

รายงานการไปราชการ ประชุม สัมมนา ศึกษา ฝึกอบรม ปฏิบัติการวิจัย ดูงาน ณ ต่างประเทศ
และการปฏิบัติงานในองค์การระหว่างประเทศ
กรมส่งเสริมการเกษตร

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1.1 ชื่อ-สกุล

(ภาษาไทย)

คำนำหน้า (นาย , นางสาว , น.ส.) ชื่อ ..จิตตะ.... สกุล ...นิยะมะ.....

(ภาษาอังกฤษ)

Prefix (Mr. ,Mrs., Ms.) First NameJitta..... Last Name ...Niyama.....

1.2 เกี่ยวกับที่ทำงาน

ตำแหน่ง (วิชาการ/บริหาร) ..นักวิชาการเกษตรชำนาญการ.....

หน่วยงาน (เช่น กอง/สำนัก) ...ส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย.....

โทรศัพท์ ...02-9551515.....โทรสาร..... e-mai: ...

หน้าที่ความรับผิดชอบ *

รับผิดชอบเกี่ยวกับการศึกษา พัฒนา เทคโนโลยีด้านการจัดการดิน และการใช้ปุ๋ย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กำหนดแนวทางและสนับสนุนการส่งเสริมการจัดการดินและการใช้ปุ๋ย ให้คำปรึกษา แนะนำ และถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการจัดการดินและ การใช้ปุ๋ย การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และปฏิบัติหน้าที่อื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย ได้แก่ โครงการส่งเสริมการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุอินทรีย์

1.3 ชื่อเรื่อง/หลักสูตร

ภาษาไทย

ภาษาอังกฤษ..... Crop and Soil Science.....

1.4 วัตถุประสงค์ของการเดินทางไป*

- ☐ ประชุม ☐ สัมมนา ☒ ฝึกอบรม ☐ ปฏิบัติการวิจัย
☐ ดูงาน ☐ ปฏิบัติงานในองค์การระหว่างประเทศ

1.5 แหล่งให้ทุน

ชื่อองค์กร/หน่วยงาน ผู้ให้ทุน ...สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน (สำนักงาน ก.พ.)....

ประเภทของแหล่งทุน *

- ☐ ทุนของหน่วยงานต้นสังกัด ☒ ทุนของหน่วยงานอื่นๆ
☐ ทุนของหน่วยงานต้นสังกัดและหน่วยงานอื่นๆ ☐ ทุนส่วนตัว

1.6 ประเทศที่ไป (ตอบได้มากกว่า 1 ประเทศ)*

- 1)สาธารณรัฐฝรั่งเศส..... 2)
3) 4)

1.7 งบประมาณ – วันเดินทาง*

งบประมาณ748,193.... บาท

จากวันที่13.../.....กันยายน...../.....2568..... ถึงวันที่11...../.....ธันวาคม...../.....2568.....

1.8 ภายใต้โครงการ/หน่วยงาน

ชื่อโครงการทุนพัฒนาบุคลากรภาครัฐ : ทุนสำหรับผู้ที่ได้รับการตอบรับให้เข้าศึกษา/ฝึกอบรม
จากสถาบันการศึกษา

ของหน่วยงานทุนรัฐบาล.....

1.9 คุณวุฒิ/วุฒิปัตร์ที่ได้รับประกาศนียบัตร.....

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อหรือสรุปย่อของหลักสูตร เพื่อประโยชน์ในการสืบค้น (ภาษาไทย/อังกฤษ)

2.1 บทคัดย่อหรือสรุปย่อของหลักสูตร*

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญของโลก ทั้งนี้ เนื่องจากประเทศไทยมีทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ คือ ดิน น้ำ และอากาศอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้โดยเฉพาะดิน เมื่อถูกใช้ทำการเกษตรเป็นระยะเวลานานจึงเสื่อมโทรม การบริหารจัดการทรัพยากรการเกษตรอย่างยั่งยืนที่สอดคล้องกับ SDGs (Sustainable Development Goals) “การเกษตรแบบยั่งยืน” หรือเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการทำการเกษตรที่ลดภาระต่อสิ่งแวดล้อม และพัฒนาประสิทธิภาพการผลิต กล่าวคือการเตรียมดิน การใช้วัตถุอินทรีย์ การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมการกำจัดแมลงที่ถูกต้อง การลดปริมาณปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลง การผลิตสินค้าเกษตรที่ปลอดภัยและไว้วางใจได้ การฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรการเกษตรให้มีความสมดุลและยั่งยืน

ทรัพยากรดินของประเทศไทยมีปัญหาทางกายภาพซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร ซึ่งเกิดจากขบวนการพัฒนาของดินที่แตกต่างกัน และทำให้สมบัติของดินไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร หากนำดินเหล่านี้มาทำการเกษตรก็จะให้ผลผลิตต่ำ ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ จึงจำเป็นต้องมีความรู้การจัดการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มสมบัติของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช

การเกษตรของฝรั่งเศส โดยส่วนใหญ่จะปลูกพืชไร่ คิดเป็น 45% ของพื้นที่ทำการเกษตร มีจุดแข็งในหลายด้าน อาทิ ความหลากหลายของพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยทางอาหาร การวิจัยและนวัตกรรม ความแข็งแกร่งของอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ระบบการศึกษาด้านการเกษตรและเกษตรอาหารที่มีประสิทธิภาพ ฝรั่งเศสผลิตอาหารที่ปลอดภัย ดีต่อสุขภาพ ยั่งยืน และยังแบ่งปันความรู้ความชำนาญ ผ่านการจัดศึกษาอบรม การถ่ายทอดความเชี่ยวชาญ และความร่วมมือด้านเทคนิคและวิทยาศาสตร์

UMR Eco&Sols เป็นหน่วยวิจัยร่วมจาก INRA, IRD, Montpellier SupAgro และ CIRAD งานวิจัยที่ดำเนินการมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของสิ่งมีชีวิตและพืชในดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและพืชกับสิ่งแวดล้อม วัฏจักรทางชีวเคมีของคาร์บอน (C) และธาตุอาหาร การศึกษาส่วนใหญ่จะศึกษาในระบบเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทของส่วนประกอบต่าง ๆ ของดิน (อนุภาคดินเหนียว มวลรวม รุพารู รุพารู ฯลฯ) พืช (ราก ลำต้น ใบ และผล) และบรรยากาศ ลักษณะของปัจจัยทางชีวภาพและปัจจัยการไหลของคาร์บอนและธาตุอาหารที่พืชได้รับ มีการศึกษาในสถานการณ์ทางการเกษตรที่หลากหลายโดยคำนึงถึงการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก การวิจัยมุ่งเน้นไปที่แนวคิดนิเวศวิทยา เพื่อพิจารณาว่าจะควบคุมการไหลของคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้อย่างไรเพื่อให้เกิดการผลิตที่ยั่งยืนในระยะยาวในระบบนิเวศเกษตรเขตร้อน ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีการศึกษา สิ่งมีชีวิตในดิน เคมีในดิน ธาตุอาหาร คาร์บอนในดิน การปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง

สภาพภูมิอากาศและการมีส่วนร่วมสนับสนุนในการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว การวัดการไหลของคาร์บอน และสารอาหาร การทดลอง การควบคุมตลอดจนการสร้างแบบจำลองการจัดการปัจจัยการผลิตอินทรีย์ และธาตุอาหารพืช ประเภทของการปรับปรุงพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ (พืช สิ่งมีชีวิตที่พึ่งพาอาศัยกัน) แนวปฏิบัติทางการเกษตรนิเวศอื่น ๆ (การไม่ไถพรวนและการไถพรวนเฉพาะที่ การทำฟาร์มอินทรีย์ การเกษตรแบบวนเกษตร เป็นต้น) งานวิจัยที่ดำเนินการโดย UMR Eco&Sols อยู่ในสาขาของนิเวศวิทยา สรีรวิทยาของระบบนิเวศพืช และชีวเคมีของดิน โดยอาศัยการสังเกต การทดลอง และการสร้างแบบจำลอง ขอบเขตของการศึกษามีตั้งแต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดิน การศึกษาในห้องปฏิบัติการไปจนถึงแปลงเพาะปลูก ซึ่งได้รับเงินทุนสำหรับโครงการวิจัยมาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น สถาบันวิจัย สำนักงานวิจัยแห่งชาติของฝรั่งเศส มูลนิธิ ADEME กระทรวงต่าง ๆ (เกษตรกรรม สิ่งแวดล้อม กระทรวงการต่างประเทศ ยุโรป และพันธมิตรอื่น ๆ อีกมากมาย)

สาขาวิชา Crop and Soil Science ที่ไปฝึกอบรมมีความสำคัญ/จำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ยุทธศาสตร์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และยุทธศาสตร์ของกรมส่งเสริมการเกษตรคือ

- แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566 – 2570) หมายความว่า 1 ไทยเป็นประเทศชั้นนำด้านสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง และหมายความว่า 11 ไทยสามารถลดความเสี่ยงและผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

- ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579) ยุทธศาสตร์ที่ 2 การเพิ่มประสิทธิภาพและยกระดับมาตรฐานสินค้าเกษตร ยุทธศาสตร์ที่ 3 การเพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม และยุทธศาสตร์ที่ 4 บริหารจัดการทรัพยากรการเกษตร และสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลและยั่งยืน

- ยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตร ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 - 2579) ยุทธศาสตร์ที่ 4 การส่งเสริมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และบริหารจัดการทรัพยากรการเกษตร

ส่วนที่ 3 ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษา ฝึกอบรม ดูงาน ประชุม/สัมมนา ปฏิบัติการวิจัย และการไปปฏิบัติงาน ในองค์การระหว่างประเทศ

3.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจด้านการจัดการดิน การปรับปรุงบำรุงดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในระบบการเกษตรที่หลากหลาย รวมถึงการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลดต้นทุนการผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) เพื่อเพิ่มพูนความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับวงจรคาร์บอนในดิน และบทบาทของดินต่อการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเป็นประเด็นสำคัญในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคเกษตรกรรม รวมถึงการนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดแนวทางการจัดการดินและระบบการผลิตที่สอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

3) เพื่อศึกษาและเรียนรู้แนวคิดด้านนิเวศวิทยาของดิน และแนวทางการจัดการดินตามหลักเกษตรนิเวศ (Agroecology) ซึ่งมุ่งเน้นการปรับปรุงและอนุรักษ์คุณภาพดินให้คงอยู่ในสภาพที่ใกล้เคียงธรรมชาติ โดยให้ความสำคัญกับการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การอนุรักษ์ดินและน้ำ การส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน การบูรณาการกิจกรรมทางการเกษตรที่หลากหลาย และการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร เพื่อส่งเสริมระบบเกษตรที่มีความยั่งยืนในระยะยาว

4) เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และประสบการณ์ด้านวิชาการกับนักวิจัยและนักวิชาการของหน่วยงาน UMR Eco&Sols รวมถึงการสร้างและพัฒนาเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการและการทำงานระหว่างประเทศ อันจะนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้ งานวิจัย และการพัฒนางานด้านการจัดการดินและการส่งเสริมการเกษตรในอนาคต

3.2 เนื้อหาที่เป็นสาระสำคัญในเชิงวิชาการ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ไม่น้อยกว่า 1 หน้ากระดาษ A4 (หากมีรายงานฯ แยกต่างหากโปรดแนบไฟล์ PDF ขนาดไม่เกิน 5 MB ส่งด้วย)

Tropical Sols

(Dr Karel Van Den Meersche)

1. The Tropical Environment

หมายถึงบริเวณที่มีอากาศอบอุ่นและปราศจากน้ำค้างแข็ง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 36% ของพื้นผิวโลก ภายในเขตร้อน พืชพรรณธรรมชาติและระบบเกษตรกรรมจะแตกต่างกันไปตามระดับความสูงและปริมาณน้ำฝน โดยเขตร้อนสามารถแบ่งตามระดับความสูงได้เป็น

- เขตที่ราบต่ำเขตร้อน (พื้นที่ต่ำกว่า 600 เมตร)
- เขตเขตร้อนระดับกลาง (พื้นที่ระหว่าง 600-900 เมตร)
- เขตเขตร้อนระดับสูงหรือที่ราบสูงเขตร้อน (พื้นที่สูงกว่า 900 เมตร)

เขตร้อนแบ่งออกเป็น 5 เขตภูมิอากาศ ได้แก่

- (1) เขตชื้นเขตร้อน หรือเขตภูมิอากาศฝนตกชุก
- (2) เขตชื้นปานกลาง หรือเขตร้อน-แล้งตามฤดูกาล
- (3) เขตกึ่งแห้งแล้งเขตร้อน หรือภูมิอากาศแบบสเตปป์
- (4) เขตแห้งแล้งเขตร้อน หรือภูมิอากาศทะเลทราย
- (5) เขตที่ราบสูงเขตร้อน

พืชพรรณธรรมชาติและระบบเกษตรกรรมหลักแตกต่างกันอย่างมากในแต่ละเขตภูมิอากาศเหล่านี้ โดยทั่วไป เกษตรกรรมเขตร้อนสามารถจำแนกออกเป็น 5 ประเภทตามปริมาณน้ำฝน ความเข้มข้นในการเพาะปลูก และระดับการใช้ปัจจัยภายนอก ได้แก่

- (1) การเกษตรแบบย้ายแปลง (shifting cultivation) และการเลี้ยงสัตว์เร่ร่อน (pastoralism)
- (2) การทำไร่แบบฟัน-เผา หรือการเกษตรหมุนเวียน
- (3) ระบบเกษตรกรรมขนาดเล็กแบบถาวรหรือกึ่งถาวร
- (4) การเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยวและพืชเศรษฐกิจเชิงการค้า
- (5) การเลี้ยงปศุสัตว์

การขยายตัวเข้าสู่เขตร้อนขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญในรูปแบบการใช้ที่ดินและการปฏิบัติทางการเกษตร ตลอดช่วงสามศตวรรษที่ผ่านมา การอพยพของผู้คนจากพื้นที่เขตอบอุ่นที่เน้นการเลี้ยงสัตว์ ไปสู่การผลิตอาหารและพืชเศรษฐกิจด้วยระบบเครื่องจักรกลทั้งในภาคเกษตรและในเขตร้อน ส่งผลให้พื้นที่ป่าธรรมชาติขนาดใหญ่ถูกโค่นทำลายเพื่อรองรับการพัฒนาเศรษฐกิจขนาดใหญ่ในเขตร้อนขึ้น ดังนั้น การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงเป็นประเด็นสำคัญอันดับแรกเพื่อให้มั่นใจถึงการผลิตพืชอย่างยั่งยืนในอนาคต

1.1 ภูมิอากาศและพืชพรรณ Climate and vegetation

สภาพภูมิอากาศของโลกสามารถจำแนกได้โดยอาศัยค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณน้ำฝน และรูปแบบการกระจายตัวของฝนตลอดทั้งปี ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวกำหนดลักษณะภูมิอากาศบนพื้นผิวโลก โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 11 ประเภทหลัก ตั้งแต่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในเขตร้อน เช่น ป่าฝนเขตร้อนที่ไม่มีฤดูแล้ง และภูมิอากาศแบบสะวันนาไปจนถึงภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง กึ่งแห้งแล้ง ภูมิอากาศอบอุ่นชื้นในเขตอบอุ่น และภูมิอากาศแบบหนาวเย็นจนถึงขั้วโลก ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ในเขตร้อน ความแตกต่างของปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝนส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของพืชพรรณธรรมชาติ โดยสามารถแบ่งพืชพรรณออกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ ป่าฝนเขตร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งมีต้นไม้เขียวชะอุ่มตลอดปี ป่าตามฤดูกาลที่มีไม้ผลัดใบ พุ่มหญ้าสะวันนาที่มีต้นไม้ใบกว้าง พุ่มหญ้าสะวันนาที่มีไม้พุ่มหรือพืชมิหนาม และพืชพรรณในเขตกึ่งทะเลทรายและทะเลทราย เช่น กระจับปี่และไม้พุ่มทนแล้ง

อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของพืชพรรณธรรมชาติไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความสามารถของดินในการกักเก็บความชื้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ ไฟป่ายังมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของพืชพรรณธรรมชาติ ทั้งไฟที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและไฟที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะในเขตร้อน พื้นที่พุ่มหญ้าสะวันนาขนาดใหญ่จำนวนมากเกิดขึ้นจากการเผาป่าอย่างต่อเนื่องเพื่อเปลี่ยนพื้นที่เป็นเขตใช้ประโยชน์ทางการเกษตรหรือปศุสัตว์

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา การตัดไม้ทำลายป่าในเขตร้อนขึ้นได้กลายเป็นปัญหาระดับโลก ตัวอย่างที่ชัดเจนคือป่าอะเมซอน ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำและมีบทบาทสำคัญต่อวัฏจักรน้ำของโลก โดยผลิตน้ำจืดประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่มหาสมุทรทั่วโลกในแต่ละปี นักนิเวศวิทยาจำนวนมากเห็นพ้องกันว่า การตัดไม้ทำลายป่าเพิ่มเติมในลุ่มน้ำอะเมซอนอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญต่อสภาพภูมิอากาศโลกและวัฏจักรทางอุทกวิทยา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของมนุษย์ในวงกว้าง

1.2 เขตภูมิอากาศเกษตรกรรม Agro-climatic zones

ผลผลิตของพืชผลทางการเกษตรในเขตร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาของฤดูฝนหรือฤดูเพาะปลูก ซึ่งสามารถอธิบายได้จากจำนวนเดือนที่มีความชื้นสูงภายในหนึ่งปี โดยเดือนที่มีความชื้นสูงหมายถึงเดือนที่ปริมาณน้ำฝนมากกว่าศักยภาพการคายระเหยของน้ำในบรรยากาศ แนวคิดนี้สะท้อนถึงความสมดุลระหว่างน้ำที่เข้าสู่ระบบกับการสูญเสียน้ำออกจากระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่กำหนดความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช

จากเกณฑ์ดังกล่าว เขตร้อนสามารถแบ่งออกเป็นเขตชื้น กึ่งชื้น กึ่งแห้งแล้ง และแห้งแล้ง ตามจำนวนเดือนที่มีความชื้นสูงในรอบปี แม้ว่าการแบ่งเขตภูมิอากาศในลักษณะนี้จะมีขอบเขตที่ไม่ชัดเจน เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณ

น้ำฝนและอัตราการคายระเหยที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ แต่การจำแนกแบบกว้างนี้ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างปริมาณน้ำฝน พืชพรรณธรรมชาติ และรูปแบบระบบการเกษตรที่แพร่หลายในแต่ละเขตภูมิอากาศ ทั้งนี้ พื้นที่ที่ราบสูงในเขตร้อนถือเป็นกรณีพิเศษ เนื่องจากมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีต่ำกว่าและอัตราการระเหยของน้ำต่ำกว่าพื้นที่ราบทั่วไป ส่งผลให้มีลักษณะนิเวศและการเกษตรที่แตกต่างออกไป

เขตร้อนชื้นเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าศักยภาพการคายระเหยเกือบตลอดทั้งปี มีฤดูเพาะปลูกยาวนานและเอื้อต่อการเกิดป่าฝนเขตร้อนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง แม้ดินในพื้นที่เหล่านี้มักถูกชะล้างอย่างรุนแรงและมีความเป็นกรดสูง แต่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากการหมุนเวียนธาตุอาหารอย่างรวดเร็ว พืชอาหารหลักในเขตร้อนชื้นได้แก่ พืชหัวและพืชทนชื้น เช่น ถั่วลิสง มันเทศ มันสำปะหลัง รวมถึงพืชเศรษฐกิจอย่างยางพารา ปาล์มน้ำมัน และข้าวในพื้นที่ชลประทาน อย่างไรก็ตาม แรงกดดันจากโรค แมลง และการตัดไม้ทำลายป่าทำให้การจัดการเกษตรในเขตร้อนมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม

เขตร้อนชื้นหรือชื้น-แห้งตามฤดูกาลมีช่วงความชื้นปานกลางถึงยาว แต่มีฤดูแล้งที่ชัดเจน ปริมาณน้ำฝนและรูปแบบการกระจายตัวมีความหลากหลาย ส่งผลให้พืชพรรณธรรมชาติเปลี่ยนจากป่าดิบชื้นไปสู่ป่าผลัดใบและทุ่งหญ้าสะวันนา ดินในเขตร้อนมีความหลากหลาย ตั้งแต่ดินที่ค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ไปจนถึงดินที่เป็นกรดและผุพังอย่างรุนแรง ระบบเกษตรกรรมมีความหลากหลายสูง ทั้งพืชไร่ พืชหัว และไม้ยืนต้น เช่น ข้าวโพด ถั่ว ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วลิสง โกโก้ ยางพารา และปาล์มน้ำมัน โดยมีทั้งการปลูกพืชเชิงเดี่ยวและการผสมผสานกับการเลี้ยงสัตว์

เขตร้อนกึ่งแห้งแล้งมีฤดูเพาะปลูกสั้นและปริมาณน้ำฝนต่ำ การเกษตรที่พึ่งพาน้ำฝนมีข้อจำกัดสูง พืชพรรณธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นทุ่งหญ้าตามฤดูกาล ไม้ยืนต้นและพุ่มไม้กระจายอยู่เป็นหย่อม ๆ ดินมักเป็นดินทรายที่กักเก็บน้ำได้น้อย หรือดินเหนียววมในบางพื้นที่ ระบบเกษตรกรรมเน้นพืชทนแล้ง เช่น ข้าวฟ่าง ถั่วลิสง และพืชตระกูลถั่วต่าง ๆ ควบคู่กับการเลี้ยงปศุสัตว์แบบเร่ร่อน ซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อภัยแล้งและการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน

เขตร้อนแห้งแล้งหรือทะเลทรายเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยมาก ฤดูเพาะปลูกแทบไม่มี การเกษตรจำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ที่มีน้ำไหลบ่าหรือน้ำใต้ดิน ระบบการดำรงชีพส่วนใหญ่อาศัยการเลี้ยงสัตว์แบบเร่ร่อน และการเพาะปลูกแบบชลประทานขนาดเล็กในหุบเขาหรือโอเอซิส

ในขณะเดียวกัน ที่ราบสูงเขตร้อนมีอากาศเย็นสบาย อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำ และดินภูเขาไฟที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ทำให้เป็นพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นและการเพาะปลูกอย่างเข้มข้น พืชอาหารสำคัญ ได้แก่ มันฝรั่ง ข้าวโพด และถั่ว รวมถึงพืชเศรษฐกิจอย่างกาแฟที่ราบสูง ซึ่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในระดับโลก

โดยสรุป ความแตกต่างของระยะเวลาฤดูฝนและสมดุลน้ำในเขตร้อนเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดรูปแบบภูมิอากาศ พืชพรรณธรรมชาติ และระบบการเกษตรในแต่ละพื้นที่ ความเข้าใจความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดการดิน และการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนในเขตร้อน

1.3 ระบบการทำฟาร์ม Farming systems

ระบบการเกษตรในเขตร้อนมีความหลากหลายอย่างมากและแตกต่างกันไปตามภูมิภาคภูมิอากาศ โดยความเข้มข้นของการทำเกษตรกรรมถูกกำหนดจากหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ แรงกดดันจากจำนวนประชากร ความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงระดับการเข้าถึงเทคโนโลยีและปัจจัยการผลิต เช่น การชลประทานและการใช้ปุ๋ย ในหลายพื้นที่ของเขตร้อน การเกษตรไม่ใช่เพียงกิจกรรมทางเศรษฐกิจ แต่เป็นวิถีชีวิตที่พัฒนาต่อเนื่องมายาวนานหลายพันปี เช่น การเลี้ยงสัตว์แบบเร่ร่อนในแอฟริกาใต้ทะเลทรายสะฮารา การทำไร่หมุนเวียนในแอ่งอมซอนและคองโก และระบบสวนบ้านหลายชั้นในเขตร้อนชื้นของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายศตวรรษที่ผ่านมา ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการขยายตัวทางเศรษฐกิจจากสังคมเขตอบอุ่นได้ส่งผลให้ระบบการเกษตรในเขตร้อนเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เกิดระบบการผลิตรูปแบบใหม่ เช่น สวนไม้ผลและพืชเศรษฐกิจเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ ตลอดจนฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งกลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของเศรษฐกิจเกษตรในหลายประเทศเขตร้อน

โดยทั่วไป ระบบการเกษตรในเขตร้อนชื้นสามารถจำแนกออกได้ตามปริมาณน้ำฝน ระดับความเข้มข้นของการผลิต และการพึ่งพาปัจจัยภายนอกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ การเลี้ยงสัตว์แบบเร่ร่อน การเกษตรแบบหมุนเวียนหรือเผาไร่เลื่อนลอย ระบบฟาร์มขนาดเล็กแบบถาวรหรือกึ่งถาวร สวนปลูกต้นไม้และพืชเศรษฐกิจ และการเลี้ยงปศุสัตว์

การเลี้ยงสัตว์แบบเร่ร่อนเป็นระบบเกษตรกรรมที่เก่าแก่ที่สุดในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง โดยผู้เลี้ยงสัตว์จะเคลื่อนย้ายครอบครัวและฝูงสัตว์ไปตามแหล่งหญ้าและน้ำ ระบบนี้อาศัยความสมดุลที่เปราะบางระหว่างจำนวนปศุสัตว์และทรัพยากรธรรมชาติ และสะท้อนถึงความสามารถในการปรับตัวของชนเผ่าเร่ร่อนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง อย่างไรก็ตาม แรงกดดันจากประชากรและการขยายพื้นที่เกษตรถาวรได้ทำให้ระบบดังกล่าวลดบทบาทลงและส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตดั้งเดิมของชนเผ่าเหล่านี้

การเกษตรแบบเผาไร่เลื่อนลอยเป็นระบบยังชีพที่พบในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น โดยอาศัยการถางและเผาพืชพรรณธรรมชาติในพื้นที่ขนาดเล็กเพื่อปลูกพืชแบบผสมผสาน หลังการเพาะปลูกระยะสั้น พื้นที่จะถูกปล่อยให้ฟื้นตัวตามธรรมชาติเป็นเวลานาน ระบบนี้มีเสถียรภาพทางนิเวศวิทยาภายใต้ความหนาแน่นประชากรต่ำ แต่เมื่อประชากรเพิ่มขึ้น วงจรการพักไร่สั้นลง ทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของดินและทรัพยากรธรรมชาติ ปัจจุบันยังมีประชากรกว่า 200 ล้านคนในเขตร้อนที่พึ่งพาการเกษตรรูปแบบนี้

ระบบฟาร์มขนาดเล็กแบบถาวรและกึ่งถาวรเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและความเข้มข้นของการใช้ที่ดินในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น การเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องโดยขาดการฟื้นฟูดินนำไปสู่การสูญเสียธาตุอาหารและการพังทลายของดิน จึงจำเป็นต้องพึ่งพาการจัดการดิน เช่น การอนุรักษ์ดิน การชลประทาน และการใช้ปัจจัยภายนอก ระบบการผลิตอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ระบบพืชหัวผสม การปลูกธัญพืชและพืชตระกูลถั่วแบบหมุนเวียน การทำนาเข้มข้นในเอเชีย และระบบสวนบ้านหลายชั้น ซึ่งส่วนใหญ่ดำเนินการในฟาร์มขนาดเล็ก

สวนปลูกต้นไม้และพืชเศรษฐกิจเป็นระบบการเกษตรเชิงพาณิชย์ที่มีบทบาทสำคัญในเขตร้อน ทั้งในรูปแบบสวนขนาดเล็กและสวนขนาดใหญ่ สวนขนาดใหญ่ใช้การจัดการแบบเข้มข้นและปัจจัยการผลิตสูง โดยมีการปลูกพืชคลุมดินเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน พืชเศรษฐกิจสำคัญ ได้แก่ กาแฟ ชา อ้อย ถั่วลิสง ปาล์มน้ำมัน โกโก้ มะพร้าว และยางพารา ซึ่งกระจายอยู่ในภูมิภาคเขตร้อนทั่วโลก

การเลี้ยงปศุสัตว์ในเขตร้อนมีทั้งในรูปแบบทุ่งหญ้าธรรมชาติและทุ่งหญ้าที่ได้รับการปรับปรุง การเลี้ยงวัวต้องใช้เวลาที่กว้างขวาง และความสามารถในการรองรับสัตว์แตกต่างกันไปตามความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณน้ำฝน การควบคุมอัตราการเลี้ยงสัตว์เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการเสื่อมโทรมของพืชพรรณธรรมชาติ โดยเฉพาะในทุ่งหญ้าสะวันนา การแผ้วถางป่าในเขตร้อนเพื่อผลิตปศุสัตว์ไม่เพียงแต่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แต่ยังสร้างผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศอย่างรุนแรงและอาจก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

โดยสรุป ระบบการเกษตรในเขตร้อนสะท้อนถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างภูมิอากาศ ดิน ทรัพยากรธรรมชาติ ประชากร และเทคโนโลยี ความเข้าใจระบบเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และการพัฒนาการเกษตรที่สอดคล้องกับบริบททางนิเวศวิทยาของเขตร้อนในระยะยาว

1.4 บทเรียนทางประวัติศาสตร์ Historical lessons

ภูมิภาคเขตร้อนส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินที่ผ่านการผุร่อนอย่างรุนแรง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและขาดธาตุอาหารสำคัญ จึงไม่เอื้อต่อการพัฒนาการเกษตรที่ให้ผลผลิตสูง การก่อกำเนิดอารยธรรมเกษตรกรรมในอดีตของเขตร้อนจึงมักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีดินอุดมสมบูรณ์ซึ่งพบได้จำกัด เช่น หุบเขาแม่น้ำและสามเหลี่ยมปากแม่น้ำในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงที่ราบสูงเขตร้อนที่มีต้นกำเนิดจากภูเขาไฟในเอธิโอเปีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้

ระบบการผลิตอาหารพื้นเมืองในเขตร้อนมีลักษณะเป็นการปรับตัวเชิงนิเวศอย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม (ecological adaptation) ตัวอย่างเช่น การปลูกข้าวในพื้นที่ชุ่มน้ำบนดินตะกอนที่อุดมสมบูรณ์ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การปลูกมันฝรั่งในที่ราบสูงแอนดีส การเลี้ยงสัตว์แบบเร่ร่อนในเขตซาเฮล การปลูกพืชทนแล้งในเขตกึ่งแห้งแล้ง และการปลูกพืชหัวและไม้ยืนต้นในพื้นที่ชื้นของแอฟริกา

ในช่วงประมาณสามศตวรรษที่ผ่านมา การอพยพของประชากรจากเขตอบอุ่นสู่เขตร้อนได้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ของระบบเกษตรกรรม ชาติตะวันตกได้นำระบบการผลิตเชิงพาณิชย์ เช่น การเลี้ยงปศุสัตว์และการปลูกพืชเศรษฐกิจขนาดใหญ่ (กาแฟ ถั่วลิสง อ้อย โกโก้ ปาล์มน้ำมัน และยางพารา) เข้ามาใช้ ส่งผลให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าอย่างกว้างขวาง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการผลักดันเกษตรกรรมย้ายไปสู่พื้นที่ที่มีศักยภาพต่ำหรือพื้นที่ลาดชัน

ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 หลายประเทศในเขตร้อนได้พยายามเลียนแบบระบบการผลิตอาหารและเส้นใยแบบอุตสาหกรรมของยุโรปและอเมริกาเหนือ อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จมีจำกัด เนื่องจากระบบดังกล่าวเหมาะสมเฉพาะพื้นที่ที่มีดินอุดมสมบูรณ์ ภูมิอากาศเย็นกว่า และสามารถเข้าถึงปัจจัยการผลิตราคาถูกได้ การใช้เครื่องจักรกลหนักในเขตร้อนยังทำให้ดินเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วจากการอัดแน่นและการพังทลาย ส่งผลให้พื้นที่จำนวนมากถูกทิ้งร้างในที่สุด

ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนจึงมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้นักวิจัยและผู้กำหนดนโยบายหันกลับมาทบทวนแนวทางการพัฒนาการเกษตรในเขตร้อน โดยมุ่งเน้นระบบการผลิตที่สอดคล้องกับข้อจำกัดของดิน สภาพภูมิอากาศ และระบบนิเวศ เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในระยะยาวทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

2. Mineralogy

ดินเป็นผลผลิตจากกระบวนการผุพังสลายตัวของหินและแร่ มีหินหลักอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ หินอัคนี หินแปร และหินตะกอน ดินที่เกิดจากหินเนื้อหยาบและมีสภาพเป็นกรด เช่น หินแกรนิตและควอร์ตไซต์ มักมีลักษณะเป็นดินทราย และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในขณะที่ดินที่เกิดจากหินเนื้อละเอียดและมีค่าฐานสูง เช่น หินบะซอลต์และหินปูน มักมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าและเหมาะต่อการเกษตรมากกว่า

แร่หลักและแร่ไม่หลักมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแร่ดินเหนียว แร่ดินเหนียวหลักส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มคอลลอยด์ในดิน ชนิดและปริมาณของดินเหนียวที่มีการทำปฏิกิริยาสูง ได้แก่ คาโอลิไนต์ เหล็กและอะลูมิเนียมในดินภูเขาไฟที่มีแร่แอลโลเฟนจำนวนมาก และสเมคไทต์ในดินตะกอนใหม่

2.1 หินและแร่ Rocks and minerals

ดินเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการผุพังของหินและแร่ธาตุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก โดยหินสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร ซึ่งแต่ละประเภทมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของดินที่เกิดขึ้นภายหลัง

หินอัคนีเกิดจากการเย็นตัวและแข็งตัวของแมกมาหรือลาวาหลอมเหลว ประกอบด้วยแร่ธาตุปฐมภูมิซึ่งไม่ผ่านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีตั้งแต่เริ่มก่อตัว แร่เหล่านี้แบ่งเป็นแร่สีอ่อน เช่น ควอตซ์ มัสโคไวต์ และเฟลด์สปาร์ ซึ่งมีความทนทานต่อการผุพัง และแร่สีเข้ม เช่น ไบโอไทต์ ออไกต์ และฮอร์นเบลนด์ ซึ่งมีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักและผุพังได้ง่ายกว่า หินอัคนีสามารถจำแนกตามเนื้อหินและองค์ประกอบแร่ เช่น หินแกรนิตและไดโอไรต์ซึ่งมีเนื้อหยาบและแร่สีอ่อนเป็นหลัก ขณะที่หินบะซอลต์และแกบโบรมีสีเข้มและแร่สีเข้มเป็นองค์ประกอบสำคัญ

หินตะกอนเป็นหินที่พบมากที่สุดบนพื้นผิวโลก ครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 75 เกิดจากการสะสม การยัดติดยึด หรือการอัดแน่นของวัสดุที่ได้จากการผุพังของหินเดิม หินตะกอนประกอบด้วยแร่ทุติยภูมิเป็นหลัก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแร่ปฐมภูมิ ตัวอย่างของหินตะกอน ได้แก่ หินทรายที่เกิดจากเม็ดทรายควอตซ์ หินปูนซึ่งประกอบด้วยแคลไซต์หรือโดโลไมต์ หินดินดานที่เกิดจากการอัดแน่นของดินเหนียว และหินรวมกลุ่ม (conglomerate) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของเศษหินหลากหลายชนิด

หินแปรเกิดจากการแปรสภาพของหินอัคนีหรือหินตะกอนภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูงจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ทำให้โครงสร้างและการจัดเรียงตัวของแร่เปลี่ยนแปลงไป หินอัคนีอาจเกิดการเรียงตัวของแร่เป็นแถบ ขณะที่หินตะกอน เช่น หินปูนและหินดินดาน สามารถแปรสภาพเป็นหินอ่อนและหินชนวนตามลำดับ โดยสรุป ประเภทของหินและแร่ธาตุที่เป็นต้นกำเนิดมีอิทธิพลอย่างมากต่อกระบวนการเกิดดิน คุณสมบัติทางกายภาพเคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเกษตร

2.2 แร่ปฐมภูมิ Primary minerals

แร่ธาตุปฐมภูมิหมายถึงแร่ที่ยังคงโครงสร้างทางเคมีเดิมนับตั้งแต่ก่อตัวจากการแข็งตัวของลาวาหรือแมกมาหลอมเหลว แร่กลุ่มนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเกิดดิน เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดของแร่ทุติยภูมิและธาตุอาหารพืชในระยะยาว แร่ธาตุปฐมภูมิสามารถเรียงลำดับตามความต้านทานต่อการผุพังจากมากไปน้อย ได้แก่ ควอตซ์ มัสโคไวต์ ไมโครไคลน์ และออร์โทเคลส รองลงมาคือไบโอไทต์และอัลไบต์ และแร่ที่ผุพังได้ง่ายที่สุด ได้แก่ ฮอร์เนเบลนด์ ออไรต์ อะโนไทต์ และโอลิวีน

ควอตซ์ (SiO_2) เป็นแร่ธาตุปฐมภูมิที่มีความเสถียรสูงที่สุด มีโครงสร้างเป็นโครงข่ายสามมิติของซิลิเกตเตตระฮีดรอนแบบปิด จัดอยู่ในกลุ่มเทคโตซิลิเกต โครงสร้างดังกล่าวทำให้ควอตซ์มีความทนทานต่อการผุพังทางเคมีและกายภาพอย่างมาก ควอตซ์บริสุทธิ์มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65 โดยทั่วไปไม่มีสีหรือมีสีขาว แต่สามารถมีสีต่าง ๆ ได้จากสิ่งเจือปน ควอตซ์เป็นแร่ที่พบมากที่สุดในดินส่วนใหญ่ เนื่องจากพบทั่วไปในหินและมีความทนทานสูง หินอัคนีที่มีซิลิกาสูง เช่น หินแกรนิตและไรโอไลต์ จะมีปริมาณควอตซ์สูงกว่าหินอัคนีเบสิกอย่างบะซอลต์และแบสโบล ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลักของหินทรายและพบในสัดส่วนที่แตกต่างกันในดินเหนียว ทั้งนี้ ในดินที่มีการผุพังและชะล้างอย่างรุนแรง เช่น ดินลาเทอไรต์ ปริมาณควอตซ์มักลดลงอย่างมาก

เฟลด์สปาร์เป็นแร่ธาตุปฐมภูมิที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากควอตซ์ และเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะโพแทสเซียม แคลเซียม และโซเดียม เฟลด์สปาร์พบได้มากในดินที่มีการผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง แต่จะลดลงหรือหายไปในดินที่ผุพังรุนแรง เฟลด์สปาร์แบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก คือ เฟลด์สปาร์อัลคาไลซึ่งอุดมด้วยโพแทสเซียมและโซเดียม เช่น ออร์โทเคลสและไมโครไคลน์ และกลุ่มเพลจิโอเคลสซึ่งมีองค์ประกอบตั้งแต่อัลไบต์ไปจนถึงอะนอร์ไทต์ เฟลด์สปาร์เป็นแร่เทคโตซิลิเกตที่ไม่มีน้ำ โครงสร้างประกอบด้วย SiO_4 และ AlO_4 ที่เชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายสามมิติ การผุพังของเพลจิโอเคลสเป็นแหล่งแคลเซียมที่สำคัญในดิน ขณะที่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เป็นแหล่งโพแทสเซียมระยะยาว แร่ทุติยภูมิหลายชนิด เช่น เคโอลินต์ สเมกไทต์ ฮัลลอยไซต์ และจีบไซต์ ล้วนเกิดจากการผุพังของเฟลด์สปาร์

ไมก้าเป็นกลุ่มแร่ธาตุปฐมภูมิที่สำคัญเป็นอันดับสาม พบมากในหินแกรนิตและหินกรวดอื่น ๆ และพบในดินที่มีการผุพังน้อยถึงปานกลาง ไมก้าในดินส่วนใหญ่มาจากวัสดุต้นกำเนิด เช่น หินดินดาน หินไนส์ และหินแกรนิต ไมก้าเป็นแร่ฟิสิกซิลิเกตชนิด 2:1 มีไอออนโพแทสเซียมยึดระหว่างชั้น ทำให้มีความเสถียรและไม่ขยายตัวเมื่อดูดน้ำ ไมก้าที่สำคัญได้แก่ มัสโคไวต์และไบโอไทต์ โดยมัสโคไวต์มีความทนทานต่อการผุพังมากกว่าและมักพบในดินที่ผุพังน้อย ส่วนไบโอไทต์ผุพังได้ง่ายกว่า และผลิตภัณฑ์ผุพังมักเป็นเวอร์มิคูไลต์หรือสเมกไทต์ ไมก้าจัดเป็นแหล่งโพแทสเซียมที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอนุภาคไมก้า รวมถึงสภาพแวดล้อมของดิน

โอลิวีน แอมฟิโบล และไพรอกซีน เป็นแร่ธาตุปฐมภูมิในกลุ่มเฟอร์โร-แมกนีเซียม ซึ่งมีความเสถียรต่ำและผุพังได้ง่าย โดยโอลิวีนเป็นแร่ที่ผุพังเร็วที่สุดในกลุ่มนี้ โอลิวีนเป็นแร่ไนโซซิลิเกตที่มีแมกนีเซียมและเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก พบมากในหินอัคนีเบส การผุพังของโอลิวีน ไพรอกซีน และแอมฟิโบล เป็นแหล่งสำคัญของธาตุแคลเซียม

แมกนีเซียม เหล็ก และธาตุอาหารรองอื่น ๆ ในดิน แร่ทั้งสามกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อวัฏจักรของ Mg และ Fe ในระบบดิน และเป็นตัวบ่งชี้ระดับการผูกพันของดินได้เป็นอย่างดี

โดยสรุป แร่ธาตุปฐมภูมิแต่ละชนิดมีความเสถียรและอัตราการผูกพันแตกต่างกัน ส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของดิน การก่อตัวของแร่ทุติยภูมิ และความสามารถของดินในการจัดหาธาตุอาหารให้แก่พืช ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการจัดการดิน การเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน

2.3 แร่ทุติยภูมิ Secondary minerals

แร่ธาตุทุติยภูมิเป็นแร่ที่เกิดจากกระบวนการผูกพันและเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุปฐมภูมิภายใต้สภาพแวดล้อมของดิน แร่กลุ่มนี้พบมากในส่วนดินเหนียวของดิน และมักเรียกรวมว่าแร่ดินเหนียว ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุทุติยภูมิมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เนื่องจากแร่ดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 ไมโครเมตร ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง แร่บางชนิด เช่น สมกไทต์ มีทั้งพื้นที่ผิวภายนอกและพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก ซึ่งอาจมีค่ามากกว่า 800 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าทั้งลบและบวก ส่งผลต่อการดูดซับไอออนบวก ไอออนลบ และโมเลกุลของน้ำ ทำให้แร่ดินเหนียวมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บธาตุอาหาร น้ำ และการเกิดโครงสร้างของดิน

ในดินเขตร้อนที่มีการผุร่อนอย่างรุนแรง แร่ดินเหนียวที่พบเด่น ได้แก่ เคโอลิไนต์ และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม เช่น เกอไทต์ เฮมาไทต์ และจิบซีต์ แร่เหล่านี้สะท้อนถึงระดับการผูกพันที่ก้าวหน้าของวัสดุต้นกำเนิด ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบสำคัญในดินเขตร้อนที่ผุร่อนสูง เหล็กออกไซด์มีอิทธิพลต่อสีของดินอย่างชัดเจน โดยเกอไทต์มักให้น้ำตาลอมเหลืองและพบในสภาพแวดล้อมที่ชื้นกว่า ขณะที่เฮมาไทต์ให้สีแดงและพบในสภาพแวดล้อมที่แห้งกว่า นอกจากนี้ยังมีออกไซด์อื่น ๆ เช่น เลพิโดโครไซต์ แมกนีไทต์ แมกนีไมต์ และเฟอร์ริไฮโดรต์ ซึ่งมีบทบาทต่อโครงสร้างดิน การเกิดไมโครแอ็กเกรเกต และการดูดซับไอออนต่าง ๆ ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมมีประจุไฟฟ้าที่แปรผันตามค่า pH โดยในดินกรดจัด อนุภาคบางชนิดอาจมีประจุบวกสุทธิและสามารถตรึงไอออนลบ โดยเฉพาะฟอสเฟตได้อย่างรุนแรง ส่งผลให้ฟอสฟอรัสในดินมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงในชั้นบนมักลดการตรึงฟอสเฟตได้ เนื่องจากสารอินทรีย์แข่งขันกับฟอสเฟตในการยึดเกาะกับพื้นผิวออกไซด์

แร่ซิลิเกตแบบชั้นหรือฟิลโลซิลิเกตเป็นแร่ดินเหนียวที่พบทั่วไปในดิน โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระไฮดรอนและแผ่นอะลูมิเนียมหรือแมกนีเซียมออกตาไฮดรอน การจัดเรียงตัวของแผ่นเหล่านี้และการแทนที่แบบไอโซมอร์ฟิซของไอออนภายในโครงสร้างเป็นแหล่งกำเนิดหลักของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวแร่ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความเหนียว ความยืดหยุ่น และการบวมตัว

แร่ซิลิเกตแบบชั้นสามารถจำแนกเป็นแร่ประเภท 1:1 และ 2:1 แร่ประเภท 1:1 เช่น เคโอลิไนต์ ประกอบด้วยแผ่นสี่หน้าหนึ่งแผ่นและแผ่นแปดหน้าหนึ่งแผ่น ยึดติดกันแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้ไม่สามารถขยายตัวเมื่อเปียกน้ำ มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำ เคโอลิไนต์เป็นแร่ดินเหนียวหลักในดินเขตร้อนชื้นที่มีการผุร่อนอย่างรุนแรง

แร่ประเภท 2:1 ประกอบด้วยแผ่นแปดหน้าหนึ่งแผ่นอยู่ระหว่างแผ่นสี่หน้าสองแผ่น แร่ในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติหลากหลาย ตั้งแต่แร่ที่ขยายตัวได้มาก เช่น สมกไทต์ ไปจนถึงแร่ที่ขยายตัวได้น้อยหรือไม่ขยายตัว เช่น อิลไลต์ เวอร์มิคูไลต์ และคลอไรต์ สมกไทต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากและมีประจุลบจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ส่งผลให้ดินที่มีสมกไทต์เป็นองค์ประกอบหลักมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุ

อาหารสูง แต่มีปัญหาการบวมและหดตัวอย่างรุนแรง เวอร์มิคูไลต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงเช่นกัน และสามารถรีงโฟฟอสเฟตซีมิวไว้ระหว่างชั้นได้อย่างแน่นหนา ส่วนอิลไลต์มีการขยายตัวต่ำกว่าและพบมากในดินที่ฝุพังน้อยจากวัสดุต้นกำเนิดที่มีไมกา

นอกจากนี้ ยังมีแร่ดินเหนียวสัณฐาน เช่น อัลโลเฟนและอิโมโกไลต์ ซึ่งพบเด่นในดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟ แร่เหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก มีความสามารถในการดูดซับทั้งไอออนบวกและไอออนลบ และมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บน้ำและฟอสฟอรัส ดินภูเขาไฟที่มีอัลโลเฟนและอิโมโกไลต์มักมีความพรุนสูง ความหนาแน่นรวมต่ำ และมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช

นอกเหนือจากแร่ดินเหนียวแล้ว อินทรีย์วัตถุในดินหรือคอลลอยด์ฮิวมัสยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในส่วนดินเหนียว ฮิวมัสมีประจุลบจากหมู่คาร์บอกซิลและฟีนอลิก ซึ่งแปรผันตามค่า pH และมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและน้ำสูง อินทรีย์วัตถุร่วมกับแร่ดินเหนียวจึงเป็นตัวกำหนดสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินในระดับจุลภาค โดยสรุป แร่ธาตุทุกชนิดถูกยึดเหนี่ยวและออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมความอุดมสมบูรณ์ ความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหาร โครงสร้างดิน และการตอบสนองของดินต่อการจัดการทางการเกษตร ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบเกษตรกรรมที่ยั่งยืนในเขตร้อน

3. Soil Chemistry

หนึ่งในกระบวนการทางเคมีที่สำคัญที่สุดในดิน คือ การดูดซับแคทไอออนและแอนไอออนบนผิวที่มีประจุของคอลลอยด์ในดิน ไอออนเหล่านี้ยังคงอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนแคทไอออน ขณะเดียวกันก็ได้รับการป้องกันไม่ให้สูญเสียจากการชะล้าง คอลลอยด์ในดิน เช่น แร่ดินเหนียว ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และอินทรีย์วัตถุ มีทั้งประจุบวกและประจุแปรผันตามค่า pH

เมื่อค่า pH สูงกว่าจุดที่ประจุรวมสุทธิเป็นศูนย์ ดินจะมีประจุลบสุทธิและยึดจับแคทไอออน แต่เมื่อค่า pH ต่ำกว่า ดินจะมีประจุบวกสุทธิและยึดจับแอนไอออน ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม รวมถึงคาโอไลน์ต์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนต่ำมาก ขณะที่อินทรีย์วัตถุให้ปริมาณประจุต่อหน่วยน้ำหนักสูงที่สุด ดังนั้นการรักษาปริมาณอินทรีย์วัตถุจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในเขตร้อนชื้น

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนที่มีประสิทธิภาพ (CEC) หมายถึงผลรวมของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca, Mg, K, Na) รวมกับความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Al และ H) ที่วัดในค่า pH ธรรมชาติของดิน ร้อยละของเบสอิ่มตัว หรือสัดส่วนของ CEC ที่ถูกจับโดยแคทไอออนเบส เป็นตัวบ่งชี้สถานะกรด-ด่างของดินที่ใช้กันทั่วไป

อีกกระบวนการทางเคมีที่สำคัญในดินกรดเขตร้อนคือ การตรึงฟอสฟอรัส ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม กลายเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้น้อย การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตแบบเป็นแถบหรือเป็นจุดช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืช

สมบัติทางเคมีที่ใช้บ่งชี้ลักษณะดินที่พบมากที่สุดคือ ค่า pH ของดิน ซึ่งหมายถึงลอการิทึมเชิงลบของความเข้มข้นของไอออน H^+ ในสารละลายดิน ค่า pH ของดินส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของดิน เช่น CEC ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร การทำงานของจุลินทรีย์ และชนิดพืชที่สามารถเจริญได้

ในดินที่มีความเป็นกรดจัด ($pH < 5.2$) อะลูมิเนียมจะละลายได้มาก ดินลักษณะนี้พบทั่วไปในเขตร้อนชื้นและบริเวณสवानน่ากรด และอาจมีค่าการอิ่มตัวของ Al มากกว่า 60% จนเป็นพิษต่อพืช ค่า pH สามารถปรับเพิ่มได้ด้วยการใส่หินปูน

ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ดินอาจสะสมเกลือจนเป็นอันตรายต่อการเจริญของพืช (ดินเค็ม) หรือสะสมโซเดียมมากเกินไป (ดินโซดิก) ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดจากการชลประทานที่ไม่เหมาะสม

3.1 ผิวและประจุของคอลลอยด์ในดิน Surface and charge properties of soil colloids

คอลลอยด์ดินเป็นแหล่งสำคัญของประจุไฟฟ้าในดิน ทำหน้าที่กักเก็บไอออนบวกและไอออนลบของธาตุอาหาร ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ประจุไฟฟ้าบนคอลลอยด์ดินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประจุถาวร ที่เกิดจากการแทนที่แบบไอโซมอร์ฟิสม์ในโครงสร้างแร่ดินเหนียว โดยพบมากในแร่ดินเหนียวอัตราส่วน 2:1 และประจุแปรผัน ที่ขึ้นอยู่กับค่า pH ของดิน ซึ่งพบเด่นในออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม แร่อัลโลเฟน และอินทรีย์วัตถุในดิน

ประจุแปรผันสามารถเปลี่ยนเป็นบวกหรือลบได้ตามค่า pH โดยที่ค่า pH สูงกว่าจุดประจุศูนย์ (PZNC) คอลลอยด์จะมีประจุลบและกักเก็บไอออนบวกได้ดี ขณะที่ค่า pH ต่ำกว่า PZNC คอลลอยด์จะมีประจุบวกและมีแนวโน้มดึงดูดไอออนลบ เช่น ฟอสเฟต ดังนั้น ดินที่มีคอลลอยด์ชนิดประจุแปรผันเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะดินเขตร้อน จึงมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน

3.2 การยึดเหนี่ยวไอออนบนผิวคอลลอยด์ Retention of ions on colloid surfaces

การกักเก็บและการปลดปล่อยไอออนบนพื้นผิวของคอลลอยด์ดินเป็นกระบวนการทางเคมีที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ธาตุอาหารพืชในรูปของไอออนบวก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม โซเดียม สังกะสี และทองแดง รวมถึงไอออนลบ เช่น คลอไรด์ ไนเตรต ซัลเฟต และฟอสเฟต จะถูกกักเก็บไว้บนพื้นผิวของคอลลอยด์อินทรีย์และอนินทรีย์ผ่านกลไกทางเคมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออนบวก การดูดซับจำเพาะ การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ และการตกตะกอน ในบรรดากลไกเหล่านี้ การแลกเปลี่ยนไอออนบวกถือเป็นกระบวนการที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางที่สุด เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับความพร้อมใช้ของธาตุอาหารพืชและความสามารถของดินในการรักษาสมดุลธาตุอาหาร

การกระจายตัวของไอออนบวกบนพื้นผิวคอลลอยด์ที่มีประจุลบสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดของชั้นคูไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ทำให้ไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าใกล้พื้นผิวคอลลอยด์ และแรงการแพร่ที่ทำให้ไอออนเคลื่อนที่ออกสู่สารละลายดินที่อยู่ห่างออกไป ไอออนบวกที่มีความสัมพันธ์สูงกับพื้นผิวจะถูกดูดซับอย่างแน่นหนาในบริเวณใกล้ผิว เรียกว่าชั้นสเตอร์น (Stern layer) ในขณะที่ไอออนบวกที่ถูกยึดเหนี่ยวน้อยกว่าจะกระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ไกลออกไป เรียกว่าชั้นกระจายหรือชั้นกูย-แชปแมน (Gouy-Chapman layer) ไอออนบวกที่มีวาลเลนซ์สูงหรือมีรัศมีไฮเดรชันต่ำ เช่น Ca^{2+} Sr^{2+} และ Cu^{2+} มักถูกดูดซับอย่างแรงในชั้นสเตอร์นและแลกเปลี่ยนได้ยาก กระบวนการนี้เรียกว่าการดูดซับจำเพาะ ในขณะที่ไอออนบวก เช่น Na^+ และ Mg^{2+} มักพบในชั้นกระจายและสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่า โดยเฉพาะในระบบดินที่มีความชื้นสูง

ในทางตรงกันข้าม แอนไอออน เช่น ไนเตรตและคลอไรด์ จะถูกผลักออกจากพื้นผิวที่มีประจุลบของคอลลอยด์ดิน และส่วนใหญ่อยู่ในสารละลายดิน อย่างไรก็ตาม คอลลอยด์บางชนิด เช่น อัลโลเฟน และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งสามารถมีประจุบวกได้ในสภาวะที่เป็นกรด จะสามารถกักเก็บแอนไอออนได้ โดยเฉพาะแอนไอออนที่เกิดการดูดซับจำเพาะ เช่น ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ ซิลิเกต และซัลเฟต ซึ่งมักถูกยึดไว้ในชั้นสเตอร์นอย่างแน่นหนา

โดยทั่วไป ดินส่วนใหญ่มีคอลลอยด์ที่มีประจุลบเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีแนวโน้มในการกักเก็บไอออนบวกมากกว่าไอออนลบ อย่างไรก็ตาม ในดินที่ผุพังอย่างรุนแรงในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีคอลลอยด์ที่มีประจุแปรผัน เช่น ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมในปริมาณสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนบวกและไอออนลบจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของดินอย่างมาก ในดินที่เป็นกรดจัด พื้นผิวคอลลอยด์อาจมีประจุบวกสุทธิ ทำให้การดูดซับแอนไอออน เช่น ฟอสเฟต มีความสำคัญมากกว่าการดูดซับไอออนบวก

การแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นกระบวนการที่ไอออนบวกซึ่งถูกดูดซับบนคอลลอยด์ดินสามารถถูกแทนที่ด้วยไอออนบวกชนิดอื่นจากสารละลายดิน หรือจากรากพืชและกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ตัวอย่างเช่น เมื่อพืชดูดซับโพแทสเซียมจากสารละลายดิน ไอออนไฮโดรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาและเข้าแทนที่ตำแหน่งของ K^+ บน

คอลลอยด์ดิน ส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ปฏิกริยานี้สามารถย้อนกลับได้ และทิศทางของปฏิกริยาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสัมพัทธ์ของไอออนบวกในสารละลายดิน

การเลือกการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของคอลลอยด์ดินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระดับการไฮโดรชันของไอออน วาเลนซ์ และความเข้มข้นในสารละลายดิน ไอออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงและมีระดับการไฮโดรชันต่ำจะถูกดูดซับได้ดีกว่าไอออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำและมีของน้ำขนาดใหญ่ ลำดับความสามารถในการถูกดูดซับของไอออนบวกในระบบดินโดยทั่วไปคือ $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^+ \approx K^+ > Na^+$ นอกจากนี้ ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลายดินยังมีบทบาทสำคัญ โดยในดินที่เป็นกรดจัด ไอออน Al^{3+} มักมีอิทธิพลเหนือคอมเพล็กซ์แลกเปลี่ยน ในขณะที่ในดินที่เป็นกลางถึงเป็นด่าง Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะเป็นไอออนหลักที่ครอบครองตำแหน่งแลกเปลี่ยน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก หรือ CEC เป็นตัวชี้วัดความสามารถของดินในการกักเก็บไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดบนคอลลอยด์ดิน โดยแสดงเป็นเซนติโมลของประจุบวกต่อกิโลกรัมดิน ค่า CEC แตกต่างกันอย่างมากระหว่างดินชนิดและปริมาณของคอลลอยด์ในดิน รวมถึงค่า pH โดยทั่วไปค่า CEC สูงที่สุด รองลงมาคือแร่ดินเหนียวชนิดเวอร์มิคูไลต์และสมกไทต์ ในขณะที่เคโอลิไนต์และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมมีค่า CEC ต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง โดยเฉพาะในดินผิว จะมีค่า CEC สูงกว่าดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำอย่างชัดเจน แม้ในดินที่มีแร่ดินเหนียวซึ่งมีค่า CEC ต่ำ เช่น เคโอลิไนต์ อินทรีย์วัตถุก็ยังมีความสำคัญต่อค่า CEC รวมของดิน

โดยทั่วไป ค่า CEC จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากประจุที่ขึ้นกับค่า pH ของคอลลอยด์อินทรีย์ อัลโลเฟน และออกไซด์ของโลหะจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประจุถาวรจากแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น การวัดค่า CEC ในดินเขตร้อนจึงมักใช้ค่า CEC ที่มีประสิทธิภาพ หรือ ECEC ซึ่งสะท้อนสภาพดินตามธรรมชาติได้ดีกว่าวิธีที่วัดค่า CEC ที่ pH สูง

นอกจากการกักเก็บไอออนบวกแล้ว ดินยังสามารถกักเก็บแอนไอออนผ่านกลไกต่าง ๆ ได้แก่ แรงไฟฟ้าสถิต การดูดซับจำเพาะ และการตกตะกอน ดินที่มีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม รวมถึงอัลโลเฟนในปริมาณสูง จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบหรือ AEC ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งช่วยลดการสูญเสียแอนไอออน เช่น ไนเตรต ออกจากดิน อย่างไรก็ตาม แอนไอออนบางชนิด โดยเฉพาะฟอสเฟต จะถูกยึดแน่นมากผ่านการแลกเปลี่ยนลิแกนด์และการตกตะกอนกับ Fe และ Al ส่งผลให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ง่าย กระบวนการนี้เรียกว่า การตรึงฟอสเฟต

ดินในเขตร้อนชื้นส่วนใหญ่จึงมักประสบปัญหาฟอสฟอรัสต่ำหรือการตรึงฟอสฟอรัสสูง ทำให้ความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสสำหรับพืชขึ้นอยู่กับการจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแบบจุด หรือการใช้สารที่สามารถแข่งขันกับฟอสเฟตในการดูดซับบนพื้นผิวคอลลอยด์ ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการกักเก็บและการปลดปล่อยไอออนเหล่านี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการจัดการธาตุอาหารและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในระบบดินเขตร้อนที่มีข้อจำกัดทางเคมีของดินสูง

3.3 ความเป็นกรดของดินและความเป็นพิษ Soil acidity and toxicity

ความเป็นกรดและความเป็นด่างของดิน หรือที่เรียกรวมกันว่า ปฏิกริยาของดิน (soil reaction) เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบดินทั้งในเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพ ปฏิกริยาของดินหมายถึงความเข้มข้นสัมพัทธ์ของไอออนไฮโดรเจน (H^+) และไอออนไฮดรอกซิล (OH^-) ที่อยู่ในสารละลายดิน ซึ่งโดยทั่วไปแสดงค่าในรูปของ pH ค่า pH ของดินจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ควบคุมความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร การทำงานของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของพืช

ค่า pH ถูกนิยามว่าเป็นลอการิทึมเชิงลบของความเข้มข้นของไอออน H^+ ในสารละลายดิน (หน่วยโมลต่อลิตร) โดยในสารละลายน้ำ ความเข้มข้นของไอออน H^+ และ OH^- จะมีความสัมพันธ์คงที่ตามสมการ $[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$ ดังนั้นที่ค่า pH 7 ความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- จะเท่ากัน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7

จัดเป็นดินกรด ขณะที่ดินที่มีค่า pH สูงกว่า 7 จัดเป็นดินด่าง โดยทั่วไปค่า pH ของดินสามารถอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 10 และในบางกรณีที่รุนแรง เช่น ดินกรดซัลเฟตในป่าชายเลน ค่า pH ของดินอาจลดลงเหลือเพียง 2 หรือต่ำกว่านั้นเมื่อดินแห้ง

เพื่อประโยชน์ในการจัดการทางการเกษตร ปฏิกริยาของดินมักถูกแบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ได้แก่ ดินที่มีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} < 5.2$) ดินกรดเล็กน้อย ($\text{pH} 5.3-6.9$) ดินเป็นกลาง ($\text{pH} 7.0-7.2$) ดินด่างอ่อน ($\text{pH} 7.3-7.8$) ดินด่างปานกลาง ($\text{pH} 7.9-8.4$) และดินด่างสูง ($\text{pH} > 8.5$) ระดับค่า pH เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อความพร้อมใช้ของธาตุอาหารพืช โดยในดินที่เป็นกรดจัด ความพร้อมใช้ของธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน รวมถึงธาตุโมลิบดีนัมและโบรอนจะลดลง ในขณะที่ธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโคบอลต์ จะมีความพร้อมใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะเป็นพิษต่อพืชได้

นอกจากผลต่อธาตุอาหารแล้ว ปฏิกริยาของดินยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยทั่วไปแบคทีเรียและแอกติโนไมซีตจะทำงานได้ดีที่สุดในช่วงค่า pH ที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อย ขณะที่เชื้อราสามารถปรับตัวได้ในช่วงค่า pH ที่กว้างกว่า และมักมีบทบาทเด่นในดินกรด เนื่องจากการแข่งขันจากแบคทีเรียน้อยกว่า ส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ การหมุนเวียนธาตุอาหาร และกระบวนการสร้างแร่ทุติยภูมิในดิน ปฏิกริยาของดินยังมีผลต่อชนิดของพืชพรรณธรรมชาติและพืชเศรษฐกิจที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่หนึ่ง ๆ พืชเขตร้อนหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง ยางพารา สับปะรด ชา และกาแฟ รวมถึงหญ้าเขตร้อนและพืชตระกูลถั่วหลายชนิด สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในสภาพดินกรด

กระบวนการผุพังของหินและแร่ธาตุตามธรรมชาติ รวมถึงการสลายตัวของสารอินทรีย์ เป็นแหล่งกำเนิดทั้งกรดและเบสในดิน การผุพังของแร่ธาตุจะปลดปล่อยไอออนบวกที่ก่อให้เกิดเบส เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียม ขณะที่การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุก่อให้เกิดกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งแตกตัวให้ไอออน H^+ ภายใต้สภาพ pH ต่ำ กรดเหล่านี้สามารถละลายอะลูมิเนียมออกจากพื้นผิวแร่ได้ ส่งผลให้เกิดอะลูมิเนียมในรูปที่ละลายน้ำและแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของความเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะเมื่อความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในสารละลายดินสูงกว่า 5 ส่วนในล้านส่วน หรือเมื่อเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 60% ในชั้นดินลึกประมาณ 50 เซนติเมตร ดินลักษณะนี้พบได้มากในเขตร้อนชื้นและทุ่งหญ้าสะวันนา

กิจกรรมของมนุษย์ยังมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงปฏิกริยาของดิน การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต จะถูกจุลินทรีย์ออกซิโดซันเกิดกรดอนินทรีย์ ทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การปล่อยก๊าซไนโตรเจนและกำมะถันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและชีวมวลยังนำไปสู่การเกิดฝนกรด ซึ่งส่งผลต่อความเป็นกรดของดินในระยะยาว

สภาพภูมิอากาศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อปฏิกริยาของดิน ในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก ไอออนบวกที่เป็นเบสมักถูกชะล้างออกจากดิน ทำให้สารเชิงซ้อนการแลกเปลี่ยนถูกครอบงำด้วยไอออน Al^{3+} และ H^+ ส่งผลให้ดินมีแนวโน้มเป็นกรดมากขึ้นและขาดธาตุอาหาร ในทางตรงกันข้าม พื้นที่แห้งแล้งที่มีการชะล้างต่ำมักมีดินที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง

ความเป็นกรดของดินส่วนใหญ่เกิดจากไอออนบวกสองชนิดที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวคอลลอยด์ดิน ได้แก่ ไอออนไฮโดรเจน (H^+) และไอออนอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ในดินที่มีความเป็นกรดจัด ($\text{pH} < 5.2$) อะลูมิเนียมสามารถละลายน้ำได้และพบทั้งในรูปที่ละลายน้ำและแลกเปลี่ยนได้ โดยการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมในสารละลายดินเป็นแหล่งสำคัญของไอออน H^+ ทำให้ค่า pH ของดินลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ อะลูมิเนียมที่ละลายได้ยังสามารถถูกยึดแน่นกับอินทรีย์วัตถุเกิดเป็นสารประกอบ organo-Al ซึ่งมีผลต่อสมดุลความเป็นกรดของดิน

ความเป็นกรดของดินสามารถจำแนกออกเป็นความเป็นกรดที่ออกฤทธิ์ ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และความเป็นกรดรวม ซึ่งทั้งหมดอยู่ในภาวะสมดุลกัน ความเป็นกรดที่ออกฤทธิ์สะท้อนกิจกรรมของ H^+ และ Al^{3+} ใน

สารละลายดิน และมีความสำคัญต่อพืชและจุลินทรีย์มากที่สุด ส่วนความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้เกิดจาก H^+ และ Al^{3+} ที่ดูดซับอยู่บนผิวคอลลอยด์ดิน ซึ่งสามารถวัดได้โดยการสกัดด้วยสารละลาย KCl

ความสามารถในการบัฟเฟอร์ของดินหมายถึงความต้านทานของดินต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อมีการเติมกรดหรือด่างจากภายนอก ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง มีแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 หรือมีอัลโลเฟนในปริมาณมาก จะมีความสามารถในการบัฟเฟอร์สูง ขณะที่ดินทรายหรือดินที่มีเคโอลิไนต์และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นหลัก จะมีความสามารถในการบัฟเฟอร์ต่ำ ความสามารถในการบัฟเฟอร์นี้เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดปริมาณวัสดุปูนขาวที่จำเป็นต่อการปรับปรุงดินกรด

การวัดค่า pH ของดินสามารถทำได้ทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ วิธีภาคสนามนิยมใช้สารชี้วัดสีหรือกระดาษทดสอบ pH ซึ่งให้ความแม่นยำในระดับหนึ่ง ส่วนในห้องปฏิบัติการจะใช้เครื่องวัดค่า pH ที่มีอิเล็กโทรดแก้ว ซึ่งให้ผลแม่นยำกว่า โดยทั่วไปจะวัดในสารแขวนลอยดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:2 หรือ 1:2.5 และควรระบุวิธีการวัดอย่างชัดเจนในการรายงานผล เนื่องจากวิธีที่ใช้สามารถส่งผลต่อค่าที่วัดได้

การแก้ไขความเป็นกรดของดินในทางการเกษตรนิยมใช้วัสดุปูนขาว เช่น หินปูนแคลไซต์ หินปูนโดโลไมต์ ปูนขาวเผา และปูนขาวไฮเดรต วัสดุเหล่านี้ช่วยเพิ่มค่า pH ของดินโดยทำปฏิกิริยากับ CO_2 และน้ำ และโดยการแทนที่ไฮดรอกซิล H^+ และ Al^{3+} บนสารเชิงซ้อนการแลกเปลี่ยนด้วย Ca^{2+} และ Mg^{2+} ส่งผลให้ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมลดลง นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยพืชสดและยิปซัมยังช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดิน โดยเฉพาะในชั้นดินลึก

ความต้องการปูนขาวของดินขึ้นอยู่กับค่า pH เป้าหมาย ชนิดและความละเอียดของวัสดุปูนขาว ความสามารถในการบัฟเฟอร์ของดิน และชนิดพืชที่จะปลูก ในเขตอบอุ่นมักปรับค่า pH ดินให้สูงถึงประมาณ 6.5 เพื่อปลูกพืชที่ไวต่ออะลูมิเนียม ขณะที่ในเขตร้อน การปรับค่า pH จากต่ำกว่า 5.0 ให้เพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ประมาณ 5.3–5.5 มักเพียงพอในการลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและเพิ่มความเหมาะสมของดินต่อการปลูกพืชอาหารทั่วไป

3.4 ความเป็นต่าง ดินเค็ม และดินโซดิก Alkalinity, salinity, and sodicity

ความเป็นต่างของดินหมายถึงสภาพดินที่มีค่า pH มากกว่า 7.0 ซึ่งสะท้อนถึงปฏิกิริยาทางเคมีของดิน ในขณะที่ความเค็มของดินหมายถึงปริมาณเกลือที่ละลายได้ในดิน ซึ่งมักประเมินจากค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ดินที่มีเกลือสะสมในระดับสูงจนส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชเรียกว่า “ดินเค็ม” ส่วนดินที่มีโซเดียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้สูงจนทำลายโครงสร้างดินเรียกว่า “ดินโซเดียม” ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือมักพบมากในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง และหลายกรณีเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการชลประทานที่ขาดการจัดการที่เหมาะสม

แหล่งกำเนิดของความเป็นต่างและความเค็ม

ดินต่างและดินเค็มมักเกิดในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำ น้ำฝนไม่เพียงพอที่จะชะล้างไอออนบวกที่ก่อให้เกิดความเป็นต่าง เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ออกจากหน้าตัดดิน ทำให้ดินมีเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของฐานสูง และค่า pH สูงกว่า 7.0 นอกจากนี้ เกลือในดินอาจมาจากการผุพังของหินและแร่ การสะสมตัวของเกลือจากแหล่งน้ำโบราณ หรือถูกพามาด้วยน้ำฝนและน้ำชลประทาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่การระบายน้ำไม่ดี เกลือจะสะสมใกล้ผิวดิน กระบวนการนี้เรียกว่า “ซาลิไนเซชัน (salinization)”

ในดินต่าง มักพบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โดยเฉพาะในดินที่มีค่า pH สูงกว่า 7.5 นอกจากนี้ ค่า pH ยังได้รับอิทธิพลจากไอออนคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกรดคาร์บอนิกที่เกิดจาก CO_2 ในดิน เมื่อความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น จะทำให้มีไอออนไฮดรอกซิลมากขึ้น ส่งผลให้ค่า pH ของดินสูงขึ้น โดยดินที่มีไบคาร์บอเนตเป็นหลักจะมี pH ประมาณ 8.3 และดินที่มีคาร์บอเนตสูงอาจมี pH ถึง 10 หรือมากกว่า

หากโซเดียมเป็นไอออนบวกหลักในสารละลายดิน จะเกิดสารประกอบอย่าง NaHCO_3 และ Na_2CO_3 ซึ่งละลายน้ำได้ดี ทำให้ค่า pH สูงขึ้นอย่างมาก และส่งผลเสียต่อทั้งพืชและโครงสร้างดิน

ประเภทของดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ดินเค็ม (Saline soil) มีเกลือที่ละลายได้สูง ($\text{EC} \geq 4 \text{ dS/m}$) แต่มีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ ($\text{ESP} < 15$) ค่า pH มักต่ำกว่า 8.5 โครงสร้างดินยังคงค่อนข้างดี เนื่องจาก Ca^{2+} และ Mg^{2+} ช่วยยึดอนุภาคดินให้รวมตัวกัน
2. ดินโซเดียม (Sodic soil) มีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ($\text{ESP} \geq 15$ และ $\text{SAR} \geq 13$) แต่มีเกลือละลายต่ำ ($\text{EC} < 4 \text{ dS/m}$) ค่า pH สูงกว่า 8.5 โซเดียมทำให้คอลลอยด์ดินกระจายตัว โครงสร้างดินเสีย การซึมผ่านน้ำต่ำ และสภาพอากาศในดินไม่เหมาะต่อการเจริญของรากพืช
3. ดินเค็ม-โซเดียม (Saline-sodic soil) มีทั้งเกลือละลายสูง ($\text{EC} \geq 4 \text{ dS/m}$) และโซเดียมสูง ($\text{ESP} \geq 15$, $\text{SAR} \geq 13$) ลักษณะทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกับดินเค็มในระยะแรก แต่หากเกลือถูกชะล้างออกไป จะเหลือสภาพดินโซเดียมซึ่งเป็นปัญหารุนแรงกว่า

ผลกระทบต่อพืช

ความเค็มสูงในสารละลายดินเพิ่มศักย์ออสโมซิส ทำให้รากพืชสูญเสียน้ำ เซลล์รากอาจเหี่ยวหรือแตกสลายได้ ดินโซเดียมยังทำให้เกิดความเป็นพิษจาก Na^+ , OH^- และ HCO_3^- ค่า pH สูงลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารรอง และโครงสร้างดินที่เสื่อมโทรมทำให้รากขาดออกซิเจน พืชอาหารทั่วไปมักไวต่อความเค็ม เช่น ส้มและมะนาว ขณะที่พืชทนเค็มได้ดี ได้แก่ อินทผลัม มะกอก และฝ้าย

การฟื้นฟูดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

การฟื้นฟูดินเค็มอาศัยน้ำชลประทานที่มีคุณภาพดี (SAR ต่ำ) และระบบระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพ เพื่อชะล้างเกลือออกจากดิน ความคืบหน้าสามารถติดตามได้จากการวัดค่า EC ของดินเป็นระยะ สำหรับดินโซเดียมและดินเค็ม-โซเดียม จำเป็นต้องลดโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ก่อน โดยการเติมแคลเซียมลงไปในดิน มักใช้ ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งช่วยแทนที่ Na^+ บนผิวคอลลอยด์ดิน แล้วเกิดโซเดียมซัลเฟตที่ละลายน้ำและถูกชะล้างออกไป นอกจากนี้ ยังสามารถใช้กำมะถันหรือกรดซัลฟิวริกเพื่อเปลี่ยนโซเดียมคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตให้เป็นรูปที่เป็นกลางและชะล้างได้ง่าย

หลังการฟื้นฟู โครงสร้างดินและการซึมผ่านน้ำจะดีขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพน้ำชลประทานและรักษาการระบายน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสะสมของเกลือซ้ำในอนาคต

4. Soil Physics

ดินสามารถจำแนกตามเนื้อดิน (ทราย ดินร่วน ดินเหนียว) ตามการกระจายขนาดอนุภาค นอกจากนี้ โครงสร้างดินยังสามารถอธิบายได้จากชนิดของก้อนดิน ซึ่งขึ้นกับการจัดเรียงของอนุภาค

สมบัติทางกายภาพเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก เนื่องจากส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ น้ำที่พืชใช้ได้ ช่องว่างอากาศ การยึดธาตุอาหาร พฤติกรรมการยึด-หลุด และกิจกรรมจุลินทรีย์ อีกสมบัติหนึ่งที่ใช้บ่อยคือ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ซึ่งเป็นมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ดินที่มีความหนาแน่นต่ำต้องมีปริมาณช่องว่างสูงเพื่อให้ น้ำ อากาศ และรากพืชอยู่ได้ อย่างไรก็ตาม การกระจายขนาดช่องว่างมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและสารละลายในดินมากกว่าปริมาณช่องว่างรวม

การกระจายขนาดพรองดินสามารถประเมินได้จากเส้นโค้งการกักเก็บน้ำในดิน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับศักย์น้ำในดิน น้ำถือว่าเป็นน้ำที่พืชใช้ได้เมื่อศักย์น้ำอยู่ระหว่าง -10 ถึง -1500 kPa

อัตราการซึมน้ำลงดินเป็นสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่ง ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากการเกิดเปลือกผิวดินและการอัดตัว การเคลื่อนที่ของน้ำในดินส่วนใหญ่เป็นการไหลในสภาพไม่อิ่มตัว ซึ่งขับเคลื่อนด้วยความต่างของศักย์เมตริก และอธิบายด้วยค่าการนำไฮดรอลิกแบบไม่อิ่มตัว อุณหภูมิดินสูงอาจเป็นข้อจำกัดทางกายภาพที่สำคัญต่อการเจริญพืชในเขตร้อน

4.1 เนื้อดิน Soil texture

เนื้อดินหมายถึงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน รวมถึงการเจริญเติบโตของพืช อนุภาคดินสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มหลักตามขนาด โดยสมาคมวิทยาศาสตร์ดินนานาชาติ (International Society of Soil Science: ISSS) แบ่งอนุภาคดินออกเป็นสามประเภท คือ ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว อนุภาคทรายมีขนาดตั้งแต่ 0.02–2 มิลลิเมตร อนุภาคทรายแป้งมีขนาด 0.002–0.02 มิลลิเมตร และอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร เช่น กรวดหรือหิน จัดเป็นเศษหยาบ ซึ่งไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของดิน แม้จะไม่ถูกนับรวมในการจำแนกเนื้อดิน แต่เศษหยาบเหล่านี้สามารถส่งผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นกัน

อนุภาคทราย

อนุภาคทรายสามารถแบ่งย่อยออกเป็นทรายละเอียด (0.02–0.2 มม.) และทรายหยาบ (0.2–2 มม.) อนุภาคทรายมีรูปร่างได้ทั้งแบบกลมและเหลี่ยม ไม่เกาะติดกัน และมักประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดเดียว โดยส่วนใหญ่คือควอตซ์ (SiO_2) หรือแร่ซิลิเกตปฐมภูมิอื่น ๆ สีของทรายอาจเป็นสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง เนื่องจากการเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ เนื่องจากองค์ประกอบแร่มีความคงทนต่อการผุพัง ทรายจึงมีปริมาณธาตุอาหารพืชน้อยกว่าอนุภาคดินที่มีขนาดเล็กกว่า

ช่องว่างระหว่างอนุภาคทรายมีขนาดใหญ่ ทำให้ดินทรายมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวจำเพาะของทรายมีค่อนข้างต่ำ จึงกักเก็บน้ำได้น้อย ดินทรายจึงแห้งเร็วและจำเป็นต้องได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี

อนุภาคทรายแป้ง (ตะกอน)

อนุภาคทรายแป้งมีขนาดเล็กกว่าทราย ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และไม่ให้ความรู้สึกเป็นเม็ดเมื่อถูกระหว่างนิ้ว โดยทั่วไปประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก แต่หากมีแร่ที่ผุพังง่ายผสมอยู่ การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอาจมีความสำคัญ ช่องว่างระหว่างอนุภาคทรายแป้งมีขนาดเล็กและมีจำนวนมากกว่าทราย จึงสามารถกักเก็บน้ำได้มากกว่า ช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชได้ดีกว่า

อย่างไรก็ตาม อนุภาคทรายแป้งไม่มีความสามารถในการยึดเกาะกันเอง จึงถูกพัดพาและชะล้างออกได้ง่ายโดยน้ำ โดยเฉพาะเมื่อไม่มีอนุภาคดินเหนียวช่วยยึดเกาะ อนุภาคทรายแป้งที่ถูกพัดพาโดยลมและสะสมตัวเป็นชั้นหนาเรียกว่า “โลเอส (loess)”

อนุภาคดินเหนียว

อนุภาคดินเหนียวเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุด แต่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก พื้นที่ผิวที่มากนี้ทำให้อนุภาคดินเหนียวสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ในปริมาณมาก เมื่อแห้ง ดินเหนียวมักแข็งตัวเป็นก้อน และเมื่อเปียกจะเหนียวและยืดหยุ่น อนุภาคดินเหนียวมีพฤติกรรมแบบคอลลอยด์ กล่าวคือ หากแขวนลอยอยู่ในน้ำ จะตกตะกอนช้ามากเมื่อเทียบกับทรายและทรายแป้ง

อนุภาคดินเหนียวมักมีรูปร่างเป็นแผ่นหรือเกล็ด ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็กและแคบ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดินเหนียวเป็นไปอย่างช้า ดินเหนียวประกอบด้วยแร่ดินเหนียวหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของดิน เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การหดตัวและบวมตัว ความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหาร และการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน

ชั้นเนื้อดิน

เนื้อดินสามารถจำแนกออกเป็น 12 ชั้น ตามสัดส่วนของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยสามารถจัดกลุ่มกว้าง ๆ ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ดินทราย ดินร่วน และดินเหนียว ดินทรายและดินทรายร่วนมีลักษณะเด่นของทรายเป็นหลัก ขณะที่ดินเหนียว ดินเหนียวทราย และดินเหนียวแป้งฝุ่นมีคุณสมบัติของดินเหนียวเด่นชัด ส่วนดินร่วนเป็นดินที่มีสมดุลของทั้งสามอนุภาค ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากที่สุด ทั้งนี้ แม้ดินเหนียวจะมีปริมาณน้อย แต่ก็มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินมากกว่าอนุภาคทรายหรือทรายแป้งในปริมาณเท่ากัน

การกำหนดประเภทเนื้อดินสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว แล้วนำไปเทียบกับสามเหลี่ยมเนื้อดิน เพื่อระบุชนิดของเนื้อดินอย่างถูกต้อง

การกำหนดเนื้อดิน

ในภาคสนาม เนื้อดินสามารถประเมินได้จาก “การสัมผัส” โดยนำตัวอย่างดินมาทำให้ชื้น นวดด้วยมือ แล้วสังเกตความรู้สึก เช่น ความหยาบ ความเรียบ และความเหนียว รวมถึงความสามารถในการปั้นเป็นเส้น วิธีนี้ช่วยประเมินเนื้อดินได้อย่างรวดเร็ว

ในห้องปฏิบัติการ การกำหนดเนื้อดินทำได้โดยการแยกอนุภาคออกจากมวลรวมด้วยการกวนหรือใช้คลื่นเสียงความถี่สูง จากนั้นอาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคตามกฎของสโตก ซึ่งระบุว่าความเร็วในการตกตะกอนขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค โดยการวัดปริมาณดินที่ยังแขวนลอยอยู่ในน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีปิเปตหรือไฮโดรมิเตอร์ จะสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในตัวอย่างดินได้อย่างแม่นยำ

4.2 โครงสร้างและการรวมตัวของดิน

โครงสร้างดินหมายถึงการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินปฐมภูมิ ได้แก่ ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ให้รวมตัวกันเป็นก้อนหรือมวลรวม (aggregates หรือ peds) โดยลักษณะของโครงสร้างดินพิจารณาจากรูปร่าง ขนาด และระดับความชัดเจนของมวลรวมเหล่านี้ โครงสร้างดินเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดรูปแบบและการกระจายตัวของรูพรุนในดิน ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ อากาศ และความร้อนในดิน รวมถึงการเจริญแผ่ของรากพืช ความสามารถในการซึมผ่านและการระบายน้ำของดินจึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างดินเป็นอย่างมาก แนวทางการจัดการดินของมนุษย์ เช่น การไถพรวน การใช้เครื่องจักรกลหนัก หรือการเลี้ยงสัตว์ สามารถเปลี่ยนแปลงหรือทำลายโครงสร้างดินได้ โครงสร้างดินที่ดีเป็นสิ่งจำเป็นต่อการปลูกพืชไร่และพืชสวนส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของการปลูกข้าวในนาข้าว โครงสร้างดินมักถูกทำลายโดยการไถพรวนและการทำให้ดินแฉะ เพื่อช่วยลดการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นล่าง

โครงสร้างดินสามารถอธิบายได้ตามขนาดของมวลรวมว่าเป็นโครงสร้างแบบละเอียด ปานกลาง หรือหยาบ และอธิบายระดับความแข็งแรงของโครงสร้างว่า แข็งแรง ปานกลาง หรืออ่อนแอ ตามระดับการพัฒนาของมวลรวม โดยทั่วไปโครงสร้างดินสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทหลัก ดังนี้

1. โครงสร้างแบบบล็อก (Blocky structure) มวลรวมมีลักษณะคล้ายลูกบาศก์ มีขนาดประมาณ 5–50 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็นบล็อกเชิงมุม (angular blocky) ซึ่งมีขอบคม และบล็อกเชิงมุมย่อย (subangular blocky) ซึ่งมีขอบโค้งมน มักพบในชั้นดิน B โครงสร้างชนิดนี้เอื้อต่อการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดี เนื่องจากมีช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมาก และน้ำสามารถเคลื่อนที่ได้ในหลายทิศทาง

2. โครงสร้างแบบเสาและแบบปริซึม (Columnar and prismatic structure) โครงสร้างแบบเสามีมวลรวมเป็นแท่งแนวตั้ง ปลายบนโค้งมน มักพบในดินที่มีโซเดียมสูง ส่วนโครงสร้างแบบปริซึมมีลักษณะคล้ายกันแต่ยอดแบนเป็นเหลี่ยม โครงสร้างทั้งสองมักพบในพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง และอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 150 มิลลิเมตร รูพรุนของโครงสร้างชนิดนี้มีทิศทางลงด้านล่างเป็นหลัก ทำให้น้ำเคลื่อนที่ในแนวตั้งมากกว่าด้านข้าง

3. โครงสร้างแบบเม็ดและแบบเศษ (Granular and crumb structure) มวลรวมมีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1–10 มิลลิเมตร จัดเรียงตัวอย่างหลวม ๆ และมีรูพรุนจำนวนมาก โครงสร้าง

แบบเศษเป็นโครงสร้างแบบเม็ดที่พัฒนาได้ดี มีช่องว่างเชื่อมต่อกัน ทำให้น้ำและอากาศเคลื่อนที่ได้ดี โครงสร้างชนิดนี้พบได้ทั่วไปในดินผิวดิน โดยเฉพาะดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง เช่น ดินทุ่งหญ้า และดินที่มีกิจกรรมของไส้เดือนดินสูง

4. โครงสร้างแบบแพลตี (Platy structure) อนุภาคดินเรียงตัวในแนวนอน เป็นแผ่นซ้อนกัน มักเกิดจากการตกตะกอนของวัสดุต้นกำเนิด หรือจากการไถพรวนซ้ำ ๆ ด้วยเครื่องจักรกลหนัก โครงสร้างแบบนี้มีช่องว่างแนวตั้งจำกัด ทำให้น้ำถูกบังคับให้ไหลในแนวด้านข้าง และอาจเป็นอุปสรรคต่อการเจริญของรากพืช

นอกจากนี้ หากดินไม่มีการรวมตัวของอนุภาคที่ชัดเจน จะเรียกว่าโครงสร้างแบบมวลมาก (massive) หากดินแน่นและสอดคล้องกัน หรือเรียกว่าแบบเม็ดเดี่ยว (single-grain) หากดินร่วนและไม่สอดคล้องกัน

การรวมตัวของดิน (Soil aggregation)

การรวมตัวของดินเป็นกระบวนการที่อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวถูกยึดเหนี่ยวเข้าด้วยกันด้วยแรงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยมีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ รากพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยสำคัญ การรวมตัวในระดับสูงถือเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์สำหรับดินส่วนใหญ่ เนื่องจากช่วยลดความหนาแน่นรวม เพิ่มการถ่ายเทอากาศ และเอื้อต่อการเจริญของรากพืช

มวลรวมของดินมีโครงสร้างแบบลำดับชั้น โดยมวลรวมขนาดใหญ่ (macroaggregates > 1 มม.) ประกอบด้วยมวลรวมขนาดเล็ก และมวลรวมขนาดเล็กที่สุด (microaggregates < 0.03 มม.) ประกอบด้วยกลุ่มของดินเหนียว ทรายแป้ง และฮิวมัส การจัดเรียงลักษณะนี้พบได้ทั่วไปในดินแร่ส่วนใหญ่ ยกเว้นดินอายุน้อย เช่น ดินเถ้าภูเขาไฟ และดินที่ผุพังรุนแรงซึ่งมีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสูง

กระบวนการที่มีบทบาทในการรวมตัวของดิน

1. กระบวนการทางกายภาพและเคมี การจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคดินเหนียวเป็นกลไกสำคัญ อนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบจะถูกยึดเข้าด้วยกันโดยไอออนบวก โดยเฉพาะ Ca^{2+} และ Al^{3+} ซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมประจุ ทำให้เกิดไมโครแอ็กเกรเกตที่มีความเสถียรสูง ในดินที่มีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสูง เช่น Ultisols และ Oxisols การยึดเกาะของสารอนินทรีย์เหล่านี้ทำให้เกิดมวลรวมที่แข็งแรงมาก บางครั้งเรียกว่า “ทรายเทียม”

2. การหดตัวและบวมตัวของดิน ในดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภทบวมตัว เช่น สเมกไทต์ การแห้งและเปียกสลับกันจะทำให้ดินหดตัวและเกิดรอยแตกตามระนาบความอ่อนแอ เมื่อกระบวนการนี้เกิดซ้ำ ๆ จะช่วยให้มวลรวมมีรูปร่างชัดเจนมากขึ้น กระบวนการนี้มีความสำคัญในดินกลุ่มเวอร์ติซอล มอลลิซอล และอัลฟิซอลบางชนิด

3. กิจกรรมทางชีวภาพ กระบวนการทางชีวภาพมีบทบาทสำคัญในดินทุกชนิด สัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือนและปลวก ช่วยเคลื่อนย้ายและรวมตัวของอนุภาคดิน รากพืชสร้างรูพรุนขนาดใหญ่และช่วยแบ่งก้อนดินขนาดใหญ่ให้เป็นหน่วยโครงสร้างย่อย สารอินทรีย์ที่ผลิตโดยรากพืช แบคทีเรีย และเชื้อรา เช่น โพลีแซ็กคาไรด์ และโปรตีนไกลมาลินจากเชื้อราไมคอร์ไรซา มีบทบาทสำคัญในการยึดไมโครแอ็กเกรเกตให้รวมตัวเป็นแมโครแอ็กเกรเกตที่มีเสถียรภาพยาวนาน

การรวมตัวและความเสถียรของมวลรวมในดินจึงขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์และปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นอย่างมาก อินทรีย์วัตถุทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานและสารประสานหลักในโครงสร้างดิน โดยเฉพาะในดินผิวดิน

ปัจจุบันยังไม่มีวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการสำหรับการวัดการรวมตัวและความเสถียรของมวลรวมดิน โดยทั่วไปนิยมใช้การร่อนตัวอย่างดินที่แห้งในอากาศผ่านตะแกรงหลายขนาด ภายใต้สภาพแห้งหรือเปียกแล้วชั่งน้ำหนักมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด เพื่อประเมินระดับการรวมตัวของดิน

4.3 ความหนาแน่นรวม ช่องว่างดิน และการกระจายขนาดช่องว่าง Bulk density, porosity, and pore-size distribution

ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของดิน หมายถึงมวลของดินแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของดิน โดยปริมาตรนี้รวมทั้งเนื้อดินและช่องว่างรูพรุน แต่ไม่รวมมวลของน้ำที่อยู่ใน

รพูน ความหนาแน่นรวมมักแสดงหน่วยเป็นเมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Mg/m^3) ดินส่วนใหญ่จะมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วงประมาณ 0.8–1.6 Mg/m^3 ดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำมักมีช่องว่างของรพูนสูง และมักพบในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง เช่น ดินอินทรีย์หรือดินเถ้าภูเขาไฟ ในขณะที่ดินทรายซึ่งมีอินทรีย์วัตถุและดินเหนียวน้อย มักมีความหนาแน่นรวมสูงกว่า

ความหนาแน่นรวมของดินได้รับอิทธิพลจากเนื้อดิน โครงสร้างดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และการจัดการดิน โดยทั่วไปความหนาแน่นรวมจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุลดลง การรวมตัวของดินน้อยลง และเกิดการอัดตัวมากขึ้น หากดินมีความหนาแน่นรวมสูงเกินไป จะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากรากพืชเจริญได้ยาก การระบายอากาศไม่ดี และการเคลื่อนที่ของน้ำและธาตุอาหารต่ำลง

ความหนาแน่นรวมสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องเจาะแกนดิน เพื่อนำตัวอย่างดินที่มีปริมาตรแน่นอนมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ค่าความหนาแน่นรวมมีความสำคัญอย่างมากในการคำนวณปริมาณน้ำในดินในเชิงปริมาตร รวมถึงการแปลงข้อมูลมวลดินไปเป็นพื้นที่หรือปริมาตร

ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (particle density) หมายถึงมวลต่อหน่วยปริมาตรของของแข็งในดินเท่านั้น ไม่รวมช่องว่างรพูน โดยทั่วไปดินแร่จะมีความหนาแน่นของอนุภาคอยู่ที่ประมาณ 2.60–2.75 Mg/m^3 และมักใช้ค่าเฉลี่ย 2.65 Mg/m^3 ในการคำนวณทางปฐพีวิทยา ความหนาแน่นของอนุภาคจะสูงขึ้นในดินที่มีแร่ธาตุหนัก เช่น เหล็ก ออกไซด์ และจะต่ำลงในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีความหนาแน่นต่ำกว่าแร่ธาตุ

ความพรุนรวมของดิน (total porosity) หมายถึงสัดส่วนของปริมาตรดินทั้งหมดที่เป็นช่องว่างสำหรับอากาศและน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นของอนุภาค ดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำจะมีความพรุนสูง ความพรุนของดินอาจมีค่าต่ำเพียงประมาณ 25% ในดินที่อัดแน่นมาก และอาจสูงกว่า 60% ในดินผิวดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง การจัดการทางการเกษตร เช่น การไถพรวนอย่างต่อเนื่อง มักทำให้ความพรุนของดินลดลง เนื่องจากโครงสร้างดินและอินทรีย์วัตถุถูกทำลาย

อย่างไรก็ตาม ความพรุนรวมเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของน้ำและอากาศในดินได้ทั้งหมด จำเป็นต้องพิจารณาการกระจายขนาดของรพูน (pore-size distribution) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของรพูนขนาดต่างๆ ภายในดิน การกระจายตัวของขนาดรพูนเป็นผลมาจากเนื้อดิน โครงสร้างดิน ชนิดของแร่ดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน

รพูนขนาดใหญ่หรือมาโครพอร์ (macropores) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.075 มิลลิเมตร มีบทบาทสำคัญในการระบายน้ำและการเคลื่อนที่ของอากาศ รพูนขนาดใหญ่มักเกิดจากช่องว่างระหว่างมวลรวมของดิน หรือจากไบโอพอร์ซึ่งเกิดจากการทำกิจกรรมของรากพืชและสัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือนดิน

รพูนขนาดกลางหรือเมโสพอร์ (mesopores) มีขนาดประมาณ 0.075–0.03 มิลลิเมตร เป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่พืชสามารถดูดใช้ได้ง่าย จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเจริญเติบโตของพืช

ส่วนรพูนขนาดเล็กหรือไมโครพอร์ (micropores) มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.03 มิลลิเมตร การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในรพูนชนิดนี้เป็นไปอย่างช้า น้ำที่อยู่ในไมโครพอร์ส่วนใหญ่ไม่สามารถถูกพืชดูดใช้ได้ แต่มีบทบาทในการกักเก็บน้ำระยะยาวและปกป้องสารอินทรีย์จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์

โดยสรุป ความหนาแน่นรวม ความพรุน และการกระจายขนาดรพูน เป็นสมบัติทางกายภาพของดินที่มีความเชื่อมโยงกันอย่างใกล้ชิด และมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บน้ำ การระบายน้ำ การเติมอากาศ และความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช การจัดการดินอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการลดการบดดินและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและการกระจายตัวของรพูนให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างยั่งยืน

4.4 สมบัติการกักเก็บน้ำของดิน Soil-water retention characteristics

การกักเก็บน้ำในดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช การทำงานของจุลินทรีย์ และการจัดการน้ำทางการเกษตร สถานะของน้ำในดินสามารถอธิบายได้จากสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และพลังงานหรือแรงที่น้ำถูกกักเก็บไว้ในดิน ซึ่งเรียกว่า ศักย์น้ำในดิน ทั้งสององค์ประกอบนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดและเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมและการเคลื่อนที่และการใช้ประโยชน์ของน้ำในดิน

ปริมาณน้ำในดิน

ปริมาณน้ำในดินสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ ปริมาณน้ำตามน้ำหนัก ปริมาณน้ำตามปริมาตร และสัดส่วนของช่องว่างรูพรุนที่ถูกน้ำเติมเต็ม แต่ละรูปแบบเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน ปริมาณน้ำตามน้ำหนักหมายถึงมวลของน้ำต่อมวลดินแห้ง ส่วนปริมาณน้ำตามปริมาตรหมายถึงปริมาตรของน้ำต่อปริมาตรดินทั้งหมด ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในการศึกษาทางปฐพีวิทยาและการเกษตร เนื่องจากสามารถเชื่อมโยงกับการไหลของน้ำและการใช้น้ำของพืชได้โดยตรง ปริมาณน้ำตามปริมาตรสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำตามน้ำหนักร่วมกับค่าความหนาแน่นรวมของดิน

วิธีการวัดปริมาณน้ำในดินมีทั้งวิธีทางตรงและทางอ้อม วิธีการวัดตรงเป็นวิธีวัดโดยตรงและถือเป็นวิธีมาตรฐาน โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินก่อนและหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือปริมาณน้ำในดิน วิธีนี้ให้ค่าที่แม่นยำ แต่เป็นวิธีทำลายตัวอย่าง ใช้เวลานาน และไม่เหมาะกับการติดตามการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องในสนาม

วิธีการวัดทางอ้อมที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีบล็อกต้านทานไฟฟ้า การใช้หัววัดนิวตรอน และรีเฟลกโตเมตรีแบบโดเมนเวลา (TDR) วิธีบล็อกต้านทานไฟฟ้าอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและปริมาณน้ำในดิน มีต้นทุนต่ำแต่ความแม่นยำจำกัด หัววัดนิวตรอนให้ค่าที่แม่นยำสูงโดยอาศัยการกระเจิงของนิวตรอนกับอะตอมไฮโดรเจนในน้ำ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและไม่เหมาะกับดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ส่วนวิธี TDR เป็นเทคนิคสมัยใหม่ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความแม่นยำสูง สามารถวัดได้ต่อเนื่องและอัตโนมัติ แต่ต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง

ศักย์น้ำในดิน

แม้ว่าดินจะมีน้ำอยู่ แต่พืชจะสามารถใช้น้ำได้น้อยหรือมากขึ้นอยู่กับพลังงานที่น้ำถูกกักเก็บไว้ในดิน ซึ่งเรียกว่าศักย์น้ำในดิน น้ำในดินจะถูกยึดไว้ด้วยแรงดูดที่สัมพันธ์กับขนาดของรูพรุน ยิ่งรูพรุนมีขนาดเล็ก น้ำจะยิ่งถูกยึดไว้แน่นและมีศักย์ต่ำ ศักย์น้ำในดินมักแสดงหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) บาร์ หรือเมตรน้ำ

ศักย์น้ำรวมของดินเป็นผลรวมของศักย์หลายองค์ประกอบ ได้แก่ ศักย์โน้มถ่วง ศักย์เมทริกซ์ ศักย์แรงดัน และศักย์ออสโมติก ศักย์โน้มถ่วงเกี่ยวข้องกับตำแหน่งของน้ำในแนวตั้งและมีบทบาทสำคัญต่อการไหลของน้ำส่วนเกินลงสู่ชั้นล่างของดิน ศักย์เมทริกซ์เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดิน และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในดินที่ไม่อิ่มตัว ศักย์นี้มีค่าเป็นลบเสมอและเป็นตัวกำหนดความสามารถของพืชในการดูดน้ำจากดิน

ศักย์แรงดันหรือศักย์จมอยู่ที่น้ำเกิดจากแรงดันไฮโดรสแตติกของน้ำ พบในดินที่อิ่มตัวหรืออยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ส่วนศักย์ออสโมติกเกิดจากการมีสารละลาย เช่น เกลือ อยู่ในน้ำในดิน ซึ่งจะลดพลังงานของน้ำและส่งผลต่อการดูดน้ำของรากพืช โดยเฉพาะในดินเค็มหรือดินที่มีการสะสมเกลือสูง

การวัดศักย์น้ำในดิน

เครื่องมือที่ใช้วัดศักย์น้ำในดิน ได้แก่ เทนซิโอมิเตอร์ เทอร์โมคัปเปิลไซโครมิเตอร์ และอุปกรณ์เมมเบรนแรงดัน เทนซิโอมิเตอร์เหมาะสำหรับวัดศักย์เมทริกซ์ในช่วงดินค่อนข้างชื้น โดยทำงานได้จนถึงประมาณ -45 kPa ในขณะที่เทอร์โมคัปเปิลไซโครมิเตอร์สามารถวัดศักย์น้ำได้ในช่วงที่กว้างขึ้น และรวมผลของศักย์เมทริกซ์และศักย์ออสโมติก ส่วนอุปกรณ์เมมเบรนแรงดันใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินและศักย์เมทริกซ์อย่างละเอียด

ผลจากการวัดด้วยอุปกรณ์เมมเบรนแรงดันสามารถนำมาแสดงเป็นเส้นโค้งการกักเก็บน้ำในดิน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับศักย์น้ำ เส้นโค้งนี้ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากเนื้อดิน โครงสร้างดิน และชนิดของแร่ดินเหนียว ดินเหนียว โดยเฉพาะดินสเมกไทต์และดินอัลโลฟานิก มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงกว่าดินร่วนและดินทรายอย่างชัดเจน

เส้นโค้งการกักเก็บน้ำในดินยังแสดงปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิส ซึ่งหมายถึงความแตกต่างของ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและศักย์น้ำในช่วงที่ดินกำลังเปียกกับช่วงที่ดินกำลังแห้ง ปรากฏการณ์นี้เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของรูพรุน การกักอากาศ และการบวม-หดตัวของดินเหนียว

น้ำที่พืชสามารถใช้ได้

น้ำที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ หมายถึงน้ำที่กักเก็บอยู่ในดินระหว่างระดับความจุความชื้นในแปลงเพาะปลูก และจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยอยู่ในช่วงศักย์ประมาณ -10 ถึง -1500 kPa ที่ระดับความจุในแปลงเพาะปลูก ดินจะมีน้ำเพียงพอสำหรับพืชและยังมีอากาศในรูพรุนมากพอสำหรับการหายใจของรากและจุลินทรีย์ ส่วนที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร น้ำจะถูกยึดไว้แน่นจนรากพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้

ปริมาณน้ำที่พืชสามารถใช้ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เนื้อดิน รูปร่างของเส้นโค้งการกักเก็บน้ำ ความลึกของชั้นดิน และความลึกของระบบราก อินทรีย์วัตถุมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มน้ำที่ใช้ได้ ทั้งจากความสามารถในการอุ้มน้ำของตัวอินทรีย์วัตถุเอง และจากการปรับปรุงโครงสร้างและความพรุนของดิน

ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำที่พืชสามารถใช้ได้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนการชลประทาน การประเมินความเสี่ยงจากภัยแล้ง และการจัดการดินอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในพื้นที่แห้งแล้งหรือดินเค็ม ซึ่งศักย์ออสโมติกสูงอาจลดความสามารถของพืชในการดูดน้ำจากดินได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.5 การซึมผ่านและการซึมน้ำ Infiltration and permeability

การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงสู่ภายในดินและผ่านชั้นดินต่าง ๆ เป็นกระบวนการพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศดิน การเจริญเติบโตของพืช และการจัดการทรัพยากรน้ำในภาคเกษตรกรรม กระบวนการดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแทรกซึมของน้ำเข้าสู่ดิน และการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นดินที่ลึกกว่า

การแทรกซึมของน้ำ (Infiltration)

การแทรกซึมของน้ำ หมายถึง กระบวนการที่น้ำอิสระจากแหล่งภายนอก เช่น น้ำฝนหรือการชลประทาน ไหลผ่านผิวดินและเข้าสู่ช่องว่างของดินจนกลายเป็นน้ำในดิน สมบัติที่ใช้บ่งชี้กระบวนการนี้คือ อัตราการซึมน้ำหรือความสามารถในการซึมผ่านของผิวดิน ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำที่สามารถซึมเข้าสู่ดินได้ต่อหน่วยพื้นที่และต่อหน่วยเวลา เมื่อเริ่มมีน้ำซึมลงสู่ดินแห้ง อัตราการซึมน้ำจะมีค่าสูงในระยะแรก เนื่องจากรูพรุนขนาดใหญ่และรอยแตกในดินยังว่างและพร้อมรับน้ำ น้ำจึงสามารถเคลื่อนที่ลงสู่ดินได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไป รูพรุนขนาดใหญ่เริ่มถูกน้ำเติมเต็ม อัตราการซึมน้ำจะลดลงจนเข้าสู่ระดับค่อนข้างคงที่ ซึ่งเรียกว่าอัตราการซึมน้ำคงที่ โดยเฉพาะในดินที่มีการอัดแน่นหรือดินที่มีการบวม-หดตัวของดินเหนียว อัตราการซึมน้ำอาจลดลงอย่างรวดเร็วและคงอยู่ในระดับต่ำ

การวัดอัตราการซึมน้ำในสนามมักใช้เครื่องวัดการซึมผ่านแบบกระบอกคู่ (double-ring infiltrometer) ซึ่งประกอบด้วยกระบอกโลหะสองขนาดที่ฝังลงในดิน โดยเติมน้ำลงในกระบอกทั้งสองพร้อมกัน กระบอกด้านนอกมีหน้าที่รักษาสภาพความชื้นของดินรอบกระบอกด้านใน เพื่อให้ น้ำในกระบอกด้านในเคลื่อนที่ลงไปในแนวตั้งเป็นหลัก การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในกระบอกด้านในจะถูกบันทึกเพื่อนำไปคำนวณอัตราการซึมน้ำ

อัตราการซึมน้ำของดินมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากส่งผลต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถใช้ได้ การเกิดการไหลบ่าบนผิวดิน การพังทลายของดิน การเคลื่อนย้ายของสารอาหารและสารเคมี รวมถึงความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ปลายน้ำ อัตราการซึมน้ำเป็นลักษณะเฉพาะของดินแต่ละชนิด โดยขึ้นอยู่กับเนื้อดิน โครงสร้างดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และสภาพของชั้นดินใต้ผิวดิน ดินทรายและดินที่มีโครงสร้างดีมักมีอัตราการซึมน้ำสูงกว่าดินเหนียวหนักหรือดินที่โครงสร้างไม่มั่นคง

แนวทางการจัดการดินและพืชผลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแทรกซึมของน้ำ การไถพรวนที่ไม่เหมาะสมและการใช้เครื่องจักรหนักอาจทำให้เกิดการอัดตัวของดิน ลดจำนวนรูพรุนขนาดใหญ่ และก่อให้เกิดการปิดผนึกผิวดินหรือคราบแข็ง โดยเฉพาะในดินที่มีทรายละเอียดและตะกอนสูง ส่งผลให้อัตราการซึมน้ำลดลงอย่างมาก ในทางตรงกันข้าม การมีพืชคลุมดินหรือเศษพืชปกคลุมผิวดินจะช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝน ป้องกันการเกิดคราบแข็ง ส่งเสริมกิจกรรมของไส้เดือนดิน และช่วยรักษาโครงสร้างดิน ส่งผลให้อัตราการซึมน้ำเพิ่มขึ้น

ในพื้นที่ที่แห้งแล้งและกึ่งชื้น มีการใช้เทคนิคการไถพรวนเฉพาะ เช่น การไถแบบร่องเปิดหรือการไถแบบร่อง-คันดิน เพื่อเพิ่มการแทรกซึมของน้ำในดินเนื้อละเอียด อย่างไรก็ตาม ลักษณะของเรือนยอดพืชก็มีผลต่อการกระจายตัวของน้ำฝน พืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด จะทำให้น้ำฝนไหลลงตามลำต้นและซึมลงดินบริเวณแถวปลูกมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจทำให้การซึมน้ำไม่สม่ำเสมอในแปลงปลูก

การซึมผ่านของน้ำในดิน (Percolation)

การซึมผ่านของน้ำ หมายถึง การเคลื่อนที่ลงของน้ำจากชั้นดินบนไปสู่ชั้นดินล่างภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงและศักย์น้ำในดิน กระบวนการนี้สัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าการนำไฮดรอลิกของดิน และสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะที่ดินอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ความสามารถในการซึมผ่านของดินเป็นตัวกำหนดอัตราที่น้ำสามารถเคลื่อนผ่านโปรไฟล์ดินทั้งหมดได้

ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินแต่ละชั้น โดยเฉพาะการกระจายขนาดรูพรุนและความต่อเนื่องของรูพรุนในแนวตั้ง ในดินหลายชนิด มักพบชั้นดินใต้ผิวดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากชั้นดินด้านบนอย่างชัดเจน เช่น ชั้นดินที่อัดแน่นหรือซึมผ่านได้น้อยอย่างแพร่จาง หรือในทางตรงกันข้าม ชั้นทรายหรือกรวดที่มีการซึมผ่านสูง การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของขนาดรูพรุนระหว่างชั้นดินเหล่านี้จะความสามารถในการซึมผ่านของน้ำทั้งโปรไฟล์ลดลง

ในการไหลของน้ำในสถานะไม่อิ่มตัว การเคลื่อนที่ของน้ำจะตอบสนองต่อความชันของศักย์เมทริกซ์ร่วมกับแรงโน้มถ่วง หากชั้นดินใต้ผิวดินมีรูพรุนละเอียดกว่าชั้นบน น้ำจะเคลื่อนที่ลงช้าลงเนื่องจากค่าการนำไฮดรอลิกต่ำในทางกลับกัน หากชั้นดินใต้ผิวดินมีรูพรุนหยาบกว่าชั้นบน การซึมผ่านก็จะชะลอลงเช่นกัน เนื่องจากรูพรุนขนาดใหญ่มีแรงตึงน้ำต่ำ ทำให้น้ำสะสมอยู่เหนือชั้นหยาบจนกว่าชั้นบนจะเกือบอิ่มตัวและศักย์เมทริกซ์ลดลงมากพอ แรงโน้มถ่วงจึงจะดึงน้ำผ่านลงไปได้

ลักษณะเดียวกันนี้ทำให้ชั้นดินหยาบยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำในแนวขึ้นจากชั้นดินละเอียดด้านล่าง เนื่องจากรูพรุนขนาดใหญ่ไม่สามารถรองรับการเคลื่อนที่ของน้ำแบบแคปิลลารีได้ดี การเข้าใจกลไกการซึมผ่านของน้ำในดินจึงมีความสำคัญต่อการประเมินการระบายน้ำ การเกิดน้ำขัง การชะล้างสารอาหาร และการออกแบบระบบจัดการน้ำในดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

4.6 การเคลื่อนที่ของน้ำ Water movement

การเคลื่อนที่ของน้ำภายในดินเป็นกระบวนการสำคัญที่ควบคุมการกระจายตัวของน้ำ สารอาหาร และสารเคมีในระบบดิน รวมถึงมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำในดินสามารถเคลื่อนที่ได้ในสามลักษณะหลัก ได้แก่ การไหลแบบอิ่มตัว การไหลแบบไม่อิ่มตัว และการเคลื่อนที่ของไอน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในรูปแบบใด น้ำจะเคลื่อนที่ตามการไล่ระดับพลังงานเสมอ คือจากบริเวณที่มีศักย์น้ำสูงไปยังบริเวณที่มีศักย์น้ำต่ำ

การไหลของน้ำแบบอิ่มตัว (Saturated flow)

การไหลแบบอิ่มตัวเกิดขึ้นในบริเวณของหน้าตัดดินที่ช่องว่างของรูพรุนทั้งหมดถูกเติมเต็มด้วยน้ำ ในสถานะนี้ การเคลื่อนที่ของน้ำถูกควบคุมโดยค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกอิ่มตัว ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของดินแต่ละชนิด ค่านี้แสดงถึงความสามารถของดินในการยอมให้น้ำไหลผ่านเมื่อดินอยู่ในสถานะอิ่มตัว และขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ความต่อเนื่อง และการเชื่อมโยงกันของรูพรุนในดิน หากดินไม่ได้รับการระบายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกอิ่มตัวจะค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา

การไหลของน้ำผ่านคอลัมน์ดินอิ่มตัวสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของดาร์ซี ซึ่งระบุว่าอัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกอิ่มตัว พื้นที่หน้าตัดของดิน และความชันของศักย์ไฮดรอลิก ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากแรงโน้มถ่วงและความแตกต่างของความดันไฮโดรสแตติก แม้ว่าการไหลอิ่มตัวมักเกิดขึ้นในแนวตั้งลง แต่ในบางกรณีสามารถเกิดขึ้นในแนวนอนหรือแม้กระทั่งในแนวขึ้นด้านบน เช่น การไหลของน้ำใต้ดินขึ้นสู่ลำธาร

ค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกอิ่มตัวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากขนาดของรูพรุนในดิน เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำแปรผันตามกำลังสี่ของรัศมีรูพรุน ซึ่งหมายความว่ารูพรุนขนาดใหญ่เพียงไม่กี่รูสามารถนำน้ำได้มากกว่ารูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น รูพรุนที่มีรัศมี 1 มิลลิเมตร สามารถนำน้ำได้เทียบเท่ากับรูพรุน 10,000 รูที่มีรัศมีเพียง 0.1 มิลลิเมตร ดังนั้น การเคลื่อนที่ของน้ำในดินอิ่มตัวส่วนใหญ่จึงเกิดผ่านรูพรุนขนาดใหญ่หรือมาโครพอร์ ส่งผลให้ดินทรายโดยทั่วไปมีค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกอิ่มตัวสูงกว่าดินเนื้อละเอียด

การมีอยู่ของไบโอพอร์ เช่น ช่องรากพืชและรูพรุนที่เกิดจากกิจกรรมของไส้เดือนดิน มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำน้ำในดิน เนื่องจากไบโอพอร์เหล่านี้มักมีความต่อเนื่องสูงและสามารถนำน้ำได้อย่างรวดเร็ว ดินที่มีโครงสร้างแบบเม็ดหรือแกรนูลที่เสถียรจึงนำน้ำได้ดีกว่าดินที่โครงสร้างไม่มั่นคงและสลายตัวเมื่อเปียกน้ำ ในทางตรงกันข้ามอนุภาคดินเหนียวและตะกอนดินที่เคลื่อนที่ได้อาจอุดตันช่องเชื่อมระหว่างรูพรุนขนาดใหญ่ ส่งผลให้การไหลของน้ำลดลง

ในดินบางชนิด โดยเฉพาะดินที่มีการหดตัวและบวมตัวของดินเหนียว อาจเกิดการไหลผ่านแบบลัด (preferential flow) ซึ่งน้ำไหลผ่านรอยแตกกว้างหรือไบโอพอร์โดยตรงก่อนที่จะรอยแตกจะปิดลงจากการบวมของดินเหนียว การไหลในลักษณะนี้เป็นประเด็นที่น่ากังวล เนื่องจากอาจทำให้น้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นดินลึกหรือแหล่งน้ำใต้ดินได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ผ่านกระบวนการกรองของดินในรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็ก

การไหลของน้ำแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated flow)

การเคลื่อนที่ของน้ำในดินส่วนใหญ่เกิดขึ้นในสภาวะไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสภาพที่รูพรุนขนาดใหญ่ถูกอากาศเข้าไปแทนที่ เหลือเพียงรูพรุนขนาดเล็กและฟิล์มน้ำบาง ๆ สำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำ แรงขับเคลื่อนหลักของการไหลแบบไม่อิ่มตัวคือความต่างศักย์เมทริกซ์ โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีศักย์เมทริกซ์สูงกว่าไปยังบริเวณที่มีศักย์เมทริกซ์ต่ำกว่า ยิ่งความต่างของศักย์เมทริกซ์มาก การไหลของน้ำก็จะยิ่งรวดเร็ว

ค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกในสภาวะไม่อิ่มตัวขึ้นอยู่กับเนื้อดินและระดับความชื้นในดินเป็นหลัก ในดินทราย ค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกจะสูงมากเมื่อดินเปียก เนื่องจากรูพรุนขนาดใหญ่ยังคงมีน้ำอยู่ แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินเริ่มแห้ง เพราะมีรูพรุนขนาดเล็กเหลืออยู่น้อยสำหรับการนำน้ำ ในทางตรงกันข้าม ดินเหนียวจะมีค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกต่ำกว่าดินทรายในสภาพเปียก แต่เมื่อดินแห้ง ค่าการนำไฟฟ้าไฮดรอลิกจะลดลงอย่างช้า ๆ และมักสูงกว่าดินทรายในสภาพแห้ง เนื่องจากดินเหนียวมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากที่ยังคงสามารถนำน้ำได้

การเคลื่อนที่ของไอน้ำ (Vapor movement)

นอกจากการไหลของน้ำในสถานะของเหลวแล้ว น้ำยังสามารถเคลื่อนที่ในดินในรูปของไอน้ำได้ การเคลื่อนที่ของไอน้ำอาจเกิดขึ้นภายในรูพรุนของดิน หรือเกิดขึ้นที่ผิวดินในรูปของการระเหย ไอน้ำจะเคลื่อนที่ตามการไล่ระดับความดันไอ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากทั้งปริมาณเกลือและอุณหภูมิของดิน

บริเวณที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง เช่น รอบเม็ดปุ๋ย จะมีความดันไอลดต่ำกว่า จึงสามารถดึงดูดไอน้ำจากบริเวณโดยรอบได้ นอกจากนี้ ความดันไอยังเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ทำให้ไอน้ำมีแนวโน้มเคลื่อนที่จากชั้นดินที่อุ่นกว่าไปยังชั้นดินที่เย็นกว่า หากดินมีความชื้นสม่ำเสมอ กระบวนการนี้อาจมีความสำคัญต่อพืชในเขตแห้งแล้งหรือทะเลทราย โดยเฉพาะในเวลากลางคืน เมื่อชั้นดินผิวหน้ามีอุณหภูมิลดลง ไอน้ำจากชั้นดินลึกอาจเคลื่อนที่ขึ้นมาควบแน่นในชั้นบน อย่างไรก็ตาม ในดินที่มีความชื้นอยู่ในระดับเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไอน้ำในรูพรุนมักมีน้อยมาก ทำให้การเคลื่อนที่ของไอน้ำมีบทบาทจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับกับการเคลื่อนที่ของน้ำในสถานะของเหลว

4.7 สารละลายในดิน Soil solution

น้ำในดินไม่ได้เป็นเพียงน้ำบริสุทธิ์ แต่ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ทั้งในรูปของสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ และก๊าซที่ละลายน้ำ ซึ่งรวมเรียกว่า สารละลายในดิน (soil solution) สารละลายในดินมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการทางเคมี ชีวภาพ และการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นตัวกลางหลักในการละลาย การเคลื่อนย้าย และการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

โดยทั่วไป ความเข้มข้นของสารละลายในดินจะอยู่ในช่วงประมาณ 1–20 โมลต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ องค์ประกอบและความเข้มข้นของสารละลายในดินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน และขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วัสดุต้นกำเนิดของดิน ระดับการผุพังของแร่ดิน การจัดการดิน รวมถึงการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยขี้วัว และการใช้น้ำชลประทาน

ในดินเพาะปลูกที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 5 ไอออนบวกและไอออนลบที่พบในสารละลายดินมักประกอบด้วยไอออนหลัก ได้แก่ แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) และโซเดียม (Na^+) ในส่วนของไอออนลบมักพบคลอไรด์ (Cl^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนต ทั้งนี้ สัดส่วนของไอออนแต่ละชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมของดินและกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นอกจากไอออนอนินทรีย์แล้ว สารละลายในดินยังอาจมีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล กรดอะมิโน และสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอินทรีย์วัตถุกับโลหะ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมความสามารถในการละลายและการเคลื่อนที่ของธาตุอาหาร รวมถึงโลหะหนักในดิน สารประกอบอินทรีย์-โลหะเหล่านี้สามารถเพิ่มหรือจำกัดการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารและสภาพแวดล้อมของดิน

องค์ประกอบของสารละลายในดินจึงสะท้อนถึงสมดุลระหว่างกระบวนการทางเคมีของดิน การแลกเปลี่ยนไอออนกับผิวอนุภาคดิน การผุพังของแร่ดิน การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และการจัดการดินของมนุษย์ ความเข้าใจเกี่ยวกับสารละลายในดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการดินและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มผลผลิตพืช และการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

4.8 การเคลื่อนที่ของสารละลายในดิน Solute movement

ตัวถูกละลาย หมายถึงเกลือที่ละลายน้ำได้และสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลายดิน ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายดินไม่ได้คงที่ แต่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยจะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น การย่อยสลายและการตกตะกอนของอินทรีย์วัตถุ การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ การได้รับน้ำฝนและน้ำชลประทาน รวมถึงการสูญเสียจากการคายระเหยของดินและพืช ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะลดลงจากการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช และการสูญเสียออกจากระบบดินผ่านกระบวนการชะล้างลงสู่ชั้นดินลึกหรือแหล่งน้ำใต้ดิน

การเคลื่อนที่ของสารละลายในดินเกิดขึ้นผ่านกลไกหลักสามประการ ได้แก่ การแพร่ (diffusion) การไหลของมวลหรือการพาความร้อน (mass flow) และการกระจายตัว (dispersion) กระบวนการทั้งสามนี้มีบทบาทร่วมกันในการควบคุมการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้จากดินไปยังผิวรากพืช ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการดูดซึมเข้าสู่พืช

การแพร่ของตัวละลายในดินเกิดขึ้นตามความแตกต่างของความเข้มข้น โดยสารละลายจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ กลไกนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารที่ถูกดูดซับไว้แน่นกับผิวอนุภาคดิน เช่น ฟอสเฟต ซึ่งมีความเคลื่อนที่ต่ำในดิน การแพร่ของสารละลายยังได้รับอิทธิพลจากกระบวนการดูดซับและการคายของดิน ดินที่มีความสามารถในการดูดซับหรือมีความสามารถในการบัพเฟอร์สูง เช่น ดินเหนียวและดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง จะชะลออัตราการแพร่ของตัวละลาย ทำให้สารอาหารเคลื่อนที่ได้ช้าลง แต่ในขณะเดียวกันก็ช่วยลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง

การไหลของมวลเป็นกระบวนการที่ตัวละลายถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน ไม่ว่าจะเป็นการซึมลงของน้ำฝน การชลประทาน หรือการดูดน้ำของพืช ระยะทางและอัตราการเคลื่อนที่ของตัวละลายผ่านการไหลของมวลขึ้นอยู่กับความเร็วเฉลี่ยของน้ำในรูพรุนดิน ซึ่งโดยทั่วไปการไหลของมวลจะลำเลียงสารละลายได้รวดเร็วกว่าการแพร่อย่างมาก ธาตุอาหารที่ถูกดูดซับไว้กับผิวดินอย่างอ่อนหรือแทบไม่ถูกดูดซับ เช่น ไนเตรต (NO_3^-) และ แมกนีเซียม (Mg^{2+}) จะถูกควบคุมการเคลื่อนที่โดยการไหลของมวลเป็นหลัก ส่งผลให้ธาตุอาหารกลุ่มนี้มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียจากการชะล้างสูง โดยเฉพาะในดินที่มีการซึมผ่านของน้ำสูง

การกระจายตัวเป็นกระบวนการเชิงกลที่เกิดขึ้นขณะที่สารละลายในดินไหลผ่านช่องว่างของดิน ทำให้เกิดการผสมและการกระจายของตัวละลายอย่างต่อเนื่อง การกระจายตัวเกิดขึ้นจากสองสาเหตุหลัก ได้แก่ ความไม่สม่ำเสมอของความเร็วการไหลของน้ำภายในรูพรุนเดียวกัน และความแตกต่างของขนาดรูพรุนภายในดิน ซึ่งทำให้ความเร็วน้ำในรูพรุนมีช่วงที่กว้าง กระบวนการนี้ช่วยทำให้การกระจายตัวของสารละลายในดินมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไปและลดความเข้มข้นเฉพาะจุด

โดยสรุป การเคลื่อนที่ของตัวละลายในดินเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของการแพร่ การไหลของมวล และการกระจายตัว โดยธาตุอาหารแต่ละชนิดจะถูกควบคุมด้วยกลไกที่ต่างกัน ฟอสฟอรัสซึ่งถูกดูดซับแน่นในดินจะพึ่งพาการแพร่เป็นหลัก ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปไนเตรตและธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ง่ายจะพึ่งพาการไหลของมวล ความเข้าใจกลไกเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืชและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.9 การระบายอากาศในดิน Soil aeration

ดินจำเป็นต้องมีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอเพื่อรองรับกระบวนการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ในดินที่ใช้ออกซิเจนเป็นหลัก การแลกเปลี่ยนอากาศในดินจึงเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชและการทำงานของระบบนิเวศในดิน ความสามารถของดินในการกักเก็บและถ่ายเทอากาศ หรือที่เรียกว่าความจุอากาศของดิน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ระดับการรวมตัวของเม็ดดิน และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ดินสูญเสียความสามารถในการเติมอากาศ ได้แก่ การอัดตัวของดินและภาวะน้ำขัง ซึ่งส่งผลให้รูพรุนขนาดใหญ่ที่ทำหน้าที่เป็นช่องทางอากาศถูกอุดตันหรือถูกน้ำเต็มเต็ม เมื่อความพรุนที่เต็มไปด้วยอากาศมีค่าน้อยกว่า 10% ของความพรุนทั้งหมด การเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่จะเริ่มได้รับผลกระทบอย่างชัดเจนเนื่องจากรากพืชไม่สามารถได้รับออกซิเจนเพียงพอสำหรับการหายใจ ส่งผลให้การดูดน้ำและธาตุอาหารลดลง รวมถึงการสะสมของสารพิษจากกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนในดิน

พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อสภาพดินที่มีออกซิเจนต่ำแตกต่างกัน โดยทั่วไปพืชตระกูลหญ้าจะมีความทนทานต่อการถ่ายเทอากาศที่ไม่ดีได้ดีกว่าพืชตระกูลถั่วและพืชใบกว้างหลายชนิด ความแตกต่างนี้สะท้อนถึงการปรับตัวทางสรีรวิทยาและโครงสร้างรากของพืชแต่ละกลุ่ม

องค์ประกอบของอากาศในดินมีลักษณะแตกต่างจากอากาศในบรรยากาศ โดยปกติแล้ว ความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศดินจะต่ำกว่าเล็กน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงกว่าอากาศในบรรยากาศหลายเท่า เนื่องจากเป็นผลจากการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ รวมถึงการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ การเคลื่อนที่และการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างดินกับบรรยากาศเกิดขึ้นผ่านสองกลไกหลัก ได้แก่ การไหลของมวลและการแพร่ โดยการแพร่ของก๊าซถือเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดในดินทั่วไป

อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศในดินขึ้นอยู่กับอัตราการกระจายตัวของขนาดรูพรุน รวมถึงความคดเคี้ยวและความต่อเนื่องของช่องว่างในดิน ดินที่มีรูพรุนขนาดใหญ่เชื่อมต่อกันดี เช่น ดินที่มีโครงสร้างเม็ดดินเสถียรและมีไบโอพอร์จำนวนมาก จะเอื้อต่อการถ่ายเทอากาศได้ดีกว่าดินที่ถูกอัดแน่นหรือมีโครงสร้างไม่มั่นคง

องค์ประกอบของอากาศในดินสามารถวัดและประเมินได้โดยใช้เทคนิคทางห้องปฏิบัติการและภาคสนาม เช่น การใช้แก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากห้องแก๊สขนาดเล็กซึ่งติดตั้งไว้ในดิน นอกจากนี้ อัตราการแพร่ของออกซิเจนในดินสามารถวัดได้โดยใช้อิเล็กโทรดแพลทินัมที่ฝังอยู่ในดิน ซึ่งช่วยสะท้อนสภาพการเติมอากาศและความเหมาะสมของดินต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์

4.10 อุณหภูมิดิน Soil temperature

อุณหภูมิดินเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากกระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพในดินส่วนใหญ่ล้วนได้รับอิทธิพลจากระดับอุณหภูมิ อุณหภูมิดินที่สูงเกินไป โดยเฉพาะในดินทรายซึ่งมีค่าการนำความร้อนสูง ถือเป็นข้อจำกัดทางกายภาพที่สำคัญต่อการผลิตพืชในเขตร้อน เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบราก การดูดน้ำและธาตุอาหาร ตลอดจนความมีชีวิตของจุลินทรีย์ในดิน

อุณหภูมิดินได้รับอิทธิพลโดยตรงจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดินดูดซับไว้ ซึ่งพื้นที่เขตร้อนจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าเขตอบอุ่น ส่งผลให้อุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยสูงกว่า อุณหภูมิที่ผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน โดยมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน และต่ำสุดในช่วงเช้ามืดและเวลากลางคืน ปัจจัยด้านสภาพอากาศ เช่น ลมและฝน สามารถทำให้อุณหภูมิดินลดลงชั่วคราว โดยเฉพาะหลังฝนตกซึ่งน้ำฝนจะช่วยพาความร้อนออกจากผิวดิน นอกจากนี้ วัสดุคลุมดินและความชื้นในดินยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิดิน โดยช่วยลดความผันผวนของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืน

ความร้อนในดินเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การนำความร้อน (heat conduction) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการแพร่ ความชื้นในดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อการนำความร้อน เนื่องจากน้ำมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าอากาศอย่างมาก ดังนั้น ดินที่มีความชื้นสูงจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าดินแห้ง นอกจากนี้ ค่าการนำความร้อนของดินยังเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสัมผัสระหว่างอนุภาคดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทพลังงานความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การวัดอุณหภูมิและสมบัติทางความร้อนของดินสามารถดำเนินการได้ทั้งในระดับผิวดินและใต้ผิวดิน วิธีการวัดอุณหภูมิดินผิวดินประกอบด้วยการวัดโดยตรงโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอทมาตรฐาน หรือเทอร์โมมิเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เทอร์มิสเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งต้องสัมผัสกับดินโดยตรง อีกวิธีหนึ่งคือการใช้เทอร์โมมิเตอร์รังสีอินฟราเรด (Infrared Thermometer: IRT) ที่ติดตั้งอยู่เหนือผิวดินเพื่อวัดอุณหภูมิพื้นผิวโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง สำหรับการวัดอุณหภูมิดินใต้ผิวดิน จะใช้การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ปรอทหรือเทอร์โมมิเตอร์ไฟฟ้าไว้ที่ความลึกต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินในแนวดิ่งและผลกระทบต่อเจริญเติบโตของรากพืชได้อย่างแม่นยำ

5. Soil Biology and Microbiology

ดินเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและพื้นผิวที่มีชีวิตสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินและพืชหลากหลายชนิด สิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาศัยอยู่ร่วมกันในห่วงโซ่อาหารที่ซับซ้อนภายในดิน พวกมันมีบทบาทสำคัญในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงการสะสมอินทรีย์วัตถุ การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์พร้อมกับการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช และการช่วยปรับปรุงการรวมตัวกันของดิน

สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นพวกเฮเทอโรโทรฟ (Heterotrophs) และได้รับคาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่แล้ว ขณะที่บางชนิดเป็นพวกออโตโทรฟ (Autotrophs) และใช้คาร์บอนจากสารประกอบอนินทรีย์ จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนต้องการออกซิเจนเพื่อดำรงชีวิต ในขณะที่จุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถอยู่รอดได้เฉพาะเมื่อไม่มีออกซิเจน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดินได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนมัยซีท และสาหร่าย แบคทีเรียช่วยย่อย

สลายสารอินทรีย์ที่สลายตัวง่าย เช่น แป้งและโปรตีน ในขณะที่เชื้อราและแอคติโนมัยซีทช่วยย่อยสลายสารที่ทนต่อการย่อยสลายมากกว่า เช่น เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน

กระบวนการไนตริฟิเคชัน (การเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนเตรต) การดีไนตริฟิเคชัน (การเปลี่ยนไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจน) และการตรึงไนโตรเจน (การเปลี่ยนไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นไนโตรเจนอินทรีย์) ล้วนเกิดจากแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ในดิน การตรึงไนโตรเจนผ่านความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันระหว่างพืชตระกูลถั่วและไรโซเบียม รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างเฟิร์นน้ำอะโซลลาและไซยาโนแบคทีเรียอนาปีนา เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการเกษตรอย่างยิ่ง อีกหนึ่งความสัมพันธ์สำคัญระหว่างพืชและจุลินทรีย์คือไมคอร์ไรซา ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างเชื้อราและพืชหลายชนิด ในความสัมพันธ์นี้ เชื้อราได้รับประโยชน์จากสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น ขณะที่เส้นใยเชื้อราจะช่วยขยายขอบเขตรากของพืช ทำให้การดูดซับน้ำและธาตุอาหารดีขึ้น

สัตว์ในดินหมายถึงสิ่งมีชีวิตเฮเทอโรโทรฟที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตรที่อาศัยอยู่ในดิน พวกมันมีบทบาทสำคัญ เช่น การผสมดิน การสร้างช่องทางและรูพรุนในดิน และการทำให้เศษอินทรีย์วัตถุแตกเป็นชิ้นเล็กกลอง เพื่อให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไปโดยจุลินทรีย์ ตัวอย่างที่สำคัญของสัตว์ในดิน ได้แก่ ไส้เดือนฝอยและโปรโตซัว เมโซฟาอูนา ประกอบด้วยสัตว์อย่างคอลเล็มโบแลน (แมลงตืด) เห็บไร รวมถึงไส้เดือนดินและปลวก ซึ่งถือเป็นมาโครฟาอูนา

ไส้เดือนดินสร้างรังและโพรงจำนวนมาก ซึ่งช่วยปรับปรุงการถ่ายเทอากาศของดิน ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ และการระบายน้ำ ปลวกเป็นกลุ่มมาโครฟาอูนาที่สำคัญและพบได้บ่อยในเขตร้อน

5.1 จุลินทรีย์พืชในดิน (Soil Microflora)

จุลินทรีย์ในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศดิน โดยมีบทบาทต่อกิจกรรมทางชีวภาพของดินมากถึงประมาณร้อยละ 80 ในดินส่วนใหญ่ จุลินทรีย์เหล่านี้เป็นตัวขับเคลื่อนหลักของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ การหมุนเวียนธาตุอาหาร การปรับปรุงโครงสร้างดิน และการควบคุมความอุดมสมบูรณ์ของดิน จุลินทรีย์ในดินสามารถจำแนกตามแหล่งคาร์บอนที่ใช้ในการสร้างเซลล์ออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ จุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟิก และจุลินทรีย์ออโตโทรฟิก

จุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟิกเป็นกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุดในดิน โดยใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน กระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อการสลายตัวของเศษซากพืชและสัตว์ การเติมวัสดุอินทรีย์ลงในดิน เช่น เศษพืชหรือปุ๋ยคอก จะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟ ซึ่งรวมถึงแบคทีเรียส่วนใหญ่ เชื้อรา และแอคติโนมัยซีต ในทางตรงกันข้าม จุลินทรีย์ออโตโทรฟิกใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือแร่คาร์บอนเนตเป็นแหล่งคาร์บอน และได้รับพลังงานจากการสังเคราะห์แสงหรือจากการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียม กำมะถัน และเหล็ก สิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ ได้แก่ สาหร่าย ไซยาโนแบคทีเรีย และแบคทีเรียออโตโทรฟบางชนิด

จุลินทรีย์ในดินส่วนใหญ่ดำรงชีวิตในสภาพใช้ออกซิเจน โดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการเมแทบอลิซึม อย่างไรก็ตาม ยังมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถดำรงชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้สารอื่น เช่น ไนเตรต หรือซัลเฟต เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบเมแทบอลิซึมได้ตามสภาพแวดล้อม ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นพร้อมกันในไมโครไซต์ต่าง ๆ ภายในดิน

กิจกรรมของจุลินทรีย์ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมอย่างมาก โดยทั่วไปกิจกรรมของจุลินทรีย์จะสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 20–40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงมากจะยับยั้งกิจกรรมชั่วคราว ในขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสจะทำให้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่หยุดการทำงานของเมแทบอลิซึม ระดับความชื้นที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนส่วนใหญ่อยู่ในช่วงศักย์น้ำ -10 ถึง -70 กิโลปาสกาล ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชั้นสูง

แบคทีเรียในดิน

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุดและมีจำนวนมากที่สุดในดิน มีบทบาทสำคัญร่วมกับเชื้อราในการย่อยสลายเศษซากพืชและสัตว์ เปลี่ยนเป็นฮิวมัสและสารอาหารที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ดินหนึ่งกรัมอาจมีแบคทีเรียตั้งแต่หลายพันล้านถึงมากกว่าหนึ่งล้านล้านเซลล์ แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวแบบโพรคาริโอต มีรูปร่างหลากหลาย ได้แก่ แบบแท่ง แบบกลม และแบบเกลียว และบางชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยแฟลกเจลลา

แบคทีเรียมีความสามารถในการปรับตัวสูง สามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายตั้งแต่ดินกรดจัด ดินด่างจัด ไปจนถึงดินเค็มและดินที่ขาดออกซิเจน ดินที่มีค่า pH ใกล้เคียงกลางและมีแคลเซียมสูงมักมีแบคทีเรียมากและหลากหลายที่สุด แบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟมีบทบาทเด่นในระยะแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่าย เช่น แป้งและโปรตีน ในขณะที่สารอินทรีย์ที่ทนทานกว่าจะถูกย่อยในระยะต่อมาโดยเชื้อราและแอคติโนมัยซีต

แบคทีเรียออโตโทรฟบางชนิดมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรไนโตรเจน โดยเฉพาะกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนเตรต กระบวนการนี้ต้องอาศัยออกซิเจนและทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ขณะที่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นการรีดิวซ์ไนเตรตกลับไปเป็นก๊าซไนโตรเจนในสภาพไร้อากาศ ส่งผลให้ไนโตรเจนสูญเสียออกจากระบบดิน โดยเฉพาะในดินน้ำขังหรือน้ำท่วม

นอกจากนี้ แบคทีเรียหลายกลุ่มยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ ทั้งแบบอิสระและแบบพึ่งพาอาศัยร่วมกับพืชชั้นสูง กระบวนการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสมดุลของไนโตรเจนในระบบนิเวศดิน โดยเฉพาะการอยู่ร่วมกันระหว่างพืชตระกูลถั่วกับแบคทีเรียในสกุล *Rhizobium* และ *Bradyrhizobium* ซึ่งก่อให้เกิดปมรากและเป็นแหล่งไนโตรเจนชีวภาพที่สำคัญในระบบเกษตร

แอคติโนมัยซีต

แอคติโนมัยซีตเป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างแบคทีเรียและเชื้อรา มีจำนวนรองจากแบคทีเรีย แต่มีชีวมวลสูง พบมากในดินที่มีอากาศถ่ายเทดี มีฮิวมัสสูง และมีค่า pH ใกล้เคียงกลาง แอคติโนมัยซีตมีบทบาทสำคัญในระยะหลังของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ โดยสามารถย่อยสลายประกอบที่ทนทาน เช่น เซลลูโลส ไคติน และฟอสโฟลิปิด แอคติโนมัยซีตบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนและมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศป่าไม้ นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งกำเนิดของสารปฏิชีวนะจำนวนมาก รวมถึงสารจีโอสมินซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นดินหอมหลังฝนตกหรือหลังการไถพรวน

เชื้อราในดิน

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ยูคาริโอตที่มีชีวมวลสูงมากในดินหลายชนิด มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน และช่วยรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างดินผ่านเส้นใยของเชื้อรา เชื้อรามีบทบาทเด่นในดินกรดและในกรณีที่สารอินทรีย์ตกค้างอยู่บนผิวดิน

เชื้อราบางชนิดก่อให้เกิดโรคพืช ขณะที่บางชนิดสามารถผลิตสารปฏิชีวนะหรือทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมศัตรูพืชทางชีวภาพ ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อราและรากพืช หรือไมคอร์ไรซา มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และช่วยเพิ่มความทนทานของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

สาหร่ายในดิน

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคลอโรฟิลล์และสามารถสังเคราะห์แสงได้ พบมากบริเวณผิวดินที่มีแสง สาหร่ายมีบทบาทในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน และสาหร่ายบางชนิดขับสารโพลีแซ็กคาไรด์ซึ่งช่วยเสริมการเกาะตัวของดิน ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ทะเลทราย สาหร่ายสามารถสร้างเปลือกชีวภาพที่ช่วยลดการพังทลายของดินและการสูญเสียน้ำ

5.2 สัตว์ในดิน (Soil Fauna)

สัตว์ในดินเป็นสิ่งมีชีวิตเฮเทอโรโทรฟิกที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร และดำรงชีวิตอยู่ภายในดินหรือบนผิวดิน สัตว์กลุ่มนี้แม้จะมีส่วนร่วมต่อการเผาผลาญรวมของดินในสัดส่วนที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ แต่มีบทบาทอย่างยิ่งต่อกระบวนการสร้างดิน การพัฒนาสมบัติทางกายภาพของดิน และการหมุนเวียนอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร สัตว์ในดินช่วยผสมคลุกเคล้าดิน เคลื่อนย้ายเศษซากพืชจากผิวดินลงสู่ชั้นดินล่าง สร้างช่องทางชีวภาพที่เอื้อต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศ และจัดเรียงอนุภาคดินใหม่จนเกิดโครงสร้างดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชสัตว์ ในดินสามารถแบ่งออกเป็นสัตว์ขนาดเล็ก (microfauna และ mesofauna) และสัตว์ขนาดใหญ่ (macrofauna) โดยสัตว์แต่ละกลุ่มมีบทบาทแตกต่างกันแต่เชื่อมโยงกันอย่างใกล้ชิดกับกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพของดิน

สัตว์ขนาดเล็กในดิน

ไส้เดือนฝอย (Nematodes)

ไส้เดือนฝอยเป็นสัตว์ขนาดเล็กที่พบได้แทบทุกชนิดของดิน และมักมีจำนวนมากถึงประมาณหนึ่งล้านตัวต่อตารางเมตร ไส้เดือนฝอยเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ไม่มีปล้อง มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย มีความยาวเพียงไม่กี่มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4–100 ไมโครเมตร ไส้เดือนฝอยสามารถเคลื่อนที่ได้ดีในฟิล์มน้ำและช่องว่างของรูพรุนที่เต็มไปด้วยน้ำ จึงพบมากในดินที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ เช่น ดินทราย เมื่อดินแห้ง ไส้เดือนฝอยสามารถเข้าสู่สภาวะพักตัวหรือคริปโตไบโอติก ซึ่งเป็นกลไกการอยู่รอดโดยลดกิจกรรมเมแทบอลิซึมลงจนแทบไม่ต้องใช้ออกซิเจน

ไส้เดือนฝอยส่วนใหญ่เป็นผู้ล่า กินแบคทีเรีย เชื้อรา สาหร่าย โปรโตซัว และตัวอ่อนของแมลงเป็นอาหาร ขณะที่บางชนิดกินพืชหรือกินได้ทั้งพืชและสัตว์ การกินแบคทีเรียของไส้เดือนฝอยมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนไนโตรเจน เนื่องจากแบคทีเรียมีไนโตรเจนมากเกินกว่าที่ไส้เดือนฝอยต้องการ ส่วนเกินจึงถูกปลดปล่อยกลับคืนสู่ดินในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยเป็นตัวกระตุ้นสำคัญของความอุดมสมบูรณ์ของดิน

อย่างไรก็ตาม ไส้เดือนฝอยบางชนิดเป็นศัตรูพืชที่สำคัญ โดยเฉพาะไส้เดือนฝอยในสกุล *Heterodera* และไส้เดือนฝอยก่อโรครากปม ซึ่งแทงเซลล์รากพืชด้วยอวัยวะปากคล้ายหอก ทำให้รากเกิดปมหรือปม และเพิ่มโอกาสการติดเชื้อของเชื้อโรคอื่น ๆ การระบาดรุนแรงอาจทำให้พืชแคระแกร็นและผลผลิตลดลง การจัดการไส้เดือนฝอยปรสิตทำได้โดยการหมุนเวียนพืช การใช้พันธุ์ต้านทาน และการปลูกพืชที่มีฤทธิ์ยับยั้งไส้เดือนฝอย เช่น คาโนลาและดาวเรือง

โปรโตซัว (Protozoa)

โปรโตซัวเป็นสัตว์เซลล์เดียวที่เรียบง่ายที่สุดในดิน แต่มีความหลากหลายสูง พบมากกว่า 350 ชนิดในดินเขตร้อน กึ่งเขตร้อน และเขตอบอุ่น โปรโตซัวมีขนาดประมาณ 6–100 ไมโครเมตร และมีจำนวนประมาณ 10,000–100,000 เซลล์ต่อดินหนึ่งกรัม โปรโตซัวในดินแบ่งออกเป็นกลุ่มสำคัญ ได้แก่ อะมีบา ซิลิเอต และแฟลกเจลเลต ซึ่งเคลื่อนที่โดยขาเทียม ขนเซลล์ หรือแฟลกเจลลัม ตามลำดับ

โปรโตซัวอาศัยอยู่ในฟิล์มน้ำและรูพรุนที่มีน้ำ และสามารถสร้างซิสต์เพื่ออยู่รอดในสภาพแห้งหรือขาดอาหาร โปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหารหลัก และมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมประชากรแบคทีเรีย โดยเฉพาะในบริเวณไรโซสเฟียร์ซึ่งเป็นแหล่งสะสมแบคทีเรียจำนวนมาก กิจกรรมของโปรโตซัวจึงส่งผลต่ออัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุและการปลดปล่อยธาตุอาหารในดินอย่างมีนัยสำคัญ

สัตว์ขนาดใหญ่ในดิน

ไส้เดือนดิน (Earthworms)

ไส้เดือนดินถือเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ในดินที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อโครงสร้างและสมบัติของดิน ไส้เดือนดินเป็นสัตว์กระเทย กินเศษซากพืช อินทรีย์วัตถุ และจุลินทรีย์เป็นอาหาร โดยไม่ทำลายพืชที่ยังมีชีวิต ไส้เดือนดินมีมากกว่า 3,000 ชนิดทั่วโลก พบมากในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฝนมากกว่า 800 มิลลิเมตรต่อปี

ไส้เดือนดินชอบดินที่มีอากาศถ่ายเทดี มีความชื้นเพียงพอ มีอินทรีย์วัตถุสูง และมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5–8.5 การใส่เศษพืชหรือปุ๋ยคอกและการลดการไถพรวนช่วยเพิ่มประชากรไส้เดือนดินอย่างมาก ในทางตรงกันข้าม ความร้อนสูง ความเค็ม ยาฆ่าแมลงบางชนิด และการไถพรวนรุนแรงจะลดจำนวนไส้เดือนดินลง

ไส้เดือนดินสร้างระบบโพรงที่กว้างขวาง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของไบโอพอร์ในดิน ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร อาจมีโพรงไส้เดือนดินยาวรวมตั้งแต่ 5 เมตรไปจนถึงมากกว่า 100 เมตร โพรงเหล่านี้ช่วยเพิ่มการซึมผ่านของน้ำ การระบายอากาศ และลดการไหลบ่าบนผิวดิน จึงมีบทบาทสำคัญต่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ อย่างไรก็ตาม โพรงแนวตั้งอาจเป็นทางลัดให้สารเคมีทางการเกษตรเคลื่อนที่ลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้อย่างรวดเร็ว

มูลไส้เดือนดินหรือ casts เป็นผลผลิตจากการย่อยดินและอินทรีย์วัตถุภายในร่างกายไส้เดือนดิน มูลไส้เดือนดินมักมีเสถียรภาพเชิงโครงสร้างสูง และมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าดินทั่วไปหลายเท่า มูลไส้เดือนดินจึงช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางตรงและทางอ้อม และมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างมวลรวมของดินที่มั่นคง

ปลวก (Termites)

ปลวกเป็นสัตว์สังคมที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการสร้างดินในเขตร้อน พบได้ประมาณสองในสามของพื้นที่ดินทั่วโลก โดยเฉพาะในทุ่งหญ้าและป่าเขตร้อน ปลวกสร้างรังและเนินดินขนาดใหญ่ซึ่งเชื่อมต่อกับเครือข่ายอุโมงค์ใต้ดินและทางเดินเหนือผิวดินอย่างซับซ้อน เนินปลวกอาจสูงได้ถึง 6 เมตร และมีปลวกอาศัยอยู่มากถึงหนึ่งล้านตัวต่อรัง

ปลวกส่วนใหญ่กินเศษซากพืชและไม้ และบางชนิดเพาะเลี้ยงเชื้อราเป็นแหล่งอาหาร ปลวกสามารถกำจัดเศษใบไม้และเศษไม้ได้มากถึงหลายพันกิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อปี โดยนำไปฝังและย่อยสลายในบริเวณเฉพาะ ส่งผลให้เกิดการผสมดินอย่างกว้างขวาง วัสดุจากเนินปลวกมักมีอินทรีย์วัตถุต่ำและความหนาแน่นสูงในระยะแรก จึงไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่เมื่อเนินปลวกถูกทิ้งร้าง วัสดุเหล่านี้อาจกลายเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงเนื่องจากอุดมไปด้วยดินเหนียวหรือธาตุอาหารจากชั้นดินล่าง และมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดี

โดยสรุป สัตว์ในดินมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพดินทั้งทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ผ่านการสร้างรูพรุนชีวภาพ การผสมดิน การย่อยและเคลื่อนย้ายอินทรีย์วัตถุ และการควบคุมประชากรจุลินทรีย์ ความเข้าใจบทบาทของสัตว์ในดินจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการจัดการดินอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในระบบเกษตรเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน

6. Soil Fertility

ความอุดมสมบูรณ์ของดินหมายถึงสถานะคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน ที่เอื้อต่อหรือเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช ตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ร้อยละของเบสที่ถูกยึดติด pH ของดิน และเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้

ตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ด้านกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน การรวมตัวของดิน การกระจายตัวของขนาดช่องว่างในดิน และการชะล้างพังทลายของดิน ตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ด้านชีวภาพ ได้แก่ กิจกรรมของไส้เดือนดิน และปริมาณคาร์บอนในชีวมวลจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตในดินและจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในวงจรธาตุอาหารและการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน

6.1 ความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีของดิน Soil chemical fertility

ดินเป็นทรัพยากรพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชและการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศการเกษตร คุณสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ล้วนส่งผลต่อความสามารถของดินในการสนับสนุนการผลิตพืชผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตร้อนที่ดินส่วนใหญ่มีการพืชรุนแรงและมีข้อจำกัดหลายประการ

สารละลายดิน เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปสู่รากพืช น้ำในดินประกอบด้วยสารละลายทั้งอนินทรีย์และอินทรีย์ รวมถึงก๊าซที่ละลายอยู่ โดยทั่วไปความเข้มข้นของสารละลายดินอยู่ในช่วงประมาณ 1–20 โมลต่อลูกบาศก์เมตร องค์ประกอบของสารละลายดินมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน วัสดุต้นกำเนิด ระดับการผุพัง และการจัดการดิน เช่น การใส่ปุ๋ย ปุ๋ยคอก ปุ๋ยขี้วัว และน้ำชลประทาน ในดินเพาะปลูก ไอออนบวกและไอออนลบที่พบได้บ่อยในสารละลายดิน ได้แก่ แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) โซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) นอกจากนี้ยังอาจพบสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสารเชิงซ้อนระหว่างอินทรีย์กับโลหะ ซึ่งมีบทบาทต่อความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร

การเติมอากาศในดิน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของรากพืชและจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ออกซิเจน ดินที่มีโครงสร้างดีและมีการรวมตัวของอนุภาคเหมาะสมจะมีความพรุนที่ช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี ในทางตรงกันข้าม การอัดตัวของดินและภาวะน้ำขังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความจุอากาศในดินลดลง โดยทั่วไปหากความพรุนที่มีอากาศเหลือน้อยกว่า 10% ของความพรุนทั้งหมด การเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่จะได้รับผลกระทบ พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อสภาพออกซิเจนต่ำแตกต่างกัน โดยหญ้ามักทนต่อสภาพการถ่ายเทอากาศไม่ดีได้ดีกว่าพืชตระกูลถั่ว องค์ประกอบของอากาศในดินแตกต่างจากบรรยากาศทั่วไป โดยมีออกซิเจนน้อยกว่าและมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า การเคลื่อนที่ของอากาศในดินเกิดขึ้นผ่านกระบวนการไหลของมวลและการแพร่ โดยการแพร่เป็นกลไกหลัก ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุน ความคดเคี้ยว และความต่อเนื่องของรูพรุนในดิน

อุณหภูมิดิน เป็นปัจจัยกายภาพที่มีอิทธิพลต่อทั้งพืชและจุลินทรีย์ในดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในเขตร้อนที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูง อุณหภูมิดินที่สูงเกินไป โดยเฉพาะในดินทรายซึ่งมีค่าการนำความร้อนสูง อาจเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาในแต่ละวัน โดยสูงสุดในช่วงกลางวันและต่ำสุดในช่วงเช้าและกลางคืน ปัจจัยด้านสภาพอากาศ เช่น ลมและฝน รวมถึงวัสดุคลุมดินและความชื้นในดิน มีบทบาทช่วยควบคุมอุณหภูมิดิน การถ่ายเทความร้อนในดินเกิดจากการนำความร้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลอย่างมากจากความชื้นและความหนาแน่นของดิน เนื่องจากน้ำมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าอากาศ

ในด้านความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีของดิน ดินที่อุดมสมบูรณ์คือดินที่สามารถจัดหาธาตุอาหารให้พืชได้อย่างเพียงพอ ธาตุอาหารที่พืชต้องการแบ่งออกเป็นธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) และธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โมลิบดีนัม (Mo) และโบรอน (B) พืชได้รับคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนจากอากาศและน้ำ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ จะถูกดูดซึมจากสารละลายดินในรูปของไอออนที่ละลายน้ำได้

ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ และจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมและไนเตรตผ่านกระบวนการแอมโมเนียฟิเคชันและไนตริฟิเคชัน ซึ่งควบคุมโดยจุลินทรีย์ในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุและกิจกรรมของจุลินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญต่อความพร้อมใช้ของไนโตรเจน ในดินที่เป็นกรดจัดหรือดินที่ขาดออกซิเจน กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดได้น้อย ส่งผลให้แอมโมเนียมสะสมมากกว่าไนเตรต การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในดินเขตร้อนที่ผุพังรุนแรง อาจเร่งการเกิดความเป็นกรดของดินและนำไปสู่การสูญเสียธาตุอาหารอื่น ๆ จากการชะล้าง ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีข้อจำกัดสูงในดินเขตร้อน เนื่องจากเกิดกระบวนการตรึงฟอสเฟตโดยออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย การจัดการฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรเน้นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสใกล้รากพืช และการส่งเสริมความสัมพันธ์ระหว่างรากพืชกับเชื้อราไมคอร์ไรซา ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ดูดซึมฟอสฟอรัส

โพแทสเซียมในดินอยู่ในหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปที่ละลายน้ำได้จนถึงรูปที่อยู่ในแร่ธาตุ ความพร้อมใช้ของโพแทสเซียมขึ้นอยู่กับสมดุลการแลกเปลี่ยนไอออน โดยพืชที่มีแป้งและน้ำตาลสูง เช่น มันสำปะหลัง ถั่ว และอ้อยมีความต้องการโพแทสเซียมสูง การขาดโพแทสเซียมสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมหรือวัสดุอินทรีย์ ค่า CEC และเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของเบส (PBS) เป็นตัวชี้วัดสำคัญของความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีของดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมักมีค่า CEC สูงและสามารถกักเก็บธาตุอาหารได้ดี ในขณะที่ดินเขตร้อนที่ผู้พังรุนแรงมักมีค่า CEC ต่ำและพืชมินทรีย์วัตถุเป็นหลัก PBS ที่ต่ำกว่า 50% มักสัมพันธ์กับดินกรดและการขาดแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินด้วยปูนขาว

สุดท้าย ความเป็นกรดและความเป็นพิษของดิน เป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการผลิตพืชในเขตร้อน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.2 มักมีความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและแมงกานีส ซึ่งส่งผลต่อการเจริญของรากพืช การใช้วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว หรือการเลือกปลูกพืชที่ทนต่อสภาพกรด เป็นแนวทางสำคัญในการจัดการปัญหานี้ ควบคู่กับการวิเคราะห์ดินและพืชเพื่อวินิจฉัยและคาดการณ์ภาวะขาดธาตุอาหารอย่างแม่นยำ โดยสรุป การเข้าใจสมบัติของดินทั้งด้านสารละลายดิน การถ่ายเทอากาศ อุณหภูมิ และความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีเป็นพื้นฐานสำคัญในการจัดการดินอย่างยั่งยืน เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช ลดการสูญเสียธาตุอาหาร และรักษาคุณภาพดินในระบบเกษตร โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมเขตร้อนที่มีความเปราะบางสูง

6.2 ความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพของดิน Soil physical fertility

หมายถึง สภาพทางกายภาพของดินที่เอื้อต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของราก และการพัฒนาของพืชโดยรวม ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพดีจะสามารถจัดหาน้ำและอากาศได้อย่างเพียงพอ มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการแทรกตัวของราก และไม่ต้องอาศัยการไถพรวนหรือการเตรียมแปลงเพาะที่มากเกินไป โดยตัวบ่งชี้สำคัญที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพของดินประกอบด้วย เนื้อดิน การรวมตัวของดินและการกระจายขนาดรูพรุน และการกัดเซาะของดิน

เนื้อดิน เป็นตัวบ่งชี้ทางกายภาพที่สามารถประเมินได้ง่ายที่สุด และมักใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการดิน เนื้อดินสะท้อนสัดส่วนของทราย ตะกอน และดินเหนียวในดินแต่ละชนิด ดินทรายมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ แต่มีไถพรวนง่ายและต้องการแรงงานน้อยในการเตรียมแปลงเพาะ ในขณะที่ดินเหนียวมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่า แต่ต้องการการไถพรวนที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการอัดตัวและการระบายน้ำที่ไม่ดี ส่วนดินร่วนซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาคดินค่อนข้างสมดุล มักเป็นดินที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากมีทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดี

การรวมตัวของดินและการกระจายขนาดรูพรุน เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพโครงสร้างดิน ดินที่มีมวลรวมทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กในสัดส่วนที่เหมาะสมจะมีโครงสร้างดี ไถพรวนง่าย และให้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญของราก ดินลักษณะนี้จะมีมากขึ้นในดินเพียงพอและมีรูพรุนที่ช่วยทั้งการระบายน้ำและการกักเก็บน้ำไว้ใช้ อย่างไรก็ตาม การไถพรวนที่มากเกินไป เช่น การไถและคราดซ้ำๆ อาจทำลายโครงสร้างดินและทำให้มวลรวมแตกสลาย ส่งผลให้ดินแน่นและเสี่ยงต่อการกัดเซาะมากขึ้น ในกรณีของดินที่มีมวลรวมน้อย การไถพรวนอย่างเหมาะสมร่วมกับการคลุมดินด้วยเศษซากพืช จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในเขตร้อนชื้น-แห้ง ดินทรายมักเกิดชั้นผิวดินแข็ง ซึ่งขัดขวางการงอกของเมล็ดและการซึมผ่านของน้ำฝน การเตรียมแปลงเพาะเมล็ดจึงมักใช้การไถพรวนแบบบร็องหรือแบบแถบ ขณะที่ดินเหนียวปานกลางถึงละเอียดซึ่งมีดิน

เหนียวเคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบหลักในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น มีแนวโน้มเกิดการอัดตัวและการพังทลายของดินได้ง่าย จึงแนะนำให้ใช้การไถพรวนน้อยที่สุดและรักษาวัสดุคลุมดินจากเศษพืชไว้บนผิวดิน

ดินที่มีสภาพดินดีมักหมายถึงดินที่ไถพรวนง่าย มีความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.9–1.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดกลางในสัดส่วนใกล้เคียงกัน รูพรุนขนาดใหญ่ช่วยให้น้ำฝนระบายออกได้รวดเร็ว ในช่วงฝนตกหนัก ขณะที่รูพรุนขนาดกลางช่วยกักเก็บน้ำไว้ให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ อนุภาคดินจะถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยอินทรีย์วัตถุ รากพืช และสารยึดเกาะอื่นๆ เช่น ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม หรือแร่ชนิอัลโลเฟน มวลรวมขนาดใหญ่ที่เกิดจากการยึดเกาะอย่างหลวมๆ มักไม่เสถียรและสามารถแตกสลายได้ง่ายจากแรงกระแทกของหยดน้ำฝนหรือการไถพรวนที่มากเกินไป

ดินในเขตร้อนบางชนิด โดยเฉพาะดินที่อุดมไปด้วยออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม เช่น ดิน Oxisols จะมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ แม้จะมีปริมาณดินเหนียวสูง แต่กลับมีความหนาแน่นต่ำและการซึมผ่านของน้ำสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดใหญ่อยู่มาก ดินลักษณะนี้จึงมีพฤติกรรมคล้ายดินทราย ในขณะที่ดินเถ้าภูเขาไฟที่มีอัลโลเฟนและอินทรีย์วัตถุสูง อาจมีรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงมาก บางชนิดสามารถอุ้มน้ำได้มากกว่า 100% ของน้ำหนักดิน

การกัดเซาะดิน เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพของดิน การกัดเซาะอาจเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติในระยะเวลาทางธรณียาวนาน หรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเกษตรกรรมที่ไม่เหมาะสม ผลกระทบสำคัญของการกัดเซาะจากกิจกรรมมนุษย์คือการสูญเสียดินชั้นบนและอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารหลักของพืช

การกัดเซาะโดยน้ำในพื้นที่เกษตรกรรมมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การกัดเซาะแบบแผ่น การกัดเซาะร่องน้ำ การกัดเซาะร่องลึก ดินหลุดตัว และดินถล่ม ซึ่งมักเกิดบนพื้นที่ลาดชันที่ขาดพืชคลุมดิน โดยเฉพาะในช่วงฝนตกหนัก การสูญเสียดินสามารถประเมินได้ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยน้ำฝน ลักษณะภูมิประเทศ การปกคลุมดิน การจัดการอนุรักษ์ และความไวต่อการกัดเซาะของดิน อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้พัฒนาจากข้อมูลในเขตอบอุ่น จึงมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมเขตร้อนที่มีฝนตกหนักและความหลากหลายของดินสูง

ในพื้นที่เกษตรกรรมเขตร้อน การขาดวัสดุคลุมดินในช่วงต้นฤดูฝนและการไถพรวนที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุหลักของการกัดเซาะโดยน้ำ แนวทางที่แนะนำคือการทำเกษตรแบบอนุรักษ์ เช่น การคลุมดินด้วยเศษพืช การปลูกพืชตามแนวระดับ และการใช้แนวพืชป้องกัน ในพื้นที่ลาดชันมาก ควรหลีกเลี่ยงการทำเกษตรและใช้การปลูกป่าเพื่อรักษาความสมบูรณ์ของกลุ่มน้ำ

นอกจากนี้ การกัดเซาะโดยลม เป็นปัญหาสำคัญในเขตกึ่งแห้งแล้งและพื้นที่ที่ขาดพืชคลุมดิน ลมสามารถพัดพาอนุภาคดินจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง ส่งผลให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ การจัดการเพื่อลดการกัดเซาะโดยลม ได้แก่ การปลูกพืชหรือไม้ยืนต้นเป็นแนวกันลม การไถพรวนตามสันเขา และการรักษาความชื้นในดิน

โดยสรุป ความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพของดินเป็นพื้นฐานสำคัญของการผลิตพืชอย่างยั่งยืน ดินที่มีเนื้อดินเหมาะสม มีโครงสร้างและรูพรุนที่ดี และได้รับการป้องกันจากการกัดเซาะ จะสามารถรักษาน้ำ อากาศ และความสามารถในการรองรับรากพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการดินที่คำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพจึงเป็นหัวใจสำคัญในการอนุรักษ์ดิน เพิ่มผลผลิต และรักษาความยั่งยืนของระบบเกษตรในระยะยาว โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมเขตร้อนที่มีความแปรปรวนสูงตามสมรรถนะทางกายภาพของดิน

6.3 ความอุดมสมบูรณ์ทางชีวภาพของดิน Soil biological fertility

ความอุดมสมบูรณ์ทางชีวภาพของดิน หมายถึง ความสามารถของดินในการรองรับและส่งเสริมการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทางกายภาพและชีวเคมีของดิน กระบวนการเหล่านี้ช่วยสนับสนุนความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพและทางเคมีของดิน และเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและความยั่งยืนของระบบเกษตรกรรม

สิ่งมีชีวิตในดินมีบทบาทสำคัญหลายประการ ได้แก่ การย่อยสลายเศษซากพืชโดยสัตว์ในดิน การเปลี่ยนวัสดุอินทรีย์สดให้เป็นอินทรีย์วัตถุในดินโดยจุลินทรีย์ การสร้างช่องว่างและความพรุนในดินผ่านการเจริญของรากพืชและกิจกรรมของไส้เดือน รวมถึงการรวมตัวของอนุภาคดินโดยฮิวมัสและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในดินยังมีบทบาทในการเพิ่มแร่ธาตุในอินทรีย์วัตถุและปลดปล่อยธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน รวมถึงกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศโดยแบคทีเรียทั้งชนิดที่อาศัยร่วมกับพืชและชนิดอิสระ

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมทางชีวภาพในดิน คือ การมีอินทรีย์วัตถุสดและอินทรีย์วัตถุในดินที่มีความชื้นเพียงพอ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานและสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ ในพื้นที่เกษตรกรรม การปลูกพืชหมุนเวียนและการนำเศษพืชกลับคืนสู่ดินอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยกระตุ้นกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ในทางตรงกันข้าม การปลูกพืชเชิงเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง และการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและวัชพืชในปริมาณมาก อาจส่งผลให้จำนวนและความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง

ไส้เดือนและจุลินทรีย์ในดิน

กิจกรรมของไส้เดือนดินและปริมาณคาร์บอนของชีวมวลจุลินทรีย์ ถือเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของความอุดมสมบูรณ์ทางชีวภาพของดิน โดยกิจกรรมของไส้เดือนดินสามารถประเมินได้จากจำนวนกองดินต่อหน่วยพื้นที่ ส่วนปริมาณคาร์บอนของชีวมวลจุลินทรีย์สามารถวัดได้จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ งานวิจัยในดินอัลฟิสอลเนื้อหยาบในเขตร้อนชื้น พบว่าดินภายใต้พื้นที่รกร้างพุ่มไม้ธรรมชาติและแปลงหญ้ามีระดับคาร์บอนของชีวมวลจุลินทรีย์สูงกว่าดินในแปลงเพาะปลูกอย่างมีนัยสำคัญ การเพาะปลูกส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลง โดยเฉพาะในระบบที่มีการนำเศษซากพืชออกจากแปลงหลังการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม แปลงข้าวโพดที่มีการไถพรวนขั้นต่ำและคลุมดินด้วยเศษพืชแสดงให้เห็นถึงระดับคาร์บอนของชีวมวลจุลินทรีย์ที่สูงกว่าแปลงที่ไม่มีการคลุมดิน

ระบบการใช้ประโยชน์ที่ดินยังส่งผลอย่างมากต่อกิจกรรมของไส้เดือนดิน โดยพบว่าพื้นที่เพาะปลูกมีจำนวนไส้เดือนดินลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับพื้นที่รกร้างหรือพื้นที่หญ้า สาเหตุหลักมาจากการขาดแหล่งอาหาร เช่น เศษซากพืชและอินทรีย์วัตถุในดิน การอัดตัวของดิน อุณหภูมิดินที่สูง และการใช้สารเคมีกำจัดแมลงอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องทำให้ค่า pH และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินลดลง ขณะที่ความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแปลงที่มีการนำเศษซากพืชออกทุกครั้งหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้น การพักดินตามธรรมชาติหรือการปลูกพืชพื้นฟูดินเป็นระยะจึงมีความจำเป็นต่อการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งในด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพ

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศธรรมชาติและระบบเกษตรกรรม

ในระบบนิเวศธรรมชาติ ความอุดมสมบูรณ์ของดินได้รับการรักษาไว้ผ่านการปกคลุมดินอย่างต่อเนื่องและการหมุนเวียนธาตุอาหารภายในระบบ พืชสีเขียวใช้พลังงานแสงอาทิตย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างพลังงานเคมีในรูปของคาร์โบไฮเดรต ขณะที่แร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้รับ

จากดิน สัตว์และแมลงบริโภคพืชเป็นอาหาร และธาตุอาหารจะกลับคืนสู่ดินผ่านมูลสัตว์และซากสิ่งมีชีวิต กระบวนการดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของสายใยอาหารและวัฏจักรสารอาหารในระบบนิเวศ

สัณฐานดินและจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเศษซากพืชและซากสัตว์ ทำให้ธาตุอาหารแร่ธาตุถูกปลดปล่อยกลับสู่ดินในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ อย่างไรก็ตาม บทบาทของสิ่งมีชีวิตในดินมักถูกมองข้ามในระบบเกษตรกรรมอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ซึ่งพึ่งพาปุ๋ยเคมีเป็นหลักในการจัดการธาตุอาหาร

ในระบบเกษตรกรรม ธาตุอาหารจะถูกนำออกจากระบบทุกปีผ่านการเก็บเกี่ยว รวมถึงการสูญเสียจากการไหลบ่าและการชะล้าง โดยเฉพาะในช่วงที่ดินถูกปล่อยโล่งก่อนการปลูกและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้น การรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินและกิจกรรมทางชีวภาพในดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเติมเต็มธาตุอาหารที่สูญเสียไป และช่วยลดการสูญเสียน้ำและดินจากพื้นที่เพาะปลูก

กลยุทธ์การจัดการธาตุอาหารอย่างยั่งยืนในระบบเกษตรกรรมจึงมุ่งเน้นการใช้แหล่งสารอาหารทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์อย่างเหมาะสม ควบคู่กับระบบการปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชแบบผสมผสาน และระบบวนเกษตร ซึ่งพยายามเลียนแบบกระบวนการหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศธรรมชาติ เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความต้องการของพืช การปลดปล่อยสารอาหารในดิน และการลดการสูญเสียทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน

7. Soil Formation and Classification

ดินคือชั้นผิวของโลก ประกอบด้วยวัสดุอนินทรีย์ที่ผุพังสลายตัว อินทรีย์วัตถุ อากาศ และน้ำ และสนับสนุนการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตโดยตรงและโดยอ้อม รวมถึงพืช สัตว์ จุลินทรีย์ และมนุษย์

ระบบจำแนกดินแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่

(1) ระบบจำแนกเชิงวิทยาศาสตร์หรือเชิงกำเนิดดิน ซึ่งจัดกลุ่มดินตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา และ

(2) ระบบจำแนกเชิงเทคนิคหรือประยุกต์ ซึ่งจัดกลุ่มดินตามคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่ธาตุ รวมถึงระดับของการผุพังสลาย คุณสมบัติเหล่านี้ถูกรวบรวมเพื่อเลือกใช้ในทางเกษตรกรรมและการพัฒนาเมือง

ระบบจำแนกดินที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ USDA Soil Taxonomy, FAO/UNESCO World Soil Legend และระบบการจำแนกของฝรั่งเศส

7.1 การเกิดดิน Soil formation

ดินเกิดขึ้นจากกระบวนการผุพังของหินและเศษหิน ซึ่งอาจถูกกัดเซาะและเคลื่อนย้ายโดยอิทธิพลของน้ำ ลม น้ำแข็ง หรือแรงโน้มถ่วงไปยังบริเวณต่าง ๆ ของภูมิประเทศ วัสดุที่ประกอบด้วยดิน เศษหินที่ผุพัง และชั้นหินเบื้องล่างที่ผุกร่อนแล้ว เรียกรวมกันว่า เรโกลิธ (regolith) กระบวนการก่อตัวของดินจากหินต้นกำเนิดหรือเศษหินจากเหมืองแร่เป็นกระบวนการที่ใช้เวลายาวนาน อาจกินเวลาหลายพันจนถึงหลายล้านปี ทั้งนี้ เส้นทางและขั้นตอนการก่อตัวของดินขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยทางธรรมชาติในแต่ละพื้นที่

กระบวนการผุกร่อนของดิน

การพัฒนาลักษณะเฉพาะของหน้าตัดดิน หรือที่เรียกว่า พีดอน (pedon) เป็นผลมาจากกระบวนการผุพังทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง

การผุพังทางกายภาพเป็นกระบวนการที่หินและแร่ธาตุแตกสลายออกเป็นชิ้นเล็กโดยไม่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี อันเป็นผลจากแรงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน การกระทำของน้ำ และการแข็งตัว กระบวนการนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของหินและแร่ธาตุ ทำให้เอื้อต่อการผุพังทางเคมีในขั้นต่อไป

การผุพังทางเคมีเป็นกระบวนการที่สำคัญในการก่อตัวของดิน โดยเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การไฮโดรไลซิส การละลาย และการก่อตัวของแร่ธาตุทุติยภูมิ ตัวอย่างของแร่ธาตุทุติยภูมิที่เกิดขึ้น ได้แก่ แร่ซิลิเกตในกลุ่มดินเหนียว และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของดิน โดยเฉพาะในเขตร้อน

ในเขตร้อน กระบวนการผุพังทางเคมีที่สำคัญสองประการ ได้แก่ การกำจัดซิลิเคชัน (desilication) และการย่อยสลายสารอินทรีย์ การกำจัดซิลิเคชันเป็นกระบวนการที่แร่ซิลิเกตละลาย และซิลิกาที่ละลายน้ำได้ถูกชะล้างออกจากหน้าดินโดยน้ำฝนอย่างต่อเนื่อง การสูญเสียซิลิกาในระยะยาวนำไปสู่การสะสมของออกไซด์เหล็กและอะลูมิเนียมในดิน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินที่ผ่านกระบวนการผุพังอย่างรุนแรง

การผุพังทางชีวภาพเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน เช่น พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ซึ่งมีบทบาททั้งในการแตกสลายของหินและการพัฒนาชั้นผิวดิน รากพืชช่วยแทรกตัวและขยายรอยแตกในหิน ขณะที่จุลินทรีย์ในดินสามารถเร่งปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารประกอบเหล็ก แมงกานีส และกำมะถัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแร่ธาตุในดิน

ลักษณะของขอบฟ้าดิน

ดินสามารถแบ่งออกเป็นชั้นตามลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งเรียกว่า ขอบฟ้าดิน (soil horizons) ในการอธิบายอย่างง่าย อาจแบ่งดินออกเป็นชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง อย่างไรก็ตาม ดินที่พัฒนาสมบูรณ์แล้วมักแสดงขอบฟ้าดินที่ชัดเจน ได้แก่ ชั้นดิน A, B และ C

ชั้นดิน A เป็นชั้นผิวดินที่อยู่ด้านบนสุด มักมีสีเข้ม เนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุสะสมสูง ประกอบด้วยแร่ธาตุผสมกับอินทรีย์วัตถุ รวมถึงสัตว์ในดินและจุลินทรีย์จำนวนมาก ชั้นดินนี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด ถัดลงมาเป็นชั้นดิน B ซึ่งเป็นชั้นสะสม (illuviation zone) ของแร่ดินเหนียวซิลิเกต รวมถึงออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ชั้นดินนี้มักมีสีแดง น้ำตาล หรือเหลือง และมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติโครงสร้างและการอุ้มน้ำของดิน ชั้นดิน C เป็นชั้นวัสดุต้นกำเนิดของดิน ประกอบด้วยหินเบื่อง่ายที่ผุพังแล้ว หรือที่เรียกว่า ซาโปรไลต์ (saprolite) ซึ่งยังคงลักษณะของหินต้นกำเนิดเดิมไว้บางส่วน

ในดินบางชนิด อาจพบชั้นดินสีอ่อนแทรกอยู่ระหว่างชั้น A และ B ซึ่งเรียกว่า ชั้นดิน E ชั้นดินนี้เป็นบริเวณที่เกิดการชะล้างของแร่ธาตุและสารที่ละลายน้ำได้ออกไปมากที่สุด ส่งผลให้มีสีจางและมีอินทรีย์วัตถุสะสมน้อยกว่าชั้นดินอื่น

7.2 การจำแนกดินเชิงปฐพีวิทยา Pedological classification of soils

การจำแนกประเภทดินตามลักษณะทางธรณีวิทยา

การจำแนกประเภทดินตามลักษณะทางธรณีวิทยา (pedological classification) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออำนวยความสะดวกในการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ระหว่างนักปฐพีวิทยาทั่วโลก เนื่องจากดินมีความหลากหลายสูงและไม่สามารถตั้งชื่อแบบสากลเช่นเดียวกับพืชหรือสัตว์ได้ จึงมีการพัฒนาระบบการจำแนกดินขึ้นหลายระบบ โดยระบบที่ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติที่สำคัญมี 3 ระบบ ได้แก่ ระบบอนุกรมวิธานดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA Soil Taxonomy) ระบบการจำแนกดินของ FAO/UNESCO และระบบการจำแนกดินของฝรั่งเศส (INRA/ORSTOM)

แนวคิดหลักของการจำแนกดินแบบธรณีวิทยาให้ความสำคัญกับคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา กายภาพ และเคมีของหน้าตัดดินหรือพีดอน (pedon) โดยพิจารณาจากลักษณะและกระบวนการก่อตัวของดินเป็นสำคัญ หน้าตัดดินโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสามชั้นหลัก ได้แก่ ชั้นดิน A ซึ่งเป็นชั้นผิวดินที่อุดมด้วยอินทรีย์วัตถุ ชั้นดิน B ซึ่งเป็นชั้นที่เกิดจากกระบวนการสร้างดินและมีการสะสมของแร่ธาตุ และชั้นดิน C ซึ่งเป็นวัสดุต้นกำเนิดหรือหินผุพัง

พัฒนาการของระบบการจำแนกดิน

ระบบการจำแนกดินสมัยใหม่มีรากฐานมาจากงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ซึ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างดิน ภูมิอากาศ พืชพรรณ และกระบวนการสร้างดิน ต่อมา หลายประเทศ เช่น ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา จีน แคนาดา ออสเตรเลีย และบราซิล ได้พัฒนาระบบการจำแนกดินระดับชาติของตนเอง โดยล้วนได้รับอิทธิพลจากแนวคิดพื้นฐานของระบบรัสเซีย

ในระดับโลก องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ร่วมกับองค์การ UNESCO ได้พัฒนาแผนที่ดินโลก (FAO/UNESCO Soil Map of the World) ซึ่งตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2517 แผนที่นี้มีบทบาทสำคัญในการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์และการวางแผนการใช้ที่ดินในระดับชาติและภูมิภาค อย่างไรก็ตาม ระบบ FAO มีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ในระดับฟาร์ม เนื่องจากไม่ได้จำแนกดินในระดับละเอียดที่สะท้อนคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดินโดยตรง

ระบบอนุกรมวิธานดินของ USDA

ระบบอนุกรมวิธานดินของ USDA ถือเป็นระบบที่เน้นการประยุกต์ใช้ด้านการเกษตรมากที่สุด โดยจำแนกดินออกเป็นลำดับชั้น 6 ระดับ ได้แก่ อันดับดิน อันดับย่อย กลุ่มใหญ่ กลุ่มย่อย วงศ์ดิน และชุดดิน การจำแนกในแต่ละระดับใช้เกณฑ์เชิงปริมาณทางกายภาพและเคมีของดินอย่างชัดเจน ทำให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลดินกับการใช้ประโยชน์และการจัดการดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในระบบนี้ ดินของโลกถูกแบ่งออกเป็น 11 อันดับดิน (ต่อมาได้มีการเพิ่ม Gelisols เป็นอันดับที่ 12) เช่น Alfisols, Andisols, Aridisols, Entisols, Inceptisols, Mollisols, Oxisols, Ultisols และ Vertisols เป็นต้น ดินที่พบมากในเขตร้อน ได้แก่ Ultisols, Oxisols และ Alfisols ซึ่งมักมีแร่ดินเหนียวเคลอไรต์ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีข้อจำกัดต่อการเพาะปลูกต่อเนื่อง ขณะที่ดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรสูง เช่น Mollisols, Andisols และ Entisols ที่อุดมสมบูรณ์ มักพบในเขตอบอุ่นหรือพื้นที่ตะกอนน้ำพา

ระบบ FAO/UNESCO

ระบบ FAO/UNESCO มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อแสดงภาพรวมของการกระจายตัวของดินในระดับโลก โดยแบ่งดินออกเป็น 26 กลุ่มดินหลัก เช่น Acrisols, Andosols, Cambisols, Ferralsols, Fluvisols, Luvisols, Nitisols และ Vertisols เป็นต้น ระบบนี้เน้นการทำแผนที่ดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ และเหมาะสำหรับการวางแผนระดับชาติและภูมิภาค รวมถึงการเรียนการสอนด้านดินศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ระบบ FAO ไม่ได้จำแนกดินในระดับลึกเท่าระบบอนุกรมวิธานดิน จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้สำหรับการตัดสินใจด้านการจัดการดินในระดับแปลงหรือฟาร์ม

ระบบการจำแนกดินของฝรั่งเศส (INRA/ORSTOM)

ระบบการจำแนกดินของฝรั่งเศสเน้นแนวคิดเรื่องวิวัฒนาการของดินและกระบวนการสร้างดิน โดยพิจารณาระดับการพัฒนา โครงสร้างดิน อินทรีย์วัตถุ และสภาพการเปียกชื้นของดิน (hydromorphism) ระบบนี้แบ่งดินออกเป็นชั้นและชั้นย่อยตามกระบวนการสร้างดิน เช่น ดินร่วนดิบ ดินที่มีการพัฒนาน้อย ดินเวอร์ติซอล ดินแอนโดซอล ดินเฟอร์ริลไลต์ และดินไฮโดรมอร์ฟิก เป็นต้น

ระบบของฝรั่งเศสมีจุดเด่นในการอธิบายกระบวนการและพัฒนาการของดินอย่างเป็นพลวัต แต่การเชื่อมโยงกับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในเชิงปฏิบัติอาจซับซ้อนกว่าระบบอนุกรมวิธานดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างระบบการจำแนกดิน

แม้ว่าทั้งสามระบบจะใช้แนวคิดและเกณฑ์ที่แตกต่างกัน แต่ในระดับการจำแนกสูงสุดสามารถเปรียบเทียบและหาความสอดคล้องกันได้ในระดับหนึ่ง เช่น Mollisols ในระบบ USDA มีความใกล้เคียงกับ Chernozems และ Phaeozems ในระบบ FAO และสอดคล้องกับกลุ่มดินในชั้น Sols Isohumiques ของระบบฝรั่งเศส อย่างไรก็ตาม ในระดับการจำแนกที่ต่ำลง ความเทียบเท่าระหว่างระบบจะซับซ้อนมากขึ้น และต้องอาศัยความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับกระบวนการสร้างดินและคุณสมบัติเฉพาะของดินแต่ละชนิด

โดยสรุป การจำแนกดินตามลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาดิน การวางแผนการใช้ที่ดิน และการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน การเลือกใช้ระบบการจำแนกดินจึงควรสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ระดับพื้นที่ และบริบททางการเกษตรหรือสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ

7.3 ระบบจำแนกดินเชิงเทคนิค Technical soil classification schemes

เพื่อรองรับการใช้งานด้านการเกษตร วิศวกรรม และการวางแผนการใช้ที่ดินในเชิงปฏิบัติ จึงได้มีการพัฒนาแผนการจำแนกดินทางเทคนิคขึ้นหลายรูปแบบสำหรับนักปฐพีวิทยา วิศวกร และผู้เชี่ยวชาญสาขาที่เกี่ยวข้อง แผนการจำแนกดินเหล่านี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ประเมินศักยภาพและข้อจำกัดของดินได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยความรู้เชิงลึกด้านกระบวนการเกิดดินเช่นเดียวกับระบบการจำแนกดินเชิงวิทยาศาสตร์หรือเชิงธรณีวิทยา

โดยทั่วไป แผนการจำแนกดินทางเทคนิคที่ใช้ในด้านการเกษตรมักอาศัยคุณลักษณะเฉพาะของดินอย่างน้อยหนึ่งประการเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา เช่น เนื้อดิน แร่ดินเหนียวเด่น ความลาดชัน หรือข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน อันได้แก่ การขาดแคลนน้ำ ธาตุอาหาร หรือการมีธาตุที่เป็นพิษต่อพืช แผนการจำแนกดินลักษณะนี้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการแยกดินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงออกจากดินที่มีข้อจำกัดมากกว่า รวมถึงการวางแผนการจัดการและการอนุรักษ์ดิน อย่างไรก็ตาม แผนการจำแนกดินทางเทคนิคเหล่านี้ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อทดแทนระบบการจำแนกดินเชิงวิทยาศาสตร์ หากแต่เป็นเครื่องมือเสริมที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในภาคปฏิบัติ

โครงการจำแนกความสามารถในการอุดมสมบูรณ์ของดิน (Fertility Capability Classification: FCC)

เนื่องจากสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินผิวดินเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตร ระบบการจำแนกความสามารถในการอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือ FCC จึงได้รับการพัฒนาขึ้นโดยโครงการดินเขตร้อน (Tropical Soils Program) แห่งมหาวิทยาลัยรัฐนอร์ทแคโรไลนา ระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อประเมินข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะในพืชไร่ที่สำคัญ เช่น ข้าวโพดและถั่ว

หลักการของระบบ FCC คือการจัดกลุ่มดินที่มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ในลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น ความเป็นกรดของดิน การขาดธาตุอาหารที่อาจเกิดขึ้น หรือการมีชั้นดินใต้ผิวดินที่จำกัดการเจริญของรากพืช ระบบนี้ช่วยให้นักปฐพีวิทยาและผู้เชี่ยวชาญด้านดินสามารถจัดกลุ่มพื้นที่เพาะปลูกหรือแปลงทดลองที่คาดว่าจะตอบสนองต่อแนวทางการจัดการดินแบบเดียวกันได้

ระบบ FCC ให้ความสำคัญกับเนื้อดินของดินผิวดินในช่วงความลึก 0–20 เซนติเมตร และดินใต้ผิวดินในช่วง 20–50 เซนติเมตร รวมถึงข้อจำกัดทางเคมีและสถานะความชื้นของดินผิวดิน โดยมีการกำหนดอักษรแทนคุณสมบัติดินแต่ละประการ และกำหนดเกณฑ์เชิงปริมาณสำหรับข้อจำกัดทางเคมีหรือปัจจัยปรับปรุงดิน เมื่อนำตัวอักษรเหล่านี้มาผสมกัน จะได้หน่วย FCC ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตีความศักยภาพและข้อจำกัดของดินเพื่อการจัดการได้อย่างเป็นระบบ

แนวคิดคาทีนา (Catena approach)

แนวคิดคาทีนาเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการประเมินความเหมาะสมของดินและที่ดินอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น แนวคิดนี้อาศัยความรู้ด้านธรณีวิทยาและภูมิประเทศในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดินตามลำดับตำแหน่งบนภูมิประเทศ ตั้งแต่ยอดเขาลงมาจนถึงก้นหุบเขา ซึ่งมักพบว่าคุณสมบัติและลักษณะของดินมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ภายในลำดับคาทีนา การชะล้างและการไหลบ่าของน้ำจากพื้นที่ลาดชันมักส่งผลให้สารอาหารสะสมในบริเวณก้นหุบเขา ทำให้ดินบริเวณดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่า นักนิเวศวิทยาและนักภูมิศาสตร์ใช้แนวคิดนี้เพื่อเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงของดินกับพืชพรรณธรรมชาติ ขณะที่นักวิทยาศาสตร์ดินใช้เพื่อคาดการณ์ตำแหน่งของดินชนิดต่าง ๆ บนภูมิประเทศที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

ตัวอย่างของคาทีนาในเขตร้อนชื้นของไนจีเรียตะวันตกเฉียงใต้แสดงให้เห็นลำดับดินจากยอดเขา ความลาดชันบน ความลาดชันล่าง และพื้นที่หุบเขา โดยดินบนที่สูงมักเป็นดินต้นและอายุน้อย ขณะที่ดินบริเวณลาดชันกลางมีการผุพังลึกและเหมาะสมกับพืชยืนต้น เช่น โกโก้ ส่วนดินในก้นหุบเขามักมีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะสำหรับพืชผักหรือข้าวในฤดูฝน แนวคิดคาทีนาจึงมีบทบาทสำคัญในการวางแผนการใช้ที่ดินให้เหมาะสมกับชนิดพืชและสภาพแวดล้อม

การจัดกลุ่มแร่วิทยาของดินในเขตร้อน

ในบรรดาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน เนื้อดิน แร่ดินเหนียว และระดับความอิ่มตัวของเบส ถือเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินในเขตร้อน ดินที่มีเนื้อหยาบจะมีความสามารถในการกักเก็บน้ำต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด ขณะที่ดินที่มีสมทกไทต์เป็นแร่ดินเหนียวเด่นจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงกว่าดินที่มีเคโอลิไนต์หรือออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก

ระดับความอิ่มตัวของเบสยังเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญทั้งในด้านความอุดมสมบูรณ์และความเสี่ยงจากความเป็นกรดของดิน โดยเฉพาะการมีอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็นพิษต่อพืชอาหารหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ ผู้เขียนจึงเสนอการจัดกลุ่มดินเขตร้อนออกเป็นสี่กลุ่มหลักตามแร่วิทยาของดินเหนียว ได้แก่ ดินขาว ดินออกซิไดซ์ ดินอัลโลฟานิก และดินสมทกตติง และแบ่งย่อยตามสถานะเบสสูงและต่ำ

การจัดกลุ่มดังกล่าวตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่าเนื้อดินและแร่ดินเหนียวเป็นสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมพฤติกรรมทางกายภาพและเคมีอื่น ๆ ของดิน เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ความพรุน และการกักเก็บน้ำ อีกทั้งยังเป็นสมบัติที่มีความเสถียรและไม่เปลี่ยนแปลงง่ายจากกิจกรรมทางการเกษตร

โดยสรุป แผนการจำแนกดินทางเทคนิคเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านการใช้ การจัดการ และการอนุรักษ์ดินในเชิงปฏิบัติ แผนการเหล่านี้ไม่ได้มุ่งอธิบายกระบวนการเกิดดินอย่างละเอียด แต่เน้นการใช้คุณสมบัติดินที่สำคัญต่อการเกษตรและการพัฒนาเมือง ระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบ FCC แนวคิดคาทีนา และการจัดกลุ่มแร่วิทยาของดินในเขตร้อน ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงองค์ความรู้ด้านปฐพีวิทยากับการใช้ประโยชน์ดินอย่างยั่งยืน

8. Major Arable Soils of the Tropics: A Descriptive Grouping Based on Clay Mineralogy

การสำรวจและจำแนกดินเป็นกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลามาก เนื่องจากข้อมูลดินโดยละเอียดในระดับรัฐ จังหวัด หรือฟาร์มยังขาดแคลนในหลายพื้นที่เขตร้อน จึงสามารถจัดกลุ่มดินเขตร้อนหลัก ๆ อย่างง่ายตามลักษณะแร่ดินเหนียวได้

การเกิดของดินหลัก 4 กลุ่มมักเรียงลำดับดังนี้:

Allophanic → Kaolinitic → Smectitic → Oxidic soils

อย่างไรก็ตาม ศักยภาพทางการเกษตรเรียงลำดับต่างกันคือ:

Allophanic soils = Smectitic soils » Oxidic soils » Kaolinitic soils

8.1 ดิน Kaolinitic

ดินขาวหรือดินเคโอลไนด์เป็นดินที่ผ่านกระบวนการผุพังอย่างรุนแรงและยาวนาน พบได้อย่างแพร่หลายในเขตร้อน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศชื้นถึงกึ่งชื้น ดินชนิดนี้มักมีเนื้อดินเป็นทราย ทรายร่วน หรือดินร่วนปนทรายในชั้นดินบน ขณะที่ชั้นดินล่างหรือชั้นดิน B มีปริมาณดินเหนียวค่อนข้างสูง ประมาณ 20–60 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณตะกอนดิน (silt) ในดินขาวโดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ตลอดทั้งหน้าตัดดิน แร่ดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบหลักของดินขาวคือแร่เคโอลไนด์ ซึ่งมีสัดส่วนมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแร่ดินเหนียวทั้งหมด ส่งผลให้ดินชนิดนี้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ต่ำ โดยค่า CEC ที่มีประสิทธิภาพในชั้นดิน B ตอนล่างมักต่ำกว่า 12 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัมของดินเหนียว ลักษณะดังกล่าวสะท้อนถึงศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหารของดินที่ค่อนข้างจำกัด

ในด้านสมบัติทางกายภาพ ดินเคโอลไนด์มีความหนาแน่นรวมค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในชั้นดินเหนียวใต้ผิวดิน ซึ่งมักมีค่ามากกว่า 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โครงสร้างของชั้นดินใต้ผิวดินมักเป็นก้อนขนาดใหญ่หรือเป็นโครงสร้างแบบมวลแน่น ภายใต้สภาพพืชพรรณธรรมชาติ ดินขาวสามารถซึมผ่านน้ำได้ดี เนื่องจากมีช่องทางการไหลของน้ำที่เกิดจากรากพืชและกิจกรรมของสัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือนดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อพื้นที่ดังกล่าวถูกนำมาใช้เพาะปลูก ช่องว่างขนาดใหญ่เหล่านี้มักลดลงหรือหายไป ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลงอย่างชัดเจน

การกัดเซาะและการอัดตัวของดินจึงเป็นข้อจำกัดสำคัญในการจัดการดินเคโอลไนด์ โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ปลูกพืชล้มลุกหรือพืชไร่ประจำปี แม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าว ดินเคโอลไนด์ถือเป็นดินที่พบมากที่สุดในเขตร้อน และคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 ของดินที่สามารถนำมาใช้เพาะปลูกได้ ดินเคโอลไนด์ที่มีชั้นดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายร่วน และมีชั้นดินเหนียวสะสมอยู่ด้านล่าง พบได้ทั่วไปในเขตชื้นและกึ่งชื้นของเขตร้อน และโดยภาพรวมถือว่ามีความศักยภาพทางการเกษตรอยู่ในระดับปานกลาง

ตามระบบการจำแนกประเภทดิน ดินเคโอลไนด์ส่วนใหญ่จัดอยู่ในอันดับย่อยแคนดิก (kandic suborder) และกลุ่มใหญ่ของอัลฟิซอล (Alfisol) และอัลติซอล (Ultisol) นอกจากนี้ยังพบดินเคโอลไนด์ในวงศ์แร่ของเอนติซอล (Entisol) และอินเซ็ปติซอล (Inceptisol) พื้นที่การกระจายตัวของดินชนิดนี้ครอบคลุมบริเวณกว้างของแอฟริกาตะวันตกและแอฟริกาตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล และภาคตะวันตกเฉียงใต้ของอินเดีย ดินทรายเคโอลไนด์เป็นดินอีกกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะเฉพาะ โดยเกิดจากวัสดุต้นกำเนิดที่อุดมด้วยแร่ควอตซ์ เช่น หินทราย ควอตไซต์ และหินแกรนิตเนื้อหยาบ ดินกลุ่มนี้มีอนุภาคทรายควอตซ์มากกว่าร้อยละ 90 ที่ความลึก 60 เซนติเมตรหรือลึกกว่า ส่งผลให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารต่ำ จึงมีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างต่ำ ดินทรายเคโอลไนด์มักพบเป็นพื้นที่กว้างใหญ่จากการทับถมของทรายยุคควอเตอร์นารี และกระจายตัวในเขตกึ่งแห้งแล้งของแถบซูดาน-ซาเฮลเฉียงในแอฟริกาตะวันตก เช่น ทางตอนเหนือของประเทศเซเนกัล บุร์กินาฟาโซ ไนจีเรีย และตอนใต้ของประเทศไนเจอร์

สภาพภูมิอากาศในเขตซูดาน-ซาเฮลเลียนมีลักษณะฤดูฝนสั้นประมาณ 3-4 เดือน โดยมีการกระจายตัวของฝนแบบโมโนโมดัล พืชอาหารหลักที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าว ได้แก่ ข้าวฟ่างและถั่วลิสง ซึ่งเป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีต่อดินเหนียวและสภาพน้ำจำกัด

นอกจากนี้ ดินขาวทรายที่มีแร่โอโลไนต์เป็นองค์ประกอบหลักยังพบได้ในพื้นที่กว้างใหญ่ของแอ่งลุ่มน้ำอะเมซอนและคองโก ชายฝั่งแอฟริกาตะวันตก รวมถึงบางพื้นที่ในเอเชียเขตร้อน โดยเฉพาะบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดินขาวทรายเหล่านี้ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มเอนติซอลและอินเซ็ปติซอลที่มีเนื้อหยาบ และดินขาวบางส่วนอาจจัดอยู่ในกลุ่มอัลฟิซอล อัลติซอล หรือออกซิซอล ตามระบบการจำแนกประเภทดิน

8.2 ดิน Oxidic

ดินออกซิไดซ์หรือดินออกซิติกเป็นดินที่ผ่านกระบวนการผุพังอย่างรุนแรงมาก พบได้ทั่วไปในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น ลักษณะเด่นของดินชนิดนี้คือมีสีแดงหรือสีเหลือง ซึ่งสะท้อนถึงการสะสมของออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ในปริมาณสูง ดินออกซิไดซ์มักมีเนื้อดินละเอียด มีโครงสร้างดินที่ประกอบด้วยไมโครแอ็กเกรเกตขนาดเล็กที่มีความเสถียรสูงกระจายอยู่ตลอดทั้งหน้าตัดดิน ส่งผลให้ดินมีความพรุนดีและความหนาแน่นรวมค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 0.8-1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

แม้ว่าแร่ดินเหนียวหลักในดินออกซิไดซ์จะยังคงเป็นแร่โอโลไนต์ แต่คุณสมบัติที่สำคัญของดินชนิดนี้เกิดจากการมีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมในรูปของออกไซด์และไฮดรอกไซด์ขนาดเท่าดินเหนียวในปริมาณปานกลางถึงสูง โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณ Fe_2O_3 มากกว่าร้อยละ 5 ออกไซด์เหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก มักมากกว่า 100 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ดินออกซิไดซ์สีแดงส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ฮีมาไทต์ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีส่วนช่วยให้โครงสร้างดินมีความมั่นคง แข็งแรง และทนทานต่อการพังทลาย ขณะที่ดินออกซิไดซ์สีเหลืองมักมีแร่กอกไทต์เป็นองค์ประกอบหลักในสัดส่วนที่มากกว่า โดยดินกลุ่มนี้มีความสามารถในการตรึงฟอสเฟตสูง เนื่องจากพื้นที่ผิวจำเพาะของออกไซด์เหล็กและอะลูมิเนียมที่มีอยู่มาก คุณสมบัตินี้ถือเป็นปัจจัยจำกัดทางการเกษตรที่สำคัญ เนื่องจากทำให้ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย

โดยทั่วไป ดินออกซิไดซ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำค่อนข้างต่ำ มีปริมาณธาตุอาหารสำรองน้อย และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างดินที่เสถียรและการระบายน้ำที่ดีทำให้ดินชนิดนี้เหมาะสมต่อการพัฒนาระบบรากของพืช หากมีการจัดการดินและธาตุอาหารอย่างเหมาะสม

ตามระบบการจำแนกประเภทดิน ดินออกซิไดซ์จัดอยู่ในกลุ่มออกซิซอล (Oxisols) และยังพบดินที่มีสมบัติออกซิติกในกลุ่มอัลฟิซอล (Alfisols) และอัลติซอล (Ultisols) ดินออกซิไดซ์ถือเป็นดินที่พบมากเป็นอันดับสองในเขตร้อน รองจากดินเคโอโลไนต์ โดยมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างในภูมิภาคเซร์ราโด (Cerrado) ของประเทศบราซิล และบริเวณหุบเขาริฟต์แวลลีย์ในแอฟริกาตะวันออก

แม้ว่าดินออกซิไดซ์จะมีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะการขาดแคลนธาตุอาหารหลักและการตรึงฟอสฟอรัส แต่พื้นที่ดินออกซิไดซ์จำนวนมากสามารถพัฒนาเพื่อการเกษตรได้ หากมีการปรับปรุงดินอย่างเหมาะสม เช่น การใส่อินทรีย์วัตถุ การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพ และการเลือกปลูกพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีกับดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

8.3 ดิน Allophanic

นอัลโลฟานิกเป็นดินอายุน้อยสีเข้ม เกิดจากวัสดุต้นกำเนิดประเภทเถ้าภูเขาไฟเป็นหลัก ดินชนิดนี้มีความหนาแน่นต่ำมาก (< 0.9 มก./ลบ.ม.) มีความพรุนสูง และมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ดี แร่ดินเหนียวที่สำคัญ

ได้แก่ อัลโลเฟน ฮัลลอยไซต์ และอะลูมิเนียมซิลิเกตอสัณฐาน ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ดี

ดินอัลโลฟานิกมักมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับดินเขตร้อนชนิดอื่น แต่พบได้เฉพาะในบริเวณที่มีภูเขาไฟหรือเคยมีการระเบิดของภูเขาไฟในอดีต เช่น อเมริกากลาง แคริบเบียน หมู่เกาะแปซิฟิก อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ตามระบบการจำแนกดิน ดินอัลโลฟานิกจัดอยู่ในกลุ่มแอนดิสอล และอาจพบในอินเซปติซอล เอนดิสอล มอลลิซอล และอัลฟิซอลที่มีคุณสมบัติแอนดิก

ดินอัลโลฟานิก เช่นเดียวกับดินขาวและดินออกซิไดซ์ สามารถแบ่งย่อยออกเป็นดินที่มีสภาพต่างสูงและดินที่มีสภาพต่างต่ำ โดยพิจารณาจากระดับความอิ่มตัวของเบส ดินที่มีสภาพต่างสูงจะมีเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของเบสมากกว่าหรือเท่ากับ 70% และมีค่า pH ค่อนข้างสูง จึงเหมาะต่อการปลูกพืชมากกว่า ในขณะที่ดินที่มีสภาพต่างต่ำมักมีข้อจำกัดจากความเป็นกรด ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และการขาดธาตุอาหาร จำเป็นต้องมีการจัดการดินอย่างเหมาะสม เช่น การปรับปรุงดินด้วยปูนและการจัดการธาตุอาหารอย่างรอบคอบ

โดยสรุป ดินอัลโลฟานิกเป็นดินภูเขาไฟอายุน้อย มีความพรุนสูง กักเก็บน้ำและธาตุอาหารได้ดี และมีศักยภาพทางการเกษตรสูง แต่ความเหมาะสมในการเพาะปลูกขึ้นอยู่กับระดับความอิ่มตัวของเบสและการจัดการความเป็นกรดของดิน

8.4 ดิน Smectitic

ดินสเมกไทต์เป็นดินตะกอนที่มีเนื้อดินตั้งแต่ดินร่วนจนถึงดินเหนียว โดยมีแร่ดินเหนียวกลุ่มสเมกไทต์ในปริมาณปานกลางถึงมาก (ประมาณ 30% หรือมากกว่า) ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 ที่มีสมบัติเด่นคือการหดตัวและบวมตัวตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดิน นอกจากสเมกไทต์แล้ว อาจพบแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 อื่นๆ เช่น อิลไลต์ เวอร์มิคูไลต์ และคลอไรต์ในปริมาณเล็กน้อยถึงปานกลาง รวมทั้งอาจมีแร่เคโอลิไนต์ชนิด 1:1 ปะปนอยู่ในเศษดินเหนียวด้วย

ดินสเมกไทต์มีค่า CEC อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (ประมาณ 10–50 ไมโครโมลต่อกิโลกรัมดิน) มีระดับความอิ่มตัวของเบสสูง และมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ดีมาก ดินชนิดนี้มักเกิดจากวัสดุตะกอนน้ำที่อุดมด้วยไอออนบวก โดยเฉพาะแมกนีเซียม พบได้ทั่วไปในที่ราบลุ่มแม่น้ำ สามเหลี่ยมปากแม่น้ำ และแอ่งตะกอนภายในทวีปในเขตร้อนชื้น ดินสเมกไทต์ที่อุดมด้วยแร่ธาตุที่ทนต่อการผุพังพบเป็นบริเวณกว้างในเอเชียเขตร้อน และถือเป็นดินที่มีศักยภาพสูงมากสำหรับการปลูกข้าว เนื่องจากสามารถกักเก็บน้ำและธาตุอาหารได้ดี ในทางตรงกันข้าม ในเขตแห้งแล้ง ดินเหนียวสเมกไทต์มักพบเป็นบริเวณกว้างในรูปของดินเวอร์ติซอล ซึ่งมีลักษณะเด่นคือเกิดรอยแตกขนาดใหญ่ในช่วงฤดูแล้ง และมีความเหนียวสูงในฤดูฝน ทำให้การไถพรวนและการจัดการดินทำได้ยาก

ดินสเมกไทต์ยังพบในพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งที่มีน้ำท่วมตามฤดูกาล ซึ่งมักเรียกว่า “ดินกรดซัลเฟต” เนื่องจากการออกซิเดชันของเหล็กซัลไฟด์เป็นเหล็กซัลเฟตและกรดซัลฟิวริก ส่งผลให้ค่า pH ของดินลดลงอย่างรุนแรง (ต่ำกว่า 2.0) เมื่อดินแห้ง อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูฝน เมื่อดินถูกน้ำท่วมด้วยน้ำจืด เหล็กซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์กลับเป็นเหล็กซัลไฟด์ ทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 5.5 หรือสูงกว่า ในบางพื้นที่ เช่น เวียดนามและเชียร์ราลีโอน สภาพดังกล่าวเอื้อต่อการปลูกข้าวในฤดูฝน

ตามระบบการจำแนกดิน ดินสเมกไทต์ในเขตร้อนชื้นจัดอยู่ในกลุ่มเอนดิสอล อินเซปติซอล และอัลฟิซอลที่มีสถานะเบสสูง ส่วนในเขตแห้งแล้งพบในกลุ่มเวอร์ติซอล รวมทั้งเอนดิสอลและอินเซปติซอล ดินสเมกไทต์เป็นหนึ่งในสี่กลุ่มดินหลักของเขตร้อน ร่วมกับดินเคโอลิไนต์ ดินออกซิไดซ์ และดินอัลโลฟานิก โดยเรียงลำดับระดับการผุพังจาก

มากไปน้อยเป็น ดินเคโอไลไนต์ > ดินออกซิไดซ์ > ดินสเมกไทต์ > ดินอัลโลพานิก ในขณะที่ศักยภาพทางการเกษตรเรียงลำดับจากสูงไปต่ำเป็น ดินอัลโลพานิก $\approx$ ดินสเมกไทต์ > ดินออกซิไดซ์ >> ดินเคโอไลไนต์

โดยสรุป ดินสเมกไทต์เป็นดินเหนียวที่บวมและหดตัวได้ดี มี CEC และความอึดตัวของเบสสูง กักเก็บน้ำและธาตุอาหารได้ดี จึงมีศักยภาพทางการเกษตรสูง โดยเฉพาะการปลูกข้าว แต่มีข้อจำกัดด้านการจัดการดินจากความเหนียวในฤดูฝนและการแตกร้าวในฤดูแล้ง

9. Soil Management

คำว่า “การจัดการดิน” หมายถึงการจัดการโดยมนุษย์ต่อสภาพทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดินเพื่อการผลิตพืชหลัก งานหลักของการจัดการดินเพื่อการผลิตพืช ได้แก่

- (1) การไถพรวนและเตรียมแปลง
- (2) การเติมธาตุอาหารลงในดิน
- (3) การจัดการความชื้นในดิน และ
- (4) การรักษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

เกษตรกรในเขตร้อนชื้นใช้ทั้งวิธีดั้งเดิมและสมัยใหม่ เช่น การเกษตรแบบสับและเผา การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และเคมี การปลูกพืชหมุนเวียน การไถพรวนอนุรักษ์ดิน ระบบชลประทาน และการระบายน้ำ อย่างไรก็ตาม การเลือกวิธีจัดการดินขึ้นอยู่กับสภาพดินและภูมิอากาศ ระบบการปลูกพืช และที่สำคัญที่สุดคือความพร้อมของทรัพยากร

ขอบเขตของการจัดการดินไม่ได้จำกัดเฉพาะระดับแปลงหรือฟาร์มเท่านั้น จากมุมมองทางอุทกวิทยาและวงจรธาตุอาหาร การรักษามลผลผลิตในระยะยาวจำเป็นต้องใช้แนวทางการจัดการพื้นที่แบบองค์รวม โดยใช้ลุ่มน้ำเป็นหน่วยการจัดการพื้นฐาน

9.1 การไถพรวนและเตรียมแปลง Tillage and seedbed preparation

วัตถุประสงค์หลักของการไถพรวนดิน ได้แก่

- (1) การคลายดินที่อัดแน่น เพื่อเอื้อต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของรากพืช โดยช่วยเพิ่มการถ่ายเทอากาศและการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน
 - (2) การกำจัดวัชพืชก่อนปลูก รวมถึงการควบคุมการเจริญเติบโตของวัชพืชในระหว่างฤดูเพาะปลูก
- ในเขตร้อน มีการใช้วิธีการไถพรวนดินที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับชนิดดิน ระบบการปลูกพืช และทรัพยากรที่เกษตรกรมี โดยวิธีที่พบทั่วไป ได้แก่

- การถางและเผาพื้นที่ แล้วหว่านเมล็ดลงในหลุมที่เจาะด้วยไม้แหลมบนผิวดินที่ยังมีความพรุน
- การถางและเผา ตามด้วยการกองดินหรือขุดร่องดินที่อัดแน่นด้วยจอบมือ
- การไถ คราด และพรวนดินในนาข้าวชลประทาน โดยใช้ควายนํ้าหรือรถไถเดินตามสองล้อ
- การไถพรวนบนสันเขา โดยใช้แรงงานคน สัตว์ หรือรถแทรกเตอร์ บนดินแข็ง ดินอัดแน่น หรือดินเหนียวที่ระบายน้ำได้ไม่ดี
- การไถพรวนแบบขั้นต่ำหรือแบบแถบ โดยใช้เศษพืชคลุมดิน เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบและพื้นที่ลาดชัน
- การไถพรวนแบบธรรมชาติ (ไถและคราด) บนพื้นที่ราบที่มีดินเนื้อละเอียด
- การไถพรวนขั้นต่ำร่วมกับพืชคลุมดินในระบบเกษตรผสมผสานหรือระบบวนเกษตร

การเลือกวิธีการไถพรวนไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพดินในช่วงปลูกเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับระบบการปลูกพืช และทรัพยากรของเกษตรกรด้วย ในระบบเกษตรกรรมแบบถางป่าเผาไร่ดั้งเดิมในเขตร้อนชื้น การไถพรวนดินมักทำใน

ระดับต่ำ วัชพืชก่อนงอกถูกกำจัดด้วยการเผา ส่วนวัชพืชที่เกิดภายหลังจะควบคุมด้วยการพรนดินด้วยมือ ซึ่งทำให้การเตรียมดินและการควบคุมวัชพืชเป็นงานที่ใช้แรงงานสูงมาก

ในเขตร้อนกึ่งชื้นและกึ่งแห้งแล้ง ดินผิวดินมักเกิดเปลือกแข็งหลังฤดูแล้งยาวนาน ส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำฝนลดลง และเกิดการไหลบ่าและการชะล้างในฤดูฝน การงอกของเมล็ดพืชมักได้รับผลกระทบจากภาวะแห้งแล้งบนพื้นที่ลาดชัน หรือจากน้ำท่วมขังชั่วคราวในแอ่งต่ำ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงนิยมทำสันดินสูงประมาณ 0.5 เมตร ด้วยจอบมือ แรงงานสัตว์ หรือเครื่องจักรกล และหว่านเมล็ดลงบนสันดิน การไถพรนบนสันดินไม่เพียงช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน แต่ยังช่วยลดปัญหาน้ำท่วมขังชั่วคราวในช่วงฝนตกหนัก วิธีนี้นิยมใช้กับพืช เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด และถั่วพุ่ม ในเขตกึ่งชื้นและกึ่งแห้งแล้ง

ในนาข้าวชลประทาน การเตรียมแปลงเพาะเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในระบบปักดำและการหว่านข้าวโดยตรง หลังการเก็บเกี่ยวจะมีการระบายน้ำออกจากนา จากนั้นไถและคราดในดินที่ระบายน้ำแล้ว เพื่อให้ดินเกิดการเติมอากาศและออกซิเดชัน ก่อนจะปล่อยน้ำกลับเข้าแปลงอีกครั้งสำหรับการปลูกข้าว นาที่ถูกน้ำท่วมจะถูกพรนและ “อัดน้ำ” เพื่อสลายก้อนดินและมวลรวม ช่วยให้การปักดำทำได้ง่ายขึ้น และลดการสูญเสียน้ำจากการซึมผ่าน การไถพรนในนาข้าวชลประทานมักใช้ควายนํ้าหรือรถไถสองล้อ น้ำท่วมยังช่วยควบคุมวัชพืชได้ดี ส่วนวัชพืชนํ้าและกึ่งน้ำควบคุมด้วยแรงงานคนหรือสารกำจัดวัชพืช

สำหรับพืชไม้ยืนต้นและพืชสวนมูลค่าสูง เช่น กาแฟ กล้วย อ้อย สับปะรด ยางพารา ปาล์มนํ้ามัน และมะพร้าว การไถพรนและเตรียมดินด้วยเครื่องจักรถูกนำมาใช้มากในดินอัลโลพานิกและดินออกซิไดซ์ในเขตร้อนชื้น การเลือกวิธีปรับพื้นที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการปรับพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดการพังทลาย การอัดตัวของดิน และการสูญเสียอินทรีย์วัตถุ การปรับพื้นที่ด้วยมือถือเป็นวิธีที่ปลอดภัยที่สุด ส่วนการใช้รถดันต้นไม้ที่ติดใบมีดเฉือนจะก่อให้เกิดการรบกวนดินน้อยกว่าการใช้รถดันดิน ซึ่งควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง การปลูกพืชคลุมดิน เช่น *Mucuna* หรือ *Pueraria* หลังการเคลียร์พื้นที่ทันที ช่วยลดการไหลบ่า การพังทลาย และช่วยฟื้นฟูโครงสร้างและกิจกรรมทางชีวภาพของดิน

ในบางพื้นที่ เช่น ภูมิภาคเซอร์ราโดของบราซิล และพื้นที่สูงในแอฟริกาตะวันออกและแอฟริกากลาง มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เพื่อผลิตข้าวโพดและถั่วเหลืองบนดินออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตาม การใช้การไถพรนแบบธรรมดา (ไถและคราด) อย่างต่อเนื่องบนดินเคโอไลไนต์ อาจนำไปสู่การกัดเซาะอย่างรุนแรงและการลดลงของผลผลิตในระยะยาว

โดยสรุป การไถพรนดินมีบทบาทสำคัญต่อการงอกของพืช การควบคุมวัชพืช และการจัดการน้ำในแปลงเพาะปลูก โดยวิธีการไถพรนต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดดิน สภาพภูมิอากาศ ระบบการปลูก และทรัพยากรของเกษตรกร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดผลกระทบต่อโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

9.2 การทดแทนธาตุอาหารในดิน Replenishing soil nutrients

ในระบบนิเวศธรรมชาติ เช่น ป่าไม้และทุ่งหญ้า ธาตุอาหารจะมีการหมุนเวียนและนำกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การสูญเสียธาตุอาหารออกจากระบบมีน้อยมาก ตรงกันข้ามกับระบบนิเวศทางการเกษตร ซึ่งมีการนำผลผลิตออกจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างต่อเนื่องผ่านการเก็บเกี่ยว อีกทั้งในบางช่วงของปีดินมักถูกปล่อยให้โล่งหรือมีพืชปกคลุมไม่เพียงพอ ทำให้ธาตุอาหารในดินสูญเสียไปจากการไหลบ่าของน้ำผิวดิน การชะล้าง และการกัดเซาะ รวมถึงการเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินและลำธาร ดังนั้น การเติมและจัดการธาตุอาหารในดินจึงเป็นภารกิจสำคัญของการจัดการดินในระบบเกษตร โดยเฉพาะในเขตร้อน

วิธีการเติมธาตุอาหารที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ การใช้ปุ๋ยสัตว์และปุ๋ยคอก การทำปุ๋ยหมัก การใช้ปุ๋ยพืชสดและพืชคลุมดิน การจัดการเศษซากพืช และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยคอกและมูลสัตว์เป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะ

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ธาตุอาหารในปุ๋ยคอกมีทั้งในรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถดูดใช้ได้ทันที และในรูปสารอินทรีย์ซึ่งต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายก่อน จึงทำหน้าที่เหมือนปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ ช่วยลดการสูญเสียจากการชะล้าง นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยคอกอย่างสม่ำเสมอช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดิน เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเกาะตัวของดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

ปุ๋ยหมักเป็นอีกแหล่งหนึ่งของธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่มีคุณภาพ กระบวนการทำปุ๋ยหมักช่วยลดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ ส่งผลให้ไนโตรเจนถูกปลดปล่อยในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยกำจัดเมล็ดวัชพืช ศัตรูพืช และเชื้อโรค อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากขยะเทศบาลจำเป็นต้องคำนึงถึงความเสี่ยงจากการปนเปื้อนโลหะหนัก

ปุ๋ยพืชสดและพืชคลุมดิน โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินผ่านกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ นอกจากการเป็นแหล่งธาตุอาหารแล้ว พืชเหล่านี้ยังช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ลดการไหลบ่าของน้ำ และส่งเสริมกิจกรรมทางชีวภาพในดิน แม้ว่าการใช้ปุ๋ยพืชสดจะลดลงในบางพื้นที่เนื่องจากการเข้าถึงปุ๋ยเคมีที่สะดวกขึ้น แต่ความสนใจได้กลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากผลกระทบด้านลบของการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่อง เช่น ดินเป็นกรดและการลดลงของอินทรีย์วัตถุในดิน

การจัดการเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นแนวทางสำคัญในการคืนธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุสู่ดิน เศษซากพืชที่ย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุอาหารและก่อให้เกิดฮิวมัส ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติของดิน อัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินและคุณภาพของเศษซากพืช โดยเศษซากจากพืชตระกูลถั่วมักย่อยสลายได้เร็วกว่าพืชตระกูลธัญพืช ในระบบเกษตรแบบอนุรักษ์ เศษซากพืชมักถูกใช้เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อช่วยรักษาความชื้น ควบคุมอุณหภูมิของดิน และลดการเจริญของวัชพืช อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ โดยเฉพาะเขตร้อนกึ่งแห้งแล้ง เศษซากพืชมักถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรือเชื้อเพลิง ทำให้การคืนอินทรีย์วัตถุสู่ดินมีจำกัด

ปุ๋ยอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการรองรับความต้องการธาตุอาหารของพืชภายใต้การเพาะปลูกแบบเข้มข้น โดยเฉพาะเมื่อดินและแหล่งธาตุอาหารอินทรีย์ไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างไม่เหมาะสม โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงอย่างต่อเนื่อง อาจก่อให้เกิดปัญหาดินเป็นกรดและความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและแมงกานีสในดิน ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ ควบคู่กับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการจัดการพืชผลที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางที่ยั่งยืนในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและเสถียรภาพของผลผลิตในระยะยาว

9.3 การจัดการความชื้นในดิน Soil moisture management

การดูดซับธาตุอาหารของพืชเกิดขึ้นผ่านสารละลายในดิน ดังนั้น การรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดช่วงฤดูปลูกจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืช อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่เขตร้อนชื้นและกึ่งแห้งแล้ง ปัญหาการขาดความชื้นในดินพบได้บ่อย เนื่องจากดินหลายชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เช่น ดินขาว ดินออกซิไดซ์ และดินทราย ประกอบกับอัตราการระเหยของน้ำที่สูง และรูปแบบการกระจายของฝนที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งในด้านปริมาณและระยะเวลา

ในการปลูกพืชแบบอาศัยน้ำฝนบนพื้นที่สูง เป้าหมายหลักของการจัดการความชื้นในดิน คือ การเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่สามารถซึมลงสู่ดิน และการรักษาความชื้นในดินให้อยู่ใกล้ระดับความจุของดินให้นานที่สุดในช่วงฤดูการเจริญเติบโต แนวทางที่ใช้กันทั่วไปในเขตร้อน ได้แก่ การปลูกพืชคลุมดินเพื่อลดการไหลบ่าของน้ำผิวดิน การคลุมดินด้วยเศษซากพืชหรือแผ่นพลาสติกเพื่อลดการระเหย การไถพรวนดินอย่างเหมาะสมเพื่อปรับปรุงการซึมผ่านของน้ำฝน และลดการสูญเสียน้ำ รวมถึงการสร้างคันกั้นน้ำหรือขั้นบันไดในพื้นที่ลาดชัน นอกจากนี้ การกำจัดวัชพืช การปลูกแนว

กันลม การเลือกปลูกพืชที่มีอัตราการคายน้ำต่ำ การปลูกพืชให้สอดคล้องกับต้นฤดูฝน และการปรับความหนาแน่นของการปลูก ล้วนเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความชื้นในดิน

ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งของแอฟริกา การปลูกพืชเร็วในช่วงต้นฤดูฝนและการปลูกพืชไร่ในความหนาแน่นต่ำ เช่น ข้าวฟ่าง เป็นวิธีการที่ช่วยใช้ประโยชน์จากความชื้นในดินที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคลุมดินด้วยเศษซากพืชยังช่วยเพิ่มการกักเก็บความชื้นและลดความเครียดจากภาวะแห้งแล้ง โดยเฉพาะในระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืช ขณะที่ในเอเชียเขตร้อน การใช้พลาสติกคลุมดินแพร่หลายในระบบพืชสวนบนแปลงยกสูง เนื่องจากช่วยลดการระเหยของน้ำ ควบคุมวัชพืช และรักษาความชื้นในดินได้ดี

การไถพรวนดินมีบทบาทสำคัญต่อการจัดการความชื้น โดยในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง เช่น ไร่นาในแอฟริกาตะวันตก มักแนะนำให้ไถพรวนดินลึกประมาณ 20–30 เซนติเมตรในช่วงปลายฤดูฝน เพื่อช่วยลดการระเหยและรักษาความชื้นในชั้นดินล่าง สำหรับดินที่แข็งหรืออัดแน่น การไถพรวนดินแบบเบาสามารถช่วยเพิ่มการซึมของน้ำฝนได้ ในเขตร้อนชื้น การใช้ระบบไถพรวนแบบไม่ไถพรวนร่วมกับการคลุมดินจากเศษพืชในดินเนื้อปานกลางถึงหยาบ ช่วยปรับปรุงการซึมผ่านของน้ำและลดการสูญเสียน้ำจากการระเหย ทั้งนี้ การควบคุมวัชพืชในระบบดังกล่าวอาจทำได้ด้วยแรงงานคน สารเคมี หรือการใช้วัสดุคลุมดินในปริมาณที่เพียงพอ

การปลูกแนวกันลมเป็นอีกแนวทางหนึ่งช่วยลดการระเหยของน้ำในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง โดยควรปลูกแนวกันลมในทิศทางตั้งฉากกับลมแรงหลัก ไม้ที่ใช้มักเป็นไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่มที่มีรากลึกและไม่เป็นที่ชอบกินของสัตว์เลื้อย พืชผลที่ปลูกในพื้นที่แห้งแล้งมักมีลักษณะทางสรีรวิทยาที่ทนทานต่อภาวะขาดน้ำ เช่น ข้าวฟ่างและข้าวฟ่างมุก ซึ่งมีรากลึกและอายุสั้น เหมาะกับพื้นที่ที่มีฤดูฝนสั้น ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำและไม่แน่นอน ยังมีการปลูกพืชที่สามารถเข้าสู่ภาวะพักตัวในช่วงฤดูแล้งและฟื้นตัวเมื่อฝนกลับมา เช่น ข้าวฟ่างบางชนิดและพืชตระกูลถั่วหลายชนิด รวมถึงไม้ยืนต้นและไม้พุ่มรากลึกที่ใช้เป็นอาหารหรืออาหารสัตว์

การเก็บกักน้ำฝนเป็นกลยุทธ์เสริมที่สำคัญในการเพิ่มความชื้นในดิน โดยใช้โครงสร้างทางกายภาพ เช่น สันเขา เขื่อนกั้นน้ำ ชั้บบันได และแอ่งน้ำขนาดเล็กบนพื้นที่ลาดชัน การปลูกพืชคลุมดินตามแนวเส้นชั้นความสูง เช่น หญ้าแฝก ซึ่งมีระบบรากลึก ช่วยลดการชะล้างพังทลายของดินและเพิ่มการซึมของน้ำ แนวทางเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการอนุรักษ์น้ำและดิน โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนที่มีข้อจำกัดด้านน้ำและแรงกดดันต่อทรัพยากรดินสูง

9.4 การคงไว้ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดิน Maintenance of soil organic matter

อินทรีย์วัตถุในดินเป็นคาร์บอนที่ครอบคลุมส่วนผสมที่ซับซ้อนของสารประกอบอินทรีย์สายยาวหรือโครงสร้างแบบวงแหวน รวมถึงจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ในดิน อินทรีย์วัตถุเหล่านี้สามารถจำแนกออกเป็นสามกลุ่มหลัก ได้แก่ อินทรีย์วัตถุเก่าหรือฮิวมัส อินทรีย์วัตถุอายุน้อย และเศษซากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่อยู่ระหว่างกระบวนการย่อยสลาย ฮิวมัสเป็นองค์ประกอบที่มีความเสถียรสูงและทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์มากที่สุด ขณะที่อินทรีย์วัตถุอายุน้อยและเศษซากอินทรีย์ที่ย่อยสลายบางส่วนมีความไวต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีมากกว่า และมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน อินทรีย์วัตถุทั้งสองกลุ่มมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารของดิน อย่างไรก็ตาม เศษซากพืชและสัตว์สดที่ยังไม่ผ่านการย่อยสลายไม่ถือเป็นส่วนหนึ่งของอินทรีย์วัตถุในดินโดยสมบูรณ์

องค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในระบบนิเวศธรรมชาติมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องผ่านกระบวนการทางชีวเคมีแบบพลวัต ได้แก่ การย่อยสลาย การเปลี่ยนรูป และการทำให้เป็นแร่ธาตุ ในระบบนิเวศที่อยู่ในสภาวะคงตัว เช่น ป่าที่เจริญเติบโตเต็มที่หรือทุ่งหญ้าธรรมชาติ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะค่อนข้างคงที่ แม้จะมีความแปรผันตามฤดูกาลและรอบการย่อยสลายก็ตาม

ปริมาณและคุณภาพของอินทรีย์วัตถุในดินถูกกำหนดโดยปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและการจัดการของมนุษย์ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ เนื้อดิน แร่ดินเหนียว การไถพรวนและการกัดเซาะ รวมถึงการไถพรวนและการจัดการเศษซากพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมักคำนวณจากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยใช้ตัวคูณเชิงประจักษ์ 1.725 ภายใต้สมมติฐานว่าอินทรีย์วัตถุมีคาร์บอนประมาณ 58% คุณภาพของอินทรีย์วัตถุสามารถประเมินได้จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) โดยอินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วน C/N ต่ำกว่า 10 จะถูกทำให้เป็นแร่ธาตุได้ง่ายและปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ขณะที่อินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วน C/N สูงกว่า 10 จะมีความเสถียรและทนต่อการย่อยสลายมากกว่า

โดยทั่วไป ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินภายใต้ป่าและทุ่งหญ้าธรรมชาติมักสูงกว่าพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากการไถพรวนและการสูญเสียดินจากการกัดเซาะน้อยกว่า นอกจากนี้ ระบบนิเวศธรรมชาติยังสามารถกักเก็บคาร์บอนจำนวนมากไว้ในชีวมวลเหนือดิน การเปลี่ยนพื้นที่ป่าเขตร้อนหรือทุ่งหญ้าเป็นพื้นที่เกษตรกรรมจึงมักส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งเชื่อมโยงกับปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ความสามารถในการกักเก็บอินทรีย์วัตถุในดินยังขึ้นอยู่กับเนื้อดินและแร่วิทยาของดินเหนียว ดินทรายและดินขาวมีพื้นที่ผิวและช่องว่างขนาดเล็กสำหรับยึดเกาะอินทรีย์วัตถุน้อย จึงสูญเสียอินทรีย์วัตถุได้ง่าย ในทางตรงกันข้าม ดินอัลโลฟานิก ดินสเมกไทต์ และดินออกซิไดซ์มีพื้นที่ผิวสูงและช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมาก จึงสามารถปกป้องอินทรีย์วัตถุจากการย่อยสลายได้ดีกว่า

การไถพรวนมีผลโดยตรงและโดยอ้อมต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยช่วยเร่งการย่อยสลายของเศษซากพืชจากการผสมอินทรีย์วัตถุลงในดิน และการสลายตัวของมวลรวมดิน ซึ่งทำให้อินทรีย์วัตถุที่เคยถูกปกป้องถูกเปิดเผยต่อการย่อยสลาย นอกจากนี้ การไถพรวนยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการกัดเซาะของดิน ส่งผลให้ดินชั้นบนที่อุดมไปด้วยอินทรีย์วัตถุสูญหายไป การใช้ระบบไถพรวนขั้นต่ำหรือไม่ไถพรวนร่วมกับการคลุมดินจึงพบว่าสามารถรักษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ดีกว่าการไถพรวนแบบดั้งเดิม

ชนิดและปริมาณของวัสดุอินทรีย์ที่เติมลงสู่ดินมีอิทธิพลต่ออินทรีย์วัตถุในดินมากกว่าปัจจัยด้านเนื้อดินหรือการไถพรวน การนำเศษพืช ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักกลับคืนสู่ดินอย่างสม่ำเสมอช่วยรักษาระดับอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในช่วงที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืช แม้จะไม่สามารถทดแทนระดับอินทรีย์วัตถุในระบบนิเวศธรรมชาติได้ทั้งหมดก็ตาม เศษซากพืชที่มีอัตราส่วน C/N สูง เช่น เศษธัญพืช จะย่อยสลายช้าและช่วยสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน ขณะที่วัสดุที่มีอัตราส่วน C/N ต่ำ เช่น ปุ๋ยพืชสดจากพืชตระกูลถั่ว จะย่อยสลายเร็วและปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้อย่างรวดเร็ว การจัดการดินที่เหมาะสมเพื่อรักษาอินทรีย์วัตถุในดินควรเน้นการลดการไถพรวน การนำเศษพืชหลังการเก็บเกี่ยวกลับคืนสู่ดินในรูปวัสดุคลุมดิน และการใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือวัสดุอินทรีย์จากแหล่งต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง แนวทางเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการคงไว้ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเสริมสร้างคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินในระบบเกษตรเขตร้อนอย่างยั่งยืน

9.5 แนวทางจัดการดินและน้ำในระดับภูมิประเทศ Landscape approach to soil and water management

การรักษาผลผลิตของดินในระยะยาวเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนที่ดินมีความเปราะบางต่อการเสื่อมโทรม แนวคิดการจัดการดินสมัยใหม่จึงมุ่งเน้นมุมมองเชิงภูมิทัศน์ (landscape perspective) และการหมุนเวียนธาตุอาหารในระดับระบบ ซึ่งเป็นแนวทางแบบองค์รวมที่ไม่จำกัดขอบเขตอยู่เพียงแปลงเพาะปลูกหรือฟาร์มเท่านั้น แต่ครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำและลำดับขั้นของภูมิประเทศ

ในพื้นที่ชุ่มน้ำเขตร้อนชื้น ภูมิภาคนี้มักมีลักษณะเป็นเนินลูกคลื่น โดยดินจะแตกต่างกันอย่างชัดเจนตามตำแหน่งความลาดชันภายในระยะทางสั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ในเขตกึ่งชื้นและกึ่งแห้งแล้งของแอฟริกาตะวันตก ดินบริเวณสันเนินมักมีความลึกตื้นและพัฒนาน้อย (Inceptisols) ขณะที่ดินบริเวณลาดกลางมีความลึกและการระบายน้ำดีกว่า (Kaolinitic Alfisols) และดินบริเวณก้นหุบเขามักมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าและมีการอุ้มน้ำตามฤดูกาล (Smectitic Alfisols และ Entisols) ความแตกต่างของดินตามลำดับชั้นภูมิประเทศนี้มีนัยสำคัญต่อการวางแผนการใช้ที่ดินและการจัดการดินอย่างยั่งยืน

ในพื้นที่ชื้นและกึ่งชื้น แนวทางการจัดการดินควรเน้นการคงสภาพการปกคลุมของพืชตลอดทั้งปี ร่วมกับการเสริมธาตุอาหาร โดยเฉพาะไอออนเบสที่แลกเปลี่ยนได้ และการจัดการธาตุอาหารในรูปที่ละลายน้ำได้ การวางแผนการใช้ที่ดินตาม “ลำดับชั้นภูมิประเทศของดิน” ควรประกอบด้วยการปลูกป่าในบริเวณสันเนิน การปลูกพืชอาหารหรือพืชเศรษฐกิจประจำปีและไม้ยืนต้นในบริเวณลาดกลางโดยใช้การไถพรวนน้อยที่สุด และการปลูกพืชอาหารและพืชผักแบบเข้มข้นในบริเวณที่ลุ่ม พร้อมระบบควบคุมน้ำที่เหมาะสม ทั้งการชลประทานและการระบายน้ำ ระบบการใช้ที่ดินในลักษณะนี้ไม่เพียงช่วยลดการไหลบ่าและการพังทลายของดินเท่านั้น แต่ยังช่วยรักษาความสมดุลของระบบอุทกวิทยาภายในลุ่มน้ำขนาดเล็กอีกด้วย

ตัวอย่างที่ชัดเจนอีกกรณีหนึ่งคือภูมิภาคเก่าแก่และมีเสถียรภาพทางธรณีวิทยาของแคว้นเซร์ราโดหรือเขตสะวันนาของบราซิล ซึ่งดินออกซิโดซ์ที่แผ่กระจายอย่างลึก (Oxisols) มักพบในพื้นที่ราบหรือบริเวณตอนบนและตอนกลางของภูมิภาคแบบลำดับชั้นโทโพเซนซ์ ส่วนดินเคโอลิไนต์ที่มีการระบายน้ำดี (Alfisols) จะพบมากในบริเวณลาดต่ำและก้นหุบเขา เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำและการเลี้ยงปศุสัตว์แบบความหนาแน่นต่ำ ภูมิภาคนี้จึงเคยมีการทำเกษตรแบบไร้เลื่อนลอยในระดับจำกัด

อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการขยายการผลิตพืชอาหารประจำปีในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เครื่องจักรกลบนดินออกซิโดซ์ที่มีโครงสร้างดินดีและมีปริมาณน้ำฝนเหมาะสม การผลิตดังกล่าวต้องพึ่งพาปัจจัยการผลิตจากภายนอกจำนวนมาก โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเคมีบนดินเคโอลิไนต์ในบริเวณเชิงเขาและพื้นที่หุบเขาแคบ ๆ ขณะที่การคงไว้ซึ่งพืชพรรณธรรมชาติดั้งเดิมในบางพื้นที่ยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการกัดเซาะแบบร่องน้ำและการเสื่อมโทรมของดิน

โดยสรุป การจัดการดินในเขตร้อนอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างดิน ภูมิประเทศ และการใช้ที่ดินในระดับภูมิทัศน์ การวางแผนการใช้ที่ดินตามลำดับชั้นภูมิประเทศไม่เพียงช่วยรักษาผลผลิตของดินในระยะยาว แต่ยังเป็นกลไกสำคัญในการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน น้ำ และความสมบูรณ์ของระบบนิเวศโดยรวม

10. Properties and Management of Kaolinitic Soils

ดิน Kaolinitic ดิน Kaolinitic เป็นดินที่แพร่หลายมากที่สุดในเขตร้อน โดยเฉพาะในพื้นที่แถบทวีปแอฟริกาใต้ทะเลทรายสะฮารา (Sub-Saharan Africa) ดินชนิดนี้เป็นฐานรองรับของสองป่าดิบชื้นที่ใหญ่ที่สุดในโลก ได้แก่ ป่าฝนอมซอนและป่าฝนคองโก ภายใต้การเพาะปลูกทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง ดินเหล่านี้มักประสบปัญหาการชะล้างพังทลาย การทับถม และความเป็นกรดที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การรักษาระดับอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จึงเป็นงานที่สำคัญที่สุดในการจัดการดินเพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืนบนดิน Kaolinitic

กลยุทธ์ที่มีแนวโน้มดีสำหรับดินที่มีค่าเบสสูงในเขตกึ่งชื้น ได้แก่ การไถพรวนน้อยที่สุดร่วมกับการใช้เศษพืชคลุมดิน การปล่อยที่ดินให้กลับฟื้นคืน การปลูกพืชในแปลงขนาดเล็ก และการใช้ธาตุอาหารจากทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ร่วมกัน

สำหรับดินที่มีค่าเบสต่ำในเขตชื้นที่มีปริมาณฝนสูง ระบบการผลิตอาหารและเส้นใยที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พืชยืนต้นขนาดใหญ่ ระบบพืชหัว ระบบวนเกษตรในไร่ขนาดเล็ก และสวนครัวแบบหลายชั้น

ในเขตกึ่งแห้งแล้ง ดินทรายสีชาวมักแข็งตัว ผิวหน้าดินเกิดการปิดผิว และเสี่ยงต่อการถูกลมพัดพังทลาย เนื่องจากขาดการเติมอินทรีย์วัตถุ ในสภาพแวดล้อมเช่นนี้ การปลูกพืชธัญพืชหมุนเวียนกับพืชตระกูลถั่ว ตามด้วยช่วงพักฟื้นตามธรรมชาติอย่างเพียงพอ อาจเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และจัดหาทุ่งหญ้าอาหารสัตว์ภายใต้เงื่อนไขเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน

จากประสบการณ์ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ดิน Kaolinitic ไม่เหมาะต่อการทำเกษตรกรรมเชิงกลขนาดใหญ่ ดังนั้น การวิจัยและพัฒนาควรมุ่งเน้นไปที่การรักษาผลผลิตพืชในระบบเกษตรของเกษตรกรรายย่อยบนพื้นที่เกษตรที่มีอยู่ โดยใช้ปัจจัยการผลิตทั้งแบบอินทรีย์และอนินทรีย์ร่วมกัน การเปลี่ยนพื้นที่ป่าฝนเขตร้อนเป็นพื้นที่เกษตรเพิ่มเติมจะทำให้ระบบนิเวศป่าถูกทำลาย เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และส่งผลกระทบต่อวัฏจักรน้ำและคาร์บอนของโลก

ดังนั้น การพัฒนาทางเลือกที่ยั่งยืนแทนระบบเกษตรดั้งเดิมจึงเป็นสิ่งจำเป็น หากสามารถเผชิญกับความท้าทายนี้ได้สำเร็จ ประโยชน์ที่เกิดขึ้นจะไม่เพียงช่วยให้ผู้คนนับล้านสามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานได้เท่านั้น แต่ยังช่วยให้ป่าฝนเขตร้อนดำรงอยู่ต่อไปได้ด้วย นโยบายการใช้ที่ดินที่สอดคล้องกันทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ โดยมีพื้นฐานจากความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับขีดความสามารถทางนิเวศของดินที่ผ่านการผุพังรุนแรงเหล่านี้ ถือเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาความกลมกลืนและความสมดุลระหว่างมนุษย์และธรรมชาติ

10.1 คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ดิน Kaolinitic Properties and use of Kaolinitic Soils

ดินเคโอลิไนต์หรือดินขาวสามารถจำแนกออกเป็นสองกลุ่มย่อยตามระดับความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีโดยธรรมชาติ ได้แก่ ดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสสูงและดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสต่ำ ดินที่มีสถานะเบสสูงโดยทั่วไปจะมีค่า pH ตั้งแต่ 5.3 ขึ้นไป (วัดในน้ำที่อัตราส่วนดินต่อน้ำ) และมีค่าความอิ่มตัวของเบส (Base Saturation: BS) ตั้งแต่ 70% ขึ้นไปตลอดหน้าตัดดิน โดยคำนวณจากค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่มีประสิทธิภาพ (Effective Cation Exchange Capacity: ECEC) ในขณะที่ดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสต่ำมักมีค่า pH 5.2 หรือต่ำกว่า และมีค่าความอิ่มตัวของเบสต่ำกว่า 70%

ดินเคโอลิไนต์ทั้งสองกลุ่มมีลักษณะร่วมกันคือ มีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบหลักในเศษดินเหนียว มีค่า CEC ต่ำ และมีอินทรีย์วัตถุสะสมในชั้นดินใต้ผิวดินค่อนข้างจำกัด อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างดินทั้งสองประเภทอยู่ที่องค์ประกอบของไอออนบนจุดแลกเปลี่ยนแคตไอออน โดยดินที่มีสถานะเบสต่ำจะมีอะลูมิเนียม (Al^{3+}) เป็นไอออนหลักบนจุดแลกเปลี่ยน ส่งผลให้เกิดความเป็นกรดของดินและความเป็นพิษของอะลูมิเนียม ในขณะที่ดินที่มีสถานะเบสสูงจะมีแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นไอออนเด่น และมีความเป็นกรดจากไฮโดรเจน (H^+) ในระดับต่ำกว่า แหล่งกำเนิดกรดในดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสต่ำส่วนใหญ่มาจากอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ขณะที่ดินที่มีสถานะเบสสูงมักมีความหนาแน่นรวมของดินต่ำกว่า เนื่องจากการสะสมอินทรีย์วัตถุจากเศษซากพืชและกิจกรรมการย่อยสลายของชีวมวลในระบบนิเวศป่า

ในด้านการใช้ประโยชน์ ดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสสูง ซึ่งมักจัดอยู่ในกลุ่มอัลฟิซอล อินเซปติซอล และเอนติซอล มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชยืนต้น เช่น โกโก้ (*Theobroma cacao*) รวมถึงการปลูกพืชอาหารในระบบเกษตรรายย่อยในเขตกึ่งชื้นและชื้นของแอฟริกาตะวันตก โดยพบสวนโกโก้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในประเทศไนจีเรีย กานา เบนิน โตโก และไอวอรีโคสต์ พืชอาหารหลักที่ปลูกในดินประเภทนี้ ได้แก่ ข้าวโพด (*Zea mays*) ถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) มันเทศ (*Dioscorea spp.*) เผือก และบอน

(*Xanthosoma sagittifolium* และ *Colocasia esculenta*) และมันเทศเทศ (*Ipomoea batatas*) ในภูมิภาคซบซาฮาราแอฟริกา ขณะที่ในอเมริกาเขตร้อนนิยมปลูกข้าวโพดและถั่วทั่วไป (*Phaseolus vulgaris*) และในเอเชียเขตร้อนพบการปลูกข้าว (*Oryza sativa*) ควบคู่กับพืชตระกูลถั่วและพืชผักหลากหลายชนิด ส่วนในเขตกึ่งแห้งแล้ง พืชอาหารหลัก ได้แก่ ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) ข้าวฟ่างมุก (*Pennisetum glaucum*) ถั่วพุ่ม และถั่วลิสง (*Arachis hypogaea*)

ในทางตรงกันข้าม ดินเคโอลิไนต์ที่มีสถานะเบสต่ำหรือผ่านการชะล้างอย่างรุนแรง ซึ่งพบในกลุ่มอัลติซอล ออกซิซอล อินเซปติซอล และเอนติซอล มักกระจายอยู่ในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกและความชื้นสูง ดินประเภทนี้เหมาะกับการปลูกพืชไม้ยืนต้นที่ทนต่อความเป็นกรดและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) และปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) รวมถึงพืชอาหารบางชนิดที่สามารถปรับตัวได้ดี เช่น มันสำปะหลัง ข้าวไร่ และมันเทศ

รูปแบบการจัดการพืชผลและดินในพื้นที่ดินขาวแตกต่างกันไปตามแรงกดดันด้านทรัพยากรดินและความพร้อมของปัจจัยการผลิต ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ชื้นของแอฟริกาตะวันตก เกษตรกรรายย่อยมักปลูกข้าวโพดและพืชตระกูลถั่วร่วมกับมันสำปะหลังหรือมันเทศในระบบไร่หมุนเวียนหลังการตัดและเผา ขณะที่พืชผัก ถั่วลิสง ถั่วแระ และไม้ยืนต้นอื่น ๆ มักปลูกบริเวณใกล้เคียงเพาะปลูก เพื่อใช้ประโยชน์จากความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการน้ำที่สะดวกกว่า

10.2 ระบบการใช้ที่ดินแบบดั้งเดิมและแบบสมัยใหม่ Traditional and modern land-use systems

การเกษตรแบบเผาไร่หรือที่เรียกว่า “ไร่หมุนเวียน” เป็นระบบการใช้ที่ดินแบบดั้งเดิมที่แพร่หลายในพื้นที่ดินขาว (ดินเคโอลิไนต์) ในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความหนาแน่นของประชากรต่ำ ระบบดังกล่าวประกอบด้วยการเพาะปลูกระยะสั้นประมาณ 1–2 ปี สลับกับช่วงพักฟื้นของที่ดินระยะยาวซึ่งอาจยาวนานกว่า 15 ปี พื้นที่เพาะปลูกมักมีขนาดเล็กประมาณ 0.5–2 เฮกตาร์ การถางพื้นที่ทำด้วยแรงงานคน โดยมักคงต้นไม้ขนาดใหญ่ไว้ จากนั้นเผาใบไม้และกิ่งก้าน แล้วนำขี้เถ้ากลบลงในดินชั้นบน ซึ่งช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน นอกจากนี้ ในแปลงเพาะปลูกยังคงมีต้นไม้หรือไม้ยืนต้นบางชนิดที่ทนไฟและมีประโยชน์หลงเหลืออยู่

การปลูกพืชในระบบไร่หมุนเวียนมีลักษณะหลากหลาย โดยปลูกพืชประจำปีหลายชนิดร่วมกัน เช่น พืชหัว ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว และผักใบเขียว ซึ่งมีการจัดวางตำแหน่งตามความสามารถในการทนร่มเงา พื้นที่เพาะปลูกถูกล้อมรอบด้วยพืชพรรณป่าไม้ ทำให้มีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดินต่ำมาก ความอุดมสมบูรณ์ของดินได้รับการรักษาไว้จากธาตุอาหารที่ปลดปล่อยจากการเผาเศษซากพืช และจากกระบวนการย่อยสลายและแร่ธาตุของอินทรีย์วัตถุในช่วงพักฟื้นของพื้นที่

คาดการณ์ว่าเกษตรกรในเขตร้อนมากกว่า 200 ล้านคนยังคงพึ่งพาระบบไร่หมุนเวียนเป็นแหล่งผลิตอาหารหลัก ในพื้นที่ที่มีประชากรเบาบาง ระบบนี้ถือว่ามีความยั่งยืนทั้งในเชิงเกษตรกรรมและเชิงนิเวศวิทยา เนื่องจากไม่ต้องพึ่งพาปัจจัยการผลิตจากภายนอก และสามารถผลิตอาหารได้เพียงพอต่อการยังชีพของครัวเรือน ความหลากหลายของพืชที่ปลูกช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบนิเวศ ขณะที่ช่วงพักฟื้นที่ยาวนานช่วยฟื้นฟูคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และชีวภาพของดินที่เสื่อมโทรมลงในระยะเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของประชากรเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาการพักฟื้นสั้นลง ความยั่งยืนของระบบจะลดลง ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเสื่อมถอยจนจำเป็นต้องใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอกเพื่อรักษาระดับผลผลิตพืช

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาแนวทางการจัดการดินเคโอลิไนต์เพื่อการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองแนวทางหลัก ได้แก่ แนวทางทางเคมีและกลไก และแนวทางทางชีวภาพ

แนวทางทางเคมีและกลไกมุ่งเน้นการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อทดแทนธาตุอาหารที่สูญเสียไป ร่วมกับการปลูกพืชเชิงเดี่ยวหรือการหมุนเวียนพืชธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว เพื่อลดการเสื่อมโทรมของดิน ระบบนี้มักใช้การไถพรวนดินน้อยที่สุดหรือไม่ไถพรวน ร่วมกับการคลุมดินด้วยเศษพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืช ซึ่งช่วยลดการชะล้างพังทลายของดินและลดการใช้แรงงาน จึงเหมาะสมกับฟาร์มขนาดใหญ่ในพื้นที่ราบที่มีการจัดการน้ำดี

ในทางตรงกันข้าม แนวทางทางชีวภาพมีเป้าหมายในการปรับปรุงหรือพัฒนาระบบไร่หมุนเวียนให้เหมาะสมกับบริบทที่มีแรงกดดันด้านที่ดินสูงขึ้น โดยลดระยะเวลาพักฟื้น และใช้การปลูกพืชประจำปีร่วมกับพืชตระกูลถั่วที่เจริญเติบโตเร็วในรูปแบบของการปลูกพืชแบบแนวพุ่มหรือการปลูกพืชแบบอัลลีย์ (alley cropping) เศษชีวมวลจากพืชพักฟื้นหรือกิ่งใบของพืชตระกูลถั่วจะถูกนำกลับคืนสู่ดินในรูปของปุ๋ยพืชสดและวัสดุคลุมดิน ซึ่งช่วยเพิ่มธาตุอาหาร ปรับปรุงโครงสร้างดิน และลดการพังทลายของดิน แม้ว่าระบบนี้จะใช้แรงงานจำนวนมาก แต่มีความเหมาะสมกับฟาร์มครอบครัวขนาดเล็ก และสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการดินอย่างยั่งยืนในระยะยาว

10.3 ข้อจำกัดด้านกายภาพของดินและการจัดการ Soil physical constraints and management

10.3.1 ภูมิภาคชื้นและกึ่งชื้น

ดินเพาะปลูกในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้นมีความเสี่ยงสูงต่อการกัดเซาะ โดยเฉพาะเมื่อผิวดินแห้งและขาดการปกคลุมสัมผัสกับฝนตกหนักหรือแรงลม ดินที่มีโครงสร้างดี มีมวลรวมเสถียร ความหนาแน่นรวมต่ำ และอัตราการซึมผ่านสูง จะทนต่อการกัดเซาะได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ดินขาว (kaolinitic soils) มักมีผิวดินที่เหนียวและยึดเกาะต่ำ ขณะที่ดินใต้ผิวดินมีเนื้อเหนียวและอัดแน่น จึงมีแนวโน้มสูงต่อการพังทลายของดิน โดยเฉพาะบนพื้นที่ลาดชัน ในเขตกึ่งชื้น การสูญเสียดินอาจรุนแรงมากในช่วงต้นฤดูฝนเมื่อฝนตกหนักลงบนผิวดินที่แห้ง โดยมีรายงานการสูญเสียดินสูงถึง 100–800 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี

ภายใต้พืชพรรณธรรมชาติ เช่น ป่าไม้หรือทุ่งหญ้า ดินขาวชั้นผิวดินมักมีอินทรีย์วัตถุและกิจกรรมทางชีวภาพค่อนข้างสูง มวลรวมของดินแม้จะยึดเกาะกันอย่างอ่อน แต่การปกคลุมของพืชอย่างต่อเนื่องช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนและการไหลบ่าของน้ำ ส่งผลให้การกัดเซาะอยู่ในระดับต่ำ ตรงกันข้าม ในพื้นที่เพาะปลูกที่มีการไถพรวนแบบดั้งเดิม การรบกวนโครงสร้างดินและการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุทำให้ดินอัดตัวง่าย อัตราการซึมของน้ำลดลง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการพังทลายของดิน โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้เครื่องจักรหนักอย่างต่อเนื่อง

การเปลี่ยนการใช้ที่ดินจากป่าเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการสูญเสียหน้าดิน หากใช้วิธีไถพรวนที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้รถไถพรวนหรือเครื่องจักรหนัก จะทำลายโครงสร้างดินผิวดินและทำให้ดินใต้ผิวดินอัดแน่น ส่งผลให้การไหลบ่าและการกัดเซาะรุนแรงขึ้น วิธีการไถพรวนด้วยมือซึ่งรบกวนผิวดินน้อยที่สุดจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด โดยควรหลีกเลี่ยงการเผา ปล่องไฟไม่ไว และรักษาเศษซากพืชบนผิวดิน ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรปลูกพืชคลุมดินตระกูลถั่วที่เจริญเติบโตเร็ว เช่น *Mucuna* หรือ *Pueraria* เพื่อปกป้องผิวดินและฟื้นฟูคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การจัดการดินขาวอย่างยั่งยืนในภูมิภาคชื้นควรมุ่งเน้นการลดการไถพรวน การจัดการเศษซากพืช และการควบคุมวัชพืชอย่างเหมาะสม ระบบไถพรวนขั้นต่ำหรือไม่ไถพรวนร่วมกับการคลุมดินด้วยเศษพืชในปริมาณเพียงพอ (ประมาณ 6 ตันต่อเฮกตาร์ หรือคลุมดินไม่น้อยกว่า 70%) ช่วยลดการกัดเซาะ รักษาความชื้นในดิน และคงกิจกรรมของจุลินทรีย์และสัตว์ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เมื่อปลูกพืชต่อเนื่องหลายรอบโดยไม่พักดิน คุณสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินจะเสื่อมโทรมลง จึงจำเป็นต้องมีการพักดินตามธรรมชาติหรือการปลูกพืชพักฟื้นโดยใช้พืชตระกูลถั่วล้มลุกหรือไม้ยืนต้นที่เจริญเติบโตเร็ว

ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงและไม่สามารถพักดินได้ ระบบวนเกษตร เช่น การปลูกพืชแบบ alley cropping หรือระบบสวนหลายชั้น เป็นทางเลือกสำคัญ ระบบเหล่านี้ช่วยฟื้นฟูโครงสร้างดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุ ลดการไหลบ่า และใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะสวนบ้านหลายชั้นซึ่งเลียนแบบโครงสร้างป่าไม้เขตร้อน มีเสถียรภาพทางนิเวศสูงและต้องการปัจจัยการผลิตจากภายนอกต่ำ

ในพื้นที่ลาดชัน ควรมีมาตรการอนุรักษ์ดินทั้งทางชีวภาพและทางกายภาพ เช่น การปลูกแนวพืชตามแนวระดับ การใช้หลุมรากลึก (เช่น หลุมแฝก) หรือการสร้างระเบียงดิน เป้าหมายหลักคือการลดการไหลบ่า เพิ่มการซึมผ่านของน้ำ และควบคุมการพังทลายของดิน โดยชนิดของมาตรการควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดดิน ความลาดชัน และสภาพเศรษฐกิจของเกษตรกร

10.3.2 ภูมิภาคกึ่งแห้งแล้ง

ดินในเขตร้อนกึ่งแห้งแล้งเผชิญข้อจำกัดทางกายภาพรุนแรงกว่าภูมิภาคชื้น โดยเฉพาะการเกิดคราบแข็งบนผิวดิน การอัดตัวของดิน การกัดเซาะโดยลมและน้ำ และความเครียดจากภัยแล้ง ความเปราะบางของระบบนิเวศในพื้นที่เหล่านี้ทำให้การใช้ที่ดินอย่างไม่เหมาะสม เช่น การเลี้ยงสัตว์มากเกินไปหรือการขยายพื้นที่เพาะปลูกอย่างเข้มข้น ส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมของดินในระยะยาว เช่น การกลายเป็นทะเลทรายและการสะสมเกลือในพื้นที่ชลประทาน การเกิดคราบแข็งบนผิวดินพบได้บ่อยในดินขาวและดินทราย โดยเฉพาะหลังฝนตกหนักตามด้วยช่วงแห้งยาว คราบแข็งที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นสูง ลดการซึมผ่านของน้ำ ส่งเสริมการไหลบ่า และขัดขวางการงอกของเมล็ด การอัดตัวของดินได้ผิวดินจากการเหยียบย่ำของปศุสัตว์หรือการใช้เครื่องมือเกษตร ยังจำกัดการเจริญของรากและลดผลผลิตพืช การไถพรวนสามารถบรรเทาปัญหาคราบแข็งและการอัดตัวได้ชั่วคราว โดยนิยมใช้การไถเป็นร่องหรือการทำคันดินผูกเพื่อกักเก็บน้ำฝนในแปลงเพาะปลูก ควบคู่กับการใช้วิธีทางชีวภาพ เช่น การหมุนเวียนพืช การคลุมดินด้วยเศษซากพืช และการปลูกพืชทนแล้ง อย่างไรก็ตาม การใช้เศษซากพืชเป็นวัสดุคลุมดินมักถูกจำกัดด้วยการแข่งขันการใช้ประโยชน์ เช่น เป็นอาหารสัตว์หรือวัสดุก่อสร้าง

ความเครียดจากภัยแล้งเป็นข้อจำกัดสำคัญ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนต่ำและไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำของดินขาวต่ำ พืชทนแล้ง เช่น ข้าวฟ่างและข้าวฟ่างเพิร์ล จึงเป็นพืชอาหารหลัก โดยปลูกในความหนาแน่นต่ำเพื่อลดการแข่งขันน้ำ การจัดการน้ำ เช่น การทำคันดิน การเก็บเกี่ยวน้ำท่า และการควบคุมวัชพืชอย่างมีประสิทธิภาพ มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิต

การกัดเซาะโดยลมเป็นอีกปัญหาสำคัญในเขตกึ่งแห้งแล้ง โดยเฉพาะในช่วงต้นฤดูฝน การใช้แนวกันลม เช่น การปลูกไม้ยืนต้นหรือพืชสูงเป็นแนว และการคงเศษซากพืชบนผิวดิน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียดิน และป้องกันความเสียหายต่อพืชผล

โดยสรุป การจัดการดินในเขตร้อนทั้งชื้นและกึ่งแห้งแล้งจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางกายภาพของดินเป็นหลัก การผสมผสานระหว่างภูมิปัญญาท้องถิ่น ระบบชีวภาพ และเทคนิคการอนุรักษ์ดินสมัยใหม่ เป็นแนวทางสำคัญในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและความยั่งยืนของระบบการผลิตทางการเกษตรในระยะยาว

10.4 ข้อจำกัดด้านเคมีของดินและการจัดการ Soil chemical constraints and management

ดินเขตร้อน โดยเฉพาะดินเคโอไลไนต์ (kaolinitic soils) มีข้อจำกัดทางเคมีที่สำคัญต่อการผลิตพืชผลอย่างต่อเนื่อง ภายใต้การปลูกพืชแบบเข้มข้น มักพบการขาดธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรัฐพืช รวมถึงการขาดกำมะถันและโบรอนในพืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะในดินที่มีการปลูกพืชต่อเนื่องและมีชีวมวลสูง นอกจากนี้ ดินในพื้นที่ชื้นยังเผชิญปัญหาความเป็นกรด การขาดแคลเซียมและแมกนีเซียม และการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง จึงจำเป็นต้องมีกลยุทธ์การจัดการสารอาหารที่คำนึงถึงทั้งระบบนิเวศและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

10.4.1 ภูมิภาคชื้นและกึ่งชื้น

ดินเคโอโลไนต์สถานะฐานสูง

ดินเคโอโลไนต์ที่มีสถานะฐานสูงมีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 5.2–7.0 และมีความอิ่มตัวของเบสสูงกว่า 70% ทั้งในชั้นดินผิวและใต้ผิวดิน ดินประเภทนี้มีข้อจำกัดทางเคมีค่อนข้างน้อย และเหมาะสมต่อการปลูกพืชทั้งแบบรายปีและไม่ยืนต้นหลากหลายชนิด หากมีการจัดการข้อจำกัดทางกายภาพควบคู่กัน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีพลวัตสูงในดินประเภทนี้ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฤดูแล้งและฤดูฝนชัดเจน ไนโตรเจนอินทรีย์ในดินจะถูกแร่ธาตุอย่างรวดเร็วในช่วงต้นฤดูฝน ทำให้เกิดไนเตรตในปริมาณสูงในดินผิวน้ำ หากพืชได้รับการปลูกล่าช้า ไนโตรเจนดังกล่าวจะสูญเสียไปจากการชะล้างลงสู่ชั้นดินลึก ดังนั้น การปลูกพืชตั้งแต่ต้นฤดูฝนจึงมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนตามธรรมชาติในดินอย่างมีประสิทธิภาพ

ภายใต้ระบบการปลูกพืชเข้มข้น การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราปานกลาง (ประมาณ 75–120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ควรแบ่งใส่ 2–3 ครั้ง เพื่อลดการสูญเสียจากการชะล้างและชะลอการเกิดกรดในดิน การใช้แอมโมเนียมซัลเฟตอย่างต่อเนื่องควรหลีกเลี่ยง เนื่องจากเร่งกระบวนการเป็นกรดของดิน

ดินเคโอโลไนต์มีความสามารถในการบัฟเฟอร์ต่ำ ทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นเวลานาน การหมุนเวียนพืชตระกูลพืชตระกูลถั่ว การใส่เศษซากพืชและปุ๋ยคอก สามารถช่วยชะลอการเป็นกรดและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว การใช้ปูนขาวสามารถแก้ปัญหาคือความเป็นกรดได้ แต่ในหลายพื้นที่มีข้อจำกัดด้านต้นทุนและแหล่งวัสดุ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ขาดแคลนได้บ่อยในดินเคโอโลไนต์ แม้ความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสของดินชนิดนี้จะต่ำ เนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมน้อย และมีซิลิกาที่ละลายน้ำได้แข่งขันกับฟอสเฟต การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 20–30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์มักเพียงพอสำหรับการปลูกพืชแบบเข้มข้น โดยเฉพาะธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว ส่วนพืชหัวและกล้วยมีความต้องการฟอสฟอรัสต่ำกว่า

การขาดโพแทสเซียมพบได้น้อยในดินเคโอโลไนต์ และสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 30–60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยพืชหัวและกล้วยต้องการโพแทสเซียมสูงกว่าธัญพืช

อินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งธาตุอาหารรองและจุลธาตุ การรักษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินให้ไม่น้อยกว่า 2% ช่วยลดความจำเป็นในการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะไนโตรเจน ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด เป็นแหล่งธาตุอาหารที่ค่อยๆ ปลดปล่อยและช่วยปรับปรุงกิจกรรมทางชีวภาพและการกักเก็บความชื้นในดิน

ดินเคโอโลไนต์สถานะฐานต่ำ

ดินเคโอโลไนต์สถานะฐานต่ำ เช่น อัลติซอลและออกซิซอล พบมากในเขตป่าฝนเขตร้อน มีค่า pH ต่ำ (ประมาณ 3.8–5.2) และมีความอิ่มตัวของเบสต่ำกว่า 70% แม้ดินเหล่านี้จะมีการระบายน้ำดีและข้อจำกัดทางกายภาพน้อย แต่มีข้อจำกัดทางเคมีรุนแรง ได้แก่ ความเป็นกรด การขาดธาตุอาหารหลายชนิด และความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

ระบบเกษตรแบบดั้งเดิม เช่น การตัดและเผา ช่วยเพิ่มธาตุอาหารในระยะสั้นจากชี้แล้ว แต่ไม่สามารถรองรับการเพาะปลูกต่อเนื่องได้ ในหลายพื้นที่ ความพยายามถางป่าฝนเพื่อทำเกษตรเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ล้มเหลวเนื่องจากต้นทุนปัจจัยการผลิตสูงและการระบาดของศัตรูพืชภายใต้สภาพอากาศชื้น การจัดการดินสถานะฐานต่ำเพื่อการผลิตรายังยั่งยืนจำเป็นต้องใช้ทั้งปูนขาวเพื่อปรับปรุงความเป็นกรดและเติมแคลเซียม-แมกนีเซียม รวมถึงการใช้ปัจจัยอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอ ปูนขาวควรใส่ในอัตราต่ำแต่ต่อเนื่อง (200–500

กิโกรัมต่อเฮกตาร์ต่อปี) ขณะที่ปุ๋ยคอกและของเสียจากครัวเรือนเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ ปุ๋ยพืชสดมักไม่เหมาะสมในดินที่ถูกชะล้างอย่างรุนแรง เนื่องจากมีธาตุอาหารสะสมต่ำ

การทดลองภาคสนามแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยขาวช่วยเพิ่มผลผลิตพืชอย่างมีนัยสำคัญ และเป็นเงื่อนไขสำคัญของการรักษาผลผลิตในดินเคโอไลต์สถานะฐานต่ำในระยะยาว

10.4.2 ภูมิภาคกึ่งแห้งแล้ง

ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง น้ำเป็นปัจจัยจำกัดหลักของการผลิตพืชผล ดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำมาก โดยทั่วไปคาร์บอนอินทรีย์ในดินผิวน้ำมักต่ำกว่า 0.5% อุณหภูมิสูงและการกัดเซาะของลมยังจำกัดการสะสมอินทรีย์วัตถุ

เกษตรกรในเขตซาเฮลได้พัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารแบบดั้งเดิม เช่น การปลูกพืชทนแล้ง การใช้ความหนาแน่นปลูกต่ำ การพักดิน และการใช้มูลสัตว์จากการเลี้ยงแบบเร่ร่อน อย่างไรก็ตาม ระบบเหล่านี้เริ่มเสื่อมถอยจากแรงกดดันด้านประชากร การลดลงของปริมาณฝน และการหายไปของการเลี้ยงสัตว์เร่ร่อน

การใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่แห้งแล้งต้องพิจารณาความชื้นในดินเป็นหลัก ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนมักต่ำ เนื่องจากการสูญเสียจากการระเหย โดยเฉพาะเมื่อใช้ยูเรีย แคลเซียมแอมโมเนียมไนเตรตจึงเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมกว่า การแบ่งใส่ปุ๋ยหลังพืชงอกและในช่วงที่ดินมีความชื้นเพียงพอช่วยลดการสูญเสียได้

การขาดฟอสฟอรัสสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ฟอสเฟตในอัตราต่ำถึงปานกลาง โดยอาจใช้ฟอสเฟตธรรมชาติในปริมาณสูงหากมีในท้องถิ่น การหมุนเวียนพืชไร่พืชกับพืชตระกูลถั่วเป็นทางเลือกสำคัญในการรักษาผลผลิต ภายใต้ข้อจำกัดของปัจจัยอินทรีย์

ระบบวนเกษตร โดยเฉพาะการใช้ *Acacia albida* ซึ่งผลัดใบในฤดูฝน เป็นตัวอย่างสำคัญของการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสาน ต้นไม้ชนิดนี้ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารให้กับดิน ให้อากาศ และแหล่งอาหารสัตว์ แม้บทบาทเชิงปริมาณต่อการเพิ่มผลผลิตพืชยังยากต่อการประเมิน แต่ถือเป็นระบบที่มีความเหมาะสมเชิงนิเวศในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง

11. Properties and Management of Oxidic Soils

ดิน Oxidic ที่มีค่าเบสสูง แม้จะมีการกระจายตัวจำกัด แต่ถือเป็นหนึ่งในดินที่มีศักยภาพการผลิตสูงที่สุดในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น พื้นที่ที่มีดินประเภทนี้ในที่สูงเขตร้อนชื้น (ระดับความสูง 800 เมตรขึ้นไป) ถูกใช้ในการผลิตพืชอาหารและพืชเศรษฐกิจอย่างเข้มข้นมาหลายศตวรรษ

ดังนั้น พื้นที่ที่มีดิน Oxidic ค่าเบสสูง เช่น อินโดนีเซีย (ชวา) ฟิลิปปินส์ (ลูซอน) ที่ราบสูงหินบะซอลต์ของเอธิโอเปีย ที่ราบลวาลาในอเมริกากลาง รวมถึงแอฟริกาตะวันออกและแอฟริกากลาง มักมีประชากรหนาแน่น ยกเว้นดินที่มีปัญหาการยึดจับฟอสฟอรัส ดินเหล่านี้มีข้อจำกัดในการจัดการเพียงเล็กน้อยสำหรับการใช้ประโยชน์อย่างเข้มข้นโดยเกษตรกรรายย่อย อย่างไรก็ตาม การชะล้างพังทลายและการเสื่อมโครงสร้างอาจเกิดขึ้นได้ เมื่อดินเหล่านี้ถูกใช้ปลูกพืชไร่ภายใต้เกษตรกรรมเชิงกลขนาดใหญ่ เนื่องจากแรงกดดันต่อดินสูง ดังนั้นจึงอาจเหมาะสมกว่า ที่จะเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ในไร่นาครอบครัวขนาดเล็ก โดยการปลูกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งตอบสนองได้ดีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการที่ดี

ดิน Oxidic ค่าเบสต่ำพบในพื้นที่กว้างใหญ่ของทุ่งสะวันนาเขตกึ่งชื้นในอเมริกาใต้ และในพื้นที่อนุรักษ์ของแอฟริกากลางและแอฟริกาใต้ ในแอฟริกา ดินเหล่านี้ถูกใช้ปลูกข้าวโพดและมันสำปะหลังแบบปัจจัยในการผลิตต่ำ ภายใต้ระบบเกษตรแบบหมุนเวียนพื้นที่เพาะปลูก ในช่วงทศวรรษ 1970 บางพื้นที่ใน Natal ประเทศแอฟริกาใต้ ซึ่งมี

ดิน Oxidic ที่เป็นครด ได้รับการพัฒนาให้เป็นพื้นที่เกษตรเชิงกลขนาดใหญ่ที่ใช้ปัจจัยในการผลิตสูง โดยใช้ปุ๋ยและยิปซัมเพื่อแก้ไขความเป็นกรดของดิน

ในทวีปอเมริกาใต้ เขตทุ่งสะวันนาที่เป็นกรดเคยมีประชากรเบาบางเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคุณสมบัติกายภาพที่ดีมาก การใช้ดิน Oxidic ที่เป็นครดเหล่านี้เพื่อการเกษตรขนาดใหญ่ในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนเพียงพอ เช่น เขต Cerrado ของบราซิล ได้เริ่มขึ้นในช่วงทศวรรษ 1960 ปัจจุบัน พื้นที่นี้ผลิตถั่วเหลืองมากกว่า 50% ของบราซิล และกำลังแข่งขันกับประเทศในทวีปอเมริกาเหนือในตลาดส่งออกโลก การเปลี่ยนพื้นที่สะวันนาที่เคยมีคนอยู่น้อย ให้กลายเป็นพื้นที่เพาะปลูกและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ที่มีการปรับปรุงในเขต Cerrado ตอนกลางของบราซิล ถือเป็นการปฏิวัติทางสังคมอย่างเงียบๆ ที่เริ่มขึ้นตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1970

เป็นที่ชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น หากปราศจากการสนับสนุนการวิจัยและส่งเสริมการเกษตรอย่างเข้มแข็งจากสถาบันระดับชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเอาชนะข้อจำกัดทางเคมีมากมายในการผลิตพืชบนดินที่มีโครงสร้างดีแต่เป็นครดและยากจนทางธาตุอาหาร นอกจากนี้ ความสำเร็จของการพัฒนาเกษตรกรรมในเขตสะวันนา อาจช่วยป้องกันการขยายตัวของ การตั้งถิ่นฐานมนุษย์เข้าสู่ระบบนิเวศป่าฝนที่เปราะบางยิ่งกว่าของกลุ่มน้ำอเมซอน

11.1 ดิน Oxidic ค่าเบสสูงและค่าเบสต่ำ High-base-status and low-base-status oxidic soils

ดินออกซิไดซ์ (oxidic soils) สามารถจำแนกออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะฐานสูง และดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะฐานต่ำ โดยใช้เกณฑ์ความอิ่มตัวของเบสที่ร้อยละ 70 ซึ่งคำนวณจากค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่มีประสิทธิภาพ (effective CEC) เป็นตัวแบ่งสำคัญ ดินที่มีความอิ่มตัวของเบสมากกว่าร้อยละ 70 จัดอยู่ในกลุ่มสถานะฐานสูง ขณะที่ดินที่มีความอิ่มตัวของเบสต่ำกว่าร้อยละ 70 จัดเป็นดินสถานะฐานต่ำ

โดยทั่วไป ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะฐานสูงมีอินทรีย์วัตถุในชั้นดินผิวที่อิ่มตัวด้วยแคลเซียม ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีสูงและให้ผลผลิตดี จึงมักจัดเป็นดินที่มีศักยภาพสูงสำหรับการเกษตรในเขตร้อน ดินประเภทนี้มักพัฒนามาจากหินอัคนีชนิดเพอร์โรแมกนีเซียม เช่น หินบะซอลต์และหินไดอะเบส และพบได้ในพื้นที่ที่มีอายุธรณีสัณฐานค่อนข้างน้อย

ในทางตรงกันข้าม ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะฐานต่ำมีลักษณะเป็นกรด มีค่า CEC ที่มีประสิทธิภาพต่ำ และมักมีระดับความอิ่มตัวของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 60% โดยเฉพาะในชั้นดินใต้ผิวดิน ดินประเภทนี้เกิดจากกระบวนการผุพังขั้นสูง เช่น การชะล้างซิลิกาออก (desilication) และการเกิดลูกรัง (laterization) ซึ่งทำให้ดินมีแร่โคโลไนต์และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก ดินออกซิไดซ์สถานะฐานต่ำจึงมักพบในพื้นที่ที่มีพื้นผิวธรณีสัณฐานเก่าแก่ มีเสถียรภาพ และผ่านการผุพังมาอย่างยาวนาน

แม้ว่าดินออกซิไดซ์ทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านคุณสมบัติทางเคมี แต่โดยรวมแล้วดินออกซิไดซ์มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น โครงสร้างดินเสถียร การระบายน้ำดี และมีความต้านทานต่อการกัดเซาะสูงกว่าดินเคโอไลไนต์ ด้วยเหตุนี้ ดินออกซิไดซ์จึงเหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรกล โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนที่มีฝนตกชุก

11.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี Physical and chemical properties

แม้ว่าดินออกซิไดซ์จะมีแร่ดินเหนียวหลักเป็นเคโอลิไนต์ แต่การมีอยู่ของออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมทั้งในรูปผลึกและอสัณฐานในปริมาณปานกลาง รวมถึงไฮดรอกไซด์ของเหล็กในระดับประมาณร้อยละ 5 ของ Fe_2O_3 หรือมากกว่า ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (ประมาณ 100 ตารางเมตรต่อกรัมหรือมากกว่า) ส่งผลให้ดินออกซิไดซ์มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากดินเหนียวชนิดอื่นอย่างชัดเจน คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่ การมีประจุบน

พื้นผิวที่แปรผันตามค่า pH การเกิดไมโครแอ็กเกรเกตที่เสถียร ความหนาแน่นรวมต่ำ โครงสร้างดินแข็งแรง และการซึมผ่านของน้ำและอากาศที่ดี

ดินออกซิไดซ์ส่วนใหญ่มีสีแดงหรือแดงเข้ม เนื่องจากการมีอยู่ของแร่ฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) ขนาดเท่าดินเหนียว ขณะที่ดินออกซิไดซ์สีเหลืองถึงเหลืองน้ำตาลมักประกอบด้วยแร่โกไทต์ (FeOOH) เป็นองค์ประกอบหลัก และพบได้ในตำแหน่งภูมิประเทศที่มีความชื้นสูงกว่าในเขตที่มีการผุพังอย่างรุนแรง ตัวอย่างของดินออกซิไดซ์สีเหลืองอมเทาพบได้เป็นบริเวณกว้างในแอ่งอะเมซอน ส่วนแร่กิบบิไซต์ (AlOOH) เป็นแร่อลูมิเนียมออกไซด์ที่พบเด่นในดินกลุ่มนี้

ในสภาพธรรมชาติ ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูงมักมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินผิวก่อนข้างสูงและมีกิจกรรมทางชีวภาพเด่นชัด เช่น การพบเส้นใยเชื้อราและดอกเห็ด ซึ่งสะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินและศักยภาพในการผลิตทางการเกษตร ในบางพื้นที่แห้งแล้ง เช่น บริเวณใกล้เมืองลูบูมาซีในสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก พบลักษณะพิเศษของดินออกซิไดซ์คือการมีเนินปลวกฟอสซิลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจสูงได้มากกว่า 5 เมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 20 เมตร

คุณสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่นของดินออกซิไดซ์คือความหนาแน่นรวมต่ำ โดยดินเนื้อละเอียดปานกลางถึงละเอียดซึ่งมีโครงสร้างแบบเม็ดละเอียดหรือเศษละเอียด มักมีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วงประมาณ 0.8–1.2 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้ดินมีลักษณะร่วนซุย มีความพรุนขนาดใหญ่สูง ซึ่งอาจคิดเป็นร้อยละ 25–30 ของปริมาตรดินทั้งหมด

การรวมตัวของดินและการซึมผ่าน

ดินออกซิไดซ์ทั่วไป เช่น ออกซิซอล เมื่อถูกบดหรือแตกออก จะสลายตัวเป็นไมโครแอ็กเกรเกตทรงกลมขนาดเล็กจำนวนมาก ลักษณะนี้ทำให้แม้ดินจะมีปริมาณดินเหนียวสูงถึงร้อยละ 40–70 ตลอดหน้าตัดดิน แต่ยังคงมีอัตราการซึมผ่านของน้ำสูงและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ดินออกซิไดซ์ประกอบด้วยไมโครแอ็กเกรเกตที่เสถียรจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการยึดประสานของออกไซด์และออกซิไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมร่วมกับอินทรีย์วัตถุ โครงสร้างที่มั่นคงและความพรุนขนาดใหญ่ที่เด่นชัดช่วยให้น้ำฝนสามารถซึมผ่านชั้นดินได้อย่างรวดเร็ว มีรายงานอัตราการซึมน้ำสูงมากในดินออกซิไดซ์บางชนิด โดยเฉพาะดินที่เพิ่งเปิดพื้นที่ใหม่ แม้คุณสมบัตินี้จะช่วยลดการพังทลายของดิน แต่กลับทำให้ดินมีความสามารถในการกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างต่ำ

การกักเก็บความชื้นในดิน

ดินออกซิไดซ์เนื้อละเอียดส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็กจำนวนมาก แต่มีรูพรุนขนาดกลางซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่พืชสามารถใช้ได้ค่อนข้างน้อย น้ำในรูพรุนขนาดใหญ่จะระบายออกอย่างรวดเร็วด้วยแรงโน้มถ่วง ขณะที่น้ำในรูพรุนขนาดเล็กจะถูกยึดไว้แน่นด้วยแรงแคปิลลารีและไม่สามารถถูกดูดใช้ได้ง่าย ส่งผลให้ดินออกซิไดซ์มีน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้จำกัด

เส้นโค้งการกักเก็บความชื้นของดินออกซิไดซ์จึงแตกต่างจากดินเขตอบอุ่นที่มีปริมาณดินเหนียวใกล้เคียงกัน โดยดินออกซิไดซ์จะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วที่แรงดันต่ำ และกักเก็บน้ำไว้มากในช่วงแรงดันสูงซึ่งพืชไม่สามารถใช้ได้ง่าย ลักษณะดังกล่าวทำให้ดินออกซิไดซ์มีพฤติกรรมคล้ายดินทราย และสามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชได้เพียงช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 8–10 วัน หากไม่มีน้ำเพิ่มเติม

คุณสมบัติของประจุพื้นผิวและการตรึงฟอสเฟต

ดินออกซิไดซ์มีประจุบนพื้นผิวที่แปรผัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH และความแรงไอออนิกของสารละลายในดิน ในสภาพธรรมชาติ โดยเฉพาะในดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำ ประจุสุทธิบนพื้นผิวมักต่ำหรือเป็นบวกเล็กน้อย ซึ่งเอื้อ

ต่อการรวมตัวของอนุภาคดิน อย่างไรก็ตาม การจัดการดิน เช่น การใส่ปุ๋ยหรือปุ๋ย อาจเปลี่ยนแปลงลักษณะประจุบนพื้นผิว และส่งผลให้ไม่เกิดแก็กเกอร์แตกตัว ซึ่งอาจลดเสถียรภาพของโครงสร้างดินในระยะยาว

หนึ่งในข้อจำกัดทางเคมีที่สำคัญของดินออกซิไดซ์คือการตรึงฟอสเฟต ในดินที่มีสภาพเป็นกรด ฟอสเฟตอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะถูกดูดซับอย่างแรงโดยออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม หรือเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้น้อย กระบวนการนี้พบเด่นชัดในดินที่มีสถานะเบสต่ำและมีอินทรีย์วัตถุต่ำ การจัดการ เช่น การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราสูง การใส่แบบเป็นแถบ (banding) และการส่งเสริมการเกิดไมคอร์ไรซาในพืชยืนต้น เช่น กาแฟและกล้วย สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ

11.3 การใช้ประโยชน์และการจัดการ Use and management

ดินออกซิไดซ์เป็นหนึ่งในดินที่มีศักยภาพสูงต่อการผลิตทางการเกษตรในเขตร้อนชื้นและกึ่งเขตร้อน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูงนับเป็นดินที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดกลุ่มหนึ่งในเขตร้อน พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ เช่น กาแฟ กล้วย และอ้อย ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอฟริกาตะวันออก รวมถึงที่ราบสูงเขตร้อนชื้นของแอฟริกาและแครเมอรูนตะวันตก ล้วนตั้งอยู่บนดินออกซิไดซ์สถานะเบสสูง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเข้มข้นมาอย่างยาวนาน

ในทางตรงกันข้าม ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำ แม้จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เอื้ออำนวยต่อการทำเกษตรกรรมแบบใช้เครื่องจักรกล แต่ศักยภาพในการใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับต้นทุนและความพร้อมของปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะปุ๋ยและปุ๋ยเคมีเพื่อแก้ไขข้อจำกัดทางเคมี เช่น ความเป็นกรด การขาดธาตุอาหาร และความเป็นพิษของอะลูมิเนียม ตัวอย่างที่เด่นชัดคือภูมิภาคเซร์ราโดของบราซิล ซึ่งในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมา ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วเป็นแหล่งผลิตถั่วเหลืองและข้าวโพดเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่สำหรับตลาดส่งออก

ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูง

การใช้ประโยชน์จากดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูงได้รับการพัฒนาอย่างเป็นระบบและมีข้อมูลสนับสนุนอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในพื้นที่ชื้นและกึ่งชื้น ดินกลุ่มนี้ถูกใช้ปลูกไม้ยืนต้นและพืชเศรษฐกิจมานาน เนื่องจากมีข้อจำกัดทางกายภาพน้อย ผิวดินร่วนซุย โครงสร้างดินมั่นคง มีความพรุนและการซึมผ่านของน้ำสูง คุณสมบัติเหล่านี้เอื้อต่อการทำเกษตรกรรมขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่แห้งแล้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่ำอาจก่อให้เกิดความเครียดจากภัยแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดสำคัญต่อการปลูกพืชไร่ประจำปี

ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำ

แม้ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำจะมีข้อจำกัดทางกายภาพเพียงเล็กน้อย แต่กลับมีข้อจำกัดทางเคมีรุนแรง ได้แก่ ค่า CEC ต่ำ การตรึงฟอสฟอรัสสูง ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และการขาดธาตุอาหารหลายชนิดเมื่อใช้ปลูกพืชอย่างต่อเนื่อง ดินกลุ่มนี้พบอย่างกว้างขวางในพื้นที่สะวันนากรดของอเมริกาใต้ เช่น เซร์ราโดของบราซิล ลลาโนสของโคลอมเบียและเวเนซุเอลา ซึ่งรวมพื้นที่มากกว่า 300 ล้านเฮกตาร์ และโดยทั่วไปมีประชากรเบาบาง

ในบางพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเหมาะสม ดินออกซิไดซ์สถานะเบสต่ำถูกนำมาใช้เพื่อการเกษตรแบบใช้ปัจจัยการผลิตสูง ประสบการณ์จากภูมิภาคเซร์ราโดแสดงให้เห็นว่าการนำระบบเกษตรแบบอเมริกาเหนือมาใช้ในระยะแรก เช่น การปรับพื้นที่ด้วยรถไถพรวนและการไถพรวนอย่างเข้มข้น ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะและเสื่อมโทรมของโครงสร้างดินอย่างรุนแรง ต่อมาจึงมีการส่งเสริมระบบลดหรือไม่ไถพรวน การใช้พืชคลุมดิน และการจัดการวัชพืชด้วยสารเคมี เพื่อรักษาคุณภาพทางกายภาพของดิน

การแก้ไขความเป็นกรดและการจัดการดินใต้ผิว

ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำมักมีความอิ่มตัวของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 70% ในชั้นดินใต้ผิว ซึ่งจำกัดการเจริญเติบโตของรากพืช การปรับปรุงความเป็นกรดของดิน โดยเฉพาะในชั้นดินใต้ผิว มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มปริมาตรดินที่รากพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำและธาตุอาหารได้ แนวทางที่ใช้ได้ผล ได้แก่ การใส่ปูนขาวโดโลไมต์ในอัตรา 2–4 ตันต่อเฮกตาร์ การใส่ปูนขาวแบบลึก และการใช้สารปรับปรุงดินที่เคลื่อนที่ได้ดี เช่น ยิปซัม เพื่อแทนที่อะลูมิเนียมและเพิ่มแคลเซียมในชั้นดินใต้ผิว

การศึกษาภาคสนามในภูมิภาคเซร์ราโดพบว่า ระดับวิกฤตของความอิ่มตัวของอะลูมิเนียมสำหรับพืชอย่างถั่วเหลืองอยู่ที่ประมาณ 20% และผลผลิตจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความอิ่มตัวของ Al สูงเกิน 40% อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้นทุนสูงและผลกระทบระยะยาวต่อโครงสร้างดิน งานวิจัยในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนต่อ Al มากกว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปูนขาว

การจัดการธาตุอาหาร

ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำมีปริมาณธาตุอาหารต่ำและหมดไปได้ง่าย ภายใต้การปลูกพืชแบบเข้มข้น นอกจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ธาตุรองและธาตุอาหารเสริม เช่น Ca, Mg, K, S, Zn และ B อาจกลายเป็นข้อจำกัด การทดลองระยะยาวในบราซิลแสดงให้เห็นว่าการใส่ปูนขาวร่วมกับปุ๋ยอย่างเหมาะสมสามารถเปลี่ยนดินสะวันนากรดให้เป็นดินที่มีศักยภาพการผลิตสูงได้

ฟอสฟอรัสเป็นข้อจำกัดที่พบบ่อยที่สุด โดยดินออกซิไดซ์มักมีฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ต่ำมาก การจัดการที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยแบบเป็นแถบ การรักษานิทรียวัตถุในดิน การปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.5–6.0 การใช้หินฟอสเฟตในท้องถิ่น และการคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีความสัมพันธ์กับไมคอร์ไรซา ไนโตรเจนในระยะแรกอาจปลดปล่อยจากอินทรียวัตถุได้มาก แต่จะกลายเป็นปัจจัยจำกัดเมื่อปลูกพืชต่อเนื่อง กลยุทธ์ที่แนะนำ ได้แก่ การหมุนเวียนพืชกับพืชตระกูลถั่ว การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และการรักษานิทรียวัตถุในดินผ่านการลดไถพรวน

โดยสรุป การจัดการดินออกซิไดซ์อย่างยั่งยืนจำเป็นต้องผสมผสานการแก้ไขข้อจำกัดทางเคมี การรักษาคุณภาพทางกายภาพของดิน และการเลือกใช้ระบบการผลิตที่เหมาะสมกับบริบททางเศรษฐกิจและนิเวศวิทยา มากกว่าการมุ่งเน้นผลผลิตสูงสุดในระยะสั้น

11.4 การชะล้างพังทลายของดิน Soil erosion

แม้ว่าดินออกซิไดซ์จะมีความทนทานต่อการกัดเซาะมากกว่าดินขาว เนื่องจากมีโครงสร้างดินที่เสถียรและไม่โครแอ็กเกรเกตที่แข็งแรง แต่การกัดเซาะของดินยังสามารถเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการไถพรวนและปล่อยให้ผิวดินโล่ง มีรายงานการสูญเสียดินในดินออกซิไดซ์ที่ปล่อยโล่งสูงถึงประมาณ 50–100 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งถือเป็นการสูญเสียทรัพยากรดินในระดับรุนแรง

สาเหตุสำคัญของการกัดเซาะในดินออกซิไดซ์ภายใต้การเกษตรแบบใช้เครื่องจักรกล คือการปิดผนึกผิวดิน (surface sealing) อันเนื่องมาจากการแตกตัวของมวลรวมเมื่อถูกแรงกระแทกของหยดน้ำฝนอย่างรุนแรง ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลง เกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดิน และนำไปสู่การชะล้างพังทลายทั้งจากน้ำและลม อย่างไรก็ตาม การสูญเสียดังกล่าวสามารถลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการจัดการดินและพืชอย่างเหมาะสม

แนวทางที่พิสูจน์แล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพในการควบคุมการกัดเซาะ ได้แก่ การใช้วัสดุคลุมดิน การไม่ไถพรวนหรือไถพรวนน้อยร่วมกับการคลุมดินด้วยเศษซากพืช การเตรียมแปลงปลูกอย่างเหมาะสมตั้งแต่ระยะแรก การ

หมุนเวียนพืชระหว่างธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว รวมถึงการปลูกพืชแบบแถบและการปลูกพืชร่วมกัน วิธีการเหล่านี้ช่วยลดแรงกระแทกของหยดน้ำฝน เพิ่มการซึมผ่านของน้ำ และลดการไหลบ่าบนผิวดิน

ผลของการไม่ไถพรวนและการคลุมดินด้วยเศษซากพืชได้รับการยืนยันจากการทดลองจำลองปริมาณน้ำฝนในดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูงใกล้เมืองลอนดรีนา ประเทศบราซิล โดยพบว่า การคลุมผิวดินประมาณ 60–70% สามารถลดการสูญเสียดินได้ถึงสี่เท่า เมื่อเทียบกับแปลงที่คลุมดินด้วยเศษซากข้าวโพดในอัตรา 6 ตันต่อเฮกตาร์ และลดได้มากกว่าการคลุมดินด้วยเศษซากพืชที่ผ่านการเผาอย่างมีนัยสำคัญ แปลงที่มีการไถพรวนมีการสูญเสียดินสูงกว่าแปลงไม่ไถพรวนอย่างชัดเจน ในบรรดาวิธีการทั้งหมด ระบบไม่ไถพรวนร่วมกับการคลุมดินด้วยเศษซากพืชที่ไม่ผ่านการเผาให้ผลในการลดการสูญเสียดินได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ ชนิดของพืชที่ปลูกยังมีบทบาทสำคัญต่อปริมาณน้ำไหลบ่าและการสูญเสียดิน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดให้ระดับการปกคลุมผิวดินที่แตกต่างกัน การศึกษาพบว่า การปลูกถั่วเหลืองและข้าวไรในดินออกซิไดซ์ใกล้เมืองบราซิลมีการสูญเสียดินต่อปีต่ำกว่าการปลูกข้าวโพดถึงประมาณสามเท่า ในขณะที่แปลงดินเปล่ามีการสูญเสียดินสูงถึงประมาณ 53 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ซึ่งมีการปกคลุมผิวดินอย่างต่อเนื่อง มีปริมาณน้ำไหลบ่าและการสูญเสียดินต่ำที่สุด

โดยสรุป แม้ดินออกซิไดซ์จะมีความต้านทานต่อการกัดเซาะตามธรรมชาติ แต่การจัดการที่ไม่เหมาะสมสามารถก่อให้เกิดการสูญเสียดินในระดับสูงได้ การรักษาการปกคลุมผิวดินและการลดการรบกวนโครงสร้างดินจึงเป็นหัวใจสำคัญของการอนุรักษ์ดินและการใช้ประโยชน์จากดินออกซิไดซ์อย่างยั่งยืนในระบบเกษตรเขตร้อน

11.5 ผลของการเพาะปลูกต่อเนื่องต่อคุณสมบัติดิน Effect of continuous cultivation on soil properties

ดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสสูงถูกนำมาใช้ในการปลูกไม้ยืนต้นและพืชเศรษฐกิจขนาดใหญ่อย่างต่อเนื่องยาวนานมากกว่าหนึ่งศตวรรษ ขณะที่การเกษตรแบบใช้เครื่องจักรกลและปัจจัยการผลิตสูงบนดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำเพิ่งเริ่มแพร่หลายในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา โดยทั่วไปดินออกซิไดซ์มีความทนทานต่อการอัดตัวและการกัดเซาะ เนื่องจากมีฮิวมัสอินทรีย์ที่อัดตัวด้วยแคลเซียมในชั้นผิวดิน ทำหน้าที่ยึดอนุภาคดินให้รวมตัวเป็นมวลรวมขนาดใหญ่ที่มีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตาม ภายใต้การเพาะปลูกต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรกล พบการเสื่อมโทรมของคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น การอัดตัวของดินและการแตกสลายของมวลรวมขนาดใหญ่

ในดินออกซิไดซ์เขตร้อนชื้นและกึ่งแห้ง กลไกการฟื้นฟูโครงสร้างดินตามธรรมชาติ เช่น วงจรการหดตัว-บวม หรือการเยือกแข็ง-ละลาย ซึ่งพบได้ในดินสเมกไทต์ของเขตอบอุ่น แทบไม่เกิดขึ้น ส่งผลให้การอัดตัวของดินที่เกิดจากการจราจรของเครื่องจักรทางการเกษตรมีแนวโน้มสะสมในระยะยาว แม้เป็นการใช้งานตามปกติของรถแทรกเตอร์และเครื่องเก็บเกี่ยวก็ตาม

การศึกษาผลของการไถพรวนและการปลูกพืชต่อคุณสมบัติของดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำในภูมิภาคเซร์ราโด ประเทศบราซิล หลังการเพาะปลูกต่อเนื่องเป็นเวลา 12–14 ปี พบว่าความหนาแน่นรวมของดินผิวดินเพิ่มขึ้นแม้ในระดับไม่สูงมาก แต่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการลดลงของความพรุนขนาดใหญ่ อัตราการซึมผ่านของน้ำ และปริมาณมวลรวมขนาดใหญ่ ขณะเดียวกัน การใส่ปูนขาวและปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มค่า pH และสถานะของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้อย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนให้เห็นว่าการจัดการดินส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีมากกว่าทางกายภาพในระยะสั้น

การไถพรวนด้วยคราดจาน โดยเฉพาะในสภาพดินที่มีความชื้นสูงหลังฝนตก ส่งผลเสียต่อโครงสร้างดินอย่างรุนแรง การไถพรวนในสภาพดังกล่าวทำให้มวลรวมของดินแตกสลาย และเปิดเผยอินทรีย์วัตถุที่เดิมถูกปกป้องให้

สัมพันธ์กับกระบวนการออกซิเดชันมากขึ้น ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของโครงสร้างดินรุนแรงขึ้น ดังนั้น การกำหนดช่วงเวลาและวิธีการไถพรวนที่เหมาะสม รวมถึงการลดความถี่และความรุนแรงของการไถพรวน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ถึงขั้นที่รูปแบบปริมาณน้ำฝนมีความผันแปรสูง

การเพาะปลูกต่อเนื่องด้วยการไถพรวนแบบธรรมดา ร่วมกับการใส่ปุ๋ยและปุ๋ยเคมีในระยะยาว พบว่านำไปสู่การกระจายตัวของดินผิวดิน ปริมาณมวลรวมขนาดใหญ่ที่เสถียรต่อน้ำในชั้นผิวดินลดลงเกือบ 40% ขณะที่มวลรวมขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดินมีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำไหลบ่าและการพังทลายมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างดินยังพบลดลงไปได้ชั้นไถพรวน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องทั้งกับแรงกลจากการไถพรวนและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของผิวอนุภาคดินจากการใส่ปุ๋ยและปุ๋ย

แม้ดินออกซิไดซ์จะมีความพรุนสูงในระยะแรกของการเพาะปลูก แต่หลังการทำเกษตรด้วยเครื่องจักรเป็นเวลานานกว่าทศวรรษ มักเกิดข้อจำกัดทางกายภาพที่จำกัดการเจริญของรากพืช โดยเฉพาะในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง การบดอัดดินส่งผลกระทบต่อพืชที่ไวต่อสภาพดิน เช่น พืชตระกูลถั่ว การแก้ไขปัญหาคือการอัดตัวของดินด้วยวิธีเชิงกล เช่น การพรวนดินใต้ผิวดิน ให้ผลในระยะสั้นและมีต้นทุนพลังงานสูง

แนวทางการจัดการที่ยั่งยืนจึงควรมุ่งเน้นการไม่ไถพรวนหรือไถพรวนน้อย การคลุมดินด้วยเศษซากพืช การหมุนเวียนพืช และการใส่ปุ๋ยและปุ๋ยอย่างเหมาะสม รวมถึงการพัฒนาเครื่องมือเฉพาะที่สามารถปรับปรุงดินในระดับลึกโดยลดการรบกวนโครงสร้างดินผิวดิน ซึ่งแนวทางเหล่านี้มีศักยภาพในการชะลอหรือบรรเทาการเสื่อมโทรมทางกายภาพและเคมีของดินออกซิไดซ์ภายใต้การเพาะปลูกต่อเนื่อง

11.6 ระบบการใช้ที่ดินทางเลือก Alternative land-use systems

แนวทางการแก้ไขปัญหาคือการอัดตัวของดินที่เกิดจากการเพาะปลูกและการไถพรวนอย่างต่อเนื่องในระยะยาว จำเป็นต้องอาศัยระบบการใช้ที่ดินทางเลือกที่เน้นกระบวนการทางชีวภาพควบคู่ไปกับการจัดการดินอย่างเหมาะสม การใช้ปุ๋ยคอก พืชตระกูลถั่ว และพืชยืนต้นหรือพืชทุ่งหญ้าที่มีระบบรากลึก มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มกิจกรรมทางชีวภาพของดิน ช่วยสร้างรูพรุนขนาดกลางในชั้นดินใต้ผิวดินซึ่งอยู่ลึกเกินระดับการไถพรวน และเอื้อต่อการฟื้นฟูโครงสร้างดินอย่างยั่งยืน โดยมีรายงานว่าดินเซอร์ราโดที่ถูกเพาะปลูกอย่างเข้มข้นมักขาดสัตว์ดินขนาดใหญ่ ซึ่งสะท้อนถึงความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศในดิน

ระบบการใช้ที่ดินทางเลือก เช่น การพักดินตามธรรมชาติ การจัดการทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์อย่างเหมาะสม และการปลูกพืชยืนต้นหรือป่าทดแทน นอกจากจะช่วยลดการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสารกำจัดวัชพืชแล้ว ยังช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และส่งเสริมการกลับคืนของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะไส้เดือนดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างโครงสร้างดินและการหมุนเวียนธาตุอาหาร

การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของระบบการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินออกซิไดซ์ที่มีสถานะเบสต่ำสองชนิด ได้แก่ ดินเหนียว Acrustox และดินร่วน Haplustox พบว่าระบบการใช้ที่ดิน 4 รูปแบบ ได้แก่ การปลูกพืชไร่แบบหมุนเวียนข้าวโพด-ถั่วเหลืองโดยใช้การไถพรวนแบบธรรมดา การใช้ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (*Brachiaria decumbens*) การปลูกป่าทดแทน (*Pinus caribaea* และ *Eucalyptus citriodora*) และพืชพรรณธรรมชาติของเซอร์ราโด ให้ผลต่อคุณสมบัติดินแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ค่า pH ของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่เพาะปลูกและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ เมื่อเทียบกับพื้นที่พืชพรรณธรรมชาติและการปลูกป่าทดแทน ขณะที่การกระจายขนาดอนุภาคของดินแทบไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการจัดการดินส่งผลต่อสมบัติทางเคมีมากกว่าสมบัติพื้นฐานของเนื้อดิน

การวิเคราะห์มวลรวมที่เสถียรต่อน้ำในชั้นผิวดิน (0–12 ซม.) พบว่าดินเหนียวมีสัดส่วนของมวลรวมขนาดใหญ่ (มากกว่า 2 มม.) สูงกว่าดินร่วนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่พืชพรรณธรรมชาติ ในขณะที่การเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องร่วมกับการใส่ปุ๋ยและปุ๋ย ส่งผลให้ปริมาณมวลรวมขนาดใหญ่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับทุ่งหญ้า และพื้นที่ปลูกป่าทดแทน ซึ่งได้รับผลกระทบน้อยกว่า

นอกจากนี้ ระบบทุ่งหญ้าและการปลูกพืชยืนต้นยังช่วยเพิ่มจำนวนรูพรุนขนาดกลางในดิน ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ในทางตรงกันข้าม ดินเพาะปลูกมีแนวโน้มสูญเสียความพรุนขนาดใหญ่ และมีการกระจายรูพรุนไปอยู่ในช่วงขนาดกลางมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ประสภาวะฤดูแล้งซ้ำซากในช่วงฤดูฝน

สารพอลิแซ็กคาไรด์จากรากพืชและจุลินทรีย์ในดินทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะสำคัญของมวลรวมในระบบทุ่งหญ้า ขณะที่การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยในระบบพืชไร่อาจทำให้แรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคดินลดลง ดังนั้น การหมุนเวียนระบบการปลูกพืชไร่กับทุ่งหญ้า จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากสมดุลงของปุ๋ยและดินในบริเวณผิวดิน พร้อมทั้งส่งเสริมการพัฒนาระบบรากที่แข็งแรงและการสร้างสารยึดเกาะทางชีวภาพ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูโครงสร้างดินในระยะยาว

12. Properties and Management of Smectitic Soils

ดิน Smectitic เป็นดินร่วนปนดินเหนียวที่มีปริมาณแร่ Smectite ในส่วนดินเหนียวในระดับปานกลางถึงสูง โดยทั่วไป ดินเหล่านี้มีข้อจำกัดทางเคมีเพียงเล็กน้อย และเป็นหนึ่งในดินที่มีศักยภาพการผลิตสูงที่สุดในโลก ดิน Smectitic พบมากกว่าในเขตอบอุ่น (เช่น Mollisols, Alfisols, Vertisols, Entisols และ Inceptisols ที่มีแร่ธาตุแบบ Smectitic หรือแบบผสม) มากกว่าในเขตร้อน

ในเขตร้อนชื้นและกึ่งชื้น ดินเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นดินตะกอนน้ำพาอายุน้อย (Entisols และ Inceptisols) ที่พบในหุบเขาแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำชายฝั่งทะเล ดินเหล่านี้เป็นดินที่มีศักยภาพสูงที่สุดสำหรับการผลิตข้าวแบบเข้มข้น ในเอเชีย ดิน Smectitic เกือบทั้งหมด (ยกเว้นดินกรดซัลเฟต) ถูกนำไปใช้ปลูกข้าวภายใต้ระบบชลประทานด้วยการควบคุมชลประทานและการระบายน้ำที่ดี ระบบการปลูกพืชหลายครั้งต่อปี—รวมถึงข้าวสองครั้งและพืชไร่บนพื้นที่ดอนอีกหนึ่งครั้ง (เช่น พืชตระกูลถั่ว ผัก หรือพืชปุ๋ยพืชสด)—พบได้ทั่วไป โดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งที่มีประชากรหนาแน่นของไต้หวัน ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย

ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ดินเหนียว Smectitic แบบ Self-mulching (Vertisols) เป็นดินเกษตรที่สำคัญ เนื่องจากโครงสร้างผิวดินมีความพรุน เป็นเม็ด และแตกตัวง่าย จึงต้องใช้การเตรียมดินเพียงเล็กน้อยในการทำแปลงเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม Vertisols ที่ไม่ใช่แบบ Self-mulching แม้จะมีความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีสูง แต่กลับมีข้อจำกัดทางกายภาพหลายประการต่อการผลิตพืช ดินประเภทนี้มักจะแข็งและเกิดรอยแตกกว้างลึกมากในฤดูแล้ง และจะเหนียวติดเมื่อเปียก

ในการปลูกพืช มักใช้เครื่องมือไถพรวนที่ลากด้วยสัตว์หรือรถแทรกเตอร์ เพื่อสร้างแปลงยกร่องและร่องน้ำ เพื่อปรับปรุงการระบายน้ำผิวดินและควบคุมการพังทลายของดิน ในพื้นที่ชลประทาน ดินเหนียว Smectitic ยังถูกใช้ในการปลูกข้าวในพื้นที่แห้งแล้งอีกด้วย

12.1 คุณสมบัติของดิน Smectitic Properties of smectitic soils

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไป ดินสเมกไทต์มีสีเทาเข้มถึงน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินร่วนปนดินเหนียวและมีสัดส่วนของตะกอนในระดับปานกลาง ดินสเมกไทต์ที่มีเนื้อดินร่วนปนดินเหนียวมักมีการอัดตัวดีและมีสภาพโครงสร้างดินเหมาะสมต่อการเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม ดินสเมกไทต์ที่มีเนื้อดินเหนียวสูง โดยเฉพาะในเขตแห้งแล้ง จะแสดงพฤติกรรมการหดตัวและบวมตัวอย่างเด่นชัด ส่งผลให้เกิดรอยแตกกว้างขนาดใหญ่ในช่วงฤดูแล้ง และมีลักษณะเหนียวจัดในช่วงฤดูฝน

คุณสมบัติดังกล่าวทำให้การเตรียมแปลงเพาะปลูกทำได้ยาก ต้องใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่ที่อาศัยแรงลากจากรถแทรกเตอร์หรือสัตว์ใช้งาน และจำเป็นต้องเลือกช่วงเวลาการเตรียมดินอย่างเหมาะสม โดยมักดำเนินการในช่วงต้นฤดูฝนก่อนที่ดินจะอิ่มน้ำทั่วถึง ดินสเมกไทต์ที่เป็นดินเหนียวจัดหรือเวอร์ติซอลมักมีอัตราการซึมผ่านต่ำ จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดเซาะแบบแผ่นและแบบร่องสูง

ดินสเมกไทต์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง โดยเฉพาะในดินสเมกไทต์เนื้อดินเหนียว ความชื้นดินที่ระดับความจุสนามอยู่ในช่วงประมาณ 30–70% โดยน้ำหนัก ขณะที่ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วงค่อนข้างสูง ประมาณ 1.4–2.0 มก./ลบ.ม. เส้นโค้งการกักเก็บความชื้นของดินชนิดนี้แสดงให้เห็นการปลดปล่อยน้ำอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อแรงดูดเพิ่มขึ้น สะท้อนถึงการมีรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้น้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มีปริมาณสูง พืชไร่ที่ปลูกบนดินสเมกไทต์จึงมักไม่ประสบปัญหาการขาดน้ำรุนแรง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการระบายน้ำที่ช้าและระดับน้ำใต้ดินที่ค่อนข้างตื้น พืชไร่มักปลูกบนสันร่องหรือแปลงยกสูงเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมขัง ในดินสเมกไทต์เนื้อดินเหนียวในเขตแห้งแล้ง กิจกรรมของสัตว์ดินและการพัฒนารากพืชมักถูกจำกัด โดยรากพืชจะเจริญเติบโตได้ดีเฉพาะบริเวณรอยแตกกว้างของดิน

2) คุณสมบัติทางเคมี

ดินสเมกไทต์มีลักษณะเด่นทางเคมี ได้แก่ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ความอึดตัวของเบสสูง และความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสต่ำ ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้หลักคือแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเอื้อต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในบางพื้นที่ เช่น บริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำชายฝั่ง ดินสเมกไทต์อาจมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง ดินในลักษณะดังกล่าวมักถูกใช้ในการปลูกข้าว เนื่องจากข้าวสามารถทนต่อความเค็มในระดับต่ำถึงปานกลางได้ดี

12.2 การใช้และการจัดการดิน Smectitic ในพื้นที่ชื้นแฉะ Properties of smectitic soils

ดินสเมกไทต์ในพื้นที่ชื้นแฉะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหารของมนุษยชาติ โดยเฉพาะในเอเชียเขตร้อนซึ่งเป็นหนึ่งในภูมิภาคที่มีประชากรหนาแน่นที่สุดของโลก ระบบการปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มลึก สามเหลี่ยมปากแม่น้ำ และพื้นที่ดินเหนียว ได้รับการพัฒนาและสืบทอดต่อเนื่องมานานหลายศตวรรษ จนกลายเป็นระบบนิเวศดินที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือที่เรียกว่า “ดินนาข้าว” (paddy soils) ดินสเมกไทต์เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการพัฒนานาข้าว เนื่องจากมีการซึมผ่านต่ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ

ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ชุ่มน้ำในแอฟริกาและละตินอเมริกาในอดีตเคยถูกจัดว่าเป็นพื้นที่ไร้ประโยชน์ เนื่องจากปัญหาโรคที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่วมขัง อย่างไรก็ตาม เกษตรกรพื้นเมืองได้พัฒนาระบบการใช้ที่ดินที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม เช่น การปลูกมันเทศบนเนินดินสูงและปลูกข้าวในร่องน้ำระหว่างเนิน แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในศักยภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินสเมกไทต์ แม้ต้องใช้แรงงานสูงก็ตาม ในเอเชียเขตร้อน พื้นที่ดินสเมกไทต์เกือบทั้งหมด (ยกเว้นป่าชายเลน) ถูกปรับเปลี่ยนเป็นนาข้าวชลประทาน

ระบบนิเวศนาข้าวและการผลิตข้าว

นาข้าวเป็นพื้นที่ราบที่ถูกล้อมด้วยคันดินและมีน้ำท่วมขังตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ดินสมกไทด์ซึ่งมีมอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินเหนียวหลัก ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าดินเคโอลิไนต์อย่างมีนัยสำคัญภายใต้การจัดการระดับเดียวกัน โดยเฉพาะในระบบที่มีการควบคุมน้ำและใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสม โดยทั่วไป ผลผลิตข้าวในระบบนาข้าวจะสูงกว่าระบบที่อาศัยน้ำฝน เนื่องจากมีธาตุอาหารพร้อมใช้มากกว่า ลดการสูญเสียดินจากการกัดเซาะ ลดการแข่งขันจากวัชพืช และเอื้อต่อการปลูกพืชหลายครั้งต่อปี

การสร้างระบบนาข้าวเกี่ยวข้องกับการปรับระดับพื้นที่และการควบคุมการไหลของน้ำผ่านคันดินและคลองชลประทาน การท่วมขังของดินทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพออกซิไดซ์เป็นสภาพรีดิวซ์ เกิดกระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันอย่างเป็นลำดับ ส่งผลให้ธาตุอาหารหลายชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น และพร้อมให้ต้นข้าวดูดใช้มากขึ้น ขณะเดียวกัน กระบวนการดีไนตริฟิเคชันอาจทำให้ไนโตรเจนสูญเสียในรูปก๊าซ แต่การชะล้างไนโตรเจนมักมีน้อย เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำในนาข้าวค่อนข้างต่ำ

การจัดการน้ำในนาข้าว

การควบคุมน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการรักษาผลผลิตข้าวให้อยู่ในระดับสูง ดินในนาข้าวมักอยู่ในสภาพอิ่มตัวหรือเกือบอิ่มตัวด้วยน้ำ การไหลของน้ำเกิดขึ้นผ่านรูพรุนขนาดใหญ่ที่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำในนาข้าวมีความแปรปรวนสูง การไหลพรุนแบบแอ่งน้ำหลังการท่วมขังช่วยลดการซึมผ่านของน้ำ เพิ่มความพรุนขนาดเล็ก และเสริมสร้างชั้นดินรีดิวซ์ ซึ่งช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหาร อัตราการซึมผ่านของน้ำที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อผลผลิตข้าว งานวิจัยพบว่า ผลผลิตสูงสุดสัมพันธ์กับอัตราการซึมผ่านประมาณ 20–25 มิลลิเมตรต่อวัน หากการระบายน้ำไม่ดีเกินไป จะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์และสารพิษจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลเสียต่อการเจริญของรากข้าว ดังนั้น นาข้าวที่ระบายน้ำไม่ดีจำเป็นต้องมีการระบายน้ำเป็นระยะ รวมถึงการจัดระบบคูน้ำหรือท่อระบายน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในดินเหนียว

การไหลพรุนและการเตรียมแปลงปลูก

ดินสมกไทด์มีข้อจำกัดทางกายภาพน้อยสำหรับการปลูกข้าวเมื่อเทียบกับพีชไร์ การเตรียมแปลงปลูกข้าวมักประกอบด้วย การนำน้ำเข้าแปลง การไหลพรุนเพื่อแตกก้อนดิน การพรุนแอ่งน้ำ และการปรับระดับผิวดินให้เหมาะสมต่อการย้ายกล้า การปลูกข้าวแบบย้ายกล้าเป็นวิธีที่นิยมในเอเชีย เนื่องจากช่วยควบคุมวัชพืชและเพิ่มอัตราการตั้งตัวของต้นข้าว แม้ในบางพื้นที่ที่ขาดแคลนแรงงานจะเริ่มใช้เครื่องจักรกลขนาดเล็กเข้ามาทดแทน

การจัดการธาตุอาหาร

แม้ว่าน้ำท่วมขังจะช่วยเพิ่มความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม แต่การปลูกข้าวพันธุ์ให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องเสริมธาตุอาหารเพิ่มเติม โดยเฉพาะไนโตรเจน ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมักไม่ตอบสนองต่อไนโตรเจนในอัตราสูง และมีความเสี่ยงต่อการล้ม ในขณะที่ยาพันธุ์ปรับปรุง (HYV) ที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) สามารถตอบสนองต่อไนโตรเจนสูงได้ดี หากมีการควบคุมน้ำและศัตรูพืชอย่างเหมาะสม การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100–200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยแบ่งใส่หลายครั้ง เป็นแนวปฏิบัติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

การจัดการเศษซากพืช โดยเฉพาะฟางข้าว เป็นองค์ประกอบสำคัญของการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน การไถกลบฟางข้าวช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน แต่ควรดำเนินการก่อนน้ำท่วมและเพื่อเวลาให้เกิดการย่อยสลายอย่างเพียงพอ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสภาพรีดิวซ์รุนแรงที่อาจเป็นพิษต่อรากข้าว

การกระจายและหมุนเวียนพืชผล

การปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องและเข้มข้นเพิ่มความเสี่ยงของศัตรูพืชและโรคพืช รวมถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศนาข้าว เช่น การลดลงของประชากรปลา การปลูกพืชหมุนเวียนและการปลูกพืชหลากหลายชนิดหลังนาข้าว เช่น พืชตระกูลถั่ว ผัก และพืชไร่บนพื้นที่ยกสูง เป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้สารเคมี ปรับปรุงโครงสร้างดิน และเพิ่มความยั่งยืนของระบบการใช้ที่ดินบนดินสมกโทต์ในระยะยาว

12.3 การใช้ประโยชน์ดินกรดซัลเฟต Use of acid sulfate soils

ดินกรดซัลเฟต (acid sulfate soils) ซึ่งจำแนกอยู่ในกลุ่มซัลฟาควেন্ট (Sulfaquents) และซัลฟาควอปต์ (Sulfaquepts) เป็นดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภทสมกโทต์เป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง ทั้งในด้านธาตุอาหารพืชที่จำเป็น เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม รวมถึงอินทรีย์วัตถุที่สะสมจากสภาพแวดล้อมซึ่งมีน้ำท่วมขังตามฤดูกาล อย่างไรก็ตาม ดินประเภทนี้มีข้อจำกัดสำคัญด้านเคมีดิน โดยเฉพาะความเป็นกรดรุนแรงเมื่อดินแห้ง

ภายใต้สภาพแห้ง ดินกรดซัลเฟตมักมีค่า pH ต่ำมาก ประมาณ 2.0 หรือต่ำกว่า เนื่องจากการเกิดกรดซัลฟิวริกจากการออกซิเดชันของแร่ซัลไฟด์ แต่เมื่อดินถูกน้ำท่วมและอยู่ในสภาวะรีดิวซ์ ค่า pH ของดินจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 5.5 หรือสูงกว่า ส่งผลให้ความเป็นพิษของดินลดลง และธาตุอาหารพืชมีความพร้อมใช้มากขึ้น สภาพดังกล่าวเอื้อต่อการปลูกข้าวเป็นอย่างยิ่ง

ในเอเชียเขตร้อน ดินกรดซัลเฟตมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง โดยเฉพาะในประเทศไทยและเวียดนาม ซึ่งมีพื้นที่หลายแสนถึงกว่าล้านเฮกตาร์ที่ถูกนำมาใช้ปลูกข้าวแบบอาศัยน้ำฝน ดินเหล่านี้ได้รับประโยชน์จากการท่วมขังตามฤดูกาลซึ่งช่วยเติมเต็มธาตุอาหารจากตะกอนน้ำ ทำให้สามารถให้ผลผลิตข้าวในระดับประมาณ 2–4 ตันต่อเฮกตาร์ได้ แม้จะมีการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอกในระดับต่ำหรือแทบไม่ใช้เลย

อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากดินกรดซัลเฟตอย่างยั่งยืนสามารถทำได้เฉพาะในบางพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งที่มีน้ำท่วมขังในฤดูฝนอย่างสม่ำเสมอ ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งหลายแห่งซึ่งมีดินกรดซัลเฟตเป็นบริเวณกว้าง มักไม่เหมาะสมต่อการเกษตร เนื่องจากประสบปัญหาความเค็มสูง น้ำท่วมลึกในฤดูฝน และความเป็นกรดรุนแรงในฤดูแล้ง ความพยายามในอดีตในการปรับปรุงดินเหล่านี้โดยการระบายน้ำเพื่อปลูกพืชไร่ส่วนใหญ่ไม่ประสบความสำเร็จ

เห็นได้ชัดว่า การจัดการดินกรดซัลเฟตต้องอาศัยความเข้าใจอย่างลึกซึ้งต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดินและระบบน้ำ ในหลายกรณี การอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนซึ่งเป็นแหล่งดินกรดซัลเฟตตามธรรมชาติไว้เป็นเขตอนุรักษ์ระบบนิเวศชายฝั่ง นับเป็นแนวทางที่เหมาะสมทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน มากกว่าการพยายามนำมาใช้เพื่อการเกษตร

12.4 การใช้และการจัดการดิน Smectitic ในพื้นที่ที่ชื้นกว่า Use and management of smectitic soils in wetter regions

ดินสมกตติคิกในพื้นที่แห้งแล้งมักพบกระจายตัวอยู่ในแอ่งลุ่มน้ำทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กในแผ่นดิน ดินประเภทนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ “ดินดำแตกร้าว” และจัดอยู่ในกลุ่มดินเวอร์ติซอล (Vertisols) และดินที่เกี่ยวข้องตามระบบการจำแนกดิน พืชพรรณธรรมชาติที่ปกคลุมพื้นที่เหล่านี้โดยทั่วไปเป็นทุ่งหญ้าสะวันนาสูง มีไม้ยืนต้นและพุ่มไม้ขึ้นกระจัดกระจาย

แม้ว่าดินสมกตติคิกจะมีความอุดมสมบูรณ์ทางเคมีค่อนข้างสูง แต่กลับมีข้อจำกัดทางกายภาพที่สำคัญต่อการเพาะปลูก เนื่องจากดินมีความแข็งมากเมื่อแห้ง และมีความเหนียวจัดเมื่อเปียกน้ำ ส่งผลให้การไถพรวนและการ

เตรียมแปลงเพาะปลูกทำได้ยาก โดยเฉพาะสำหรับการปลูกพืชไร่ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ไถพรวนขนาดใหญ่ที่อาศัยแรงงานสัตว์หรือเครื่องจักรกลการเกษตร การใช้ประโยชน์จากดินสมกติดึกในพื้นที่แห้งแล้งจึงมักอยู่ในรูปแบบของการเลี้ยงปศุสัตว์ การเก็บฟืน และการปลูกพืชไร่ทนแล้งแบบดั้งเดิมในฤดูฝนหรือฤดูแล้ง เช่น ข้าวฟ่าง ฝ้าย และถั่วชิกพี รวมถึงการปลูกฝ้ายในระบบชลประทานขนาดใหญ่ และการปลูกข้าวในระบบชลประทานขนาดเล็ก

ในเอเชียเขตร้อน ดินสมกติดึกจำนวนมากถูกพัฒนาเป็นนาข้าวชลประทาน เนื่องจากมีแหล่งน้ำเพียงพอและสามารถควบคุมน้ำได้สะดวก ขณะที่ในประเทศอินเดีย ดินประเภทนี้ถูกใช้ปลูกฝ้าย ข้าวฟ่าง และพืชตระกูลถั่วเป็นหลัก ส่วนในแอฟริกา เช่น บริเวณรอบทะเลสาบชาด ระบบการใช้ที่ดินแบบดั้งเดิมประกอบด้วยการเลี้ยงสัตว์และการปลูกข้าวฟ่างแบบย้ายกล้าในฤดูแล้ง โดยอาศัยความชื้นที่เหลืออยู่ในดินหลังฤดูฝน ต้นกล้าจะถูกเพาะในดินทรายหรือดินร่วนบนพื้นที่สูงก่อนย้ายปลูกลงในหลุมลึกประมาณ 20–30 เซนติเมตรในแปลงเพาะปลูก ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในระดับประมาณ 1 ตันต่อเฮกตาร์

ในพื้นที่ที่มีการพัฒนาระบบชลประทาน ดินเวอร์ติซอลขนาดใหญ่ในภูมิภาคทะเลสาบชาดทางตอนเหนือของประเทศแคเมอรูนถูกเปลี่ยนเป็นนาข้าวตั้งแต่ทศวรรษ 1960 โดยมีการบริหารจัดการในรูปแบบนาข้าวขนาดเล็กตามแบบเอเชีย ภายใต้การดูแลของสหกรณ์เกษตรกร การปลูกข้าวพันธุ์ปรับปรุงจากไต้หวันและสถาบัน IRRI ให้ผลผลิตสูงถึง 3–5 ตันต่อเฮกตาร์ อันเป็นผลจากความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพรังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม

ตัวอย่างสำคัญของการใช้ดินสมกติดึกอย่างเข้มข้นพบในเขตเคซีรา ประเทศซูดานตอนกลาง ซึ่งมีการพัฒนาดินเวอร์ติซอลขนาดใหญ่เพื่อการผลิตฝ้ายเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 20 ดินในพื้นที่นี้เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มไม่เค็ม มีโซเดียมในระดับต่ำ แต่มีการซึมผ่านของน้ำช้ามาก และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนรวมค่อนข้างต่ำ การจัดการดินในระยะแรกอาศัยการปลูกฝ้ายสลับกับการปล่อยที่ดินพักฟื้นเป็นเวลาหลายปี ต่อมามีการนำปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืชมาใช้ ทำให้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนเข้มข้นขึ้น แม้จะยังไม่พบปัญหาความเค็มหรือโซเดียมสะสม แต่มีหลักฐานของการเสื่อมโทรมด้านกายภาพของดิน โดยเฉพาะการอัดตัวของดินและการลดลงของอินทรีย์วัตถุ

ปัญหาสำคัญของการใช้ดินสมกติดึกในพื้นที่แห้งแล้งคือการจัดการน้ำผิวดินส่วนเกินในช่วงฤดูฝน การเตรียมแปลงเพาะปลูกจึงมักอาศัยการสร้างสันดิน แปลงปลูกกว้าง และร่องระบายน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำและลดการท่วมขัง ระบบดังกล่าวช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการปลูกบนแปลงราบโดยไม่มีการระบายน้ำที่เหมาะสม

ในระดับลุ่มน้ำขนาดเล็ก การจัดการดินและน้ำที่มีประสิทธิภาพควรประกอบด้วยการจัดวางแปลงปลูกตามแนวระดับ การสร้างร่องระบายน้ำที่มีพืชคลุม และการก่อสร้างแหล่งกักเก็บน้ำขนาดเล็ก เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำฝนในฤดูแล้งและลดการสูญเสียจากการไหลบ่าผิวดิน

ในด้านการจัดการธาตุอาหาร ดินสมกติดึกในพื้นที่แห้งแล้งมักมีข้อจำกัดทางเคมีน้อย ยกเว้นปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำ การใช้ดินอย่างต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องเสริมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากภายนอก รวมถึงการจัดการเศษซากพืชเพื่อรักษาโครงสร้างดิน ฟอสฟอรัสมักไม่ถูกตรึงในดินชนิดนี้เนื่องจากค่า pH ค่อนข้างเป็นกลางถึงด่าง และมีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมต่ำ ขณะที่การจัดการไนโตรเจนควรใช้วิธีใส่ปุ๋ยแบบฝังลึกและแบ่งใส่ เพื่อลดการสูญเสียจากการระเหยและการไหลผ่านรอยแตกขนาดใหญ่ของดิน

โดยสรุป ดินสมกติดึกในพื้นที่แห้งแล้งมีศักยภาพสูงต่อการผลิตทางการเกษตร หากมีการจัดการน้ำ การไถพรวน และการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ ความยั่งยืนของการใช้ดินขึ้นอยู่กับผลการเสื่อมโทรมทางกายภาพของดินและการรักษาสมดุลของระบบนิเวศเกษตรในระยะยาว

13. Properties and Management of Allophanic Soils

ดิน Allophanic (หรือที่รู้จักกันว่า ดินเถ้าภูเขาไฟ หรือ Andisols) โดยเฉพาะดินที่เกิดจากเถ้าหินบะซอลต์ มีคุณสมบัติดินที่ดีมากและมีความอุดมสมบูรณ์สูงในเขตร้อน ดินชนิดนี้มีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายน้ำต่า และมีธาตุอาหารสำหรับพืชในระดับสูง

แม้ว่าดินเหล่านี้จะถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตพืชอาหารและพืชเศรษฐกิจ แต่พื้นที่ชนบทที่มีประชากรหนาแน่นในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ รวันดา และบรูไน มักเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของดินเถ้าภูเขาไฟ พืชอาหารและพืชเศรษฐกิจหลากหลายชนิดสามารถปลูกบนดินเหล่านี้ได้ รวมถึงกาแฟ กล้วย สับปะรด และพืชผักหลายชนิด ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำกัดการผลิตพืชอย่างเข้มข้นบนดินชนิดนี้

13.1 คุณสมบัติของดิน Allophanic Properties of allophanic soils

ดินอัลโลฟานิกเป็นดินที่พัฒนามาจากเถ้าภูเขาไฟ โดยมีลักษณะเด่นทั้งด้านกายภาพ เคมี และแร่วิทยา ซึ่งแตกต่างจากดินแร่ดินเหนียวทั่วไปอย่างชัดเจน สมบัติเหล่านี้ส่งผลให้ดินอัลโลฟานิกมีศักยภาพสูงต่อการผลิตพืช แต่ขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดด้านการจัดการธาตุอาหารบางประการ โดยเฉพาะฟอสฟอรัส

คุณสมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไป ดินอัลโลฟานิกมีผิวดินสีเข้ม เนื้อดินให้ความรู้สึกลื่นหรือเหนียวเมื่อเปียก มีโครงสร้างเป็นเม็ดหรือเม็ดใหญ่ที่ค่อนข้างเสถียร และมีความหนาแน่นรวมต่ำมาก โดยอยู่ในช่วงประมาณ 0.3–0.8 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แม้ดินชนิดนี้จะมีการระบายน้ำดี แต่หลังฝนตกต่อเนื่องหลายวันยังสามารถกักเก็บน้ำไว้ในปริมาณสูง เมื่อกดด้วยนิ้วมือ ดินจะให้ความรู้สึกเหนียวแต่ไม่เหนอะหนะ คล้ายดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนปนทรายละเอียด และเมื่อแห้งจะสูญเสียความชื้น กลายเป็นดินร่วนปนแข็ง

ความหนาแน่นรวมที่ต่ำของดินอัลโลฟานิกสัมพันธ์โดยตรงกับความพรุนรวมที่สูงมาก ดินอัลโลฟานิกที่ผุดในระดับปานกลางอาจมีความพรุนรวมสูงถึงประมาณ 78% โดยประกอบด้วยรูพรุนขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กในสัดส่วนที่ค่อนข้างสมดุล รูพรุนขนาดกลางมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขณะที่รูพรุนขนาดเล็กกักเก็บน้ำไว้อย่างแน่นหนาเกินกว่าที่รากพืชจะดูดใช้ได้ ส่วนรูพรุนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทอากาศและการซึมผ่านของน้ำในดิน

ดินอัลโลฟานิกมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศชื้นและมีปริมาณอัลโลเฟนสูง ความชื้นของดินที่ความจุของแปลงปลูกอาจสูงถึงประมาณ 300% เมื่อคำนวณจากน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม การแสดงปริมาณน้ำในรูปเชิงปริมาตรจะสะท้อนสมบัติการกักเก็บน้ำของดินชนิดนี้ได้เหมาะสมกว่า เมื่อดินอัลโลฟานิกแห้ง มักเกิดการรวมตัวเป็นก้อนขนาดเท่าตะกอนหรือใหญ่กว่า และก้อนดินเหล่านี้ไม่แตกตัวเมื่อเปียกน้ำ ส่งผลให้ความพรุนของดินลดลงอย่างถาวร ดังนั้น การประเมินสมบัติการกักเก็บความชื้นของดินอัลโลฟานิกจึงควรพิจารณาในสภาพดินชื้นในแปลงปลูก

ในด้านโครงสร้าง ดินอัลโลฟานิกมีความมั่นคงสูง พื้นที่ที่มีความชื้นสม่ำเสมอมักมีโครงสร้างแบบเม็ด ในขณะที่พื้นที่ที่มีวัฏจักรเปียกและแห้งชัดเจนมักพัฒนาเป็นโครงสร้างแบบเสา ดินชนิดนี้มีความไวต่อการกัดเซาะโดยน้ำต่ามาก แต่เมื่อดินแห้งและแตกเป็นผง จะมีความไวต่อการพัดพาโดยลมเพิ่มขึ้น

คุณสมบัติทางเคมีและแร่วิทยา

ในส่วนของแร่วิทยา ดินอัลโลฟานิกประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดอสัณฐานเป็นหลัก ได้แก่ อัลโลเฟน อิมโอโกไลต์ ฮัลลอยไซต์ และอะลูมิเนียมซิลิเกตอสัณฐาน อัลโลเฟนมีโครงสร้างเป็นทรงกลมกลวงขนาดเล็กมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4–5 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากถึง 700–1100 ตารางเมตรต่อกรัม ทำให้มีบทบาท

สำคัญต่อสมบัติทางเคมีของดิน อิโมโกไลต์พบร่วมกันในดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟแก้ว มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คล้ายเส้นด้ายยาวระดับไมโครเมตร แร่ทั้งสองชนิดเป็นอสังฐานต่อรังสีเอกซ์ และสามารถตรวจสอบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ดินอัลโลฟานิกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก โดยมักมากกว่า 10% ในชั้นผิวดิน อินทรีย์วัตถุเหล่านี้เกิดการจับยึดอย่างแน่นแฟ้นกับอัลโลเฟนและซิลิเกตของอะลูมิเนียมในรูปอสัณฐาน ส่งผลให้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้าลง ดินชนิดนี้ยังมีสมบัติประจุไฟฟ้าผันแปรสูง ทั้งในรูปความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และไอออนลบ (AEC) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH ของดิน

ที่ค่า pH ประมาณ 3.7 ดินอัลโลฟานิกจะอยู่ที่จุดประจุไฟฟ้าศูนย์ (zero point of charge: ZPC) เมื่อค่า pH สูงกว่าจุดนี้ ปริมาณประจุลบของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ที่ pH ประมาณ 6.0 ดินมี CEC สุทธิประมาณ 30 เซนติโมลต่อกิโลกรัม สามารถกักเก็บไอออนบวกจากสารละลายดินได้ดี ในทางตรงกันข้าม ที่ค่า pH ต่ำกว่าจุด ZPC ดินจะมีประจุบวกสุทธิ ซึ่งเอื้อต่อการดูดซับไอออนลบ เช่น ไนเตรตและซัลเฟต สมบัติประจุผันแปรของดินยังได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายดิน โดยประจุพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น เช่น หลังการใส่ปุ๋ยเคมี

ดินอัลโลฟานิก โดยเฉพาะดินที่มีอัลโลเฟนในปริมาณปานกลางถึงสูง มีความสามารถสูงในการดูดซับแอนไอออน ซึ่งช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง อย่างไรก็ตาม การดูดซับฟอสเฟตในดินอัลโลฟานิกมีลักษณะค่อนข้างถาวรและไม่สามารถย้อนกลับได้ง่าย ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมที่อยู่ในรูปที่ทำปฏิกิริยาได้ รวมถึงค่า pH ของดิน โดยดินอัลโลฟานิกที่เป็นกรดจะมีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูงกว่าดินที่มีสถานะเบสสูง แม้ดินชนิดนี้จะมีฟอสฟอรัสรวมในปริมาณค่อนข้างมาก แต่ความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสกลับสูงมาก เมื่อเทียบกับดินสมบุกไทด์และดินเคโอลินต์ ดินอัลโลฟานิกที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟเบส เช่น เถ้าบะซอลต์ มักมีสถานะเบสสูง อุดมไปด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ในขณะที่ดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟกรด เช่น แอนดีไซต์ มักมีสถานะเบสต่ำ ในดินเถ้าภูเขาไฟอายุน้อย ฟอสฟอรัสอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตและอะพาไทต์ ซึ่งสามารถละลายและเป็นแหล่งฟอสฟอรัสให้พืชได้เพียงพอ อย่างไรก็ตาม เมื่อกระบวนการผุพังดำเนินไปเป็นเวลานาน แคลเซียมฟอสเฟตจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นฟอสเฟตของอะลูมิเนียมและเหล็กที่ละลายน้ำได้น้อย รวมทั้งเกิดการบดบังฟอสฟอรัสภายในไมโครแอ็กเกรเกต ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ลดลง กระบวนการดังกล่าวมักใช้เวลาหลายหมื่นปีในสภาพแวดล้อมเขตร้อน โดยสรุป ดินอัลโลฟานิกที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟ โดยเฉพาะที่มีต้นกำเนิดจากบะซอลต์และแอนดีไซต์ มีศักยภาพสูงต่อการผลิตพืช เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักสูง มีน้ำที่พืชสามารถใช้ได้ในปริมาณมาก โครงสร้างดินเอื้อต่อการพัฒนาราก และมีแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม การจัดการฟอสฟอรัสอย่างเหมาะสมยังคงเป็นประเด็นสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ดินอัลโลฟานิกอย่างยั่งยืน

13.2 การใช้และการจัดการดิน Allophanic Use and management of allophanic soils

ดินอัลโลฟานิกนับเป็นหนึ่งในดินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงที่สุดในเขตร้อน โดยเฉพาะดินที่มีวัสดุต้นกำเนิดจากเถ้าภูเขาไฟชนิดบะซอลต์ ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพที่ดีเยี่ยม โครงสร้างดินมั่นคง ความหนาแน่นต่ำ และสามารถกักเก็บน้ำได้สูง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการเพาะปลูกพืชไร่ พืชอาหาร และพืชเศรษฐกิจหลากหลายชนิด ทั้งในดินที่มีสถานะเบสสูงและต่ำ แม้ว่าดินประเภทนี้จะมีการกระจายตัวจำกัด แต่กลับรองรับประชากรหนาแน่นในหลายประเทศเขตร้อน เช่น อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เอธิโอเปีย เคนยา และประเทศในอเมริกากลาง โดยในบางพื้นที่ของชาวตอนกลาง ดินอัลโลฟานิกสามารถรองรับประชากรได้มากกว่า 500 คนต่อตารางกิโลเมตร

ดินอัลโลฟานิกที่มีสถานะเบสสูงในเขตภูมิอากาศชื้น เช่น ในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ฮาวาย และคอ스타ริกา มักถูกใช้ปลูกพืชที่มีมูลค่าสูง ได้แก่ กาแฟ กล้วย สับปะรด อ้อย และพืชผัก โดยต้องพึ่งพาปัจจัยการผลิตจากภายนอกในระดับต่ำ ในทางตรงกันข้าม ดินอัลโลฟานิกที่มีสถานะเบสต่ำและมีความเป็นกรดสูง เช่น ในสุมาตราและญี่ปุ่น จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารอย่างเข้มข้น โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยขาวและปุ๋ยฟอสฟอรัส เพื่อแก้ปัญหาฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำและผลกระทบจากอะลูมิเนียมที่มีฤทธิ์สูง

แม้ว่าดินอัลโลฟานิกจะมีไนโตรเจนอินทรีย์ในปริมาณสูง แต่ไนโตรเจนดังกล่าวมีความเสถียรและถูกปลดปล่อยสู่พืชอย่างช้า ๆ อันเนื่องมาจากการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างอินทรีย์วัตถุกับอัลโลเฟน รวมถึงการก่อดังของไมโครแอ็กเกรเกตที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จุลินทรีย์ ดังนั้น การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนจึงควรอาศัยอัตราการแร่ธาตุของไนโตรเจนอินทรีย์ในดิน เพื่อกำหนดปริมาณและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับความต้องการของพืช ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุดที่ดินอัลโลฟานิก เนื่องจากดินมีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณมากจึงพบได้ทั่วไป โดยควรใช้เทคนิคการใส่ปุ๋ยเฉพาะจุดหรือการรีดดิน เพื่อลดการตรึงฟอสฟอรัสและเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ของพืช

สถานะของโพแทสเซียมในดินอัลโลฟานิกที่มีสถานะเบสสูงโดยทั่วไปเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม ดินประเภทนี้ไม่สามารถกักเก็บโพแทสเซียมไว้บนสารเชิงซ้อนแลกเปลี่ยนได้ดี ทำให้โพแทสเซียมสูญเสียจากการชะล้างได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพอากาศเขตร้อนชื้น พืชที่มีความต้องการโพแทสเซียมสูง เช่น อ้อยและกล้วย จำเป็นต้องได้รับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเมื่อค่าที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าระดับวิกฤต ซึ่งควรพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ดินร่วมกับข้อมูลการตอบสนองของพืช

โดยทั่วไป ดินอัลโลฟานิกมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเพียงพอ และการขาดธาตุอาหารรองพบได้น้อย ยกเว้นในดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟที่เป็นกรด อย่างไรก็ตาม ในระบบการผลิตพืชแบบเข้มข้น อาจจำเป็นต้องเสริมธาตุอาหารรองบางชนิด เช่น ทองแดง สังกะสี และโบรอน โดยเฉพาะในพืชผักและพืชสวนที่มีมูลค่าสูง ในด้านความเป็นกรด ดินอัลโลฟานิกที่มีสถานะเบสต่ำแม้จะมีค่า pH ต่ำ แต่โดยทั่วไปจะมีอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ในระดับต่ำ ทำให้ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมไม่ใช่อุปสรรคหลักต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม ดินเถ้าภูเขาไฟที่ไม่ใช่อัลโลฟานิกและมีแร่ซิลิเกตชนิด 2:1 ในปริมาณสูง อาจประสบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียม จำเป็นต้องมีการใส่ปูนขาวเพื่อปรับปรุงสภาพดิน

ดินอัลโลฟานิกมีความสามารถในการพรุนดินและความคงตัวของโครงสร้างสูง ทำให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกแม้ในพื้นที่ลาดชัน โดยมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของดินต่ำ ดินชนิดนี้ทนต่อการอัดแน่นและสามารถฟื้นตัวได้ดีหลังการเปียกและแห้งซ้ำ ๆ ซึ่งแตกต่างจากดินเคโอลิไนต์และดินออกซิไดซ์ ส่งผลให้ดินอัลโลฟานิกเป็นทรัพยากรดินที่มีศักยภาพสูงต่อการเกษตรอย่างยั่งยืนในเขตร้อน

14. Soil and Sustainable Agriculture: Ecological Considerations

ผลผลิตและความมั่นคงของระบบนิเวศธรรมชาติถูกรักษาไว้ด้วยความหลากหลายทางชีวภาพและวงจรธาตุอาหารภายใน ผ่านทั้งห่วงโซ่อาหารเหนือพื้นดินและห่วงโซ่อาหารซากอินทรีย์วัตถุใต้ดิน ระบบเกษตรแตกต่างจากระบบนิเวศธรรมชาติ ตรงที่ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง กิจกรรมของห่วงโซ่อาหารซากอินทรีย์วัตถุถูกลดทอน และมีการสูญเสียธาตุอาหารผ่านการชะล้าง การไหลบ่าของน้ำผิวดิน และการชะล้างลึก เมื่อผิวดินไม่ได้รับการปกป้องจากฝน และเมื่อมีการนำผลผลิตออกจากระบบ

พื้นที่ส่วนใหญ่ในเขตร้อนชื้นถูกครอบงำด้วยดินที่ผ่านการผุพังอย่างรุนแรงและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับระบบการปลูกพืชเชิงพาณิชย์ที่ใช้พลังงานสูง การพัฒนาระบบเกษตรที่ยั่งยืนจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับกลยุทธ์การจัดการที่ช่วยเพิ่มความหลากหลายของชนิดพืชในแปลง และกระตุ้นกิจกรรมของห่วงโซ่อาหารในดิน สิ่งนี้สามารถทำได้ผ่านการใช้วัสดุอินทรีย์มากขึ้น การไถพรวนน้อยที่สุด และมาตรการที่เหมาะสมอื่น ๆ เพื่อรักษาสุขภาพกายภาพ เคมี และชีวภาพที่ดีในชั้นบนของดิน

การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืนในเขตร้อนชื้นอาจจำเป็นต้องใช้แนวทางการจัดการลุ่มน้ำแบบบูรณาการ รวมถึงกลยุทธ์การใช้ที่ดินที่หลากหลายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจัดวางตามลักษณะภูมิประเทศร่วมกับการกักเก็บน้ำ

14.1 แนวคิดระบบนิเวศ

ชีวมณฑล (biosphere) หมายถึงขอบเขตของโลกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยการปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของสามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ชั้นบรรยากาศ ธรณีภาค และอุทกภาค ชั้นบรรยากาศทำหน้าที่ควบคุมชนิดและปริมาณของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกถึงพื้นผิวโลก กักเก็บความร้อน ไอน้ำ และก๊าซสำคัญ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน รวมทั้งเป็นแหล่งกำเนิดของฝนที่หล่อเลี้ยงสิ่งมีชีวิต ขณะที่ธรณีภาคและอุทกภาคเป็นแหล่งอาศัยของพืช สัตว์ จุลินทรีย์ และแพลงก์ตอนพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหาร น้ำ และแร่ธาตุให้แก่สิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิด นอกจากนี้ ดิน พืชสีเขียวบนบก และแพลงก์ตอนพืชในมหาสมุทร ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

ในอดีต มนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศธรรมชาติ แต่เมื่อสังคมพัฒนา มนุษย์ได้ปรับเปลี่ยนระบบนิเวศธรรมชาติหรือสร้างระบบนิเวศเทียมขึ้น เช่น พื้นที่เกษตรกรรม หมู่บ้าน และเมือง ระบบนิเวศธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ทุ่งหญ้า และทะเลสาบ มีเสถียรภาพได้จากความหลากหลายทางชีวภาพและความสมดุลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตาม เสถียรภาพดังกล่าวสามารถถูกรบกวนได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การปะทุของภูเขาไฟ และกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะที่ระบบนิเวศเทียมจำเป็นต้องพึ่งพาการจัดการพลังงานและทรัพยากรจากภายนอกอย่างต่อเนื่อง คำถามสำคัญจึงเกิดขึ้นว่า มนุษย์สามารถเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศธรรมชาติได้มากเพียงใดโดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อหน้าที่พื้นฐานของชีวมณฑล เช่น การควบคุมสภาพภูมิอากาศ วัฏจักรคาร์บอน และการคงอยู่ของชั้นโอโซน

ระบบนิเวศสามารถนิยามได้ว่าเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่พวกมันอาศัยอยู่ องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิตของระบบนิเวศ ได้แก่ ดิน น้ำ อากาศ ภูมิประเทศ และภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดความแปรผันของระบบนิเวศทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ระบบนิเวศบนบก เช่น ป่าไม้ ทุ่งหญ้า และทะเลทราย มีลักษณะเฉพาะตามสภาพภูมิประเทศและดิน ส่วนระบบนิเวศทางน้ำ เช่น มหาสมุทร แม่น้ำ และทะเลสาบ มีลักษณะเด่นด้านความแปรผันของสภาพภูมิอากาศและปริมาณแร่ธาตุ ในปัจจุบัน กิจกรรมของมนุษย์ได้กลายเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญที่คุกคามเสถียรภาพของระบบนิเวศ ตัวอย่างเช่น มลพิษทางอุตสาหกรรมและการตกตะกอนในแหล่งน้ำ สามารถรบกวนการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนและสาหร่าย ซึ่งเป็นฐานของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศทางน้ำ

ระบบนิเวศแต่ละแห่งมีโครงสร้างเฉพาะตัวในด้านองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ ปริมาณการผลิตชีวมวล การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการไหลของพลังงาน การพัฒนาของระบบนิเวศเป็นกระบวนการเชิงพลวัตที่เสถียรภาพของระบบเกิดจากการสืบทอดทางนิเวศ ความหลากหลาย และความสมดุลขององค์ประกอบทางชีวภาพและชีวภาพ สภาพภูมิอากาศที่อบอุ่นและชื้นอย่างต่อเนื่องเอื้อต่อการพัฒนาระบบนิเวศที่ซับซ้อนและมีเสถียรภาพสูง เช่น ป่าดิบชื้นเขตร้อน ซึ่งมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตสูงและพึ่งพาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและภูมิอากาศอย่างใกล้ชิด

การไหลของพลังงานในระบบนิเวศ

แหล่งพลังงานหลักของระบบนิเวศธรรมชาติคือรังสีจากดวงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลกหรือสะท้อนกลับสู่อวกาศ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่พืชสีเขียวนำมาใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการนี้เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์พืช พลังงานเคมีทั้งหมดที่ผลิตได้เรียกว่า การผลิตขั้นต้นทั้งหมด (Total Primary Production: TPP) เมื่อหักพลังงานที่พืชใช้ในการหายใจแล้ว พลังงานที่เหลือเรียกว่า การผลิตขั้นต้นสุทธิ (Net Primary Production: NPP) ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของชีวมวลและเป็นแหล่งพลังงานสำหรับสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ระดับของ NPP แตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยทั่วไป ระบบนิเวศในเขตร้อนชื้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบนิเวศในเขตแห้งแล้งหรือเขตหนาวเย็น

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

พลังงานและสารอาหารในระบบนิเวศหมุนเวียนผ่านสายใยอาหารสองประเภท ได้แก่ สายใยอาหารแบบกินพืช และสายใยอาหารแบบเศษซาก ในสายใยอาหารแบบกินพืช พืชสีเขียวทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นและถูกบริโภคโดยสัตว์กินพืชและสัตว์กินทั้งพืชและสัตว์ ขณะที่สายใยอาหารแบบเศษซากประกอบด้วยจุลินทรีย์และสัตว์ในดินที่ย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ สารอาหารแร่ธาตุที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลายจะถูกพืชดูดกลับไปใช้ใหม่ ทำให้สายใยอาหารแบบเศษซากเป็นกลไกสำคัญในการคงไว้ซึ่งการผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศ

วัฏจักรชีวเคมี

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส หมุนเวียนอยู่ในชีวมวลผ่านวัฏจักรชีวเคมี วัฏจักรคาร์บอนเกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนโดยการสังเคราะห์ด้วยแสงและการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านการหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในระยะยาว คาร์บอนบางส่วนถูกสะสมในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิลและแร่คาร์บอนเนต

วัฏจักรไนโตรเจนเกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศโดยจุลินทรีย์ การสะสมไนโตรเจนในดิน และการปลดปล่อยไนโตรเจนกลับสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการแยกไนเตรต พืชดูดซับไนโตรเจนในรูปของไนเตรตและแอมโมเนียมเพื่อนำไปใช้สร้างโปรตีน ในขณะที่วัฏจักรฟอสฟอรัสแตกต่างจากวัฏจักรอื่น เนื่องจากไม่เกี่ยวข้องกับการหายใจ ฟอสฟอรัสหมุนเวียนระหว่างดิน พืช และซากอินทรีย์วัตถุ โดยกระบวนการผุพังของแร่ฟอสเฟตเป็นแหล่งสำคัญของฟอสฟอรัสในระยะยาว แม้ว่าจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้า

14.2 ระบบนิเวศเกษตร

ระบบนิเวศทางการเกษตร (agroecosystem) หมายถึงระบบของพืช ปศุสัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ถูกคัดเลือกและจัดการโดยมนุษย์ภายในพื้นที่เฉพาะ เช่น ฟาร์ม หรือแหล่งน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการผลิตอาหารและเส้นใย ระบบนิเวศประเภทนี้แตกต่างจากระบบนิเวศธรรมชาติอย่างชัดเจน เนื่องจากมีการควบคุมองค์ประกอบและกระบวนการทางนิเวศอย่างเข้มข้นเพื่อตอบสนองเป้าหมายด้านผลผลิต

ลักษณะสำคัญของระบบนิเวศทางการเกษตร ได้แก่ การลดความหลากหลายทางชีวภาพลงเหลือเพียงพืชหรือสัตว์ไม่กี่ชนิด หรือในกรณีรุนแรงคือการปลูกพืชเชิงเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมของสายใยอาหารแบบเศษซากซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศธรรมชาติถูกลดทอนลง พันธุ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น วัชพืช แมลงศัตรูพืช และเชื้อโรค ถูกควบคุมหรือกำจัดออกจากระบบ การเก็บเกี่ยวผลผลิตทำให้พลังงานและธาตุอาหารถูกนำออกไปนอกระบบนิเวศ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารอาหารผ่านการกัดเซาะ การไหลบ่า และการชะล้าง โดยเฉพาะ

ในช่วงที่พื้นดินไม่ได้รับการปกคลุม ดังนั้น ระบบนิเวศทางการเกษตรจึงต้องพึ่งพาการเติมเต็มสารอาหารจากภายนอก เช่น ปุ๋ย รวมถึงการใช้เครื่องจักรกลและการชลประทาน เพื่อเพิ่มและรักษาระดับผลผลิต

โครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศทางการเกษตรระดับฟาร์ม

ระบบนิเวศทางการเกษตรสามารถศึกษาได้ในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับพืช ไร่นา ฟาร์ม กลุ่มน้ำ ไปจนถึงระดับภูมิภาค ผลผลิตชีวมวลของพืชหรือไร่นาขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ เช่น ปริมาณน้ำฝน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และแรงกดดันจากศัตรูพืชและโรคพืช อย่างไรก็ตาม ในระดับฟาร์ม ผลผลิตไม่ได้ถูกกำหนดโดยปัจจัยทางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง เช่น การเข้าถึงแรงงาน พลังงาน ทรัพยากร การตลาด และนโยบายภาครัฐ

การตัดสินใจของครัวเรือนเกษตรกรเกี่ยวกับชนิดพืชที่ปลูกและแนวทางการจัดการ ขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยภายในระบบนิเวศ เช่น คุณภาพดินและภูมิอากาศ และปัจจัยภายนอก เช่น ความต้องการอาหารของครัวเรือน โอกาสทางการตลาด และบริการสนับสนุนจากภาครัฐ ตัวอย่างเช่น ฟาร์มขนาดใหญ่ในอเมริกาเหนือพัฒนาไปสู่ระบบเกษตรกรรมเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากแรงงานส่วนใหญ่ย้ายเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมและบริการในเขตเมือง ความสำเร็จของระบบดังกล่าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการผลิตเพียงอย่างเดียว แต่ยังพึ่งพาเงินอุดหนุนจากภาครัฐ เช่น สินเชื่อราคาถูก ปุ๋ยราคาต่ำ และนโยบาย “อาหารราคาถูก” เพื่อรองรับประชากรเมืองจำนวนมาก

แม้เกษตรกรรมเชิงอุตสาหกรรมจะให้ผลผลิตสูง แต่ต้นทุนพลังงานและวัตถุดิบที่สูง รวมถึงความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม ได้กระตุ้นให้เกิดกระแสเกษตรกรรมยั่งยืนในประเทศอุตสาหกรรม โดยมุ่งลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และสารเคมี ควบคู่กับการรักษาผลกำไรของเกษตรกรและการปกป้องสิ่งแวดล้อม

ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตร้อนยังคงมีประชากรชนบทจำนวนมาก และการผลิตอาหารส่วนใหญ่เกิดจากฟาร์มครอบครัวขนาดเล็ก ระบบการเกษตรมีความหลากหลายตั้งแต่แบบดั้งเดิมไปจนถึงเชิงอุตสาหกรรม ความท้าทายสำคัญคือการพัฒนาระบบการผลิตอาหารที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน เพื่อทดแทนการเกษตรแบบไถพรวนและรองรับความต้องการอาหารของประชากรที่เพิ่มขึ้น

ผลผลิตและประสิทธิภาพของระบบนิเวศทางการเกษตร

การประเมินผลผลิต ความเสถียร และประสิทธิภาพของระบบนิเวศทางการเกษตรระดับฟาร์ม ใช้ตัวบ่งชี้หลายด้าน ได้แก่ ตัวบ่งชี้ด้านผลผลิต ตัวบ่งชี้ทรัพยากรและอินพุต ตัวบ่งชี้ทางเศรษฐกิจและสังคม ตัวบ่งชี้ทางนิเวศวิทยา และดัชนีพลังงาน ดัชนีพลังงานที่สำคัญประกอบด้วย อัตราส่วนพลังงาน ผลผลิตพลังงาน ประสิทธิภาพพลังงานต่อประชากร และรายได้พลังงานส่วนเกิน ซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกันจะสะท้อนภาพรวมของประสิทธิภาพการใช้พลังงานและที่ดินของระบบฟาร์ม

การเปรียบเทียบฟาร์มครอบครัวขนาดเล็กในเม็กซิโกกับฟาร์มข้าวโพดเชิงอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน ฟาร์มขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า แต่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำกว่า ในขณะที่ฟาร์มอุตสาหกรรมให้ผลผลิตและผลผลิตพลังงานสูงกว่าอย่างมาก แต่ต้องแลกมาด้วยการใช้พลังงานจากภายนอกจำนวนมากและความเสี่ยงต่อความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม

ระบบการเกษตรยั่งยืนและบริบทเขตร้อน

กรณีศึกษาจากอินเดียตอนใต้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการภูมิปัญญาดั้งเดิมเข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถนำไปสู่ระบบการเกษตรที่มีทั้งผลผลิตและประสิทธิภาพพลังงานสูง ระบบดังกล่าวประกอบด้วยการจัดการลุ่มน้ำแบบองค์รวม การคงพื้นที่ป่าในส่วนต้นน้ำ พืชไร่นาพื้นที่ลาดชัน อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และนาข้าวชลประทานใน

พื้นที่ลุ่ม การรักษาพื้นที่ป่าในส่วนบนของกลุ่มน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดการกัดเซาะ รักษาความชื้นในดิน และเสริมเสถียรภาพของระบบโดยรวม

ระบบนิเวศทางการเกษตรที่ยั่งยืนควรประกอบด้วยการจัดการที่ดินในระดับลุ่มน้ำ ความหลากหลายของพืชในแปลงเพาะปลูก และระบบพืชหลายชั้นรอบพื้นที่เกษตร ระบบดังกล่าวควรสามารถจัดหาอาหารและโภชนาการพื้นฐานให้แก่ครอบครัวเกษตรกร พร้อมทั้งผลิตอาหารส่วนเกินสำหรับประชากรนอกภาคเกษตรกรรม

ประชากรมนุษย์กับความยั่งยืนของระบบนิเวศ

ตลอดประวัติศาสตร์ ความรุ่งเรืองและเสื่อมถอยของอารยธรรมมนุษย์มีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับการใช้ที่ดินและทรัพยากรธรรมชาติ ในยุคปัจจุบัน การเพิ่มขึ้นของประชากร การตัดไม้ทำลายป่า การขยายตัวของเมือง และมลพิษทางอุตสาหกรรม ได้กลายเป็นภัยคุกคามสำคัญต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศ โดยเฉพาะในเขตร้อนซึ่งระบบนิเวศมีความเปราะบางสูง

ในท้ายที่สุด การพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องตั้งอยู่บนความเข้าใจข้อจำกัดทางนิเวศวิทยาและเศรษฐกิจ เป้าหมายหลักของเกษตรกรรมคือการจัดหาอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และที่อยู่อาศัยอย่างเพียงพอ เมื่อความต้องการพื้นฐานได้รับการตอบสนองแล้ว การพัฒนาด้านอื่น ๆ ของสังคมจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างมั่นคง ดังสุภาษิตโบราณที่สะท้อนหลักการพัฒนายั่งยืนว่า “หากวางแผนหนึ่งปี จงปลูกข้าว หากวางแผนสิบปี จงปลูกต้นไม้ แต่หากวางแผนร้อยปี จงให้การศึกษาแก่มนุษยชาติ”

Ecophysiology Carbon and water economy of the rubber tree

Dr Philippe Thaler

บทบาทเชิงนิเวศรีวิทยาของยางพาราในด้านคาร์บอนและน้ำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในเขตร้อน มีบทบาทอย่างมากต่อเศรษฐกิจและระบบนิเวศ เนื่องจากยางพาราไม่เพียงทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตน้ำยางธรรมชาติ แต่ยังมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอน การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างพืชกับบรรยากาศ และการจัดการน้ำในระบบนิเวศป่าและการเกษตร งานวิจัย Ecophysiology of Rubber – Carbon and Water Economy มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจการทำงานเชิงชีวรีวิทยาของยางพารา ทั้งในระดับต้นและระดับระบบนิเวศ รวมถึงประเมินบทบาทของสวนยางต่อสมดุลคาร์บอน น้ำ และพลังงานในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันของประเทศไทย

สถานที่ทำการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้เครือข่ายการศึกษานิเวศนามจริงหลายพื้นที่ในประเทศไทย เพื่อสะท้อนผลของภูมิอากาศและสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน ได้แก่

- ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา เป็นสถานี่หลักสำหรับการติดตามฟลักซ์คาร์บอนและน้ำในระดับระบบนิเวศ รวมทั้งใช้สำหรับการทดลองติดตามคาร์บอนในต้นยาง

- จังหวัดบึงกาฬ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ใช้เป็นพื้นที่ศึกษาในเขตกึ่งชื้น-ค่อนข้างแห้ง เพื่อประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและสมดุลน้ำในสภาพที่มีข้อจำกัดด้านน้ำ

- จังหวัดนครศรีธรรมราช (ภาคใต้) เป็นพื้นที่ศึกษาในเขตชุ่มชื้นเหมาะสมต่อการปลูกยาง เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบนิเวศกับพื้นที่อื่น

พื้นที่ทดลองเหล่านี้ช่วยให้เห็นความแตกต่างด้านนิเวศรีวิทยาของสวนยางในสภาพแวดล้อมจริง และช่วยประเมินบทบาทของสวนยางในระดับประเทศ

เครื่องมือและวิธีการศึกษา

1. การศึกษาคาร์บอนภายในต้นยาง (Tree Internal Carbon Dynamics)

งานวิจัยใช้เทคนิค การตามรอยคาร์บอนด้วยไอโซโทป $^{13}\text{CO}_2$ (Carbon-13 Labelling) เพื่อศึกษาว่าคาร์บอนที่อยู่ในน้ำยางและส่วนต่าง ๆ ของต้นยางมาจากแหล่งใด และเคลื่อนย้ายอย่างไรภายในพืช

เครื่องมือสำคัญ ได้แก่

- ตู้ครอบเรือนยอดต้นยาง (Labelling Chamber) ขนาดประมาณ $3.5 \times 3.5 \times 3.0$ เมตร
- ระบบควบคุมและปล่อยก๊าซ $^{13}\text{CO}_2$
- ระบบบันทึกการตอบสนองของต้นยางหลังได้รับก๊าซ

วิธีนี้ทำให้ทราบว่า คาร์บอนในน้ำยางมาจากทั้งคาร์บอนใหม่จากการสังเคราะห์แสง และคาร์บอนสะสมเดิมในต้น และพบว่าคาร์บอนที่สะสมในน้ำยางเพิ่มสูงสุดประมาณ 4-7 วันหลังได้รับก๊าซ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สัมพันธ์กับกระบวนการเปลี่ยนรูปและเคลื่อนย้ายคาร์บอนภายในต้น

2. การศึกษาระดับระบบนิเวศสวนยาง (Ecosystem-Scale Carbon and Water Flux)

เพื่อประเมินบทบาทของสวนยางต่อการแลกเปลี่ยนคาร์บอน น้ำ และพลังงานระหว่างพื้นดินกับบรรยากาศ ได้มีการจัดตั้งเครือข่าย RUBBERFLUX และติดตั้ง หอวัดฟลักซ์ (Flux Towers) ในพื้นที่ศึกษาหลายแห่ง

เครื่องมือที่ใช้บนหอวัดฟลักซ์ ได้แก่

- เครื่องวัดก๊าซ CO_2 และไอน้ำในอากาศ
- เครื่องวัดลมสามทิศทาง (3D Sonic Anemometer)
- ระบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่องระยะยาวตามหลัก Eddy Covariance
- เครื่องมือเหล่านี้ทำให้สามารถติดตาม
- อัตราการดูดซับและปลดปล่อยคาร์บอน
- การคายน้ำและการใช้น้ำของระบบ
- สมดุลพลังงานของสวนยาง

ข้อมูลช่วยประเมินศักยภาพของสวนยางต่อการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน รวมถึงผลต่อวงจรน้ำและสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น

ผลการศึกษาและความสำคัญ

จากผลการศึกษาพบว่า ยางพารามีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศเขตร้อน ทั้งในฐานะผู้กักเก็บคาร์บอนและผู้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ สวนยางมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในลักษณะที่ซับซ้อน โดยสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในระดับที่มีนัยสำคัญ และมีการแลกเปลี่ยนน้ำและพลังงานคล้ายคลึงหรือในบางกรณีใกล้เคียงกับระบบป่าธรรมชาติ ข้อมูลเชิงประจักษ์เหล่านี้สนับสนุนการพิจารณาบทบาทของสวนยางในเชิงสิ่งแวดล้อม ไม่เพียงด้านเศรษฐกิจ แต่ยังรวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติ

ข้อสรุป

งานวิจัยด้านนิเวศรีวิทยาของยางพาราช่วยให้เข้าใจระบบการใช้คาร์บอนและน้ำของยางพาราได้อย่างลึกซึ้ง ทั้งในระดับต้นและระดับระบบนิเวศ การมีข้อมูลจากหลายภูมิภาคและการใช้เทคโนโลยีวัดผลขั้นสูง ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านการจัดการสวนยาง การวางแผนการใช้ที่ดิน และการพัฒนานโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรรมอย่างมีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และมุ่งสู่ความยั่งยืนในอนาคต

Overview of the research on rubber tree plantations by Cirad

Dr Philippe Thaler

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญระดับโลกที่มีบทบาททั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การศึกษานิเวศรีวิทยาของยางพารามุ่งเน้นการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการสรีรวิทยาภายในต้นยาง การผลิตน้ำยาง และบทบาทของสวนยางต่อการแลกเปลี่ยนคาร์บอน น้ำ และพลังงานกับบรรยากาศ งานศึกษาก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่า การกรีดยางมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการจัดสรรคาร์บอน การเจริญเติบโต และพลังงานสำรองของต้นยาง ขณะเดียวกันงานวิจัยระดับระบบนิเวศที่อาศัยเครือข่ายสถานีปลูกระยะยาวในหลายภูมิภาคของประเทศไทย พบว่าสวนยางทำหน้าที่เป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนสุทธิ และมีบทบาทต่อสมดุลน้ำและพลังงานของภูมิภาคอย่างมีนัยสำคัญ บทความนี้สังเคราะห์องค์ความรู้เชิงวิชาการด้านนิเวศรีวิทยาของยางพารา ตั้งแต่ระดับต้นไม้อันจนถึงระดับระบบนิเวศ พร้อมเชื่อมโยงกับประเด็นความยั่งยืนและการปรับตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

1. ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจอย่างยิ่ง โดยมีผลผลิตน้ำยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมยางโลก ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตและผู้ส่งออกรายอันดับต้น ๆ ของโลก การทำความเข้าใจการทำงานภายในต้นยางและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญต่อการจัดการสวนยางอย่างยั่งยืนต่างจากพืชเศรษฐกิจทั่วไปที่เก็บเกี่ยวผลผลิตจากส่วนของผลหรือเมล็ด การกรีดยางคือการเก็บเกี่ยวสารชีวภาพจากเนื้อเยื่อภายในต้นโดยตรง น้ำยางต้องอาศัยพลังงานและคาร์บอนจำนวนมากในการผลิตอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลโดยตรงต่อระบบสรีรวิทยา การจัดสรรคาร์บอน และการเจริญเติบโตของต้นยาง

2. ธรรมชาติการผลิตน้ำยางและผลต่อระบบคาร์บอนภายในต้นยาง

น้ำยางเป็นไฮโดรพลาสซึมของเซลล์น้ำยางซึ่งอุดมด้วยโพลีไอโซพรีน การผลิตน้ำยางจำเป็นต้องใช้คาร์บอนและพลังงานในระดับสูง การกรีดยางจึงก่อให้เกิดภาวะ “แหล่งดักคาร์บอน” (carbon sink) ภายในต้น ซึ่งไปแข่งขันกับกระบวนการเจริญเติบโตและการสะสมชีวมวล

งานวิจัยหลายชุดรายงานตรงกันว่า

- การกรีดยางทำให้เส้นรอบวงลำต้นมีอัตราการเพิ่มช้าลง
- ระบบเมตาบอลิซึมของต้นยางต้องปรับตัวเพื่อตอบสนองความต้องการคาร์บอน
- การกรีดยางส่งผลในระดับทั้งต้น ไม่ได้จำกัดเฉพาะบริเวณแผลกรีด

กล่าวได้ว่า การผลิตน้ำยางไม่ได้เป็นเพียงกระบวนการเกษตรกรรม แต่เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ซับซ้อนและส่งผลกระทบต่อพลวัตคาร์บอนภายในต้นอย่างสำคัญ

3. การจัดสรรคาร์บอนและการสำรองพลังงานในต้นยาง

เพื่อตอบสนองต่อความต้องการคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจากการกรีด ต้นยางมีการปรับระบบภายในผ่านการสะสมคาร์โบไฮเดรตสำรอง เช่น แป้งและ Total Non-Structural Carbohydrates (TNC) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำรองของต้น การศึกษาพบว่าต้นยางที่ถูกกรีดมีระดับคาร์บอนสำรองสูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงกลไกปรับตัวของต้นยางเพื่อรักษาความต่อเนื่องในการผลิตน้ำยางและดำรงการเจริญเติบโตในเวลาเดียวกัน

สิ่งนี้สะท้อนว่ายางพารามี “ระบบควบคุมและจัดการทรัพยากรชีวภาพภายในต้น” ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถจัดลำดับความสำคัญของการใช้พลังงานตามสภาพแวดล้อมและแรงกดดันจากการเก็บเกี่ยว

4. แหล่งกำเนิดคาร์บอนในน้ำยาง: หลักฐานจากเทคนิคไอโซโทป

เพื่อทำความเข้าใจว่า คาร์บอนในน้ำยางมาจากแหล่งใด มีการทดลองโดยใช้เทคนิค $^{13}\text{CO}_2$ labelling ซึ่งเป็นเทคนิคทางนิเวศสรีรวิทยาที่สามารถติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของคาร์บอนได้อย่างชัดเจน การทดลองครอบคลุมยางด้วยห้องควบคุมที่ปล่อยก๊าซ $^{13}\text{CO}_2$ และติดตามปริมาณ ^{13}C ในน้ำยางและยาง พบว่า

- ปริมาณ ^{13}C ในน้ำยางและในยางแห้งมีแนวโน้มสอดคล้องกัน
- มีช่วงค่าพิคภายในหลายวันหลังการติดฉลาก
- รูปแบบการสะสมแตกต่างกันตามฤดูกาลและสภาพแวดล้อม

ผลการทดลองยืนยันทางวิทยาศาสตร์ว่า

น้ำยางไม่ได้มาจากคาร์บอนใหม่เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการผสมของคาร์บอนจากการสังเคราะห์แสงล่าสุดและคาร์บอนสำรองที่สะสมไว้ก่อนหน้านี้ จึงแสดงถึงความยืดหยุ่นทางสรีรวิทยาอย่างสูงของยางพารา

5. บทบาทสวนยางในระดับระบบนิเวศ: คาร์บอน น้ำ และพลังงาน

เมื่อขยายระดับการศึกษาไปสู่ระดับระบบนิเวศ งานวิจัยใช้เครื่องมือสถานีวัดฟลักซ์ (Eddy Covariance) ในหลายภูมิภาคของประเทศไทยเพื่อติดตามการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และพลังงานในบรรยากาศ ผลการศึกษาระยะยาวพบว่า

- สวนยางทำหน้าที่เป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนสุทธิ
- มีบทบาทสำคัญต่อวัฏจักรน้ำ
- ช่วยควบคุมสมดุลพลังงานและอุณหภูมิพื้นผิว

ดังนั้น สวนยางไม่ได้มีคุณค่าเพียงด้านเศรษฐกิจ แต่ยังมีบทบาทเชิงสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในระดับภูมิประเทศ

6. ยางพาราภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของอุณหภูมิและน้ำฝน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสรีรวิทยาและศักยภาพการผลิตยางพารา งานวิจัยปัจจุบันจึงมุ่งเน้นการประยุกต์แบบจำลองเชิงนิเวศสรีรวิทยาเพื่อประเมิน

- ศักยภาพคาร์บอนในอนาคต
- ประสิทธิภาพการใช้น้ำ
- ความยั่งยืนของการผลิต

ข้อมูลเหล่านี้เป็นฐานสำคัญต่อการกำหนดนโยบาย ภูมิสังคมเกษตร และการปรับตัวของเกษตรกรในอนาคต

7. บทสรุป

สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า

- 7.1 การกรีดยางเป็นตัวกำหนดกลไกการจัดการคาร์บอนในต้นยางอย่างมีนัยสำคัญ
- 7.2 ต้นยางมีระบบปรับตัวที่ซับซ้อนผ่านการสำรองคาร์บอนและการบริหารพลังงาน
- 7.3 น้ำยางเกิดจากคาร์บอนทั้งใหม่และสำรอง แสดงถึงความยืดหยุ่นทางสรีรวิทยา
- 7.4 ในระดับระบบนิเวศ สวนยางมีบทบาทเชิงบวกต่อคาร์บอน น้ำ และพลังงาน
- 7.5 ความเข้าใจด้านนิเวศสรีรวิทยาเป็นรากฐานต่อการพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืนในยุค Climate Change



Rubberflux Chachoengsao The pioneer rubber site A 25 m high tower 5 m above canopy. Set up in 2006



Hevea Research Platform in Partnership



Ecophysiology of rubber plantations



Analyzing the biophysical functioning of rubber ecosystems, particularly the interactions between climate and practices.

Climate change: impact and adaptation



Assessing the impact of climate change on the rubber sector and codesigning adaptation strategies with the producers

เรื่องแนวปฏิบัติที่ดีในห้องปฏิบัติการขั้นพื้นฐาน

Dr Marie Sauvadet

การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทุกครั้งต้องใส่เสื้อคลุมห้องปฏิบัติการ ห้ามรับประทานอาหาร ดื่มเครื่องดื่ม หรือสูบบุหรี่ ต้องทำความสะอาดและจัดเก็บโต๊ะทำงานก่อนและหลังการทำงาน

การใช้ Micropipette

- ห้ามใช้ปากดูดปิเปตโดยเด็ดขาด
- ปิเปตดูดของเหลวในแนวตั้ง ปริมาตรปิเปตต้องเป็นไปตามไมโครปิเปต
- ห้ามตั้งไมโครปิเปตต่ำกว่าหรือเกินความสูงที่กำหนด ดูดของเหลวขึ้นอย่างช้าๆเพื่อไม่ให้ปิเปตปนเปื้อน

ห้ามวางปิเปตในแนวนอนในขณะที่ปลายหลอดเต็มหรือสกปรก

Centrifugation

- ตรวจสอบอุปกรณ์ว่าอยู่ในสภาพใช้งานได้
- อยู่ใกล้อุปกรณ์จนกว่าจะเกิดความเร็วสูงสุดที่ตั้งโปรแกรมได้ หากเกิดเสียงแปลกปลอมให้อยู่ดูลักษณะทันที
- ทำความสะอาดโรเตอร์หากสกปรกด้วยน้ำกลั่นและแอลกอฮอล์
- แฉกฝาหลังเครื่องหลังใช้งานและปิดเครื่อง
- วางผังตรงกันข้ามเพื่อให้จุดศูนย์กลางมีความถ่วงและหมุนได้ถูกต้อง

การซั่งน้ำหนักและการจัดการสารเคมี

- ก่อนจัดการผลิตภัณฑ์เคมี ดูฉลากก่อนเสมอ เพื่อดูข้อมูลและข้อระวัง
- ตรวจสอบว่าเครื่องซั่ง มีฟองอากาศหรือไม่
- ทำความสะอาดตะกรันหลังการใช้งานทุกครั้ง
- ห้ามเคลื่อนย้ายเครื่องซั่ง
- ในการเตรียมสารละลายกรดเราจะใส่กรดลงในน้ำเสมอ

เครื่องดูดควันสารเคมี (Fume Hood)

- ผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนหรือระคายเคืองควรจัดทำภายใต้เครื่องดูดควันโดยวางกระจกป้องกันไว้ต่ำลง

อย่าพึ่งพาประสาทรับกลิ่นโดยทั่วไปแล้วฤทธิ์ของสารพิษจะต่ำกว่าเกณฑ์การรับรู้กลิ่น

- ใช้ไมโครปิเปตที่ออกแบบมาโดยเฉพาะภายใต้ฝาคครอบ และใช้ปลายกรองสำหรับผลิตภัณฑ์ที่กัดกร่อน

(เช่น ฟีนอล ครอโรฟอร์ม)

- ปลอ่ยให้เครื่องดูดควันทำงานเป็นเวลา 10 นาทีหลังใช้งาน

การจัดการขยะ

- ขยะ BET (ห้องปฏิบัติชีววิทยา) วัสดุใดๆที่สัมผัสกับสารแทรก DNA เช่น เอทิลเมทิลโบรไมด์ จะต้องกำจัดในถังขยะที่กำหนดไว้สำหรับจุดประสงค์นี้ เช่น (ถุงมือ กระดาษดูดซับ เจลอะกาโรส โคน ฯลฯ)

- ขยะชีวภาพ จะต้องถูกกำจัดในถังขยะชีวภาพสีเหลือง รอรวบรวมเพิ่มเติมก่อนการเผาโดยบริษัทผู้เชี่ยวชาญ

- ขยะเคมี ขยะเหล่านี้ต้องถูกกำจัดในภาชนะจัดเก็บที่เหมาะสมและได้รับการบำบัดโดยผู้เชี่ยวชาญ ภาชนะเหล่านี้สำหรับขยะของเหลว และขยะของแข็งที่อยู่ในห้องขยะชั้น 1 ของอาคาร

- ขวดแก้วเชิงพาณิชย์ที่สัมผัสกับสารเคมีจะต้องกำจัดในถังสีน้ำเงิน

- ควรอ่านเอกสารข้อมูลความปลอดภัยและติดต่อเจ้าหน้าที่กำจัดของเสียก่อนทิ้งผลิตภัณฑ์ลงอ่างล้างจาน

- เมื่อถึงขยะห้องปฏิบัติการเต็ม จะต้องทิ้งลงในภาชนะ สีเทา ที่ด้านหลังของอาคาร 12 ในทำนองเดียวกัน กล่องกระดาษจะต้องถูกคัดแยก ต้องทิ้งลงในถังขยะสีเขียวขนาดใหญ่ ที่ด้านหลังของอาคาร 12 (ทำแบบก่อนทิ้ง) หมายเหตุ กล่องโฟมไม่สามารถรีไซเคิลได้

Organization general

- ทำความสะอาดเค้เตอรด้วยแอลกอฮอล์ 70%
- เครื่องแก้ว ทำความสะอาดด้วยแปรงขุดและผงซักฟอก จากนั้นล้างออกด้วยน้ำปะปาและน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว
- ผู้ทดลองจะต้องถอดถุงมือที่สวมใส่ออกทั้งหมด และล้างมือหลังการสัมผัสใดๆ และก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ

Soil and nutrient cycles : a general introduction

Dr Karel Van den Meersche

เพื่อทำความเข้าใจกลไกของวัฏจักรสารอาหาร ความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร และความอุดมสมบูรณ์ของดิน จำเป็นต้องอาศัยพื้นฐานทางเคมี โดยเฉพาะแนวคิดเกี่ยวกับอะตอม โมเลกุล ไอออน และสมบัติของดินในฐานะระบบเชิงกายภาพ-เคมี-ชีวภาพที่ซับซ้อน

อะตอมเป็นหน่วยพื้นฐานของสสาร ประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีประจุบวกและอิเล็กตรอนที่มีประจุลบ ล้อมรอบ โมเลกุลคือกลุ่มของอะตอมที่ยึดเหนี่ยวกันอย่างเสถียร เช่น โมเลกุลน้ำ (H_2O) ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนสองอะตอมและออกซิเจนหนึ่งอะตอม อะตอมแต่ละชนิดที่มีจำนวนโปรตอนแตกต่างกันเรียกว่า “ธาตุ” ซึ่งในธรรมชาติมีอยู่ 92 ธาตุ โดยธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบดินและพืช ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และโพแทสเซียม เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอน จะกลายเป็นไอออน ซึ่งอาจเป็นไอออนบวก (cation) หรือไอออนลบ (anion) และเป็นรูปแบบหลักที่พืชดูดใช้จากสารละลายในดิน

ดินนิยามได้ว่าเป็นส่วนผสมของอนุภาคแร่ อินทรีย์วัตถุ น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตที่ปกคลุมผิวโลก โดยทั่วไปดินประกอบด้วยอนุภาคแร่ประมาณร้อยละ 45 น้ำและอากาศอย่างละร้อยละ 25 และอินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 แม้สัดส่วนของสิ่งมีชีวิตจะมีน้อย แต่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการทางชีวเคมี ดินทำหน้าที่หลักสี่ประการ ได้แก่ เป็นสื่อกลางให้พืชเจริญเติบโต เป็นแหล่งกักเก็บและกรองน้ำ เป็นตัวควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศ และเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กับดินอย่างต่อเนื่อง

ดินเกิดจากการผุร่อนของหินต้นกำเนิด ซึ่งองค์ประกอบแร่ของหินมีอิทธิพลต่อเนื้อดินและสมบัติทางเคมี แร่ปฐมภูมิที่พบบ่อย ได้แก่ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และไมกา โดยควอตซ์มีความทนทานต่อการผุร่อนสูง จึงพบมากในทรายและตะกอน เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งสำคัญของแคลเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ขณะที่ไมกาเป็นแหล่งสะสมโพแทสเซียมที่สำคัญ โดยการปลดปล่อยโพแทสเซียมขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณ และขนาดของอนุภาค รวมถึงกระบวนการเปียก-แห้งของดิน นอกจากนี้ ดินอาจเกิดจากวัสดุที่ถูกพัดพามาสะสมใหม่โดยน้ำหรือลม เช่น ดินตะกอนน้ำพา (alluvial soil)

แร่ทุติยภูมิเป็นผลผลิตจากการผุร่อนของแร่ปฐมภูมิ และพบมากในเศษส่วนดินเหนียว เช่น ดินขาว เหล็กออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยเฉพาะในดินเขตร้อนที่ผุร่อนสูง เหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์มีบทบาทสำคัญในการตรึงฟอสเฟต ทำให้ความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสตามธรรมชาติต่ำ แร่ดินเหนียวประเภทซิลิเกตแบบชั้นมีโครงสร้างผลึกเป็นชั้น และเกิดการทดแทนแบบไอโซมอร์ฟ ซึ่งก่อให้เกิดประจุลบบนพื้นผิวแร่ ส่งผลให้ดินสามารถดูด

ซึบไออนอนบวกและกักเก็บธาตุอาหารได้ ตัวอย่างเช่น สมเมกไทต์ซึ่งพบมากในดินลุ่มน้ำ ขณะที่ดินที่ผุกร่อนสูงมักมีดินขาวเป็นแร่หลัก

ในดินภูเขาไฟอายุน้อย มักพบแร่อัลโลเฟนซึ่งเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตแบบอสัณฐาน มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและโครงสร้างกลวง ทำให้สามารถกักเก็บน้ำและอินทรีย์วัตถุได้ดี ส่งผลให้ดินประเภทแอนดิโซลมีอินทรีย์วัตถุสูง ความหนาแน่นต่ำ และการซึมผ่านของน้ำดี

อินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งธาตุอาหาร ปรับปรุงโครงสร้างดิน และเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไออนอนบวก (CEC) คอลลอยด์ฮิวมัสมีประจุลบซึ่งขึ้นกับค่า pH ของดิน โดยในดินที่มีค่า pH สูง ประจุลบจากอินทรีย์วัตถุอาจมีมากกว่าประจุจากแร่ดินเหนียวหลายเท่า เนื้อดินหมายถึงสัดส่วนของอนุภาคแร่ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ดินเหนียว ตะกอน และทราย ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ และการจัดการดิน ขณะที่โครงสร้างดินเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคเป็นมวลรวม โดยได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมชีวภาพ อินทรีย์วัตถุ และการจัดการดิน มวลรวมที่เสถียรช่วยเพิ่มการถ่ายเทอากาศ การซึมน้ำ และลดการพังทลายของดิน

สารอาหารที่พืชใช้จะอยู่ในรูปของไออนอนละลายในน้ำดิน ความสามารถของดินในการกักเก็บไออนอนบวกแสดงด้วยค่า CEC ซึ่งขึ้นกับชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ การแลกเปลี่ยนไออนอนเป็นกระบวนการสมดุลที่ไออนอนเคลื่อนย้ายระหว่างผิวดินและสารละลายดินอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินจึงมีผลโดยตรงต่อความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร

ค่า pH ของดินเป็นตัวชี้วัดความเป็นกรดหรือด่างของน้ำดิน และเป็นปัจจัยควบคุมความละลายและความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร ในดินที่เป็นกรดจัด ธาตุอาหารหลักหลายชนิดมีความพร้อมใช้ลดลง ขณะที่ธาตุหลักและแมงกานีสมีความพร้อมใช้สูงขึ้น ดินที่มีค่า pH ใกล้เคียงเป็นกลางจึงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่

Soil organic matter fractionation. Training and practice.

Dr Marie Sauvadet

เปรียบเทียบวิธีการจำแนก/แยกส่วนอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter – SOM) ระหว่างสองโปรโตคอล

อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter: SOM) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทเชิงระบบในดิน ไม่ว่าจะเป็นด้านโครงสร้างดิน ฟังก์ชันทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ตลอดจนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศเกษตรและสิ่งแวดล้อมระดับโลก โดยเฉพาะในประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่ใหญ่ที่สุดหนึ่งในโลก และ SOM เป็นตัวกลางหลักที่ควบคุมการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบดินและบรรยากาศ

อย่างไรก็ตาม SOM ไม่ได้มีลักษณะเป็นสารเนื้อเดียว แต่เป็นระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิดที่มีความแตกต่างในแหล่งกำเนิด ระดับการสลายตัว ระดับความเสถียร และหน้าที่ทางนิเวศ ดังนั้น การทำความเข้าใจ SOM จึงไม่เพียงแต่การวัดปริมาณคาร์บอนหรืออินทรีย์วัตถุรวมเท่านั้น แต่จำเป็นต้อง “แยกส่วน (fractionation)” เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแต่ละองค์ประกอบ

ในบริบทของวิทยาศาสตร์ดินสมัยใหม่ มีการพัฒนาโปรโตคอลการแยก SOM จำนวนมาก โดยเฉพาะสองแนวทางใหญ่ ได้แก่ การแยกเชิงกายภาพ และการแยกเชิงเคมี ซึ่งต่างเน้นให้ภาพข้อมูลที่แตกต่างกัน งานวิจัยที่น่าสนใจจึงมีความสำคัญเนื่องจากมุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แนวคิด และผลลัพธ์ระหว่างสองวิธีดังกล่าว เพื่อทำความเข้าใจว่าควรเลือกใช้โปรโตคอลใดในบริบทใด และวิธีใดตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ได้ดีที่สุด

วัตถุประสงค์การศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ คือ เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบโปรโตคอลการแยกส่วนอินทรีย์วัตถุในดินสองรูปแบบอย่างเป็นระบบ โดยมีเป้าหมายเฉพาะดังนี้

1. เพื่ออธิบายหลักการ แนวคิดพื้นฐาน และกรอบทฤษฎีของแต่ละโปรโตคอล
2. เพื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การเตรียมตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ ระดับความซับซ้อน และความต้องการด้านเทคนิค
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแต่ละโปรโตคอลในการจำแนก SOM ให้เห็นลักษณะเชิงหน้าที่ (functional role) และลักษณะเชิงความเสถียร (stability)
4. เพื่อทำความเข้าใจความแตกต่างของผลลัพธ์ และผลกระทบต่อการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์ดิน
5. เพื่อสรุปแนวทางการเลือกใช้โปรโตคอลที่เหมาะสมในงานวิจัยประเภทต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

บทบาทของอินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทสำคัญ ได้แก่

- เป็นแหล่งสำรองธาตุอาหารให้พืช
- ช่วยสร้างโครงสร้างดินให้มีเสถียรภาพ
- เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ
- เป็นตัวกลางของกิจกรรมจุลินทรีย์
- ช่วยกักเก็บคาร์บอน ลดผลกระทบภาวะโลกร้อน

การศึกษา SOM ไม่ได้จำกัดเพียงการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินรวมเท่านั้น แต่ต้องทำความเข้าใจ “พลวัตภายใน” และ “ลักษณะการกระจายตัว” ของอินทรีย์วัตถุด้วย เพราะแต่ละส่วนมีบทบาทที่ต่างกัน เช่น ส่วนที่สลายตัวเร็วช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืช ขณะที่ส่วนที่มีความคงทนสูงช่วยกักเก็บคาร์บอนระยะยาว

กรอบความคิดสำคัญของการศึกษานี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานว่า

- SOM เป็นระบบหลายมิติ
- แต่ละองค์ประกอบมีเวลาในการคงอยู่แตกต่างกัน
- มีความเชื่อมโยงกับแร่ดินและโครงสร้างดิน
- SOM เป็นตัวชี้วัดสุขภาพดินและความยั่งยืนของระบบเกษตร

ดังนั้น โปรโตคอลการแยก SOM จึงทำหน้าที่เป็น “เครื่องมือเชิงวิเคราะห์” ที่ช่วยเปิดมุมมองเชิงลึกของ SOM มากกว่าการดูค่าอินทรีย์วัตถุรวมเพียงตัวเดียว และเป็นเหตุผลว่าทำไมการเลือกโปรโตคอลจึงต้องอาศัยความเข้าใจทางทฤษฎีเป็นพื้นฐาน เนื่องจาก SOM มีความซับซ้อนสูง นักวิทยาศาสตร์ดินจึงให้ความสำคัญกับการ “แยกส่วน (fractionation)” เพื่อทำความเข้าใจพลวัตของ SOM

โปรโตคอลการแยกส่วน SOM ที่ศึกษา มี 2 โปรโตคอล คือ Physical Fractionation Protocol และ Chemical Fractionation Protocol

1. โปรโตคอลการแยก SOM แบบเชิงกายภาพ (Physical Fractionation)

โปรโตคอลเชิงกายภาพเป็นวิธีที่แบ่ง SOM ตามลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความหนาแน่น และระดับการยึดติดกับแร่ดิน วิธีนี้ช่วยให้เห็นบทบาทของ SOM ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างดินและกระบวนการทางกายภาพในดิน องค์ประกอบสำคัญที่ได้จากวิธีนี้ ได้แก่

- Particulate Organic Matter (POM) เป็นเศษซากพืชและอินทรีย์วัตถุที่ยังไม่ย่อยสลายสมบูรณ์ หมุนเวียนเร็ว ให้ธาตุอาหารสูง

- Mineral Associated Organic Matter (MAOM) เป็นอินทรีย์วัตถุที่จับกับแร่ดิน มีเสถียรภาพสูง อยู่ในดินได้นาน

เครื่องมือที่ใช้มักประกอบด้วย

- ระบบการร่อนและแยกขนาดดิน
- เครื่องแยกความหนาแน่น
- ชุดปั่นผสมและแยกชั้น

ความสำคัญของโปรโตคอลนี้ คือ

- ช่วยประเมินสุขภาพดิน
- ช่วยวิเคราะห์ผลกระทบการจัดการดิน
- ใช้ได้ดีในงานเกษตรยั่งยืนและอนุรักษ์ดิน

2. โปรโตคอลการแยก SOM แบบเชิงเคมี (Chemical Fractionation)

โปรโตคอลเชิงเคมีเน้นการจำแนก SOM ตามคุณสมบัติทางเคมีและระดับความต้านทานต่อการย่อยสลาย โดยใช้สารละลายและปฏิกิริยาเคมีช่วยแยกองค์ประกอบออกจากกัน

เฟรกชันสำคัญที่ได้จากวิธีนี้ ได้แก่

- Humic acid
- Fulvic acid
- Humine

ซึ่งแต่ละส่วนบ่งบอกระดับความซับซ้อนของสารอินทรีย์ ระดับการย่อยสลาย และความเสถียรในระบบดิน

ความสำคัญของโปรโตคอลนี้ ได้แก่

- ช่วยประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดิน
- ช่วยศึกษาผลกระทบต่อ Climate Change
- ใช้ในงานสิ่งแวดล้อมและงานวิจัยระยะยาวเกี่ยวกับดิน

กระบวนการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษา โดยคำนึงถึงประเภทดิน ความลึก และความสม่ำเสมอของตัวอย่าง
2. การเตรียมตัวอย่าง
 - ทำให้ตัวอย่างแห้ง
 - ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน
 - กำหนดน้ำหนักสำหรับทดลอง
3. การดำเนินการแยก SOM ด้วยโปรโตคอลกายภาพ
 - ร่อนขนาด
 - แยกความหนาแน่น
 - แยกเฟรกชัน POM และ MAOM

4. การแยก SOM ด้วยโปรโตคอลเคมี

- ใช้สารละลายเคมี
- ดำเนินขั้นตอนสกัดหลายลำดับ
- แยก Humic, Fulvic และ Humine

5. การวิเคราะห์คาร์บอนในแต่ละเฟรกชัน เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนและบทบาท

6. การประเมินและวิเคราะห์ผลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

จากการศึกษาเปรียบเทียบโปรโตคอลการแยกส่วนอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter; SOM) สองแนวทาง ได้แก่ การแยกเชิงกายภาพและการแยกเชิงเคมี พบว่าโปรโตคอลที่เลือกใช้มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อมุมมองและการตีความบทบาทของอินทรีย์วัตถุในระบบดิน ทั้งในมิติการทำงานของดินและพลวัตของคาร์บอน โดยโปรโตคอลแต่ละแบบสะท้อนแนวคิดและปรัชญาการมองดินที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

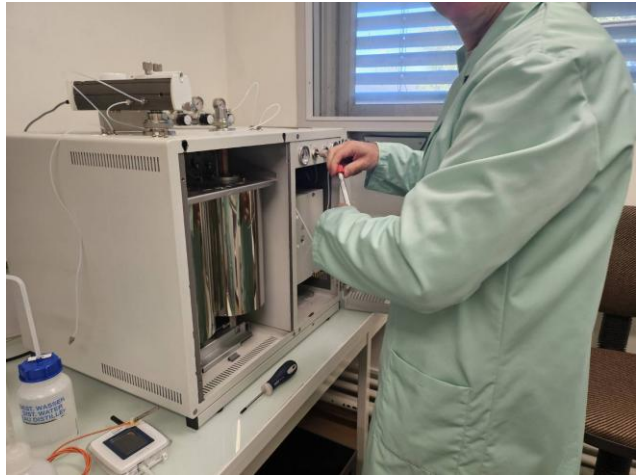
โปรโตคอลการแยกเชิงกายภาพ (physical fractionation) มุ่งจำแนก SOM ตามลักษณะโครงสร้างและการอยู่ร่วมกับองค์ประกอบของดิน เช่น อนุภาคดิน มวลรวม และแร่ธาตุ จึงช่วยเปิดเผยความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุกับโครงสร้างดิน ความพรุน ความสามารถในการอุ้มน้ำ และบทบาทในการเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ผลลัพธ์ที่ได้สะท้อนการทำงานของดินในเชิงนิเวศและการเกษตรโดยตรง ทำให้โปรโตคอลนี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประเมินสุขภาพดินและการวิเคราะห์ผลกระทบของการจัดการดินทางการเกษตร เช่น การไถพรวน การใช้พืชคลุมดิน และระบบเกษตรเชิงอนุรักษ์

ในทางตรงกันข้าม โปรโตคอลการแยกเชิงเคมี (chemical fractionation) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติความเสถียรทางเคมีและศักยภาพการคงอยู่ของ SOM ในระยะยาว โดยจำแนกอินทรีย์วัตถุตามระดับการละลาย ความทนทานต่อปฏิกิริยาเคมี และความต้านทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ข้อมูลจากโปรโตคอลนี้มีความสำคัญต่อการศึกษาคาร์บอนในระยะยาว และการประเมินบทบาทของดินในฐานะแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sink) ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงกับประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจัดการคาร์บอนในระบบนิเวศดิน

เมื่อพิจารณาในภาพรวม แม้โปรโตคอลทั้งสองจะให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน แต่กลับเสริมสร้างความเข้าใจ SOM ในคนละมิติ โดยการแยกเชิงกายภาพสะท้อน “การทำงานเชิงนิเวศและการผลิตของดิน” ขณะที่การแยกเชิงเคมีสะท้อน “ความมั่นคงและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของดิน” การใช้โปรโตคอลเพียงวิธีเดียวจึงอาจนำไปสู่ความเข้าใจที่จำกัด ในหลายกรณี การผสมผสานการใช้ทั้งสองแนวทางร่วมกันจะช่วยเชื่อมโยงมิติการทำงานของระบบดินเข้ากับมิติความเสถียรของคาร์บอนได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การแยกส่วน SOM เป็นเครื่องมือสำคัญในการทำความเข้าใจธรรมชาติของอินทรีย์วัตถุและการประเมินสถานภาพของดินทั้งในมิติการผลิตทางการเกษตรและมิติสิ่งแวดล้อมระดับโลก โปรโตคอลทั้งสองไม่ได้มีความเหนือกว่ากัน หากแต่ตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน การเลือกใช้จึงควรสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยลักษณะของดิน และสภาพพื้นที่ศึกษา

ในเชิงวิชาการ งานนี้ยืนยันว่าการเลือกวิธีการแยก SOM ส่งผลต่อการตีความข้อมูลด้านดินอย่างมีนัยสำคัญ และสนับสนุนแนวคิดการใช้หลายโปรโตคอลร่วมกัน (integrated approach) ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ดินสมัยใหม่ ในเชิงนโยบายและสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการประเมินบทบาทของดินต่อการกักเก็บคาร์บอน และสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านการใช้ที่ดินและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขณะที่ในภาคปฏิบัติทางการเกษตร ข้อมูลจากการแยก SOM ช่วยสนับสนุนการออกแบบแนวทางจัดการดินเพื่อรักษาคุณภาพดินและความยั่งยืนของระบบการผลิตในระยะยาว





Visit of the DIAMS site in Mauguio. Explanation of all the measurements done on soil functions and biodiversity, tree and plant functions and productivity. Sampling plant biomass in DIAMS experiment.

(Dr Gabin Piton and Dr Fabien Ferchaud)

แหล่งทดลอง DIAMS เป็นพื้นที่วิจัยเชิงภาคสนาม (field experimental site) ซึ่งตั้งอยู่ที่เมือง Mauguio แคว้น Hérault ทางตอนใต้ของประเทศฝรั่งเศส อยู่ห่างจากเมือง Montpellier ไปทางตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 10 กิโลเมตร พิกัดภูมิศาสตร์ของแหล่งวิจัยคือ 43.612°N และ 3.976°E พื้นที่ทดลองถูกจัดตั้งขึ้นในปี 2017 บนพื้นที่ของศูนย์ทดลอง INRAE DIASCOPE Experimental Unit มีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 5 เฮกตาร์ (ประมาณ 31 ไร่)

แหล่งวิจัยนี้ได้รับการออกแบบเพื่อศึกษาระบบเกษตรกรรมเชิงนิเวศ โดยเฉพาะระบบวนเกษตร (Agroforestry) การเกษตรเชิงพืชอาหาร และระบบปลูกป่า รวมถึงผลกระทบของการให้น้ำและไม่ให้น้ำต่อระบบเหล่านี้ DIAMS ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Factorial Experimental Design แบ่งออกเป็น 3 บล็อก (Blocks) โดยในแต่ละบล็อกประกอบด้วย:

3 รูปแบบการใช้ที่ดิน (Land-use modalities)

- ระบบวนเกษตร (Agroforestry – AF)
- ระบบเกษตรพืชไร่ทั่วไป หรือพื้นที่ควบคุมทางการเกษตร (Conventional Crop – C)
- ระบบปลูกป่า หรือพื้นที่ควบคุมทางป่าไม้ (Forest – F)

2 รูปแบบการจัดการน้ำ

- แปลงที่มีการให้น้ำ (Irrigated – W)
- แปลงที่ไม่ให้น้ำ (Non-irrigated – C)

ดังนั้น แปลงทดลองนี้ออกแบบเพื่อเปรียบเทียบทั้งด้านระบบการผลิตและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในสภาพที่มีและไม่มีการจัดการน้ำ

แหล่งทดลอง DIAMS เป็นพื้นที่วิจัยภาคสนามที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาด้านเกษตรเชิงนิเวศ ตั้งอยู่ที่เมืองมอกีโย จังหวัดแอโร โกลล์เมืองมดเปลิเยร์ทางตอนใต้ของประเทศฝรั่งเศส บนพื้นที่ประมาณ 5 เฮกตาร์ และถูกจัดตั้งขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 บนพื้นที่ทดลองของหน่วยงาน INRAE DIASCOPE จุดเด่นของพื้นที่แห่งนี้คือการออกแบบให้เป็นแหล่งทดลองที่สามารถศึกษาระบบการผลิตทางการเกษตรหลากหลายรูปแบบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบและติดตามผลกระทบต่อดิน ระบบนิเวศ การผลิต และวัฏจักรชีวธรณีเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พื้นที่ DIAMS ถูกจัดเป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยแบ่งออกเป็นสามบล็อกหลัก ซึ่งภายในแต่ละบล็อกประกอบด้วยสามระบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ระบบวนเกษตรซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างไม้ยืนต้นและพืชไร่ ระบบการเกษตรพืชไร่แบบทั่วไปที่ทำหน้าที่เป็นพื้นที่ควบคุมทางเกษตร และระบบการปลูกป่าซึ่งทำหน้าที่เป็นพื้นที่ควบคุมทางป่าไม้ ทั้งสามระบบนี้ถูกนำมาศึกษาภายใต้สองเงื่อนไขการจัดการน้ำ คือแปลงที่มีการให้น้ำและแปลงที่ไม่มีการให้น้ำ การจัดรูปแบบดังกล่าวทำให้สามารถทำความเข้าใจบทบาทของน้ำต่อกระบวนการในดิน การเจริญเติบโตของพืช และผลลัพธ์ทางระบบนิเวศได้อย่างชัดเจน

ในส่วนของระบบวนเกษตร มีการปลูกต้นไม้ชนิดโรบินเนีย *pseudoacacia* ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนในดิน ร่วมกับการปลูกพืชหมุนเวียนในกลุ่มธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว เช่น ข้าวสาลีดูรัม ข้าวบาร์เลย์ ถั่วโปรตีน และถั่วชิกพี นอกจากนี้ ในแปลงที่มีการให้น้ำยังมีการปลูกพืชปกคลุมเสริมคือข้าวฟ่าง เพื่อช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินและรักษาความชุ่มชื้น แถวต้นไม้ถูกจัดวางให้มีระยะห่าง 17 เมตร พร้อมพื้นที่ได้ร่มเงากว้าง 2 เมตร และระยะปลูกต้นไม้ในแถว 2 เมตร ทำให้มีความหนาแน่นประมาณ 294 ต้นต่อเฮกตาร์ ขณะที่แปลงปลูกป่ามีความหนาแน่นมากกว่าหลายเท่า สูงถึง 1666 ต้นต่อเฮกตาร์ ซึ่งช่วยให้สามารถศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นต้นไม้ต่อสิ่งแวดล้อมและดินได้อย่างน่าสนใจ ส่วนแปลงเกษตรพืชไร่ควบคุมก็ยังคงใช้การปลูกพืชหมุนเวียนแบบเดียวกับแปลงวนเกษตร เพียงแต่ไม่มีองค์ประกอบของต้นไม้เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อทำหน้าที่เป็นฐานเปรียบเทียบที่สำคัญ

หนึ่งในจุดแข็งที่โดดเด่นของ DIAMS คือการติดตั้งเครื่องมือวัดและระบบติดตามข้อมูลที่ทันสมัย โดยเฉพาะบล็อกที่หนึ่งซึ่งเป็นบล็อกที่มีการวัดอย่างเข้มข้น มีเครื่องมือสำหรับวัดความชื้นและอุณหภูมิดินลึกลงไปถึงสามเมตร เครื่องสแกนรากพอร์เซเลนสำหรับเก็บสารละลายในดิน เซ็นเซอร์สภาพภูมิอากาศระดับใกล้พื้นดิน รวมถึงหลุมสำรวจดินถาวรลึกสามเมตร ซึ่งทำให้สามารถติดตามคุณสมบัติดินในแนวตั้งได้ นอกจากนี้ยังมีสถานีอุตุนิยมวิทยาอยู่ใกล้พื้นที่โดยตรง ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดและต่อเนื่อง สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศได้อย่างแท้จริง

พื้นที่ทดลองทั้งหมดได้รับการทำหุ้ดพิภพทางภูมิศาสตร์อย่างละเอียดตั้งแต่เริ่มโครงการ และได้มีการเก็บตัวอย่างดินครั้งแรกในช่วงเริ่มต้นปี 2017 เพื่อประเมินความแปรปรวนเริ่มต้นของดินทั้งพื้นที่ จากนั้นมีการติดตามข้อมูลเป็นประจำทุกปี ทั้งในด้านการเจริญเติบโตของต้นไม้ วงจรพัฒนาการของพืชไร่และพืชวัชพืช การเจริญเติบโตและชีวมวลของต้นไม้ การผลิตใบไม้ร่วงซึ่งมีความสำคัญต่อการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน ความหลากหลายทางชีวภาพของพืชและสัตว์ในพื้นที่ รวมถึงผลผลิตทางการเกษตร ขณะเดียวกันดินก็ได้รับการสุ่มเก็บและตรวจวิเคราะห์เป็นระยะ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในด้านฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาของดินในช่วงเวลายาวนาน สิ่งเหล่านี้ทำให้ DIAMS กลายเป็นพื้นที่ทดลองเชิงนิเวศระยะยาวที่มีศักยภาพสูงรองรับงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติหลายโครงการ

ความสำคัญของแหล่งวิจัย DIAMS ได้รับการต่อยอดมากขึ้น เมื่อพื้นที่แห่งนี้ได้เข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายวิจัย ACBB ซึ่งเป็นเครือข่ายด้านระบบเกษตร วัฏจักรชีวิตธัญพืช และความหลากหลายทางชีวภาพตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 2024 การเข้าร่วมครั้งนี้ทำให้ DIAMS กลายเป็นพื้นที่ต้นแบบด้านวนเกษตรภายในเครือข่าย ซึ่งก่อนหน้านี้มีเฉพาะแปลงทดลองระบบเกษตรพืชไร่ ทุ่งหญ้าชั่วคราว และทุ่งหญ้าถาวรจากพื้นที่วิจัยอื่น ๆ การเพิ่มระบบวนเกษตรจึงช่วยเติมเต็มภาพรวมของระบบเกษตรเชิงนิเวศในฝรั่งเศสอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

โดยสรุป DIAMS ไม่ได้เป็นเพียงพื้นที่ทดลองธรรมดา แต่เป็นห้องปฏิบัติการธรรมชาติขนาดใหญ่ที่ช่วยเปิดเผยความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ พืช ระบบนิเวศ และการจัดการทางการเกษตร ทั้งในมิติของการผลิตอาหาร ความยั่งยืนของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพ และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลที่ได้จากพื้นที่แห่งนี้จึงมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อการพัฒนานโยบายเกษตรและสิ่งแวดล้อมในอนาคต รวมทั้งเป็นแหล่งเรียนรู้สำคัญสำหรับวงการวิทยาศาสตร์ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติทั่วโลก

ระเบียบวิธีการติดตามการเจริญเติบโตและชีวมวลของพืชในแปลงทดลอง DIAMS

(Dr Gabin Piton and Dr Fabien Ferchaud)

ได้ลงพื้นที่ศึกษา ระเบียบวิธีมาตรฐานสำหรับการติดตามการพัฒนารูปแบบและการเก็บตัวอย่างชีวมวล (เหนือดินและใต้ดิน) ในแปลงทดลอง DIAMS ซึ่งเป็นการทดลองระบบวนเกษตรและระบบปลูกพืชเดี่ยว โดยมีเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และชีวมวลของพืชภายใต้ระบบการใช้ที่ดินและการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน

1. การออกแบบการทดลอง (Experimental design)

การทดลองประกอบด้วย 3 บล็อก (blocks) ซึ่งใช้รูปแบบการทดลองเดียวกันในแต่ละบล็อก และทุกจุดติดตามถูกกำหนดพิกัดเชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรม QGIS

ระบบวนเกษตร (Agroforestry: AF) จุดติดตามถูกจัดเรียงตามแนว transect โดยอ้างอิงต้นไม้ 1 ต้นเป็นศูนย์กลาง มี 3 transects ต่อการจัดการและต่อบล็อก (และเพิ่ม 1 transect ในบางกรณี)

จุดใกล้ต้นไม้: ระยะ 2.5 เมตร ทางทิศเหนือและใต้

จุดไกลต้นไม้: ระยะ 8.5 เมตร ทางทิศเหนือและใต้

ต้นไม้ที่ใช้เป็นต้นอ้างอิงเป็นต้นที่มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) อยู่ในระดับปานกลาง

ระบบปลูกพืชเดี่ยว (Crop system: C) จุดติดตามถูกกระจายทั่วแปลงเพื่อสะท้อนความแปรปรวนภายในพื้นที่ จุดติดตามจะถูกย้ายทุก 3-4 ปี เพื่อหลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างซ้ำในตำแหน่งเดิมเป็นเวลานาน การสังเกตและการเก็บตัวอย่างใช้กรอบตัวอย่าง (quadrat) ขนาด 25×25 หรือ 50×50 ซม. ตามชนิดและความหนาแน่นของพืช

2. การติดตามระยะการเจริญเติบโตของพืช (Phenological monitoring)

มีการติดตามตั้งแต่ระยะงอกจนถึงเก็บเกี่ยว เพื่อบันทึกวันที่พืชเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตสำคัญ โดยอ้างอิงตามมาตราส่วน BBCH ระยะหลักที่ติดตาม ได้แก่

- ระยะงอก (BBCH 09)
- ระยะใบจริง 3 ใบ (BBCH 13 – สำหรับพืชตระกูลถั่ว)
- ระยะเริ่มแตกกอ (BBCH 21 – ธัญพืช)
- ระยะเริ่มยัดลำต้น (BBCH 30/31 – ธัญพืช)
- ระยะออกดอกเต็มที่ (BBCH 65)
- ระยะสุกแก่สมบูรณ์ (BBCH 89)

ถือว่าพืชเข้าสู่ระยะเป้าหมายเมื่ออย่างน้อย 50% ของต้นที่สังเกตอยู่ในระยะนั้น

3. การเก็บตัวอย่างชีวมวลในระยะออกดอก

การเก็บตัวอย่างชีวมวลเหนือดินและรากทำในบริเวณใกล้เคียงจุดติดตาม (แต่ไม่รบกวนจุดหลัก) โดยเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน

ขั้นตอนภาคสนามประกอบด้วย การวัดความสูงพืช การตัดชีวมวลเหนือดิน และการเก็บตัวอย่างราก โดยใช้ทั้งการเจาะดินด้วยสว่าน (soil core) หรือการขุดดินเป็นแท่ง (monolith) ในกรณีพืชขึ้นไม่หนาแน่น

ตัวอย่างทั้งหมดถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 55°C และชั่งน้ำหนัก

ในห้องปฏิบัติการ จะมีการล้างราก ทำให้แห้งจนมวลคงที่ ชั่งน้ำหนัก บดตัวอย่าง และเก็บรักษาเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

4. การเก็บตัวอย่างในระยะสุกแก่

ในระยะสุกแก่ จะเก็บเฉพาะชีวมวลเหนือดินจากจุดติดตามโดยตรง มีการวัดความสูง นับจำนวนต้น/ลำต้น จำนวนรวงหรือฝัก แยกเมล็ด ชั่งน้ำหนัก และในบางกรณีทำการฟีกตัวอย่างเพื่อศึกษาการระบาดของแมลงศัตรูพืช

ตัวอย่างทั้งหมดถูกทำให้แห้ง บด และเก็บไว้เพื่อการวิเคราะห์ในอนาคต

5. อุปกรณ์ที่ใช้ภาคสนาม

อุปกรณ์หลัก ได้แก่ quadrat หลายขนาด ไม้บรรทัดหรือสายวัด กรรไกรตัดกิ่ง ถุงกระดาษและถุงพลาสติกติดฉลาก ส่วนเจาะดิน พลั่ว อุปกรณ์คัดแยกราก และแผนผังการทดลอง



Biofunctool®

Soil health assessment indicators

(Dr Alain Brauman Dr Jim Félix-Faure Dr Alexis Thoumazeau)

การประเมินสุขภาพดินด้วยแนวคิด Biofunctool®

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีชีวิตและมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศและความมั่นคงทางอาหารของมนุษย์ ดินไม่เพียงเป็นที่ยึดเกาะของรากพืชเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่สำคัญหลากหลายประการ เช่น การหมุนเวียนธาตุอาหาร การกักเก็บและเปลี่ยนแปลงคาร์บอน การอุ้มน้ำและกรองน้ำ การควบคุมการพังทลายของดิน รวมถึงการเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก ตั้งแต่จุลินทรีย์ไปจนถึงสัตว์ดินขนาดใหญ่ เช่น ไส้เดือนดิน สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีบทบาทโดยตรงต่อการทำงานของดินและบริการเชิงนิเวศ (ecosystem services) ที่ดินมอบให้กับมนุษย์

อย่างไรก็ตาม ดินทั่วโลกกำลังเผชิญกับภัยคุกคามอย่างรุนแรง ไม่ว่าจะเป็นการชะล้างพังทลาย การสูญเสียอินทรีย์วัตถุ การอัดตัวของดิน การสะสมความเค็ม การปนเปื้อนสารพิษ และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพในดิน ปัญหาเหล่านี้ทวีความรุนแรงมากขึ้นจากการใช้ที่ดินอย่างเข้มข้นและไม่ยั่งยืน ส่งผลให้เกิดความจำเป็นเร่งด่วนในการประเมิน “สุขภาพดิน” เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตาม เฝ้าระวัง และปรับปรุงการจัดการดินในระบบเกษตรและระบบนิเวศต่าง ๆ

แนวคิดเรื่อง Soil health ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสะท้อนสมรรถนะที่แท้จริงของดินในการทำหน้าที่ต่าง ๆ ภายใต้ขอบเขตศักยภาพโดยกำเนิดของดินนั้น ๆ โดยแตกต่างจากแนวคิด Soil quality ซึ่งมักเน้นการประเมินศักยภาพพื้นฐานหรือคุณสมบัติที่ของดิน เช่น เนื้อดินหรือชนิดแร่ แนวคิดสุขภาพดินจึงมองดินเป็นระบบมีชีวิตที่มีพลวัต และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการจัดการและสภาพแวดล้อม

ในอดีต การประเมินสุขภาพหรือคุณภาพดินมักใช้แนวทางเชิงลดทอน (reductionist approach) โดยวัดคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพแยกจากกัน เช่น ค่า pH ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความหนาแน่นรวม ความชื้น หรือจำนวนสิ่งมีชีวิตบางกลุ่ม แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันเป็นดัชนี อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวไม่สามารถสะท้อนการทำงานที่แท้จริงของดินได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากหน้าที่ของดินเกิดจากปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างสิ่งมีชีวิตในดิน โครงสร้างดิน และสภาพแวดล้อมทางกายภาพและเคมี

จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดการประเมินสุขภาพดินแบบบูรณาการ โดยมุ่งเน้นการประเมิน “หน้าที่ของดิน” (soil functions) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการทำงานร่วมกันของสิ่งมีชีวิตในดิน แนวคิดนี้นำไปสู่การพัฒนา Biofunctool® ซึ่งเป็นกรอบการประเมินสุขภาพดินที่เน้นบทบาทของสิ่งมีชีวิตในดินเป็นศูนย์กลาง Biofunctool® ถูกออกแบบมาเพื่อประเมินสุขภาพดินผ่านหน้าที่หลักของดิน 3 ประการ ได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน (Carbon transformation)
2. การหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient cycling)
3. การคงสภาพและเสถียรภาพของโครงสร้างดิน (Soil structure maintenance)

ตัวชี้วัดที่ใช้ใน Biofunctool® ถูกคัดเลือกจากการทบทวนวรรณกรรมและการประชุมผู้เชี่ยวชาญ โดยมีเกณฑ์สำคัญคือ ต้องสะท้อนการทำงานของดินจริง สามารถประเมินได้ในภาคสนาม เป็นวิธีที่ใช้เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน (low-tech) ใช้เวลาและต้นทุนต่ำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ้ำหรือถ่ายทอดให้ผู้อื่นได้ง่าย

Biofunctool® ประกอบด้วยตัวชี้วัดทั้งหมด 9 ตัว ซึ่งเชื่อมโยงกับหน้าที่ของดินทั้งสามด้าน ในด้านการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน จะประเมินคาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายในดิน (POXC) การหายใจพื้นฐานของดิน (SituResp®) และกิจกรรมของสัตว์ดินขนาดเล็กผ่านวิธี bait lamina ตัวชี้วัดเหล่านี้สะท้อนกิจกรรมของจุลินทรีย์และสัตว์ดินที่มีบทบาทต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและการหมุนเวียนคาร์บอน

ในด้านการหมุนเวียนธาตุอาหาร จะประเมินปริมาณไนโตรเจนที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ และพลวัตของไนโตรเจนในดิน ซึ่งสะท้อนความสามารถของดินในการสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ขณะที่ด้านโครงสร้างดิน จะประเมินความสามารถในการซึมน้ำ ความเสถียรของเม็ดดินในชั้นผิวและชั้นล่าง รวมถึงคุณภาพโครงสร้างดินจากการประเมินเชิงสายตา (VESS) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการอุ้มน้ำ การระบายอากาศ และการเจริญของรากพืช

กระบวนการใช้ Biofunctool® ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ การเก็บข้อมูลภาคสนาม การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เปรียบเทียบกันได้ และการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อรวมผลเป็นดัชนีสุขภาพดิน (Biofunctool® index) ดัชนีดังกล่าวช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลของแนวทางการจัดการดินที่แตกต่างกัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงสุขภาพดินตามเวลา และสื่อสารผลลัพธ์ต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้อย่างเข้าใจง่าย

Biofunctool® ได้รับการทดสอบและประยุกต์ใช้จริงในหลายประเทศและหลายระบบการเกษตร เช่น ระบบวนเกษตร เกษตรอนุรักษ์ สวนยางพารา และสวนปาล์มน้ำมันรายย่อย ผลการศึกษาพบว่า แนวทางการจัดการที่ส่งเสริมชีวภาพในดิน เช่น การใช้พืชคลุมดิน การไม่ไถพรวน การคั้นเศษซากพืช หรือการจัดการพืชร่วมกับไม้ยืนต้น สามารถปรับปรุงสุขภาพดินทั้งในด้านคาร์บอน ธาตุอาหาร และโครงสร้างดิน และในหลายกรณียังเชื่อมโยงกับการเพิ่มผลผลิตหรือเสถียรภาพของระบบการผลิตทางการเกษตร

โดยสรุป Biofunctool® เป็นเครื่องมือประเมินสุขภาพดินที่ก้าวข้ามการวัดคุณสมบัติดินแบบแยกส่วน ไปสู่การประเมินหน้าที่ของดินอย่างบูรณาการ เน้นบทบาทของสิ่งมีชีวิตในดิน และสามารถนำไปใช้ได้จริงทั้งในงานวิจัย งานติดตามประเมินผล และงานส่งเสริมการเกษตรเพื่อสนับสนุนการจัดการดินอย่างยั่งยืนในระยะยาว

ตัวชี้วัด Biofunctool® สำหรับการประเมินสุขภาพดินเชิงหน้าที่

ตัวชี้วัดในกรอบ Biofunctool® ซึ่งเป็นแนวทางการประเมินสุขภาพดินที่เน้น “หน้าที่ของดิน” (soil functions) มากกว่าการวัดคุณสมบัติดินแบบแยกส่วน โดยอาศัยกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินเป็นแกนกลาง แนวคิดนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานสำคัญว่า สุขภาพดินที่ดีจะสะท้อนออกมาผ่านกระบวนการทำงานของดิน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการคงสภาพโครงสร้างดิน ซึ่งล้วนเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างดิน อินทรีย์วัตถุ และสิ่งมีชีวิตในดิน

Biofunctool® จึงคัดเลือกตัวชี้วัดทั้งหมด 9 ตัว เพื่อสะท้อนหน้าที่หลักของดิน 3 ด้าน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคาร์บอน (carbon transformation) การหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient cycling) และการคงสภาพโครงสร้างดิน (soil structure maintenance) โดยทุกตัวชี้วัดถูกออกแบบให้สามารถใช้ได้จริงในภาคสนาม ใช้เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ และไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากการจัดการดิน

การประเมินการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน (Carbon transformation)

การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนเป็นหัวใจสำคัญของสุขภาพดิน เนื่องจากคาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์และเป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการชีวภาพส่วนใหญ่ในดิน Biofunctool® ใช้ตัวชี้วัด 3 ตัวเพื่อประเมินหน้าที่ด้านนี้ ได้แก่ คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายในดิน (Soil labile carbon; POXC) กิจกรรมของสัตว์ดินขนาดกลาง (mesofauna activity) และการหายใจพื้นฐานของดิน (basal soil respiration)

คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายในดิน (POXC) เป็นสัดส่วนของคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่มีอัตราการหมุนเวียนเร็วที่สุด และถือเป็น “แหล่งอาหารเร่งด่วน” สำหรับจุลินทรีย์ในดิน คาร์บอนส่วนนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากการจัดการดิน เช่น การไถพรวน การใส่ปุ๋ย และการคั้นเศษซากพืช จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดสุขภาพดินอย่างแพร่หลาย วิธี POXC อาศัยการออกซิไดซ์คาร์บอนที่ไวต่อปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ซึ่งการลดลงของความเข้มข้นของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาจะแปรผันตรงกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ ผลลัพธ์ที่ได้

สะท้อนปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายง่าย ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรมจุลินทรีย์ การหมุนเวียนธาตุอาหาร และคุณภาพโครงสร้างดิน

กิจกรรมของสัตว์ดินขนาดกลาง (Mesofauna activity) ถูกประเมินด้วยวิธี bait lamina ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานระดับสากลที่ใช้วัดกิจกรรมการกินอาหารของสัตว์ดินกลุ่มย่อยสลายซาก (detritivores) เช่น ไส้เดือน กิ้งกือ แมลงขนาดเล็ก และ springtails สัตว์กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายเศษซากพืช การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการปรับปรุงโครงสร้างดิน หลักการของ bait lamina คือการฝังแท่งพลาสติกที่มีรูบรรจุวัสดุอินทรีย์ (โดยทั่วไปเป็นเซลลูโลส) ลงในดิน และประเมินระดับการถูกกินหรือย่อยสลายหลังจากการบ่มในภาศสนาม 15–20 วัน ผลที่ได้สะท้อนระดับกิจกรรมของสัตว์ดิน ซึ่งเป็นตัวแทนของการทำงานเชิงชีวภาพในดิน

การหายใจพื้นฐานของดิน (Basal soil respiration) เป็นตัวชี้วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ผ่านการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดิน Biofunctool® ใช้วิธี SituResp® ซึ่งเป็นเทคนิคที่พัฒนาให้สามารถประเมินการหายใจของดินได้อย่างรวดเร็วและประหยัดในภาศสนาม โดยอาศัยหลักการที่ CO₂ ที่ปล่อยออกมาจากดินจะทำให้สารละลายต่างเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ส่งผลให้สีของตัวบ่งชี้ pH (cresol red) เปลี่ยนไป ความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการบ่มจึงใช้เป็นตัวแทนของอัตราการหายใจของดิน ซึ่งสะท้อนระดับกิจกรรมจุลินทรีย์และการย่อยสลายคาร์บอนในดิน

การประเมินการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient cycling)

การหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจน เป็นปัจจัยสำคัญที่เชื่อมโยงสุขภาพดินกับการเจริญเติบโตของพืช Biofunctool® ใช้ตัวชี้วัด 2 ตัว ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนที่พืชใช้ได้ (available nitrogen) และพลวัตของไนโตรเจนในดิน (nitrogen dynamics)

ปริมาณไนโตรเจนที่พืชใช้ได้ ประเมินโดยการสกัดไนโตรเจนรูปไนเตรตและแอมโมเนียมจากดินด้วยสารละลาย KCl ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่วัดได้สะท้อนความพร้อมของธาตุอาหารสำหรับพืชในช่วงเวลานั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

พลวัตของไนโตรเจนในดิน ประเมินด้วยวิธีแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange membrane) ซึ่งสามารถดูดซับไนโตรเจนจากสารละลายในดินตลอดช่วงระยะเวลาการฝังแผ่นเมมเบรนในดิน วิธีนี้สะท้อน “อัตราการจัดหาไนโตรเจน” อย่างต่อเนื่องในระบบดิน มากกว่าการวัดค่า ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง จึงช่วยอธิบายศักยภาพของดินในการเลี้ยงพืชในระยะยาวได้ดีกว่า

การประเมินการคงสภาพโครงสร้างดิน (Soil structure maintenance)

โครงสร้างดินที่ดีเป็นพื้นฐานของการอุ้มน้ำ การระบายอากาศ การเจริญของราก และความต้านทานต่อการพังทลาย Biofunctool® ใช้ตัวชี้วัด 3 ตัวเพื่อประเมินหน้าที่นี้ ได้แก่ ความสามารถในการซึมน้ำ (infiltration) คุณภาพโครงสร้างดิน (VESS) และความเสถียรของเม็ดดิน (soil aggregate stability)

การซึมน้ำของดิน ประเมินด้วยวิธี Beerkan ซึ่งเป็นการวัดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่ดินในสภาพภาศสนาม ผลที่ได้สะท้อนความต่อเนื่องของช่องว่างในดิน ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของรากพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน

การประเมินโครงสร้างดินด้วยสายตา (VESS) เป็นวิธีเชิงคุณภาพที่จัดระดับโครงสร้างดินตามลักษณะการแตกตัว ความร่วนซุย และระดับการอัดตัว วิธีนี้สามารถสะท้อนผลกระทบของการจัดการดินและกิจกรรมชีวภาพได้อย่างชัดเจน และง่ายต่อการถ่ายทอดสู่ผู้ปฏิบัติงานภาศสนาม

ความเสถียรของเม็ดดิน วัดจากความสามารถของเม็ดดินในการคงรูปเมื่อสัมผัสน้ำ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความต้านทานต่อการพังทลาย การชะล้าง และการเสื่อมสภาพของดิน โดยแยกประเมินทั้งชั้นผิวดินและชั้นดินล่าง

สรุปภาพรวม

ตัวชี้วัด Biofunctool® ทั้งหมดทำงานร่วมกันเพื่อสะท้อนสุขภาพดินในเชิงหน้าที่อย่างเป็นระบบ ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เพียงบ่งชี้สุขภาพดิน ณ ช่วงเวลาหนึ่ง แต่ยังสะท้อนผลสะสมของการจัดการดินในระยะยาว Biofunctool® จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการเชื่อมโยง การจัดการดิน การทำงานของดิน ความยั่งยืนของระบบเกษตร ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ขั้นตอนการใช้ Biofunctool® อย่างเป็นระบบ โดย Biofunctool® เป็นเครื่องมือประเมินสุขภาพดินที่พัฒนาขึ้นเพื่อสะท้อน “การทำงานของดิน” ผ่านกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ภายใต้บริบทที่ดินทั่วโลกกำลังเผชิญแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์มากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถของดินในการให้บริการเชิงนิเวศ เช่น การผลิตพืช การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ

Biofunctool® มุ่งประเมิน 3 หน้าที่หลักของดิน ได้แก่

1. พลวัตของคาร์บอน (carbon dynamics)
2. การหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient cycling)
3. การคงสภาพโครงสร้างดิน (structural maintenance)

โดยใช้ตัวชี้วัดภาคสนามและห้องปฏิบัติการแบบ low-tech จำนวน 9 ตัว และรวมผลลัพธ์ทั้งหมดเป็น ดัชนีสุขภาพดิน (Soil Health Index) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0–1 เพื่อเปรียบเทียบผลของแนวทางการจัดการดินที่แตกต่างกัน

ตัวชี้วัดด้านการคงสภาพโครงสร้างดิน (Structure Maintenance)

ความเสถียรของเม็ดดิน (Aggregate stability)

การทดสอบความเสถียรของเม็ดดินเป็นการประเมินความสามารถของดินในการต้านทานการแตกสลายภายใต้อิทธิพลของน้ำ ลม และการจัดการดิน เม็ดดินที่มีเสถียรภาพสูงมักเกี่ยวข้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสม กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน อัตราการซึมน้ำที่ดี และความต้านทานต่อการพังทลาย

วิธีการนี้ใช้การให้คะแนนเชิงสายตาหลังการแช่เม็ดดินในน้ำและการยกขึ้นลงตามรอบเวลาที่กำหนด โดยเก็บตัวอย่างเม็ดดินจากสองชั้นความลึก คือ 0–2 ซม. และ 2–10 ซม. แล้วให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 6 ตามระดับการคงรูปของเม็ดดิน ค่าเฉลี่ยของคะแนนเม็ดดินในแต่ละชั้นความลึกใช้เป็นตัวแทนเสถียรภาพโครงสร้างดินในจุดตัวอย่างนั้น

การซึมน้ำของดิน (Beerkan infiltration)

การทดสอบ Beerkan เป็นการประเมินอัตราการซึมน้ำของดินในสภาพภาคสนาม ซึ่งสะท้อนความต่อเนื่องของช่องว่างในดิน อิทธิพลของรากพืช และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน วิธีการใช้กระบอกพลาสติกฝังลงในดินตื้น ๆ และเติมน้ำปริมาตรคงที่ซ้ำ ๆ พร้อมจับเวลาการซึมของน้ำแต่ละครั้ง

ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสะสมกับเวลา และเลือกเฉพาะช่วงที่เข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) เพื่อคำนวณอัตราการซึมน้ำ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของโครงสร้างดินและการจัดการน้ำในระบบเกษตร

การประเมินโครงสร้างดินด้วยสายตา (VESS)

VESS เป็นวิธีประเมินโครงสร้างดินอย่างรวดเร็ว โดยอาศัยลักษณะภายนอกและความรู้สึกของก้อนดินที่ขุดขึ้นมาเป็นบล็อก วิธีนี้เชื่อมโยงโดยตรงกับการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน กิจกรรมชีวภาพ และระดับการอัดตัวของดิน

การให้คะแนนทำแยกตามชั้นดินภายในบล็อก โดยพิจารณาความร่วนซุย รูปร่างของก้อนดิน และการมีรากหรือรูของสัตว์ดิน แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามความหนาของแต่ละชั้น เพื่อให้ได้คะแนน VESS ซึ่งสะท้อนคุณภาพโครงสร้างดินโดยรวม

ตัวชี้วัดด้านการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient Cycling)

เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Membrane)

วิธีเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนใช้ประเมินพลวัตของธาตุอาหารที่พืชใช้ได้ โดยเฉพาะไนโตรเจน วิธีนี้ต่างจากการวัดค่าธาตุอาหาร ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เพราะสามารถสะท้อน “การจัดการไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง” ในช่วงเวลาที่ฝังเมมเบรนในดิน

เมมเบรนถูกซาริจด้วยสารละลายก่อนนำไปฝังในดิน เมื่ออยู่ในดิน เมมเบรนจะแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลายในดิน หลังจากระยะเวลาหนึ่งจึงนำกลับมาสกัดด้วยสารละลาย KCl และวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตในห้องปฏิบัติการ ผลลัพธ์แสดงในรูปของอัตราการจัดหาไนโตรเจนต่อพื้นที่เมมเบรนและต่อวัน

การสกัดไนโตรเจนในดิน (Soil N extraction)

การวัดไนโตรเจนที่พืชใช้ได้ในดินใช้การสกัดด้วยสารละลาย KCl โดยเก็บตัวอย่างดินจากชั้น 0–10 ซม. แล้วนำมาสกัดในภาคนามหรือห้องปฏิบัติการ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตและแอมโมเนียม ค่าไนโตรเจนที่ได้สะท้อนสถานะธาตุอาหารในดิน ณ ช่วงเวลานั้น และต้องมีการปรับค่าตามความชื้นของดินเพื่อความแม่นยำ

ตัวชี้วัดด้านการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน (Carbon Transformation)

กิจกรรมสัตรดินด้วย bait lamina

การทดสอบ bait lamina ใช้ประเมินกิจกรรมของสัตว์ดินที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ โดยฝังแท่ง bait lamina ซึ่งมีรูบรรจุวัสดุอินทรีย์ลงในดินในแนวตั้ง หลังจากช่วงบ่ม จะนำแท่งออกมาและให้คะแนนตามระดับการถูกกินหรือย่อยสลายของวัสดุในแต่ละรู ค่าเฉลี่ยที่ได้สะท้อนความเข้มข้นของกิจกรรมชีวภาพในดินชั้นผิว

คาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย (POXC)

POXC เป็นตัวชี้วัดคาร์บอนอินทรีย์ส่วนที่มีการหมุนเวียนเร็วและไวต่อการจัดการดิน วิธีนี้ใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนด้วยสารละลาย KMnO_4 โดยวัดการลดลงของการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ค่า POXC ที่สูงบ่งชี้ว่าดินมีแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์สูง และมักสัมพันธ์กับสุขภาพดินที่ดี

การหายใจพื้นฐานของดิน (SituResp®)

SituResp® เป็นวิธีประเมินกิจกรรมจุลินทรีย์ผ่านการปลดปล่อย CO_2 จากดินสด โดยใช้เจลที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง pH เมื่อ CO_2 ถูกดูดซับ การเปลี่ยนสีของเจลถูกวัดด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ก่อนและหลังการบ่ม 24 ชั่วโมง ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงสะท้อนระดับการหายใจของดิน และเป็นตัวแทนของกิจกรรมจุลินทรีย์

ตัวชี้วัดทั้งหมดใน Biofunctool® ถูกออกแบบให้สะท้อนหน้าที่ของดินในมิติต่าง ๆ อย่างครบถ้วน ผลลัพธ์จากแต่ละตัวชี้วัดสามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกันด้วยสถิติพหุคูณ เพื่อสร้างดัชนีสุขภาพดินแบบองค์รวม Biofunctool® จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการเชื่อมโยง การจัดการดิน กระบวนการชีวภาพในดิน ความยั่งยืนของระบบเกษตร



*** โปรตระกูลความรู้ที่ได้รับให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามรายชื่อ**

1) ได้รับความรู้เกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินในเขตร้อน โดยเฉพาะดินที่มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ เช่น ดินเคโอไลโนสสถานะฐานต่ำ (Ultisols และ Oxisols) ซึ่งมีความเป็นกรดสูงและขาดธาตุอาหารสำคัญ ทำให้เข้าใจแนวทางการจัดการดินที่เหมาะสม เช่น การปรับปรุงความเป็นกรดของดินด้วยปูนขาว การเพิ่มอินทรีย์วัตถุผ่านการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด รวมถึงการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดิน ช่วยลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมี และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมการจัดการดินให้เหมาะสมกับระบบการปลูกพืชที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ได้รับความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอนในดิน ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุในดิน จุลินทรีย์ และโครงสร้างดิน รวมถึงบทบาทของดินในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบเกษตร นอกจากนี้ยังได้เรียนรู้แนวคิดและเครื่องมือประเมินสุขภาพดิน เช่น Biofunctool® ซึ่งใช้ตัวชี้วัดด้านการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน การหมุนเวียนธาตุอาหาร และความเสถียรของโครงสร้างดิน ทำให้สามารถนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดแนวทางการจัดการดินและระบบการผลิตทางการเกษตรที่ช่วยรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

3) ได้รับความรู้เกี่ยวกับแนวคิดนิเวศวิทยาของดินที่มองดินเป็นระบบนิเวศที่มีความเชื่อมโยงระหว่างดิน พืช จุลินทรีย์ และสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการจัดการดินให้ใกล้เคียงธรรมชาติ เช่น การอนุรักษ์ดินและน้ำ การเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน การใช้ระบบเกษตรแบบไม่ไถพรวน การเกษตรอินทรีย์ และการเกษตรแบบวนเกษตร ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพดินในระยะยาว ลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร และส่งเสริมความยั่งยืนของระบบเกษตร ทั้งในมิติด้านการผลิตและสิ่งแวดล้อม

4) ได้รับประสบการณ์จากการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้กับนักวิจัยและนักวิชาการของหน่วยงาน UMR Eco&Sols ซึ่งเป็นหน่วยวิจัยด้านดินและระบบนิเวศเกษตรระดับนานาชาติ ทำให้เข้าใจแนวทางการทำวิจัยด้านดิน คาร์บอน และธาตุอาหารในระบบเกษตรเขตร้อน ตลอดจนกระบวนการบูรณาการงานวิจัยกับการใช้ประโยชน์เชิงนโยบายและการส่งเสริมการเกษตร นอกจากนี้ยังได้สร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดการทำงานวิจัย งานส่งเสริมการเกษตร และโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศในอนาคตได้

3.3 ประโยชน์ที่ได้รับต่อหน่วยงานภายในสังกัดของกรมส่งเสริมการเกษตร

(โปรตระกูลอย่างชัดเจน เข้าใจง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้)

การเข้ารับการศึกษา ฝึกอบรม และแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้าน Crop and Soil Science กับหน่วยงาน UMR Eco&Sols ทำให้หน่วยงานภายในสังกัดของกรมส่งเสริมการเกษตรได้รับประโยชน์ในหลายด้าน ดังนี้
หน่วยงานได้รับการเสริมสร้างองค์ความรู้ด้านการจัดการดินและปุ๋ยที่ทันสมัย โดยเฉพาะความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับสมบัติของดินเขตร้อน การจัดการดินที่มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ วงจรคาร์บอนในดิน และบทบาทของดินต่อการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาหลักเกณฑ์ คำแนะนำ และแนวทางการส่งเสริมการเกษตรให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หน่วยงานสามารถนำองค์ความรู้ด้านเกษตรนิเวศ (Agroecology) และนิเวศวิทยาของดินไปใช้ในการออกแบบกิจกรรมส่งเสริมการเกษตรที่เน้นการอนุรักษ์ทรัพยากรดินและน้ำ การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน การลดการใช้สารเคมี และการส่งเสริมระบบการผลิตที่ยั่งยืน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายการผลิต ลดต้นทุนของเกษตรกร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

นอกจากนี้ หน่วยงานยังได้รับประโยชน์จากการถ่ายทอดองค์ความรู้ เครื่องมือ และกรอบแนวคิดใหม่ ๆ เช่น แนวคิดการประเมินสุขภาพดินและการจัดการดินบนฐานของหน้าที่ของดิน (soil functions) ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในการพัฒนางานวิชาการ งานวิจัยเชิงประยุกต์ และงานส่งเสริมการเกษตรในระดับพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม ในด้านการพัฒนาศักยภาพบุคลากร หน่วยงานได้รับประโยชน์จากการยกระดับความรู้ ความเข้าใจ และมุมมองการทำงานในระดับนานาชาติ รวมถึงการสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับนักวิจัยและหน่วยงานต่างประเทศ ซึ่งสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาโครงการความร่วมมือ งานวิจัย และการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการจัดการดินและการเกษตรอย่างยั่งยืนให้กับเจ้าหน้าที่ภายในกรม และเกษตรกรในพื้นที่ต่อไป

ส่วนที่ 4 ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

4.1 ปัญหา/อุปสรรค

ในช่วงแรกของการเข้ารับการศึกษาและฝึกอบรม ผู้เข้าร่วมโครงการประสบปัญหาในการปรับตัวต่อสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพอากาศในประเทศไทย เนื่องจากไม่คุ้นเคยกับสภาพอากาศหนาว ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวันและการปฏิบัติกิจกรรมภาคสนามในระยะแรก อย่างไรก็ตาม เมื่อได้รับการปรับตัวและเตรียมความพร้อมด้านการแต่งกายและการดูแลสุขภาพอย่างเหมาะสมแล้ว สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศได้ดีขึ้น และไม่ส่งผลกระทบต่อ การเข้าร่วมกิจกรรมและการเรียนรู้ในภาพรวม

4.2 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

การเข้ารับการศึกษา ฝึกอบรม และแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในครั้งนี้เป็นโอกาสที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง ทำให้ได้รับองค์ความรู้ที่ทันสมัยและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนางานด้านการจัดการดินและการส่งเสริมการเกษตรได้อย่างเป็นรูปธรรม เห็นควรให้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้บุคลากรของกรมส่งเสริมการเกษตรได้เข้าร่วมการฝึกอบรม ศึกษาดูงาน และแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับหน่วยงานวิชาการระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่อง เพื่อยกระดับศักยภาพบุคลากรและพัฒนางานส่งเสริมการเกษตรให้สอดคล้องกับบริบทการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ

ส่วนที่ 5 จะนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานอย่างไรบ้าง

*** ขอให้ระบุข้อเสนอแนะ/แนวทางในการนำมาประยุกต์ใช้หรือขยายผลการยกระดับการพัฒนาภาคการเกษตรของประเทศไทย**

1. ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแนวทางการจัดการดินและปุ๋ยที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ นำองค์ความรู้ด้านสมบัติของดินเขตร้อน วงจรธาตุอาหาร และการจัดการอินทรีย์วัตถุในดิน ไปใช้ในการปรับปรุงคำแนะนำด้านการจัดการดินและปุ๋ยให้เหมาะสมกับชนิดดินและระบบการผลิตในแต่ละพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปัจจัยการผลิต ลดต้นทุนของเกษตรกร และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

2. ส่งเสริมแนวคิดเกษตรนิเวศและการจัดการดินอย่างยั่งยืนในงานส่งเสริมการเกษตร ประยุกต์ใช้แนวคิดด้านนิเวศวิทยาของดินและเกษตรนิเวศ (Agroecology) ในการออกแบบกิจกรรมส่งเสริมการเกษตร เช่น การลดการรบกวนดิน การเพิ่มอินทรีย์วัตถุ การใช้ระบบพืชที่หลากหลาย และการลดการใช้สารเคมี เพื่อสนับสนุนระบบเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน

3. พัฒนางานวิชาการและเครื่องมือถ่ายทอดความรู้สู่เกษตรกร นำองค์ความรู้และกรอบแนวคิดด้านสุขภาพดินมาปรับใช้ในการจัดทำแนวทาง คู่มือ และสื่อการเรียนรู้สำหรับเจ้าหน้าที่และเกษตรกร เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับพื้นที่ และเกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม

4. ขยายผลผ่านการถ่ายทอดองค์ความรู้และการสร้างโอกาสทำงานร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ ถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้รับให้แก่เจ้าหน้าที่ภายในกรมส่งเสริมการเกษตรผ่านการอบรมและเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ พร้อมทั้งต่อยอด โอกาสการทำงานร่วมกับหน่วยงานวิจัย สถาบันการศึกษา และองค์กรระหว่างประเทศ ในด้านการจัดการดิน คาร์บอนในดิน และเกษตรนิเวศ อันจะนำไปสู่การพัฒนาโครงการวิจัยเชิงประยุกต์ โครงการนำร่องในพื้นที่ และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ระดับนานาชาติ เพื่อยกระดับงานส่งเสริมการเกษตรของประเทศไทยในระยะยาว

ส่วนที่ 6 ความคิดเห็นของผู้บังคับบัญชา

มติดเห็นของผู้บังคับบัญชา
ผู้ได้รับผลประโยชน์ได้รับตามที่สมควรและตรงกับหน้าที่
ตามรับผิดชอบของตนแล้ว ซึ่งสามารถติดตามที่โรงเรียนประถมศึกษา
ในเขตพื้นที่การศึกษาของตนได้เห็นว่าดี และขอเสนอให้
คณะกรรมการติดตามผู้ปกครองโรงเรียนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....

ตำแหน่งนางคันสนีย์ เกษตรสินสมบัติ.....

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการอาชีพและจัดการดินปัย

ผู้ประสานงาน

ชื่อ-นามสกุล อ.อ.ฉัตร ใจเย็น

โทรศัพท์ (หน่วยงาน) 02-9551515

e-mail: (หน่วยงาน) soilfer2566@gmail.com

TRAINING CERTIFICATE

I, the undersigned, Mr Jean-Paul LACLAU, acting in my capacity as Deputy Chief Executive Officer for Research and Strategy, representing CIRAD, certify that:

Niyama JITTA

Participated in the following training course:

All trainings were given in one to one sessions with scientists from the Eco&Sols joint research unit.

Dates: from 15 September 2025 to 9 December 2025

Theoretical training

- Review of soil properties and functioning in tropical agricultural soils. Based on the book "Tropical soils - properties and management for sustainable agriculture" (A.S.R. Juo & K. Franzluebbers, 2003). (Dr Karel Van den Meersche)
- Ecophysiology of the rubber tree (*Hevea brasiliensis*). (Dr Philippe Thaler)
- Overview of the research on rubber tree plantations by CIRAD. (Dr Philippe Thaler)
- Theory and methods of soil C and N measurement by dry combustion. (Dr Marie Sauvadet)
- Theory and methods of soil texture measurement. (Dr Marie Sauvadet)
- Theory and methods of POXC (Permanganate Oxidizable Carbon) measurement with specific adaptation of microplates protocol. (Dr Marie Sauvadet)

Practical training

- How to conduct a literature search and bibliography, using online tools including Web of Science, Google Scholar and others. Chosen topic: "A study on the properties of biochar derived from agricultural residues for soil management, drought mitigation, and reducing environmental impacts in the Northeastern region of Thailand." (Dr Karel Van den Meersche)
 - Soil pH. Training and practice. (Dr Marie Sauvadet)
 - Soil organic matter fractionation. Training and practice. (Dr Marie Sauvadet)
 - Visit of the DIAMS site in Mauguio. An agroforestry experiment mixing trees (*Robinia pseudoacacia*) and crops (wheat x legume rotation).
- Explanation of all the measurements done on soil functions and biodiversity, trees and plant functions and productivity. (Dr Gabin Piton and Dr Fabien Ferchaud)
- Sampling plant biomass in DIAMS experiment (trees, crops and weed). (Dr Gabin Piton and Dr Fabien Ferchaud)
 - Conditioning DIAMS plant samples in the lab. (Dr Gabin Piton and Dr Fabien Ferchaud).

Done in Paris 16, on 09/12/2025

Deputy Chief Executive Officer for Research and Strategy