

เอกสารวิชาการ

เรื่อง

ลักษณะที่เกิดจากการลดและการเพิ่มออกซิเจน ซึ่งใช้ในการ
วินิจฉัยสภาวะน้ำขัง

(Redoximorphic Features for Identifying Aquic Condition)*

ฉบับที่ 517

กรกฎาคม 2542

แปลและเรียบเรียงโดย

กองสำรวจและจำแนกดิน

ดร.อนิรุทธิ์ โพธิ์จันทร์

กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

* Michael J. Vepraskas 1992. Redoximorphic features for identifying aquic conditions. Technical Bulletin 301, Dept. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, NC.

เอกสารวิชาการ

เรื่อง

ลักษณะที่เกิดจากการลดและการเพิ่มออกซิเจน ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยสภาวะน้ำขัง (Redoximorphic Features for Identifying Aquic Condition)*

ฉบับที่ กรกฎาคม 2542
แปลและเรียบเรียงโดย กองสำรวจและจำแนกดิน
ดร. อนิรุทธิ์ โพธิ์จันทร์ กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

* Michael J. Vepraskas 1992. Redoximorphic features for identifying aquic conditions. Technical Bulletin 301, Dept. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, Nc.

ลักษณะที่เกิดจากการลดและการเพิ่มออกซิเจนซึ่งใช้ในการวินิจฉัยสถานะน้ำขัง (Redoximorphic Features for Identifying Aquic Condition)*

แปลและเรียบเรียงโดย

ดร.อนิรุทธิ์ โพธิจันทร์

ระบอบความชื้นแบบเอควิก(aquic moisture regime) ที่ใช้ในระบบอนุกรมวิธาน(Soil Taxonomy) นั้น เกี่ยวข้องกับสภาพของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและเกิดการลดลงของออกซิเจน จนถึงระดับที่น้ำในดินปราศจากออกซิเจนโดยสิ้นเชิง(Soil Survey Staff,1975) การจำแนกดินในระดับอันดับย่อย(Suborder) ดินที่ถือว่ามีระบอบความชื้นแบบเอควิกจะต้องอิ่มตัวด้วยน้ำและออกซิเจนจะต้องลดลงตั้งแต่ผิวดินจนถึงความลึก 2 เมตร ในระดับกลุ่มย่อย(Subgroup) จะพิจารณาสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดลงของออกซิเจนในดินล่าง ส่วนในระดับชุดดิน(Series)จะพิจารณาครอบคลุมไปถึงชนิดของน้ำใต้ดิน ความลึกถึงระดับน้ำใต้ดิน ระยะเวลาและความบ่อยครั้งในการเกิดของน้ำใต้ดิน

ขณะที่คำจำกัดความของคำว่าระบอบความชื้นแบบเอควิก อาศัยพื้นฐานของสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดลงของออกซิเจน แต่การตรวจวัดคุณสมบัติเหล่านี้กลับไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกดิน แต่ใช้สีของดินแทน โดยทั่วไปดินที่มีสีเทาหรือมีสี Chroma ≤ 2 สามารถใช้บอกสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) และการลดออกซิเจน(Reduction)ได้ แต่ในบางดินที่มีจุดประสีของเหล็กจะใช้สี 2.5Y หรือ 5Y เป็นตัวชี้บ่ง

อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบดินในสนามพบว่า คำจำกัดความดั้งเดิมของระบอบความชื้นแบบเอควิก ไม่อาจใช้ในการวินิจฉัยดินในสนามได้อย่างชัดเจนพอ ทาง ICOMAQ(The International Committee on Soils with Aquic Soil Moisture Regime) จึงได้นำคำว่า "Aquic condition"หรือ"สถานะน้ำขัง"มาใช้แทน ซึ่งจะครอบคลุมถึงสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) การลดออกซิเจน(reduction) และลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากสถานะน้ำขัง(Redoximorphic features) ด้วยเหตุนี้ดินที่มีระบอบความชื้นแบบเอควิกจะต้องอยู่ในสถานะน้ำขัง ในคู่มือการจำแนกดิน(Key to Soil Taxonomy โดย Soil Survey Staff,1992)ใช้สถานะน้ำขังแทนระบอบความชื้นแบบเอควิก แทนจุดประสีที่มี Chroma ≤ 2 และแทนลักษณะที่เกี่ยวข้องกับสภาพความเปียกของดิน(wetness)

* Michael J. Vepraskas 1992. Redoximorphic features for identifying aquic conditions.

ปัญหาที่เกิดจากการใช้ระบอบความชื้นแบบเอควิค(Aquic moisture regime)

ปัญหาหรือความสับสนที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบอบความชื้นแบบเอควิคในการจำแนกดิน ได้แก่

1. ระดับน้ำใต้ดินแขวนและระดับน้ำใต้ดินจริง (Perched versus true groundwater table)

ระบอบความชื้นแบบเอควิคไม่ได้พิจารณาถึงชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่เกิดจากน้ำใต้ดินแขวน ซึ่งชั้นดินตอนบนอิ่มตัวด้วยน้ำแต่ชั้นตอนล่างไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับลักษณะของดินที่มีชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำที่เกิดจากน้ำใต้ดินแขวน

2. สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแต่ไม่เกิดการลดออกซิเจนไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา

ระบอบความชื้นแบบเอควิคเน้นการอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีการลดออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีเช่น บริเวณที่ใช้ทิ้งของเสียหรือบริเวณก่อสร้างบ้านเรือน ดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำแต่ไม่เกิดการลดออกซิเจน ก็จะไม่เกิดสีเทาหรือสี Chroma ≤ 2

3. ใช้สีฐานของดินเพียงอย่างเดียวในการตรวจว่า ดินอิ่มตัวด้วยน้ำและมีการลดออกซิเจนหรือไม่

จุดประสีและสี Chroma ต่ำที่เกิดขึ้นในดินจะเกี่ยวข้องกับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดออกซิเจน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในขณะนั้นหรือเกิดขึ้นตั้งแต่อดีตและยังเกิดขึ้นเรื่อยมา อย่างไรก็ตาม จุดประสีอาจเป็นส่วนตกค้างที่หลงเหลืออยู่จากสภาพความชื้นในอดีตก็ได้ นอกจากนี้ ดินที่มี pH สูงหรือขาดแร่เหล็กออกไซด์อาจไม่พบจุดประสีหรือสี Chroma ต่ำ แม้ว่าดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำและเกิดการลดออกซิเจนก็ตาม

4. ดินน้ำไม่ได้จำแนกแยกออกไปต่างหาก

ดินที่ใช้ทำนามีสภาพน้ำท่วมขังที่เกิดจากการควบคุมระดับน้ำ ในทวีปเอเชียบางแห่งมีการขังน้ำทำนามาเป็นเวลานานกว่า 1000 ปี คุณสมบัติต่างๆของดินเหล่านี้เปลี่ยนไปจากเดิม จึงควรพิจารณาแยกกลุ่มดินนี้ในการจำแนกดินออกไปต่างหาก

สภาวะน้ำขัง(Aquic conditions)

จากปัญหาที่เกิดจากการใช้ระบอบความชื้นแบบเอควิค จึงมีการนำเอาคำว่า " สภาวะน้ำขัง(Aquic condition)" มาใช้ ในการตรวจสอบสภาวะน้ำขังจะต้องตรวจหาคุณสมบัติของดินทั้ง 3 ประการในทุกๆชุดดิน ได้แก่

1. ความลึกของชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (depth of saturation)
2. การเกิดกระบวนการลดออกซิเจน (occurrence of reduction)
3. ลักษณะที่เกิดจากการลดและการเพิ่มลดออกซิเจน (presence of redoximorphic features)

ลักษณะที่เกิดจากการลดและเพิ่มลดออกซิเจนนี้ จะรวมถึงก้อนสารเคมีของเหล็ก(Fe nodules)และจุดประสี ซึ่งเกิดจากกระบวนการ 3 กระบวนการคือการลดออกซิเจน(reduction) การเคลื่อนย้าย(translocation)

และการเพิ่มออกซิเจน(oxidation)ของเหล็กออกไซด์หรือแมงกานีสออกไซด์ เหตุที่ต้องใช้คุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้ ก็เพื่อให้แน่ใจว่าการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดออกซิเจนยังคงเกิดขึ้นในดินในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของปี ซึ่งความลึกของสถานะน้ำซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่ผิวดินจนถึงความลึก 2 เมตร

หากมีการศึกษาสมบัติทั้งสามของดินบริเวณใดบริเวณหนึ่งแล้ว ก็อาจใช้ลักษณะที่เกิดจากการลดและเพิ่มออกซิเจนเพียงอย่างเดียว ในการคาดคะเนดินที่คล้ายๆกัน ในบริเวณอื่น ถึงสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดออกซิเจนได้ อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการเปรียบเทียบนี้จะต้องแน่ใจว่าลักษณะที่พบ ไม่ใช่ลักษณะตกค้างที่เกิดขึ้นในอดีต ลักษณะตกค้างดังกล่าว อาจเกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรณีวิทยา เช่น การกัดกร่อนของแม่น้ำ หรือการระบายน้ำออกจากพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้ดินที่เคยเปียกชื้นกลับมีการระบายน้ำดีขึ้น ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือไม่มีการลดออกซิเจนเกิดขึ้น จึงมีลักษณะบางส่วนตกค้างอยู่

เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการตีความลักษณะของดินที่พบ การวัดสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดออกซิเจนจึงต้องทำเป็นบริเวณๆ ไป เพื่อแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเหล่านี้ยังคงเกิดขึ้นอยู่ในดิน ได้มีการวัดอย่างละเอียดถึงช่วงระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในแต่ละปีแล้วพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่เกิดจากการลดและเพิ่มออกซิเจนกับช่วงระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำและเกิดการลดออกซิเจนนั้นมีความผันแปรมาก

การอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation)

ชั้นดินที่ถือว่าอิ่มตัวด้วยน้ำก็คือเมื่อ ความดันของน้ำในดิน มีค่าเป็น ศูนย์หรือเป็นบวก ที่ความดันนี้ น้ำในดินจะไหลออกจากดินไปสู่หลุมดินที่เจาะ อย่างไรก็ตาม การใช้หลุมดินที่เจาะเป็นตัววัดสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำ อาจไม่ถูกต้องหรืออาจผิดพลาดได้ โดยเฉพาะในดินเหนียว เนื่องจากดินเหนียวจะมีน้ำอยู่เต็มช่องว่างขนาดใหญ่เท่านั้นเมื่อฝนเพิ่งตก แต่ดินส่วนใหญ่ยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินที่เรียกว่า Piezometer หรือ Tensiometer แต่จะต้องปิดผนึกด้วยดินเหนียวเช่นพวกเบนโทไนท์ เพื่อป้องกันน้ำจากผิวดินไหลซึมลงไปตามด้านข้างของเครื่องมือ

การอิ่มตัวด้วยน้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. Endosaturation ดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำในทุกๆชั้นดิน ที่อยู่ระหว่างขอบบนสุดของการอิ่มตัวด้วยน้ำถึงความลึก 2 เมตร

2. Episaturation ดินมีชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำแขวน(Perched layer of saturation) และอยู่เหนือชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำภายใน 2 เมตรจากผิวดิน แต่ถ้าขอบล่างสุดของชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำขยายลงมาจนอยู่ต่ำกว่า 2 เมตร ก็จะถือว่าเป็น Endosaturation แม้ว่าจะมีชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ข้างล่างก็ตาม

3. Anthric saturation คล้าย Episaturation แต่การที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำเกิดจากการควบคุมน้ำ เช่น การทำคันดินกั้นน้ำเพื่อทำนา

ที่น่าสังเกตก็คือ ไม่มีการใช้"ระดับน้ำใต้ดิน(Water table)" ในคำจำกัดความของการอิ่มตัวด้วยน้ำ และเป็นการยากที่จะใช้ Piezometer หรือ Tensiometer เพื่อบอกระดับน้ำใต้ดินได้อย่างถูกต้อง จึงได้ให้ความสนใจกับความดันของน้ำที่มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นบวกในช่วงเวลาหนึ่งๆ แทน และน้ำที่ซึมขึ้นมาเหนือระดับน้ำหรือที่เรียกว่า Capillary fringe มีค่าความดันน้อยกว่าความดันของอากาศ ชั้นดินที่มีน้ำซึมมาจากระดับน้ำใต้ดินนั้นถือว่าไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

โดยหลักการ ดินที่ถือว่าอิ่มตัวด้วยน้ำจะต้องมีน้ำอยู่เต็มในทุกๆ ช่องว่าง อย่างไรก็ตาม ในสภาวะน้ำขังดินไม่จำเป็นต้องมีน้ำเต็มช่องว่าง เพียงแต่ความดันของน้ำในดินจะต้องเป็นศูนย์หรือเป็นบวก แม้ว่าอาจจะมีอากาศถูกกักไว้ในบางช่องว่าง ในทางกลับกัน บางชั้นดินที่ไม่มีช่องว่างขนาดใหญ่อาจมีน้ำอยู่เต็มทุกช่องว่างแต่น้ำมีความเครียด ชั้นดินนั้นก็ไม่ถือว่าอิ่มตัวด้วยน้ำ ยกเว้นชั้นดินนั้นเกิดการลดออกซิเจน(reduction)

การอิ่มตัวด้วยน้ำอาจเกิดขึ้นเวลาใดก็ได้ ไม่จำเป็นว่าจะต้องเกิดในช่วงฤดูเพาะปลูก หรือเมื่ออุณหภูมิดินเกินกว่า 5 องศาเซลเซียส เหตุผลหนึ่งก็คือ ในดินที่มีน้ำแข็งตลอดปี ชั้นดินที่อยู่เหนือชั้นที่มีน้ำแข็งจะเกิดการลดออกซิเจน แม้ว่าอุณหภูมิของดินจะเป็นศูนย์หรือใกล้ศูนย์ก็ตาม นอกจากนี้สภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำจะไม่นำมาใช้กับสภาวะน้ำขัง ถ้ามีการระบายน้ำออก เพราะดินจะกลับมาอิ่มตัวด้วยน้ำอีก หากหยุดการระบายน้ำออก

การลดออกซิเจน(Reduction)

การลดออกซิเจนนั้น จะพิจารณาถึงการลดออกซิเจนของเหล็ก(Fe)มากกว่าการลดลงของออกซิเจน วิธีใดๆก็ตาม ที่สามารถตรวจพบเหล็กที่อยู่ในสภาพถูกลดออกซิเจนหรือ reduced Fe(FeII) ได้ ก็ถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมในการประเมินกระบวนการลดออกซิเจนที่เกิดขึ้น

กระบวนการลดออกซิเจน สามารถตรวจวัดได้โดยใช้ Platinum microelectrode เพื่อวัดค่าศักย์การเพิ่มและลดออกซิเจน (Oxidation-Reduction Potentials หรือ Redox potentials หรือค่า Eh) ค่าวิกฤตของ Redox Potentials ที่จำเป็นในกระบวนการลดออกซิเจน (Fe reduction) นั้น ขึ้นอยู่กับค่า pH ซึ่งจะหาได้จากแผนภูมิ Eh-pH

ส่วนในสนาม สามารถใช้น้ำยา α, α' -dipyridyl pH 7.0 ที่ละลายใน 1N NH_4OAc เพื่อยืนยันว่ามีกระบวนการลดออกซิเจนเกิดขึ้น โดยหยดน้ำยาที่ไม่มีสีลงไปบนตัวอย่างดินเปียกที่บีบแต่ใหม่ๆ หากน้ำยาเปลี่ยนเป็นสีแดงแสดงว่ามี reduced Fe(Fe II) อย่างไรก็ตาม ไม่มีกำหนดระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่การลดออกซิเจนจะเกิดขึ้นในระหว่างปี แต่วิธีที่ดีที่สุดที่ยืนยันการเกิดขึ้นของกระบวนการคือการใช้ electrode หรือน้ำยา ดังนั้นเวลาที่ดีที่สุดที่ยืนยันการเกิด Fe reduction ก็คือ เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

อย่างไรก็ตาม อาจมีความผิดพลาดจากการใช้น้ำยาอยู่ 2 กรณีคือ reduced Fe อาจมีอยู่แต่สังเกตเห็นไม่พบ หรือในระยะแรกไม่พบ reduced Fe แต่ reduced Fe อาจเกิดขึ้นได้เมื่อใช้น้ำยากกลางแสงแดดจัด เนื่องจากน้ำยาไวต่อแสง น้ำยาที่เตรียมใหม่ๆจะไม่มีสีและควรเก็บไว้ในที่มืด ควรเปลี่ยนน้ำยาอยู่เสมอเพราะน้ำยาเก่าอาจไม่ทำปฏิกิริยากับ reduced Fe อีกกรณีหนึ่ง ในดินบางชนิดเช่น Spodosols อาจมี oxidized Fe อยู่ในชั้นดินที่มีสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกเพิ่มออกซิเจนได้ (Oxidizable organic compounds) เมื่อหยคน้ำยาลงบนตัวอย่างดินที่มีสารประกอบพวกนี้และตัวอย่างดินถูกแสงแดดจัดๆ Fe(III) จะถูกลดออกซิเจนเป็น Fe(II) โดยแสงแดด และFe(II)ก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำยาเกิดเป็นสีแดง อย่างไรก็ตามอาจแก้ไขได้โดยการเอาตัวอย่างดินไว้ในที่มืดสักพักหลังหยคน้ำยา แล้วตรวจสอบตัวอย่างดินอย่างรวดเร็วโดยไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

น้ำยา α, α' -dipyridyl ไม่เป็นอันตรายในการใช้ แต่จะเป็นพิษถ้าเข้าไปในกระเพาะอาหาร ซึ่งตาม Material Safty Data Sheet ปี ค.ศ.1992 รายงานว่า α, α' -dipyridyl อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและโดยเฉพาะตา แต่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง

ลักษณะที่เกิดจากการลดและเพิ่มออกซิเจน(Redoximorphic features)

ในระบบการจำแนกดินแบบอนุกรมวิธาน(Soil Taxonomy) ลักษณะ redoximorphic features จะใช้แทนจุดประสีและสี Chroma ต่ำ ลักษณะเหล่านี้จะเกิดขึ้นโดยกระบวนการ การลดออกซิเจน(reduction) การเคลื่อนย้าย(translocation) และการเพิ่มออกซิเจนของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (oxidation of Fe and Mn oxides) แต่จุดประสีซึ่งรวมถึงการสะสมของคาร์บอนและรอยเปื้อนอินทรีย์ (organic stain) ต่างๆ ไม่ได้เกิดจากการอิ่มตัวด้วยน้ำ(saturation) และการลดออกซิเจน(reduction)

ชนิดของ Redoximorphic features

1. Redox concentrations เป็นส่วนที่มีการสะสมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (Figure.1) ได้แก่

ก. Nodules and concretions ซึ่ง concretions มีลักษณะเป็นชั้นวงรอบ ส่วนภายใน nodules จะเป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างไม่แน่นอนและขอบเขตไม่เด่นชัด

ข. Masses เป็นวัตถุอ่อนนุ่ม มักอยู่ในเนื้อของดิน รูปร่างไม่แน่นอน และจะรวมถึงจุดประสีแดงด้วย

ค. Pore linings เป็นบริเวณของการสะสมซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการที่เคลือบผิวของช่องว่างหรือแทรกซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อของดินที่อยู่ติดกับช่องว่าง

Types of Redoximorphic Features

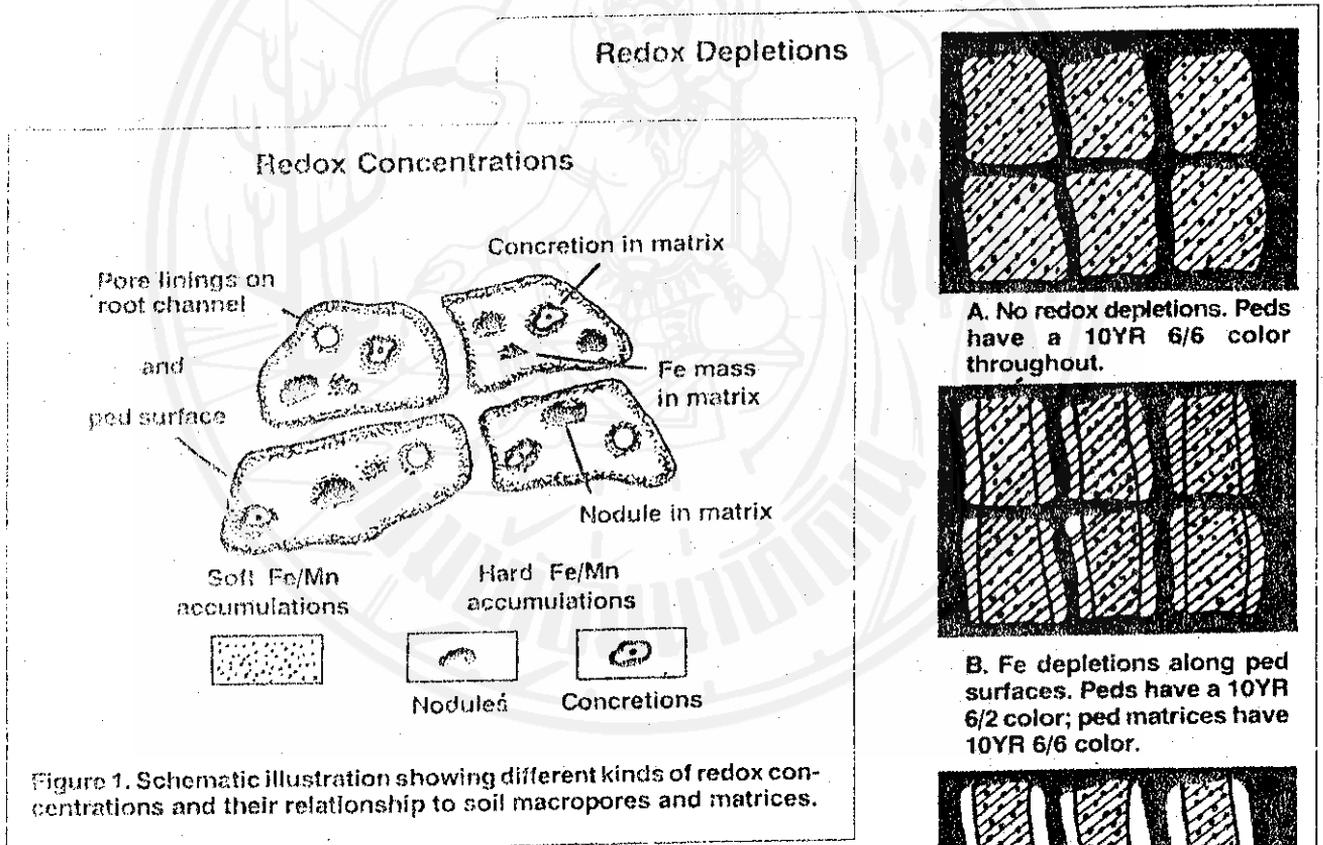


Figure 1. Schematic illustration showing different kinds of redox concentrations and their relationship to soil macropores and matrices.

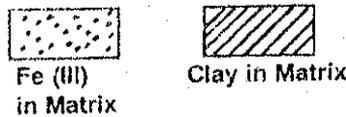


Figure 2. Schematic illustrations of redox depletions showing changes in color and texture as ped surfaces develop Fe depletions and clay depletions.

C. Clay depletions along ped surfaces. Ped surfaces have a 10YR 6/1 color, ped matrices a 10YR 6/6 color. Underlying horizons have gray clay coatings on ped surfaces.

2. Redox depletion เป็นบริเวณที่เหล็กและแมงกานีสออกไซด์หรือเหล็ก-แมงกานีสออกไซด์และดินเหนียวถูกชะออกไป ทำให้มีสี Chroma 2 หรือน้อยกว่า (Figure 2) ได้แก่

ก. Iron depletion เป็นบริเวณที่เหล็กถูกชะออกไปทำให้เหลือแต่ดินเหนียวที่มีสี chroma ต่ำ คล้ายกับเนื้อของดินที่อยู่ติดกันลักษณะเหล่านี้บางครั้งเรียกว่า gray mottles, gley mottles, alban หรือ neoalbans อาจพบตามช่องว่างขนาดใหญ่หรือในเนื้อของดิน ดังนั้นถ้าดินมีสีพื้นเป็นสี chroma 2 หรือน้อยกว่า ก็ถือว่าเป็น Iron depleted matrix

ข. Clay depletion เป็นบริเวณที่มีสี Chroma ต่ำเนื่องจากมีเหล็ก แมงกานีสและดินเหนียวน้อยกว่าเนื้อของดินที่อยู่ติดกัน โดยมีลักษณะเป็น silt coating หรือ skeletans เกิดตามผิวของก้อนดินหรือตามแนวร่องต่างๆ (lining channels) เนื่องจากดินเหนียวที่ถูกชะจากบริเวณดังกล่าวจะลงไปเคลือบผิวของก้อนดินในชั้นที่อยู่ข้างล่าง

ค. Reduced matrices เป็นบริเวณที่ดินมีสี Chroma ต่ำ เนื่องจากมี reduced Fe หรือ Fe(II) แต่ทั้งสี Hue หรือ Chroma จะเปลี่ยนไปเมื่อถูกอากาศ โดย Fe(II) จะถูกเพิ่มออกซิเจนเป็น Fe(III) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีจะเกิดขึ้นภายใน 30 นาทีหลังจากที่ตัวอย่างดินถูกอากาศ

กรณียกเว้น

อย่างไรก็ตามมีอยู่ 2 กรณีที่ดินมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Redoximorphic features แต่ไม่ถือว่าเป็น Redoximorphic features เนื่องจากไม่ได้สะท้อนให้เห็นถึงสภาวะขังน้ำที่กำลังเกิดขึ้นในขณะนั้น ได้แก่

ก. ดินมีสีพื้นเป็นสี Chroma ต่ำแต่ไม่ได้เกิดจากสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำและการลดออกซิเจน เช่น ชั้นดินที่มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุหรือคาร์บอนเนตที่มีสี Chroma ต่ำ ดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีเหล็กน้อยหรือไม่มีเหล็กเลย ก็อาจมีสี Chroma ต่ำได้ เนื่องจากเหล็กถูกชะออกไปจากอนุภาคของดินในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คีเลต (Chelaite) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นต้องอาศัยสภาพของการอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนมากพบในดินที่ค่อนข้างเป็นทรายมากกว่าในดินเนื้อละเอียด

ข. Nodules และ Concretions ของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ มีความทนทานต่อการสลายตัวจึงอาจเหลือตกค้างจากการเกิดขึ้นในสภาพเปียกชื้นในอดีต หรืออาจเกิดขึ้นในบริเวณอื่น แล้วถูกเคลื่อนย้ายมาโดยปกติ nodules และ concretions ที่มีขอบเด่นชัด มักจะไม่ได้เกิดในชั้นดินที่พบ โดยเฉพาะพวกที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ดินเหนียวลดลง (clay depletion) ด้วยเหตุผลนี้ หากพบเพียง nodules และ concretions ก็ไม่ควรถือว่าเป็น redoximorphic features นอกจากจะได้มีการวัดสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

การเกิด Redoximorphic Features

1. สีของดินและสถานะของการเพิ่มลดออกซิเจนของเหล็กและแมงกานีส (Soil color and oxidation-reduction state of Fe and Mn)

ในชั้นดินล่าง สีแดง สีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีส้มของดินขึ้นอยู่กับชนิดของแร่เหล็กออกไซด์ที่มีอยู่ ส่วนแมงกานีสออกไซด์จะทำให้สีดำ เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ที่เคลือบผิวของอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียว ทำให้เกิดสีต่างๆ ถ้าไม่มีการเคลือบ อนุภาคเหล่านี้จะมีสีเทา ส่วนสีแดง สีน้ำตาล สีเหลืองและสีส้มเกิดขึ้นเมื่อเหล็กอยู่ในสภาพถูกเพิ่มออกซิเจน (oxidized state) หรือ Fe(III) ส่วนสีดำเกิดขึ้น เมื่อแมงกานีสอยู่ในสภาพถูกเพิ่มออกซิเจน โดยอยู่ในรูปของ Mn(III) หรือ Mn(IV) ในบางสภาวะ oxidized Fe และ Mn จะถูกลดออกซิเจนได้โดยอนุภาคของ Fe(III) และ Mn(III) หรือ Mn(IV) ได้รับประจุลบจากแหล่งอื่นๆ เช่น จากอินทรีย์วัตถุ ทำให้เหล็กและแมงกานีสถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูป reduced Fe (FeII) และ reduced Mn (MnII) นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในดินอีก เช่น

ก. ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสเริ่มมีการละลายในน้ำ

ข. ดินเปลี่ยนเป็นสีเทา

ค. อนุภาค Fe(II) และ Mn(II) จะแพร่กระจายตามน้ำไปยังส่วนต่างๆ ของดินหรือถูกชะล้างออกไปจากดิน

จะเห็นว่า Fe(II) และ Mn(II) มีผลต่อสีของดินน้อยกว่า Fe(III) และ Mn(III) หรือ Mn(IV) มาก เนื่องจากสีเทาของดินเกิดจากสีของอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวอยู่แล้ว แม้ว่า Fe(II) อาจมีผลต่อสีบ้าง

Fe(III) และ Mn(III หรือ IV) จะถูกลดออกซิเจน (reduce) โดยแบคทีเรียที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic condition) ในสภาพที่มีอากาศ ซึ่งดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แบคทีเรียจะใช้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ตามช่องว่างในดินระหว่างการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง ส่วนในสภาพที่ขาดอากาศซึ่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ช่องว่างส่วนใหญ่จะเต็มไปด้วยน้ำ แต่อาจมีอากาศที่ถูกกักไว้บ้างในบางช่องว่าง แบคทีเรียในดินจะใช้ก๊าซออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำขณะที่ทำการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เมื่อก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำหมดไป น้ำในดินจะอยู่ในสภาพที่ถูกลดออกซิเจนหรือถูก reduce ขณะทำการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ แบคทีเรียจะผลิตสารอินทรีย์เคมี ที่สามารถลดออกซิเจนของไนเตรท (NO_3) ให้อยู่ในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2) หรือเกิดกระบวนการ Denitrification รวมทั้งลดออกซิเจนของแร่ที่มีออกไซด์ของ Fe(III) และ Mn(III) เป็นองค์ประกอบ ปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะเกิดขึ้นเป็นลำดับ โดยก๊าซออกซิเจนจะถูกลดออกซิเจนจนหมดก่อน ตามด้วย NO_3 , Mn oxide (III หรือ IV) และ Fe(III) ตามลำดับ



จะเห็นว่า เหล็กออกไซด์ (Fe oxide III) จะไม่ถูกลดออกซิเจน จนกว่าออกซิเจนจากก๊าซออกซิเจนจากไนเตรท และจากแมงกานีสออกไซด์จะหมดไปก่อน

แบคทีเรียที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เช่นรากพืชที่ตายแล้ว จะใช้คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ในเนื้อเยื่อ ดังนั้น ถ้าแหล่งของคาร์บอนที่ละลายน้ำอยู่ในราก กระบวนการลดออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นในดินที่อยู่ใกล้ราก อย่างไรก็ตามถ้าสารประกอบอินทรีย์ละลายอยู่ในน้ำ กระบวนการลดออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นในชั้นดินที่ช่องว่างเต็มไปด้วยน้ำ นอกจากนี้คาร์บอนจะต้องอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ เนื่องจากไมโซอินทรีย์วัตถุทั้งหมดที่จะสามารถทำให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจนได้

การลดลงของเหล็กและดินเหนียว (Formation of Iron Depletion and Clay Depletion)

การลดลงของเหล็กและดินเหนียวเกิดขึ้นคล้ายๆกัน และอาจเกิดขึ้นในชั้นเดียวกันหรือที่อยู่ติดกัน ลักษณะเหล่านี้จะเห็นได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณรอบๆรากพืชที่ไซซอนตามรากพืชขนาดใหญ่ และจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อรากเจริญเติบโตและตายไปเรื่อยๆตามช่องว่างดินนั้น

รากที่เจริญเติบโตและไซซอนไปตามรอยแตกหรือตามร่องต่างๆจะเป็นแหล่งที่ให้พลังงาน(อินทรีย์วัตถุ) แก่จุลินทรีย์ในกระบวนการลดออกซิเจน (Figure 3a) เมื่อรากตายลงและช่องว่างขนาดใหญ่มีน้ำอยู่เต็ม แบคทีเรียจะใช้รากพืชเป็นอาหารและใช้ออกซิเจนในน้ำ โดยอุณหภูมิของดินจะต้องอยู่สูงพอที่แบคทีเรียจะทำงานได้ (โดยทั่วไปสูงกว่า 5 °C) เมื่อออกซิเจนจากก๊าซออกซิเจนและจากไนเตรทถูกใช้หมดไป จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนจากออกไซด์ของแมงกานีส (III หรือ IV) และของเหล็ก (III) ในดิน (Figure 3b) ทำให้แมงกานีสและเหล็กถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Mn(II) และ Fe(II) ซึ่งละลายน้ำได้ ซึ่งอาจแพร่กระจายไปอยู่ในเนื้อดินและถูกเพิ่มออกซิเจนได้ หากมีอากาศถูกกักไว้ในดิน จะทำให้เกิด redox concentration ส่วนบริเวณสีจางที่เหล็กและแมงกานีสถูกชะล้างออกไป จะเกิดเป็น redox depletion โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดลงของเหล็ก(Fe depletion) Fe depletion แตกต่างจากเนื้อดินตรงที่มี Fe และ Mn น้อยกว่าและจะต้องมีสี Chroma 2 หรือน้อยกว่า จึงจะถือว่าเป็นลักษณะที่เกิดจากการลดและการเพิ่มของออกซิเจน

การที่ Mn และ Fe ถูกชะล้างออกไป จะทำให้อนุภาคดินเหนียวที่อยู่ตามช่องว่างที่กระจายเมื่อดินเปียก ระหว่างที่น้ำเคลื่อนตัวลงไปตามช่องว่างขนาดใหญ่ อนุภาคดินเหนียวที่มีสีเทาอาจแขวนลอยอยู่ในน้ำ และเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นดินข้างล่าง ทำให้เกิดการลดลงของดินเหนียวหรือ clay depletion (Figure 3c) ส่วนช่องว่างขนาดใหญ่ในชั้นดินข้างล่างก็มักจะพบคราบดินเหนียวสีเทาที่ถูกชะล้างมาจากข้างบน

เนื่องจากแหล่งพลังงาน เช่นคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ เป็นสิ่งที่จำเป็นในกระบวนการ reduction ดังนั้นจะพบว่า Fe depletion และ clay depletion จะเกิดขึ้นตามช่องว่างขนาดใหญ่ เช่นรูของรากพืชหรือตามผิวของ

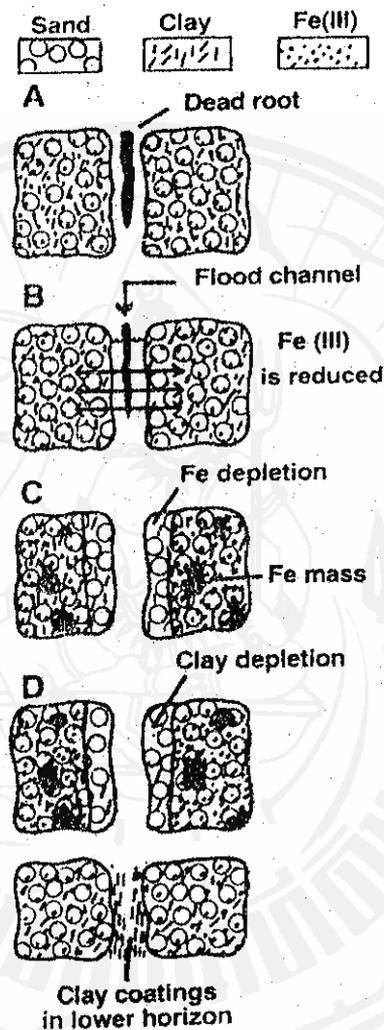


Figure 3. Schematic illustration showing the formation of redox depletions. The process begins with: (A) a decomposing root lying in a channel. When the channel fills with water (B), Fe in soil along the channel is reduced when the root's decomposition occurs anaerobically. The reduced Fe (II) may diffuse into the soil matrix. An Fe depletion occurs along the channel when enough Fe has been lost to produce a color chroma of 2 or less. (C) Iron masses form when the Fe (II) in the matrix oxidizes to Fe (III). The loss of Fe makes clay along the channel dispersible, and water moving along the channel may illuviate this clay to a lower horizon. (D) Clay depletions form where the clay has been removed.

ดินที่รากพืชไซซอนไป Fe depletion อาจพบภายในเนื้อของดินได้ ถ้าน้ำที่มีคาร์บอนละลายอยู่ไหลผ่านและเกิดสภาพลดออกซิเจน บางทีกระบวนการ Iron depletion และ clay depletion ก็เกิดขึ้นอย่างช้าๆและลักษณะต่างๆที่เกิดมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าวางที่เจริญเติบโตอยู่ตามช่องว่างขนาดใหญ่ตายลงและถูกย่อยสลาย จะช่วยชักนำให้เกิดการลดออกซิเจนของเหล็ก ด้วยเหตุนี้ลักษณะที่เกิดจากกระบวนการ depletion ที่มีขนาดใหญ่ (กว้างกว่า 2 มม.) อาจใช้ระยะเวลาในการเกิดอยู่ตามช่องว่างขนาดใหญ่ โดยเฉพาะช่องว่างขนาดใหญ่ที่ถูกรบกวนจากสิ่งมีชีวิตเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่นในชั้น B ซึ่งมีความแน่นที่บและมีความโครงสร้างของก้อนดินขนาดใหญ่กว่า 3 มม. ในชั้นดิน A ซึ่งถูกรบกวนจากสิ่งมีชีวิตมากกว่า จะมีโครงสร้างขนาดเล็กกว่าและมีความพร่องเป็นของอินทรีย์สารมาก จะสังเกตลักษณะของ depletion ได้ยาก เนื่องจาก การถูกรบกวนทางกายภาพต่างๆ หรือมีขนาดเล็กหรือมีอินทรีย์สารต่างๆบดบัง

การเกิด Redox Concentration

Pore linings เกิดขึ้นตามผิวของก้อนดินและตามรูรากพืช(Figure4) หรืออาจพบบนรากของพืชที่สามารถนำพาเอาออกซิเจนลงไปได้ เมื่ออยู่ในดินที่มีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ(Figure4C) ลักษณะเหล่านี้เกิดขึ้นจากการแพร่กระจายของอนุภาค reduced Fe และ reduced Mn ไปตามช่องว่างที่มีอากาศขนาดใหญ่ แล้วถูกเพิ่มออกซิเจน(oxidized) อยู่ใกล้ๆช่องว่างหรือ ตามผิวของรากพืช ถ้ามีทั้ง Fe และ Mn อยู่ในสารละลาย Fe มีแนวโน้มที่จะตกตะกอนก่อนเนื่องจาก Fe จะถูกเพิ่มออกซิเจนที่ค่า Eh ต่ำกว่า Mn ดังนั้น pore linings อาจเกิดแยกกันอย่างชัดเจนระหว่าง Mn oxide(พบในช่องว่างขนาดใหญ่) กับ Fe oxide(พบในเนื้อดิน) รูปแบบของการแพร่กระจายนี้แสดงให้เห็นว่า อนุภาคต่างๆจะเคลื่อนออกจาก Fe oxide และไปยัง Mn oxide

Masses, nodules, และ concretions การเกิดของลักษณะเหล่านี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก เนื่องจากมีลักษณะการเกิดที่คล้ายคลึงกันและเกิดอยู่ในชั้นดินที่น่าศึกษาว่าอากาศผ่านลงไปอย่างรวดเร็วในชั้นดินที่ถูกลดออกซิเจน(reduced horizon)ได้อย่างไร มวลของเหล็ก(Fe masses)หรือ แมงกานีส(Mn masses) จะเกิดขึ้นเมื่อชั้นดินเกิดการอิ่มตัวด้วยน้ำ(saturated) ถูกลดออกซิเจน(reduced) มีการระบายน้ำออก(drained)หลายๆครั้ง เมื่อมีอากาศผ่านลงไปอย่างช้าๆ Fe(II) และ Mn(II)ก็จะถูกเพิ่มออกซิเจน ส่วน nodules และ concretions เชื่อว่าเกิดขึ้นจากการที่อากาศผ่านลงไปอย่างรวดเร็วในดินที่เปียกที่มี Fe(II) และ Mn(II)อยู่

การเกิดดินที่ถูกลดออกซิเจน(Reduced Matrices)

ดินที่มีสภาพถูกลดออกซิเจนเกิดขึ้นอย่างง่ายๆโดยกระบวนการลดออกซิเจนของเหล็ก ซึ่งชั้นดินจำเป็นจะต้องมีการอิ่มตัวด้วยน้ำเป็นเวลานานพอที่จะทำให้ออกซิเจนถูกไล่ออกไปหมด ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็จะต้องมีอินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำและจุลินทรีย์ที่ active อยู่ด้วย

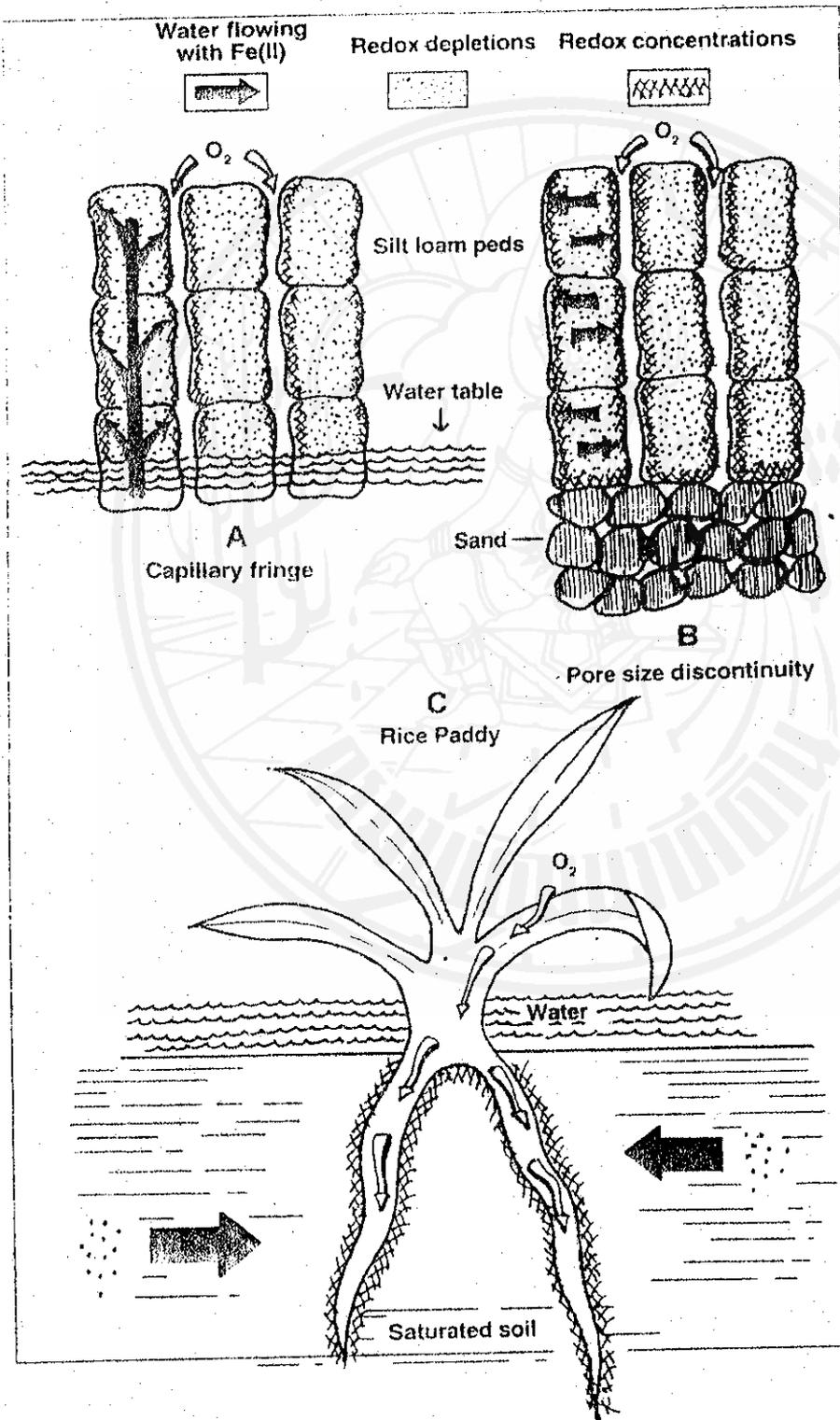


Figure 4. Different hydrologic settings that create a pattern of redoximorphic patterns where redox concentrations occur around macropores and redox depletions occur within the matrix. In (A) and (B) the concentrations occur around aerated macropores when the horizons are unsaturated, but soil matrices are reduced. In (C), the horizon in the rice paddy is saturated and reduced, but oxidizing conditions occur around rice roots because the plant can transport oxygen to its roots.

อัตราการเกิดลักษณะต่างๆ(Rates of Feature Formation)

Redox concentrations และ depletions สามารถทำให้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในห้องปฏิบัติการ และมีผู้คำนวณว่า ในการทำให้เกิดการลดลงของเหล็ก(Fe depletion)หนา 2 มม.รอบๆรากพืช จะใช้เวลาตั้งแต่ น้อยกว่า 1 ปี จนถึงมากกว่า 100 ปี ขึ้นอยู่กับว่าสภาพการลดออกซิเจน(reducing condition)เกิดขึ้นนาน เพียงใด และในแต่ละวันมี Fe อยู่ในสารละลายมากน้อยเพียงใด

การเกิด Reduced matrices ในห้องปฏิบัติการ กระทำได้โดยการนำตัวอย่างดินที่มีสีแดงหรือสีน้ำตาล มาแช่ขังน้ำไว้ และเติมน้ำตาลทรายลงไปเพื่อให้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ เมื่อเหล็กออกไซด์ส่วนใหญ่ถูกลด ออกซิเจน ดินก็จะเปลี่ยนเป็นสีเทา (Chroma 2 or less) ปริมาณของ Fe(II) ที่น้อยที่สุดที่จะถูกเพิ่มออกซิเจน ก่อนจะเกิดการเปลี่ยนสีนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวในดิน และความเข้มข้นของเหล็กออกไซด์จำเป็นจะต้อง มากกว่า 2 % โดยน้ำหนัก ถ้าปริมาณของเหล็กน้อย สีของดินจะเป็นสีเทาของแร่ขเวอท์ซของอนุภาคทรายและ ทรายแป้ง จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า ภายใต้อุณหภูมิที่สูง(ประมาณ 72 F หรือ 22 C) มีอินทรีย์ คาร์บอนอยู่ในระดับสูงและมีจุลินทรีย์อยู่มาก Reduced matrices อาจเกิดขึ้นได้ภายใน 10 วัน หลังจากขังน้ำ

จากการวิเคราะห์เหล็กในเนื้อเยื่อของรากพืชพบว่า Pore linings จะเริ่มเกิดขึ้นรอบๆรากที่หายใจภายใน 7 วัน หลังจากขังน้ำในนาข้าว และจะขยายใหญ่ขึ้นตลอดฤดูเพาะปลูก แต่ไม่เป็นที่ชัดเจนนักว่าจะต้องมีการ ขังน้ำนานเพียงใดจึงจะสามารถมองเห็น pore linings ด้วยตาเปล่า เนื่องจากมีความผันแปรมากในแต่ละดิน จึง ได้มีผู้กำหนดเวลาว่าต้องมีการแช่ขังอย่างน้อย 30 วันจึงจะเพียงพอที่จะมองเห็น pore linings ได้