บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคซาลโมเนลโลสิส การติดเชื้อซาลโมเนลลาในมนุษย์เกิดจากการสัมผัสกับมูลสัตว์ที่มีซาลโมเนลลา หรือการบริโภคอาหารที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อน ทำให้มนุษย์ติดเชื้อซาลโมเนลลาหรือกลายเป็นพาหะ โรคซาลโมเนลโลสิสจะถ่ายทอดจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งถ้าอาหารเป็นแหล่งแพร่เชื้อ นอกจากนั้นซาลโมเนลลายังทำให้เกิดการติดเชื้อในสัตว์หลายชนิดโดยเฉพาะสัตว์ปีก เช่น ไก่ ไก่งวง และเป็ด สัตว์ทางการเกษตร เช่น สุกร โค กระบือ แกะและม้า แม้กระทั่งสัตว์เลี้ยง เช่น แมว สุนัข เต่า สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามบ้านเรือน เช่น จิ้งจก แมลงสาป ก็เป็นแหล่งแพร่เชื้อซาลโมเนลลาที่ดี

การตรวจสอบเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนทุกขั้นตอนของโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

1. เชื้อซาลโมเนลลาในน้ำจากขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

จากการตรวจสอบซาลโมเนลลาในน้ำจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง พบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในน้ำจากขั้นตอนต่างๆของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซีโรวาร์ที่ตรวจพบได้แก่ *S.* Agona *S.* Anatum *S.* Enteritidis *S.* Orion *S.* Panama และ *S.* Rissen โดย *S.* Agona และ *S.* Rissen เป็นซีโรวาร์ที่ตรวจพบบ่อยในขั้นตอนบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง โดยเฉพาะ *S.* Rissen นั้นตรวจพบได้แม้แต่ในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นตอนสุดท้ายที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำต่อไป (**ตารางที่** 4.1) การที่กระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง ไม่สามารถกำจัดซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนให้หมดไปได้ น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางจึงยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคที่กำหนดไว้ว่าไม่ให้มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่เลย (WHO, Geneva, 1984 อ้างถึงใน Tebbutt, 1988) ดังนั้นจึงยังไม่เหมาะสมที่จะปล่อยน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางออกสู่แหล่งน้ำหรือนำไปใช้ประโยชน์ทันที เนื่อง

จากจะเป็นการแพร่กระจายซาลโมเนลลาสู่สิ่งแวดล้อม ดังที่ตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในคลองพระโขนง คลองมหาสวัสดิ์ และคลองภาษีเจริญ (นาตยา ศรีดี, 2540)

การนำน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียไปใช้รดพืชผักจะทำให้มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนและตกค้างในพืชผักหรือดิน เมื่อบริโภคพืชผักสดหรือทำความสะอาดไม่ดีพอจะทำให้ผู้บริโภคติดเชื้อ ซาลโมเนลลาหรือกลายเป็นพาหะแพร่เชื้อต่อไป ในอังกฤษพบการระบาดของ S. Aberdeen ในวัวควายที่กินหญ้าที่รดด้วยน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Bicknell, 1972) เนื่องจากซาลโมเนลลาสามารถรอดชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานจากวันเป็นเดือน ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ฯลฯ หรือการระบาดของโรคไทฟอยด์ในอังกฤษก็มีสาเหตุมาจากการรับประทานเนื้อคอร์นบีฟที่ผลิตในอาร์เจนตินา ซึ่งปนเปื้อนจาก S. Typhi ในระหว่างกระบวนผลิต โดยจุ่มกระป๋องเนื้อคอร์นบีฟลงในแม่น้ำเพื่อทำให้กระป๋องเนื้อคอร์นบีฟเย็นลง โดยแหล่งน้ำนั้นมีการทิ้งขยะที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเสียก่อน ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าทางฝาที่เชื่อมไม่สนิท ผู้บริโภคจึงเป็นโรคไทฟอยด์และมีการระบาดของโรคไทฟอยด์

นอกจากนั้นผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียจะมีความเสี่ยงจากซาลโมเนลลา โดยตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนบริเวณพื้นผิวโต๊ะในห้องอาหาร ห้องแต่งตัวที่ผู้ทำงานไปสัมผัสถูกต้อง หรือแม้แต่ตัวผู้ทำงานเองยังตรวจพบว่าเป็นพาหะของซาลโมเนลลา ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากการสัมผัสกับซาลโมเนลลาขณะปฏิบัติงาน เมื่อไปสัมผัสกับสิ่งต่างๆทำให้ซาลโมเนลลาปนเปื้อนและตกค้างในบริเวณนั้น

ดังนั้นการที่กระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางไม่สามารถกำจัดซาลโมเนลลาให้หมดไปได้ จึงทำให้มีซาลโมเนลลาตกค้างในกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียต้องไปผ่านกระบวนการบำบัดตะกอนก่อนที่จะนำไปกำจัดต่อไป

2. ซาลโมเนลลาในกากตะกอนจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการบำบัดตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

การตรวจสอบซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง พบซาลโมเนลลาปนเปื้อนหลายซีโรวาร์ โดย S. Agona และ S. Rissen ซึ่งเป็นซีโรวาร์ที่ตรวจพบบ่อยในกากตะกอนนั้น เป็นซีโรวาร์เดียวกับที่ตรวจพบในน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง ซึ่งแสดงว่ากากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง ไม่สามารถกำจัดซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนให้หมดไปได้ จึงทำให้ซาลโมเนลลาตกค้างอยู่ในกากตะกอน ดังเช่นที่ Piadang et al.(1988) เคยตรวจพบ

ซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง โดยซีโรวาร์ที่ตรวจพบได้แก่ *S.* Agona *S.* Anatum *S.* Albany *S.* Derby *S.* Lexingtun *S.* Infantis *S.* Krefeld *S.* Paratyphi *S.* Virchow และ *S.* Weltevreder

นอกจากนั้นยังพบอีกว่าซาลโมเนลลาที่ตรวจพบในกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลมีปริมาณมากกว่าในกากตะกอนจากโรงงานผลิตอาหารและโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง โดยเฉพาะกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกและภาคใต้ จะพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนมากกว่าภาคอื่นๆ ซึ่งคาดว่าน่าจะมาจากการที่ทั้งสองภาคมีอาหารทะเลอุดมสมบูรณ์ ซาลโมเนลลามักจะปนเปื้อนในอาหารทะเลทั้งสดและแช่แข็ง และการรับประทานที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เช่นการปรุงอาหารที่สุกไม่เพียงพอ หรือแมลงวันเป็นพาหะของซาลโมเนลลามาปนเปื้อน จะทำให้มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนในอาหาร ทำให้ผู้ที่บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนซาลโมเนลลาเข้าไปเกิดการติดเชื้อหรือกลายเป็นพาหะแพร่เชื้อต่อไป

ปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนจะแตกต่างกันไป ตามชนิดของกระบวนการบำบัด เช่น ในกากตะกอนดิบมีปริมาณซาลโมเนลลาปนเปื้อนในปริมาณสูงถึง 194 MPN/100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในมีโซฟิลิค แอนแอโรบิค ไดเจสท์ สลัดจ์ และคอนโซลิด แอคติเวด สลัดจ์ มีปริมาณซาลโมเนลลาปนเปื้อน 171.4 MPN/100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 114 MPN/100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณซาลโมเนลลาปนเปื้อนสูงกว่ากากตะกอนชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 5.1)

ดังนั้นกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางจึงยังไม่เหมาะสมที่จะกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ทันทีโดยไม่ผ่านการกำจัดหรือลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนเสียก่อน เนื่องจากจะเป็นการเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ และจะเป็นการช่วยแพร่กระจายซาลโมเนลลาสู่สิ่งแวดล้อมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อไป

ผลจากการใช้แสงแดดต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

สิ่งที่ต้องระวังจากการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ ได้แก่การปนเปื้อนจากโลหะหนักและเชื้อโรคต่างๆ เช่น ชิเกลลา *(Shigella)* คลอสตริเดียม (*Clostridium*) โดยเฉพาะอย่างยิ่งซาลโมเนลลาจะพบในกากตะกอนค่อนข้างมาก มีการตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนดิบสูงถึง 85-90 เปอร์เซ็นต์ กากตะกอนจึงเป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคต่างๆ ดังนั้นก่อนที่จะนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์หรือกำจัดทิ้ง ควรจะนำไปทำลายเชื้อแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆเสียก่อน เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคต่างๆ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2537)

ตารางที่ 5.1 ปริมาณซาลโมเนลลาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 8 แห่ง
(Jones และคณะ, 1980 อ้างใน Jone, 1983)

Sample	Sample Positive(%)	Mean 100 cm^{-3}
Settled sewage	85	20.7
Final effluent	24	1.9
Raw sludge	87	194.0
Mesophilic digested sludge (anaerobic)	96	171.4
Mesophilic digested sludge (aerobic)	38	0.3
Filter press cake	100	56.2
Belt filter press cake	93	14.1
Consolidated activated sludge	92	114.0
Vacuum filter cake	80	1.7
Centrifuge cake	78	16.9
Centrifuge cake	77	22.4
Drying bed cake	69	NT
Consolidated digested sludge	67	3.9
Stockpiled filter press cake	62	9.5
Lagooned sludge (<2 years old)	45	NT
Drying bed cake	33	46.5
Lagooned sludge (<2 years old)	25	NT
Lagooned sludge (>2 years old)	4	NT
Filter press cake (lime+coperas)	0	0.0

หมายเหตุ NT หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอน คือการใช้ประโยชน์จากแสงแดด เนื่องจากแสงแดดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถลดปริมาณซาลโมเนลลาได้ (Jone, 1983; Wallis and Lechmann, 1983)

1. ผลจากการใช้แสงแดดต่อปริมาณเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

การศึกษาปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในครั้งนี้ใช้วิธี Most Probable Number Technique หรือเรียกว่าวิธี MPN

วิธี MPN เป็นวิธีการประเมินปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของอาหารเลี้ยงเชื้อ ค่า MPN เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้หลักการทางสถิติ ถ้าการประเมินพบว่ามีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์มาก แสดงว่าความแตกต่างระหว่างตัวอย่างมีน้อย ถ้าการประเมินพบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์น้อย แสดงว่าความแตกต่างระหว่างตัวอย่างมีมากขึ้น

วิธี MPN นี้เป็นการประเมินปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เฉพาะชนิด ซึ่งต้องใช้อาหารเลี้ยงเชื้อจำเพาะเจาะจงต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่แสดงผลการเจริญเติบโตให้เห็นได้อย่างชัดเจน (คณาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538)

ซึ่งข้อดีของวิธี MPN คือ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาปริมาณจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆได้ โดยเลือกชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อให้เหมาะสมกับชนิดของจุลินทรีย์ ส่วนข้อด้อยของวิธี MPN คือปริมาณจุลินทรีย์ที่ประเมินได้นั้นต้องเป็นจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่และสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดนั้น

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนจากกระบวนการแยกน้ำของโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางเริ่มที่ 170 MPN/100 มล. ซึ่งเกินมาตรฐานที่อนุญาตให้มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนได้สูงสุด 10^5 เซลล์/น้ำหนักแห้ง 1 กิโลกรัม (Wallis and Lechmann, 1983) หรือ 100 เซลล์/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม เมื่อนำกากตะกอนไปผึ่งแดดจัดติดต่อกันเป็นเวลา 8 วัน ปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนจะลดลงตามระยะเวลาการผึ่งแดด จนในวันที่ 8 นั้นตรวจไม่พบซาลโมเนลลาปนเปื้อน แต่การรายงานค่าการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาด้วยวิธี MPN นั้นให้รายงานว่ามีปริมาณซาลโมเนลลาน้อยกว่า 2 MPN/100 มล. ถ้าผลการทดสอบปฏิกิริยาทางชีวเคมีให้ผลเป็นลบทุกหลอดทดลอง

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอนจะลดลงควบคู่ไปกับการลดลงของซาลโมเนลลาในกากตะกอน (**รูปที่ 5.1**) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดและสอดคล้องกับการศึกษาของ Jone (1983) การลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอนจะเป็นวิธีในการบำบัดกากตะกอนที่

ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ การสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยจะทำให้จำนวนของเอนเทอริคไวรัสในกากตะกอนมีจำนวนลดลง (Ward and Ashley, 1977 อ้างถึงใน Bitton, 1994) ดังนั้นการแยกน้ำจากกากตะกอนโดยการระเหยจะลดจำนวนของเอนเทอริคแบคทีเรียได้มาก ซึ่งวิธีหนึ่งของกระบวนการแยกน้ำออกจากกากตะกอน ได้แก่ การตากบนลานทรายซึ่งจะไปลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอน ทำให้กากตะกอนมีความคงตัวและสามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรคได้ ดังนั้นวิธีการตากกากตะกอนบนลานทรายจะช่วยกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนได้ นอกจากนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของจุลินทรีย์ในกากตะกอนเมื่อนำไปตากบนลานทรายยังได้แก่ อุณหภูมิ และแสงแดดอีกด้วย

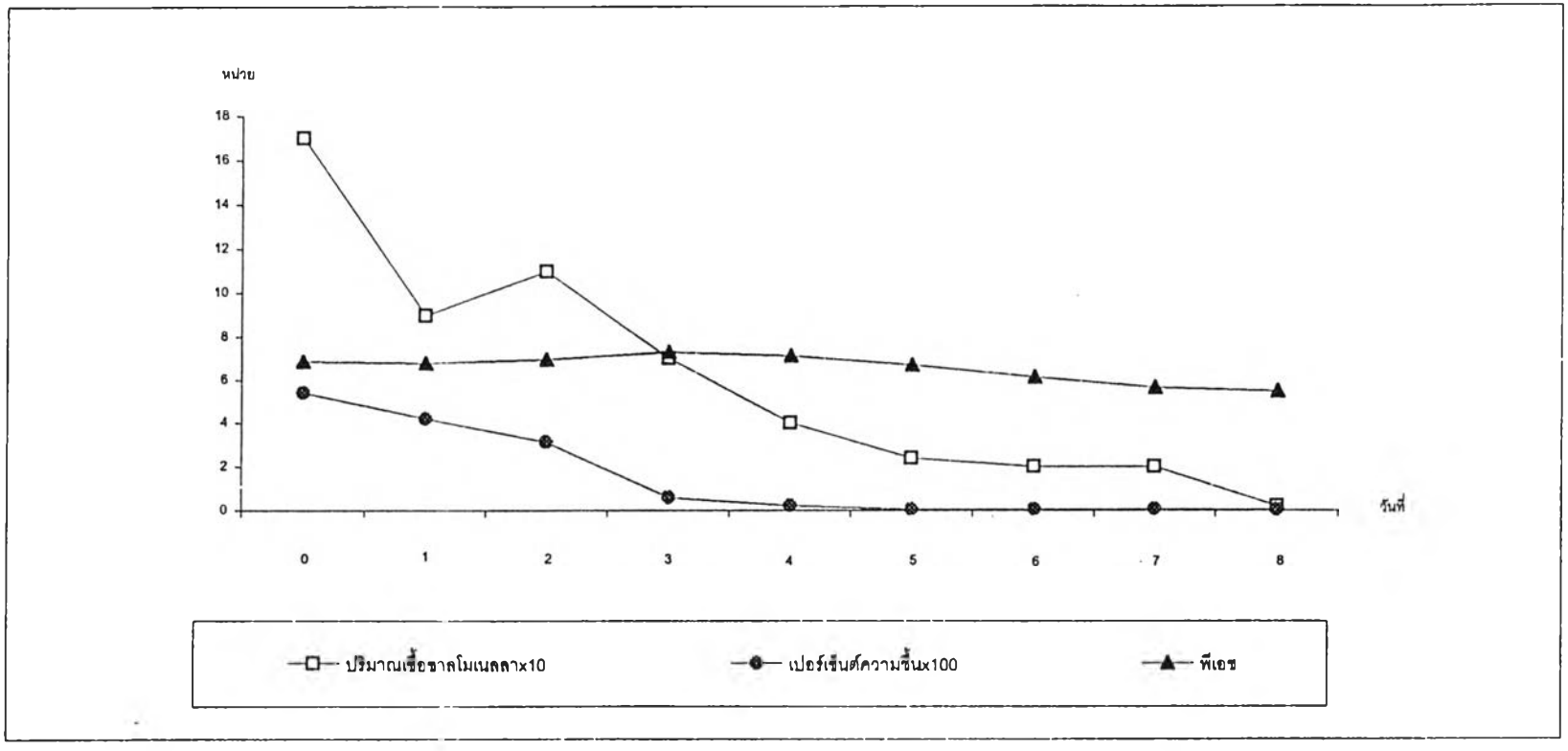
ส่วนการเปลี่ยนแปลงพีเอชของกากตะกอนจะอยู่ในช่วง 5.48-7.28 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วงกว้าง ซึ่งน่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของซาลโมเนลลาน้อยกว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอน เนื่องจากซาลโมเนลลาสามารถเจริญได้ในพีเอชช่วงกว้าง (4.1-9.0)

ดังนั้นก่อนที่จะนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์จึงควรจะกำจัดหรือลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนเสียก่อน ซึ่งแสงแดดสามารถช่วยลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนได้ ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนคือ 8 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของวิชัยศักดิ์ คูหาทองและคณะ (2534) ที่พบว่าเมื่อนำกากตะกอนไปตากบนลานทราย ไข่พยาธิจะถูกทำลายหรือฝ่อหมดในเวลา 9 วันในฤดูหนาวและ 5 วันในร้อน ซึ่งเป็นผลจากแสงแดดที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอนลดลง

แต่เป็นการยากที่จะระบุว่าซาลโมเนลลาปริมาณเท่าใดที่จะก่อให้เกิดโรคขึ้นได้ เนื่องจากซาลโมเนลลาที่จะก่อให้เกิดโรคนั้นจะแตกต่างกันออกไป เช่น วัวควายที่เจริญเต็มที่จะเกิดโรคเมื่อได้รับ *S.* Mbandaka น้อยกว่า 3 เซลล์ต่อน้ำหนักอาหาร 1 กรัม (Jones et al.,1983) คนที่บริโภคชอคโกแลตที่มี *S.* Napoli และ *S.* Eastbourne ปริมาณน้อยกว่า 2 หรือ 3 เซลล์ต่ออาหาร 1 กรัม (Craven et al., 1975; Gill et al., 1983 อ้างถึงใน Jones, 1983) หรือปริมาณซาลโมเนลลาที่ก่อให้เกิดโรคในวัวเต็มวัยนั้นต้องมีปริมาณประมาณ 10^{11} เซลล์หรือในแกะประมาณ 10^{8} เซลล์จึงจะทำให้เกิดโรค ซึ่งเป็นการยากที่จะระบุให้แน่นอนลงไปว่าซาลโมเนลลาปริมาณเท่าใดจึงจะก่อให้เกิดโรคได้ แต่จากการทดลองพบว่าปริมาณซาลโมเนลลาที่จะก่อให้เกิดโรค เปลี่ยนแปลงตามชนิดและสายพันธุ์ของซาลโมเนลลา และปริมาณที่เชื่อว่าจะก่อให้เกิดโรคได้นั้นต้องมีปริมาณมาก (10^{5}-10^{8} เซลล์/กรัม) จึงจะก่อให้เกิดโรคได้ (Taylor and McCoy, 1969)

2. การทดสอบยืนยันอิทธิพลของแสงแดดในการลดปริมาณเชื้อซาลโมเนลลา

เมื่อนำชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ก่อนที่จะเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ และทำการตรวจสอบการปนเปื้อนจาก



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อซาลโมเนลลา เปอร์เซ็นต์ความชื้น และพีเอชในกากตะกอนที่นำไปผึ่งแดด

ซาลโมเนลลา เนื่องจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการผึ่งแดดจัดติดต่อกันเป็นเวลา 8 วัน ก่อนที่จะนำมาเติมลงดิน ตรวจพบ *S.* Mbandaka ในชุดดินสระบุรีทั้ง 2 อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเฉพาะในวันที่ 1 ของการศึกษา ทั้งที่ก่อนหน้านั้นตรวจไม่พบการปนเปื้อนจาก *S.* Mbandaka ในชุดดินสระบุรีที่จะนำมาทำการศึกษา ส่วนชุดดินกำแพงแสนตรวจพบ *S.* Rissen ปนเปื้อนก่อนที่จะไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน หลังจากนั้นจะตรวจพบ *S.* Rissen ในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ ส่วนตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ พบ *S.* Mbandaka เฉพาะในวันแรก แต่ในวันที่ 50 ทั้งสองชุดดินตรวจไม่พบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา โดย *S.* Mbandaka เป็นซีโรวาร์เดียวกับที่ตรวจพบในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน แสดงว่า *S.* Mbandaka และ *S.* Rissen ที่ตรวจพบนั้นมาจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่เติมลงไป

จากการตรวจพบ *S.* Rissen และ *S.* Mbandaka เฉพาะในวันแรกเท่านั้นจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนทั้งสองชุดดิน จึงเพิ่มความมั่นใจได้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะไม่เป็นการเพิ่มความเสี่ยงจากซาลโมเนลลา เพราะในดินเดิมนั้นก็ตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ก่อนแล้ว และสิ่งที่น่าจะมีอิทธิพลต่อการรอดชีวิตของซาลโมเนลลาในดินได้แก่แสงแดด เนื่องจากในแสงแดดเป็นแหล่งของอุลตราไวโอเลท

อุลตราไวโอเลทเป็นคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นสั้น มีพลังงานและอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่ารังสีอิออไนเซชั่น (Ionizing Radiation) ถูกดูดซึมโดยสารต่างๆได้มาก และจะกระตุ้นโมเลกุลของสารทำให้ออกซิเจนสูงขึ้น จึงสามารถทำปฏิริยาต่างๆได้มากขึ้น เช่น ทำให้ออกซิเจนรวมตัวเป็นโอโซน หรือออกซิเจนที่ละลายรวมกับน้ำเป็น H_2O_2 ซึ่งทั้งสองนี้เป็นพิษต่อแบคทีเรีย นอกจากนั้นจะทำให้โมเลกุลของ DNA RNA และโปรตีน ที่ดูดซึมรังสีนี้ไว้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือชำรุดไป ทำให้การทำงานของเซลล์ผิดปกติไป ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียตายในที่สุด

ช่วงคลื่นของอุลตราไวโอเลทอยู่ระหว่าง 13.6-396 นาโนเมตร โดยช่วงคลื่นที่สามารถทำลายแบคทีเรียได้อยู่ระหว่าง 200 - 290 นาโนเมตร แต่ช่วงที่ทำลายได้สูงสุดคือประมาณ 265 นาโนเมตร ในธรรมชาติแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมีรังสีนี้เข้มข้นมาก แต่ถูกชั้นเมฆ หมอก ควันและโอโซนในบรรยากาศกรองไว้ คงเหลือมาถึงผิวโลกในจำนวนที่ไม่มากนัก แต่ยังเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ต่างๆบนผิวโลกได้ จึงจัดแสงแดดว่าเป็น Natural Disinfectant ได้อย่างหนึ่ง

แม้ว่ารังสีช่วงคลื่นสั้นๆจะถูกกรองไว้ที่ชั้นบรรยากาศของโลก แสงแดดก็ยังคงมีความสามารถในการฆ่าจุลินทรีย์ได้ แต่รังสีอุลตราไวโอเลตมีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ จึงสามารถใช้ฆ่าจุลินทรีย์ได้เฉพาะที่พื้นผิววัตถุเท่านั้น

ปัจจัยที่สัมพันธ์กับปริมาณเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในดิน เนื่องจากการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

1. ลักษณะสมบัติของดินและสิ่งทดลองก่อนการทดลอง

1) ซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในดินและสิ่งทดลอง

การตรวจพบ*S.* Rissenในชุดดินกำแพงแสน แต่ไม่พบในดินชุดสระบุรีนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากการตกค้างของซาลโมเนลลาในพื้นที่การเกษตร ซึ่งมีการใช้ปุ๋ยคอกและอาศัยน้ำจากคลองชลประทานเพื่อทำการเกษตร โดยปุ๋ยคอกที่นำมาใช้นั้นอาจมีซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ ทำให้มีการตกค้างของซาลโมเนลลาในพื้นที่ทำการเกษตร และก่อให้เกิดการระบาดของซาลโมเนลลาได้ (Wiener, 1974 อ้างใน Clinton, Weaver, Zibilske and Hidago, 1979) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของซาลโมเนลลาในมูลวัวควาย ซีโรวาร์ที่พบบ่อยคือ *S.* Typhimurium และ *S.* Newport หรือทำให้วัวควายกลายเป็นพาหะของซาลโมเนลลา (Gronstol et al., 1974; Richardson, 1973 อ้างใน Clinton, Weaver, Zibilske and Hidago, 1979) และขับถ่ายซาลโมเนลลาออกมา ซึ่งมีจำนวนแตกต่างกันไปตั้งแต่ 1 เซลล์จนถึงมากกว่า 100,000 เซลล์ต่อกรัมของปุ๋ยคอก (Sojka et al., 1974 อ้างใน Clinton, Weaver, Zibilske and Hidago, 1979) เมื่อนำปุ๋ยคอกที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนมาใช้ในพื้นที่การเกษตร จะทำให้มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนหรือตกค้างอยู่ในดินและพืชผักได้

ส่วนในน้ำกรองและปุ๋ยเคมีที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ตรวจไม่พบซาลโมเนลลา ทำให้แน่ใจว่าไม่เกิดความเสี่ยงจากซาลโมเนลลาในการนำน้ำกรองและปุ๋ยเคมีมาใช้ในการปลูกผักคะน้า แต่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนตรวจพบ *S.* Mbandaka ซึ่งอาจเป็นซาลโมเนลลาที่หลงเหลืออยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนหรืออาจเกิดจากการเจริญเติบโตอีกครั้ง โดย *S.* Mbandaka ที่เหลืออยู่นี้อาจจะมีปริมาณสูงในตอนเริ่มต้น หรือเป็นซีโรวาร์ที่สามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าซีโรวาร์อื่นๆ

2) โลหะหนักแคดเมียม (Cd) และสังกะสี (Zn)

ในชุดดินสระบุรีมีปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีปนเปื้อน 41 ppb และ 56.75 ppm ส่วนในชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี 2.6 ppb และ 40 ppm คาดว่าเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงในพื้นที่เกษตรกรรมระหว่างการเพาะปลูก ทำให้เกิดการตกค้างและสะสมของโลหะหนักในดิน เมื่อนำดินทั้งสองชุดมาทำการวิเคราะห์ขั้นต้นก่อนทดลองจึงพบการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี

เมื่อนำน้ำกรองมาทำการตรวจวิเคราะห์หาการปนเปื้อนจากโลหะหนักแคดเมียม และสังกะสีตรวจไม่พบทั้งโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี จึงไม่เป็นการเพิ่มปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีให้แก่พืชและดิน และไม่ทำให้เกิดการตกค้างในดิน ดังนั้นการใช้น้ำกรองจึงไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี

แต่ในปุ๋ยเคมีตรวจพบเฉพาะโลหะหนักแคดเมียม 19.50 ppb แต่ไม่พบโลหะหนักสังกะสี ดังนั้นปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรในพื้นที่นครปฐมนิยมใช้จะทำให้มีโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนในดินที่ใช้ปลูกผักคะน้าและเกิดการตกค้างในดินเป็นเวลานาน

ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนตรวจพบโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี 26.12 ppb และ 149.5 ppm ตามลำดับ ซึ่งน่าเกิดจากกิจกรรมต่างๆของบ้านเรือน และกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ทั้งหมด จึงทำให้มีโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีตกค้างและสะสมในกากตะกอน เนื่องจากแคดเมียมละลายได้ง่ายและเข้าสู่พืชได้รวดเร็ว และแคดเมียมปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ได้ ดังนั้นการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนจึงต้องระวังโลหะหนักแคดเมียมที่ปนเปื้อนในกากตะกอนเป็นอย่างมาก

3) **พีเอชของสิ่งทดลอง**

พีเอชทั้งชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งเป็นระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530) โดยไม่ต้องทำการเติมปูนขาวเพื่อปรับสภาพดินก่อนการเพาะปลูก ซึ่งมีการแนะนำไว้ว่าดินควรจะมีการปรับสภาพให้มีพีเอชอย่างน้อย 6.5 เพื่อลดความเป็นพิษจากโลหะหนัก (King and Morris, 1972) เนื่องจากดินที่มีสภาพเป็นกรด จุลธาตุที่มีประจุบวกและละลายน้ำได้ง่าย เช่น เหล็ก และทองแดงจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินในปริมาณสูงและอาจสูงจนทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้น นอกจากนี้พีเอชยังมีผลต่อการละลายและการดูดซับโลหะหนัก เช่น แคดเมียม และสังกะสีจะเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกรด จึงต้องมีการปรับสภาพดินเพื่อลดความเสี่ยงจากความเป็นพิษลง และธาตุอาหารพืช เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและโปตัสเซียม จะมีปริมาณต่ำในดินที่มีสภาพเป็นกรด ที่จะทำให้พืชขาดธาตุอาหารได้

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีพีเอช 6.10 ซึ่งเป็นกรดเล็กน้อย ส่วนน้ำกรองมีสภาพเป็นกลาง แต่ปุ๋ยเคมีมีสภาพความเป็นกรดสูงมากเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ

4) **อินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจน**
(Organic Carbon and Organic Nitrogen)

ชุดดินสระบุรีมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนใกล้เคียงกัน คือ เท่ากับ 0.9638 และ 0.9640 ตามลำดับ ส่วนชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจน เท่ากับ 1.8442 และ 2.7720 ตามลำดับ ซึ่งในชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนมากกว่าอินทรีย์คาร์บอนประมาณ 1.50 เท่า

ส่วนกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 31.7420 และ 26.8660 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เท่ากับ 1.2:1 จากอัตราส่วนนี้ทำให้อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีการย่อยสลายได้เร็ว เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนให้เป็นอนินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เร็ว อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 10:1 หรือต่ำกว่านี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ขีดจำกัดสูงสุดของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถ้าอัตราส่วนมากกว่านี้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ช้า หรือเกิดการดึงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากดินมาใช้ (Immobilization) ซึ่งทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยลง ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุให้กับดิน

น้ำกรองตรวจไม่พบทั้งอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจน ในขณะที่ปุ๋ยเคมีตรวจพบเฉพาะอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณเพียง 1.5960 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

5) **อินทรียวัตถุ** (Organic Matter)

ชุดดินสระบุรีมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.65 ในขณะที่ชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.17 ซึ่งมากกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในชุดดินสระบุรีประมาณ 1.92 เท่า แต่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงถึง 54.50 ส่วนน้ำกรองและปุ๋ยเคมีนั้นตรวจไม่พบอินทรีย์วัตถุ

ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจึงเหมาะสมที่จะนำไปเติมลงดิน เนื่องจากจะไปเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน นอกจากนี้คุณสมบัติของอินทรีย์วัตถุอีกอย่างหนึ่ง คือความสามารถในการดูดซับอิออนของอินทรีย์วัตถุในดินจะสูงมาก โดยจะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆถึง 2-30 เท่า โดยทั่วไปปริมาณแคทอิออนที่ถูกดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่ดินดูดซับไว้ได้ทั้งหมด ดังนั้นความสามารถในการดูดซับแคทอิออนและแอนอิออนของอินทรีย์วัตถุในดินจึงช่วยป้องกันไม่

ให้ธาตุอาหารของพืชถูกชะละลายสูญหายไปกับน้ำได้โดยง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)

6) **ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก** (Cation Exchange Capacity, CEC)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity) หรือ CEC เป็นความสามารถของดินในการดูดซับประจุบวก โดยดินที่มีอนุภาคเคลย์สูงจะมีค่า CEC สูงกว่าดินที่มีอนุภาคเคลย์ต่ำกว่า ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง CEC กับลักษณะเนื้อดินของแต่ละชุดดิน จากการวิเคราะห์พบว่าชุดดินสระบุรีมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีกว่าชุดดินกำแพงแสนซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เคลย์ต่ำกว่า โดยทั่วไปพบว่าทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคเคลย์จะให้ค่า CEC แก่ดินประมาณ 0.5 meq และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงจะทำให้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงไปด้วย ทุกๆ 1%ของอินทรีย์วัตถุที่มีในดินจะให้ค่า CEC แก่ดินประมาณ 2.00 meq ดินที่มีค่า CEC สูงจะทำให้แคทอิออนถูกดูดซับในดินโดยไม่ถูกชะละลายให้สูญหายไปจากดินได้ง่ายๆ เนื่องจากแคทอิออนจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคเคลย์ ทำให้พืชมีธาตุอาหารที่จำเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตโดยไม่ขาดแคลน

7) **ลักษณะเนื้อดิน** (Soil Texture)

จากการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อดินระหว่างชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสน จะเห็นว่าชุดดินสระบุรีมีอนุภาคเคลย์มากกว่าชุดดินกำแพงแสนประมาณ 2.43 เท่า ซึ่งอนุภาคเคลย์มีความสำคัญต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เนื่องจากดินที่มีอนุภาคเคลย์สูงจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกดีกว่าดินที่มีอนุภาคเคลย์น้อยกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ดินที่มีความสามารถในการดูดซับแคทอิออนได้ดีจะทำให้ธาตุอาหารถูกชะละลายสูญหายไปได้น้อย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

2. ปัจจัยที่สัมพันธ์กับปริมาณเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในดิน เนื่องจากการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การเจริญ (Growth) ในทางจุลชีววิทยาหมายถึงการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ซึ่งถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณมากกว่าการเพิ่มขนาดของเซลล์ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ในที่ที่มีอาหารและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตมีหลายปัจจัย

เช่น อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณออกซิเจน และน้ำที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงพีเอชเนื่องจากการเติมสิ่งทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกแรก และการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองที่ระยะต่างๆต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะซาลโมเนลลาที่พบบ่อยในน้ำและกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่จะต้องนำไปใช้ประโยชน์หรือกำจัดทิ้งต่อไป

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่

<u>อุณหภูมิ</u>

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เซลล์ของจุลินทรีย์ไม่มีกระบวนการที่ดีในการควบคุมการถ่ายเทความร้อนเข้าออกของเซลล์ ดังนั้นอุณหภูมิภายนอกจึงมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์ในระบบเมตาบอลิสม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในระบบนิเวศมีเอนไซม์ที่ทำงานได้ดี ตลอดจนทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงที่ต่างกัน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุด (Optimum Temperature) ต่างกัน

เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า Optimum Temperature จุลินทรีย์จะเจริญช้าลงตามลำดับ จนถึงระดับที่อุณหภูมิหนึ่งที่เรียกว่า Minimum Temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญได้ช้าที่สุด และเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่านี้จุลินทรีย์จะไม่มีการเจริญ

ในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงกว่า Optimum Temperature จุลินทรีย์จะเจริญช้าลงตามลำดับเช่นเดียวกัน จนถึงระดับที่จุลินทรีย์เจริญได้ช้าที่สุด ซึ่งเรียกว่า Maximum Temperature เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้จุลินทรีย์จะหยุดการเจริญ นอกจากนั้นอุณหภูมิที่เรียกว่า Maximum Temperature ยังทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ (Denature) ของเอนไซม์ภายในเซลล์ เป็นผลทำให้จุลินทรีย์เริ่มตาย

<u>พีเอช</u>

นอกเหนือจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ พีเอชก็เป็นสภาวะของสิ่งแวดล้อมที่สำคัญยิ่งที่มีผลต่อการเจริญและระบบเมตาบอลิสมของจุลินทรีย์ โดยทั่วๆไปแล้วจุลินทรีย์ส่วนมากจะเจริญได้ดีที่สุดที่พีเอชเป็นกลางหรือประมาณ 7 แต่มีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถเจริญได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 4 แบคทีเรียส่วนมากมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชและสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อรา ซึ่งสังเกตได้จากการเก็บรักษาคุณภาพอาหารบางชนิด เช่น ผลไม้ มักจะเน่าเสียหรือถูกทำลายได้ง่ายโดยเชื้อราหรือยีสต์ การเน่าเสียของผลไม้เนื่องมาจากความสามารถของเชื้อราและยีสต์ที่เจริญได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรดของผลไม้ซึ่งมักมีพีเอชต่ำกว่า 3.50 ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียพวกที่ก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษส่วนมากไม่สามารถเจริญเติบโต

ออกซิเจน

เป็นสิ่งที่แบคทีเรียต้องการในการเจริญ แต่แบคทีเรียบางชนิดไม่ต้องการ และแบคทีเรียบางชนิดสามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน การมีออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมอาจทำให้แบคทีเรียบางชนิดตายได้ เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนั้นไม่มีเอนไซม์ที่จะทำลาย H_2O_2 ที่เกิดจากการใช้ออกซิเจนได้ จึงแบ่งแบคทีเรียออกตามความต้องการออกซิเจนดังนี้

1. Aerobic Bacteria (Aerobe) เจริญได้ในที่มีออกซิเจนอิสระ เช่น *Acetobacter*
2. Anaerobic Bacteria (Anaerobe) เจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ เช่น *Methanobacterium*
3. Facultative Anaerobic Bacteria (Facultative Anaerobe) สามารถเจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน เช่น *E.coli*
4. Microaerophilic Bacteria(Microaerophilic) สามารถเจริญได้ในที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย เช่น *Brucella abotus*

น้ำที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ (Water Available)

จุลินทรีย์ทุกชนิดต้องการน้ำในการดำรงชีพ น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้น้ำจาก 2 แหล่งคือ น้ำจากในอาหาร (Bound Water) ซึ่งแบคทีเรียนำไปใช้ได้ยาก และน้ำที่อยู่รอบๆอาหาร แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่าย

1) การเปลี่ยนแปลงพีเอชในฤดูกาลเพาะปลูกแรก

ก. ปุ๋ยเคมี

ในตำรับทดลองควบคุมนั้นในชุดดินสระบุรี จะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชน้อยกว่าชุดดินกำแพงแสน และการเปลี่ยนแปลงพีเอชทั้งสองชุดดินจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 30 ก่อนที่พีเอชจะลดต่ำลงอีก ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีในชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนไม่ทำให้พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากตำรับทดลองควบคุม ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลจากการเติมปุ๋ยเคมีในปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (**รูปที่** 5.2)

ข. กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

พีเอชของชุดดินสระบุรีเนื่องจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ จะมีค่าต่ำกว่าพีเอชของตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น ส่วนชุดดินกำแพงแสนการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ไม่ทำให้พีเอชแตกต่างจากตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ การเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะทำให้ชุดดินสระบุรีมีพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงแรกก่อนที่จะลดลงในช่วงหลัง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงพีเอชเนื่องจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ของชุดดินกำแพงแสนมีค่าต่ำกว่าพีเอชของการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์อย่างมีนัยสำคัญ และต่ำกว่าพีเอชของตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอีกด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพีเอชของชุดดินกำแพงแสนนั้นพบว่าพีเอชของดินจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของพีเอชในดินหลังการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะเป็นเพราะอิทธิพลของโลหะหนักในกากตะกอนที่หลุดออกมาในรูปสารละลาย และเข้าแย่งจับกับอนุภาคเคลย์หรือจากอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์ทำให้พีเอชลดลง (Brady, 1990 อ้างใน กัลยา สุนทรวงศ์สกุล, 2537) (**รูปที่** 5.3)

ค. สารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

การเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ในชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนไม่ทำให้พีเอชแตกต่างจากตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมี แต่การเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะทำให้พีเอชของชุดดินสระบุรีสูงกว่าพีเอชของตำรับทดลองควบคุม และตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนชุดดินกำแพงแสนนั้นพีเอชจากการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ จะมีค่าต่ำกว่าพีเอชจากการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ การเปลี่ยนแปลงซึ่งลดลงทันทีหลังจากเติมสารละลายเกลือโลหะหนัก อาจอธิบายได้ว่าปริมาณแคทอิออนจากสารละลายโลหะหนักที่เข้าแย่งจับกับอนุภาคเคลย์ ทำให้ไฮโดรเจนอิออนหลุดออกมาอยู่ในสารละลาย (Kuntze et al., 1984 อ้างในอรรณพ หอมจันทร์, 2535) และภายหลังเติมสารละลายโลหะหนักที่ระยะเวลาหนึ่งพีเอชจะปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยแคทอิออนส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ (Gadd, 1992) และส่วนหนึ่งอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ (Alloway, 1991) ปริมาณแคทอิออนจากสารละลายโลหะหนักที่เข้าแย่งจับกับ

อนุภาคเคลย์จึงน้อยลง ไฮโดรเจนอิออนที่ถูกแทนที่ด้วยแคทอิออนจึงหลุดออกมาในสารละลายน้อยลง (**รูปที่** 5.4)

ง. กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

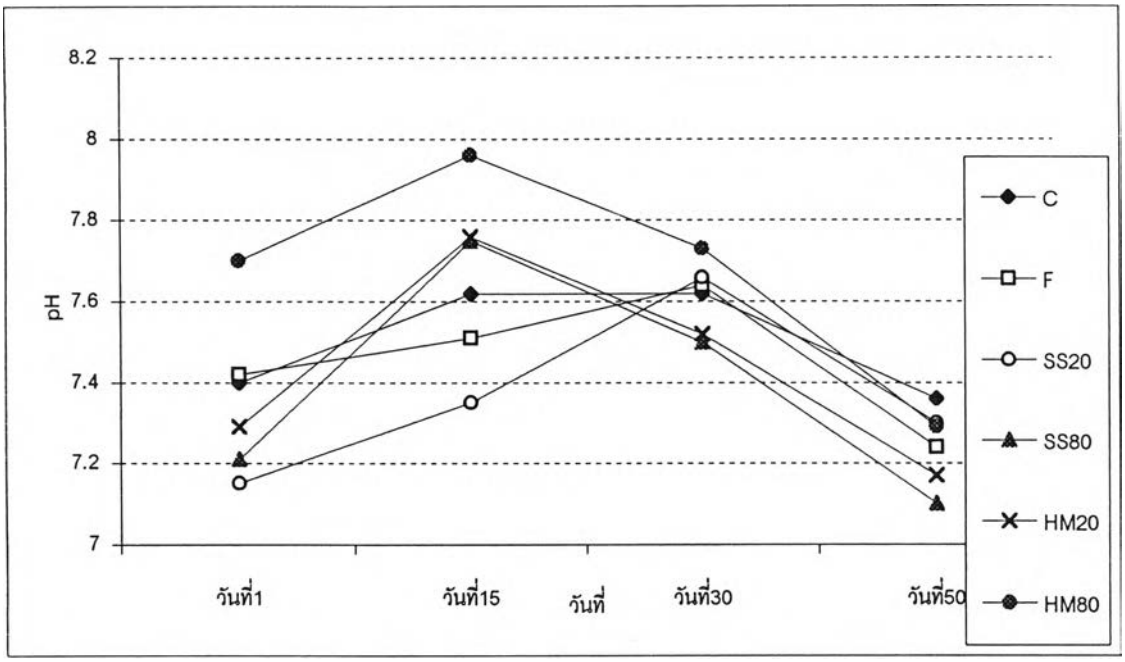
พีเอชจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ จะลดลงหลังการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะทำให้พีเอชต่ำกว่าพีเอชที่เกิดจากการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ เฉพาะในช่วงแรกของชุดดินสระบุรี แต่ชุดดินกำแพงแสนนั้นพีเอชจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะต่ำกว่าการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี ซึ่งน่าจะเกิดจากในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีโลหะหนักปนเปื้อนหลายชนิด จึงทำให้การแย่งจับกับอนุภาคเคลย์และปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนเกิดได้ดีกว่าการเติมเฉพาะสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี จึงทำให้พีเอชในการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่อัตราเดียวกับการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีมีค่าต่ำกว่า (**รูปที่** 5.5)

จ. กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

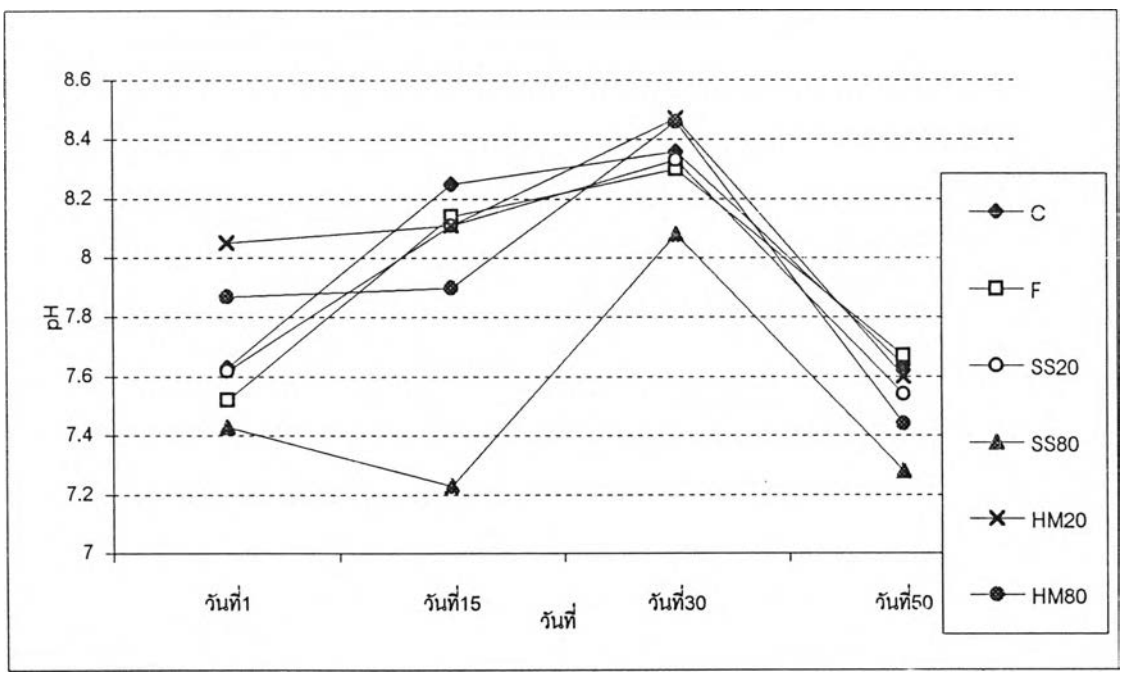
การเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ จะทำให้พีเอชสูงกว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่อัตราเดียวกันทั้งในชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสน น่าจะมีสาเหตุจากในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีโลหะหนักหลายชนิดทำให้ความสามารถในการแย่งจับกับอนุภาคเคลย์และไล่ที่ไฮโดรเจนอิออนให้ออกมาอยู่ในสารละลายดินเกิดขึ้นได้ดีกว่าการเติมสารละลายเกลือโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีที่อัตราเดียวกัน (**รูปที่** 5.6)

2) การปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา

การจัดการกับกากตะกอนที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง คือการนำกากตะกอนไปใช้ในลักษณะของปุ๋ย แต่ต้องระวังการปนเปื้อนจากโลหะหนักและจุลินทรีย์ก่อโรคโดยเฉพาะซาลโมเนลลาที่พบได้บ่อย แม้ว่า U.S.federal regulation ได้แบ่งกระบวนการบำบัดจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนออกเป็น 2 ระบบซึ่งประกอบด้วย PSRP และ PFRP แต่ในบางครั้งก็ยังตรวจพบการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการย่อยแบบมีโซฟิลิค แอนแอโรบิค ยังคงมีจุลินทรีย์ก่อโรคปนเปื้อนอยู่ ซึ่งส่วน



(ก) ชุดดินสระบุรี



(ข) ชุดดินกำแพงแสน

C หมายถึง ดินควบคุม

F เติมปุ๋ยเคมี

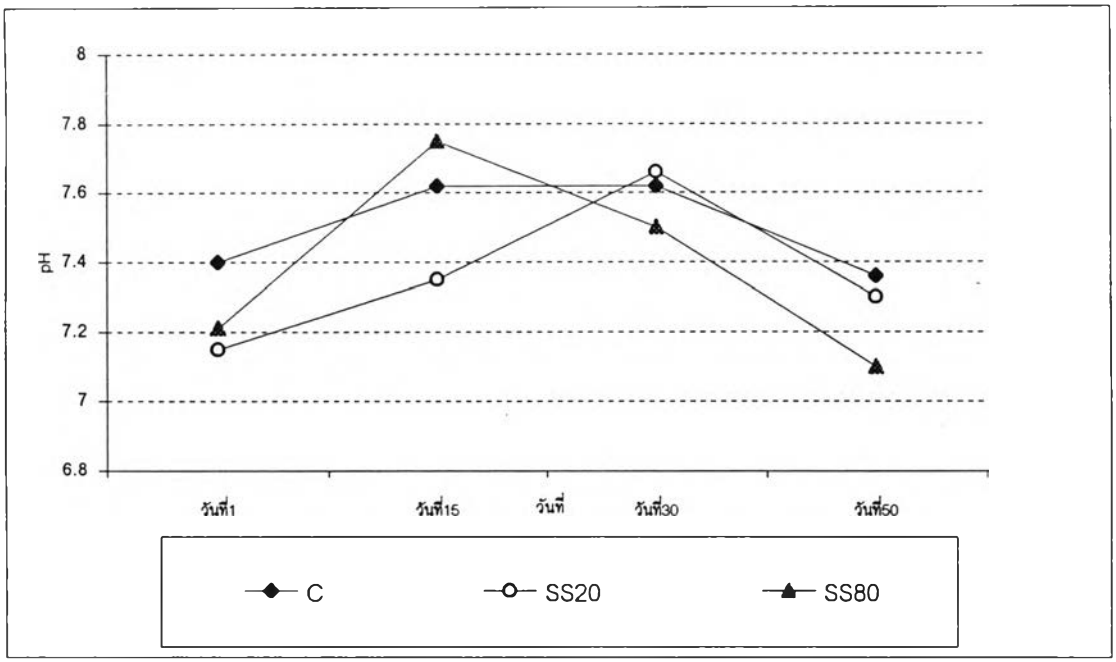
SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

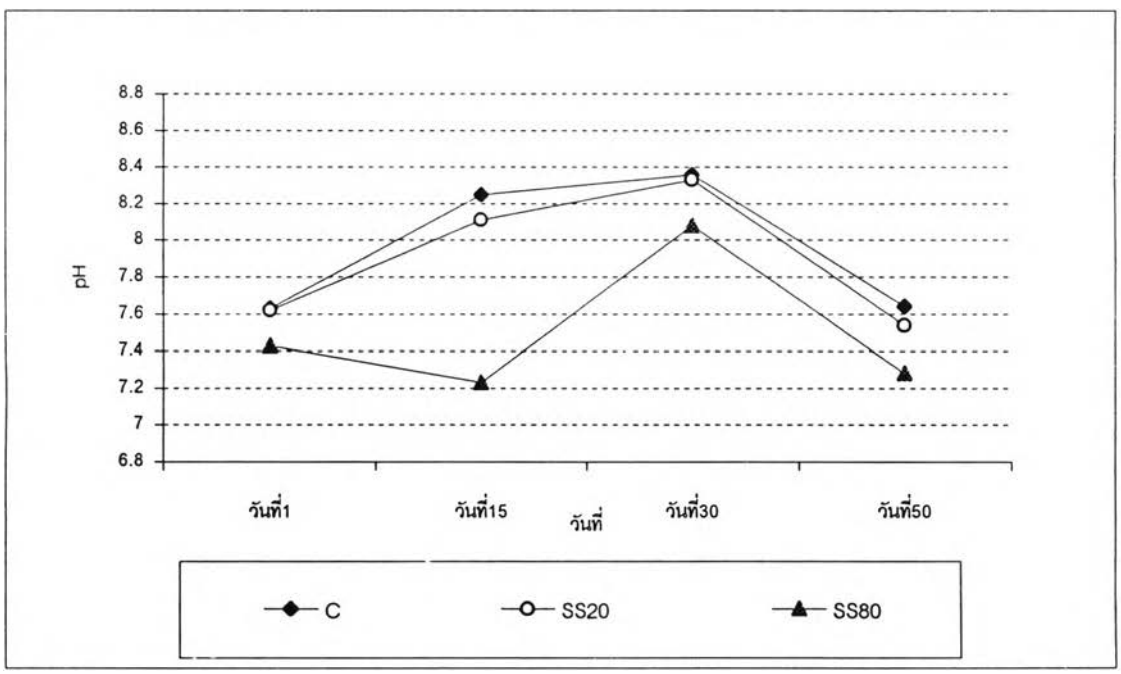
HM20 เติมสารละลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

HM80 เติมสาระลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบพีเอชในตำรับทดลองของชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนในฤดูกาลเพาะปลูกแรก



(ก) ชุดดินสระบุรี



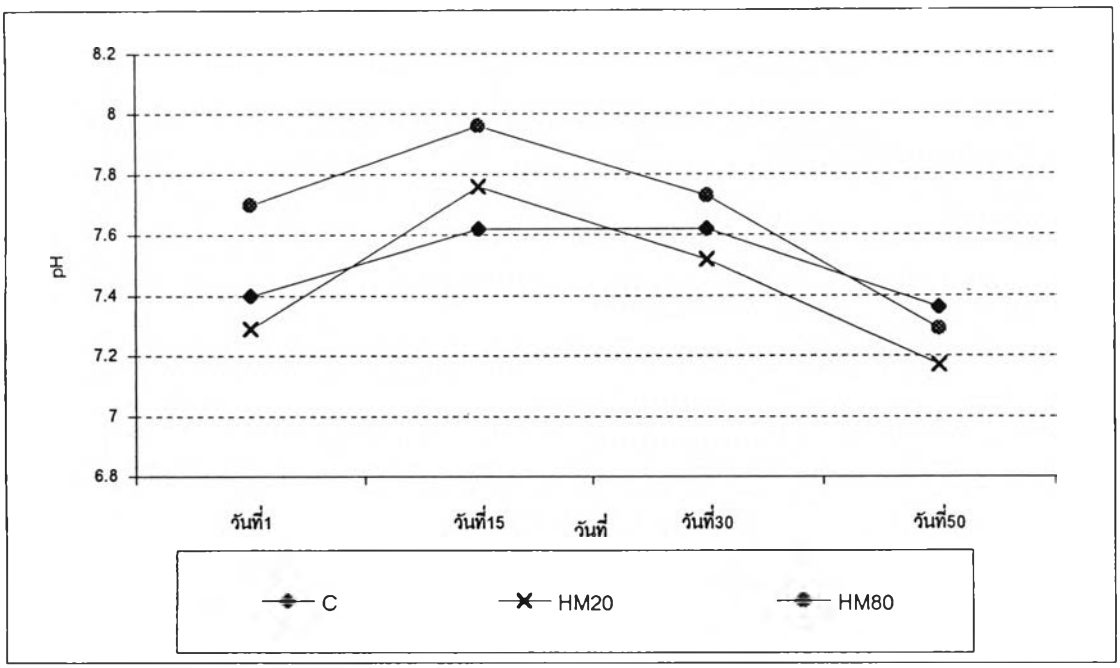
(ข) ชุดดินกำแพงแสน

C หมายถึง ดินควบคุม

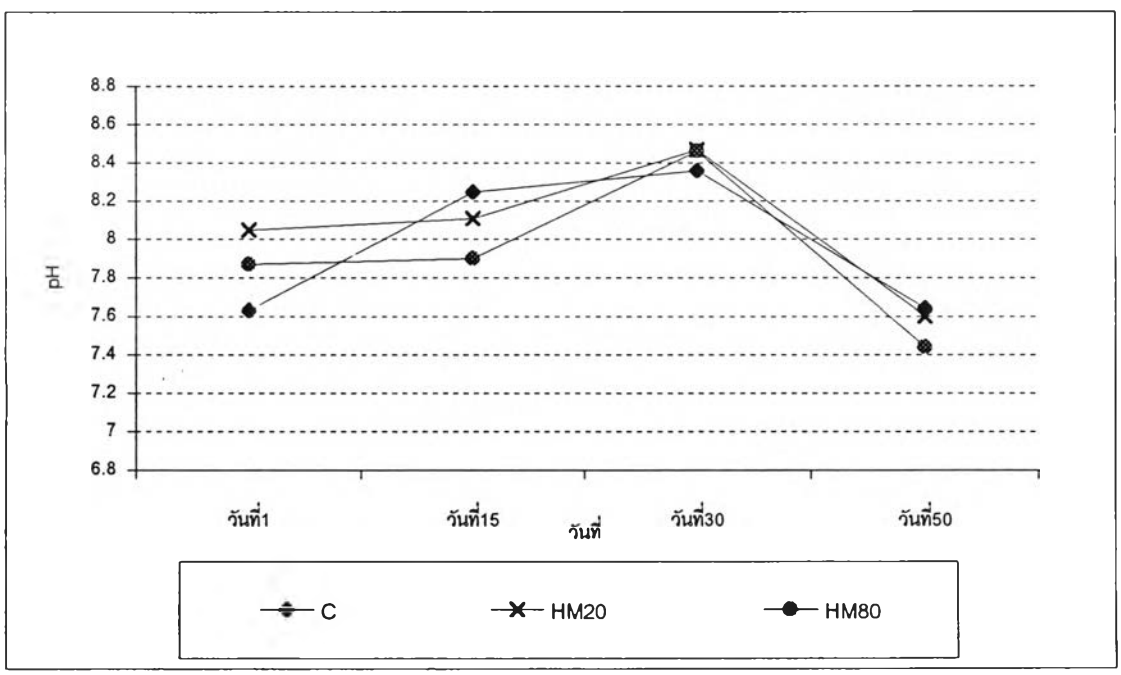
SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนของชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสน



(ก) ชุดดินสระบุรี



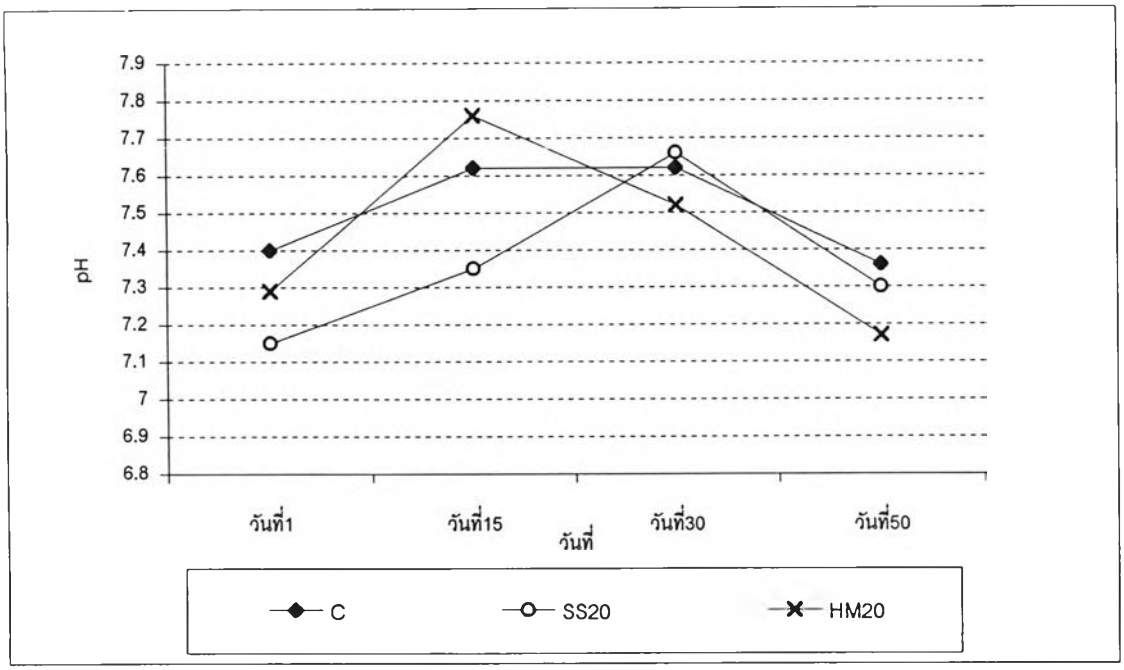
(ข) ชุดดินกำแพงแสน

C หมายถึง ดินควบคุม

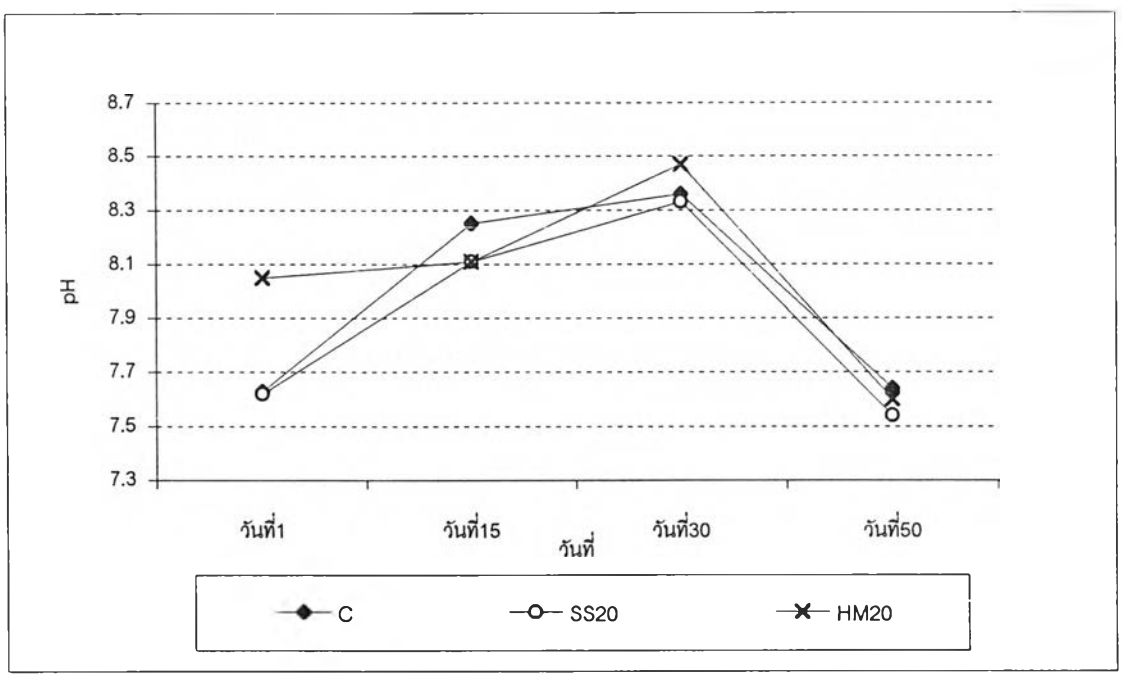
HM20 เติมสารละลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

HM80 เติมสาระลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสารละลายโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีของชุดดินสระบุรี และชุดดินกำแพงแสน



(ก) ชุดดินสระบุรี



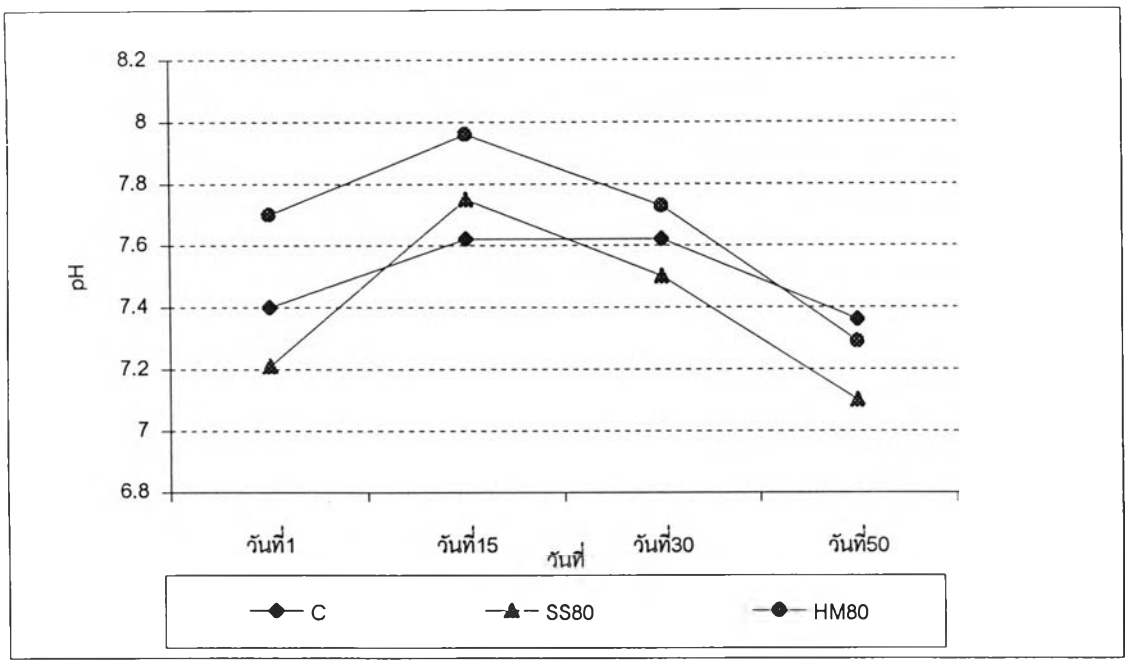
(ข) ชุดดินกำแพงแสน

C หมายถึง ดินควบคุม

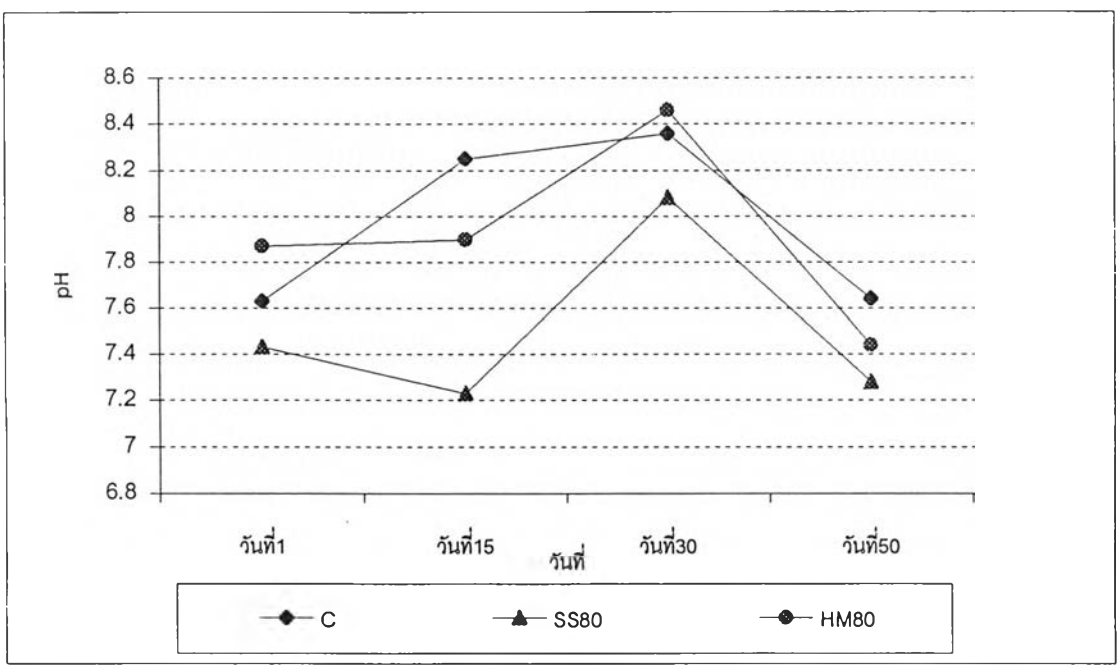
SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

HM20 เติมสารละลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสิ่งทดลองอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ของชุดดินสระบุรี และชุดดินกำแพงแสน



(ก) ชุดดินสระบุรี



(ข) ชุดดินกำแพงแสน

C หมายถึง ดินควบคุม

SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

HM80 เติมสารละลายเกลือโลหะหนัก Cd และ Zn อัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสิ่งทดลองอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ของชุดดินสระบุรี และชุดดินกำแพงแสน

ใหญ่จะเป็นพวกซาลโมเนลลา พยาธิและเอนเทอริคไวรัส แต่เอนเทอริคไวรัสจะมีชีวิตรอดอยู่ได้ในระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้ความสามารถในการรอดชีวิตของซาลโมเนลลาและพยาธิบอกความเสี่ยงต่อสุขภาพเมื่อนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ หรือแม้แต่กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการเติมคลอรีนในกระบวนการคลอริเนชั่น (Chlorination) ก็ไม่สามารถกำจัดไวรัสให้หมดไปจากน้ำได้จึงทำให้มีการตกค้างในกากตะกอน

จากเหตุผลดังกล่าวก่อนที่จะนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ จึงควรที่จะกำจัดหรือลดปริมาณของซาลโมเนลลาเสียก่อน เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ เช่น การนำกากตะกอนไปใช้ในทุ่งหญ้าที่มีการเลี้ยงวัวทำให้วัวติดเชื้อซาลโมเนลลา แต่ในพื้นที่ที่ไม่มีการเติมกากตะกอนจะไม่พบวัวที่ติดเชื้อซาลโมเนลลา ซึ่งให้ผลการตรวจสอบสอดคล้องกันในเยอรมัน ฮอลแลนด์และอังกฤษ (Jone,1983) ซึ่งสัตว์ที่กินหญ้าในพื้นที่มีการเติมกากตะกอนจะมีความเสี่ยงจากซาลโมเนลลา ทำให้วัวควายที่ติดเชื้อซาลโมเนลลาจากการกินหญ้ากลายเป็นพาหะต่อไป

ทางเลือกที่น่าสนใจทางเลือกหนึ่งคือ การใช้แสงแดดช่วยลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผึ่งแดดกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อลดปริมาณซาลโมเนลลาคือ 8 วัน ก่อนที่จะนำกากตะกอนไปเติมลงในพื้นที่การเกษตร

ผลการตรวจสอบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนพบว่าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกนั้นไม่พบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา แม้แต่ในตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ส่วนการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองที่แตกต่างกัน 3 ช่วงเวลานั้นพบว่ามีการปนเปื้อนจาก *S.* Rissen ในตำรับทดลองควบคุมวันที่ 50 ของชุดดินกำแพงแสนที่เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองทันที และในตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ในวันที่ 50 ของชุดดินสระบุรีหลังการเก็บเกี่ยวผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกสิ้นสุด 50 วัน ซึ่งจากการตรวจสอบพบซาลโมเนลลานั้นไม่เฉพาะแต่ตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเท่านั้นที่พบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา แม้แต่ในตำรับทดลองควบคุมซึ่งไม่เติมสิ่งทดลองใดๆเลย ยังตรวจพบว่ามีซาลโมเนลลาปนเปื้อน ซึ่ง *S.* Rissen เป็นซีโรวาร์ที่ตรวจพบได้ทั้งในน้ำและกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และจากดินที่นำมาจากพื้นที่การเกษตร แสดงถึงการระบาดของ *S.* Rissen ว่าสามารถพบได้บ่อยในธรรมชาติ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถบอกได้ว่าการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาเติมลงในพื้นที่เกษตรกรรมจะไม่เป็นการเพิ่มความเสี่ยงจากซาลโมเนลลาให้กับดิน เนื่องจากเราสามารถตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในธรรมชาติได้เสมอ ดังเช่นที่ตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในคลองพระโขนง คลองมหาสวัสดิ์ และคลองภาษีเจริญ (นาตยา ศรีดี, 2540) ในพื้นที่การเกษตร หรือแม้แต่ในปุ๋ยคอกก็มีการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา

การรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคในดินจะแตกต่างกันไป จากการตรวจสอบพบว่าในดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ซาลโมเนลลาจะสามารถรอดชีวิตอยู่ได้ตั้งแต่ 1 วันจนมากกว่า 280 วัน

(Parsons et al., 1975 อ้างถึงใน Burge and Marsh, 1978) ปัจจัยที่มีผลต่อการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคในดิน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด พีเอช อินทรียวัตถุ ชนิดของแบคทีเรีย รวมถึงแบคทีเรียประจำถิ่น และโปรโตซัว การรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคบนพืชผักจะขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรค ชนิดของพืชผักและสภาพแวดล้อม (**ตารางที่** 5.2) โดยจุลินทรีย์ก่อโรคและปรสิตจะสามารถรอดชีวิตอยู่ได้บนพืชผักโดยเฉพาะพืชใบ เช่น ผักขม และผักกาดหอม ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำทิ้งมารดพืชผัก ทำให้พืชเศรษฐกิจเป็นแหล่งปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคและปรสิตระหว่างการรดน้ำ การขนส่ง และการสัมผัส เช่น พบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในผักกาดหอมและเครื่องเทศพวกยี่หร่าในอิตาลี และสินค้าที่นำเข้าจากประเทศในเขตร้อน การรอดชีวิตของซาลโมเนลลาในพืชผักจะแตกต่างกันออกไป โดยซาลโมเนลลาจะรอดชีวิตในพืชที่ใช้รากเป็นอาหาร พืชใบ เบอร์รี่ และพืชสวน ได้นาน 53 วัน 40 วัน 5 วัน และมากกว่า 2 วันตามลำดับ

ปัญหาจากจุลินทรีย์ก่อโรคเป็นปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่งต่อการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงต้องมีการบำบัดกากตะกอนก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ เช่นกากตะกอนจากกระบวนการสเตบิไลเซชั่น (วิธีที่นิยมกันมากคือ Aerobic Digestion) ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ควรทิ้งระยะเวลาช่วงหนึ่งระหว่างการเกลี่ยกากตะกอนและการตัดหญ้าไปใช้ โดยทิ้งระยะเวลา 2-6 เดือนก่อนการตัดหญ้า 12 เดือนสำหรับการผลิตหญ้าเพื่อการค้า และ 15 เดือนสำหรับการปลูกไม้ผลขนาดเล็ก (Sludge and Waste Utilization Committee, 1992 อ้างถึงใน Wen, Bate and Veroney, 1995) ส่วน U.S.EPA แนะนำให้ใช้แอนแอโรบิค ไดเจสท์ สลัดจ์ ในพื้นที่ที่ไม่ทำการผลิตอาหารนาน 6-16 เดือน หรือนำกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดจุลินทรีย์ก่อโรคแบบ PSRP มาเติมลงดินโดยไม่ใช้พื้นที่สำหรับปลูกพืชที่จะนำไปใช้บริโภคภายใน 18 เดือน และควรทิ้งระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหญ้าอย่างน้อย 1 เดือนก่อนที่จะทำการตัดเพื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ที่มนุษย์จะต้องนำไปบริโภค

2) **การศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้า**

การศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้าเนื่องจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน จะดูจากจำนวนใบ ความสูง ความกว้างและความยาวของใบผักคะน้าทุก 10 วันของการเพาะปลูก จะเห็นได้ว่าในชุดดินสระบุรี ตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์มีการเจริญเติบโตของผักคะน้าไม่แตกต่างจากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Sabey, Pendleton and Webb (1990) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะทำให้ความยาวของใบ sagebrush และ saltbrush ยาวกว่าใบ sagebrush ในตำรับทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีความแตกต่างระหว่างการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 30 และ 60 เมตริกกรัม/เฮกแตร์ และความสูงของ sagebrush ในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะสูงกว่า sagebrush ในตำรับทดลอง

ควบคุมถึง 6-7 เท่า ในช่วงเวลา 9 เดือนความสูงของ sagebrush ในตำรับทดลองควบคุมจะเพิ่มน้อยกว่า 4 ซม. ในขณะที่ความสูงของ sagebrush ในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะเพิ่มจาก 11.5 ซม. เป็น 27 ซม. และไม่มีความแตกต่างในเรื่องความสูงของ sagebrush ระหว่างการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนทั้ง 2 อัตรา แต่ขนาดยอดของ sagebrush ในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 60 เมตริกกรัม/เฮกแตร์จะมีขนาดใหญ่กว่าตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 30 เมตริกกรัม/เฮกแตร์อย่างมีนัยสำคัญ และคาดว่าเมื่อดำเนินการทดลองต่อไป ความแตกต่างในเรื่องขนาดของยอด sagebrush จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากเหตุผลนี้จึงสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้แทนปุ๋ยเคมีได้ เพราะนอกจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะส่งผลต่อผลผลิตของพืชแล้ว กากตะกอนน้ำเสียชุมชนยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย ส่วนชุดดินกำแพงแสนนั้นการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะมีการเจริญเติบโตของผักคะน้าน้อยกว่าการเติมปุ๋ยเคมีและการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการปลดปล่อยธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้น จะเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรงกับระยะเวลาที่เติมกากตะกอนในอัตราต่ำ แต่เมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นพืชจะมีประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนต่ำลง การเติมกากตะกอนในอัตราที่สูง (มากกว่า 102 ppm) ในช่วงแรกจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในปริมาณที่น้อย ซึ่งมีสาเหตุจากการหยุดชะงักของจุลินทรีย์ดินเนื่องจากความเป็นพิษของสารบางอย่างที่เกิดขึ้น เมื่อผ่านช่วงนี้ไปการสลายตัวจะเร็วขึ้น และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นจำนวนมากกว่าการเติมกากตะกอนในอัตราที่ต่ำกว่า (Premi and Cornfield, 1971; Sabey et al., 1977) ดังนั้นช่วงแรกของการเติมกากตะกอนในอัตราสูง จะทำให้พืชได้รับไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าการเติมกากตะกอนในอัตราต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ส่วนการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองนั้นมีการเว้นช่วงการเติมกากตะกอน 3 ช่วง การเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ไม่แตกต่างจากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะสูงกว่าการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ในชุดดินสระบุรี ส่วนในชุดดินกำแพงแสนการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะสูงกว่าตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีและตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะบางช่วงเท่านั้น

ส่วนการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกสิ้นสุด 25 วัน ในชุดดินสระบุรีจะเห็นว่าการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีจะสูงกว่าการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ

ตารางที่ 5.2 การรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคในดินและพืช

(Parsons et al., 1975 อ้างใน Burge and Marsh, 1978)

Organisms	Media	Survival time (days)
Coliform	Soil surfaccce	38
	Vegetables	35
	Grass and clover	6-34
Streptococci	Soil	35-63
Fecal streptococci	Soil	26-77
Salmonllae	Soil	15->280
	Vegetables and fruit	3-49
	Grass and clover	12->42(and over winter)
*S.*Typhi	Soil	1-120
	Vegetables	<1-68
Shigella	On grass(raw sewage)	42
	Vegetables	2-10
	In water containing humus	160
Tubercle bacilli	Soil	>180
	Grass	
Vibrio cholerae	Vegetables and fruit	<1-29
	Water and sewage	5-32
Leptospira	Soil	15-43
	Water	5-32
	Sewage	30
Entamoeba histolytica cyst	Soil	6-8
	Vegetables	<1-3
	Water	8-40
Enteroviruses	Soil	8
	Vegetables	4-6
Poliovirus	In polluted at water 20 $^{\circ}$C	20
Aacaris ova	Soil	up to 7 years
	Vegetables and fruit	27-35
Hookworm larvae	Soil	42
Liver fluke cysts	In dry hay	Few weeks
	In improperly dried hay	Over a year

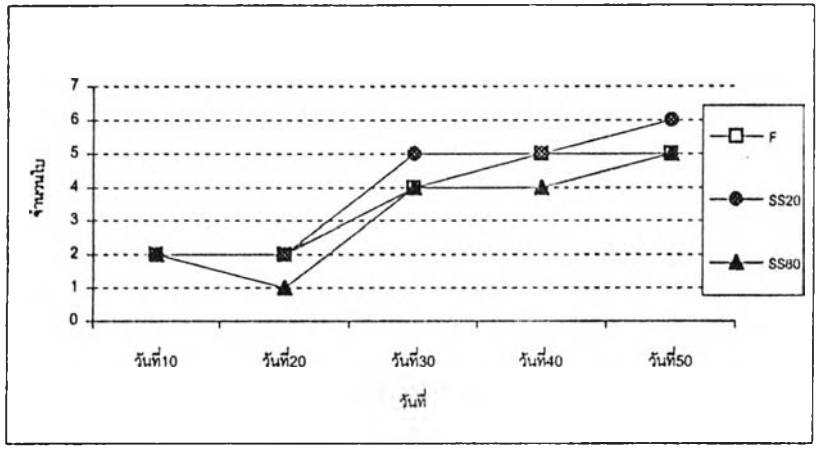
80 เมตริกตัน/เฮกแตร์อย่างไม่มีนัยสำคัญ และการเจริญเติบโตของผักคะน้าระหว่างการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนชุดดินกำแพงแสนนั้นในช่วงแรกการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีจะสูงกว่าการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ อย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในช่วงหลังในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะมีการเจริญเติบโตของผักคะน้าจะเพิ่มขึ้นจนไม่แตกต่างจากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ และสูงกว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์อย่างไม่มีนัยสำคัญ

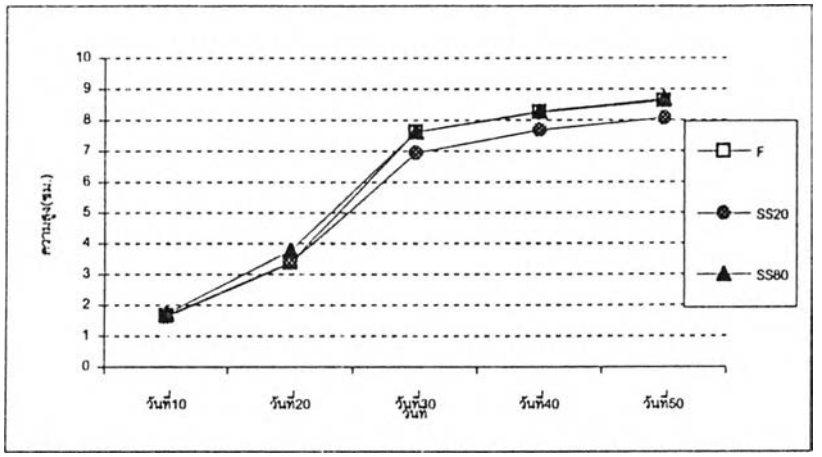
และการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังจากทิ้งช่วงไป 50 วัน พบว่าการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ จะสูงกว่าตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีและตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์อย่างไม่มีนัยสำคัญในชุดดินสระบุรี ส่วนชุดดินกำแพงแสนนั้นในช่วงแรกการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะไม่แตกต่างจากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมี ในช่วงหลังการเจริญเติบโตของผักคะน้าในตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์จะสูงกว่าตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีและตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนที่แตกต่างกันออกไป เช่น ในปีแรกของการเติมกากตะกอน อินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนจะถูกย่อยสลายเพียง 15-40 เปอร์เซ็นต์ (Keeny, Lee and Walsh, 1975; Pratt, Broadbent and Martin, 1973 อ้างใน Stark and Clapp, 1980) และระยะเวลาในการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนจะแตกต่างกันออกไป อินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลาย 2.3-4.2 เปอร์เซ็นต์ หลัง 6 สัปดาห์ของการเติม (Premi and Cornfield, 1971 อ้างใน Stark and Clapp, 1980) หรืออินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายได้ 2.3-4.2 เปอร์เซ็นต์หลังการเติม 15 สัปดาห์ (Epstein et al.,1978 อ้างใน Stark and Clapp, 1980) หรือในเวลา 13 สัปดาห์ อินทรีย์ไนโตรเจนจากแอนแอโรบิค ไดเจสท์ สลัดจ์จะถูกย่อยสลาย 14-25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนจากแอโรบิค ไดเจสท์ สลัดจ์จะถูกย่อยสลาย 36-61 เปอร์เซ็นต์ (Magdoff and Chromec, 1977 อ้างใน Stark and Clapp, 1980) อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนจะลดลงตามระยะเวลา โดยอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนในปีที่1 2 3 และ 4 เท่ากับ 35 10 6 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Pratt et al., 1973 อ้างใน Stark and Clapp, 1980)

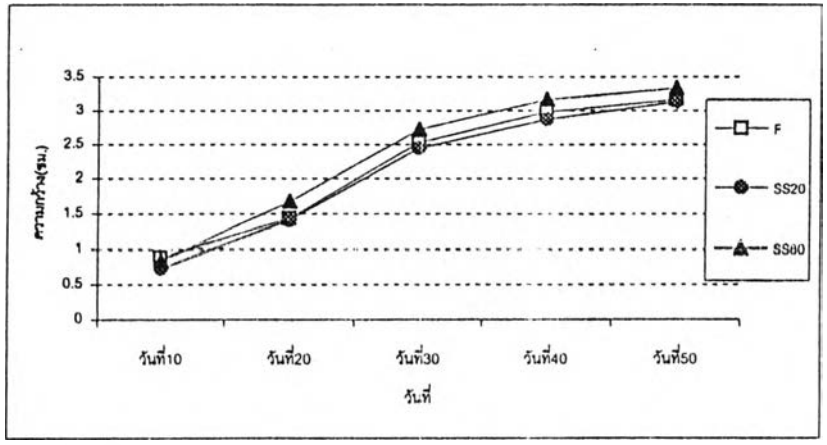
จากการศึกษาการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนทั้งในฤดูกาลเพาะปลูกแรกและในฤดูกาลเพาะปลูกที่ลองโดยการทิ้งช่วงการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สอง 3 ช่วงเวลาจะเห็นว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนให้ผลไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี และแม้ว่าจะมีการทิ้งช่วงการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองนานถึง 50 วัน ยังให้ผลไม่แตกต่างระหว่างการเติมปุ๋ยเคมีและการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการมีไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินจากการเติมกากตะกอนในฤดูกาล

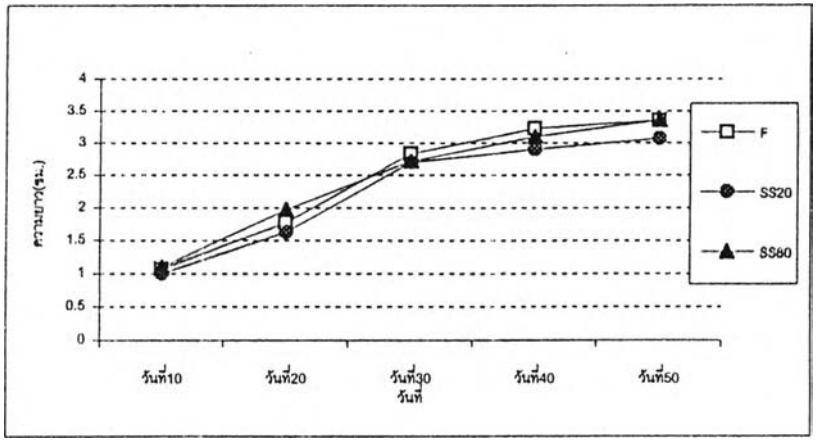
เพาะปลูกแรก โดยการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์เป็นอัตราที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของผักคะน้าในกระถาง ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

ดังนั้นในการเติมกากตะกอนครั้งที่สองเราสามารถที่จะทิ้งช่วงในการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองได้นาน 50 วันเพราะยังคงให้ผลไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ในการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราที่มากเกินไป อาจจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงจากจุลินทรีย์ก่อโรคและโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน และการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่มากเกินไปอาจทำให้มีการปนเปื้อนจากไนเตรทในน้ำใต้ดิน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาแอมโมเนียม ไนตริฟิเคชั่นหรือการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนตามด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ทำให้มีการชะละลายไปปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน (รูปที่ 5.7-5.14)



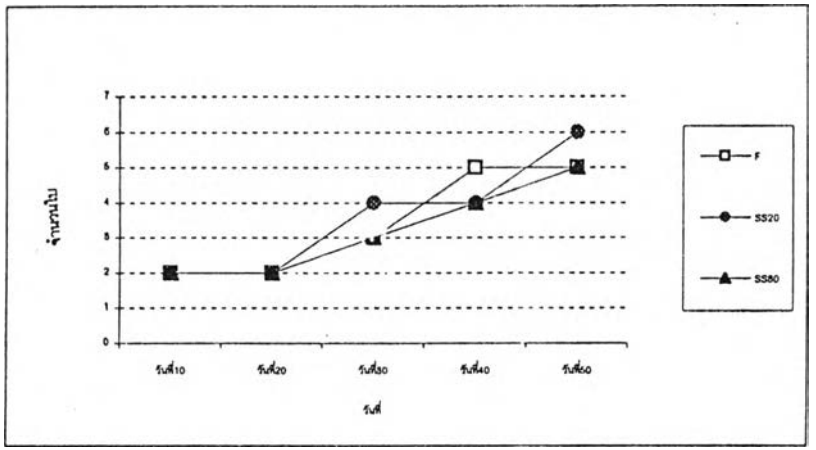


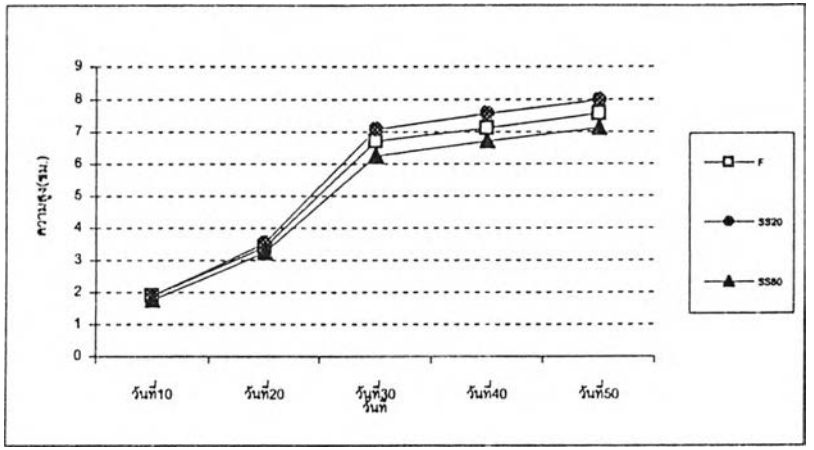


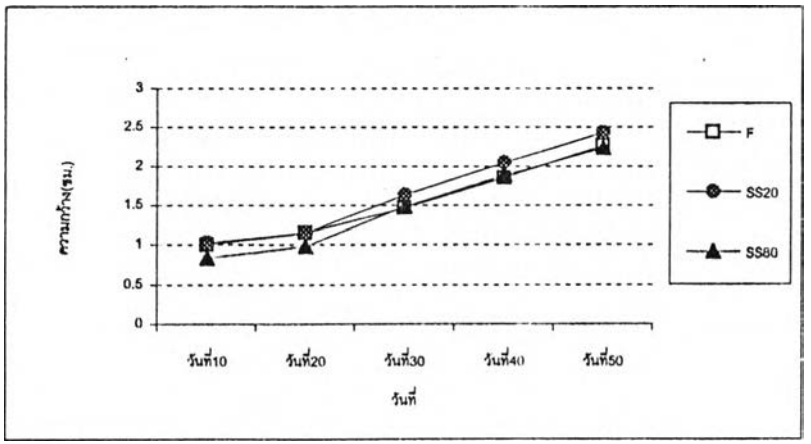


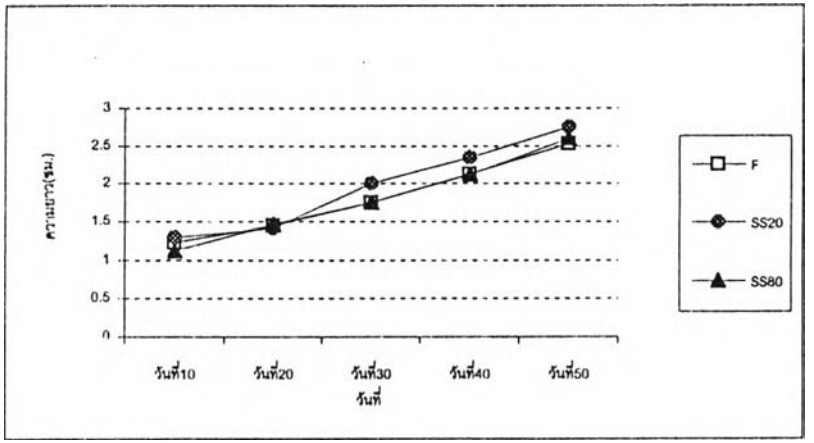
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินสระบุรี



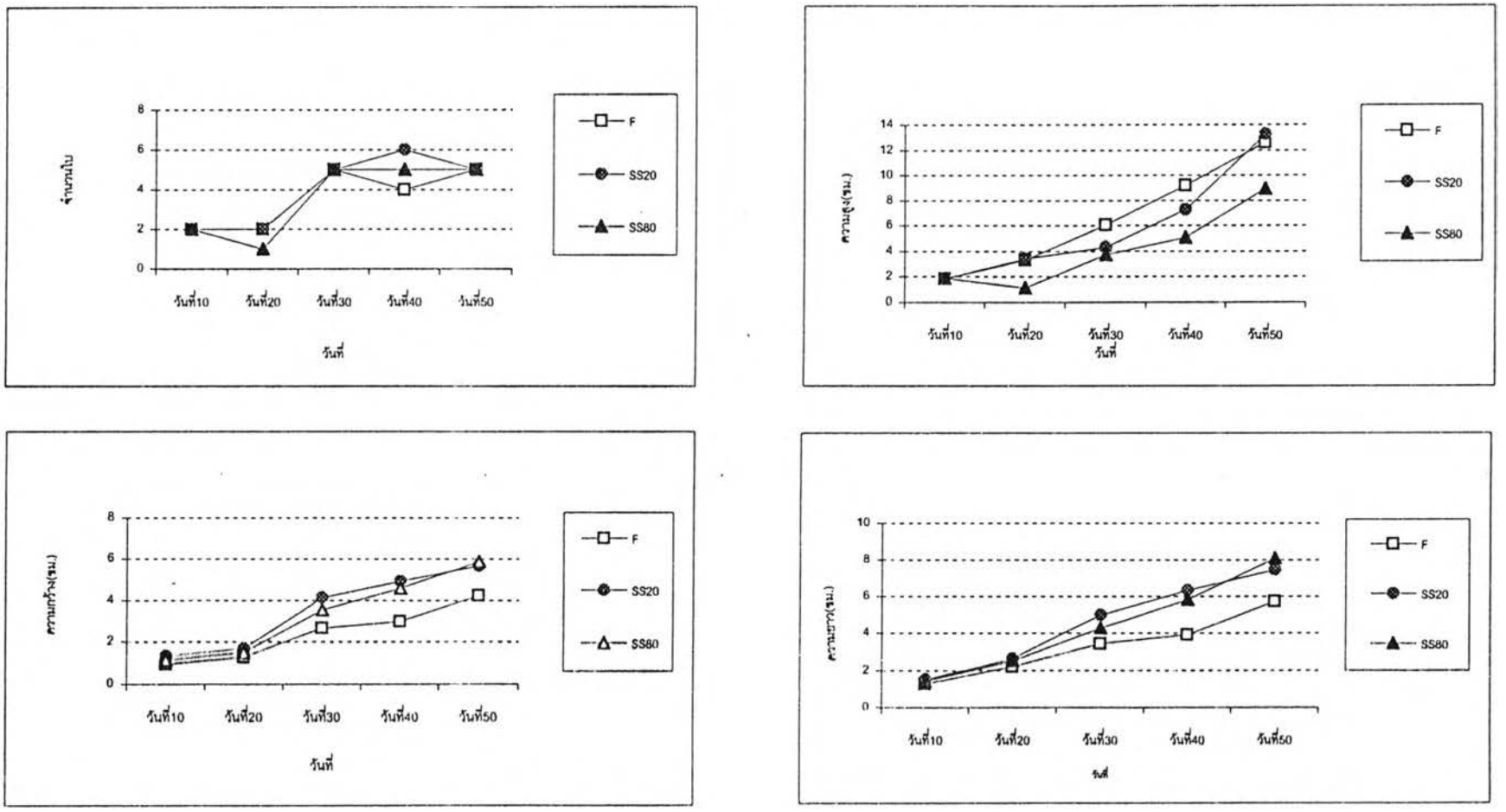






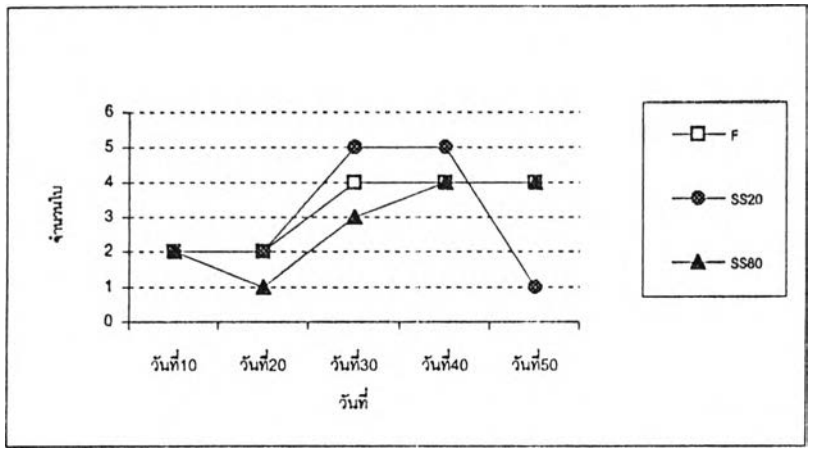
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

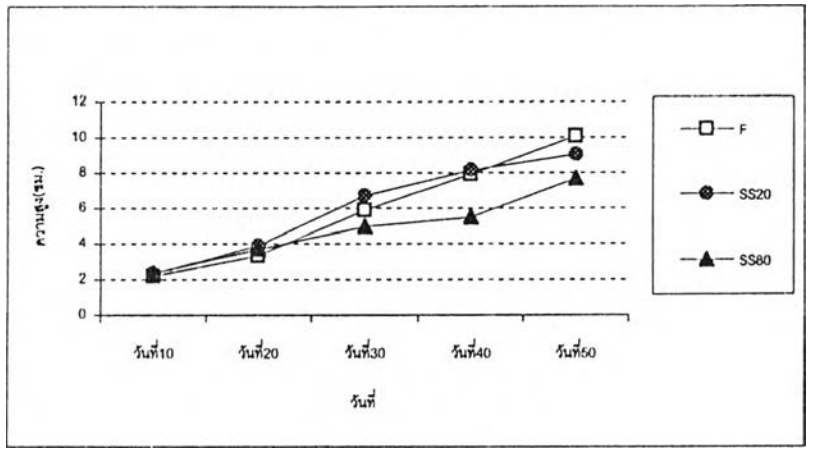
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินกำแพงแสน

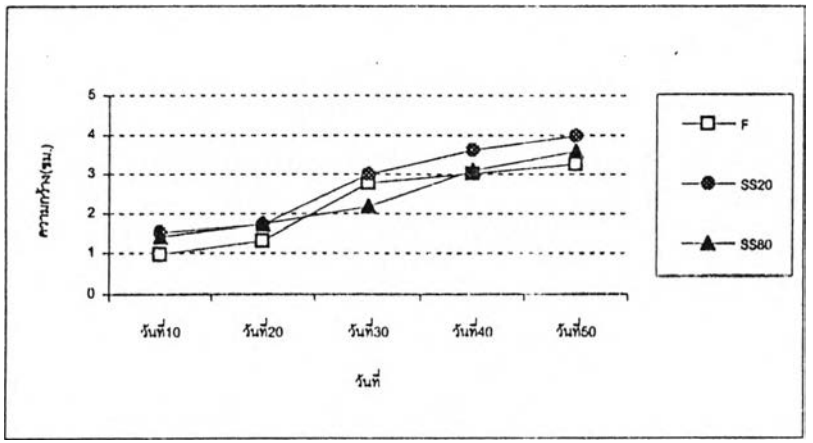


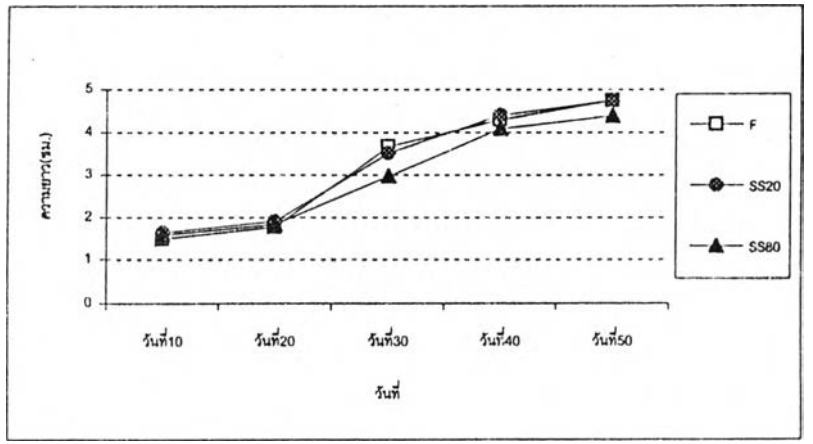
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองทันทีของชุดดินสระบุรี



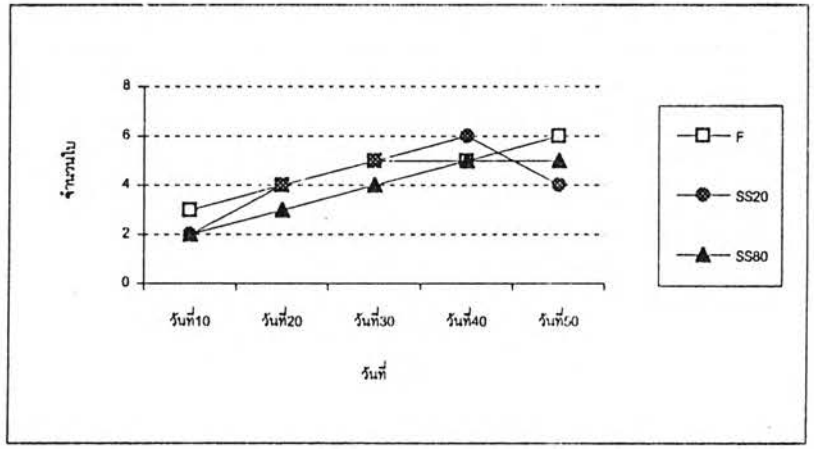


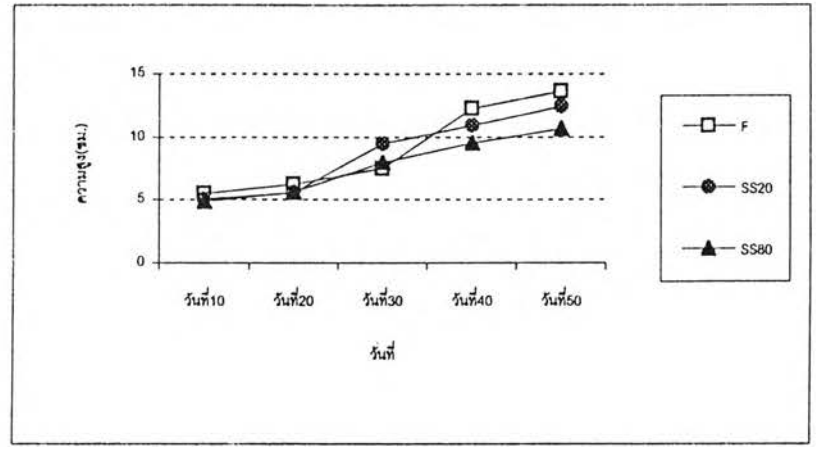


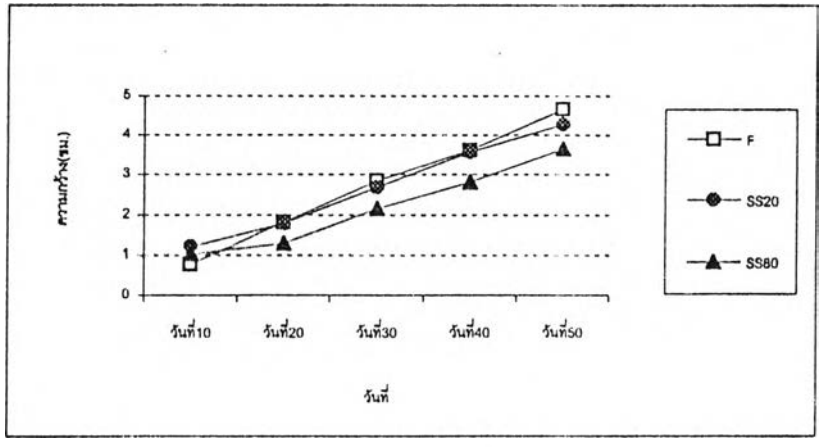


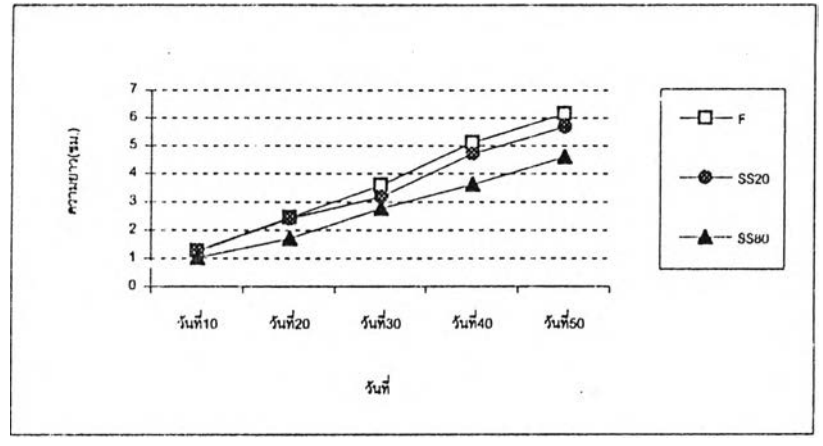
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองทันทีของชุดดินกำแพงแสน



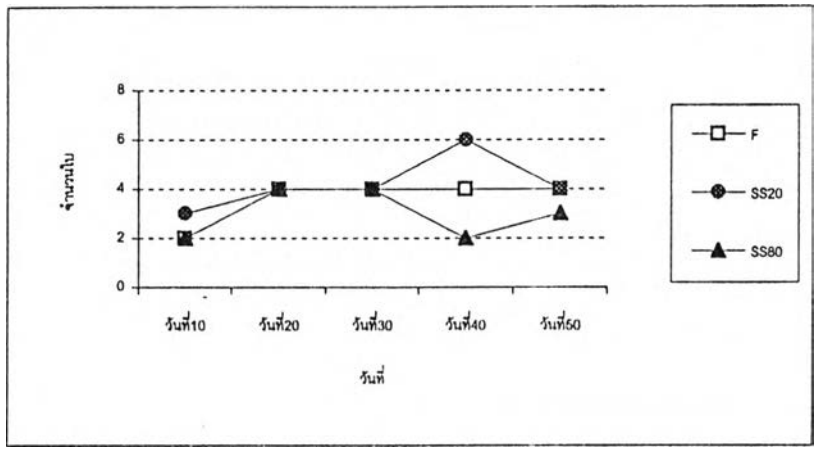


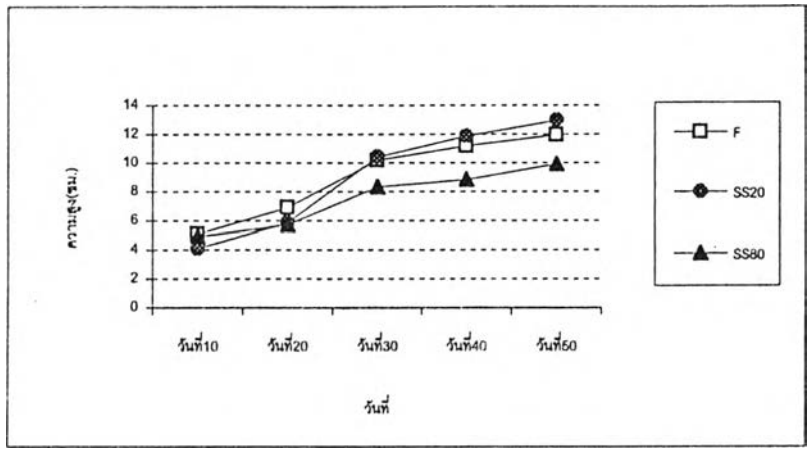


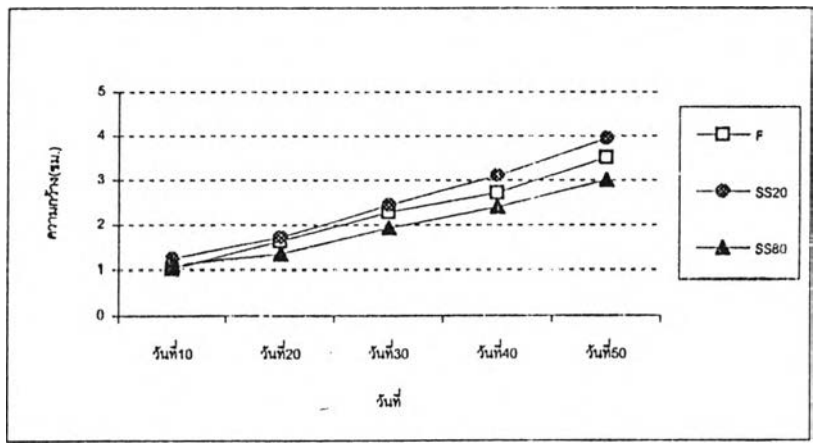


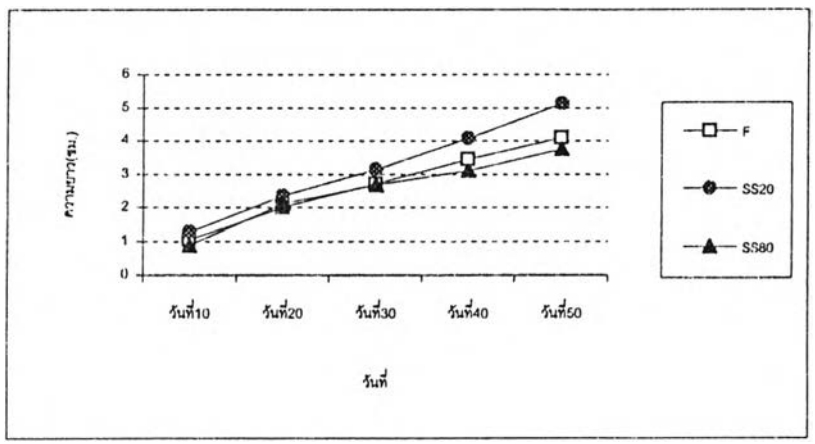
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังจากทิ้งช่วง 25 วันของชุดดินสระบุรี



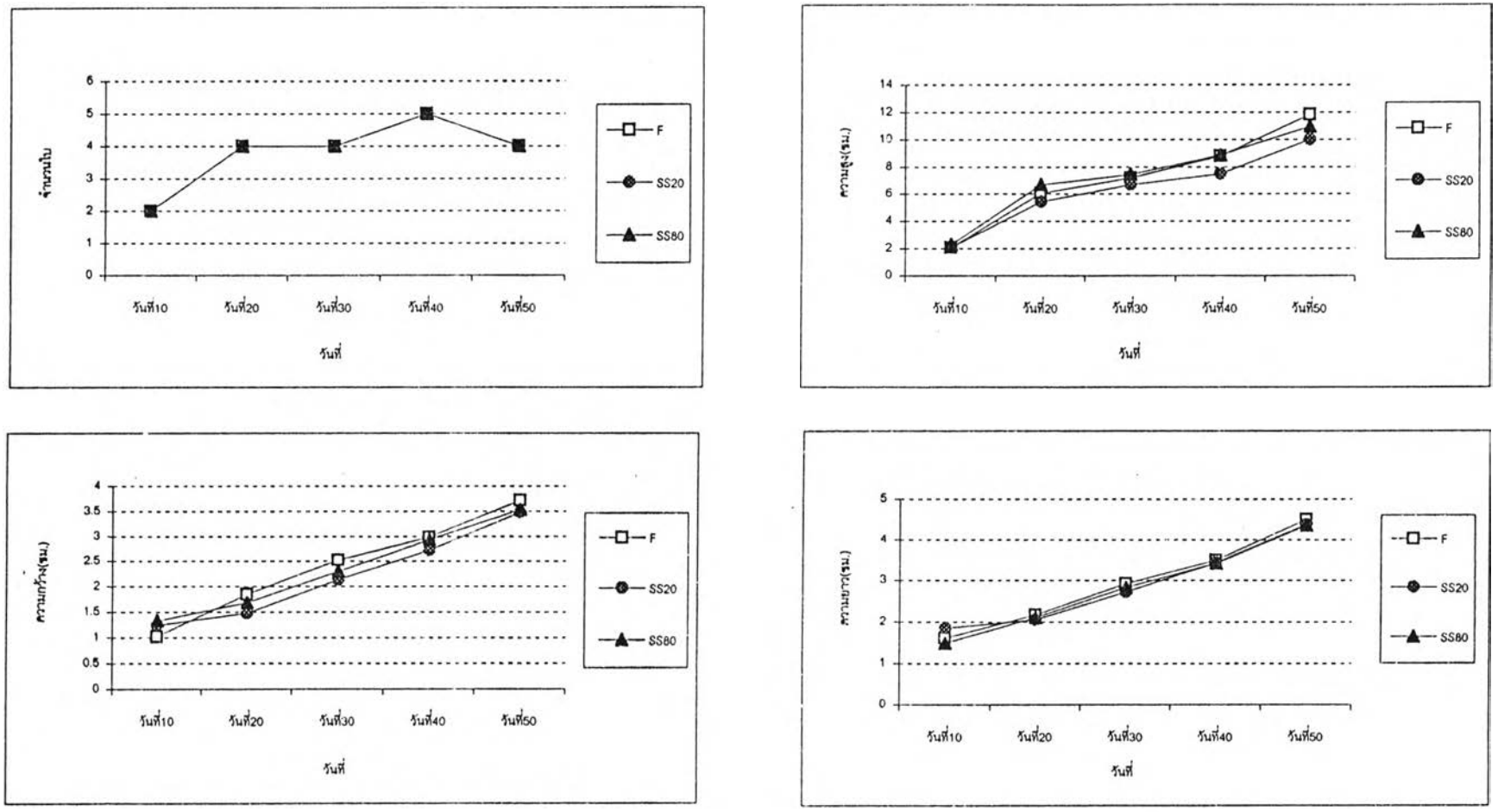






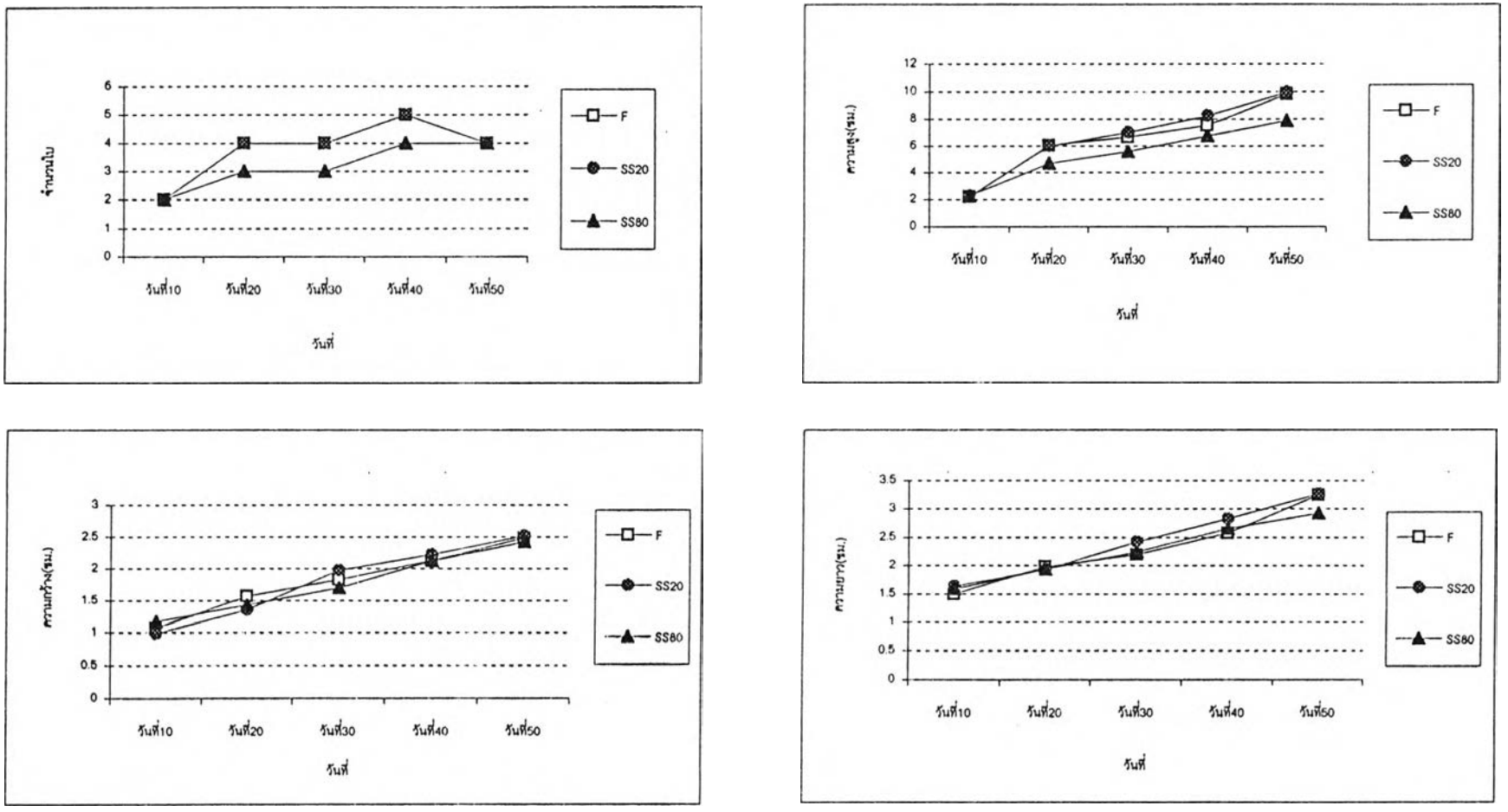
F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังจากทิ้งช่วง 25 วันของชุดดินทำแพงแสน



F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองหลังจากทิ้งช่วง 50 วันของชุดดินสระบุรี



F เติมปุ๋ยเคมี SS20 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ SS80 เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์

รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังจากทิ้งช่วง 50 วันของชุดดินกำแพงแสน