จากภาพประกอบที่ 8 พบว่า ค่า Ks ของดินทุกตำรับมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนัก มีค่า Ks ของดินต่ำกว่าตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนัก

การที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจาก แคลเซียมในยิปซัมจะไปไล่ที่โซเดียมให้ออกมาอยู่ในสารละลาย โดยแคลเซียมที่แทนที่โซเดียมทำให้ดินแตกตัวน้อยลง ดินพองตัวลดลง การนำน้ำของดินจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งการผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้ดินมีค่า Ks แตกต่างกัน การผสมวัสดุปรับปรุงดินในอัตราที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น ตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม จึงมีค่า Ks สูงกว่าตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม ค่า Ks ของดินตำรับต่าง ๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์การนำน้ำ (Ks) ของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตำรับการทดลอง	Ks (ซม./วัน)
G	6.26±2.31^{d}
M3G	7.84±0.78^{d}
Cm3G	2.44±0.59^{d}
Sd3G	21.57±2.64^{c}
Cd3G	15.26±1.60^{cd}
H3G	26.69±5.02^{c}
Sd6G	44.29±5.72^{b}
Cd6G	25.95±4.73^{c}
H6G	48.92±5.06^{b}
PAMG	56.64 ±7.25^{a}
F - test	**
(%) C.V.	27.61

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

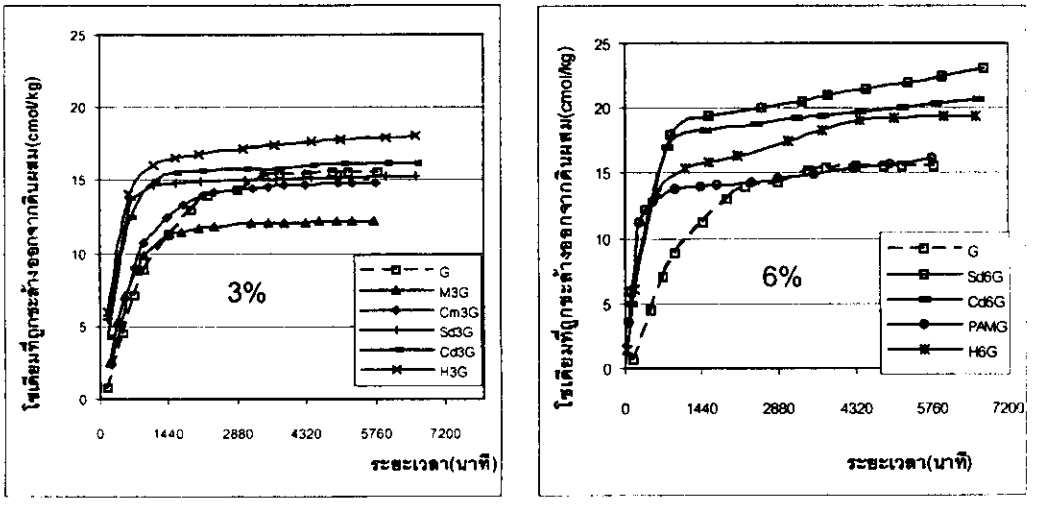
จากตาราง สามารถสรุปลำดับค่า Ks ของตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม ดังนี้ PAMG > H6G > Sd6G > Cd6G ; H3G > Sd3G > Cd3G > M3G > G > Cm3G ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) มีค่า Ks ประมาณ 4 เซนติเมตรต่อวัน ตำรับที่ใส่วัสดุเนื้อละเอียดจำพวกปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ M3G มีค่า Ks ประมาณ 8 เซนติเมตรต่อวัน ขณะที่ Cm3G มีค่า Ks ต่ำกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว คือประมาณ 2 เซนติเมตรต่อวัน แต่เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุเนื้อหยาบค่า Ks มีค่าสูงขึ้น โดย ถ้าใส่วัสดุในอัตราที่สูง ดินจะมีค่า Ks สูงกว่าการใส่ในอัตราที่ต่ำกว่า ซึ่ง Sd3G, Cd3G และ H3G มีค่า Ks ประมาณ 15-26 เซนติเมตรต่อวัน ขณะที่ใส่วัสดุดังกล่าวในอัตรา 6% จะมีค่า Ks ประมาณ 25-48 เซนติเมตรต่อวัน โดยดินผสม PAMG มีค่า Ks สูงสุด คือ มีค่าประมาณ 56 เซนติเมตรต่อวัน Rahman และคณะ (1996) ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์และวัสดุอนินทรีย์ในการปรับปรุงดินเค็มโซดิก โดยใช้วัสดุปรับปรุงดิน 6 ชนิด ได้แก่ ทราย ยิปซัม ขี้ไก่ กากของเสียแห้ง ผักตบชวา ปุ๋ยหมัก

ผสมกับดินเค็มโซดิก พบว่า ดินที่ผสมทรายมีอัตราการซึมน้ำ (soil water penetrability) สูงกว่า ดินผสมยิปซัม > ขี้ไก่ > ผักตบชวา > กากของเสียแห้ง > ปุ๋ยหมัก > ดินเค็มโซดิก

Zahow และ Amrhein (1992) รายงานว่า การใส่ยิปซัมในดินเค็ม-โซดิก ทำให้การซาบซึมน้ำในดินมีอัตราเพิ่มขึ้น จาก 0.00 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็น 0.0063 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง Ilyas และคณะ (1993) หลังจากใส่ยิปซัมลงไปในดินเค็ม-โซดิก เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านของดินบน ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจาก 0.0432 เซนติเมตรต่อชั่วโมง เป็น 0.1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง อ้อมทิพย์ (2547) ศึกษาความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน พบว่า สำรับการทดลองผสมยิปซัมอัตรา 6 ตันต่อไร่ มีค่าสัมประสิทธิ์ในการให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน 0.045 เมตรต่อวัน ในขณะที่ดินที่ผ่านการทำนากุ้งมีค่าสัมประสิทธิ์ในการให้น้ำซึมผ่านได้ของดินเพียง 0.036 เมตรต่อวัน

1.2.2 ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดิน

ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดินจะมีความสัมพันธ์กับค่า Ks ของดิน โดยสำรับการทดลองที่มีค่า Ks สูง สามารถชะล้างโซเดียมออกมาสะสมได้มากด้วย ซึ่งปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมจากดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมที่วัดในระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงผลในภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมาสะสมจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ระยะเวลา

จากภาพประกอบที่ 9 พบว่า ทุกตำรับการทดลองในระยะแรกโซเดียมถูกชะล้างสะสมออกจากดินมากและไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างจะสูงที่สุดในวันแรกของการชะล้าง โดยตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม มีปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดินน้อยกว่าตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม ซึ่งแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณโซเดียมสะสม (Na) ที่ถูกชะล้างออกมาจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตำรับการทดลอง	Na ($cmol_c kg^{-1}$)
G	14.47 ± 1.12^{c}
M3G	14.12 ± 1.90^{c}
Cm3G	15.14 ± 0.56^{c}
Sd3G	15.33 ± 0.32^{c}
Cd3G	16.21 ± 0.42^{c}
H3G	17.99 ± 1.14^{c}
Sd6G	26.03 ± 2.58^{a}
Cd6G	23.70 ± 0.44^{ab}
H6G	19.45 ± 5.76^{bc}
PAMG	15.94 ± 0.88^{c}
F - test	**
(%) C.V.	15.89

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

จากตาราง สามารถสรุปลำดับของปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมา ดังนี้ Sd6G > Cd6G > H6G > PAMG ; H3G > Cd3G > Sd3G ; Cm3G > G > M3G โดยตำรับที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) มีปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างสะสมใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจำพวกปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ M3G และ Cm3G ที่มีปริมาณโซเดียมสะสมประมาณ 14-15 $cmol_c kg^{-1}$ ขณะที่การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

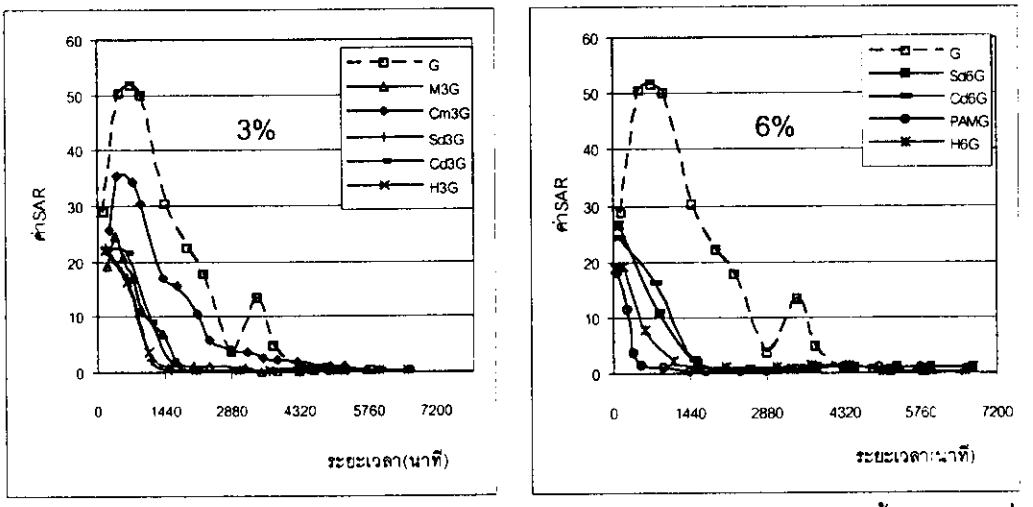
จำพวกวัสดุเนื้อหยาบในอัตรา 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม มีปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างสะสมประมาณ 15-17 $cmol_c kg^{-1}$ และใส่วัสดุดังกล่าวในอัตรา 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม ซึ่งมีค่า Ks สูงกว่าสามารถชะล้างโซเดียมออกมาสะสมได้ประมาณ 19-26 $cmol_c kg^{-1}$ ในขณะที่ PAMG ซึ่งมีค่า Ks สูงที่สุดมีโซเดียมถูกชะล้างออกมาสะสมเพียง 15.94 $cmol_c kg^{-1}$

จากการทดลองมีข้อสังเกตว่า ตำรับการทดลอง H6G และ PAMG มีค่าการนำน้ำสูงกว่า Sd6G และ Cd6G แต่ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างสะสมมีน้อยกว่า ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่ H6G และ PAMG มีการไหลของน้ำดีมากจนชะล้างยิปซัมบางส่วนออกจากดิน ดังนั้น โอกาสที่ Ca^{++} จะทำปฏิกิริยากับ Na^{+} ที่อยู่ในดินจึงน้อยกว่าดินที่มีการนำน้ำได้น้อยกว่า เช่น Sd6G และ Cd6G ซึ่งยิปซัมยังอยู่ในดินได้นานกว่าและ Ca^{++} มีโอกาสแทนที่โซเดียมที่อยู่ในดินได้มากกว่า จึงทำให้ปริมาณของโซเดียมใน Sd6G และ Cd6G ถูกชะล้างออกมาสะสมมากกว่าจาก H6G และ PAMG

สำหรับ PAMG เป็นตำรับที่มีค่า Ks สูงสุด แต่ปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกมามีค่าใกล้เคียงกับตำรับที่มีการนำน้ำต่ำ เช่น G, M3G, Cm3G, Sd3G และCd3G ทั้งนี้เพราะ ลักษณะของดินนากุ้งร้างตำรับ PAMG มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเม็ดดินจึงเป็นช่องขนาดใหญ่และต่อเนื่อง เมื่อมีการชะล้างดินในวันแรก น้ำไหลผ่านดินด้วยความเร็วสูงจึงชะล้างโซเดียมที่ถูกแทนที่ได้ในตอนแรกที่มีการหมักดินไว้ 1 คืนพร้อมทั้งชะล้างยิปซัมออกจากดินด้วย ดังนั้น ตำรับที่ผสม PAMG จึงมีโซเดียมถูกชะล้างออกมาสูงมากในระยะแรกของการไหลของน้ำเท่านั้น ขณะที่ดินผสมวัสดุปรับปรุงดินที่มีการนำน้ำได้ต่ำ การแทนที่โซเดียมในดินโดยแคลเซียมเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามการไหลของน้ำและยิปซัมไม่ได้ถูกชะล้างออกมามาก จึงทำให้ปริมาณโซเดียมถูกชะล้างสะสมตลอดการทดลองใกล้เคียงกับ PAMG

1.2.3อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำที่ถูกชะล้างจากดินผสม (Sodium adsorption ratio, SAR)

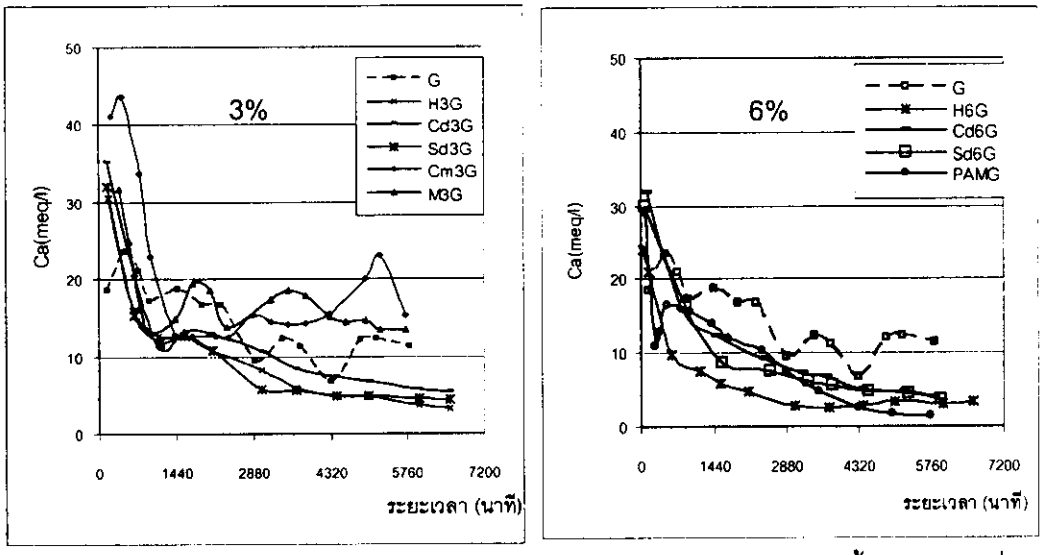
ตัวชี้วัดที่สำคัญในการพิจารณาความสามารถในการแทนที่โซเดียมที่ถูกดูดซับในดินด้วยแคลเซียมที่ละลายจากยิปซัม คือ ค่า SAR ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดิน จากภาพประกอบที่ 10 พบว่า ในระยะแรก ค่า SAR ของน้ำที่ไหลออกจากดินทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงมากและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดิน



ภาพประกอบที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ (SAR) ที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ระยะเวลา

ค่า SAR ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม มีค่าต่ำกว่าค่า SAR ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากตำรับที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) หมายความว่า แคลเซียมที่ละลายจากยิปซัมในดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัมจะถูกชะล้างออกมาในสัดส่วนที่มากกว่าการเข้าแทนที่โซเดียมที่ถูกดูดซับในดินเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ผสมยิปซัมอย่างเดียว โดยตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำสูงจะมีค่า SAR ต่ำกว่าตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะ แคลเซียมซึ่งแตกตัวจากยิปซัมในตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำสูงจะถูกชะล้างออกมามากกว่า จึงทำให้การแทนที่โซเดียมที่ถูกดูดซับในดินน้อยลง ค่า SAR จึงต่ำกว่าตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า

ดินผสม PAMG ที่มีค่า Ks สูงใกล้เคียงกับตำรับ H6G แต่ค่า SAR ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินจะมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ตำรับที่ผสมแกลบ ดินมีขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างไม่สม่ำเสมอ น้ำที่ไหลผ่านดินจึงไหลด้วยความเร็วไม่สม่ำเสมอ แคลเซียมบางส่วนจึงถูกชะล้างออกจากดินตามช่องขนาดใหญ่ แต่แคลเซียมที่อยู่ในดินในช่องขนาดเล็กจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมในดินและค่อย ๆ ถูกชะล้างออกมา ขณะที่ดินผสม PAMG ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีขนาดใหญ่และมีความต่อเนื่อง น้ำที่ไหลผ่านดินจะไหลด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แคลเซียมจึงถูก ชะล้างออกมามาก โดยจะเห็นจากภาพประกอบที่ 11 (6%) น้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินผสม PAMG มีความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่าน้ำที่ไหลออกจาก H6G ดังนั้น โอกาสที่แคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมใน PAMG จึงเกิดขึ้นน้อย น้ำที่ไหลออกจาก PAMG จึงมีค่า SAR ต่ำกว่าดินตำรับ H6G และปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างสะสมออกมาจะน้อยกว่าด้วย (ตารางที่ 12)

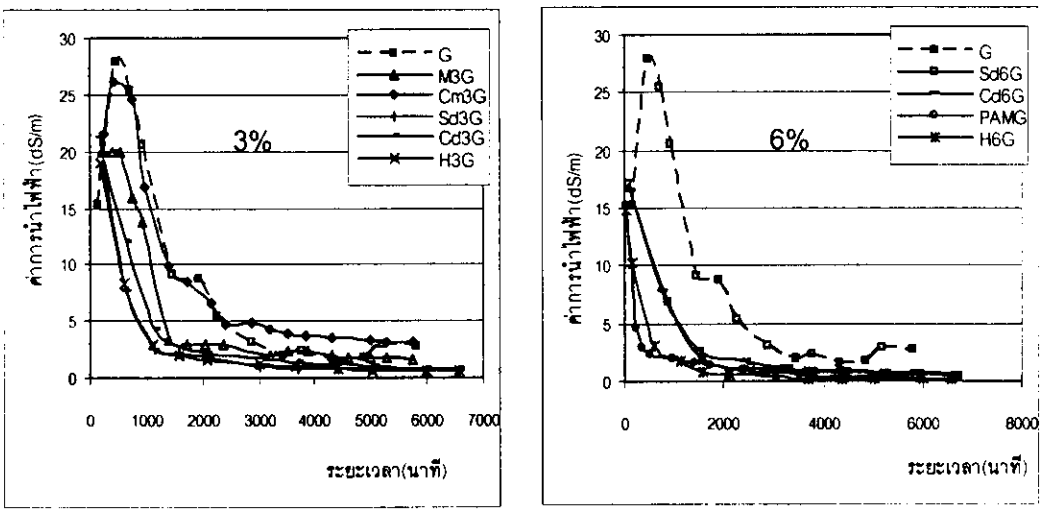


ภาพประกอบที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมของน้ำ (Ca) ที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ระยะเวลา

1.2.4 การชะล้างเกลือออกจากดิน

เนื่องจากเกลือส่วนใหญ่ในดินเป็นเกลือโซเดียม ดังนั้น เกลือที่ถูกชะล้างออกจากดินจึงมีความสัมพันธ์กับค่า SAR ของน้ำ จากภาพประกอบที่ 12 พบว่า EC ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินทุกตำรับการทดลอง มีค่าลดลงในระยะแรกและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งจะมีรูปแบบคล้ายกับค่า SAR

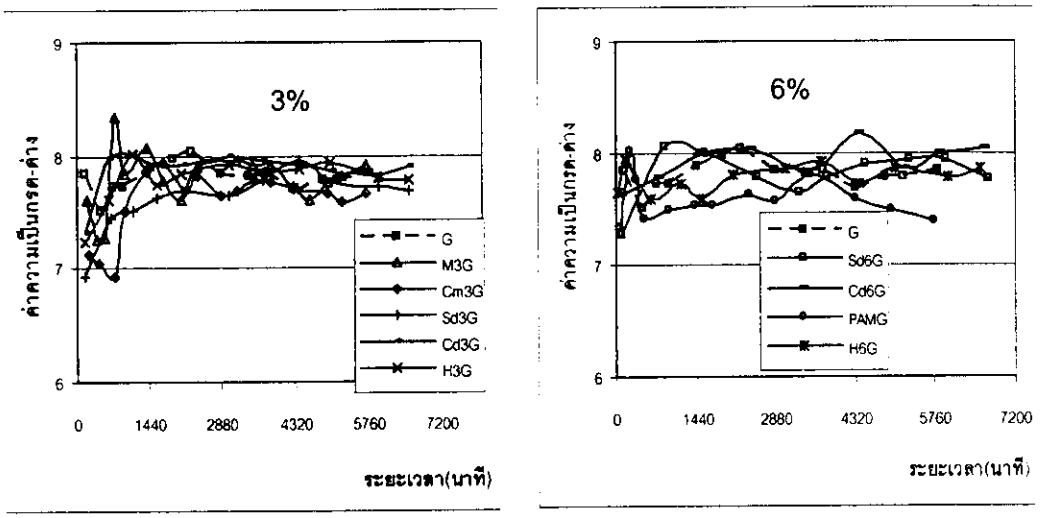
ลำดับค่า EC ของน้ำที่ไหลออกจากดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 3 % จะคล้ายกับลำดับของค่า SAR ยกเว้น Cm3G ซึ่งในช่วงหลังมีค่า EC สูงกว่า G เพราะแคลเซียมถูกชะล้างออกมามาก (ภาพประกอบที่ 11A) และ EC ของน้ำที่ไหลออกจากดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน 6 % จะคล้ายกับลำดับของค่า SAR ยกเว้น PAMG ซึ่งในช่วงหลังมีค่า EC สูงกว่า H6G เพราะแคลเซียมถูกชะล้างออกมามาก



ภาพประกอบที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมกับ ระยะเวลา

1.2.5 **ความเป็นกรด-ด่าง** (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ถูกชะล้างจะมีความสัมพันธ์กับค่า SAR และค่า EC ของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดิน จากภาพประกอบที่ 13 จะเห็นว่า ตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.5 – 8 โดยตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัมโดยเฉลี่ย มีค่า pH ต่ำกว่าตำรับที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) การที่ EC ของดินลดลง แสดงว่าเกลือในดินลดลงและการที่ค่า SAR ลดลง แสดงว่า เกลือโซเดียมได้ถูกชะล้างออกจากดินมากแล้ว จึงทำให้ pH ของน้ำที่ถูกชะล้างออกมาลดลงด้วย ซึ่งแสดงว่า pH ของดินลดลง



ภาพประกอบที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ถูกชะล้างออกจากดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมกับ ระยะเวลา

1.2.6 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินหลังสิ้นสุดการทดลอง

หลังสิ้นสุดการทดลอง นำตัวอย่างดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (EC 1:5) (ตารางที่ 13) พบว่า ความเค็มที่ยังอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้ในการปรับปรุงดินและความสามารถในการนำน้ำซึ่งชะล้างเกลือออกจากดิน โดย ตำรับดินที่ผสมปุ๋ยมูลไก่ (Cm3G) ที่มีโซเดียมเป็นองค์ประกอบมากมีค่า EC สูงที่สุด ขณะที่ตำรับดินที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) และตำรับ Cm3G มีค่า EC สูงกว่าตำรับที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบชนิดอื่นที่ใส่ร่วมกับยิปซัม และการผสมวัสดุเนื้อหยาบในอัตรา 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัมที่มีค่า Ks สูงจะเหลือความเค็มอยู่ในดินน้อยกว่าดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุหยาบในอัตรา 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัมที่มีค่า Ks ต่ำกว่า โดย สามารถเรียงลำดับค่า EC ของดิน ดังนี้ Cm3G > G , M3G > Cd3G , Sd3G , H3G > Cd6G ; Sd6G > H6G ; PAMG

ตารางที่ 13 การนำไฟฟ้า (EC) ของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตำรับการทดลอง	EC ดิน (dSm^{-1})
G	595.50 ± 2.50^{b}
M3G	568.33 ± 44.33^{b}
Cm3G	867.00 ± 96.57^{a}
Sd3G	268.66 ± 54.28^{cd}
Cd3G	385.33 ± 44.56^{c}
H3G	247.33 ± 11.10^{cd}
Sd6G	221.00 ± 17.93^{d}
Cd6G	253.33 ± 11.14^{cd}
H6G	190.00 ± 31.00^{d}
PAMG	178.00 ± 7.00^{d}
F - test	**
(%) C.V.	20.37

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่า ตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการนำน้ำของดินได้ดีกว่าการใส่ยิปซัมเพียงอย่างเดียว และค่าการนำน้ำของดินจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนของวัสดุที่ผสมลงไปในดิน โดยดินที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบร่วมกับยิปซัม และดินที่ผสมสารโพลิเมอร์ร่วมกับยิปซัม ให้ค่าการนำน้ำของดินดีกว่าดินที่ผสมวัสดุดิน เนื้อละเอียดร่วมกับยิปซัมและดินที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว ซึ่ง ตำรับที่ผสมสารโพลิเมอร์ร่วมกับยิปซัม(PAMG) มีค่าการนำน้ำสูงสุด คือ 56 เซนติเมตรต่อวัน ขณะที่การใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) มีค่าการนำน้ำเพียง 3.94 เซนติเมตรต่อวัน สำหรับความสามารถในการชะล้างโซเดียมออกจากดิน ส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าการนำน้ำของดิน โดยดินที่มีค่าการนำน้ำสูง โซเดียมถูกชะล้างออกมากกว่าดินที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า เช่น ดินที่ผสมขี้เลื่อย 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Sd6G) และดินที่ผสมขุยมะพร้าว 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Cd6G) มีปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดินสูงกว่าดินที่ผสมขี้เลื่อย 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Sd3G) และดินที่ผสมขุยมะพร้าว 3% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Cd3G) อย่างไรก็ตาม ปริมาณโซเดียมถูกชะล้างออกจากดินยังขึ้นอยู่กับการกระจายของช่องว่างในดิน กล่าวคือ ถ้าในดินมีช่องว่างทั้งขนาดใหญ่และเล็กจะทำให้ยิปซัมมีโอกาสทำปฏิกิริยากับโซเดียมในดิน และโซเดียมถูกชะล้างออกมาตามช่องขนาดใหญ่ ซึ่งจะเห็นว่า โซเดียมถูกชะล้างออกจากดินที่ผสมแกลบ 6%โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (H6G) มากกว่าจากดินที่ผสมสารโพลิเมอร์ร่วมกับยิปซัม (PAMG) ที่มีช่องขนาดใหญ่เป็นปริมาณมากกว่า และตำรับการทดลองดินที่ผสมขี้เลื่อย 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Sd6G) และดินที่ผสมขุยมะพร้าว 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (Cd6G) มีปริมาณโซเดียมที่ถูกชะล้างออกจากดินสูงกว่าตำรับการทดลองดินที่ผสมสารโพลิเมอร์ร่วมกับยิปซัม (PAMG) และดินที่ผสมแกลบ 6% โดยน้ำหนักร่วมกับยิปซัม (H6G) ทั้ง ๆ ที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า ดังนั้น จึงได้ทำการคัดเลือกตำรับที่มีค่าการนำน้ำดี เพื่อนำมาศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ต่อการชะล้างโซเดียมและเกลือออกจากหน้าตัดดิน

2. **ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการชะล้างโซเดียมและเกลือออกจากหน้าตัดดิน**

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ต่อการชะล้างโซเดียมและเกลือออกจากหน้าตัดดิน ซึ่งมีผลต่อเนื่องกับการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน นากุ้งร้างที่เป็นดินล่าง สำหรับการทดลองได้เลือกวัสดุที่มีการนำน้ำดีจากการทดลองแรก ซึ่งได้แก่ แกลบ และขี้เลื่อย และปุ๋ยคอกซึ่งเป็นตัวแทนของปุ๋ยอินทรีย์ ทุกตำรับการทดลองมีการผสมกับยิปซัม ตำรับการทดลองที่มีการผสมวัสดุปรับปรุงดิน มีดังนี้ ดินผสมแกลบ 3% และ 6% โดยน้ำหนัก (H3G, H6G) ดินผสมขี้เลื่อย 6% โดยน้ำหนัก (Sd6G) และดินผสมปุ๋ยคอก 3% โดยน้ำหนัก (M3G) กำหนดให้ดินผสมวัสดุเหล่านี้กับยิปซัมเป็นดินบนหนา 15 เซนติเมตร ส่วนดินล่างเป็นดินนากุ้งร้าง โดยตำรับ Sd6G, M3G และ G ให้ดินนากุ้งร้างด้านล่างหนา 30 เซนติเมตร (รวมดินลึก 45 เซนติเมตร) และเพิ่มเป็น 40 เซนติเมตรสำหรับตำรับที่ผสมแกลบ (H3G และ H6G, รวมดินลึก 55 เซนติเมตร) (ดูรายละเอียดในวิธีการทดลองบทที่ 2) ผลการทดลอง ได้แก่ อัตราการระเหยน้ำ การกระจายความชื้นของดิน ความสามารถในการชะล้างโซเดียมและเกลือที่ละลายได้ในหน้าตัดดินตลอดระยะเวลาการทดลองมีดังนี้

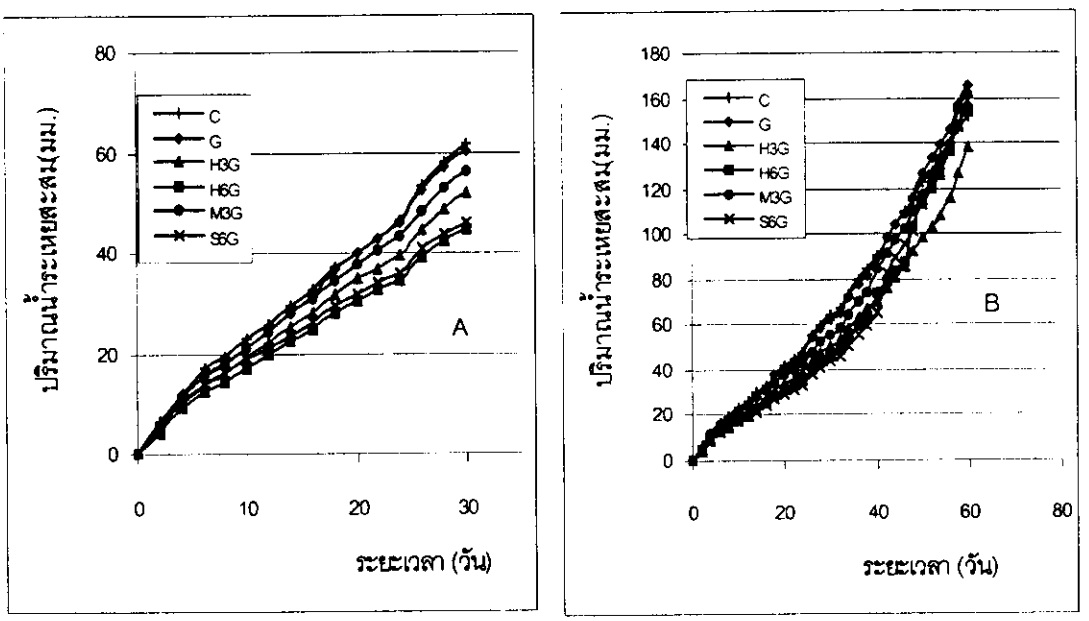
2.1 **การระเหยน้ำ**

การระเหยน้ำของดิน เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการเก็บรักษาน้ำไว้ในดินและป้องกันการระเหยของเกลือจากดินล่างมาสะสมที่ผิวดิน การระเหยน้ำสะสมของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม แสดงในภาพประกอบที่ 14 เห็นได้ว่า ทุกตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม (Sd6G, H6G, H3G, M3G) สามารถลดอัตราการระเหยน้ำได้ดีกว่าตำรับดินนากุ้งใส่ยิปซัม (G) และดินนากุ้งร้าง (C)

การศึกษาในช่วง 30 วันแรก (ภาพประกอบที่ 14A) พบว่า Sd6G มีอัตราการระเหยน้ำต่ำสุด โดยสามารถเรียงลำดับการระเหยน้ำของดิน ดังนี้ Sd6G < H6G < H3G < M3G < G < C ในการทดลอง 60 วัน รูปแบบการระเหยน้ำจะคล้ายกับ 30 วันในช่วงแรก ๆ แต่ประมาณวันที่ 40 (ภาพประกอบที่ 14B) รูปแบบการระเหยน้ำมีลักษณะผิดปกติไป คือ มีปริมาณน้ำระเหยสูงผิดปกติในบางตำรับการทดลอง ทั้ง ๆ ที่สภาพแวดล้อมไม่ได้เปลี่ยนแปลงมาก เมื่อมาตรวจสอบพบว่า มีการซึมของน้ำออกจากด้านล่างของท่อ ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้น ตั้งแต่วันที่ 40 เป็นต้นไปจึงไม่สามารถวัดปริมาณการระเหยของน้ำในบางตำรับ อย่างไรก็ตาม การสูญเสียน้ำจากการซึมลงด้านล่าง จะบอกถึงความสามารถในการซึมน้ำของดินตำรับต่าง ๆ โดยถ้าเปรียบเทียบกันในระหว่างตำรับการทดลองที่มีความลึกของดิน 45 เซนติเมตรเท่ากัน คือ

Sd6G, M3G, G และ C จากภาพประกอบที่ 14B พบว่า Sd6G มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด โดยมากกว่า M3G, G และ C ตามลำดับ แสดงว่า Sd6G ทำให้น้ำไหลผ่านช่วงความลึก 45 เซนติเมตรได้เร็วกว่า M3G ,G และ C และถ้าเปรียบเทียบกันในระหว่างตำรับการทดลองที่มีความลึกของดิน 55 เซนติเมตรเท่ากัน คือ H6G, H3G จะพบว่า H6G มีการสูญเสียน้ำมากกว่า H3G แสดงว่า H6G ทำให้น้ำไหลผ่านช่วงความลึก 55 เซนติเมตรได้เร็วกว่า H3G และน้ำซึมลงไปในดินในตำรับ H6G ได้เร็วกว่าใน Sd6G

ดินในตำรับที่มีการระเหยน้ำน้อยเกิดจากน้ำที่ซึมลงไปในดินได้ลึกกว่าดินที่มีการระเหยน้ำมาก Rahman และคณะ (1996) ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์และวัสดุอนินทรีย์ในการปรับปรุงดินเค็มโซดิก โดยใช้วัสดุปรับปรุงดิน 6 ชนิด ได้แก่ ทราย ยิปซัม ขี้ไก่ กากของเสียแห้ง ผักตบชวา และปุ๋ยหมัก ผสมกับดินเค็มโซดิก พบว่า ดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดสามารถลดการระเหยน้ำของดินเค็ม-โซดิกที่เป็นดินล่างได้เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และดินที่ผสมทรายซึ่งมีอัตราการซึมน้ำสูงสุด สามารถลดอัตราการระเหยน้ำได้ 32 % รองลงมาได้แก่ ดินผสมขี้ไก่ ยิปซัม ผักตบชวา ปุ๋ยหมัก และกากของเสียแห้ง ตามลำดับ

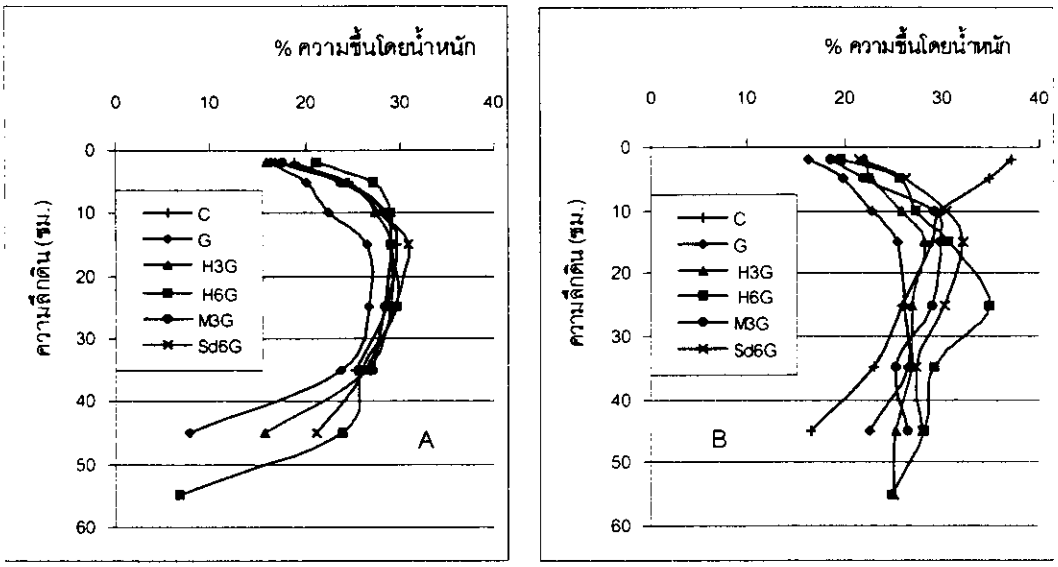


ภาพประกอบที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำระเหยสะสมของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ระยะเวลา

A หลังการทดลอง 30 วัน B หลังการทดลอง 60 วัน

2.2 การกระจายความชื้นในดิน

การกระจายความชื้นในดินผสมตำรับต่าง ๆ ในการทดลองนี้มีรูปแบบเหมือนกับในดินทั่วไป กล่าวคือ ดินบนเป็นส่วนที่ดินได้รับน้ำก่อนและมีการระเหยน้ำ (surface zone) ส่วนกลางเป็นช่วงที่ดินมีการส่งผ่านความชื้นและมีความชื้นสม่ำเสมอ (transmission zone) ส่วนล่างสุดเป็นรอยต่อระหว่างดินเปียกและดินแห้งซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน (wetting front) รูปแบบการกระจายความชื้นในดินตำรับต่างๆ แสดงในภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 การกระจายความชื้นในหน้าตัดดินของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ความลึกดิน

A หลังการทดลอง 30 วัน B หลังการทดลอง 60 วัน

จากภาพประกอบที่ 15 พบว่า ระยะเวลาสิ้นสุด 30 วันแรกของการทดลอง ตำรับ H6G และ Sd6G ซึ่งมีการระเหยน้ำน้อยที่สุด น้ำสามารถซึมลงไปในดินได้เร็วที่สุดและมีความชื้นตลอดหน้าตัดดินมากที่สุด (ภาพประกอบที่ 15A) และทุกตำรับการทดลองที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน น้ำได้ไหลผ่านความลึก 45 เซนติเมตรลงไปแล้ว โดยเรียงลำดับความชื้นตลอดหน้าตัดดินได้ดังนี้ คือ H6G; Sd6G > H3G ; M3G > G > C สำหรับการกระจายความชื้นในดินหลังการทดลอง 60 วัน (ภาพประกอบที่ 15B) พบว่า ในดินบน Sd6G ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสุด ขณะที่ดินนากุ้งร้าง (C) มีความชื้นสูงมาก เป็นเพราะดินที่ไม่ใส่ยิปซัมจะมีน้ำขังอยู่บนผิวดิน เนื่องจาก ดินพองตัว แน่นทึบ จึงทำให้ดินบนเปียก ในขณะที่ดินล่างแห้ง สำหรับดินล่างมีการกระจายความชื้นคล้ายกับการทดลอง 30วัน แต่การกระจายความชื้นจะแตกต่างกันเด่นชัดขึ้นและไม่มีช่วงรอยต่อระหว่าง

ดินเปียกและดินแห้งเพราะน้ำได้ไหลผ่านความลึกที่ 55 เซนติเมตรไปแล้ว โดยสรุปลำดับความชื้นตลอดหน้าตัดดินหลังการทดลอง 60 วัน เป็นดังนี้ H6G > Sd6G > M3G > H3G > G > C

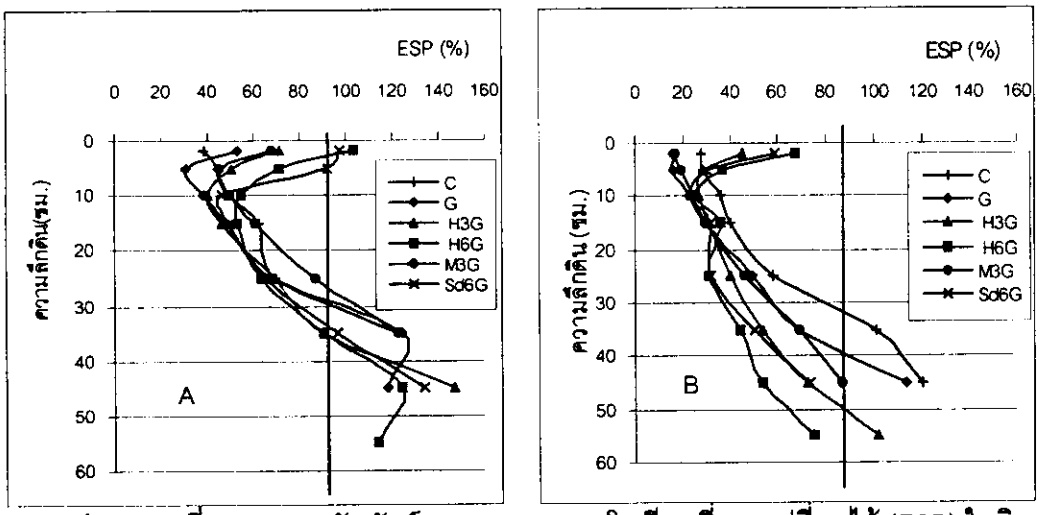
งานทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า น้ำสามารถไหลผ่านดินในตำรับการทดลอง Sd6G และ H6G ได้ลึกกว่าและมีความชื้นในดินสูงกว่าตำรับอื่นๆ ส่วนปุ๋ยคอกมีแนวโน้มช่วยทำให้การซึมน้ำในดินดีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

2.3 **การกระจายโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน** (ESP)

ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (ESP) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable Na) เมื่อเปรียบเทียบกับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity) การกระจายค่า ESP ในดิน จึงเป็นการบอกถึงการชะล้างและการสะสมของโซเดียมในหน้าตัดดิน

การกระจายค่า ESP ในหน้าตัดดินของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม แสดงในภาพประกอบที่ 16

จากภาพประกอบที่ 16 พบว่า ค่า ESP ของดินทุกตำรับการทดลองหลังจากสิ้นสุด 30 วัน (ภาพประกอบ16A) มีค่าสูงกว่าที่วัดได้หลังจากการทดลอง 60 วัน (ภาพประกอบ16B) โดยทุกตำรับการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน สามารถชะล้างโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ออกจากหน้าตัดดินได้ดีกว่าตำรับ C เมื่อเวลานานขึ้น



ภาพประกอบที่ 16 ความสัมพันธ์ของการกระจายโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) ในดินนากุ้งร้างผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับ ความลึกดิน ค่า ESP ในดินดั้งเดิมเท่ากับ 90.24 %

A ทำการทดลอง 30 วัน B ทำการทดลอง 60 วัน

ดินนากุ้งร้างที่มีดินผสมวัสดุเนื้อหยาบเป็นดินบน ทำให้โซเดียมถูกชะล้างลงไปในดินนากุ้งร้างที่อยู่ด้านล่างได้ลึกกว่าดินที่ผสมวัสดุเนื้อละเอียด ตารางที่14 แสดงความลึกของดินที่มีการชะล้างโซเดียม ซึ่งพิจารณาจากค่า ESP ในดินที่ต่ำกว่าค่า ESP ดั้งเดิมของดิน โดยสรุปลำดับความลึกของดินที่โซเดียมถูกชะล้างจากดินในตำรับต่าง ๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 60 วัน ดังนี้ H6G > S6G > H3G > M3G > G > C กลุ่มดินที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบร่วมกับยิปซัมทำให้โซเดียมถูกชะล้างลงไปในดินได้ลึกกว่ากลุ่มดินที่ผสมวัสดุเนื้อละเอียดร่วมกับยิปซัม และการใส่ในอัตราสูงดีกว่าการใส่ในอัตราต่ำ สืบเนื่องจาก ความสามารถของการซึมน้ำของดินบนตำรับต่าง ๆ โดยดินที่มีการซึมน้ำได้ดีจะชะล้างยิปซัมหรืออีกนัยหนึ่งคือ Ca^{++}ลงมาในดินได้ลึกกว่าตั้งแต่ในช่วงเริ่มต้น ทำให้บริเวณที่น้ำซึมผ่านถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และเมื่อมีการเติมน้ำในรอบต่อ ๆ ไป น้ำจะซึมลงไปได้ลึกลงเรื่อย ๆ โดยผ่านดินชั้นบนที่ถูกปรับปรุงแล้ว เกิดการปรับปรุงดินในบริเวณที่น้ำไหลผ่านเป็นลำดับ ดังนั้น ดินบนที่มีการนำน้ำได้ดีจะทำให้ดินล่างถูกปรับปรุงได้เร็วขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับดินบนที่ซึมน้ำได้ช้า เพราะน้ำจะค่อย ๆ ซึมลงไปในดินและน้ำที่ซึมลงไปมี Ca^{++}น้อย จึงทำให้ความลึกของชั้นดินที่จะถูกปรับปรุงเกิดขึ้นช้ากว่าดินที่มีการนำน้ำในดินบนได้ดีกว่า

จากตารางเดียวกันจะเห็นว่า เมื่อสิ้นสุด 30 วันแรกของการทดลอง ดินผสมในตำรับ C และ M3G มีโซเดียมถูกชะล้างลงไปในดินที่ระดับใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป G และ M3G สามารถเพิ่มความลึกของการชะล้างโซเดียมลงไปในดินได้มากกว่า C (เพิ่มขึ้น 11 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรตามลำดับเมื่อเทียบกับ 2.5 เซนติเมตรใน C) ทั้งนี้เป็นเพราะ ในสภาพความเป็นจริงการชะล้างเกลือในดินนากุ้งร้างไม่ได้เกิดจากการที่น้ำค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน แต่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านทางร่องที่เกิดจากการหดตัวของดิน ดังนั้น ดินบนของ C จึงมีค่า ESP ต่ำ แต่เมื่อมีการเติมน้ำในระยะหลัง ดินจะแตกและพองตัว ทำให้เกิดการอุดตัน น้ำซึมลงไปในดินไม่ได้ โซนการชะล้างเกลือในดินนากุ้งร้าง (C) จึงเพิ่มขึ้นน้อยมาก ต่างจากดินที่ใส่ยิปซัม ซึ่ง Ca^{++}จะช่วยลดการฟุ้งกระจายของดินและการเปียก-แห้งของดินหลาย ๆ รอบ ทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กในดิน ซึ่งทำให้การชะล้างโซเดียมลงสู่ดินล่างมากขึ้นกว่าดินที่ไม่ใส่ยิปซัม สำหรับความแตกต่างของความลึกของโซนชะล้างโซเดียมในดินที่ผสมปุ๋ยคอก (M3G) เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน จะต่างจาก 30 วันมากกว่าดินที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว (G) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ปุ๋ยคอกจะส่งเสริมให้การซึมน้ำดีขึ้นทำให้เกิดการชะล้างโซเดียมลงไปในดินได้ลึกกว่า

ตารางที่ 14 ประมาณความลึกของโซนที่มีการชะล้างโซเดียมหรือโซนที่ดินมีค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (ESP) ลดลงจากดินเดิม หลังสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน และ 60 วัน

ตำรับการทดลอง	ความลึกของโซนชะล้างเกลือที่ 30 วัน (ซม.)	ความลึกของโซนชะล้างเกลือ ที่ 60 วัน (ซม.)	ความแตกต่างของความลึกโซนชะล้างที่ 30 และ 60 วัน (ซม.)
C	30	32.5	2.5
G	29	40	11
M3G	26	46	20
H3G	35	51	16
Sd6G	33	50	17
H6G	35	59	24

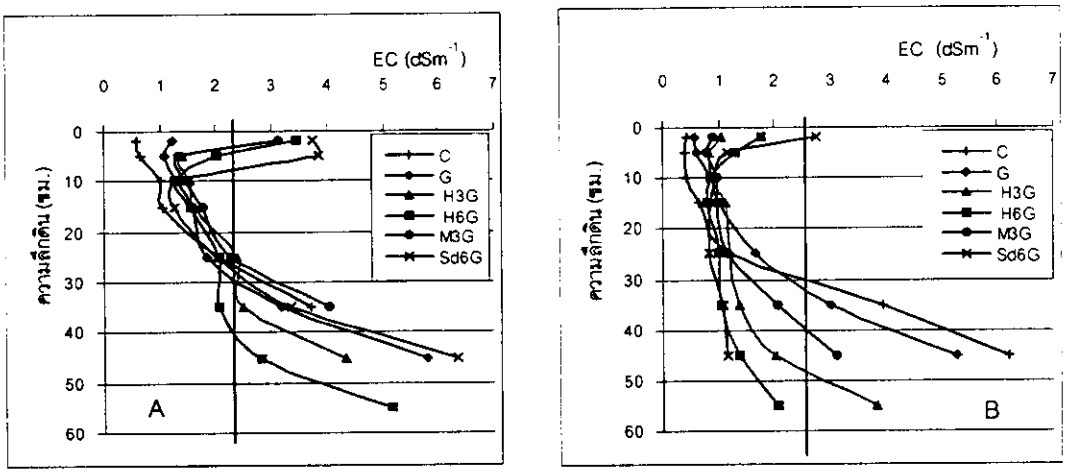
ถึงแม้ว่า ตำรับดินที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบที่มีการนำน้ำดี (Sd6G, H6G และ H3G) จะสามารถชะล้างโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาสะสมที่ดินล่างได้ดีและสามารถปรับปรุงดินได้เร็วกว่าตำรับที่ผสมวัสดุเนื้อละเอียดที่มีค่าการนำน้ำต่ำกว่า (M3G และ G) แต่ในส่วนดินบน 5 เซนติเมตร (ภาพประกอบที่ 16) ที่เป็นส่วนของดินผสมกลับพบว่ามีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนสูงกว่า น่าจะมาจากการซึมน้ำเช่นกัน กล่าวคือ การที่ดินมีการซึมน้ำเร็วจะชะล้างยิปซัมออกจากหน้าตัดดินได้มาก จึงอาจจะเหลือยิปซัมในดินน้อย ทำให้โซเดียมยังคงเหลือในดินมากกว่าดินที่อยู่ด้านล่าง

การผสมวัสดุที่มีการนำน้ำได้ดีร่วมกับยิปซัมในดินบน ทำให้ดินได้รับการปรับปรุงในแนวลึกมากขึ้นและดีขึ้นกว่าการใส่ยิปซัมอย่างเดียว โดยดินที่ผสมแกลบมีแนวโน้มที่ดีกว่าขี้เลื่อย ส่วนปุ๋ยคอกน่าจะให้ผลดีในระยะยาว ถึงแม้ว่าดินที่ผสมแกลบหรือขี้เลื่อยในอัตราสูงจะทำให้ดินโดยรวมได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น แต่ผิวดินบริเวณที่น้ำผ่านไปอย่างรวดเร็วจะมีโซเดียมที่ไม่ถูกชะล้างคงเหลืออยู่เป็นปริมาณมากโดยเฉพาะในช่วง 5 รอบแรกของการให้น้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Rahman และคณะ (1996) พบว่า ตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดิน สามารถชะล้างโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาสะสมในดินล่างได้ดีกว่าดินที่ไม่ได้ใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดยตำรับผสมทรายที่มีอัตราการนำน้ำได้ดีที่สุดและมีอัตราการระเหยน้ำน้อยที่สุด สามารถชะล้างโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาสะสมในดินล่างได้ดีกว่าดินผสมขี้ไก่ ยิปซัม ผักตบชวา ปุ๋ยหมัก และกากของเสียแห้งตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการนำน้ำต่ำกว่าและมีอัตราการระเหยน้ำสูงกว่า

2.4 **การกระจายความเค็มของดิน** (EC)

ความเค็มของดินเป็นปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในดิน ซึ่งวัดได้จากค่าการนำไฟฟ้าของดิน (ดิน : น้ำ 1:5) โดย แสดงผลในภาพประกอบที่ 17 จากภาพพบว่า ทุกตำรับการทดลองที่ใส่ยิปซัมสามารถชะล้างเกลือมาสะสมที่ระดับดินล่างได้ดีกว่าตำรับ C เมื่อเวลาทดลองนานขึ้น

การกระจายความเค็มในดิน มีรูปแบบสอดคล้องกับค่า ESP ของดิน เนื่องจากเกลือที่ละลายได้ส่วนใหญ่ คือ เกลือโซเดียม ดังนั้น ความลึกของดินที่มีค่า EC ลดลงจะใกล้เคียงกับการลดลงของค่า ESP โดยตำรับการทดลองที่มีค่าการนำน้ำดี ซึ่งได้แก่ ตำรับที่ผสมวัสดุเนื้อหยาบ สามารถชะล้างเกลือลงไปสะสมในดินได้ลึกกว่าตำรับที่มีค่าการนำน้ำต่ำ ความลึกของดินที่เกลือถูกชะล้าง ดังนี้ Sd6G > H6G > H3G > M3G > G > C

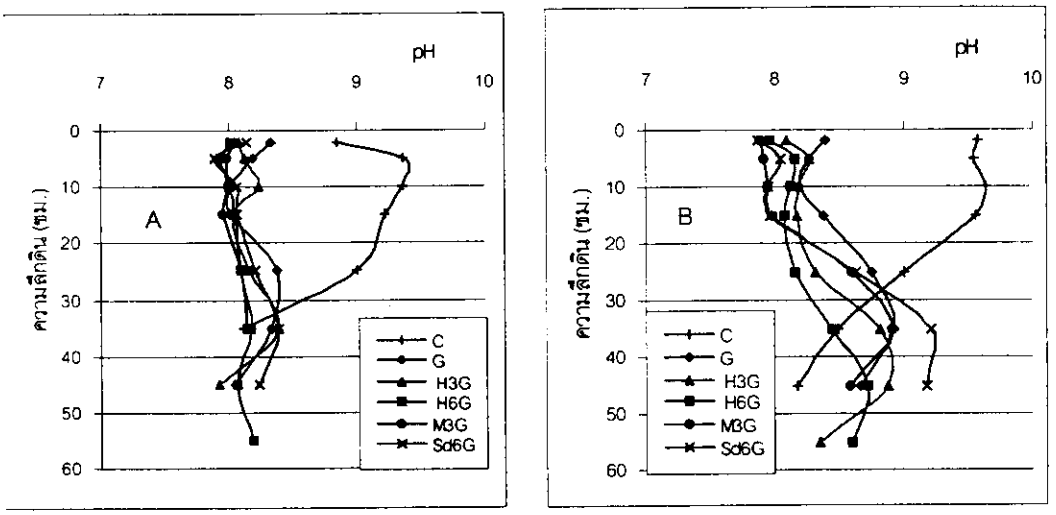


ภาพประกอบที่ 17 ความสัมพันธ์ของการกระจายความเค็ม (EC1:5) ในหน้าตัดดินของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัมกับความลึกดิน (EC เดิมของดิน คือ 2.71 dSm^{-1})

A ทำการทดลอง 30 วัน B ทำการทดลอง 60 วัน

2.5 **การกระจายความเป็นกรด-ด่างของดิน** (pH)

ความเป็นกรด-ด่างของดินมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโซเดียมในดิน จากภาพประกอบที่ 18A เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 30 วัน pH ของดินตลอดหน้าตัดดินต่ำกว่า 8.5 ทั้งนี้เนื่องจาก EC ของดินยังสูงในขณะที่โซเดียมถูกชะล้างออกจากดินบ้างแล้ว ดังนั้น อิทธิพลของเกลือยังคงอยู่ทำให้ pH ของดินไม่เกิน 8.5 แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นดังภาพประกอบที่ 18B pH ของดินล่างทุกตำรับการทดลองที่ใส่ยิปซัมเพิ่มขึ้นเกิน 8.5 น่าจะเป็นเพราะเกลือที่อยู่ในดินล่าง ซึ่งได้แก่ โซเดียมที่ถูกชะล้างจากด้านบนลงไป มีอิทธิพลทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 18 ความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในหน้าตัดดินของดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ ร่วมกับยิปซัม กับความลึกดิน

A ทำการทดลอง 30 วัน B ทำการทดลอง 60 วัน

การศึกษาประสิทธิภาพของการระเหยน้ำและการชะล้างเกลือในดินของวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ พบว่า ตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม (H3G, H6G, Sd6G และ M3G) มีอัตราการระเหยน้ำต่ำและสามารถชะล้างโซเดียมมาสะสมที่ระดับดินล่างได้ดีกว่าดินที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียว(G) โดยดินที่ใส่ยิปซัมอย่างเดียวมีอัตราการระเหยน้ำสูง เนื่องจาก การนำน้ำได้ต่ำ และส่งผลให้การชะล้างโซเดียมและเกลือในดินต้องใช้เวลานาน ขณะที่ ตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุเนื้อหยาบ ซึ่งได้แก่ ตำรับที่ผสมแกลบ 3% ร่วมกับยิปซัม (H3G) ตำรับที่ผสมแกลบ 6% ร่วมกับยิปซัม (H6G) และตำรับที่ผสมขี้เลื่อย 6% ร่วมกับยิปซัม (Sd6G) มีการนำน้ำได้ดี มีการซึมน้ำจากชั้นบนลงมายังดินล่างได้เร็ว ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำต่ำและสามารถชะล้างโซเดียมมาสะสมที่ระดับดินล่างได้เร็ว นอกจากนี้ การผสมวัสดุในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การชะล้างโซเดียมลงไปยังดินล่างเพิ่มขึ้น ส่วนตำรับที่ผสมปุ๋ยคอก (M3G) จะเห็นผลดีในระยะยาว ดังนั้นในการทดลองต่อไป จึงได้ทำการคัดเลือกตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินจำพวกวัสดุเนื้อหยาบ (H3G, H6G และ Sd6G) ที่มีการนำน้ำได้ดี เพื่อนำมาศึกษาศักยภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการเจริญเติบโตของพืช โดยคาดว่า การล้างดินในตำรับดินเหล่านี้ จะทำให้การปรับปรุงดินเค็มใช้เวลาลดลง

3 ผลของวัสดุปรับปรุงดินในการตอบสนองของพืชทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการตอบสนองของพืชทดลอง ประกอบด้วยตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม ได้แก่ แกลบ 3% โดยน้ำหนัก (H3G) และ 6% โดยน้ำหนัก (H6G) และขี้เลื่อย 6% โดยน้ำหนัก (Sd6G) เป็นตำรับที่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินนากุ้งร้างที่เกี่ยวกับการระบายน้ำและความสามารถในการชะล้างโซเดียมได้อย่างชัดเจน ซึ่งก่อนปลูกพืชได้ทำการล้างดิน พบว่า หลังการล้างดิน Sd6G มีค่า EC ต่ำสุด สูงขึ้นมา ได้แก่ H6G และ H3G มีค่า EC สูงสุด (1.84 , 2.88 และ 3.29 dSm^{-1} ตามลำดับ) ทดลองปลูกพืชร่วมกับตำรับดินนากุ้งร้าง (C) และดินนาข้าว (R) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของพืชทดลอง ในส่วนของพืชได้คัดเลือกพืชทนเค็ม 5 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง คะน้า ผักกาดหอม ข้าวโพด และหญ้าขน หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชแล้ว นำตัวอย่างดินมาศึกษาค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ 2 ระดับความลึก ได้แก่ ระดับ 0-15 และลึกกว่า 15 เซนติเมตร ผลการทดลองเป็นดังนี้

3.1 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

ผลผลิตพืชในภาพรวม พบว่า พืชทุกชนิดให้ผลผลิตดีที่สุดเมื่อปลูกในดินนาข้าว พืชที่ปลูกในดินนากุ้งร้างผสมขี้เลื่อย (Sd6G) จะให้ผลผลิตน้อยที่สุด ในขณะที่พืชที่ปลูกในดินผสมแกลบ 6% (H6G) ให้ผลผลิตดีกว่าพืชที่ปลูกในดินผสมแกลบ 3% (H3G) ถ้าเปรียบเทียบน้ำหนักสดและแห้งของพืชทนเค็มที่ปลูกในดินนาข้าวปกติ ซึ่งในที่นี้ถือว่าให้ผลผลิตดีที่สุด กับน้ำหนักสดและแห้งของพืชทนเค็มที่ปลูกในดินตำรับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า พืชทนเค็มมาก 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าขน คะน้า และผักบุ้งมีแนวโน้มให้ผลต่างกัน โดยคะน้าซึ่งปลูกด้วยการย้ายกล้าให้ผลผลิตใกล้เคียงกับการปลูกในดินนาข้าว ซึ่งต่างจากผักบุ้งที่ให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ปลูกในดินนาข้าว ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกผักบุ้งใช้วิธีการหว่าน ซึ่งทำให้การเจริญเติบโตช้าตั้งแต่ตอนเริ่ม เนื่องจาก พืชทั้งหลายจะมีความไวต่อความเค็มของดินในระหว่างที่งอกและในช่วงที่พัฒนาเป็นต้นกล้าอ่อน ดังนั้นการย้ายกล้าคะน้าที่แข็งแรงแล้วไปปลูกในดินที่เค็มกว่าจะให้ผลดีเกือบเท่ากับที่ปลูกในดินปกติ ส่วนหญ้าขนซึ่งตัดท่อนพันธุ์มาปลูกให้ผลผลิตต่ำกว่าหญ้าขนที่ปลูกในดินนาข้าว ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลเดียวกับการปลูกโดยการหว่านเพราะท่อนพันธุ์ที่ตัดมาปลูกยังไม่แข็งแรงพอที่จะทนเค็มได้ ผลผลิตจึงต่ำกว่าที่ปลูกในดินปกติมาก ส่วนผักกาดหอมและข้าวโพดซึ่งทนเค็มปานกลางจะให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ปลูกในดินนาข้าว ผลการศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชทดลองทุกชนิดแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชทดลองที่ปลูกบนดินนากุ้งร้างที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินชนิดและอัตราต่าง ๆ

ชุดทดลอง	น้ำหนักของพืชทดลอง									
	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)					น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)				
	ผักบุ้ง	คะน้า	หญ้าขน	ผักกาดหอม	ข้าวโพด	ผักบุ้ง	คะน้า	หญ้าขน	ผักกาดหอม	ข้าวโพด
C	0.00^{c}	0.00^{c}	0.00^{c}	0.00^{c}	0.00^{b}	0.00^{b}	0.00^{b}	0.00b	0.00^{d}	0.00^{b}
R	26.73^{a}	31.58^{a}	86.65^{a}	41.04^{a}	34.17^{a}	2.83^{a}	3.56^{a}	25.45^{a}	3.96^{a}	8.97^{a}
H3G	15.74^{b}	31.58^{a}	28.62^{c}	16.23^{b}	13.67^{b}	2.19^{a}	3.47^{a}	7.01^{b}	1.31^{c}	3.19^{b}
H6G	15.37^{b}	33.34^{a}	35.25^{b}	25.36^{b}	16.20^{b}	1.93^{a}	3.94^{a}	9.74^{b}	2.18^{b}	3.33^{b}
Sd6G	4.95^{c}	20.98^{a}	24.85^{c}	6.27^{C}	5.53^{b}	0.70^{b}	2.34^{a}	5.22^{b}	0.58^{d}	1.14^{b}
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p< 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

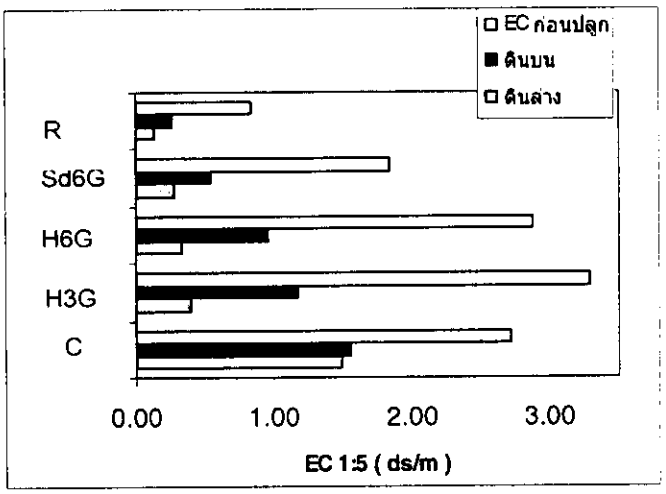
3.2 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการปลูกพืช

ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการปลูกพืช จะบอกถึงคุณสมบัติของดิน ที่ใช้ปลูกพืชเมื่อมีการล้างดิน และทำให้ทราบถึงศักยภาพของวัสดุปรับปรุงดินแต่ละชนิดในการชะล้างความเค็มออกจากดิน

3.2.1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ก่อนและหลังการปลูกพืช

ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ได้รับการปรับปรุงก่อนปลูกพืช พบว่า H3G มีค่า EC สูงสุดและสูงกว่าตำรับดินนากุ้งร้าง (C) เนื่องจาก H3G มีค่าการนำน้ำต่ำและการละลายของยิปซัมจะทำให้ดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสุทัส และคณะ (2537) พบว่า การชะล้างดินร่วมกับการใส่ยิปซัม ทำให้ดินมีค่า EC เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของแคลเซียมจากยิปซัมที่ละลายออกมาอย่างช้า ในทางปฏิบัติการล้างดินโดยให้น้ำไหลผ่านดินทำได้ยากมาก ดังนั้น วิธีการล้างดินโดยการขังน้ำไว้และดูดน้ำบนผิวดินออกจึงกระทำได้ง่ายกว่า แต่ดินยังคงมีความเค็มตกค้างอยู่มาก จึงทำให้ H3G มีค่า EC สูง แต่ดินในตำรับ H6G และ Sd6G หลังการล้างดินด้วยวิธีเดียวกัน ดินมีค่า EC ต่ำกว่าดิน H3G แสดงให้เห็นว่า ระยะเริ่มต้นของการล้างดิน การใส่วัสดุในอัตราที่สูงและมีค่าการนำน้ำดี จะสามารถชะล้างเกลือออกมาได้ดีกว่าการใส่วัสดุในอัตราที่ต่ำกว่า

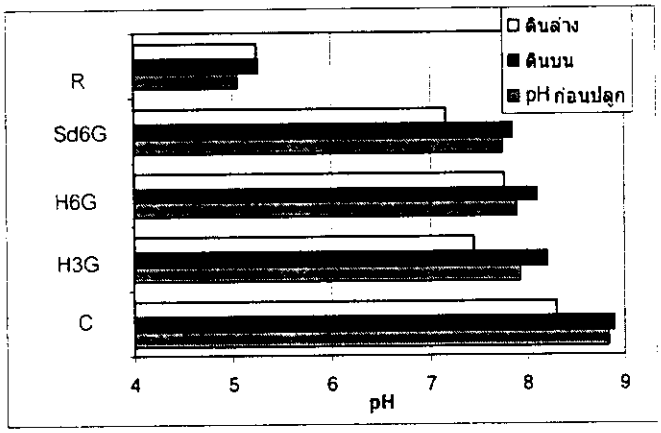
หลังการปลูกพืชในทุกตำรับการทดลอง พบว่า EC ของดินบนและดินล่างมีค่าลดลงจากเดิม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชูสิน (2540) และสุชน (2547) พบว่า หลังการปลูกพืช ทุกตำรับการทดลองที่ผสมยิปซัมมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง พรรณี (2526) พบว่า พืชที่ปลูกมีการดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ไปจากดินโดยเฉพาะไอออนต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังการปลูกพืชมีค่าลดลง โดย C มีค่า EC สูงสุดและ Sd6G มีค่า EC ต่ำสุด แสดงว่า ความสามารถในการชะล้างความเค็มของดินแต่ละตำรับจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำน้ำของดิน ซึ่งแสดงแนวโน้มในภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบที่ 19 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของดินตำรับต่าง ๆ หลังการล้างดินก่อนปลูกพืชและหลังจากปลูกพืช โดยเฉลี่ยจากการปลูกพืชทุกชนิด

3.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ก่อนและหลังการปลูกพืช

ภาพประกอบที่ 20 พบว่า ตำรับ C มี pH สูงที่สุด ประมาณ 8.5-9 แต่สำหรับตำรับที่ผสมวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับยิปซัม มีค่า pH ต่ำกว่า 8 ทุกตำรับการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชูสิน (2540) และสุชน (2547) พบว่า หลังการปลูกพืช ทุกตำรับการทดลองที่ผสมยิปซัมมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงโดยที่ระดับดินบนจะมีค่า pH สูงกว่าที่ระดับดินล่าง



ภาพประกอบที่ 20 ค่า pH เฉลี่ยของดินตำรับต่าง ๆ หลังการล้างดินก่อนปลูกพืชและหลังจากปลูกพืช โดยเฉลี่ยจากการปลูกพืชทุกชนิด

ผลของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืช ค่าความเค็มของเกลือและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่วัดได้หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช พบว่า ตำรับที่ผสมขี้เลื่อย 6% ใส่ยิปซัม (Sd6G) สามารถชะล้างความเค็มออกจากดินได้ดีสุด แต่ให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยของพืชต่ำสุด ทั้งนี้ในระหว่างการทดลองสังเกตเห็นเห็ด ซึ่งเป็นเชื้อราชนิดหนึ่ง เจริญเติบโตบนขี้เลื่อยที่ใส่ลงไปในดิน เชื้อรานี้อาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจากงานทดลองของอุไรวรรณ (2545) พบว่าเชื้อราที่เจริญเติบโตบนกากตะกอนของเสียที่ใส่ลงไปในดิน ทำให้เมล็ดข้าวโพดหวานถูกเชื้อราทำลายและเมล็ดเน่าเสีย เมล็ดข้าวโพดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ประกอบกับคุณสมบัติอื่น ๆ ของขี้เลื่อยอาจจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ค่า C/N ratio โดย Coutinho และคณะ(1997) รายงานว่า ขี้เลื่อยเป็นอินทรียวัสดุเหลือใช้ที่มี C/N ratio สูง และมีเยื่อใยสูง ทำให้การย่อยสลายช้าและการย่อยสลายต้องใช้ไนโตรเจนมาก ทำให้ช่วงแรก ๆ ของการปลูกพืช พืชอาจจะขาดไนโตรเจนได้ ซึ่งวัสดุปลูกที่มีค่า C/N ratio สูงกว่า 20 : 1 จะเริ่มมีการย่อยสลายเมื่อใส่ลงไปในดิน (เมธี, 2542) ดังนั้น การทิ้งไว้ประมาณ 1-2 เดือนก่อนปลูกพืช เพื่อให้วัสดุเน่าเปื่อยจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด (สุดา, 2533) สำหรับการผสมแกลบในอัตรา 6% โดยน้ำหนัก (H6G) มีค่าการนำน้ำสูง สามารถชะล้างความเค็มออกจากดินได้ดี ทำให้น้ำหนักของผลผลิตมีค่าสูง ดังนั้น วัสดุปรับปรุงดินที่มีความเหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงดินนากุ้งร้าง คือ แกลบ เพราะแกลบ จะทำให้ดินมีค่าการนำน้ำสูง มีอัตราการระเหยน้ำต่ำ จึงสามารถเก็บรักษาความชื้นไว้ได้สูง สามารถชะล้างเกลือได้เร็วและมีประสิทธิภาพ จึงทำให้พืชทดลองทุกชนิดที่ปรับปรุงด้วยแกลบ มีค่าของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด โดย การใส่แกลบในอัตราที่สูงจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ในอัตราที่ต่ำ