ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา
สาขา

ปฐพีวิทยา
ภาควิชา

เรื่อง ระดับอะลูมิเนียมและสมบัติดินที่สูงในพื้นที่ขุนวางและอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

Level of Aluminium and Properties of Highland Soils in Khun Wang and Inthanon Areas, Chiang Mai Province

นามผู้วิจัย นายณัฐพล ศรีอำไพ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิปราการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุภิฌา ธนะจิตต์, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิจารณ์ วิชชุกิจ, Dr.sc.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระดับอะลูมิเนียมและสมบัติดินที่สูงในพื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

Level of Aluminium and Properties of Highland Soils in Khun Wang and Inthanon Areas, Chiang Mai Province

โดย

นายณัฐพล ศรีอำไพ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพล ศรีอำไพ 2553: ระดับอะลูมิเนียมและสมบัติดินที่สูงในพื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D. 155 หน้า

การศึกษาระดับอะลูมิเนียมและสมบัติดินที่สูงในพื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินการในดินทั้งหมด 31 พีดอน เพื่อประเมินระดับของอะลูมิเนียมที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติดิน และหาสมการที่เหมาะสมสำหรับการทำนายปริมาณการอิ่มตัวของอะลูมิเนียมในดินที่สูง ดำเนินการขุดหลุมศึกษาหน้าตัดดิน สภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ เก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดิน และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน

ดินทั้ง 2 บริเวณเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มาจากหินไนส์ แกรนิต และไดโอไรต์ มีพัฒนาการสูง เป็นดินที่สูงที่มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ส่วนใหญ่มีการสะสมอินทรียวัตถุลงไปในระดับลึกภายในหน้าตัดดิน ดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ภายใต้สภาพโรงเรือน ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรมีการใส่ปูนเพื่อยกระดับพีเอชดินซึ่งมีผลทำให้อะลูมิเนียมละลายออกมาในระบบดินได้น้อยลงขณะที่ดินมีการสะสมเบสเพิ่มขึ้น ดินในอันดับย่อย Humults เป็นดินที่พบมากที่สุดจำนวน 24 พีดอน จำแนกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Palehumults และ Typic Haplohumults ดินทั้งสองมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูง (เฉลี่ย 52.7 และ 51.6 ตามลำดับ) กว่าดินอื่นและแนวโน้มที่จะเป็นพิษต่อพืชโดยเฉพาะพืชปลูกที่ไม่ใช่พืชเขตร้อน

สมการที่เหมาะสมสำหรับการทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสำหรับดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ คือ “%Al saturation = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w), R^2 = 0.88” ขณะที่ดินในพื้นที่เกษตรกรรมความแม่นยำในการทำนายจะมีน้อยกว่า เมื่อใช้สมการ “%Al saturation = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg), R^2 = 0.77” เมื่อใช้ข้อมูลดินทั้งหมดมาวิเคราะห์ พบว่า สมการที่เหมาะสำหรับการทำนายมากที่สุด ได้แก่ “%Al saturation = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC, NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w), R^2 = 0.75” โดยที่ค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีสหสัมพันธ์ผกผันเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยกับแคลเซียมที่สกัดได้ โซเดียมที่สกัดได้ ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ และค่าที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ในกรณีของดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ ขณะที่ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งจะมีบทบาทในกรณีของดินที่ใช้ทำการเกษตร ส่วนความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจะมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเมื่อนำดินทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกัน

_____ / ____ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Natthapol Sri-umpai 2010: Level of Aluminium and Properties of Highland Soils in Khun Wang and Inthanon Areas, Chiang Mai Province. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Somchai Anusontpornperm, Ph.D. 155 pages.

A study on Al toxicity level and properties of highland soils in Khun Wang and Inthanon areas, Chiang Mai province was conducted in 31 pedons, aiming at assessing the relationship between level of Al toxicity and soil properties in order to provide equations suitable for predicting Al saturation of highland soils. Soil pits were used for this research, which included the investigation of general environments of the areas selected. Soil samples were collected with respect to soil genetic horizon and analysed using standard procedures.

Soils in both areas were formed from gneiss, granite and diorite and well developed. These highland soils had well drained feature. They had low to moderate fertility level, mostly having organic matter accumulated to great depths. The soils under native forest contained extractable Al and Al saturation percentage higher than did the soils used for agricultural production, particularly those under greenhouse cover where farmers commonly used lime to raise soil pH and, in turn, diminished the release of Al to the soil system, and bases further accumulated within the soils. Humults were found in the highest numbers, accouting for 24 pedons of which they can be classified into Typic Palehumults and Typic Haplohumults. They were composed of 52.7 and 51.6% Al saturation, respectively and these values were clearly higher than those obtained from other soils. The values were indicative of toxicity to growing plants, especially the ones that were not native tropical of which they were generally rater tolerant to Al toxicity.

The equation suitable for prediciting Al saturation percentage in soils under native forest condition with the highest accuracy was "%Al saturation = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w), R^2 = 0.88", under cultivation, with lower predictability was "%Al saturation = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg), R^2 = 0.77", and under both types of land use was "%Al saturation = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC, NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w), R^2 = 0.75" was recommended. According to these equations, predicted Al saturation percentage had, in order from the highest to the lowest, negative correlation with extractable Ca, extractable Na, pH_w and pH_{KCl} in the case of forest soils, with silt content additionally involved for cultivated soils whereas CEC by NH_4OAc having positive correlation when all samples were taken into account.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี สุทธิประการ และ อาจารย์ ดร. ศุภิฌา ธนะจิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง และสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง และอำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงาน ตลอดจนเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวงทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการเดินทางไปพื้นที่ปฏิบัติงาน ขอขอบคุณ คุณนครินทร์ สบประสงค์ และคุณวิทยา จินดาหลวง ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน และให้คำปรึกษาในด้านข้อมูลงานวิจัย ขอขอบพระคุณคุณชัยภัทร คงแก้ว เจ้าหน้าที่ห้องวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติและขอขอบคุณ คุณเฟื่องลดา ธนะโชติที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ดิน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนันทวัฒน์ และคุณแม่ทองเจือ ศรีอำไพ รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังแรงใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วง ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึงปัจจุบัน

ณัฐพล ศรีอำไพ

มิถุนายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	119
สรุป	119
ข้อเสนอแนะ	121
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	122
ภาคผนวก	136
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	155

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ	37
2	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร	41
3	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ป่าไม้	54
4	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร	67
5	พิสัยและค่าเฉลี่ยของอะลูมิเนียมที่สกัดได้และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมตามหน่วยอนุกรมวิธานดินในระดับกลุ่มดินย่อย	107
6	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินในพื้นที่เกษตรกรรม (n = 92)	109
7	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ (n = 41)	113
8	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินทั้งหมด (พื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์) (n = 133)	115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่สกัดได้ อะลูมิเนียมที่สกัดได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ	137
2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่สกัดได้ อะลูมิเนียมที่สกัดได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร	140
3	การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน	148
4	เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	149
5	เกณฑ์การแบ่งสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ	149
6	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	150
7	เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้	153
8	แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit	154

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินในพื้นที่ขุนวางที่เป็นป่าธรรมชาติ แปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-1) (ก) แปลงป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-4) (ข) แปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8) (ค) แปลงป่าดิบเขาสถานีหลัก (KW-14) (ง) และแปลงป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-16) (จ) และพื้นที่อินทนนท์ แปลงป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) (ฉ) และแปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) (ช)	9
2	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ทำนาในพื้นที่ขุนวาง แปลงนาหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-2) (ก) และแปลงนาหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10) (ข)	30
3	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่ขุนวาง แปลงพลับหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-5) (ก) แปลงพลับพื้นที่สถานีหลัก (KW-13) (ข) พื้นที่อินทนนท์ แปลงพลัมหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-2) (ค) แปลงกาแฟและกีวีหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-3) (ง) แปลงสาลี่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-4) (จ) และแปลงองุ่นหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-5) (ฉ)	31
4	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่อินทนนท์ แปลงฝรั่งสตรอเบอรีหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-9) (ก) แปลงท้อและสนปลูกหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-10) (ข) แปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-13) (ค) และแปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-14) (ง)	32
5	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน พื้นที่ขุนวาง แปลงผักหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-6) (ก) แปลงผักหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7) (ข) พื้นที่อินทนนท์ แปลงหญ้าเลี้ยงสัตว์เดิมหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) (ค) และแปลงผักหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) (ง)	33

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6	แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินในโรงเรือนพื้นที่ขุนวาง แปลงปลูกผักและไม้ดอกหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) (ก) แปลงปลูกผักหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10) (ข) แปลงปลูกไม้ดอกพื้นที่สถานีหลัก (KW-11) (ค) แปลงปลูกองุ่นสถานีหลัก (ง) แปลงปลูกผักหน่วยย่อยโป่งน้อย (จ) พื้นที่อินทนนท์ แปลงปลูกไม้ดอก (INT-1) (ฉ) แปลงปลูกสตรอเบอรีสถานีหลัก (INT-6) (ช) แปลงปลูกผักสถานีหลัก (INT-7) (ซ)	34
7	สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ	89
8	ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ	91
9	สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ทำนา	94
10	สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกไม้ผล	95
11	สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกพืชนอกโรงเรือน	96
12	สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรือน	98
13	ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกของดินที่ใช้ทำนา	99
14	ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกไม้ผล	100
15	ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรือน	102
17	การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg), R^2 = 0.77 (n = 92) สำหรับดินที่ใช้ทำการเกษตร	110
18	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ (ค) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ง) ปริมาณอนุภาคดินขนาดทรายแป้ง (จ) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินที่ใช้ทำการเกษตร	111
19	การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w), R^2 = 0.88 (n = 33) สำหรับดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ	113
20	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายดินต่อน้ำ (ข) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ค) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ง) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินป่าธรรมชาติ	114
21	การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC by NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w), R^2 = 0.75 ของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ (n = 133)	116
22	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ (ค) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์(ง) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (จ) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์	118

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระดับอะลูมิเนียมและสมบัติดินที่สูงในพื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

Level of Aluminium and Properties of Highland Soils in Khun Wang and Inthanon Areas, Chiang Mai Province

คำนำ

อะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุโลหะ (metallic element) ที่มีมากที่สุด รองจากออกซิเจนและซิลิกอน โดยมีอยู่ถึงร้อยละ 8 ในเปลือกโลก อะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของแร่เฟลด์สปาร์ ไมกา กิบไซต์ และแร่ดินเหนียว ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ค่อยมีกิจกรรมในดิน ส่วนที่เกิดกิจกรรมของอะลูมิเนียมในดินจะอยู่ตำแหน่งที่มีการแลกเปลี่ยน (exchange site) ของอนุภาคดินเหนียว และส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน (อนุสรณ์, 2530) เคมีของอะลูมิเนียมในสารละลายมีความซับซ้อน และเป็นเรื่องที่ได้มีการศึกษากันมาอย่างมากมาย (Ritchie, 1989; Sposito,1996) โดยเฉพาะในดินเขตร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินกรด มีพัฒนาการค่อนข้างสูง เนื่องจากอะลูมิเนียมจะละลายออกมามากในสภาพกรด ดังนั้นอะลูมิเนียมจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการผลิตพืชของดินในเขตร้อน (Baligar and Fageria, 1997; Poschenrieder *et al*, 2008) ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้รับการยอมรับว่าเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืชในดินกรด (Menzies, 2003) ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดลดลง อะลูมิเนียมที่พบในปริมาณสูงจะมีผลยับยั้งการเจริญของรากพืช ทำให้รากมีลักษณะสั้น แคระ รากแขนงและรากฝอยมีขนาดเล็ก มีผลทำให้การดูดธาตุอาหารและน้ำของพืชลดลง

ผลกระทบของอะลูมิเนียมต่อพืชในขั้นแรกนั้นเกี่ยวกับระบบรากของพืช มีการทดลองศึกษาพบว่า อะลูมิเนียมทำให้การดูดธาตุอาหารของรากฝ้ายผิดปกติหรือปริมาณลดลง เช่น การดูดธาตุฟอสฟอรัสเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ภายในพืชลดลง และจำกัดการดูดธาตุแคลเซียมตลอดจนชะงักการแบ่งเซลล์ของพืช ซึ่งพีเอชดินจะบ่งบอกถึงความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้เช่นกันและยังเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการละลายของอะลูมิเนียม และรูปของอะลูมิเนียมโดยในสภาพกรดจัด ที่ระดับพีเอชต่ำกว่า 4.5 อะลูมิเนียมในรูป Al^{3+} จะละลายออกมามาก และเมื่อพีเอชเพิ่มสูงกว่า 4.5 อะลูมิเนียมจะอยู่ในรูป $Al(OH)_2^+$ จนเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นสูงจนถึง 7 อะลูมิเนียมจะเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซึ่งไม่ละลายน้ำ (London, 1991) โดยที่เมื่อค่าพีเอชอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในพิสัย 4.7-7.0 การละลายได้ของอะลูมิเนียมจะต่ำ (Sparks, 1995) ซึ่งถ้ากล่าวถึงความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดิน จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของของอะลูมิเนียม และสมบัติดินบางประการ ได้แก่ 1) พีเอชของดิน เมื่อพีเอชสูงขึ้น (pH 5.5-8.5) อะลูมิเนียมจะละลายได้น้อยลง 2) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ดินที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง อะลูมิเนียมจะละลายได้น้อย ดินในเขตร้อนชื้น เช่น ดินในอันดับอัลทิซอลส์ (Utisols) และออกซิซอลส์ (Oxisols) แคตไอออนที่เป็นเบสจะถูกชะละลายออกไปจากดิน และถูกแทนที่ด้วยแคตไอออนที่เป็นกรด โดยเฉพาะอะลูมิเนียมไอออน ทำให้อะลูมิเนียมสามารถละลายออกมาได้เพิ่มมากขึ้น 3) อินทรียวัตถุ ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ทำให้การละลายของอะลูมิเนียมลดลง เนื่องจากเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ดิน (Thomas, 1975) 4) ฟอสฟอรัส ปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงนั้นจะมีผลให้อะลูมิเนียมถูกตรึงโดยทำปฏิกิริยากับฟอสเฟต กลายเป็นสารประกอบอะลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งไม่ละลายน้ำ และ 5) ชนิดของแร่ดินเหนียวซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดิน โดยดินที่มีแร่ดินเหนียวสเมกไทต์ (smectite) สูงเมื่อพีเอชดินน้อยกว่า 6.0 จะทำให้เกิดปลดปล่อยอะลูมิเนียม ในขณะที่ดินที่มีแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ (kaolinite) เด่นจะเกิดปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาเมื่อพีเอชดินมีค่าต่ำกว่า 5.5 ปกติแล้ว การแก้ปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมสามารถทำได้โดยการใส่ปูนเพื่อปรับค่าพีเอชให้สูงถึง 5.5 (Pearson, 1975) ขณะที่ Juo (1981) กล่าวว่า การปรับพีเอชดินให้อยู่ระหว่าง 4.7-5.2 ก็น่าจะให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ โดยเฉพาะในพืชบางชนิด ที่อาจจะไม่จำเป็นต้องใส่ปูนเพื่อยกระดับพีเอช ยกตัวอย่างเช่น กาแฟที่ปลูกในดินที่มีค่าพีเอช 3.8 ก็ยังคงให้ผลผลิตสูงอยู่ (Sanchez, 1976) โดยทั่วไป การใส่ปูน ($CaCO_3$) อัตรา 1.65 ตันต่อเฮกตาร์จะสมมูลกับอะลูมิเนียมที่สกัดได้เท่ากับ 1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (Landon, 1991)

ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในระดับที่เป็นพิษต่อพืชแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด จะถูกกระทบจากปริมาณอะลูมิเนียมที่ความเข้มข้นต่างกันไปตามลำดับ นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีผลกระทบทางอ้อมต่อพืช เมื่อมีปริมาณอะลูมิเนียมมากในดินคือจะมีผลทำให้การดูดดึงธาตุอาหารฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์ภายในพืชลดลง ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำให้พีเอชตกตะกอนอยู่ในดิน พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในน้ำยาธาตุอาหารและในดินกรดได้มากน้อยต่างกัน (Nye *et al*., 1961; Evans, 1965; Sanchez, 1976; Bruce, 1986)

จากความสัมพันธ์และปัญหาของอะลูมิเนียมที่กล่าวมาในขั้นต้นนั้น เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้พืชเกิดอาการผิดปกติ ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับอะลูมิเนียมกับสมบัติของดินในที่สูงพื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ จึงน่าจะช่วยทำให้เกิดความเข้าใจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกี่ยวกับเคมีของอะลูมิเนียมในดินซึ่งอาจจะยังไม่ชัดเจนมากนัก เนื่องจากเป็นเรื่องที่ซับซ้อน (Ritchie, 1989; Sposito, 1996; Buol *et al*., 2003) และยังมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะในพื้นที่ทั้งสองแห่ง อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการดินและปุ๋ย และการเลือกพืชพรรณที่เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมภายในดินที่อยู่ภายใต้การใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ กัน ในพื้นที่ขุนวาง และดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

2. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับสมบัติดินต่าง ๆ เพื่อหาสมการที่เหมาะสมสำหรับการทำนายปริมาณการอิ่มตัวของอะลูมิเนียมในดินที่สูง

3. ประเมินระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียมที่มีผลต่อพืชปลูกในพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่สูง (Highland area)

ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่สูง ในประเทศไทยได้มีการกำหนดไว้หลายแนวทางด้วยกัน โดยอาจหมายถึง ภูเขา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 600 เมตรขึ้นไป (ราชบัณฑิตสถาน, 2523) สำหรับกองสำรวจดิน (2529) ให้ความหมายไว้ว่า พื้นที่ภูเขาที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากเป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ส่วนการสัมนาการเกษตรภาคเหนือของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2524) ได้กำหนดให้พื้นที่สูงเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 700 เมตรขึ้นไป เนื่องจากจะเป็นจุดที่ผิวหน้าภูมิประเทศที่มีลักษณะโค้งเว้า (concave) เริ่มเปลี่ยนเป็นโค้งนูน (convex) โดยอิทธิพลของการกร่อนของน้ำ ในขณะที่นักจัดการลุ่มน้ำให้ความหมายของพื้นที่สูงใหม่ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับทะเลตั้งแต่ 800 เมตรขึ้นไป เนื่องจากเป็นช่วงรอยต่อ (transition zone) ของสังคมพืช จากป่าประเภทผลัดใบเป็นป่าประเภทไม่ผลัดใบ (วิชา, 2535)

2. อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นธาตุโลหะซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกมากกว่าร้อยละ 8 เพราะธาตุนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของแร่ปฐมภูมิพวกเฟลด์สปาร์ และไมกา ซึ่งจะสลายตัวกลายมาเป็นแร่ทุติยภูมิจำพวกแร่ดินเหนียวประเภทต่าง ๆ และท้ายที่สุดก็อาจสลายตัวกลายเป็นสารประกอบพวกออกไซด์และไฮดรอกไซด์ เช่น กิบบ์ไซต์ ($Al(OH)_3$) และเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3+Fe_2O_3) เป็นต้น สารประกอบอะลูมิเนียมนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน อะลูมิเนียมส่วนที่เป็นของแข็งนี้ส่วนใหญ่จะเป็นรูปที่เฉื่อย (inert) โดยเป็นโครงสร้างหลักของอนุภาคดินเหนียว ส่วนอะลูมิเนียมที่มีกิจกรรม (active) คือส่วนที่เป็นไอออนซึ่งถูกดูดซับอยู่บนผิวของคอลลอยด์ดิน และส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน (soil solution) ซึ่งเมื่อรวมอะลูมิเนียมทั้งสองส่วนนี้แล้ว พบว่าเป็นเพียงองค์ประกอบส่วนน้อยของอะลูมิเนียมทั้งหมดในดินเท่านั้น อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมที่มีกิจกรรมนี้จะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของดิน (อนุสรณ์, 2530) เป็นสำคัญ เคมีของอะลูมิเนียมในสารละลายมีความซับซ้อน และเป็นเรื่องที่ได้มีการศึกษากันมาอย่างมากมาย (Ritchie, 1989; Sposito,1996) โดยเฉพาะในดินเขตร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินกรด มีพัฒนาการค่อนข้างสูง เนื่องจากอะลูมิเนียมจะละลายออกมามากในสภาพกรด ดังนั้นอะลูมิเนียมจึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการผลิตพืชของดินในเขตร้อน (Baligar and Fageria, 1997; Poschenrieder *et al*., 2008)

2.1 รูปของอะลูมิเนียมไอออนในสารละลายดิน

ในสารละลายดิน อะลูมิเนียมอยู่ในโครงสร้างออกทะฮีดรัล (octahedral structure) เชื่อมกับโมเลกุลของน้ำที่รวมตัวกันและไฮดรอกซิลไอออน (hydroxyl ion) (London, 1991) ในระบบดิน อะลูมิเนียมในรูปสารประกอบจะสูญหายออกไปโดยแอนไอออนที่ทำให้เกิดการตกตะกอน เช่น ฟอสเฟต ซิลิเกต และ ซัลเฟต (Hsu, 1989) ซิลิเกตมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการละลายได้ของอะลูมิเนียม (Wada and Wada, 1980) และการเคลื่อนย้ายผ่านชั้นดิน (Farmer and Fraser, 1982) พีเอชดินเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมรูปและการละลายของอะลูมิเนียมในดิน (ไพบูลย์, 2528; Sparks, 1995) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมและฟอสเฟต (Al-OH-PO_4) เมื่อค่าพีเอชดินอยู่ระหว่าง 4.1-4.8 (Munns, 1965; White *et al*., 1976; Blamey *et al*., 1983) เมื่ออะลูมิเนียมจะเริ่มละลายออกมาเมื่อดินมีพีเอชต่ำกว่า 5 โดยพีเอชที่ต่ำกว่า 4.5 อะลูมิเนียมในรูป Al^{3+} จะละลายออกมามาก และเมื่อพีเอชเพิ่มสูงกว่า 4.5 อะลูมิเนียมจะอยู่รูป $Al(OH)^{2+}$ จนเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นสูงจนถึง 7 อะลูมิเนียมจะเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซึ่งไม่ละลายน้ำ (Landon, 1991) โดยที่เมื่อค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 4.7-7.0 การละลายได้ของอะลูมิเนียมจะต่ำ (Sparks, 1995) โดย อะลูมิเนียมส่วนใหญ่จะจับเป็นสารเชิงซ้อนกับ F^- และ SO_4^{2-} หรือสารอินทรีย์จำพวกสารฮิวมิก และกรดอินทรีย์ Wolt (1981) พบว่า ร้อยละ 2-61 ของอะลูมิเนียมทั้งหมดในสารละลายดินของดินกรดที่ SO_4^{2-} เป็นลิแกนเชิงซ้อนหลักเป็นอะลูมิเนียมอิสระ ส่วน David และ Driscoll (1984) พบว่า ร้อยละ 6-28 ของอะลูมิเนียมทั้งหมดในสารละลายดินปรากฏอยู่ในรูปอะลูมิเนียมอิสระ และอะลูมิเนียมส่วนใหญ่ในสารละลายดินจะจับตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และ F^-

ความสามารถในการละลายของอะลูมิเนียมจะแปรผกผันกับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและปริมาณอินทรียวัตถุ และฟอสฟอรัส (Thomas, 1975) non-hydroxy-Al ที่ไม่แลกเปลี่ยนสามารถลดความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเหนียวและดิน (Rich and Obershain, 1955) อะลูมิเนียมที่จับตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุในดินจะไม่มีการแลกเปลี่ยน (Hargrove and Thomas, 1984) ในกรณีของดินทั่วไป อะลูมิเนียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเข้าไปแทนที่ของไฮโดรเจนจะดูดยึดโดยส่วนที่เป็นดินเหนียวเชิงซ้อน และเกิดการสร้างตัวของสารเชิงซ้อนของไฮโดรเจน-อะลูมิเนียม-ดินเหนียวอย่างรวดเร็ว และอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้อาจเกิดปฏิกิริยากับน้ำทำให้ไฮโดรเจนไอออนถูกปลดปล่อยออกมาในระบบดิน (Tan, 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชดินกับอะลูมิเนียมที่สกัดได้

ค่าพีเอชดินที่ระดับ 4.5-5.8 จะพบอะลูมิเนียมที่สกัดได้มากพอที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และดินมักจะมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำ (Kamprath, 1970) ค่าพีเอชดินที่ระดับ 5.8-6.5 ความเป็นกรดจะปรากฏในรูปของ hydroxy-Al และสารประกอบอินทรีย์ (Tan, 1993) หากพีเอชดินมีค่าต่ำกว่า 4.5 ดินจะมีไฮโดรเจนที่สกัดได้มากกว่าอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (Buol *et al*., 2003)

ค่าพีเอชดินมีบทบาทสำคัญต่อการจัดการควบคุมปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ ในสารละลายดิน อะลูมิเนียมที่สกัดได้เริ่มละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินเมื่อค่าพีเอชดินเริ่มลดลงต่ำกว่า 6.0 (Sparks, 1995) แต่ยังคงมีปริมาณไม่มากนัก จนกระทั่งค่าพีเอชดินลดลงต่ำกว่า 5.5 ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นจนเกิดผลเสียต่อพืชปลูกได้ โดยที่พีเอชกับอะลูมิเนียมที่สกัดได้นั้นมีความสัมพันธ์ในทางลบ การที่มีอะลูมิเนียมที่สกัดได้สูงในดินกรดจัดในระยะแรก ๆ นั้นน่าจะเกิดขึ้นจากการที่ดินเป็นกรดมากขึ้น ทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก็จะไปละลายสารประกอบอะลูมิเนียมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่แร่ดินเหนียว ทำให้เกิดการปลดปล่อยอะลูมิเนียมที่สกัดได้ออกมา และเมื่อมีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ อะลูมิเนียมที่สกัดได้ก็อาจเป็นตัวควบคุมค่าพีเอชของดินได้ (อนุสรณ์, 2530; Gillman, 1991)

Hye *et al*. (1961) พบว่า หากดินมีการอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม(Al saturation) มากกว่าร้อยละ 60 ก็จะพบอะลูมิเนียมไอออนอยู่ในสารละลายดิน อย่างไรก็ดีถ้าปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น (อาจเป็นกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยมากเกินไป) ปริมาณอะลูมิเนียมในสารละลายดินจะเพิ่มมากขึ้น อะลูมิเนียมที่สกัดได้ จะตกตะกอนที่ค่าพีเอชดินระหว่าง 5.5-6.0 ดังนั้นเมื่อค่าพีเอชดินสูงขึ้นก็จะไม่พบอะลูมิเนียมที่สกัดได้ หรือพบในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งจากการทดลองของกิตตินันท์ (2529) พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ในแต่ละตำรับการทดลองระหว่างที่ได้รับปุ๋ยหินฟอสเฟต และกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต ในตำรับที่ไม่ได้รับการใส่ปูนซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายคลึงกัน และมีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย สำหรับตำรับที่ได้รับการใส่ปูนเพื่อยกระดับของค่าพีเอชเป็น 5.4, 6.4 และ 7.1 ปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายได้ของทั้ง 2 กลุ่มจะมีปริมาณอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรดที่สกัดได้ กับอะลูมิเนียมที่สกัดได้

ปริมาณสภาพกรดแลกเปลี่ยนได้เป็นผลรวมของปริมาณ H^+ กับ Al^{3+} (Thomas, 1982) ซึ่งอยู่บริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน และมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความอิ่มตัวเบส และค่าพีเอช (Landon, 1991) ในเขตชื้น สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการชะละลายและการผุพังอยู่กับที่เกิดรุนแรงขึ้น (Buol *et al*., 2003) อย่างไรก็ตามสัดส่วนของไฮโดรเจนไอออนและอะลูมิเนียมไอออนจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอชดินที่เปลี่ยนแปลงอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (Landon, 1991)

3. ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (aluminium toxicity)

อะลูมิเนียมจะไม่ปรากฏในรูปที่สกัดได้เมื่อดินมีค่าพีเอชสูงกว่า 5.5 (Landon, 1991) ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมที่จะเป็นพิษต่อพืชจึงดำเนินการเฉพาะในดินที่เป็นกรดมาก ๆ เท่านั้น การวินิจฉัยดินที่มีความเป็นพิษของอะลูมิเนียมโดยการตรวจวัดค่าพีเอช อะลูมินียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนายความเป็นพิษของอะลูมิเนียม ถึงแม้ว่าค่าวิกฤตที่มีอยู่ได้มาจากวิธีการศึกษาเฉพาะพืชและในดินที่เฉพาะเจาะจงก็ตาม แต่ก็สามารถใช้ในการทำนายการแสดงออกของพืชได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ก็ประสบปัญหาเมื่อนำไปใช้กับพืชอื่นที่เฉพาะเจาะจงเช่นเดียวกับดินอื่นที่มีความแตกต่างกัน โดยอะลูมิเนียมที่ละลายออกมามากก็จะส่งผลเป็นพิษต่อพืชบางชนิดได้ (Menzies, 2003)

ในปัจจุบันยังไม่ปรากฏระดับวิกฤตของอะลูมิเนียมที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในหมู่นักวิชาการ แต่ระดับอะลูมิเนียมที่สกัดได้ 2-3 เซนติโมลต่อกิโลกรัมน่าจะมากเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตของพืชหลาย ๆ ชนิด (Chapman, 1965) ส่วนเมื่อใช้ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม Adam (1984) และ Kamprath (1984) ทำการรวบรวมข้อมูลแล้วเพื่อกำหนดระดับวิกฤตของร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม โดยค่าในพิสัย 0-25 ใช้เป็นข้อจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ซึ่งขึ้นอยู่ว่าเป็นดินประเภทใด Bruce (1986) รวบรวมข้อมูลในลักษณะเดียวกันและกำหนดค่าระหว่างร้อยละ 5-70 เป็นค่าวิกฤตสำหรับข้าวโพดขึ้นอยู่กับชนิดของดินเช่นเดียวกัน หากค่านี้อยู่ระหว่างร้อยละ 30-60 มีเพียงพืชที่อ่อนไหวต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบ ร้อยละ 60-85 มักเกิดอาการเป็นพิษโดยทั่วไป (Nye *et al*., 1961) ยกเว้นอ้อยที่ต้านทานที่ระดับร้อยละ 60 (Evans, 1965) หากค่านี้สูงกว่าร้อยละ 85 จะมีเพียงบางพืช อาทิเช่น ชา กาแฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยางพารา มันสำปะหลัง สับปะรด หญ้าเขตร้อนบางชนิด และถั่วต่าง ๆ ที่ต้านทานปริมาณการอิ่มตัวของอะลูมิเนียมในระดับนี้ (Sanchez, 1976)

ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดลดลง อะลูมิเนียมจะละลายได้ดีเมื่อดินเป็นกรด ซึ่งในดินเขตร้อน อะลูมิเนียมเป็นพิษเป็นปัญหาหลักที่มีผลต่อการผลิตพืช อย่างไรก็ตาม สมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมนั้นค่อนข้างซับซ้อนและยังไม่มีความกระจ่างมากนัก โดยเฉพาะในดินที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 5.0 ปริมาณอะลูมิเนียมที่สูงจะมีผลยับยั้งการเจริญของรากพืช ทำให้รากมีลักษณะสั้น แคระ รากแขนงและรากฝอยมีขนาดเล็ก ซึ่งจะมีผลทำให้การดูดธาตุอาหารและน้ำของพืชลดลง นอกจากนั้นอะลูมิเนียม ยังมีผลต่อการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์ DNA รวมทั้งการยืดตัวของเซลล์อีกด้วย (Foy, 1984; Marschner, 1991)

การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า อะลูมิเนียมทำให้การดูดธาตุอาหารของรากฝ้ายผิดปกติหรือปริมาณลดลง เช่น การดูดธาตุฟอสฟอรัสเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ภายในพืชลดลง และจำกัดการดูดธาตุแคลเซียม (Jackson, 1967) ตลอดจนการชะงักการแบ่งเซลล์ของพืช ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของ Al^{3+} เท่ากับ 30 ไมโครโมล รากของไม้จำพวกถั่ว (clover) จะหยุดการยืดขยาย (Wood *et al*., 1984) หากมีความเข้มข้นเพียง 10 ไมโครโมลพืชก็จะไม่สร้างขนที่ราก หรือระหว่าง 2.5-12 ไมโครโมลการสร้างขนรากก็จะถูกจำกัด (Hecht-Bucholz *et al*., 1990) Cate and Sukhai (1964) พบว่า ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมเพียง 1 หรือ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้การเจริญเติบโตของข้าวชะงักได้ อาการที่ต้นข้าวแสดงออกเนื่องจากความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้แก่ ใบข้าวมีสีเหลืองระหว่างเส้นกลางใบ (vein) และใบมีเส้นขีดสีเหลือง (yellow streak)

อะลูมิเนียมที่ละลายได้เป็นธาตุที่พบมากในดินเปรี้ยวจัดเนื่องจากเป็นดินที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 4.5 อะลูมิเนียมสามารถละลายออกมาได้มาก ซึ่งธาตุนี้จะเป็นพิษต่อพืชได้แม้มีปริมาณเล็กน้อยเพียง 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอะลูมิเนียมจะถูกดูดไปสะสมในเนื้อเยื่อของรากพืช และก็จะยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ทำให้รากพืชไม่สามารถงอกยาวเพิ่มขึ้น

อะลูมิเนียมที่ละลายได้ที่มีความเข้มข้นสูงมักพบว่า เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งในดินกรดจัด (Breemen and Pons, 1978) เมื่อระยะเวลาขังน้ำนานขึ้นปริมาณของอะลูมิเนียมที่ละลายได้จะมีค่าลดลง ซึ่ง IRRI (1981) รายงานว่า ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะหายไปหลังจากทำการขังน้ำเป็นระยะเวลา 2-3 สัปดาห์ เนื่องจากดินที่มีค่าพีเอชสูงขึ้น นอกจากนั้น ปริมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กในดิน โดยที่ปริมาณเหล็กจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินหลังจากดินอยู่ในสภาพขังน้ำนานขึ้น เพราะการละลายออกมาของเหล็กมีผลทำให้ดินมีค่าพีเอชสูงขึ้น ซึ่งก็จะทำให้อะลูมิเนียมละลายออกมาได้น้อยลง

ดินที่มีระดับพีเอช 3.5 จะมีอะลูมิเนียมที่ละลายได้สูงถึง 69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ โดยที่อะลูมิเนียมมักจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นในระยะแรก ๆ ของการขังน้ำ ดังนั้นจึงอาจเป็นอันตรายต่อกล้าข้าวที่ปลูกได้ Rorison (1972) พบว่า ในดินนาที่มีค่าพีเอชระหว่าง 3.5-4.0 มีปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้อยู่ประมาณ 0.05-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งก็จะเป็นอันตรายต่อกล้าข้าวที่ปลูก และความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้กล้าข้าวที่มีอายุประมาณ 4 สัปดาห์ แสดงอาการได้รับพิษจากอะลูมิเนียม

3.1 ความสัมพันธ์ของธาตุอื่นกับความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

ระดับอะลูมิเนียมยังมีผลกระทบทางอ้อมต่อพืช เมื่อมีปริมาณอะลูมิเนียมในดินมาก ก็จะมีผลทำให้การดูดดึงธาตุฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์ภายในพืชลดลง ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมแล้วตกตะกอนอยู่ในดิน พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในน้ำยาธาตุอาหารและในดินกรดได้มากน้อยต่างกันขึ้นกับความสามารถของพืชที่จะดูดดึงและนำธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ภายในพืชในขณะที่ดินมีปริมาณอะลูมิเนียมสูง (Foy and Brown, 1963) หรือความสามารถของพืชในการทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสในขณะนั้นว่าจะมีปริมาณมากหรือน้อยเท่าใด

ในดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด ธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก และ แมงกานีส จะละลายน้ำออกมาได้มาก มักพบอาการเป็นพิษของธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก และ แมงกานีส ตัวอย่างเช่น พืชที่รับธาตุอะลูมิเนียมมากเกินไป การแบ่งตัวของเซลล์จะถูกยับยั้ง อะลูมิเนียมยังไปยับยั้งการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับผนังเซลล์ ทำให้รากไม่ขยายการเจริญเติบโต ในส่วนของธาตุแมงกานีส ก็จะทำให้รากมีสีน้ำตาล ใบแก่เป็นรอยด่าง ขอบใบมีสีขาวซีด (chlorosis) พืชบางชนิดอาจจะมีสีขาวระหว่างเส้นแขนงใบ ในดินกรดจัดที่อยู่ในสภาพน้ำขัง (Tanaka and Navasero, 1966)

3.2 ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมต่อพืช

Poschenrieder *et al*. (2008) พบว่า ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินล่างจะไปยับยั้งการเจริญของราก ความเสียหายต่อรากขนาดเล็กที่เกิดจากเมล็ดมีสาเหตุมาจากปริมาณของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อะลูมิเนียมที่มีมากในสารละลายที่ใช้เพาะเลี้ยง หากมีอะลูมิเนียมในปริมาณ 5.5 ไมโครโมลต่อลิตร และแมงกานีส 5.0 ไมโครโมลต่อลิตร จะพบการขยายของรากยังอยู่ในระดับปกติ เมื่อปริมาณอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นเป็น 11 ไมโครโมลต่อลิตร และแมงกานีส 5 ไมโครโมลต่อลิตร ก็จะส่งผลเฉพาะบริเวณปลายรากพืช แต่การขยายของรากยังปกติอยู่ และเมื่อสารละลายมีปริมาณอะลูมิเนียม 11 ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนแมงกานีสเพิ่มขึ้นเป็น 10 ไมโครโมลต่อลิตร ก็จะเกิดการขัดขวางการขยายของราก จะเห็นได้ว่าปริมาณอะลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยในสารละลายดินก็อาจสร้างความเสียหายให้กับรากพืชได้

Brenes and Pearson (1973) พบว่า การเจริญเติบโตของรากข้าวโพดจะได้รับผลกระทบเมื่อสารละลายดินมีความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเกินร้อยละ 60 สำหรับดินอัลทิซอลส์ (Ultisols) และเกินร้อยละ 70 ในดินออกซิซอลส์ (Oxisols) ส่วนข้าวฟ่างจะได้รับผลกระทบอย่างมาก เมื่อความอิ่มตัวอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินสูงประมาณร้อยละ 85-90 ลัดดาวรรณ (2528) ทำการทดสอบใส่อะลูมิเนียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว พบว่า ผลผลิตของข้าวจะลดลงเมื่อดินมีปริมาณอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น การไม่ใส่อะลูมิเนียมเลยจะให้ผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 34.5 กรัมต่อกอ เมื่อใส่อะลูมิเนียมในอัตรา 5, 10 และ 15 เซนติโมลต่อกิโลกรัมดิน จะให้ผลผลิตลดลงเป็น 26.8, 10.4 และ 3.0 กรัมต่อกอตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวเปรียบเทียบระหว่างการไม่ใส่อะลูมิเนียมกับที่ใส่ในอัตรา 5 เซนติโมลต่อกิโกรัมดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่อะลูมิเนียมในอัตรา 10 และ 15 เซนติโมลต่อกิโกรัมดิน ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่และที่ใส่ในอัตรา 5 เซนติโมลต่อกิโลกรัมดิน แสดงให้เห็นว่า การใส่อะลูมิเนียมในดินที่ระดับตั้งแต่ 10 เซนติโมลต่อกิโลกรัมขึ้นไปจึงจะเป็นพิษต่อข้าว

4. สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

4.1 ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง

ตั้งอยู่ที่บ้านขุนวาง หมู่ที่ 12 ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด E 449864 เมตร N 2058724 เมตร ระวาง 4746 III มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางเฉลี่ย 1,220 เมตร มีพื้นที่รับผิดชอบ 46.88 ตร.กม. หรือ 29,302.90 ไร่ มีหมู่บ้านรับผิดชอบ 7 หมู่บ้าน และมีระยะทางจากตัวจังหวัดเชียงใหม่ถึงศูนย์ฯ 85 กม. ใช้เวลาในการเดินทางประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะพื้นที่

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่สูง มีที่ราบระหว่างภูเขาเล็กน้อยตามแนวลำห้วยและแม่น้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 และพื้นที่ลูกคลื่นลอนชันมีความลาดชันระหว่างร้อยละ 8-16 อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง 700-1,800 เมตร ความสูงของยอดเขาและสภาพพื้นที่จะค่อย ๆ ลดลงไปทางทิศตะวันออก ในขณะที่ทางทิศตะวันตกจะมีความลาดชันมากกว่า

ลักษณะดิน

ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นพวกวัตถุสลายตัวอยู่กับที่ของหินหรือเศษหินเชิงเขา ดินส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดิน Reddish Brown Lateritic ซึ่งมีต้นกำเนิดจากหินแกรนิต ลักษณะของดินจะร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างดี มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ดินส่วนใหญ่เป็นกรดอ่อน มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 5.5-6.0 กรมพัฒนาที่ดิน (2525) ได้แบ่งดินในพื้นที่ขุนวางไว้ ดังนี้

1) กลุ่มดินที่เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีหรือดีปานกลาง เป็นดินเนื้อปานกลางหรือค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบในพื้นที่ลาดชันเล็กน้อยถึงลาดชันมาก เหมาะสมสำหรับการจัดการให้เป็นพื้นที่เพาะปลูกอย่างถาวร โดยพื้นที่ค่อนข้างราบมีการทำนา แต่สำหรับพื้นที่ที่สูงขึ้นไปใช้ในการปลูกพืชไร่หรือไม้ผล พื้นที่ดินลักษณะนี้จะพบบริเวณที่ราบตามหุบเขา

2) กลุ่มดินที่เป็นดินที่ตื้นมาก ระบายน้ำดี หรือดีปานกลาง จะพบชั้นหินเศษหิน หรือศิลาแลงภายในความลึก 50 เซนติเมตร พบมากในพื้นที่ลาดชันปานกลางถึงลาดชันมาก โดยทั่วไปใช้เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือเป็นพื้นที่ป่าไม้

3) กลุ่มดินเป็นดินที่ตื้นถึงลึกเป็นบางแห่ง ระบายน้ำดีถึงดีเกินไป พบในพื้นที่ลาดชันมากๆ เป็นพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ต้นน้ำลำธาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพภูมิอากาศ

พื้นที่จำแนกอยู่ในลักษณะภูมิอากาศในเขตโซนร้อน แบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู โดยได้รับอิทธิพลจาก ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเอาความชุ่มชื้นเข้าสู่พื้นที่ ทำให้ฝนตกในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ในช่วงเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีผลให้อากาศหนาวเย็น อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 19.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 22.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 16.3 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 2,137.6 มิลลิเมตร และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปี ร้อยละ 72.9

พืชพรรณธรรมชาติ

ลักษณะทางพืชพรรณในพื้นที่ตามพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยจัดการต้นน้ำขุนวาง จำแนกตามส่วนประกอบของพันธุ์ไม้และสภาพความสูงของพื้นที่ พบว่า มีประเภทของป่าอยู่ 5 แบบ (อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์, 2552) คือ

1) ป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) พบอยู่ในพื้นที่สูงกว่าระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป มีอากาศเย็น พรรณไม้ที่พบ คือ ก่อเดือย ก่อตาหมู ก่อแป้น ทะโล้ และยมหอม ไม้พื้นล่างจะพบเฟิร์น กล้วยไม้ดิน และมอส

2) ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) พบตามที่ราบหุบเขาและไหล่เขา มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางไม่เกิน 1,000 เมตร พรรณไม้ที่พบคือ ไม้ตระกูลยาง ยางขาว ตะแบก มะค่าโมง ตะเคียนทอง สมพง กะบก ส่วนไม้พื้นล่าง เป็นพวกเถาวัลย์ เฟิร์น กาฝาก และกล้วยไม้

ในอดีตป่าไม้ธรรมชาติได้ถูกทำลายไปเพื่อเปลี่ยนไปทำไร่เลื่อนลอย เพื่อปลูกฝิ่น และข้าวไร่ โดยทิ้งพื้นที่เก่าไว้และหมุนเวียนสำหรับการทำไร่ และในปัจจุบันยังมีการลักลอบตัดไม้ บุกรุกป่าเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและที่ดินทำกิน และมีการใช้พื้นที่เพื่อทำการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) ดังนี้

การใช้ประโยชน์ที่ดิน

1) ที่ลุ่ม ใช้ในการทำนา ปลูกข้าวนาดำโดยใช้พันธุ์ข้าวพื้นเมือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ที่ดอน ใช้ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ อาทิ ไม้ยืนต้น เช่น ชา กาแฟ ไม้ผล เช่น พลับ พลัม ท้อ บ๊วย องุ่น สตรอเบอรี่ ท้อ แอบเปิ้ล สาลี่ และเสาวรส ไม้ดอกไม้ประดับ เช่น เฟิร์น ลินิน คาร์เนชั่น และเบญจมาศ พืชผัก เช่น ซุกินี เฟนเนล กะหล่ำปลี กะหล่ำดาว หอมญี่ปุ่น กระเทียมต้น ผักกาดหอมห่อ แตงกวาญี่ปุ่น ฟักทองญี่ปุ่น ถั่วลันเตา ผักกาดหอมใบแดง และพริกยักษ์เขียว เหลือง และแดง เป็นต้น

ผลผลิตทางการเกษตร

พืชผัก ส่งเสริมให้แก่เกษตรกรทั้งหมด 103 ราย พื้นที่ปลูก 248 ไร่ ได้แก่ หอมญี่ปุ่น ผักกาดหวาน กะหล่ำปลีแดง พริกหวานเขียว พริกหวานเหลือง พริกหวานแดง มะเขือเทศเชอรี่ ถั่วลันเตาหวาน บร๊อคโคลี่ และเฟนเนล

ไม้ผล 6 ชนิด ได้แก่ พีช พลับ สาลี่ บ๊วย กีวี่และองุ่น พื้นที่ปลูกทั้งหมด 109.80 ไร่ เกษตรกรได้รับการส่งเสริม จำนวน 51 ราย

ชาจีน พันธ์ที่ส่งเสริม ได้แก่ พันธุ์หย่วนจืออู่หลง และชาพันธุ์เบอร์ 12 เกษตรกรได้รับการส่งเสริม จำนวน 26 ราย พื้นที่ 36 ไร่

ไม้ดอก ได้แก่ เบญจมาศ, คาร์เนชั่น, และไม้ตัดใบแฟล์กซ์สี เกษตรกรได้รับการส่งเสริม 71 ราย

4.2 สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

ขนาดและที่ตั้ง

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ซึ่งตั้งอยู่ในท้องที่อำเภอจอมทอง อำเภอแม่แจ่ม และอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 18 องศา 24 ลิปดา 00 พิลิปดาเหนือ ถึง 18 องศา 40 ลิปดา 00 พิลิปดาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 98 องศา 24 ลิปดา 00 พิลิปดาตะวันออกถึง 98 องศา 41 ลิปดา 00 พิลิปดาตะวันออก รวมเนื้อที่อุทยานแห่งชาติแล้วประมาณ 301,500ไร่ หรือ 482.4 ตารางกิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะพื้นที่

สภาพภูมิประเทศประกอบด้วยภูเขาสูงสลับซับซ้อน เป็นส่วนหนึ่งของแนวเขตเทือกเขาถนนธงชัยที่ทอดตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ทอดตัวมาจากเทือกเขาหิมาลัยในประเทศเนปาล ที่มีความลาดชันตั้งแต่ร้อยละ10-60 มีระดับความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 400-2,565 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง โดยจุดสูงสุดอยู่ที่ยอดดอยอินทนนท์ ซึ่งเป็นจุดที่สูงสุดในประเทศไทย ยอดเขาที่มีระดับสูงรองลงมา คือ ยอดดอยหัวหมดหลวง สูง 2,330 เมตร ยอดดอยหัวหมดน้อย สูง 1,900 เมตร ยอดดอยหัวเสือ สูง 1,881 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง พื้นที่ตั้งอยู่ในเขตตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีแนวเขาทอดตัวไปในแนวสันปันน้ำที่แบ่งพื้นที่ออกเป็นสองทิศทาง โดยทางทิศตะวันออกจะผันน้ำสู่แม่น้ำปิง และทิศตะวันตกลงสู่น้ำแม่แจ่ม ราษฎรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชาวไทยภูเขาเผ่ากระเหรี่ยง และเผ่าม้งเป็นบางส่วนที่บุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อทำไร่เลื่อนลอย ปลูกข้าวไร่ ข้าวโพด และฝิ่นจนพื้นที่กลายสภาพเป็นป่าเสื่อมโทรม พื้นที่ส่วนใหญ่ของอุทยานจะอยู่เขตอำเภอจอมทอง โดยมีอาณาเขตดังนี้

ทิศเหนือ อยู่ในเขตตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม และตำบลแม่วิน ตำบลทุ่งปี้ อำเภอแม่วาง

ทิศใต้ อยู่ในเขตตำบลบ้านหลวง และตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง

ทิศตะวันออกอยู่ในเขตตำบลสองแคว ตำบลยางคราม และตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง

ทิศตะวันตกอยู่ในเขตตำบลแม่นาจร ตำบลช่างเคิ่ง และตำบลท่าผา อำเภอแม่แจ่ม

ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีของอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์โดยทั่วไป ประกอบด้วยหินที่มีอายุตั้งแต่ยุคแคมเบรียนขึ้นไป และหินส่วนใหญ่จะเป็นหินไนส์และหินแกรนิต ส่วนหินชนิดอื่น ๆ ที่พบจะเป็นหินยุคออร์โดวิเชียนซึ่งได้แก่หินปูน จนถึงยุคเทอร์เชียรี่ได้แก่หินกรวดมน อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธารที่สำคัญของแม่น้ำปิง ให้กำเนิดแม่น้ำลำธารหลายสาย ที่สำคัญได้แก่ ลำน้ำแม่วาง ลำน้ำแม่กลาง ลำน้ำแม่ยะ ลำน้ำแม่หอย ลำน้ำแม่แจ่ม และลำน้ำแม่เตี๊ยะ ซึ่งลำน้ำเหล่านี้จะไหลผ่านและหล่อเลี้ยงชุมชนต่าง ๆ ในเขตอำเภอจอมทอง อำเภอแม่แจ่ม อำเภอฮอด อำเภอแม่วาง และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ แล้วไหลลงสู่แม่น้ำปิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพภูมิประเทศที่ศึกษาอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่เป็นแบบเทือกเขาสูงในทวีปภาคเหนือและตะวันตก (North and West Continental Highlands) (Moormann and Rojanasoonthon, 1972) ภูมิประเทศทั่วไปของภาคนี้ เกิดจากอิทธพลการคดโค้งของหินซึ่งเชื่อมโยงจากเทือกเขาหิมาลัย และมีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาเกิดแรงบีบอัดในแนวตะวันออกและตะวันตก ทำให้พื้นแผ่นดินโก่งงอกลายเป็นสันสูง คือ ภูเขาและเทือกเขาในแนวเหนือใต้ระหว่างแนวเทือกเขาเหล่านี้มีที่ราบระหว่างภูเขา (intermountane basin) ซึ่งเรียกว่า แอ่งเชียงใหม่

ลักษณะดิน

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ ธรณีสัณฐานวิทยา ชีวภาพ อุณหภูมิ ความชื้น ดินในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์จึงมีสภาพที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพของภูมิประเทศ ชนิดของหินที่สลายตัวผุพังให้กำเนิดดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินไนส์ (gneiss) หินแกรนิต (granite) หินควอร์ตไซต์ (quartzite) ซึ่งจะให้กำเนิดดินที่มีสมบัติไม่ค่อยดีนัก (ปิยฉัตร, 2536) สภาพของภูมิอากาศ ชนิดของป่าและพืชพรรณไม้ที่ขึ้นอยู่ซึ่งก็มีบทบาทอย่างมากในการกำหนดลักษณะและคุณภาพของดิน

เสวียน (2538) ได้ทำการศึกษาสมบัติของดินในสภาพป่าชนิดต่าง ๆ ที่พบบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ไว้ดังนี้

1) ดินป่าเต็งรัง

ป่าเต็งรัง (Dry dipterocarp forest) ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์อาจจำแนกออกได้เป็นหลายชนิดย่อย (sub-types) ตามลักษณะของสังคมพืชไม้ชนิดเด่นที่ขึ้นอยู่ เช่น ป่าไม้เต็ง ป่าไม้รัง ป่าไม้ก่อผสมไม้เต็งไม้รัง (Dry Oak-dipterocarp forest) ป่าไม้พลวง ป่าไม้เหียง และสมบัติของดินในป่าเหล่านี้ก็จะแตกต่างกันออกไปบ้าง ป่าเต็งรังในพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์จะพบตั้งแต่ชายขอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านลาดทางทิศตะวันออกของพื้นที่อุทยาน ขึ้นไปจนถึงพื้นที่ที่มีระดับความสูงประมาณ 700 เมตร หรือครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 52 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 11 ของพื้นที่อุทยานทั้งหมด (ปิยฉัตร, 2536)

สภาพของดินในป่าเต็งรังโดยทั่วไปจะมีลักษณะของดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ คือ หน้าดินจะตื้น มีความลึกของชั้น A จะอยู่ระหว่าง 3-8 เซนติเมตร ดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินปน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรวดและลูกรังสีแดง (laterite) จะมีปริมาณกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ในหน้าดินสูงถึงร้อยละ 50 เนื้อดินจะมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) และเนื้อดินบางส่วนจะเกาะตัวกันแน่นทำให้ดินมีการระบายน้ำช้า หรือในบางแห่ง เช่น ป่าเต็งรังชนิดที่มีไม้เหียง-ไม้พลวงเป็นไม่เด่นจะมีทรายปนอยู่สูงทำให้มีลักษณะของดินทราย ไม่อุ้มน้ำทำให้เกิดความแห้งแล้งในฤดูแล้ง ปริมาณอินทรียวัตถุ สะสมจะอยู่ระหว่าง 4-26 ตันต่อไร่ และดินจะมีพีเอชเป็นกรด มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-6.0

2) ดินป่าเบญจพรรณ

ป่าเบญจพรรณ (Mixed deciduous forest) จะพบมากทางด้านลาดทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอุทยานที่ระดับความสูงไม่เกิน 700 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 181 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 38 ของพื้นที่อุทยานทั้งหมด (ปิยฉัตร, 2536) ดินในป่าเบญจพรรณส่วนใหญ่แล้วจะเป็นดินในกลุ่มดินหลัก Red Yellow Podzolic หรือ Oxic Paleustults ในระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนของลำน้ำเก่า และการสลายตัวผุพังของหินตะกอน ดินจะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร หน้าดินตื้น มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลางเพราะเนื้อดินเป็นดินร่วน และมีกรวดทรายปนอยู่มากบนผิวดิน เป็นดินที่ง่ายต่อการกร่อนดิน ดินชนิดนี้จะพบได้ทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลุ่มต่ำของลุ่มน้ำต่าง ๆ ภายในพื้นที่ของอุทยาน

3) ดินป่าสนเขา และดินป่าสนผสมไม้ก่อ

ป่าสนเขา (Pine forest) และป่าสนเขาผสมไม้ก่อ (Pine-Oak forest) เป็นป่าที่พบที่ระดับความสูงตั้งแต่ 700-1,000 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลางโดยมีไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya*) เป็นไม้เด่น สภาพดินโดยทั่วไปในป่าทั้งสามชนิดจะมีความคล้ายคลึงกันมากและจะแตกต่างกันในรายละเอียดไปบ้างตามลักษณะของสังคมพืชที่ขึ้นอยู่ ดินจะเป็นดินของป่าดิบเขาเดิมคือ เป็นดินที่มีสีน้ำตาลแดง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินหลัก Reddish Brown Lateritic หรือ Orthoxic Palehumults ในระบบอนุกรมวิธานดิน ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินแกรนิต หินไนส์ และหินควอร์ตไซต์ เป็นดินค่อนข้างลึก (ลึกมากกว่า 75 เซนติเมตร) มีพัฒนาการของชั้นดินสมบูรณ์ เนื้อดินจะร่วนซุยและมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างดี มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ดินมีพีเอชเป็นกรดอ่อน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.6-6.0 ดินชนิดนี้มีความสามารถในการระบายน้ำปานกลาง (เสวียน, 2538) ทั้งนี้เนื่องจากมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงร่วนเหนียว อุ้มน้ำได้ดี อย่างไรก็ตาม ดินชนิดนี้จะเป็นดินที่เกิดการกร่อนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าขาดพืชปกคลุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) ดินป่าดิบเขา

ป่าดิบเขา (Montane forest) ในพื้นที่อุทยาน จะพบตั้งแต่ที่ระดับความสูง 1,000 เมตร จากระดับทะเลปานกลางขึ้นไปจนถึงยอดดอยอินทนนท์ ที่ระดับความสูง 2,565 เมตรครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 67 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 14 ของพื้นที่อุทยานทั้งหมด (ปิยฉัตร, 2536) สภาพของดินบริเวณป่าดิบเขาโดยทั่วไปจะเป็นดินที่มีสีน้ำตาลแดงถึงส้ม อยู่ในกลุ่มดินหลัก Reddish Brown Lateritic หรือ Orthoxic Palehumults ในระบบอนุกรมวิธานดิน ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินแกรนิต หินไนส์ และหินควอร์ตไซต์ ดินมีพัฒนาการดี เป็นดินค่อนข้างลึกและมีพัฒนาการของชั้นดินสมบูรณ์ เนื้อดินเป็นดินร่วนและมีความอุดมสมบูรณ์สูงเนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ผิวดินปกคลุมด้วยซากพืช (litter) และชั้นของฮิวมัส (humus) หนา ผิวหน้าดินจะมีสีค่อนข้างดำและลึกกว่า 5 เซนติเมตร ดินมีค่าพีเอชเป็นกรดปานกลาง มีค่าสูงกว่า 5.4 เนื้อดินไม่มีก้อนกรวดปน หรือมีน้อยมาก เนื้อดินเป็นดินร่วน สีน้ำตาลแดง มีการระบายน้ำและระบายอากาศค่อนข้างดี เป็นดินที่เกิดการกร่อนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าขาดพืชปกคลุม ทั้งนี้เพราะอนุภาคของเม็ดดินมักจะเกาะตัวกันอยู่อย่างหลวม ๆ

5) ดินในพื้นที่การเกษตร

นอกจากป่าชนิดต่าง ๆ ในบริเวณที่ราบและหุบเขาในพื้นที่อุทยาน ส่วนใหญ่จะมีการทำการเกษตรกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณตอนกลางของพื้นที่อุทยานฯ รวมเป็นพื้นที่ประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 3 ของพื้นที่อุทยานทั้งหมด (ปิยฉัตร, 2536) ลักษณะของดินเป็นดินตะกอนน้ำพา (alluvial soil) ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) จนถึงปัจจุบัน ซึ่งชาวไทยภูเขาจะใช้ในการทำนาแบบขั้นบันได และใช้ปลูกพืชไร่ชนิดต่างกัน

ลักษณะภูมิอากาศ

ตามระบบของคอปเปน (Köppen) จัดอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบกึ่งร้อนชื้น (humid subtropical climate: Cwa) (Köppen, 1931) ซึ่งมีอากาศหนาวเย็นเกือบทั้งปี โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และพายุโซนร้อนจากมหาสมุทรแปซิฟิกอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเริ่มพัดผ่านตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม มวลอากาศจะนำความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาทำให้เกิดฝนตกขึ้น ฝนจะตกหนักมากที่สุดในเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ส่วนอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีแหล่งกำเนิดที่ขั้วโลกเหนือ เคลื่อนที่มาจากทิศใต้ผ่านไซบีเรียและแผ่นดินใหญ่ของจีน จะพัดผ่าน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ในช่วงระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ นำเอามวลอากาศเย็นเข้ามาก่อให้เกิดฤดูหนาวขึ้น ซึ่งจะทำให้อากาศเย็นและแห้ง ต่อจากนั้นมวลอากาศดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นลมร้อนในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งจะทำให้อากาศโดยทั่วไปร้อนและแห้งแล้ง (EGAT, 1980)

1) ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลภูมิอากาศ บริเวณดอยอินทนนท์มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,344.1 ถึง 2,193.7 มิลลิเมตรต่อปี สถานีที่มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด คือ สถานีเรดาห์กองทัพอากาศไทย มีปริมาณน้ำฝน 2,193.7 มิลลิเมตรต่อปี เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด คือ เดือนสิงหาคม มีปริมาณน้ำฝน 426.1 มิลลิเมตร เดือนที่ฝนตกน้อยที่สุด คือ เดือนมกราคม มีปริมาณน้ำฝน 0.5 มิลลิเมตร สถานีแม่ยะน้อย มีปริมาณน้ำฝน 1,529.5 มิลลิเมตรต่อปี สถานีเกษตรที่สูงแม่จรหลวง มีปริมาณน้ำฝน 1,912.8 มิลลิเมตรต่อปี และสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ มีปริมาณน้ำฝน 1,703.1 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนสถานีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด คือ สถานีบ้านแม่มะลอ ซึ่งมีปริมาณน้ำฝน 1,344.1 มิลลิเมตรต่อปี เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด คือ เดือนตุลาคม มีปริมาณน้ำฝน 587.0 มิลลิเมตร ส่วนเดือนพฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ไม่มีฝนตก

2) อุณหภูมิ

จากข้อมูลลักษณะภูมิอากาศในพื้นที่ บริเวณดอยอินทนนท์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 12.1 ถึง 23.9 องศาเซลเซียสสถานีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ สถานีบ้านแม่มะลอ มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 23.9 องศาเซลเซียสเดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ เดือนกันยายน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.1 องศาเซลเซียส เดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด คือ เดือนกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 17.6 องศาเซลเซียส สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 20.3 องศาเซลเซียส สถานีเกษตรที่สูงแม่จรหลวง มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 18.9 องศาเซลเซียส สถานีแม่ยะน้อย มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 18.3 องศาเซลเซียส ส่วนสถานีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ สถานีเรดาห์กองทัพอากาศไทย มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 12.1องศาเซลเซียส เดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ เดือนเมษายน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 14.1 องศาเซลเซียสเดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด คือ เดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 9.6 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พืชพรรณธรรมชาติ

ป่าเต็งรัง พบกระจายทั่วไปในพื้นที่รอบ ๆ อุทยานแห่งชาติที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 400-750 เมตร ตามเนินเขาหรือสันเขาที่แห้งแล้ง หรือตามด้านลาดทิศตะวันตกและทิศใต้ของอุทยานแห่งชาติ ชนิดไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย เต็ง รัง เหียง พลวง ก่อแพะ รกฟ้า รักใหญ่ ยอป่า มะขามป้อม ฯลฯ พืชอิงอาศัยพวกเอื้องแซะ เอื้องมะขาม เอื้องแปรงสีฟัน ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีพวกมอส ไลเคน นมตำเลีย เกล็ดนาคราช ฯลฯ ส่วนพืชพื้นล่างจะเป็นไม้พุ่ม หญ้าชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหญ้าคา ไม้เถา และพืชล้มลุกชนิดต่าง ๆ ป่าเบญจพรรณ พบกระจายอยู่ทั่วพื้นที่รอบ ๆ อุทยานแห่งชาติในชั้นระดับความสูง 400-800 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ตามที่ลุ่มหรือตามแนวสองฝั่งของลำห้วย พันธุ์ไม้ที่พบ ได้แก่ สัก ตะแบก ประดู่ แดง มะเกิ้ม สมอไทย กาสามปีก สลีนก กระบก ซ้อ นอกจากนี้ยังมีไผ่ชนิดต่าง ๆ พืชอิงอาศัย เช่น เอื้องช้างกระ เอื้องขี้หมา ส่วนพืชพื้นล่างส่วนใหญ่จะเป็นพวกไม้พุ่ม หญ้าคา หญ้าแฝก หญ้าชนิดอื่นๆ ไม้เถา และพืชล้มลุก

ป่าดิบแล้ง พบกระจายเป็นหย่อมเล็กหย่อมน้อยที่ความสูง 400-1,000 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ตามบริเวณหุบเขา ริมลำห้วย และสบห้วยต่าง ๆ พันธุ์ไม้ที่พบ ได้แก่ ยางปาย ยางแดง ยางนา ตะเคียนทอง ก่อเดือย ก่อหยุม ก่อลิ้ม ประดู่ส้ม มะไฟป่า ชมพู่น้ำ ไทรย้อย เดื่อหูกวาง พืชพื้นล่างเป็นพืชที่ชอบขึ้นในที่มีความชื้นสูง เช่น กล้วยป่า หญ้าสองปล้อง เหมือดปลาซิว ตองสาด กระชายป่า ข่าลิง ผักเป็ดไทย ออสมันด้า กูด เฟิร์น ปาล์ม หวายไส้ไก่ หมากป่า และเฉือง เป็นต้น

ป่าดิบเขาตอนล่าง เป็นป่าที่พบในพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากน้ำทะเล 1,000-1,800 เมตร หรือในบริเวณตอนกลางของอุทยานแห่งชาติ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกทำลายจากชาวเขาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ ทำให้มีป่าที่มีอยู่เป็นป่าที่กำลังฟื้นสภาพ หรือป่ารุ่นใหม่ จะมีป่าดิบเขาดั้งเดิมเหลืออยู่บ้างเพียงเล็กน้อย สภาพโดยทั่วไปของป่าดิบเขาในพื้นที่ดอยอิทนนท์จึงมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับระบบและวิธีการฟื้นฟูของสังคมพืช ชนิดป่าที่พบที่สำคัญได้แก่ ป่าสนล้วน ป่าก่อผสมสน ป่าก่อและป่าดิบเขาดั่งเดิม พันธุ์ไม้เด่นที่พบได้แก่ สนสามใบ สารภีดอย เหมือดคนตัวผู้ ก่อแป้น ก่อใบเลื่อม กอเตี้ย ก่อแดง ก่อตาหมูหลวง ก่อกะทะโล้ จำปีป่า กำลังเสือโคร่ง กล้วยฤาษี นมวัวดอย ฯลฯ

ป่าดิบเขาตอนบน ขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากน้ำทะเล 1,800 เมตรขึ้นไป สามารถแบ่งออกได้เป็น ป่าดงดิบ-ป่าก่อชื้น ป่าดงดิบ เขตอบอุ่น และป่าพรุเขตอบอุ่น สภาพโดยทั่วไปเป็นป่าที่มีต้นไม้สูงใหญ่ และหลายแห่งจะมีลักษณะของป่าดึกดำบรรพ์ พืชพื้นล่างจะไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แน่นทึบ ทำให้ตามกิ่ง ยอด และลำต้นของไม้ในป่าจะมีมอส กล้วยไม้ เฟิร์น กุหลาบพันปี สำเภาแดง ขึ้นปกคลุม พันธุ์ไม้ในป่าดิบเขาหรือป่าก่อชื้นได้แก่ ก่อดาน ก่อแอบ จำปีหลวง แกง นางพญาเสือโคร่ง กะทัง นอกจากนี้ยังมีไม้พุ่มและไม้เกาะเกี่ยว เช่น คำขาว กุหลาบขาว คำแดง และยังมีต้นโพสามหาง กระโถนฤาษี เป็นต้น ในบริเวณแอ่งน้ำและรอบๆ ป่าพรุจะมีหญ้าชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่ เช่น บัวทอง พญาดง เทียน ผักหนอกดอย มะแหลบ วาสุกรี บันดงเหลือง ต่างไก่ป่า กุง กูดขน ฯลฯ และบริเวณชายขอบป่าพรุจะมีกุหลาบพันปีสีแดง ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่พบเฉพาะบนยอดดอยอินทนนท์เท่านั้น

ผลิตผลทางการเกษตร

พื้นที่สถานีหลัก (อินทนนท์) ได้แก่ ไม้ดอกไม้กระถาง ไม้ผล งานขยายพันธุ์และผลิตสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 70 เฟินกระถาง และเฟินใบ พืชผัก เช่น พริกหวาน มะเขือเทศเชอรี่ มิกซ์สลัด

พื้นที่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง ได้แก่ ไม้ผล เช่น พีช พลัม บ๊วย และสาลี่ พืชไร่ เช่น ลินิน กาแฟอราบิก้า

พื้นที่หน่วยย่อยดอยผาตั้ง ได้แก่ ไม้ผล เช่น พีช พลัม หยางเหมย ไม้ดอก เช่น ดอกไม้แห้ง และดอกไม้ทับ

พื้นที่หน่วยย่อยแม่ยะน้อย ได้แก่ ลินิน ส่วนไม้ผล ได้แก่ พีช และกาแฟอราบิก้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ มาตราส่วน 1:100,000 (กองวางแผนการใช้ที่ดิน, 2537)

2. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 (กรมแผนที่ทหาร, 2535ก; 2535ข)

3. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2526)

4. เครื่องมือสำรวจดินภาคสนามมาตรฐาน (เอิบ, 2530; Soil Survey Division Staff, 1993)

5. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินทางเคมี ทางกายภาพ

วิธีการ

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1.1 กำหนดขอบเขตพื้นที่ทำการศึกษา บริเวณพื้นที่ขุนวางซึ่งอยู่ในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ซึ่งอยู่ในพื้นที่ของสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แผนที่สภาพภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000

1.2 สำรวจภาคสนามโดยอาศัยแผนที่ภูมิประเทศและภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.3 วิเคราะห์ระดับอะลูมิเนียมในตัวอย่างดินโดยแบ่งตามรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ดังนี้

บริเวณพื้นที่ขุนวางจำนวนทั้งสิ้น 16 บริเวณ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ป่าไม้ 5 บริเวณ ได้แก่ ป่าดิบเขา และป่าทุติยภูมิพื้นที่หน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-1 และ KW-4) ป่าดิบเขาพื้นที่โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8) ป่าดิบเขาพื้นที่สถานีหลัก (KW-14) และป่าทุติยภูมิพื้นที่หน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-16)

พื้นที่ทำนา 2 บริเวณ ได้แก่ แปลงนาบนขั้นบันไดพื้นที่หน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-2) และแปลงนาบนขั้นบันไดพื้นที่หน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10)

พื้นที่ปลูกไม้ผล 2 บริเวณ ได้แก่ แปลงพลับหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-5) และแปลงพลับในพื้นที่สถานีหลัก (KW-13)

พื้นที่ปลูกไม้ดอกและผักในโรงเรือน 5 บริเวณ ได้แก่ แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-2) แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9) แปลงไม้ดอกในโรงเรือนพื้นที่สถานีหลัก (KW-11) แปลงองุ่นที่มีหลังคาคลุมพื้นที่สถานีหลัก (KW-12) และแปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-15)

พื้นที่ปลูกผักนอกโรงเรือน 2 บริเวณ ได้แก่ แปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-6) และแปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7)

บริเวณพื้นที่อินทนนท์จำนวนทั้งสิ้น 15 บริเวณ ดังนี้

พื้นที่ป่าไม้ 3 บริเวณ ได้แก่ แปลงป่าสนหน่วยย่อยดอยดอยผาตั้ง (INT-11) และแปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15)

พื้นที่ปลูกไม้ผล 8 บริเวณ แปลงพลัมหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-2) แปลงกาแฟและกีวีหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-3) แปลงสาลี่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-4) แปลงองุ่นหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-5) แปลงฝรั่งสตรอเบอรีหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-9) แปลงท้อและสนปลูกหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-10) แปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-13) และแปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ปลูกไม้ดอกและผักในโรงเรือน 3 บริเวณ ได้แก่ แปลงไม้ดอกในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) แปลงสตรอเบอรีในโรงเรือนพื้นที่สถานีหลัก (INT-6) และแปลงผักในโรงเรือนพื้นที่สถานีหลัก (INT-7)

พื้นที่ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน 2 บริเวณ ได้แก่ แปลงปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์เก่าหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) และแปลงปลูกผักนอกโรงเรือนพื้นที่หน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12)

2. การปฏิบัติงานในภาคสนาม

เลือกจุดเก็บตัวอย่างตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น โดยดินในพื้นที่ขุนวางใช้รหัสตั้งแต่ KW-1 ถึง KW-16 สำหรับเป็นตัวแทนดินในแต่ละบริเวณ ส่วนดินในพื้นที่อินทนนท์ใช้รหัส INT-1 ถึง INT-15 ทำการศึกษาลักษณะและข้อมูลทั่วไปของจุดเก็บตัวอย่างดิน ทำการขุดหลุมหน้าตัดดินขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร และเก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดิน (เอิบ, 2542; Soil Survey Division Staff, 1993)

3. การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำดินมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร แยกก้อนกรวด เศษหินและแร่ และเศษซากพืชออกจากนั้นนำไปวิเคราะห์ดินทั้งทางกายภาพและทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ตามวิธีการวิเคราะห์ดินมาตรฐาน (เอิบ, 2542)

3.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) โดยวิธีแยกด้วยตะแกรง (sieving method) ในขนาดอนุภาคทราย โดยวิธี pipette method ในขนาดอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว(ถนอม, 2528; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1) พีเอชดิน (soil pH) โดยใช้สัดส่วนระหว่างดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996; National Soil Survey Center, 1996)

2) อินทรียวัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.167 โมลาร์ $K_2Cr_2O_7$ (Walkley and Black, 1934)

3) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer

4) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) โดยใช้การชะล้างแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (พีเอช 7.0) และแทนที่แคตไอออนของแอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965; Summer and Miller, 1996)

5) เบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc พีเอช 7.0 (Peech, 1945) และวัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

6) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage, %BS) โดยคำนวณจากค่าของปริมาณด่างรวมที่สกัดได้ทั้งหมดหารด้วยผลรวมของปริมาณด่างรวมที่สกัดได้กับสภาพกรดที่สกัดได้ (National Soil Survey Center, 1996) คูณด้วย 100 จากสูตร

$$\%BS = \frac{\text{Sum Bases}}{\text{Sum bases + EA}} \times 100$$

7) สภาพกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) โดยวิธี barium chloride-triethanolamine พีเอช 8.2 (Peech, 1965)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8) อะลูมิเนียมที่สกัดได้ (extractable aluminium) โดยสกัดปริมาณอะลูมิเนียมทั้งหมดด้วยสารละลาย 1M KCl และวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้โดยเครื่อง atomic absorption spectrometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

9) ไฮโดรเจนไอออนที่สกัดได้ (extractable hydrogen ion) โดยคำนวณจากสูตรผลต่างระหว่างสภาพกรดที่สกัดได้กับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้

Extractable hydrogen ion = Extractable acidity-Extractable aluminium

10) ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม (aluminium saturation percentage) โดยการคำนวณ (Landon, 1991) จากสูตรดังนี้

$$\%Al = \frac{\text{Extractable aluminium}}{\text{Extractable aluminium + Sum bases}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วน (multiple regression and partial correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ของอะลูมิเนียมกับสมบัติดินต่าง ๆ และนำสหสัมพันธ์มาทำการประเมินหาค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

1. สถานที่ทำศึกษา

1.1 การศึกษาในภาคสนาม พื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง และสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

1.2 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ระยะเวลาในการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551-เมษายน พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

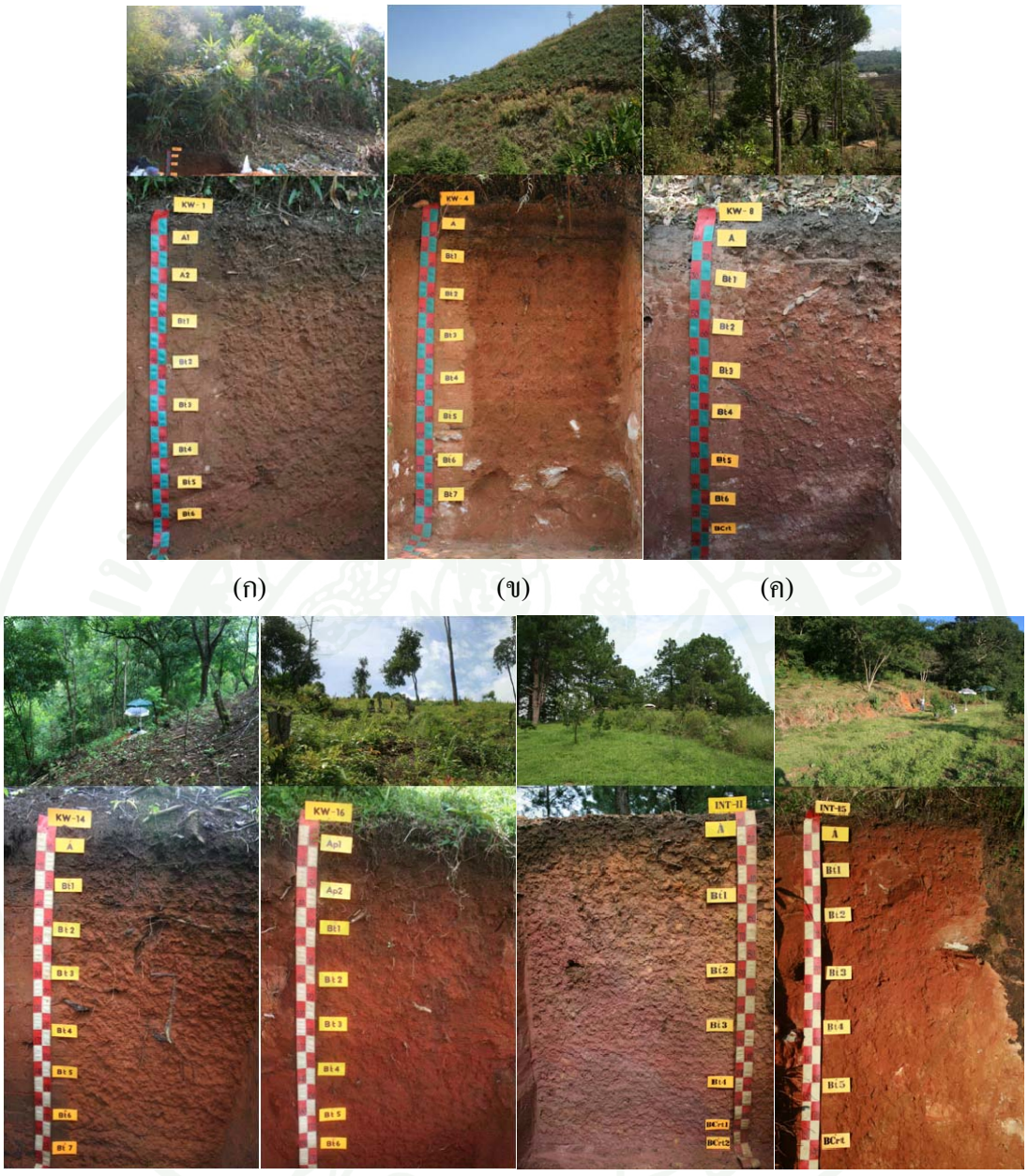
1. สภาพแวดล้อมทั่วไปและสัณฐานวิทยาของดินในสนาม

ดินที่ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่มีทั้งหมด 31 พีดอน พบภายใต้สภาพการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน 5 ประเภท ได้แก่ นาข้าว ไม้ผล ไม้ดอกและผักในโรงเรือน ผักนอกโรงเรือน และพื้นที่ป่าธรรมชาติ ดินทั้งหมดพบอยู่ในบริเวณที่เป็นภูเขา และที่ลาดชันเชิงซ้อน อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,025-1,563 เมตร มีความลาดชันของพื้นที่อยู่ในพิสัยร้อยละ 1-62 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่าง 1,975-2,194 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 12.1-26.4 องศาเซลเซียส วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่น (local alluvium) ตะกอนหินดาดเชิงเขา (colluvium) วัสดุตกค้าง (residuum) จากหินไนส์ และตะกอนหินดาดเชิงเขาที่วางตัวอยู่บนวัสดุตกค้างของหินดังกล่าว

ดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ พบในพื้นที่ขุนวางจำนวน 5 บริเวณ (KW-1, KW-4, KW-8, KW-14 และ KW-16) และในพื้นที่อินทนนท์จำนวน 2 บริเวณ (INT-11 และ INT-15) (ภาพที่ 1) ความหนาดินชั้นบนอยู่ในพิสัย 0-49 เซนติเมตร เป็นดินความลึกที่มีสีตั้งแต่น้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มปนเทา น้ำตาลเข้มปนแดง สีแดงถึงแดงปนเหลือง สีน้ำตาลและเหลืองปนแดง เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายถึงเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มีโครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พบเศษชิ้นส่วนซึ่งเป็นแร่ควอร์ตที่ยังไม่สลายตัวปริมาณเล็กน้อย พีเอชสนามของดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ส่วนในดินล่าง ดินมีสีพื้นผสมของสีเหลืองปนแดง แดง แดงอ่อน และสีเหลืองในตอนบน และมีสีแดง แดงอ่อน และสีเหลืองในตอนล่าง เนื้อดินเป็นดินร่วน โครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมคมในตอนล่างในบางดินแต่ส่วนใหญ่เป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม พบชั้นสะสมดินเหนียวในทุกดิน และพบเศษหินวัตถุต้นกำเนิดดินในบางดิน พีเอชสนามของดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 3.2-5.3)

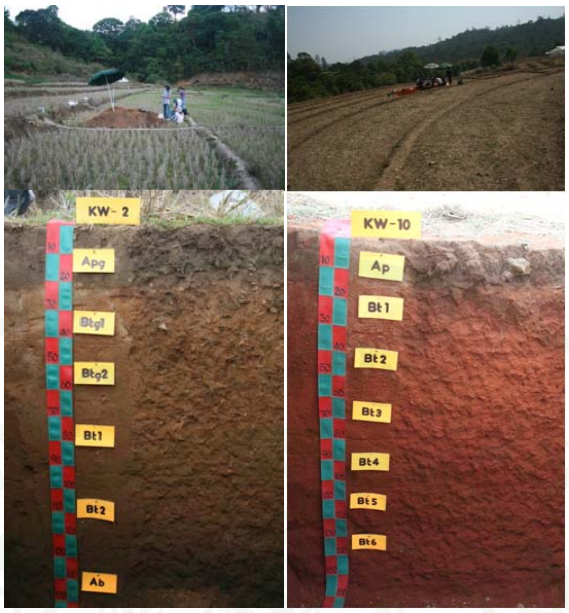
ดินที่ใช้ทำนาบนขั้นบันได พบเฉพาะในพื้นที่ขุนวางจำนวน 2 บริเวณ (KW-2 และ KW-10) (ภาพที่ 2) ดินบนมีความลึกอยู่ในพิสัย 0-22 เซนติเมตร ชั้นดินบนของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำนามีความหนาน้อยที่สุดเนื่องจากการทำนาในพื้นที่สูงจำเป็นต้องทำขั้นบันไดจึงเหลือหน้าดินอยู่น้อย สีดินมีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม และสีแดงถึงแดงเข้ม พบจุดประสีน้ำตาลเข้ม และน้ำตาลเข้มปนแดงและมีสีแดงถึงแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย และร่วนเหนียวปนทราย โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม พีเอชสนามดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินในพื้นที่ขุนวางที่เป็นป่าธรรมชาติ แปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-1) (ก) แปลงป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-4) (ข) แปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8) (ค) แปลงป่าดิบเขาสถานีหลัก (KW-14) (ง) และแปลงป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-16) (จ) และพื้นที่อินทนนท์ แปลงป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) (ฉ) และแปลงป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) (ช)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

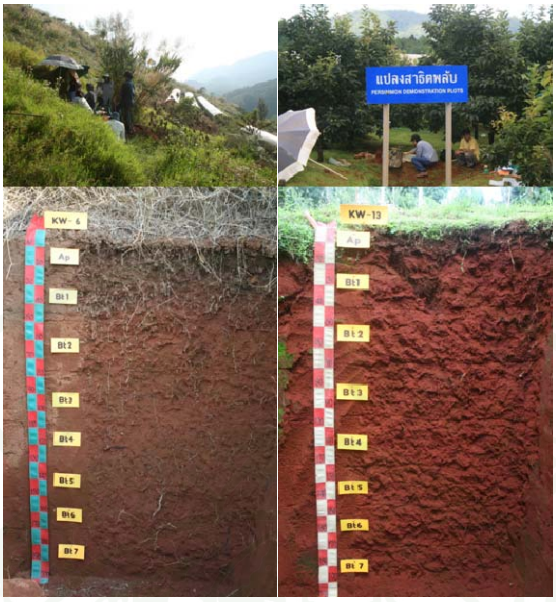


(ก) (ข)

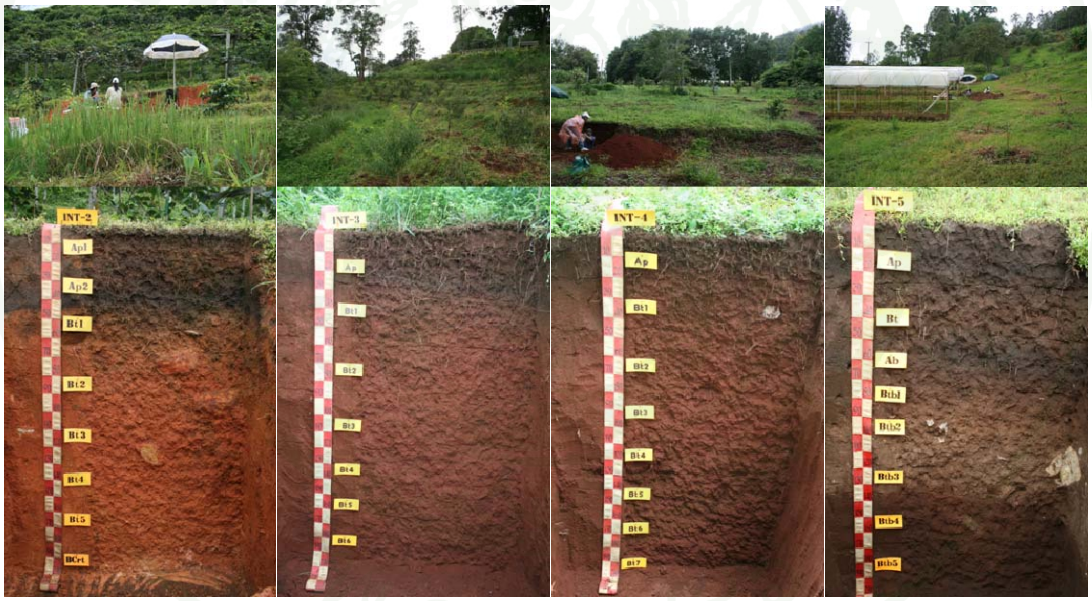
ภาพที่ 2 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ทำนาในพื้นที่ขุนวาง แปลงนาหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-2) (ก) และแปลงนาหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10) (ข)

ดินที่ใช้สำหรับการปลูกไม้ผลในพื้นที่ขุนวางประกอบด้วยแปลงพลับ 2 บริเวณในหน่วยย่อยขุนแม่วาก และพื้นที่สถานีหลัก (KW-5 และ KW-13 ตามลำดับ) (ภาพที่ 3) ส่วนพื้นที่อินทนนท์มี 8 บริเวณ ได้แก่ แปลงพลัม (INT-2) แปลงกาแฟและกีวี (INT-3) แปลงสาลี่ (INT-4) แลงแปลงองุ่น (INT-5) ทั้งหมดอยู่ในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (ภาพที่ 3) แปลงฝรั่งสตรอเบอรี (INT-9) และแปลงท้อ (INT-10) ในหน่วยย่อยดอยผาตั้ง แปลงกาแฟ (INT-13) และแปลงบ๊วย (INT-14) ในหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (ภาพที่ 4) ดินมีความหนาชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 0-34 เซนติเมตร เป็นดินลึก มีสีแตกต่างกันตั้งแต่น้ำตาลปนแดงเข้ม แดงปนเหลือง สีแดง น้ำตาลปนเหลือง น้ำตาลปนแดง และสีเหลืองปนแดง เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนในชั้นดินบน ขณะที่ในชั้นดินล่างก็คล้ายคลึงกันแต่พบโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคมในบางดิน พบชั้นสะสมดินเหนียวในดินล่างทุกบริเวณ ขณะที่ในบางดินบนเศษชิ้นส่วนของวัตถุต้นกำเนิดดินในตอนบน และในตอนล่างของหน้าตัดดิน ดินมีพีเอชสนามเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



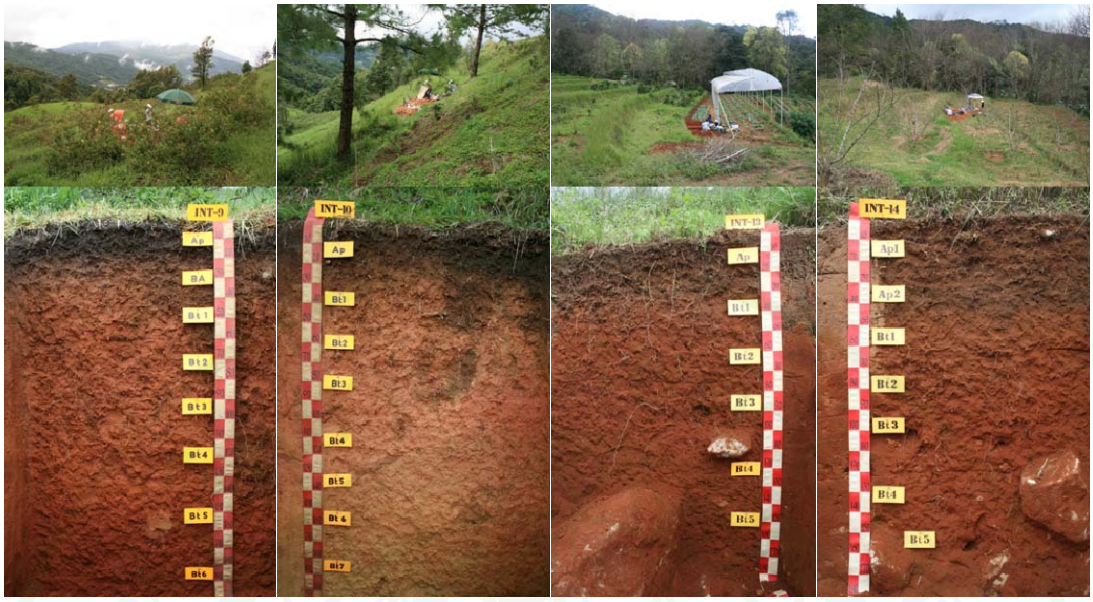
(ก) (ข)



(ค) (ง) (จ) (ฉ)

ภาพที่ 3 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่ขุนวาง แปลงพลับหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-5) (ก) แปลงพลับพื้นที่สถานีหลัก (KW-13) (ข) พื้นที่อินทนนท์ แปลงพลัมหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-2) (ค) แปลงกาแฟและกีวีหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-3) (ง) แปลงสาลี่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-4) (จ) และแปลงองุ่นหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-5) (ฉ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่อินทนนท์ แปลงฝรั่งสตรอเบอรีหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-9) (ก) แปลงท้อและสนปลูกหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-10) (ข) แปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-13) (ค) และแปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-14) (ง)

ดินที่ใช้สำหรับการปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือนในพื้นที่ขุนวางได้แก่ แปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-6) และหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (INT-7) ส่วนพื้นที่ขุนวางอยู่ในหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) ซึ่งเป็นแปลงหญ้าอาหารสัตว์เดิม และแปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) (ภาพที่ 5) ดินมีความหนาของชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 0-38 เซนติเมตร เป็นดินลึก มีสีดินตั้งแต่สีน้ำตาลเข้มปนเหลืองปนเทา น้ำตาลเข้ม น้ำตาลปนแดง แดงปนเหลือง เหลือง และแดง และพบจุดประในตอนล่างของหน้าตัดดินในบางบริเวณ ดินมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พบชั้นสะสมดินเหนียวในดินล่างของทุกดิน พบเศษของวัสดุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินผุของหินไนส์ซึ่งในบางดินอาจพบบริเวณผิวดิน และในบางดินพบอยู่ในตอนล่างของหน้าตัดดินร่วมกับเศษชิ้นส่วนของแร่ควอร์ตซ์ ดินมีพีเอชสนามเป็นกรดจัดมาถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 4.0-6.0)

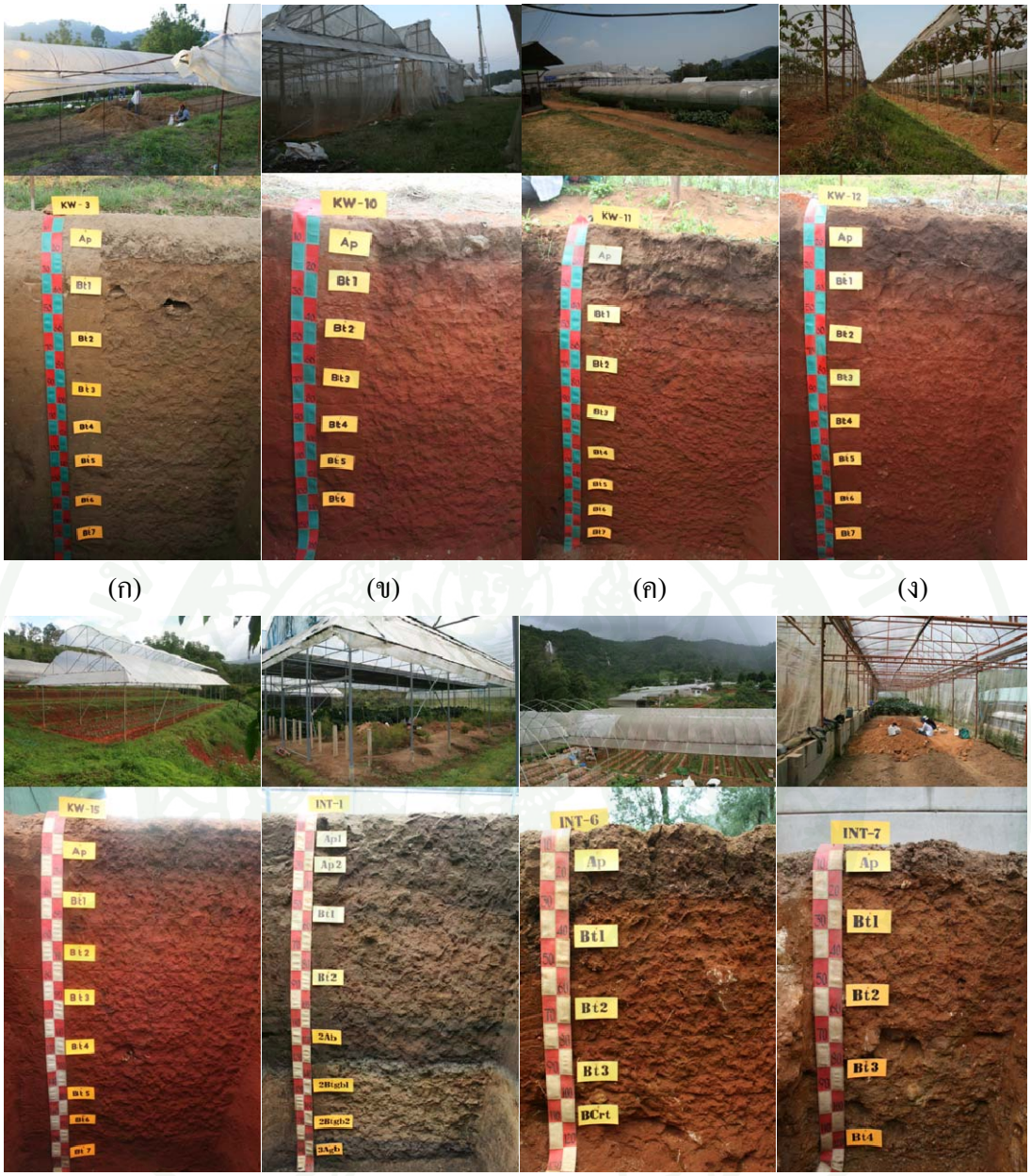
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 5 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินที่ใช้ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน พื้นที่ขุนวาง แปลงผักหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-6) (ก) แปลงผักหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7) (ข) พื้นที่อินทนนท์ แปลงหญ้าเลี้ยงสัตว์เดิมหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) (ค) และแปลงผักหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) (ง)

ดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรือนในพื้นที่ขุนวาง ได้แก่ แปลงปลูกผักและไม้ดอกหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) แปลงปลูกผัก (KW-10) แปลงปลูกไม้ดอก (KW-12) และแปลงปลูกองุ่น (KW-12) ส่วนพื้นที่อินทนนท์ประกอบด้วยแปลงปลูกสตรอเบอรี (INT-6) และแปลงปลูกผัก (INT-7) (ภาพที่ 6) พื้นที่ทั้งหมดมีการปรับสภาพเป็นขั้นบันไดแบบกว้างก่อนที่จะมีการสร้างโรงเรือนปกคลุมพื้นที่ ทำให้หน้าดินถูกรบกวนระหว่างการปรับปรุงพื้นที่ดังกล่าว ดินทั้งหมดเป็นดินลึกถึงลึกมาก ความหนาของชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 19-48 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลปนเทาเข้มและสีเทาเข้ม น้ำตาลปนแดง น้ำตาลเข้มปนแดง น้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลปนเทา น้ำตาลปนเทาปนเหลือง แดงถึงแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินเหนียวปนทราย โครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนทั้งในดินบนและดินล่าง ในดินล่างพบชั้นสะสมดินเหนียวทุกดิน พบเศษแร่ไมกาขนาดเล็กในบางดินของพื้นที่ขุนวาง พีเอชดินในสนามเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกลาง (pH 4.0-7.0)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) (ข) (ค) (ง)

(จ) (ฉ) (ช) (ซ)

ภาพที่ 6 แสดงหน้าตัดดินและสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินในโรงเรือนพื้นที่ขุนวาง แปลงปลูกผักและไม้ดอกหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) (ก) แปลงปลูกผักหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10) (ข) แปลงปลูกไม้ดอกพื้นที่สถานีหลัก (KW-11) (ค) แปลงปลูกองุ่นสถานีหลัก (ง) แปลงปลูกผักหน่วยย่อยโป่งน้อย (จ) พื้นที่อินทนนท์ แปลงปลูกไม้ดอก (INT-1) (ฉ) แปลงปลูกสตรอเบอรีสถานีหลัก (INT-6) (ช) แปลงปลูกผักสถานีหลัก (INT-7) (ซ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สีของดินทุกบริเวณที่ศึกษา ดินป่าจะมีสีคล้ำกว่าดินที่ทำการเกษตรและแปลงนา ในดินที่ใช้ทำนา พบจุดประของดินสีน้ำตาลเข้ม และน้ำตาลเข้มปนแดง และมีสีแดงถึงแดง ซึ่งเกิดจากการมีน้ำขัง และแสดงให้เห็นถึงสภาวะการเกิดออกซิเดชั่น และรีดักชั่นสลับกัน (Buol *et al*., 2003) แต่ในดินนาไม่พบจุดประตั้งแต่ความลึก 65 เซนติเมตรเป็นต้นไป เนื่องจากการทำนาข้าวบนพื้นที่ลาดชันสูงจะมีผลซึ่งเกิดจากอิทธิพลการขังน้ำเพียงในตอนบนของหน้าตัดดินเท่านั้น (เอิบ, 2548) เนื้อดินในทุกบริเวณส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวปนทราย และมีการชะล้างอนุภาคขนาดดินเหนียวจากชั้นดินบนมาสะสมในชั้นดินล่างเป็นชั้นอาร์จิลลิก (Buol *et al*., 2003; Soil Survey Staff, 1999) ซึ่งแสดงถึงการพัฒนาการของดินในทุกพีดอนมีค่อนข้างสูง โครงสร้างของดินเป็นแบบเม็ดกลมในชั้นดินบนโดยเฉพาะในพื้นที่ป่าธรรมชาติ แสดงว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุที่มากพอที่จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบนี้ได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ป่า (นิวัติ, 2546; Butzer, 1976; Buol *et al*., 2003)

ดินที่มีการเปลี่ยนสภาพป่าไปเป็นพื้นที่ทำการเกษตร มีผลทำให้สัณฐานวิทยาของดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในพื้นที่ปลูกพืชผัก ไม้ดอก และไม้ผล มีผลจากปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณความชื้นในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่วนในพื้นที่ทำนาข้าวมีผลมาจากการขังน้ำของดิน พีเอชสนามของดินในพื้นที่ทั้งหมดส่วนใหญ่เป็นกรดจัด แสดงให้เห็นว่า กระบวนการชะละลายแคตไอออนออกไปจากหน้าตัดดิน ทำให้มีไฮโดรเจนไอออนสะสมที่ผิวอนุภาคของดินเหนียวในปริมาณมาก (John and Kelling, 2001; Brady and Weil, 2008) เป็นกระบวนการที่เด่นในดินของทั้งสองพื้นที่

2. สมบัติทางกายภาพ

2.1 พื้นที่ป่าธรรมชาติ

การแจกกระจายของขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ดินมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากที่สุด โดยพบสูงสุดบริเวณที่เป็นป่าทุติยภูมิในหน่วยย่อยขุนแม่วากพื้นที่ขุนวาง (KW-4) และป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อยพื้นที่อินทนนท์ (KW-15) ที่มีค่าอยู่ในพิสัย 491-713 และ 552-648 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ สำหรับดินในป่าดิบเขาหน่วยย่อยโป่งลมแรงพื้นที่ขุนวาง (KW-8) มีการแจกกระจายของขนาดอนุภาคทั้งสามค่อนข้างใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากดินในบริเวณอื่นที่พบภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตาม ดินทุกดินมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก ความแตกต่างของปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุภาคขนาดต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของหินต้นกำเนิดที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม พบว่าดินส่วนใหญ่ดินบนอยู่ในกลุ่มเนื้อดินปานกลางถึงเนื้อละเอียดปานกลาง ได้แก่ ดินร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด ได้แก่ ดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินเหนียวปนทราย และดินเหนียว ชั้นเนื้อดินส่วนใหญ่จะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย

จากลักษณะการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ตามความลึกโดยเฉพาะอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเป็นส่วนใหญ่ คือ มีปริมาณดินเหนียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก แสดงให้เห็นว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินที่มีพัฒนาการสูง โดยได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (elluviation) ไปสะสมในชั้นดินล่าง ทำให้ชั้นดินตอนบนมีอนุภาคขนาดใหญ่เหลืออยู่มาก ส่วนชั้นดินล่างจะมีอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะดินเหนียวเพิ่มขึ้นเป็นชั้นดินล่างวินิจฉัยอาร์จิลลิก หรือแคนดิก (Soil Survey Staff, 1999; Buol *et al*. 2003) และพบลักษณะผิวเคลือบดินเหนียวตามธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายมาสะสมของอนุภาคดินเหนียวกลายเป็นชั้นสะสมดินเหนียว (อภิสิทธิ์, 2527; Soil Survey Staff, 1999; Buol *et al*., 2003)

ความหนาแน่นรวม

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของดินในบริเวณศึกษากับความลึกของดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ พบว่า ดินบนมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำ (0.85-1.12 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกในทุกดิน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.00-1.54 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1)

การที่ความหนาแน่นรวมของดินบนต่ำกว่าดินล่างเนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในดินล่าง รวมถึงมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ทำให้อนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวไปแทรกตามช่องว่างของดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (Calvert *et al*, 1980; Potichan, 1991; Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ การที่ดินบนภายใต้สภาพป่าดินเขามีปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงมากและแจกกระจายลงไปในระดับที่ลึกพอสมควรจึงมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่าต่ำลงไปจนถึงระดับดังกล่าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงป่าดิบเขา ขุนแม่วาก (KW-1): Typic Palehumult							
0-20	A1	431	303	266	CL	0.95	94.2
20-40/49	A2	442	351	207	CL	0.90	52.3
49-75	Bt1	434	372	194	CL	1.22	1.9
75-102	Bt2	461	375	164	SC	1.28	4.4
102-130	Bt3	484	340	176	SCL	1.24	31.8
130-154	Bt4	469	323	208	SCL	1.35	1.8
154-179	Bt5	481	302	216	SCL	1.46	0.1
179-200+	Bt6	498	308	194	SCL	1.51	1.1
แปลงป่าทุติยภูมิ ขุนแม่วาก (KW-4)							
0-20	A	539	163	297	SL	0.85	67.0
20-45	Bt1	491	251	258	SCL	1.03	54.1
45-72	Bt2	508	308	184	SCL	1.23	7.0
72-101	Bt3	575	248	177	SCL	1.14	27.2
101-127	Bt4	620	227	153	SCL	1.33	8.6
127-153	Bt5	653	200	147	SL	1.32	13.8
153-175	Bt6	682	183	135	SL	1.31	12.0
175-200+	Bt7	713	172	116	SL	1.46	5.4
แปลงป่าดิบเขา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8): Typic Haplohumult							
0-18	A	353	415	232	CL	1.05	5.9
18-40	Bt1	318	467	215	C	1.18	4.5
40-66	Bt2	314	464	222	C	1.14	11.3
66-87	Bt3	317	443	239	C	1.36	1.5
87-113	Bt4	320	395	285	CL	1.52	0.1
113-118/146	Bt5	327	347	325	CL	1.43	0.1
146-160/170	Bt6	390	276	334	CL	1.54	0.1
170-200+	BCrt	425	252	323	L	1.45	0.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงป่าดิบเขา สถานีหลักฯ (KW-14): Typic Haplohumult							
0-18	A	541	248	211	SCL	1.12	13.4
18-39	Bt1	535	287	178	SCL	1.09	21.0
39-67	Bt2	515	339	145	SCL	1.26	15.1
67-96	Bt3	514	315	172	SCL	1.32	9.7
96-126	Bt4	537	271	191	SCL	1.41	4.7
126-150	Bt5	543	263	194	SCL	1.52	0.4
150-175	Bt6	533	251	216	SCL	1.55	0.1
175-200+	Bt7	534	244	222	SCL	1.49	0.7
แปลงป่าทุติยภูมิ โป่งน้อย (KW-16): Typic Palehumult							
0-20	A1	477	308	216	SCL	1.07	5.4
20-38	A2	417	426	157	C	0.99	13.5
38-64	Bt1	404	475	122	C	1.00	12.4
64-91	Bt2	394	496	110	C	1.12	1.2
91-118	Bt3	379	510	111	C	1.20	0.4
118-148	Bt4	352	559	89	C	1.18	0.1
148-170	Bt5	346	575	79	C	1.17	0.01
170-200+	Bt6	352	573	76	C	1.22	0.2
แปลงป่าสน ดอยผาตั้ง (INT-11): Typic Hapludult							
0-16/29	A	450	183	367	CL	1.08	0.1
29-20/82	Bt1	371	385	245	L	1.31	0.03
82-25/125	Bt2	411	370	219	L	1.33	0.2
125-38/164	Bt3	408	330	262	L	1.35	0.1
164-105/200	Bt4	327	424	249	L	1.42	0.02
-	BCrt1	400	364	236	L	1.44	0.01
-	BCrt2	409	384	207	L	1.23	0.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------$g\ kg^{-1}$----------)					
แปลงป่าดิบเขา แม่ยะน้อย (INT-15): Typic Hapludult							
0-18	A	619	86	295	SCL	1.12	2.5
18-45	Bt1	614	74	312	SCL	1.14	1.4
45-72	Bt2	596	96	308	SCL	1.30	1.4
72-105	Bt3	552	115	333	SCL	1.20	2.3
105-136	Bt4	583	131	287	SCL	1.47	0.01
136-170	Bt5	628	132	240	SCL	1.40	0.1
170-200+	BCrt	648	145	207	SCL	1.46	0.02

สภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ พบว่าสภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำบริเวณตอนบนของหน้าตัดดินในดินพื้นที่ขุนวางมีค่าสูงกว่า (5.44-94.21 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) ส่วนในพื้นที่อินทนนท์มีค่าอยู่ในพิสัย 0.08-2.45 เซนติเมตรต่อชั่วโมงซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาก ขณะที่ในดินล่างจะมีค่าต่ำกว่าในดินบนในทั้งสองพื้นที่ (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะบางชั้นดินที่น้ำเกือบจะไม่สามารถไหลผ่านได้โดยมีค่าเพียง 0.01 เซนติเมตรต่อชั่วโมง

ดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มของสภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในดินบนสูงกว่าดินล่างคล้ายกันเนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินล่าง ทำให้โครงสร้างของดินดี จึงมีช่องว่างมากกว่าและทำให้ความหนาแน่นรวมของดินบนต่ำกว่าดินล่าง (สุนทรี, 2529; Brady and Weil, 2008) อีกทั้งการที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงกว่าซึ่งง่ายต่อการเกิดเม็ดดิน และมีโครงสร้างที่เสถียร (Iwata *et al*., 1995; Hillel, 1998; Juma, 2001) ความแตกต่างของค่านี้ในดินล่างแต่ละบริเวณน่าจะเกี่ยวข้องกับลักษณะการแจกกระจายของขนาดอนุภาคดินที่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับอัตราการผุพังสลายตัวของหินต้นกำเนิดดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 พื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

การแจกกระจายของขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดิน การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายของดินภายใต้สภาพพื้นที่เกษตร ดินอยู่ในพิสัย 409-686 กรัมต่อกิโลกรัม และในดินล่างอยู่ในพิสัย 375-793 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2) การแจกกระจายของอนุภาคดินขนาดทรายของดินส่วนใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นดินในบริเวณแปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) ที่อนุภาคขนาดทรายมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในตอนล่างของหน้าตัดดิน ขณะที่ดินที่ใช้ปลูกไม้ดอกในโรงเรือน และดินในแปลงปลูกองุ่นพื้นที่สถานีหลัก (KW-11 และ KW-12) มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายลดลงจากชั้นดินบนที่มีอยู่ 595 และ 635 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เหลือเพียงประมาณ 400 กรัมต่อกิโลกรัมและค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดชั้นดินล่าง

ดินที่ใช้ทำการเกษตร มีการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งในชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 147-476 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างอยู่ในพิสัย 99-585 กรัมต่อกิโลกรัม การแจกกระจายของอนุภาคดินขนาดทรายแป้งของดินที่ศึกษามีแนวโน้มลดลงตามความลึก การแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินภายใต้การทำการเกษตร ในชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 131-476 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างอยู่ในพิสัย 99-585 กรัมต่อกิโลกรัม การแจกกระจายของอนุภาคดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตอนบน แต่ลดลงในตอนล่างตั้งแต่ความลึก 60 เซนติเมตร

การแจกกระจายของขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดิน ดินมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากที่สุด เนื้อดินของชั้นดินบนมักมีเนื้อหยาบกว่าชั้นดินล่าง ค่าความหนาแน่นรวมของดินในทุกบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง สภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของทุกบริเวณมีแนวโน้มลดลงตามความลึก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับเร็วมากถึงช้ามาก ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับช้ามากถึงปานกลาง (ตารางที่ 2)

สำหรับพื้นที่อินทนนท์ ดินที่ใช้ทำการเกษตร ดินบนเป็นดินเนื้อหยาบปานกลางถึงเนื้อละเอียด ได้แก่ ดินร่วนปนทราย ดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทราย ดินล่างเป็นดินเนื้อหยาบปานกลางถึงดินเนื้อละเอียด ได้แก่ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียว ดินเหนียวปนทราย และดินเหนียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงนา ขุนแม่วาก (KW-2): Typic Palehumult							
0-22	Apg	410	147	443	L	1.10	3.5
22-42	Btg1	553	284	163	SCL	1.32	1.2
42-65	Btg2	513	319	168	SCL	1.13	4.7
65-97	Bt1	534	303	162	SCL	1.24	4.4
97-127	Bt2	527	294	179	SCL	1.24	1.7
127-155+	Ab	527	252	221	SCL	1.39	0.3
แปลงผักในโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-3): Typic Haplohumult							
0-21	Ap	509	219	272	SCL	1.01	55.2
21-47	Bt1	533	275	192	SCL	1.17	4.3
47-78	Bt2	517	311	171	SCL	1.08	1.0
78-101	Bt3	516	287	197	SCL	1.22	0.8
101-135	Bt4	568	195	237	SL	1.29	2.1
135-150	Bt5	569	211	219	SCL	1.57	0.1
150-175	Bt6	733	140	127	LS	1.49	2.1
175-200+	Bt7	794	100	107	LS	1.41	1.8
แปลงพลับ ขุนแม่วาก (KW-5): Typic Palehumult							
0-20/25	Ap	493	239	268	SCL	0.99	67.3
25-50	Bt1	443	399	158	CL	1.04	45.8
50-74	Bt2	433	447	120	C	1.05	32.5
74-104	Bt3	437	442	121	C	0.95	10.5
104-130	Bt4	436	451	114	C	1.25	1.2
130-153	Bt5	425	458	116	C	1.28	2.1
153-180	Bt6	460	439	101	C	1.42	0.4
180-200+	Bt7	453	447	100	C	1.41	0.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงผักนอกโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-6): Typic Palehumult							
0-22	Ap	478	243	280	SCL	1.05	14.9
22-50	Bt1	431	382	187	CL	0.95	71.2
50-77	Bt2	415	435	150	C	1.07	12.2
77-107	Bt3	452	391	157	CL	1.13	2.6
107-124	Bt4	461	392	148	CL	1.20	5.2
124-150	Bt5	484	375	141	SCL	1.18	5.3
150-172+	Bt6	494	364	142	SCL	1.37	2.5
แปลงผักนอกโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7): Typic Paleudult							
0-18	Ap	686	204	110	SL	1.43	19.8
18-42	Bt1	639	259	102	SCL	1.47	17.2
42-62	Bt2	608	292	100	SCL	1.58	6.1
62-94	Bt3	579	327	94	SCL	1.51	5.2
94-121	Bt4	574	324	102	SCL	1.55	4.2
121-145	Bt5	577	316	108	SCL	1.63	0.9
145-170	Btg1	609	284	108	SCL	1.65	3.8
170-200+	Btg2	614	264	122	SCL	1.78	0.4
แปลงผักในโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9): Typic Paleudult							
0-19	Ap	411	476	113	C	1.13	125.6
19-36	Bt1	391	531	79	C	0.86	0.9
36-63	Bt2	370	558	72	C	1.12	2.0
63-89	Bt3	376	556	68	C	1.22	0.1
89-120+	BCrt	390	567	43	C	1.27	0.04
130-153	Bt5	425	458	116	C	1.28	2.1
153-180	Bt6	460	439	101	C	1.42	0.4
180-200+	Bt7	453	447	100	C	1.41	0.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงนา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10): Rhodic Paleudult							
0-16	Ap	451	387	162	SCL	1.39	0.1
16-33	Bt1	440	472	88	C	1.27	4.2
33-58	Bt2	421	492	88	C	1.16	1.6
58-79	Bt3	402	527	71	C	1.18	12.9
79-107	Bt4	400	515	85	C	1.24	0.7
107-128	Bt5	409	531	60	C	1.27	0.1
128-160+	Bt6	429	516	55	C	1.25	0.02
แปลงไม้ดอกในโรงเรือน สถานีหลักฯ (KW-11): Typic Palehumult							
0-30	Ap	595	203	201	SL	0.87	19.1
30-53	Bt1	409	483	108	C	1.17	1.0
50-80	Bt2	394	499	107	C	1.09	2.4
80-107	Bt3	396	486	118	C	1.08	0.8
107-132	Bt4	396	483	121	C	1.09	4.1
132-156	Bt5	409	493	98	C	1.22	0.1
156-177	Bt6	395	514	91	C	1.26	0.1
177-200+	Bt7	398	530	73	C	1.19	0.3
แปลงอุ่นมีหลังคาคลุม สถานีหลักฯ (KW-12): Typic Palehumult							
0-30	Ap	635	131	234	SL	1.04	21.6
30-49	Bt1	433	436	131	SC	1.15	6.0
49-73	Bt2	415	479	106	C	1.13	0.8
73-94	Bt3	390	486	124	C	1.12	2.7
94-122	Bt4	390	490	120	C	1.17	0.2
122-150	Bt5	394	482	124	C	1.23	0.3
150-173	Bt6	417	475	109	C	1.24	0.1
173-200+	Bt7	411	503	87	C	1.14	3.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงพลับ สถานีหลักฯ (KW-13): Rhodic Paleudult							
0-17	Ap	467	271	262	SCL	1.25	3.5
17-41	Bt1	394	493	113	C	1.33	2.4
41-70	Bt2	399	487	114	C	1.15	8.9
70-95	Bt3	402	499	99	C	1.21	0.3
95-121	Bt4	407	495	98	C	1.23	0.1
121-144	Bt5	396	491	113	C	1.28	0.1
144-170	Bt6	395	502	103	C	1.26	0.5
170-200+	Bt7	413	487	100	C	1.30	0.02
แปลงผักในโรงเรือน โป่งน้อย (KW-15): Typic Palehumult							
0-30	Ap	555	251	194	SCL	1.19	1.9
30-50	Bt1	492	422	86	SC	1.14	1.6
50-74	Bt2	485	448	67	SC	1.13	3.4
74-101	Bt3	444	492	64	C	1.22	0.4
101-126	Bt4	423	518	59	C	1.24	0.1
126-152	Bt5	381	577	42	C	1.18	0.02
152-172	Bt6	375	585	40	C	1.14	0.02
172-200+	Bt7	410	523	67	C	1.17	0.03
แปลงไม้ดอกเมืองหนาว ขุนห้วยแห้ง (INT-1): Typic Haplohumult							
0-20	Ap1	680	198	122	SL	1.03	1.8
20-31/48	Ap2	513	314	173	L	1.12	3.9
48-70	Bt1	491	176	333	SCL	1.09	0.03
70-99	Bt2	607	115	278	SCL	1.42	0.1
99-132	2Ab	698	171	131	SL	1.12	0.02
132-156	2Btgb1	389	290	321	CL	1.25	0.3
156-180	2Btgb2	231	411	359	CL	1.24	0.5
180-200+	3Agb	262	278	460	C	1.23	0.01

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------$g\ kg^{-1}$----------)					
แปลงพลัม ขุนห้วยแห้ง (INT-2): Typic Palehumult							
0-20/30	Ap1	592	37	371	SC	1.22	1.8
30-45	Ap2	510	161	329	SCL	1.22	0.01
45-65/74	Bt1	479	100	422	SC	1.28	0.1
74-100	Bt2	415	92	494	C	1.38	0.04
100-126	Bt3	404	98	498	C	1.30	0.03
126-151	Bt4	400	140	460	C	1.17	0.4
151-179	Bt5	449	159	392	SCL	1.41	0.1
179-200+	BCrt	535	165	299	SCL	1.47	0.1
แปลงกาแฟและกีวี ขุนห้วยแห้ง (INT-3): Typic Palehumult							
0-26/34	Ap	605	79	316	SCL	1.23	9.2
34-57	Bt1	436	184	380	CL	1.18	18.5
57-87	Bt2	430	97	473	C	1.18	2.8
87-118	Bt3	441	78	481	C	1.28	1.2
118-144	Bt4	441	61	498	C	1.34	0.1
144-167	Bt5	444	63	494	C	1.42	0.03
167-200+	Bt6	434	68	498	C	1.44	0.9
แปลงสาลี่ ขุนห้วยแห้ง (INT-4): Typic Palehumult							
0-20	Ap	590	199	211	SCL	1.12	4.4
20-48	Bt1	476	216	308	SCL	1.17	1.7
48-77	Bt2	501	98	401	SC	1.25	2.3
77-100	Bt3	481	105	413	SC	1.43	0.01
100-129	Bt4	490	84	426	SC	1.45	0.01
129-151	Bt5	446	90	464	C	1.44	0.01
151-179	Bt6	481	55	464	SC	1.44	0.01
179-200+	Bt7	462	44	493	SC	1.44	0.01

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงอุ่น (INT-5): Typic Palehumult							
0-27	Ap	728	133	139	SL	1.31	0.01
27-51	Bt	682	141	177	SL	1.23	5.8
51-70	Ab	670	135	194	SL	1.33	1.3
70-89	Btb1	726	101	173	SL	1.49	0.9
89-110	Btb2	677	150	173	SL	1.32	0.8
110-136	Btb3	670	98	232	SCL	1.56	0.02
136-170	Btb4	607	93	300	SCL	1.34	0.1
170-200+	Btb5	569	106	325	SCL	1.33	0.1
แปลงสตรอเบอรี สถานีหลักฯ (INT-6): Typic Haplohumult							
0-27	Ap	638	168	194	SL	1.20	5.3
27-48	Bt1	564	107	329	SCL	1.23	5.7
48-73	Bt2	536	118	346	SCL	1.33	0.2
73-93/99	Bt3	572	91	337	SCL	1.09	0.04
99-125+	BCrt	565	110	325	SCL	1.24	0.01
แปลงพืชผัก สถานีหลักฯ (INT-7): Ultic Hapludalf							
0-10	Ap	624	140	236	SCL	1.31	14.9
10-36	Bt1	510	111	380	SC	1.41	3.0
36-70	Bt2	579	80	342	SCL	1.43	0.5
70-100	Bt3	577	107	316	SCL	1.51	0.1
100-130+	Bt4	639	108	253	SCL	1.50	1.4
แปลงพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดอยผาตั้ง (INT-8): Typic Haplohumult							
0-22	Ap1	461	265	274	SCL	1.05	0.01
22-38	Ap2	383	275	342	CL	1.27	0.1
38-60	Bt1	345	195	460	C	0.94	0.4
60-89	Bt2	372	147	481	C	0.96	0.5
89-116	Bt3	432	142	426	C	1.21	0.8
116-138/170	Bt4	487	134	379	SC	1.43	0.4
170-200+	Crt	727	96	177	SL	1.46	2.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงฝรั่งสตรอเบอรี ดอยผาตั้ง (INT-9): Typic Haplohumult							
0-19	Ap	517	331	152	L	1.01	6.3
19-37	BA	398	185	418	C	1.06	0.3
37-59	Bt1	380	118	502	C	1.08	0.3
59-81	Bt2	378	138	485	C	1.19	0.1
81-100	Bt3	394	146	460	C	1.21	0.1
100-132	Bt4	455	98	447	SC	1.22	0.4
132-163	Bt5	470	255	274	SCL	1.36	0.02
163-200+	Bt6	466	125	409	SC	1.37	0.02
แปลงท้อและสนปลูก ดอยผาตั้ง (INT-10): Typic Haplohumult							
0-20/26	Ap	504	188	308	SCL	0.91	0.1
26-49	Bt1	348	222	430	C	1.01	5.0
49-69	Bt2	352	256	392	CL	0.93	1.2
69-98	Bt3	370	322	308	CL	1.32	0.02
98-124	Bt4	388	342	270	L	1.31	0.01
124-151	Bt5	416	365	219	L	1.40	0.3
151-165/180	Bt6	463	330	207	L	1.42	0.4
180-210+	Bt7	432	366	202	L	1.33	0.1
แปลงพืชผัก แม่ยะน้อย (INT-12): Typic Haplohumult							
0-12/18	Ap	697	63	240	SCL	1.46	0.1
18-32	Bt1	586	89	325	SCL	1.32	3.9
32-60	Bt2	641	81	278	SCL	1.34	1.2
60-80	Bt3	672	45	282	SCL	1.45	3.8
80-110+	Bt4	632	77	291	SCL	1.56	0.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density ($Mg\ m^{-3}$)	Hydraulic conductivity ($cm\ hr^{-1}$)
		Sand	Silt	Clay			
		(----------g kg^{-1}----------)					
แปลงบ๊วย แม่ยะน้อย (INT-14): Typic Palehumult							
0-25	Ap1	635	99	266	SCL	1.10	31.8
25-49	Ap2	655	134	211	SCL	1.10	11.0
49-66	Bt1	592	117	291	SCL	1.22	11.1
66-93	Bt2	611	73	316	SCL	1.15	5.0
93-122	Bt3	599	81	321	SCL	1.05	1.8
122-150	Bt4	664	57	278	SCL	1.30	0.4
150-180+	Bt5	702	53	245	SC	1.52	0.003

การแจกกระจายของอนุภาคทั้งขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียว พบว่า มีปริมาณสัดส่วนของอนุภาคขนาดทรายมากกว่าอนุภาคขนาดอื่น ๆ โดยมีอนุภาคขนาดทรายอยู่ในพิสัย 231-728 กรัมต่อกิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงจากชั้นดินบน และมีแนวโน้มที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในชั้นดินล่างในทุกบริเวณ แต่จะยกเว้นในพื้นที่ปลูกไม้ดอกเมืองหนาวหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) ซึ่งเป็นพื้นที่ทางการเกษตรบริเวณหนึ่ง ที่มีปริมาณที่ค่อนข้างผันแปรมาก ทั้งนี้เนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มาจากการทับถมของตะกอนที่มีการเคลื่อนย้ายในระยะทางใกล้ ๆ ความแตกต่างของขนาดตะกอนในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการทับถมทำให้การแจกกระจายของขนาดอนุภาคภายในหน้าตัดดินจึงค่อนข้างมีความแปรปรวน สำหรับการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งในชั้นดินต่าง ๆ ของบริเวณนี้พบอยู่ในพิสัย 37-424 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงตามความลึกในเกือบทุกบริเวณ การแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินตามความลึก พบว่าอยู่ในพิสัย 50-502 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตอนบนของหน้าตัดดิน และค่อยลดลงในตอนล่าง

ดินภายภายใต้การใช้ทำการเกษตรพบการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่าง ๆ คล้ายคลึงกันโดยอนุภาคขนาดดินเหนียว จะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงความลึกประมาณ 60 เซนติเมตร ปริมาณดินเหนียวก็จะลดลงเล็กน้อย ยกเว้นอนุภาคขนาดทรายแป้งที่มีแนวโน้มสูงสุดในชั้นดินบน แล้วลดลงชัดเจนในชั้นดินถัดไป อาจเป็นเพราะในระยะแรกของการบุกเบิกพื้นที่อนุภาคขนาดดินเหนียวอาจสูญเสียไปเนื่องจากการกร่อนดินในลักษณะแผ่นบาง (sheet erosion)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งดินที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในดินชั้นล่าง ทำให้ดินตอนบนมีอนุภาคขนาดใหญ่เหลืออยู่มากส่วนดินตอนล่างจะมีอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะดินเหนียวเพิ่มขึ้น (Buol *et al*., 2003) ส่วนในบางดินพบว่าอนุภาคขนาดดินเหนียวลดลงที่ความลึก 50 เซนติเมตร เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดอาจได้รับการชะละลายน้อยหรือมีการสลายตัวช้า

ความหนาแน่นรวม

ดินที่ใช้ทำการเกษตรในทุกบริเวณมีความหนาแน่นรวมของดินในดินบนต่ำกว่าในดินล่าง โดยพบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในพิสัย 0.86-1.78 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2) ชั้นดินบนเกือบทุกบริเวณมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ ค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในพิสัย 0.87-1.46 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยดินบนของแปลงปลูกพืชผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยแม่ยะน้อย พื้นที่อินทนนท์ (INT-12) มีความหนาแน่นรวมสูงสุดแต่อยู่ในระดับปานกลาง คือ มีค่าความหนาแน่นรวม 1.46 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับดินล่างที่มีค่าความหนาแน่นรวมสูงกว่าดินอื่นอย่างชัดเจน ได้แก่ ดินในแปลงปลูกผักนอกโรงเรือน หน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7) ที่มีค่าอยู่ในพิสัย 1.43-1.78 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะความแตกต่างของวัสดุดิน เนื่องจากพื้นที่เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพาท้องถิ่น ขณะที่ในดินอื่น ๆ ชั้นดินล่างมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางเท่านั้น

การที่ดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าในดินล่าง เนื่องจาก ดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าและมีการเคลื่อนย้ายดินเหนียวสู่ชั้นดินล่าง ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดจะแทรกตัวอยู่ในช่องว่างในดินมีผลทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (Foth, 1990; Brady and Weil, 2008) โดยปกติแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนพื้นที่ป่ามาใช้เพื่อการเกษตรมักจะมีผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินโดยเฉพาะดินบนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียอินทรียวัตถุ อาจจะเกิดจากการไถพรวนแล้วไปเร่งอัตราการสลายตัว หรือสูญหายไปกับการกร่อนดิน (Kaspar *et al*., 1990) เป็นต้น ขณะที่ในดินชั้นที่อยู่ข้างใต้ชั้นดินบนก็อาจแน่นทึบขึ้นได้ เนื่องจากแรงกดทับของเครื่องจักรกล (Hamza and Anderson, 2004) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของพื้นที่ขุนวางนี้ จะพบว่า ความหนาแน่นรวมทั้งในดินบน และดินล่างของพื้นที่ป่าธรรมชาติและพื้นที่ที่ถูกนำมาใช้เพื่อการเกษตรกรรมรูปแบบต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจาก 1) ในบริเวณพื้นที่สูงนี้ การทำการเกษตรจะไม่ใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรขนาดใหญ่ (นิวัต, 2546) ดินจึงไม่เกิดการแน่นทึบในตอนล่าง 2) มีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มเติมอินทรียวัตถุในรูปของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกอยู่อย่างสม่ำเสมอ 3) เกษตรกรมักจะผสมคลุกเคล้าเศษเหลือของพืชลงไปในดินโดยไม่มีการเผาเหมือนกับในพื้นที่ราบที่มีการปลูกพืชไร่ 4) อุณหภูมิในพื้นที่สูง ที่ค่อนข้างต่ำทำให้การสลายตัวของอินทรียวัตถุเกิดในอัตราที่ช้าด้วย (Westermann, 2004) และ 5) การจัดการด้านการอนุรักษ์ดิน เช่น การปลูกพืชบนขั้นบันไดทั้งในระบบนอกโรงเรือนและในโรงเรือนซึ่งทำให้การกร่อนดินเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งโดยปกติแล้วการกร่อนดินมักจะทำให้เกิดการสูญเสียอนุภาคดินขนาดเล็กและอินทรียวัตถุออกไปจากชั้นผิวดิน มีผลทำให้ดินแน่นทึบขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งก็คือทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินสูงขึ้น (นิวัติ, 2546) และในกรณีของดินที่ใช้สำหรับปลูกผักนอกโรงเรือน พบว่ามีค่าความหนาแน่นรวมทั้งในดินล่างและดินบนสูงกว่าดินในบริเวณอื่นอย่างชัดเจน น่าจะมีสาเหตุมาจาก การที่ดินในบริเวณนี้มีอนุภาคขนาดทรายสูงมากกว่า ซึ่งลักษณะเม็ดทรายที่สลายตัวมาจากหินไนส์มักมีขนาดไม่เท่ากัน (Blatt and Tracy, 1996) และอนุภาคทรายขนาดเล็กบางส่วนอาจเกิดจากการทับถมของวัสดุที่เป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่น ซึ่งเม็ดทรายที่มีขนาดเล็กกว่าน่าจะไปอุดตันตามช่องว่าง ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าในบริเวณอื่น ๆ

โดยปกติแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนพื้นที่ป่ามาใช้เพื่อการเกษตรมักจะมีผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดิน โดยเฉพาะดินบนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียอินทรียวัตถุ อาจจะเกิดจากการไถพรวนแล้วไปเร่งอัตราการสลายตัว หรือสูญหายไปกับการกร่อนดิน (Kaspar *et al*., 1990) เป็นต้น ขณะที่ในดินชั้นที่อยู่ข้างใต้ชั้นดินบนก็อาจแน่นทึบขึ้นได้ เนื่องจากแรงกดทับของเครื่องจักรกล (Hamza and Anderson, 2004)

การที่ความหนาแน่นรวมของดินบนต่ำกว่าดินล่างเนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในดินล่าง รวมถึงมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ทำให้อนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวไปแทรกตามช่องว่างของดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Foth, 1990) และดินยังมีแนวโน้มที่จะมีการอัดตัวกันแน่นมากขึ้นตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น และช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลงเนื่องจากการอัดตัวกันแน่นของดิน (Calvert *et al*, 1980; Potichan, 1991; Brady and Weil, 2008) โดยค่าความหนาแน่นรวมของดินที่จัดว่าเหมาะสมสำหรับปลูกพืชโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 1.3 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Foth, 1990) ซึ่งพบว่าดินบนบางบริเวณเท่านั้นของพื้นที่ทำการเกษตรคือแปลงปลูกผักและแปลงกาแฟ เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ดังกล่าว สำหรับความแปรปรวนของความหนาแน่นรวมในดินชั้นล่างของพื้นที่อินทนนท์น่าจะเกิดจากอัตราการผุพังสลายตัวของวัสดุต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นเศษหินเชิงเขาที่มักพบบริเวณตอนกลางของหน้าตัดดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

สภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่า อยู่ในระดับช้ามากถึงเร็วมาก โดยในพื้นที่ทำการเกษตร ดินบนและดินล่างอยู่ในระดับช้ามากถึงเร็วมาก (0.07-125.6 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) (ตารางที่ 2) โดยค่าส่วนใหญ่มีความแปรปรวนค่อนข้างมาก ดินที่ใช้ปลูกไม้ผลมักจะมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ส่วนบริเวณที่มีการจัดการที่ผิวดินอย่างสม่ำเสมอ เช่น ดินที่ใช้ปลูกผักและไม้ดอกมักจะมีค่าสูงในดินบน และลดลงในดินล่าง

สมบัตินี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ชนิดของเนื้อดิน ขนาด รูปร่าง การเชื่อมโยง ความต่อเนื่อง ความคดเคี้ยว ความคงทน การแจกกระจายของช่องว่างในดิน และชนิดของไอออนที่จะทำให้อนุภาคดินฟุ้งกระจาย (Iwata *et al*., 1995; Hillel, 1998; Juma, 2001) ดินที่ทำการเกษตรค่าสภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินบนของดินส่วนใหญ่มากกว่าดินล่างเนื่องจากดินบนโครงสร้างดีกว่ามีปริมาณช่องว่างในดินมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงกว่าซึ่งง่ายต่อการเกิดเม็ดดิน และมีโครงสร้างที่เสถียร (Iwata *et al*., 1995; Hillel, 1998; Juma, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความหนาแน่นรวมของดิน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาเนื้อดินที่ดินล่างมีแนวโน้มละเอียดกว่าดินบน การแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินชั้นล่าง มีผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ของดินลดลงตามความลึก (สุนทรี, 2529; Richie, 1981) ส่งผลให้การซาบซึมน้ำของดินบนดีกว่าดินล่าง ยกเว้นดินบริเวณที่เป็นแปลงนา เพราะว่าดินนามีการทำเทือกเพื่อให้ขังน้ำได้ ส่วนดินในบริเวณที่เป็นแปลงผักภายใต้โรงเรือน มีการปาดหน้าดินบนทิ้งไปทำให้เหลือแต่ดินล่างที่มีการสะสมอนุภาคดินเหนียวอยู่มากดินจึงมีค่าสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวช้า แต่ในดินบริเวณนี้ดินบนมีการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินบนค่าสภาพนำน้ำของดินที่อิ่มตัวจึงเร็วมาก

3. สมบัติทางเคมี

3.1 พื้นที่ป่าธรรมชาติ

พีเอชดิน

ค่าพีเอชดินในพื้นที่ขุนวาง ค่าที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 พบว่า ดินบน (A) พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 4.4-5.2) ส่วนในดินล่างเป็นกรดจัดมากถึงกรดปาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลาง (pH 4.6-5.7) สำหรับพีเอชดินที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:1 พบว่า ดินบนมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 3.8-4.5) ส่วนในดินล่างเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 3.5-4.2) โดยค่าพีเอชของดินส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่พบในดินที่ใช้ทำการเกษตร (ตารางที่ 3) ยกเว้นพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรในโรงเรือนค่าพีเอชของดินมีแนวโน้มสูงกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากอิทธิพลของการจัดการดิน โดยเฉพาะการใส่ปูนและการชะละลายที่เกิดได้น้อยกว่า

สำหรับพื้นที่อินทนนท์ ค่าพีเอชดินที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 พบว่า ดินบน (ชั้น A) พีเอชเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 4.5-5) ส่วนในดินล่างเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 4.7-5.3) โดยส่วนใหญ่จะเป็นกรดจัดมาก สำหรับพีเอชดินที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:1 พบว่า ดินบนมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 3.8) ส่วนในดินล่างเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 3.2-3.9) โดยค่าพีเอชของดินส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่พบในดินที่ใช้ทำการเกษตร เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลของการจัดการดิน โดยเฉพาะการใส่ปูน และปุ๋ยอินทรีย์ ขณะที่การชะละลายในพื้นที่ป่าน่าจะเกิดได้มากกว่าในสภาพพื้นที่ที่มีการปรับปรุงโดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ภายใต้สภาพโรงเรือน ธรรมชาติ

ปริมาณอินทรียวัตถุ

ดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติพื้นที่ขุนวาง ดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมากโดยพิสัย 49.6-69.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) และพบว่าในหลายบริเวณมีการแจกกระจายลงสะสมในชั้นดินล่างตอนบนในระดับที่สูงพอสมควร ส่วนดินล่าง พบว่า ดินภายใต้พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระดับต่ำกว่าในดินบน โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน การสะสมอินทรียวัตถุในดินตอนบนอยู่สูงเนื่องมาจากการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินจากธรรมชาติ โดยเฉพาะดินป่าทุติยภูมิ (KW-16) หน่วยย่อยบ้านโป่งน้อย เป็นป่าที่มีการตัดไม้ใหญ่ออกหมดแล้ว ขณะที่ทำการศึกษาพื้นที่ถูกปกคลุมไปด้วยวัชพืชและไม้พุ่มค่อนข้างหนา ทำให้ชั้นดินบนปริมาณอินทรียวัตถุสูงถึง 69.7 กรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะของฝนในพื้นที่ที่มีปริมาณมากแต่พลังงานของเม็ดฝนมีต่ำ ประกอบกับความชื้นในพื้นที่มีค่อนข้างสูงทำให้มีพืชปกคลุมดินเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้การกร่อนดินเกิดขึ้นได้น้อย ขณะที่การสลายตัวของรากหญ้าและวัชพืชขนาดเล็กมีส่วนเพิ่มเติมอินทรียวัตถุให้กับดินอย่างสม่ำเสมอด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่อินทนนท์ พบว่า ดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงอยู่ในที่พิสัย 26.3-51.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) และมีและมีแนวโน้มลดลงตามความลึกในดินล่าง ดังนั้นดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติดินยังคงมีการสะสมอินทรียวัตถุในดินตอนบนอยู่สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินจากธรรมชาติ ส่วนในดินล่างจะเป็นลักษณะโดยทั่วไปของดินที่ไม่ได้รับอินทรียวัตถุเพิ่มเติมมากพอ เนื่องจากอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินบนภายใต้สภาพกึ่งร้อนชื้นจะเกิดได้ช้ากว่าเนื่องจากอากาศไม่ร้อนเท่าเขตร้อนชื้นถึงแม้ว่าจะมีฝนตกชุกก็ตาม ดังนั้น จึงพบการสะสมอินทรียวัตถุในระดับที่ค่อนข้างมากในตอนบนของชั้นสะสมดินเหนียวของดินส่วนใหญ่ของทั้งสองพื้นที่

ปริมาณไนโตรเจนรวม

พื้นที่ขุนวาง ดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยพบอยู่ในพิสัย 1.27-2.59 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างอยู่ในพิสัยที่ 0.10-0.83 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ส่วนพื้นที่อินทนนท์ ปริมาณไนโตรเจนรวมในดินบนมีอยู่ในระดับต่ำ ที่พิสัย 0.91-1.80 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) ส่วนในดินล่างอยู่ในระดับที่ต่ำมาก และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งการที่ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนที่สำคัญให้แก่ดิน และการนำไปใช้ของพืชและจุลินทรีย์ในดิน การที่ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นนี้อาจเกิดจากการที่พืชและจุลินทรีย์ดินนำไปใช้ จากกระบวนการชะละลาย และจากการที่สูญเสียในรูปแก๊ส (ไพบูลย์, 2528)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ป่าไม้

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(--------g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								
แปลงป่าดิบเขา ขุนแม่วาก (KW-1): Typic Palehumult																
0-20	A1	4.8	3.8	49.6	2.07	4.4	195.2	2.47	1.09	0.60	0.50	4.65	22.7	27.4	20.2	10.8
20-40/49	A2	4.4	3.7	41.1	1.41	4.6	79.8	0.46	0.18	0.43	0.21	1.28	22.7	24.0	14.9	3.4
49-75	Bt1	4.6	3.6	20.9	0.83	0.7	54.1	0.18	0.06	0.23	0.14	0.62	16.1	16.7	8.7	2.5
75-102	Bt2	4.6	3.5	20.7	0.55	0.6	48.8	0.16	0.06	0.35	0.13	0.70	14.2	14.9	11.0	2.8
102-130	Bt3	4.5	3.5	6.3	0.48	0.7	28.8	0.11	0.04	0.58	0.07	0.81	13.2	14.0	9.9	3.5
130-154	Bt4	4.5	3.6	6.7	0.41	0.6	25.5	0.10	0.04	0.14	0.07	0.34	11.4	11.7	8.2	1.8
154-179	Bt5	4.5	3.5	5.4	0.35	0.6	25.2	0.17	0.05	0.07	0.07	0.35	9.4	9.8	7.6	2.0
179-200+	Bt6	4.4	3.6	3.7	0.31	0.3	26.3	0.24	0.08	0.46	0.07	0.84	9.5	10.3	7.5	5.0
แปลงป่าทุติยภูมิ ขุนแม่วาก (KW-4): Typic Haplohumult																
0-20	A	5.6	4.5	42.2	2.59	45.8	188.3	3.68	0.45	0.19	0.48	4.80	20.9	25.7	19.9	11.8
20-45	Bt1	5.0	4.2	25.1	1.32	2.5	72.1	1.35	0.22	0.30	0.19	2.05	16.1	18.1	13.9	6.9
45-72	Bt2	5.3	4.2	14.1	0.63	0.8	38.8	1.43	0.15	0.18	0.10	1.86	10.4	12.2	8.3	10.0
72-101	Bt3	5.2	4.1	6.0	0.41	1.9	23.2	1.51	0.19	0.34	0.06	2.10	6.6	8.7	7.1	15.3
101-127	Bt4	5.7	4.0	4.0	0.24	5.1	25.8	1.42	0.18	0.33	0.07	1.99	6.6	8.6	5.9	16.0
127-153	Bt5	5.3	3.9	3.3	0.24	7.8	28.4	1.21	0.14	0.12	0.07	1.54	6.6	8.2	6.6	11.7
153-175	Bt6	5.3	3.8	1.3	0.14	11.5	30.3	1.03	0.11	0.44	0.08	1.65	5.7	7.4	5.7	14.5
175-200+	Bt7	5.0	3.8	2.0	0.14	18.5	36.1	0.74	0.10	0.39	0.09	1.32	7.6	8.9	6.4	9.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(------g kg^{-1}------)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								
แปลงป่าดิบเขา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8): Typic Haplohumult																
0-18	A	5.2	4.0	49.9	1.27	0.2	133.3	1.45	1.21	0.32	0.34	3.32	19.9	23.2	15.0	9.5
18-40	Bt1	5.0	3.9	23.8	0.66	1.7	99.9	0.64	0.30	0.07	0.26	1.27	11.4	12.6	9.2	6.2
40-66	Bt2	5.0	3.9	10.1	0.38	0.6	59.5	0.33	0.12	0.19	0.15	0.79	8.5	9.3	9.1	4.5
66-87	Bt3	5.0	3.9	5.2	0.31	1.0	19.3	0.26	0.08	0.44	0.05	0.83	3.8	4.6	7.2	7.6
87-113	Bt4	5.1	3.9	2.3	0.24	0.4	9.3	0.35	0.09	0.44	0.02	0.91	3.8	4.7	6.2	9.1
113-	Bt5	5.1	3.9	3.3	0.20	1.1	9.0	0.59	0.14	0.37	0.02	1.12	4.7	5.9	4.7	11.9
146-	Bt6	5.2	3.9	0.7	0.10	1.0	4.8	0.52	0.11	0.18	0.01	0.83	3.8	4.6	3.5	11.4
170-200+	BCrt	5.3	3.9	0.7	0.10	0.4	5.2	0.24	0.03	0.73	0.01	1.02	3.8	4.8	3.7	13.5
แปลงป่าดิบเขา สถานีหลักฯ (KW-14): Typic Palehumult																
0-20	A	4.9	4.2	51.5	1.76	41.5	128.1	1.39	0.77	0.34	0.33	2.83	16.1	18.9	13.0	9.7
20-38	Bt1	4.6	4.1	24.3	0.82	5.8	68.1	0.26	0.15	0.14	0.18	0.73	16.1	16.8	7.2	3.1
38-64	Bt2	4.3	3.9	10.9	0.45	2.9	49.8	0.33	0.17	0.37	0.13	1.00	8.5	9.5	5.5	7.1
64-91	Bt3	4.5	3.8	7.4	0.31	0.8	38.7	0.14	0.07	0.17	0.10	0.47	2.8	3.3	4.4	6.6
91-118	Bt4	4.2	3.9	2.7	0.24	0.7	24.4	0.20	0.08	0.24	0.06	0.58	4.7	5.3	3.9	6.7
118-148	Bt5	4.3	3.9	2.4	0.24	0.7	14.4	0.13	0.08	0.33	0.04	0.58	3.8	4.4	3.7	7.6
148-170	Bt6	4.4	3.9	2.3	0.10	0.7	17.3	0.11	0.09	0.45	0.04	0.69	4.7	5.4	4.5	7.5
170-200+	Bt7	4.3	3.9	2.4	0.10	0.6	25.1	0.21	0.11	0.29	0.06	0.68	5.7	6.3	3.1	7.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}----)		(----mg kg^{-1}---)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------								(%)
แปลงป่าทุติยภูมิ โป่งน้อย (KW-16): Typic Palehumult																
0-20	A1	4.9	4.0	69.7	2.45	3.2	56.1	0.10	0.08	0.92	0.14	1.25	35.1	36.4	18.9	2.3
20-38	A2	4.6	3.9	48.0	1.52	2.3	41.0	0.07	0.05	0.12	0.11	0.35	19.0	19.3	13.7	1.1
38-64	Bt1	4.6	3.8	21.3	0.62	1.4	28.3	0.09	0.04	0.27	0.07	0.47	11.4	11.9	6.8	2.6
64-91	Bt2	4.8	3.9	14.1	0.44	1.1	20.2	0.17	0.12	0.37	0.05	0.71	6.7	7.4	6.0	5.6
91-118	Bt3	5.0	3.9	7.9	0.31	0.4	17.4	0.22	0.16	0.51	0.05	0.93	7.6	8.5	4.7	7.5
118-148	Bt4	5.0	4.0	4.6	0.28	0.8	15.9	0.16	0.10	0.07	0.04	0.38	7.6	8.0	4.2	3.2
148-170	Bt5	4.9	4.0	2.0	0.17	0.6	16.4	0.20	0.12	0.48	0.04	0.84	6.6	7.5	4.0	7.9
170-200+	Bt6	4.9	4.2	3.0	0.17	0.8	13.8	0.19	0.08	0.11	0.04	0.41	7.6	8.0	3.5	3.7
แปลงป่าสน ดอยผาตั้ง (INT-11): Typic Hapludult																
0-16/29	A	4.5	3.7	51.0	1.80	6.0	22.4	0.58	0.11	0.06	0.52	1.27	24.7	26.0	17.1	4.9
29-20/82	Bt1	4.7	3.8	10.8	0.42	4.0	9.0	0.34	0.03	0.02	0.61	1.00	9.8	10.7	5.5	9.3
82-25/125	Bt2	4.7	3.9	3.1	0.24	5.0	5.9	0.30	0.02	0.02	0.31	0.64	7.5	8.1	4.1	7.8
125-	Bt3	4.8	3.9	5.1	0.14	2.0	5.6	0.36	0.02	0.01	0.67	1.06	6.0	7.1	3.9	15.1
164-	Bt4	4.7	3.8	2.7	0.10	4.0	4.6	0.23	0.02	0.01	0.16	0.42	6.0	6.4	3.5	6.6
-	BCrt1	4.7	3.9	2.0	0.07	0.0	6.5	0.24	0.02	0.02	0.63	0.91	6.0	6.9	3.8	13.2
-	BCrt2	4.7	3.8	4.8	0.07	1.0	10.3	0.20	0.02	0.03	1.06	1.31	5.2	6.6	3.3	20.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. Acidity	CEC		BS by sum
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(------g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงป่าดิบเขา แม่ยะน้อย (INT-15) Typic Hapludult																
0-18	A	5.0	3.7	26.3	0.91	5.0	67.3	1.12	0.23	0.17	0.22	1.74	9.7	11.5	6.9	15.1
18-45	Bt1	5.0	3.9	10.8	0.52	3.0	48.2	0.85	0.14	0.12	0.25	1.37	6.7	8.1	9.0	16.9
45-72	Bt2	4.9	3.9	13.8	0.35	4.0	50.8	0.94	0.15	0.13	1.24	2.46	5.2	7.7	5.6	31.9
72-105	Bt3	5.1	3.2	9.7	0.28	0.0	38.0	0.78	0.20	0.10	0.41	1.49	6.0	7.5	6.0	19.9
105-136	Bt4	4.8	3.2	5.6	0.14	1.0	22.4	0.32	0.17	0.06	0.73	1.28	4.5	5.8	4.3	22.2
136-170	Bt5	4.9	3.4	4.4	0.14	0.0	21.6	0.19	0.14	0.06	0.19	0.57	4.5	5.1	4.0	11.2
170-200+	BCrt	5.3	3.9	3.2	0.14	0.0	25.9	0.11	0.11	0.07	0.60	0.88	3.8	4.6	3.3	19.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

พื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมากที่พิสัย 2.2-45.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงค่อนข้างสูง (0.29-18.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 3) ซึ่งระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำนี้อาจเนื่องจาก ดินในพื้นที่มีการพัฒนาการพอสมควร ผ่านการชะละลายมานานพอที่จะทำให้พีเอชดินเป็นกรด เกิดมีไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสะสมอยู่มาก ฟอสฟอรัสจึงถูกตรึงและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และฟอสฟอรัสที่พบเป็นองค์ประกอบอยู่ในแร่ประกอบหินมักมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก (Stephen, 2007) สำหรับในกรณีของดินแปลงป่าทุติยภูมิหน่วยยอยขุนแม่วาก (KW-4) พบว่ามีค่าในดินอยู่ถึง 45.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นระดับที่สูงมาก น่าจะเป็นผลมาจากพื้นที่ดังกล่าวเคยถูกใช้ประโยชน์ในการปลูกผักหลังจากการเปิดป่าประมาณ 2-3 ปี จึงน่าจะได้รับผลตกค้างจากปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ ส่วนดินในป่าดิบเขาพื้นที่สถานีหลัก (KW-14) ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่สูงในดินบน (41.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวอยู่ต่ำกว่าพื้นที่บางส่วนที่ใช้ทำการเกษตรจึงมีความเป็นไปได้ว่าอิทธิพลของน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินจากพื้นที่เกษตรกรรมได้พัดพาฟอสฟอรัสไปสะสมในพื้นที่นี้เนื่องจากอยู่ในบริเวณที่ต่ำกว่าพื้นที่เกษตรกรรมในสภาพภูมิประเทศเดียวกัน

ดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติพื้นที่อินทนนท์มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากตลอดหน้าตัดดิน และมีแนวโน้มจะลดลงตามความลึกโดยเฉพาะในพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) ที่มีค่าต่ำมากตลอดหน้าตัดดิน (ตารางที่ 3) ซึ่งระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำนี้แสดงถึงการที่ดินมีพัฒนาการมาก ผ่านการชะละลายมานาน ทำให้ค่าพีเอชดินเป็นกรด และมีไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสะสมอยู่มาก ฟอสฟอรัสจึงถูกตรึงและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จึงมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดิน (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008) ซึ่งดินในพื้นที่อินทนนท์ส่วนใหญ่เป็นกรด นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่มีแนวโน้มลดลงตามความลึกยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรียฟอสเฟส (Tisdale and Nelson, 1975; Sanchez, 1976; Potichan, 1991) จึงทำให้ชั้นดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าในชั้นดินล่าง และการที่มีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (Brady and Weil, 2008) อาจเนื่องจากกลุ่มไฮดรอกซิลในแผ่นอะลูมินาของแร่ดินเหนียวชนิด เคโอลิไนต์สามารถที่จะแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสได้ (Havlin *et al.*, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ดินในพื้นที่ขุนวางส่วนใหญ่มีค่าสูงมากในดินบน (41.0-195.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นในดินบนของป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-16) ที่มีค่าเท่ากับ 56.1 และ 41.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในชั้น A1 และ A2 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการสูญเสียไปกับการชะละลายและน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินในระยะของการถางป่า สำหรับการแจกกระจายภายในหน้าตัดดิน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลงตามความลึกคล้ายคลึงกับในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

สำหรับพื้นที่อินทนนท์ปริมาณโพแทสเซียมที่ประโยชน์ พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในพิสัยที่ 22.4-67.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ในดินล่างพบอยู่ในระดับต่ำมากตลอดหน้าตัดดินโดยเฉพาะพื้นที่ป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) ที่มีปริมาณต่ำมากในพิสัย 4.6-10.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) ส่วนพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) พบอยู่ในระดับต่ำในชั้นดินล่างตั้งแต่ชั้น Bt1 ถึง Bt3 ซึ่งดินทั้งสองมีค่าสูงในชั้นดินบนและมีค่าลดลงตามความลึก โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกธาตุหนึ่ง ซึ่งพบว่าเป็นข้อจำกัดต่อการผลิตพืชในพื้นที่อินทนนท์ และการสูญเสียโพแทสเซียมน่าจะเกิดจากการพัดพาข้างใต้ดินไปกับความลาดเทลงสู่ส่วนต่ำ

ปริมาณเบสที่สกัดได้

แคตไอออนที่เป็นเบสในรูปที่สกัดได้ ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม ดินในพื้นที่ขุนวางมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่ต่ำถึงต่ำมาก (0.11-3.68 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 3) ส่วนใหญ่มีปริมาณต่ำกว่าที่พบในพื้นที่เกษตรกรรม สืบเนื่องจากการที่พื้นที่ป่าตามธรรมชาติไม่มีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนหรือปุ๋ยคอก และเกิดจากการชะล้างได้ตามธรรมชาติประกอบกับหินต้นกำเนิดไม่มีแร่ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ส่วนพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่ต่ำมากตลอดหน้าตัดดิน อยู่ในพิสัย 0.11-1.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในดินบนจะมีค่าที่มากกว่าดินล่างทั้งสองพื้นที่ โดยค่าสูงสุดเท่ากับ 1.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม พบที่ชั้น A ในพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 3) ซึ่งการพบในระดับต่ำมาก เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชดินซึ่งเป็นกรดค่อนข้างมาก และระดับของแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน การสะสมแคลเซียมที่สกัดได้ที่มีค่าสูงในแปลงของสถานีหลักน่าจะเกิดจากอิทธิพลของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดการ โดยเฉพาะจากการใส่ปุนและผลจากการที่พื้นที่อยู่ในสภาพโรงเรือนที่มีการชะละลายน้อย จึงทำให้เกิดการสะสมขึ้น แต่ส่วนใหญ่พื้นที่เกือบทั้งหมดพบอยู่ในระดับต่ำมากแสดงว่าธาตุอาหารนี้เป็นข้อจำกัดต่อการผลิตพืชในพื้นที่

ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินที่ศึกษาในพื้นที่ขุนวาง พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางในพิสัย 0.08-1.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างพบอยู่ในระดับต่ำมาก (0.04-0.30 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึก ส่วนในพื้นที่อินทนนท์ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้พบอยู่ในระดับที่ต่ำมากตลอดหน้าตัดดิน โดยอยู่ในพิสัย 0.02-0.23 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในดินบนจะมีค่าที่มากกว่าดินล่างทั้งสองพื้นที่และมีค่ามากที่สุดคือ 0.23 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในดินชั้น A ในพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 3) ซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณแคลเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินพื้นที่ขุนวาง พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางในพิสัย 0.14-0.50 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (0.07-0.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยในชั้นดินบนจะมีค่าที่มากกว่าในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึก (ตารางที่ 3) และดินพื้นที่อินทนนท์ตลอดหน้าตัดดินมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากที่พิสัย 0.01-0.17 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งดินทั้งสองพื้นที่จะมีค่ามากในชั้นดินบนและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก

ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ พบว่า ดินบนของพื้นที่ขุนวางมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงในพิสัย 0.19-0.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (0.07-0.73 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และมีค่าค่อนข้างแปรปรวนแต่มีแนวโน้มว่าในดินตอนล่างจะมีปริมาณมากกว่าในดินตอนบนของหน้าตัดดิน (ตารางที่ 3) ส่วนปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ในพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางที่พิสัย 0.22-0.52 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงสูงที่พิสัย 0.16-1.24 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งจะมีความผันแปรมากในหน้าตัดดิน

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้

พื้นที่ขุนวาง ดินบนพบอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมากในพิสัย 1.25-4.80 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างอยู่ในระดับต่ำมาก (0.34-2.10 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยค่านี้มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ส่วนพื้นที่อินทนนท์ ส่วนใหญ่ที่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 3) และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบอยู่ในระดับต่ำมากตลอดหน้าตัดดินในพิสัย 0.42-2.46 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยมีค่าสูงในดินบนและลดลงในดินล่าง ยกเว้นดินป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) ที่มีความผันแปรค่อนข้างสูงแต่ก็ยังอยู่ในระดับที่ต่ำมาก เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในชั้นดินล่าง จึงทำให้ชั้นดินบนมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มีพัฒนาการสูงจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ต่ำ (Buol *et al*., 2003) ส่วนบริเวณที่ปริมาณค่อนข้างผันแปร อาจเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุต้นกำเนิดดิน และมีอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันภายในหน้าตัดดิน การที่ดินมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงกว่าเบสอื่นเป็นลักษณะเด่นในดินที่มีการพัฒนาการสภาพป่าไม้ในเขตร้อน (นิวัติ, 2546; Buol *et al*., 2003)

สภาพกรดที่สกัดได้

ดินในพื้นที่ขุนวาง ดินบนมีปริมาณอยู่ในระดับสูงถึงสูงมากในพิสัย 19.9-35.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงที่พิสัย 3.8-16.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งจากค่าวิเคราะห์ดินชั้นบนมีค่าสูงกว่าดินชั้นล่าง ขณะที่ในพื้นที่อินทนนท์ ในดินบนจะมีค่าที่สูงกว่าในดินล่างทั้งสองพื้นที่ โดยเฉพาะดินในพื้นที่ป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) ซึ่งในดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (24.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และลดลงในดินล่างตลอดหน้าตัดดิน นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในทางเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุของดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุซึ่งมีค่าสูงในชั้นดินบนสามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออนได้มาก (Foth, 1984; Tan, 1993) ทำให้ชั้นดินบนมีปริมาณกรดที่สกัดได้สูงกว่าชั้นดินล่าง และมีค่าลดลงตามความลึก และการที่ดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดแก่ ทำให้ธาตุอะลูมิเนียมละลายออกมามากและแสดงความเป็นกรดได้ (Buol *et al*., 2003; Brady and Weil, 2008) หรืออาจเกิดจากกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่จะมีการแตกตัวของอนุมูลกรด และปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนให้แก่ดิน (Brady and Weil, 2008) ทำให้ชั้นดินบนมีสภาพกรดที่สกัดได้สูงกว่าชั้นดินล่างเช่นเดียวกับการหายใจของรากพืชที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกเมื่อเกิดการรวมตัวกับน้ำ (Tan, 1993)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

พื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 13.0-20.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยมีค่าลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน ซึ่งในดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง พิสัย 3.1-16.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ในดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงในพิสัย 11.47-26.01 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) โดยพบว่าในทุก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดินจะมีค่าสูงในดินบนและลดลงในดินล่างตามความลึก ซึ่งความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน รวมถึงชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน แต่การที่ค่านี้ลดต่ำลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน และมีค่าค่อนข้างต่ำ ทั้งที่ดินมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก ชี้ให้เห็นว่า แร่ดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบในดินเป็นชนิดที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ เช่น เคโอลิไนต์ รวมถึงเหล็ก และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Buol *et al.*, 2003; Brady and Weil, 2008) ซึ่งความสามารถกักเก็บไอออนบวกที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชของดินในพื้นที่ ดังนั้นจะต้องมีความระมัดระวังถ้าจะนำมาทำการเกษตร เนื่องจากมีโอกาสสูญเสียออกไปจากชั้นดินได้ง่าย การที่ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมีค่าในดินบนที่สูงกว่าดินล่างอาจเนื่องจากอิทธิพลของอินทรียวัตถุ (Sanchez, 1976; Young, 1976; Rowell, 1994) ซึ่งในอินทรียวัตถุมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงประมาณ 200 ถึง 300 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (Orlov, 1992) จึงทำให้ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่สูงตามไปด้วย

ร้อยละความอิ่มตัวเบส

ดินในพื้นที่ขุนวาง พบว่า ดินมีค่านี้ลดลงตามความลึกซึ่งเช่นเดียวกับในกรณีของเบสรวม ดินในสภาพป่าธรรมชาติมีค่านี้อยู่ในระดับต่ำทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.1-15.3 (ตารางที่ 3) ส่วนดินพื้นที่อินทนนท์มีค่าอยู่ในระดับต่ำทั้งสองบริเวณโดยพบอยู่ในพิสัยร้อยละ 4.9-31.9 แต่จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามความลึกในพื้นที่ป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) และในพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) มีค่าสูงที่สุดในชั้น Bt2 (31.92%) แต่ทั้งสองดินก็ยังมีค่าอยู่ในระดับต่ำคือต่ำกว่าร้อยละ 35 แสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูง ผ่านการชะละลายมามากทำให้แคตไอออนที่เป็นเบสเหลืออยู่น้อยในดิน (Brady and Weil, 2008)

3.2 พื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

ค่าพีเอชดิน

ดินในพื้นที่ขุนวาง ค่าที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 พบว่า ดินบน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 4.6-5.9) ส่วนในดินล่างเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดปานกลาง (pH 4.1-6) สำหรับพีเอชดินที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:1 พบว่า ทั้งในดินบนและดินล่างมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัด (pH 3.6-5.3 และpH 3.6-5.1 ตามลำดับ) ซึ่งในสภาพโรงเรือนเช่นพื้นที่ปลูกผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แรง-ป่ากล้วย (KW-9) จะมีค่าที่สูงมากที่สุดที่ในพิสัย 5.6-6.0 เมื่อวัดในน้ำ และ 4.7-5.0 เมื่อวัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4) เนื่องจากอิทธิพลของการจัดการดิน โดยเฉพาะการใส่ปูนและการชะละลายที่เกิดได้น้อยกว่า

ค่าพีเอชของดินพื้นที่อินทนนท์ที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 พบว่า ในพื้นที่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้งในดินปลูกไม้ดอกในโรงเรือน (INT-1) แปลงพลัม (INT-2) และแปลงกาแฟและกีวี (INT-3) มีค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 (ตารางที่ 4) ส่วนแปลงสาลี่ที่อยู่ตอนบนของสภาพภูมิประเทศ (INT-4) และแปลงองุ่นที่อยู่บริเวณที่ลาดเชิงเขา (INT-5) ค่าพีเอชดินส่วนใหญ่เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกรดปานกลางและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ในกรณีของดินที่อยู่ภายใต้โรงเรือน ได้แก่ แปลงโรงเรือนสตรอเบอรี่ (INT-6) และแปลงโรงเรือนพืชผัก (INT-7) ในพื้นที่สถานีหลัก พบว่า ค่าพีเอชของดินบนเมื่อวัดโดยใช้ดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นกรดเล็กน้อย และมีแนวโน้มลดลงในดินล่างซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินในตอนบนได้ผ่านการจัดการเพื่อยกระดับของค่าพีเอชดินมาแล้ว ขณะที่พื้นที่ในหน่วยย่อยดอยผาตั้ง และหน่วยย่อยแม่ยะน้อย ดินส่วนใหญ่มีความเป็นกรดค่อนข้างมากกว่าในอีกสองบริเวณที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยค่าพีเอชที่วัดโดยน้ำอยู่ในพิสัย 4.4-6.2 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอัตราการชะละลายและอาจจะรวมไปถึงองค์ประกอบเชิงแร่ของหินต้นกำเนิดที่มีความเป็นกรดมากกว่า

ค่าพีเอชของดินที่วัดด้วยน้ำมีค่าสูงกว่าที่วัดด้วยสารละลาย 1M KCl ทำให้ผลต่างของค่าพีเอชมีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นถึงการที่ดินมีระบบดินที่มีประจุสุทธิ (net charge) เป็นลบทำให้ดินมีระบบที่เน้นการแลกเปลี่ยนประจุบวกหรือไอออนบวก ซึ่งเป็นธรรมชาติของระบบที่ถูกควบคุมด้วยอิทธิพลของแร่ดินเหนียวซิลิเกตกับออกไซด์ และโดยทั่วไปมีสารเคลือบส่วนใหญ่เป็นพวกเซสควิกออกไซด์ (Sanchez, 1976) ค่าพีเอชดินในทุกบริเวณมีค่าเป็นกรดซึ่งเป็นผลมาจากการชะละลายไอออนบวกที่เป็นด่างออกไปจากหน้าตัดดิน ทำให้เกิดการสะสมไฮโดรเจนไอออนที่ผิวอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก แต่อิทธิพลจากการชะละลายในหน้าตัดดินที่ไม่รุนแรงมากพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอออนบวกที่เป็นด่างลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ค่าพีเอชจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน (Young, 1976) ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวหากค่าพีเอชในตอนล่างของหน้าตัดดินเพิ่มสูงขึ้นถึงมากกว่า 5.5 ดังเช่นในดินแปลงปลูกสาลี่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-4) และพืชอายุสั้นหน่วยย่อยผาตั้ง (INT-8) ค่าพีเอชอาจจะไม่เป็นข้อจำกัดต่อการปลูกพืชรากลึกที่ไม่ทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับการที่ดินเป็นกรดน่าจะมีผลมาจากกระบวนการชะละลายแคตไอออนที่เป็นเบสออกไปจากหน้าตัดดิน ทำให้มีไฮโดรเจนไอออนสะสมที่ผิวอนุภาคของดินเหนียวในปริมาณมาก นอกจากนี้ดินที่มีพีเอชดินเป็นกรดมากกว่าดินอื่น แสดงว่ามีการชะละลายที่รุนแรงกว่า และดินมีพัฒนาการที่ค่อนข้างสูงกว่าด้วย (Ulrich, 1991; Bloom, 2000; Brady and Weil, 2008)

ปริมาณอินทรียวัตถุ

พื้นที่ขุนวาง ดินภายใต้สภาพการใช้ที่ทำการเกษตรนี้ ดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมากที่พิสัย 4.4-52.9 กรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางที่พิสัย 1.0-16.6 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งการที่ดินในพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติทั้งดินบนและล่างแต่ก็ยังอยู่ในระดับที่ไกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่แปลงปลูกไม้ดอกและแปลงผักในโรงเรือน (KW-3, KW-11 และ KW-15) ที่มีค่าสูงในพิสัย 47.5-52.9 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้นดินยังคงมีการสะสมอินทรียวัตถุในดินตอนบนอยู่สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินจากธรรมชาติ และการจัดการดิน แต่การที่ใช้ที่ดินทำการเกษตรในระยะเวลานานและติดต่อกันโดยไม่มีการบำรุงดินส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง เช่นพื้นที่แปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7) ที่มีลักษณะเนื้อดินค่อนข้างหยาบทำให้มีการชะละลายค่อนข้างสูงกว่าในดินบริเวณอื่นๆ และพื้นที่อยู่ตอนปลายของที่ลาดเชิงเขาซึ่งอาจพบปัญหาเรื่องการกร่อนดินอยู่บ้าง ประกอบกับการขาดการบำรุงดินที่เหมาะสมทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ

ดินในพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ในชั้นดินบนมีปริมาณอยู่ในระดับที่สูงมาก อยู่ในพิสัย 46.3-83.4 กรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นชั้น Ap ของดินบริเวณแปลงพืชผักพื้นที่สถานีหลัก (INT-7) ซึ่งหนาเพียง 10 เซนติเมตร พบอยู่ในระดับสูงเท่ากับ 41.9 กรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มลดลงตามความลึก อย่างไรก็ตาม ปริมาณอินทรียวัตถุส่วนใหญ่มีการแจกกระจายลงสู่ระดับลึกค่อนข้างดี โดยที่ระดับ 50 เซนติเมตร จากผิวดินยังคงพบว่า ดินส่วนใหญ่มีการสะสมอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง การที่ปริมาณอินทรียวัตถุในชั้นดินบนที่สูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจาก ได้รับอิทธิพลจากการสลายตัวตามธรรมชาติของเศษซากอินทรีย์ที่ตกค้างจากการทำการเกษตร ตลอดจนการจัดการดินในพื้นที่ ทำให้เกิดการสะสมอินทรียวัตถุในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง ส่วนชั้นดินล่างซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า เป็นลักษณะโดยทั่วไปของดินที่ไม่ได้รับอินทรียวัตถุเพิ่มเติมมากพอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณไนโตรเจนรวม

ดินบนในพื้นที่ขุนวางมีปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง พบในพิสัย 0.81-2.33 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างอยู่ในพิสัยที่ 0.10-1.25 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมากถึงต่ำ และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งคล้ายคลึงกับดินในพื้นที่อินทนนท์ซึ่งพบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมในดินมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (1.40-4.23 กรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นบริเวณแปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-13) ที่พบในระดับต่ำมากที่ 0.73 กรัมต่อกิโลกรัม การแจกกระจายภายในหน้าตัดดินพบในลักษณะเดียวกันกับปริมาณอินทรียวัตถุ คือมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และมีลักษณะที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Brady and Weil, 2008)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนรวมที่มีรูปแบบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในดิน เนื่องจากไม่พบว่ามีหินหรือแร่ชนิดใดที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ฉะนั้นความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินจึงมีผลมาจากการเปลี่ยนรูปจากอินทรียไนโตรเจนเป็นอนินทรียไนโตรเจนเท่านั้น (ไพบูลย์, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนที่สำคัญให้แก่ดิน ซึ่งความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปของอินทรียไนโตรเจนเป็นอนินทรียไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนต่ออินทรียวัตถุโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินช่วงบนของหน้าตัดดินมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่า การสลายตัวของอินทรียวัตถุแล้วปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาอยู่ในระดับต่ำ และเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดในเรื่องธาตุอาหารพืชแล้ว พบว่าปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้น การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีความจำเป็นและจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ให้เหมาะสมด้วย เนื่องจากในหลายๆพื้นที่ใช้สำหรับปลูกไม้ผลเมืองหนาวที่ต้องการให้พืชมีการผลิตดอกออกผล การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินความต้องการของพืชโดยเฉพาะในช่วงระยะการเจริญเติบโต จึงควรมีความระมัดระวังในการใช้

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ดินในพื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมากที่พิสัย 6.1-642.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงที่พิสัย 0.3-44.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งดินบนจะมีปริมาณที่สูงกว่าดินล่างชัดเจนและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก เป็นที่น่าสังเกตว่าดินบนในพื้นที่ภายใต้สภาพโรงเรือนมีค่าในระดับที่สูงมาก (84.4-612.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตามค่าสูงสุดที่พบในชั้นดินบนอยู่ในแปลงพลับพื้นที่สถานีหลัก (KW-13) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงถึง 642.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในพื้นที่ที่อยู่ใต้สภาพโรงเรือนและแปลงพลับข้างต้น จะต้องมีความระมัดระวัง เนื่องจากดินมีธาตุปุ๋ยนี้ในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่มากเพียงพอ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติมอาจมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน และผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การปลูกพืชภายใต้สภาพโรงเรือนในพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวงบริเวณต่าง ๆ สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงได้ โดยไม่ทำให้ผลผลิตพืชแต่ละชนิดลดลง (นครินทร์ทิพย์, 2550; ศพิษา, 2551; นฤเนตร; 2552; เฟื่องลดา, 2552) สำหรับในพื้นที่แปลงนา (KW-2 และ KW-10) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความแตกต่างกันมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 6.1-73.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับการเทคโนโลยีการจัดการปุ๋ยดังกล่าว แต่โดยรวมในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่สูง เนื่องจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างต่อเนื่องเกินความต้องการของพืชที่ปลูก ทำให้เกิดการสะสมในปริมาณสูงบริเวณชั้นดินบน

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ดินในบริเวณที่ศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงในชั้นดินบนของดินบางบริเวณ ได้แก่ แปลงไม้ดอกในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) แปลงสตรอเบอรีพื้นที่สถานีหลัก (INT-6) และแปลงผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 38.0-44.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนที่มีอยู่สูงมากเท่ากับ 53.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในบริเวณอื่น ๆ จะมีปริมาณต่ำกว่าแปลงที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชั้นดินล่างของดินเกือบทั้งหมดในพื้นที่อินทนนท์มีปริมาณต่ำมากและมีแนวโน้มลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน ยกเว้นดินในแปลงปลูกไม้ดอกในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) ที่พบการแจกกระจายส่วนใหญ่อยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงถึงสูงมากในดินล่าง ทั้งนี้การสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่พบในชั้นดินล่างน่าจะเคลื่อนย้ายมากับตะกอนที่ตกทับถมในบริเวณดังกล่าวมากกว่าที่มากับการชะละลายเนื่องจากดินมีค่าพีเอชต่ำ สำหรับในกรณีของดินอื่น ๆ ที่พบในปริมาณที่ไม่มากนักน่าจะเป็นผลมาจากการตรึงโดยเหล็กและอะลูมิเนียม (Havlin *et al*., 2005)เนื่องจากดินเหล่านี้เป็นกรดค่อนข้างมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

Depth	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS
(cm)		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	NH_4OAc	by sum
				(--------g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------								(%)
แปลงนา ขุนแม่วาก (KW-2): Typic Palehumult																
0-22	Apg	5.2	4.0	34.4	1.47	73.4	48.1	1.98	0.20	0.20	0.12	2.50	18.0	20.5	11.8	8.4
22-42	Btg1	5.0	4.0	18.7	0.79	1.9	97.6	1.59	0.29	0.74	0.25	2.88	13.2	16.1	11.6	11.6
42-65	Btg2	5.3	4.1	13.9	0.80	1.1	97.1	1.97	0.45	0.13	0.25	2.80	14.2	17.0	10.9	11.2
65-97	Bt1	5.6	4.1	9.1	0.66	1.1	93.8	2.02	0.63	0.08	0.24	2.96	13.3	16.2	10.5	12.5
97-127	Bt2	5.6	4.1	10.3	0.59	1.1	112.3	1.94	0.56	0.26	0.29	3.05	14.2	17.2	11.6	11.8
127-155+	Ab	5.4	4.0	14.4	0.48	4.8	92.6	1.33	0.41	0.30	0.24	2.28	18.9	21.2	12.6	7.2
แปลงผักในโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-3): Typic Haplohumult																
0-21	Ap	5.9	5.1	51.6	2.17	475.6	281.7	10.12	1.89	0.28	0.72	13.02	17.0	30.0	22.1	33.3
21-47	Bt1	4.9	4.0	20.3	0.98	7.9	100.4	1.53	0.39	0.90	0.26	3.08	16.2	19.2	10.6	11.5
47-78	Bt2	4.9	4.0	16.6	0.79	2.2	86.9	1.39	0.35	0.19	0.22	2.16	14.2	16.4	10.1	8.9
78-101	Bt3	5.0	4.0	9.6	0.61	0.3	111.5	1.64	0.33	0.58	0.29	2.83	13.3	16.1	7.2	13.8
101-135	Bt4	5.0	4.0	7.9	0.45	0.6	83.4	1.31	0.40	0.39	0.21	2.31	10.4	12.7	9.5	11.6
135-150	Bt5	4.8	3.9	6.5	0.35	0.3	77.1	1.23	0.33	0.46	0.20	2.22	7.6	9.8	6.4	6.5
150-175	Bt6	4.9	4.0	3.7	0.24	3.3	44.3	0.69	0.20	0.06	0.11	1.06	6.6	7.7	3.9	10.1
175-200+	Bt7	4.7	3.9	2.0	0.14	4.7	30.4	0.51	0.13	0.22	0.08	0.94	4.7	5.7	7.4	7.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								
แปลงพลับ ขุนแม่วาก (KW-5): Typic Palehumult																
0-20/25	Ap	4.9	4.1	42.4	2.33	48.7	122.7	0.95	0.29	0.13	0.32	1.68	24.6	26.3	18.2	3.9
25-50	Bt1	4.8	4.1	19.8	0.86	2.2	68.2	0.58	0.13	0.19	0.18	1.08	15.2	16.3	10.7	4.2
50-74	Bt2	4.9	4.1	9.3	0.74	2.5	58.3	0.62	0.18	0.27	0.15	1.21	14.2	15.4	7.5	5.6
74-104	Bt3	4.9	4.2	7.8	0.51	1.8	37.5	0.77	0.20	0.41	0.10	1.48	11.3	12.8	8.0	7.7
104-130	Bt4	5.0	4.3	6.0	0.48	1.5	32.3	0.77	0.18	0.29	0.08	1.33	11.3	12.7	5.6	7.9
130-153	Bt5	5.0	4.6	4.6	0.41	1.1	21.9	0.75	0.20	0.33	0.06	1.34	8.5	9.9	4.9	10.0
153-180	Bt6	5.0	4.6	3.3	0.17	1.4	16.1	0.68	0.24	0.68	0.04	1.64	9.5	11.1	4.4	11.9
180-200+	Bt7	4.9	4.6	3.3	0.14	1.0	16.9	0.49	0.23	0.16	0.04	0.92	7.6	8.5	5.5	7.1
แปลงผักนอกโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-6): Typic Palehumult																
0-22	Ap	4.6	4.0	51.6	2.33	42.0	106.6	0.55	0.10	0.28	0.27	1.21	27.4	28.6	20.8	2.5
22-50	Bt1	5.0	4.2	25.7	1.25	5.5	79.7	1.86	0.29	0.28	0.20	2.64	16.1	18.8	16.0	8.2
50-77	Bt2	5.5	4.6	12.2	0.83	3.7	103.1	2.49	0.60	0.06	0.26	3.41	11.3	15.8	11.7	23.1
77-107	Bt3	5.7	4.7	8.4	0.59	4.6	122.5	2.34	0.66	0.30	0.31	3.61	11.3	14.9	8.1	18.6
107-124	Bt4	5.8	4.7	9.2	0.59	4.2	90.7	2.36	0.76	0.31	0.23	3.67	11.4	15.0	10.0	17.2
124-150	Bt5	5.7	4.7	7.2	0.48	3.9	83.0	1.98	0.77	0.49	0.21	3.45	10.4	13.9	8.4	18.4
150-172	Bt6	5.5	4.4	7.8	0.31	2.8	72.1	1.38	0.73	0.25	0.19	2.54	10.4	13.0	8.0	13.8
172-200+	Bt7	5.3	4.3	4.9	0.31	2.0	48.3	1.05	0.68	0.38	0.12	2.23	9.5	11.7	6.1	14.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								
แปลงผักนอกโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7): Typic Paleudult																
0-18	Ap	5.2	4.0	18.7	0.81	238.1	120.2	1.32	0.27	0.12	0.31	2.02	10.4	12.4	7.0	11.6
18-42	Bt1	5.0	3.9	4.7	0.38	44.1	70.6	0.81	0.22	0.07	0.18	1.27	6.6	7.9	4.5	11.5
42-62	Bt2	5.0	4.0	3.7	0.21	19.7	88.8	0.91	0.36	0.46	0.23	1.95	3.8	5.8	4.7	22.9
62-94	Bt3	4.9	4.1	2.0	0.20	3.6	93.5	0.86	0.58	0.14	0.24	1.83	6.6	8.4	5.4	15.3
94-121	Bt4	4.7	3.9	2.0	0.17	1.9	61.9	0.62	0.50	0.11	0.16	1.39	6.6	8.0	5.9	11.2
121-145	Bt5	4.4	3.9	0.7	0.17	1.2	36.5	0.17	0.19	0.07	0.09	0.53	4.7	9.1	3.5	10.1
145-170	Btg1	4.7	3.9	1.3	0.10	1.3	46.1	0.31	0.33	0.22	0.12	0.97	4.7	5.7	3.9	11.3
170-200+	Btg2	4.5	3.8	1.0	0.10	1.5	34.0	0.15	0.15	0.56	0.09	0.95	3.8	4.7	3.2	13.5
แปลงผักในโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9): Typic Paleudult																
0-19	Ap	5.9	5.3	18.9	0.92	84.4	311.6	6.12	0.65	0.20	0.80	7.78	10.4	18.2	13.0	33.2
19-36	Bt1	5.9	4.7	4.4	0.37	2.8	136.7	3.52	0.65	0.15	0.35	4.67	8.5	13.2	7.5	29.1
36-63	Bt2	6.0	5.0	6.3	0.31	4.0	179.6	3.63	0.64	0.31	0.46	5.05	9.5	14.5	7.5	29.7
63-89	Bt3	5.9	5.0	3.4	0.27	1.2	134.8	2.92	0.78	0.35	0.35	4.40	10.4	14.8	8.9	22.8
89-120+	BCrt	5.6	5.0	3.0	0.24	1.0	81.2	2.56	0.51	0.34	0.21	3.61	6.6	10.2	6.9	26.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS
(cm)		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงนา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10): Rhodic Paleudult																
0-16	Ap	5.1	4.3	41.5	1.62	6.1	151.8	2.72	0.37	0.11	0.39	3.60	17.1	20.7	11.6	12.5
16-33	Bt1	5.3	4.4	14.1	0.58	1.4	94.7	2.70	0.38	0.30	0.24	3.62	10.4	14.0	8.5	19.2
33-58	Bt2	5.5	4.5	9.6	0.47	0.7	83.5	2.64	0.46	0.06	0.21	3.37	10.4	13.8	6.7	19.6
58-79	Bt3	5.7	5.0	5.6	0.35	0.4	86.4	2.42	0.49	0.41	0.22	3.54	5.7	9.2	6.9	28.2
79-107	Bt4	5.7	5.0	5.0	0.45	0.4	88.4	2.29	0.50	0.19	0.23	3.21	11.3	14.6	6.5	18.0
107-128	Bt5	5.8	5.0	3.3	0.28	0.4	83.1	2.20	0.49	0.08	0.21	2.99	5.7	8.7	6.3	25.0
128-160+	Bt6	5.8	5.0	3.0	0.21	1.0	80.3	2.24	1.14	0.46	0.21	4.04	5.7	9.7	6.3	33.9
แปลงไม้ดอกโรงเรือน สถานีหลักฯ (KW-11): Typic Palehumult																
0-30	Ap	5.4	4.8	52.9	2.05	612.4	352.5	7.26	0.51	0.56	0.90	9.23	23.7	32.9	20.9	20.7
30-53	Bt1	4.8	4.4	20.6	0.81	9.6	249.4	2.18	0.42	0.12	0.64	3.35	17.0	20.4	8.4	13.2
50-80	Bt2	4.7	4.4	13.2	0.58	4.0	180.9	1.49	0.20	0.12	0.46	2.28	14.2	16.5	5.2	11.7
80-107	Bt3	4.9	4.6	8.5	0.47	2.2	165.1	1.52	0.21	[illegible]	42	2.24	8.5	10.8	4.2	17.5
107-132	Bt4	5.7	4.9	7.0	0.38	1.9	179.4	1.33	0.20	0.1[illegible]	.46	2.17	9.5	11.6	3.6	16.6
132-156	Bt5	5.6	4.9	5.8	0.24	1.9	145.3	1.28	0.23	0.53	0.37	2.42	8.5	11.0	3.1	20.8
156-177	Bt6	5.5	4.9	4.3	0.24	1.9	128.7	1.33	0.31	0.07	0.33	2.04	8.5	10.6	3.1	17.5
177-200+	Bt7	5.5	5.0	4.4	0.24	1.9	127.4	1.41	0.34	0.33	0.33	2.40	10.4	12.8	4.9	15.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------)								
แปลงอ่งุนมีหลังคาคลุม สถานีหลักฯ (KW-12): Typic Palehumult																
0-30	Ap	4.9	4.1	35.4	1.62	159.0	106.8	0.65	0.06	0.04	0.27	1.03	21.8	22.8	17.0	2.7
30-49	Bt1	4.3	3.9	24.7	0.90	3.5	57.0	0.12	0.02	0.36	0.15	0.64	28.4	29.1	10.7	1.6
49-73	Bt2	4.2	3.9	14.3	0.49	4.2	50.7	0.14	0.02	0.10	0.13	0.39	16.1	16.4	6.8	1.7
73-94	Bt3	4.4	4.0	10.3	0.49	1.8	49.0	0.15	0.02	0.15	0.13	0.45	13.2	13.7	5.2	2.4
94-122	Bt4	4.2	4.0	7.9	0.48	1.3	38.8	0.09	0.01	0.27	0.10	0.47	11.4	11.8	6.1	2.7
122-150	Bt5	4.3	4.3	6.0	0.41	0.8	41.4	0.09	0.01	0.28	0.11	0.49	9.4	9.9	4.1	3.6
150-173	Bt6	4.3	4.3	4.7	0.31	0.8	44.8	0.18	0.02	0.09	0.12	0.40	17.9	18.3	4.1	1.8
173-200+	Bt7	4.4	4.3	4.4	0.30	0.6	52.2	0.32	0.03	0.12	0.13	0.61	10.4	11.0	3.4	4.5
แปลงพลับ สถานีหลักฯ (KW-13): Typic Palehumult																
0-30	Ap	4.7	3.6	37.7	1.36	642.7	99.6	0.76	0.15	0.45	0.26	1.62	27.5	29.1	13.5	4.0
30-50	Bt1	4.2	3.7	8.9	0.40	5.5	29.5	0.09	0.02	0.16	0.08	0.35	10.5	10.8	4.5	2.3
50-74	Bt2	4.2	3.7	6.6	0.34	1.2	25.8	0.08	0.01	0.44	0.07	60	13.3	13.9	4.1	3.4
74-101	Bt3	4.8	4.0	6.3	0.28	0.8	56.1	0.45	0.06	0.21	0.14	87	8.5	9.4	3.4	7.3
101-126	Bt4	4.7	4.4	4.7	0.27	0.6	51.3	0.15	0.02	0.30	0.13	0.60	7.5	8.1	3.5	5.4
126-152	Bt5	4.5	4.4	4.4	0.24	0.3	27.8	0.11	0.02	0.61	0.07	0.81	7.6	8.4	5.0	6.4
152-172	Bt6	4.9	4.5	3.7	0.24	0.4	36.8	0.15	0.02	0.11	0.09	0.37	9.4	9.8	3.9	2.8
172-200+	Bt7	4.6	4.4	3.9	0.17	0.4	39.9	0.25	0.03	0.77	0.10	1.16	7.6	8.7	3.6	10.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงผักในโรงเรือน โป่งน้อย (KW-15): Typic Palehumult																
0-30	Ap	5.4	4.5	47.5	1.67	560.2	105.4	6.45	0.82	0.19	0.27	7.73	23.6	31.3	18.1	18.5
30-50	Bt1	4.6	3.8	22.0	0.68	2.9	76.0	0.92	0.13	0.49	0.20	1.74	18.0	19.7	9.5	6.3
50-74	Bt2	4.5	3.7	8.6	0.37	1.1	62.1	0.80	0.13	0.24	0.16	1.32	7.6	8.9	5.2	10.3
74-101	Bt3	4.5	3.6	4.7	0.31	1.0	140.7	0.80	0.17	0.41	0.36	1.74	7.6	9.3	4.6	14.2
101-126	Bt4	4.7	3.8	3.6	0.17	0.7	138.0	1.08	0.28	0.42	0.35	2.14	7.6	9.7	4.9	17.2
126-152	Bt5	4.4	3.8	1.7	0.17	0.4	82.4	0.22	0.04	0.15	0.21	0.62	5.7	6.3	6.0	5.3
152-172	Bt6	4.2	3.8	2.6	0.10	0.4	68.7	0.24	0.03	0.24	0.18	0.69	6.6	7.3	4.7	6.0
172-200+	Bt7	4.1	3.8	2.0	0.13	0.6	68.9	0.21	0.03	0.41	0.18	0.83	4.7	5.6	10.4	5.5
แปลงไม้ดอกเมืองหนาว ขุนห้วยแห้ง (INT-1): Typic Haplohumult																
0-20	Ap1	4.6	3.7	83.4	4.23	38.0	329.1	2.11	0.43	0.84	0.58	๑6	39.7	43.7	21.7	9.1
20-31/48	Ap2	4.3	4.2	72.8	3.92	33.0	63.9	0.28	0.04	0.16	0.20	0.70	36.7	37.4	17.2	1.9
48-70	Bt1	4.5	4.1	28.7	1.18	83.0	80.7	0.32	0.09	0.21	0.10	0.73	19.5	20.2	9.2	3.6
70-99	Bt2	4.2	4.2	21.9	0.90	33.0	66.0	0.43	0.09	0.17	0.47	1.16	13.5	14.7	6.8	7.9
99-132	2Ab	4.2	5.7	41.3	1.74	25.0	55.4	0.38	0.08	0.14	0.28	0.89	20.2	21.1	13.1	4.2
132-156	2Btgb1	4.5	3.8	7.8	0.42	20.0	64.3	0.51	0.25	0.16	0.55	1.48	9.7	11.2	11.0	13.2
156-180	2Btgb2	4.3	4.7	4.0	0.28	6.0	80.6	0.60	0.35	0.21	1.37	2.53	10.5	13.0	10.5	19.4
180-200+	3Agb	4.6	3.8	31.4	0.73	43.0	40.7	0.44	0.25	0.10	0.32	1.11	25.	26.6	15.4	4.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------								(%)
แปลงพลัม ขุนห้วยแห้ง (INT-2): Typic Palehumult																
0-20/30	Ap1	4.9	4.8	49.1	0.17	13.0	92.3	1.39	0.27	0.24	0.65	2.55	17.2	19.8	11.4	12.9
30-45	Ap2	5.0	5.7	46.3	2.41	14.0	45.1	1.64	0.20	0.12	0.63	2.58	20.2	22.8	13.4	11.3
45-65/74	Bt1	5.2	5.2	31.8	1.39	5.0	23.3	1.46	0.14	0.06	0.68	2.34	12.7	15.1	7.5	15.6
74-100	Bt2	5.3	5.3	11.2	0.52	2.0	23.8	1.07	0.21	0.06	1.48	2.82	14.2	17.1	5.3	16.6
100-126	Bt3	5.0	4.6	8.1	0.38	2.0	20.2	1.10	0.23	0.05	0.32	1.69	6.7	8.4	4.3	20.1
126-151	Bt4	5.0	4.8	6.1	0.28	1.0	29.4	1.10	0.29	0.08	1.00	2.47	5.2	7.7	3.6	32.1
151-179	Bt5	5.0	4.7	4.0	0.17	2.0	28.6	0.65	0.17	0.07	0.46	1.36	5.3	6.6	3.9	20.6
179-200+	BCrt	4.8	4.5	3.1	0.10	4.0	45.0	0.51	0.14	0.12	0.66		4.5	5.9	4.8	24.1
แปลงกาแฟและกีวี ขุนห้วยแห้ง (INT-3): Typic Palehumult																
0-26/34	Ap	4.8	4.6	48.9	1.99	21.0	51.7	0.77	0.15	0.13	1.36	2.41	19.5	21.9	13.5	11.0
34-57	Bt1	5.3	4.6	30.4	1.18	6.0	25.0	0.97	0.09	0.06	0.41	1.54	12.7	14.3	16.3	10.8
57-87	Bt2	5.0	5.0	13.6	0.70	1.0	11.5	0.90	0.04	0.03	0.12	1.09	7.5	8.6	3.8	12.7
87-118	Bt3	5.1	5.6	9.6	0.45	2.0	14.1	0.70	0.07	0.04	0.79	1.59	7.5	9.1	3.6	17.5
118-144	Bt4	5.4	5.0	7.8	0.35	2.0	14.6	0.48	0.05	0.04	0.09	0.65	6.0	6.7	3.0	9.8
144-167	Bt5	5.5	6.4	5.8	0.21	2.0	10.4	0.31	0.06	0.03	1.15	1.56	6.7	8.3	2.4	18.8
167-200+	Bt6	5.0	4.9	4.4	0.21	2.0	25.5	0.33	0.24	0.07	0.30	0.93	6.7	7.7	2.1	12.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงสาลี่ ขุนห้วยแห้ง (INT-4): Typic Palehumult																
0-20	Ap	5.4	5.2	56.1	1.40	9.0	66.0	0.77	0.10	0.17	0.43	1.46	31.5	32.9	16.5	4.4
20-48	Bt1	5.5	5.5	32.2	1.32	1.0	29.0	0.82	0.11	0.07	1.42	2.42	13.5	15.9	9.8	15.2
48-77	Bt2	5.6	5.3	9.8	0.52	1.0	13.7	0.83	0.11	0.04	0.57	1.55	7.5	9.0	4.8	17.1
77-100	Bt3	5.8	6.4	7.1	0.35	2.0	11.0	0.74	0.06	0.03	0.58	1.40	10.5	11.9	3.5	11.8
100-129	Bt4	5.9	5.8	6.1	0.28	2.0	10.9	0.65	0.08	0.03	0.52	1.28	6.8	8.0	2.8	15.9
129-151	Bt5	6.0	5.8	6.9	0.31	1.0	10.7	0.57	0.13	0.03	0.48	1.20	6.8	8.0	3.3	15.1
151-179	Bt6	5.5	5.8	4.6	0.28	2.0	11.4	0.51	0.18	0.03	0.45		12.7	13.9	2.8	8.4
179-200+	Bt7	5.5	6.2	3.7	0.28	1.0	13.4	0.42	0.18	0.03	0.83	1.46	6.7	8.2	4.5	17.8
แปลงองุ่น ขุนห้วยแห้ง (INT-5): Typic Palehumult																
0-27	Ap	5.6	5.5	67.3	3.35	20.0	78.7	1.68	0.28	0.20	0.49	2.66	18.8	21.4	14.1	12.4
27-51	Bt	6.3	5.3	37.8	2.13	6.0	74.4	1.47	0.13	0.19	0.19	1.98	12.0	14.0	9.1	14.2
51-70	Ab	6.3	5.3	31.7	1.25	5.0	55.4	1.66	0.15	0.14	0.58	2.53	11.2	13.8	8.2	18.4
70-89	Btb1	6.7	5.0	21.1	1.08	6.0	45.8	1.30	0.10	0.12	0.48	1.99	7.5	9.5	5.8	21.0
89-110	Btb2	6.1	4.9	8.8	0.56	8.0	68.8	0.96	0.12	0.18	0.15	1.41	5.3	6.7	4.8	21.1
110-136	Btb3	6.1	5.3	11.5	0.49	4.0	18.4	1.07	0.13	0.05	0.53	1.78	5.3	7.0	4.3	25.3
136-170	Btb4	6.0	5.6	16.2	0.70	6.0	17.5	1.36	0.11	0.04	0.44	1.97	9.0	11.0	5.8	17.9
170-200+	Btb5	6.0	5.3	8.1	0.42	2.0	16.6	0.95	0.10	0.04	0.21	1.30	7.5	8.8	3.9	14.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr.	CEC		BS
(cm)		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K		acidity	by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------								(%)
แปลงสตรอเบอรี สถานีหลักฯ (INT-6): Typic Haplohumult																
0-27	Ap	6.4	5.9	52.7	2.41	44.0	394.7	9.95	2.18	1.01	0.34	13.48	10.5	24.0	17.4	56.2
27-48	Bt1	5.4	4.7	18.8	0.94	11.0	293.0	1.23	0.25	0.75	0.34	2.57	11.2	13.8	5.6	18.6
48-73	Bt2	5.5	4.9	12.2	0.73	5.0	323.4	1.16	0.24	0.83	0.31	2.54	9.7	12.3	4.5	20.7
73-93/99	Bt3	5.6	5.1	9.2	0.63	2.0	230.0	0.68	0.25	0.59	0.30	1.81	8.3	10.1	3.8	18.0
99-125+	BCrt	5.7	5.2	7.1	0.42	0.0	246.6	0.77	0.34	0.63	0.23	1.97	6.8	8.7	3.3	22.6
แปลงพืชผัก สถานีหลักฯ (INT-7): Ultic Hapludalf																
0-10	Ap	6.5	6.1	41.9	2.09	53.0	489.7	10.02	2.01	1.25	0.42	13.70	7.5	21.2	15.9	64.6
10-36	Bt1	6.3	5.6	9.5	0.59	35.0	375.7	3.52	1.02	0.96	0.51	6.01	6.8	12.8	6.6	47.1
36-70	Bt2	6.1	5.6	6.4	0.49	56.0	348.8	2.07	0.56	0.89	0.70	4.22	5.3	9.5	5.1	44.6
70-100	Bt3	6.0	5.6	3.1	0.35	8.0	348.1	1.46	0.46	0.89	0.55	3.36	5.3	8.6	5.1	39.0
100-130+	Bt4	5.9	5.4	3.4	0.21	2.0	234.8	1.09	0.37	0.60	0.84	2.90	4.5	7.4	3.6	39.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------$cmol_c$ kg^{-1}----------							----------)	(%)
แปลงพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดอยผาตั้ง (INT-8): Tpic Haplohumult																
0-22	Ap1	5.2	4.4	56.2	2.81	8.0	267.7	3.89	0.95	0.68	0.28	5.80	21.0	26.8	14.6	21.7
22-38	Ap2	5.3	4.3	57.0	3.00	9.0	148.7	2.87	0.53	0.38	0.20	3.98	23.2	27.2	12.2	14.6
38-60	Bt1	5.5	4.5	26.9	1.64	2.0	172.4	1.86	0.51	0.44	0.59	3.39	15.7	19.1	10.4	17.7
60-89	Bt2	5.5	4.7	15.2	0.91	3.0	236.4	1.44	0.59	0.60	0.17	2.81	12.8	15.6	7.1	18.1
89-116	Bt3	5.7	4.8	8.8	0.59	0.0	219.8	1.18	0.58	0.56	0.34	2.66	10.5	13.2	5.9	20.2
116-138/170	Bt4	5.7	4.9	4.8	0.35	0.0	175.4	0.80	0.32	0.45	0.61	2.19	7.5	9.7	6.0	22.6
170-200+	Crt	5.7	4.7	1.7	0.07	11.0	102.7	0.62	0.13	0.26	0.78	1.79	3.0	4.8	3.8	37.4
แปลงฝรั่งสตรอเบอรี ดอยผาตั้ง (INT-9): Typic Haplohumult																
0-19	Ap	6.2	5.2	61.9	2.71	21.0	296.8	6.89	3.70	0.76	0.5	.89	16.5	28.4	15.8	41.9
19-37	BA	4.8	4.0	30.7	1.40	2.0	50.3	0.83	0.37	0.13	0.58	1.90	19.5	21.4	8.6	8.9
37-59	Bt1	5.0	4.1	13.8	0.77	2.0	27.8	1.19	0.15	0.07	0.09	1.50	15.7	17.2	6.7	8.7
59-81	Bt2	5.4	4.2	6.4	0.42	2.0	11.8	0.80	0.08	0.03	0.56	1.47	12.7	14.2	6.3	10.3
81-100	Bt3	5.0	4.0	3.7	0.28	2.0	17.1	0.69	0.08	0.04	0.36	1.17	10.5	11.7	4.1	10.1
100-132	Bt4	5.0	4.0	3.1	0.28	2.0	12.8	0.57	0.06	0.03	0.67	1.34	8.2	9.6	4.0	14.0
132-163	Bt5	5.4	4.2	3.1	0.17	3.0	7.7	0.47	0.06	0.02	0.52	1.07	6.0	7.1	3.8	15.2
163-200+	Bt6	5.2	4.2	3.0	0.14	10.0	9.6	0.27	0.04	0.02	0.19	0.53	6.8	7.3	4.5	7.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS
		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K			by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงท้อและสนปลูก ดอยผาตั้ง (INT-10): Typic Haplohumult																
0-20/26	Ap	4.7	4.2	58.7	2.26	18.0	71.1	1.18	0.65	0.18	0.32	2.33	23.2	25.6	16.0	9.1
26-49	Bt1	5.1	4.1	18.6	0.83	1.0	11.1	0.87	0.06	0.03	0.41	1.37	14.2	15.6	6.5	8.8
49-69	Bt2	5.2	4.0	8.8	0.45	4.0	7.4	0.87	0.10	0.02	0.83	1.83	9.0	10.8	4.8	16.9
69-98	Bt3	5.0	3.9	4.4	0.35	0.0	7.3	0.58	0.10	0.02	0.21	0.90	7.5	8.4	4.0	10.7
98-124	Bt4	5.0	3.9	3.5	0.21	1.0	8.9	0.56	0.32	0.02	0.65	1.55	6.0	7.6	3.6	20.6
124-151	Bt5	5.1	3.9	2.9	0.21	1.0	6.1	0.56	0.51	0.02	0.71	1.80	5.3	7.0	3.6	25.5
151-165/180	Bt6	4.9	3.8	2.6	0.14	1.0	6.0	0.16	0.18	0.02	0.89	.24	5.3	6.5	3.5	19.1
180-210+	Bt7	5.1	3.8	2.0	0.07	0.0	6.3	0.11	0.11	0.02	1.12	1.35	6.00	7.4	3.3	18.4
แปลงพืชผัก แม่ยะน้อย (INT-12): Typic Haplohumult																
0-12/18	Ap	4.4	3.2	66.1	1.82	34.0	66.4	0.45	0.07	0.17	0.23	0.92	15.0	15.9	7.1	5.
18-32	Bt1	4.6	3.7	33.3	0.42	10.0	51.9	0.76	0.07	0.13	0.10	1.07	9.7	10.8	5.5	9.9
32-60	Bt2	4.9	3.9	20.7	0.83	3.0	51.9	0.68	0.08	0.13	0.34	1.25	8.3	9.5	4.5	13.1
60-80	Bt3	4.8	4.0	8.5	0.14	2.0	56.3	0.76	0.08	0.14	0.11	1.09	4.5	5.6	3.3	19.5
80-110+	Bt4	5.0	4.0	14.3	0.14	2.0	55.6	0.77	0.08	0.14	0.55	1.55	4.5	6.0	3.0	25.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Depth	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avai.P	Avai.K	Extractable base				Sum bases	Extr.	CEC		BS
(cm)		H_2O	KCl					Ca	Mg	Na	K		acidity	by sum	NH_4OAc	by sum
				(-----g kg^{-1}-----)		(-----mg kg^{-1}-----)		(----------cmol$_c$ kg^{-1}----------)								(%)
แปลงกาแฟ แม่ยะน้อย (INT-13): Typic Palehumult																
0-27	Ap	4.8	3.6	71.0	0.73	10.0	154.6	1.49	0.44	0.40	0.83	3.15	12.0	15.1	9.0	20.8
27-50	Bt1	4.8	3.7	37.1	0.97	3.0	96.2	1.14	0.17	0.25	0.68	2.23	9.0	11.2	7.2	19.9
50-72	Bt2	4.8	4.1	17.3	0.49	1.0	81.4	1.68	0.19	0.21	0.22	2.30	7.5	9.8	3.8	23.5
72-100	Bt3	5.0	4.4	13.7	0.45	0.0	76.8	1.48	0.22	0.20	0.28	2.17	6.7	8.9	5.0	24.4
100-130	Bt4	5.2	4.8	7.9	0.07	0.0	62.9	1.64	0.29	0.16	0.76	2.84	6.0	8.8	4.8	32.2
130-180+	Bt5	5.4	4.9	1.5	0.21	0.0	38.3	1.60	0.30	0.10	0.25	5	4.5	6.8	4.3	33.4
แปลงบ๊วย แม่ยะน้อย (INT-14): Typic Palehumult																
0-25	Ap1	4.6	3.3	51.1	1.67	9.0	59.7	0.38	0.08	0.15	0.65	1.26	14.2	15.5	7.0	8.2
25-49	Ap2	4.9	3.8	54.7	1.67	7.0	41.3	0.20	0.05	0.11	1.19	1.55	14.2	15.8	8.2	9.8
49-66	Bt1	4.5	3.6	32.0	0.70	2.0	42.6	0.36	0.08	0.11	0.83	1.38	10.5	11.9	7.3	11.6
66-93	Bt2	5.0	3.9	12.0	0.70	1.0	31.7	0.42	0.09	0.08	0.15	0.74	9.0	9.7	4.8	7.6
93-122	Bt3	4.8	4.0	7.9	0.28	0.0	34.2	0.38	0.08	0.09	0.40	0.88	7.5	8.4	7.5	10.5
122-150	Bt4	4.5	3.5	6.1	0.28	2.0	33.8	0.23	0.05	0.09	0.76	1.13	6.0	7.1	4.0	15.8
150-180+	Bt5	4.6	3.8	5.6	0.07	0.0	32.1	0.28	0.08	0.08	0.55	1.00	5.2	6.2	3.5	16.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ผลการวิเคราะห์ดินพื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในพิสัยที่ 48-353 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ขณะที่ในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (16-249 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 4) ซึ่งแปลงในโรงเรือนส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมาก เนื่องจาก 1) ผลจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินไนส์ และหินอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หินนี้มีโพแทสเซียมในแร่องค์ประกอบหินค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อเกิดการผุพังสลายตัวก็จะปลดปล่อยธาตุนี้ออกมา ทำให้เกิดการสะสมอยู่ในปริมาณสูง และ 2) การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีโพแทสเซียมในปริมาณสูง เช่นเดียวกับปุ๋ยอินทรีย์(มีต่ำ)ต่าง ๆ ทำให้เกิดการสะสมโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินบนในปริมาณสูงโดยเฉพาะในสภาพโรงเรือนที่อัตราการชะละลายเกิดได้ต่ำ เช่น แปลงผักและไม้ดอกในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) ที่มีปริมาณมากถึง 281.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9) มีปริมาณเท่ากับ 311.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงไม้ดอกและผักในโรงเรือนพื้นที่สถานีหลัก (KW-11) ที่มีปริมาณมากถึง 352.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินบริเวณแปลงไม้ดอกเมืองหนาวที่ระดับ 0-20 เซนติเมตร มีการสะสมอยู่สูงมากถึง 329.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ดินล่างมีอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับดินบนของแปลงอื่น ๆ ในพื้นที่ที่พบอยู่ในช่วงตั้งแต่ต่ำถึงสูง 51.7-92.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินในบริเวณแปลงโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่ (INT-6) และแปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) ในพื้นที่สถานีหลัก มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงถึงสูงมากตลอดทั้งหน้าตัดดิน โดยพบในพิสัย 230.0-489.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกผักอายุสั้นหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) ขณะที่ดินในพื้นที่อื่น ๆ ที่เหลือรวมถึงชั้นดินล่างของดินในบริเวณแปลงโรงเรือนไม้ดอกเมืองหนาว พบโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่ต่ำถึงต่ำมาก โดยมีแนวโน้มสูงในชั้นดินบนและมีค่าลดลงตามความลึก

ปริมาณเบสที่สกัดได้

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินพื้นที่ขุนวางพบอยู่ในระดับที่ต่ำมากถึงปานกลาง อยู่ในพิสัย 0.09-10.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 4) ปริมาณในดินบนโดยเฉพาะในดินแปลงโรงเรือนที่มีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น แปลงผักและไม้ดอกหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แปลงไม้ดอกในโรงเรือน (KW-11) และ แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยบ้านโป่งน้อย (KW-15) น่าจะเป็นผลมาจากการใส่ปูนที่ทำให้เกิดการสะสมในดินบน โดยแปลงที่พบมากที่สุด ได้แก่ ดินบนของแปลงปลูกผักในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) มีค่าเท่ากับ 10.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณโดยทั่วไปที่มีอยู่ต่ำน่าจะเป็นเพราะว่า หินต้นกำเนิดของดินในพื้นที่มีแคลเซียมในองค์ประกอบของแร่ประกอบหินอยู่ต่ำ โดยเฉพาะแร่เฟลด์สปาร์ที่ส่วนใหญ่เป็นแร่ในกลุ่มของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

ในกรณีของดินในพื้นที่อินทนนท์ ดินส่วนใหญ่ในพื้นที่มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก (น้อยกว่า 2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ยกเว้นชั้นดินบนของแปลงโรงเรือนไม้ดอกเมืองหนาวหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) ที่มีปริมาณเท่ากับ 2.11 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินบนของพื้นที่แปลงพืชอายุสั้น (INT-8) กับชั้นดินบนของแปลงฝรั่งสตรอเบอรี่ (INT-9) ของหน่วยย่อยดอยผาตั้งที่มีปริมาณเท่ากับ 3.89 และ6.89 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ สำหรับดินของแปลงโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่ (INT-6) และแปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) ในพื้นที่สถานีหลักมีปริมาณปานกลาง พบอยู่ในพิสัย 9.95-10.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยทั้งสองแปลงมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน

ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้

ดินพื้นที่ขุนวาง พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง (0.05-1.89 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.01-1.14 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 4) ส่วนดินในพื้นที่อินทนนท์ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ พบว่ามีความคล้ายคลึงกันกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ โดยดินในพื้นที่ของหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งและหน่วยย่อยแม่ยะน้อยมีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมาก คือน้อยกว่า 0.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นในชั้นดินบนของแปลงโรงเรือนไม้ดอกเมืองหนาวหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง (INT-1) ที่มีปริมาณเท่ากับ 0.43 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินบนแปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-13) ที่พบในปริมาณ 0.44 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ขณะที่ดินบนของแปลงโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่ (INT-6) และแปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) พื้นที่สถานีหลักที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ปานกลาง 2.18 และ 2.01 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งปัญหาของแมกนีเซียมคือ พบธาตุนี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชปลูกโดยทั่วไป ขณะที่การใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักส่งผลให้เกิดการสะสมธาตุนี้ในดินบางบริเวณโดยเฉพาะแปลงปลูกพืชภายใต้สภาพโรงเรือน สำหรับในบางดินที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นบ้างในดินล่างน่าจะเป็นผลมาจากอิทธิพลของการชะละลายที่ทำให้ธาตุอาหารนี้เคลื่อนย้าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลงไปสะสมในดินล่าง (Buol *et al*., 2003) ส่วนภาพรวมของปริมาณที่มีอยู่ต่ำน่าจะเป็นผลมาจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีแร่องค์ประกอบหินที่มีแมกนีเซียมอยู่น้อยเช่นเดียวกับในกรณีของแคลเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

พื้นที่ขุนวาง พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง โดยพบอยู่ในพิสัย 0.12-0.90 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางอยู่ในพิสัย 0.01-0.64 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ชั้นดินบนจะมีค่าที่มากกว่าในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึก ส่วนพื้นที่อินทนนท์ พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดยดินบนในพื้นที่ที่อยู่ในสภาพใต้สภาพโรงเรือนจะพบอยู่ในระดับที่สูง ในพิสัย 0.84-1.25 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับดินบนของบริเวณพื้นที่พืชอายุสั้นนอกโรงเรือน (INT-8) และแปลงฝรั่งสตรอเบอรี่ (INT-9) หน่วยย่อยดอยผาตั้งที่พบในระดับ 0.68 และ 0.76 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมทีสกัดได้กับความลึกของดินพบว่า ชั้นดินบนมีค่าสูงกว่าชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้นี้เป็นเพียงร้อยละ 1-2 ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นจึงพบโพแทสเซียมที่สกัดได้ในปริมาณที่ต่ำกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Brady and Weil, 2008)

ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

พื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง อยู่ในพิสัยระหว่าง 0.04-0.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างมีปริมาณค่อนข้างแปรปรวนตั้งแต่ 0.06-0.90 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งดินบนจะมีปริมาณที่สูงกว่าดินล่าง (ตารางที่ 4) สำหรับพื้นที่อินทนนท์ ทุกบริเวณมีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่างโดยมีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 0.10-1.48 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมที่สกัดได้กับความลึกของดินมีแนวโน้มที่ผันแปรมากในทุกบริเวณ อย่างไรก็ตาม โซเดียมไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการพบธาตุนี้สะสมอยู่ในดินที่ระดับที่ต่ำมากจึงไม่เป็นข้อจำกัดในการผลิตพืช

ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินในบริเวณที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่ที่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในชั้นดินล่าง จึงทำให้ชั้นดินบนมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัฒนาการสูงจะมีแคลเซียม แมกนเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ต่ำ (Buol *et al*., 2003) ส่วนบริเวณที่ปริมาณค่อนข้างผันแปร อาจเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุต้นกำเนิดดิน และมีอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันในหน้าตัดดิน

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้

ดินบนของพื้นที่ขุนวางอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง โดยพบในพิสัย 1.03-13.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.34-5.05 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งในดินบนมีค่าสูงกว่าในดินล่างและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ตารางที่ 4) ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ในดินของพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ส่วนใหญ่มีปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก มีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 0.53-5.80 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นดินในแปลงโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่ (INT-6) และแปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) พื้นที่สถานีหลัก และแปลงปลูกฝรั่งสตรอเบอรี่หน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-9) ที่ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง อยู่ในพิสัย 11.89-13.70 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งคาดว่าเป็นผลตกค้างจากการใส่ปูนและปุ๋ยคอกเพื่อการเพาะปลูกพืช แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบสรวมที่สกัดได้กับความลึกของดิน พบว่า ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและมีบ้างที่ลดลงตามความลึก และในชั้นดินบนมีปริมาณเบสรวมที่สกัดได้สูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากชั้นดินบนมีอินทรียวัตถุสูงกว่าชั้นดินล่าง ทำให้ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของชั้นดินบนสูงกว่าและมีปริมาณเบสรวมที่สกัดได้สูงกว่าชั้นดินล่าง (Brady and Weil, 2008) โดยแนวโน้มค่อนข้างสม่ำเสมอและมีความแปรปรวนเล็กน้อย

อิทธิพลของการจัดการที่มีการเพิ่มเติมแร่ธาตุอาหารเหล่านี้ และการเพิ่มเติมวัสดุอินทรีย์ยังมีผลช่วยลดอัตราการชะละลายในดินโดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรในโรงเรือน แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน และแบบกึ่งร้อนชื้น จึงมีกระบวนการชะละลายทำให้สูญเสียเบสไปจากหน้าตัดดินซึ่งเป็นลักษณะของดินเขตร้อนที่มีการพัฒนาการมาก (Thompson and Troeh, 1978; Sanchez *et al*., 1983) จึงมีผลทำให้ปริมาณเบสรวมของดินในพื้นที่ทั้งสองมีสะสมอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนัก

สภาพกรดที่สกัดได้

ค่าที่พบในดินบนพื้นที่ขุนวางอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมากอยู่ในพิสัย 4.8-27.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับในดินล่าง (3.8-28.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 4) สำหรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพกรดที่สกัดได้ในดินพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.0-39.7 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ชั้นดินบนส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 10.5-39.7 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ยกเว้นในบริเวณแปลงโรงเรือนปลูกพืชผักพื้นที่สถานีหลัก (INT-7) ที่ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงมีค่าในพิสัย 7.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูงมีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 4.5-6.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรดที่สกัดได้กับความลึกของดิน พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ยกเว้นแปลงโรงเรือนปลูกไม้ดอกเมืองหนาว (INT-1) และแปลงปลูกสาลี่ (INT-4) ในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งที่พบว่าค่านี้มีความแปรปรวนภายในหน้าตัดดิน

เมื่อเปรียบเทียบภายในหน้าตัดดินเดียวกัน พบว่า สภาพกรดที่สกัดได้ในดินบนมักมีค่าสูงกว่าในดินล่าง เนื่องจาก ในชั้นดินบนมีการสะสมปริมาณอินทรียวัตถุในระดับที่สูงกว่าในชั้นดินล่างมากเช่นเดียวกับปริมาณรากพืช การที่อินทรียวัตถุสลายตัวก็จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ ส่วนการหายใจของรากพืชจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกในสารละลายดิน ซึ่งทั้งสองกรณีมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพกรดที่สกัดได้ในดินให้มีค่าสูงขึ้นโดยเฉพาะในดินบน (Tan, 1993)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

พื้นที่ขุนวาง ดินบนมีค่าอยู่ในพิสัยที่ 7.0-22.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัมอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง ส่วนในดินล่างอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง (3.1-16.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 4) สำหรับค่านี้ในพื้นที่อินทนนท์ ส่วนใหญ่มีค่าผันแปรตั้งแต่ระดับต่ำมากถึงค่อนข้างสูง ในพิสัยตั้งแต่ 2.1-17.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยดินในพื้นที่ของหน่วยย่อยแม่ยะน้อยทั้งหมด ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนชั้นดินล่างมีค่าค่อนข้างต่ำถึงต่ำ และทุกชั้นมีค่าต่ำกว่า 10 เซนติโมลต่อกิโลกรัม หน่วยย่อยดอยผาตั้ง ดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง พบอยู่ในพิสัย 14.6-17.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งคล้ายคลึงในดินพื้นที่ของสถานีหลัก และหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง แต่มีข้อยกเว้นในดินแปลงไม้ดอกเมืองหนาว (INT-1) หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง ที่ดินบนมีค่าเท่ากับ 21.7 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างเกือบทุกชั้นมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ซึ่งจากค่าวิเคราะห์ควรมีการจัดการปุ๋ยอย่างระมัดระวัง เนื่องจากมีโอกาสสูญเสียออกไปจากชั้นรากพืชได้ง่าย ประกอบกับดินมีการระบายน้ำดีจึงต้องระมัดระวังในเรื่องการจัดการปุ๋ยเป็นพิเศษ ซึ่งส่วนสาเหตุที่ดินบนมีค่าสูงกว่าดินล่าง เนื่องจากใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดินล่างมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงอย่างชัดเจนและยังมีผลจากชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวด้วย (Sanchez, 1976; Young, 1976) และในพื้นที่แปลงปลูกผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7) ดินบนมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำตลอดหน้าตัดดินที่ 7.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม น่าจะเป็นผลมาจากการที่มีอินทรียวัตถุต่ำ และดินมีเนื้อค่อนข้างหยาบ

ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบส

ดินพื้นที่ขุนวาง พบว่า ค่าที่ได้อยู่ในระดับต่ำในดินบนของทุกดิน (น้อยกว่าร้อยละ 35) และในหลาย ๆ ดิน (ตารางที่ 4) โดยเฉพาะแปลงที่อยู่นอกโรงเรือน ส่วนพื้นที่อินทนนท์ อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับต่ำทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.9-33.4 ยกเว้น แปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) ในสถานีหลักที่มีค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับปานกลางทุกชั้นดิน (39.0-64.6%) เมื่อพิจารณาค่านี้ภายในหน้าตัดดิน พบว่า มีความแปรปรวนเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในตอนล่างของหน้าตัดดิน ร้อยละความอิ่มตัวเบสของดินส่วนใหญ่โดยเฉลี่ยทั้งหน้าตัดดินมีค่าอยู่ในระดับต่ำ คือมีค่าต่ำว่าร้อยละ 35 แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวเบสกับความลึกของดินที่มีความผันแปรบางบริเวณเพิ่มขึ้นและลดลงตามความลึกของดิน อาจเนื่องมาจากอิทธิพลการชะละลายที่ไม่รุนแรงมากพอ และมีการชะละลายที่ไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน (Thomson and Troeh, 1978; Sanchez *et al.* 1983; Brady and Weil, 2008) และเนื่องจากค่านี้เป็นค่าที่คำนวณได้จากปริมาณเบสรวมที่แปรผันกับผลรวมของเบสและกรดที่สกัดได้ แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างแคตไอออนที่เป็นเบสกับไฮโดรเจนไอออน และอะลูมิเนียมไอออนมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชของดินที่ต่ำด้วย ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าปริมาณเบสที่มีอยู่ในดินในพื้นที่ ยกเว้น แปลงโรงเรือนปลูกพืชผัก (INT-7) พื้นที่สถานีหลักที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ขณะที่แคตไอออนที่มีเป็นกรดจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชที่ให้ในรูปของปุ๋ยต่าง ๆ รวมถึงความเป็นพิษของแคตไอออนที่เป็นกรดทั้งสองด้วย

สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ขุนวางเมื่อพิจารณาทั้งในดินบนและดินล่างของดินที่พบภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่า แคตไอออนที่เป็นเบสในองค์ประกอบหินต้นกำเนิด (หินไนส์) มีอยู่น้อย ประกอบกับอิทธิพลของการชะละลายทำให้เกิดการสูญเสียเบสออกไปจากหน้าตัดดินได้บางส่วน (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008) อย่างไรก็ตามค่านี้จะต่ำกว่าดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรเล็กน้อย สมบัติทางเคมีส่วนใหญ่มีความแปรปรวนในพิสัยกว้าง ดินบนและดินล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีพีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดปานกลาง ดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติส่วนใหญ่มีค่าพีเอชต่ำกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม ขณะที่การทำการเกษตรภายใต้โรงเรือน ดินมีแนวโน้มของค่าพีเอชสูงกว่าพื้นที่เกษตรนอกโรงเรือน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินบนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก และมีปริมาณลดลงตามความลึก ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ป่าธรรมชาติและพื้นที่เกษตรกรรม เช่นเดียวกับในกรณีของปริมาณไนโตรเจนรวมที่พบในปริมาณต่ำถึงปานกลางในดินบน และต่ำถึงต่ำมากในดินล่าง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบสูงมากในดินบนส่วนใหญ่ของพื้นที่เกษตรกรรม ขณะที่ดินตามป่าธรรมชาติพบอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์พบอยู่ในพิสัยกว้าง แต่ผลจากการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมมากเกินกว่าความต้องการของพืชปลูกทำให้พื้นที่เกษตรกรรมบางบริเวณมีการสะสมในปริมาณสูงมาก สภาพกรดที่สกัดได้ในดินบนสูงถึงสูงมากและลดลงในชั้นดินล่าง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินบนค่อนข้างต่ำถึงสูง และมีแนวโน้มลดลงในดินล่าง ส่วนอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่าร้อยละ 35 ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (นครินทร์, 2552)

สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่อินทนนท์ พบว่า ค่าพีเอชของดินในชั้นดินบนเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย และมีความเป็นกรดมากขึ้นในชั้นดินล่าง ซึ่งจะมีปัญหากับการปลูกพืชประเภทรากตื้นและรากลึกแต่ยกเว้นในบริเวณที่มีการปลูกพืชในโรงเรือนซึ่งจะมีค่าพีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อยทำให้ไม่มีผลต่อการปลูกพืชระบบรากตื้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากการปลูกพืชในสภาพโรงเรือนได้รับอิทธิพลจากการจัดการดิน เช่น การใส่ปูนขาว การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก

การจัดการดินโดยการใส่วัสดุปรับปรุงดินดังกล่าวมีส่วนในการช่วยยกระดับค่าพีเอชของดินให้สูงขึ้นและยังพบว่าในทุกบริเวณ ที่ต่อเนื่องขึ้นไปตามสภาพภูมิประเทศ คือมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเพิ่มขึ้น ดินมีแนวโน้มว่าจะเป็นกรดมากขึ้น โดยเฉพาะดินในพื้นที่ป่าไม้ที่พบอยู่ส่วนยอดของความลาดเท และสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเท่ากับ 1,563 เมตร ซึ่งจากค่าพีเอชดินในตอนล่างของหน้าตัดดินเพิ่งสูงขึ้นถึงมากกว่า 5.5 ค่าพีเอชดินอาจไม่เป็นข้อจำกัดต่อการปลูกพืชรากลึกที่ไม่ทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และเป็นที่น่าสังเกตว่า ดินที่พบอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณตั้งแต่ 1,400 เมตรขึ้นไป ดินมักจะเป็นกรดจัดมากเกือบทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ข้อจำกัดด้านค่าพีเอชดินน่าจะมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุในชั้นดินบนอยู่ในระดับค่อนข้างสูงมาก ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และมีการแจกกระจายลงสู่ระดับลึกค่อนข้างดี โดยที่ระดับ 50 เซนติเมตรจากผิวดินยังคงพบว่า ดินส่วนใหญ่มีการสะสมอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลางถึงค่อนข้างสูง โดยในกรณีของดินบรรพกาลที่พบอยู่ในบริเวณที่ราบแคบๆ ระหว่างหุบเขา และมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่นระหว่างหุบเขา ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนน้ำพา ได้พัดพาเอาตะกอนธารน้ำมาทับถมในช่วงเวลาที่ต่างกันเนื่องจากพื้นที่เป็นบริเวณที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น ๆ (บุญมา, 2536) พบว่า ชั้นดินบนที่ถูกฝังมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าชั้นไกล้เคียงและที่ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในชั้นดินบนที่สูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการสลายตัวตามธรรมชาติของเศษซากอินทรีย์ที่ตกค้างจากการทำการเกษตร หรือจากพืชพรรณธรรมชาติรากพืชที่ปกคลุมอยู่ที่ผิวดิน ตลอดจนการจัดการดินในพื้นที่ ทำให้เกิดการสะสมอินทรียวัตถุในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง ส่วนชั้นดินล่างซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าเป็นลักษณะโดยทั่วไปของดินที่ไม่ได้รับอินทรียวัตถุเพิ่มเติมมากพอ ประกอบกับอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินบนของเขตร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็ว การชะละลายลงไปสะสมในชั้นดินล่างจึงน้อย ซึ่งทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ(และมีการแจกกระจายลงสู่ระดับลึกค่อนข้างดี) (Sanchez, 1976; Virgo and Holmes, 1977; Vangai *et al.*, 1986) แม้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีความลาดชัน แต่อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของการใช้ที่ดินและการจัดการดิน ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ความแตกต่างของปริมาณอินทรียวัตถุในชั้นดินบน คาดว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับพืชพรรณธรรมชาติ สัณฐานภูมิประเทศ และการใช้ที่ดินเป็นสำคัญ (Vijarnsorn, 1984)

เมื่อพิจารณาจากปริมาณและการแจกกระจายของอินทรียวัตถุที่พบในดินที่ทำการศึกษาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า อินทรียวัตถุโดยเฉพาะในบริเวณที่ทำการเกษตรในพื้นที่อินทนนท์ไม่เป็นข้อจำกัดสำหรับการปลูกพืชแต่อย่างใด และในบางบริเวณที่พบการแจกกระจายลงสู่ส่วนลึกพอประมาณภายในหน้าตัดดินยังช่วยให้การจัดการด้านปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการปลูกพืชที่มีรากลึก ทั้งนี้เช่นเดียวกับการอนุรักษ์ความชื้นและการช่วยลดปัญหาการแตกกระจายของดินที่เกิดจากแรงกระแทกของเม็ดฝน ปริมาณไนโตรเจนรวมในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ และลดลงตามความลึก ซึ่งมีลักษณะรูปแบบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Brady and Weil, 2008) เนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนที่สำคัญให้แก่ดิน และจากผลการศึกษาไม่พบว่ามีหินหรือแร่ธาตุใดที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปของอินทรียไนโตรเจนเป็นอนินทรียไนโตรเจนเท่านั้น ในส่วนของดินชั้นบนของหน้าตัดดินมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่า การสลายตัวของอินทรียวัตถุแล้วปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาอยู่ในระดับต่ำ หรืออาจถูกใช้ไปโดยพืชอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการสูญเสียโดยการชะละลายในกรณีของพื้นที่เปิด และเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดเรื่องธาตุอาหารพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้น การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีความจำเป็นและจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ให้เหมาะสมด้วย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งในชั้นดินบนส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมากและลดลงตามความลึกของดิน แสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการมาก ผ่านการชะละลายมานาน ทำให้ค่าพีเอชดินเป็นกรด และมีไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสะสมอยู่มาก ฟอสฟอรัสจึงถูกตรึงและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการผลิตพืชที่สำคัญในพื้นที่ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง และลดลงตามความลึก ซึ่งโพแทสเซียมก็เป็นขอจำกัดต่อการผลิตพืชในพื้นที่อินทนนท์เช่นกัน โดยเฉพาะในพื้นที่นอกโรงเรือนที่พบอยู่บริเวณตั้งแต่ส่วนบนของตีนเขาตอนล่างไปจนถึงส่วนยอดของความลาดเทในระบบภูเขา ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ส่วนใหญ่ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ส่งผลให้ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำซึ่งสอดคล้องกันคือจะลดลงตามความลึก เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในชั้นดินล่าง จึงทำให้ชั้นดินบนมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มีพัฒนาการสูงจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมที่สกัดได้ต่ำ (Buol *et al*., 2003)

ส่วนบริเวณที่แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ที่สกัดได้ที่ค่อนข้างผันแปร อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุต้นกำเนิดดิน และมีอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันในหน้าตัดดิน ทั้งนี้รวมไปถึงปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ด้วย ซึ่งปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก เนื่องจากปริมาณโซเดียมในดินมีความสัมพันธ์ในทางลบกับธาตุไอออนบวกอื่นๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และเนื่องจากดินส่วนใหญ่จะมีแรงดูดยึดไอออนของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมได้มากกว่าโซเดียม ประกอบกับโซเดียมเป็นธาตุที่ละลายได้สูง และเคลื่อนย้ายได้ง่าย ทำให้โซเดียมสูญหายไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย (Brady and Weil, 2008) สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงมาก ชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และยังมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในทางเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุของดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุซึ่งมีค่าสูงในชั้นดินบนสามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออนได้มาก (Foth, 1984; Tan, 1993) หรืออาจเกิดจากกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่จะมีการแตกตัวของอนุมูลกรด และปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนให้แก่ดิน (Brady and Weil, 2008) ทำให้ชั้นดินบนมีสภาพกรดที่สกัดได้สูงกว่าชั้นดินล่าง และมีค่าลดลงตามความลึก เนื่องจาก สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดที่สกัดได้เป็นผลรวมของ ไฮโดรเจนไอออนและปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ ซึ่งสัดส่วนของไอออนทั้งสองขึ้นอยู่กับค่าพีเอชดินด้วย

Kamprath (1970) กล่าวว่า โดยทั่วไปค่าพีเอชของดินที่ต่ำกว่า 4.5 จะส่งเสริมให้ดินมีไฮโดรเจนไอออน ที่สกัดได้ในปริมาณที่สูง และ ไฮโดรเจนไอออน ที่สกัดได้สามารถไล่ที่อะลูมิเนียมที่สกัดได้ ให้ออกมาสู่ระบบของสารละลายดินได้มากยิ่งขึ้น ทำให้พืชที่ไม่ทนต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมอาจจะได้รับความเสียหายได้ โดยค่าพีเอชของดินที่มีค่าต่ำกว่า 5.2 สามารถทำให้พืชหลายชนิดได้รับความเสียหายจากอะลูมิเนียมเป็นพิษ ดังนั้น ดินในพื้นที่ส่วนใหญ่ซึ่งมีค่าพีเอชของดินที่เป็นกรดจัด โดยเฉพาะดินที่พบในสภาพภูมิประเทศตั้งแต่บริเวณที่ราบหุบเขาแคบๆ จนถึงตอนกลางของที่ลาดเขา ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญต่อการผลิตพืชในพื้นที่จากความเสี่ยงต่อการเกิดความเป็นพิษจากอะลูมิเนียมได้ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน มีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน รวมถึงชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน ซึ่งดินที่ทำการศึกษามีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก ชี้ให้เห็นว่า แร่ดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบในดินเป็นชนิดที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ เช่น เคโอลิไนต์ รวมถึงเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ (Buol *et al*., 2003; Brady and Weil, 2008) ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสส่วนใหญ่ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการที่ดินมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูง ผ่านการชะละลายมามาก ทำให้แคตไอออนที่เป็นเบสเหลืออยู่น้อยในดิน

4. ระดับอะลูมิเนียม

ปริมาณอะลูมิเนียมในดินที่ทำการศึกษาแสดงได้ในรูปของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (extractable aluminium, Al^{3+}) และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม (aluminium saturation perecentage) (ตารางผนวกที่ 1 และ 2) โดยปริมาณที่พบสามารถนำมาใช้กำหนดระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (aluminium toxicity) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูกได้ นอกจากนี้ค่าดังกล่าวยังมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดิน (Landon, 1991; Sparks, 1995; Tan, 1993) ดังนี้

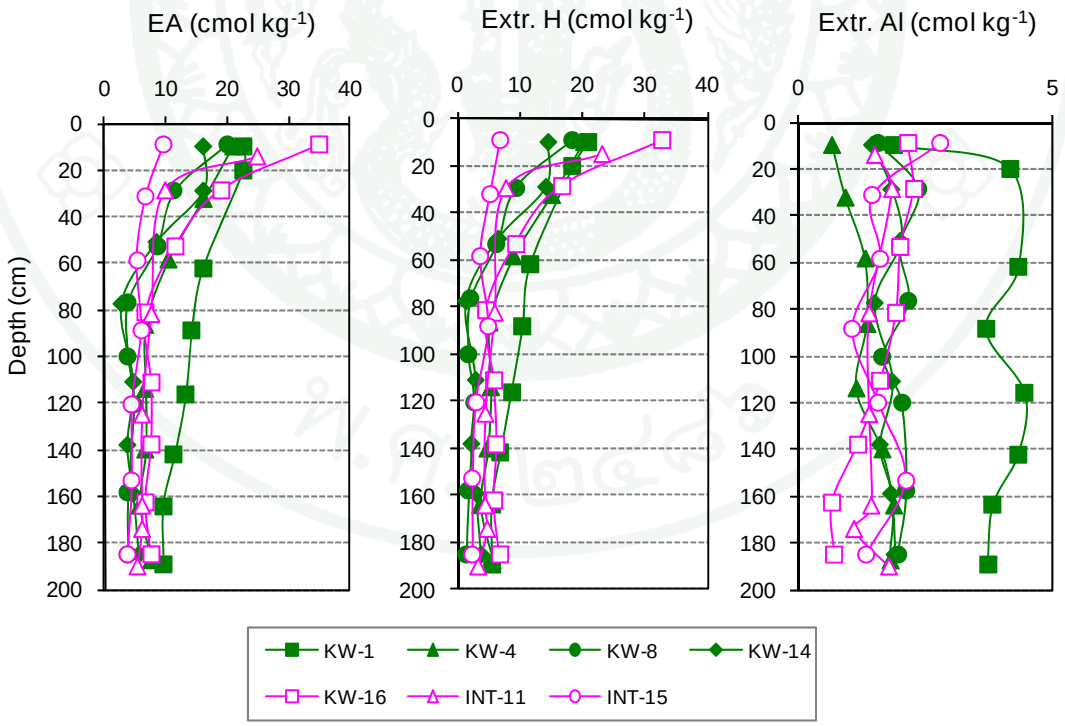
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 พื้นที่ป่าธรรมชาติ

พื้นที่ขุนวางประกอบด้วยดิน KW-1 ซึ่งเป็นป่าดิบเขา KW-4 ซึ่งเป็นป่าทุติยภูมิ ทั้งสองบริเวณอยู่ในพื้นที่ของหน่วยย่อยขุนแม่วาก ดิน KW-8 พบภายใต้สภาพป่าดิบเขาในหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย ดิน KW-14 ซึ่งเป็นป่าดิบเขาเช่นกันแต่อยู่ในพื้นที่หลักของศูนย์ และดิน KW-16 ซึ่งเป็นป่าทุติยภูมิในพื้นที่ของหน่วยย่อยโป่งน้อย สำหรับพื้นที่อินทนนท์ประกอบด้วยดิน INT-11 ซึ่งเป็นป่าสน และดิน INT-15 ที่เป็นป่าดิบเขา

อะลูมิเนียมที่สกัดได้

การแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ในพื้นที่ป่าทุติยภูมิของหน่วยย่อยขุนแม่วากมีค่าสูงกว่าดินในพื้นที่ป่าบริเวณอื่นมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.9-4.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ขณะที่ในบริเวณที่เหลืออีก 3 บริเวณมีค่าอยู่ในพิสัย 0.7-2.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 1) โดยส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกกระจายเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดิน ยกเว้นในดิน KW-16 ที่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ของแต่ละดินที่อยู่ภายใต้สภาพป่าธรรมชาติมีลักษณะการแจกกระจายที่คล้ายคลึงกันมาก โดยมีค่าลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน และอยู่ในพิสัยที่ไม่แตกต่างกันนัก (1.3-20.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ยกเว้นในกรณีของดินบน (A1) ที่มีค่าสูงกว่าในชั้นดินอื่น (20.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) แสดงให้เห็นว่า ในสภาพธรรมชาติกรดที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีความสัมพันธ์กับการสลายตัวของอินทรียวัตถุเป็นส่วนใหญ่ ส่วนอิทธิพลของการผุพังอยู่กับที่ของวัตถุต้นกำเนิดดินทำให้เกิดความแตกต่างกันบ้างแต่ไม่มากเท่า

พื้นที่ป่าธรรมชาติของพื้นที่อินทนนท์ มีการแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในพิสัย 1.1-1.9 และ 1.1-2.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 7) ส่วนปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นในชั้นดินบนของดิน INT-11 ที่มีค่าสูงกว่ามาก (23.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม)

ในสภาพป่าธรรมชาติจะเห็นได้ว่า ลักษณะการแจกกระจายของไฮโดรเจนที่สกัดได้ภายในหน้าตัดดินเป็นไปในทิศทางเดียวกับสภาพกรดที่สกัดได้ในเกือบทุกดิน และมีปริมาณสูงกว่าอะลูมิเนียมที่สกัดได้ค่อนข้างมากโดยเฉพาะในชั้นดินที่อยู่ตอนบนของหน้าตัดดิน ขณะที่อะลูมิเนียมที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีปริมาณค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดินในชั้นดินล่าง

ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม

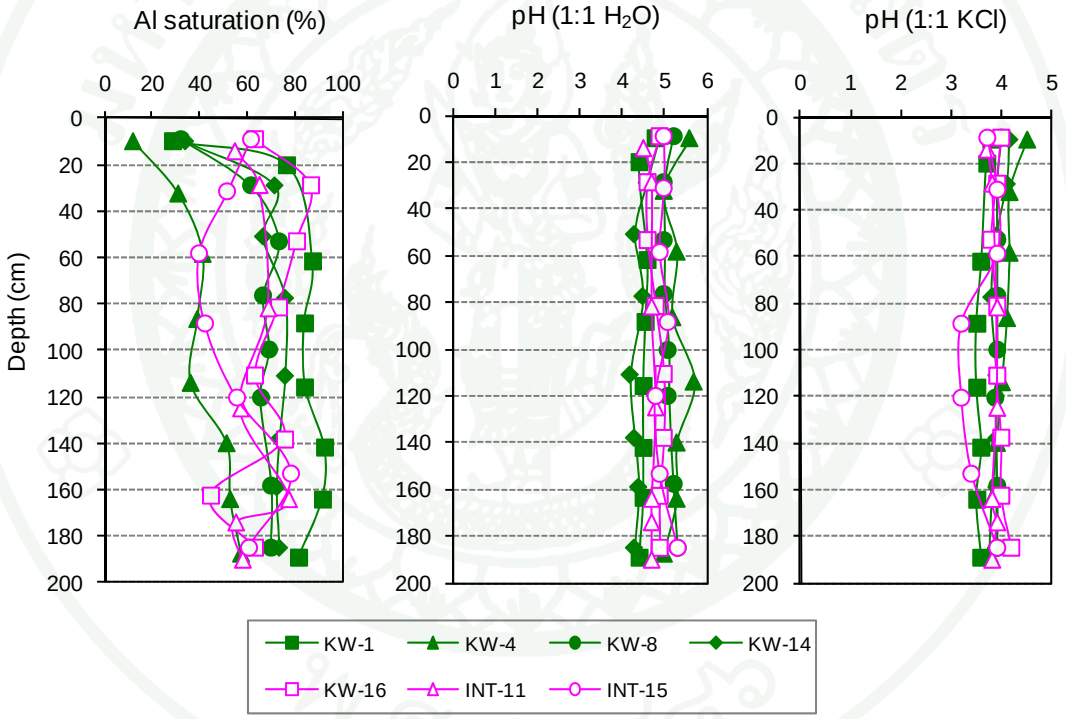
ผลการคำนวณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พบว่า ดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติในพื้นที่ขุนวางมีความคล้ายคลึงกันคือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 8) โดยในดินบนจะมีค่าต่ำกว่าในดินล่างซึ่งค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยขุนแม่วากมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมโดยเฉลี่ยต่ำสุด มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 12.3-58.0 (ตารางผนวกที่ 1) ขณะที่ป่าทุติยภูมิบริเวณหน่วยย่อยโป่งน้อยมีแนวโน้มสูงสุดในตอนบน (63.5-86.8%) แต่มีค่าลดลงตั้งแต่ความลึก 64 เซนติเมตรลง สำหรับดินในป่าดิบเขาของหน่วยย่อยขุนแม่วากถึงแม้ว่าจะมีค่าไม่สูงมากในดินบน แต่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 20 เซนติเมตรลงไปมีค่าสูงมากในพิสัยร้อยละ 76.5-92.7

พื้นที่อินทนนท์ ค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเฉลี่ยของทั้งสองดินใกล้เคียงกัน ดินในป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 54.6-77.7 ส่วนในป่าดิบเขาหน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ย่อยแม่ยะน้อย (INT-15) มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 39.9-78.9 (ตารางผนวกที่ 1) โดยทั้งสองดินมีการแจกกระจายโดยเฉพาะในตอนล่างของหน้าตัดดินค่อนข้างแปรปรวน (ภาพที่ 8)

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับค่าพีเอชดิน จะพบว่า หากพีเอชดินที่วัดในน้ำมีค่าสูงกว่า 5.5 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมจะมีค่าต่ำกว่า 40 ดังเช่นในดิน KW-4 (ภาพที่ 8) และหากไม่รวมดินบนในสภาพป่าธรรมชาติของพื้นที่ขุนวางแล้ว ดินทุกบริเวณในทุกชั้นดินภายในแต่ละหน้าตัดดินมีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงเกินกว่า 40 แทบทั้งสิ้น และดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ขุนวาง (ยกเว้น ดิน KW-4 ซึ่งเป็นป่าทุติยภูมิใหม่ระยะขุนแม่วากที่มีการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมาก่อนที่จะปล่อยให้รกร้างจนเปลี่ยนสภาพกลับเป็นป่า



ภาพที่ 8 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

อีกครั้ง ซึ่งน่าจะมีผลต่อการลดระดับของร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเนื่องจากผลตกค้างจากการจัดการระหว่างการปลูกพืชเกษตร) มีปริมาณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าดินป่าไม้ในพื้นที่อินทนนท์แทบทั้งสิ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมจะไม่ปรากฏในรูปที่สกัดได้เมื่อดินมีค่าพีเอชสูงกว่า 5.5 (Landon, 1991) ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมที่จะเป็นพิษต่อพืชจึงดำเนินการเฉพาะในดินที่เป็นกรดมาก ๆ เท่านั้น ในปัจจุบันยังไม่ปรากฏระดับวิกฤตของอะลูมิเนียมที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในหมู่นักวิชาการ แต่ระดับอะลูมิเนียมที่สกัดได้ 2-3 เซนติโมลต่อกิโลกรัมน่าจะมากเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตของพืชหลาย ๆ ชนิด (Chapman, 1965) ส่วนเมื่อใช้ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม หากค่านี้อยู่ระหว่างร้อยละ 30-60 มีเพียงพืชที่อ่อนไหวต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบ ร้อยละ 60-85 มักเกิดอาการเป็นพิษโดยทั่วไป (Nye *et al*., 1961) ยกเว้นอ้อยที่ต้านทานที่ระดับร้อยละ 60 (Evans, 1965) หากค่านี้สูงกว่าร้อยละ 85 จะมีเพียงบางพืช อาทิเช่น ชา กาแฟ ยางพารา มันสำปะหลัง สับปะรด หญ้าเขตร้อนบางชนิด และถั่วต่าง ๆ ที่ต้านทานปริมาณการอิ่มตัวของอะลูมิเนียมในระดับนี้ (Sanchez, 1976) เมื่อพิจารณาปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่ได้จากการศึกษาสามารถประเมินระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้ ดังนี้

ดินป่าธรรมชาติทั้ง 5 บริเวณในพื้นที่ขุนวาง มีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้สูงกว่ากว่าเกณฑ์ที่รายงานว่าสามารถเป็นพิษต่อพืชได้ (2-3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (Chapman, 1965) โดยมีข้อยกเว้นสำหรับดินบนที่สัดส่วนของไฮโดรเจนที่สกัดได้มีมากกว่ามากเนื่องจากในชั้นดินบนมีการสะสมอินทรียวัตถุในระดับที่สูงมากจึงมีการปลดปล่อยไฮโดเจนออกมาในระบบมาก ขณะที่ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมก็มีค่าสูงมาก โดยเฉพาะพื้นที่ป่าดิบเขาหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-1) ที่มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 76.5-92.7 (ยกเว้นในดินบน) และในพื้นที่ป่าทุติยภูมิหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-16) ที่มีค่าสูงตั้งแต่ชั้นดินบน (63.5-86.8%) ถึงแม้ว่าจะมีค่าลดลงบ้างในตอนล่างของหน้าตัดดิน แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ขุนวางเดิมก่อนที่จะเปลี่ยนพื้นที่จากป่าธรรมชาติมาใช้ปลูกพืชเกษตรน่าจะมีปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียม เพราะฉะนั้น การปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มค่าพีเอชดินจึงมีความจำเป็นสำหรับการปลูกพืชในบริเวณนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พืชเขตอบอุ่นที่มีความสามารถในการทนความเป็นพิษของอะลูมิเนียมน้อยกว่าพืชเขตร้อน (Sanchez, 1976) สำหรับไม้ป่าที่เกิดขึ้นเองธรรมชาติน่าจะมีความทนทานได้ตามธรรมชาติ

พื้นที่ป่าธรรมชาติทีทำการศึกษาในบริเวณพื้นที่อินทนนท์มีระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียมไม่ค่อยแตกต่างกับพื้นที่เกษตรกรรมมากนัก โดยบริเวณป่าสนหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-11) มีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในพิสัย 54.6-77.7 ส่วนดินใต้ป่าดิบเขาหน่วยย่อยแม่ยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้อยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 39.9-78.9 หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพื่อใช้ปลูกพืชเกษตรก็ไม่น่าเกิดปัญหา เนื่องจากพืชพรรณที่ขึ้นเองตามธรรมชาติมีความทนทานต่อสภาพกรดของดินที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาได้ดีอยู่แล้ว

4.2 พื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้

พื้นที่ที่ใช้ทำนา ดินที่ใช้ทำนามีเพียง 2 บริเวณในหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-2) และหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10) ในพื้นที่ขุนวาง อะลูมิเนียมที่สกัดได้ในดินแรกมีค่าในดินบนเท่ากับ 1.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงในตอนล่าง โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.8-1.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 2) ส่วนในดินหลังมีค่าอยู่ในพิสัย 0.3-1.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ภาพที่ 9) อย่างไรก็ตาม ดิน KW-2 จะมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้สูงกว่าค่อนข้างชัดเจน สำหรับในกรณีของไฮโดรเจนที่สกัดได้ พบว่า ดิน KW-2 มีลักษณะการแจกกระจายเหมือนกับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ ขณะที่อีกบริเวณหนึ่งมีการแจกกระจายค่อนข้างแปรปรวนภายในหน้าตัดดิน โดยทั้งสองดินมีค่าอยู่ในพิสัย 5.2-17.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้มีค่ามากกว่าอะลูมิเนียมที่สกัดได้มากทั้งสองบริเวณ

พื้นที่ปลูกไม้ผล พื้นที่ขุนวางได้ทำการศึกษาดินที่ใช้ปลูกไม้ผล 2 บริเวณ ได้แก่ แปลงปลูกพลับใหม่หน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-5) และแปลงปลูกพลับเก่าพื้นที่สถานีหลัก (KW-13) ส่วนพื้นที่อินทนนท์ประกอบด้วย แปลงพลัม (INT-2) แปลงกาแฟและกีวี (INT-3) แปลงสาลี่ (INT-4) และแปลงองุ่น (INT-5) ของหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง แปลงฝรั่งสตรอเบอรี (INT-9) และแปลงท้อและสนปลูก (INT-10) ของหน่วยย่อยดอยผาตั้ง แปลงกาแฟ (INT-13) และแปลงบ๊วย (INT-14) ของหน่วยย่อยแม่ยะน้อย

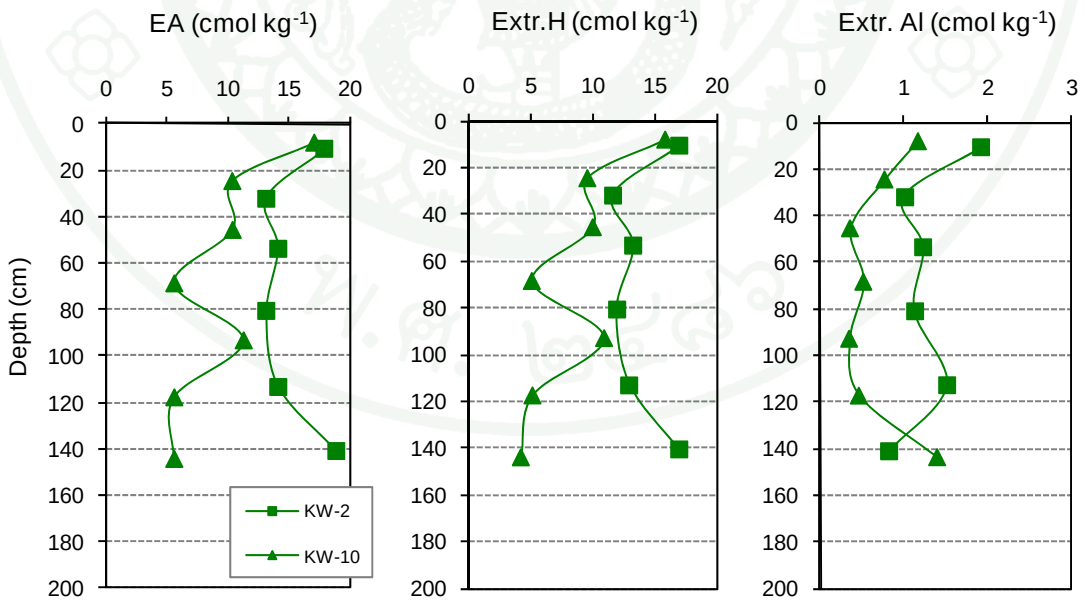
พื้นที่ขุนวาง การแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ในแปลงปลูกพลับใหม่อยู่ในพิสัย 0.4-1.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับในดินแปลงปลูกพลับเก่าที่พบอยู่ในพิสัย 0.6-2.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 2) โดยมีแนวโน้มของปริมาณที่ลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 10) ซึ่งการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินของอะลูมิเนียมที่สกัดได้มีความคล้ายคลึงกับไฮโดรเจนที่สกัดได้ แต่ในกรณีหลังมีปริมาณสูงกว่ามาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 6.8-25.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ และค่าสูงสุดพบในชั้นดินบนเท่ากับ 22.9 และ 25.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัมสำหรับดิน KW-5 และ KW-13 ตามลำดับ

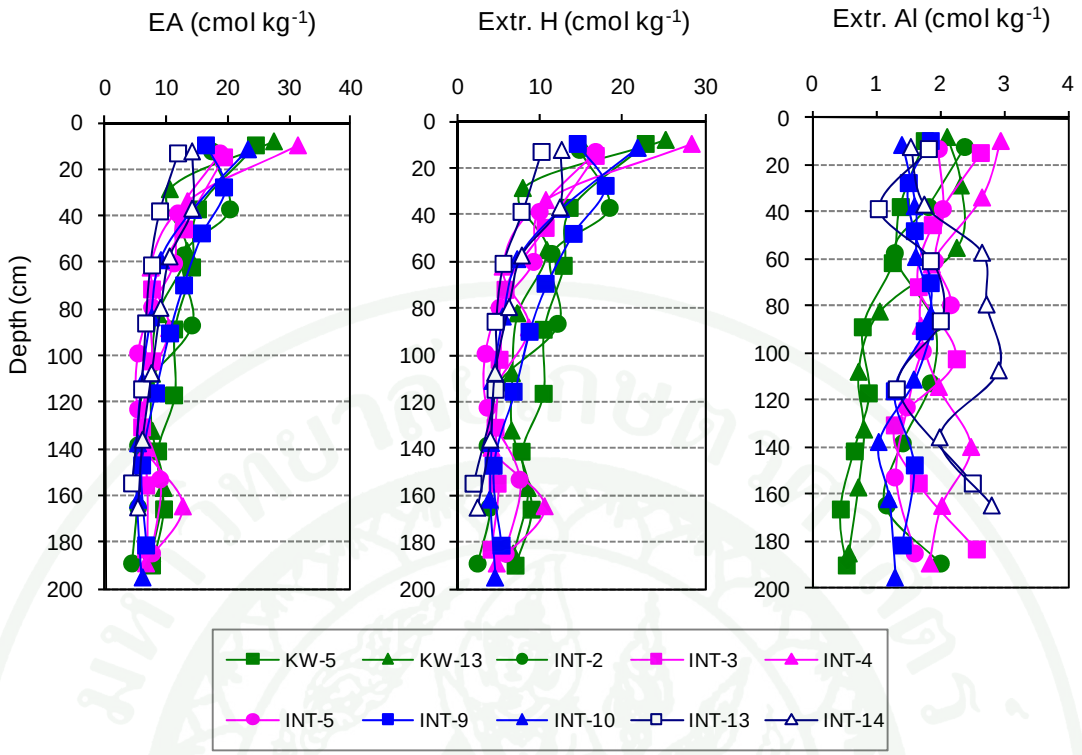
ดินทั้งหมดที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่อินทนนท์มีการแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ค่อนข้างแปรปรวนภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 10) โดยพบว่า ในดินบนของแปลงไม้ผลในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 2 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในทุกดิน ขณะที่ในบริเวณอื่นจะมีค่าต่ำกว่า แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 49 เซนติเมตรลงไปในดินแปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-14) มีค่านี้เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน (2.0-2.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (ตารางผนวกที่ 2) สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้มีลักษณะการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินค่อนข้างคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีค่าสูงหรือเกือบสูงสุดในชั้นดินบน มีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนถึงชั้นดินข้างล่างสุดที่ในบางดินมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ของดินที่ใช้ปลูกไม้ผลของหน่วยย่อยแม่ยะน้อยจะมีค่าต่ำกว่าในบริเวณอื่นค่อนข้างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองพื้นที่ พบว่า ดินที่ใช้ปลูกไม้ผลในพื้นที่ขุนวางมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ต่ำกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่ดินในหน่วยย่อยแม่ยะน้อย พื้นที่อินทนนท์อะลูมิเนียมที่สกัดได้มีแนวโน้มสูงสุด โดยเฉพาะดินที่อยู่ตอนบนของสภาพภูมิประเทศ



ภาพที่ 9 สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ทำนา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



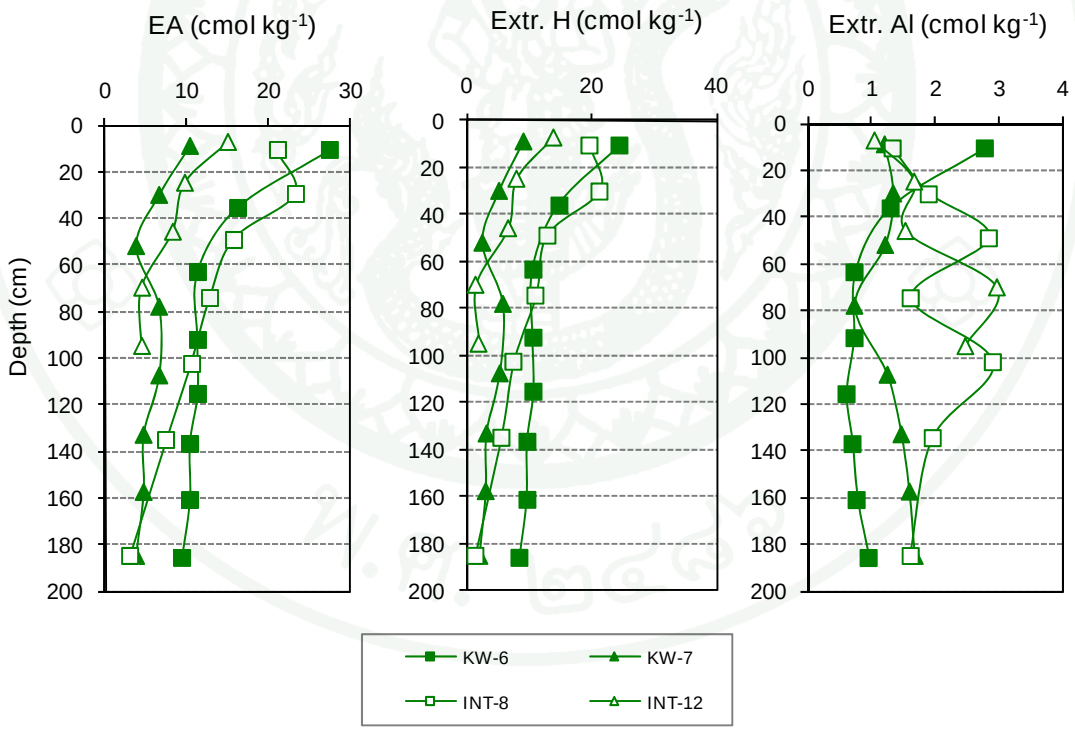
ภาพที่ 10 สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกไม้ผล

พื้นที่ปลูกไม้พืชอายุสั้นนอกโรงเรือน พื้นที่ขุนวาง ได้แก่ ดิน KW-6 (หน่วยย่อยขุนแม่วาก) และ KW-7 (หน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย) ส่วนพื้นที่อินทนนท์ประกอบด้วย ดิน INT-8 (หน่วยย่อยดอยผาตั้ง) และดิน INT-12 ในหน่วยย่อยแม่ยะน้อย พบว่า พื้นที่ขุนวางดินมีการแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ในดินในบริเวณแรกอยู่ในพิสัย 0.6-1.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 2) โดยในดินบนมีค่าสูงกว่าในดินล่างซึ่งมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอมาก (ภาพที่ 11) ขณะที่ดินในบริเวณที่สองซึ่งอยู่บริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศ ซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำพาท้องถิ่นของวัสดุตะกอนดาดเชิงเขาที่มาจากหินไนส์มีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้สูงกว่าอย่างชัดเจน (0.74-1.70 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยมีข้อยกเว้นในดินบน และมีการแจกกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอภายในหน้าตัดดิน สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ พบว่า ดินในพื้นที่ขุนแม่วากมีปริมาณสูงกว่าแปลงปลูกผักนอกโรงเรือนของหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วยในทุกชั้นดิน แต่ลักษณะการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินคล้ายคลึงกัน โดยดินแรกมีค่าอยู่ในพิสัย 9.7-24.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ2.1-9.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในดินหลัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับพื้นที่อินทนนท์ ดินทั้งสองบริเวณมีการแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ภายในหน้าตัดดินแตกต่างกัน (ภาพที่ 11) โดยดินแรกมีค่าสูงในดินบนและลดลงในดินล่าง ขณะที่ดินหลังมีแนวโน้มลดลงตามความลึก โดยค่าทั้งหมดอยู่ในพิสัย 1.0-2.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ พบว่า มีแนวโน้มการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินคล้ายคลึงกันคือมีปริมาณลดลงตามความลึก แต่ในดินที่เคยใช้ปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์มีค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่ามาก

ปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ในดินที่ใช้ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือนของทั้งสองพื้นที่มีการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินคล้ายคลึงกับสภาพกรดที่สกัดได้ เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะอะลูมิเนียมที่สกัดได้จะเห็นได้ชัดเจนว่า พื้นที่ของอินทนนท์จะมีค่าสูงกว่าในพื้นที่ขุนวางเกือบทั้งหน้าตัดดิน โดยที่ดินทั้งสี่อยู่ในตำแหน่งสภาพภูมิประเทศที่คล้ายตลึงกัน คือ ส่วนล่างของระบบภูเขา หรือที่ลาดเชิงเขาซึ่งเป็นส่วนที่ต่อขึ้นมาจากที่ราบระหว่างหุบเขา



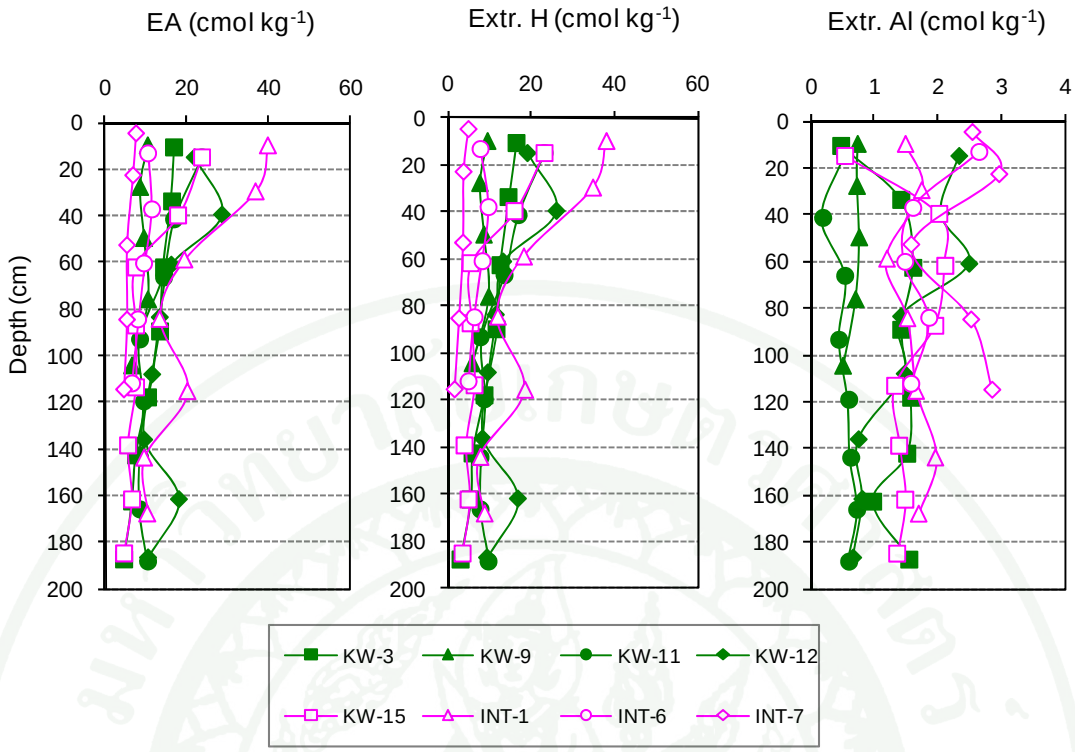
ภาพที่ 11 สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกพืชนอกโรงเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ปลูกพืชในโรงเรือน ใช้สำหรับปลูกไม้ดอกและผัก ได้แก่ แปลงผักและไม้ดอกในโรงเรือนหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) แปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9) แปลงไม้ดอกในโรงเรือนพื้นที่สถานีหลัก (KW-11) แปลงอนุ่นที่มีหลังคาคลุมพื้นที่สถานีหลัก (KW-12) และแปลงผักในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-15) ส่วนพื้นที่อินทนนท์ประกอบด้วยดินในโรงเรือนปลูกไม้ดอก (INT-1) โรงเรือนปลูกสตรอเบอรี (INT-6) และโรงเรือนปลูกผัก (INT-7)

การแจกกระจายของอะลูมิเนียมที่สกัดได้ของพื้นที่ขุนวางในดิน KW-3 ของหน่วยย่อยขุนแม่วากมีค่าอยู่ในพิสัย 0.5-1.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 2) โดยมีค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่าดินในโรงเรือนของหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (0.5-0.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ขณะที่ดินในโรงเรือนของสถานีหลัก (KW-11 และ KW-12) พบว่าแปลงแรกมีค่าอยู่ในพิสัย 0.2-0.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 12) โดยค่าที่ต่ำมากอยู่ในชั้น Bt1 ซึ่งอยู่ข้างใต้ชั้นดินบน (Ap) และค่าส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในดินตอนล่าง ขณะที่แปลงอนุ่นซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกลับมีค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน (0.7-2.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยมีค่าสูงในดินตอนบนและลดลงในดินตอนล่างของหน้าตัดดิน ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการจัดการ เช่น การใส่ปูนซึ่งในแปลงไม้ดอกจะมีการใช้อย่างสม่ำเสมอ และรูปของปุ๋ยเคมีที่ใช้ซึ่งจะแตกต่างกันระหว่างไม้ดอกและอนุ่น สำหรับแปลงปลูกผักในโรงเรือนของหน่วยย่อยโป่งน้อยซึ่งเป็นแปลงที่มีการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดแบบกว้างได้ไม่นาน พบว่า ปริมาณอะลูเนียมที่สกัดได้มีค่าอยู่ในพิสัย 0.5-2.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยที่ค่าต่ำสุดอยู่ในชั้นดินบน (Ap) มีปริมาณเท่ากับ 0.54 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าในชั้นดินล่างทั้งหมด 2 ถึง 4 เท่าตัว แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการจัดการดินที่ชั้นผิวดินโดยการใส่ปุ๋ยคอกและปูน แต่ยังไม่เกิดการชะละลายของเบสลงไปในตอนล่างมากนัก เนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดใหม่ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้มีแนวโน้มการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินคล้ายคลึงกันทั้งหมด คือมีปริมาณลดลงตามความลึก และส่วนใหญ่จะมีค่าสูงสุดในดินบน ยกเว้นดิน KW-12 ที่พบค่าสูงสุดอยู่ที่ชั้น Bt1 (26.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) สำหรับพิสัยของปริมาณในพื้นที่ใต้โรงเรือนของดินเหล่านี้มีค่าตั้งแต่ 3.2-26.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 สภาพกรดที่สกัดได้ ไฮโดรเจนที่สกัดได้ และอะลูมิเนียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรือน

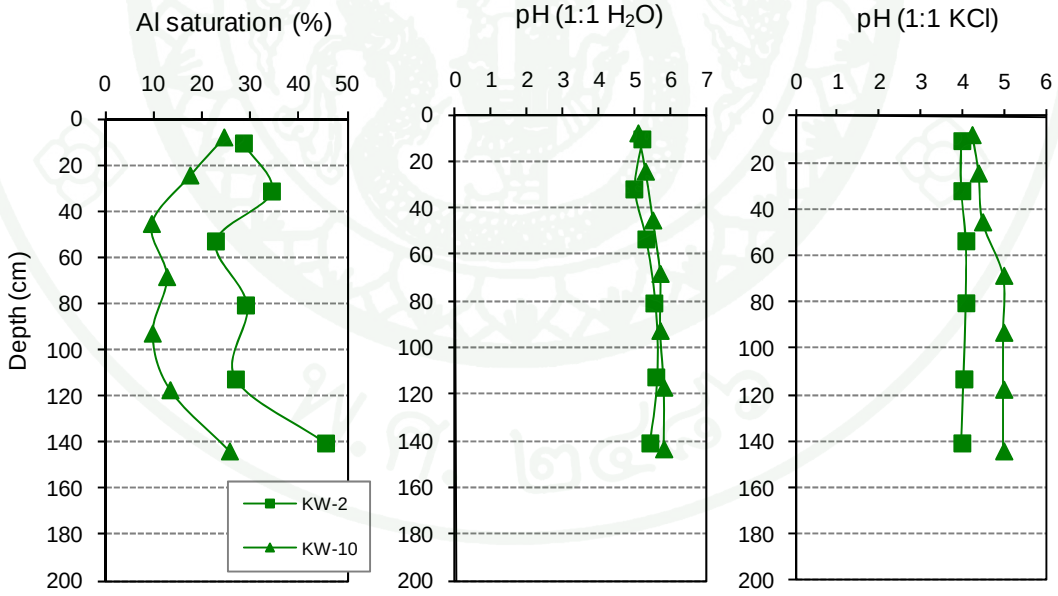
สำหรับพื้นที่อินทนนท์ พบว่า การแจกกระจายแปลงโรงเรือนไม้ดอกเมืองหนาวหน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง มีค่าอยู่ในพิสัย 1.2-2.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่อนข้างมีความสม่ำเสมอกันตลอดหน้าตัดดิน (ภาพที่ 11) ส่วนดินในโรงเรือนของสถานีหลักจะมีค่าสูงในดินชั้นบนที่ 2.7 และ 2.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในพื้นที่แปลงโรงเรือนพืชผัก (INT-7) มีค่าค่อนข้างสูงกว่า (1.6-3.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการปรับพื้นที่เพื่อทำขั้นบันไดแบบกว้างก่อนสร้างโรงเรือนคลุมพื้นที่ ทำให้หน้าดินเดิมที่ควรจะมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ต่ำกว่านี้ถูกเคลื่อนย้ายออกไป สำหรับปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้ในโรงเรือนที่อยู่ในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งมีปริมาณสูงกว่าแปลงของพื้นที่สถานีหลักทั้งสองแปลงอยู่มาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 7.8-38.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม สำหรับค่านี้ในทุกดินมีแนวโน้มลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน จากการที่ดินทุกบริเวณมีปริมาณไฮโดรเจนที่สกัดได้สูงกว่าอะลูมิเนียมที่สกัดได้ การแจกกระจายจึงมีความคล้ายคลึงกับการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินของสภาพกรดที่สกัดได้ดังเช่นดินในบริเวณอื่นที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินในพื้นที่ขุนวางและอินทนนท์ ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ในพื้นที่หลังส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าในพื้นที่แรกค่อนข้างชัดเจน ทั้งในดินบนและดินล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม

พื้นที่ที่ใช้ทำนา พบเฉพาะในพื้นที่ขุนวาง ดินแรก (KW-2) มีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมอยู่ในพิสัยร้อยละ 22.9-45.5 และในดินหลัง (KW-10) มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 9.6-25.7 (ตารางผนวกที่ 2) โดยในดินทั้งสองมีการกระจายค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่คล้ายคลึงกัน คือมีสูงในชั้นดินบน มีแนวโน้มลดลงในชั้นดินล่างตอนกลาง และเพิ่มขึ้นในชั้นล่างสุด ซึ่งในส่วนของพื้นที่หน่วยย่อยขุนแม่วากนั้นจะมีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วยอย่างชัดเจน (ภาพที่ 13)

กรณีของดินที่ใช้ทำนา เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับค่าพีเอชที่วัดในน้ำและในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ พบว่า มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสซียมคลอไรด์อย่างชัดเจน กล่าวคือ ดิน KW-10 มีค่าพีเอชดังกล่าวสูงกว่าอีกดินหนึ่งซึ่งมีค่าประมาณ 4 ขณะที่ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมก็ต่ำกว่า อย่างชัดเจนในทุกชั้นดินภายในหน้าตัดดิน

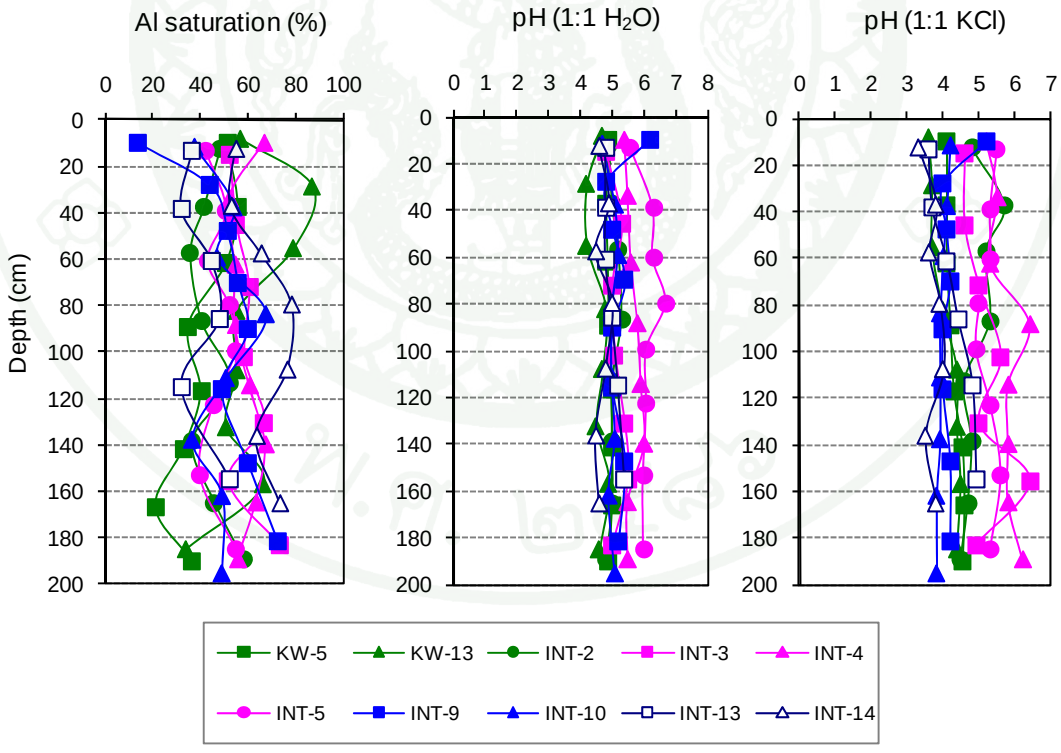


ภาพที่ 13 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกของดินที่ใช้ทำนา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ปลูกไม้ผล ดิน KW-5 ที่ใช้ปลูกพลับมีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมอยู่ในพิสัยร้อยละ 21.5-56.0 (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าในดิน KW-13 ที่มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 33.7-87.1% โดยค่าสูงสุดพบอยู่ในชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ชั้นดินบน (Ap) ของทั้งสองดิน โดยที่ค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของพื้นที่ทั้งสองมีค่าลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 14)

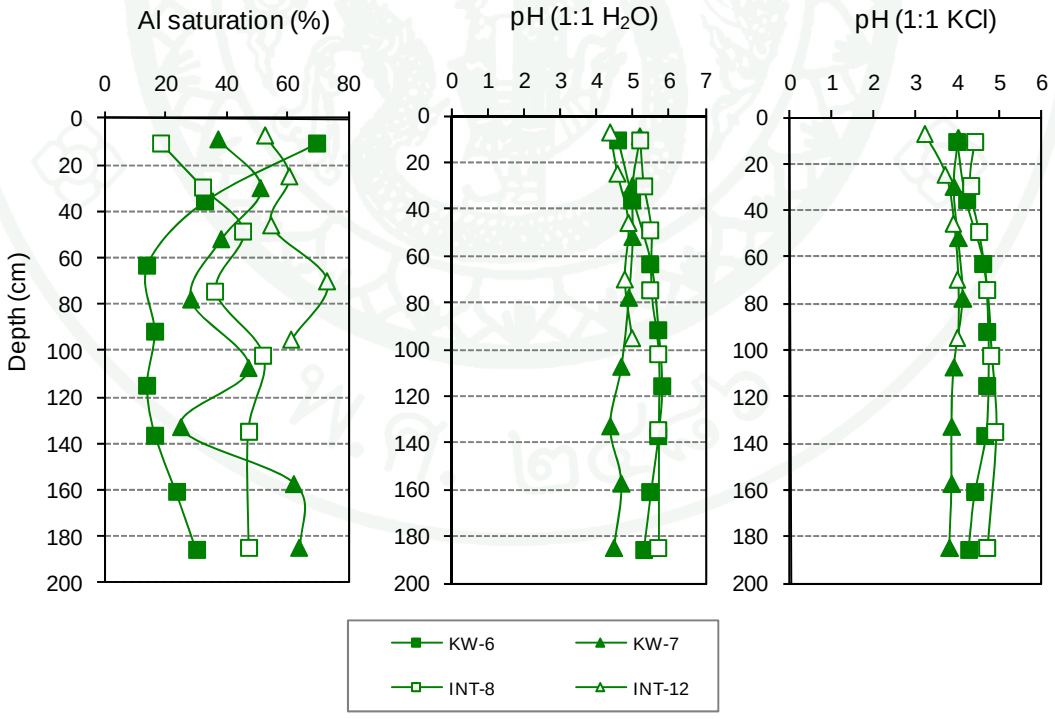
สำหรับพื้นที่อินทนนท์ ดินในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งมีค่าอยู่ที่พิสัยร้อยละ 39.9-66.8 หน่วยย่อยดอยผาตั้งมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 13.6-67.5 และหน่วยย่อยแม่ยะน้อยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 32.0-78.6 ค่านี้มีการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินค่อนข้างแปรปรวน (ภาพที่ 14) โดยค่าสูงสุดที่พบในดินบนพบในดินแปลงสาลี่ (INT-4) ในหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.8 ส่วนในดินล่าง พบในชั้น Bt2 ของดินในแปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อยที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 78.6 (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อพิจาณาจากดินที่ใช้ปลูกไม้ผลทั้งหมด จะพบว่า ดินเหล่านี้มีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงเกินกว่า 40 เกือบทั้งหมด ถึงแม้ว่าดินบางดินโดยเฉพาะในพื้นที่หน่วยย่อยขุนห้วยแห้ง พื้นที่อินทนนท์มีค่าพีเอชดินที่วัดในน้ำเกินกว่า 5 ก็ตาม



ภาพที่ 14 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกไม้ผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

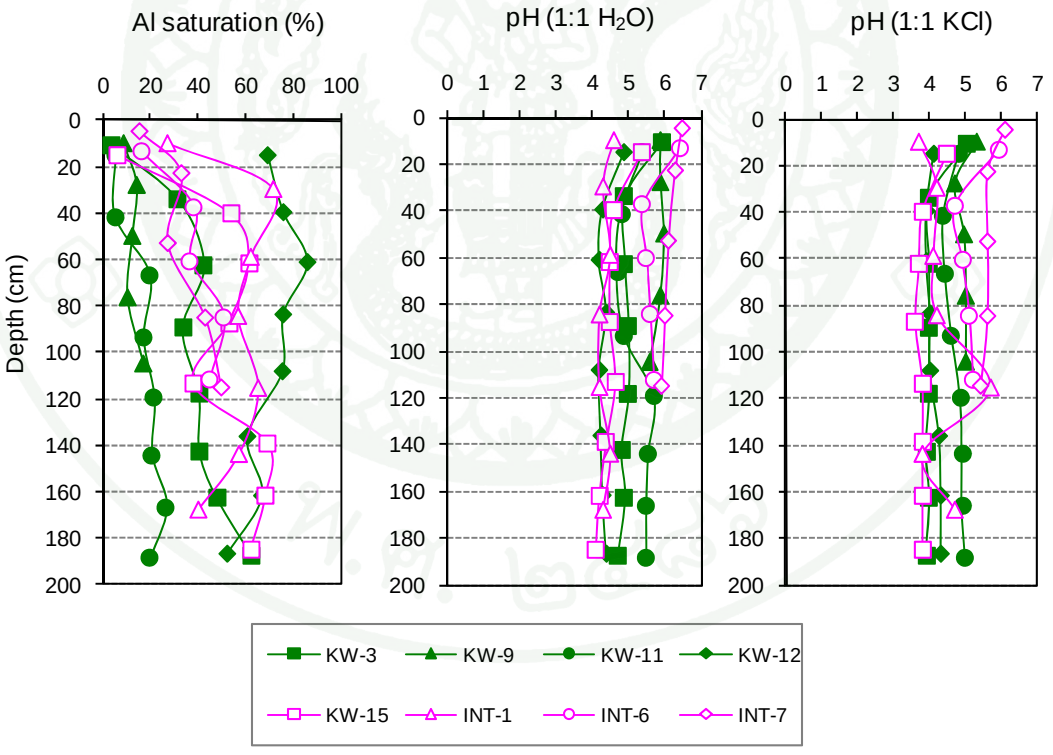
พื้นที่ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน ในพื้นที่ขุนวาง ดินมีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินแรกมีค่าอยู่ในพิสัย 14.2-69.7 (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งดิน KW-6 จะมีค่าสูงมากในดินบน (69.7%) และลดลงในดินล่าง ส่วนดิน KW-7 มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 25.4-64.2 ซึ่งมีการแจกกระจายไม่ค่อยสม่ำเสมอภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 15) แต่หากพิจารณาภาพรวมโดยไม่รวมดินบนจะพบว่าดินที่ใช้ปลูกผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วยจะมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าในหน่วยย่อยขุนแม่วาก การที่ดินบนของแปลงแรกมีค่านี้สูงน่าจะเป็นเพราะว่าพื้นที่ดังกล่าวเกษตรกรปลูกผักเฉพาะฤดูฝนโดยไม่มีการปรับปรุงดินแต่อย่างใด ขณะที่พื้นที่มีความลาดชันมากถึงร้อยละ 20 จึงมีโอกาสที่เบสจะสูญเสียออกไปจากดินบนได้ง่ายทั้งที่ติดไปกับน้ำที่ไหลบ่าตามผิวดินและการชะละลาย ส่วนพื้นที่อินทนนท์ พบว่า แปลงปลูกผักหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) มีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าอีกแปลงหนึ่งที่อยู่ในพื้นที่ของหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยดินแรกมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 53.1-73.2 ส่วนดินหลังอยู่ในพิสัยร้อยละ 18.8-47.7 และในทั้งสองบริเวณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ในกรณีของพื้นที่ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือนนี้ ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมค่อนข้างแปรปรวนและไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดิน



ภาพที่ 15 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกพืชอายุสั้นนอกโรงเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ปลูกพืชในโรงเรือน พื้นที่ขุนวางพืชที่ปลูก ได้แก่ ไม้ดอกและผัก ดินบริเวณหน่วยย่อยขุนแม่วาก (KW-3) มีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมอยู่ในพิสัยร้อยละ 3.5-62.7 หน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9) มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 8.8-16.9 และในดินของสถานีหลักมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 5.4-26.8 (KW-11) และ 52.4-86.5 (KW-12) ส่วนดินในหน่วยย่อยโป่งน้อย (KW-15) มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 6.6-69.6 (ตารางผนวกที่ 2) โดยดินบนในพื้นที่ที่ใช้ปลูกผักและไม้ดอกในทุกพื้นที่มีค่านี้อยู่ในระดับต่ำกว่าในดินล่างอย่างชัดเจน (3.5-8.8%) ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการปรับปรุงดินด้วยปูนขาวและการเพิ่มเติมอินทรียวัตถุจำพวกปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักที่มีผลทำให้ดินในชั้นดังกล่าวเกิดการสะสมเบส จึงมีผลทำให้ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมลดต่ำลงมาก อย่างไรก็ตามดิน KW-12 ที่ใช้ปลูกองุ่นโดยมีหลังคาคลุมร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าดินที่ใช้ปลูกผักและไม้ดอกอย่างชัดเจนซึ่งน่าจะมีผลมาจากการจัดการที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบการแจกกระจายภายในหน้าตัดดิน พบว่า ดิน KW-9 และ KW-11 มีปริมาณต่ำสุด และเพิ่มมากขึ้นในดิน KW-3, KW-15 และ KW-12 ตามลำดับ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 16 ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พีเอชดินที่วัดในน้ำ และในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับความลึกดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่อินทนนท์ พบว่า ดินในโรงเรือนของพื้นที่สถานีหลักทั้งสองบริเวณมีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมต่ำกว่าแปลงโรงเรือนไม้ดอกของหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในดินล่าง (40.3-71.5%) (ภาพที่ 16) ส่วนชั้นดินบนมีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 15.7-27.5 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับค่าพีเอชดิน พบว่าไม่มีความชัดเจนมากนัก ยกตัวอย่างเช่น ดินในโรงเรือนไม้ดอกหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งพื้นที่อินทนนท์ (INT-1) มีค่าพีเอชที่วัดในน้ำสูงกว่า 6.0 เกือบทุกชั้นดิน แต่ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในชั้นดินล่าง (Bt) ยังคงสูงกว่าร้อยละ 40 ขณะที่ดินในโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วยพื้นที่ขุนวาง (KW-9) ซึ่งมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับดินแรกแต่กลับมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมต่ำกว่ามาก

ระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

พื้นที่ที่ใช้ทำนา ในพื้นที่ขุนวางจากค่าวิเคราะห์ดินอะลูมิเนียมในรูปที่สกัดได้ในดินบนจะมีค่าที่สูงกว่าดินล่างแต่ในสองพื้นที่นี้จะมีลักษณะที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือดิน ดินแรกมีค่าของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลงลงตามความลึกของชั้นดินค่าวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำ ยกเว้นในชั้นดินบน (Ap) ที่มีค่าเท่ากับ 1.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แต่ในดิน KW-10 ที่มีปริมาณต่ำตลอดหน้าตัดดิน (0.3-0.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พบว่าในดินตอนบนของทั้งสองบริเวณมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 35 ตลอดหน้าดิน การปลูกข้าวซึ่งจะต้องมีการขังน้ำซึ่งก็จะทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นในช่วงการขังน้ำ อะลูมิเนียมจึงละลายได้น้อยลง ดังนั้น จึงไม่น่าพบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในพื้นที่นาพื้นที่ขุนวาง

พื้นที่ปลูกไม้ผล พื้นที่ขุนวาง ค่าวิเคราะห์ดินอะลูมิเนียมในรูปที่สกัดได้มีค่าต่ำกว่า 2 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตลอดหน้าตัดดิน แต่ดินที่อยู่ในสถานีหลัก (KW-13) พบว่า มีค่าในพิสัย 2.1-2.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ที่ความลึกระหว่าง 0-70 เซนติเมตร จึงมีแนวโน้มการเกิดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินตอนบนของแปลงนี้ และเมื่อพิจารณาจากร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม พบว่า ในแปลงหลังชั้น Bt1 มีค่าสูงถึงร้อยละ 87.1 จึงมีแนวโน้มการเกิดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้ในบริเวณนี้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาว่าพลับมีความทนทานต่อความเป็นพิษได้ในระดับใด โดยเนื่องจาก ทั้งสองบริเวณที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตรโดยประมาณมีร้อยละความอิ่มตัวของอะลูมิเนียมค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ซึ่งพลับเป็นพืชในเขตอบอุ่นซึ่งอาจจะไม่ทนทานต่อความเป็นพิษในระดับดังกล่าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่อินทนนท์ พบว่า พื้นที่ปลูกไม้ผลหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งน่าจะพบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมรุนแรงที่สุด คือ บริเวณที่ปลูกสาลี (INT-4) ที่พบว่าดินมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ค่อนข้างสูง (1.7-2.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ขณะที่ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมอยู่ในระดับที่พืชส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบ (Nye *et al*., 1961) คือมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 52.3-67.4 ขณะที่ในอีก 3 บริเวณก็น่าจะพบปัญหาเช่นเดียวกันแต่ความรุนแรงอาจจะน้อยกว่า ซึ่งคล้ายคลึงกับกรณีของไม้ผลที่ปลูกในหน่วยย่อยดอยผาตั้งที่พบว่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดหน้าตัดดิน สำหรับ แปลงกาแฟหน่วยย่อยแม่ยะน้อยพบปัญหาน้อยที่สุดเนื่องจากมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมค่อนข้างต่ำกว่าพื้นที่ที่ได้กล่าวมาทั้งหมด และกาแฟเป็นพืชที่ชอบดินกรดจึงมีความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมค่อนข้างดีกว่าไม้ผลเขตอบอุ่นอื่นที่ปลูกในพื้นที่อินทนนท์ ส่วนพื้นที่สุดท้ายซึ่งได้แก่ แปลงบ๊วยหน่วยย่อยแม่ยะน้อย พบว่า อะลูมิเนียมในดินอาจจะเป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชนี้ เนื่องจาก 1) บ๊วยเป็นพืชเขตอบอุ่นซึ่งปกติไม่ค่อยทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และ 2) ดินในบริเวณนี้มีอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่สูงในระดับที่เป็นพิษได้โดยเฉพาะในดินล่างตั้งแต่ความลึก 49 เซนติเมตรลงไป และดินมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูง (53.0-78.6)

พื้นที่ปลูกพืชนอกโรงเรือน บริเวณพื้นที่ขุนวางประกอบด้วย ดิน KW-6 (หน่วยย่อยขุนแม่วาก) และดิน KW-7 (หน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย) ในดินแรกโดยเฉพาะในชั้นดินบนมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่สูงถึง 2.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเท่ากับ 69.7 ซึ่งทั้งสองค่าสูงพอที่จะเป็นอันตรายต่อพืชที่ไม่ทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม เพราะฉะนั้นหากเลือกปลูกพืชผักที่เป็นพืชในเขตอบอุ่นซึ่งโดยปกติไม่ค่อนทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะต้องมีความระมัดระวังในการคัดเลือกชนิดของพืชปลูก หรือต้องมีการจัดการปรับปรุงดินก่อนการปลูกพืช สำหรับดินที่ใช้ปลูกผักนอกโรงเรือนหน่วยย่อยโป่งลมแรง-ป่ากล้วย ค่าวิเคราะห์ทั้ง 2 ค่าแสดงให้เห็นว่ามีปัญหาน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ดินในบริเวณนี้มีเนื้อหยาบกว่าทำให้การชะละลายมีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาลงไปยังส่วนลึกภายในหน้าตัดดิน ร่วมกับการจัดการดินเพื่อลดพีเอชของดินจึงทำให้ปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในดินแรก

พื้นที่อินทนนท์ในกรณีของแปลงปลูกหญ้าอาหารสัตว์เดิมของหน่วยย่อยดอยผาตั้ง (INT-8) อาจไม่พบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียม โดยเฉพาะการเลือกหญ้าอาหารสัตว์เมืองร้อนซึ่งค่อนข้างมีความทนทาน เนื่องจากปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่ไม่มากกว่า 2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมโดยเฉพาะในดินสองชั้นบน (0-38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซนติเมตร) แต่ในกรณีของแปลงผักหน่วยย่อยแม่ยะน้อย (INT-12) พบว่า ดินมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมเนียมค่อนข้างสูงในดินบนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินล่าง (53.1-73.2%) การเลือกชนิดผักที่จะปลูกในพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญร่วมกับการปรับพีเอชดินให้สูงขึ้น หรือการใส่เบสจำพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมเพื่อลดปริมาณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินบน และหากต้องการเปลี่ยนพื้นที่เพื่อปลูกพืชรากลึกก็จำเป็นต้องเลือกปลูกพืชที่เหมาะสมเช่นกัน

พื้นที่ปลูกพืชในโรงเรือน ดินในพื้นที่ขุนวาง ได้แก่ แปลงในโรงเรือนที่ใช้สำหรับการปลูกผักทั้ง 4 ดิน (KW-3, KW-9, KW-11, และ KW-15) มีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในชั้นดินบนต่ำมาก การปลูกพืชทั้งไม้ดอกและผักซึ่งเป็นพืชที่มีระบบรากสั้นจึงไม่น่าจะพบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมแต่อย่างใด ส่วนสาเหตุที่ค่าทั้งสองพบอยู่ในระดับต่ำน่าจะเกิดจากการปรับปรุงดินโดยการใช้ปูนยกระดับพีเอช ซึ่งสังเกตได้จากการที่ดินล่างมีค่าสูงขึ้นแตกต่างจากค่าของชั้นดินบนอย่างชัดเจน สำหรับในกรณีของแปลงองุ่นที่มีหลังคาคลุมพื้นที่สถานีหลัก (KW-12) มีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ที่ระดับความลึก 0-73 เซนติเมตรในพิสัย 2.1-2.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 61.0-86.5 ซึ่งทั้งสองค่าแสดงให้เห็นว่าดินในแปลงนี้น่าจะมีปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมค่อนข้างรุนแรงถึงรุนแรงมาก โดยเฉพาะที่บริเวณเขตรากองุ่น (0-75 เซนติเมตร) ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาถึงความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในพืชนี้ ขณะเดียวกันควรมีการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มพีเอชดินให้อยู่ในระดับที่อะลูมิเนียมไม่ละลายออกมามากจนเกินไป

พื้นที่อินทนนท์ พบว่า ในดินบนของทุกบริเวณมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่จะมีผลกระทบต่อพืช ซึ่งน่าจะมีผลมาจากการปรับปรุงดินโดยเฉพาะการใส่ปูนเพื่อเพิ่มพีเอชของดิน อย่างไรก็ตาม ในกรณีของดินในโรงเรือนปลูกไม้ดอกหน่วยย่อยขุนห้วยแห้งที่พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในชั้นดินข้างใต้ชั้น Ap1 มีค่าค่อนข้างสูง เพราะฉะนั้นการปลูกพืชที่มีระบบรากลึกเกินกว่า 20 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินอาจประสบปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้ ดังนั้น การคลุกเคล้าปูนในระดับลึก และการเลือกพืชปลูกที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยจำแนกดินกับระดับอะลูมิเนียม

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 16 บริเวณในพื้นที่ขุนวาง และดิน 15 บริเวณในพื้นที่อินทนนท์ สามารถจำแนกดินเหล่านี้ตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 1999) ในระดับกลุ่มดินย่อย (Subgroup) ได้เป็น 6 กลุ่มดินย่อย ดังต่อไปนี้

กลุ่มดินย่อย	สัญลักษณ์ดิน
1) Ultic Hapludalf	INT-7
2) Typic Palehumults	KW-1, KW-2, KW-5, KW-6, KW-11, KW-12, KW-15, KW-16, INT-2, INT-3, INT-4, INT-5 และ INT-14
3) Typic Haplohumults	KW-3, KW-4, KW-8, KW-14, INT-1, INT-6, INT-8, INT-9, INT-10, INT12 และ INT-13
4) Rhodic Paleudults	KW-10 และ KW-13
5) Typic Paleudults	KW-7 และ KW-9
6) Typic Hapludults	INT-11 และ INT-15

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับอะลูมิเนียมกับหน่วยการจำแนกดินของกลุ่มดินย่อยในพื้นที่ (ตารางที่ 5) พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในดินบนของกลุ่มดินย่อย Typic Palehumults เช่นเดียวกับในดินล่าง (4.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ขณะที่ดินอื่นมีค่าสูงสุดและพิสัยที่ใกล้เคียงกัน สำหรับค่าเฉลี่ยของปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้มีค่าสูงในดิน Ultic Hapludalf เท่ากับ 2.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนค่าเฉลี่ยต่ำสุดพบในดิน Rhodic Paleudults และ Typic Paleudults (1.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม)

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับหน่วยการจำแนกดิน ดินบนที่พบค่าสูงสุดได้แก่ดิน Typic Palehumults เท่ากับร้อยละ 69.7 ซึ่งสูงกว่าดิน Typic Hapludults (61.8%) เล็กน้อย ส่วนในดินล่าง พบว่า ดิน Typic Palehumults มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.7 สำหรับดินที่เหลือมีค่าสูงสุดค่อนข้างใกล้เคียง (ยกเว้นดิน Ultic Hapludalf) โดยมีค่าสูงสุดอยู่ในพิสัยร้อยละ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 พิสัยและค่าเฉลี่ยของอะลูมิเนียมที่สกัดได้และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมตามหน่วยอนุกรมวิธานดินในระดับกลุ่มดินย่อย

Taxonomic unit	Extr. Al^{3+} ($cmol_c\ kg^{-1}$)			Al Saturation (%)		
	topsoil	subsoil	mean	topsoil	subsoil	mean
Ultic Hapludalf	2.6	1.6-2.9	2.5	15.7	27.5-49.7	33.8
Typic Palehumults	0.5-4.2	0.2-4.5	1.8	5.6-69.7	5.4-92.7	52.7
Typic Haplohumults	0.5-2.7	0.9-3.0	1.7	3.5-37.7	31.4-73.9	51.6
Rhodic Paleudults	0.5-2.1	0.3-2.3	1.0	24.5-56.7	9.6-79.1	38.3
Typic Paleudults	0.7-2.1	0.3-1.7	1.0	8.8-37.6	10.5-64.2	28.5
Typic Hapludults	1.5-2.8	1.1-2.1	1.6	54.6-61.8	42.2-78.9	59.2

64.2-78.9 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมโดยคิดทั้งดินบนและดินล่าง พบว่า ดิน Typic Hapludults ซึ่งพบเฉพาะในพื้นที่อินทนนท์มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ59.2 รองลงมาได้แก่ดิน Typic Palehumults (52.7%) ซึ่งเป็นหน่วยจำแนกดินที่พบมากที่สุดจากการศึกษาในสองพื้นที่นี้ ส่วนค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 28.5 พบในดิน Typic Paleudults ซึ่งพบเฉพาะในพื้นที่ขุนวาง

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ดิน Typic Palehumults และดิน Typic Haplohumults ที่มีแนวโน้มของการแจกกระจายเป็นพื้นที่กว้างขวางในพื้นที่สูงของพื้นที่ขุนวางและอินทนนท์มีแนวโน้มที่จะพบความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในระดับที่สูงพอสมควร สาเหตุที่ดินเหล่านี้มีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าดินอื่น เพราะว่า ดินในอันดับย่อย Humults เป็นดินที่มีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในระดับที่ค่อนข้างมากและมีการแจกกระจายลงไปในตอนบนของชั้นดินล่างวินิจฉัยอาร์จิลลิก (Soil Surevey Staff, 1999; Buol *et al*., 2003) ซึ่งคาร์บอนอินทรีย์เหล่านี้สลายตัวก็จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ออกมา (Tan, 1993) มีผลทำให้ดินมีค่าพีเอชลดลง ผลที่ตามมาก็คือ อะลูมิเนียมก็จะละลายได้มากขึ้น (Spark, 2003) ขณะเดียวกันแคตไอออนที่เป็นเบสในดินก็ถูกคลื่อนย้ายออกไปจากระบบได้มากขึ้น ดังนั้น ดินในอันดับย่อย Humults นี้จึงมีโอกาสที่จะมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมค่อนข้างสูง โดยเฉพาะหากพบในสภาพธรรมชาติ

เพราะฉะนั้นการเลือกพืชปลูกในดินทั้งสองดินนี้ควรจะคัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อระดับความเป็นพิษดังกล่าว มิฉะนั้นก็ควรมีการจัดการดินเพื่อลดปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธาตุอาหารพืชที่เป็นเบส อาทิเช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมเพื่อลดบทบาทของอะลูมิเนียมในดิน เหล่านี้ ซึ่งน่าจะให้ผลในลักษณะเดียวกับการปรับเพิ่มพีเอชของดินโดยการใส่ปูน อย่างไรก็ตาม ควรจะคำนึงถึงอิทธิพลของการชะละลายที่มีผลทำให้การแก้ปัญหาโดยเฉพาะการเกษตรกรรมนอกโรงเรือนไม่ถาวร

6. สหสัมพันธ์และการทำนายระดับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม

การหาสหสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับค่าวิเคราะห์ดินอื่น ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทำนายค่าสำหรับกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ดินได้ทุกสมบัติ เป็นการเลือกใช้เฉพาะสมบัติดินที่สามารถวิเคราะห์ได้ง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย หรือเป็นสมบัติที่นิยมวิเคราะห์ทั่วไป การศึกษานี้เป็นกรณีเฉพาะในดินที่สูงของพื้นที่ขุนวางและพื้นที่อินทนนท์ทั้งหมด 31 ตัวอย่าง โดยการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วน (multiple regression and partial correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ของร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับสมบัติดินต่าง ๆ และนำสหสัมพันธ์มาทำการประเมินหาค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม โดยมีผลการศึกษาดังนี้

6.1 สหสัมพันธ์และการทำนายค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินที่ใช้ทำการเกษตร

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินในพื้นที่เกษตรกรรม (ตารางที่ 6) พบว่า การทำนายปริมาณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในพื้นที่เกษตรมีความจำเป็นต้องใช้ค่าวิเคราะห์ค่อนข้างมากเพื่อให้เกิดความแม่นยำ โดยหากใช้จำนวนตัวแปรน้อยที่สุดจะได้สมการการทำนาย ดังนี้

$$\%Al\ Saturation = 68.4-0.69(Extr.Ca),\ R^2 = 0.48$$

จากสมการพบว่า ค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมจะแปรผกผันกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ อย่างไรก็ตามสมการนี้มีความแม่นยำต่ำมาก จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 6 สมการที่น่าจะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดในทางปฏิบัติเนื่องจากมีความแม่นยำสูงสุด ได้แก่ สมการที่ 5 (%Al saturation = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg), R^2 = 0.77) เพราะมีความแม่นยำถึงร้อยละ 77 ถึงแม้ว่าจะเพิ่มค่าวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้เข้ามา ในขณะที่สมการที่ 4 ไม่มีค่าวิเคราะห์ดังกล่าวก็ตาม แต่ในสมการนี้มีค่าวิเคราะห์ทั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ซึ่งค่าปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ก็เป็นประเภทที่อยู่ในปริมาณเบสที่สกัดได้ซึ่งสามารถวิเคราะห์พร้อมกับเบสอื่นได้ การใช้สมการที่ 5 สำหรับการทำนายจึงน่าจะเหมาะสมที่สุด

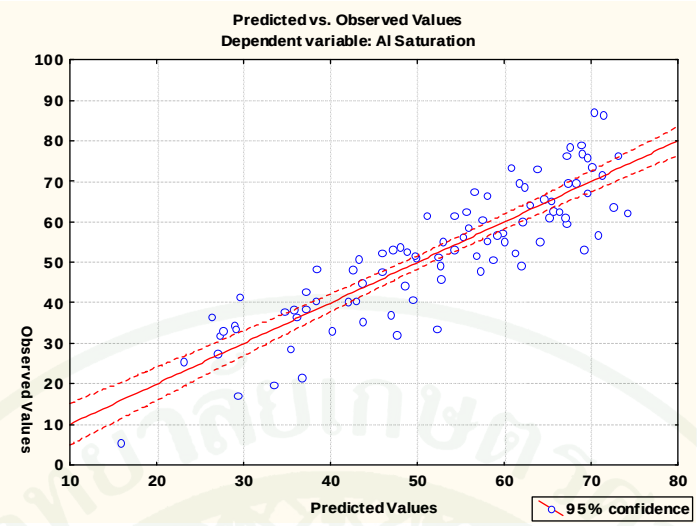
สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (observed values) กับค่าที่ทำนายจากสมการที่มีความแม่นยำที่สุด (สมการที่ 5) พบว่า หากร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าร้อยละ 60 ค่าที่ทำนายส่วนใหญ่จะต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริงเล็กน้อย (ภาพที่ 17)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินในพื้นที่เกษตรกรรม (n = 92)

Dependent	Step	Correlation equation	R^2
%Al	1	68.4-0.69(Extr.Ca)	0.47
saturation	2	73.7-0.71(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)	0.58
	3	84-0.78(Extr.Ca)-0.36(Extr.Na)-0.30(Silt)	0.66
	4	156. 5-0.66(Extr.Ca)-0.38(Extr.Na)-0.37(Silt)-0.26(pH_w)	0.71
	5	150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg)	0.77

หมายเหตุ Extr.Ca = Extractable Ca ($cmol_c\ kg^{-1}$)
Extr.Na = Extractable Na ($cmol_c\ kg^{-1}$)
Silt = silt content ($g\ kg^{-1}$)
pH_w = pH (1:1 H_2O)
Extr.Mg = Extractable Na ($cmol_c\ kg^{-1}$)

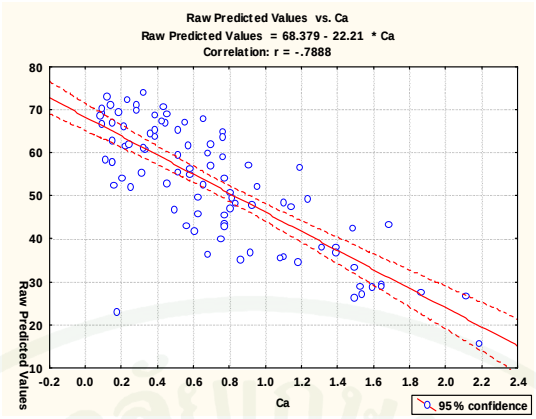
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



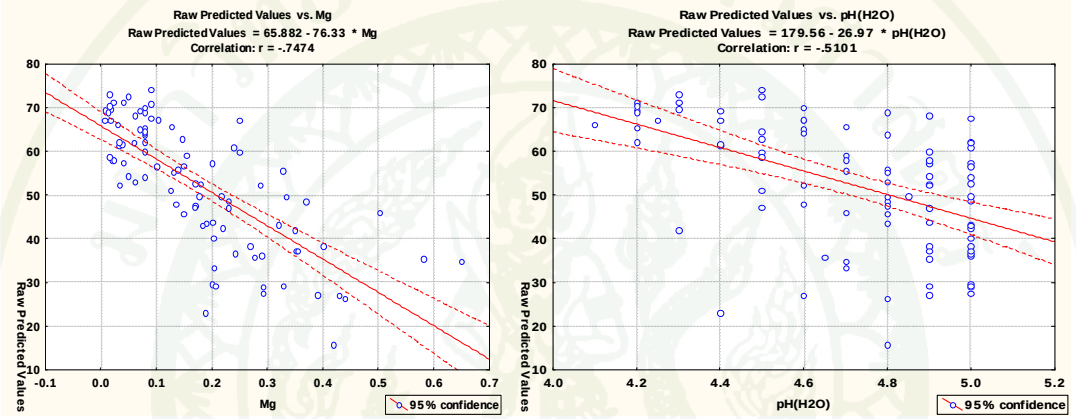
ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr. Mg), R^2 = 0.77 (n = 92) สำหรับดินที่ใช้ทำการเกษตร

เมื่อพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับสมบัติดินแต่ละชนิด พบว่า มีสหสัมพันธ์มากที่สุดกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ แต่เป็นลักษณะผกผัน (ภาพที่ 18) โดยมีสมการการทำนายค่าแบบหยาบ (raw predicted values) คือ %Al = 68.4-22.21(Extr.Ca), r = -0.79 สำหรับสหสัมพันธ์รองลงมาได้แก่ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (%Al = 65.9-76.331(Extr.Mg), r = -0.75) ค่าพีเอชที่วัดโดยน้ำ (%Al = 179.6-26.97(pH_w), r = -0.51) และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (%Al = 56.8-9.83(Extr.Na), r = -0.32) โดยมีลักษณะแบบผกผันเช่นเดียวกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ สำหรับปริมาณอนุภาคขนาดทรายมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม โดยมีสมการการทำนายค่าแบบหยาบ คือ %Al = 38.22-0.022(Sand), r = 0.36 แสดงให้เห็นว่า ดินที่สูงในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ที่ใช้สำหรับการเกษตร ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่พบจะมีค่าสูงเมื่อดินมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่สกัดได้ ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ และปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งต่ำ

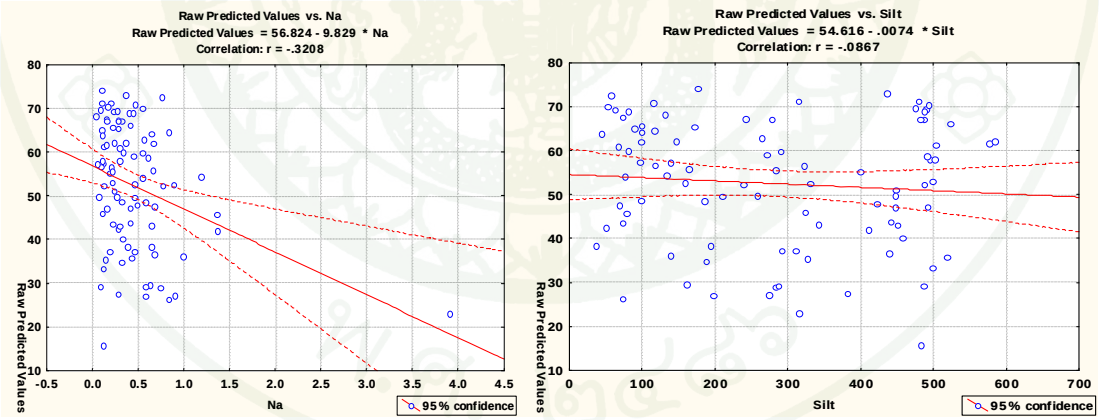
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข) (ค)



(ง) (จ)

ภาพที่ 18 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ (ค) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ง) ปริมาณอนุภาคดินขนาดทรายแป้ง (จ) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินที่ใช้ทำการเกษตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2 สหสัมพันธ์และการทำนายค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินป่าธรรมชาติ

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ (ตารางที่ 7) พบว่า การทำนายปริมาณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีความถูกต้องมากกว่าดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรเมื่อใช้ตัวแปรที่คล้ายคลึงกัน แสดงให้เห็นถึงกระบวนการทางดินที่ไม่ถูกรบกวนโดยการจัดการ มีผลให้สมบัติดินค่อนข้างมีความสัมพันธ์กันอันเนื่องจากกลไกทางดินสามารถดำเนินไปได้ตามปกติ สำหรับสมการการทำนายที่ใช้ตัวแปรน้อยที่สุดคล้ายคลึงกับดินในพื้นที่เกษตรกรรม คือใช้เพียงปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในการทำนาย ดังนี้

$$\%Al\ Saturation = 77.4-0.75(Extr.Ca),\ R^2 = 0.57$$

จากสมการพบว่า ค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมจะแปรผกผันกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ สมการที่มีความแม่นยำสูงสุด ได้แก่ สมการที่ 4 ($\%Al\ saturation = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_K)-0.20(pH_w),\ R^2 = 0.88$) ซึ่งใช้ค่าพีเอชดินทั้งที่วัดโดยดินต่อน้ำและดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:1 เข้าร่วมในการคำนวณด้วย สมการนี้มีความแม่นยำสูงมาก อย่างไรก็ตาม หากไม่มีผลวิเคราะห์ค่าพีเอชดินทั้งที่วัดโดยดินต่อน้ำข้างต้น การใช้สมการที่ 3 ($\%Al\ saturation = 183.3-0.64(Extr.Ca)-0.39(Extr.Na)-0.34(pH_{KCl}),\ R^2 = 0.81$) ก็อาจจะเหมาะสมกว่าในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำถึง 0.81 แต่ไม่ต้องใช้ค่าพีเอชดิน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดินทั่วไปมักจะมีทั้งค่าพีเอชที่วัดในน้ำและในสารละลาย โพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:1 อยู่แล้ว ดังนั้นการใช้สมการที่ 4 จึงมีความแม่นยำที่มาก และเหมาะสมมากกว่าหากมีข้อมูลดังกล่าว

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่ทำนายจากสมการที่มีความแม่นยำที่สุด (สมการที่ 4) พบว่า การทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมค่อนข้างมีความแม่นยำไม่ว่าจะมีปริมาณต่ำหรือสูงก็ตาม (ภาพที่ 19)

เมื่อพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับสมบัติดินแต่ละชนิด พบว่ามีลักษณะผกผันทั้งหมด (ภาพที่ 20) โดยเรียงลำดับสมการการทำนายค่าแบบหยาบจากมากไปน้อย ดังนี้ โดยมี $\%Al = 77.4-25.39(Extr.Ca),\ r = 0.80$ สำหรับปริมาณแคลเซียมที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ (n = 41)

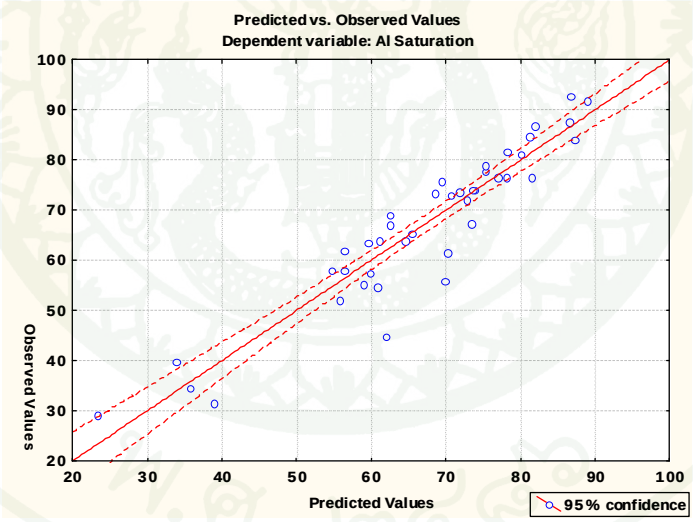
Dependent	Step	Correlation equation	R2
%Al	1	77.4-0.75(Extr.Ca)	0.57
saturation	2	85.1-0.70(Extr.Ca)-0.36(Extr.Na)	0.70
	3	183.3-0.64(Extr.Ca)-0.39(Extr.Na)-0.34(pH_{KCl})	0.81
	4	239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w)	0.88

หมายเหตุ Extr.Ca = Extractable Ca ($cmol_c\ kg^{-1}$)

Extr.Na = Extractable Na ($cmol_c\ kg^{-1}$)

pH_{KCl} = pH (1:1 KCl)

pH_w = pH (1:1 H_2O)

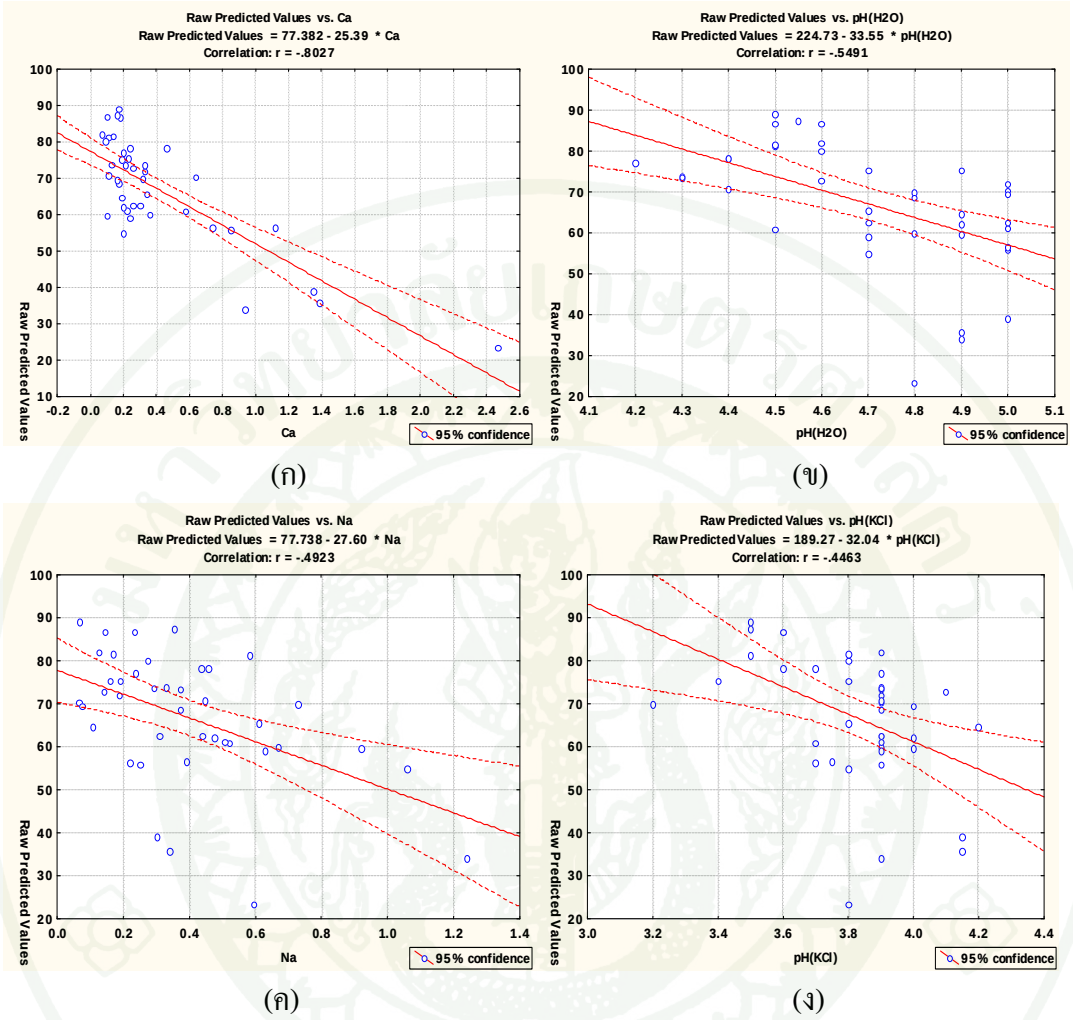


ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w), R^2 = 0.88 (n = 33) สำหรับดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

สกัดได้ %Al = 224.7-33.55(pH_w), r = 0.55 สำหรับค่าพีเอชดินที่วัดโดยดินต่อน้ำ %Al = 77.7-27.60(Extr.Na), r = 0.49 สำหรับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ และ %Al = 189.3-32.04(pH_{KCl}), r = 0.45 สำหรับค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยพบว่า อิทธิพลของปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แคลเซียมที่สกัดได้ และค่าพีเอชดินที่วัดโดยดินต่อน้ำ 1:1 มีผลมากต่อร้อยละความอิ่มตัว



ภาพที่ 20 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายดินต่อน้ำ (ข) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ค) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ง) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในดินป่าธรรมชาติ

อะลูมิเนียมในดินที่ปกคลุมด้วยป่าธรรมชาติในพื้นที่ทั้งสอง สำหรับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ และค่าพิเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์จะมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมน้อยกว่าสมบัติข้างต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 สหสัมพันธ์และการทำนายค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ (ตารางที่ 8) พบว่า การทำนายปริมาณร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีความถูกต้องไม่แตกต่างกับการใช้ข้อมูลดินจากพื้นที่ใช้ทำการเกษตรโดยไม่รวมพื้นที่ป่าธรรมชาติ สำหรับสมการการทำนายที่ใช้ตัวแปรน้อยที่สุดคล้ายคลึงกับดินในพื้นที่เกษตรกรรม และดินป่าไม้ คือใช้เพียงปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในการทำนาย ดังนี้

$$\%Al\ saturation = 72.4-0.74(Extr.Ca),\ R^2 = 0.54$$

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนของดินทั้งหมด (พื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์) (n = 133)

Dependent	Step	Correlation equation	R^2
%Al saturation	1	72.4-0.74(Extr.Ca)	0.54
	2	77.9-0.74(Extr.Ca)-0.31(Extr.Na)	0.64
	3	87.0-0.80(Extr.Ca)-.34(Extr.Na)-0.22(Silt)	0.68
	4	83.6-0.86(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.22(Silt)+0.17(CEC by NH_4OAc)	0.70
	5	108.1-0.82(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.21(Silt)+0.15(CEC by NH_4OAc) -0.14(pH_{KCl})	0.72
	6	109.4-0.7(Extr.Ca)-0.33(Extr.Na)-0.19(Silt)+0.17(CEC by NH_4OAc)-o.15(pH_{KCl})-0.16(Extr.Mg)	0.73
	7	173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC by NH_4OAc) - 0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w)	0.75

หมายเหตุ

Extr.Ca = Extractable Ca ($cmol_c\ kg^{-1}$)

Extr.Na = Extractable Na ($cmol_c\ kg^{-1}$)

Silt = silt content ($g\ kg^{-1}$)

CEC by NH_4OAc) = cation exchange capacity ($cmol_c\ kg^{-1}$)

pH_{kcl} = pH (1:1 KCl)

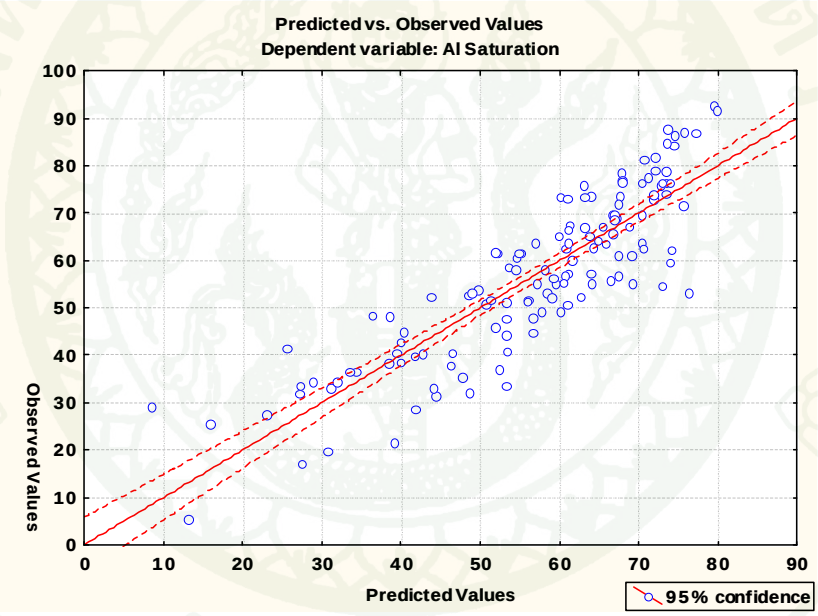
Extr.Mg = Extractable Na ($cmol_c\ kg^{-1}$)

pH_w = pH (1:1 H_2O)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากสมการพบว่า ค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมจะแปรผกผันกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สมการที่มีความแม่นยำสูงสุด ได้แก่ สมการที่ 7 (%Al saturation = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC by NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w), R^2 = 0.75) อย่างไรก็ตาม สมการนี้ใช้ตัวแปรค่อนข้างมาก และต้องใช้สมบัติทางกายภาพ คือ ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งร่วมทำนายด้วย สมการที่ง่ายในทางปฏิบัติจึงควรเป็นสมการที่ 2 และ 3 ขึ้นอยู่กับว่ามีค่าวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งหรือไม่

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่ทำนายจากสมการที่มีความแม่นยำที่สุด (สมการที่ 7) พบว่า การทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมค่อนข้างมีความแม่นยำเมื่อดินมีระดับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมในพิสัย 50-80 (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมที่วัดได้จริง (observed values) กับค่าที่ทำนายได้จากสมการ %Al = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC by NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w), R^2 = 0.75 ของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ (n = 133)

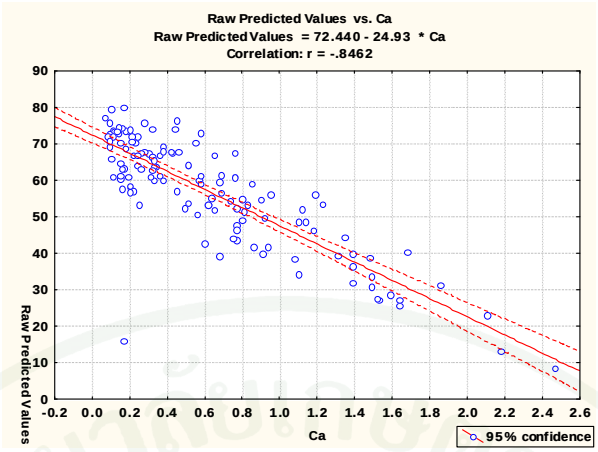
เมื่อพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับสมบัติดิน พบว่า มีลักษณะผกผันเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ภาพที่ 22) และเช่นเดียวกับในกรณีที่แยกดินออกเป็นดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร และดินภายใต้สภาพป่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

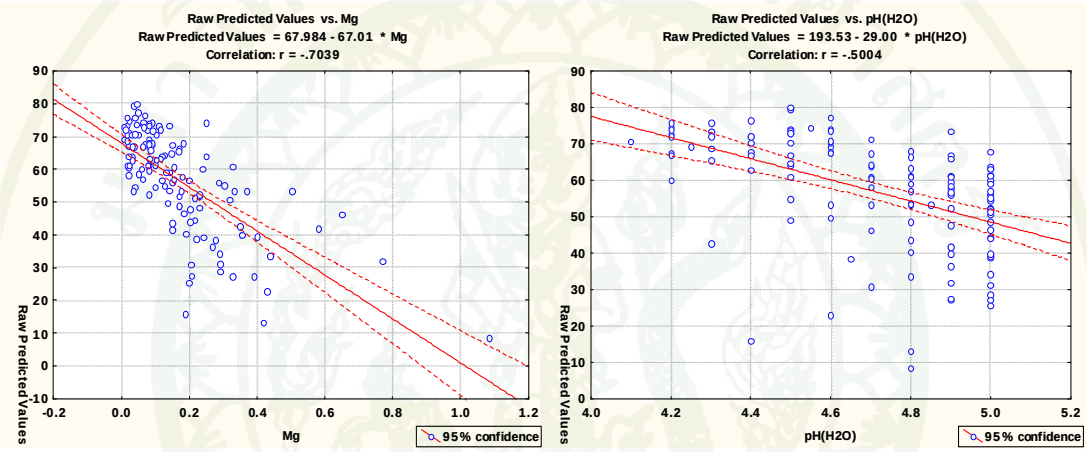
ธรรมชาติ สมการการทำนายค่าแบบหยาบโดยใช้ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้มีความแม่นยำสูงสุด ซึ่งสมการมีดังนี้ %Al = 72.4-24.93(Extr.Ca), r = 0.85 รองลงมาได้แก่สมการ %Al = 68.0-67.01(Extr.Mg), r = 0.70 ส่วนสมการอื่นเรียงตามลำดับความแม่นยำ มีดังนี้ %Al = 193.5-29.0(pH_w), r = 0.50 สำหรับค่าพีเอชที่วัดในน้ำ %Al = 116.8-14.91(pH_{KCl}), r = 0.13 สำหรับค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ %Al = 62.4-12.86(Extr.Na), r = 0.35 สำหรับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ %Al = 60.5-0.47, r = 0.15 และ %Al = 55.0+0, r = 0.07

กล่าวโดยสรุป การทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเพื่อพิจารณาระดับของอะลูมิเนียมในพื้นที่ขุนวาง และพื้นที่อินทนนท์ สามารถใช้ค่าปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ร่วมกับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ และค่าพีเอชที่วัดในน้ำสำหรับการทำนายซึ่งให้ผลค่อนข้างแม่นยำ ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนที่นำดินในพื้นที่เกษตรกรรมร่วมในการประเมินจะให้ค่าความแม่นยำต่ำกว่าการใช้ดินพื้นที่ป่าธรรมชาติมาก เนื่องจาก ดินที่ใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ทั้งสองมีความผันแปรของสมบัติทางเคมีพอสมควร เนื่องจากมีการจัดการดินที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะวิธีการปรับปรุงดิน ขณะที่อิทธิพลของโรงเรือนก็มีผลรบกวนกระบวนการทางดินตามธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น การชะละลาย ส่วนการทำขั้นบันไดดินก็มีผลต่อการรบกวนหน้าดินขณะที่มีการปรับแต่งผิวหน้า เช่นเดียวกับไปลดอัตราการกร่อนดินตามธรรมชาติ (geologic erosion) จึงมีผลทำให้การทำนายมีความแม่นยำไม่มากเท่าดินในสภาพธรรมชาติดังเช่นในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยป่าไม้

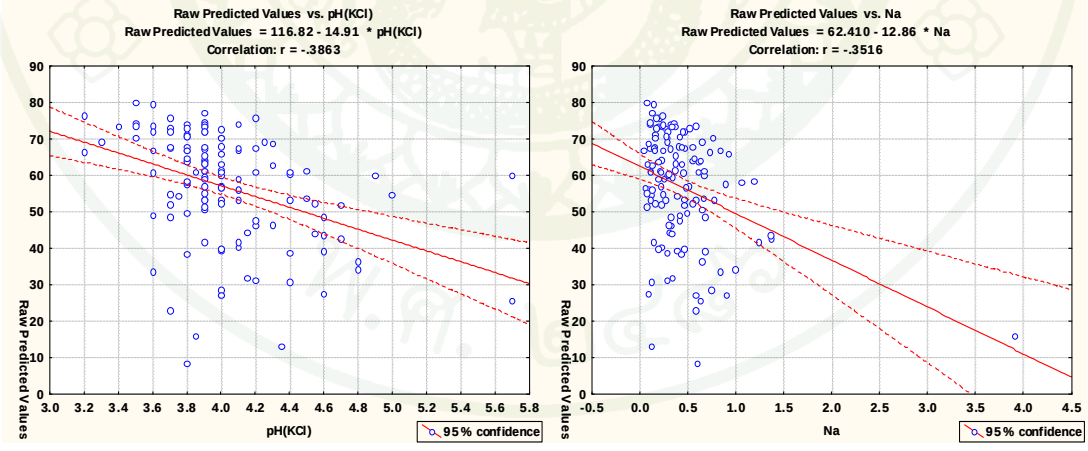
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข) (ค)



(ง) (จ)

ภาพที่ 22 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ (ค) ค่าพีเอชที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์(ง) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (จ) กับค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินทั้งหมดในพื้นที่ขุนวางและพื้นที่อินทนนท์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ดินที่ทำการศึกษาในพื้นที่ขุนวางจำนวน 16 พีดอน ส่วนพื้นที่อินทนนท์มีจำนวนทั้งสิ้น 15 พีดอน ส่วนใหญ่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มาจากหินอัคนี และหินแปร เช่น หินแกรนิต ไดโอไรต์ และหินไนส์ซึ่งเกิดผุพังอยู่กับที่ และบางบริเวณมีวัสดุที่เป็นหินดาดเชิงเขาวางตัวอยู่ข้างบน หน่วยอนุกรมวิธานดินในระดับกลุ่มดินย่อยของดินที่ทำการศึกษาทั้งหมดประกอบด้วย 6 กลุ่มดินย่อย ได้แก่ Ultic Hapludalf, Typic Haplohumults, Typic Palehumults, Typic Paleudults, Rhodic Paleudults และ Typic Hapludults

สภาพทั่วไปและสัณฐานวิทยาของดินในสนามมีความคล้ายคลึงกัน คือเป็นดินที่สูงที่พบในระบบภูเขา ส่วนใหญ่เป็นดินลึก ปัญหาการเกิดการกร่อนดินมีน้อยเนื่องจากมีการจัดการระบบอนุรักษ์ดินที่เหมาะสม อาทิเช่น การทำขั้นบันได การปลูกพืชในโรงเรือน และการใช้หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดิน ดินส่วนใหญ่มีเนื้อปานกลางถึงค่อนข้างหยาบและมีความสัมพันธ์กับหินต้นกำเนิดค่อนข้างชัดเจน สีดินจะแปรผันตามตำแหน่งของสภาพภูมิประเทศของดินที่ศึกษา โดยในที่สูงของภูมิประเทศดินจะมีสีแดงกว่าดินที่พบบริเวณที่อยู่ต่ำกว่า ดินส่วนใหญ่มีการระบายน้ำดี และมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูงทำให้มีลักษณะของการเรียนชั้นกำเนิดดินเป็น Ap(A)-Bt โดยในทุกดินจะพบการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง หรือเรียกชั้นดังกล่าวว่า ชั้นดินล่างวินิจฉัยอาร์จิลลิก

ดินในพื้นที่ทั้งสองมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ถึงแม้ว่าในหลาย ๆ ดินจะมีการสะสมอินทรียวัตถุลงไปในระดับลึกภายในหน้าตัดดิน ดังเช่นดินที่จำแนกอยู่ในอันดับรอง Humults แต่เนื่องจากการที่ดินมีพัฒนาการ อิทธิพลของการชะละลายจึงไปทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชออกไปจากเขตรากพืชได้ง่าย นอกจากนี้ ดินทั้งหมดมีค่าพีเอชต่ำตลอดหน้าตัดดินจึงมีแนวโน้มว่า พืชปลูกบางชนิดอาจจะแสดงอาการขนาดธาตุอาหารที่เป็นเบส อาทิ แคลเซียม และแมกนีเซียม

ดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนที่การจัดการด้านการยกระดับพีเอชดิน เช่น การใส่ปูน มีผลทำให้ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีค่าลดลงอย่างชัดเจน และมีความชัดเจนมาในชั้นดินบน เช่นเดียวกับการปลูกพืชภายใต้สภาพโรงเรือนที่ระดับของอะลูมิเนียมจะต่ำกว่าพื้นที่นอกโรงเรือนเป็นส่วนใหญ่ ดินในอันดับย่อย Humults เป็นดินที่พบมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่สุดในการศึกษา โดยสามารถจำแนกออกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Palehumults และ Typic Haplohumults ซึ่งดินทั้งสองมีร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าดินอื่น และแนวโน้มที่จะเป็นพิษต่อพืชโดยเฉพาะพืชปลูกที่ไม่ใช่พืชเขตร้อนที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม เนื่องจาก ดินทั้งสองกลุ่มดินย่อยมีความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงกว่าร้อยละ 50

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุและสหสัมพันธ์เชิงส่วนสามารถสร้างสมการที่ใช้ทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยเฉพาะในกรณีของดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ ($R^2 = 0.88$) เมื่อใช้สมการ

$$\%Al\ saturation = 239.5-0.63(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.35(pH_{KCl})-0.20(pH_w)$$

ขณะที่ดินในพื้นที่เกษตรกรรมความแม่นยำในการทำนายจะมีน้อยกว่า ($R^2 = 0.77$) เมื่อใช้สมการ

$$\%Al\ saturation = 150.7-0.51(Extr.Ca)-0.32(Extr.Na)-0.33(Silt)-0.20(pH_w)-0.27(Extr.\ Mg)$$

เมื่อใช้ข้อมูลดินทั้งหมดโดยไม่มีการแบ่งแยกสภาพการใช้ที่ดินมาวิเคราะห์ พบว่า สมการที่เหมาะสำหรับการทำนายมากที่สุด ($R^2 = 0.75$) มีดังนี้

$$\%Al\ saturation = 173.8-0.57(Extr.Ca)-0.34(Extr.Na)-0.30(Silt)+0.15(CEC\ by\ NH_4OAc)-0.17(pH_{KCl})-0.14(Extr.Mg)-0.15(pH_w)$$

โดยที่ค่าทำนายร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีสหสัมพันธ์ผกผันกับแคลเซียมที่สกัดได้ โซเดียมที่สกัดได้ ค่าพีเอชที่วัดในน้ำ และค่าที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ในกรณีของดินภายใต้สภาพป่าธรรมชาติ ขณะที่ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งจะมีบทบาทในกรณีของดินที่ใช้ทำการเกษตร ส่วนความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจะมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมเมื่อนำดินทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพป่ามาเป็นพื้นที่เกษตรในพื้นที่สูงควรระมัดระวังปัญหาอะลูมิเนียมเป็นพิษ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหลักที่ไปจำกัดการให้ผลผลิตของพืช

2. การเลือกชนิดพืชเพื่อนำมาปลูกในพื้นที่ ควรศึกษาให้ทราบแน่ชัดก่อนว่าเป็นพืชที่ทนทานต่อความอิ่มตัวอะลูมิเนียมได้ในระดับใด ทั้งนี้เนื่องจาก พื้นที่ขุนวาง และอินทนนท์อยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งร้อนชื้น (Humid subtropical climate) ซึ่งการปลูกพืชเขตร้อนชื้นที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้สูงอาจจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากปัจจัยสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม

3. การประเมินปริมาณอะลูมิเนียมที่อิ่มตัวในดินสามารถใช้สมการที่ได้จากการศึกษาทำนายได้ เพื่อนำมาช่วยในการตัดสินใจว่าควรจะมีการปรับปรุงดินอย่างไรเพื่อลดปัญหาของอะลูมิเนียมเป็นพิษ ยกตัวอย่างเช่น การปลูกพืชรากตื้นในพื้นที่อาจใช้ปูนขาวคลุกเคล้าที่ผิวดิน ขณะที่การปลูกพืชรากลึกอาจจะต้องมีการรองก้นหลุมด้วยปูนขาวเพื่อลดปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ในดินที่มีค่าร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมสูงอาจจะเกิดปัญหาเรื่องฟอสฟอรัสถูกตรึงได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของดินสีแดงที่มีเหล็กร่วมในการตรึงด้วย

4. การศึกษาเรื่องความเป็นพิษของอะลูมิเนียมยังมีอยู่น้อย และยังไม่มีความชัดเจนมากนักเกี่ยวกับระดับวิกฤตของปริมาณอะลูมิเนียมรูปต่าง ๆ ในดิน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับของอะลูมิเนียมในดินและการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชบางชนิด โดยเฉพาะพืชที่มีการส่งเสริมให้ปลูกอย่างแพร่หลาย หากยังไม่ทราบถึงระดับความทนทานต่อความเป็นพิษของพืชนั้น ๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตตินันท์ วรอนุวัฒนกุล. 2529 . **อิทธิพลของระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก แมงกานิส อลูมินัม ซัลเฟต ฟอสเฟต และผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินรังสิตกรดจัด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. 2526. **แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยมาตราส่วน 1:500,000**. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร. 2535ก. **แผนที่สภาพภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000. ระวางบ้านแม่นาจร (4646II).** กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.

_____. 2535ข. **แผนที่สภาพภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000. ระวางบ้านวังผาปูน (4746 III).** กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2525. **แผนที่แสดงศักยภาพของที่ดินเพื่อการเกษตรภาคเหนือของประเทศ**. กองสำรวจดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเพทฯ.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2524. **รายงานการสัมนาการเกษตรภาคเหนือ ระหว่างวันที่ 23-27** กุมภาพันธ์ 2524. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป. **คู่มือท่องเที่ยวศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง)**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2529. **เนื้อที่หน่วยแผนที่ดินในแต่ละจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองวางแผนการใช้ที่ดิน และกองสำรวจดิน. 2537. **การศึกษาความเหมาะสมเพื่อวางแผนพัฒนาพื้นที่สูงจังหวัดเชียงใหม่.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ถนอม คลองเพ็ง. 2528. **วิธีการของปฐพีฟิสิกส์วิเคราะห์.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ทัศนีย์ ชังเทศ และ สมภพ ถาวรยิ่ง. 2530. **การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์**. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นครินทร์ทิพย์ พุทธสิทธิ์. 2550. **การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นครินทร์ สบประสงค์. 2552. **สถานภาพการเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่ขุนวาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤเนตร เกียรติเสริมขจร. 2552. **การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2529. **การศึกษาลักษณะวินิจฉัยที่สำคัญในการพัฒนาการของดินและศักยภาพของดินอันดับอัลฟิโซลส์และอินเซปติโซลส์ บริเวณลุ่มแม่น้ำแม่กลอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิวัติ อนงค์รักษ์. 2546. **ลำดับดินบนพื้นที่สูงที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์และสิ่งปกคลุมดินในบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิยฉัตร สำเภาลอย. 2536. **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานวางแผนการใช้ที่ดิน: กรณีศึกษาพื้นที่ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยะ เฉลิมกลิ่น. 2535. **สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินโดยวิธีเคมีต่าง ๆ กับการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนและการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวโพด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เฟื่องลดา ธนะโชติ. 2552. **การจัดการปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อ ที่ปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลัดดาวรรณ เพียรเพิ่มภัทร. 2528. **อิทธิพลของความเป็นกรด, อะลูมิเนียม, เหล็กและแมงกานิส ต่อความเข้มข้นของสารพิษบางชนิดในดิน และต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีบางประการของข้าว กข.23 ในดินเปรี้ยวจัด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2523**. พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ฉลับราชบัณฑิตยสถาน เล่ม 2**. ห้างหุ้นส่วนจำกัดนันทชัย, กรุงเทพฯ.

วิชา นิยม. 2535. สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศบนที่สูง, น. 1-15. *ใน* **เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการพัฒนาป่าไม้บนที่สูง.** ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศพิษา สังวิเศษ. 2551. **การจัดการปุ๋ยผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุนทรี อัครธนกุล. 2529. **หลักการปฐพีฟิสิกส์**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

เสวียน เปรมประสิทธ์. 2538. **การศึกษาเชิงนิเวศวิทยาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสังคมพืชในป่าเต็งรังกับคุณสมบัติของดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อนุสรณ์ มาสกรานต์. 2530. **รูปของอลูมินัมในดินนาภาคกลางตอนใต้และการเจริญเติบโตของข้าว กข. 23**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. 2527. **การกำเนิดและจำแนกดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์. 2552. **หน่วยจัดการต้นน้ำขุนวาง**. แหล่งที่มา: http://www.doiinthananon.com

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2530. **คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน**, พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **การสำรวจดิน**, พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Adams, F. 1984. Crop response to lime in the Southern United States, pp.211-265. *In* F. Adams, ed. **Soil Acidity and Liming**. Agron. Mono. No.12, Amer. Soc. Agron., Madison, WI.

Baligar, VC and N.K. Fageria. 1997. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency, pp. 79-95. *In* A.C. Moniz, A.M.C. Furlani, R.E. Schaffert, N.K. Fageria, C.A. Rosolem and H. Cantarella, eds. **Plant–Soil Interactions at Low pH:**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sustainable Agriculture and Forestry Production. Brazilian Soil Science Society, Campinas.

Blamey, F.P.C., D.G. Edwards and C.J. Asher. 1983. Effects of aluminum, OH:Al and P:Al ratios, and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. **Soil Sci.** 136: 197-207.

Blatt H. and R.J. Tracy. 1996. **Petrology: Igneous, Sedimentary and Metamorphic**, 2th ed. W. H. Freeman & Co. United state.

Bloom, P.R. 2000. Soil pH and pH buffering, pp. B333-B352. *In* M.E. Summer, ed. **Handbook of Soil Science**. CRC Press LLC.

Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.

Brady N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Breemen, N. Van and L.J. Pons. 1978. **Acid Sulfate Soils and Rice**. Soil and. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philiplines.

Brenes, E. and R.W. Pearson. 1973. Root response of three grmineae species to soil acidity in an Oxisol and Ultisol. **Soil Sci.** 166: 295-302.

Bruce, R.C. 1986. **Diagnosis of Aluminium Toxicity and Calcium Deficiency in Acid Soils Using Soil and Soil Solution Attributes**. University of Queensland, St. Lucia, Australia.

Buol, S.W., R.J. Southard., R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2003. **Soil Genesis and Classification**. The Iowa State Univ. Press., Amer. Iowa.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Butzer, K.W. 1976. **Geomorphology from the Earth**. Harper and Row Publishers, New York.

Calvert, C.S., S.W. Buol and S.B. Weed. 1980. Mineralogical characteristic and transformation of a vertical rock saprolite-soil sequence in the North Carolina piedmont. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 44: 1096-1103.

Cate, R.B., Jr. and A.P. Sukhai. 1964. A study of aluminum in rice soils. **Soil Sci.** 98: 85-93.

Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity, pp.891-901. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties**. Agron. No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

David, M.B. and C.T. Driscoll. 1984. Aluminum speciation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack Mountais (New York, U.S.A.). **Geoderma** 33: 297-318.

Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogy Methods**. Agron. No. 9. Amer. Soc. Of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

EGAT. 1980. **Environmental and Ecological Investigation of Kud Multipurpose Project**. Thai Group Consultants Co., Ltd., Bangkok.

Fageria, N.K. and J.R.P. Carvalho. 1982. Influence of aluminum in nutrient solutions on chemical composition in upland rice cultivar. **Plant and Soil** 69:31-44.

Farmer, V.C. and A.R. Fraser. 1982. Chemical and colloidal stability of soils in the Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2-H_2O system: their role in podzolization. **J. Soil Sci.** 33: 737-742.

Forth, H.D. 1984. **Fundamentals of Soil Science**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

_____. 1990. **Fundamentals of Soil Science**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Foy, C.D. 1984. Physiological effect of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil, pp. 57-97. *In* F. Adams, ed. **Soil Acidity and Liming**. 2nd ed. U.S.A. Agronomy Monograph No.12. ASA-CSDSA-SSSA, Madison, Wisconsin.

___, C.D. and J.C. Brown. 1963. Toxic factors in acid soil: I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 27:403-407.

Gahoonia, T. S. 1993. Influence of root-induced pH on the solubility of soil aluminum in the rhizosphere. **Plant and Soil** 149: 289-291.

Gallardo, F., F. Borie, M. Alver and E.V. Bear. 1999. Evaluation of aluminum tolerance of three barley cultivars by short-term screening methods and field experiments. **Soil Sci. Plant Nutr.** 45(3): 713-719.

Gillman, G.P. 1991. The chemical properties of acid soils with emphasis on soils of the humid tropics, pp. 3-14. *In* R.J. Wrigth, V.C. Baligar and R.P. Murrmann, eds. **Proc. 2nd Int. Symp. on Plant-Soil Interactions at Low pH, Vol. 1**, June 24-29, 1990. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Hargrove, W.L. and G.W. Thomas. 1984. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter in relation to titratable acidity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48: 1458-1460.

Hamza M. A. and W.K. Anderson. 2004. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **J. Soil Till. Res**. 82(2): 121-145.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Prince-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hecht-Buchholz, C.H., D.J. Brady, C.J. Asher and D.G. Edwards. 1990. Effects of low activities of aluminium on soybean (Glysine max): root cell structure and root hair development, pp. 335-343. *In* M.L. Van Beusichem, ed. **Plant Nutrition-Physiology and Applications.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Hillel, D. 1998. **Environmental Soil Physics**. Academic Press, San Diego, USA.

Hsu, P.H. 1989. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides, pp.331-378. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed, eds. **Minerals in Soil Environments**. Soil Sci. Soc. Amer., WI.

Hye, P., D, Craig., N.T. Coleman. and J.L. Ragland. 1961. Ion exchange equilibrium involving aluminium. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 25: 14-17.

Iwata, S., T. Tabuchi and B.P. Warkentin. 1995. **Soil-Water Interaction; Mechanisms and Applications**. 2th ed. Macel Dekker, Inc., Madison Avenue, New York, USA.

Jackson, W.A. 1967. **Physiological Effect of Soil Acidity**. Agron. No. 12., Amer. Soc. Agron. Inc., Publisher, Madison, Wisconsin.

John, P. and K. Kelling, 2001. Soil Fertility Influences on Cation Levels in Forages. **J. Focus Forage** 4(2): 1-3.

Juma, N.G. 2001. **The Pedosphere and Its Dynamics: A Systems Approach to Soil Science**. Salman Productions Inc., Edmonton, Alberta, Canada.

Juo, A.S.R. 1981. Chemical characteristics, pp.51-79. *In* D.J. Greenland, ed. **Characterization of Soils**. Claredon Press, Oxford.

Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc**. 34: 252-254.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kamprath, E.J. 1984. Crop response to lime on soils in the tropics, pp. 349-368. *In* F. Adams, ed. **Soil Acidity and Liming.** Agronomy Monograph No.12, Amer. Soc. Agron., Madison, WI.

Kaspar, T.C., D.C. Erbach and R.M. Cruse. 1990. Corn response to seed-row residue removal. **J. Soil Sci. Soc. Am.** 54: 1112-1117.

Koppen, W. 1931. **Grundriss der Klimakunded.** Water de Gruyster, Leipzing, Berlin.

Lazof, D.B., M. Rincon, T.W. Rufty, C.T. Mackown and T.E. Carter. 1994. Aluminum accumulation and associated effects on 15NO3- influx in roots of two soybean genotypes differing in Al tolerance. **Plant and Soil** 164:291-297.

London, J.R. 1991. **Booker Tropical Soil Manual**. Booker Tate, Longman Scientific and Technical, London.

Ma, J. F., S. J. Zheng, X. F. Li, K. Takeda and H. Matasumoto. 1997. A rapid hydroponic screening for aluminum tolerance in barley. **Plant and Soil** 191: 133-137.

Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil** 134: 1-20.

Menzies, N.W. 2003. Toxic elements in acid soils, pp. 267-296. *In* Z. Renge, ed. **Handbook of Soil Acidity**. Marcel Dekker, Inc., NY.

Moormann and S. Rojanasoonthon. 1972. **Morphology and Genesis of Gray Podzolic Soils in Thailand**. Ph. D. thesis, Oregon State University.

Munns, D.N. 1965. Soil acidity and growth of a legume: II. Reactions of aluminium and phosphate in solution of aluminium, phosphate, calcium and pH on *Medicago sativa* L. and *Trifolium subterraneum* L. in solution culture. **Aust. J. Agric. Res.** 16: 743-755.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual.** Soil Survey Invest. Rept. No 42, Version 3.0. U.S. Dept. of Agr., U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Nye, P.H. 1961. Organic and nutrient cycles under a moist tropical forest. **Plant and Soil** 13: 333-346.

O' Neal. A.M. 1952. **Pedology (translation from French).** George Allen and Unwin Ltd., London.

Orlov, D.S. 1992. **Soil Chemistry**. Brookfield: A.A. Balkema.

Pearson, R.W. 1975. Soil Acidity and Liming in Humid Tropics. Cornell Intl. Agric. Bull. No. 30. Ithaca, NY.

Peech, M. 1945. Determinations of exchangeable cation and exchange of soil rapid micromethod utillzing centrifuge and spectrophotometer. **Soil Sci.** 59: 25-28.

_____. 1965. Exchange acidity, pp. 905-913. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties**. Agron. No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsing, USA.

Poschenrieder, C., B. Gunsé, I Corrales and J. Barceló. 2008. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Sci. Total Envir.** 400(1-3): 356-368.

Potichan, A. 1991. **Morphology, Genesis and Characteristics of Skeletal Soils in Sakon Nakhon Province, Northeast Thailand**. Ph.D. Thesis, University of the Philippines.

Rich, C.I. and S.S. Obenshain. 1955. Chemical and clay mineral properties of a red-yellow podzolic soil derived from muscovite schist. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 19: 334-339.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Richie, G.S.P. 1989. The chemical behavior of aluminium, hydrogen and manganese in acid soils, pp. 1-60. *In* A.D. Robson, ed. **Soil Acidity and Plant Growth**. Academic Press, Sydney.

Richie, J. L. 1981. Soil and Water Available. **Plant and Soil** 58: 327-338.

Rorison, I.H. 1972. The effect of extreme soil acidity on the nutrient uptake and physiology plant, pp. 223-254. *In* **Proc. Int. Symp. on Acid Sulphate Soils**, 13-20 August 1972. Wageningen, Netherlands.

Rowell, D.L. 1994. **Soil Science: Methods and Applications**. Addison Wesley Longman Limited, UK.

Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, Inc., NY.

_____, J.H. Villachuca and D.E. Bandy. 1983. Soil fertility dynamic after cleaning a tropical rainforest in Peru. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 47: 1171-1178.

Spark, D.L. 2003. **Environmental Soil Chemistry**. Academic Press, UK.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. U.S. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Govermment Printing Office, Washington D.C.

_____. 1999. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. Agr. Handbook No. 436. USDA, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Sparks, D.L. 1995. **Environmental Soil Chemistry**. Academic Press, Inc., Caliornia.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sposito, G. 1996. **The Environmental Chemistry of Aluminm**. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, FL.

Stephen M. J. 2007. **Minerals Yearbook 2006: Phosphate Rock**. U.S. Department of the Inerior. USA.

Summer, M.E and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, pp. 1021-1229. *In* J.M. Bigham, ed. **Methods of Soil Analysis, Part III: Chemical Methods.** Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.

Tan, K.H. 1993. **Principal of Soil Chemistry**. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., NY.

Tanaka, A, and S.A. Navasero. 1996. Aluminum toxicity of the rice plant under water culture conditions. **Soil Sci. Plant Nutr.** 12(2): 8-14.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizers.** Macmilan Publ, NY.

Thomas, G.W. 1975. Relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc**. 39: 591.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159-165. *In* A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Soil Sci. Soc, Amer. Soc. Agron., Madison.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity, pp. 475-490. *In* D.L. Sparks, ed. **Methods of Soil Analysis**, **Part III: Chemical Methods**. Soil Sci. Soc, Amer. Soc. Agron., Madison.

Thomson, L.M. and F.R. Troeh. 1978. **Soil and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ulrich, B. 1991. An ecosystem approach to soil acidification, pp. 28-79. *In* B. Ulrich and M.E. Summer, eds. **Soil Acidity**. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Vangai, S., I. Kheoruenromne and A. Sukthumrong. 1986. Soil organic matter, crop residue and green manure management, pp. 237-249. *In* M. Latham, ed. **The First Regional Seminar on Soil Management under Humid Conditions in Asia**. Bangkok, Thailand.

Vijarnsorn, P. 1984. Skeletal Soils of Thailand, pp. F 2.1-F 2.4. *In* **The Fifth ASEAN Soil Conference**. Vol. I. Dep. of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand.

Virgo, K.J. and D.A. Holmes. 1977. Soil and landform features of mountainous terrain in South Thailand. **Geoderma** 18: 207-225.

Wada, S.I. and K. Wada. 1980. Formation, composition and structure of hydroxyl-aluminosilicate ions. **J. Soil Sci.** 31: 457-467.

Walkley, W.A. and C.A. Black. 1934. An examination of digestion method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-35.

Westermann Peter. 2004. Temperature regulation of anaerobic degradation of organic matter. **J. World Microb. Biotech.** 12(5): 497-503

White, R.E., L.O. Tiffin and A.W. Taylor. 1976. The existence of polymeric complexes in dilute solutions of aluminium and orthophosphate. **Plant and Soil** 45: 521-529.

Wolt, J.D. 1981. Sulfate retention by acid sulfate-polluted soils in the Cooper Basin area of Tennessee. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 45: 283-287.

Wood, M., J.E. Cooper and A.J. Holding. 1984. Aluminium toxicity and nodulation of *Trifolium repens*. **Plant and Soil** 78:381-391.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Young, A. 1976. **Tropical Soils and Soil Survey**. Cambridge Univ. Press, London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่สกัดได้ อะลูมิเนียมที่สกัดได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงป่าดิบเขา ขุนแม่วาก (KW-1): Typic Palehumult					
0-20	A1	20.8	1.9	6.6	29.1
20-40/49	A2	18.5	4.2	5.5	76.5
49-75	Bt1	11.7	4.4	5.0	87.6
75-102	Bt2	10.5	3.7	4.4	84.1
102-130	Bt3	8.7	4.5	5.3	84.7
130-154	Bt4	7.0	4.4	4.7	92.7
154-179	Bt5	5.6	3.9	4.2	91.7
179-200+	Bt6	5.7	3.8	4.6	81.6
แปลงป่าทุติยภูมิ ขุนแม่วาก (KW-4): Typic Haplohumult					
0-20	A	20.2	0.7	5.5	12.3
20-45	Bt1	15.1	0.9	3.0	31.4
45-72	Bt2	9.0	1.3	3.2	41.8
72-101	Bt3	5.3	1.4	3.5	39.5
101-127	Bt4	5.5	1.2	3.1	36.7
127-153	Bt5	5.0	1.7	3.2	51.9
153-175	Bt6	3.8	1.9	3.5	53.4
175-200+	Bt7	5.7	1.8	3.1	58.0
170-200+	Btg2	2.1	1.7	2.6	64.2
แปลงป่าดิบเขา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-8): Typic Haplohumult					
0-18	A	18.3	1.6	4.9	32.2
18-40	Bt1	9.3	2.4	3.7	61.5
40-66	Bt2	6.3	2.0	2.8	73.6
66-87	Bt3	2.1	2.2	3.0	67.0
87-113	Bt4	1.7	1.7	2.6	69.4
113-118/146	Bt5	2.6	2.1	3.2	65.7
146-160/170	Bt6	1.8	2.2	3.0	70.4
170-200+	BCrt	1.4	2.0	3.0	70.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงป่าดิบเขา สถานีหลักฯ (KW-14): Typic Haplohumult					
0-18	A	14.6	1.5	4.3	34.4
18-39	Bt1	14.2	1.9	2.6	72.0
39-67	Bt2	6.5	2.0	3.0	67.1
67-96	Bt3	1.3	1.5	2.0	76.4
96-126	Bt4	2.9	1.9	2.5	76.4
126-150	Bt5	2.1	1.6	2.2	74.0
150-175	Bt6	2.9	1.9	2.5	72.9
175-200+	Bt7	3.7	1.9	2.6	73.9
แปลงป่าทุติยภูมิ โป่งน้อย (KW-16): Typic Palehumult					
0-20	A1	32.9	2.2	3.4	63.5
20-38	A2	16.7	2.3	2.6	86.8
38-64	Bt1	9.4	2.0	2.5	81.1
64-91	Bt2	4.7	2.0	2.7	73.3
91-118	Bt3	5.9	1.6	2.6	63.8
118-148	Bt4	6.4	1.2	1.6	75.8
148-170	Bt5	5.9	0.7	1.5	44.8
170-200+	Bt6	6.8	0.7	1.1	63.8
แปลงป่าสน ดอยผาตั้ง (INT-11): Typic Hapludult					
0-16/29	A	23.2	1.5	2.8	54.6
29-20/82	Bt1	7.9	1.9	2.9	65.2
82-25/125	Bt2	6.1	1.4	2.1	68.9
125-38/164	Bt3	4.6	1.4	2.5	57.3
164-105/200	Bt4	4.5	1.5	1.9	77.7
-	BCrt1	4.9	1.1	2.0	55.2
-	BCrt2	3.4	1.8	3.1	58.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงป่าดิบเขา สถานีหลักฯ (KW-14): Typic Haplohumult					
0-18	A	14.6	1.5	4.3	34.4
18-39	Bt1	14.2	1.9	2.6	72.0
39-67	Bt2	6.5	2.0	3.0	67.1
67-96	Bt3	1.3	1.5	2.0	76.4
96-126	Bt4	2.9	1.9	2.5	76.4
126-150	Bt5	2.1	1.6	2.2	74.0
150-175	Bt6	2.9	1.9	2.5	72.9
175-200+	Bt7	3.7	1.9	2.6	73.9
แปลงป่าดิบเขา แม่ยะน้อย (INT-15): Typic Hapludult					
0-18	A	6.9	2.8	4.6	61.8
18-45	Bt1	5.3	1.5	2.9	52.1
45-72	Bt2	3.6	1.6	4.1	39.9
72-105	Bt3	4.9	1.1	2.6	42.2
105-136	Bt4	2.9	1.6	2.9	55.7
136-170	Bt5	2.4	2.1	2.7	78.9
170-200+	BCrt	2.4	1.4	2.2	60.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่สกัดได้ อะลูมิเนียมที่สกัดได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงนา ขุนแม่วาก (KW-2): Typic Palehumult					
0-22	Apg	17.0	1.9	4.4	28.6
22-42	Btg1	11.7	1.0	3.9	34.3
42-65	Btg2	13.3	1.2	4.0	22.9
65-97	Bt1	12.0	1.1	4.1	29.3
97-127	Bt2	13.1	1.5	4.6	27.0
127-155+	Ab	17.0	0.8	3.1	45.5
แปลงผักในโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-3): Typic Haplohumult					
0-21	Ap	16.5	0.5	13.5	3.5
21-47	Bt1	14.7	1.4	4.5	31.8
47-78	Bt2	12.6	1.6	3.8	42.8
78-101	Bt3	11.9	1.4	4.3	33.6
101-135	Bt4	8.8	1.6	3.9	40.6
135-150	Bt5	6.0	1.5	3.7	40.7
150-175	Bt6	5.7	1.0	2.0	48.0
175-200+	Bt7	3.2	1.6	2.5	62.7
แปลงพลับ ขุนแม่วาก (KW-5): Typic Palehumult					
0-20/25	Ap	22.9	1.8	3.4	51.3
25-50	Bt1	13.8	1.4	2.5	56.2
50-74	Bt2	12.9	1.3	2.5	51.1
74-104	Bt3	10.5	0.8	2.3	35.2
104-130	Bt4	10.4	0.9	2.2	40.5
130-153	Bt5	7.8	0.7	2.0	33.1
153-180	Bt6	9.0	0.4	2.1	21.5
180-200+	Bt7	7.0	0.5	1.5	37.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงผักนอกโรงเรือน ขุนแม่วาก (KW-6): Typic Palehumult					
0-22	Ap	24.6	2.8	4.0	69.7
22-50	Bt1	14.8	1.3	3.9	33.2
50-77	Bt2	10.6	0.7	5.2	14.4
77-107	Bt3	10.6	0.7	4.3	16.7
107-124	Bt4	10.8	0.6	4.3	14.2
124-150	Bt5	9.7	0.7	4.2	16.9
150-172+	Bt6	9.7	0.8	3.3	23.6
แปลงผักนอกโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-7): Typic Paleudult					
0-18	Ap	9.2	1.2	3.2	37.6
18-42	Bt1	5.3	1.4	2.6	51.5
42-62	Bt2	2.6	1.2	3.2	38.6
62-94	Bt3	5.9	0.7	2.6	28.7
94-121	Bt4	5.4	1.3	2.7	47.6
121-145	Bt5	3.2	1.5	5.8	25.4
145-170	Btg1	3.1	1.6	2.6	62.4
170-200+	Btg2	2.1	1.7	2.6	64.2
แปลงผักในโรงเรือน โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-9): Typic Paleudult					
0-19	Ap	9.7	0.7	8.5	8.8
19-36	Bt1	7.8	0.7	5.4	14.2
36-63	Bt2	8.8	0.8	5.8	12.4
63-89	Bt3	9.9	0.7	5.1	10.5
89-120+	BCrt	5.9	0.5	4.1	16.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงนา โป่งลมแรง-ป่ากล้วย (KW-10): Rhodic Paleudult					
0-16	Ap	5.9	0.5	4.8	24.5
16-33	Bt1	15.9	1.2	4.4	17.5
33-58	Bt2	9.6	0.8	3.7	9.6
58-79	Bt3	10.1	0.4	4.1	12.7
79-107	Bt4	5.2	0.5	3.6	9.8
107-128	Bt5	11.0	0.3	3.5	13.4
128-160+	Bt6	5.2	0.5	5.4	25.7
แปลงไม้ดอกในโรงเรือน สถานีหลักฯ (KW-11): Typic Palehumult					
0-30	Ap	23.1	0.5	9.8	5.6
30-53	Bt1	16.8	0.2	3.5	5.4
50-80	Bt2	13.6	0.6	2.8	19.8
80-107	Bt3	8.1	0.5	2.7	17.2
107-132	Bt4	8.9	0.6	2.8	21.7
132-156	Bt5	7.9	0.6	3.1	20.8
156-177	Bt6	7.8	0.7	2.8	26.8
177-200+	Bt7	9.8	0.6	3.0	20.0
แปลงองุ่นมีหลังคาคลุม สถานีหลักฯ (KW-12): Typic Palehumult					
0-30	Ap	19.4	2.3	3.4	69.6
30-49	Bt1	26.4	2.1	2.7	76.3
49-73	Bt2	13.6	2.5	2.9	86.5
73-94	Bt3	11.8	1.4	1.9	76.2
94-122	Bt4	9.9	1.5	2.0	75.9
122-150	Bt5	8.6	0.8	1.2	61.0
150-173	Bt6	17.1	0.8	1.2	67.1
173-200+	Bt7	9.7	0.7	1.3	52.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงพลับ สถานีหลักฯ (KW-13): Rhodic Paleudult					
0-17	Ap	25.3	2.1	3.7	56.7
17-41	Bt1	8.1	2.3	2.7	87.1
41-70	Bt2	11.0	2.3	2.9	79.1
70-95	Bt3	7.5	1.1	1.9	55.2
95-121	Bt4	6.8	0.7	1.3	55.3
121-144	Bt5	6.8	0.8	1.6	50.6
144-170	Bt6	8.7	0.7	1.1	66.3
170-200+	Bt7	7.0	0.6	1.7	33.6
แปลงผักในโรงเรือน โป่งน้อย (KW-15): Typic Palehumult					
0-30	Ap	23.1	0.5	8.3	6.6
30-50	Bt1	16.0	2.0	3.8	53.8
50-74	Bt2	5.4	2.1	3.4	61.5
74-101	Bt3	5.6	2.0	3.7	53.0
101-126	Bt4	6.3	1.3	3.5	38.3
126-152	Bt5	4.3	1.4	2.0	69.6
152-172	Bt6	5.1	1.5	2.2	68.6
172-200+	Bt7	3.4	1.4	2.2	62.5
แปลงไม้ดอกเมืองหนาว ขุนห้วยแห้ง (INT-1): Typic Haplohumult					
0-20	Ap1	38.2	1.5	5.5	27.5
20-31/48	Ap2	35.0	1.8	2.5	71.5
48-70	Bt1	18.3	1.2	1.9	62.2
70-99	Bt2	12.0	1.5	2.7	56.9
99-132	2Ab	18.6	1.7	2.6	65.2
132-156	2Btgb1	7.8	2.0	3.5	57.2
156-180	2Btgb2	8.8	1.7	4.2	40.3
180-200+	3Agb	23.9	1.6	2.7	59.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงพลัม ขุนห้วยแห้ง (INT-2): Typic Palehumult					
0-20/30	Ap1	14.8	2.4	5.0	48.5
30-45	Ap2	18.4	1.8	4.4	41.5
45-65/74	Bt1	11.4	1.3	3.6	35.7
74-100	Bt2	12.3	1.9	4.7	40.5
100-126	Bt3	4.9	1.9	3.6	52.5
126-151	Bt4	3.8	1.4	3.9	36.5
151-179	Bt5	4.1	1.2	2.5	46.0
179-200+	BCrt	2.5	2.0	3.5	58.6
แปลงกาแฟและกีวี ขุนห้วยแห้ง (INT-3): Typic Palehumult					
0-26/34	Ap	16.9	2.6	5.1	52.3
34-57	Bt1	10.8	1.9	3.4	55.2
57-87	Bt2	5.8	1.7	2.8	60.5
87-118	Bt3	5.3	2.3	3.8	58.6
118-144	Bt4	4.7	1.3	2.0	66.8
144-167	Bt5	5.1	1.7	3.2	51.7
167-200+	Bt6	4.2	2.6	3.5	73.4
แปลงสาลี่ ขุนห้วยแห้ง (INT-4): Typic Palehumult					
0-20	Ap	28.5	2.9	4.4	66.8
20-48	Bt1	10.9	2.7	5.1	52.3
48-77	Bt2	5.6	1.9	3.4	54.7
77-100	Bt3	8.8	1.7	3.1	54.8
100-129	Bt4	4.8	2.0	3.3	60.7
129-151	Bt5	4.3	2.5	3.7	67.4
151-179	Bt6	10.7	2.0	3.2	63.4
179-200+	Bt7	4.9	1.8	3.3	55.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงองุ่น (INT-5): Typic Palehumult					
0-27	Ap	16.8	2.0	4.6	42.5
27-51	Bt	9.9	2.1	4.0	51.0
51-70	Ab	9.3	1.9	4.5	43.3
70-89	Btb1	5.3	2.2	4.2	52.2
89-110	Btb2	3.5	1.7	3.1	55.0
110-136	Btb3	3.8	1.5	3.3	45.6
136-170	Btb4	7.7	1.3	3.3	39.9
170-200+	Btb5	5.9	1.6	2.9	55.3
แปลงสตรอเบอรี สถานีหลักฯ (INT-6): Typic Haplohumult					
0-27	Ap	7.9	2.7	16.1	16.4
27-48	Bt1	9.6	1.6	4.2	38.5
48-73	Bt2	8.3	1.5	4.0	37.0
73-93/99	Bt3	6.4	1.9	3.7	50.8
99-125+	BCrt	5.2	1.6	3.6	44.8
แปลงพืชผัก สถานีหลักฯ (INT-7): Ultic Hapludalf					
0-10	Ap	4.9	2.6	16.3	15.7
10-36	Bt1	3.8	3.0	9.0	33.1
36-70	Bt2	3.7	1.6	5.8	27.5
70-100	Bt3	2.7	2.5	5.9	43.1
100-130+	Bt4	1.6	2.9	5.8	49.7
แปลงพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดอยผาตั้ง (INT-8): Typic Haplohumult					
0-22	Ap1	19.6	1.3	7.1	18.8
22-38	Ap2	21.3	1.9	5.9	32.4
38-60	Bt1	12.9	2.9	6.3	45.8
60-89	Bt2	11.1	1.6	4.4	36.7
89-116	Bt3	7.6	2.9	5.6	52.3
116-138/170	Bt4	5.5	2.0	4.2	47.2
170-200+	Crt	1.4	1.6	3.4	47.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงฝรั่งสตรอเบอรี ดอยผาตั้ง (INT-9): Typic Haplohumult					
0-19	Ap	14.6	1.9	13.8	13.6
19-37	BA	18.0	1.5	3.4	44.3
37-59	Bt1	14.1	1.6	3.1	51.6
59-81	Bt2	10.9	1.9	3.3	56.0
81-100	Bt3	8.7	1.8	2.9	60.1
100-132	Bt4	7.0	1.3	2.6	49.0
132-163	Bt5	4.4	1.6	2.7	59.9
163-200+	Bt6	5.3	1.4	1.9	72.7
แปลงท้อและสนปลูก ดอยผาตั้ง (INT-10): Typic Haplohumult					
0-20/26	Ap	21.8	1.4	3.7	37.7
26-49	Bt1	12.6	1.6	3.0	54.0
49-69	Bt2	7.4	1.6	3.5	47.1
69-98	Bt3	5.6	1.9	2.8	67.5
98-124	Bt4	4.4	1.6	3.2	50.8
124-151	Bt5	4.2	1.0	2.8	36.6
151-165/180	Bt6	4.1	1.2	2.4	49.2
180-210+	Bt7	4.7	1.3	2.7	49.1
แปลงพืชผัก แม่ยะน้อย (INT-12): Typic Haplohumult					
0-12/18	Ap	13.9	1.0	2.0	53.1
18-32	Bt1	8.1	1.7	2.7	60.9
32-60	Bt2	6.7	1.5	2.8	55.0
60-80	Bt3	1.5	3.0	4.1	73.2
80-110+	Bt4	2.0	2.5	4.0	61.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Extr.H^+	Extr.Al^{3+}	ECEC	Al Sat.
		(----------$cmol_c\ kg^{-1}$----------)			(%)
แปลงกาแฟ แม่ยะน้อย (INT-13): Typic Palehumult					
0-27	Ap	10.2	1.8	5.0	36.6
27-50	Bt1	8.0	1.1	3.3	32.0
50-72	Bt2	5.6	1.9	4.2	44.8
72-100	Bt3	4.7	2.0	4.2	48.2
100-130	Bt4	4.7	1.3	4.2	32.1
130-180+	Bt5	2.0	2.5	4.8	52.6
แปลงบ๊วย แม่ยะน้อย (INT-14): Typic Palehumult					
0-25	Ap1	12.7	1.5	2.8	55.0
25-49	Ap2	12.5	1.8	3.3	53.0
49-66	Bt1	7.9	2.7	4.0	65.8
66-93	Bt2	6.3	2.7	3.5	78.6
93-122	Bt3	4.6	2.9	3.8	76.8
122-150	Bt4	4.0	2.0	3.1	63.8
150-180+	Bt5	2.4	2.8	3.8	73.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)

คำเรียกทั่วไป	ลักษณะเนื้อดิน	ชั้นเนื้อดินต่าง ๆ (texture classes)
ดินทราย (sandy soils)	เนื้อหยาบ (coarse textured)	ได้แก่ ทรายชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก) ทรายปนดินร่วนชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบปนดินร่วน ทรายปนดินร่วน ทรายละเอียดปนดินร่วน และทรายละเอียดมากปนดินร่วน)
ดินร่วน (loamy soils)	เนื้อดินหยาบปานกลาง (moderately coarse-textured)	ดินร่วนปนทรายหยาบ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายละเอียด
	เนื้อปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey soils)	เนื้อละเอียด (fine textured)	ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	ความหนาแน่นรวม (Mg m^{-3})
ต่ำ	< 1.2
ค่อนข้างต่ำ	1.2-1.4
ปานกลาง	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง	1.6-1.8
สูง	1.8-2.0
สูงมาก	> 2.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 5 เกณฑ์การแบ่งสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ

ระดับ (rating)	สภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (cm hr^{-1})
ช้ามาก (very slow)	< 0.125
ช้า (slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (moderate)	2.00-5.25
เร็วปานกลาง (moderately rapid)	5.25-12.50
เร็ว (rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (very rapid)	> 25.00

ที่มา: O'Neal (1952)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. พีเอชของดิน (Soil reation), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

2. อินทรียวัตถุ (organic matter)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg^{-1})[1/]
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

[1/] organic carbon (g kg^{-1}) x 1.724

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen) (กองวางแผนการใช้ที่ดิน, 2535)

ระดับ (rating)	พิสัย ($g\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย ($mg\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย ($mg\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ด่างที่สกัดได้ (extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg^{-1})				
	extr.Ca	extr.Mg	extr.K	extr.Na	extr.bases
ต่ำมาก (VL)	< 2.0	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 31.2

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol$_c$ kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-30
สูงมาก (VH)	> 30

8. การอิ่มตัวด้วยด่าง (base saturation)

ระดับ (rating)	พิสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้

ระดับ (rating)	ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ ($cmol_c\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง (MH)	5.0-10.0
สูง (H)	10.0-20.0
สูงมาก (VH)	> 20.0

หมายเหตุ

VL = ต่ำมาก (Very Low)

L = ต่ำ (Low)

ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)

M = ค่อนข้างต่ำ (Medium)

MH = ค่อนข้างสูง (Moderate High)

H = สูง (High)

VH = สูงมาก (very Low)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 การเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m^{-1}	1 mS/cm = dS m^{-1}
		1 µ/cm = 0.001 dS m^{-1}
Cation exchange capacity	cmol (+) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (+) kg^{-1}
Anion exchange capacity	cmol (-) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (-) kg^{-1}
Exchange cation	cmol (+) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (+) kg^{-1}
Mass ratio	g kg^{-1}	1% = 10 g kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppm = 1 mg kg^{-1}
		1 mg/100g = 10 mg kg^{-1}
	µg kg^{-1}	1 ppb = 1 µg kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppt = 1 ng kg^{-1}
Mass concentration	g L^{-1}	1% = 10 g L^{-1}
	mg L^{-1}	1 ppm = 1 mg L^{-1}
	µg L^{-1}	1 ppb = 1 µg L^{-1}
Density	Mg m^{-3}	1g/cm^3 = 1 Mg m^{-3}
Specific surface	m^2 kg^{-1}	1 m^2/g = 1000 m^2 kg^{-1}
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10^{10}
Rate, Yield	kg ha^{-1}	1 kg/10a = 10 kg ha^{-1}
	Mg ha^{-1}	1t/10a = 10 Mg ha^{-1}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายณัฐพล ศรีอำไพ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	เพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พืชศาสตร์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์