หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปุ๋ย (Fertilizer)

ปุ๋ย หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดินโดยมีความประสงค์ที่จะให้อาหารธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมเพิ่มเติมแก่พืช เพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอ และสมดุลกันตามที่ต้องการ และให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535) นอกจากนี้ ตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ปุ๋ยเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารให้แก่พืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ทั้งนี้อาจแบ่งปุ๋ยออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. ปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic fertilizer) หรือปุ๋ยเคมี (Chemical fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์หรือยิปซั่ม (มาตรา 3 พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518) ปุ๋ยชนิดนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เกิดขึ้นด้วยกระบวนการผลิตทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นอาจเรียกปุ๋ยชนิดนี้ว่าปุ๋ยวิทยาศาสตร์

2. ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุโดยผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การทำให้ชื้น การสับ การบด การหมัก การร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี (มาตรา 3 พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518) ปุ๋ยอินทรีย์มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากอินทรียสารโดยตรง โดยทั่วไปอยู่ในรูปของปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมัก (Compost) ปุ๋ยคอก (Farm manure) และดินผสม (Enriched soil) ซึ่งปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกนั้น ถือได้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างหนึ่ง ส่วนดินผสมเป็นการนำอินทรียวัตถุหลายชนิดมาผสมกัน โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก โดยทั่วไปมักจะเรียกกันว่า สารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil conditioner) และหากเปรียบเทียบกับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศสหรัฐอเมริกา จะพบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ประเภทต่างๆ ที่มีค่าของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ จะไม่เรียกปุ๋ยอินทรีย์เหล่านั้นว่าเป็นปุ๋ย แต่จะเรียกว่าสารปรับปรุงคุณภาพดิน (McGauhey, 1971)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงถือได้ว่า ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และดินผสม เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน ที่มีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบ และสารบางอย่างที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะส่งเสริมให้เกิด

สภาวะโครงสร้างที่ดีให้กับดิน นอกจากนี้ยังมีสารเคมีบางชนิดที่จัดเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินเช่นเดียวกัน โดยจะทำปฏิกิริยาให้อนุภาคดินเชื่อมยึดกันเป็นเม็ดดินที่เสถียรได้ดีขึ้น เมื่อคลุกเคล้าสารนั้นลงไปในดิน สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น ตัวอย่างของสารเคมีจำพวกนี้ ได้แก่ MCS Krilium หรือ HPAN และ Vinyl acetate maleic acid (VAMA) แม้ว่าสารเคมีดังกล่าวจะให้ผลดีในการปรับปรุงคุณภาพดิน แต่ปรากฏว่าไม่ได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาแพง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535) ดังนั้นเมื่อมีการกล่าวถึงสารปรับปรุงคุณภาพดิน จึงหมายถึงปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือดินผสม ซึ่งมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงในรายละเอียดของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และดินผสม ดังนี้

1. ปุ๋ยหมัก (Compost) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง เช่น เศษพืชต่างๆ มูลฝอย ชุมชน วัชพืช ฯลฯ มาผ่านการหมักให้สลายตัวจนเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ และในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงปุ๋ยหมักที่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งที่แตกต่างกัน 5 ชนิดคือ ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน ปุ๋ยหมักจากกากอ้อยและน้ำส่าเหล้า ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนอ้อย ปุ๋ยหมักจากแกลบที่ได้จากโรงสีข้าว และปุ๋ยหมักจากกากและฟางถั่วเหลือง

2. ปุ๋ยคอก (Farm manure) ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ ที่สามารถรวบรวมได้ เช่น มูลไก่ มูลสุกร มูลโค มูลกระบือ เป็นต้น และในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปุ๋ยคอก 2 ชนิดคือ มูลโค และมูลไก่

3. ดินผสม (Enriched soil) คือ การนำวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ขุยมะพร้าว เปลือกถั่วลิสง หรือวัสดุเนื้อหยาบ เช่น ทรายหยาบ เป็นต้น นำมาผสมคลุกเคล้ากันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาดินผสม 2 ชนิด ชนิดที่ 1 เป็นดินผสมที่มีส่วนผสมของดินเผา ปุ๋ยหมัก และทราย ส่วนชนิดที่ 2 เป็นดินผสมที่มีส่วนผสมเช่นเดียวกับชนิดแรก และมีการเติมกากตะกอนเพิ่มลงไปในส่วนผสมด้วย

<u>องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งบางชนิด</u>

วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งประเภทต่างๆ จากชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม มักมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันไป ในที่นี้จะได้รวบรวมงานวิจัยที่แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุต้นกำเนิดในการทำสารปรับปรุงคุณภาพดินชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กากตะกอนอ้อย (Filter cake)

กากตะกอนอ้อยเป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลในขั้นตอนการทำความสะอาด (Clarification) น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อย โดยการทำให้สิ่งเจือปนต่างๆ ตกตะกอนออกมา กากตะกอนอ้อยจะมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามกระบวนการทำความสะอาดน้ำอ้อยและคุณสมบัติของอ้อย (กุลวดี คันธวิวรณ์, 2533) มีรายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนอ้อย ดังเช่น สรสิทธิ์ วัชโรทยาน และคณะ (2526) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนอ้อย พบว่า มีปริมาณ

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 1.9 4.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม และแมกนีเซียม ในรูปแคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ เท่ากับ 2.35 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก มังกานีส และทองแดง เท่ากับ 2,700 0.05 และ 117 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เพชร กตัญญุกุล (2526) อ้างถึงตัวเลขจากการวิเคราะห์ของงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี พบว่า กากตะกอนอ้อยมีความชื้นประมาณ 18.55 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 2.80 8.57 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สุริยา สาสนรักกิจ (2531) วิเคราะห์องค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนอ้อย พบว่า มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 1.01 2.41 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 2.20 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน เท่ากับ 11 และมีค่าพีเอช 7.5 นอกจากนี้ กุลวดี คันธวิวรณ์ (2533) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนอ้อย พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโปตัสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.58 1.28 และ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก มังกานีส สังกะสี และทองแดง เท่ากับ 515 475 130 และ 38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 22.6 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน เท่ากับ 14.3 และมีค่าพีเอช 6.9

2. กากอ้อย (Bagasse)

กากอ้อยก็เป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลอีกชนิดหนึ่งคือ เมื่อทำการหีบอ้อยเพื่อนำน้ำอ้อยมาเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล ส่วนที่เหลือหลังจากการหีบอ้อยแล้วคือ กากอ้อย ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของกากอ้อยได้มีผู้ทำการรวบรวมไว้ ได้แก่ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และคณะ (2535) รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากอ้อยในด้านปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.40 0.15 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 57.69 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 146 และมีค่าพีเอช 6.05 นอกจากนี้คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2535) ได้รวบรวมงานวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากอ้อยซึ่งวิเคราะห์โดยกองเกษตรเคมี ในด้านปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ทั้งนี้มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.3-1.0 0-2.4 และ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. แกลบ กากถั่วเหลือง และขุยมะพร้าว

แกลบ กากถั่วเหลือง และขุยมะพร้าว เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ และขุยมะพร้าวนั้น ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และคณะ (2535) ได้รายงานไว้ดังนี้ แกลบมีปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 0.36 0.09 และ 1.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 54.72 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 152 และมีค่าพีเอช 6.18 สำหรับขุยมะพร้าวมีปริมาณ

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 0.36 0.05 และ 2.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 60.13 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 167 และมีค่าพีเอช 6.15 ส่วนกากถั่วเหลือง มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม อยู่ในช่วง 2.7-8.7 0-0.4 และ 0-2.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

4. น้ำกากส่าหรือน้ำส่าเหล้า

น้ำกากส่าหรือน้ำส่าเหล้าเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกกระบวนการผลิตสุรา ทั้งนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการรดกองปุ๋ยเพื่อการผลิตปุ๋ยหมักได้ สำหรับคุณสมบัติของน้ำกากส่าในด้านต่างๆ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่า (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2527)

พารามิเตอร์	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ของแข็งทั้งหมด	67,110.00
ของแข็งแขวนลอย	2,223.30
บีโอดี	46,333.30
ซีโอดี	79,739.90
ไนโตรเจนทั้งหมด	1,337.00
ฟอสเฟตทั้งหมด	325.00
โปตัสเซียม	1,100.00
พีเอช	4.20
แคลเซียม	801.60
คลอไรด์	1,749.45
ซัลเฟต	6.00
โซเดียม	900.00

5. มูลสัตว์ (Animal manure)

เนื่องจากในงานวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเฉพาะมูลโคและมูลไก่ ดังนั้นจึงขอเสนอรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีในด้านธาตุอาหารพืชเฉพาะมูลโคและมูลไก่ โดยทั่วไปแล้วในมูลโคมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม อยู่ในช่วง 0.3-1.2 0.3-0.9 และ 0.2-3.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนมูลไก่มีปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม อยู่ในช่วง 1.2-4.9 1.2-6.9 และ 0.5-1.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ถวิล ครุฑกุล, 2531; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. มูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste)

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2532) ได้ทำการศึกษาลักษณะของมูลฝอย ณ สถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2529 โดยพบว่า มูลฝอยในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าความชื้น สารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้า ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ สารที่เผาไหม้ได้ 31 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเถ้า 13 เปอร์เซ็นต์ และในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลฝอยทางเคมีพบว่า ปริมาณไนโตรเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 17 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสพบว่า ในเดือนสิงหาคม-ธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกต่อกับฤดูหนาวมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เดือนมกราคม-พฤษภาคม ซึ่งอากาศส่วนใหญ่จะร้อนอบอ้าว มีปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 10-13 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่มีอากาศร้อนอบอ้าวชุมชนมีการใช้แชมพู น้ำยาอาบน้ำ และผงซักฟอกมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นมูลฝอยในช่วงเวลาดังกล่าวจึงมีการเจือปนด้วยฟอสฟอรัสค่อนข้างมาก ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะมูลฝอยทางกายภาพ พบว่า มูลฝอยชุมชนประกอบด้วยมูลฝอยสด กระดาษ พลาสติก เป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณรวมกันถึง 56 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ไม้ ผ้า สารที่เผาไหม้ได้ ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ โลหะ มีปริมาณรวมกัน 26 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 18 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ JICA (1982) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร โดยจำแนกแหล่งกำเนิดมูลฝอยออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ อาคารบ้านเรือน ตลาด ห้างสรรพสินค้า โรงแรม สำนักงาน โรงงานทอผ้า โรงงานประกอบรถยนต์ โรงเลื่อยไม้ และศึกษาจากสถานกำจัดมูลฝอย โดยพบว่า องค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพที่มีปริมาณสูงสุด 5 อันดับแรกคือ ใบไม้และกิ่งไม้ กระดาษ เศษอาหาร กระดูก หินและพลาสติก ทั้งนี้มีค่าเท่ากับ 19.0 18.3 15.4 11.9 และ 10.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกนั้นประกอบด้วย แก้ว เหล็ก เศษผ้าและสิ่งทอ แบตเตอรี่แห้ง ยางและหนังสัตว์ โลหะอื่นยกเว้นเหล็ก โดยมีค่าเท่ากับ 6.1 5.4 4.0 3.4 2.0 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 6.7 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของมูลฝอยจากทุกแหล่งกำเนิด ได้แก่ ความหนาแน่นรวม 0.19 กิโลกรัมต่อลิตร ความชื้น 44.9 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ค่าความร้อน 1,887 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพีเอช 5.53 สำหรับค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของมูลฝอยเฉลี่ยจากทุกแหล่งกำเนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม ซัลเฟอร์ และคลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 45.3 7.13 32.5 0.69 0.38 5.45 0.14 และ 0.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้า 13.5 เปอร์เซ็นต์

7. กากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนมีลักษณะอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น เกิดก๊าซและความร้อนจาก

การย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการบำบัดกากตะกอน ทั้งนี้อาจแยกองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนออกได้เป็น 2 กลุ่ม (ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535) คือ

ก. ธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม) และจุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก มังกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอื่นๆ

ข. สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์ และหนอนพยาธิต่างๆ

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ ได้มีการรายงานไว้แล้ว ดังเช่น นิภา พนาพิทักษ์กุล (2524) วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเป๊ปซี่ พบว่า มีไนโตรเจน 5.14 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 0.53 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณโปตัสเซียมเท่ากับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 5.19 ส่วนกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ มีปริมาณธาตุอาหารคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 4.7 1.25 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 33.4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.54 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน เท่ากับ 7 (สุริยา สาสนรักกิจ, 2531) นอกจากนี้ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ศิราณี ศิริสุโขดม (2535) อรรณพ หอมจันทร์ (2535) และกัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2537) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง การเคหะแห่งชาติ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.2

<u>การทำปุ๋ยหมัก (Composting)</u>

วัสดุอินทรีย์ประเภทต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น มักมีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่อนข้างมาก ดังนั้นเพื่อลดอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้แคบลงจึงต้องนำวัสดุประเภทต่างๆ ดังกล่าว มาทำการหมักปุ๋ย (Composting) ทั้งนี้มีวิธีการในการหมักปุ๋ย และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีในกระบวนการหมักดังต่อไปนี้

1. การหมักวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งให้กลายเป็นปุ๋ย

วิธีการหมักวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งให้กลายเป็นปุ๋ยที่ปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธี (Gray, Biddlestone and Clark, 1973) ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นการหมักโดยอาศัยออกซิเจนในอากาศตามธรรมชาติ โดยทำการกองวัสดุที่ทำการหมักบนพื้น (Windrow) หรือในหลุม แล้วปล่อยให้เกิดการย่อยสลายหรือเกิดการหมักตามธรรมชาติอย่างช้าๆ ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นการหมักโดยใช้เครื่องจักรกล (Digester หรือ Closed chamber) ซึ่งการใช้เครื่องจักรกลช่วยในกระบวนการหมัก จะช่วยให้ระยะเวลาในการย่อยสลายอินทรียวัตถุสั้นลงกว่าวิธีตามธรรมชาติ

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง

พารามิเตอร์	ค่าขององค์ประกอบทางเคมีซึ่งรายงานโดย			
	อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529)	ศิราณี ศิริสุโขดม (2535)	อรรณพ หอมจันทร์ (2535)	กัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2537)
พีเอช	7.00	7.00	6.62	6.44
อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	30.40	12.27	16.07	17.70
อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	52.29	21.16	27.64	30.44
ไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	2.87	1.92	1.98	1.82
แอมโมเนียมไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	800.00	1,158.00	889.13	-
ไนเตรตไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	636.00	308.00	47.51	-
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	167.75	245.83	295.50	-
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	690.00	440.00	310.00	-
โลหะหนักที่สกัดด้วย 0.005M DTPA (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
1. แคดเมียม	0.24 (4.2)	0.50	0.20 (3.50)	0.84
2. ทองแดง	55.00 (179.5)	28.60	1.22 (404.17)	25.60
3. เหล็ก	357.00 (16,176.7)	576.00	133.00 (14,179.17)	39.91
4. มังกานีส	126.00 (523.1)	246.00	43.00 (601.25)	17.24
5. นิเกิล	4.40 (4.40)	7.54	12.82 (19.83)	13.18
6. ตะกั่ว	3.54 (162.4)	4.00	0.56 (143.25)	0.89
7. สังกะสี	500.00 (1,510.7)	850	910.00 (3,571.83)	530.00

หมายเหตุ : 1) - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

2) ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับในประเทศไทยสามารถจำแนกรูปแบบการผลิตปุ๋ยหมักได้ 3 ประเภท (ปรัชญา ธัญญาดี, 2529) ได้แก่ การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร่นา (Farm compost หรือ Rural compost) การผลิตปุ๋ยหมักเป็นอุตสาหกรรม (Agro-industrial compost) และการผลิตปุ๋ยหมักเทศบาล (City compost) การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร่นา เป็นการผลิตปุ๋ยหมักที่เกษตรกรผลิตขึ้นเองจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่ของตน เช่น ฟางข้าว กากและฟางถั่ว ใบพืช ลำต้นพืช เป็นต้น โดยนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมากองบนพื้นหรือในหลุม รดน้ำกองปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ความชื้นภายในกองปุ๋ยอยู่ในระดับที่เหมาะสม จนกระทั่งเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.) สำหรับการผลิตปุ๋ยหมักเป็นอุตสาหกรรม เป็นการผลิตปุ๋ยหมักในปริมาณมาก โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ แกลบจากโรงสีข้าว เป็นต้น มาผ่านกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตปุ๋ยหมักแบบไร่นา แต่จะเป็นการผลิตในปริมาณมากกว่า ทำให้ต้องใช้แรงงานคน และอุปกรณ์ต่างๆ ในการผลิตจำนวนมาก ซึ่งรายละเอียดของวิธีการผลิตได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ส่วนการผลิตปุ๋ยหมักเทศบาล เป็นการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนโดยใช้เครื่องจักรกลช่วยในกระบวนการหมัก มีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค.

2. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีในกระบวนการหมัก

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีในกระบวนการหมัก ทั้งแบบกองบนพื้น ในหลุม หรือใช้เครื่องจักรกลช่วยในกระบวนการหมัก จะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายอินทรียสารโดยใช้ออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N Ratio) ทั้งนี้จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายอินทรียสารเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลของจุลินทรีย์ เมื่ออินทรียสารถูกย่อยสลายแล้ว จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำออกมา และยังให้แร่ธาตุซึ่งเป็นอาหารสำหรับพืช เช่น ไนเตรต ซัลเฟต ฟอสเฟต เป็นต้น (Gotass, 1956; Poincelot, 1974; De Bertoldi et al., 1985) ดังปฏิกิริยาการย่อยสลายต่อไปนี้

$$\text{อินทรียสาร (CHONS)} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^{2-}$$

โดยใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมักจะเกิดการย่อยสลายอย่างเข้มข้น อุณหภูมิของสารหมักจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria) หลังจาก 24 ชั่วโมงแรกแล้ว อุณหภูมิของสารหมักจะสูงขึ้นจนถึงประมาณ 75 องศาเซลเซียส ช่วงนี้การย่อยสลายอินทรียสารจะเกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) และอุณหภูมิที่สูงระดับนี้จะมีผลดีในการทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนของแมลง ตลอดจนทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุในการทำให้เกิดโรค (Daji and Rajagopala, 1971) และอุณหภูมิที่สูงในระดับดังกล่าวจะเกิดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์ หรือตั้งแต่ 1-5 วัน หลังจากนั้นอุณหภูมิของสาร

หมักจะค่อยๆ ลดลง จนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส อินทรียสารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส จะค่อยๆ ถูกย่อยสลาย ซึ่งจะใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป จนถึง 1 ปี ผลผลิตที่ได้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว เป็นผงหรือก้อนเล็กๆ สีน้ำตาลดำ

สำหรับปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดสภาวะการย่อยสลายที่เหมาะสม ได้แก่ ความชื้นของวัสดุที่นำมาหมักควรอยู่ในช่วง 40-60% อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ควรอยู่ในช่วง 25-35 ควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยไม่ให้สูงเกิน 75 องศาเซลเซียส และควรมีการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหรือพลิกกลับกองปุ๋ยเพื่อเป็นการเติมออกซิเจน (พิทยากร ลิ่มทอง และคณะ, 2535)

<u>ลักษณะและองค์ประกอบของปุ๋ยหมัก</u>

Gonzalez-Vila และ Martin (1985) กล่าวว่า ลักษณะและองค์ประกอบของปุ๋ยหมักจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีที่ใช้ในการหมัก ชนิดของวัสดุที่นำมาหมัก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก (Gallardo-Lara and Nogales, 1987) อย่างไรก็ตาม Toth (1973) ได้กำหนดลักษณะของ Ideal compost ไว้ว่าควรมีลักษณะเนื้อละเอียด มีสีน้ำตาลค่อนข้างดำถึงดำ มีปริมาณอินทรียวัตถุอย่างน้อยที่สุด 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) อยู่ระหว่าง 2.5-3.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) 1.0-1.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปตัสเซียม (Total K_2O) 1.0-1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity : CEC) อยู่ในช่วง 75-100 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ($(NH_4)_2SO_4$) อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ และมีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งปุ๋ยหมักเกือบทุกชนิดคงมีลักษณะไม่ครบตามแบบ Ideal compost แต่อย่างไรก็ตามควรที่จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโปตัสเซียมไม่น้อยกว่า 1.2 0.7 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Flintoff, 1976) สำหรับในประเทศไทย ทางโครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กรมพัฒนาที่ดิน จะยึดหลักเกณฑ์กว้างๆ ว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ควรมีธาตุอาหารพืชพอสมควร และเมื่อใส่ลงในดินแล้วไม่ทำให้เป็นอันตรายต่อพืช โดยมีหลักในการพิจารณาคือ ปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ไม่มากกว่า 20:1 มีปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโปตัสเซียม ไม่ต่ำกว่า 0.5 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความชื้นของปุ๋ยหมักไม่ควรมากกว่า 35-40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.0-7.5 และไม่ควรมีวัสดุอื่นๆ เจือปน (ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2535)

สำหรับลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีในด้านธาตุอาหารของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งประเภทต่างๆ เช่น วัสดุเศษพืชชนิดต่างๆ และมูลฝอยชุมชนทั้งที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยและในต่างประเทศมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษพืชชนิดต่าง (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2535)

ชนิดของเศษพืช	พีเอช	ปริมาณธาตุอาหารพืช (เปอร์เซ็นต์)		
		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปตัสเซียม
กากอ้อย	8.2	0.87	0.25	0.98
แกลบ	8.3	1.23	4.03	1.29

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน จากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชและหนองแขม (Praparat Panarom, 1981)

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าขององค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักจาก	
	อ่อนนุช	หนองแขม
พีเอช	8	8.26
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	47.1	34.73
อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	46.9	40.05
อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	23.90	20.08
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	1.10	1.13
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.72	1.04
โปตัสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	1.12	1.06
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.84	7.75
แมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.84	0.52
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน	22	18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่ผลิตในประเทศต่างๆ (Gallardo-Lara and Nogales, 1987)

ประเทศ	พีเอช	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)								
		ความชื้น	อินทรียวัตถุ	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปตัสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ซัลเฟอร์	โซเดียม
ฝรั่งเศส	7.6	47.3	-	0.96	0.39	0.20	4.41	0.22	0.38	0.30
เยอรมัน	-	35.0	24.0	0.45	0.17	0.27	2.32	0.27	-	-
เนเธอร์แลนด์	-	-	22.0	1.00	0.18	0.50	1.79	0.18	-	-
อังกฤษ										
- เมือง Leicester	7.4	38.8	36.8	1.06	-	-	-	-	-	-
ออสเตรีย	7-8.5	25.35	20-35	0.5-1.5	0.2-0.4	0.25-0.85	2-12	0.5-3.0	-	-
สเปน										
- เมืองกรานาดา	7.1	41.0	58.4	1.40	0.38	0.65	8.72	0.80	0.26	0.65
ฮ่องกง	8.0	-	48.9	1.67	0.55	0.40	2.25	0.63	-	0.82
Guadaloupe	8.9	-	13.6	0.52	0.20	0.20	1.10	0.20	0.20	0.70
แคนาดา										
- เมือง ออนตาริโอ	-	-	64.0	0.57	0.08	0.31	0.85	0.21	-	0.18
สหรัฐอเมริกา										
- เมืองเทนเนสซี่	-	-	-	0.93	0.26	0.30	1.55	1.61	-	0.42
ช่วงของทุกประเทศ	7-8.9	25-47	13.6-64.0	0.45-1.67	0.08-0.55	0.20-0.85	0.85-8.72	0.18-0.63	0.20-0.38	0.18-0.82

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ความสำคัญของปุ๋ยหมักต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความสำคัญของปุ๋ยหมักที่มีต่อดินที่ทำการเพาะปลูก พอสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ 3 ประการ คือ

1. บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ

1.1 ส่งเสริมให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน

การใช้ปุ๋ยหมักในปริมาณมาก และติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดดิน และดินมีการอุ้มน้ำดีขึ้น (ประภัสสร์ จินดาพล, 2520) การส่งเสริมให้ดินจับกันเป็นก้อนหรือเกิดเป็นเม็ดดินมีอิทธิพลเนื่องมาจากอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก ซึ่งเมื่อสลายตัวจะทำให้เกิดสารเชื่อม เช่น Levans Dextrans นอกจากนี้ยังมีสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิด ออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม รวมทั้งสารประกอบพวกซิลิคแคลเซียม คาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันให้เกิดเป็นเม็ดดิน ประการหนึ่งจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ เช่น เชื้อราซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นใย จะเจริญเติบโตไขว้กันคล้ายร่างแหรัดอนุภาคดินและส่งผลให้เกิดเม็ดดินขึ้น อันเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มช่องว่างในดิน (ปรีดี รักษา, 2535) ทำให้ดินเหนียวเกิดช่องว่างขนาดโตและเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในดินเนื้อละเอียดดีขึ้น และดินทรายหรือดินเนื้อหยาบมีการอุ้มน้ำดีขึ้น ทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรียวัตถุ (Grin, 1972; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

1.2 ลดความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของดิน

ดินที่มีความแน่นตัวสูง เช่น ดินเหนียวหรือดินที่ผ่านการเขตกรรมในระดับเดิมอย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดชั้นดานแข็งจากการไถพรวนขึ้น ทำให้รากพืชเจริญเติบโตช้า จำกัดบริเวณหาอาหารของพืช การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ซึ่งบางครั้งพบว่า ดินดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงถึง 2 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร แต่เมื่อไถชั้นดานแข็งร่วมกับปุ๋ยหมักจะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงเป็น 1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ซึ่งถือว่าเป็นความหนาแน่นรวมปกติของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ปรีดี รักษา, 2535)

1.3 ลดการเกิดกษัยการของดิน

กษัยการของดินมีสาเหตุจากแรงปะทะของเม็ดฝนหรือลมที่มีต่อดิน ทำให้หน้าดินสูญหายไป รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินสูญเสียไปด้วย เนื่องจากการเกิดเม็ดดินโดยอินทรียวัตถุจากปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มความคงทนของเม็ดดินต่อแรงปะทะของเม็ดฝน และลมได้มากยิ่งขึ้น และไม่เกิดสภาพเปลือกดินแข็งบนผิวดิน ซึ่งเป็นปัจจัยเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ดังนั้นเมื่อเม็ดดินมีความคงทนต่อแรงปะทะของเม็ดฝนและลม ย่อมทำให้อัตราการซาบซึมลงของน้ำดีขึ้น จึงลดการเกิดกษัยการโดยอิทธิพลของน้ำไหลบ่าได้ (ปรีดี รักษา, 2535)

2. บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี

ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารให้แก่พืช โดยเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน ก ามะถัน และฟอสฟอรัสที่สำคัญ ธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ให้พืชนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต (ศุภมาศ พณิชศักดิ์พัฒนา, 2527ก; Chen and Avnimelech, 1986) และเป็นแหล่งสำคัญแหล่งใหญ่ที่ให้ธาตุอาหารในรูปประจุลบ เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต โมลิบเดต และคลอไรด์ (ศุภมาศ พณิชศักดิ์พัฒนา, 2527ข) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินกรดและดินแคลคาเรียส อันเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ ซึ่งกระทำโดยจุลินทรีย์ดินนั้นจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น กรดอินทรีย์เหล่านี้จะช่วยละลายสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้บ้าง (El-Baruni and Olsen, 1979) กรดอินทรีย์อันเกิดจากการสลายตัวของปุ๋ยหมัก นอกจากจะละลายสารประกอบฟอสเฟตบางส่วนที่ละลายค่อนข้างยากแล้ว อนุมูลกรดอินทรีย์ยังช่วยป้องกันการตกตะกอนของอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายได้ โดยจะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมที่เป็นตัวการในการตรึงฟอสเฟตในดินไว้บางส่วน ซึ่งไอออนของเหล็กและอลูมินัมมีอยู่เป็นจำนวนมากในสารละลายดินในช่วงพีเอช 3-9 (Knott, 1950; Struthers and Sieling, 1950) นอกจากนั้นอนุมูลฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับแร่ดินเหนียวจะถูกอนุมูลของกรดอินทรีย์เข้าแทนที่ได้บางส่วน ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากยิ่งขึ้น (Dalton, Russell and Sieling, 1952) นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ทำให้อนุภาคดินสามารถดูดยึดประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชได้ดี จึงลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างของน้ำ (Hasit ed., 1986) รวมทั้งทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม สารกำจัดศัตรูพืช และพิษจากโลหะหนักที่ใส่ลงไปในดิน ให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป (ยงยุทธ โอสถสภา, 2528; ปรีดี รักษา, 2535)

3. บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางชีวภาพ

เมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงในดิน อินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ดิน เป็นผลให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น และลดความรุนแรงของโรคพืชที่เกิดจากใส้เดือนฝอย เป็นต้น (สมศักดิ์ วังใน, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535; ปรีดี รักษา, 2535)

<u>เหตุผลสนับสนุนในการนำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไปใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร</u>

Gallardo-Lara และ Nogales (1987) ได้ทำการรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ เกี่ยวกับบทบาทของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเพื่อการบำรุงดินและพืช โดยสามารถสรุปเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

1. ผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

จากรายงานการศึกษาของ Biwas และ Khosla (1971) May, Terman และ Duggan (1973) รวมทั้งการศึกษาของ Duggan และ Wiles (1976) แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของดิน (Soil density) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากที่ได้มีการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยหมักมีความหนาแน่นต่ำ และมีแนวโน้มว่าไปทำให้ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น ซึ่ง Schrader (1967) ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่ปุ๋ยหมักเป็นปริมาณมากลงในดิน (400 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) จะทำให้ปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากากตะกอนและปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทำให้ความพรุนทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นและช่องว่างในดินกระจายตัวดีขึ้น ทำให้การซึมผ่านของน้ำและการแทรกซึมของอากาศดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยคอก (Pagliai et al., 1981) รวมทั้ง Facek (1974) ก็ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันจากการใช้ปุ๋ยคอก และชี้ให้เห็นว่าช่องว่างขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมครอนเท่านั้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่ใส่ลงไปในดินไม่มีผลต่ออุณหภูมิดิน แต่การใส่กากตะกอนลงในดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายและกรวด ทำให้อุณหภูมิของดินลดลงอย่างมาก (Hornick, 1982)

การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินเป็นการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ซึ่งมีผลมาจากลักษณะของปุ๋ยซึ่งเป็น colloidal (Biswas and Khosla, 1971; Bell, 1973; Bengtson and Cornette, 1973; Hortenstine and Rothwell, 1973; May et al., 1973) นอกจากนี้ยังทำให้ดินเกาะตัวกันได้ดีขึ้น (Allison, 1968; Biwas and Khosla, 1971; Webber, 1978)

จากรายงานการศึกษาต่างๆ ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นในดินเหนียว และยังลดผลกระทบจากการเกิดกษัยการโดยลมและน้ำได้ (Duggan and Scanlon, 1974)

2. ผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย และมีความสามารถในการต้านทานความเป็นกรด-ด่างของดิน (Buffer capacity) สมบัติเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการใช้ปรับปรุงดินกรด เนื่องจากปุ๋ยหมักจะแสดงตัวเป็นตัวปรับพีเอช (pH corrector) เพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นพิษที่จะเกิดจากอลูมินัมหรือมังกานีส ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อพีเอชของดินต่ำกว่า 5 (Thompson and Troeh, 1978) นอกจากนี้ Scanlon, Duggan และ Bean (1973) พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินกรดทำให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 5.8 ซึ่งให้ผลอย่างเดียวกันในดินที่เป็นกรดอ่อนด้วย (Hortenstine and Rothwell, 1972; Bengtson and Cornette, 1973; Duggan and Wiles, 1976) แต่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดลงของพีเอชในดินที่มีค่าพีเอชเป็นกลางหรือดินแคลคาเรียส (King, Leyshon and Webber, 1977) และจากผลการทดลองของ Rowaan (1949) พบว่าประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนในด้านการเป็นตัวปรับพีเอชของดินนั้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่า

การใช้ปูนขาว แต่เมื่อพิจารณาในด้านของการเพิ่มผลผลิตแล้ว ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีประสิทธิภาพดีกว่า

3. ผลต่อเกลือที่ละลายได้ในดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดิน จะทำให้ปริมาณเกลือที่ละลายได้ในดินเพิ่มมากขึ้น และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใส่ในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีความเค็มสูง (Hortenstine and Rothwell, 1972, 1973) นอกจากนี้ Guidi, Plagliai และ Giachetti (1982) แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่กากตะกอนและปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินร่วนปนทราย จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มสูงขึ้นในทุกตำรับการทดลอง แต่ในหน้าหนาวที่มีฝนตก ปริมาณเกลือที่ละลายได้มีค่าลดลงเกือบใกล้เคียงกับตำรับควบคุม

Chanyasak, Hirai และ Kubota (1982) สันนิษฐานว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่สูงขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอย เป็นสาเหตุหนึ่งที่ไปยับยั้งการเจริญของหัวผักกาด ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใส่ปุ๋ยลงไปในปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม ผลเสียที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยกว่าเมื่อใส่กากตะกอน ที่ส่งเสริมให้ค่าความเค็มเท่ากับหรือสูงกว่า 4 มิลลิโมห์ต่อเซ็นติเมตร (Epstein et al., 1976) ซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด (Allison, 1973)

4. ผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินเป็นปริมาณมาก จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงขึ้น Hortenstine และ Rothwell (1968) ได้ทำการปลูกต้นไม้ในกระถางโดยใช้ดินทรายที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เท่ากับ 3.67 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม และพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงไปในปริมาณมาก (128 และ 512 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) ทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่มขึ้นเป็น 4.18 และ 7.14 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใส่ในปริมาณน้อย (8 และ 32 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) พบว่า ไม่มีผลต่อการเพิ่มค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Bengtson และ Cornette (1973) ที่ทำการทดลองในภาคสนาม

5. การเพิ่มผลผลิตของพืช

Hortenstine and Rothwell (1973) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทำให้ผลผลิตของข้าวฟ่างสูงขึ้น ผลอย่างเดียวกันนี้ยังพบในพืชอีกหลายชนิด เช่น ในข้าวโพด (Zobac and Vana, 1974) มันฝรั่ง (Purves and McKenzie, 1974) ยาสูบ (Duggan, 1973) มะเขือเทศ (Vlamis and Williams, 1971) หัวบีทและหญ้าอาหารสัตว์ (Muller, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับ Chanyasak and Kubota (1983) ซึ่งใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่มีคุณภาพสูงคือ ทำการแยกวัสดุที่ไม่สามารถนำมาหมักได้ออกก่อน ทำให้ปุ๋ยที่ได้มีความเหมาะสมในการใช้กับไม้ผลมากกว่าพืชผัก แม้ว่าจะใช้ปุ๋ยหมักที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ แต่ในบางกรณีการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนก็ไม่ได้ส่งผลให้เกิดการตอบสนองด้านผลผลิตแต่อย่างใด ดังเช่นการทดลองของ Van Assche and Uyttebroeck (1982) พบว่า ผลผลิตของผักกาดหอม

ลดลง โดยทั่วไปการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสีย (Mortvedt and Giordano, 1975; King et al., 1977) แต่อย่างไรก็ตาม Wong, Mok และ Chu (1983) ได้ทำการทดลองในเรือนเพาะชำกับพืช 2 ชนิดคือ Brassica parachinensis และ Brassica juncea พบว่า ตำรับทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนให้ผลผลิตน้อยกว่าตำรับทดลองที่ใช้กากตะกอนและตำรับทดลองที่ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

6. ผลต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินให้ผลดีกับปริมาณของจุลินทรีย์ดินและเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ดินที่อยู่บริเวณรากพืช นอกจากนี้ยังสามารถลดการเพิ่มจำนวนของไส้เดือนฝอยในพืชด้วย (Lindford, Yap and Oliveira, 1938; Patrick, Sayre and Thorpe, 1965; Miyashita, Kato and Tsuru, 1982; Chopra and Magu, 1985)

7. เป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญให้กับดิน

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยฟอสฟอรัส แคลเซียม ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำหรับพืช นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งสำรองในการให้ธาตุโปตัสเซียม และจุลธาตุอาหารบางตัว เช่น โบรอน และสังกะสี (Hortenstine and Rothwell, 1968 1969 1972 1973; Bengtson and Cornette 1973; May et al., 1973)

ความเสี่ยงในการนำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

แม้ว่าปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจะมีลักษณะสมบัติต่างๆ ในการปรับปรุงโครงสร้างของดินและมีปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ในระดับหนึ่ง แต่ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนคือ มีปริมาณจุลธาตุอาหารซึ่งพืชต้องการในปริมาณน้อยค่อนข้างมาก ดังเช่น Purves และ McKenzie (1973) พบว่า ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีปริมาณของทองแดงและสังกะสี มากกว่า 100 เท่า และ 300 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีในดินที่ผ่านการเขตกรรม นอกจากนี้ Purves (1977) Purves และ McKenzie (1973, 1974) พบว่า ปริมาณของทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้จากดินภายหลังจากการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mohr (1979) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนในปริมาณมากหรือใส่ติดต่อกันหลายครั้ง จะทำให้เกิดผลกระทบแก่พืช อันเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของจุลธาตุอาหารจนถึงระดับที่เป็นพิษได้ หรือเป็นการเพิ่มการนำไปใช้ของโลหะหนักตัวอื่น (Purves and McKenzie, 1974)

นอกจากปริมาณจุลธาตุอาหารที่พบได้เป็นปริมาณมากในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนแล้ว ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นที่จัดว่าเป็นพิษโดยตรงก็พบเป็นส่วนประกอบอยู่ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ โดย Gallardo-Lara และ Nogales (1987) ถึงปริมาณของโลหะหนักที่พบได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.6 นอกจากนี้

ตารางที่ 2.6 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่พบได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่ผลิตในประเทศต่างๆ

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)												
	เหล็ก	มังกานีส	ทองแดง	สังกะสี	โบรอน	โมลิบดินัม	อาร์เซนิก	แคดเมียม	โคบอลต์	โครเมียม	ปรอท	นิเกิล	ตะกั่ว
ฝรั่งเศส	17,110	854	357	1,525	10-32	-	-	8.5	-	2.9	3.4	196	599
เยอรมัน	-	330	170	650	20	-	5	0.7	-	-	1	-	150
เนเธอร์แลนด์	-	-	50	500	-	-	-	3	-	25	0.5	15	100
อังกฤษ													
- เมือง Leicester	-	800	610	1,350	174	25	52	7.5	48	170	21	140	1,630
ออสเตรีย	1,000-6,000	500-1,200	100	300-1,500	2-20	-	-	1-6	-	50-300	1-4	30-200	200-900
สเปน													
- เมืองกรานาดา	5,900	263	215	495	66.5	-	-	-	-	-	-	-	-
ฮองกง	-	702	511	1,460	-	-	-	14	-	-	-	-	287
Guadaloupe	27,648	984	242	1,024	10.2	4.2	-	1.7	-	-	-	26.9	246
แคนาดา													
- เมืองออนตาริโอ	-	250	28	400	-	-	-	2.0	31	-	-	-	200
สหรัฐอเมริกา													
- เมืองเทนเนสซี่	11,800	<500	<500	<50	<5	-	-	-	-	-	-	<200	-
ช่วงของทุกประเทศ	1,000-27,648	250-1,200	28-511	<50-1,525	2-174	4.2-25	5-52	0.7-14	31-48	2.9-300	0.5-21	15-200	100-1,630

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในประเทศไทยก็ได้มีการศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเช่นเดียวกัน ดังเช่น การศึกษาของ Praparat Panarom (1981) มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.7 และจากการศึกษาของ Mohr (1979) โดยทำการศึกษาปริมาณของตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล โครเมียม และปรอท ในดินที่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน พบว่า ในดินบนจะเกิดการสะสมของโลหะหนักดังกล่าวมากที่สุด โดยตะกั่วและแคดเมียม มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุด ขณะที่ปริมาณของนิเกิลและโครเมียมไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (Mohr,1979; Keller and Brunner, 1983) ส่วนปริมาณของปรอทไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดบางชนิดที่พบในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน จากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชและหนองแขม

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	สถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช	สถานกำจัดมูลฝอยหนองแขม
ทองแดง	415	762
สังกะสี	610	902
มังกานีส	768	1,390
โมลิบดินัม	225	167
โบรอน	60	62
แคดเมียม	6.0	14.35
ตะกั่ว	167	359
โครเมียม	nd	nd
ปรอท	6.56	3.50

หมายเหตุ : nd หมายถึง non detectable

อย่างไรก็ตาม ปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินจากการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนนั้น พืชบางชนิดสามารถดูดดึงเข้าไปในปริมาณมากได้ ดังเช่น King, Rudgers and Webber (1974, 1977) ทำการศึกษากับข้าวโพด พบว่า ข้าวโพดดูดดึงแคดเมียมได้ในปริมาณมาก แต่ไม่ดูดดึงโครเมียม นิเกิล หรือตะกั่ว Mortvedt และ Giordano (1975) ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันกับโครเมียมในข้าวฟ่าง นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเป็นสาเหตุให้พืชหลายชนิด (มะเขือเทศ อ้อย ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต) เกิดการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปมากขึ้น แต่ไม่มีผลในการดูดดึงปรอท นิเกิลและตะกั่ว ในอีกด้านหนึ่ง Liebhardt และ Koske (1974) ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินมีผลทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้าอาหารสัตว์ลดลง

Anderson (1977) พบว่า โลหะหนักบางตัวที่ใส่ลงไปในดินในรูปเกลือที่ละลายได้ (Soluble salt) พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในรูปของกากของเสีย ซึ่งโลหะหนักจะถูกดูดยึดไว้โดยอินทรียวัตถุ

จากเหตุผลดังกล่าวความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนของโลหะหนักจากปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจึงมีน้อยมาก เว้นแต่เมื่อมีการใส่ในปริมาณมาก หรือดินมีพีเอชเป็นกรดจัด และพบว่า ปริมาณของตะกั่วและปรอทในพืชไม่ได้มีผลสะท้อนมาจากระดับที่มีในดิน เนื่องจากธาตุดังกล่าวถูกดูดยึดไว้ในดินอย่างแข็งแรง นอกจากนี้ Gray และ Biddlestone (1980) ทำการวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อย เช่น ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและในดิน พบว่า ปริมาณทั้งหมดและปริมาณที่สามารถสกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่ปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตาม พบว่า มีปริมาณต่ำในพืชที่ปลูก

ในอีกด้านหนึ่งพบว่า การดูดดึงแคดเมียมของพืชหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ซึ่งทางหนึ่งที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินเพิ่มมากขึ้นก็คือ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ลงไป (Anderson, 1977) และจากการศึกษาของ Watanabe และ Kurihara (1982) พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีและทองแดงในเนื้อเยื่อของข้าวโพดลดลง แต่ความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักในข้าวโพดที่ปลูกในดินซึ่งเติมเกลือของโลหะหนักที่ละลายได้ และจากการศึกษาของ Chu และ Wong (1984) ซึ่งทำการเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและปุ๋ยวิทยาศาสตร์ พบว่าให้ผลตรงกันข้าม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ส่วนของพืชที่อยู่เหนือดิน 3 ชนิด มีความเข้มข้นของแคดเมียมคล้ายคลึงกันในตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและปุ๋ยวิทยาศาสตร์ แต่ปริมาณของแคดเมียมในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีปริมาณต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงจากการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ในปริมาณมากหรือใส่ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน โดยปริมาณโลหะหนักอาจเกิดการสะสมในดิน และถูกชะล้างลงสู่น้ำใต้ดิน หรือถูกดูดดึงและสะสมในพืช เกิดการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารซึ่งจะส่งผลต่อมนุษย์และสัตว์ได้ในที่สุด (Giordano and May, 1981; Silveria, 1986) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงปริมาณโลหะหนัก 8 ชนิด (มังกานีส สังกะสี ทองแดง โครเมียม นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท) ที่อาจพบได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน ปุ๋ยหมักจากเศษพืชผลทางการเกษตร ปุ๋ยคอก และดินผสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โลหะหนัก</u>

โลหะหนักหมายถึง ธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Stoker and Seagers, 1976) หรือเป็นธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 (Jones and Jarvis, 1981) โดยทั่วไปโลหะหนักต่างๆ มักพบกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ในดิน ในพืช และในสัตว์ โดยจะพบอยู่ในเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ โลหะหนักบางชนิดถ้ามีในปริมาณน้อยจะก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น มังกานีส และสังกะสี เป็นประโยชน์ต่อพืช โครเมียม และนิเกิลเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ส่วนแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ไม่แสดงความเป็นประโยชน์ทั้งในพืชและสัตว์ (Jones and Jarvis, 1981) และในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการสะสมของโลหะ

หนักในดิน ในพืช รวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมของโลหะหนัก และระดับที่ปลอดภัยตลอดจนระดับที่เป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสะสมโลหะหนักในดิน

โดยปกติพื้นผิวโลกจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ปริมาณหนึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากการผุพังและสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินเอง ความเข้มข้นของโลหะหนักในเปลือกโลกและในดิน แสดงดังตารางที่ 2.8

สำหรับในประเทศอังกฤษ ได้กำหนดปริมาณแคดเมียม นิเกิล และตะกั่วในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้จากสภาวะแวดล้อมไว้เท่ากับ 1.0 1.0 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Webber, Kloke and Jjell, 1984)

โลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย น้ำที่ชะล้างผ่านดินและน้ำใต้ดิน จึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก (Genevini et al., 1984) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะพบว่า โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายคือ นิเกิล แคดเมียม และสังกะสี โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลางคือ ทองแดง ส่วนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยหรือไม่เคลื่อนย้ายเลยคือ ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม (Davis, 1984) ความเข้มข้นของโลหะหนักอาจจะแปรผันตามความลึกของดินได้ เช่น น้ำที่ชะผ่านดินอาจทำให้โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น สังกะสี และแคดเมียม เคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น ทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีและแคดเมียมลดลงตามความลึกของดิน แต่น้ำที่ชะผ่านดินจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมียมตามความลึกของดิน เพราะตะกั่วและโครเมียมเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยมาก (Gillies et al., 1989)

ตารางที่ 2.8 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในเปลือกโลก (Lithosphere) (Goldschmidt, 1958) และในดิน (Bowen, 1966)

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณที่พบในเปลือกโลก (Lithosphere)	ปริมาณที่พบในดิน (Soil)	
		เฉลี่ย	ช่วงที่พบ
แคดเมียม	0.2	0.06	0.01-0.7
โครเมียม	200	100	5-3,000
ทองแดง	70	20	2-100
ปรอท	0.5	0.03	0.01-0.3
มังกานีส	1,000	850	100-4,000
นิเกิล	100	40	10-1,000
ตะกั่ว	16	10	2-200
สังกะสี	80	50	10-300

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โลหะหนักมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation capacity) อยู่ในส่วนที่เป็น Clay fraction ได้ดี ดินที่เป็นดินเหนียวจึงมีโลหะหนักอยู่ในรูปที่ดูดดึงได้ง่าย (Available form) ในสารละลายดิน น้อยกว่าดินที่เป็นดินทราย ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay fraction น้อย โลหะหนักส่วนใหญ่จึงอยู่ในสารละลายดินของดินทรายมากกว่าดินเหนียว (Diaz and Polo, 1988)

2. การสะสมโลหะหนักในพืช

Allaway (1968) ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณของโลหะหนักบางชนิดในพืช มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) บางชนิดในพืช

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณที่พบในพืช
แคดเมียม	0.2-0.8
โครเมียม	0.2-1.0
ทองแดง	4-15
ปรอท	0.015
มังกานีส	15-100
นิเกิล	1
ตะกั่ว	0.1-10
สังกะสี	8-100

พืชมีโอกาสสะสมโลหะหนักทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะโลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ (Lee et al., 1976) กระบวนการดูดดึงและสะสมโลหะหนักของรากพืชอาจเป็นแบบ Active ion absorbtion หรือ Passive ion absorbtion กลไกการดูดดึงแบบ Passive ion absorbtion อาจดึงดูดโดยวิธีแลกเปลี่ยนอิอน (Ion exchange) หรือวิธีการคายน้ำ (Convection) กลไกเกิดในขณะที่พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดอิออนเร็วเกินกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้เกิดภาวะ Concentration gradient อย่างกระทันหันที่บริเวณรากพืช โลหะหนักจึงเคลื่อนเข้าสู่พืชได้โดยวิธีการแพร่จากดินเข้าสู่ราก ส่วนวิธีการเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากรากไปสู่ยอด (Translocation) ยังสรุปแน่นอนไม่ได้ (Cutler and Rain, 1974)

โลหะหนักบางธาตุคือ ทองแดง มังกานีส สังกะสี เป็นจุลธาตุอาหารของพืช ทองแดงเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ในไมโตคอนเดรีย และคลอโรพลาส มังกานีสมีส่วนช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต เมตาบอลิซึม และกระตุ้นเอนไซม์ให้ทำงาน สังกะสีมีบทบาทในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และโคแฟคเตอร์ในเอนไซม์หลายชนิด (Clarkson and Hanson, 1980) พืชขาดโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้ แต่มีความ

ต้องการในปริมาณน้อย ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชทั่วๆ ไป สำหรับทองแดง มังกานีส สังกะสี เท่ากับ 4.5 1.0 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณจุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืชจะบ่งบอกถึงความขาดแคลน เพียงพอ และความเป็นพิษจากโลหะหนักดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 จุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืช (Davies, 1980)

จุลธาตุอาหาร	ปริมาณจุลธาตุอาหารในใบแก่ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ขาดแคลน	เพียงพอ	เป็นพิษ
ทองแดง	< 4	5.20	> 20
มังกานีส	< 20	20-500	> 500
สังกะสี	< 20	25-150	> 400

นอกจากโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารของพืชแล้ว Polacco (1977) พบว่า นิเกิลที่มีความเข้มข้นต่ำ (5×10^{-5} โมล) สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืช โดยช่วยเปลี่ยนยูเรียเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และ Hewitt (1953) ก็พบว่าตะกั่วสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หากมีปริมาณน้อย

โลหะหนักชนิดต่างๆ หากมีปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืช หรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ปริมาณโลหะหนักที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ การศึกษาวิจัยโดยปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่างๆ กัน จะแสดงถึงศักยภาพสูงสุดของโลหะหนักที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Maximum potential toxicity) ได้ ดังเช่น วิไลภรณ์ บุญญกิจจินดา (2523) ได้ศึกษาพบว่า เมื่อปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีนในสารละลายธาตุอาหารที่มีแคดเมียมและนิเกิลเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่างๆ ผักทั้งสี่ชนิดจะมีการเจริญเติบโตปกติในสารละลายธาตุอาหารที่มีโลหะหนักความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและนิเกิลในสารละลายธาตุอาหารสูงกว่า 5 และ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พืชผักทั้งสี่ชนิดจะมีลักษณะผิดปกติ กล่าวคือ แคดเมียมจะทำให้เนื้อเยื่อใบซีดเหลือง (Chlorosis) จากใบอ่อนและรุนแรงจนใบซีดจาง ทำให้เกิดเนื้อเยื่อตาย (Necrosis) ของใบผักบุ้งจีน นิเกิลจะทำให้เนื้อเยื่อใบซีดเหลือง จากใบอ่อนซีดเหลืองในระหว่างเส้นใบอย่างไม่สม่ำเสมอ และรุนแรงจนเนื้อเยื่อใบของพืชผักทุกชนิดแห้งตายจนเหลือแต่ก้านใบที่ยังเขียวอยู่ และทั้งแคดเมียมและนิเกิลทำให้รากผักทุกชนิดเน่าเปื่อย สั้นกุดและมีปริมาณน้อย กิตติ เอกอำพน (2522) ทำการศึกษาโดยปลูกผักกวางตุ้งในสารละลายธาตุอาหารที่มีตะกั่วและสังกะสีความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ผักกวางตุ้งสะสมตะกั่วและสังกะสีมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร ตะกั่วและสังกะสีที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 10 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้น้ำหนักผักกวางตุ้งลดลง และเกิดอาการซีดจางที่ใบอ่อน ในทางตรงกันข้ามหากพืชได้รับโลหะหนัก

ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตน้อยจนเกินไป จะเกิดผลกระทบได้ เช่น Farley และ Draycott (1973) พบว่า พืชที่ขาดมังกานีส จะปรากฏอาการคลอโรซีส (Chlorosis) ที่ใบอ่อน และเซลมีขนาดเล็กลง ในพืชใบเลี้ยงคู่ อาการขาดมังกานีสจะปรากฏเป็นจุดสีเหลืองเล็กๆ ที่ใบ สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะปรากฏจุดหรือแนวสีเทาที่ใบ ส่วนพืชที่ขาดสังกะสีจะมีอาการขาดคลอโรฟิล (Chlorosis) ในบริเวณระหว่างเส้นใบ โดยจะมีสีซีดจางลงเป็นสีเหลืองหรือสีขาว สำหรับผักหลายชนิด การขาดสังกะสีจะทำให้ระยะระหว่างข้อหรือปล้องสั้นลง และในใบแก่จะเกิดอาการขาดคลอโรฟิล บางครั้งพบว่าการขาดคลอโรฟิลเกิดในใบอ่อนร่วมด้วย (Maynard, 1979) นอกจากนี้การขาดสังกะสีจะยับยั้งการสร้างเม็ดคลอโรพลาสต์ และทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในเซลพืช (Jyung et al., 1975) และพืชที่ขาดทองแดงจะปรากฏอาการที่ปลายใบ โดยปลายใบจะมีลักษณะเป็นสีแดง ใบจะแคบและบิดเป็นเกลียว การเจริญของข้อและปล้องจะลดลง (Mengel and Kirkby, 1982)

ความรุนแรงของโลหะหนักแต่ละธาตุ และตำแหน่งที่จะก่อให้เกิดพิษต่อพืชจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถจำเพาะในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับสารอินทรีย์ ชนิดของธาตุที่ให้อิเล็กตรอน (Electron donor) ชนิดและการตอบสนองของพืช รวมทั้งสภาวะแวดล้อมต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกพืช (Mellor and Maley, 1984)

3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช

3.1 ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินมีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักของพืช Davies (1980) อ้างถึงผลงานของ Haghiri (1974) ที่พบว่า การดูดดึงแคดเมียมของข้าวโอ๊ต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้น และการดูดดึงแคดเมียมจะลดลงเมื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่ม โดยการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุลงในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักในดินได้ (Orawan Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985) เนื่องมาจากอินทรียวัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้ จึงทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในอินทรียวัตถุ และถูกพืชดูดดึงเข้าไปได้น้อย ดังเช่น รายงานของ Hutchinson, Freedman and Whitby (1981) สรุปว่า ในดินที่เกิดมลภาวะจากนิเกิลจะพบนิเกิลเป็นปริมาณมากในดินอินทรีย์ชั้นบน อาจเนื่องมาจากผิวดินมีสารอินทรีย์และมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง Gynac และ Beckett (1986) พบว่า มีความสัมพันธ์ทางลบระหว่างปริมาณนิเกิลในถั่วกับปริมาณสารอินทรีย์ในดิน และพืชที่ปลูกบนดินทรายจะสะสมโลหะหนักได้มากกว่าพืชที่ปลูกบนดินเหนียว (Chaney, 1982 อ้างถึงใน Kuntz et al., 1989; Cottenies, Kiekans and Van Landschoot, 1984)

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโลหะหนักในดิน โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลงได้ เพราะว่าอิออนของโลหะหนักต่างๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้ และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (Davies, 1980) การใส่ปูนเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะลดการดูดดึงโลหะหนักของพืชได้เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ มังกานีส > สังกะสี > นิเกิล = แคดเมียม > ทองแดง > โครเมียม = ตะกั่ว (Orawan Siriratpiriya et al., 1985)

3.2 ชนิดและรูปของโลหะหนัก

พืชมีความสามารถในการดูดดึงโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน แคดเมียม นิเกิล สังกะสี และทองแดงเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดดึงได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ดินสามารถดูดซับตะกั่วได้แน่น ปริมาณของตะกั่วในพืชจึงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในดิน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) และความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในพืช เช่น แคดเมียม นิเกิล และมังกานีส จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นที่มีอยู่ในดิน (Davis, 1984)

Pilegaard (1978) พบว่า แคดเมียมมีความสามารถที่จะเคลื่อนย้าย (Translocation) ในพืชได้มากกว่าทองแดง ตะกั่ว และนิเกิล สอดคล้องกับที่ Jarvis, Jones และ Hopper (1976) พบว่า รากของผักกาดหอมสามารถที่จะปลดปล่อยแคดเมียมที่รากดูดได้และลำเลียงไปสู่ส่วนยอดได้มาก ส่วนมังกานีสจะเคลื่อนย้ายในพืชได้ยากกว่าโลหะอื่นๆ

3.3 ปฏิกิริยาเสริม (Synnergism) หรือปฏิกิริยาหักล้าง (Antagonism) ของโลหะหนักและธาตุอื่นๆ

ปฏิกิริยาเสริมหรือหักล้างกันของโลหะหนักและธาตุอาหารอื่นๆ มีอิทธิพลต่อการดูดดึงและเคลื่อนย้าย (Translocation) โลหะหนักของพืช เช่น แคลเซียม และสังกะสีที่มีอยู่ในดินจะลดการดูดดึงแคดเมียมของพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2522) นอกจากนี้ Ambler, Brown และ Gaugh (1970) พบว่า ดินที่มีสังกะสีสูงจะทำให้พืชไม่สามารถลำเลียงธาตุเหล็กจากรากไปสู่ลำต้นได้ แต่สังกะสีที่มีอยู่ในดินมีผลให้พืชสามารถลำเลียงมังกานีสไปสู่ส่วนยอดได้มาก (Krause and Kaiser, 1977) และ Davies (1980) ศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณแคดเมียมในใบและรากของข้าวโพด (Maize) เพิ่มขึ้น ปริมาณสังกะสีจะลดลง และหากปริมาณเหล็กในใบและรากของข้าวโพดสูงขึ้น ปริมาณแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นด้วย

3.4 ชนิดและส่วนต่างๆ ของพืช

พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน เนื่องจากความต้องการโลหะหนัก ความสามารถในการดูดดึงโลหะหนัก รวมทั้งความทนทานต่อการขาดแคลนโลหะหนักและความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักแตกต่างกัน Elsokkary และ Elkeiy (1989) รายงานว่า โลหะหนักจะถูกดูดดึงโดยพืชจำพวกผักมากกว่าพืชเมล็ด ในพืชชนิดเดียวกันการสะสมโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืชก็ยังไม่เท่ากัน เช่น ผักคะน้าจะสะสมตะกั่วที่ราก > ใบ > ลำต้น (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต จะสะสมโลหะหนักในส่วนรากมากที่สุด (Gebhardt, Gruen and Pusch, 1990) ส่วนฟางแห้ง หัวผักกาด ผักกาดหอม หัวผักกาดแดง และต้นถั่วแดง จะมีสังกะสีสูงในใบ (Vigerust, Selmer-Olsen and Orawan Siriratpiriya, 1987)

3.5 สภาพแวดล้อมต่างๆ

สภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะภูมิอากาศและฤดูกาล ก็มีอิทธิพลในการส่งผ่านโลหะหนักจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชด้วย (Davis, 1984) กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น

พืชจะสามารถดูดดึงแคดเมียม มังกานีส และสังกะสีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Orawan Siriratpiriya et al., 1985)

4. ระดับที่ปลอดภัยและระดับที่เป็นพิษของโลหะหนัก

4.1 ระดับโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุ ที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนตามเกณฑ์ของนานาประเทศ และของกลุ่มประชาคมยุโรป (Commission of the European Communities) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.11

4.2 ระดับโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุคือ โลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารโดยตรง (มังกานีส สังกะสี และทองแดง) และโลหะหนักที่เป็นพิษ (โครเมียม นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท) ซึ่งสามารถยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.12

4.3 ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืช

ปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.11 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)								รายการอ้างอิง
	มังกานีส	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	นิเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท	
ออสเตรีย	1,200	1,500	1,000	300	200	900	6	4	Lutz (1984)
อังกฤษ	-	1,000	400	-	100	250	10	2	Bardos, Hadley, and Kendle (1992)
สหรัฐอเมริกา									
- มินเนโซตา	-	1,000	500	1,000	100	500	10	5	Gurkewitz (1989); Robert (1994)
- นิวยอร์ค	-	2,500	1,000	1,000	200	250	10	-	Robert (1994)
แคนาดา									
- ออนตาริโอ	-	500	60	50	60	150	3	-	Robert (1994)
เนเธอร์แลนด์ (แยกประเภทของมูลฝอย)	-	240	40	30	10	160	1	0.5	De Bertoldi, Civilini, and Comi (1990)
สวิตเซอร์แลนด์	-	300	100	-	-	100	3	1	Krauss, Blessing, and Korherr (1986, 1987)
อิตาลี	-	-	600	500	200	500	10	-	Genevini, Mezzanotte, and Gabarino (1987)
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC)									De Bertoldi, Civilini, and Comi (1990)
1. สำหรับไม้ผล	-	1,000	300	150	50	750	5	5	
2. สำหรับไม้ประดับ	-	1,500	500	200	100	1,000	5	5	
ช่วงของทุกประเทศ	1,200	240-2,500	60-1,000	30-1,000	10-200	160-1,000	1-10	1-5	

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.12 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Webber et al., 1984; Oosthoek and Vam, 1986 1987; Bardos, Hardley and Kendle, 1992)

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	มังกานีส	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	นิเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท
อังกฤษ	500	280	140	500	35	550	3.5	0.3
เยอรมัน	-	300	100	-	50	100	3.0	-
ฝรั่งเศส	-	300	100	-	50	100	2.0	-
เนเธอร์แลนด์	-	100	50	-	20	100	1.0	-
ช่วงของทั้ง 4 ประเทศ	500	100-280	50-140	500	20-50	100-550	1.0-3.5	0.3

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ตารางที่ 2.13 ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช
มังกานีส	15-150	400-2,000
สังกะสี	15-150	500-1,500
ทองแดง	3-20	25-40
โครเมียม	-	-
นิเกิล	0.1-5	50-100
ตะกั่ว	2-5	-
แคดเมียม	0.1-1	5-700
ปรอท	-	-

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย