ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมน้ำในดินปลูกมันสำปะหลัง

Effect of Biochar for Soil Amendment on Moisture Content and Water Infiltration for Planting Cassava

ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง พลวัตรของการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตและผลผลิตมันสำปะหลังอย่างยั่งยืนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดย

นางสาวประไพพิศ ศรีมาวงษ์
นางสาวนภัสสร โน๊ตศิริ
นางสาวปราณี จอมอุ่น
นางสาวชนิดา เกิดชนะ
นางสาวชนิดา จรัญวรพรรณ
นายรัตนชาติ ช่วยบุดดา

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 61-63-03-08-02011-101-104-01-11

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
สิงหาคม พ.ศ. 2564

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 61-63-03-08-02011-101-104-01-11

ชื่อโครงการวิจัย ผลการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมน้ำในดินปลูกมันสำปะหลัง

Effect of Biochar for Soil Amendment on Moisture Content and Water Infiltration for Planting Cassava

กลุ่มชุดดินที่ - **ชุดดิน** วังสะพุง โคราช พล

สถานที่ดำเนินการ ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

ผู้ร่วมดำเนินการ

นางสาวประไพพิศ ศรีมาวงษ์	Prapaipit Srimawong
นางสาวนภัสสร โน๊ตศิริ	Napatsorn Notesiri
นางสาวปราณี จอมอุ่น	Pranee Chomun
นางสาวชนิดา เกิดชนะ	Chanida Kerdchana
นางสาวชนิดา จรัญวรพรรณ	Chanida Charanworapan
นายรัตนชาติ ช่วยบุดดา	Rattanachart Chuybudda

บทคัดย่อภาษาไทย

ถ่านชีวภาพช่วยปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เนื่องจากสมบัติความเป็นรูพรุนสูงเมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ การดูดซับความชื้น การอุ้มน้ำ ดูดยึดธาตุอาหาร การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของถ่านชีวภาพไม้ประดู่ที่มีต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมของน้ำในดินปลูกมันสำปะหลังลักษณะเนื้อดิน 3 ประเภท ในจังหวัดนครราชสีมา โดยการใส่ถ่านชีวภาพ 3 รูปแบบ คือ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (T1) ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T2) และใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) ทำการเก็บข้อมูลอัตราการแทรกซึมน้ำและปริมาณความชื้น ที่ระดับความลึกดินจากผิวดิน 6 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร จากผิวดิน ตามระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 3 ช่วง ได้แก่ระยะ 1 เดือน ระยะ 3 เดือน และระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพไม้ประดู่มีรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเล็กใหญ่ไม่สม่ำเสมอ ขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 0.4-15 ไมโครเมตร มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 50.94 ถึง 71.67 ตารางเมตรต่อกรัม การกระจายขนาดรูพรุนในช่วงรูพรุนขนาดกลางอยู่ในช่วง 20-47 อังสตรอม ความชื้นและอัตราการแทรกซึมน้ำของดินที่ใส่ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพพบว่า ผลการใส่ถ่านชีวภาพอัตราปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ความชื้นดินกลุ่มเนื้อหยาบสูงขึ้นที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร และพบว่าหลังการใส่ถ่านชีวภาพ 3 เดือนดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ กลุ่มดินเนื้อปานกลางดินมีความชื้นสูงขึ้นที่ระดับความลึกดิน 0-20 เซนติเมตร เมื่อใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และมีอัตราการแทรกซึมน้ำของดินเพิ่มขึ้นช่วง 3 เดือนจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับอัตราการแทรกซึมน้ำของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่พบว่าความชื้นดินเนื้อละเอียดสูงขึ้นที่ระดับความลึกดิน 60-100 เซนติเมตร หลังใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นระยะเวลา 2 ปี เมื่อพิจารณาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง พบว่าในทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดิน การใส่ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าช่วงปีแรกการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้น้ำหนักลำต้นในดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด และน้ำหนักส่วนเหนือดินในดินเนื้อหยาบสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ปริมาณความชื้น การแทรกซึมน้ำ มันสำปะหลัง

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ABSTRACT

Biochar improves soil physical properties. Due to its high porosity properties, when added to the soil, it absorbs moisture, water retention, nutrient absorption. The objective of the study was to study the effect of Padauk wood biochar on soil moisture and soil infiltration under three soil-textured group of cassava field areas at Nakhon Ratchasima province. There were 3 different biochar application rates, without biochar (T1); soil amended with biochar every year 1,000 kg/rai (T2) and with biochar once, 2000 kg/rai (T3). Data were collected for water infiltration rate and soil moisture content at a depth of 10, 20, 30, 40, 60 and 100 cm from the soil surface. According to the three times where the growth period of cassava in 1, 3 months and harvesting period. The results showed that Padauk wood biochar is very porous. Irregularly small, the pore size ranges from 0.4-15 μm, with specific surface area values from 50.94 to 71.67 m^2/g. The pore size distribution in the medium pore range ranges from 20-47 Å. The moisture content and water infiltration rate of the soil amended with biochar compared with soil without the biochar were found. Adding biochar at the rate of 1,000 kg/rai per year and at the rate of 2,000 kg/rai as a result, the coarse-textured soil moisture was increased at a depth of 60-100 cm. It was found that 3 months after the application of biochar, the water infiltration rate was higher than without the application of biochar. Medium-textured soil had higher soil moisture at 0-20 cm soil depth when adding biochar at the rate of 2,000 kg/rai, and the rate of soil water infiltration increased during 3 months until the harvesting period as well as the water infiltration rate of fine-textured soil. It was found that the fine-textured soil moisture was higher at the soil depth of 60-100 cm after applying biochar at the rate of 1,000 kg/rai for 2 years. Considering cassava yields and their components of cassava. In all three soil-textured groups amended with biochar did not significantly increase cassava yield. But found that during the first year, the rate of biochar at 2,000 kg/rai effected to stem weight in coarse-textured soil and fine-textured soil, and fresh top weight in coarse-textured soil was significantly higher than without biochar added.

Key word: Biochar, Moisture content, Water infiltration, Cassava

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย i
ABSTRACT ii
สารบัญ iii
สารบัญตาราง v
สารบัญภาพ vi
บทนำ 1
หลักการและเหตุผล 1
วัตถุประสงค์ 1
ขอบเขตโครงการวิจัย 1
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดโครงการวิจัย 1
การตรวจเอกสาร 2
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ 9
อุปกรณ์และวิธีการ 10
อุปกรณ์ 10
วิธีการ 10
ผลการวิจัย 12
1. สถานที่ดำเนินการ และสมบัติบางประการของดิน 12
2. สมบัติถ่านชีวภาพไม้ประดู่ 13
3. ความชื้นในดิน 14
4. การแทรกซึมน้ำของดิน 24
5. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง 30
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย 34
เอกสารอ้างอิง 36
ภาคผนวก 37

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงตำรับการทดลอง....10
ตารางที่ 2 พื้นที่ศึกษาที่เป็นตัวแทนลักษณะเนื้อดิน 3 ประเภท....12
ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีบางประการของดิน....13
ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพไม้ประดู่....14
ตารางที่ 5 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอจักราช....15
ตารางที่ 6 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอห้วยแถลง....18
ตารางที่ 7 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอปากช่อง....21
ตารางที่ 8 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินหยาบ....24
ตารางที่ 9 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินปานกลาง....26
ตารางที่ 10 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินละเอียด....28
ตารางที่ 11 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ30
ตารางที่ 12 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ....31
ตารางที่ 13 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง....31
ตารางที่ 14 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง....32
ตารางที่ 15 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด32
ตารางที่ 16 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด....33

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง 2
ภาพที่ 2 แท่งวัดความต้านทานไฟฟ้า 4
ภาพที่ 3 เครื่องเทนซิโอมิเตอร์ 5
ภาพที่ 4 เครื่องวัดความชื้นแบบ Profile Probe แบบ 6 ระดับ 6
ภาพที่ 5 เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน 7
ภาพที่ 6 เครื่องวัดการแทรกซึมของน้ำผ่านผิวดินแบบถังคู่ (Double-ring infiltrometer) 8
ภาพที่ 7 ลักษณะพื้นผิวของไม้ประดู่ (ภาพตัดขวาง) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 14
ภาพที่ 8 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละช่วงระยะเวลา 16
ภาพที่ 9 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละระดับความลึกดิน 17
ภาพที่ 10 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละช่วงระยะเวลา 19
ภาพที่ 11 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละระดับความลึกดิน 20
ภาพที่ 12 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละช่วงระยะเวลา 22
ภาพที่ 13 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละระดับความลึกดิน 23
ภาพที่ 14 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละช่วงระยะเวลา 25
ภาพที่ 15 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละช่วงระยะเวลา 27
ภาพที่ 16 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละช่วงระยะเวลา 29

บทนำ

หลักการและเหตุผล

มันสำปะหลังพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นๆของประเทศไทยเป็นพืชที่ปลูกง่ายสามารถปลูกได้ทุกเนื้อดินและทนต่อความแห้งแล้ง จากรายงานของมูลนิธิพัฒนามันสำปะหลัง ปี 2550 พบว่าผลผลิตมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นมาจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น แต่เกษตรกรไม่นิยมปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางเคมีและกายภาพจึงประสบปัญหาผลตอบแทนไม่คุ้มค่าขณะที่สภาพภูมิอากาศในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ฝนตกทิ้งช่วง และไม่สม่ำเสมอประกอบกับดินมีความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุอาหารต่ำมาก และไม่สามารถกักเก็บความชื้นได้นาน ส่งผลให้ต้นมันสำปะหลังขาดช่วงในการเจริญเติบโตและอาจส่งผลให้ใบร่วงได้ในที่สุด ถ่านชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงดินปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจากถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด และเต็มไปด้วยรูพรุน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของชีวมวลมีประโยชน์ในการปรับปรุงดิน เนื่องจากมีความเป็นรูพรุนสูงช่วยให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในดินดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายและแปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านชีวภาพมีสมบัติในการดูดยึดธาตุอาหารต่างๆ และความชื้นในดิน ซึ่งความชื้นในดินจะส่งผลถึงผลผลิตของมันสำปะหลัง เนื่องจากหากดินมีความชื้นน้อย หรือแห้งแล้ง จะทำให้มันสำปะหลังตายหรือให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นการศึกษาผลของการนำถ่านชีวภาพมาใช้ปรับปรุงดินในการปลูกมันสำปะหลังจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อให้เกิดการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับที่ดินของเกษตรกรต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมของน้ำในดินปลูกมันสำปะหลัง

ขอบเขตโครงการวิจัย

ศึกษาผลของถ่านชีวภาพไม้ประดู่ที่มีต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมของน้ำในดินปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเปรียบเทียบกลุ่มเนื้อดินได้แก่ กลุ่มเนื้อดินหยาบ ปานกลาง และละเอียด

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดโครงการวิจัย

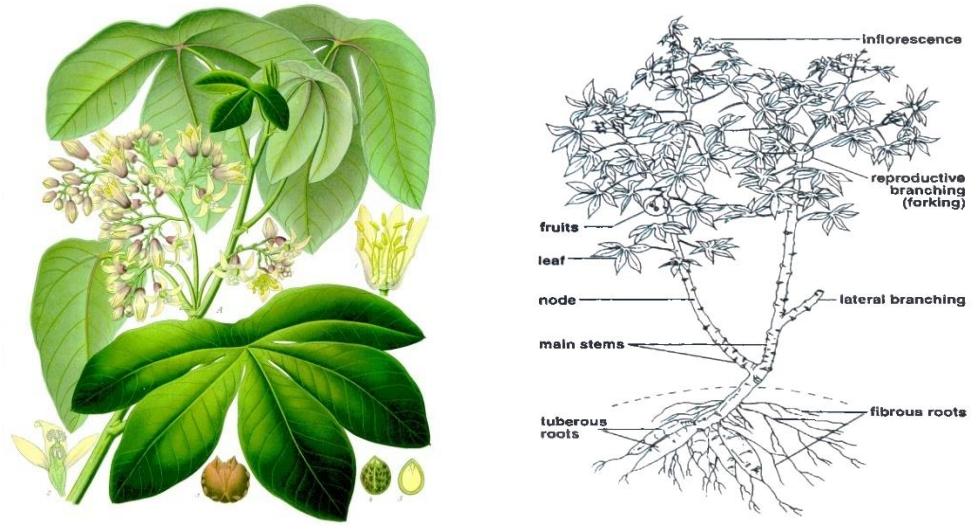
การนำถ่านชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินปลูกมันสำปะหลัง สามารถช่วยดูดซับความชื้นให้อยู่ในดินทุกลักษณะเนื้อดินได้ยาวนานขึ้น ส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายและแปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากในระหว่างการเพาะปลูกดินสามารถกักเก็บความชื้นได้ดี ก็จะสามารถให้ผลผลิตที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย

การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง

- ลักษณะทางพฤษศาสตร์

มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* (L.) Crantz วงศ์ Euphorbiaceae ชื่อสามัญ Cassava, Tapioca, Manioc, Mandioca หรือ Yuca ส่วนชื่อท้องถิ่นของไทย เช่น ต้าวน้อยหรือต้าวบ้าน (ภาคเหนือ) มันต้นหรือมันไม้ (ภาคใต้) มันสำโรงหรือสำปะหลัง (ภาคกลาง) จัดเป็นไม้พุ่มยืนต้น ลำต้นสูง 1-5 เมตร ใบมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น แผ่นใบเว้าเป็นรอยหยัก ช่อดอกเป็นแบบ panicle เกิดตรงจุดที่มีการแตกกิ่ง มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกดอก (monoecious plant) แต่อยู่ในช่อเดียวกัน หลังผสมเกสรแล้วรังไข่จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ capsule รูปร่างยาวรี เมื่อแก่จะแตกออกดีดเมล็ดกระจายไป เมล็ดมีสีน้ำตาลคล้ายเมล็ดละหุ่ง ระบบรากแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ รากจริง หรือรากหาอาหาร (adventitious fibrous roots) เจริญไปแนวราบรอบต้น และรากสะสม (storage root) ซึ่งรากสะสมนี้จะเจริญกลายเป็นหัวมันสำปะหลัง



ที่มา https://pt.wikipedia.org/wiki/Manihot

ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย ที่มีการระบายน้ำดี เป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ทั้งในครัวเรือนและในภาคอุตสาหกรรม ผลผลิตในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและคุณลักษณะของดินที่ปลูกเป็นสำคัญ ถ้าสภาวะขาดน้ำทำให้มันสำปะหลังมีการพัฒนาทางใบลดลงจนถึงหยุดการเจริญเติบโต มีการร่วงของใบเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งลดลง (Hillock *et al*., 2002)

แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา กำแพงเพชร ชัยภูมิ กาญจนบุรี อุบลราชธานี สระแก้ว นครสวรรค์ เลย อุดรธานี และลพบุรี ในปัจจุบันภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดของประเทศไทย (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

- สถานการณ์ทั่วไปของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆรวมทั้งการผลิตพลังงาน และผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น ไบโอพลาสติก กรดแล็กติกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 7-8 ล้านไร่ จากนโยบายและข้อจำกัดในพื้นที่เพาะปลูก ทำให้ไม่สามารถขยายพื้นที่ปลูก การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังเพื่อป้อนอุตสาหกรรมเดิมและอุตสาหกรรมใหม่ จึงขึ้นกับความสามารถของประเทศในการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ปัจจุบันประเทศไทยมีพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้ผลผลิตสูงถึง 5-6 ตันต่อไร่ ภายใต้สภาวะการปลูกที่เหมาะสม เช่น การให้น้ำและปุ๋ย แต่การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรไทย ไม่มีการดูแลขาดการจัดการดินและน้ำ ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยโดยรวมของประเทศได้เพียง 3.6 ตันต่อไร่ แนวทางการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ในระยะสั้นและกลาง คือการบริหารจัดการดินและน้ำ รวมทั้งการเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับชุดดินจะทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของประเทศเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับศักยภาพพันธุ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) แนวโน้มการเพาะปลูกมันสำปะหลังปี 2562 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.67 ล้านไร่ ผลผลิต 31.08 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.59 ตัน เทียบกับเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.33 ล้านไร่ ผลผลิต 29.37 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.52 ตันในปี 2561 พบว่า เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และ ผลผลิตต่อไร่ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

สมบัติดินต่อการปลูกมันสำปะหลัง

การปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง เนื่องจากโครงสร้างของดินและความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน มีผลกระทบต่อการให้น้ำแก่พืช รวมถึงการควบคุมความชื้นในดิน สมบัติทางกายภาพของดินมีส่วนเกี่ยวข้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การระบายน้ำ ความชื้นในดิน ดังนั้นสมบัติทางกายภาพดินเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของดินประการหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการประเมินความเหมาะสมของดินสำหรับการเพาะปลูก หรือกำหนดวิธีการแก้ไขปรับปรุงดินต่อไป

- ความชื้นในดิน

ความชื้นดิน ตามความหมายของพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ หมายถึง น้ำที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคดิน ขังอยู่ชั่วคราว หรืออยู่ในสภาวะไอน้ำในช่องระหว่างอนุภาคดิน น้ำเหล่านี้จะระเหยหมดไปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562)

ระดับความชื้นในดิน หรือปริมาณน้ำในดิน มี 4 แบบ คือ ความชื้นโดยมวล ความชื้นโดยปริมาตร ระดับความชื้นในดินที่แสดงเป็นความสูงของน้ำในดิน และความชื้นที่เป็นระดับอิ่มตัวของน้ำ

การตรวจสอบความชื้นในดิน การหาค่าความชื้นในดินมีหลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม การวัดระดับความชื้นในดินทางตรง คือ วิธีวัดโดยน้ำหนัก (gravimetric method) ส่วนการวัดความชื้นในดินทางอ้อม เป็นการวัดค่าที่อ่านค่าจากเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งจะรวดเร็วกว่าวิธีการวัดทางตรง ซึ่งการวัดความชื้นในดินแบ่งออกได้ดังนี้

1) วิธีวัดโดยน้ำหนัก (Gravimetric method) เป็นวิธีที่นิยมทั่วไปโดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาน้ำหนักดินเปียก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110˚C จนกระทั่งน้ำหนักแห้งของดินคงที่ จึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s}$$

เมื่อ θ หมายถึง ความชื้นของดินโดยมวล

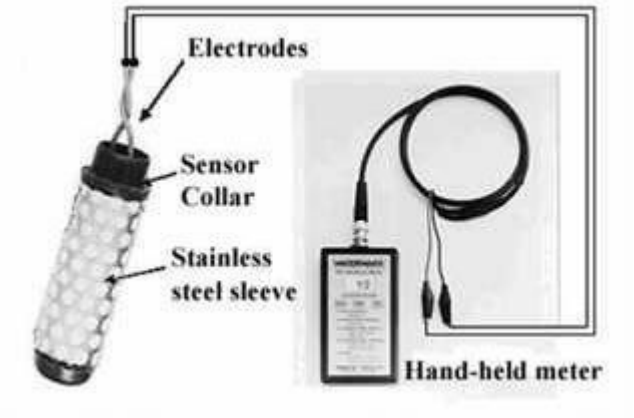
m_w หมายถึง น้ำหนักดินเปียก

m_s หมายถึง น้ำหนักดินแห้ง

หรือคำนวณเป็นร้อยละของความชื้น

ความชื้นโดยน้ำหนัก (%) = (น้ำหนักดินเปียก – น้ำหนักดินอบแห้ง)/น้ำหนักดินอบแห้ง

2) การใช้แท่งวัดความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance block) ความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านดินจะขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ ระดับความชื้นของดิน และความเข้มข้นของไอออนในน้ำ หากความเข้มข้นของไอออนในน้ำคงที่ ความต้านทานไฟฟ้าของดินจะขึ้นกับระดับความชื้นของดินเพียงอย่างเดียว เครื่องมือวัดความชื้นดินที่เรียกว่าแท่งวัดความต้านทาน (resistance block) หรือ Bouyoucos block ประกอบด้วยแท่งวัสดุพรุนขนาดกล่องไม้ขีดไฟ ซึ่งมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ฝังอยู่ภายในและมีสายไฟฟ้าต่อเชื่อมออกมาภายนอก แท่งวัสดุพรุนอาจเป็นพวกยิปซัม (gypsum block) ไฟเบอร์กลาส หรือวัสดุพรุนอื่น ๆ และมีมิเตอร์วัดความตานทานไฟฟ้า หากฝังแท่งวัสดุพรุนในดินที่ชื้น น้ำในดินจะไหลเข้ามาในแท่งวัสดุและทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของแท่งวัสดุลดลง โดยหลักการแล้วสมดุลของการไหลจะเกิดขึ้นเมื่อศักย์วัสดุพื้น (matric potential) ในวัสดุพรุนเท่ากับศักย์วัสดุพื้นในดิน ศักย์วัสดุพื้นของดินชนิดหนึ่งจะแปรผันโดยตรงกับระดับความชื้นของดิน ซึ่งจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของดินแต่ละชนิด ดังนั้นความต้านทานไฟฟ้าจะผันแปรโดยกลับกับระดับความชื้นของดิน ซึ่งหมายความว่าถ้าระดับความชื้นของดินสูงขึ้นความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุพรุนจะลดลง แท่งวัสดุพรุนเหมาะกับการใช้งานเมื่อดินมีระดับความชื้นดินอยู่ระหว่างจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) และจุดซึ่งระดับความชื้นต่ำกว่าความจุสนาม (field capacity, FC) เล็กน้อย ถ้าระดับความชื้นดินมีค่าต่ำกว่าจุดเหี่ยวถาวร หรือใกล้เคียงความจุสนาม ความไวของเครื่องมือจะลดลง เมื่อวัดความชื้นดินในแต่ละช่วง จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้ (ความต้านทานไฟฟ้า) กับระดับความชื้นดิน จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า เส้นโค้งเปลี่ยนค่า (calibration curve) เป็นเส้นโค้งที่สร้างขึ้นมาสำหรับดินหนึ่งควรใช้เฉพาะกับดินนั้น

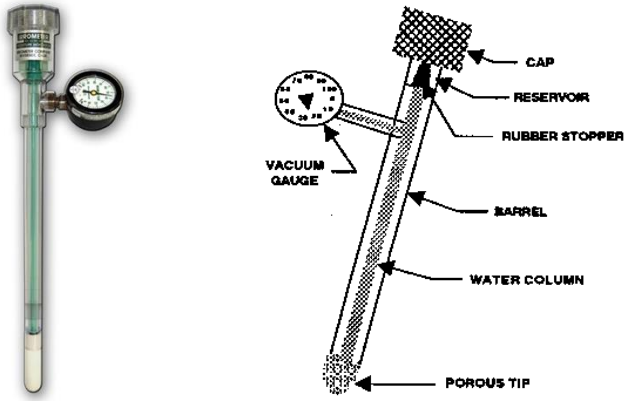


ภาพที่ 2 แท่งวัดความต้านทานไฟฟ้า

3) การใช้เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) เป็นเครื่องวัดความดึงของน้ำ (metric suction) ของความชื้นในดิน เกิดจากการที่อนุภาคของดินดูดยึดความชื้นไว้ที่ผิวของอนุภาคและในช่องว่างขนาดเล็กของดิน (capillary pore) จึงทำให้ความชื้อนในดินอยู่ในสภาวะที่อิสระ ซึ่งจะมีผลต่อความยากง่ายในการที่รากพืชจะดูดน้ำไปใช้จากดินที่ระดับ

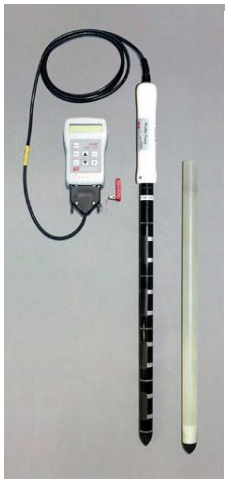
ความชื้นหนึ่งๆ กล่าวคือพืชจะต้องใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำอย่างน้อยเท่ากับความเครียดของน้ำในดิน จึงจะดูดน้ำไปใช้ได้ การบอกปริมาณน้ำในดินเพียงอย่างเดียวเป็นการไม่เพียงพอ เพราะไม่ทราบว่าน้ำในดินขณะนั้นมีระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยแค่ไหน แต่ถ้าบอกเป็นระดับความเครียดของน้ำในดิน บอกให้ทราบถึงระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืชในขณะนั้น ๆ

เทนซิโอมิเตอร์มีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ กระเปาะพรุน (porous cup) มาตรวัดความดึง (suction gauge) และคอลัมน์น้ำต่อเนื่องระหว่างองค์ประกอบข้างต้น ก่อนการใช้งานต้องทำให้กระเปาะพรุนอิ่มตัวด้วยน้ำ เติมน้ำจนเต็มถึงมาตรวัดความดึง และปิดฝาให้สนิท (น้ำที่ใช้ใส่ในเครื่องควรเป็นน้ำต้มเดือดที่วางให้เย็นแล้ว) เสร็จขั้นตอนนี้ความดึงของน้ำในเครื่องจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อใช้งานจะฝังเทนซิโอมิเตอร์ตรงจุดที่ต้องการทราบความชื้นกดให้กระเปาะแนบสนิทกับดิน ถ้าดินมีความดึงวัสดุพื้นมากกว่าศูนย์ (ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ) น้ำจะไหลจากเครื่องเข้าไปในดินจนทั้ง 2 ส่วนมีความดึงวัสดุพื้นเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าความดึงวัสดุพื้นของน้ำในดินเท่ากับในเครื่อง น้ำก็จะหยุดไหล ค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดก็จะเป็นความดึงวัสดุพื้น หรือค่าที่ผันแปรโดยตรงกับความดึงวัสดุพื้นดังกล่าวแล้วข้างต้นเนื่องจากค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์ไม่ใช่ความชื้นของดิน จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าก่อนนำเครื่องไปใช้งาน ระดับความชื้นที่เหมาะสมในการใช้เทนซิโอมิเตอร์จะอยู่ในช่วงระหว่างจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation point) กับระดับความชื้นที่ความดึงวัสดุพื้นประมาณ 0.8 บาร์ (ศักย์วัสดุพื้น – 0.8 บาร์) ทั้งนี้เพราะถ้าความดึงวัสดุพื้นของน้ำในดินมีค่าสูงกว่านี้ จะทำให้กระเปาะพรุนรั่วอากาศ และมีผลให้การวัดความดึงวัสดุพื้นผิดพลาด



ภาพที่ 3 เครื่องเทนซิโอมิเตอร์

4) เครื่องวัดความชื้นแบบ Profile Probe เป็นเครื่องวัดความชื้นในดินที่มีหลักการทำงานโดยใช้วัดค่าความชื้นดินแบบ volumetric soil moisture content (m^3m^{-3} หรือ %Vol.) ใช้แท่งวัดความชื้นดินมีขนาดไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร โดยสามารถวัดค่าความชื้นดินได้ 6 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร มีช่วงการวัดความชื้นดิน 0 ถึง 1.0 m^3m^{-3} หรือ 100%Vol. โดยมีช่วงการวัดที่แม่นยำในช่วงระหว่าง 0.0 ถึง 0.4 m^3m^{-3} หรือ 40%Vol. มีค่าผิดพลาด (accuracy) ± 0.04 m^3m^{-3} หรือ 4% ที่ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 0-40 องศาเซลเซียส เมื่อใช้งานร่วมกับ access tube หลังจากปรับมาตรฐานกับชนิดของดินที่ต้องวัดค่าความชื้น มีช่วงเวลาในตอบสนองไม่เกิน 1 วินาที (บริษัท ไทยวิกตอรี่, 2555)

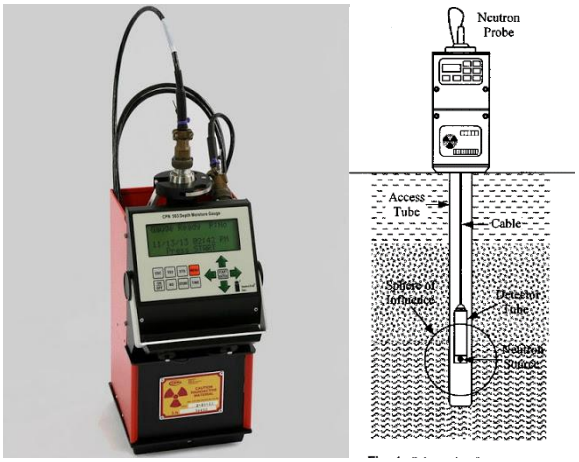


ภาพที่ 4 เครื่องวัดความชื้นแบบ Profile Probe แบบ 6 ระดับ

5) เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (neutron moisture gauge) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดระดับคามชื้น โดยอาศัยหลักการชนระหว่างนิวตรอนความเร็วสูง อนุภาคนิวตรอนมีมวลใกล้เคียงกับอะตอมของไฮโดรเจนมาก หากมีการชนระหว่างอนุภาคนิวตรอนความเร็วสูง (fast neutron) กับอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลน้ำ จะมีการถ่ายทอดโมเมนตัมจากอนุภาคนิวตรอนให้อะตอมไฮโดรเจน ในกรณีดังกล่าวนิวตรอนความเร็วสูงจะสูญเสียความเร็วไป และกลายเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำ (slow neutron) ด้วยเหตุนี้ถ้าเรามีอุปกรณ์ซึ่งปล่อยอนุภาคนิวตรอนความเร็วสูงเข้าไปในดินแล้วตรวจจับนิวตรอนความเร็วต่ำ จะพบว่าจำนวนนับของนิวตรอนความเร็วต่ำต่อหน่วยเวลาผันแปรโดยตรงกับระดับความชื้น

อุปกรณ์วัดความชื้นด้วยนิวตรอนประกอบด้วยหัววัดนิวตรอน (neutron probe) และมิเตอร์วัดจำนวนนิวตรอนความเร็วต่ำ (scaler) และขณะใช้งานจะต้องมีท่อนำหัววัด (aluminum access tube) สำหรับสอดหัววัดลงไปในดิน ในหัววัดนิวตรอนประกอบด้วยแหล่งจ่ายนิวตรอนความเร็วสูง (fast neutron source) ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสี และมีอุปกรณ์วัดนิวตรอนความเร็วต่ำ (slow neutron detector) หัววัดตามปกติจะเก็บไว้ในถังเก็บป้องกันรังสี (radiation shield) และมีสายเคเบิลนำสัญญาณเสียบติดกับอุปกรณ์นับนิวตรอนความเร็วต่ำ (scaler) ในการใช้งานเมื่อสวมถังเก็บหัววัดลงบนท่อนำหัววัดสลักกั้นหัววัดจะเลื่อนถอยออกปล่อยหัววัดให้เลื่อนลงไปในท่อ ระดับความลึกของการวัดในดินกำหนดโดยการทำเครื่องหมายไว้บนสายเคเบิลนำสัญญาณ เมื่อหย่อนหัววัดลงถึงระดับความลึกที่กำหนดไว้ก็เริ่มทำการวัดนิวตรอนความเร็วต่ำได้ ทุก ๆ ขณะที่หัววัดนิวตรอนอยู่ในดิน นิวตรอนความเร็วสูงจะถูกปล่อยผ่านท่ออะลูมินัมเข้าไปในดินตลอดเวลา และเกิดการชนกับอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลน้ำหลายครั้งจนกลายเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำ ส่วนหนึ่งของนิวตรอนความเร็วต่ำจะวิ่งกลับไปยังหลอดตรวจจับ ทำให้เกิดสัญญาณไฟขึ้น เมื่อกดสวิทซ์ให้เครื่องวัดทำงาน สัญญาณไฟจะถูกนับโดย scaler ออกมาเป็นจำนวนของนิวตรอนความเร็วต่ำตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งทำให้ประเมินจำนวนนับต่อนาที (count per minute) ของนิวตรอนความเร็วต่ำได้ จะเห็นว่าสิ่งที่เครื่องรายงานออกมานั้นเป็นจำนวนนับต่อนาที (cpm) ของนิวตรอนความเร็วต่ำ ไม่ใช่ความชื้นของดิน หากต้องการทราบระดับความชื้นของดิน ผู้สร้างจะต้องสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่า (calibration curve) สำหรับดินชนิดนั้นขึ้นมาก่อน การเขียนกราฟแกนตั้งเป็นระดับความชื้นโดยปริมาตร (θv) และแกนนอนเป็นสัดส่วนการนับ (count ratio, CR) สัดส่วนการนับนี้ หมายถึง ผลหารระหว่างจำนวนนับต่อนาที (cpm) ของนิวตรอนความเร็วต่ำเมื่อทำการวัดในดิน กับเมื่อทำการวัดในถังป้องกันการเก็บรังสีของเครื่อง

เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอนเหมาะกับงานภาคสนาม มีข้อดี คือ ความถูกต้องสูงสามารถวัดความชื้นของดินตรงจุดเดิมซ้ำ ๆ ได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างดินเพิ่มอีก (นอกจากที่เจาะใส่ท่อนำหัววัด) อย่างไรก็ตาม เครื่องมือชนิดนี้ก็มีข้อด้อยหลายประการ เช่น เป็นอุปกรณ์ราคาแพงช่วงความลึกที่เหมาะสมในการวัดต้องมีระยะไม่ต่ำกว่า 30 ซม. ไม่สามารถย่นระยะให้ถี่กว่านั้นได้เนื่องจากขอบเขตการวัดของหัววัดจะเป็นรูปทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 30 ซม. และไม่เหมาะต่อการวัดความชื้นตรงผิวดินเพราะให้ค่าที่คลาดเคลื่อนได้ รวมทั้งผู้ใช้อาจได้รับอันตรายจากรังสีนิวตรอนหากขาดมาตรการป้องกันที่ดี



ภาพที่ 5 เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน

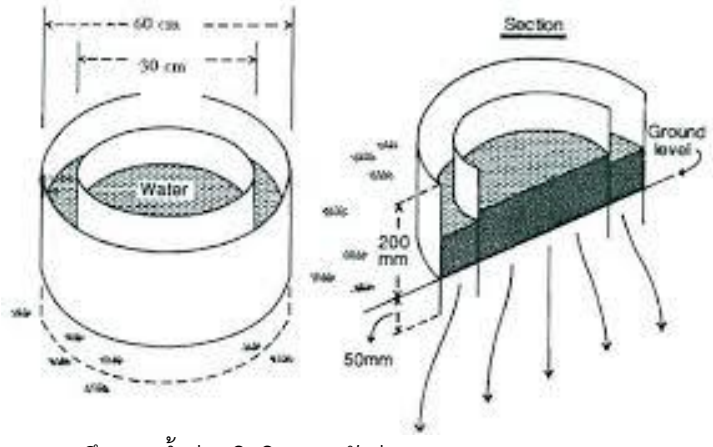
- การแทรกซึมน้ำของดิน

การแทรกซึมน้ำของดิน คือการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผิวหน้าดินและเคลื่อนที่ลึกลงในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินตามแรงดึงดูดของโลก อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Intake rate หรือ Infiltration rate)

การซึมน้ำของดิน เป็นขบวนการที่น้ำซึมลงสู่ดินที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของแรง capillary และ gravity potentials โดยในช่วงแรกอัตราการซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับแรง capillary และจะลดลงจนเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับแรง gravitational เป็นสำคัญ (Hewlett และ Nutter, 1969) ภายในหน้าตัดดินน้ำที่เคลื่อนที่ลงไปเรื่อย ๆ จะทำให้ชั้นผิวดินอิ่มตัวเป็นชั้นบาง ๆ ถัดจากชั้นผิวดินลงไปดินจะเปียกมาก แต่ไม่ถึงกับอิ่มตัว ความชื่นสม่ำเสมอ เรียกชั้นดินนี้ว่าชั้นลำเลียงน้ำ (transmission zone) ถัดจากชั้นนี้ จะเป็นชั้นที่น้ำเริ่มเคลื่อนเข้าสู่ดินแห้งดั่งเดิม เรียกชั้นดินนี้ว่าชั้นดินเริ่มเปียก (wetting zone) อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินจะมีค่าสูงสุดในช่วงเริ่มต้นแล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งดินที่ใกล้ผิวดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการซึมน้ำจะลดลงจนมีแนวโน้มคงที่ (USDA Natural Resources Conservation Service. 1998) อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน จะมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน โดยเมื่อฝนที่ตกในลุ่มน้ำมีปริมาณและความหนักเบา สูงกว่าอัตราการซึมน้ำของดิน ก็จะทำให้มีน้ำส่วนเกินที่ไม่สามารถซึมลงดินได้ไหลบ่าไปตามหน้าผิวดินลงสู่ลำธารต่อไป (Ward และ Robinson, 1990; Black, 1996)

การหาค่าความจุของการแทรกซึมน้ำของดิน ใช้เครื่องวัดการแทรกซึม (infiltrometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด แบบธรรมดาที่สุดนั้นประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปวงแหวนซึ่งซ้อนกันอย่างตื้นๆ เครื่องวัดจะถูกวางลงบนพื้นดินโดยให้ส่วนบนยื่นออกมาเหนือผิวดินและส่วนล่างวางอยู่ใต้ดิน เติมน้ำลงในช่องทั้งสองโดยให้น้ำในทั้งสองช่องนั้นมีระดับ

เท่ากัน วงแหวนรอบนอกจะป้องกันไม่ให้น้ำในแหวนวงในกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้างหลังจากที่ซึมลงไปก้นของแหวนวงใน อัตราที่น้ำจะต้องเติมลงไปในแหวนวงในเพื่อรักษาระดับของน้ำให้อยู่คงที่นั้นจะบอกให้ทราบถึงความจุของการแทรกซึมโดยตรง



ภาพที่ 6 เครื่องวัดการแทรกซึมของน้ำผ่านผิวดินแบบถังคู่ (Double-ring infiltrometer)

ถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ คือ ถ่านที่มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด และเต็มไปด้วยรูพรุน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของชีวมวล ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนอย่างจำกัด (Sohi *et al*., 2009) ถูกให้ความร้อนผ่านกระบวนการย่อยสลาย ด้วยการให้ความร้อนทางเคมีเรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการการให้ความร้อนที่นิยมใช้โดยจะเปลี่ยนชีวมวลที่ถูกให้ความร้อนในสภาวะที่ไม่มีอากาศให้กลายเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ (Ozcimen and Karaosmanoglu, 2004) สามารถผลิตได้จากวัสดุจากธรรมชาติหลายชนิด เช่น ไม้ไผ่ กะลามะพร้าว ผลไม้ดิบ ซังข้าวโพด กะลาปาล์ม กากจากน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและสภาวะของกระบวนการไพโรไลซิส

ความแตกต่างระหว่างถ่านชีวภาพ และถ่านทั่วไป (Charcoal) ถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง กรองน้ำ หรือดับกลิ่น ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส ขณะที่ถ่านชีวภาพใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ถ่านชีวภาพมีสารที่เป็นประโยชน์กับพืช สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินและช่วยปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพคือมีความเป็นรูพรุนสูงเมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ การดูดซับความชื้น การอุ้มน้ำ ดูดยึดธาตุอาหาร เป็นเสมือนแหล่งคาร์บอนขนาดใหญ่ในดิน เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ลดความเป็นกรดของดิน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยให้สูงขึ้น การใส่ถ่านชีวภาพลงดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น และยังช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนประจุแคตไอออนในดินถึง 40% (Glaser *et al*., 2002) ทำให้ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน เพิ่มรายได้ และเพิ่มผลผลิต

การปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ

Oguntunde และคณะ (2004) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางกายภาพของดินในประเทศกานา โดยเปรียบเทียบดินที่ใส่และไม่ใส่ถ่านชีวภาพ พบว่าดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพมีค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นถึง 88% สีของดินมีสีคล้ำขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง 9% มีค่าความพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 45.7% เป็น 50.6% ขณะที่ Asai และคณะ (2009) ศึกษาการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 0-16 ตันต่อเฮกตาร์ เพื่อปรับปรุง

คุณสมบัติทางกายภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าวไร่ทางภาคเหนือของประเทศลาว และพบว่าตำรับที่มีถ่านชีวภาพจะช่วยรักษาความชื้นที่หน้าดินได้ดีกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่ถ่านชีวภาพนอกจากนี้ อิสริยาภรณ์ (2552) ได้ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินในเขตร้อนชื้นที่มีกระบวนการชะล้างสูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความพรุนของถ่านชีวภาพทำให้ดินมีการระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ด้วย

วิชัย และคณะ (2554) ศึกษาชนิดและอัตราที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพดินทราย โดยเปรียบเทียบถ่านที่มีวิธีการผลิตและวัสดุที่ใช้ในการผลิตต่างกัน ได้แก่ถ่านไม้สำหรับหุงต้ม ถ่านแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ถ่านแกลบจากเตาเผาคุนตัง และถ่านชีวภาพจากน้ำหมักชีวภาพ ที่อัตรา 200 และ 400 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ถ่านชีวภาพแต่ละชนิด ไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของดิน (pH, %OM, Available P, Exchangeable K Caและ Mg) แตกต่างกับแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตของข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใช้ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงกว่าแปลงควบคุม

เสาวคนธ์ และ Cadisch (2555) ศึกษาการปลูกข้าวในเรือนทดลอง โดยใช้ถ่านชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ ยูคาลิปตัส และแกลบ ใช้ดิน 6 กิโลกรัม ร่วมกับใส่ถ่านชีวภาพ 60 กรัม ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ ยูคาลิปตัส และแกลบ มีค่า pH 9.9 9.0 และ 6.8 ตามลำดับ มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 61.6 117.3 และ 29.9 ตามลำดับ Total C 545, 661 และ 307 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ Total N 8.9, 5.7 และ 10.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่า ดินที่ใส่ถ่านชีวภาพมีค่า pH, CEC, total C และ N, K, Caและ Mg ในดินเพิ่มขึ้น ในกรรมวิธีที่ใส่ถ่านแต่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ได้ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ่านที่ผลิตจากยูคาลิปตัสเมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง การใส่ถ่านร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระยะข้าวเปลี่ยนตาใบเป็นตาดอก ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 20% 42% และ 15% ในถ่านไม้ไผ่ ถ่านยูคาลิปตัสและถ่านแกลบ ตามลำดับ การใส่ถ่านลงในดินช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ และประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตของดินนาที่ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ในถ่านที่มีค่า C/N สูงจะต้องมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงเปลี่ยนตาใบเป็นตาดอกให้เพียงพอ

ศิริลักษณ์ (2556) ได้ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยหมักในการปลูกคะน้า พื้นที่แปลงทดลอง 2 ตารางเมตร อัตราส่วนระหว่างปุ๋ยหมักและถ่านชีวภาพ 0:0 (แปลงควบคุม), 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อถ่านชีวภาพ 25:75 ให้ผลผลิตซึ่งวัดด้วยน้ำหนักคะน้าดีกว่าทุกแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน ไม่เพียงแต่ช่วยตรึงธาตุอาหารไว้เท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการเจริญของพืช ถ่านชีวภาพมีคุณลักษณะที่พิเศษ คือสามารถกักเก็บธาตุอาหารส่วนใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลดปล่อยให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีกว่าอินทรีย์วัตถุชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่าถ่านชีวภาพสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ ทั้ง ๆที่เป็นประจุลบ นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังคงสภาพอยู่ในดินได้นานกว่าอินทรีย์วัตถุชนิดอื่น ๆ อีกด้วย (Lehmann, 2007)

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ เริ่มต้น เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2563

สถานที่ดำเนินการ

- แปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา
- ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ต้นมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 และระยอง 81
2. ถ่านชีวภาพไม้ประดู่ (Biochar)
3. อุปกรณ์วิทยาศาสตร์

   1.1 บีกเกอร์ (Beaker)

   1.2 กระจกปิด (Cover glass)

   1.3 กระบอกตวง (Cylinder)

   1.4 แท่งแก้ว (Stirring rod)
4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์

   2.1 เครื่องวัดการแทรกซึมของน้ำผ่านผิวดินแบบถังคู่ (Double-ring infiltrometer)

   2.2 เครื่องวัดความชื้น (Profile Probe)

   2.3 เตาปรับอุณหภูมิ (Hot plate)

   2.4 ตู้อบ (Oven)
5. สารเคมี

   3.1 สารละลาย Calgon

   3.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

   3.2 สารละลายโซเดียมซิเตรต

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design โดยศึกษา 2 ปัจจัย (เนื้อดิน และวิธีการใส่ถ่านชีวภาพ) ทำการศึกษา 9 ตำรับการทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่

ตารางที่ 1 แสดงตำรับการทดลอง

ตำรับที่	เนื้อดิน	วิธีการใส่ถ่านชีวภาพ
1	เนื้อดินหยาบ	ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (T1)
2		ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี (T2)
3		ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3)
4	เนื้อดินปานกลาง	ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ
5		ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี
6		ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่
7	เนื้อดินละเอียด	ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ
8		ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี
9		ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่

2. การสำรวจและคัดเลือกแปลงทดลอง

สำรวจพื้นที่และคัดเลือกลักษณะดินสำหรับทดลองปลูกมันสำปะหลัง เพื่อคัดเลือกพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่มีเนื้อดินที่แตกต่างกัน 3 เนื้อดิน ก่อนการทดลอง

3. การเตรียมถ่านชีวภาพ

จัดเตรียมวัสดุการเกษตรในพื้นที่ (ไม้ประดู่) เพื่อนำมาเผาให้เป็นถ่านชีวภาพและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ พร้อมทั้งย่อยถ่านชีวภาพให้มีขนาดเหมาะสมก่อนนำมาใช้ในแปลงทดลอง

4. การเตรียมแปลงทดลอง

จัดเตรียมแปลงมันสำปะหลัง ขนาดแปลง 10×40 เมตร ตามตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินในทุกตำรับการทดลอง และจัดหาท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ใส่ถ่านชีวภาพตามแผนการทดลองก่อนเพาะปลูกประมาณ 7 วัน และปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง โดยใช้ระยะปลูก 1x1 เมตร จำนวน 1 ท่อนพันธุ์ต่อหลุม

5. การเก็บข้อมูลระหว่างการทดลองในภาคสนาม

5.1 อัตราการแทรกซึมน้ำ (Double-ring Infiltrometer test) เป็นการทดสอบหาค่าอัตราการซึมของน้ำในมวลดิน ตามวิธี ASTM D3385 ในแปลงทดลอง

5.2 ปริมาณความชื้นในแปลงทดลองทุก 60 วัน ด้วยเครื่อง Profile Probe (บริษัทไทยวิกตอรี่, 2555)

6. การเก็บตัวอย่างผลผลิตมันสำปะหลัง

6.1 เก็บข้อมูลผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักต้นสด (กิโลกรัมต่อไร่) และผลผลิตหัวสด (กิโลกรัม)

6.2 ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสด สุ่มตัวอย่างหัวมันสด 5 กิโลกรัม ชั่งน้ำหนักในอากาศและในน้ำโดยเครื่อง Reiman scale โดยใช้หลักการวัดค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของหัวมันสำปะหลังสดในการหาเปอร์เซ็นต์แป้ง (สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม, 2559)

6.3 คำนวณผลผลิตแป้ง โดยใช้สูตร ผลลิตแป้ง = (ผลผลิต/ไร่ x เปอร์เซ็นต์แป้ง)/100

7. การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

7.1 เนื้อดิน (Soil Texture) โดยวิธี pipette method (Reynolds, 1993) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class)

8. การประเมินผลและจัดทำรายงาน

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้การทดสอบแบบ Duncan’s Multiple-Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. สถานที่ดำเนินการ และสมบัติบางประการของดิน

การศึกษาครั้งนี้คัดเลือกพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อเป็นตัวแทนลักษณะเนื้อดิน 3 ประเภท ได้แก่ เนื้อดินหยาบ เนื้อดินปานกลาง และเนื้อดินละเอียด โดยพื้นที่ศึกษาที่คัดเลือก (ตารางที่ 2) ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีบางประการของดินพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง (ตารางที่ 3) ดังนี้

- แปลงที่ 1 อำเภอจักราช (พิกัด 48P X225343 Y1660394) ชุดดินโคราช เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน (LS) จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ดินเป็นกรดจัด ระดับอินทรียวัตถุในดินบนต่ำและต่ำมากในดินล่าง ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำมาก ปริมาณโพแทสเซียมต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำในดินบนและมีปริมาณน้อยลงในดินล่าง ความหนาแน่นรวมของดินบนมีค่า 1.49 กรัมต่อเซนติเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกดิน (1.53 กรัมต่อเซนติเมตร) เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินบน
- แปลงที่ 2 อำเภอห้วยแถลง (พิกัด 48P X252479 Y1660960) ชุดดินพล เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (SiL) จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง ดินเป็นกรดปานกลาง ระดับอินทรียวัตถุในดินบนค่อนข้างต่ำและต่ำมากในดินล่าง ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสในดินบนต่ำและมีปริมาณน้อยลงในดินล่าง ปริมาณโพแทสเซียมในดินต่ำ ความหนาแน่นรวมของดินบนมีค่า 0.95 กรัมต่อเซนติเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกดิน (1.21 กรัมต่อเซนติเมตร) เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินบน

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ต่ำทำให้เกิดการขังน้ำ เกษตรกรไม่สามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้ทัน จึงเปลี่ยนพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่อำเภอลำปลายมาศ (พิกัด 48P X276393 Y1660928) เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (SiL) แทน

- แปลงที่ 3 อำเภอปากช่อง (พิกัด 47P X753665 Y1611971) ชุดดินวังสะพุง เนื้อดินเป็นดินเหนียว (C) จัดอยู่ในกลุ่มเนื้อดินละเอียด ดินเป็นกรดจัดมาก ระดับอินทรียวัตถุในดินบนปานกลางและค่อนข้างต่ำในดินล่าง ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสในดินบนปานกลางและมีปริมาณต่ำในดินล่าง ปริมาณโพแทสเซียมในดินบนต่ำและต่ำมากในดินล่าง ความหนาแน่นรวมของดินบนมีค่า 1.58 กรัมต่อเซนติเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกดิน (1.61 กรัมต่อเซนติเมตร) เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินบน

ตารางที่ 2 พื้นที่ศึกษาที่เป็นตัวแทนลักษณะเนื้อดิน 3 ประเภท

ลักษณะเนื้อดิน	อำเภอ	ชุดดิน	จุดพิกัด (UTM)		
				X	Y
กลุ่มเนื้อดินหยาบ	จักราช	โคราช	48P	225343	1660394
กลุ่มเนื้อดินปานกลาง	ห้วยแถลง	พล	48P	252479	1660960
	ลำปลายมาศ	-	48P	276393	1660928
กลุ่มเนื้อดินละเอียด	ปากช่อง	วังสะพุง	47P	753665	1611971

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีบางประการของดิน

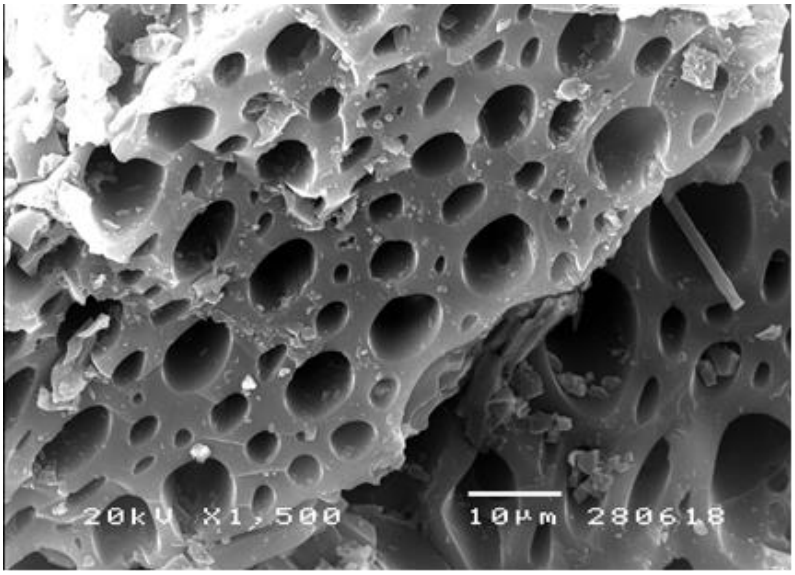
สมบัติดิน	อำเภอจักราช		อำเภอห้วยแถลง		อำเภอปากช่อง	
	ดินบน	ดินล่าง	ดินบน	ดินล่าง	ดินบน	ดินล่าง
เนื้อดิน	LS	LS	SiL	SiL	C	C
ความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm)	1.49	1.53	0.95	1.21	1.58	1.61
ความชื้นในดิน (% by wt)	13.66	13.18	23.39	25.02	3.33	3.44
พีเอช	5.4	5.2	5.9	5.6	4.9	4.7
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)	0.31	0.19	1.12	0.46	1.96	1.28
ปริมาณฟอสฟอรัส (mg/kg)	9.7	3	2.9	0.9	11.7	3.8
ปริมาณโพแทสเซียม (mg/kg)	20	12.3	35.8	31.2	47.8	21.7
ปริมาณแคลเซียม (mg/kg)	97.5	173.4	1066.1	479.3	875.3	504.3
ปริมาณแมกนีเซียม (mg/kg)	20.5	54	116	43.3	143.4	62
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	2.06	3.49	10.19	10.62	12.03	11.34

หมายเหตุ: ดินบน มีความลึกดิน 0-25 เซนติเมตร
ดินล่าง มีความลึกดิน 25-50 เซนติเมตร

2. สมบัติถ่านชีวภาพไม้ประดู่

การศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพไม้ประดู่ พบว่าลักษณะทางกายภาพเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1500 เท่า ถ่านชีวภาพไม้ประดู่มีรูพรุนจำนวนมาก และมีขนาดเล็กใหญ่ไม่สม่ำเสมอ ขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 0.4-15 ไมโครเมตร (ภาพที่ 7) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 50.94 ถึง 71.67 ตารางเมตรต่อกรัม การกระจายขนาดรูพรุนในช่วงรูพรุนขนาดกลาง (รัศมี 20-500 อังสตรอม, Å) อยู่ในช่วง 20-47 อังสตรอม ปริมาตรการสะสมในรูพรุนขนาดกลางเท่ากับ 0.463 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ส่วนปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กเท่ากับ 0.0007 ถึง 0.06 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

สมบัติทางเคมีของถ่านไม้ประดู่ (ตารางที่ 4) เป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า 1.54 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 8.43 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีค่าเท่ากับ 0.37, 0.21, 0.50, 1.73 และ 0.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ลักษณะพื้นผิวของไม้ประดู่ (ภาพตัดขวาง) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพไม้ประดู่

	สมบัติเคมี							
	pH	EC	OC	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
		(dS/m)	(% w/w)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
ถ่านชีวภาพไม้ประดู่	9.78	1.54	8.43	0.37	0.21	0.50	1.73	0.42

3. ความชื้นในดิน

การศึกษาความชื้นในดิน โดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบบ Profile Probe ทำการวัดความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ การตรวจสอบความชื้นในดินเป็นค่าที่มีความผันแปรตลอดระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง จึงติดตามระดับความชื้นดิน ในแต่ละระดับความลึกของดินเพื่อเป็นข้อมูลตามระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 3 ช่วง ได้แก่ระยะ 1 เดือน ระยะ 3 เดือน และระยะเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 2 ปี ผลความชื้นในดินกลุ่มเนื้อดินต่าง ๆ ตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพ (T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่) เป็นดังนี้

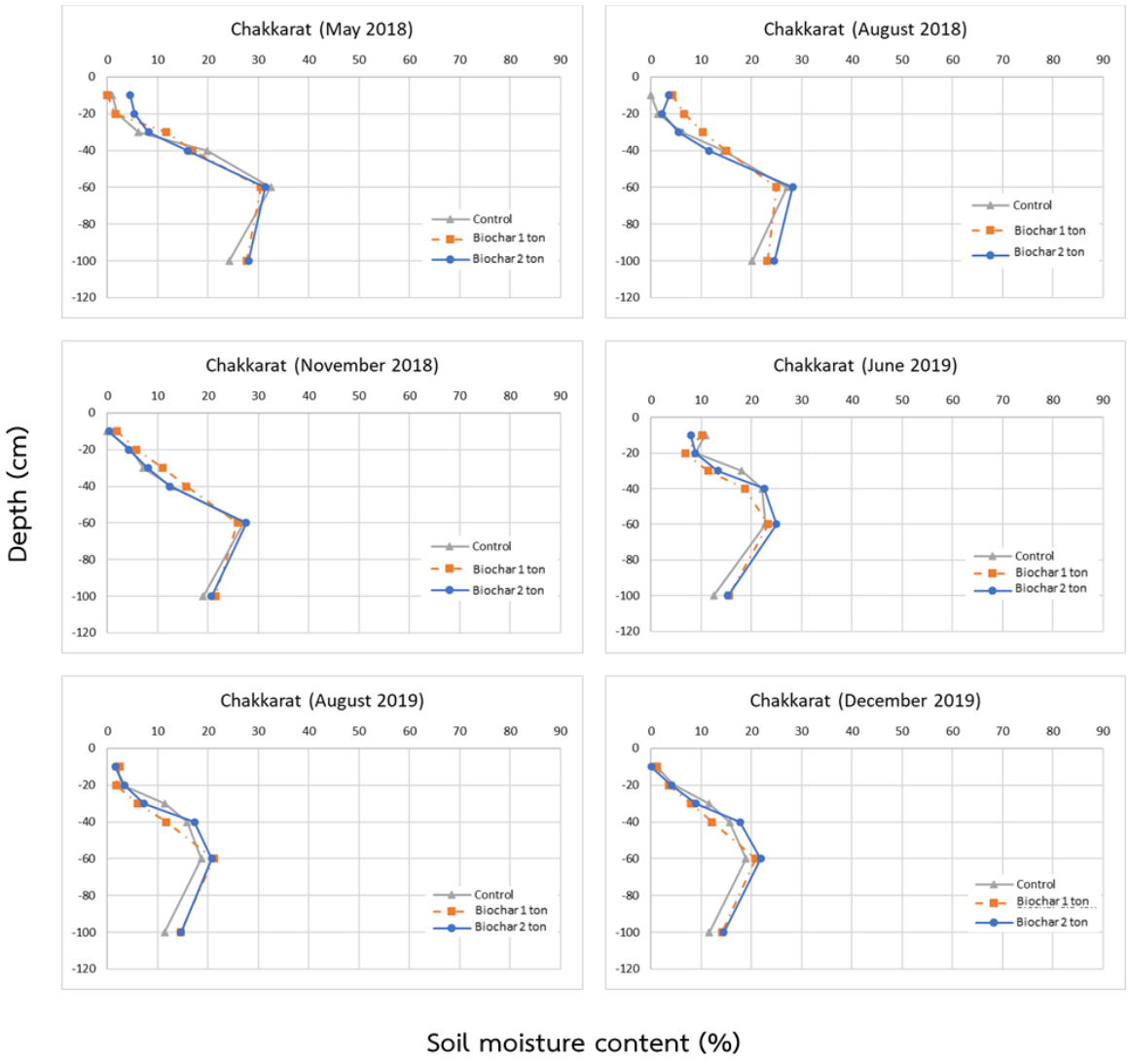
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอจักราช ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อหยาบ

ความชื้นในดินโดยปริมาตรกลุ่มดินเนื้อหยาบตามช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 5 พบว่าความชื้นในดินตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 วิธี มีความผันแปรเกาะกลุ่มกันตามระดับความลึกของดิน ตลอดช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง (ภาพที่ 8-9)

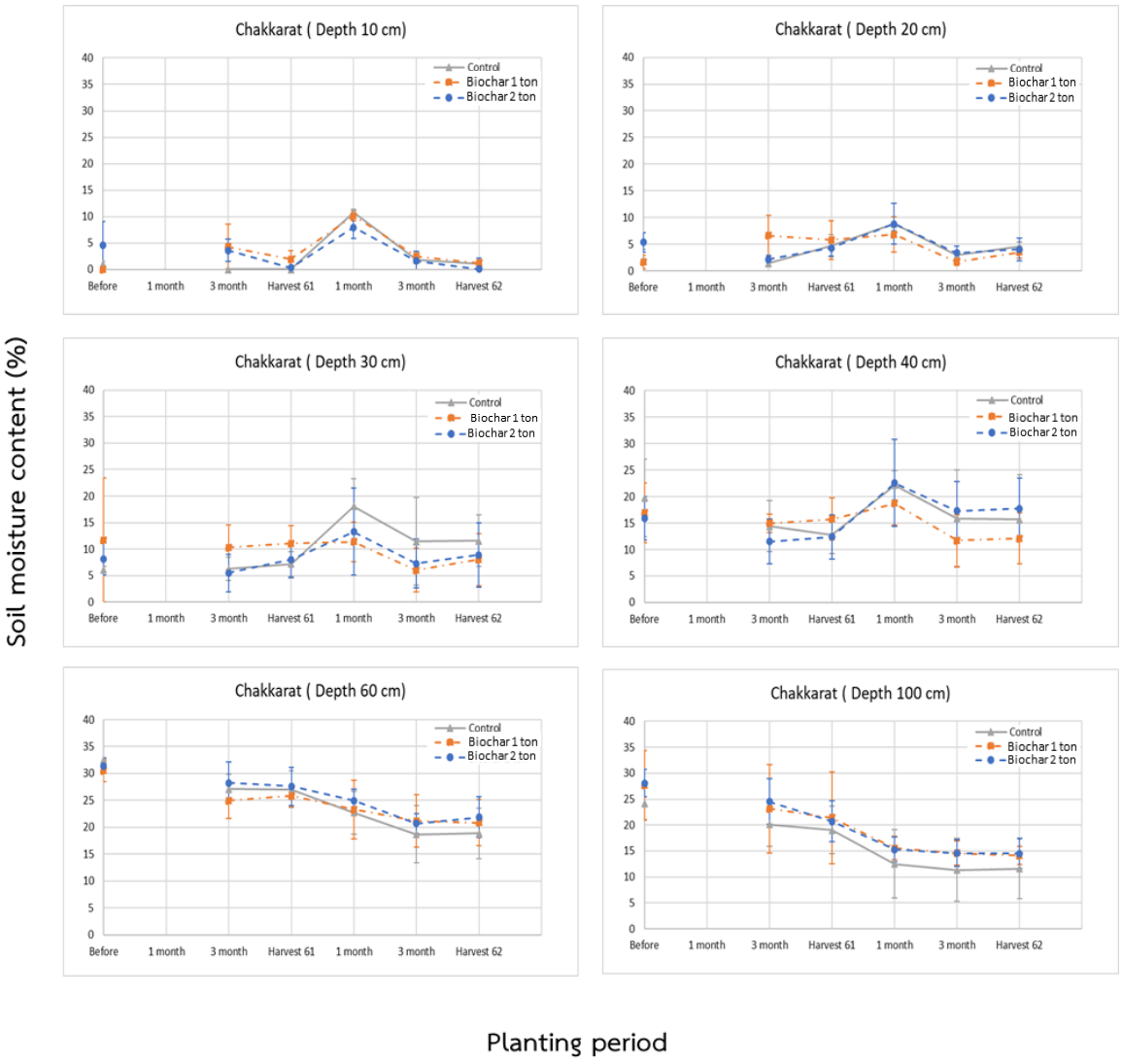
ตารางที่ 5 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอจักราช

	ระดับความลึก (cm)	ความชื้นในดิน (%)						
		ปีที่ 1				ปีที่ 2		
		ก่อนปลูก	1 เดือน	3 เดือน	เก็บเกี่ยว	1 เดือน	3 เดือน	เก็บเกี่ยว
T1	10	0.97±0.56	-	0.00±0.00	0.00±0.00	10.8±0.56	1.76±0.57	1.08±0.31
	20	2.00±2.08	-	1.40±0.58	4.70±2.05	8.80±1.31	2.96±0.84	4.57±0.90
	30	6.17±0.58	-	6.29±2.22	7.19±2.30	18.1±5.21	11.5±8.22	11.6±4.85
	40	19.8±7.29	-	14.4±4.81	12.8±3.54	22.2±2.77	15.9±9.17	15.7±8.39
	60	32.5±0.23	-	27.1±2.71	27.1±3.46	22.7±3.97	18.7±5.31	18.9±4.67
	100	24.2±3.17	-	20.1±4.24	19.0±4.55	12.5±6.58	11.3±6.04	11.6±5.76
T2	10	0.00±0.00	-	4.29±4.22	1.93±1.66	10.1±0.98	2.46±0.42	1.18±0.27
	20	1.60±1.24	-	6.61±3.82	5.81±3.61	6.83±3.37	1.73±0.75	3.48±1.10
	30	11.7±11.7	-	10.3±4.25	11.1±3.40	11.4±3.73	6.03±4.07	8.01±4.94
	40	16.9±5.67	-	15.0±1.71	15.7±3.99	18.7±4.06	11.7±4.88	12.1±4.77
	60	30.5±2.04	-	24.9±3.33	25.8±2.10	23.3±5.45	21.1±4.88	20.8±4.29
	100	27.7±6.68	-	23.1±8.51	21.4±8.86	15.5±2.26	14.6±2.32	14.1±1.75
T3	10	4.53±4.50	-	3.60±2.08	0.33±0.19	7.90±2.03	1.60±1.76	0.03±2.04
	20	5.38±1.83	-	2.19±0.70	4.28±1.52	8.83±3.77	3.36±1.34	4.03±2.08
	30	8.17±3.07	-	5.49±3.57	8.03±3.40	13.3±8.24	7.30±4.60	8.93±6.06
	40	15.9±4.10	-	11.5±4.21	12.4±4.12	22.5±8.22	17.3±5.56	12.1±5.79
	60	30.5±1.48	-	28.2±3.87	27.6±3.55	25.0±2.10	20.7±1.84	20.8±6.78
	100	27.7±2.68	-	24.5±4.40	20.7±3.93	15.3±2.39	14.6±2.54	14.1±2.89

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 8 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละช่วงระยะเวลา



ภาพที่ 9 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละระดับความลึกดิน

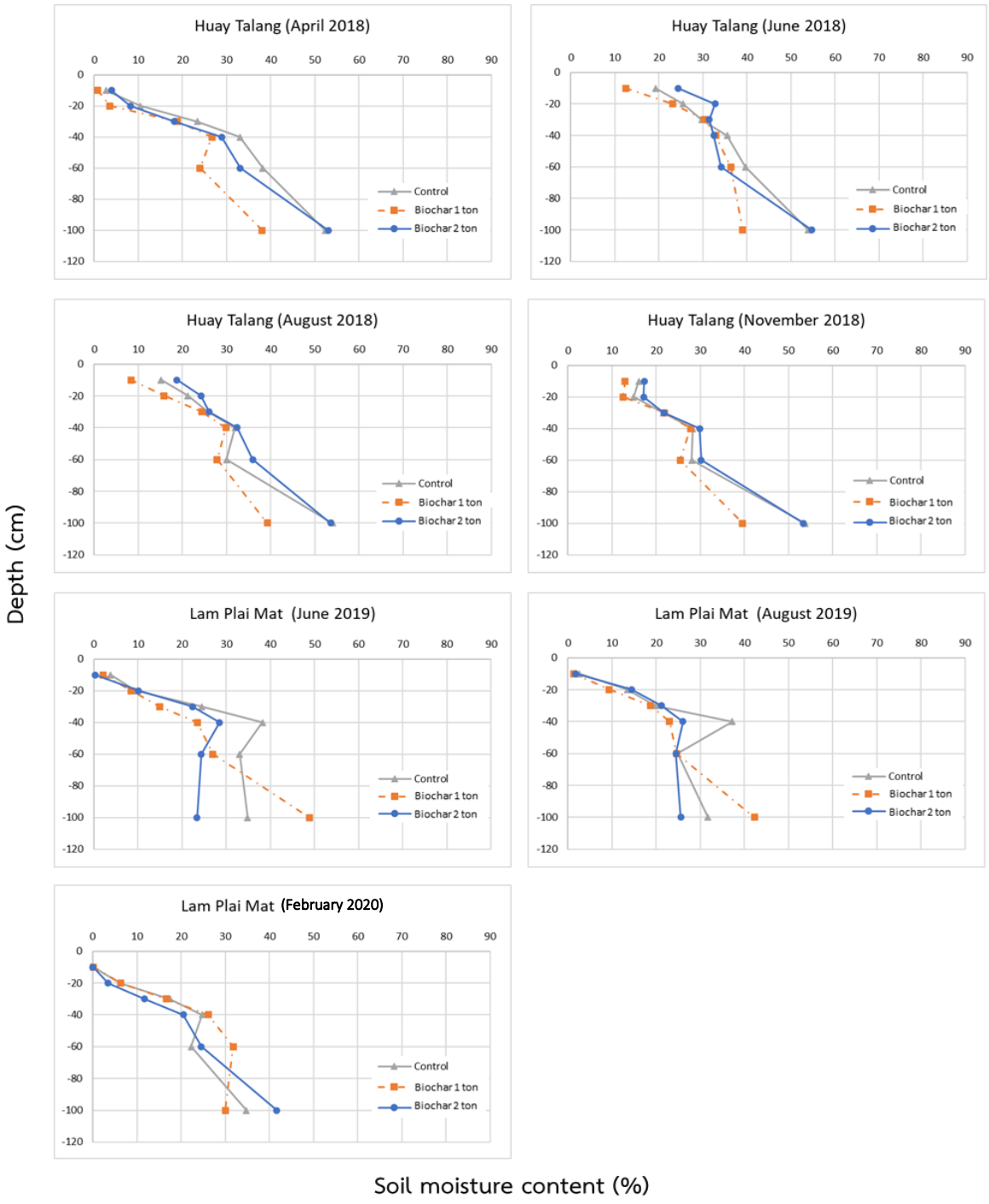
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอห้วยแถลง (ปี 2561) และอำเภอลำปลายมาศ (ปี 2562) ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

ความชื้นในดินโดยปริมาตรกลุ่มดินเนื้อปานกลางตามช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าความชื้นในดินตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 วิธี มีความผันแปรเกาะกลุ่มกันตามระดับความลึกของดินตลอดช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง (ภาพที่ 10-11)

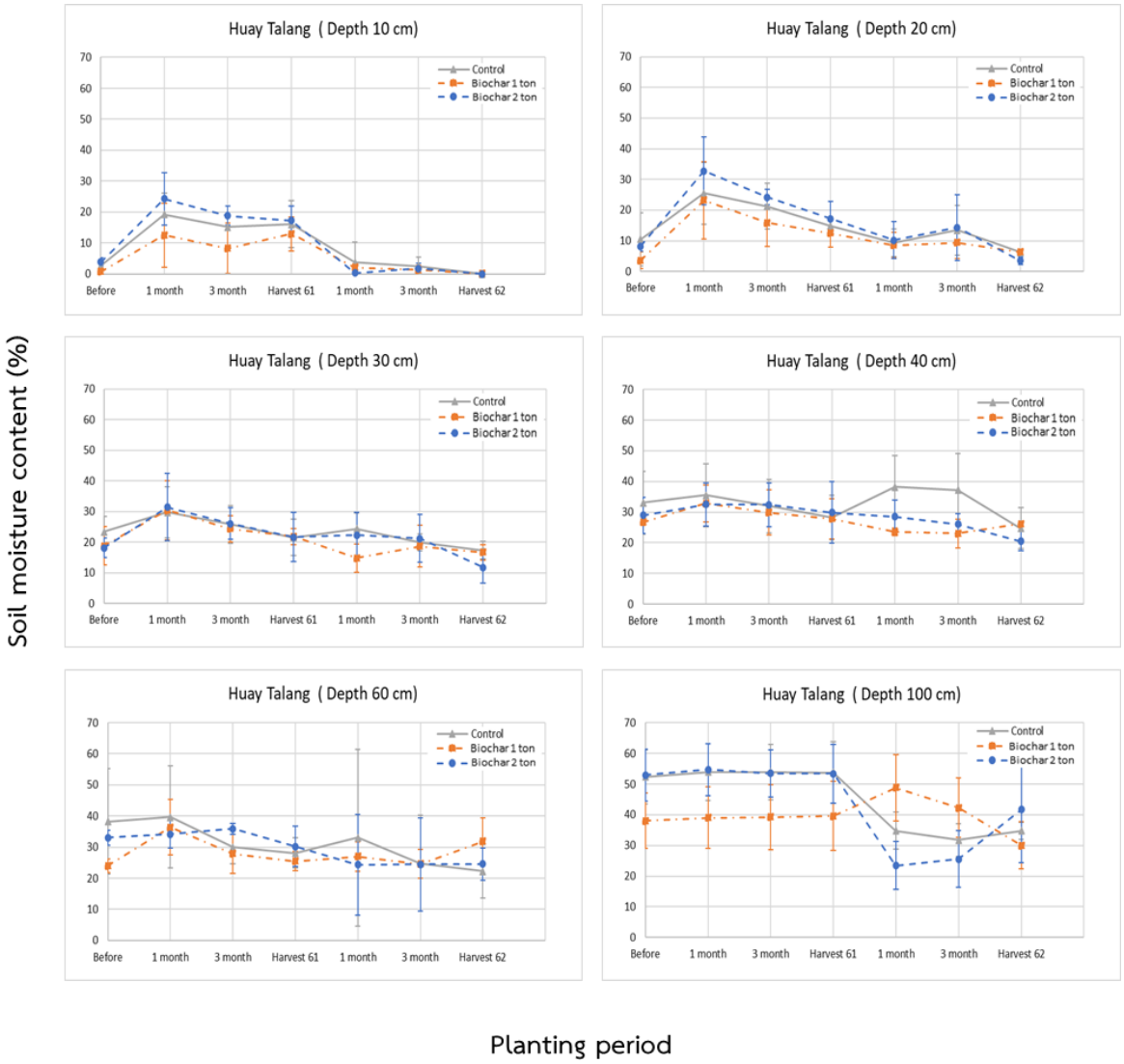
ตารางที่ 6 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอห้วยแถลง

	ระดับความลึก (cm)	**ความชื้นในดิน (%)**						
		ปีที่ 1				**ปีที่ 2**		
		ก่อนปลูก	**1 เดือน**	**3 เดือน**	**เก็บเกี่ยว**	**1 เดือน**	**3 เดือน**	**เก็บเกี่ยว**
T1	10	2.67±0.92	19.2±7.01	15.1±6.74	16.1±7.64	3.79±6.56	2.58±2.81	0.07±0.04
	20	10.5±8.66	25.5±10.1	21.2±7.47	14.9±2.92	9.44±4.49	13.4±8.08	6.24±1.17
	30	23.4±5.09	29.7±8.39	25.8±6.07	21.6±5.86	24.4±5.02	20.0±2.72	17.4±5.10
	40	33.0±10.3	33.5±10.2	32.0±8.68	28.3±7.25	38.2±10.2	37.2±11.8	24.7±3.13
	60	38.2±16.9	39.6±16.4	30.0±5.40	28.1±4.83	33.0±28.5	24.8±15.4	22.3±8.58
	100	52.4±8.92	53.9±9.20	54.0±9.07	53.7±10.1	34.8±5.97	31.7±5.37	34.8±2.78
T2	10	0.79±0.16	12.5±10.4	8.31±8.04	12.9±5.44	2.10±1.19	1.31±1.43	0.12±0.21
	20	3.60±2.78	23.1±12.6	15.8±7.64	12.4±4.58	8.50±4.14	9.40±5.29	6.32±0.68
	30	18.9±6.17	30.5±9.66	24.4±4.28	21.8±2.70	14.9±4.58	18.7±6.74	16.7±2.46
	40	26.7±0.98	32.9±6.01	29.9±7.31	27.8±6.56	23.5±1.23	23.0±4.65	26.1±0.75
	60	24.0±2.16	36.4±8.91	27.8±6.31	25.5±3.07	27.0±4.74	24.6±4.63	31.8±7.49
	100	38.0±9.02	39.0±9.98	39.2±10.6	39.6±11.2	48.8±10.8	42.3±9.7	30.0±7.63
T3	10	3.90±1.27	2.43±8.48	18.8±3.08	17.3±4.65	0.30±0.32	1.77±1.70	0.02±0.04
	20	8.18±1.51	32.8±11.1	24.2±2.49	17.2±5.59	10.2±6.06	14.4±10.7	3.46±1.17
	30	18.2±3.23	31.4±10.96	26.1±5.20	21.7±7.96	22.4±7.39	21.3±7.86	11.8±5.10
	40	28.9±5.98	32.5±6.95	32.4±7.12	29.8±10.0	28.5±5.37	26.1±11.8	20.5±3.13
	60	33.1±2.43	34.2±4.42	35.9±1.71	30.2±6.45	24.4±16.2	15.4±14.9	24.5±5.08
	100	53.0±8.48	54.8±8.46	53.6±7.69	53.4±9.54	23.4±7.81	25.9±9.18	41.7±17.4

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 10 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละช่วงระยะเวลา



ภาพที่ 11 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละระดับความลึกดิน

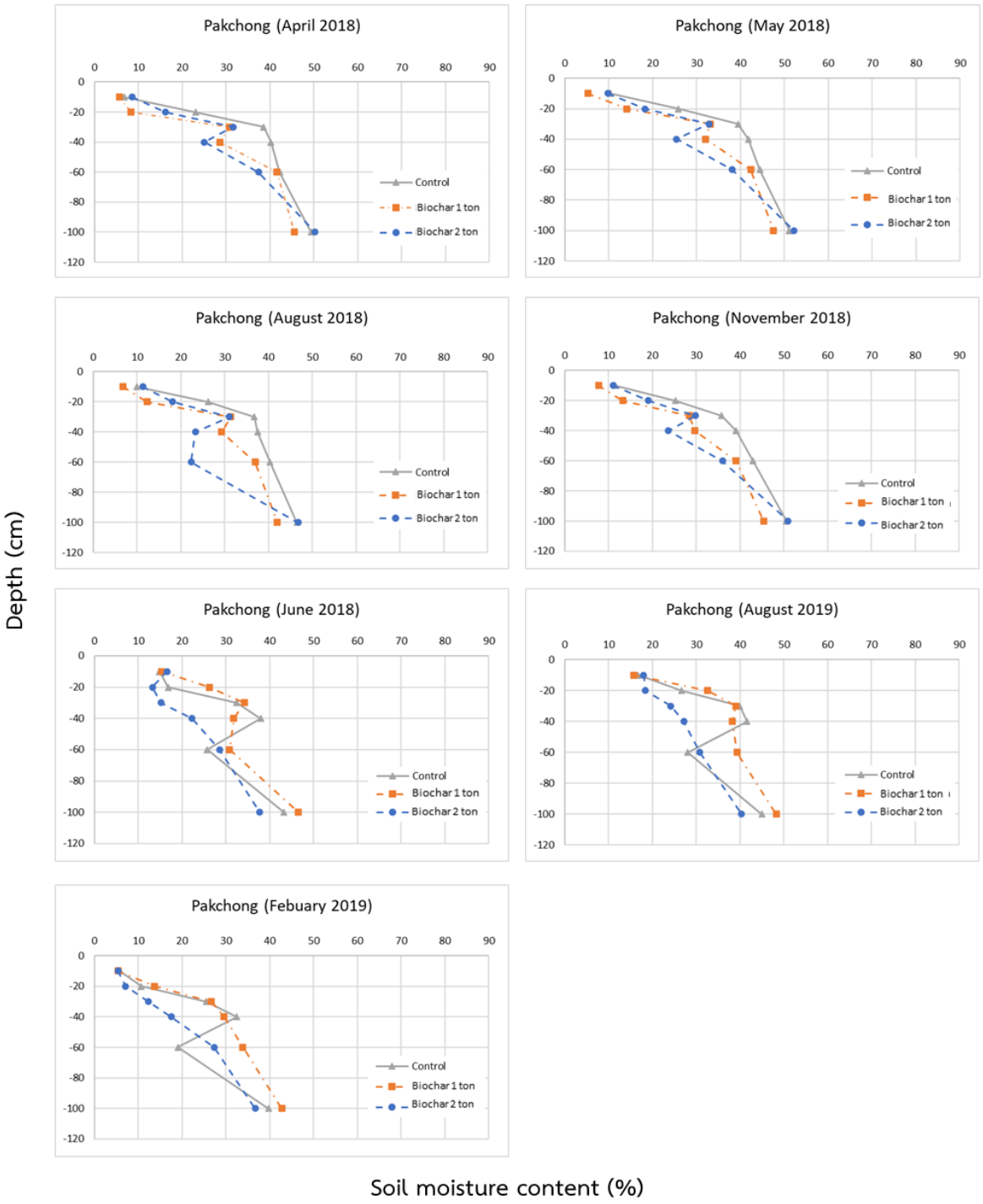
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอปากช่อง ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อละเอียด

ความชื้นในดินโดยปริมาตรกลุ่มดินเนื้อละเอียดตามช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าความชื้นในดินตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 วิธี มีความผันแปรเกาะกลุ่มกันตามระดับความลึกของดิน ตลอดช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลัง (ภาพที่ 12-13)

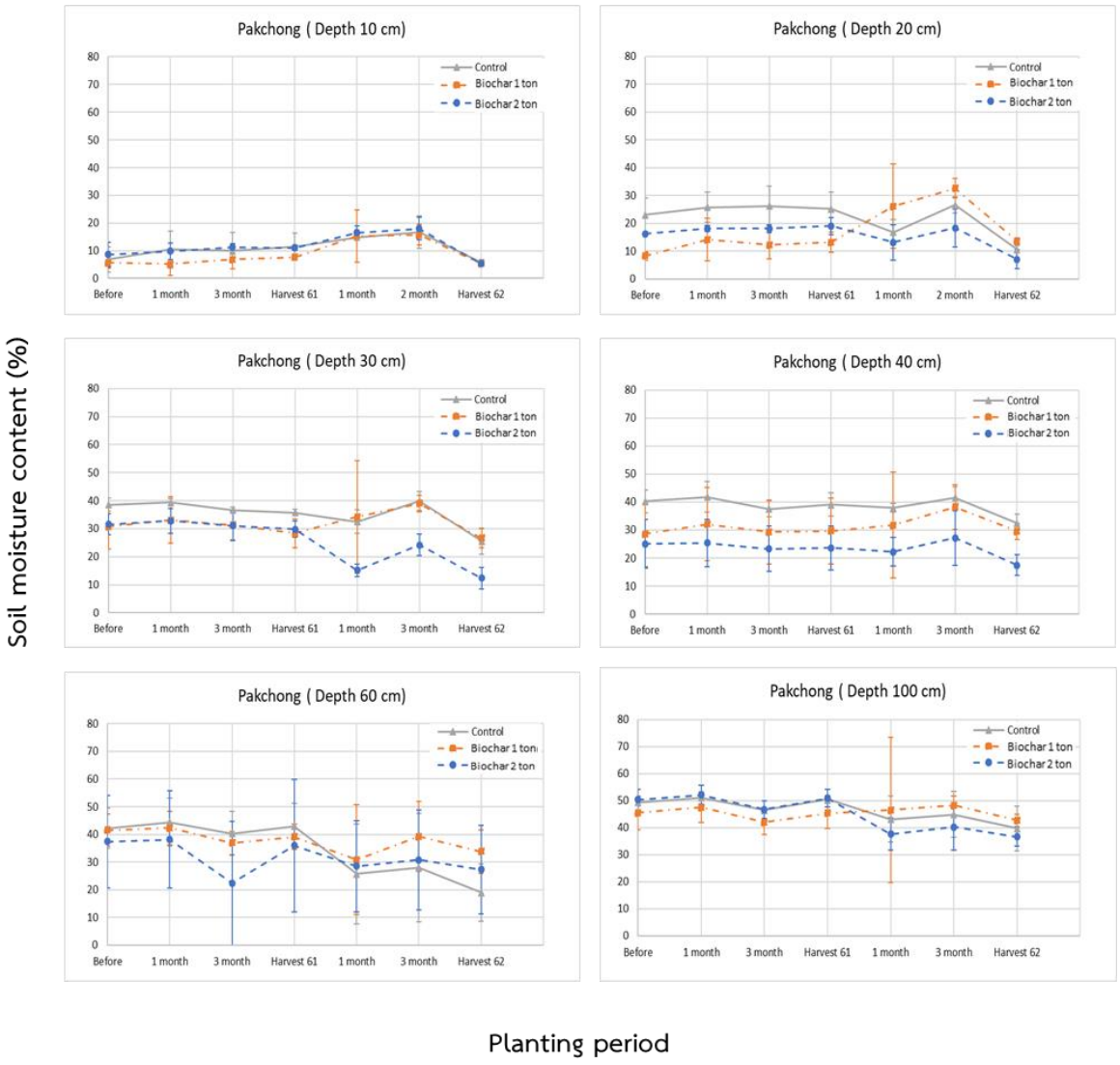
ตารางที่ 7 แสดงความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 6 ระดับ ของดินอำเภอปากช่อง

	ระดับความลึก (cm)	**ความชื้นในดิน (%)**						
		ปีที่ 1				**ปีที่ 2**		
		ก่อนปลูก	**1 เดือน**	**3 เดือน**	**เก็บเกี่ยว**	**1 เดือน**	**3 เดือน**	**เก็บเกี่ยว**
T1	10	6.87±4.57	10.4±4.06	9.99±6.56	11.5±4.92	14.8±0.93	16.8±3.73	5.76±0.95
	20	23.1±6.01	25.8±5.33	26.2±7.04	25.2±6.12	16.8±4.51	26.7±2.93	10.7±1.27
	30	38.6±2.29	39.4±1.25	36.7±0.93	35.8±1.20	32.5±4.26	39.9±3.32	25.6±4.76
	40	40.2±4.14	41.8±5.46	37.5±2.81	39.1±4.10	37.9±1.50	41.5±4.00	32.4±3.35
	60	42.3±7.18	44.4±8.70	40.3±7.90	42.9±8.31	25.7±18.1	28.0±19.6	18.9±10.3
	100	49.4±1.56	51.1±1.12	46.5±0.73	50.6±1.50	43.2±8.49	44.9±8.45	39.7±8.22
T2	10	5.65±2.05	5.22±4.06	6.83±3.31	7.70±0.71	15.3±9.37	15.7±3.73	5.33±0.91
	20	8.34±1.58	14.1±7.63	12.3±4.97	13.2±3.62	26.1±15.2	32.6±3.51	13.7±1.15
	30	30.8±7.95	33.1±8.25	31.3±5.40	28.4±5.15	34.2±20.1	39.0±2.97	26.7±3.40
	40	28.6±11.7	32.0±13.1	29.3±11.4	29.7±11.8	31.8±18.9	38.3±7.96	29.5±2.89
	60	41.5±5.71	42.3±6.12	36.9±4.22	39.1±4.60	30.8±19.9	39.2±12.7	33.8±7.80
	100	45.5±6.26	47.5±5.62	42.0±4.56	45.4±5.55	46.5±26.9	48.3±3.46	42.8±2.23
T3	10	8.63±4.42	9.82±2.98	11.3±1.18	11.0±0.94	16.5±2.49	18.0±4.15	5.33±0.74
	20	16.2±0.82	18.2±1.02	18.1±1.34	19.1±3.02	13.2±6.36	18.4±6.82	7.08±3.40
	30	31.6±3.82	32.8±4.41	31.1±5.27	29.8±2.95	15.2±2.17	24.2±3.90	12.3±3.93
	40	25.0±8.67	25.4±8.45	23.3±8.06	23.6±7.86	22.3±5.22	27.2±9.77	17.5±3.62
	60	37.4±16.7	38.1±17.5	22.3±22.4	35.9±23.9	28.5±16.5	30.8±18.0	27.3±15.9
	100	50.3±3.85	52.1±3.49	46.7±3.22	50.9±3.37	37.7±6.06	40.3±8.50	36.7±3.58

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 12 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละช่วงระยะเวลา



ภาพที่ 13 ความชื้นในดินโดยปริมาตรของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละระดับความลึกดิน

4. การแทรกซึมน้ำของดิน

อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (Infiltration) เป็นข้อมูลสำคัญในการให้น้ำแก่พืช การไหลบ่าของน้ำผิวดิน หรือการพังทลายของดิน ซึ่งข้อมูลการแทรกซึมน้ำน่าจะสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างแปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพและแปลงควบคุมได้ หากถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บความชื้นในดินได้จริง การศึกษาอัตราการแทรกซึมน้ำของกลุ่มเนื้อดินต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมน้ำของดินแบบถังคู่ (Double ring infiltrometer) ตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพ (T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ละครั้งดำเนินการในภาคสนาม ผลการทดสอบการแทรกซึมน้ำจากการทดสอบในแต่ละ 3 กลุ่มเนื้อดิน เป็นดังนี้

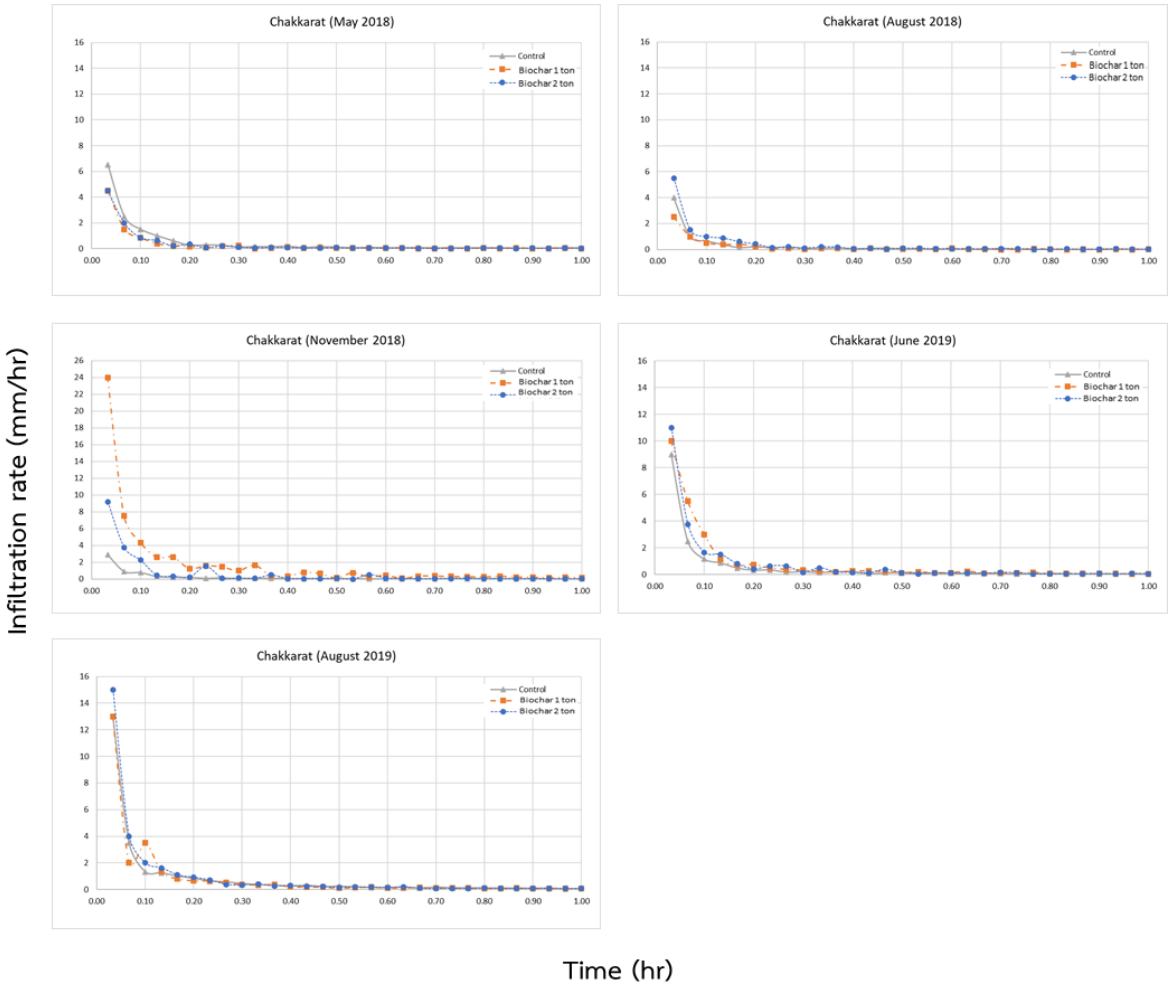
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอจักราช ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อหยาบ

อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย (60 นาที) แสดงดังตารางที่ 8 อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น แตกต่างกันไปตั้งแต่ 2.5 ถึง 24.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.01 ถึง 0.17 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 8 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินหยาบ

ช่วงระยะเวลาดำเนินการทดสอบ	**อัตราการแทรกซึมน้ำ (mm/hr)**					
	T1		T2		T3	
	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด
พ.ค. 61	6.5	0.05	4.5	0.02	4.5	0.02
ส.ค. 61	4.0	0.01	2.5	0.02	5.5	0.02
พ.ย. 61	2.9	0.02	24.0	0.17	9.2	0.03
มิ.ย. 62	9.0	0.03	10.0	0.07	11.0	0.07
ส.ค. 62	13.0	0.07	13.0	0.07	15.0	0.08

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 14 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ แต่ละช่วงระยะเวลา

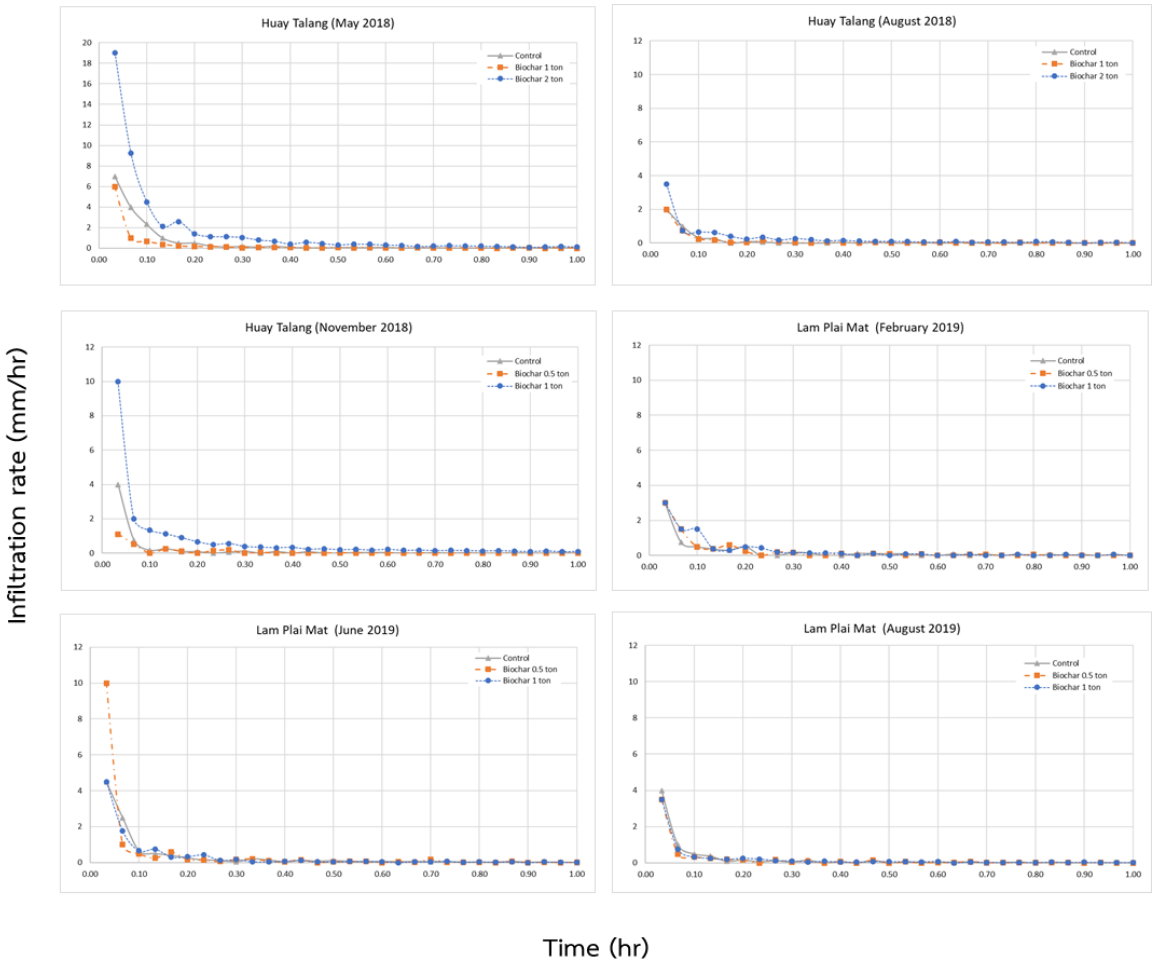
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอห้วยแถลง (ปี 2561) และอำเภอลำปลายมาศ (ปี 2562) ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย (60 นาที) แสดงดังตารางที่ 10 อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น แตกต่างกันไปตั้งแต่ 1.10 ถึง 19.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.00 ถึง 0.12 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 9 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินปานกลาง

ช่วงระยะเวลาดำเนินการทดสอบ	**อัตราการแทรกซึมน้ำ (mm/hr)**					
	T1		T2		T3	
	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด
พ.ค. 61	7.00	0.02	6.00	0.02	19.0	0.12
ส.ค. 61	2.00	0.00	2.00	0.00	3.50	0.02
พ.ย. 61	4.00	0.00	1.10	0.00	10.0	0.10
ก.พ. 62	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00
มิ.ย. 62	4.50	0.00	10.0	0.02	4.50	0.02
ส.ค. 62	4.00	0.00	3.50	0.00	3.50	0.02

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 15 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่ละช่วงระยะเวลา

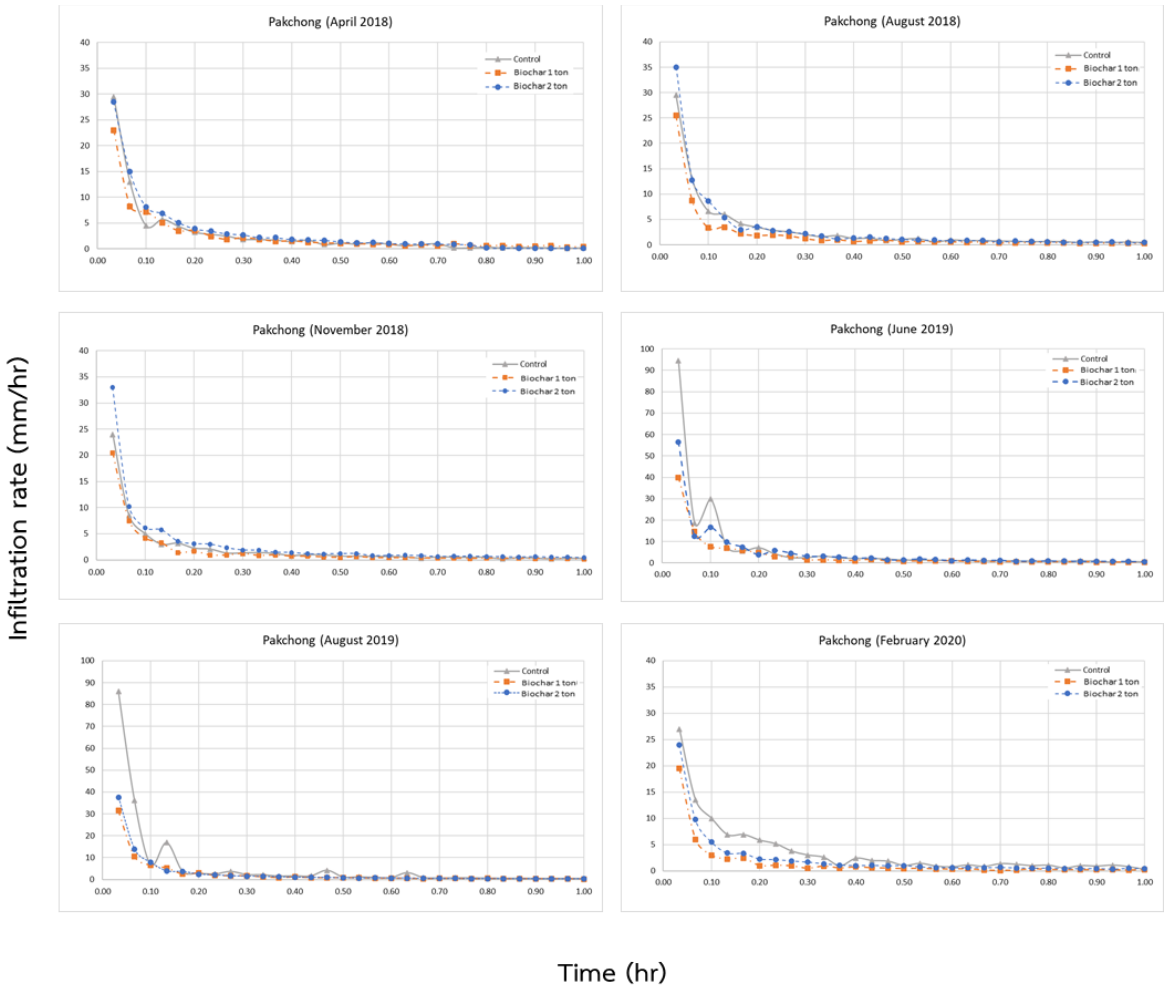
- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอปากช่อง ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อละเอียด

อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย (60 นาที) แสดงดังตารางที่ 9 อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น แตกต่างกันไปตั้งแต่ 19.5 ถึง 94.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.17 ถึง 0.63 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 10 แสดงอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้น และอัตราการแทรกซึมน้ำสุดท้าย ของกลุ่มเนื้อดินละเอียด

ช่วงระยะเวลาดำเนินการทดสอบ	**อัตราการแทรกซึมน้ำ (mm/hr)**					
	T1		T2		T3	
	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด	เริ่มต้น	ท้ายสุด
เม.ย. 61	29.5	0.23	23.0	0.40	28.5	0.20
ส.ค. 61	29.5	0.43	25.5	0.28	35.0	0.52
พ.ย. 61	24.0	0.33	20.50	0.17	33.0	0.40
มิ.ย. 62	94.5	0.60	40.0	0.33	56.5	0.63
ส.ค. 62	86.0	0.40	31.5	0.17	37.5	0.32
ก.พ. 62	27.0	0.25	19.5	0.25	24.0	0.40

หมายเหตุ: T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 16 อัตราการแทรกซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด แต่ละช่วงระยะเวลา

5. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง

เก็บข้อมูลผลผลิตเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือน ประกอบด้วยน้ำหนักสดเหนือดิน (น้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบ) ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ร้อยละการสะสมแป้ง และผลผลิตแป้ง ตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพ (T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน เป็นดังนี้

- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอจักราช ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อหยาบ

พบว่าผลผลิตแป้ง ร้อยละการสะสมแป้ง และผลผลิตมันสำปะหลัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 11 การใส่ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ในปีแรกผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่าเฉลี่ย 7.6 ตันต่อไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 30.3 และผลผลิตแป้งมีค่าเฉลี่ย 2.3 ตันต่อไร่ ส่วนในปีที่ 2 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่าเฉลี่ย 5.5 ตันต่อไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 20.9 และผลผลิตแป้งมีค่าเฉลี่ย 1.2 ตันต่อไร่

ตารางที่ 11 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ

ตำรับที่	น้ำหนักผลผลิต (ton/rai)		การสะสมแป้ง (%)		ผลผลิตแป้ง (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	7.3±0.4	6.0±0.5	29.9±1.3	21.5±1.8	2.2±0.1	1.3±0.2
T2	7.7±0.7	5.9±1.9	30.2±1.4	21.1±0.9	2.3±0.3	1.2±0.3
T3	7.8±0.5	4.5±0.05	30.8±0.3	20.0±2.3	2.4±0.2	0.9±0.2
F-test	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	7.6±0.5	5.5±1.2	30.3±1.1	20.9±1.7	2.3±0.2	1.2±0.3
CV. (%)	7.1	22.5	2.4	8.0	9.3	25.4

น้ำหนักสดส่วนเหนือดินทั้งหมดประกอบด้วย น้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักเหง้าสด และน้ำหนักกิ่งก้านและใบสด การใส่ถ่านชีวภาพในปีแรกพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) มีผลทำให้น้ำหนักลำต้นและน้ำหนักส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ตำรับควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 12 โดยน้ำหนักลำต้นเฉลี่ย 3.6 ตันต่อไร่ และน้ำหนักส่วนเหนือดิน 4.9 ตันต่อไร่ ส่วนในปีที่ 2 น้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 12 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ

ตำรับที่	ลำต้น (ton/rai)		เหง้า (ton/rai)		กิ่งก้านและใบ (ton/rai)		น้ำหนักส่วนเหนือดิน (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	3.0±0.2^{ab}	1.8±0.2	0.5±0.1	0.7±0.1	0.6±0.05	0.7±0.2	4.1^{ab}±0.2	3.2±0.5
T2	2.7±0.4^{b}	1.8±0.5	0.5±0.03	0.6±0.09	0.4±0.08	0.5±0.2	3.8^{b}±0.6	2.9±0.8
T3	3.6±0.5^{a}	1.8±0.4	0.6±0.07	0.7±0.1	0.7±0.2	0.7±0.3	4.9^{a}±0.7	3.2±0.6
F-test	*	-	-	-	-	-	*	-
ค่าเฉลี่ย	3.1±0.5	1.8±0.3	0.5±0.07	0.6±0.09	0.6±0.07	0.6±0.2	4.3±0.7	3.1±0.6
CV. (%)	16.6	19.1	12.4	14.4	28.4	35.2	16.3	18.4

หมายเหตุ: * หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอห้วยแถลง (ปี 2561) และอำเภอลำปลายมาศ (ปี 2562-2563) ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

เนื่องจากเกิดน้ำขังในพื้นที่อำเภอห้วยแถลง ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเสียหาย จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลผลผลิตในปีแรกได้ และได้ย้ายพื้นที่ทำการทดลองไปอำเภอลำปายมาศ ผลการใส่ถ่านชีวภาพพบว่าผลผลิตมันสำปะหลัง การสะสมแป้ง และผลผลิตแป้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 13 โดยผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่าเฉลี่ย 7.1 ตันต่อไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 26.3 และผลผลิตแป้งมีค่าเฉลี่ย 0.44 ตันต่อไร่

ตารางที่ 13 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

ตำรับที่	น้ำหนักผลผลิต (ton/rai)		การสะสมแป้ง (%)		ผลผลิตแป้ง (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	-	13.2±5.5	-	25.3±0.003	-	0.93±0.88
T2	-	5.1±3.3	-	26.7±0.000	-	0.21±0.01
T3	-	5.2±2.3	-	26.9±0.001	-	0.19±0.16
F-test	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	-	7.1±5.0	-	26.3±0.001	-	0.44±0.55
CV. (%)	-	162	-	6.3	-	124

การใส่ถ่านชีวภาพในดินเนื้อปานกลาง ไม่ทำให้น้ำหนักสดส่วนเหนือดินทั้งหมดประกอบด้วย น้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักเหง้าสด และน้ำหนักกิ่งก้านและใบสดสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 14 โดยน้ำหนักลำต้นเฉลี่ย 1.2 ตันต่อไร่ น้ำหนักเหง้าเฉลี่ย 0.6 ตันต่อไร่ น้ำหนักกิ่งก้านใบเฉลี่ย 0.1 ตันต่อไร่ และน้ำหนักส่วนเหนือดิน 2.1 ตันต่อไร่

ตารางที่ 14 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

ตำรับที่	ลำต้น (ton/rai)		เหง้า (ton/rai)		กิ่งก้านและใบ (ton/rai)		น้ำหนักส่วนเหนือดิน (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	-	1.2±0.3	-	0.6±0.1	-	0.2±0.07	-	2.2±0.2
T2	-	1.2±0.09	-	0.5±0.2	-	0.05±0.0	-	1.7±0.4
T3	-	1.3±0.3	-	0.7±0.3	-	0.2±0.0	-	2.4±0.5
F-test	-		-		-		-	-
ค่าเฉลี่ย	-	1.2±0.2	-	0.6±0.2	-	0.1±0.06	-	2.1±0.4
CV. (%)		18.6		34.8		97.0		25.2

- แปลงมันสำปะหลัง อำเภอปากช่อง ตัวแทนกลุ่มดินเนื้อละเอียด

พบว่าผลผลิตแป้ง ร้อยละการสะสมแป้ง และผลผลิตมันสำปะหลัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 15 การใส่ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ได้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ในปีแรกผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่าเฉลี่ย 4.2 ตันต่อไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 25.2 และผลผลิตแป้งมีค่าเฉลี่ย 1.1 ตันต่อไร่ ส่วนในปีที่ 2 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่าเฉลี่ย 6.6 ตันต่อไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 28.5 และผลผลิตแป้งมีค่าเฉลี่ย 1.9 ตันต่อไร่

ตารางที่ 15 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด

ตำรับที่	น้ำหนักผลผลิต (ton/rai)		การสะสมแป้ง (%)		ผลผลิตแป้ง (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	4.4±0.6	5.3±0.5	24.4±1.3	27.3±2.3	1.1±0.1	1.4±0.1
T2	3.5±0.8	7.8±1.5	25.1±1.3	29.3±0.9	0.9±0.2	2.3±0.5
T3	4.8±1.0	6.6±2.3	25.9±3.9	29.0±2.0	1.3±0.4	1.9±0.8
F-test	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	4.2±0.9	6.6±1.8	25.2±2.5	28.5±1.8	1.1±0.3	1.9±0.6
CV. (%)	21.3	27.1	9.8	6.4	27.1	31.9

น้ำหนักสดส่วนเหนือดินทั้งหมดประกอบด้วย น้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักเหง้าสด และน้ำหนักกิ่งก้านและใบสด การใส่ถ่านชีวภาพในปีแรกพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) มีผลทำให้น้ำหนักลำต้นสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ตำรับควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 16 โดยน้ำหนักลำต้นเฉลี่ย 1.2 ตันต่อไร่ ส่วนในปีที่ 2 น้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 16 แสดงผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบของมันสำปะหลัง ของกลุ่มดินเนื้อละเอียด

ตำรับที่	ลำต้น (ton/rai)		เหง้า (ton/rai)		กิ่งก้านและใบ (ton/rai)		น้ำหนักส่วนเหนือดิน (ton/rai)	
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2
T1	0.8^{b}±0.06	1.4±0.2	0.7±0.08	0.9±0.3	0.3±0.03	0.8±0.2	1.8±0.1	3.1±0.7
T2	0.9^{ab}±0.09	1.9±0.3	0.6±0.05	1.2±0.2	0.3±0.2	0.7±0.5	1.7±0.2	3.9±0.8
T3	1.2^{a}±0.3	1.6±0.3	0.7±0.2	1.2±0.1	0.3±0.2	0.9±0.3	2.2±0.4	3.7±0.7
F-test	*	-	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	0.9±0.2	1.6±0.3	0.7±0.1	1.1±0.2	0.3±0.1	0.8±0.4	1.9±0.4	3.6±0.7
CV. (%)	25.3	20.3	16.2	19.8	43.2	43.5	18.6	20.2

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของถ่านชีวภาพไม้ประดู่ที่มีต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมน้ำในดินปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา โดยแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษาตามลักษณะเนื้อดิน 3 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มดินเนื้อหยาบ เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน พื้นที่อำเภอจักราช กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง) พื้นที่อำเภอห้วยแถลง อำเภอลำปลายมาศ และกลุ่มดินเนื้อละเอียด (เนื้อดินเป็นดินเหนียว) พื้นที่อำเภอปากช่อง โดยมีสมติฐานงานวิจัยว่าการนำถ่านชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินปลูกมันสำปะหลัง สามารถช่วยดูดซับความชื้นให้อยู่ในดินทุกลักษณะเนื้อดินได้ยาวนานขึ้น ส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายและแปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากในระหว่างการเพาะปลูกดินสามารถกักเก็บความชื้นได้ดี ก็จะสามารถให้ผลผลิตที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอัตราการแทรกซึมน้ำ (Double-ring Infiltrometer test) และปริมาณความชื้น ด้วยเครื่อง Profile Probe ที่ระดับความลึกดินจากผิวดิน 6 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร ตามระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 3 ช่วง ได้แก่ ระยะ 1 เดือน ระยะ 3 เดือน และระยะเก็บเกี่ยว รวมทั้งข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง

จากข้อมูลการศึกษาปริมาณความชื้นดินในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 วิธี (T1: ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ; T2: ใส่ถ่านชีวภาพทุกปี ปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รวม 2 ปี และ T3: ใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียว 2,000 กิโลกรัมต่อไร่) มีความผันแปรของความชื้นในดินเฉลี่ยรายเดือนตามระดับความลึกดิน ความผันแปรของความชื้นในดินตามช่วงเวลาการเพาะปลูกอยู่ในช่วงระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความลึกดินดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากรากและหัวมันสำปะหลังที่อยู่ในระดับความลึกนี้ และความชื้นในดินมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความลึกดิน 60 เซนติเมตร (ความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์) พบว่าผลการใส่ถ่านชีวภาพอัตราปีละ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T2) และอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) ส่งผลให้ดินกลุ่มเนื้อหยาบที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (T1) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง และกลุ่มดินเนื้อละเอียดพบว่ามีความผันแปรของความชื้นในดินเฉลี่ยรายเดือนตามระดับความลึกดินเช่นเดียวกับกลุ่มดินเนื้อหยาบ ความชื้นในดินมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความลึกดิน 100 เซนติเมตร (กลุ่มเนื้อดินปานกลางความชื้นสูงสุด 54.8 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มดินเนื้อละเอียดความชื้นสูงสุด 52.1 เปอร์เซ็นต์) ในกลุ่มดินเนื้อปานกลางพบว่าผลการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) ส่งผลให้ที่ระดับความลึกดิน 0-20 เซนติเมตร มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ส่วนในกลุ่มดินเนื้อละเอียดการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T2) ระยะเวลา 2 ปี ส่งผลให้ที่ระดับความลึกดิน 60-100 เซนติเมตร มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

การแทรกซึมน้ำของดินในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน) ที่เป็นดินปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ในประเทศไทย เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคทรายสูง อัตราการแทรกซึมน้ำต่ำ ผลการศึกษามีอัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2.5 ถึง 24.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.01 ถึง 0.17 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง การใส่ถ่านชีวภาพในกลุ่มดินเนื้อหยาบพบว่าช่วง 3 เดือนหลังปลูก ดินแปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง) ซึ่งเป็นดินที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง ดินมีความโปร่งซุย ระบายน้ำส่วนเกินได้ดี ผลการศึกษาอัตรการแทรกซึมน้ำเริ่มต้นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 1.10 ถึง 19.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.00 ถึง 0.12 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง หลังใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ระยะเวลา 3 เดือน จนถึงเก็บเกี่ยว ดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ขณะที่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียด (เนื้อดินเป็นดินเหนียว) อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 19.5 ถึง 94.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการแทรกซึมน้ำท้ายสุด 0.17 ถึง 0.63 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงปีแรกหลังใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะเวลา 3 เดือน จนถึงเก็บเกี่ยว ดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

การศึกษาพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพไม้ประดู่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ปริมาณความชื้น และอัตราการแทรกซึมน้ำของดินทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดิน ในช่วงปีแรกมีปริมาณสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ สิ่งสำคัญที่มีผลต่อความชื้นในดิน คือการแทรกซึมน้ำของดินหรือการเคลื่อนย้ายน้ำลงดิน ซึ่งน้ำที่มีการซึมลงดินนี้เองจะเป็นส่วนหนึ่งของความชื้นในดิน ถ้าปริมาณการซึมน้ำมีมากก็จะทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในดิน สอดคล้องกับการศึกษาของ Verheijen และคณะ (2010) รายงานว่าการใส่ถ่านชีวภาพปริมาณ 1-2 เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนักเปียก) ช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพดินได้ (ความจุน้ำในดิน) Abel และคณะ (2013) กล่าวว่าถ่านชีวภาพ 2.5 เปอร์เซนต์ (น้ำหนักแห้ง) ทำให้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดในดินทราย ขณะที่ Gaskin และคณะ (2007) พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพ 2 เปอร์เซนต์ ไม่ทำให้ปริมาณน้ำในดินร่วนปนทรายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นถึง 8 เปอร์เซนต์ การเติมถ่านชีวภาพไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บน้ำในดินและการนำไฟฟ้า แต่อาจช่วยเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมน้ำของดิน (Igbadunh et al., 2016) อย่างไรก็ตามไม่ใช่ว่าถ่านชีวภาพจากวัตถุดิบทุกชนิดจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุงค่าเริ่มต้นการแทรกซึมน้ำของดิน และโครงสร้างดิน การแทรกซึมอาจได้รับผลกระทบจากอนุภาคผิวดินที่มีสภาวะไม่ชอบน้ำ (soil Hydrophobicity) (Assouline and Mualem, 1997) ดินที่ไม่ชอบน้ำ (โดยเฉพาะดินแห้งมาก) อาจทำให้อัตราการแทรกซึมน้ำเริ่มต้นต่ำเพิ่มขึ้นเป็นเวลามาก ตรงกันข้ามกับดินที่มีสมบัติไม่กันน้ำมีอัตราการแทรกซึมเริ่มต้นสูง มีการศึกษาเพียงเล็กน้อยที่ศึกษาผลกระทบของถ่านชีวภาพต่อการแทรกซึมและการไหลบ่า Itsukushima et al. (2016) รายงานว่าดินที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพไม้ไผ่ และฮิวมัสจะมีอัตราการแทรกซึมเริ่มต้นและขั้นสุดท้ายสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ Hamidreza Sadeghi et al. (2016) รายงานว่าก่อนเข้าสู่ช่วงฤดูฝนเมื่อมีการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ จะช่วยลดการไหล่บ่าของน้ำ เนื่องจากถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ หรือเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมน้ำของดินชั้นบน

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน ตามวิธีการใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 อัตรา ประกอบด้วยน้ำหนักสดเหนือดิน (น้ำหนักลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบ) ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ร้อยละการสะสมแป้งและผลผลิตแป้ง พบว่าในทั้ง 3 กลุ่มเนื้อดิน การใส่ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าช่วงปีแรกการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้น้ำหนักลำต้นในดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด และน้ำหนักส่วนเหนือดินในดินเนื้อหยาบสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ตำรับควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

เอกสารอ้างอิง

บริษัทไทยวิกตอรี่. 2555. คู่มือการใช้งานเครื่องวัดความชื้นในดิน (MOISTURE METER). เขตราชเทวี. กรุงเทพฯ.

สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2559. คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม 2559. 96 หน้า.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. ยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2559) และโปรแกรมวิจัยและพัฒนามันสำปะหลังภายใต้แผนกลยุทธ์การวิจัยและพัฒนา สวทช. ระยะที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1 ตุลาคม 2554. 62 หน้า. ปทุมธานี.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562.พจนานุกรม ศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา. พิมพ์ครั้งที่ 1. 452 หน้า. กรุงเทพฯ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2562. ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง. http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง/TH-TH (วันที่ 29 กรกฎาคม 2562)

Assouline, S., Mualem, Y., 1997. Modeling the Dynamics of Seal Formation and its Effect on Infiltration as Related to Soil and Rainfall Characteristics. Water Resour. Res. 33, 1527–1536.

ASTM Designation: D3385-09. Standard Test Method for Infiltration Rate on Soil in Field Using Double-Ring Infiltration

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D., 2000. Soil Water Repellency: Its Causes, Characteristics and Hydro-Geomorphological Significance. Earth Sci. Rev. 51, 33-65. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8

Hamidreza Sadeghi, S., Hazbavi, Z., Kiani Harchegani, M., 2016. Controllability of Runoff and Soil Loss from Small Plots Treated by Vinasse- Produced Biochar. Sci. Total Environ. 541, 483–490.

Hardie, M.A., 2011. Effect of Antecedent Soil Moisture on Infiltration and Preferential Flow in Texture Contrast Soils. Dissertation. The University of Tasmania.

Hewlett, J.D. and W.L. Nutter. 1969. AN Outline of Forest Hydrology University of Goergia Press,Athens. 137 p.

Hillock, R.J., Thresh, J. and M. and Bellotti, A. C. (2002). Cassava: Biology, Production and Utilization. Wallingfrod, uS; New York. 322 p.

Igbadun H.E., Othman M. K., Ajayi A. S., 2016. Infiltration Characteristics of Organic Amended Soils. Glob. J. Res. Eng. 16, 35–39

Reynolds, W.D. 1993. Particle Size Distribution. In M. R. Carter. Ed., Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp. 499-511.

USDA Natural Resources Conservation Service. 1998. Soil Quality Indicators: Infiltration. Soil Quality Institute. http:/www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/sqiinfo.shtml, September, 1998.

Ward, R.C. and M. Robinson. 1990. PRINCIPLES OF HYDROLOGY. Third Edition. McGraw-Hill Book Company Europe. England. 365 p.

ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 การใส่ถ่านชีวภาพในแปลงปลูกมันสำปะหลัง

ภาพผนวกที่ 2 การเก็บข้อมูลการแทรกซึมน้ำในแปลงทดลอง

ภาพผนวกที่ 3 การฝังท่อวัดความชื้นในดิน

ภาพผนวกที่ 4 การเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลัง

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน