

บทที่ 6

อินทรีย์วัตถุในดิน

(Soil Organic Matter)

องค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของดิน ได้แก่ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญต่อคุณสมบัติต่างๆ ของดินทั้งในทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลผลิตของดิน รวมทั้ง ecosystem ของดินโดยตรง

6.1 ความหมาย

อินทรีย์วัตถุ หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ซึ่งได้มาจากซากเน่าเปื่อยของพืชหรือสัตว์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่พืชหรือสัตว์ผลิตขึ้นในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ เช่น มูลสัตว์ นอกจากนั้น อินทรีย์วัตถุยังประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ตายแล้วและสารประกอบที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่

6.2 ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน

แม้ว่าในดินจะมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ แต่อินทรีย์วัตถุจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และทางชีว เป็นอย่างมาก ซึ่งพอจะสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

6.2.1 อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

อินทรีย์วัตถุในดิน มีอิทธิพลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินหลายประการ ได้แก่

- ก) สีของดิน ปกติอินทรีย์วัตถุมักจะมีสีเข้ม เช่น สีดำ หรือ สีน้ำตาล ดังนั้น ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมาก จึงมักจะมีสีเข้มมากกว่าดินที่มีอินทรีย์วัตถุน้อย (ยกเว้นดินที่มีธาตุแมงกานีสมาก)
- ข) ความร่วนเหนียวของดิน การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดิน จะช่วยปรับสภาพความร่วนเหนียวของดิน เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดินเหนียว จะช่วยลดความเหนียว (plasticity) ของดิน ทำให้การปฏิบัติเตรียมดิน การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศ เป็นไปได้สะดวก ในขณะเดียวกัน การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดินเหนียว ก็จะช่วยทำให้ดินมีการเกาะตัวกันมากขึ้น
- ค) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุ จะเป็นดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ทั้งนี้เพราะ อินทรีย์วัตถุจะแทรกเข้าไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ทำให้เกิดช่องว่าง

ขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก และนอกจากนั้น อินทรีย์วัตถุเอง ยังสามารถอุ้มน้ำได้หนักหลายเท่าของน้ำหนักตัวมันเอง

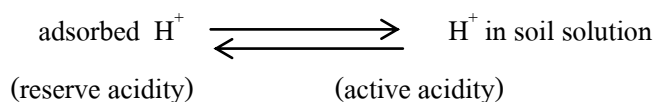
ง) อุณหภูมิของดิน อินทรีย์วัตถุที่ปกคลุมผิวดิน จะช่วยลดอุณหภูมิของดินในฤดูร้อน และช่วยให้อุณหภูมิสูงขึ้นในฤดูหนาว เพราะอินทรีย์วัตถุมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อน ทำให้ความร้อนผ่านเข้าหรือออกจากดินได้ยาก

6.2.2 อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางเคมีของดิน

อินทรีย์วัตถุในดินมีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีของดิน คือ

ก) การดูดซับประจุบวก เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิดประจุลบขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับประจุบวกของธาตุต่างๆ ไปได้ เช่น สารประกอบ carboxyl group (R-COOH) เมื่อแตกตัวจะปลดปล่อย H^+ ออกไป ทำให้อนุผลที่เหลือมีประจุลบมากกว่าประจุบวก ดังนั้นจึงทำให้มันสามารถดูดซับประจุบวกของธาตุต่างๆ ที่อยู่รอบๆ ตัวมันไว้ได้

ข) ด้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง จึงทำให้มันสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี ดังจะเห็นได้จากสมการ



ปฏิกิริยานี้ เป็น Equilibrium reaction ดังนั้น ไม่ว่าจะเพิ่มกรดหรือด่างลงไปในดิน ปฏิกิริยานี้จะเกิดทันที จึงทำให้ปริมาณของ H^+ หรือ OH^- ใน soil solution ไม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไป

ค) ปลดปล่อยประจุบวกต่างๆ ที่ดูดซับไว้ให้ออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช

ง) กรดที่เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ จะช่วยละลายธาตุอาหารบางชนิดให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้

6.2.3 อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน

จุลินทรีย์ดินต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ (heterotrophic microorganism) จำเป็นต้องอาศัยอินทรีย์วัตถุในการดำรงชีพ ดังนั้นดินที่มีอินทรีย์วัตถุมาก ก็จะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ดินมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดิน เกิดขึ้นได้อย่างดีและมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกบนดินนั้นด้วย

6.3 แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดิน (Source of Soil organic matter)

อินทรีย์วัตถุในดินมีแหล่งกำเนิดหลายทาง ได้แก่

- 1) จากซากพืชที่สลายตัวแล้ว (Crop residue)
- 2) จากซากพืชที่กำลังสลายตัว (Green manure)
- 3) จากซากพืชหรือสัตว์ที่สลายตัวเป็นฮิวมัสแล้ว
- 4) จากปุ๋ยหมัก (compost)
- 5) จากอินทรียสารต่างๆ เช่น dried blood , tankage , cotton seed meal , bone meal
- 6) จากสิ่งขับถ่ายของสัตว์ (animal manure)

6.4 ส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุ (Composition of Soil organic matter)

อินทรีย์วัตถุในดิน ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 2 ธาตุ คือ

1) **ไนโตรเจน** โดยทั่วไปอินทรีย์วัตถุในดินจะมีไนโตรเจนอยู่ประมาณ 5 % ซึ่งไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบอยู่นี้ นักวิทยาศาสตร์ทางดินเชื่อว่า เป็นไนโตรเจนที่ได้มาจากโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ดินที่ตายแล้ว โดยอาศัยเหตุผลที่ว่า ถ้าไนโตรเจนทั้งหมดในอินทรีย์วัตถุเป็นสารประกอบโปรตีน ก็จะคำนวณได้ว่า ในอินทรีย์วัตถุมีโปรตีนทั้งหมดเท่ากับ $5 \times 6.25 = 31.25 \%$ ซึ่งโปรตีนที่คำนวณได้นี้ เป็นปริมาณที่สูงเกินกว่าที่จะพบในพืชทั่วไป และยิ่งกว่านั้น โปรตีนจากพืชมักจะถูกย่อยสลายโดยง่ายจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้น จึงน่าจะสรุปได้ว่า โปรตีนที่พบในอินทรีย์วัตถุเป็นโปรตีนที่ได้จากเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว แต่โดยทั่วไป ในเซลล์ของจุลินทรีย์จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 60 % ดังนั้น จึงสันนิษฐานได้ว่า ในอินทรีย์วัตถุจะประกอบด้วยเซลล์ของจุลินทรีย์ราว 1/2 ของปริมาณทั้งหมด

2) **คาร์บอน** คาร์บอนที่ประกอบอยู่ในพืชนั้น ได้มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อน 3 พวกด้วยกันคือ 1) Polysaccharide 2) Lignin 3) Protein ซึ่งสารประกอบคาร์บอนเหล่านี้จัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ดิน โดยที่สารประกอบคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกออกซิไดส์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และจุลินทรีย์ก็จะได้พลังงานจากการออกซิไดส์นี้ไปใช้ในการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนให้มากขึ้น

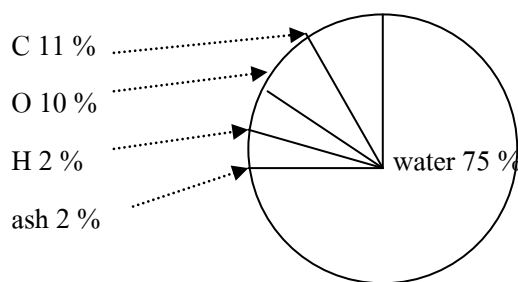
ในขณะที่เศษพืชต่างๆถูกย่อยสลายนั้น จุลินทรีย์ก็จะดึงเอาคาร์บอนไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของตัวเอง และเมื่อจุลินทรีย์ตายลง เซลล์ของมันก็จะถูกย่อยสลายต่อไปอีก ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีการเพิ่มเศษพืชลงในดิน แต่กระบวนการย่อยสลายก็จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆจนกว่าอินทรีย์คาร์บอนในดิน จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมดสิ้น

6.5 กระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์

อินทรีย์วัตถุในดิน ได้มาจากซากพืชและสัตว์ที่เน่าเปื่อยทับถมในดิน แต่ส่วนใหญ่แล้ว จะได้มาจากพืชมากกว่าจากสัตว์ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของพืชพอสมควร เพื่อที่จะได้ว่า เมื่อมีเศษพืชตายทับถมอยู่ในดิน ส่วนใดจะถูกย่อยสลายก่อน และส่วนใดจะถูกย่อยสลายทีหลัง

6.5.1 องค์ประกอบของพืชชั้นสูง

พืชประกอบด้วย น้ำ สารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ส่วนประกอบที่เป็นน้ำจะมีอยู่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ส่วนที่เหลืออีก 25 เปอร์เซ็นต์นั้น เรียกว่า น้ำหนักแห้ง (dry matter) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แล้ว ปรากฏว่า ประกอบด้วยคาร์บอน 11 % ออกซิเจน 10 % ไฮโดรเจน 2 % และ จีเถ้า 2 % ดังรูป



ภาพที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบของพืชชั้นสูง

ที่มา (ดัดแปลงจากคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530)

แต่ถ้านำเอาชิ้นส่วนของพืชมาวิเคราะห์เพื่อแยกชนิดของสารประกอบแล้ว จะพบว่า พืชประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดและในปริมาณที่ต่างกัน ดังในตาราง

ตารางที่ 6.1 แสดงปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในพืชและในอินทรีย์วัตถุ

Organic compound	% Dry matter plant tissue	% Soil organic matter
Cellulose	20 - 50	2 - 10
Hemicellulose	10 - 20	0 - 2
Lignin	10 - 30	35 - 50
Fats, Tannins, Waxes	1 - 8	1 - 8
Protein	1 - 15	28 - 35

ที่มา : Thompson, 1957, pp.88

6.5.2 การสลายตัวของชิ้นส่วนของพืชและสัตว์

การที่สารอินทรีย์ในดินจะสลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินนั้น โดยการที่จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายให้ซากพืชซากสัตว์มีโมเลกุลเล็กลงแล้วจึงดูดซึม (assimilate) เข้าไปในเซลล์ ซึ่งจากกิจกรรมดังกล่าว จุลินทรีย์จะได้คาร์บอนไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพื่อเพิ่มจำนวนประชากรให้มากขึ้น โดยมาก จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์มักจะเป็น จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องใช้พลังงานจากการออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ bacteria , fungi actinomycetes etc.

6.5.3 อัตราเร็วของการสลายตัว

การที่ซากพืชซากสัตว์จะถูกย่อยให้สลายตัวได้เร็วหรือช้าแค่ไหนนั้น จะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่อไปนี้

ก) ธรรมชาติของสารประกอบในพืชและสัตว์

สารประกอบอินทรีย์ในพืชหรือสัตว์ อาจแตกต่างกันได้ทั้งชนิดและปริมาณ โดยที่ซากพืชหรือสัตว์บางชนิดมีสารที่เอนไซม์ย่อยสลายได้ง่าย แต่บางชนิดประกอบด้วยสารที่ทนทานต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์ โดยปกติพืชหรือสัตว์ที่อายุน้อยอ่อน จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่าย ในปริมาณที่สูงกว่าพืชหรือสัตว์ที่อายุมาก ดังนั้น อายุของพืชหรือสัตว์ จึงเป็นสิ่งที่ชี้ถึงธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ ตลอดจนชี้ถึงอัตราเร็วของการสลายตัวด้วย

ตารางที่ 6.2 แสดงอัตราเร็วในการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์

สารประกอบ	อัตราการสลายตัว
1) Sugar , Starch , Simple protein	เร็วมาก
2) Crude protein	↓
3) Hemicellulose	
4) Cellulose	
5) Lignins , Fats , Waxes	ช้ามาก

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ,2530, หน้า 348

ข) สภาพแวดล้อมของการสลายตัว

เราทราบแล้วว่า การที่ซากพืชซากสัตว์จะสลายตัวได้นั้น เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน

และการที่จุลินทรีย์ในดินจะดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้ช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหลายอย่าง ได้แก่

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมินับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราเร็วของการสลายตัวมาก โดยทั่วไปในสภาพที่อุณหภูมิต่ำอัตราการสลายตัวจะช้ากว่าในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ในการสลายตัวอยู่ระหว่าง 30 - 40 °C

2) การถ่ายเทอากาศ (Aeration)

เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เข้าย่อยสารอินทรีย์นั้น โดยมากเป็นพวก hetero-aerobes ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ดังนั้น ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดีจึงมีการย่อยสลายได้ดีกว่าในสภาพที่อากาศถ่ายเทไม่ดี

3) ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นถ้าความชื้นเหมาะสม อัตราการสลายตัวก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ความชื้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 60 - 80 % ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

4) ปฏิกริยาของดิน (Soil Reaction)

การเจริญของจุลินทรีย์ในดิน จะถูกควบคุมโดยระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินที่มี pH ไม่เหมาะสม จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ จึงเป็นเหตุให้กิจกรรมต่างๆ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดน้อยลงด้วย นอกจากนั้นความเป็นกรดเป็นด่างของดินยังมีผลกระทบไปถึงเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตออกมาออกเซลล์ด้วย

5) ปริมาณธาตุอาหาร

การที่จุลินทรีย์เข้าย่อยสารอินทรีย์นั้นก็เนื่องมาจากมันต้องการคาร์บอนและพลังงานเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ นอกจากนั้นยังต้องการธาตุอาหารอื่นๆ อีกด้วย ดังนั้นการที่จุลินทรีย์จะสร้างเซลล์หรือดำเนินกิจกรรมได้มากน้อยแค่ไหนนั้น จึงขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็นในดินนั้นด้วย

6) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์ (C/N ratio)

ในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์นั้น จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนในปริมาณค่อนข้างสูง เพื่อสร้างสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ปริมาณของไนโตรเจนที่พอเหมาะต่อการสร้างเซลล์เมื่อเทียบกับปริมาณของคาร์บอน จะมีอัตราส่วน C:N = 10 : 1 นั่นคือ ถ้าจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนไป 10 กรัม ก็ต้องใช้ไนโตรเจน 1 กรัม ดังนั้นถ้าสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์เข้าย่อยเป็นชนิดที่มีไนโตรเจนต่ำ หรือมี C/N ratio กว้างกว่า 10 : 1 อัตราการสลายตัวก็จะเป็นไปอย่างช้าๆ หรือไม่จุลินทรีย์ก็ต้อง

ดึงเอาธาตุไนโตรเจนจากดินมาใช้ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง การสลายตัวของสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน จะเป็นไปได้ดีเมื่อสารอินทรีย์นั้นมี C/N ratio ประมาณ 10:1 หรือต่ำกว่า 10 : 1

ตัวอย่าง ถ้าปล่อยให้ตอซังข้าวโพดที่มีน้ำหนักแห้ง 100 กรัม สลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน จะต้องเพิ่มธาตุไนโตรเจนลงไปกี่กรัม จึงจะทำให้การสลายตัวเป็นไปอย่างสมบูรณ์

วิธีคำนวณ ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ส่วนที่เป็นน้ำหนักแห้งของพืชนั้นมีประมาณ 25 % และในส่วนนี้จะเป็นคาร์บอน 11 % ดังนั้นในน้ำหนักแห้ง 100 กรัมของซังข้าวโพด จะมีคาร์บอนประมาณ 50 กรัม(ความจริงมีเพียง 44 กรัม แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงให้คิดเป็น 50 กรัม) คาร์บอนที่พบในพืชนี้มีส่วนที่สลายตัวได้ง่ายเพียง 80 % ดังนั้นคาร์บอนหนัก 50 กรัม จะมีส่วนที่สลายตัวได้ง่ายเพียง 40 กรัม และคาร์บอนจำนวน 40 กรัมนี้ จะถูกออกซิไดส์เป็น CO₂ ประมาณ 2/3 ส่วนที่เหลือ 1/3 หรือประมาณ 13 กรัมเท่านั้นที่จุลินทรีย์จะใช้ได้ ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ใช้คาร์บอน 13 กรัม ก็ต้องใช้ไนโตรเจนในปริมาณ 1.3 กรัม

ในตอซังข้าวโพดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.66 % ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่จุลินทรีย์เอาไปใช้ได้เพียง 80 % ดังนั้นถ้าปล่อยให้ตอซังข้าวโพด 100 กรัมสลายตัว ก็จะมีปริมาณไนโตรเจนที่พืชใช้ได้ = $(80/100) \times 0.66 = 0.53$ กรัม

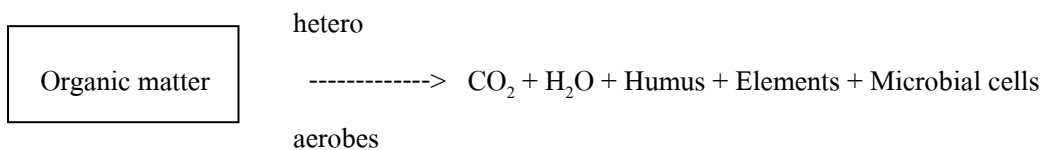
แต่ จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ในโตรเจนทั้งหมด = 1.3 กรัม ดังนั้น เพื่อให้การสลายตัวเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะต้องเพิ่มไนโตรเจนลงไปเป็นจำนวนเท่ากับ $1.3 - 0.53 = 0.77$ กรัม

6.6 ผลที่ได้รับจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ

จุลินทรีย์ที่เข้าย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้น ส่วนมากเป็นพวก จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ (heterotrophic microorganism) ซึ่งมีทั้งพวกที่ต้องการออกซิเจนและพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน ผลที่ได้จากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินทั้ง 2 พวกนี้ จะได้ product ที่แตกต่างกันตามสภาพของการถ่ายเทอากาศภายในดิน

6.6.1 ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ (Aerobic condition)

การย่อยสลายในสภาพนี้ จะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ นั่นคือ องค์ประกอบที่สลายตัวง่ายจะถูกเปลี่ยนเป็น CO₂ เหลือเฉพาะส่วนที่สลายตัวยาก ดังสมการ



และถ้าพิจารณาถึงการสลายตัวของธาตุอาหารที่สำคัญๆ จะได้ดังนี้

organic - C --- enzyme -----> CO_2

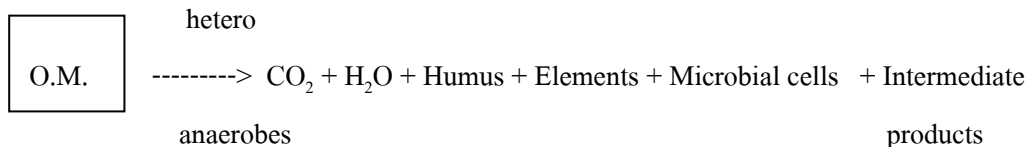
organic - N --- enzyme -----> NO_3^-

organic - S --- enzyme -----> $\text{SO}_4^{=}$

organic - P --- enzyme -----> PO_4^{-3} , H_2PO_4^- , $\text{HPO}_4^{=}$

6.6.2 ในสภาพที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ (Anaerobic condition)

ในสภาพนี้ การสลายตัวจะเป็นไปอย่างไม่ค่อยสมบูรณ์ คือ นอกจากจะให้ CO_2 แล้ว ยังมีสารประกอบพวก organic acids หรือ intermediate products อื่นๆเกิดขึ้นด้วย



และถ้าพิจารณาถึงธาตุอาหารที่สำคัญๆ จะได้ดังนี้

organic - C ---- enzyme ----> CO_2 , CH_4 (methane)

organic - N ---- enzyme ----> NH_3 gas , N_2 gas

organic - S ---- enzyme ----> H_2S , $\text{S}^{=}$

organic - P ---- enzyme ----> PH_3 (phosphene)

6.7 ฮิวมัส (Humus)

ฮิวมัส หมายถึง สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายจนไม่สามารถบ่งบอกลักษณะเดิมได้ (Humus :- as all of material which is in the process of decomposition and which has lost its original structure)

โดยมาก ฮิวมัสมักจะเป็นส่วนประกอบของพืชหรือสัตว์ที่สลายตัวได้ยาก เช่น lignins , tannins fats , waxes เป็นต้น ฮิวมัสเป็นสารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนและคงทนต่อการสลายตัวมาก ลักษณะโดยทั่วไปเป็นสารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนหรือเป็นอสัณฐาน(amorphous) มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลดำ นอกจากนั้น ฮิวมัสยังมีสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ในดินอีกด้วย

6.7.1 การสลายตัวของฮิวมัส

เนื่องจากฮิวมัสเป็นสารที่คงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินอย่างยิ่ง ดังนั้น จึงมักพบฮิวมัสสะสมอยู่ในดินเป็นระยะเวลานานๆ แต่อย่างไรก็ตาม ฮิวมัสก็ยังมีการสลายตัวอย่างช้าๆถ้า

สภาพแวดล้อมเหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งผลที่ได้จากการสลายตัวของฮิวมัสก็คือ CO_2 และ microbial cells

6.7.2 ปัจจัยที่ช่วยเร่งอัตราการสลายตัวของฮิวมัส

ฮิวมัสที่สะสมอยู่ในดิน อาจจะถูกทำให้มีอัตราการสลายตัวเร็วขึ้นได้ ถ้ามีการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยการกระทำต่อไปนี้

1) การเพาะกรรม (Cultivation)

การปฏิบัติจัดการดิน เช่น การไถพรวน การเพิ่มความชื้นแก่ดิน หรือ การใส่ปุ๋ย เป็นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายฮิวมัสในดินเกิดได้เร็วขึ้น

2) การทำให้ดินแห้งและชื้นสลับกัน

การที่ปล่อยให้ดินแห้งแล้วทำให้ชื้นอย่างทันทีทันใดสลับกันไป จะมีผลทำให้ฮิวมัสมีการสลายตัวเพิ่มขึ้น เพราะทำให้ฮิวมัสบางส่วนที่ถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคดินเหนียวหลุดออกมาอยู่ในสภาพแขวนลอย ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น

3) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวได้ง่ายลงในดิน

เมื่อมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวได้ง่ายลงในดิน จะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มมากขึ้น ฮิวมัสจึงมีโอกาที่จะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้มากขึ้น

6.8 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน มี 5 ประการด้วยกัน ได้แก่

6.8.1 ชนิดของพืช (Kind of vegetation)

อินทรีย์วัตถุที่กระจายอยู่ในดิน เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของซากเน่าเปื่อยของพืชพรรณต่างๆ ซึ่งพืชแต่ละชนิด จะมีผลทำให้การสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินมีลักษณะแตกต่างกัน คือ ในดินที่เป็นทุ่งหญ้านั้น อินทรีย์วัตถุส่วนใหญ่จะสะสมอยู่มากในดินบน(top soil) ทั้งนี้เพราะอินทรีย์วัตถุที่เกิดในดินประเภทนี้ได้มาจากรากของหญ้าที่ตายและเน่าเปื่อยในดิน สำหรับในดินป่าไม้ จะมีอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่มากตั้งแต่ผิวดินลงไปถึงระดับลึก 4 - 5 นิ้ว และจะค่อยๆลดการสะสมลงเรื่อยๆตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยมากอินทรีย์วัตถุในดินชนิดนี้ได้มาจากการแปรสภาพของใบไม้ที่ร่วงหล่นทับถมกันหนาหลายนิ้ว หรือจากการเน่าเปื่อยของเปลือกไม้ รากไม้ที่ตายแล้ว

6.8.2 สภาพพื้นที่ (Topography)

ลักษณะของภูมิประเทศมีผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในดินเป็นอย่างมาก ดินที่มีความลาดเทมาก จะมีการไหลบ่าของน้ำมาก เป็นเหตุให้ปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีน้อย นอกจากนั้น ดินในที่ลาดเทมักจะมีหน้าดินชั้น ซึ่งจะจำกัดการแพร่กระจายของรากพืช ในบริเวณที่ลาดเท ดินมักจะมีอากาศถ่ายเทได้สะดวกและอุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งมีผลทำให้อินทรีย์วัตถุในดินถูกย่อยสลายได้เร็ว ยิ่งไปกว่านั้น อินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ยังมีโอกาสที่จะถูกน้ำพัดพาไปสะสมยังบริเวณที่ต่ำกว่าอีกด้วย ดังนั้น ปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินที่มีความลาดเท จึงมีน้อยกว่าดินในบริเวณที่มีความราบเรียบ

6.8.3 วัตถุดิบกำเนิดดิน (Soil parent material)

วัตถุดิบกำเนิดของดิน มีอิทธิพลต่อปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินหลายประการ คือ

ก) ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มักจะมีการสะสมของอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ จะมีพืชพรรณต่างๆ เจริญได้มาก จึงมีซากพืชทับถมอยู่ในดินมากกว่า

ข) ดินที่มีอุณหภูมิต่ำ มักจะมีอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่มากกว่าดินที่มีอุณหภูมิสูงและมีอากาศถ่ายเทสะดวก เพราะถ้าอุณหภูมิสูงและอากาศถ่ายเทสะดวก กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมในดินลดลง ปกติดินที่มีเนื้อหยาบมักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดินเนื้อละเอียด จึงทำให้การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อหยาบมีน้อย

ค) ดินที่มีเนื้อละเอียด จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ เพราะดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว มักจะมีประจุลบอยู่รอบๆ ซึ่งประจุลบนี้ สามารถดูดจับสารประกอบโปรตีนของสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกไว้ได้ จึงทำให้มีอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ

6.8.4 อิทธิพลของภูมิอากาศ (Influence of climate)

ลักษณะของภูมิอากาศ มีอิทธิพลต่อปริมาณการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินดังนี้

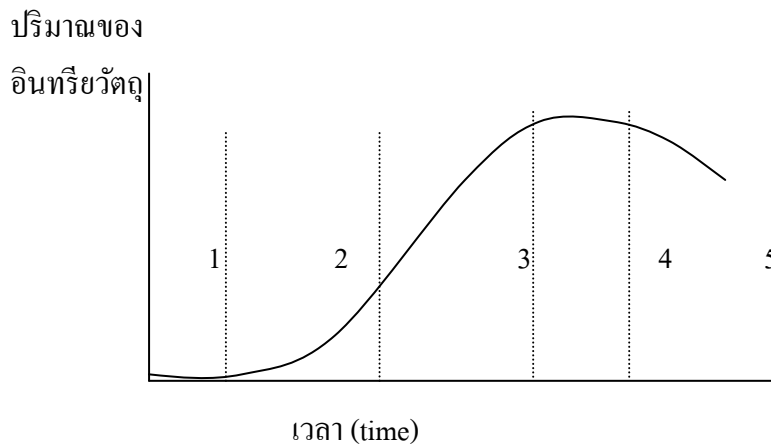
ก) ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีน้อยกว่าในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เพราะในที่ที่มีอุณหภูมิสูง การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหลือสะสมอยู่ในดินมีน้อย

ข) ในเขตแห้งแล้งที่มีปริมาณฝนน้อย จะมีการสะสมอินทรีย์วัตถุน้อย เพราะเศษพืชมีน้อย

ง) ในเขตชุ่มชื้นบางแห่งที่มีการชะล้างมาก การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินจะมีน้อย เพราะดินขาดความอุดมสมบูรณ์ พืชพรรณต่างๆ ที่ขึ้นบนดินมีน้อย

6.8.5 เวลา (Time)

การสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน จะถูกควบคุมโดยเวลาที่ผ่านไปแต่ละปี ในระยะแรกๆ ที่เกิดดิน ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินจะมีน้อย แล้วจะค่อยๆ สะสมมากขึ้นเรื่อยๆ เราสามารถจำแนกขั้นตอนในการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังรูป



ภาพที่ 6.2 แสดงระยะเวลาในการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน

ที่มา (ดัดแปลงจากคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530)

ขั้นที่ 1 ดินที่เกิดขึ้นใหม่จะมีการสะสมธาตุไนโตรเจนจากการตรึงไนโตรเจนและไนโตรเจนที่มาจากฝน เริ่มมีพืชขึ้นบนดิน

ขั้นที่ 2 เริ่มมีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากมีเศษพืชที่ตายทับถม

ขั้นที่ 3 การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินมีมากขึ้น

ขั้นที่ 4 เป็นขั้นแสดงความสมดุลระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ดินได้รับและอัตราการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

ขั้นที่ 5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มลดลง เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ได้รับจากพืชมีน้อยลง เพราะพืชที่มีขนาดเล็กมีน้อยลง

6.9 การบำรุงรักษาและการจัดการเกี่ยวกับอินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัสในดินนั้น ไม่ได้คงทนอยู่ในดินอย่างถาวร แต่จะถูกย่อยสลายได้เป็นบางขณะ ซึ่งจะทำให้อินทรีย์วัตถุสูญเสียไปในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สอื่นๆ เป็นเหตุให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเรื่อยๆ ยิ่งไปกว่านั้น ถ้ามีการปฏิบัติใดๆ ที่จะเร่งให้มีการสลายตัวเร็วขึ้นแล้ว ก็ยังจะทำให้การสูญเสียอินทรีย์วัตถุเกิดเร็วขึ้น

การสูญเสียฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุจากดินดังกล่าว ถ้าไม่มีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินแล้ว จะทำให้คุณภาพของดินเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว ไม่เหมาะกับการประกอบการกสิกรรม ทั้งนี้เนื่องจาก อินทรีย์วัตถุในดิน เป็นตัวควบคุมคุณสมบัติทั้งทาง ฟิสิกส์ เคมี และชีว ของดิน

ข้อเสนอแนะบางประการในการจัดการเกี่ยวกับอินทรีย์วัตถุในดิน

- 1) พยายามให้ซากพืชทุกชนิดคงเหลืออยู่ในดิน ยกเว้นพืชที่เป็นโรคหรือมีปัญหาเกี่ยวกับแมลงศัตรูพืช
- 2) มีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแก่ดินเป็นบางโอกาส
- 3) พยายามเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น เพราะการทำเช่นนี้ จะทำให้มีสิ่งเศษเหลือของพืชมากขึ้นด้วย
- 4) อย่าเตรียมดินโดยวิธีเผาสิ่งเศษเหลือของพืชถ้ามีวิธีการอื่นที่ทำได้นอกจากวิธีนี้
- 5) ไม่ควรไถพรวนดินบ่อยเกินไป เพราะจะเป็นการส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่ จุลินทรีย์ในดิน ทำให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินมีมากขึ้น
- 6) การใส่ปุ๋ยให้แก่ดินบ่อยๆ จะเป็นการเร่งการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุให้เร็วขึ้น เพราะเป็นการส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ดินที่มี pH สูงกว่า 6.5 ไม่ควรใส่ปุ๋ย

6.10 บทสรุป

แม้ว่าในดินจะมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ แต่อินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และทางชีว เป็นอย่างมาก

อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ สีของดิน ความร่วนเหนียวของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน อุณหภูมิของดิน

อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ การดูดซับประจุบวก การต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน การปลดปล่อยประจุบวกออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยละลายธาตุอาหารบางชนิดให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้

อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุที่มีต่อสมบัติทางชีวของดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุในดิน เป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ดิน ซึ่งจุลินทรีย์ดินส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่ได้อาหารจากการเข้าย่อยสลายอินทรีย์ในดิน

อินทรีย์วัตถุในดิน ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 2 ธาตุ คือ 1) ธาตุไนโตรเจน ซึ่งนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเป็นไนโตรเจนที่ได้มาจากโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว 2) ธาตุคาร์บอน ซึ่งได้มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อนอยู่ในอินทรีย์วัตถุ

การสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ในดินจะช้าหรือเร็วขึ้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ 1) ธรรมชาติของสารประกอบ น้ำตาล และแป้ง จะสลายตัวได้เร็วมาก 2) สภาพแวดล้อมของการสลายตัว เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การถ่ายเทอากาศ pH ของดิน และสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์เอง

ผลที่ได้จากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ จะได้สารประกอบที่สมบูรณ์ แต่ถ้าในสภาพที่ขาดออกซิเจนจะเกิดสารประกอบที่ไม่สมบูรณ์ที่เรียกว่า intermediate product ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษในดินได้

ฮิวมัส เป็นสารประกอบของพืชหรือสัตว์ที่สลายตัวได้ยาก จึงเหลือตกค้างในดิน เป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนและคงทนต่อการสลายตัวมาก แต่ถ้ามีการปรับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น การเพิ่มสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่ายลงในดิน การเขตรกรรม ฯลฯ ก็จะทำให้ฮิวมัสถูกย่อยสลายได้เช่นกัน

6.11 คำถามทบทวน

1. ดินที่จัดว่าเป็นดินอินทรีย์ จะต้องมียุคอินทรีย์วัตถุที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. ดินในสวนเดียวกัน บริเวณหนึ่งคลุมดินด้วยเศษพืชตระกูลถั่ว อีกบริเวณหนึ่งคลุมด้วยขี้เลื่อย อยากรู่ว่าระดับไนโตรเจนในดินทั้งสองแห่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. ถ้าสภาพแวดล้อมเหมือนกันทุกอย่าง ระหว่างดิน Clay loam และ Sandy loam ดินชนิดใดจะมีอินทรีย์วัตถุมากกว่า
4. เหตุใดจึงใช้อินทรีย์วัตถุปรับปรุงทั้งดินทรายจัดหรือดินเหนียวจัด
5. เหตุใดดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง จึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง
6. คอซังข้าวโพด มี 0.75 % N และมี 49 % C อยากรู่ว่า C/N Ratio จะเป็นเท่าไร
7. ถ้าปล่อยให้คอซังข้าวโพดในข้อ 6. สลายตัว อยากรู่ว่าปริมาณไนโตรเจนในดินจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง
8. เหตุใด เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอินทรีย์วัตถุ จึงมีมากกว่าในขณะที่เป็นซากพืช (plant tissue)
9. จงอธิบายวิธีการที่จุลินทรีย์ดินเข้าย่อยสลายซากพืช ซากสัตว์
10. วิธีการที่จะทำให้ฮิวมัสในดินสลายตัว ทำได้อย่างไร
11. เหตุใดดินที่มีเนื้อละเอียดจึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินเนื้อหยาบ
12. เหตุใดดินที่มีการไถพรวน หรือมีการไถพรวน จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลง

เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุน ศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ,2535. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530 . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น . พิมพ์ครั้งที่ 6 คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ถวิล ครุฑกุล , 2528. ดิน-ปุ๋ย เพื่อการเพาะปลูก. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุปผา โตภาคงาม ,2526. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ปัทมา วิทยากร ,2533 . ดิน : แหล่งธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- เพิ่มพูน กิรติกลีกร , 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ไพบุลย์ ประพฤติธรรม, 2528. เคมีของดิน . ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มุกดา สุขสวัสดิ์ , 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย . บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด กรุงเทพ.
- วรพจน์ รัมพนินิล. 2529. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย . สำนักพิมพ์ยูไนเต็ทบุ๊กส์ กรุงเทพ.
- วิทยา มะเสนา . 2530. จุลชีววิทยาทางดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วิโรจน์ พงศ์สกุล,ประสิทธิ์ ใจศิลป์ และ บุญมี สิริ. 2527. หลักการกลีกรรม . ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิโรจน์ อัมพิทักษ์. 2532. การจัดการดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศักดิ์ วังใน.2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สันติภาพ ปัญจพรรค,2529. วิทยาการทางปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Black ,C.A. .1957. Soil-Plant Relationships.John Wiley & Sons,Inc.

Brady, N. C. 1984. The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company. USA.

Buol, S. W., F. D. Hole,R. J. McCracken & R. J. Southard. 1997. Soil Genesis and Classification.
4th Edition. Iowa State Press. USA

Coyne ,M. S. 1999. Soil Microbiology : An Exploratory Approach. Delmar Publishers.
Newyork.

Donahue, R. L., R. W. Miller & J. C. Shickluna, 1983. Soil: An Introduction to
Soils and Plant Growth. 5th Edition.Prentice-Hall ,Inc., Englewood Cliffs , New Jersey.

FAO.1984. Fertilizer and Plant Nutrition Guide. FAO. Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin.
No.9.

Foth, H. D. & Boyd G. Ellis.1988. Soil Fertility. John Wiley & Sons,Inc.

Harpstead M. I., T. J. Sauer & W. F. Bennett. 2001. Soil Science Simplified. 4th edition.
Iowa State University Press.

Helms, D. , Anne B.W. Effland & P. J. Durana. 2001. Profiles in History of US Soil
Survey. Iowa State 23
Press. USA

Knuti,L. L., M. Korpi & J.C. Hide,1970. Profitable Soil management. Prentice-Hall, inc.,
Englewood Cliffs, N.J.

Plaster ,E. J. 1985. Soil Science and Management. Delmar Publishers Inc.New York

Poincelot, R. P.1986. Forward a More Sustainable Agriculture. AVI Publishing
Company,Inc. Westport,Connecticut.

Russell, E. W. 1961. Soil Conditions and Plant Growth. 9th Edition.Longmans 1724.

Scott, H. D. 2000. Soil Physics : Agricultural and Environmental Applications. Iowa State Press.
USA

Stevenson, F.J. & M.A. Cole . 1999. Cycle of Soil. John Wiley & Sons, inc.

Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1985. Western Fertilizer
Handbook. 7th Edition California Fertilizer Association, USA

Thomson, L. M. 1957 . Soil and Soil Fertility . McGraw-Hill Book Company.