

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยประกอบด้วยงานหลัก 2 เรื่องคือ

4.1 การศึกษาระยะยาวของอิทธิพลของการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินทราย ในรายงานปีนี้จะประกอบด้วย

4.1.1 การศึกษาการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำ (DOM) ที่ได้รับอิทธิพลจากคุณภาพสารอินทรีย์

4.1.2 การทดสอบเบื้องต้นในการนำข้อมูลจากการศึกษาอินทรีย์วัตถุระยะยาวมาใส่ในแบบจำลองสำเร็จรูป (modeling of SOM data)

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองการศึกษากิจกรรมและชนิดประชากรจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพจากดินการทดลองระยะยาว

4.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดต่อการเก็บกักและการเคลื่อนย้ายคาร์บอน ซึ่งเป็นการศึกษาวิธีการแยกถ่านและทดสอบวิธีการวิเคราะห์คาร์บอนในถ่านที่ระดับความลึกต่างๆ ของดินในแต่ละการใช้ที่ดิน

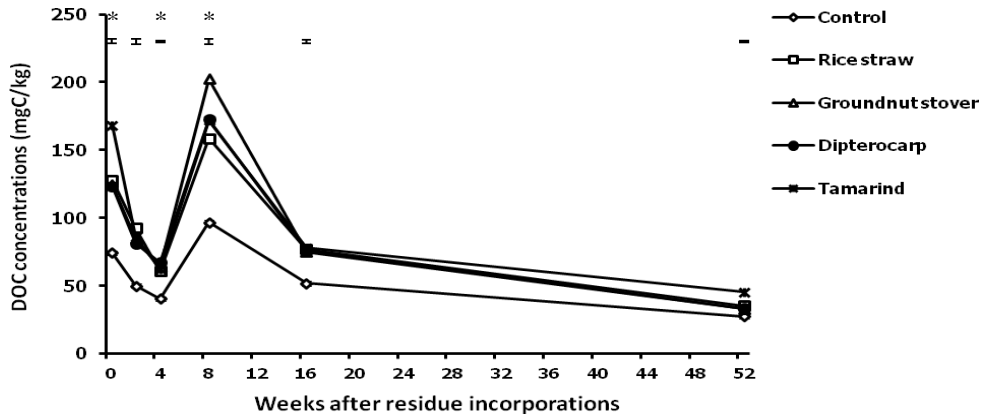
4.1 การศึกษาระยะยาวของอิทธิพลของการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินทราย

4.1.1 การศึกษาการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำ (DOM) ที่ได้รับอิทธิพลจากคุณภาพสารอินทรีย์

4.1.1.1 ความเข้มข้น DOC ทั้งหมดในหน้าตัดดิน

ดินในกรรมวิธีทดลองที่ได้รับสารอินทรีย์มีความเข้มข้นของ DOC ทั้งหมดสูงกว่าในกรรมวิธีที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ (control) ตลอดช่วงของการสลายตัว (52 สัปดาห์) (ภาพที่ 4.1) ในช่วงสัปดาห์ที่ 0 (ก่อนใส่สารอินทรีย์) กรรมวิธีที่ใส่ใบ(+ก้าน)มะขามร่วง (tamarind; TM) มีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ความเข้มข้นของ DOC ในกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นถึงระดับสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 8 ซึ่ง ณ ช่วงนี้ซากถั่วลิสง (groundnut stover; GN) มีความเข้มข้นของ DOC สูงที่สุด ตามด้วยกรรมวิธีใบ+ก้านมะขามร่วง กรรมวิธีใส่ใบพลวงร่วง (dipterocarp; DP) และกรรมวิธีใส่ฟางข้าว (rice straw; RS) ตามลำดับ ดินที่ได้รับใบ+ก้านมะขามร่วงและซากถั่วลิสงมีความเข้มข้นของ DOC สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 0 และ 4 สำหรับใบ+ก้านมะขามร่วง และสัปดาห์ที่ 8 สำหรับซากถั่วลิสง (ภาพที่ 4.1) เหตุผลส่วนหนึ่งคือดินของกรรมวิธีทดลองทั้งสองมีปริมาณคาร์บอนสะสมเดิมทั้งหมดในดิน (indigenous C) มาก อินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่เดิมในดิน หรือ indigenous SOM เป็นแหล่งสำคัญของ DOM (Froberg et al., 2003; Kalbitz et al., 2000) ในสัปดาห์ที่ 2 ดินในกรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าวมีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์อื่นๆ แต่ในช่วงหลังของการสลายตัวกรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าวมีความเข้มข้นของ DOC ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์อื่นๆ (ภาพที่ 4.1) เนื่องจากฟางข้าวมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เซลลูโลสจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายค่อนข้างง่ายและรวดเร็ว ทำให้ DOC มีความเข้มข้นสูงในช่วงต้นของการย่อยสลาย และลดลงในช่วงต่อมา

ส่วนในช่วงหลังของการย่อยสลาย (ในสัปดาห์ที่ 16 และ 52 หลังใส่สารอินทรีย์) ความเข้มข้นของ DOC ลดลงในทุกๆ กรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ DOC ทั้งหมดจากความลึกดินในช่วงต่างๆ หลังจากใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพลงไปในดิน
เส้นตรงในแนวตั้งคือ standard error of the difference (SED), * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

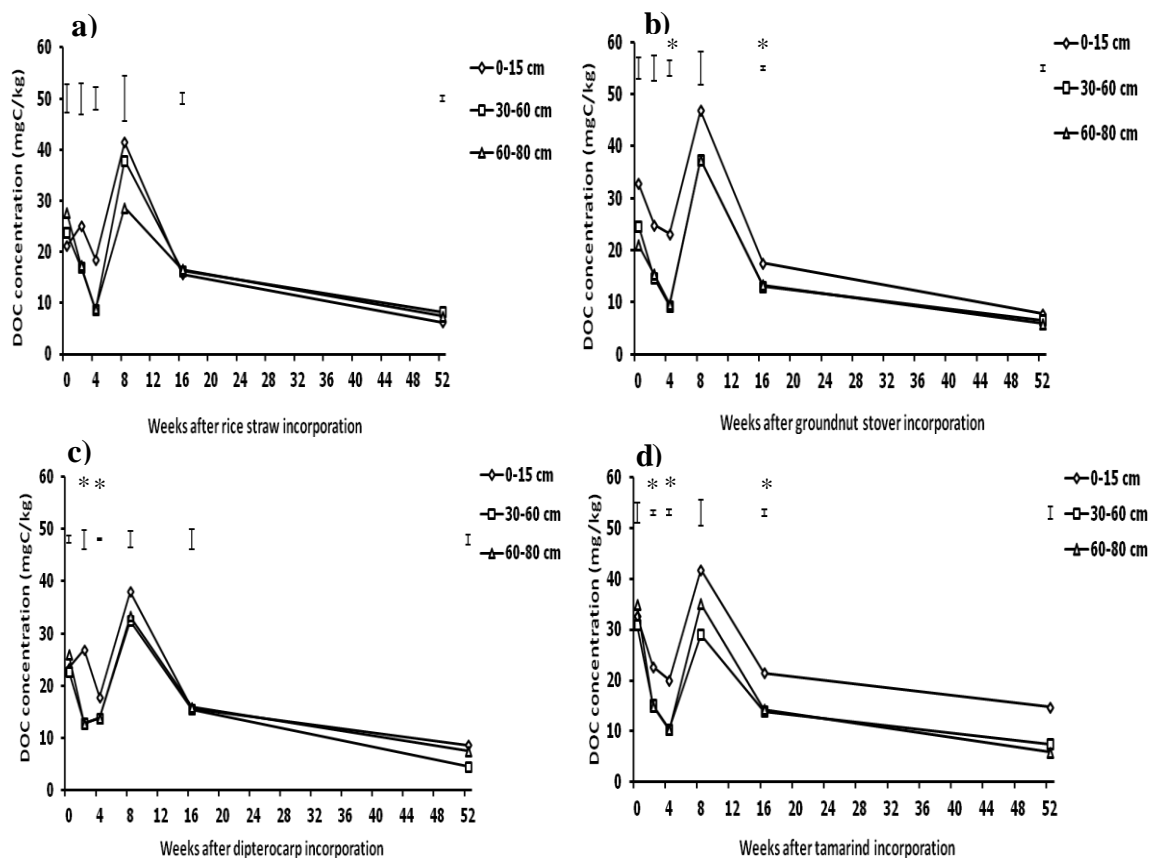
4.1.1.2 ความเข้มข้นของ DOC ที่ความลึกดินต่างๆ ในหน้าตัดดิน

ในกรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าวสัปดาห์ที่ 2, 4, และ 8 ดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) มีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่าในดินชั้นล่าง (30-60 และ 60-80 เซนติเมตร) (ภาพที่ 4.2a) แต่ในสัปดาห์ที่ 0, 16 และ 52 ในดินชั้นล่าง (30-60 และ 60-80 เซนติเมตร) มีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่าดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) ความเข้มข้นของ DOC ที่ได้จากกรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าว อาจเป็นรูปที่ถูกชะล้างได้ง่าย การย่อยสลายของฟางข้าวซึ่งจัดว่าย่อยสลายง่ายนั้น อาจทำให้เกิดสารประกอบพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight; LMW-DOC) และมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) DOC ที่เป็น hydrophilic-LMW ไม่มีคุณสมบัติในการถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดินมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพวก hydrophobic DOC (Gu et al., 1995; Kalbitz et al., 2000)

ดินในกรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสงมีความเข้มข้นของ DOC ในดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) สูงกว่าดินชั้นล่าง (30-60 และ 60-80 เซนติเมตร) ตลอดของช่วงการย่อยสลาย และสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญในช่วงแรกของการย่อยสลาย (สัปดาห์ที่ 4 และ 16) (ภาพที่ 4.2b) ดินในกรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสงมีการสะสมคาร์บอนในดิน (soil organic carbon; SOC) มาก (Puttaso et al., 2011) สาเหตุหนึ่งอาจเนื่องจากซากถั่วลิสงมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ ลิกนินและโพลีฟีนอลส์ ในระดับปานกลาง สารเหล่านี้ทำให้มีการสร้าง DOC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight; HMW-DOC) เช่น กรดฮิวมิก มากกว่า DOC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight; LMW-DOC) HMW-DOC จะถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ดินได้สูงกว่า LMW-DOC (Bolan et al., 2004; Gu et al., 1995; Kalbitz et al., 2000) ดังนั้นดินชั้นบนของกรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสงจึงมีความเข้มข้น DOC สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ

ดินในกรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงร่วงมีความเข้มข้นของ DOC ในดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) สูงกว่าดินชั้นล่าง (30-60 และ 60-80 เซนติเมตร) ตลอดของช่วงการย่อยสลาย ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 0 ดินชั้นล่าง (60-80 เซนติเมตร) มีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่าดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) ดินในกรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงร่วงอาจจะมี HMW-DOC สูงกว่า LMW-DOC กรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงร่วงมีการสะสมของ SOC สูงในระดับปานกลาง อาจเนื่องมาจากใบพลวงร่วงมีองค์ประกอบของลิกนินและโพลีฟีนอลส์สูงจึงทำให้มีการสร้าง HMW-DOC มากกว่า LMW-DOC HMW-DOC จะถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ดินสูง (Bolan et al., 2004; Gu et al., 1995; Kalbitz et al., 2000) ดังนั้นดินชั้นบนที่ได้รับใบพลวงร่วงจะมีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่าดินชั้นล่าง (ภาพที่ 4.2c)

ดินในกรรมวิธีที่ใส่ใบ+ก้านมะขามร่วงมีความเข้มข้นของ DOC ในดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) สูงกว่าดินชั้นล่าง (30-60 และ 60-80 เซนติเมตร) ตลอดของช่วงการย่อยสลาย (ภาพที่ 4.2d) ดินในกรรมวิธีที่ใส่ใบ+ก้านมะขามร่วงมี HMW-DOC สูงกว่า LMW-DOC และมีการสะสมของ SOC สูง อันเนื่องมาจากมีองค์ประกอบของลิกนินและโพลีฟีนอลส์ปานกลางจึงทำให้มีการสร้าง HMW-DOC มากกว่า LMW-DOC ในขณะที่ HMW-DOC จะถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ดินสูง (Bolan et al., 2004; Gu et al., 1995; Kalbitz et al., 2000) จึงส่งผลให้ดินชั้นบนที่ได้รับใบ+ก้านมะขามร่วงมีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่าดินชั้นล่าง (ภาพที่ 4.2d)

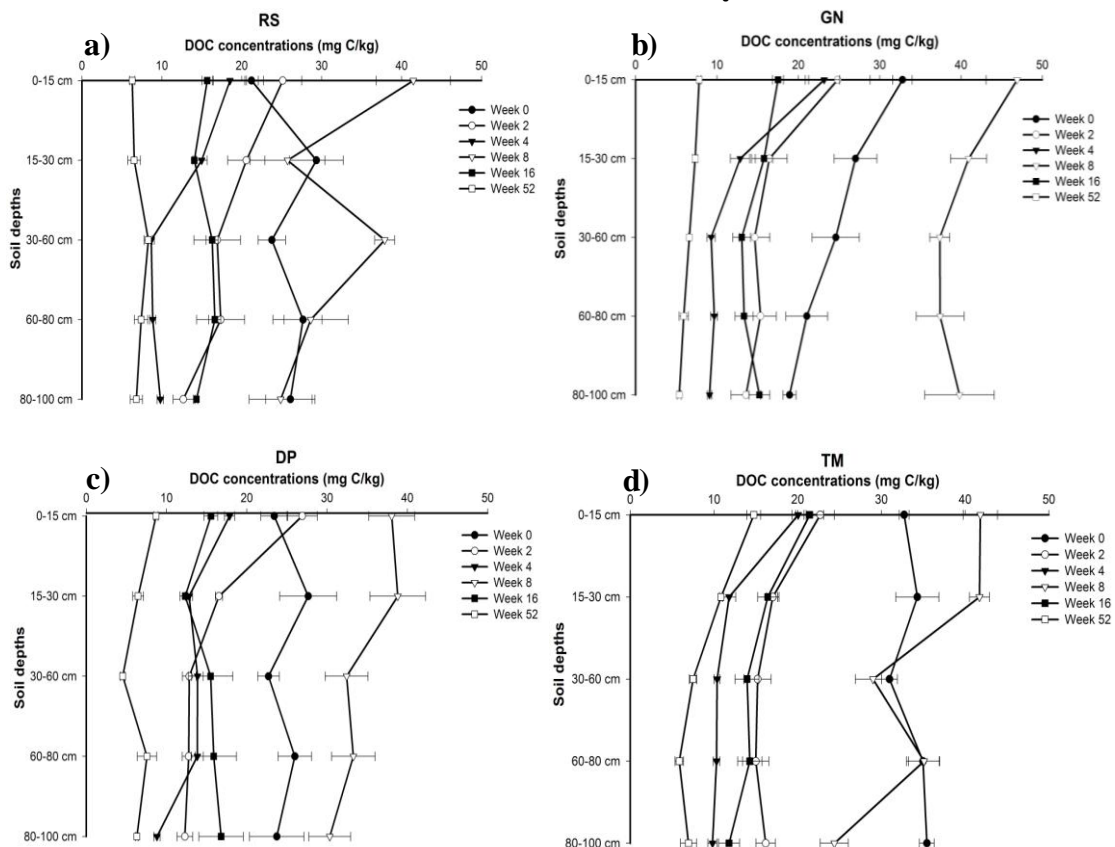


ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นของ DOC ที่ระดับความลึกต่างๆ ในช่วงต่างๆ หลังจากใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพลงไปในดิน a: ฟางข้าว (RS), b: ชากถั่วลิสง (GN), c: ใบพลวงร่วง (DP) และ d: ใบ+ก้านมะขามร่วง (TM)

เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard error of the difference (SED), * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.1.3 การกระจายตัวตามแนวตั้งในหน้าตัดดินที่ช่วงต่าง ๆ ของการสลายตัว

กรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสง และใบ+ก้านมะขามร่วงมีความเข้มข้นของ DOC สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงร่วงและฟางข้าว นอกจากนี้สามารถแบ่งรูปแบบการกระจายตัวของ DOC ตามแนวตั้งในหน้าตัดดินได้เป็น 2 รูปแบบ คือ 1) มี DOC ปริมาณต่ำในดินชั้นบน แต่มี DOC สะสมสูงในดินชั้นล่าง แสดงว่ามีการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งของ DOC ต่ำ 2) มีการสะสมของ DOC สูงในดินชั้นบน แต่มี DOC ต่ำในดินชั้นล่าง แสดงว่ามีการเคลื่อนที่ของ DOC ตามแนวตั้งต่ำ กรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าวมีรูปแบบการกระจายตามรูปแบบที่ 1 (ภาพที่ 4.3a) ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสงมีการสะสม DOC ในดินชั้นบนสูงแต่มี DOC ในดินชั้นล่างต่ำมาก (รูปแบบที่ 2) (ภาพที่ 4.3b) แสดงว่ามีการเคลื่อนที่ของ DOC ตามแนวตั้งต่ำมาก ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงร่วงและใบ+ก้านมะขามร่วงจัดว่ามีการเคลื่อนที่ของ DOC ตามแนวตั้งในระดับปานกลาง เพราะมีการสะสม DOC ในดินชั้นล่างอยู่บ้าง (ภาพที่ 4.3c,d) ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวตามแนวตั้งของ DOC ที่ต่างกันนี้สะท้อนคุณสมบัติ DOC ด้านน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันเป็นผลมาจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่ใส่ เมื่อสลายตัวแล้วให้ DOC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน กล่าวคือ ฟางข้าวมีองค์ประกอบของลิกนินและโพลีฟีนอลส์ต่ำ แต่มีเซลลูโลสสูง คาดว่าให้ DOC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สามารถเคลื่อนที่ได้มากในดิน เนื่องจากถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ดินได้ต่ำ ในทางตรงกันข้ามสารอินทรีย์ซากถั่วลิสง ใบพลวงร่วงและใบ+ก้านมะขามร่วงมีองค์ประกอบของลิกนินและโพลีฟีนอลส์ในระดับปานกลางถึงสูง เมื่อสลายตัวให้ DOC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่ถูกคอลลอยด์ดินดูดซับได้มาก ส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งได้ต่ำทำให้ DOC สะสมอยู่ในดินชั้นบนมาก



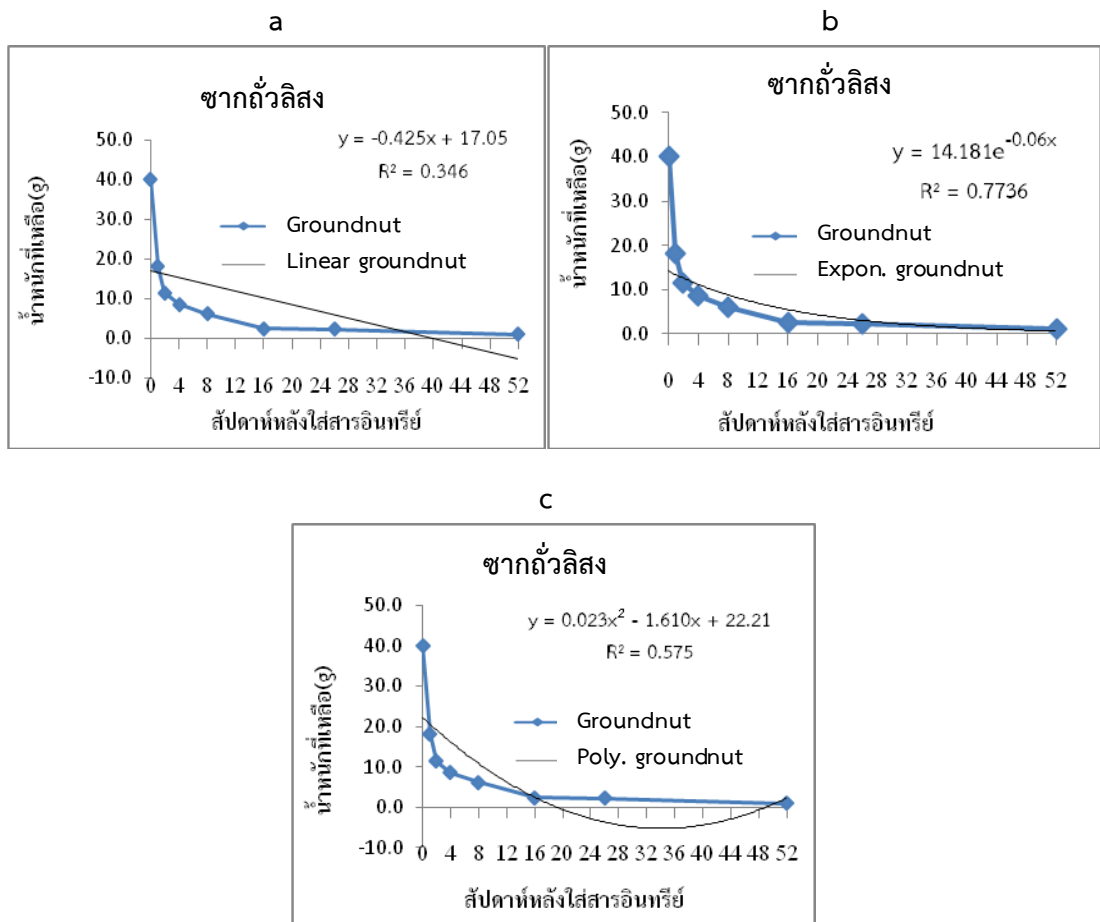
ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวตามแนวตั้ง (vertical distribution) ของ DOC ในหน้าตัดดินของดินทรายที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อไปนี้ ต่อเนื่องทุกปีเป็นเวลา 13 ปี a: ฟางข้าว (RS), b: ซากถั่วลิสง (GN), c: ใบพลวงร่วง (DP) และ d: ใบ+ก้านมะขามร่วง (TM)

4.1.2.1 การศึกษาการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1.2.1(ก) สมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้อธิบายกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์

ซากถั่วลิสง

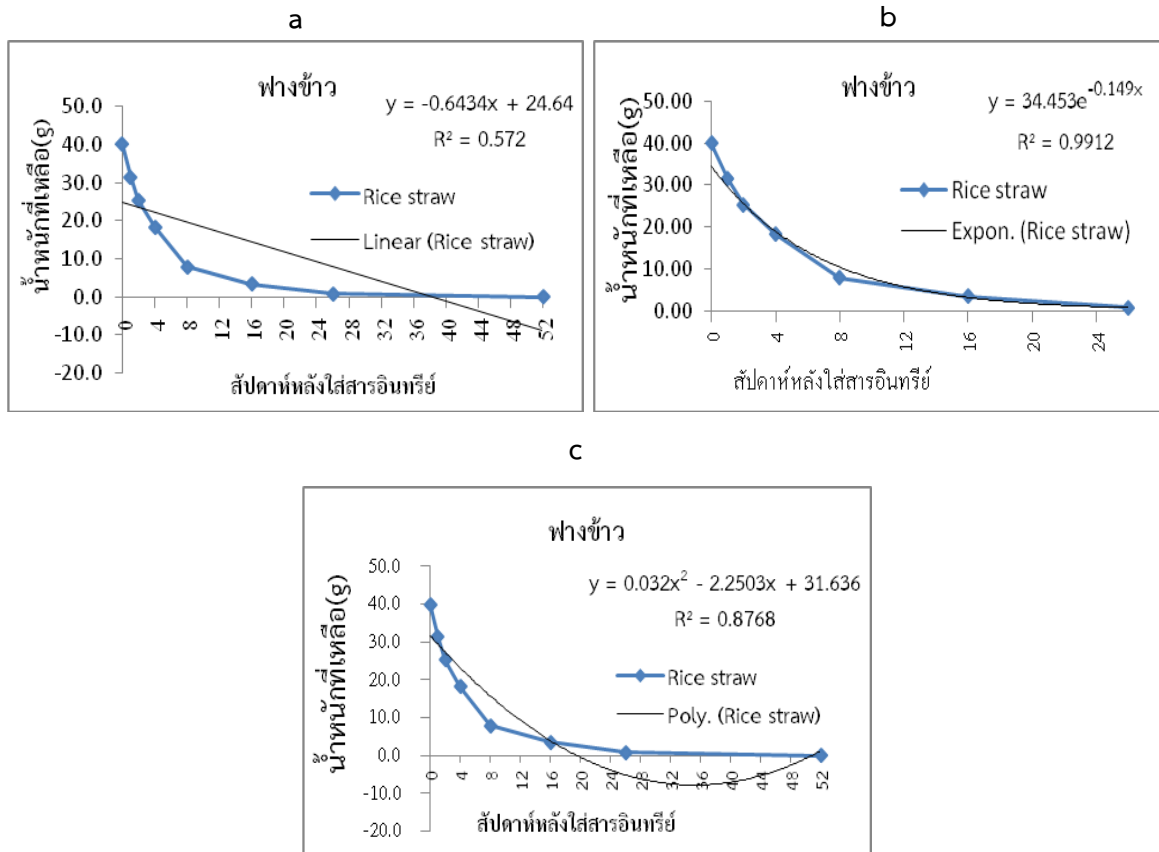
เมื่อใช้สมการสมการเส้นตรง สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และโพลิโนเมียลพิตกราฟจากข้อมูลการสลายตัวของซากถั่วลิสงพบว่าค่า R^2 เป็นดังนี้ 0.346, 0.774 และ 0.575 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาตามค่า R^2 จะเห็นว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลให้ค่า R^2 สูงที่สุด ซึ่งการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของซากถั่วลิสงเป็นดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของซากถั่วลิสง a: สมการเส้นตรง, b: สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และ c: สมการโพลิโนเมียล

ฟางข้าว

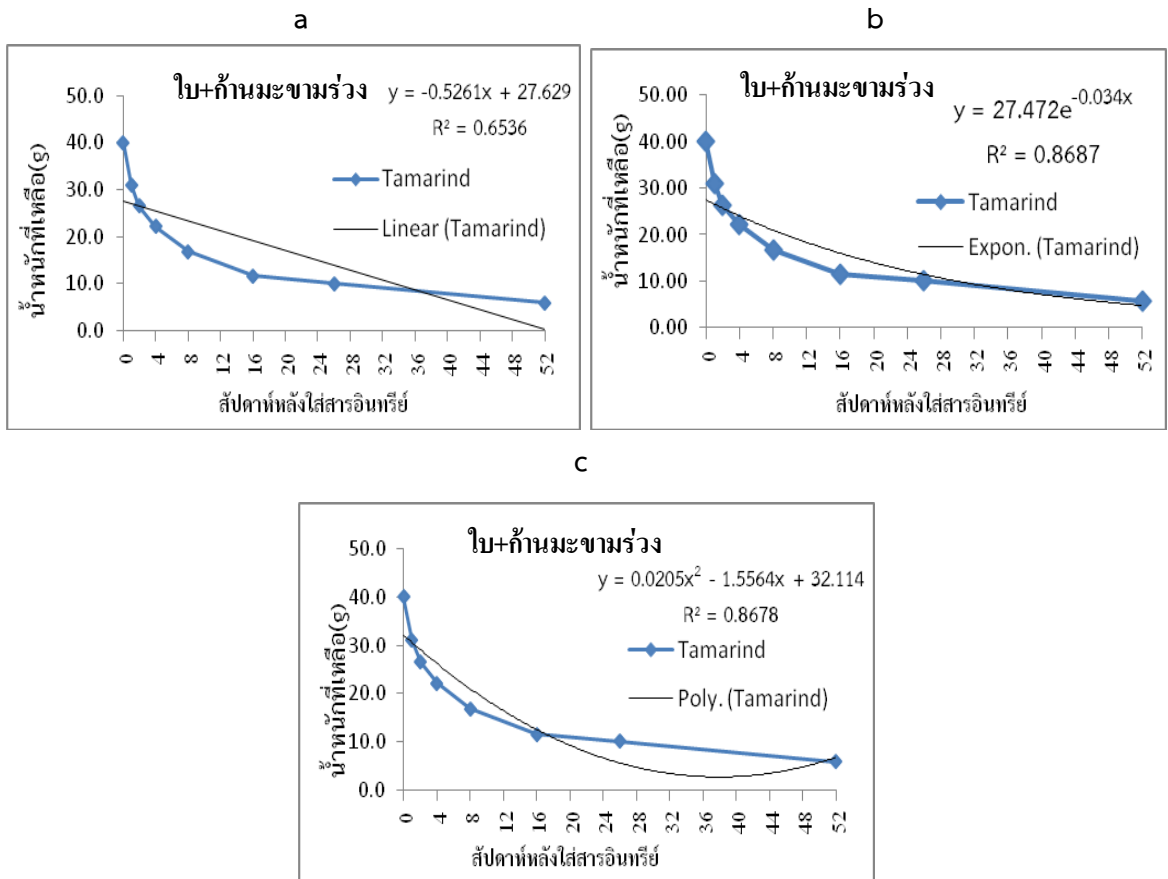
เมื่อใช้สมการสมการเส้นตรง สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และโพลิโนเมียลพิตกราฟ จากข้อมูลการสลายตัวของฟางข้าวพบว่าค่า R^2 เป็นดังนี้ 0.572, 0.991 และ 0.877 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาตามค่า R^2 จะเห็นว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลให้ค่า R^2 สูงที่สุด ซึ่งการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตการสลายตัวของฟางข้าวเป็นดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของฟางข้าว a: สมการเส้นตรง , b: สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และ c: สมการโพลิโนเมียล

ใบ+ก้านมะขามร่วง

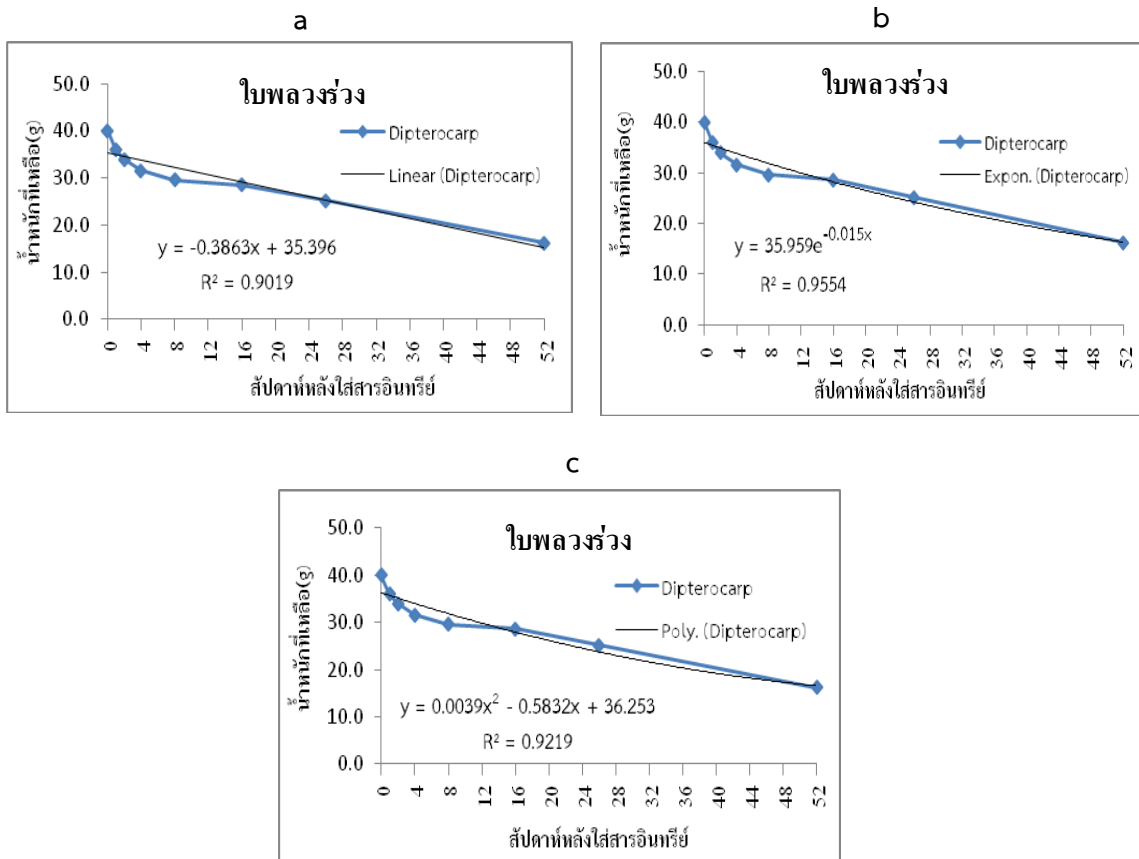
เมื่อใช้สมการสมการเส้นตรง สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และโพลิโนเมียลพิตกราฟ จากข้อมูลการสลายตัวของใบ+ก้านมะขามร่วง พบว่าค่า R^2 เป็นดังนี้ 0.654, 0.869 และ 0.868 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาตามค่า R^2 จะเห็นว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลให้ค่า R^2 สูงที่สุด ซึ่งการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของใบ+ก้านมะขามร่วงเป็นดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของใบ+ก้านมะขามร่วง a: สมการเส้นตรง, b: สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และ c: สมการโพลิโนเมียล

ใบพลวงร่วง

เมื่อใช้สมการสมการเส้นตรง สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และโพลิโนเมียลพิตกราฟ จากข้อมูลการสลายตัวของใบพลวงร่วง พบว่าค่า R^2 เป็นดังนี้ 0.902, 0.955 และ 0.922 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาตามค่า R^2 จะเห็นว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลให้ค่า R^2 สูงที่สุด ซึ่งการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของใบพลวงร่วงเป็นดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์พิตกราฟการสลายตัวของใบพลวงร่วง a: สมการเส้นตรง, b: สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และ c: สมการโพลิโนเมียล

จากผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์การสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน คือ ซากถั่วลิสง, ฟางข้าว, ใบพลวงร่วง และใบ+ก้านมะขามร่วง พบว่าค่า R^2 สูงที่สุดเมื่อใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลในการพยากรณ์ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า R^2 ที่ได้จากการพยากรณ์การสลายตัวของสารอินทรีย์โดยใช้สมการเส้นตรง, เอ็กซ์โพเนนเชียล และโพลีโนเมียล

สารอินทรีย์	สมการทางคณิตศาสตร์	ค่า R^2
ซากถั่วลิสง	สมการเส้นตรง	0.346
	สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	0.773
	สมการโพลีโนเมียล	0.575
ฟางข้าว	สมการเส้นตรง	0.572
	สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	0.991
	สมการโพลีโนเมียล	0.876
ใบพลวงร่วง	สมการเส้นตรง	0.901
	สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	0.955
	สมการโพลีโนเมียล	0.921
ใบ+ก้านมะขามร่วง	สมการเส้นตรง	0.653
	สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	0.868
	สมการโพลีโนเมียล	0.867

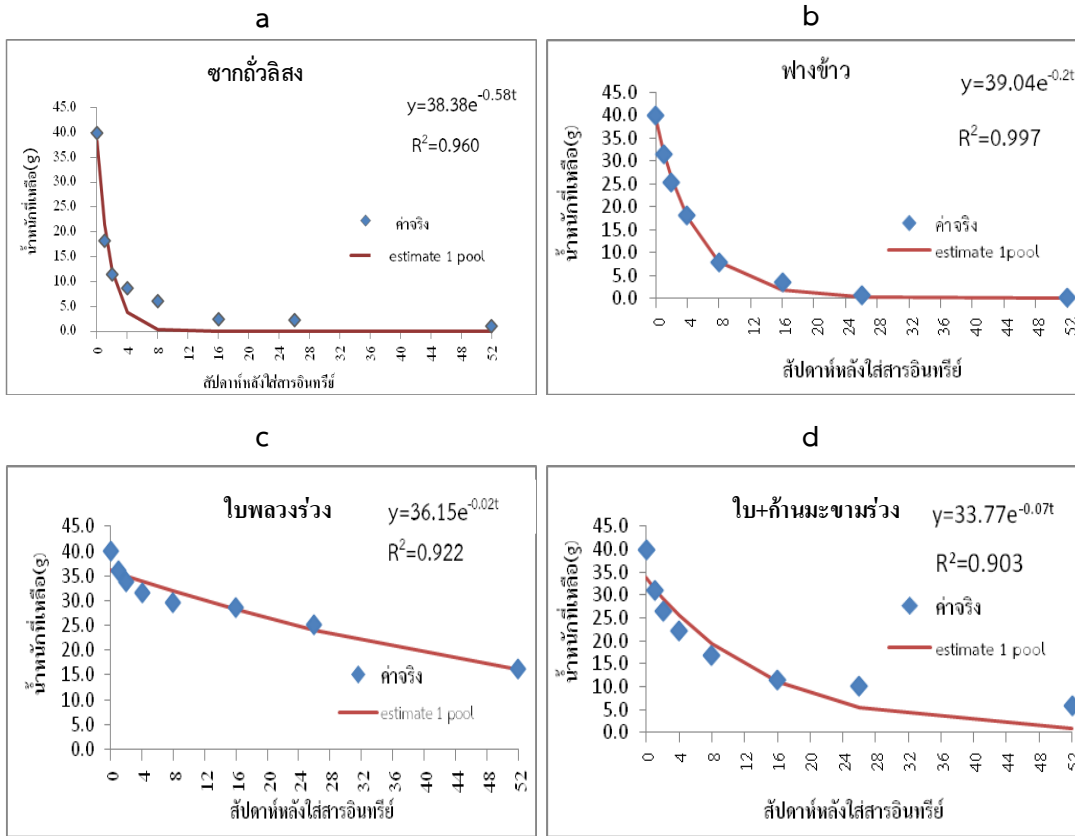
จากตารางที่ 4.1 ได้ข้อสรุปคือ เลือกใช้เอ็กซ์โพเนนเชียลในการอธิบายการสลายตัวของสารอินทรีย์ทั้งนี้เนื่องจากมีค่า R^2 สูงที่สุดในทุกสารอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สมการเส้นตรงและโพลีโนเมียล นอกจากนี้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลยังมีค่าสัมประสิทธิ์ที่บ่งบอกได้ถึงอัตราการลดลงของน้ำหนักสารอินทรีย์ (g/week) นั่นคือค่า k เช่น สมการของซากถั่วลิสงคือ $14.181e^{-0.06x}$ หมายความว่า ซากถั่วลิสงน้ำหนัก 14.181 กรัม จะสลายตัวโดยน้ำหนักลดลงในอัตรา 0.06 g/week หรือสมการของฟางข้าวคือ $34.45e^{-0.14x}$ หมายความว่าฟางข้าวน้ำหนัก 34.45 กรัมจะสลายตัวในอัตรา 0.14 g/week ซึ่งสอดคล้องกับการสร้างแบบจำลองของ Puttaso et al. (2010) ที่ได้ศึกษาอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ในการทดลองเดียวกันนี้โดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล และการสร้างแบบจำลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินของ Sitompul and Listyarini (1992)

4.1.2.1 (ข) แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล

1. แบบจำลองการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม

เมื่อนำสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลมาสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการสลายตัวของสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ซากถั่วลิสง, ฟางข้าว, ใบพลวงร่วงและใบ+ก้านมะขามร่วง ตามรูปแบบของสมการคือ $W_t = W_0 e^{-kt}$ โดยใช้ฟังก์ชัน solver เป็นตัวช่วยทำให้ค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด แบบจำลองที่ได้เป็นดังนี้ ซากถั่วลิสง: $W_t = 38.38e^{-0.58t}$, ฟางข้าว: $W_t = 39.04e^{-0.20t}$, ใบพลวงร่วง: $W_t = 36.15e^{-0.02t}$ และใบ+ก้านมะขามร่วง: $W_t = 33.77e^{-0.07t}$ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.960, 0.997, 0.922 และ 0.903 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ค่าอัตราการสลายตัวพบว่า สารอินทรีย์แต่ละชนิดมีอัตราการสลายตัว

ต่างกัน ซากถั่วลิสงมีอัตราการการสลายตัวมากที่สุดคือ 0.58g/week รองลงมาคือฟางข้าว 0.20 g/week ตามด้วยใบ+ก้านมะขามร่วง 0.07 g/week และใบพลวงร่วงมีอัตราการสลายตัวช้าที่สุดได้คือ 0.02 g/week โดยแสดงผลการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลในการพิศกรภาพการสลายตัวดังภาพที่ 4.8



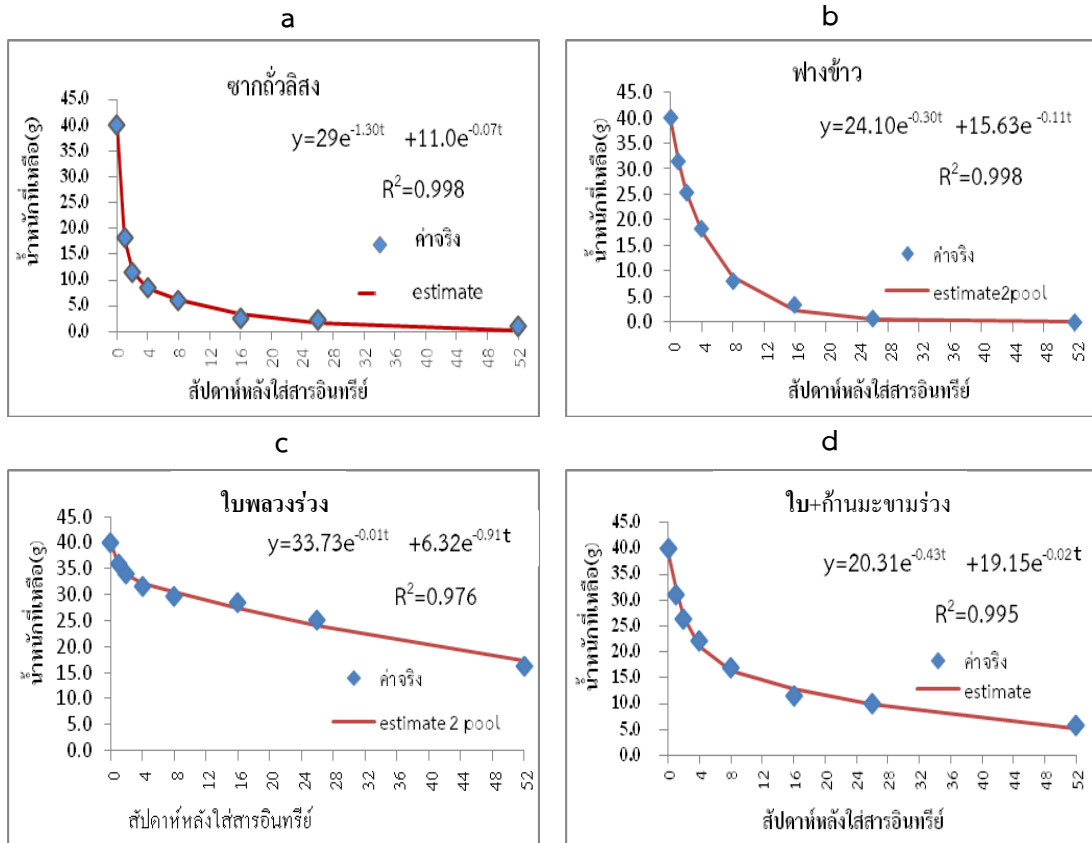
ภาพที่ 4.8 การใช้สมการทางเอ็กซ์โพเนนเชียลเทอมเดียวพิศกรการสลายตัวของสารอินทรีย์ a: ซากถั่วลิสง, b: ฟางข้าว, c : ใบพลวงร่วง และ d: ใบ+ก้านมะขามร่วง

2. แบบจำลองการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม

เมื่อนำสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม ที่มีรูปแบบของสมการทั่วไปคือ $W_t = W_{0(1)}e^{-k_1 t} + W_{0(2)}e^{-k_2 t}$ มาพิศกรภาพการสลายตัวของซากถั่วลิสง, ฟางข้าว, ใบพลวงร่วง และใบ+ก้านมะขามร่วง ได้แบบจำลองดังนี้ สำหรับซากถั่วลิสง: $y = 29e^{-1.30t} + 11.0e^{-0.07t}$, ฟางข้าว: $y = 24.10e^{-0.30t} + 15.63e^{-0.11t}$, ใบพลวงร่วง: $y = 33.73e^{-0.01t} + 6.23e^{-0.91t}$ และใบ+ก้านมะขามร่วง: $y = 20.31e^{-0.43t} + 19.15e^{-0.02t}$ และมีค่า R^2 ตามลำดับดังนี้ 0.998, 0.998, 0.976 และ 0.995 ซึ่งเมื่อดูค่าอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ในส่วนที่สลายตัวง่าย พบว่าซากถั่วลิสงมีอัตราการสลายตัวสูงที่สุดคือ 1.30 g/week รองลงมาคือ ใบ+ก้านมะขามร่วง 0.43 g/week, ฟางข้าว 0.30g/week ส่วนใบพลวงร่วงมีอัตราการสลายของส่วนแรกต่ำที่สุด 0.01 g/week

และในส่วนที่สลายตัวยากพบว่าใบ+ก้านมะขามร่วงมีอัตราการสลายตัวของส่วนที่สลายยากต่ำที่สุดคือ 0.02 g/week รองลงมาคือ ซากถั่วลิสง 0.07 ตามมาด้วยฟางข้าว 0.11 g/

week และสลายตัวเร็วที่สุดได้แก่ไบพลวงร่วง คือ 0.91 g/week อัตราการสลายตัว (k) เป็นไปตามสมมุติฐานคือ $k_1 > k_2$ ในสารอินทรีย์ทุกชนิด นอกจากไบพลวงร่วง จากการที่ค่าอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน เพราะสารอินทรีย์แต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกันส่งผลให้อัตราการสลายตัวมีความแตกต่างกันด้วย ซึ่งแสดงผลการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม ในการฟิตกราฟการสลายตัวดังภาพที่ 4.9

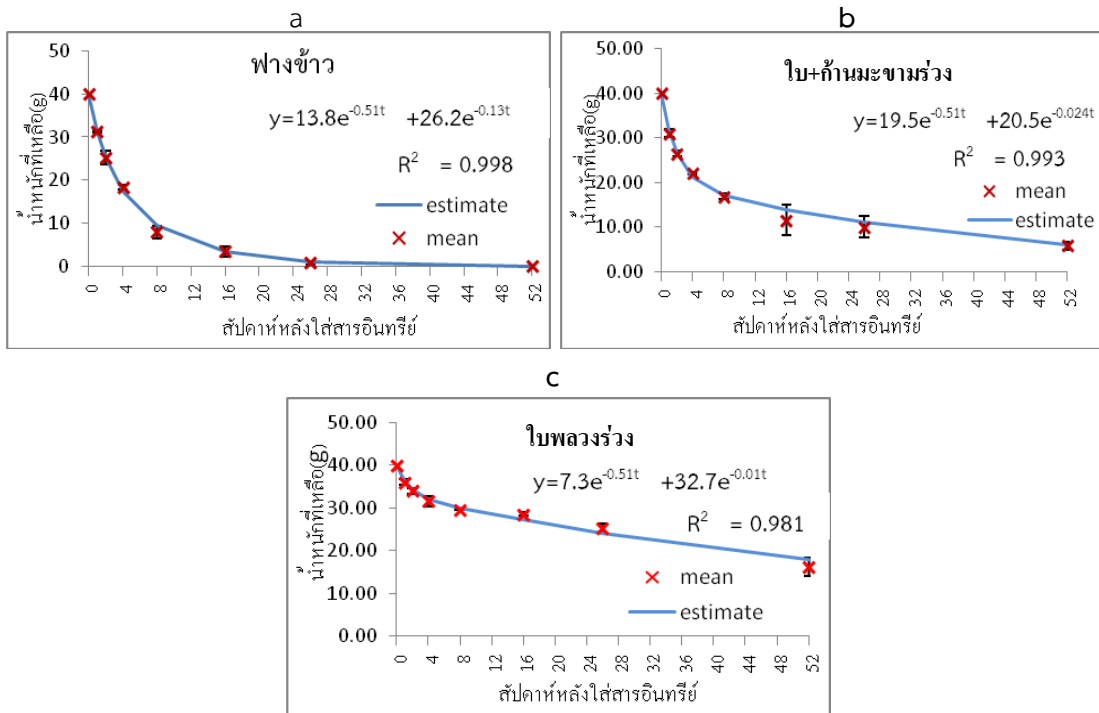


ภาพที่ 4.9 การใช้สมการทางเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม ฟิตการสลายตัวของสารอินทรีย์ a: ซากกล้วยสับ, b: ฟางข้าว, c: ไบพลวงร่วง และ d: ใบ+ก้านมะขามร่วง

3. แบบจำลองการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม ที่ใช้ค่าอัตราการสลายตัวในส่วนที่สลายตัวง่าย (k_1) ตัวเดียวกัน

แบบจำลองการสลายตัวของฟางข้าว, ไบพลวงร่วงและใบ+ก้านมะขามร่วงที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม โดยใช้ค่าอัตราการสลายตัวในส่วนที่สลายตัวง่าย (k_1) ตัวเดียวกันคือ 0.51 เนื่องจากสารอินทรีย์ทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบส่วนที่ย่อยสลายตัวง่ายที่เหมือนกันจึงแทนส่วนนี้เป็น k_1 ได้ผลดังนี้ สำหรับฟางข้าว: $y = 13.8e^{-0.51t} + 26.2e^{-0.13t}$, ไบพลวงร่วง: $y = 7.3e^{-0.51t} + 32.7e^{-0.01t}$, และใบ+ก้านมะขามร่วง: $y = 19.5e^{-0.51t} + 20.5e^{-0.024t}$ ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า องค์ประกอบทางเคมีส่วนที่สลายตัวง่ายในสารอินทรีย์มีอัตราการสลายตัวเท่ากัน แต่มีส่วนแตกต่างกันไปคือ จากน้ำหนักแห้งสารอินทรีย์เริ่มต้น 40 g มีองค์ประกอบที่สลายง่ายของฟางข้าวเท่ากับ 13.8 g, ไบพลวงร่วง 7.3 g และใบ+ก้านมะขามร่วง 19.5 g ส่วนองค์ประกอบที่สลายตัวยากพบว่ามี

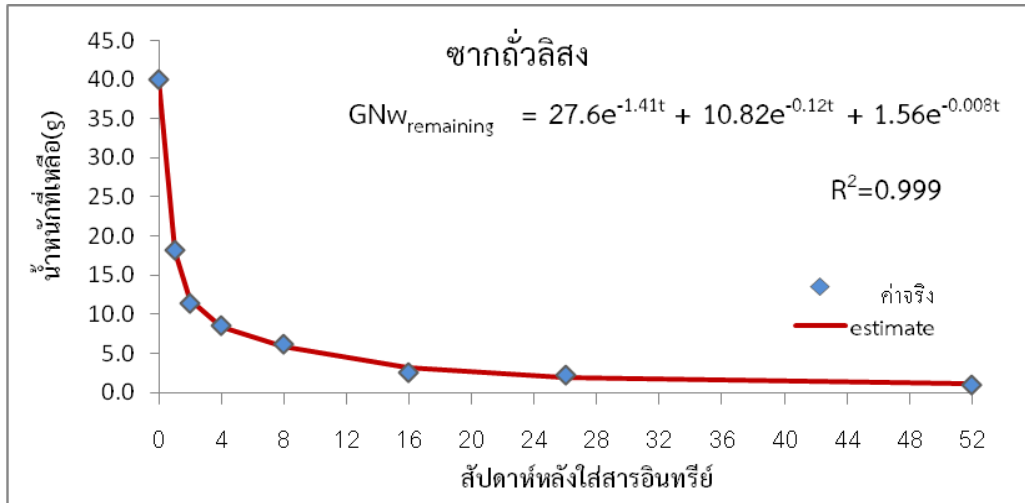
ใบพลวงร่วงมีมากที่สุดคือ 32.7 g รongลงมาคือฟางข้าว 26.2 g และน้อยที่สุดได้แก่ใบ+ก้านมะขามร่วงซึ่งมี 20.5 g ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าสารอินทรีย์มีสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและอายุ ซึ่งแสดงผลการพีตกภาพการสลายตัวของสารอินทรีย์แต่ละชนิดโดยใช้ค่าอัตราการสลายตัวในส่วนที่สลายง่ายค่าเดียวกัน ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม พิตสมการโดยใช้ค่าอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ในส่วนที่สลายตัวง่าย (k_1) ตัวเดียวกัน a: ฟางข้าว, b: ใบ+ก้านมะขาม และ c: ใบพลวงร่วง

4. แบบจำลองการสลายตัวของซากถั่วลิสงโดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 3 เทอม

การสร้างแบบจำลองนี้ได้นำข้อมูลจากการสลายตัวของซากถั่วลิสงมาพิตกับสมการตามรูปแบบของสมการคือ $Wt = W_{0(1)}e^{-k_1 t} + W_{0(2)}e^{-k_2 t} + W_{0(3)}e^{-k_3 t}$ ซึ่งใช้ฟังก์ชันsolver เป็นตัวช่วยทำให้ค่าความแปรปรวนน้อยที่สุดให้สมการที่ได้คือ $Wt = 27.6e^{-1.41t} + 10.82e^{-0.12t} + 1.56e^{-0.008t}$ และให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.999 โดยแสดงผลการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลในการพิตสมการสลายตัวดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แบบจำลองการสลายตัวของซากถั่วลิสงโดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 3 เทอม

เมื่อพิจารณาที่ค่าอัตราการสลายตัวของซากถั่วลิสงใน 3 เทอมพบว่า ซากถั่วลิสงมีอัตราการสลายตัวของ 3 ส่วนขององค์ประกอบที่ 1.41, 0.12 และ 0.008 g/week ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสมการที่ 3 เทอมนั้นสามารถพิตกราฟกับค่าจริงได้ทุกจุด

5. เปรียบเทียบแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียลทั้ง 3 แบบ

การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันได้แก่ ซากถั่วลิสง, ฟางข้าว, ใบพลวงร่วง และใบ+ก้านมะขามร่วง มี 3 วิธี คือใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม, 2 เทอม และใช้ค่าอัตราการสลายตัวในส่วนที่สลายตัวง่าย (k_1) เดียวกัน ซึ่งการพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองสามารถทำได้โดยพิจารณาค่า R^2 โดยเมื่อเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองโดยใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม, 2 เทอม และ 3 เทอมสำหรับซากถั่วลิสงได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า R^2 ของแบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม, 2 เทอม และ 3 เทอม

สารอินทรีย์	ค่า R^2 ของแบบจำลอง		
	1 เทอม	2 เทอม	3 เทอม
ซากถั่วลิสง	0.960	0.998	0.999
ฟางข้าว	0.994	0.996	-
ใบ+ก้านมะขามร่วง	0.896	0.987	-
ใบพลวง ร่วง	0.917	0.981	-

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม กับ 2 เทอมในการสร้างแบบจำลองการสลายตัวนั้น การใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม ให้ค่า R^2 มากกว่าใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 1 เทอม ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า สารอินทรีย์ประกอบไปด้วยส่วนที่สลายตัวง่ายและส่วนที่สลายตัวยาก

ในส่วนของการถ่วงน้ำหนักนั้น พบว่าในการสร้างแบบจำลองการสลายตัวของถั่วลิสงใน
 เทอมที่ 3 นั้นสามารถอธิบายการสลายตัวของถั่วลิสงได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า 2 สมการ
 อย่างไรก็ตามในการพิจารณาความถูกต้องของแบบจำลองหรือที่เรียกว่าการทวนสอบ
 (verification) แบบจำลองนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ว่า
 ประกอบไปด้วยกี่ส่วน ซึ่งจะแสดงผลในส่วนต่อไป

6. แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอมกับการใช้ค่าอัตราการ สลายตัวในส่วนประกอบที่สลายตัวง่าย (k_1) เดียวกัน

เมื่อนำแบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอมมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง
 ที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม เช่นเดียวกันแต่ใช้ค่าอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบที่สลายตัว
 ง่าย (k_1) เดียวกันคือ 0.51 แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า R^2 ของแบบจำลองที่ใช้ค่าอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบที่สลายตัวง่าย (k_1) เดียว
 กันกับแบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอมทั่วไป

สารอินทรีย์	ค่า R^2 ของแบบจำลอง		ค่า P
	เอ็กซ์โพเนนเชียลที่ใช้ค่า k_1 เดียวกัน	เอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอมปกติ	
ฟางข้าว	0.993	0.996	0.0572
ใบพลวงร่วง	0.986	0.981	0.7843 ^{ns}
ใบ+ก้านมะขามร่วง	0.976	0.987	0.5431 ^{ns}

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าแบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอมมาเปรียบเทียบกับ
 แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม เช่นเดียวกันแต่ใช้ค่าอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบ
 ที่สลายตัวง่าย (k_1) เดียวกันคือ 0.51 ค่า R^2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้
 แบบจำลองเพื่อใช้คาดการณ์การสลายตัวของสารอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จะต้องพิจารณาจากการจัดกลุ่ม
 องค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
 ที่สร้างขึ้นด้วยว่า แบบจำลองแบบใดมีความสอดคล้องกับสภาพปรากฏการณ์จริงที่เกิดขึ้น

4.1.2.2 การตรวจเอกสารหาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่ศึกษาเพื่อ นำมาอธิบายค่าต่างๆ ในแบบจำลองเพื่อการทวนสอบแบบจำลอง

ผลการตรวจเอกสารในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์เพื่อนำข้อมูลส่วนนี้มา
 พิจารณาความถูกต้องของแบบจำลองในเรื่องของสัดส่วนขององค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงง่ายและส่วน
 ที่เปลี่ยนแปลงยาก เพื่อดูว่าสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างโดยใช้สมการ
 เอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม และโดยวิธีใช้ค่า $k_1 = 0.51$ เท่ากันทุกสารอินทรีย์ ส่วนซากถั่วลิสงนั้นใช้
 สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 3 เทอม เนื่องจากจากการทดลองพบว่าการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 3
 เทอม มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม เฉพาะซากถั่วลิสงเท่านั้น

จึงมีส่วนที่ย่อยสลายปานกลาง ทั้งนี้เพื่อเป็นการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วย ซึ่งแสดงผลการตรวจเอกสารดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจเอกสารองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน

สารอินทรีย์	องค์ประกอบทางเคมีที่ สลายตัวง่าย (g kg^{-1})		ส่วนที่ย่อยสลายที่ ปานกลาง (g kg^{-1})	องค์ประกอบทางเคมีที่ สลายตัวยาก (g kg^{-1})		อ้างอิง
	โปรตีน	เซลลูโลส		ลิกนิน	โพลีฟีนอลส์	
ซากถั่วลิสง	22.8	178	-	67.6	12.9	1
	21.2	-	-	116	13.8	2
	17.3	-	-	99	15.7	3
	22.3	372	-	39	12.5	4
	-	-	264.4	-	-	5
ค่าเฉลี่ย	20.90	295.13	264.4	80.66	13.73	
รวม	316.03		264.4	94.39		
ฟางข้าว	4.7	507	-	28.7	6.5	1
	5.05	409.5	-	36	14.8	2
	5	-	-	37	8.9	3
	5.6	474	-	19	80	4
	ค่าเฉลี่ย	5.05	490.5	-	30.18	27.55
รวม	495.55		-	57.73		
ใบมะขาม	13.6	143	-	87.7	31.5	1
	12.3	-	-	169	46.1	2
	12	-	-	130	25.4	3
	10	356	-	198	50	4
	ค่าเฉลี่ย	11.98	249.5	-	146.78	38.25
รวม	261.48		-	184.43		
ใบพลวง	6.2	306	-	175.5	64.9	1
	6.8	-	-	249	49.8	2
	7	-	-	176	28.1	3
	6.2	325	-	256	94.4	4
	ค่าเฉลี่ย	6.43	315.5	-	214.13	59.3
รวม	321.93		-	273.43		

หมายเหตุ : อ้างอิง

- 1 Puttaso et al.(2010)
- 2 Vityakon et al.(2000)
- 3 Vityakon and Dangthaisong(2005)
- 4 Samahadthai et al.(2010)
- 5 Reddy and Willey(1981)

ตารางที่ 4.5 การจัดกลุ่มสารประกอบทางชีวเคมีในแบบจำลองแต่ละเทอม

ระดับการย่อยสลาย	สารประกอบทางชีวเคมี
ส่วนที่ย่อยสลายง่าย	โปรตีน
ส่วนที่ย่อยสลายปานกลาง	cellulose, hemicellulose
ส่วนที่ย่อยสลายยาก	lignin, polyphenols

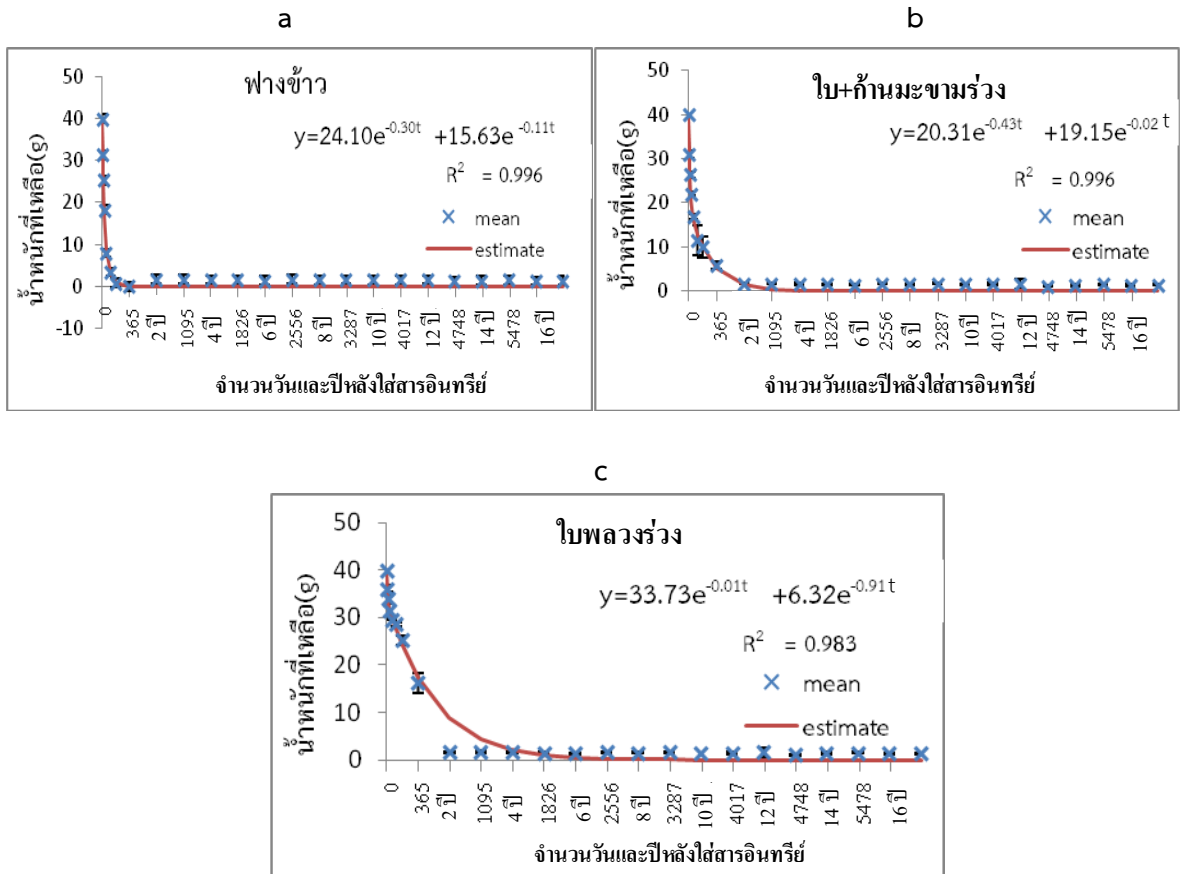
เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 พบว่าส่วนประกอบทางชีวเคมีของฟางข้าว ใบ+ก้านมะขาม ร่วง และใบพลวงร่วง สามารถแบ่งได้เป็นส่วนที่ย่อยสลายง่าย (โปรตีนและเซลลูโลส) และส่วนที่ย่อยสลายยาก (ลิกนินและโพลีฟีนอลส์) ซึ่งการตรวจสอบครั้งนี้สอดคล้องกับแบบจำลองการสลายตัวทั้ง 2 เทอม

ส่วนซากถั่วลันเตานั้นสามารถแบ่งได้เป็นส่วนที่ย่อยสลายง่าย (โปรตีนและเซลลูโลส) ส่วนที่ย่อยสลายปานกลาง (เฮมิเซลลูโลส) และส่วนที่ย่อยสลายยาก (ลิกนินและโพลีฟีนอลส์) ซึ่งการทวนสอบครั้งนี้สอดคล้องกับแบบจำลองการสลายตัวของซากถั่วลันเตาทั้ง 3 เทอม

4.1.2.3 แบบจำลองเพื่อคาดการณ์ปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน

4.1.2.3 (ก) แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม (ฟางข้าว ใบ+ก้านมะขามร่วง และใบพลวงร่วง)

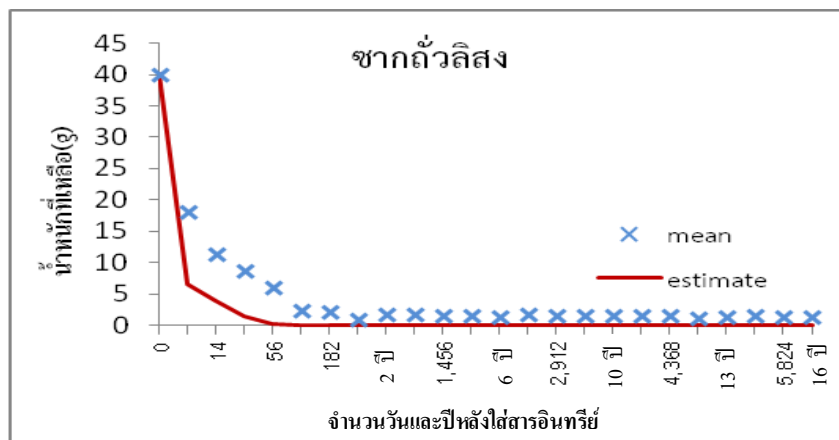
แบบจำลองอินทรีย์วัตถุได้มาจากการนำแบบจำลองการสลายตัวของสารอินทรีย์แต่ละชนิดรวมกับข้อมูลการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินจากแปลงควบคุม ทั้งนี้เพื่อเป็นการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองการสลายตัวของสารอินทรีย์ด้วยว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำนายใกล้เคียงกับข้อมูลจริงหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้ แบบจำลองคาดการณ์การสลายตัวมากเกินไปจนเกินความเป็นจริงเนื่องจากพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 17 ปี (6205 วัน) แบบจำลองคาดการณ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นศูนย์ในทุกสารอินทรีย์ที่ใส่ แต่ข้อมูลที่มีอยู่จริงไม่ได้เป็นศูนย์ โดยพบว่าเมื่อใส่ฟางข้าวเพื่อปรับปรุงดินทราย ฟางข้าวจะสลายตัวหมดภายในปีแรกทำให้ไม่มีการสะสมเป็นอินทรีย์วัตถุในปีต่อไป ส่วนใบ+ก้านมะขามร่วงเมื่อใส่เพื่อปรับปรุงดินจะสลายตัวหมดภายใน 3 ปี (1095 วัน) และใบพลวงร่วงจะสลายตัวหมดภายใน 7 ปี (2191 วัน) นั่นคือสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันจะส่งผลให้การสะสมเป็นอินทรีย์วัตถุในดินต่างกันคือ ใบพลวงจะสะสมเป็นอินทรีย์วัตถุได้นานที่สุดเนื่องจากมีอัตราการสลายตัวช้าเพราะมีองค์ประกอบทางเคมีที่คงทนต่อการสลายตัวมากกว่าใบมะขามและฟางข้าว แบบจำลองการสะสมอินทรีย์วัตถุที่ได้จากการใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันแสดงผลดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 2 เทอม พิจารณาสลายตัวของสารอินทรีย์ a: ฟางข้าว, b: ใบ+ก้านมะขามร่วง และ c: ใบพลวงร่วง

4.1.2.3(ข) แบบจำลองที่ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล 3 เทอม (ซากถั่วลิสง)

เป็นแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินทราย หลังการใส่ซากถั่วลิสงในปีแรก และไม่ได้ใส่อินทรีย์วัตถุอีก 16 ปีต่อไป ซึ่งเป็นขั้นตอนนำแบบจำลองการสลายตัวเทอมเดียวมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลของดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (control) ดังจะแสดงผลในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 รูปแบบแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุหลังจากการใส่ซากถั่วลิสงในดินทรายเป็นเวลา 16 ปี

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.13 จะเห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถคาดการณ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุได้ 17 ปี แต่แบบจำลองนี้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ กล่าวคือแบบจำลองยังมีค่าคาดการณ์ที่ต่ำกว่าค่าจริง คือมีค่าติดที่ 0 (ภาพที่ 4.13) ซึ่งไม่ตรงกับสภาพจริงตามธรรมชาติ กล่าวคือสารอินทรีย์ในธรรมชาติจะยังคงหลงเหลืออยู่ไม่ถูกย่อยสลายไปหมด

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองการศึกษากิจกรรมและชนิดประชากรจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพจากดินการทดลองระยะยาว

จากการศึกษาโดยนำดินจากแปลงทดลองระยะยาวที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพมาเป็นเวลา 16 ปี (native, N soil) พบว่าดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ไบ+ก้านมะขามร่วง (NTM) มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ตามด้วยดินจากกรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสง (NGN) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าดินจากกรรมวิธี NGN มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ากรรมวิธี NTM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ผลจากการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Puttaso et al. (2011) ที่รายงานว่า การใส่ไบ+ก้านมะขามร่วงในดินทรายอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 13 ปี ทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดิน (soil organic C, SOC) สูงสุด (8.41 Mg ha^{-1}) เทียบกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ (control, C) ภายใต้ระยะเวลาเดียวกัน (2.72 Mg ha^{-1}) ขณะที่การใส่ซากถั่วลิสงส่งผลให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในดิน (soil organic N, SON) สูงที่สุดเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ (0.78 และ 0.17 Mg ha^{-1} ตามลำดับ) กรรมวิธี NTM มี pH สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($6.52, P < 0.05$) ตามด้วยกรรมวิธี NGN ($6.05, P < 0.05$) ซึ่งสูงกว่าดินจากแปลงทดลองที่มีใส่ฟางข้าว (NRS), ใบพลวงร่วง (NDP) และดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ pH ในกรรมวิธี NTM มีค่าสูงสุด เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของไบ+ก้านมะขามร่วงมีปริมาณแคลเซียม (calcium, Ca) สูง ส่งผลให้การใส่ไบ+ก้านมะขามร่วงในกรรมวิธี NTM เป็นระยะเวลายาวนานมีการเพิ่มสูงขึ้นของ pH ในดิน (Roongthong and Lawongsa, personal communication) จำนวนยีน (gene) ที่เพิ่มจำนวนได้มากที่สุดถูกพบในกรรมวิธี NTM ($1.84 \times 10^9 \text{ copies g}^{-1} \text{ soil DW}, P < 0.05$) ตามด้วยกรรมวิธี NGN ($4.91 \times 10^8 \text{ copies g}^{-1} \text{ soil DW}$) ยีนที่เพิ่มได้จากกรรมวิธี NRS และ NDP น้อยกว่ากรรมวิธี NTM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี NDP และ C (ภาพที่ 4.14)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติบางประการของดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) ที่ระยะแรกของการใส่สารอินทรีย์ในแปลงทดลองและหลังจากใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16

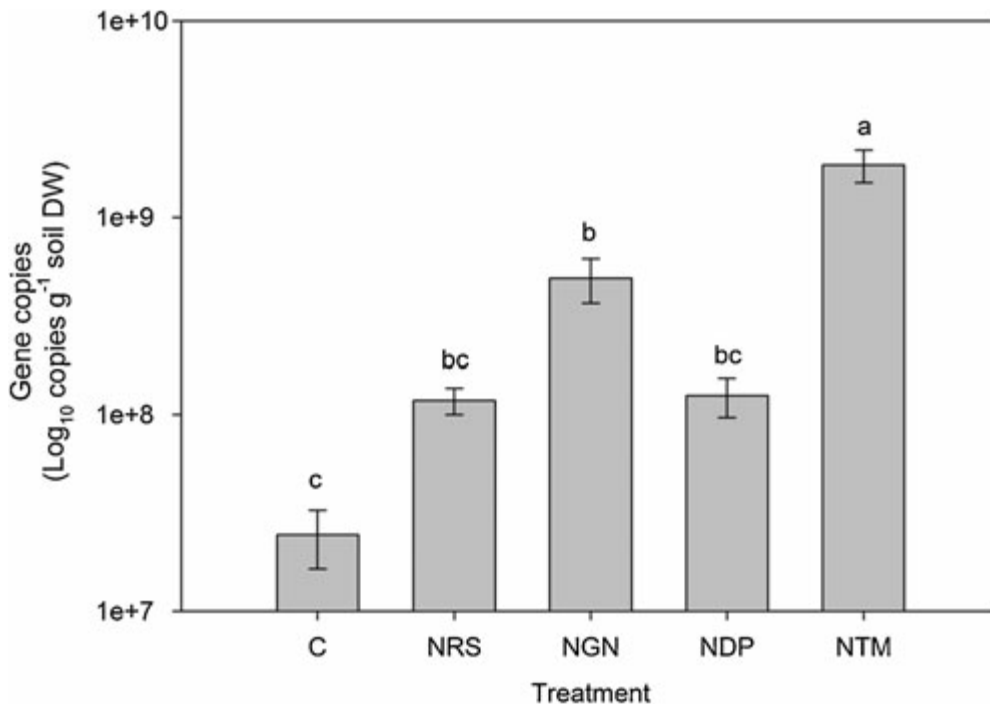
Parameters	Treatment						SED	Significance ^c
	Year 1 ^a		Year 16 ^b					
	C	C	NRS	NGN	NDP	NTM		
pH (H ₂ O) (1:2.5)	5.50	5.08 d	5.90 c	6.05 b	5.90 c	6.52 a	0.046	***
Exchangeable Ca (cmol _c kg ⁻¹)	–	0.14 c	0.34 bc	0.56 b	0.42 b	0.97 a	0.103	***
Total C (g kg ⁻¹)	2.1	1.74 d	2.43 c	3.50 b	3.42 b	3.94 a	0.089	***
Total N (g kg ⁻¹)	0.2	0.06 d	0.12 c	0.25 a	0.11 c	0.21 b	0.005	***
Soil C/N ratio	10.5	29.0 a	20.3 b	14.0 c	31.1 a	18.8 b	1.858	***

SED standard error of the difference

^a Original data taken from Vityakon et al. (2000)

^b Means in the same row followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ (LSD)

^c LSD test at significance levels: * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$



ภาพที่ 4.14 ปริมาณของยีน 18S rRNA ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ (native, N soil) ได้แก่ ฟางข้าว (NRS), ชากถั่วลิสง (NGN), ใบพลวงร่วง (NDP) และใบ+ก้านมะขามร่วง (NTM) เป็นเวลามากกว่า 16 ปี และดินที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ (control; C soil) ข้อมูลที่ได้นำเสนอ (18S rRNA gene copies per gram dry soil) เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจาก 3 ตัวอย่างดินที่เก็บมาอย่างอิสระต่อกันจากแต่ละกรรมวิธีทดลอง ตัวอักษรที่ต่างบนกราฟแท่งชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ $P < 0.05$ เส้นบาร์แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด

ข้อมูลที่ได้รับจากการใช้เอนไซม์ MspI ตัดจำเพาะตำแหน่งยีนของ T-RFLP ที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ fungal 18S rRNA gene ของดินจากกรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ (native; N soil) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (control; C) แสดงให้เห็นว่าจำนวนชิ้นยีน T-RFLP จำนวน 11 T-RFs (ได้แก่ 53, 86, 151, 152, 161, 210, 290, 305, 307, 308 และ 310 bp) มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ตอบสนองต่อคุณภาพสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน และสะท้อนออกมาให้เห็นในรูปของความสูงของพีค T-RFs ที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) ใน gene libraries ทั้งห้าลำดับของยีน (sequences) บ่งชี้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตในไฟลัม Ascomycota ซึ่งมีตัวเด่นแสดงเป็น sequence ของ *Myceliophora thermophila* ที่พบในทุกกรรมวิธีทดลอง การพบ *M. thermophila* ในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่สารอินทรีย์รวมถึงกรรมวิธีไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ อาจเนื่องจาก *M. thermophila* เป็นเชื้อราประจำถิ่น (normal flora) ในดินที่ใช้ในการศึกษา นอกจากนี้การพบจุลินทรีย์ชนิดนี้ในกรรมวิธีอื่นที่มีการใส่สารอินทรีย์สอดคล้องกับการศึกษาของ Roy et al. (1989) ที่รายงานว่าเชื้อราในวงศ์ *Myceliophora* รวมถึง *M. thermophila* เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหลักที่พบโดดเด่นและมีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส นอกจากนี้ Babot et al. (2011) ยังพบว่า *M. thermophila* มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายฟีนอล (phenolic compounds) ที่พบเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์อีกด้วย *Aspergillus vesicolor* (พบในกรรมวิธี NDP และ NTM (T-RF 151/152 bp)), *Fusarium oxysporum* (ใน NTM (T-RF 151/152 bp)), *Anguillospora longissima* (ใน NDP (T-RF 161 bp)), *Cladosporium bruhnei* (ใน C (T-RF 290 bp)) และ *Aspergillus fumigatus* (NGN และ NDP (T-RF 305-310 bp)) จากการศึกษาของ Sampredo et al. (2007) พบว่า *F. oxysporum* มีศักยภาพสูงในการสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำตาลบางชนิด เช่น ซูโครส รวมถึงเซลลูโลส ซึ่งรายงานดังกล่าวสอดคล้องกับงานทดลองนี้ ที่พบว่าในกรรมวิธี NTM พบ *F. oxysporum* โดดเด่น และมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับกิจกรรมของ invertase และ β -glucosidase ที่สูงในกรรมวิธีดังกล่าวด้วย ขณะที่ *A. longissima* ที่พบโดดเด่นในกรรมวิธี NDP มีรายงานว่าจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถผลิตเอนไซม์ phenoloxidase ได้ในปริมาณที่สูง (Abdullah and Taj-aldeen, 1989) นอกจากนี้ในกรรมวิธี NTM ยังพบ sequence บางอันเป็นของ *Cryptococcus podzolicus* (Basidiomycota; T-RF 305-310 bp) และพบ sequence บางอันเป็นของโปรโตซัวส่วนใหญ่ในกรรมวิธี NGN ที่เป็นตัวเด่นได้แก่ *Proleptomonas faecicola* (Rhizaria; T-RF 151/152 bp) (ตารางที่ 4.7) การพบโปรโตซัวในปริมาณที่สูงในกรรมวิธี NGN พบว่ามีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยไนโตรเจน (N mineralization) และการหมุนเวียนอินทรีย์วัตถุในดิน (SOM turnover) (Kuikman et al. 1990, 1991) ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Kamolmanit et al. (personal communication) ที่พบว่าดินที่ได้รับซากถั่วลิสงเป็นระยะเวลาอันยาวนานและใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่ (NGN+GN) ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อย อินทรีย์ไนโตรเจน (mineral N) สูงที่สุด

ตารางที่ 4.7 T-RFs (terminal restriction fragments) ที่เกิดขึ้นจากการใช้เอนไซม์ MpsI ที่ได้รับการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพติดต่อกันเป็นเวลา 16 ปี

Actual T-RF size (bp)	Theoretical T-RF size (bp) ^a	Significance level ^b	Affiliation of predominant (<i>n</i> >5) fungal and protozoan clones to individual T-RFs ^c				
			C	NRS	NGN	NDP	NTM
53	–	*					
86	–	*					
151/152	156/157	***/**	<i>Myceliophora thermophila</i>	<i>Myceliophora thermophila</i>	<i>Myceliophora thermophila</i> ; <i>Proleptomonas faecicola</i>	<i>Myceliophora thermophila</i> ; <i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Myceliophora thermophila</i> ; <i>Aspergillus versicolor</i> ; <i>Fusarium oxysporum</i>
161	165	*				<i>Anguillospora longissima</i>	
210	–	***					
290	294-298	**	<i>Cladosporium bruhnei</i>				
305/307/308/310	312/315	*/***			<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Cryptococcus podzolicus</i>

^aTheoretical T-RF sizes were only counted if generated clones could be clearly assigned to a respective T-RF size

^bANOVA T-RF height vs. organic input treatments. LSD test at significance levels: **P*<0.05, ***P*<0.01, ****P*<0.001

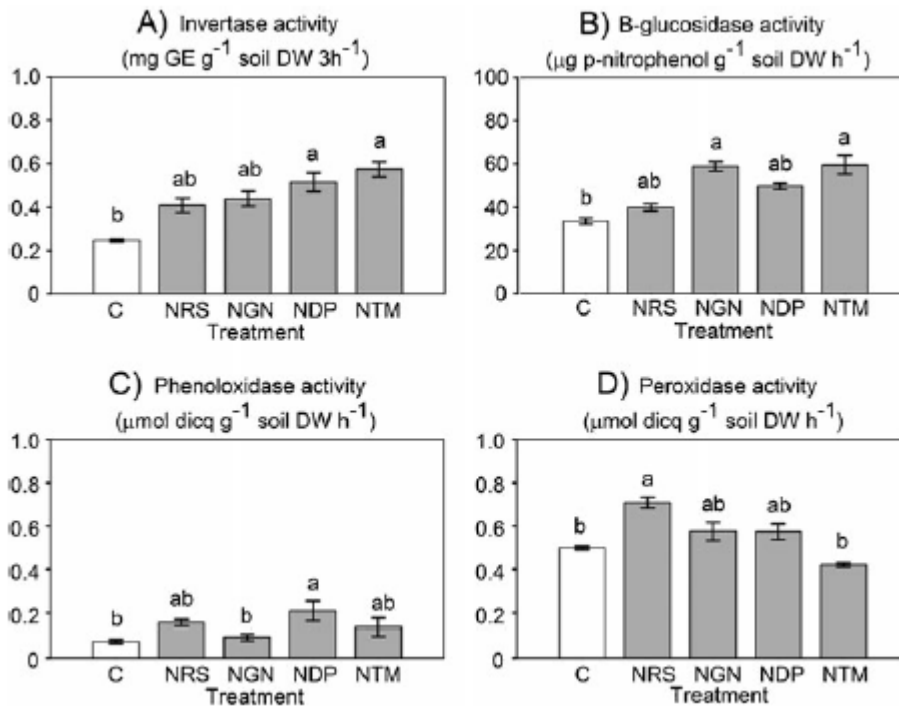
^cGenbank accession numbers of listed fungal and protozoan species are given in Table 3

4.1.3.2 กิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity analysis) ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพภายใต้สภาวะการบ่ม (incubation study)

การทดลองที่ 1

กิจกรรมของเอนไซม์ invertase, β -glucosidase, phenoloxidase และ peroxidase แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการทดลองระยะยาวที่มีต่อการใส่สารอินทรีย์เข้าไป (ภาพที่ 4.15) (การทดลองที่ 1) กิจกรรมของเอนไซม์ invertase โดยทั่วไปเพิ่มสูงขึ้นในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ (native; N soil) เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (control; C soil) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกรรมวิธี C ($0.25 \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$), NGN ($0.51 \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$) และ NTM ($0.57 \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$) เท่านั้น กิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase สูงในกรรมวิธี NGN ($58.78 \text{ } \mu\text{g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$) และ NTM ($59.42 \text{ } \mu\text{g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P*<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับดิน C ($33.42 \text{ } \mu\text{g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW } 3 \text{ h}^{-1}$) เท่านั้น กิจกรรมของเอนไซม์ invertase และ β -glucosidase ที่เพิ่มสูงขึ้นในกรรมวิธี NGN และ NTM นั้น อาจเนื่องจากการสะสมของไนโตรเจนในดิน (SON) ในปริมาณที่สูง ผลจากการศึกษานี้สนับสนุนรายงานการศึกษาของ Sjöberg et al. (2004) ที่พบว่าการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลาย ถูกเหนี่ยวนำได้จากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พบเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์ดังกล่าว กรรมวิธี NDP เป็นกรรมวิธีเดียวที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ phenoloxidaes สูงกว่ากรรมวิธี C ($0.08 \text{ dicq g}^{-1} \text{ soil DW } \text{h}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P*<0.05) เนื่องจากการที่ไบโพลวาร์จมีลิกนินและโพลีฟีนอลส์เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง สามารถเหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์ผลิตและสะสมเอนไซม์ phenoloxidase ในดิน ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์อื่น กรรมวิธี NRS มีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase สูงกว่ากรรมวิธี C ($0.5 \text{ dicq g}^{-1} \text{ soil DW } \text{h}^{-1}$) และ NTM ($0.42 \text{ dicq g}^{-1} \text{ soil DW } \text{h}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P*<0.05) นอกจากนี้กรรมวิธี NRS และ C มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ peroxidase

(กิจกรรมที่แสดงออกต่อ 1 หน่วย ของคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในดิน) ($0.29 \mu\text{mol dicq mg}^{-1} \text{ C h}^{-1}$) สูงกว่ากรรมวิธี NGN, NDP และ NTM ($0.11\text{-}0.16 \mu\text{mol dicq mg}^{-1} \text{ C h}^{-1}$) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายเช่น เซลลูโลสทำให้เกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดินต่ำ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมจากการใช้ substrate ที่ย่อยสลายง่ายเพื่อตอบสนองต่อ substrate ที่ใช้ยากขึ้น (switch mode of metabolism) เช่น การใช้ SOM (Kamolmanit et al. 2013) ส่งผลต่อเนื่องให้กิจกรรมของ peroxidase เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.15 กิจกรรมของเอนไซม์ invertase (a), β -glucosidase (b), phenoloxidase (c) และ peroxidase (d) ในการทดลองบ่มตัวอย่างดินที่ใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพหลังจากใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16 ปี ประกอบด้วยกรรมวิธีที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ (C), ใส่ซากถั่วลิสง (NGN), ใส่ฟางข้าว (NRS), ใส่ใบพลวงร่วน (NDP) และใส่ใบ+ก้านมะขามร่วน (NTM) ของวันที่ 0 ของการบ่ม

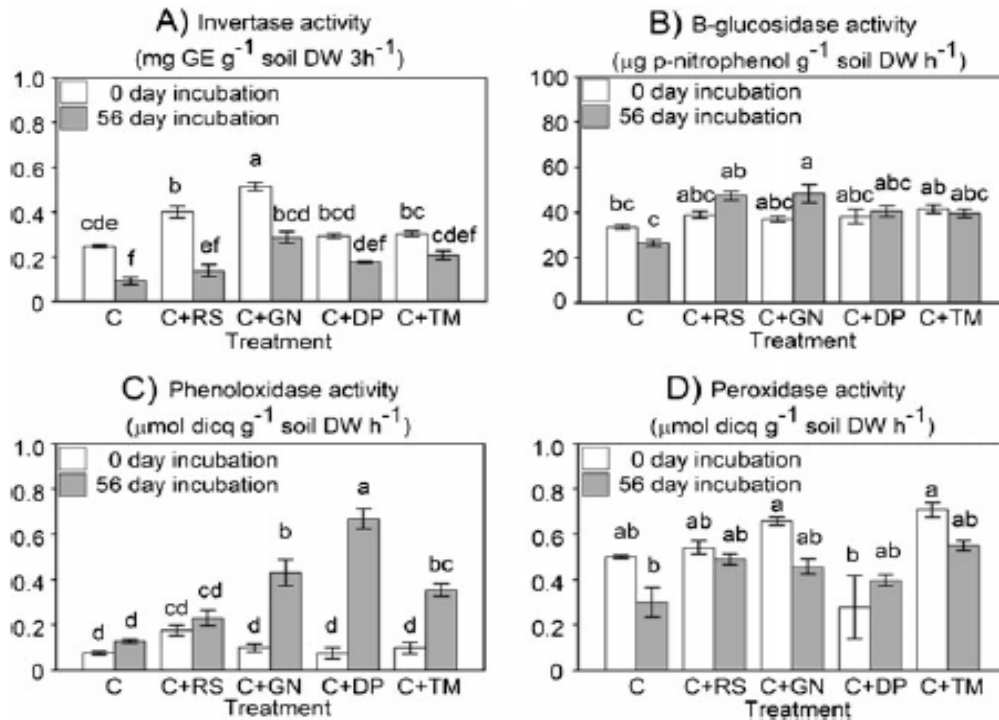
ข้อมูลที่ได้นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจาก 3 ตัวอย่างดินที่เก็บมาอย่างอิสระต่อกันจากแต่ละกรรมวิธีทดลอง

ตัวอักษรที่ต่างบนกราฟแท่งชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ $P < 0.05$

เส้นบาร์แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด

การทดลองที่ 2

ตามที่มีการใส่สารอินทรีย์เข้าไปใหม่ในดินที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ (C) (การทดลองที่ 2) กิจกรรมของเอนไซม์ invertase ณ วันที่ 0 ของการบ่มสูงชันกว่าวันที่ 56 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะภายใต้กรรมวิธี C+RS (0.40 versus 0.14 mg GE g⁻¹ soil DW 3 h⁻¹), C+GN (0.51 versus 0.29 mg GE g⁻¹ soil DW 3 h⁻¹) และ C (control) (0.25 versus 0.09 mg GE g⁻¹ soil DW 3 h⁻¹) (ภาพที่ 4.16) รูปแบบของการตอบสนองที่คล้ายกันกับกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์แสดงให้เห็นในตัวอย่างที่เก็บทั้งวันที่ 0 และวันที่ 56 กิจกรรมของเอนไซม์ invertase สูงที่สุดพบในกรรมวิธี C+GN (0.51 mg GE g⁻¹ soil DW 3 h⁻¹) ตามด้วย C+RS (0.40 mg GE g⁻¹ soil DW 3 h⁻¹) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกรรมวิธี C, C+DP และ C+TM ($P>0.05$) กิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase แสดงให้เห็นว่าทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 2 วันที่เก็บตัวอย่าง ($P>0.05$) (ภาพที่ 4.16) ณ วันที่ 0 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปใหม่ในดิน C ในทางตรงกันข้าม ณ วันที่ 56 กิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase สูงในกรรมวิธี C+RS (47.39 μ g *p*-nitrophenol g⁻¹ soil DW h⁻¹) และ C+GN (48.35 μ g *p*-nitrophenol g⁻¹ soil DW h⁻¹) ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธี C (33.42 μ g *p*-nitrophenol g⁻¹ soil DW h⁻¹) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กิจกรรมของเอนไซม์ phenoloxidase ที่ตรวจหาได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับทุกกรรมวิธี ณ วันที่ 0 สำหรับ วันที่ 56 กิจกรรมของเอนไซม์ phenoloxidase สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวัดได้ในกรรมวิธี C+DP (0.67 dicq g⁻¹ soil DW h⁻¹) ในขณะที่กรรมวิธี C+GN (0.43 dicq g⁻¹ soil DW h⁻¹) และ C+TM (0.35 dicq g⁻¹ soil DW h⁻¹) สูงกว่าเมื่อเทียบกับ C (0.13 dicq g⁻¹ soil DW h⁻¹) สำหรับกรรมวิธี C+GN, C+DP และ C+TM กิจกรรมของเอนไซม์ phenoloxidase เพิ่มขึ้นอย่างมาก ณ วันที่ 56 เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายเซลล์โดยกิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase ขึ้นอยู่กับระยะเวลา (time, T) ที่ใช้ในการย่อยสลาย ขณะที่กิจกรรมของ phenoloxidase และ peroxidase ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี (quality, Q) (Kamolmanit et al, personal communication) ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ทั้งสองวันที่เก็บตัวอย่างไม่ได้รับผลกระทบจากกรรมวิธีต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้น ณ วันที่ 0 กรรมวิธีของ C+DP มีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ต่ำกว่า C+GN และ C+TM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกกรรมวิธียกเว้น C+DP กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ณ วันที่ 56 ต่ำกว่าในวันที่ 0 แนวโน้มการลดลงของเอนไซม์ peroxidase ในทุกกรรมวิธีภายหลังการใส่สารอินทรีย์เป็นระยะเวลา 56 วัน แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์เลือกใช้ substrate ที่ย่อยสลายง่าย เช่น เซลลูโลส แทนการใช้สารประกอบที่ต้านทานต่อการย่อยสลาย ดังนั้นกิจกรรมของ β -glucosidase มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตรงกันข้ามกับ peroxidase ที่มีกิจกรรมลดลง (Qin et al., 2010)



ภาพที่ 4.16 กิจกรรมของเอนไซม์ invertase (a), β -glucosidase (b), phenoloxidase (c) และ peroxidase (d) ในการทดลองบ่มตัวอย่างดินที่ใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ประกอบด้วยกรรมวิธีที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ใส่เพิ่มเลยตลอดช่วงเวลา 16 ปี (C) และกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์เข้าไปใหม่ในดิน C ประกอบด้วยใส่ซากถั่วลิสง (C+GN), ใส่ฟางข้าว (C+RS), ใส่ใบพลวงร่วง (C+DP) และใส่ใบ+ก้านมะขามร่วง (C+TM) ของวันที่ 0 และ วันที่ 56 ของการบ่ม

ข้อมูลที่ได้นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจาก 3 ตัวอย่างดินที่เก็บมาอย่างอิสระต่อกันจากแต่กรรมวิธีทดลอง

ตัวอักษรที่ต่างบนกราฟแท่งชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ $P < 0.05$

เส้นบาร์แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด

4.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดต่อการเก็บกักและการเคลื่อนย้ายคาร์บอน ซึ่งเป็นการศึกษาวิธีการแยกถ่านและทดสอบวิธีการวิเคราะห์คาร์บอนในถ่านที่ระดับความลึกต่างๆ ของดินในแต่ละการใช้ที่ดิน

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในถ่าน (charcoal carbon ; BC) ในดิน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการค้นหาวิธีการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ปริมาณคาร์บอนในถ่านในดิน โดยทำการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ถ่านในดิน 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การสันดาปแห้ง การสันดาปเปียก และการผสมผสานทั้งสองวิธีข้างต้นเข้าด้วยกัน (วิธีผสมผสาน) พบว่า

การวิเคราะห์ถ่านด้วยวิธีสันดาปแห้ง เป็นวิธีการที่ทำได้รวดเร็ว และไม่ซับซ้อน แต่ปริมาณคาร์บอนมีค่าการประเมินต่ำ (underestimate)

การวิเคราะห์ถ่านด้วยวิธีสันดาปเปียก เป็นการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในถ่านที่ให้ปริมาณคาร์บอนในถ่านทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) คล้ายกับการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน แต่เนื่องจากถ่านเป็นวัตถุที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา ทำให้การวิเคราะห์ถ่านด้วย $K_2Cr_2O_7$ ไม่ได้รับการแนะนำ (Skjemstad and Taylor, 1999)

การวิเคราะห์ถ่านด้วยวิธีผสมผสาน เป็นการผสมผสานวิธีการสันดาปเปียกและแห้งเข้าด้วยกัน วิธีนี้มีข้อดีคือ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในถ่านที่ค่อนข้างถูกต้อง เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านมาตรฐานที่ทราบปริมาณคาร์บอนชัดเจนแล้ว วิธีการนี้ถือว่าเชื่อถือได้ อีกประการหนึ่งคือ เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกวิธีการ peroxide/weak nitric acid method ของ Kurth et al. (2006)