

## ผลและวิจารณ์

การศึกษาการใช้ประโยชน์ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียในแปลงปลูกพืชผักสวนครัว ประกอบด้วยการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ลงสู่ดินในห้องปฏิบัติการ และในพื้นที่เพาะปลูก รวมถึงการศึกษาผลกระทบของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อพืช และการสะสมของโลหะหนักในพืช ซึ่งใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 3 รูปแบบในการศึกษา คือ ตะกอนสด (Raw Sludge) ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Digested Sludge) และปุ๋ยหมัก (Compost Sludge) โดยทดลองปลูกพืช 3 ชนิด คือ ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk) มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill) และหอมแดง (*Allium ascalonicum* Linn.) มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

### ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการศึกษาได้ผลดังแสดงในตารางที่ 21 โดยพบว่าดินมีความชื้นค่อนข้างต่ำ และเป็นดินที่มีธาตุอาหาร (N, P, K) ที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณต่ำ แต่มีค่า pH ที่อยู่ในระดับที่เหมาะสมในการปลูกพืช คือ มีค่าค่อนข้างเป็นกลาง (pH เฉลี่ย 6.91) และค่า Cation Exchange Capacity (CEC) ในดินมีค่า 22.50 cmol/kg ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง โดยที่ค่า CEC ของดินเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการรองรับโลหะหนักของดินในพื้นที่นั้นๆ ดังนั้น ดินที่ใช้ในการวิจัยจึงมีความสามารถในการรองรับโลหะหนักได้ดี (U.S. EPA, 1983)

ส่วนในตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 แห่ง คือ ราษฎร์บูรณะ และหนองแขม ซึ่งเป็นตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ตามลำดับ รวมทั้งปุ๋ยหมัก ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ นั้นมีความชื้นค่อนข้างสูง ยกเว้นปุ๋ยหมักที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ และมีธาตุอาหาร (N, P, K) ที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณที่สูง โดยที่มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 2.52, 2.26 และ 2.32 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.32, 1.30 และ 1.56 ตามลำดับ และมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 22.60, 23.62 และ 30.42 ตามลำดับ เพื่อพิจารณาสัณฐานภาพในการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์เมื่อใส่ลงสู่ดิน จำเป็นต้องพิจารณาค่า C/N ratio ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 8.97, 10.45 และ 30.42 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์มีสัณฐานภาพในการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ค่อนข้างสูง ยกเว้นปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีค่า C/N ratio มากกว่า 30 (Henry *et al.*, 1999) สำหรับปริมาณโลหะหนักที่พบในตะกอนสด ตะกอน

ที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดของปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่มีอยู่ในตะกอนจุลินทรีย์ที่สามารถใส่ลงในดินได้จากตารางที่ 11 ซึ่งเป็นผลจากการศึกษาของ Asian Institute technology (1998) โดยที่พิจารณาพร้อมกับแนวทางที่กำหนดของ Water and Rivers Commission (2002) ซึ่งกำหนดขีดจำกัดของทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) เท่ากับ 900, 20, 1,000, 3,000, 400 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกอนจุลินทรีย์แห่งผลการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณของทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) ในตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าเกินกว่าขีดจำกัดที่ได้มีการกำหนดไว้ ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบในปุ๋ยหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานใน Compost Quality Standard & Guidelines (Brinton, 2000) ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นของทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) ไม่เกิน 100, 5, 150, 400, 60 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมักแห่ง พบว่า ปริมาณของทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) มีค่าเกินกว่าขีดจำกัดที่ได้มีการกำหนดไว้

ตารางที่ 21 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์

| ลักษณะสมบัติ       | ดิน                  | ราษฏร์ปุระณะ<br>(Raw Sludge) | หนองแขม<br>(Digested Sludge) | ปุ๋ยหมัก<br>(Compost Sludge) |
|--------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Bulk Density, kg/L | 1.09 ( $\pm 0.04$ )  | 0.98 ( $\pm 0.03$ )          | 0.91 ( $\pm 0.08$ )          | 0.82 ( $\pm 0.08$ )          |
| MC, %              | 7.15 ( $\pm 0.14$ )  | 77.58 ( $\pm 4.94$ )         | 80.75 ( $\pm 7.86$ )         | 47.53 ( $\pm 5.24$ )         |
| TS, %              | 92.85 ( $\pm 5.30$ ) | 22.42 ( $\pm 4.60$ )         | 19.25 ( $\pm 6.04$ )         | 52.47 ( $\pm 5.22$ )         |
| pH                 | 6.91 ( $\pm 0.60$ )  | 8.07 ( $\pm 0.13$ )          | 6.50 ( $\pm 0.36$ )          | 7.02 ( $\pm 0.24$ )          |
| EC, mS/cm          | 1.15 ( $\pm 0.14$ )  | 0.59 ( $\pm 0.03$ )          | 0.60 ( $\pm 0.01$ )          | 0.87 ( $\pm 0.06$ )          |
| VS, %TS            | 21.26 ( $\pm 3.36$ ) | 40.68 ( $\pm 1.46$ )         | 42.52 ( $\pm 3.04$ )         | 54.76 ( $\pm 6.92$ )         |
| Ash, %TS           | 78.74 ( $\pm 3.36$ ) | 59.32 ( $\pm 1.88$ )         | 57.48 ( $\pm 3.04$ )         | 45.24 ( $\pm 6.92$ )         |
| Carbon, %TS        | 11.81 ( $\pm 1.86$ ) | 22.60 ( $\pm 0.81$ )         | 23.62 ( $\pm 1.68$ )         | 30.42 ( $\pm 3.50$ )         |
| TKN, %TS           | 0.13 ( $\pm 0.01$ )  | 2.52 ( $\pm 0.06$ )          | 2.26 ( $\pm 0.06$ )          | 2.32 ( $\pm 0.04$ )          |
| Organic N, %TS     | 0.12 ( $\pm 0.01$ )  | 2.46 ( $\pm 0.06$ )          | 2.22 ( $\pm 0.06$ )          | 2.30 ( $\pm 0.03$ )          |

ตารางที่ 21 (ต่อ)

| ลักษณะสมบัติ            | ดิน                   | ราษฏร์ปุระ<br>(Raw Sludge) | หนองแขม<br>(Digested Sludge) | ปุ๋ยหมัก<br>(Compost Sludge) |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $\text{NH}_4^+$ (mg/kg) | 1.18 ( $\pm 0.16$ )   | 622.15 ( $\pm 45.48$ )     | 410.94 ( $\pm 16.06$ )       | 30.46 ( $\pm 7.36$ )         |
| $\text{NO}_3^-$ (mg/kg) | 1.98 ( $\pm 0.04$ )   | 125.48 ( $\pm 7.22$ )      | 151.61 ( $\pm 7.44$ )        | 105.23 ( $\pm 7.84$ )        |
| C/N ratio               | 90.85 ( $\pm 26.28$ ) | 8.97 ( $\pm 0.30$ )        | 10.45 ( $\pm 0.98$ )         | 13.11 ( $\pm 1.72$ )         |
| Total P, %              | 0.37 ( $\pm 0.06$ )   | 1.32 ( $\pm 0.04$ )        | 1.30 ( $\pm 0.07$ )          | 1.56 ( $\pm 0.10$ )          |
| Total K, %              | 0.09 ( $\pm 0.01$ )   | 0.57 ( $\pm 0.01$ )        | 0.25 ( $\pm 0.01$ )          | 0.79 ( $\pm 0.02$ )          |
| Cu (mg/kg)              | 10.54 ( $\pm 4.97$ )  | 1,218 ( $\pm 5.32$ )       | 936.72 ( $\pm 5.83$ )        | 322.63 ( $\pm 0.71$ )        |
| Cd (mg/kg)              | 0.05 ( $\pm 15.26$ )  | 10 ( $\pm 30.15$ )         | 5 ( $\pm 2.50$ )             | 0.36 ( $\pm 0.01$ )          |
| Pb (mg/kg)              | 3.29 ( $\pm 2.98$ )   | 268.33 ( $\pm 9.85$ )      | 272.27 ( $\pm 5.53$ )        | 108.49 ( $\pm 2.50$ )        |
| Zn (mg/kg)              | 8.96 ( $\pm 5.59$ )   | 1,093.67 ( $\pm 7.94$ )    | 2,272.27 ( $\pm 2.50$ )      | 716.27 ( $\pm 3.41$ )        |
| Ni (mg/kg)              | 6.04 ( $\pm 12.03$ )  | 724.33 ( $\pm 14.83$ )     | 691.09 ( $\pm 8.33$ )        | 257.67 ( $\pm 3.21$ )        |
| Cr (mg/kg)              | 4.82 ( $\pm 15.64$ )  | 1,482.17 ( $\pm 23.12$ )   | 1,649.13 ( $\pm 10.01$ )     | 652.75 ( $\pm 3.93$ )        |
| CEC, cmol/kg            | 22.50                 | -                          | -                            | -                            |
| สี                      | น้ำตาล                | น้ำตาล-เทา                 | เทา-ดำ                       | น้ำตาล-ดำ                    |
| กลิ่น                   | ไม่มี                 | ไม่มี                      | ไม่มี                        | ไม่มี                        |

### ปริมาณการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละแปลงปลูก

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก มีค่า ของแข็งรวม (Total Solid) เท่ากับ ร้อยละ 22.42, 19.25 และ 52.47 ตามลำดับ และมีค่า TKN เท่ากับ ร้อยละ 2.52, 2.26 และ 2.32 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณของไนโตรเจนที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มีค่าประมาณร้อยละ 70 ของ ปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในดิน และจากลักษณะสมบัติข้างต้นสามารถคำนวณปริมาณการใส่ ตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ ตามปริมาณความต้องการของพืชแต่ละชนิดที่ใช้ในการศึกษาดัง แสดงในตารางที่ 22 และปริมาณการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละแปลงแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 22 ปริมาณความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชที่ใช้ในการศึกษาแต่ละชนิด

| ชนิดพืช       | ความต้องการธาตุไนโตรเจน (g/m <sup>2</sup> ) | ความต้องการธาตุไนโตรเจน (g/plot) <sup>1</sup> |
|---------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ผักบุ้งจีน    | 12.50                                       | 4.50                                          |
| มะเขือเทศสีดา | 22.50                                       | 8.10                                          |
| หอมแดง        | 28.50                                       | 10.26                                         |

<sup>1</sup> แปลงปลูกมีขนาด 0.36 m<sup>2</sup>

ที่มา: เมืองทอง ทวนทวี (2532); อุดม โกสยสุก (2537)

หลังจากใส่ตะกอนจุลินทรีย์ลงในแปลงปลูกแล้วจึงปล่อยให้ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารจากตะกอนจุลินทรีย์ลงสู่ดินโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 4 - 5 สัปดาห์ ก่อนทำการปลูกพืช ยกเว้น ปุ๋ยหมักที่สามารถปลูกพืชได้ทันทีหลังการใส่ปุ๋ย ส่วนในแปลงที่ต้องการเพิ่มปริมาณโลหะหนักให้เป็น 1 เท่า หรือเป็น 2 เท่าของอัตราในการสะสมสูงสุดที่ยอมรับได้ของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) โดยที่อัตราการสะสมสูงสุดที่ยอมรับได้ของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดิน มีค่า 100 และ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้งตามลำดับ ดังปรากฏในตารางที่ 11

ตารางที่ 23 แปลงเพาะปลูกและปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ในแปลงปลูก (กิโลกรัม)

|   |    |      |      |      |     |      |     |     |      |     |     |      |     |      |
|---|----|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|
| A | AW | ARNW | ADNW | ACNW | RWN | RW2N | RWH | DWN | DW2N | DWH | CWN | CW2N | CWH | RS2H |
|   |    | 1.2  | 1.5  | 0.6  | 1.2 | 2.3  | 1.2 | 1.5 | 3.0  | 1.5 | 0.6 | 1.2  | 0.6 | 2.6  |
|   | AT | ARNT | ADNT | ACNT | RTN | RT2N | RTH | DTN | DT2N | DTH | CTN | CT2N | CTH | DS2H |
|   |    | 2.1  | 2.6  | 1.0  | 2.1 | 4.1  | 2.1 | 2.6 | 5.3  | 2.6 | 1.0 | 2.0  | 1.0 | 3.4  |
|   | AS | ARNS | ADNS | ACNS | RSN | RS2N | RSH | DSN | DS2N | DSH | CSN | CS2N | CSH | CS2H |
|   |    | 2.6  | 3.4  | 1.3  | 2.6 | 5.2  | 2.6 | 3.4 | 6.7  | 3.4 | 1.3 | 2.6  | 1.3 | 1.3  |

A = CONTROL

W = ฝักมุ้งเงิน

N = ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับความต้องการพืช

R = RAW SLUDGE (ราษฎ์บุรณะ)

T = มะเชื้อเทศ

2N = 2 เท่าของ N

D = DIGESTED SLUDGE (หนองแยม)

S = หอมแดง

H = ปริมาณโลหะหนักเท่ากับอัตราการสะสมสูงสุดของ Cd, Cr

C = COMPOST SLUDGE

2H = 2 เท่าของ H

หมายเหตุ : ตัวเลขในตาราง คือ ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก (น้ำหนักเปียก: กิโลกรัม)

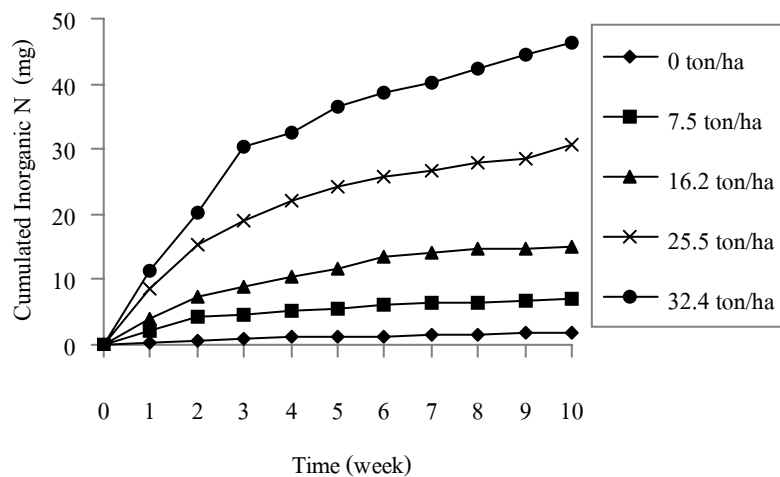
ในแปลงที่ต้องการให้มีปริมาณ โลหะหนักตามที่กำหนดต้องมีการเติมโลหะหนักสังเคราะห์

### อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการ

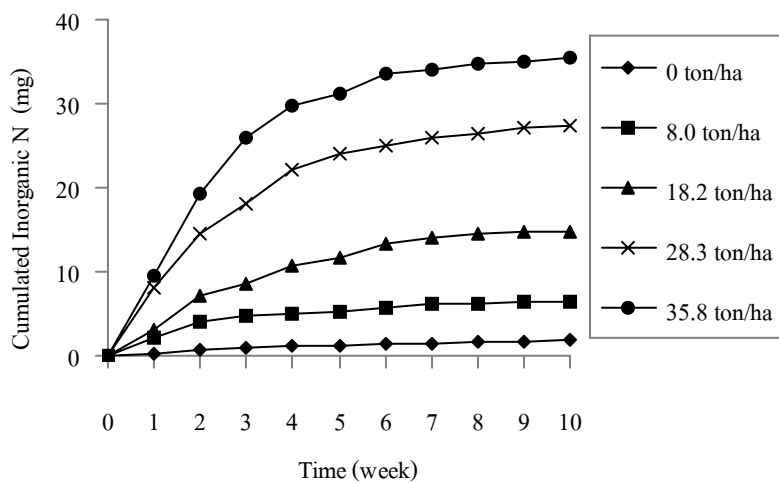
ในการศึกษาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ทำการบ่มดินทางห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ โดยใช้ดินและตะกอนจุลินทรีย์เช่นเดียวกันกับการทดลองในภาคสนาม และตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก โดยมีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในดินที่อัตรา 0-37.7 ตัน/เฮกตาร์ หรือเทียบเท่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่อัตรา 181.3-875.6 กิโลกรัมN/เฮกตาร์ และผลการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งแสดงในตารางที่ 24 พบว่า ในตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก มีการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ อยู่ในช่วง 6.9-46.2 มิลลิกรัม, 6.5-35.5 มิลลิกรัม และ 3.8-24.9 มิลลิกรัม หรือมีค่าเทียบเท่ากับร้อยละ 30.3-61.3, 28.8-46.6 และ 10.3-29.0 ของปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ โดยอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ได้จากการศึกษาของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Henry *et al.* (1999) ซึ่งแสดงในตารางที่ 8 และเมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ใน 10 สัปดาห์ ของแต่ละอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละชนิด พบว่า อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ต่ำที่สุดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในระดับที่สูงกว่า จะเห็นได้ว่า อัตราการปลดปล่อยของอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงกว่า มีค่าเพียงประมาณ 1-2 เท่า ในขณะที่มีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าประมาณ 2-4 เท่า ซึ่งเนื่องจาก เมื่อมีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์สูงในช่วงสัปดาห์แรกๆ ของการศึกษาจะเกิดกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย ทำให้เกิดการสูญเสียของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) แต่เมื่อระยะเวลาในการศึกษาผ่านไปนานพอสมควรจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ไนโตรเจนจะสูญเสียในรูปของก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) หรือก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบ่มดินและปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ แสดงในรูป 10 ถึง 12

ตารางที่ 24 อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์โดยการบ่มดินในระดับห้องปฏิบัติการ

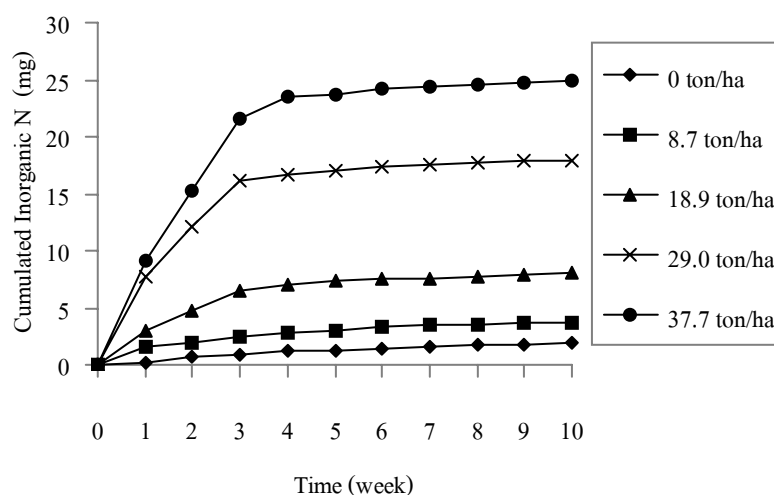
| Biosolid rate   |                        |                      | Cumulated Inorganic N mineralized (mg) |        |        |        |        |        |        |        |        |         | Inorganic N mineralized |      |
|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|------|
| Type of Sludge  | Dry weight<br>(ton/ha) | Total N<br>(kg N/ha) | 1 week                                 | 2 week | 3 week | 4 week | 5 week | 6 week | 7 week | 8 week | 9 week | 10 week | at 10 week              |      |
|                 |                        |                      |                                        |        |        |        |        |        |        |        |        |         | mg                      | %    |
| Soil            | 0                      | -                    | 0.3                                    | 0.6    | 0.9    | 1.2    | 1.2    | 1.3    | 1.5    | 1.7    | 1.8    | 1.9     | -                       | -    |
| Raw Sludge      | 7.5                    | 188.3                | 2.3                                    | 4.2    | 4.6    | 5.3    | 5.6    | 6.1    | 6.3    | 6.5    | 6.7    | 6.9     | 5.1                     | 30.3 |
|                 | 16.2                   | 408.0                | 4.0                                    | 7.3    | 8.9    | 10.3   | 11.6   | 13.6   | 14.1   | 14.6   | 14.9   | 15.1    | 13.2                    | 36.5 |
|                 | 25.5                   | 643.5                | 8.6                                    | 15.2   | 18.9   | 22.1   | 24.3   | 25.6   | 26.8   | 28.0   | 28.6   | 30.7    | 28.8                    | 50.3 |
|                 | 32.4                   | 816.1                | 11.4                                   | 20.4   | 30.3   | 32.4   | 36.5   | 38.7   | 40.3   | 42.2   | 44.5   | 46.2    | 44.3                    | 61.3 |
| Digested Sludge | 8.0                    | 181.3                | 2.1                                    | 3.9    | 4.7    | 5.0    | 5.3    | 5.7    | 6.1    | 6.3    | 6.4    | 6.5     | 4.7                     | 28.8 |
|                 | 18.2                   | 410.9                | 3.1                                    | 7.2    | 8.7    | 10.7   | 11.6   | 13.5   | 14.0   | 14.6   | 14.7   | 14.9    | 13.0                    | 35.4 |
|                 | 28.3                   | 640.5                | 8.1                                    | 14.6   | 18.1   | 22.1   | 23.9   | 25.1   | 26.1   | 26.5   | 27.2   | 27.5    | 25.6                    | 41.3 |
|                 | 35.8                   | 809.7                | 9.6                                    | 19.3   | 26.0   | 29.7   | 31.1   | 33.7   | 34.0   | 34.7   | 35.0   | 35.5    | 33.7                    | 46.6 |
| Compost Sludge  | 8.7                    | 202.1                | 1.6                                    | 2.0    | 2.5    | 2.8    | 3.1    | 3.4    | 3.5    | 3.5    | 3.7    | 3.8     | 1.9                     | 10.3 |
|                 | 18.9                   | 437.8                | 3.0                                    | 4.8    | 6.6    | 7.0    | 7.3    | 7.5    | 7.6    | 7.8    | 7.9    | 8.0     | 6.2                     | 15.5 |
|                 | 29.0                   | 673.6                | 7.7                                    | 12.0   | 16.1   | 16.6   | 17.0   | 17.3   | 17.5   | 17.7   | 17.9   | 18.0    | 16.1                    | 26.3 |
|                 | 37.7                   | 875.6                | 9.1                                    | 15.3   | 21.7   | 23.5   | 23.7   | 24.2   | 24.4   | 24.5   | 24.8   | 24.9    | 23.1                    | 29.0 |



ภาพที่ 10 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนสดตามเวลา



ภาพที่ 11 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศตามเวลา



ภาพที่ 12 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของปุ๋ยหมักตามเวลา

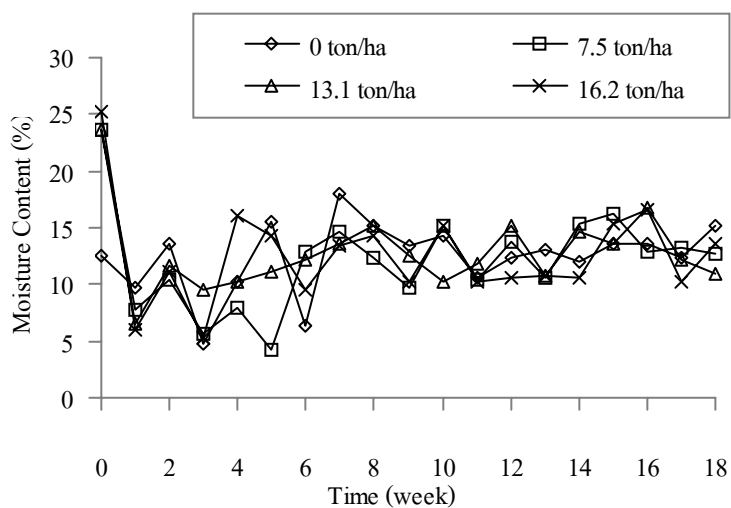
จากความสัมพันธ์จากภาพที่ 10 ถึง 12 พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด และระยะเวลาการบ่มดิน ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของแต่ละช่วงเวลาในแต่ละอัตรามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ในดินที่ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ โดยเฉพาะตะกอนสด และตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เพราะในตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด มีความคงตัวของตะกอนค่อนข้างต่ำ ซึ่งแตกต่างจากปุ๋ยหมัก แต่เมื่อพิจารณาในช่วง 2 สัปดาห์แรก ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกอัตราการใช้และชนิดของตะกอนจุลินทรีย์ และเริ่มมีปริมาณการปลดปล่อยลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มที่จะคงที่ในช่วงสุดท้ายของการทดลอง

### อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในพื้นที่เพาะปลูก

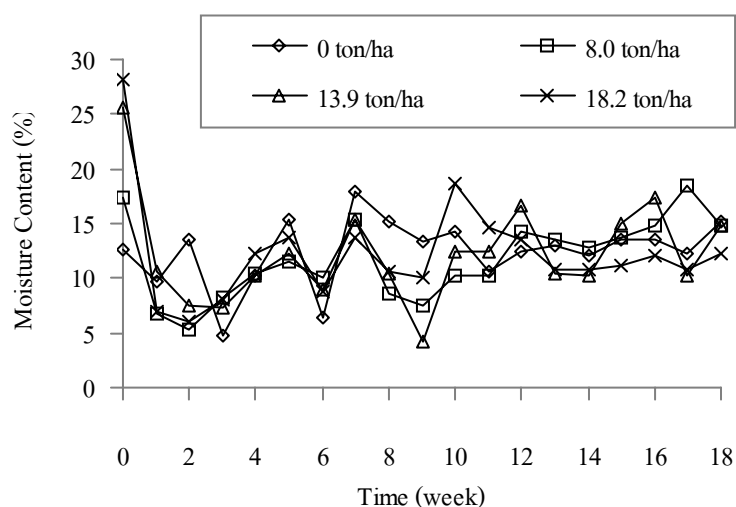
ในการศึกษาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์จากพื้นที่เพาะปลูกเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยมีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในอัตรา 0-18.9 ดัน/เฮกตาร์ หรือเทียบเท่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่อัตรา 181.3-437.8 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ และผลการศึกษาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์แสดงดังในตารางที่ 25 พบว่า ในตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก มีการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ อยู่ในช่วง 225.1-597.2, 190.3-1,030.9 และ 129.4-228.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือมีค่าเทียบเท่ากับ ร้อยละ 39.2-50.0, 28.5-57.3 และ 13.1-22.4 ของปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ โดยอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ได้จากการศึกษาของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Henry *et al.* (1999) ซึ่งแสดงในตารางที่ 8 และการใช้ตะกอนสด ยังมีอัตราการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Cogger *et al.* (1999) และ Kelling *et al.* (1977) และเมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ใน 10 สัปดาห์ ของแต่ละอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละชนิด พบว่า อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ต่ำที่สุด เปรียบเทียบกับอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในระดับที่สูงกว่า จะเห็นได้ว่า อัตราการปลดปล่อยของอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในระดับที่สูงกว่า มีค่าไม่สูงอย่างที่ควรจะเป็นทั้งที่มีอัตราการใส่ตะกอนมากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งมีเหตุผลดังต่อไปนี้ คือ อัตราการใส่กากตะกอนจุลินทรีย์ในจำนวนที่มากทำให้เกิดกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย ทำให้มีการสูญเสียของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และยังมีโอกาสเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน แต่ความชื้นในแปลงที่ทำการทดลองมีค่าในช่วงร้อยละ 4.17-28.12 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำดังแสดงภาพที่ 13 ถึง 15 จึงมีช่องว่างในดินสูงทำให้ไม่เกิดสภาพไร้อากาศ ดังนั้น จึงไม่เกิดสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) หรือก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ในการศึกษาในแปลงปลูก แต่เกิดการสูญเสียโดยการชะล้างจากน้ำฝนหรือน้ำที่ใช้รดแปลงทดลอง

ตารางที่ 25 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในพื้นที่เพาะปลูก

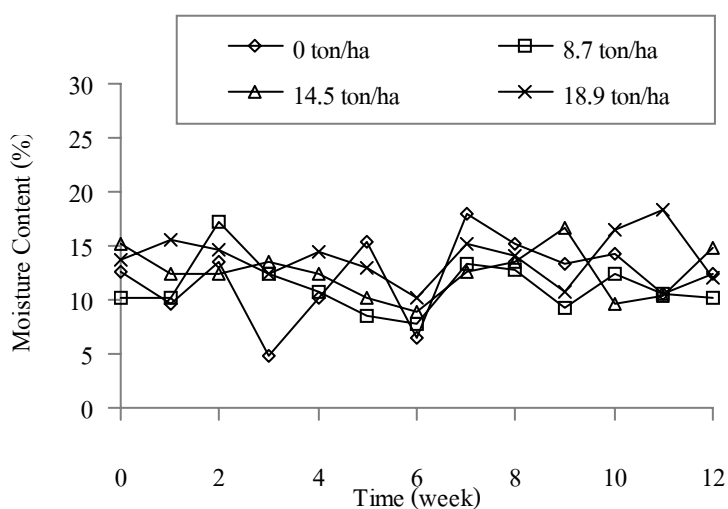
| Type of Sludge  | Applied Sludge<br>(ton/ha) | Organic N<br>at 0 week (mg/kg) | Inorganic N<br>at 10 week (mg/kg) | Mineralization Rate<br>(%) |
|-----------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Raw Sludge      | 7.5                        | 573.8                          | 225.1                             | 39.2                       |
|                 | 13.1                       | 976.7                          | 448.4                             | 45.9                       |
|                 | 16.2                       | 1,194.9                        | 597.2                             | 50.0                       |
| Digested Sludge | 8.0                        | 668.7                          | 190.3                             | 28.5                       |
|                 | 13.9                       | 1,798.7                        | 1,030.9                           | 57.3                       |
|                 | 18.2                       | 1,342.8                        | 393.6                             | 29.3                       |
| Compost Sludge  | 8.7                        | 578.5                          | 129.4                             | 22.4                       |
|                 | 14.5                       | 798.2                          | 104.2                             | 13.1                       |
|                 | 18.9                       | 1,188.0                        | 228.8                             | 19.3                       |



ภาพที่ 13 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมตะกอนสด



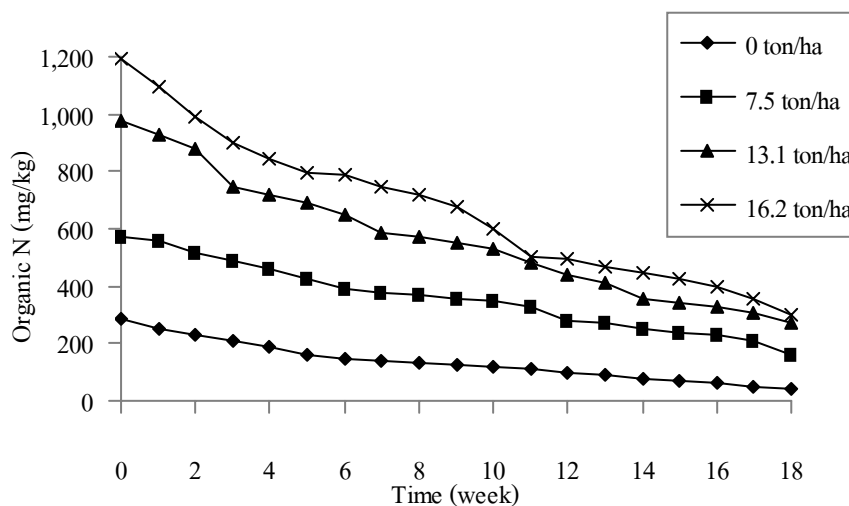
ภาพที่ 14 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



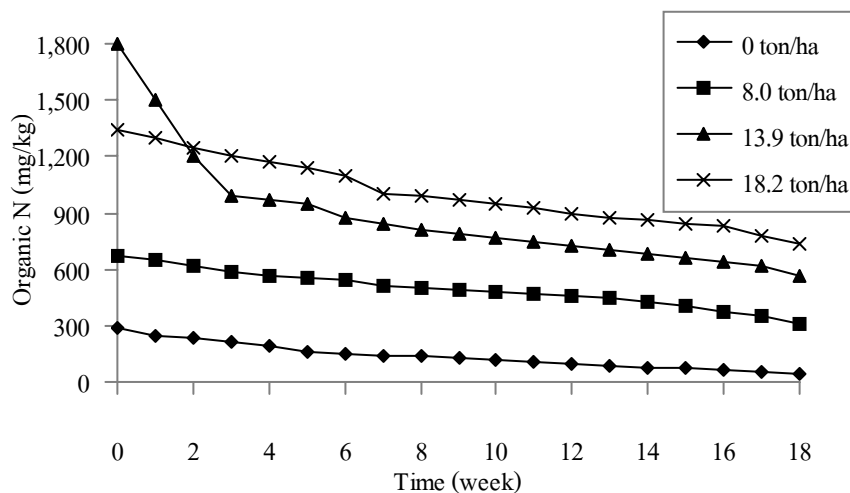
ภาพที่ 15 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมปุ๋ยหมัก (Compost Sludge)

จากความสัมพันธ์จากภาพที่ 16 ถึง 18 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ลดลงตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์พบว่า มีค่าสูง เมื่อเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ในดินที่ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ โดยเฉพาะตะกอนสด และตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เพราะในตะกอนจุลินทรีย์

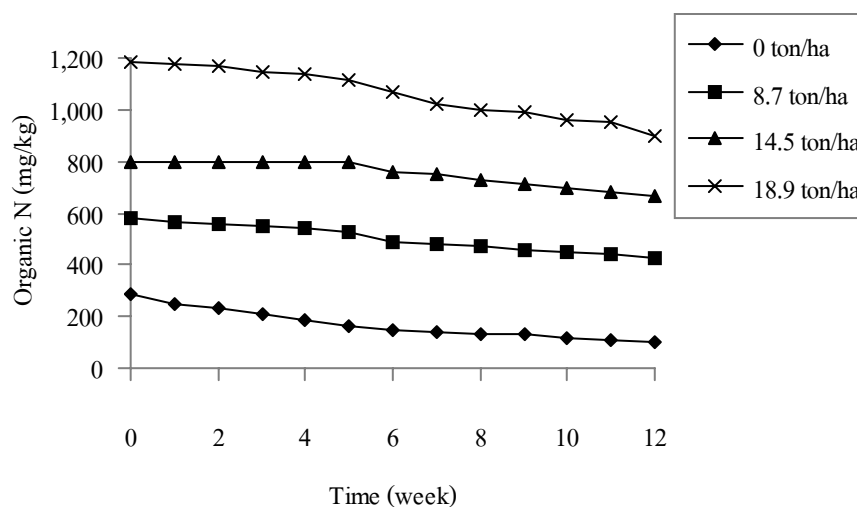
ทั้ง 2 ชนิด มีความคงตัวของตะกอนค่อนข้างต่ำ ซึ่งแตกต่างจากปุ๋ยหมัก แต่เมื่อพิจารณาในช่วงการศึกษาทั้งหมด พบว่า ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ในช่วงแรกของการศึกษามีการลดลงสูงกว่าในช่วงหลังของการศึกษาที่มีแนวโน้มคงที่



ภาพที่ 16 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมตะกอนสด



ภาพที่ 17 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



ภาพที่ 18 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมปุ๋ยหมัก

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ 3 รูปแบบ ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในพื้นที่เพาะปลูก พบว่า เมื่อมีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์สูงขึ้น ไม่สามารถเพิ่มอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ลงสู่ดินให้สูงขึ้นตามไปด้วยได้ เพราะมีการสูญเสียไนโตรเจนอินทรีย์จากการชะล้างของน้ำฝน หรือน้ำที่ใช้รดแปลงทดลอง หรือการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ แต่เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์แต่ละ ชนิด พบว่า ในตะกอนสดมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์จากพื้นที่เพาะปลูกมีค่าที่สูงกว่าในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่คงตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นตะกอนสด และการผสมของตะกอนจุลินทรีย์กับดิน อาจเร่งการปลดปล่อยไนโตรเจนได้ดีขึ้น ส่วนตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับในตะกอนสด แต่มีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ต่ำกว่า เพราะมีความคงตัวมากกว่า เนื่องจากผ่านการบำบัดมาแล้ว ส่วนปุ๋ยหมักมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ของการศึกษาทั้ง 2 การทดลองค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยหมัก มีความคงตัวค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้ผลดังนี้ ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก

### อิทธิพลจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชผักสวนครัว

การศึกษาผลกระทบจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อการเจริญของพืชผักสวนครัว จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงควบคุม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติต่างๆ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งมีผลดังนี้

#### ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดินในแปลงทดสอบการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ปลูกพืช

การวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างดินในแปลงทดสอบการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ในส่วนของแปลงควบคุมที่มีการใส่ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก ไม่มีการปลูกพืช ในช่วงระยะเวลา 12-18 สัปดาห์ หลังจากการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า สมบัติทางเคมีของตัวอย่างดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids) ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids) ปริมาณคาร์บอน (C) ปริมาณ TKN ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) และปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) มีการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

#### - ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

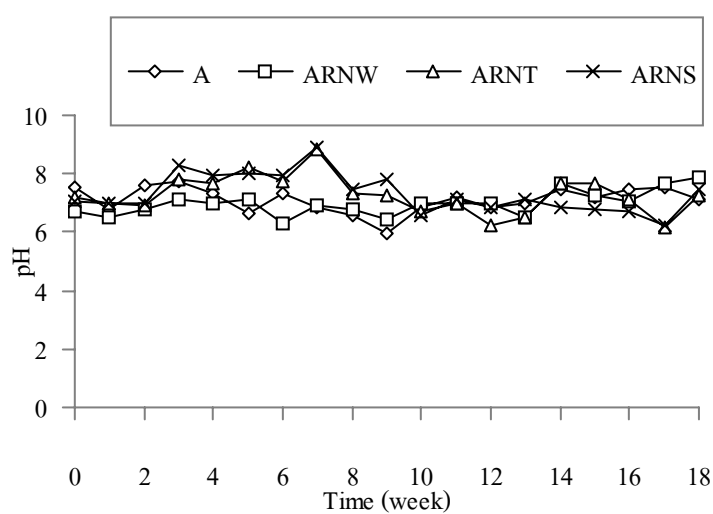
ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินโดยปกติมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งกิจกรรมนี้มีปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลหลายประการ เช่น ความชื้นของดิน อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ จากการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินพบว่า ดินที่ใส่ตะกอนสด มีสภาพเป็นกรดอ่อนถึงด่างอ่อน (ดังภาพที่ 19 ถึง 21) โดยมีแนวโน้มของ pH สูงขึ้นตามปริมาณตะกอนที่ใส่ไป ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของตะกอนสด มีค่า pH เป็นด่างอ่อน ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ใส่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 18 สัปดาห์ และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ผสมปุ๋ยหมัก มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับดินที่ใส่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยค่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในแปลงที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันสม่ำเสมอในช่วง 6.2-8.2 ซึ่งในกรณีนี้ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ไม่ได้มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเท่าไรนัก เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์และดินมีค่าค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดระยะเวลา 12-18 สัปดาห์ของดินที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์

ทั้ง 3 ชนิดจัดเป็นสภาวะที่ไม่มีปัญหาต่อการปลูกพืช โดยค่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 26

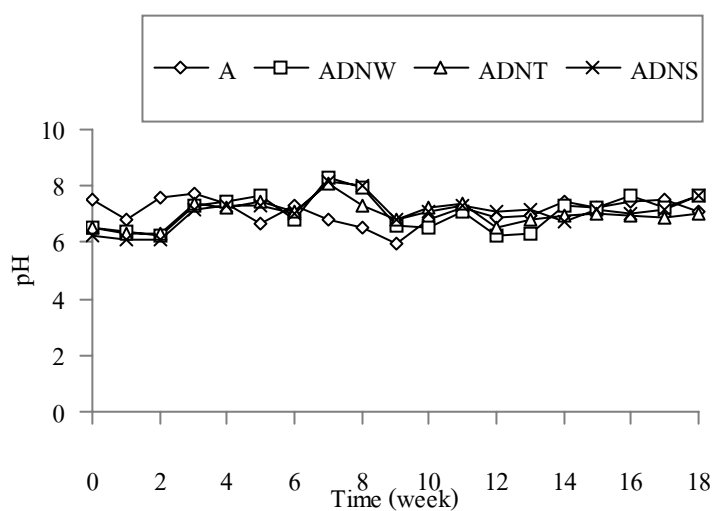
ตารางที่ 26 ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการปลูก

| พืช        | pH      |
|------------|---------|
| ผักบุ้งจีน | 6.2-6.8 |
| มะเขือเทศ  | 6.5-6.8 |
| หอมแดง     | 5.0-6.8 |

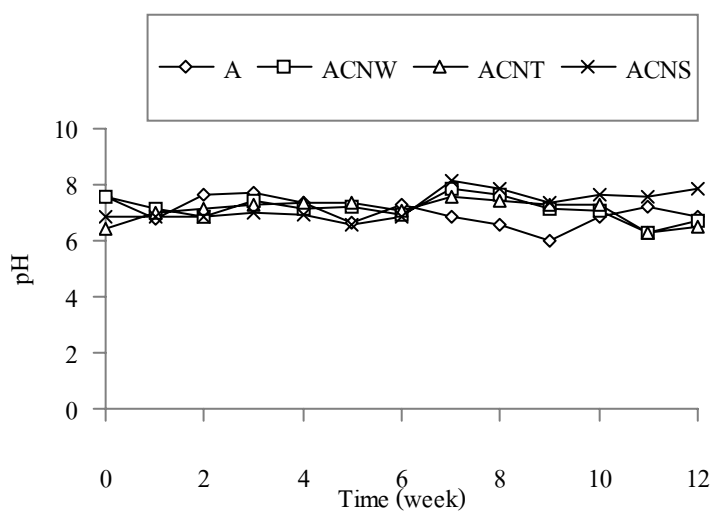
ที่มา: เมืองทอง ทานทวี (2532); อุดม โกสยสุก (2537)



ภาพที่ 19 ค่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



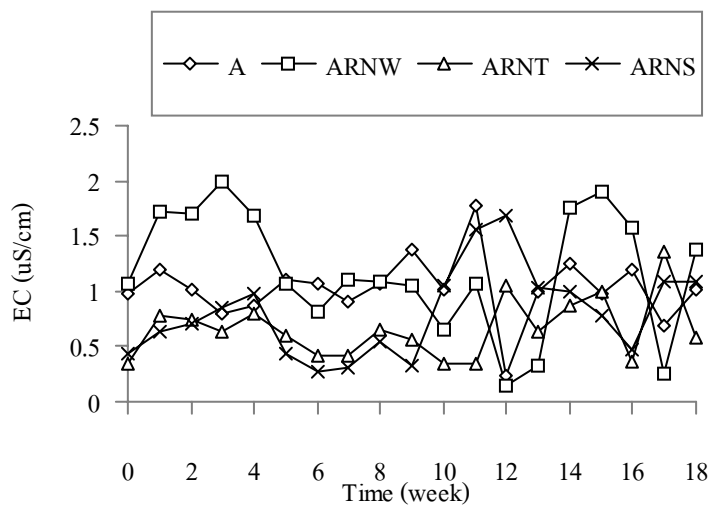
ภาพที่ 20 ค่าความเป็นกรด- ด่างของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



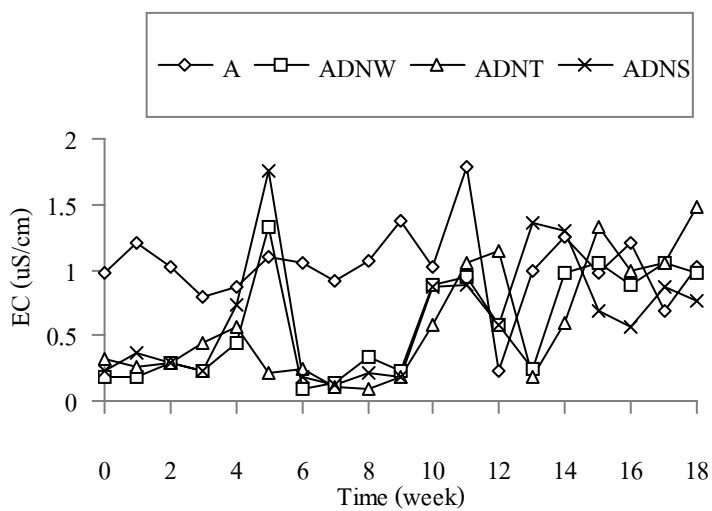
ภาพที่ 21 ค่าความเป็นกรด- ด่างของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

#### - ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

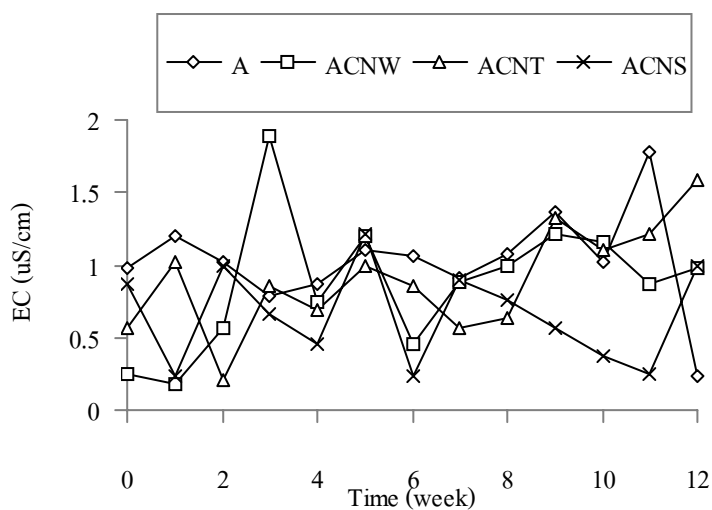
ค่าการนำไฟฟ้าในดินจะเปลี่ยนแปลงเมื่อไออนต่างๆในดินมีการเปลี่ยนแปลง จากการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า ของดินในแปลงทดสอบพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินในแปลงทดลอง ทั้งหมดต่ำกว่า 2 mS/cm ซึ่งใกล้เคียงกับสภาพดินเดิม ซึ่งไม่ส่งผลต่อการปลูกพืช ซึ่งค่าการนำไฟฟ้า ตลอดระยะเวลา 18 สัปดาห์มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 22 ถึง 24



ภาพที่ 22 ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



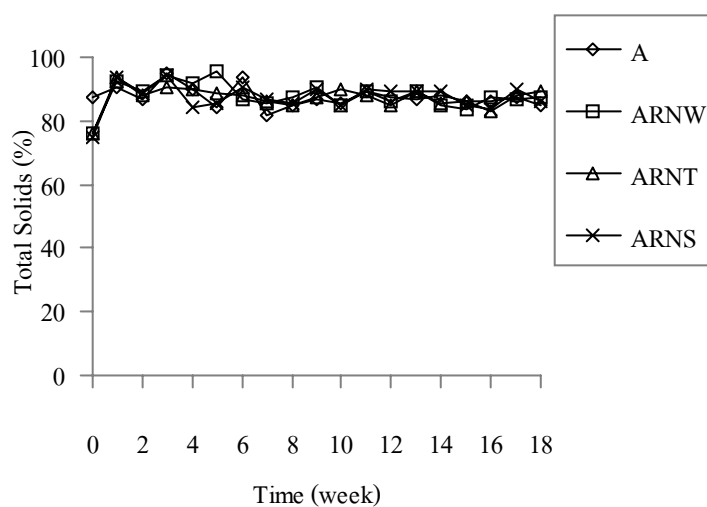
ภาพที่ 23 ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



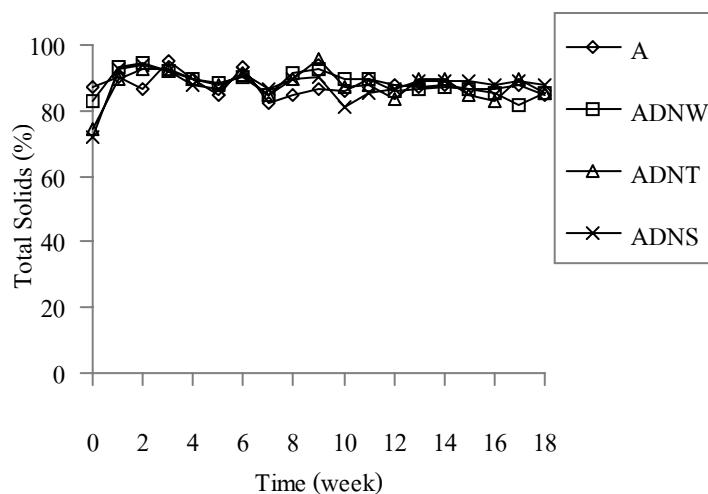
ภาพที่ 24 ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

- ปริมาณของแข็งรวม (TS)

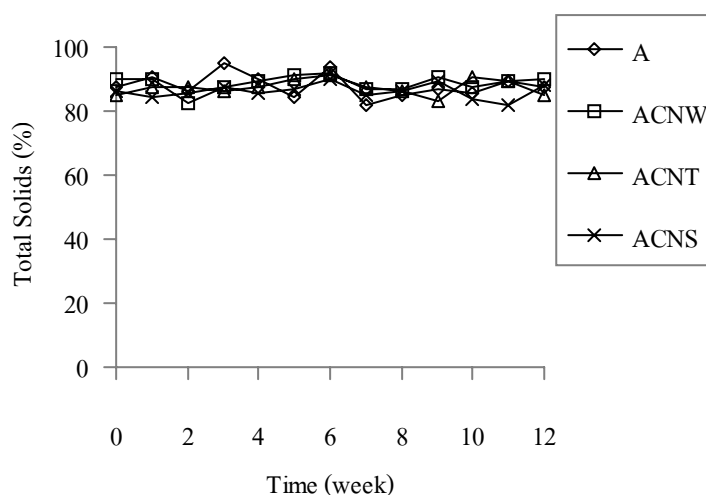
ปริมาณของแข็งรวมสัมพันธ์ผกผันกับความชื้นในดิน ซึ่งพบว่าในแปลงทดสอบมีค่าของแข็งต่ำในช่วงระยะเวลาสัปดาห์แรก (อยู่ในช่วงร้อยละ 70-83) หลังจากนั้นค่าปริมาณของแข็งรวม มีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 84-96 สอดคล้องกับปริมาณความชื้นในดิน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของแข็งรวม แสดงดังภาพที่ 25 ถึง 27



ภาพที่ 25 ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



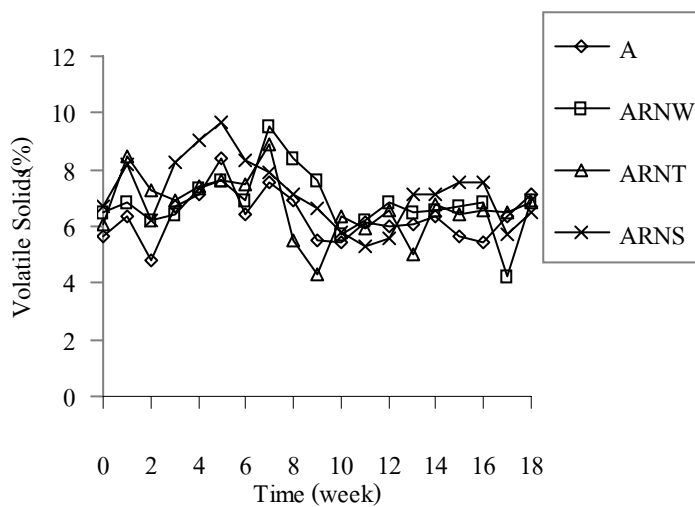
ภาพที่ 26 ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



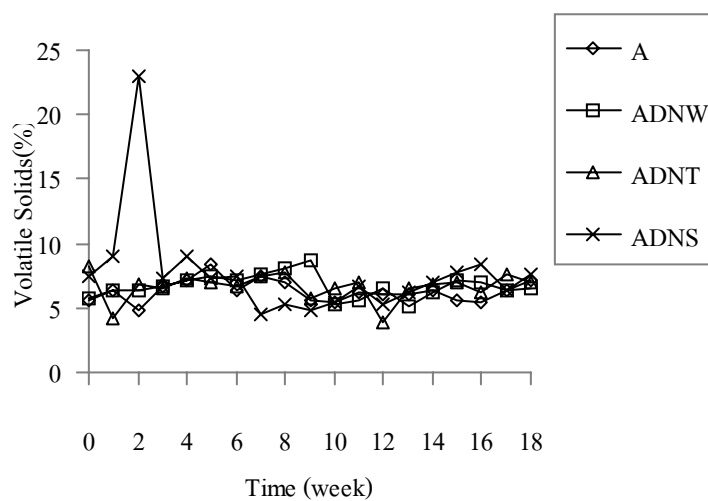
ภาพที่ 27 ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

- ปริมาณของแข็งระเหย (VS)

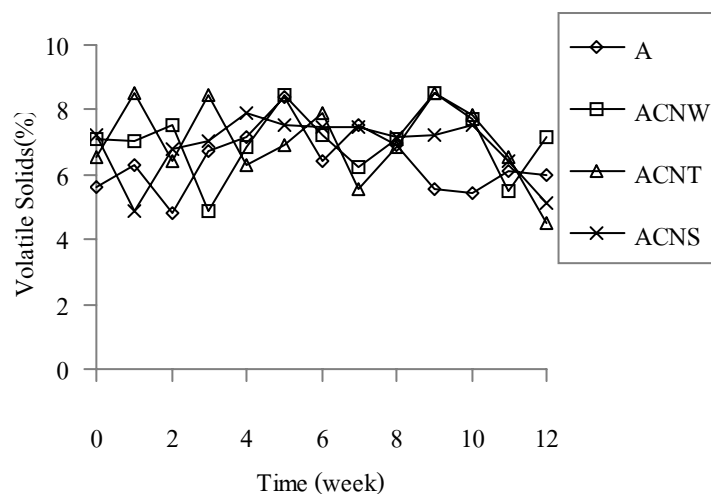
ปริมาณของแข็งระเหยในแปลงทดสอบมีค่าต่ำและใกล้เคียงกับดินเดิมโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 7-9 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใส่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ลงในดินไม่มีผลต่อการปริมาณสารอินทรีย์ในดินอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเดิม (ร้อยละ 7.5-8.5) ทั้งนี้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ลงในแปลงมีปริมาณสัดส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งระเหย ดังแสดงในภาพที่ 28 ถึง 30



ภาพที่ 28 ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



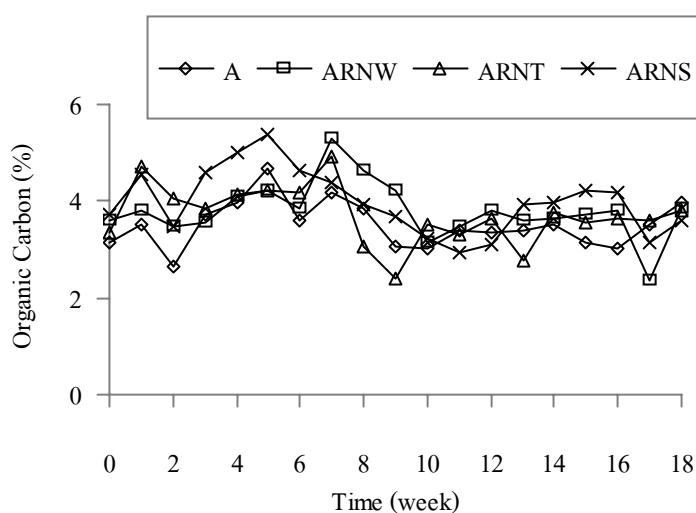
ภาพที่ 29 ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



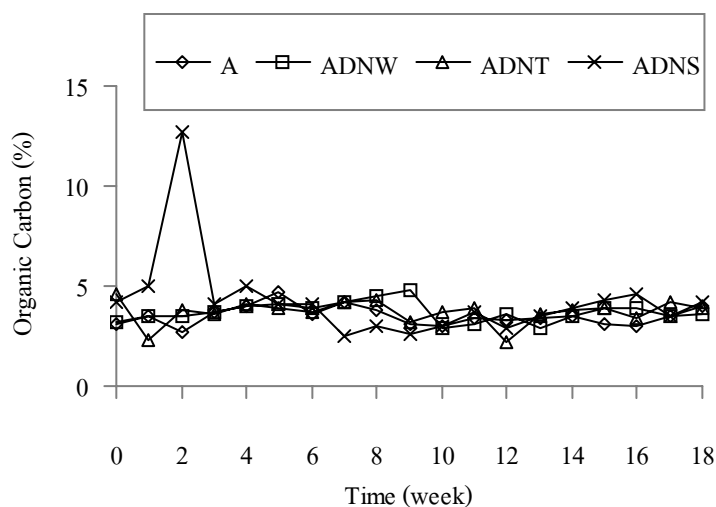
ภาพที่ 30 ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

- ปริมาณคาร์บอน (C)

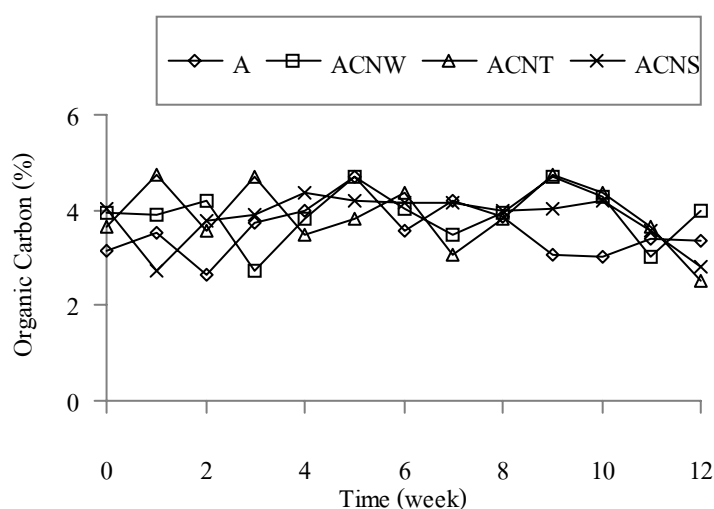
ปริมาณคาร์บอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งระเหย (สารอินทรีย์) ซึ่งพบว่าปริมาณคาร์บอนในแปลงทดสอบปริมาณมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.5-5.5 ใกล้เคียงกับดินเดิม แสดงให้เห็นว่าการใส่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ลงในดินไม่มีผลต่อการปริมาณสารอินทรีย์ในดิน อย่างมีนัยสำคัญสอดคล้องกับผลของปริมาณของแข็งระเหย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอน ดังแสดงในภาพที่ 31 ถึง 33



ภาพที่ 31 ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



ภาพที่ 32 ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

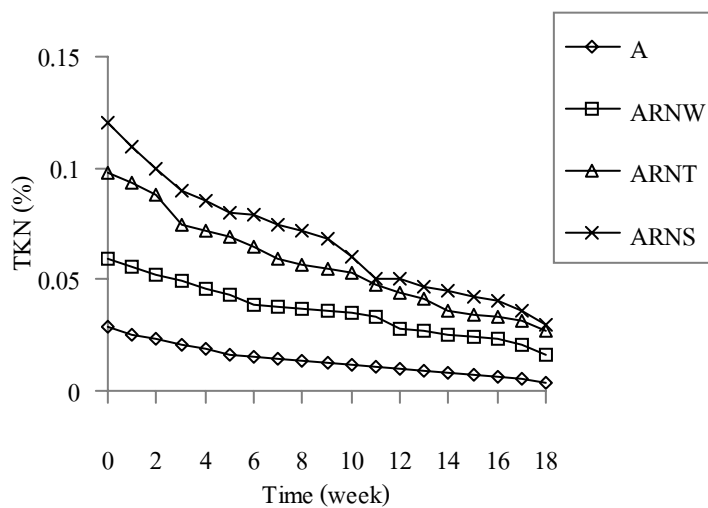


ภาพที่ 33 ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

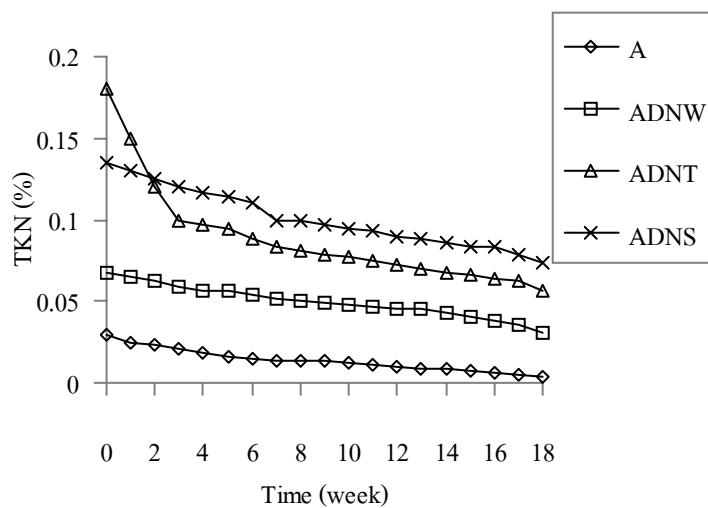
#### - ปริมาณ TKN

ปริมาณ TKN มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา เนื่องจากมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินและปริมาณไนโตรเจนแปรผันโดยตรงกับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่และปริมาณไนโตรเจนในตะกอนจุลินทรีย์ โดยแปลงที่มีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ หรือปริมาณไนโตรเจนที่ผสมลงในแปลงต่ำมีค่าปริมาณ TKN ต่ำกว่าแปลงที่มีอัตราการใส่ตะกอนจุลินทรีย์หรือปริมาณไนโตรเจนที่

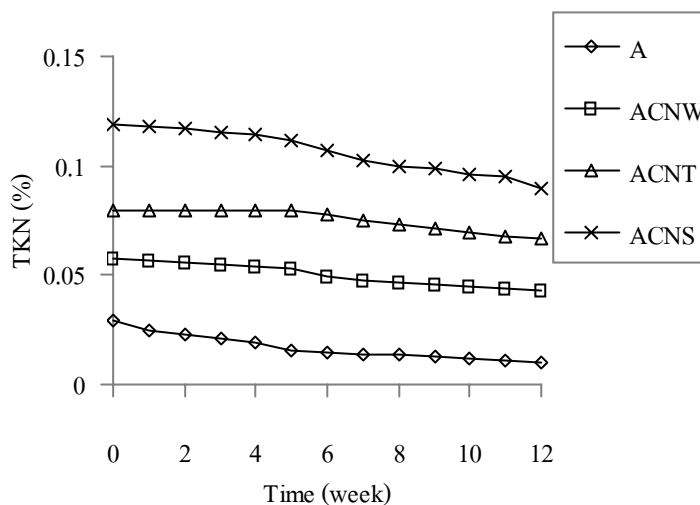
ผสมลงในแปลงสูงกว่าดังแสดงในภาพที่ 34 ถึง 36 โดยที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ในแต่ละแปลงแสดงในตารางที่ 23



ภาพที่ 34 ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



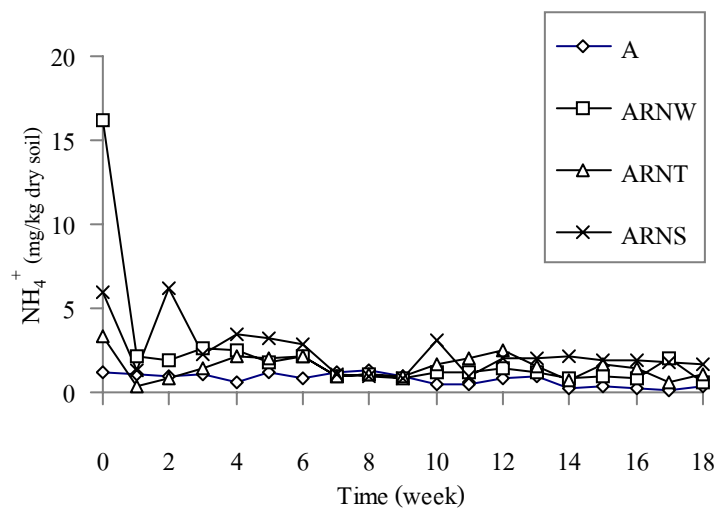
ภาพที่ 35 ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



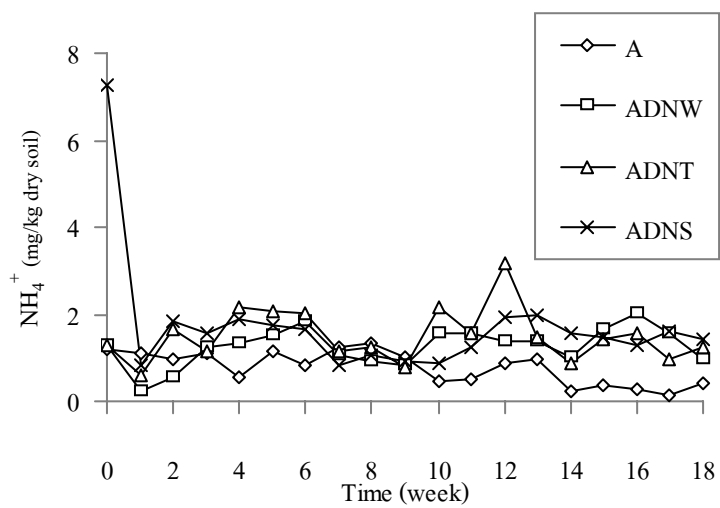
ภาพที่ 36 ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

- ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ )

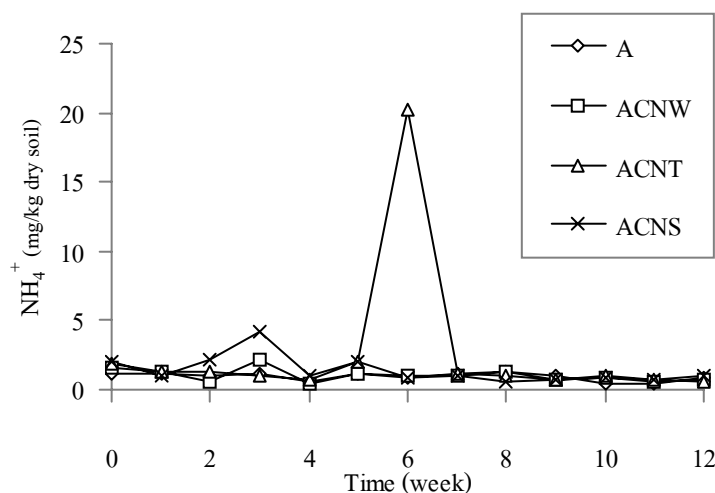
แอมโมเนียมเป็นผลิตภัณฑ์แรกของปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายไนโตรเจนอินทรีย์ ดังนั้นจึงพบปริมาณแอมโมเนียมในดินมีค่าสูงในสัปดาห์แรก ยกเว้นในกรณีของปุ๋ยหมักที่มีปริมาณแอมโมเนียมค่อนข้างต่ำตั้งแต่ในช่วงแรก ทั้งนี้เนื่องมาจากมีคุณสมบัติที่มีความคงตัว และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ไถลงไปทั้ง 3 รูปแบบ อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมสามารถนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่า ไนตริฟิอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) และถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรต ตามลำดับ ดังนั้นในช่วงภายหลัง ปริมาณแอมโมเนียมจึงมีค่าลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ผ่านไปในทุกแปลงทดสอบ โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียม ดังแสดงในภาพที่ 37 ถึง 39



ภาพที่ 37 ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



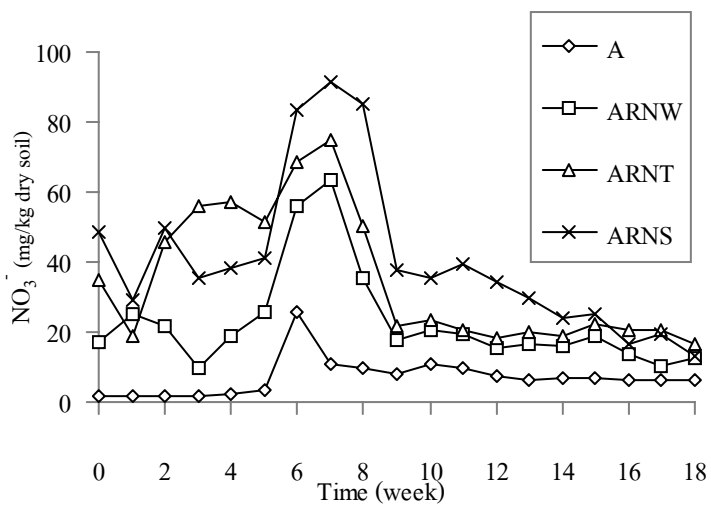
ภาพที่ 38 ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



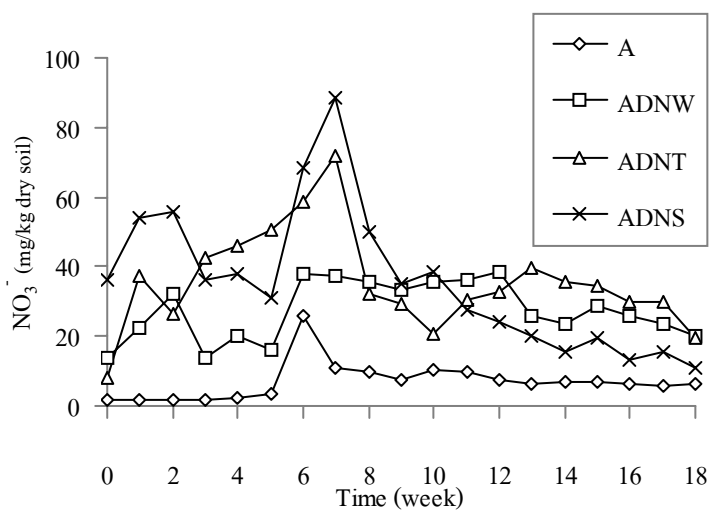
ภาพที่ 39 ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

- ปริมาณไนเตรต (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

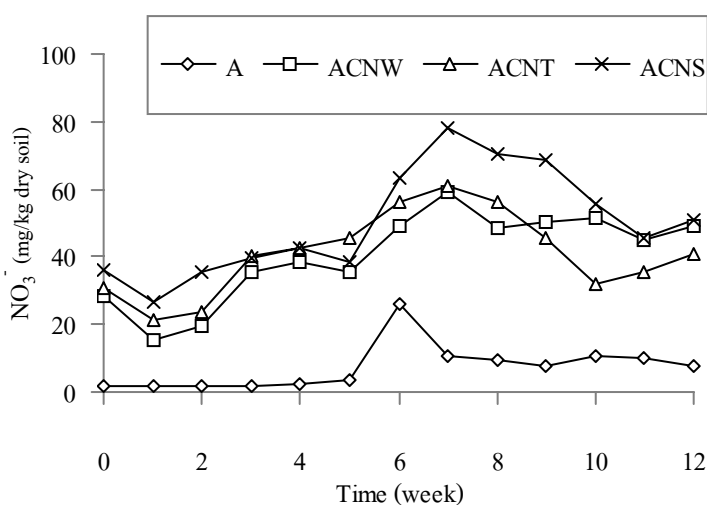
จากการทดสอบตรวจวัดปริมาณไนเตรตในดินของแปลงทดสอบพบว่ามีค่าต่ำในสัปดาห์แรก เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่ม Nitrifying bacteria มีการเจริญเติบโตช้ามาก (4-6 สัปดาห์) ซึ่งพบว่าปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มสูงขึ้นค่าสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 4-6 อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> เป็น NO<sub>3</sub><sup>-</sup> นอกจากนี้แนวโน้มของไนเตรตมีปริมาณสูงขึ้นตามปริมาณตะกอนที่ใส่ลงไปดิน และไม่มีความแตกต่างในเชิงปริมาณระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามพบไนเตรต ลดลงอย่างฉับพลันในทุกแปลงในช่วงสัปดาห์ที่ 18 คาดว่าอาจเกิดจากการชะล้างของฝน เนื่องจากไนเตรตสามารถละลายน้ำได้ดี โดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรตตลอดระยะเวลา 18 สัปดาห์ดังแสดงในภาพที่ 40 ถึง 42



ภาพที่ 40 ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด



ภาพที่ 41 ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



ภาพที่ 42 ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก

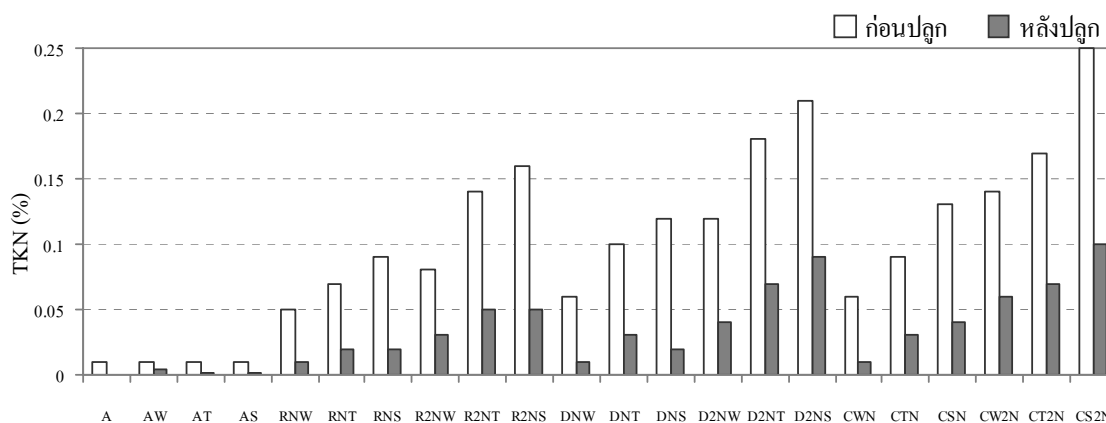
#### ลักษณะสมบัติของดินในแปลงปลูกพืชก่อนและหลังการทดลอง

การศึกษาลักษณะสมบัติของดินในแปลงปลูกพืชก่อนและหลังการทดลองในแปลงปลูกในแปลงที่ใส่ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมัก รวมทั้งแปลงที่ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ ศึกษาโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติทางเคมีที่สำคัญดังต่อไปนี้ ปริมาณ TKN ปริมาณแอมโมเนียม ปริมาณไนเตรต ปริมาณคาร์บอน และปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

##### - ปริมาณ TKN

ปริมาณของธาตุไนโตรเจนในแปลงปลูกพืชทุกชนิดมีแนวโน้มลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้นก่อนปลูกพืช ทั้งนี้เนื่องมาจากพืชใช้ธาตุไนโตรเจนในการเจริญเติบโต ซึ่งปริมาณที่ลดลงของธาตุไนโตรเจนในแปลงที่มีการใส่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราที่มีธาตุไนโตรเจนที่เทียบเท่ากับความต้องการของพืช (N) นั้นลดลงเล็กน้อย แต่ยังมีธาตุไนโตรเจนที่เหลือบ้างเนื่องจากพืชที่ปลูกส่วนมากจะใช้ประโยชน์จากธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 70 ของธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในดิน ในกรณีใส่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราที่มีธาตุไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของความต้องการของพืช (2N) นั้น พบว่า เหลือธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่ควรเหลืออยู่หลังการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช พบว่ามีปริมาณค่อนข้างต่ำโดยอาจมีผลมาจากการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากการชะละลายของน้ำฝน หรือ

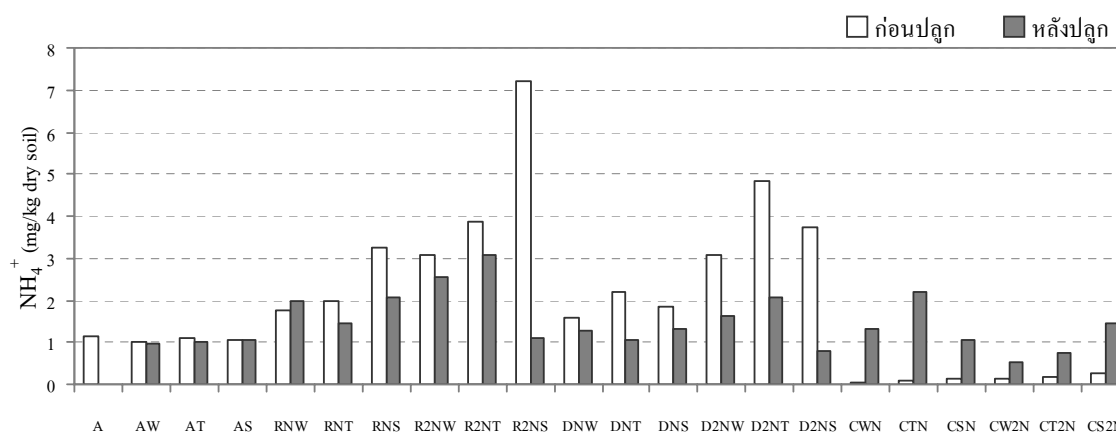
น้ำที่ใช้ในการรดน้ำพืชทั้ง 3 ชนิด โดยที่ปริมาณธาตุไนโตรเจนในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลองแสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ปริมาณ TKN ในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง

- ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ )

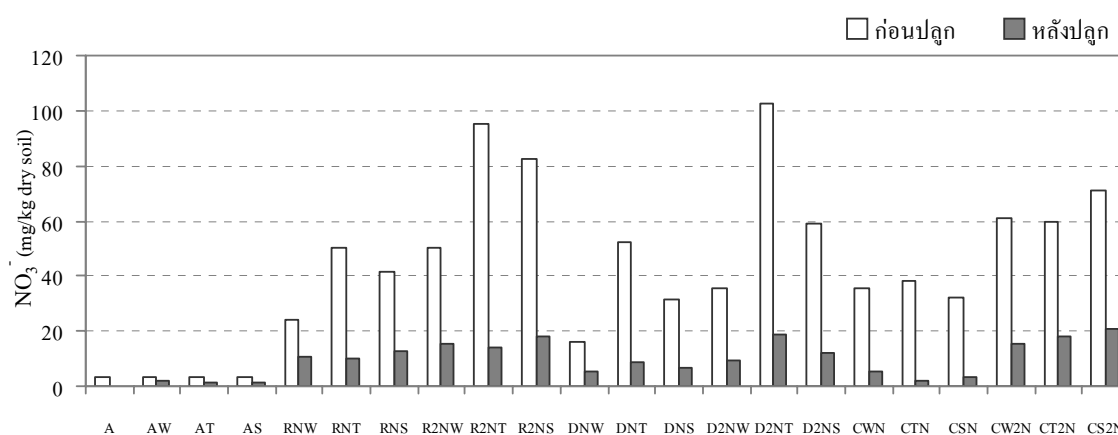
ปริมาณแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลงหลังจากการปลูกพืช เพราะแอมโมเนียมสามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียมลดลงเหลือค่อนข้างน้อยหลังจากการปลูกพืช ยกเว้นในกรณีของปุ๋ยหมักที่มีปริมาณของแอมโมเนียมที่เพิ่มขึ้นหลังจากการปลูก ซึ่งมีสาเหตุมาจากในปุ๋ยหมักมีปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยออกมาในดินได้มาก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่เหลือนั้นอาจเปลี่ยนแอมโมเนียมในแปลงปลูกพืช โดยที่ปริมาณแอมโมเนียมในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง แสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ปริมาณแอมโมเนียมในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง

### - ปริมาณไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ )

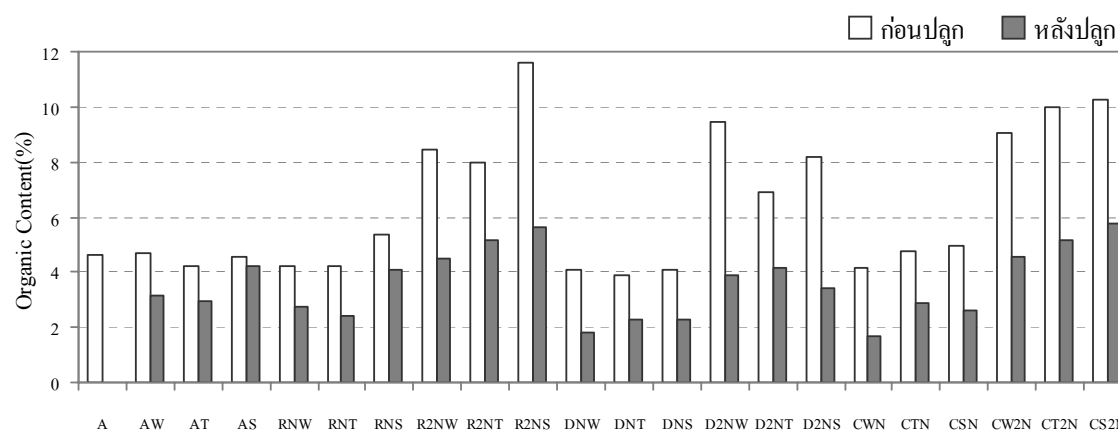
ปริมาณไนเตรตมีปริมาณลดลงหลังจากการปลูกพืช ทั้งนี้เพราะไนเตรตเป็นไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ปริมาณของไนเตรตลดลงหลังจากการปลูกหรืออาจเกิดจากการสูญเสียไนเตรตโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ไนโตรเจนเกิดการสูญเสียในรูปก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) โดยปริมาณไนเตรตในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลองแสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 ปริมาณไนเตรตในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง

### - ปริมาณคาร์บอน (C)

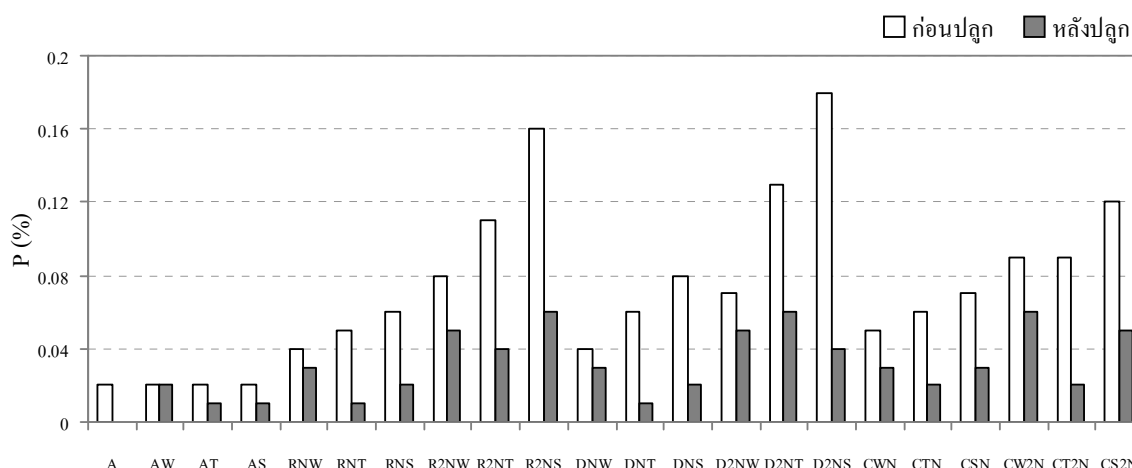
ปริมาณคาร์บอนมีปริมาณลดลงหลังจากการปลูกพืช ทั้งนี้เพราะคาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติในดิน โดยปริมาณคาร์บอนในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลองแสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ปริมาณคาร์บอนในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง

### - ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

ปริมาณฟอสฟอรัส (P) มีแนวโน้มลดลงหลังจากปลูก โดยเฉพาะในแปลงที่ปลูกมะเขือเทศ และหอมแดงเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการสร้างผล หรือหัวของพืชทั้ง 2 ชนิด โดยที่ปริมาณฟอสฟอรัสในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลองแสดงดังภาพที่ 47

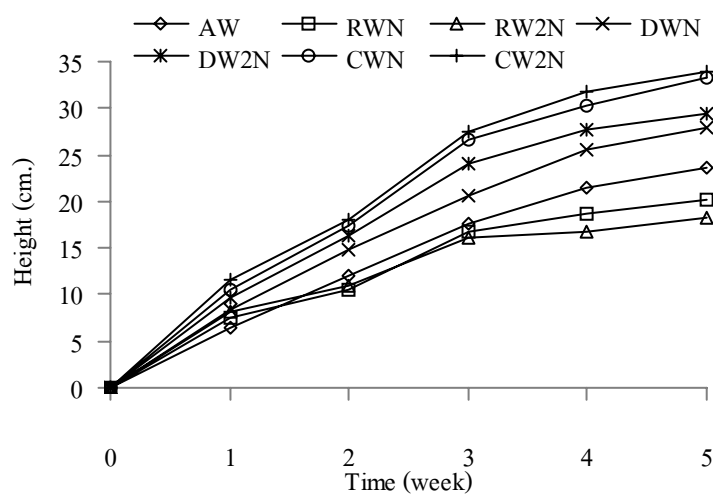


ภาพที่ 47 ปริมาณฟอสฟอรัสในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง

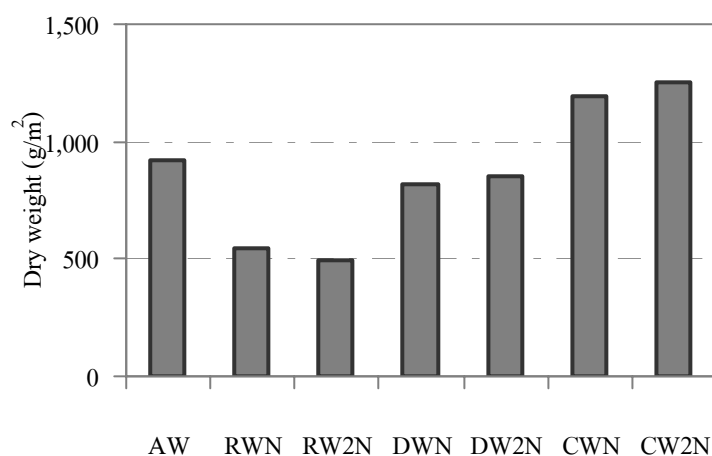
### การเจริญเติบโตทางด้านความสูงและน้ำหนักแห้งของพืช

#### - ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk)

ผลการนำตะกอนจุลินทรีย์มาทดสอบปลูกผักบุ้งจีนในแปลงทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความสูงและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนตลอดระยะเวลา 5 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 48 และ 49 โดยความสูงและน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ปุ๋ยหมัก (2N) ปุ๋ยหมัก (1N) ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (2N) ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (1N) ดินไม่ใส่ปุ๋ย ตะกอนสด (1N) ตะกอนสด (2N) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ต้นผักบุ้งจีนเจริญเติบโตได้ดีในแปลงใส่ปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีอินทรีย์ในโตรเจนสูง ส่วนแปลงที่มีตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศเจริญเติบโตดีกว่าตะกอนสด เนื่องจากมีแร่ธาตุที่เสถียรและปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ สำหรับแปลงที่มีตะกอนสดมีการเจริญเติบโตต่ำสุด โดยเฉพาะเมื่อใส่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มากเป็นเพราะโดยทั่วไปตะกอนสดยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูงอยู่ซึ่งมีผลทำให้มีการใช้ออกซิเจนในดินสูง และส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืชได้



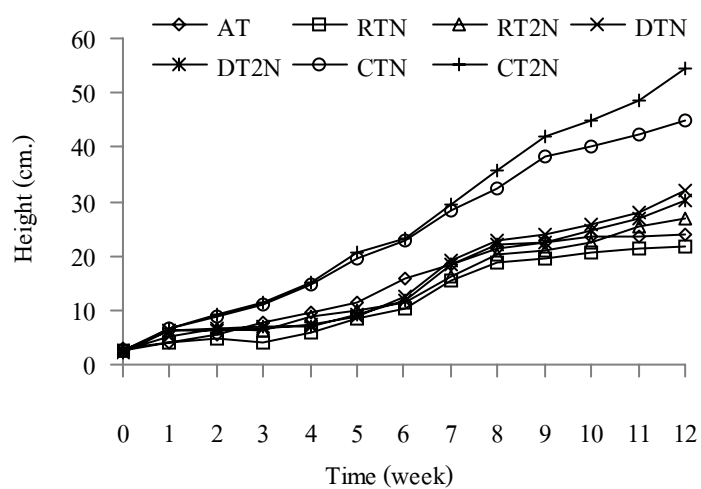
ภาพที่ 48 ความสูงของผักบุ้งจีน



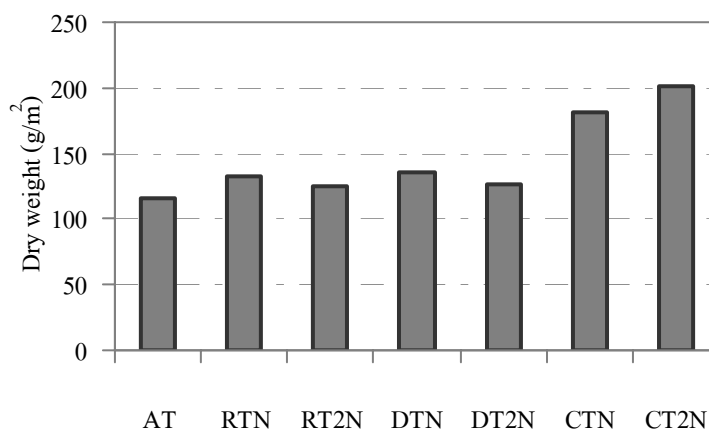
ภาพที่ 49 น้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีน

- มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill)

ผลการนำตะกอนจุลินทรีย์มาทดสอบปลูกมะเขือเทศในแปลงทดลอง พบว่ามะเขือเทศในแปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดและสูงตามปริมาณปุ๋ยที่ใส่มากขึ้น ส่วนแปลงที่ใส่ตะกอนสดและตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีค่าแตกต่างกันบ้างไม่มากนักโดยมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผักบุ้งจีน ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 50 และ 51



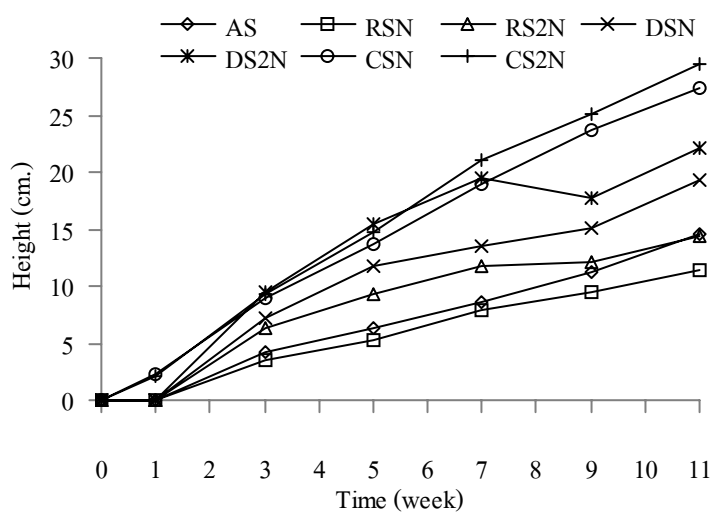
ภาพที่ 50 ความสูงของมะเขือเทศ



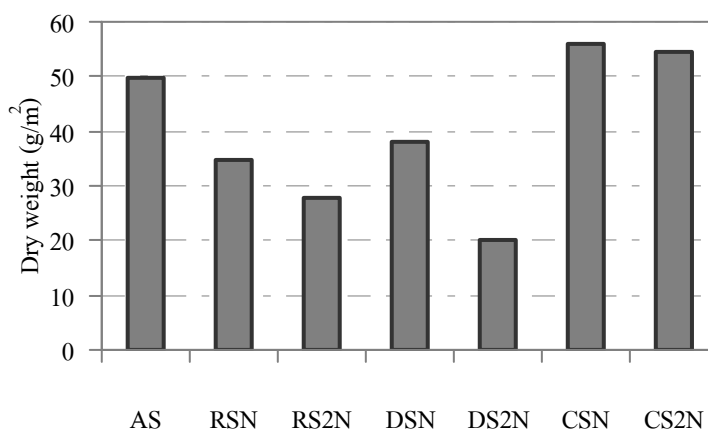
ภาพที่ 51 น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ

- หอมแดง (*Allium ascalonicum* Linn.)

ผลการนำตะกอนจุลินทรีย์มาทดสอบปลูกหอมแดงในแปลงทดสอบ มีแนวโน้มความสูงและน้ำหนักเช่นเดียวกับผักบุ้งจีน โดยผลแสดงดังภาพที่ 52 และ 53



ภาพที่ 52 ความสูงของหอมแดง



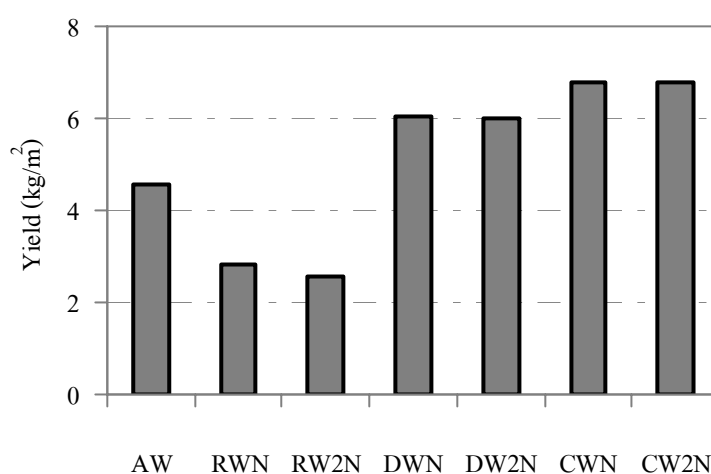
ภาพที่ 53 น้ำหนักแห้งของหอมแดง

เมื่อพิจารณาความสูงและน้ำหนักแห้งของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า ทั้งความสูงและน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับปริมาณธาตุไนโตรเจนที่เหลือหลังจากการปลูกพืช กล่าวคือ ความสูงและน้ำหนักแห้ง ของพืชทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ปุ๋ยหมักในการปลูกมีค่าสูงสุด โดยที่อัตราส่วนของธาตุไนโตรเจนก่อนและ หลังปลูกมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ใส่ตะกอนสด หรือตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แสดง ให้เห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ผ่านการหมักทำปุ๋ย พืชสามารถดึงธาตุไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ใน การเจริญเติบโตได้ดีกว่าใส่ตะกอนสด หรือตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่เมื่อ พิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง ตะกอนสดกับตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่า ถ้า นำตะกอนสดกับตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปปลูกพืชที่มีอายุการปลูกสั้น เช่น

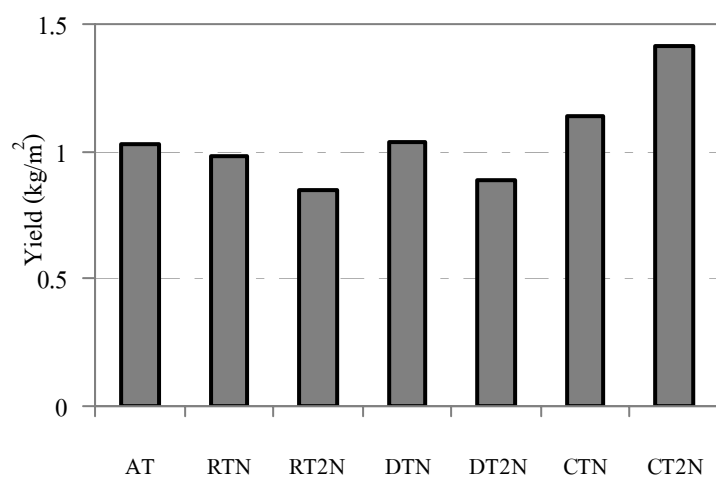
ผักบุ้งจีน ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศมีประสิทธิภาพสูงกว่า ตะกอนสดไม่ว่าจะเป็นความสูงและน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 48 และ 49 ทั้งนี้เนื่องจาก ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศจะมีปริมาณแอมโมเนียมสูงกว่าทำให้มีไนเตรตในปริมาณที่มากกว่าในตะกอนสดหลังจากไถลงดินเพื่อเตรียมการเพาะปลูกเป็นเวลา 4-5 สัปดาห์ แต่ถ้าในกรณีที่ใช้ในการปลูกพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างนานในการศึกษานี้ คือ มะเขือเทศ และหอมแดง พบว่า ความสูงและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 50-53 ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของไนเตรตที่มีอยู่ในดินของแปลงปลูกทั้ง 2 ตะกอนจุลินทรีย์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นพืชจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี ดังนั้น การใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการปลูกพืชผักสวนครัวควรพิจารณาตามความเหมาะสม ทั้งลักษณะการใช้ของตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ และปุ๋ยหมัก รวมถึงพืชที่ต้องการปลูกด้วย

### ปริมาณผลผลิตของผักสวนครัว

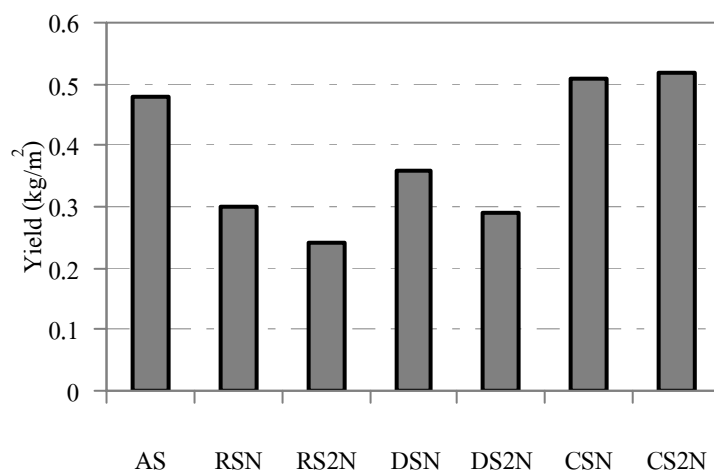
ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการปลูกผักบุ้งจีน มะเขือเทศ และหอมแดง เป็นดัชนีที่สามารถใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์ตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบว่าสามารถให้ผลผลิตได้มากน้อยเพียงใด โดยในการศึกษานี้ในการปลูกผักบุ้งจีน ปุ๋ยหมัก สามารถให้ผลผลิตได้สูงสุด รองลงมาได้แก่ ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้ออกาศ ดินที่ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ และตะกอนสด ส่วนมะเขือเทศ และหอมแดงมีแนวโน้มเหมือนกับผักบุ้งจีน โดยผลผลิตที่ได้จากการปลูกแสดงในภาพที่ 54 ถึง 56



ภาพที่ 54 ผลผลิตของผักบุ้งจีน



ภาพที่ 55 ผลผลิตของมะเขือเทศ



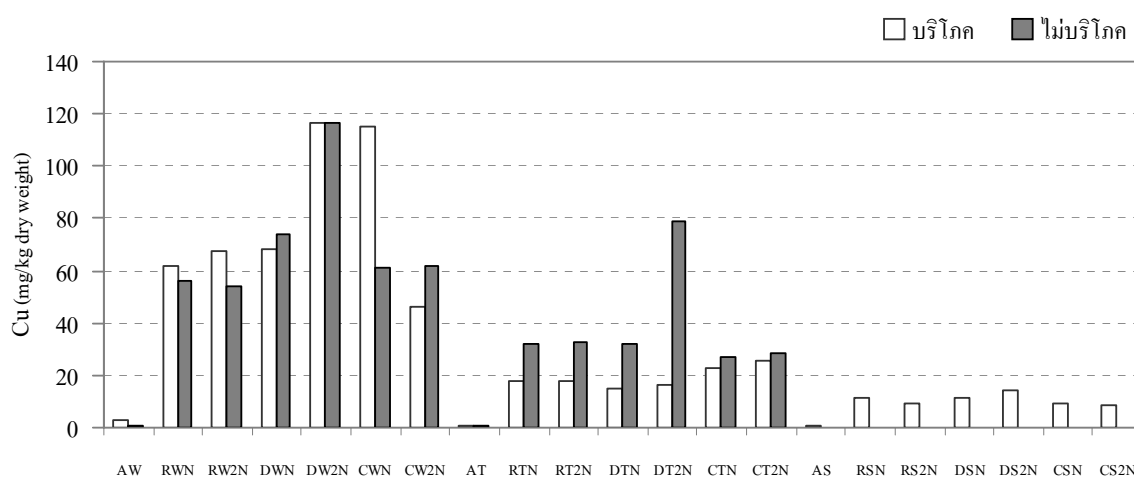
ภาพที่ 56 ผลผลิตของพริกแดง

### ปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชผักสวนครัว

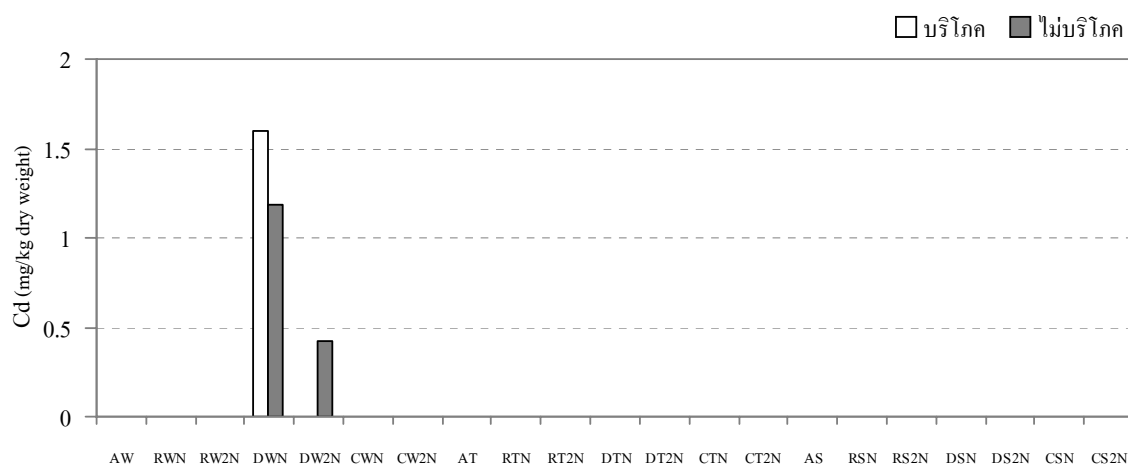
การศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชผักสวนครัว แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ ปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชในแปลงปลูกที่ไม่มีการเติมโลหะและในแปลงที่มีการเติมโลหะหนัก รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในดิน (ก่อนปลูก) กับโลหะหนักในพืช ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### ปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชในแปลงปลูกที่ไม่มีการเติมโลหะหนัก

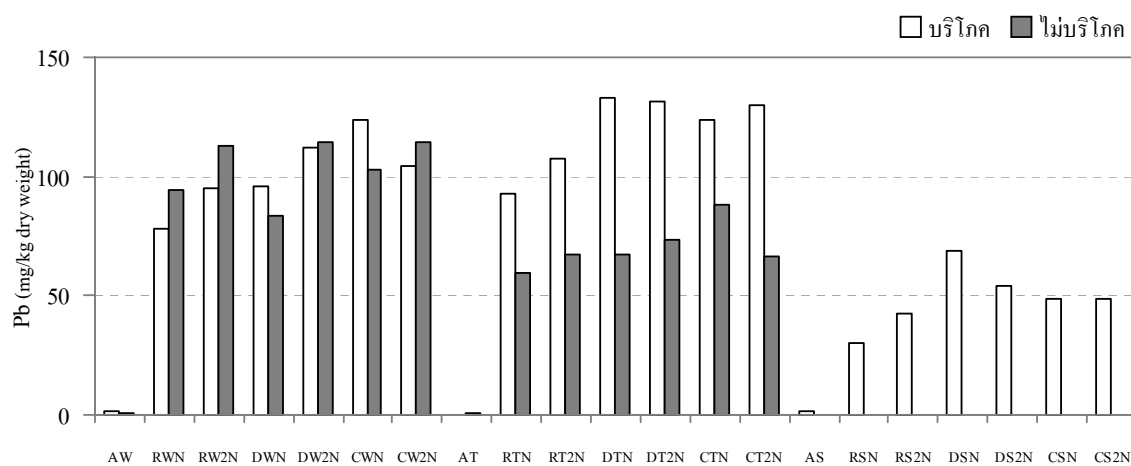
การศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชในแปลงปลูกที่ไม่มีการเติมโลหะหนัก โดยทำการศึกษาละเอียด 6 ชนิด คือ ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) ทั้งในแปลงที่ไม่มี และมีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ พบปริมาณโลหะหนักดังกล่าวที่ 57 ถึง 62



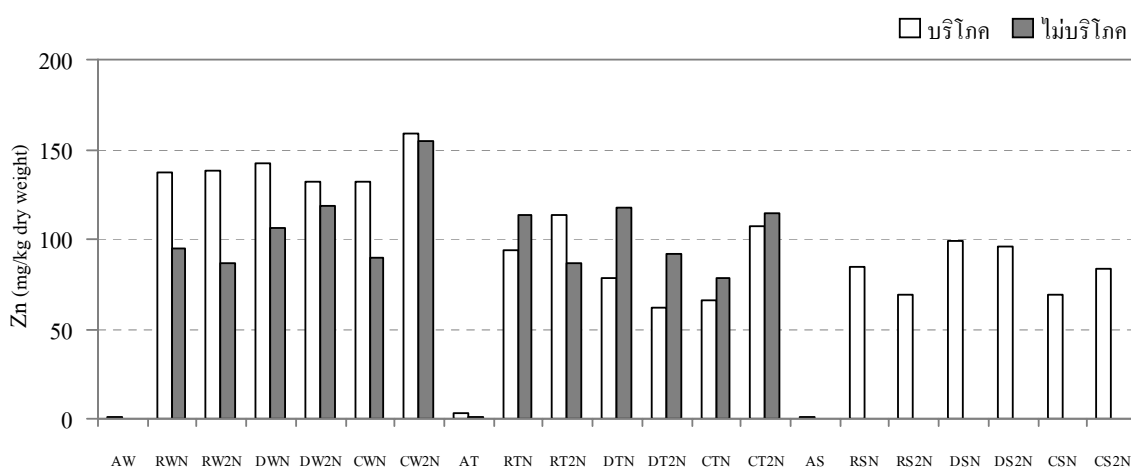
ภาพที่ 57 ปริมาณการสะสมของทองแดง (Cu) ในพืช



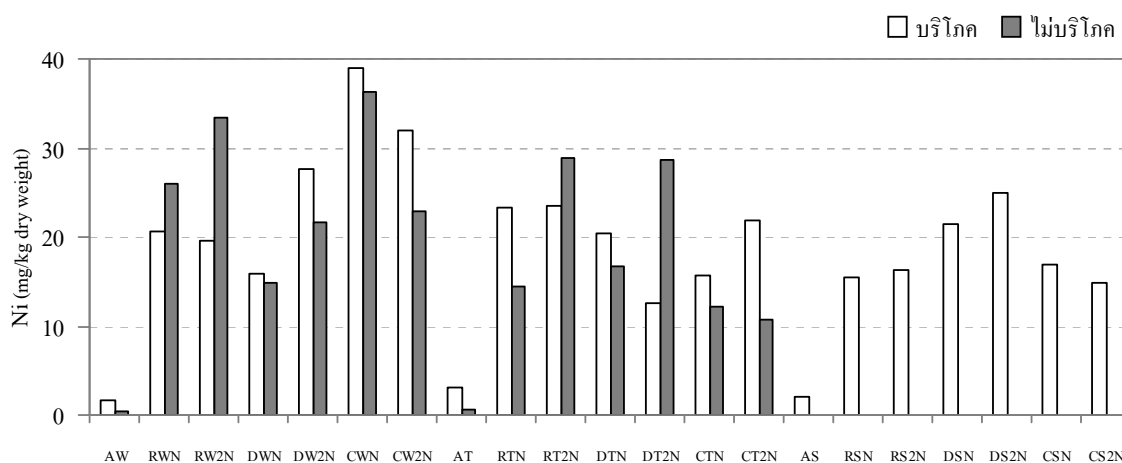
ภาพที่ 58 ปริมาณการสะสมของแคดเมียม (Cd) ในพืช



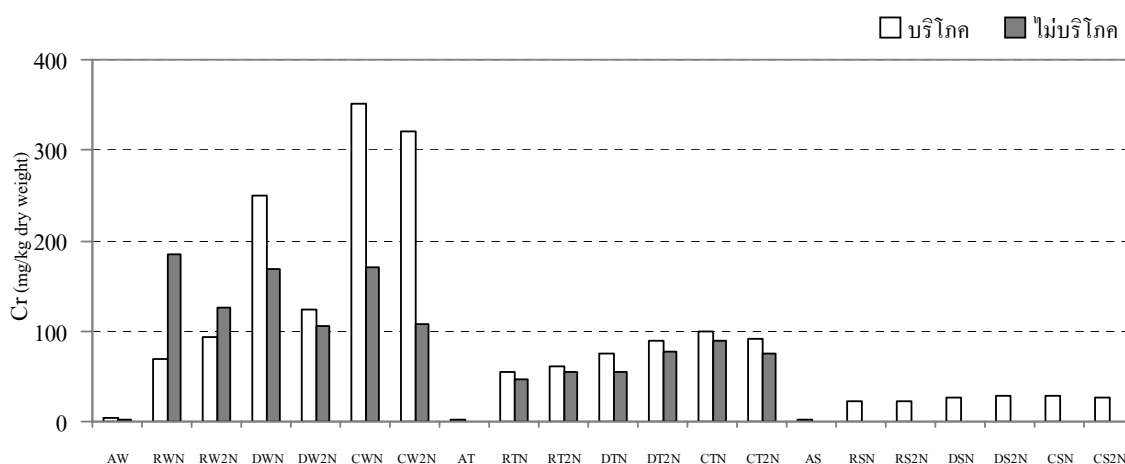
ภาพที่ 59 ปริมาณการสะสมของตะกั่ว (Pb) ในพืช



ภาพที่ 60 ปริมาณการสะสมของสังกะสี (Zn) ในพืช



ภาพที่ 61 ปริมาณการสะสมของนิกเกิล (Ni) ในพืช



ภาพที่ 62 ปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) ในพืช

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 57 ถึง 62 พบว่า ในผักบุ้งจีนมีการสะสมของโครเมียม (Cr) มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd) ตามลำดับ ส่วนมะเขือเทศมีการสะสมของตะกั่ว (Pb) มากที่สุด และในหอมแดง มีการสะสมของสังกะสี (Zn) มากที่สุด โดยที่ปริมาณโครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) ในผักบุ้งจีนมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในมะเขือเทศพบปริมาณของตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และในหอมแดงพบปริมาณของสังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่มีระดับความเข้มข้นของทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) มีค่า 20, 0.2, 0.3, 50, 2 และ 1 mg/kg dry weight (EC, 2001; Lake, 1987; UK, 1989) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในส่วนที่บริโศท พบว่า ในกรณีของทองแดง (Cu) พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในแปลงควบคุมและหอมแดงที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วนมะเขือเทศมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน ยกเว้นผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าที่เกินมาตรฐาน 3-6 เท่า

ส่วนในกรณีของแคดเมียม (Cd) พบว่า ผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงที่มีการใส่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (DWN) มีค่าเกินมาตรฐาน นอกนั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐาน

ส่วนในกรณีของตะกั่ว (Pb) พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในแปลงควบคุมและแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานทั้งหมด โดยที่ผักบุ้งจีนมีค่าเกินมาตรฐานมากที่สุด รองลงมาได้แก่ มะเขือเทศ และหอมแดง ตามลำดับ

ส่วนในกรณีของสังกะสี (Zn) พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในแปลงควบคุมมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วนมะเขือเทศและหอมแดงที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน ยกเว้นผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานประมาณ 2-3 เท่า

ส่วนในกรณีของนิกเกิล (Ni) พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในแปลงควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน แต่ที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานประมาณ 6-20 เท่า

และในกรณีของโครเมียม (Cr) พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในแปลงควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน แต่ที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานทั้งหมด โดยที่ผักบุ้งจีนมีค่าเกินมาตรฐานมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ มะเขือเทศ และหอมแดง ตามลำดับ

แต่เมื่อพิจารณาพืชทั้ง 3 ชนิดร่วมกัน พบว่ามีปริมาณการสะสมของโลหะหนักแทบทุกชนิดที่ทำการศึกษามีปริมาณการสะสมสูงในผักบุ้งจีน ยกเว้นในกรณีของตะกั่ว (Pb) ที่มีปริมาณการสะสมในผลของมะเขือเทศใกล้เคียงกัน ซึ่งโดยทั่วไปโลหะหนักจะเกิดการสะสมได้ดีในพืชที่มีผลหรือหัว ซึ่งในการศึกษานี้ พบว่า มะเขือเทศ และหอมแดง มีปริมาณการสะสมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแปลงปลูกใช้ระดับความต้องการไนโตรเจนของพืชเป็นเกณฑ์ ทำให้พืชที่ต้องการธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส ซึ่งจำเป็นในการสร้างผลผลิตมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความ

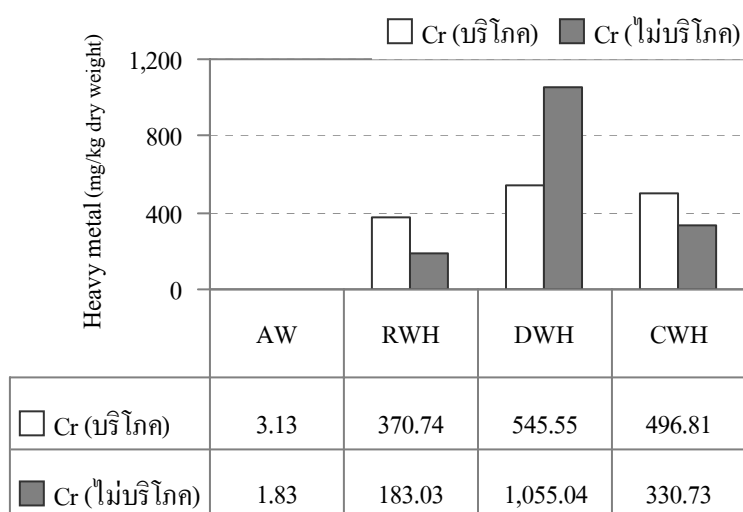
ต้องการ ส่งผลให้การดูดซึมโลหะหนักในส่วนของผลหรือหัวของมะเขือเทศและหอมแดงมีปริมาณที่ต่ำกว่าในใบของผักบั้งจีนที่ต้องการธาตุไนโตรเจนในการเจริญเติบโตเป็นสำคัญ

### ปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชในแปลงที่มีการเติมโลหะหนัก

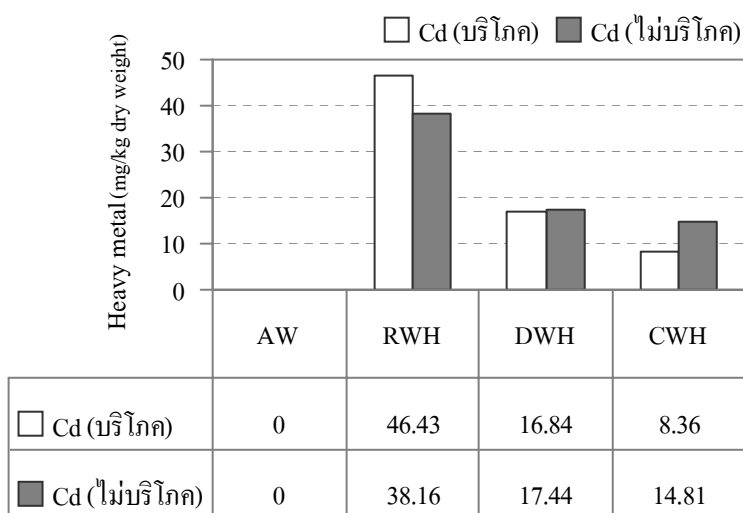
ส่วนการศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชในแปลงที่มีการเติมโลหะหนัก โดยทำการศึกษาโลหะหนัก 2 ชนิด คือ โครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) โดยใช้โดยใช้อัตราส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ต่อดินให้เทียบเท่าที่มีปริมาณความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชแต่ละชนิด แต่ในกรณีแรกจะมีการเติมปริมาณโลหะหนักสังเคราะห์ให้มีค่าความเข้มข้นเท่ากับปริมาณการสะสมสูงสุดของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ที่ให้มีได้ในดินแห้ง คือ 100 และ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ตามลำดับ ดังปรากฏแสดงตารางที่ 11 และทำการปลูกพืชผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด และในกรณีที่ 2 จะมีการเติมปริมาณโลหะหนักสังเคราะห์ให้มีค่าความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของปริมาณการสะสมสูงสุดของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ที่ให้มีได้ในดิน และทำการปลูกเฉพาะหอมแดง เพราะหัวของหอมแดงมีการสัมผัสโดยตรงกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการศึกษาแยกส่วนกันระหว่างส่วนที่บริโภค และไม่บริโภค ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### - ผักบั้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ที่สะสม เมื่อแปลงปลูกมีค่าความเข้มข้นเท่ากับปริมาณการสะสมสูงสุดที่มีได้ ทำให้ปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในส่วนที่บริโภค และไม่บริโภคของผักบั้งจีน มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีของแปลง DWH พบว่า โครเมียม (Cr) ในส่วนที่ไม่บริโภค มีการสะสมมากกว่าประมาณ 3 เท่า และในแปลงปลูกที่ไม่มีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์มีการพบปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) เล็กน้อย ซึ่งปริมาณการสะสมของโลหะหนักแสดงในภาพที่ 63 และ 64



ภาพที่ 63 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) ในผักบั้งจีน

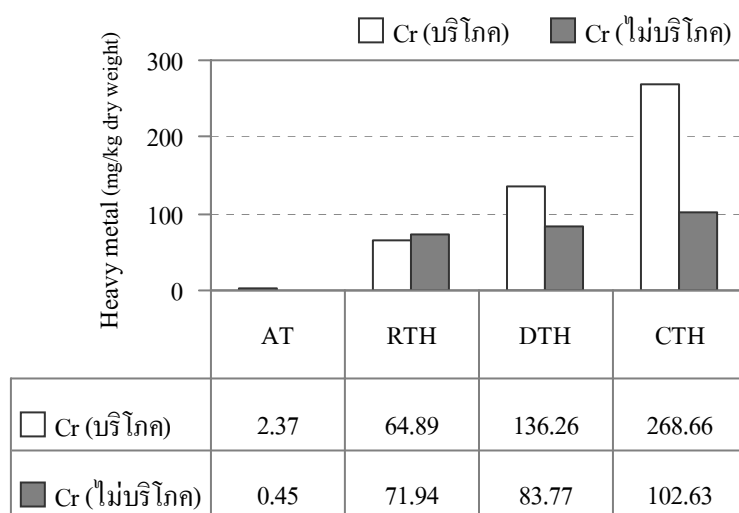


ภาพที่ 64 ปริมาณการสะสมแคดเมียม (Cd) ในผักบั้งจีน

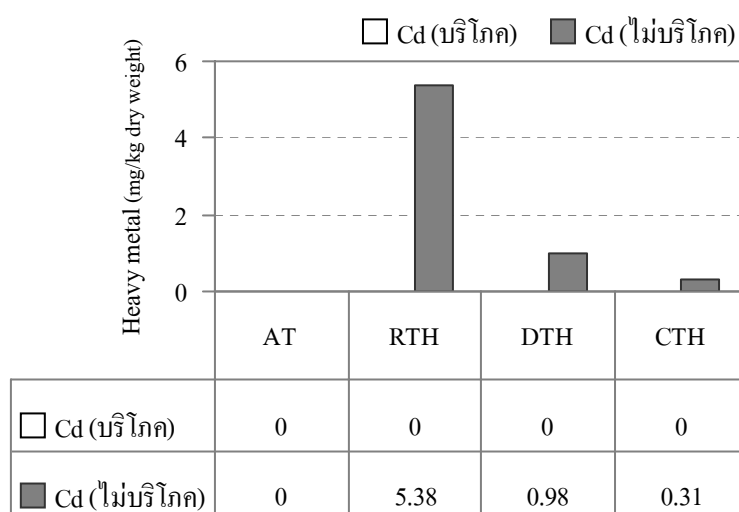
- มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ที่สะสม เมื่อแปลงปลูกมีค่าความเข้มข้นเท่ากับปริมาณการสะสมสูงสุดที่มีได้ ทำให้พบปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) พบว่า ในส่วนที่ไม่บริโภค มีการสะสมมากกว่าประมาณ 1-2 เท่า ยกเว้นในแปลง RTH ที่พบในปริมาณโลหะหนักใกล้เคียงกัน และในแปลงปลูกที่ไม่มีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์มีการ

พบปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) เล็กน้อย และในกรณีของ แคดเมียม (Cd) พบว่า ในส่วนที่ไม่บริโภคนมมะเขือเทศ แต่ในส่วนที่บริโภคไม่มีการสะสมของแคดเมียม (Cd) ซึ่งปริมาณการสะสมของโลหะหนักแสดงในภาพที่ 65 และ 66



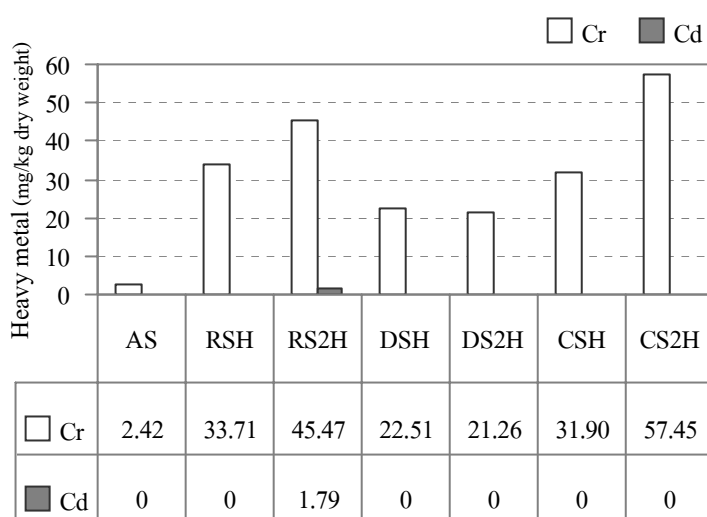
ภาพที่ 65 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) ในมะเขือเทศ



ภาพที่ 66 ปริมาณการสะสมแคดเมียม (Cd) ในมะเขือเทศ

- หอมแดง (*Allium ascalonicum* Linn.)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) เมื่อแปลงปลูกมีค่าความเข้มข้นเท่ากับปริมาณการสะสมสูงสุดที่มีได้ ทำให้พบปริมาณการสะสมของแคดเมียม (Cd) ในหอมแดง เฉพาะในแปลง RS2H ในปริมาณที่ไม่มากนัก ส่วนในแปลงอื่นๆ ไม่มีการตรวจพบการสะสม และในกรณีของ โครเมียม (Cr) พบว่า มีปริมาณการสะสมค่อนข้างสูงในทุกแปลง โดยเฉพาะในแปลงที่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) เป็น 2 เท่า ซึ่งปริมาณการสะสมของโลหะหนักแสดงในภาพที่ 67



ภาพที่ 67 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในหอมแดง

เมื่อพิจารณาปริมาณการสะสมของโลหะหนักของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า เกิดการสะสมของโลหะหนักค่อนข้างสูงโดยเฉพาะ โครเมียม (Cr) แต่ในกรณีของแคดเมียม (Cd) มีการสะสมค่อนข้างต่ำ หรือไม่พบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อัตราการสะสมสูงสุดที่ยอมรับได้ของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดิน ที่มีค่า 100 และ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณโลหะหนักค่อนข้างสูงโดยเฉพาะ โครเมียม (Cr) เนื่องจากโครเมียมที่เติมลงในแปลงปลูกอยู่ในรูปของเกลือซึ่งพืชดูดซึมได้ดีกว่ารูปของโครเมียมที่มีอยู่ในตะกอนจุลินทรีย์ และถ้าพิจารณาในส่วนที่บริโภคของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า ในกรณีของโครเมียม (Cr) มีปริมาณการสะสมมากที่สุด คือ ผักบุ้งจีน รองลงมา ได้แก่ มะเขือเทศ และหอมแดง ตามลำดับ ส่วนในกรณีของแคดเมียม (Cd) มี

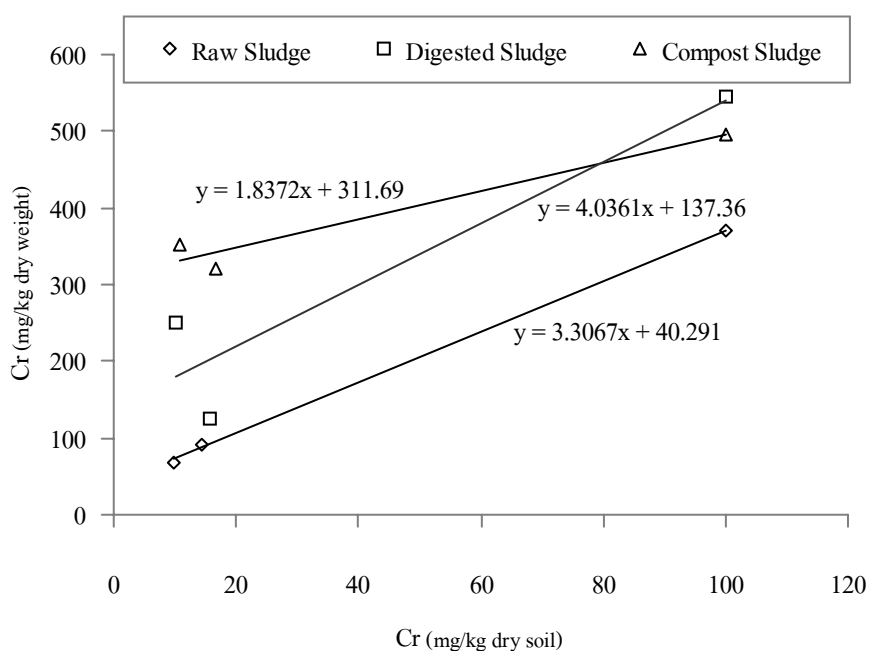
การสะสมในพืชเพียง 1 ชนิด คือ ผักบุ้งจีน ส่วนในมะเขือเทศ และหอมแดงไม่พบว่าการสะสมของแคดเมียม

### ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในดิน (ก่อนปลูก) กับโลหะหนักในพืชผักสวนครัว 3 ชนิด

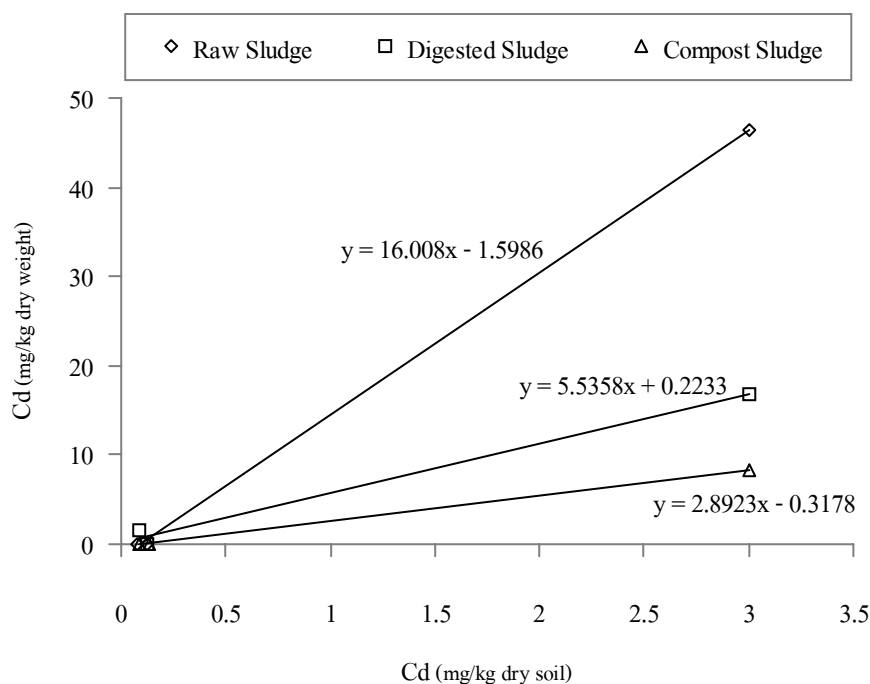
พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในพืชผักสวนครัว 3 ชนิดในส่วนที่บริโภค ซึ่งได้ผลดังนี้

- ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดิน กับในผักบุ้งจีน พบว่า เมื่อใช้ตะกอนสด ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปุ๋ยหมักปลูกผักบุ้งจีน ทำให้ปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในผักบุ้งจีน โดยเมื่อมีปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในดินก่อนปลูกสูงทำให้ในผักบุ้งจีนมีปริมาณโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) สูงเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 68 และ 69



ภาพที่ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในผักบุ้งจีน



ภาพที่ 69 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในผักบุ้งจีน

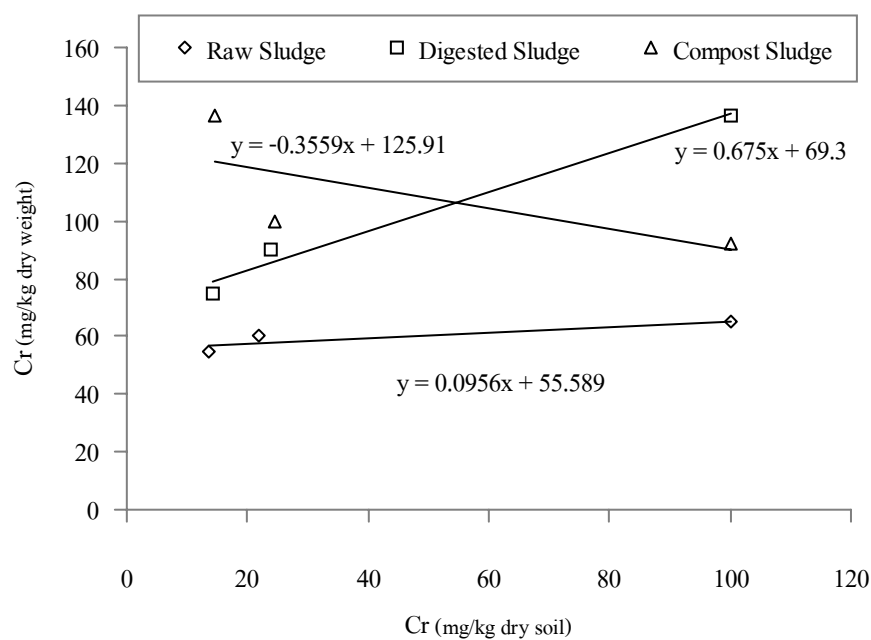
- มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน กับในมะเขือเทศ พบว่า เมื่อใช้ตะกอนสด และตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศปลูกมะเขือเทศ ทำให้ปริมาณโครเมียม (Cr) ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณโครเมียม (Cr) ในมะเขือเทศ โดยเมื่อมีปริมาณโครเมียม (Cr) ในดินก่อนปลูกสูงทำให้ในมะเขือเทศมีปริมาณโครเมียม (Cr) สูงเช่นกัน ส่วนเมื่อใช้ปุ๋ยหมักปลูกมะเขือเทศ ทำให้ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) ในมะเขือเทศลดลงเมื่อปริมาณโครเมียม (Cr) ในดินสูงขึ้น ส่วนในกรณีของแคดเมียม (Cd) ไม่มีการสะสมในมะเขือเทศ ไม่ว่ามีปริมาณของแคดเมียม (Cd) ในดินที่มีเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 70 และ 71

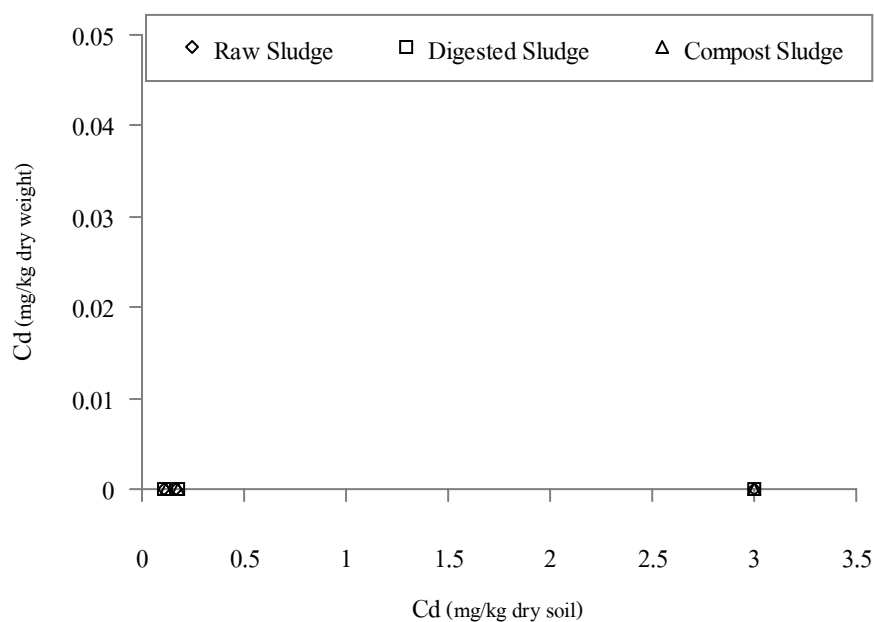
- หอมแดง (*Allium ascalonicum* Linn.)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน กับในหอมแดงพบว่า เมื่อใช้ตะกอนสด ปุ๋ยหมักปลูกมะเขือเทศ ทำให้ปริมาณโครเมียม (Cr) ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณโครเมียม (Cr) ในหอมแดง โดยเมื่อมีปริมาณโครเมียม (Cr) ในดินก่อนปลูกสูงทำให้ในหอมแดงมีปริมาณโครเมียม (Cr) สูงเช่นกัน ยกเว้นในกรณีของตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่มี

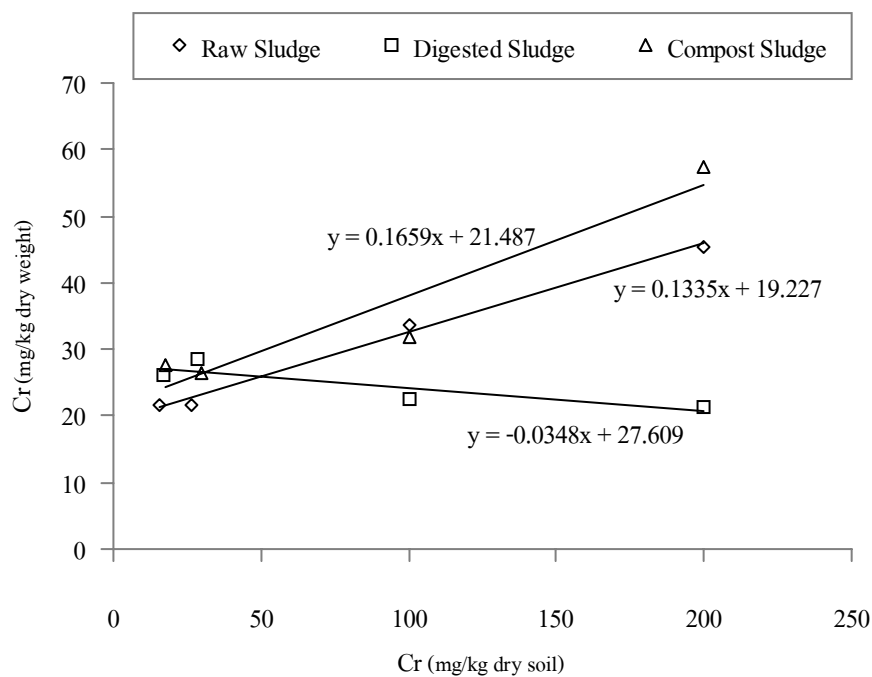
ปริมาณโครเมียม (Cr) ในหอยมดลดลงเมื่อปริมาณของโครเมียม (Cr) ในดินสูงขึ้น ส่วนในกรณีของแคดเมียม (Cd) ไม่มีการสะสมในหอยมดไม่ว่าจะมีปริมาณของแคดเมียม (Cd) ในดินที่มีเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 72 และ 73



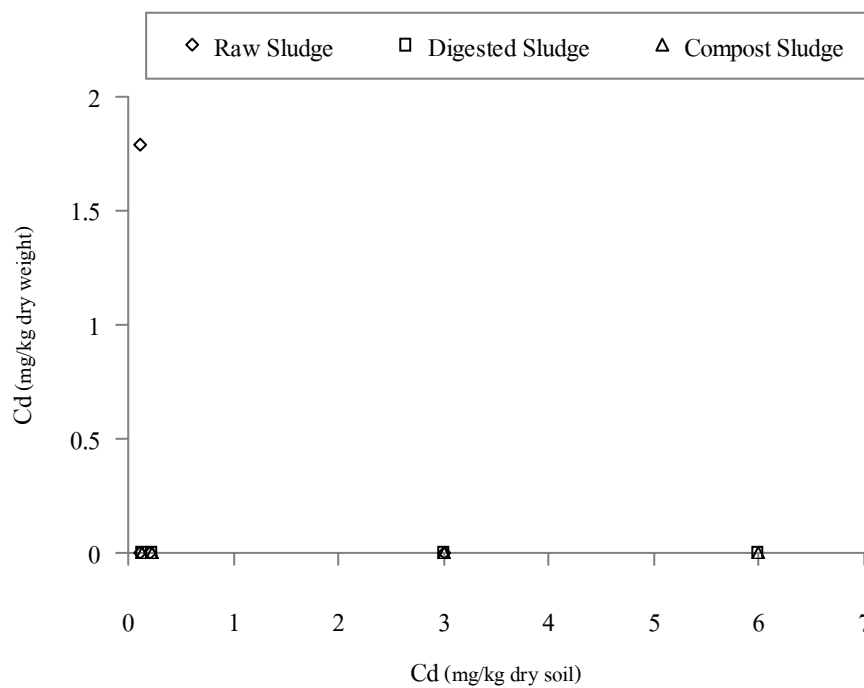
ภาพที่ 70 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในมะเขือเทศ



ภาพที่ 71 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในมะเขือเทศ



ภาพที่ 72 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในหอยแดง



ภาพที่ 73 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในหอยแดง

### การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด

เนื่องจากในการศึกษาการสะสมของโลหะหนักในพืชที่ได้จากแปลงปลูก พบว่ามีปริมาณการสะสมของโลหะหนักอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงจึงทำการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด โดยการคำนวณประเมินความเสี่ยง แสดงได้ดังสมการ

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (\text{U.S.EPA, 1998})$$

$$ADD = \frac{[C] \cdot R_{in} \cdot F_{ex} \cdot F_e \cdot D_t}{B \cdot T_{avg}} \quad (\text{ปรับปรุงจาก Konz et al., 1989; Louvar et al., 1998})$$

|        |           |   |                                       |
|--------|-----------|---|---------------------------------------|
| โดยที่ | HQ        | = | Hazard Quotient                       |
|        | ADD       | = | Average Daily Dose (mg/kg/day)        |
|        | RfD       | = | Reference Dose (mg/kg/day)            |
|        | [C]       | = | Chemical Concentration (mg/kg)        |
|        | $R_{in}$  | = | Ingestion Rates (kg/day)              |
|        | $F_{ex}$  | = | Fractional Exposure (Unitless)        |
|        | $F_e$     | = | Exposure Frequency (day/year)         |
|        | $D_t$     | = | Exposure Duration (year)              |
|        | B         | = | Body Weight (kg)                      |
|        | $T_{avg}$ | = | Average Time Period of Exposure (day) |

ซึ่งหากค่า Hazard Quotient (HQ) มีค่ามากกว่า 1.0 แสดงว่ามีระดับความเสี่ยงที่สูงกว่าผู้ที่ไม่บริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนต่ำกว่าระดับความปลอดภัย โดยค่า RfD มีค่าแตกต่างกันตามประเภทของโลหะหนัก และค่า RfD ของโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) มีค่า  $3 \times 10^{-3}$  (U.S.EPA, 1998) และ  $0.01 \times 10^{-2}$  mg/kg/day (WHO, 2001) ตามลำดับ หลังจากคำนวณค่า HQ ของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด นำค่า HQ ที่ได้มาคำนวณหาค่า Hazard Index (HI) =  $HQ_{Cr} + HQ_{Cd}$  (Hampshire Research Institute, 1995) ซึ่งค่า Hazard Index เป็นค่าที่แสดงถึงความเสี่ยงรวมของโลหะหนักต่างชนิดกัน และการหาค่า ADD โดยที่ค่า Ingestion Rate ของพืชที่รับประทานใบ

ผล และหัวที่ใช้ในการประเมิน มีค่าดังนี้ 0.01, 0.25 และ 0.05 kg/day ค่า  $F_{ex}$  มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 ค่า  $F_e$  (day/year) มีค่า 365 day/ year ค่า  $D_t$  (year) มีค่า 70 ปี ซึ่งเป็นการบริโภคตลอดชีวิต ค่า B (kg) มีค่า 70 กิโลกรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักโดยเฉลี่ยของผู้ใหญ่ และค่า  $T_{avg}$  (day/year) มีค่า  $D_t \times 365$  day/year ซึ่งคำนวณในกรณีที่เป็นสาร ไม่ก่อมะเร็ง (Louvar *et al.*, 1998)

จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักทั้ง 2 ชนิด ในส่วนที่บริโภคของ ผักบั้งจีน, มะเขือเทศ และ หอมแดง ที่ปลูกในแปลงที่ไม่มีการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า มีความเข้มข้นของโครเมียม มีค่าเท่ากับ 3.13, 2.37 และ 2.42 mg/kg dry weight ตามลำดับ และไม่พบแคดเมียมในพืชทั้ง 3 ชนิด โดยในกรณีที่ปลูกในแปลงที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับระดับความต้องการไนโตรเจนของพืช พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 201.45 ( $\pm 18.60$ ), 78.61 ( $\pm 1.83$ ) และ 25.39 ( $\pm 1.24$ ) mg/kg dry weight ตามลำดับ และความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.53 ( $\pm 2.93$ ), 0 และ 0 mg/kg dry weight ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์ และเติมปริมาณ โลหะหนักเท่ากับมาตรฐาน พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 471.03 ( $\pm 115.80$ ), 156.60 ( $\pm 129.40$ ) และ 29.37 ( $\pm 7.92$ ) mg/kg dry weight ตามลำดับ และความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 23.88 ( $\pm 26.02$ ), 0 และ 0 mg/kg dry weight ตามลำดับ อีกทั้งในกรณีของหอมแดง ที่ปลูกในแปลงที่มีตะกอนจุลินทรีย์ และเติมปริมาณโลหะหนักสูงกว่ามาตรฐาน 2 เท่า พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียม และแคดเมียม มีค่าเท่ากับ 41.39 ( $\pm 23.24$ ) และ 0.60 ( $\pm 1.39$ ) mg/kg dry weight ตามลำดับ จากสมการข้างต้น สามารถคำนวณหาค่า HQ และ HI ได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่า HQ ของผู้ที่บริโภคผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด

| พืช        | รูปแบบ              |                     | HQ <sub>Cr</sub> | HQ <sub>Cd</sub> | HI    |
|------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|-------|
|            | ตะกอนจุลินทรีย์     | ระดับโลหะหนัก       |                  |                  |       |
| ผักบุ้งจีน | ไม่ใส่ <sup>1</sup> | -                   | 0.03             | 0                | 0.03  |
|            | ใส่ <sup>2</sup>    | -                   | 1.92             | 0.15             | 2.07  |
|            | ใส่                 | 1 เท่า <sup>3</sup> | 4.49             | 6.82             | 11.31 |
| มะเขือเทศ  | ไม่ใส่              | -                   | 0.56             | 0                | 0.56  |
|            | ใส่                 | -                   | 18.72            | 0                | 18.72 |
|            | ใส่                 | 1 เท่า              | 37.29            | 0                | 37.29 |
| หอมแดง     | ไม่ใส่              | -                   | 0.12             | 0                | 0.12  |
|            | ใส่                 | -                   | 1.21             | 0                | 1.21  |
|            | ใส่                 | 1 เท่า              | 1.40             | 0                | 1.40  |
|            | ใส่                 | 2 เท่า <sup>4</sup> | 1.97             | 0.17             | 2.14  |

<sup>1</sup> ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ <sup>2</sup> ใส่ตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับระดับความต้องการไนโตรเจนของพืช

<sup>3</sup> ระดับโลหะหนักเท่ากับค่าขีดจำกัดในดิน และ <sup>4</sup> ระดับโลหะหนักเป็น 2 เท่าของค่าขีดจำกัดในดิน

จากผลการประเมินความเสี่ยงดังแสดงในตารางที่ 27 พบว่า ผู้ที่บริโภคผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงที่ไม่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) แต่ถ้าวบริโภคผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับระดับความต้องการไนโตรเจนของพืช และแปลงปลูกที่มีระดับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด เท่ากับค่าขีดจำกัดในดิน พบว่า เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ส่วนในกรณีของมะเขือเทศ และหอมแดงมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับผักบุ้งจีน แต่มีระดับความเสี่ยงที่สูงกว่าในมะเขือเทศและน้อยกว่าในหอมแดง อีกทั้งยังไม่พบความเสี่ยงที่เกิดจากแคดเมียม (Cd) ยกเว้นในแปลงที่มีระดับโลหะหนักเป็น 2 เท่าของค่าขีดจำกัดในดิน เมื่อพิจารณาความเสี่ยงที่เกิดจากการบริโภคผักทั้ง 3 ชนิดจะเห็นได้ว่า ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่นั้นเกิดจากโครเมียม (Cr) ยกเว้นในกรณีของผักบุ้งจีนในแปลงที่มีระดับโลหะหนักเท่ากับค่าขีดจำกัดในดิน แสดงให้เห็นว่า ผักแต่ละชนิดสามารถดูดซึมโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในระดับที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น การนำตะกอนจุลินทรีย์มาปลูกผักสวนครัวชนิด ควรคำนึงถึงประเภทของผักสวนครัว และระดับโลหะหนักในตะกอนจุลินทรีย์เป็นสำคัญ