

บทที่ 2

ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ความหมายของดิน

ดิน หมายถึง เทหะวัตถุธรรมชาติ (natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหิน และแร่ธาตุต่างๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรีย์วัตถุ ซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ เป็นวัตถุที่ค้ำจุน การเจริญเติบโต และการทรงตัวของพืช ดินประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นของแข็ง อินทรีย์วัตถุ น้ำ และ อากาศ ที่มีสัดส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544) การสลายตัว ดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ต่างๆ กัน โดยขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ เช่น ดินฟ้าอากาศ สภาพภูมิประเทศ ชนิดของหินและแร่ และสิ่งมีชีวิต ตลอดจนระยะเวลาที่ปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อ ขบวนการสลายตัว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนั้นปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ยังเป็น สาเหตุให้ดินมีสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไปอีกด้วย (จรงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, 2530)

ความหมายของดินกรด

ดินกรดเป็นดินที่มีปริมาณธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮเดรตเตตระลูมินัมในรูปต่างๆ ซึ่งดินที่เป็นกรดเมื่อมี ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ดูดซับอยู่ที่ผิวดิน เป็นจำนวนมากกว่าแคตไอออน (cation) ที่มีอยู่ทั่วไป เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) และโพแทสเซียม (K^+) ซึ่งเมื่อธาตุประจุบวกที่เป็นกรดเหล่านี้ (H^+) แยกตัว ออกมาจากดินที่ดูดซับไว้ ก็จะทำให้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนออกมาในสารละลายดิน ทำให้ค่าความ เป็นกรด-เบส (pH) ของดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 7 ยิ่งมีการแตกตัวออกมามาก ปริมาณอนุมูลอิสระ ของไฮโดรเจนในสารละลายดินก็ยังมีมาก ค่าความเป็นกรด-เบสของดินถ้าวัดได้ยิ่งต่ำมาก ความเป็น กรดของดินก็จะยิ่งสูง

ดินกรดจัดส่วนใหญ่เป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงกว่าดินอื่นๆ แต่ปริมาณ ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ได้จะต่ำ ปกติแล้วความเป็นพิษของอะลูมินัมจะไม่เกิดเมื่อดินมีค่าความ เป็นกรด-เบส (pH) มากกว่า 5.5 แต่จะเกิดเป็นพิษอย่างร้ายแรง เมื่อดินมีความเป็นกรด-เบส (pH) น้อยกว่า 5.0 สำหรับดินที่มีแร่ดินเหนียวคาโอลิไนท์ (Kaolinite) เป็นแร่หลักในดิน ความเป็นพิษ

ของอะลูมิเนียมอาจเกิดขึ้นได้เหมือนกับที่ค่าความเป็นกรด-เบสของดินเท่ากับ 5.5 ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสของดินน้อยกว่า 5.0 การละลายของอะลูมิเนียมจะเห็นได้ชัด

การกระจายตัวของดินกรดในประเทศไทย

ประเทศไทยมีดินกรด (ค่าความเป็นกรด-เบส < 5.5) กระจายอยู่ทั่วประเทศ มีพื้นที่ประมาณ 35.14 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งประเทศประมาณ 112.81 ล้านไร่ คืออยู่ในระดับรุนแรงมาก ระดับรุนแรง และระดับปานกลาง จำนวน 21.41, 31.63 และ 59.77 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.66, 9.86 และ 18.62 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ตามลำดับ (ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์, เอกพล เอกอัครรุ่งโรจน์ และอรรถ สมร่าง, 2548) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

พื้นที่ในแต่ละระดับความรุนแรงของการเกิดดินกรด

ภาค	พื้นที่ในแต่ละระดับความรุนแรงของการเกิดดินกรด (ล้านไร่)					
	รุนแรง มาก < 4.5	รุนแรง 4.5 – 5.0	ปาน กลาง 5.1 – 5.5	น้อย 5.6 – 6.0	น้อย มาก 6.1 – 6.5	กลางถึง ต่าง > 6.6
เหนือ	1.11	5.89	19.49	31.14	46.54	3.48
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13.33	12.95	11.04	21.86	34.33	11.25
กลาง	0.02	0.94	2.53	1.62	4.02	3.52
ตะวันออก	2.92	3.41	4.91	5.94	6.32	0.00
ตะวันตก	0.02	0.47	6.32	8.93	11.28	1.71
ใต้	4.01	7.98	15.48	10.82	5.68	0.00
รวม	21.41	31.63	59.77	80.32	108.17	19.96

ที่มา: ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์, เอกพล เอกอัครรุ่งโรจน์ และอรรถ สมร่าง (2548)

การเพิ่มความเป็นกรดให้กับดิน

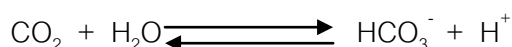
ความเป็นกรดในดินมาจากหลายปัจจัย เช่น อนินทรีย์คอลลอยด์ เกลือที่ละลายน้ำได้ ฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุ และไฟโรท์ที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดของดินเปรี้ยวจัด ที่ทำให้เกิดกรดในดิน เป็นต้น อิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้นกับธรรมชาติ และปริมาณของปัจจัยเหล่านี้ รวมทั้งความมากน้อยของขบวนการแลกเปลี่ยนและการดูดซับไอออนในดิน ความเป็นกรดในดิน อันเนื่องมาจากอนินทรีย์คอลลอยด์จะเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาของประจุลบที่แปรผันตามค่าความเป็นกรด-เบสของอนินทรีย์คอลลอยด์ ไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ในโครงสร้างของแร่ดินเหนียวซึ่งจับอยู่กับอะลูมิเนียมหรือซิลิกอนที่ขอบหรือเหลี่ยมที่หักของผลึกโครงสร้างของแร่ดินเหนียว และไฮดรอกซิลไอออนของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา และเมื่อดินมีไฮโดรเจนไอออนปริมาณมาก แร่ดินเหนียวก็จะสลายตัวปลดปล่อยให้อะลูมิเนียมที่อยู่ในโครงสร้างดินละลายออกมาและถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ในดิน

สำหรับอิทธิพลของฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุต่อการเกิดกรดในดิน เนื่องมาจากโครงสร้างของฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุประกอบด้วย functional groups ต่างๆ เช่น คาร์บอกซิล (carboxyl) ฟีนอลิก (phenolic) และกรดอะมิโนต่างๆ ซึ่งสามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา และในขณะที่ฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุสลายตัว จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเกลือของกรดต่างๆ หลายชนิด รวมทั้งกรดอินทรีย์จะถูกปลดปล่อยออกมา คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และเมื่อเกลือของกรดต่างๆ เกิดไฮโดรไลส์ จะเป็นการเพิ่มความเป็นกรดในดินมากขึ้น ดังนั้น ความเป็นกรดในดินมาจากแหล่งต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

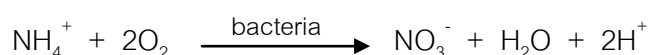
1. การชะล้างดินด้วยน้ำ เมื่อน้ำแทรกซึมผ่านดินจะล้างประจุบวกต่างๆ รวมทั้งพวกที่มีฤทธิ์เป็นด่างออกไป และให้ประจุบวกไฮโดรเจนแทนในตำแหน่งนั้นๆ ทำให้เพิ่มปริมาณกรดแฝง (potential acidity) พร้อมกับลดความเป็นด่างของดินลงไป (Jackson, 1964)
2. การแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างรากพืชกับดิน บนพื้นผิวดินมีประจุบวกและประจุลบชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง H^+ และ OH^- เมื่อมีรากพืชมาแตะกับดิน ประจุบวกไฮโดรเจนที่รากพืชจะเข้าแลกที่กับประจุบวกที่ผิวแร่ดินเหนียวหรือของฮิวมัส ซึ่งมีผลทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (ไลเวอร์น อังคีธ, 2529 อ้างจาก Jenny and Overstreet, 1939)

3. ปฏิกริยาเคมีขององค์ประกอบดิน เช่น การเกิดกรดคาร์บอนิก กรดไนตริก กรดกำมะถัน และกรดอื่นๆ ในดิน

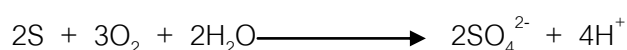
กรดคาร์บอนิกในดินเกิดจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในน้ำที่อยู่ในดิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณความเป็นกรดที่เกิดขึ้นไม่มากนักขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และองค์ประกอบอื่นๆ ของดิน ถ้าในดินมี CO_2 , H_2O และ CaCO_3 เมื่อความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินเท่ากับ 1 บรรยากาศ สารละลายดินจะมี pH ประมาณ 6.1 แต่เมื่อความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.03 บรรยากาศ สารละลายดินจะมี pH ประมาณ 8.4 (Ponnamperuma, 1967)



กรดไนตริกเกิดจากขบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยจุลินทรีย์ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นกรดไนตริกและกรดไนตริก แอมโมเนียในดินเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุ หรือการใช้ปุ๋ยยูเรียหรือแอมโมเนียม ระดับปริมาณความเป็นกรดมากขึ้นกับปริมาณของแอมโมเนียมและปริมาณของจุลินทรีย์เหล่านี้ (ไลเวอร์น ธังคีรส, 2529 อ้างจาก Alexander, 1961)



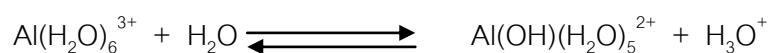
กรดกำมะถันเกิดจากขบวนการออกซิเดชันของอินทรีย์วัตถุ โดยมีจุลินทรีย์พวก strict anaerobes เช่น *Desulfovibrio* และ *Desulfotomaculum* ช่วยออกซิไดซ์กำมะถันในสารอินทรีย์วัตถุในดินบริเวณน้ำกร่อย ที่มี pH ต่ำกว่า 4.2 จะมีปริมาณกรดกำมะถันมากถึง 300 me/100กรัมดิน (Coleman และ Thomas, 1967)



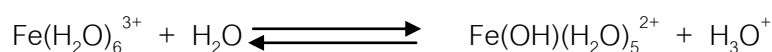
กรดอินทรีย์เกิดจากการสลายตัวของเศษซากพืชและอินทรีย์วัตถุ ให้กรดคาร์บอกซิลิก ได้แก่ formic, acetic, oxalic, butyric และกรดอื่นๆ อีกกว่า 10 ชนิด และพบอีกว่าในดินน้ำขังจะมีปริมาณกรดอินทรีย์มากกว่าดินที่อยู่ในสภาพไร่ (ไลเวอร์น ธังคีรส, 2529 อ้างจาก Stevenson, 1982)

4. การเพิ่มกรดจากอากาศ ในอากาศมีก๊าซ SO_2 และ NO_2 ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันตามธรรมชาติ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อก๊าซเหล่านี้รวมตัวกับไอน้ำจะตกลงมาพร้อมน้ำฝน น้ำฝนที่พบอาจมี pH ต่ำถึง 3.7-6.8 (ไลวอร์ธ อังคีธ, 2529 อ้างจาก Irving, 1983)

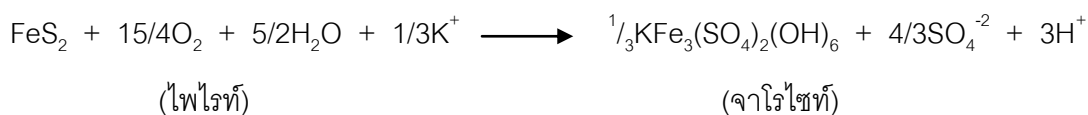
5. เกิดจากขบวนการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Lindsay, 1979)



6. เกิดจากขบวนการไฮโดรไลซิสของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Lindsay, 1979)



7. เกิดจากไฟโรท์ที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดในดินเปรี้ยวจัด สามารถถูกออกซิไดซ์โดยอากาศในสภาพที่มี basic ions เช่น K^+ , Na^+ และ H_3O^+ ทำให้เกิด basic ions sulfate หรือ จาโรไซต์ได้ (เจริญ เจริญจรัสชีพ, 2541)



สภาพปัญหาของดินกรด

ดินกรดที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอย่างรุนแรงในเขตร้อนชื้นมีลักษณะเฉพาะคือ มีระดับความเป็นพิษของไฮโดรเจน อะลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในสารละลายดิน ดินกรดโดยทั่วไปจึงเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ การเจริญเติบโตของพืชมักจะถูกจำกัด ดินกรดจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสยิ่งต่ำ จะทำให้อะลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็กเป็นพิษมากยิ่งขึ้น มีการขาดแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโมลิบดีนัมมากยิ่งขึ้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มักจะเป็นผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต หรือผลทางอ้อมที่ไปจำกัดการเจริญและการพัฒนาการของจุลินทรีย์ เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา และแอกทิโนไมซีต พืชจะไม่ค่อยเจริญเติบโตในดินเหล่านี้เพราะพืชจะขาดน้ำและธาตุอาหาร เนื่องจากระบบรากของพืชถูกจำกัดการเจริญเติบโตในดินที่เป็นกรด (เจริญ เจริญจรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540)

ปริมาณความเป็นกรดทั้งหมดของดิน คือ ปริมาณความเป็นกรดที่อยู่ในสารละลายดินรวมกับปริมาณที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน ซึ่งปริมาณที่เก็บเอาไว้จะปลดปล่อยออกมาทดแทน เมื่อปริมาณความเป็นกรดที่อยู่ในสารละลายดินได้ถูกสะเทินให้หมดไปด้วยต่าง (ไลเวอร์น อังคีธ, 2529 อ้างจาก Seatz และ Peterson, 1964) ปริมาณความเป็นกรดของแร่ดินเหนียวอะลูมิเนียมในซิลิเกตเป็นค่าที่รวมกันของประจุบวกไฮโดรเจน (H^+) และประจุบวกอะลูมิเนียม (Al^{+3}) ที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้และที่อยู่ในระหว่างชั้นของแร่ (Coleman and Thomas, 1967) ในงานทดลองก่อน ค.ศ. 1950 นักวิชาการส่วนใหญ่เข้าใจว่าปัญหาความเป็นกรดของดินเกิดจากไฮโดรเจนไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ การศึกษาต่อมาพบว่า อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เป็นประจุบวกเด่นชัดที่มีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดของดิน ไฮโดรเจนไอออนส่วนมากถูกสร้างจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ และไฮโดรเจนไอออนเหล่านี้จะไม่เสถียรในดินอนินทรีย์ และจะไปทำปฏิกิริยาต่อกับแร่ดินเหนียว เกิดการปลดปล่อยอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินกรดอนินทรีย์จะพบไฮโดรเจนไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น (เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540)

ดินกรดมีปัญหาหลากหลายประการหนึ่งในการปลูกพืช เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด จึงมีผลกระทบด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรมากมาย ซึ่งสามารถแยกประเด็นสำคัญได้ดังนี้ (เจริญ เจริญจำรัสชีพ, 2541)

1. ความเป็นกรดของดิน

ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่มีความเข้มข้นสูง อาจเป็นพิษต่อพืชได้ เนื่องจากพบว่า เมื่อรากพืชสัมผัสกับดินที่มี pH ต่ำเป็นเวลานาน โดยเฉพาะที่ pH 3.5 จะมีผลทำให้ข้าวไม่สามารถดูดธาตุอาหารโลหะ ไอออนบวกได้ดี และความเป็นกรดของดินนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืชในดิน ทำให้ธาตุบางชนิดมีการละลายเพิ่มมากขึ้น หรืออาจลดปริมาณลงได้ (เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540)

2. ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

ถ้าดินมีค่า pH ต่ำกว่า 5 อะลูมิเนียมที่ละลายได้มีปริมาณสูง โดยปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายได้จะมีค่าเป็นปฏิภาคกลับกันกับค่า pH กล่าวคือเมื่อ pH ลดลง 1 หน่วย ปริมาณอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า พิษของอะลูมิเนียมมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชเกิดการชะงัก อาการเริ่มแรกของความเป็นพิษเนื่องจากอะลูมิเนียม จะเกิดกับระบบราก และใบ คือรากจะแคระ

แกรีน สันอ้วน มีรากขนอ่อนแตกออกมาน้อยมาก มีสีน้ำตาล เนื่องจากอะลูมิเนียมในเนื้อเยื่อของรากพืชจะยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ทำให้รากไม่สามารถงอกยาวขึ้นได้ นอกจากนั้นยังไปยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตของรากแขนงถูกยับยั้ง อะลูมิเนียมที่สะสมในรากจะยับยั้งการดูดน้ำ และการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีฟอสฟอรัสมากเพียงพอ แต่ถ้ามีปริมาณอะลูมิเนียมสูงก็จะทำให้พืชแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ สำหรับใบพืชจะเกิดจุดประสีส้มระหว่างเส้นใบ และจุดประจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กาบใบจะมีสีม่วง อาการโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่ใบล่างก่อน ซึ่งจะมีผลทำให้ใบเกิดการเหี่ยวแห้ง และตายในที่สุด ส่วนอะลูมิเนียมในดินพืชจะไปจับกับกลุ่มฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิก ซึ่งจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ (เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540) นอกจากนั้นยังมีผลทางอ้อม คือการที่มีอะลูมิเนียมในสารละลายมากเกินไป ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง เนื่องจากอะลูมิเนียมจับกับฟอสฟอรัสแล้วตกตะกอนเป็น อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับระดับอะลูมิเนียมที่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษต่อพืชได้แม้มีปริมาณเพียง 1-2 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ในกรณีที่ขาดฟอสฟอรัส ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของพันธุ์พืชที่มีความทนทานได้มากน้อยแตกต่างกัน สำหรับในข้าวที่ระดับความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่ 25 ppm เป็นระดับวิกฤต (Tanaka and Navasero, 1966)

สุเชษฐ์ ฐิตระกูล (2534) อ้างจาก Osborne (1985) เกณฑ์ในการประเมินระดับของปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดิน มี 5 ระดับ ดังนี้

1. ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ น้อยกว่า 90 ppm ขึ้นความรุนแรงที่ 1
2. ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ 90 – 450 ppm ขึ้นความรุนแรงที่ 2
3. ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ 450 - 810 ppm ขึ้นความรุนแรงที่ 3
4. ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ 810 – 1,170 ppm ขึ้นความรุนแรงที่ 4
5. ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ มากกว่า 1,170 ppm ขึ้นความรุนแรงที่ 5

อะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสามบนโลก และได้รับการพิจารณาว่าปลอดภัยในกฎเกณฑ์ทางเคมี การมีอยู่ทุกหนแห่งของอะลูมิเนียม และการขาดหลักฐานอันชัดเจนที่จะบอกถึงกลไกที่เฉพาะที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ นั้นเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดความสับสน อะลูมิเนียมได้ถูกเริ่มนำมาศึกษาความเป็นพิษ พบว่า ระบบประสาทจะเป็นอวัยวะเป้าหมายหลักในการแสดงความเป็นพิษ ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้กลไกการทำงานภายในร่างกายมนุษย์

เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ การแยกโมเลกุลขนาดเล็กออกจากโมเลกุลขนาดใหญ่ โรคพิการทางสมอง (Guam) โรคอัลไซเมอร์ ภาวะกระดูกนิ่ม (Lewis, 1990)

3. ความเป็นพิษของเหล็ก

ธาตุเหล็กพบเป็นสารประกอบจำนวนมากในดินกรดเขตร้อนชื้น และมีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับธาตุแมงกานีส กล่าวคือเหล็กจะเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ของดินสูงกว่า 6.0 และเมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ของดินลดลงเหล็กสามารถละลายน้ำออกมาเป็นประโยชน์กับพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-เบส ของดินต่ำกว่า 5.0 ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายดินจะเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัว ไอออนของเหล็ก (Fe^{3+}) ในสารละลายอยู่ในสภาพของไอออนที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบ $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ได้จากขบวนการไฮโดรไลซิสของเฟอริกไอออนจะมากหรือน้อย ขึ้นกับปริมาณของเฟอริกไอออนซึ่งถูกควบคุมโดยชนิดของแร่เหล็กออกไซด์ และไฮดรอกไซด์

เหล็กเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช แต่ปริมาณเหล็กที่ละลายได้หากมีในดินมากเกินไป ก็จะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้ ระดับของเหล็กที่เป็นพิษจะมีช่วงกว้างมากขึ้นกับชนิดหรือรูปของเหล็ก ในดินเปรี้ยวที่มีการขังน้ำเพื่อปลูกข้าว ดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนเหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้มีเหล็กในรูปของฟอสฟอรัสสูงขึ้น และพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินนา จะสะสมได้สูงสุดหลังการขังน้ำประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดปริมาณลง

ลักษณะอาการเป็นพิษของเหล็กต่อข้าวโดยทั่วไปคือ ใบล่างของต้นข้าวจะมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาลแดงเล็กๆ ปรากฏอยู่ที่ปลายใบ แล้วจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ แล้วเหี่ยวแห้งตายไป มีผลทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโต แคร่แกร็น ลดจำนวนการแตกกอ ใบบนมีสีเขียว ใบล่างมีสีน้ำตาลเข้มเป็นคลื่นๆ และตายในที่สุด รากมีน้อยและมีสีน้ำตาลดำ ข้าวจะให้ผลผลิตต่ำ และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง พบว่าสารละลายที่มีเหล็กมากกว่า 60 พีพีเอ็ม ทำให้ข้าวชะงักการแตกกอ และถ้ามีเหล็กสูง 300-400 พีพีเอ็ม ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษผลผลิตลดลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณเหล็กที่จะทำให้เกิดพิษต่อข้าวมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือปริมาณฟอสฟอรัสในดิน ถึงแม้ว่ามีเหล็กเพียง 30 พีพีเอ็ม ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษของเหล็กได้ ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยทั่วไปดินที่มีเหล็กละลายอยู่ประมาณ 100 พีพีเอ็ม ก็เริ่มมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกได้ (เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิ์ ศิริวงศ์, 2540)

4. ความเป็นพิษของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นธาตุอาหารพืชที่สามารถละลายได้ดีมากในดินที่มีระดับความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5.5 และในดินที่มีแหล่งสะสมของธาตุนี้อาจที่แมงกานีสจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินในระดับสูงเกินความต้องการของพืชโดยเฉพาะในช่วงค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5.0 ซึ่งเป็นช่วงที่แมงกานีสสามารถละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้สูงมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัว แมงกานีสในสารละลายดินอยู่ในรูปของ Mn^{+2} แต่ส่วนใหญ่แมงกานีสจะอยู่ในรูปของ Mn^{+4} และ Mn^{+3} นอกจากนั้นในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง แมงกานีสจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุในดิน แหล่งของแมงกานีสที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชคือ Mn^{+2} อยู่ในสารละลายดินที่สภาพสมดุลกับ exchangeable Mn ในสมดุลของ Mn^{+2} และออกไซด์ของแมงกานีสจะขึ้นอยู่กับการค่าความเป็นกรด-เบส ของดินเป็นอย่างมาก คือถ้าค่าความเป็นกรด-เบส สูงขึ้น สมดุลก็จะไปทางออกไซด์ของแมงกานีส ซึ่งความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสก็จะลดลง และถ้าค่าความเป็นกรด-เบส ลดลง สมดุลก็จะไปทาง Mn^{+2} ทำให้ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-เบส ลดลงต่ำมากๆ ก็อาจทำให้ละลายออกมามากจนถึงขั้นเป็นพิษได้

ในสภาพน้ำขังแมงกานีสในรูป Mn^{+4} จะเปลี่ยนเป็น Mn^{+2} ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ Mn^{+2} ในสารละลายเพิ่มขึ้น และยังมีผลให้ปริมาณแมงกานีสในดินมีค่าสูงขึ้นด้วย การเกิดการเปลี่ยนแปลงของแมงกานีสในสภาพไร้ออกซิเจนเกิดโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน สำหรับอาการเป็นพิษเนื่องจากแมงกานีสนั้นสังเกตได้คือ ต้นข้าวจะมีการชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระแกร็น บนบริเวณแผ่นใบและก้านใบจะเกิดจุดสีน้ำตาล มักเกิดกับใบล่างๆ ของต้น เนื่องจากการสะสมของธาตุแมงกานีสเป็นแห่งๆ การกระจายของคลอโรฟิลล์ไม่สม่ำเสมอ ขอบใบจะมีสีขาวขีดในพืชที่มีความเข้มข้นของแมงกานีสสูงสามารถชักนำให้พืชแสดงอาการขาดเหล็กได้คือ แมงกานีสมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นก่อนหน้าการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากว่าแมงกานีสมีระดับออกซิเดชันสูงกว่าเหล็ก

ความเข้มข้นของแมงกานีสในดินที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 1-4 ppm ถ้ามีปริมาณต่ำหรือสูงกว่านี้จะเกิดอาการขาดหรือเป็นพิษตามลำดับ เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่า 5.5 มักเกิดความเป็นพิษของแมงกานีสต่อพืช โดยเฉพาะในดินที่มีแร่ไพโรลูไซต์ (MnO_2) และแร่แมงกานีท์ ($MnO(OH)$) ซึ่งเป็นแร่ที่มีองค์ประกอบของแมงกานีสอยู่สูง (เจริญ เจริญจำรัสศัพท์ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิณี ศิริวงศ์, 2540)

ปฏิกิริยาดิน

ค่าปฏิกิริยาดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งนำมาใช้ประกอบการพิจารณาสภาพของดิน โดยเป็นตัวควบคุมระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และระดับความเป็นพิษของสารต่างๆ ในดิน และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน วัดได้จากค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$) ค่าความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) จะบอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในสารละลายดิน หรือความมากน้อยของความเป็นกรดของดิน ซึ่งความเป็นกรดของดินนอกจากการที่มาจากกรดที่ติดมาในตัวดินแล้ว ไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable H) แล้ว อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) และเหล็ก (Fe) ก็ยังมีอำนาจแสดงความเป็นกรดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) อยู่ในช่วงระดับ 4-5 อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) จะมีบทบาทที่สำคัญมากในการทำให้เกิดดินกรด (จรัล วัชรวิญญูสุข, 2530) โดยค่าปฏิกิริยาดินสามารถนำไปใช้พิจารณาระดับชั้นของสภาพกรด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

ค่าปฏิกิริยาดินที่นำไปใช้ในการพิจารณาสภาพความเป็นกรดของดิน

pH	สภาพกรดหรือสภาพต่างของดิน
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5 – 4.5	กรดรุนแรงมาก (extremely acid)
4.6 – 5.0	กรดจัดมาก (very strongly acid)
5.1 – 5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6 – 6.0	กรดปานกลาง (moderately acid)
6.1 – 6.5	กรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6 – 7.3	กลาง (neutral)
7.4 – 7.8	ด่างเล็กน้อย (slightly alkali)
7.9 – 8.4	ด่างปานกลาง (moderately alkali)
8.5 – 9.0	ด่างจัด (strongly alkaline)
> 9.0	ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

อะลูมินัม

ในระยะแรกมีความเชื่อว่า ตัวการที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดของดินนั้นคือไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่มีอยู่มากมายในดิน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน หรือแตกตัวของกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl groups) ในอินทรีย์วัตถุในดิน ในระยะต่อมาพบว่า ตัวการที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินคือ อะลูมินัม (Al^{3+}) ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมินัม (Al^{3+}) จำนวน 1 อะตอมเมื่อรวมตัวกับน้ำ สามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาในระบบของดินได้สูงถึง 3 อะตอม

อะลูมินัมเป็นองค์ประกอบสำคัญของแร่ดินเหนียวในดิน และพบมากเป็นอันดับ 3 รองจากออกซิเจนและซิลิกอน โดยพบประมาณร้อยละ 7.1 โดยน้ำหนักของเปลือกโลก ในระหว่างการผุพังสลายตัวของแร่ปฐมภูมิอะลูมินัมจะถูกปลดปล่อยออกมา และตกตะกอนเป็นแร่ทุติยภูมิโดยส่วนใหญ่เป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต ซึ่งพบมากในดินที่มีการสลายตัวผุพัง ซิลิกอนจะสูญเสียเร็วกว่าอะลูมินัมมาก จึงทำให้เหลืออะลูมินัมตกตะกอนอยู่ในรูปออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ แร่อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่พบมากที่สุดได้แก่ แร่กิบไซต์ (gibbsite) $\gamma-Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นแร่ที่เป็นผลึกในสภาวะที่เป็นกรด อะลูมินัมจะละลายออกมาจากแร่กิบไซต์

ปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดิน ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน คือเมื่อดินนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และปริมาณความเข้มข้นของปริมาณเกลือในดินด้วยแล้ว ปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดินจะน้อยลง ซึ่งเมื่อดินนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินสามารถรวมตัวกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้กลายเป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อนในดิน นอกจากนี้ ปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดินจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อดินนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของเกลือในดินสูง เนื่องจากเมื่อมีไฮดรอกไซด์ของเกลืออื่นๆ ในดินสูง ก็มีความสามารถที่จะเข้าไปไล่ที่อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้บนผิวดินเหนียวให้ออกมาอยู่ในสารละลายดินสูงขึ้น (วิโรจน์ อิมพิทักซ์, 2531)

ความเป็นพิษของอะลูมินัม (Aluminum Toxicity)

ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดิน ถ้าสูงกว่า 1 ppm จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกบนดินนั้นลดลง (วิโรจน์ อิมพิทักซ์, 2531) ซึ่งการละลายของอะลูมินัมจะมีความสัมพันธ์กับระดับของค่าค่าความเป็นกรด-เบส กล่าวคือ ถ้าดินมีค่าค่าความ

เป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5 อะลูมินัมที่ละลายได้มีปริมาณสูง โดยพิษของอะลูมินัมมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชเกิดการชะงัก อาการที่เกิดจากความเป็นพิษของอะลูมินัม เกิดขึ้นดังนี้

- ระบบราก คือรากจะแคระแกร็น สั้นอ้วน มีรากขนอ่อนแตกออกมาน้อยมาก มีสีน้ำตาล เนื่องจากอะลูมินัมในเนื้อเยื่อของรากพืชจะยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ทำให้รากไม่สามารถงอกยาวขึ้นได้ นอกจากนั้นยังไปยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตของรากแขนงถูกยับยั้ง

- ใบพืช จะเกิดจุดประสีส้มระหว่างเส้นใบ และจุดประจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กาบใบจะมีสีม่วง อาการโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่ใบล่างก่อน ซึ่งจะมีผลทำให้ใบเกิดการเหี่ยวแห้ง และตายในที่สุด

- ต้นพืช อะลูมินัมจะไปจับกับกลุ่มฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิกและระบบกวนกระบวนกรเมทาบอลิซึมของฟอสเฟต ซึ่งจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ของพืช ทำให้ลำต้นแคระแกร็น (เจริญเจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิณี ศิริวงศ์, 2540)

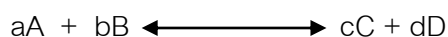
- การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืช เนื่องจากอะลูมินัมจะมีผลต่อการจัดเรียงตัว และการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงทำให้มีผลต่อการดูด และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืชจนทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุต่างๆ ได้

- ดิน ในสภาพที่เป็นกรด ซึ่งจะมีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูง ทำให้เกิดภาวะดินขาดธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ดังนั้นถึงแม้ว่าเติมธาตุอาหารเหล่านี้มากเพียงพอ แต่ถ้ามีดินมีปริมาณอะลูมินัมสูง ก็สามารถทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลงได้เช่นกัน (วิโรจน์ อิมพิทักษ์, 2531)

สมดุลเคมี

เมื่อมีสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ทำปฏิกิริยาทางเคมีกัน จะได้สารชนิดใหม่ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยานั้น ในขณะที่เดียวกันสารที่เป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นใหม่จะทำปฏิกิริยากัน ย้อนกลับไปเป็นสารเดิมอีก ระยะแรกๆ ปฏิกิริยาย้อนกลับจะดำเนินไปด้วยอัตราช้าๆ เมื่อปริมาณของสารที่ได้จากปฏิกิริยาคั้งแรกเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาย้อนกลับก็จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดๆ หนึ่ง ที่อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับเท่ากับอัตราของปฏิกิริยาคั้งแรก เรียกว่าปฏิกิริยาถึงจุดสมดุลทางเคมี

(chemical equilibrium) แล้วที่จุดนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารแต่ละชนิดที่มีอยู่อีกต่อไป ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสมดุลเคมีเป็นสภาวะที่อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราของปฏิกิริยาผกผัน



เมื่อ A, B, C และ D เป็นสาร a, b, c และ d เป็นตัวเลขกำกับข้างหน้าสารแสดงความสัมพันธ์ทางปริมาณ

ค่าคงตัวสมดุลมีค่าเท่ากับผลคูณของความเข้มข้นที่ภาวะสมดุลของผลปฏิกิริยาหารด้วยผลคูณของความเข้มข้นที่ภาวะสมดุลของตัวทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของแต่ละค่ายกกำลังเท่ากับตัวเลขหน้าสารนั้นในสมการ

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

ถ้าค่า K มีค่ามาก ความเข้มข้นของผลปฏิกิริยาในภาวะสมดุลต้องมีค่ามาก แสดงว่าปฏิกิริยาไปทางขวามาก ถ้าหากค่า K มีค่าน้อย ความเข้มข้นของผลปฏิกิริยาในภาวะสมดุลต้องมีค่าน้อย ปฏิกิริยาจะไม่ค่อยไปทางขวามากนัก นอกจากนี้ค่าคงตัวสมดุลเป็นค่าคงตัวเฉพาะอุณหภูมิหนึ่งๆ เท่านั้น ไม่ว่าความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่สมดุลจะมีค่าเท่าใด เมื่อนำมาเข้าสมการค่า K แล้วจะให้ค่าคงตัวเท่ากันหมดที่อุณหภูมิเดียวกัน (กฤษณา ชูติมา, 2539)

แบบจำลองสมดุลเคมี (Model)

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2537) ให้คำจำกัดความไว้ว่า แบบจำลอง (model) คือ ตัวแทนของสรรพสิ่งอันใดอันหนึ่ง เช่น วัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ และระบบ เป็นต้น เนื่องจากในระยะเริ่มแรกนั้น การคาดหมาย/พยากรณ์กระบวนการดังกล่าวจะใช้เพียงสมการและวิธีการง่ายๆ ต่อมาในยุคที่คอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น สมการต่างๆ ที่ทั้งหลายถูกดัดแปลงปรับปรุง และใช้เป็นฐานในการสร้างแบบจำลองเลียนแบบกระบวนการธรรมชาติ อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แบบจำลองมักถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ หรือทำให้มองเห็นว่า ถ้าหากสิ่งนั้น หรือระบบนั้นถูกเปลี่ยนไปทางใดทางหนึ่ง หรือหลายทาง จะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นๆ ของสิ่งนั้นๆ หรือระบบนั้นๆ อย่างไร

ปัจจุบันกระบวนการ/พฤติกรรมธรรมชาติต่างๆ ได้รับการเลียนแบบโดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ (physically based models) เพื่อเพิ่มพูนความรู้ ความเข้าใจธรรมชาติ และปฏิสัมพันธ์ของกระบวนการด้านสิ่งแวดล้อม และการพยากรณ์ผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นภายในระบบที่กำหนดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง

อิสรา พิริยะพิเศษพงษ์ (2536) อ้างถึงใน นิพนธ์ ตั้งธรรม (2537) ได้สรุปวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองไว้ 5 ประการ คือ

1. เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระบบ
2. เพื่อบอกถึงแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองที่มีต่อระบบและการจัดการระบบ
3. เพื่อทำให้ผู้สร้างและผู้อื่นในวงการวิเคราะห์ระบบเกิดแนวความคิดใหม่ๆ ในการสร้างและใช้แบบจำลองอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น
4. เพื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าระบบจะแสดงพฤติกรรมอย่างไร ถ้าสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายสิ่งในระบบผันแปรไป
5. เพื่อเป็นเครื่องมือชี้ให้เห็นว่าอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ที่บ่งบอกได้ถึงแนวทางในการจัดการ

องค์ประกอบในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองเป็นชุดสมการที่ใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องได้มาจากการศึกษาความเกี่ยวข้องของสิ่งต่างๆ ดังนี้

ทฤษฎีระบบ แนวคิดในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ส่วนใหญ่ใช้ทฤษฎีระบบ ซึ่งจะมองว่าในระบบหนึ่งจะประกอบด้วย ออปเจก แอตตริบิว และความสัมพันธ์

ออปเจกต์ (objects) เป็นส่วนที่เราสนใจในระบบนั้น เช่น ออปเจกต์ของการสร้างแบบจำลองสมดุลเคมีคือโมเลกุลหรือธาตุต่างๆ ที่เราสนใจ

แอตทริบิวต์ คือ คุณสมบัติของออปเจกต์ หรือคำอธิบายที่จะทำให้รายละเอียดข้อมูล ออปเจกต์ เช่น ธาตุต่างๆ จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป เช่น ธาตุบางชนิดจะละลายออกมาอยู่ในดินได้ดีเมื่อดินมีความเป็นกรดสูง

ความสัมพันธ์ คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องระหว่างกัน สังเกตว่าการรับรู้ออปเจกต์เป็นเพราะมีแอตทริบิวต์เป็นส่วนประกอบอธิบาย ความเกี่ยวข้องกันจึงเป็นความเชื่อมโยงระหว่างแอตทริบิวต์ของออปเจกต์กับแอตทริบิวต์อื่นของออปเจกต์ จากความสัมพันธ์เหล่านี้จึงเขียนเชื่อมโยงกันเป็นระบบได้

การสร้างแบบจำลองเป็นการค้นหาชุดของสมการที่สามารถมาแทนความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างออปเจกต์ โดยการแปลงความสัมพันธ์และออปเจกต์นั้นให้อยู่ในรูปของ

1. ข้อมูลป้อนเข้า (input) เป็นส่วนของข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น โดยผ่านกระบวนการและได้ผลลัพธ์ หรือสิ่งที่ต้องการทราบ

2. กระบวนการ (process) เป็นกระบวนการในการจำลองสถานการณ์ทางธรรมชาติให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์

3. ข้อมูลผลลัพธ์ (output) ส่วนของข้อมูลที่ต้องการทราบ

กระบวนการ และการสร้างแบบจำลอง

วรารุณ เสือดี (2543) กล่าวว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประโยชน์มากในการพัฒนาโครงการใหม่ๆ โดยเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบ และประเมินความเสี่ยงของสิ่งแวดล้อมที่จะได้รับสารพิษ การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสม มีขั้นตอนดังนี้

1. สังเกต รวบรวมข้อมูลเพื่ออธิบายระบบที่สนใจ
2. กำหนดปัญหาหรือข้อกำหนดอื่นๆ
 - 2.1 กำหนดแยกพิจารณาตัวแปรต่างๆ
 - 2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3 กำหนดข้อบังคับ ข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3. พัฒนาปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 อธิบายแบบจำลองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

3.2 วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

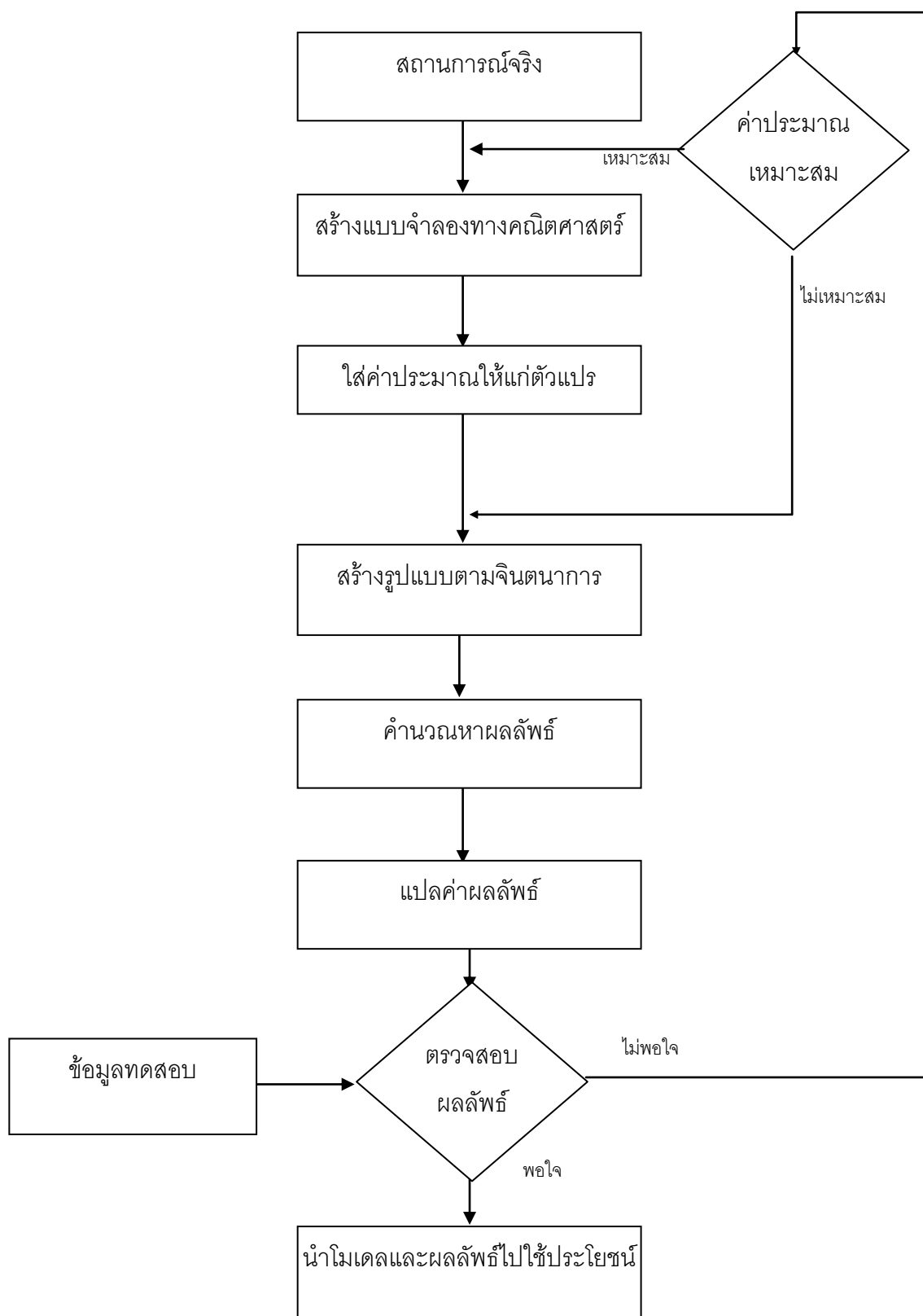
3.3 ปรับปรุงข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4. พิสูจน์และประเมินความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. ประยุกต์ใช้และแปลความหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

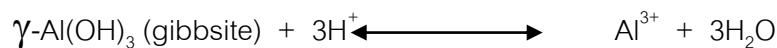
นอกจากนี้ สามารถอธิบายขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้
ทำนาย ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1
ขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

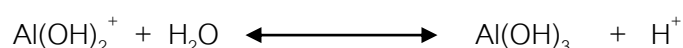
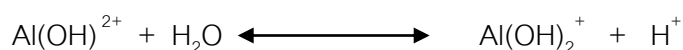
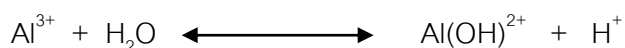


แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลอง

1. การละลายของอะลูมิเนียมจากแร่กิบไซต์ในสารละลายดิน (Lindsay, 1979)

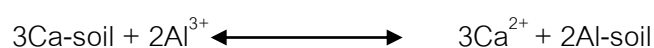


2. การเกิดขบวนการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมกับน้ำ (Lindsay, 1979)



3. การแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน

สมการการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์การเลือก (Ks) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายการแลกเปลี่ยนของแคตไอออนระหว่างการแลกเปลี่ยน (exchange) และสถานะของสารละลาย (solution phase) ในดิน ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกจะได้มาจากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนระหว่างไอออน 2 ชนิด คือ ไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ และไอออนที่เข้าไล่ที่ (Curtin, Selles and Steppuhn, 1998) เช่น



$$K_{\text{sAl/Ca}} = \frac{(\text{Ca}^{2+})^3 (\text{Al-soil})^2}{(\text{Al}^{3+})^2 (\text{Ca-soil})^3}$$

$$\frac{\gamma_3^2 [\text{Al}^{3+}]^2 * K_{\text{sAl/Ca}}}{\gamma_2^3 [\text{Ca}^{2+}]^3} = \frac{(\text{Al-soil})^2}{(\text{Ca-soil})^3}$$

เมื่อ Ca-soil คือ ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่อนุภาคดิน

Al-soil คือ ค่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่อนุภาคดิน

γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์กัมมันต์ (activity coefficient)

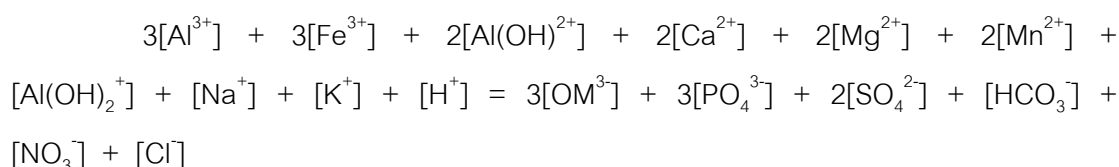
[] คือ ความเข้มข้น (หน่วย พีพีเอ็ม)

() คือ ค่ากัมมันต์ (activity)

K_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเลือก (selectivity coefficient)

4. สมการประจุสมดุล (charge balance equation)

การเขียนสมการดุลโดยใช้ประจุเข้ามาคูณความเข้มข้นของไอออนแต่ละตัวที่อยู่ในสมการ อาศัยหลักการที่ว่าในระบบใดๆ ก็ตาม ผลบวกของจำนวนประจุบวกทั้งหมดในระบบจะต้องเท่ากับผลบวกของจำนวนประจุลบทั้งหมดในระบบนั้นๆ จากนั้นหาความเข้มข้นของไอออนแต่ละตัวในสารละลายดินที่ทำให้สมการสมดุล โดยมีสมการประจุสมดุล ดังนี้



5. ไอออนแอกติวิตี (ion activity)

เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดึงดูดระหว่างไอออนในสารละลาย การที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์กัมมันต์ (γ_i) ได้ จะต้องคำนวณหาค่า ionic strength ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\mu = \frac{1}{2} \sum (C_i Z_i^2)$$

เมื่อ μ คือ ionic strength

C_i คือ ความเข้มข้นของ ions ในหน่วย พีพีเอ็ม

Z_i คือ วาเลนซ์ของไอออน

ค่าสัมประสิทธิ์กัมมันต์ จะถูกคำนวณมาจากสมการ Davies ของ Debye-Huckel equation (Lindsay, 1979)

$$\text{สัมประสิทธิ์กัมมันต์: } \log \gamma_i = -0.509 Z_i^2 \left[\frac{\mu^{1/2}}{1 + \mu^{1/2}} - 3\mu \right]$$

เมื่อ γ_i คือ สัมประสิทธิ์กัมมันต์

μ คือ ionic strength

Z_i คือ วาเลนซ์ของไอออน

บัณฑิต อนุรักษ์ (2544) ศึกษาแบบจำลองสมดุลเคมีในดินด้วยการเติมกรดบริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายความเข้มข้นของแคตไอออนในสารละลายดิน เมื่อได้รับอิทธิพลจากสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีระดับความเข้มข้นกัน 4 ระดับ โดยทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของแคตไอออนจากการตรวจวัด

จริงกับค่าคำนวณจากแบบจำลอง ซึ่งพบว่าแบบจำลองสามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของ แคลเซียม แมกนีเซียม และอะลูมิเนียมได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ส่วนโซเดียม โพแทสเซียม และค่าความเป็นกรด-เบส พบว่าแบบจำลองคำนวณได้ไม่ตรงกับค่าการตรวจวัดจริง

จรัญญา กิติไพศาลนนท์ (2544) ได้ศึกษาแบบจำลองสมดุลเคมี และประสิทธิภาพของปูนที่มีต่อชุดดินสระบุรีในสภาวะดินเป็นกรด ซึ่งมีการทำนายแคลเซียม (Ca^{2+}) อะลูมิเนียมทั้งหมดในดิน (total aluminum) และค่าความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) พบว่า แบบจำลองที่ใช้สามารถทำนายปริมาณแคลเซียม (Ca^{2+}) ได้ใกล้เคียงกับค่าวิเคราะห์จริง ส่วนอะลูมิเนียมทั้งหมดในดิน (total aluminum) ได้ค่าจากการทำนายต่างไปจากค่าวิเคราะห์จริง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เพชรดา บัวสมบุญ (2546) ได้ศึกษาแบบจำลองสมดุลเคมีของดินเพื่อประมาณความเข้มข้นของแคตไอออนในสารละลายดินของชุดดินสระบุรี โดยทำแบบจำลองย่อยได้ 3 แบบ คือ แบบจำลองการเติมกรดซัลฟิวริก แบบจำลองเติมแคลเซียมคลอไรด์ และแบบจำลองเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าแคลเซียม (Ca^{2+}) จะถูกไล่ออกมาได้มากกว่าโซเดียม (Na^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ตามลำดับ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคตไอออนที่หลุดออกมาก็จะมากขึ้นด้วย โดยการใช้แบบจำลองเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะใช้ทำนายถูกต้องได้ร้อยละ 30-40 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จิรวัดณ์ รุ่งเลิศตระกูลชัย (2548) ได้ศึกษาแบบจำลองสมดุลเคมีของดินเพื่อประมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากดินกรด โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแคตไอออนและแอนไอออนในสารละลายดิน เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสในดินลดลง ส่วนที่สองเป็นการทำแบบจำลองสมดุลเคมีของดินเพื่อประมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากดิน ชุดดินรังสิต (Rs) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินสันป่าตอง (Sp) ชุดดินคลองซาก (Kc) และชุดดินบางนา (Ba) ส่วนที่สามแสดงระดับความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในสารละลายดินของประเทศไทย ผลการศึกษา พบว่า อะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม และความเข้มข้นของแอนไอออน คือ ซัลเฟต คลอไรด์ ไนเตรต และฟลูออไรด์ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสลดลง โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-เบสในช่วง 2.5-4.0 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

พื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ซึ่งเกิดจากการที่แม่น้ำไหลพัดพาเอาเศษหิน ดิน ทราย และตะกอนมาทับถมกันเป็นเวลานานจนกลายเป็นที่ราบอันกว้างใหญ่ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งนา แต่ไม่มีภูเขา ไม่มีป่าไม้ มีแม่น้ำสายต่างๆ ไหลผ่าน ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำน้อย แหล่งน้ำทำการเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำน้อย คลองระพีพัฒน์ อ่างเก็บน้ำทุ่งนเรศวรและทุ่งมะขามหย่อง ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยาส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว เกิดจากการทับถมของตะกอนที่พัดมากับแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำน้อย กับอีกส่วนหนึ่งที่เกิดจากอิทธิพลของทะเล เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย ซึ่งทำให้ดินที่มีศักยภาพเป็นกรด พบบริเวณอำเภพระนครศรีอยุธยา เสนา ผักไห่ บางซ้าย บางปะอิน อูทัย วังน้อย บางไทร และอำเภอลาดบัวหลวง (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5, 2552)

จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีเนื้อที่ประมาณ 2,556.64 ตร.กม. หรือประมาณ 1.59 ล้านไร่ พื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่อยู่ในเขตชลประทาน มีการใช้พื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมด 1,768,126 ไร่ พื้นที่พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ทำนาจำแนกเป็นพื้นที่นา (นาปีและนาปรัง) 1,726,197 ไร่ (97.62 เปอร์เซ็นต์) พื้นที่ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น 27,694 ไร่ (1.56 เปอร์เซ็นต์) พื้นที่ปลูกพืชผัก 10,523 ไร่ (0.59 เปอร์เซ็นต์) และพื้นที่ปลูกพืชไร่ 3,712 ไร่ (0.2 เปอร์เซ็นต์) ชุดดินในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา แบ่งตามลักษณะชุดดินได้ทั้งหมด 63 ชุด (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5, 2552)

พื้นที่นาข้าว

ดินที่ใช้ปลูกข้าว (paddy soils) จะแตกต่างจากดินที่ใช้ปลูกพืชไร่ หรือพืชอื่นๆ คือ มีลักษณะของการมีน้ำขัง ซึ่งการปลูกข้าว ในสภาพน้ำขังจะมีประโยชน์ต่อข้าว เช่น ธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายในน้ำ ทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารจากน้ำในปริมาณสูง ช่วยปรับอุณหภูมิให้น้ำ กำจัดวัชพืช การเกิดสภาพฟิสิกส์ การไม่สามารถคงอยู่ได้ของแบคทีเรีย ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปที่รากข้าวได้ ทำให้ข้าวดูดไปใช้ได้ดี เป็นต้น

สภาพดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้น ต้องมีส่วนประกอบของดินเหนียว เพราะดินเหนียวจะมีระดับอินทรีย์วัตถุ และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง และอยู่ในสภาพกรดมากกว่าสภาพด่าง ซึ่งในดินนาประเทศไทยจะมีค่าความเป็นกรด - เบส (pH) เฉลี่ยอยู่ที่ 5.2 (บุญหงษ์ จงคิด, 2547)