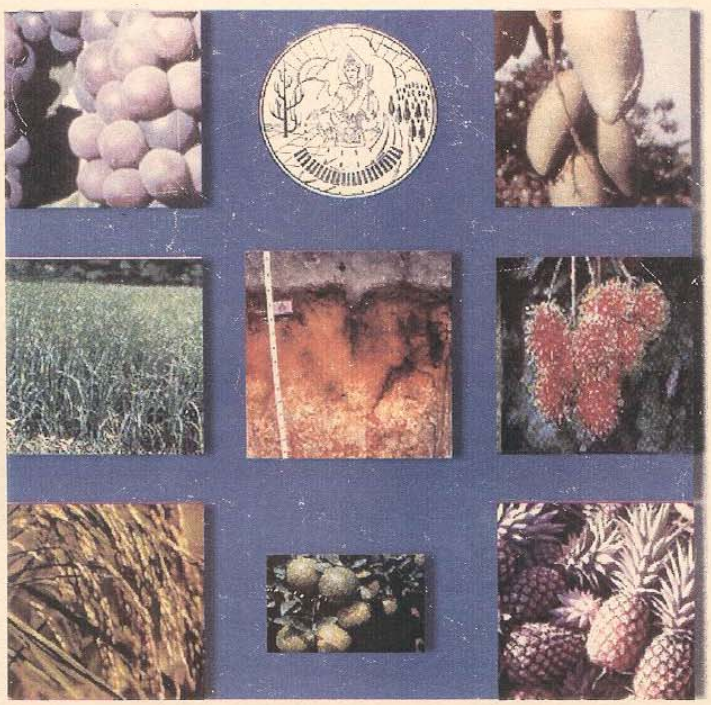
น.ร.น.

เอกสารวิชาการ

การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย

Soil Analysis Interpretation for Soil Improvement and Fertilizer Recommendation



โดย

พจนีย์ มอญเจริญ

เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน ฉบับที่ 2/2544

กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ISBN 974-7724-63-4

กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิเคราะห์ดินเป็นเพียงตัวเลขหรือข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น จะปราศจากประโยชน์ถ้าไม่มีการนำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินถึงปัญหาและคุณภาพของดิน รวมทั้งการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย เอกสารวิชาการ **การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย** ฉบับนี้ เป็นความพยายามของผู้เขียนที่จะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ของข้อมูลดังกล่าวต่อการดำเนินงานของกรมฯและการพัฒนาทางการเกษตรของประเทศ

เนื่องจากในกระบวนการประเมิน การปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ยจะเกี่ยวข้องกับหลายสาขาวิชาการ ผลงานจะไม่สามารถบรรลุเป้าหมายและวัตถุประสงค์ได้ ถ้าปราศจากผลงานวิจัยแหล่งข้อมูลและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่น ๆ ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ ดร. ธวัชชัย ณ นคร คุณโชติ สิทธิบุศย์ และข้าราชการกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ที่มีส่วนอนุเคราะห์ให้ข้อมูลผลการวิจัยและการทดลองเกี่ยวกับอัตราปุ๋ยที่ใช้กับพืชต่าง ๆ

บุคคลที่ผู้เขียนไม่อาจที่จะไม่กล่าวขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้ผลงานวิชาการครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้แก่ คุณไลวรรณ อังคีรส และคุณสุรชัย พัฒนพิบูล ที่ช่วยในการพิสูจน์อักษรและความถูกต้องของเอกสาร

ผู้เขียนหวังว่าเอกสารวิชาการฉบับนี้ จะช่วยเป็นแนวทางเสริมประสิทธิภาพในการแปลความหมายและประเมินผลการวิเคราะห์ในการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆทางการเกษตร ทั้งนี้เพราะการแปลความหมายและการประเมินดังกล่าวเป็นงานที่ค่อนข้างยาก นอกจากจะต้องอาศัยมาตรฐานในการแปลและการประเมินแล้ว จำเป็นต้องอาศัยทักษะ ประสบการณ์ และความรอบรู้เฉพาะตัวมากพอสมควร

"Soil Data to Information and Agricultural Technology is an Integration Approach"

การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
รายการวิเคราะห์ดินเพื่อการแก้ไข ปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย	3
การใช้ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน	4
เนื้อดิน	5
ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	9
การใช้ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน	11
ปฏิกิริยาของดิน	12
ความต้องการปูน	29
ความเค็มของดิน	44
การจำแนกดินเกลือ	49
แนวทางการจัดการดินเค็ม	55
พื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง	56
1. เลือกชนิดพืชทนเค็ม	56
2. ใช้อินทรียวัตถุ	60
3. การคลุมดิน	61
4. เทคนิคการปลูกพืช	62
การปลูกพืชพื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง	62
1. การปลูกข้าว	62
2. การปลูกพืชไร่และพืชผัก	64
3. การปลูกไม้ผล	66
พื้นที่ดินเค็มจัด	67
1. ปลูกหญ้าชอบเกลือและไม้ทนเค็มจัด	67
2. วิธีการเตรียมดินและปลูก	67
ดินโซดิกและดินเค็มโซดิก	68
การป้องกันไม่ให้เป็นดินเค็ม ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก	70
อินทรียวัตถุในดิน	71
ความจุแลกเปลี่ยนประจุแคตไอออนหรือความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก	77
เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง	83
ธาตุอาหารพืชในดิน	85

ธาตุอาหารหลัก
ไนโตรเจน 87
ฟอสฟอรัส 89
โพแทสเซียม 94
ธาตุอาหารรอง 98
แคลเซียม 98
แมกนีเซียม 102
กำมะถัน 105
การแก้ไขการขาดธาตุอาหารหลัก 107
จุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม 118
เหล็ก 118
แมงกานีส 122
ทองแดง 126
สังกะสี 129
โบรอน 132
โมลิบดีนัม 135
คลอรีน 137
การแก้ไขการขาดจุลธาตุอาหาร 139
อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ 145
การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน 154
การแนะนำปุ๋ยจากการวิเคราะห์ดินกับพืชต่างๆ 159
เอกสารอ้างอิง 196
ภาคผนวก 207
การผสมปุ๋ยเชิงเดี่ยวใช้เอง 208
หลักการผสมปุ๋ยเคมีใช้เอง 209
เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี 216

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	เกณฑ์ในการจัดกลุ่มขนาดอนุภาคปฐมภูมิของดิน	7
ตารางที่ 2	ลักษณะและสมบัติดินทางกายภาพตามชนิดของเนื้อดิน	11
ตารางที่ 3	ปฏิกิริยาของดิน (pH) ในดินนาชั้นบนของประเทศไทย เฉลี่ยตามภาคต่าง ๆ	15
ตารางที่ 4	ปฏิกิริยาของดิน (pH) ในดินไร่ชั้นบนของประเทศไทย เฉลี่ยตามกลุ่มดิน	16
ตารางที่ 5	ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน	17
ตารางที่ 6	แสดงช่วง pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	18
ตารางที่ 7	ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่ถูกชะละลายกับ pH ของดิน และอัตราร้อยละอิ่มตัวเบส (% base saturation)	20
ตารางที่ 8	ชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กับพืชชนิดต่าง ๆ	27
ตารางที่ 9	อัตราปุ๋ยหมักที่ใช้กับพืชต่าง ๆ	28
ตารางที่ 10	แสดงความสัมพันธ์ในความทนทานต่อกรดของพืชชนิดต่าง ๆ	36
ตารางที่ 11	ค่าการทำให้เป็นกลาง (neutralizing value หรือ Calcium Carbonate Equivalent ของปูนบางชนิดในสภาพที่เป็นสารประกอบบริสุทธิ์	37
ตารางที่ 12	ค่า CCE ของวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ	39
ตารางที่ 13	แสดงคุณภาพของปูนมาร์ลจากแหล่งต่าง ๆที่ระดับความลึกต่าง ๆกัน เมื่อเปิดชั้นดินที่ทับถมด้านบนแล้วที่พื้นที่ของสถานีพัฒนาที่ดินสระบุรี อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี	40
ตารางที่ 14	แสดงสมบัติทางเคมีบางประการของหินปูนฝุ่นในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ของประเทศไทย	40
ตารางที่ 15	แสดงสมบัติทางเคมีบางประการของหินโดโลไมท์ในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย	41
ตารางที่ 16	แหล่งผลิตวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆในประเทศไทย	42
ตารางที่ 17	อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช	44
ตารางที่ 18	การจำแนกประเภทของดินเกลือ	51
ตารางที่ 19	ชนิดพืชทนเค็มที่สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับต่าง ๆ โดยให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 50 ของผลผลิตที่ได้รับเมื่อปลูกในดินปกติ	57
ตารางที่ 20	การคาดคะเนผลผลิตของพืชทนเค็มลดลง (%) เนื่องจากความเค็มของดิน	59
ตารางที่ 21	ระดับอินทรียวัตถุในดินบนภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย	73

ตารางที่ 22	แสดงพื้นที่ดินที่มีอินทรียวัตถุในดินบนระดับต่าง ๆ ของประเทศไทย	74
ตารางที่ 23	ระดับอินทรียวัตถุในดินตามมาตรฐานสากล	74
ตารางที่ 24	ระดับอินทรียวัตถุในดิน ชนิด และปริมาณอินทรียวัตถุที่ต้องใส่	75
ตารางที่ 25	เกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุในดินสำหรับพืชไร่	76
ตารางที่ 26	อัตราปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกตามปริมาณอินทรียวัตถุในดินสำหรับพืชสวน	76
ตารางที่ 27	CEC ของสารอินทรีย์และอนินทรีย์คอลลอยด์ในดิน	78
ตารางที่ 28	ระดับ CEC ในดินตามมาตรฐานสากล	81
ตารางที่ 29	ระดับธาตุประจุบวกต่าง ๆ ที่สกัดได้ในดิน	81
ตารางที่ 30	ธาตุที่จำเป็นต่อพืชชั้นสูงทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชที่จัดว่าเพียงพอ	86
ตารางที่ 31	ระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน	91
ตารางที่ 32	ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ	91
ตารางที่ 33	ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ	92
ตารางที่ 34	เกณฑ์พิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในดินกับชนิดของพืช	92
ตารางที่ 35	ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินและอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับพืชชนิดต่าง ๆ	93
ตารางที่ 36	ระดับวิกฤติของโพแทสเซียมในการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชไร่บางพืช	94
ตารางที่ 37	การประเมินค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ซึ่งสกัดด้วย 1 N ammonium acetate	95
ตารางที่ 38	ระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน	96
ตารางที่ 39	เกณฑ์พิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในดินกับชนิดของพืชที่ปลูก	96
ตารางที่ 40	ค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมและอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับพืชชนิดต่าง ๆ	97
ตารางที่ 41	ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และค่าวิกฤตของแคลเซียมสำหรับพืชบางชนิด	99
ตารางที่ 42	ปริมาณแคลเซียมในดินที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชชนิดต่าง ๆ	100
ตารางที่ 43	ระดับปริมาณของแคลเซียมในดิน	100
ตารางที่ 44	ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สำหรับพืชต่าง ๆ	103
ตารางที่ 45	ระดับแมกนีเซียมที่พอเหมาะกับพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย	104
ตารางที่ 46	ระดับปริมาณของแมกนีเซียมในดิน	104
ตารางที่ 47	ค่าวิกฤตของกำมะถันในพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย	106

ตารางที่ 48	ปริมาณกำมะถันที่พืชต่าง ๆต้องการ	106
ตารางที่ 49	แคลเซียมสำหรับพืชไร่บางชนิด	107
ตารางที่ 50	ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยบางชนิด	108
ตารางที่ 51	ชนิดของปุ๋ยแมกนีเซียม อัตรา และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	109
ตารางที่ 52	ปุ๋ยซัลเฟอร์ อัตรา และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	110
ตารางที่ 53	การจำแนกปุ๋ยกำมะถันชนิดต่าง ๆ ออกเป็นกลุ่มโดยอาศัยสมบัติทางเคมีเป็นหลัก	111
ตารางที่ 54	แร่สามัญที่มีจุลธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ	113
ตารางที่ 55	ปริมาณจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริมที่จำเป็นแก่พืชในดินทั่วไป	115
ตารางที่ 56	ประมาณค่าปริมาณธาตุอาหารเสริมที่พืชทั่วไปดูดไปใช้	115
ตารางที่ 57	ค่าความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในพืชที่พืชทั่วไปต้องการจากดินและปุ๋ย	116
ตารางที่ 58	ความเข้มข้นโดยประมาณของจุลธาตุอาหารในใบ เมื่อพืชแก่เต็มที่	116
ตารางที่ 59	ระดับเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาต่าง ๆ ในดินเนื้อดินปูนในภาคกลางของประเทศไทย	119
ตารางที่ 60	ความเข้มข้นของเหล็กในใบอ่อนที่เจริญเต็มที่ เพียงพอต่อความต้องการของพืชสวนบางชนิด	121
ตารางที่ 61	ระดับเป็นพิษขั้นวิกฤตของแมงกานีสในส่วนเหนือดินของพืช 6 ชนิด	123
ตารางที่ 62	ความเข้มข้นของแมงกานีสที่เพียงพอต่อความต้องการของไม้ผลบางชนิด	124
ตารางที่ 63	แสดงค่าวิกฤตของทองแดงที่สกัดโดย DTPA	127
ตารางที่ 64	แสดงค่าวิกฤตของสังกะสีในดินวิเคราะห์โดยวิธี DTPA ของพืชต่าง ๆ	131
ตารางที่ 65	ความเข้มข้นของสังกะสีในใบอ่อนที่เจริญเต็มที่ ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของไม้ผลบางชนิด	131
ตารางที่ 66	ค่าวิกฤตของโบรอนในดิน	134
ตารางที่ 67	ปริมาณของจุลธาตุอาหารในปุ๋ยคอกสด	140
ตารางที่ 68	ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	140
ตารางที่ 69	ปริมาณจุลธาตุอาหารบางชนิดในปุ๋ยเคมี และหินปูน	144
ตารางที่ 70	อิทธิพลของอลูมินั่มต่อผลผลิตของข้าวในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้	147

ตารางที่ 71	ค่าวิกฤตของความอิ่มตัวด้วยอลูมินั่ม และ pH ของดินต่อผลผลิตของพืชต่าง ๆ	149
ตารางที่ 72	ตัวอย่างค่า pH exch. Al และ Al-Saturation ของดินกรดประเทศไทยที่ระบายน้ำดีบางชุดดิน	151
ตารางที่ 73	ปฏิกิริยาของดิน และอลูมินั่มในดินของชุดดินเปรี้ยวจัด และชุดดินที่ได้รับอิทธิพลความเป็นกรดในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด	152
ตารางที่ 74	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	154
ตารางที่ 75	Rating of the selected soil test values	155
ตารางที่ 76	Key for estimating the natural fertility of soils mainly suited for wetland rice	156
ตารางที่ 77	Key for estimating the natural fertility of soils mainly suited for upland crops	157
ตารางที่ 78	การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยกองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน	158
ตารางที่ 79	ปัจจัยต่าง ๆ ที่ลดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย	160
ตารางที่ 80	สูตรปุ๋ยเคมี และอัตราการใช้ (กก./ไร่) ตามลักษณะของเนื้อดินและพันธุ์ข้าว	161
ตารางที่ 81	คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน	162
ตารางที่ 82	อัตราส่วนธาตุอาหารพืช สูตรปุ๋ยเคมี อัตราการใช้ปริมาณธาตุอาหารพืช วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชผัก	163
ตารางที่ 83	คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้น และไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน	165
ตารางที่ 84	การใช้ปุ๋ยเคมีกับอ้อย	171
ตารางที่ 85	การใช้ปุ๋ยเคมีกับถั่วเหลือง ถั่วลิสง และถั่วเขียว	173
ตารางที่ 86	การใช้ปุ๋ยเคมีกับละหุ่ง	175
ตารางที่ 87	การใช้ปุ๋ยเคมีกับงา	176
ตารางที่ 88	การใช้ปุ๋ยเคมีกับฝ้าย	177
ตารางที่ 89	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ข้าวโพด)	179
ตารางที่ 90	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (มันสำปะหลัง)	180

ตารางที่ 91	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (อ้อย)	181
ตารางที่ 92	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ถั่วเขียว)	182
ตารางที่ 93	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ข้าวฟ่าง)	183
ตารางที่ 94	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ถั่วเหลือง)	184
ตารางที่ 95	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ถั่วลิสง)	185
ตารางที่ 96	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ฝ้าย)	186
ตารางที่ 97	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (ปอแก้ว)	187
ตารางที่ 98	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ (งา)	188
ตารางที่ 99	การใช้ปุ๋ยเคมีกับมันสำปะหลัง	189
ตารางที่ 100	การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง	191
ตารางที่ 101	การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพดฝักอ่อน	193
ตารางที่ 102	การใช้ปุ๋ยเคมีกับฝ้าย	194
ตารางที่ 103	การใช้ปุ๋ยเคมีกับปอแก้ว	195
ตารางภาคผนวกที่ 1	การคำนวณปุ๋ยที่ใช้ต่อไร่จากปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ	208
ตารางภาคผนวกที่ 2	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ (N-P_2O_5-K_2O กก./ไร่)	210
ตารางภาคผนวกที่ 3	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี	216
ตารางภาคผนวกที่ 4	แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI Units เป็น SI Units	216

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1	ตารางสามเหลี่ยมแสดงการจำแนกชนิดเนื้อดิน (Textural class : TC)	8
รูปที่ 2	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available moisture content) กับอนุภาคดินขนาดต่าง ๆและค่าความหนาแน่นรวมโดยประมาณของดินประเทศไทย	10
รูปที่ 3	ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินอนินทรีย์ (mineral soils) และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน	22
รูปที่ 4	แสดงขั้นตอนการยกร่องสวนสำหรับดินเปรี้ยวจัด	25
รูปที่ 5	การปรับสภาพพื้นที่ยกร่องเพื่อปลูกผักหรือผลไม้	26
รูปที่ 6	การปรับสภาพพื้นที่โดยยกร่อง และควบคุมระดับน้ำในร่อง	26
รูปที่ 7	แสดงตัวอย่าง serial titration ของชุดดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์	31
รูปที่ 8	ความสัมพันธ์ระหว่าง EC อัตราส่วน 1:5 และ EC วิธีสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	45
รูปที่ 9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe รวมทั้งหมดของดินที่ความลึก 0-15 ซม.	46
รูปที่ 10.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี % clay<10% ที่ความลึก 0-15 ซม.	46
รูปที่ 10.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี % clay 10-18% ที่ความลึก 0-15 ซม.	47
รูปที่ 10.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี % clay 18-35% ที่ความลึก 0-15 ซม.	47
รูปที่ 10.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี % clay 35-60% ที่ความลึก 0-15 ซม.	48
รูปที่ 10.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี % clay>60% ที่ความลึก 0-15 ซม.	48
รูปที่ 11	อิทธิพลของการให้น้ำตามร่องน้ำต่อการกระจายของเกลือบนร่องปลูกพืช	65
รูปที่ 12	การเตรียมแปลงและวิธีการปลูกพืชในพื้นที่ดินเค็ม	65
รูปที่ 13	การให้น้ำแบบหยดช่วยชะเกลือออกจากดินบริเวณรอบ ๆ เมล็ดพืช	66
รูปที่ 14	แสดงองค์ประกอบของดินที่เหมาะสมในการปลูกพืช	72
รูปที่ 15	วงจร oxidation-reduction ของ Mn ในดิน	122
รูปที่ 16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอลูมินั่มแลกเปลี่ยนได้กับผลผลิตของข้าวในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ของประเทศไทย	146

รูปที่ 17	ความสัมพันธ์ระหว่างอลูมินั่มแลกเปลี่ยนได้ และ pH ของดิน (ใน $CaCl_2$) ต่อระดับความทนต่ออลูมินั่มของพืชชนิดต่าง ๆ	147
รูปที่ 18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินั่มของดินกับผลผลิตของ Snap bean ในดินอันดับออกซิโซลส์ และอัลฟิโซลส์ของเปอร์โตริโก	148
รูปที่ 19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความอิ่มตัวด้วยอลูมินั่มในดินอันดับอุลติโซลส์ และออกซิโซลส์จากเปอร์โตริโก	149

คำนำ

ประเทศไทยมีโครงสร้างพื้นฐานทางการเกษตร ดังจะเห็นได้จากประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพทางการเกษตร พื้นที่ประเทศทั้งหมด 321 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองทางการเกษตร 132 ล้านไร่ (41%) พื้นที่เกษตรกรรมประกอบด้วย นา 68 ล้านไร่ (51%) นาปรัง 4.5 ล้านไร่ พืชไร่ 32 ล้านไร่ (24%) ไม้ผล 22 ล้านไร่ (17%) ที่สวนผักและไม้ดอก 1 ล้านไร่ (1%) ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ <1 ล้านไร่ (<1%) (จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2543)

คุณภาพของที่ดินการเกษตร มีพื้นที่เหมาะสมมากสำหรับทำนา 30 ล้านไร่ พื้นที่เหมาะสมมากสำหรับพืชไร่ 4 ล้านไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ที่ต้องการแก้ไขปรับปรุง บำรุง และอนุรักษ์ดิน

พื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย เป็นพื้นที่ที่มีปัญหาในการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ได้แก่ ดินเค็ม 2.7 ล้านไร่ ดินทราย 7.1 ล้านไร่ ดินเปรี้ยว 5.3 ล้านไร่ ดินอินทรีย์หรือชาวบ้านเรียกว่าดินพรุ 0.5 ล้านไร่ ดินตื้น 51.3 ล้านไร่และพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง 96.2 ล้านไร่

จะเห็นได้ว่าศักยภาพของดินสำหรับเกษตรกรรมไม่ได้เป็นอย่างที่คิด ตามคำพังเพยที่ว่า "ทรัพย์ในดิน สินในน้ำ" หรือ "ในน้ำมีปลา ในนามีข้าว" อีกต่อไป ประชากรที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการใช้ที่ดินของประเทศ เพราะเป็นปัจจัยที่มีจำกัด แม้ว่าขณะนี้ ประเทศไทยจะได้ชื่อว่าเป็นแหล่งผลิตอาหารโดยเฉพาะข้าวไปเลี้ยงประชากรโลก มีผู้คาดการว่าถ้าประชากรของประเทศเพิ่มถึง 120 ล้านคน และอัตราการเพิ่มผลผลิตยังคงอยู่เหมือนในขณะนี้ ประเทศไทยอาจไม่มีข้าวเพื่อการส่งออก หรืออาจต้องสั่งข้าวมาจากต่างประเทศ ประกอบกับระบบการค้าเสรีที่คาดว่าจะมีในอนาคต การแข่งขันระหว่างประเทศที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจเหมือนประเทศไทย จะต้องมีขึ้นอย่างรุนแรง ดังนั้น ถ้าเราสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ จึงจะสามารถแข่งขันในเวทีโลกได้ ดังนั้น การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตทางการเกษตรจะเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตส่วนหนึ่ง จะได้จากการประเมินผลจากผลการวิเคราะห์ดิน ซึ่งจะบอกถึงศักยภาพ ปัญหา และแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติดิน เช่น ความอุดมสมบูรณ์ ความสามารถในการเก็บกักความชื้น ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินและจุดวิกฤติของธาตุอาหารเหล่านั้น ซึ่งรวมถึงการปรับปรุงบำรุงดิน การใส่ปุ๋ย และการจัดการอื่น ๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นเอกสารวิชาการในการใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินจากห้องปฏิบัติการเพื่อการแก้ไขปรับปรุงดินที่มีปัญหา ตลอดจนการบำรุงดิน และการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งมี 3 วัตถุประสงค์หลัก คือ

1. รวบรวมข้อมูลที่สามารถแปลผล (interpretation) สำหรับดินที่มีปัญหาต่าง ๆ ของประเทศ จากเอกสารวิชาการและผลการทดลองทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการแก้ไขปรับปรุงดินแล้วนำมาเปรียบเทียบและจัดระดับให้ใช้ได้กับผลการวิเคราะห์ดินของประเทศไทย

2. แสดงระดับธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหาร รวมถึงสมบัติทางเคมีบางประการ เพื่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

3. รวบรวมคำแนะนำปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีจากค่าการวิเคราะห์ดิน จากผลการทดลองและจากคำแนะนำของนักวิชาการ และคำแนะนำของหน่วยงานต่าง ๆ ที่ได้จากผลการทดลองการปลูกพืช

รายการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย

รายการวิเคราะห์ดินที่กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน วิเคราะห์ประกอบการพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดินที่บริการให้แก่เกษตกร มีดังนี้คือ

(1) เนื้อดิน (texture) (2) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (moisture retention ที่ 1/3 bar และ 15 bar) (3) ปฏิกิริยาดิน (pH) (4) อินทรียวัตถุ (organic matter) (5) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus) (6) โพแทสเซี่ยมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available potassium) (7) ปริมาณเกลือที่ละลายได้ (electrical conductivity) (8) ความต้องการปูน (lime requirement) (9) ความต้องการยิปซัม (gypsum requirement) (10) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) และ (11) อัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบส (base saturation) รายการที่กล่าวมานี้ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นผู้พิจารณาเลือกรายการวิเคราะห์ โดยพิจารณาดังนี้

1) พิจารณาจากข้อมูลที่ผู้ส่งตัวอย่างดินได้กรอกแบบฟอร์มไว้ หรือจะพิจารณารายการนอกเหนือจากรายการดังกล่าว (รายการวิเคราะห์ที่ควรวิเคราะห์เนื่องจากปัญหาของดินนั้น ๆ) เช่น ผู้ส่งตัวอย่างได้บอกพื้นที่เก็บตัวอย่างเช่น จาก จังหวัดนครนายก ซึ่งสามารถคาดได้ว่าเป็นดินเปรี้ยวจัด รายการวิเคราะห์ที่สำคัญจะต้องพิจารณาวิเคราะห์คือ pH, LR, OM, P, K Ca, Mg, Fe, และ Al เป็นต้น ซึ่งที่จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ Fe และ Al เนื่องจากทั้ง Fe และ Al ละลายออกมามากในดินที่มีความเป็นกรดจัด จนเป็นอันตรายต่อพืช

2) หรือ เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่า ดินนั้นเป็นดินเค็ม คือมีความเค็มเกินกว่า 2 ds/m ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด จะต้องวิเคราะห์ปริมาณ Extractable และ Soluble Ca, Mg, Na และ K แล้วนำมาคำนวณค่า Exchangeable cations อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable sodium percentage : ESP) และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (Sodium adsortion ratio : SAR) รวมถึงชนิดของเกลือโดยวิเคราะห์ Soluble anions เช่น $SO_4^{=}$, $CO_3^{=}$, และ HCO_3^{-} เพื่อพิจารณาว่าพืชชนิดใดสามารถทนต่อ ความเค็มระดับนั้นได้หรือจำเป็นจะต้องมีการแก้ไขปรับปรุง และบำรุงดินจนพืชสามารถที่จะปลูกและให้ผลผลิตได้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ถึงแม้ว่าจะได้ผลผลิตต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยก็ตาม

3) จากการพิจารณาดังกล่าวข้างต้น อาจจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุ บางชนิด เช่น ดินอินทรีย์จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ปริมาณคอบเปอร์ (Cu) ด้วยเพราะดินอินทรีย์จะขาด Cu ซึ่งเป็นสาเหตุให้ข้าวเมล็ดลีบ หรือดินที่มีเนื้อดินเป็นทรายในบางกรณีควรจะต้องวิเคราะห์โบรอน (B) ซึ่งเป็นสาเหตุของเมล็ดกลวงในถั่วลิสง เป็นต้น

การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินเป็นสมบัติที่สามารถ สังเกต มองเห็น และสัมผัสได้ มีผลโดยตรง และโดยอ้อมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช ได้แก่ ขนาดอนุภาค โครงสร้าง และสีของดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงสมบัติอื่นๆ เช่น ความหนาแน่นรวม (bulk density) ความพรุน (porosity) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เป็นต้น ปกติแล้วในการวิเคราะห์ดิน เพื่อการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินแก่เกษตรกรสำหรับนักวิชาการโดยทั่วไปจะวิเคราะห์เฉพาะเนื้อดินเท่านั้น เพื่อคาดคะเนความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและการถ่ายเทอากาศ ส่วนการวิเคราะห์สมบัติกายภาพดินอื่นๆ จะพิจารณาเป็นกรณีๆไป

เนื้อดิน (Texture)

เนื้อดิน เป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุด เพราะเนื้อดินบ่งบอกถึงขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นดิน ดินส่วนใหญ่จะมีเนื้อดินที่เปลี่ยนแปลงยากมากภายใต้สภาพธรรมดาของการใช้ดินเพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตร แม้ว่าระยะเวลาของการใช้ดินจะยาวนานมากแล้วก็ตาม นอกจากนี้เนื้อดินไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช แต่เป็นสิ่งที่ควบคุมสมบัติอื่นๆ หลายประการ เช่น การดูดยึดน้ำ การดูดซับธาตุอาหารไว้สำหรับพืช และเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นต้น

การจัดจำแนกของอนุภาคดินนั้นมีหลายระบบด้วยกัน (ตารางที่ 1) แต่ในประเทศไทยระบบที่นำมาใช้คือ ระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA : The United State Department of Agriculture) โดยอนุภาคขนาดดินทราย (sand) มีขนาดระหว่าง 0.05 - 2 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคทรายแป้ง (silt) มีขนาดระหว่าง 0.002 - 0.05 มิลลิเมตร และขนาดอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร ส่วนวิธีการวิเคราะห์ที่นิยมใช้มี 2 วิธีคือ Pipette method และวิธี Hydrometer

Soil Survey Division staff, 1993 จัดกลุ่มดินออกเป็น 12 กลุ่มดิน ได้แก่ ทราย (sand) ทรายปนร่วน (loamy sand) ร่วนปนทราย (sandy loam) ร่วน (loam) ร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ทรายแป้ง (silt) ร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ร่วนเหนียว (clay loam) ร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) เหนียวปนทราย (sandy clay) เหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) และเหนียว (clay) โดย USDA กำหนดไว้ดังนี้

1. Sand	> 85% sand และ % ของ silt + 1.5 เท่า % clay < 15
2. Loamy sand	= 70 - 91 % sand
	% silt + 1.5 เท่า % clay ≥ 15
และ	% silt = 2 เท่า clay < 30
3. Sandy Loam	7 - 20 % Clay > 52% sand และ % silt + 2 เท่า % clay ≥ 30
หรือ	<7% clay < 50% silt และ >43% sand
4. Loam	= 7 - 27 clay
	= 28 - 50% silt
	= 52% sand
5. Silt loam	≥ 50% silt
	= 12 - 27% clay
หรือ	= 50 - 80 % silt
	< 12% clay
6. Silt	≥ 80% silt
	< 12% clay

7. Sandy Clay loam	= 20 – 35% clay
	< 28% silt
	> 45% sand
8. Clay loam	= 27 – 40 % clay
	> 20 – 46 % sand
9. Silty clay loam	= 27 – 40% clay
	≤ 20% sand
10. Sandy clay	≥ 35% clay , ≥ 45% sand
11. Silty clay	≥ 40% clay
	≥ 40% silt
12. Clay	≥ 40 % clay
	≤ 45% sand
	< 40% silt

ซึ่งผลวิเคราะห์เนื้อดินอาจจะดูได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากตารางสามเหลี่ยมมาตรฐาน (รูปที่ 1) ซึ่งในรูปนี้มีค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) โดยประมาณไว้ด้วยซึ่งได้จากการคำนวณผลการวิเคราะห์ดินของกลุ่มกายภาพดิน

การจัดกลุ่มประเภทเนื้อดิน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ดินเนื้อหยาบ (Coarsed texture soil or Sandy soil materials) หมายถึงดินที่แสดงสมบัติเด่นของอนุภาคในกลุ่มขนาดทราย ในระดับความเด่นชัดที่มากกว่าสมบัติเด่นของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลักอีก 2 กุล่มมาก ประเภทเนื้อดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ทราย (sand) ทรายปนร่วน (loamy sand)

2. ดินร่วน (Loamy soil materials) หมายถึง ดินที่แสดงสมบัติเด่นของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลัก ทั้ง 3 กลุ่ม ในระดับความเด่นชัดที่ไม่แตกต่างกัน หรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่

2.1 ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ (Moderately coarse-textured) ได้แก่ ดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam)

2.2 เนื้อดินปานกลาง (Medium-textured) ได้แก่ดินที่มีประเภทเนื้อดินที่มีประเภทเนื้อดินเป็น ดินร่วน (loam) ร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และทรายแป้ง (silt)

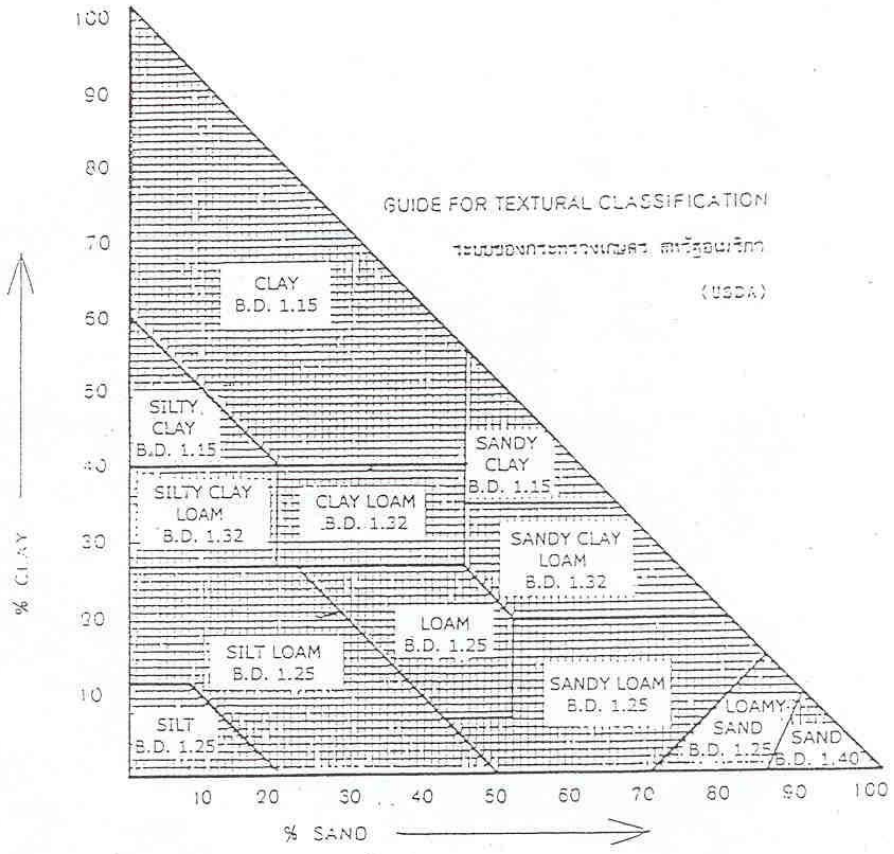
2.3 ดินเนื้อค่อนข้างละเอียด (Moderate fine-textured) ได้แก่เนื้อดินที่มีประเภทเนื้อดินเป็น ดินร่วนเหนียว (clay loam) ร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) และร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam)

3. ดินเนื้อละเอียด (Clayey soils) หมายถึง ดินที่แสดงสมบัติเด่นของอนุภาคในกลุ่มขนาดดินเหนียวในระดับความเด่นชัดที่มากกว่าสมบัติเด่นในกลุ่มขนาดหลักอีก 2 กลุ่มมาก ประเภทเนื้อดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) และดินเหนียว (clay)

ตารางที่ 1 เกณฑ์ในการจัดกลุ่มขนาดอนุภาคปฐมภูมิของดิน

เกณฑ์สหรัฐอเมริกา		เกณฑ์สากล		เกณฑ์ใหม่ของยุโรป	
ชื่อกลุ่ม	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ (มม.)	ชื่อกลุ่ม	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ (มม.)	ชื่อกลุ่ม	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ (มม.)
ทรายหยาบมาก (Very coarse sand)	1.00-2.00			ทรายหยาบมาก (very coarse sand)	1.00-2.00
ทรายหยาบ (coarse sand)	0.50-1.00	ทรายหยาบ (coarse sand)	0.20-2.00	ทรายหยาบ (coarse sand)	0.50-1.00
ทรายปานกลาง (medium sand)	0.25-0.50			ทรายปานกลาง (medium sand)	0.02-0.50
ทรายละเอียด (fine sand)	0.10-0.25	ทรายละเอียด (fine sand)	0.02-0.20	ทรายละเอียด (fine sand)	0.10-0.20
ทรายละเอียดมาก (very fine sand)	0.50-0.10			ทรายละเอียดมาก (very fine sand)	0.05-0.10
ซิลท์ (silt)	0.002-0.05	ซิลท์ (silt)	0.002-0.02	ซิลท์หยาบ (pulver * หรือ coarse silt)	0.02-0.05
				ซิลท์ละเอียด (limon * หรือ schluff **)	0.002-0.02
ดินเหนียว (clay)	<0.002	ดินเหนียว (clay)	<0.002	ดินเหนียว (clay)	<0.002

* ภาษาฝรั่งเศส ** ภาษาเยอรมัน



รูปที่ 1 ตารางสามเหลี่ยมแสดงการจำแนกชนิดเนื้อดิน (textural class : TC)
ค่าประมาณของค่าความหนาแน่นรวมของดินของประเทศไทย

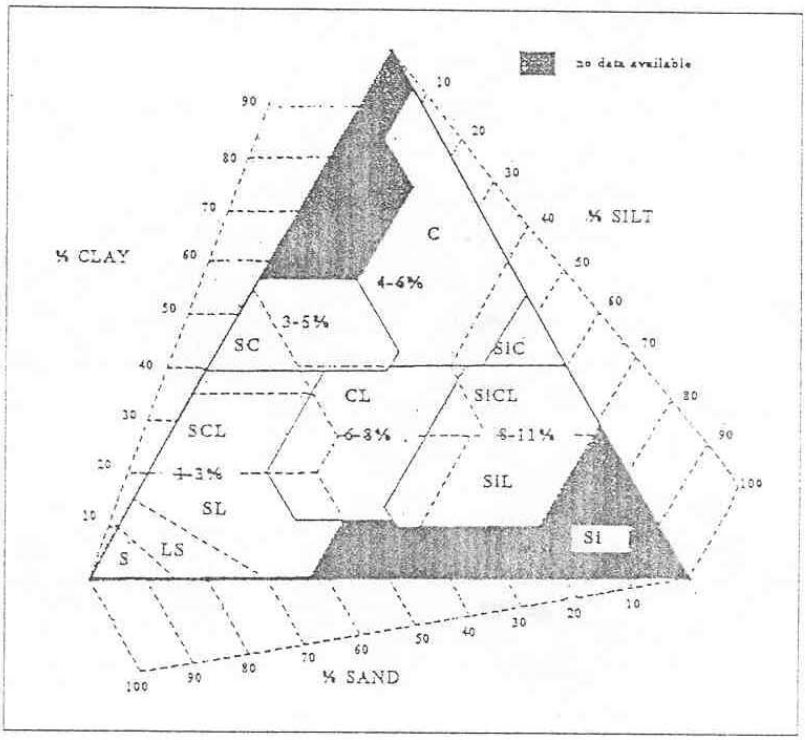
ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

(Available Water)

น้ำในดินอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ น้ำที่อยู่ใต้อำนาจการดูดยึดของอนุภาคดิน กับน้ำที่ไม่ได้อยู่ภายใต้การดูดยึดของอนุภาคดิน ถ้าพิจารณาในแง่ความชื้นหรือน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว น้ำที่ถูกดูดยึดอยู่ในดิน โดยเฉพาะที่อยู่ในส่วนที่เรียกว่าน้ำซับ จะมีความสำคัญกว่าน้ำประเภทอื่น ๆ เนื่องจากน้ำซับจะถูกดูดยึดไว้ภายนอก รวมถึงที่บรรจุอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กมากของดิน แรงดูดยึดไม่สูง พืชสามารถเอาไปใช้ได้ ดังนั้น แรงดูดยึดน้ำของดินจึงเป็นสิ่งควบคุมความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ในการวิเคราะห์การดูดยึดน้ำของอนุภาคดินโดยทั่ว ๆ ไป จะใช้แรงดึงที่ 1/3 บรรยากาศ และ 15 บรรยากาศ ค่าการดูดยึดน้ำที่แรงดึง 1/3 บรรยากาศ แทนค่าระดับความชื้นในดินที่มีความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) ส่วนค่าการดูดยึดน้ำใช้แรงดึง 15 บรรยากาศ แทนค่าระดับความชื้นที่พืชเหี่ยวอย่างถาวร (permanent wilting point , PWP) โดยปกติค่าเหล่านี้แสดงหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ผลต่างของระดับความชื้นที่ความจุในสนาม กับระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร จะเป็นปริมาณความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การวิเคราะห์ความชื้นในดินจะทำให้ทราบว่า ปริมาณน้ำในดินขณะทำการเก็บตัวอย่างดินนั้นมีเพียงพอที่พืชนำไปใช้ประโยชน์หรือไม่ โดยปกติถือว่าปริมาณน้ำในดินควรอยู่ในช่วง 50-100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินนั้น ๆ ตลอดฤดูเติบโตของพืช ดังนั้นค่าความชื้นของดินจึงมีความสำคัญต่อการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องทดให้แก่ดินหรือระบายออกจากดิน

ดังนั้น ถ้าเราไม่ได้วิเคราะห์ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง เราสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available moisture content) กับอนุภาคดินขนาดต่าง ๆซึ่งรวบรวมจากผลวิเคราะห์ดินของประเทศไทยที่ส่งเข้ามาวิเคราะห์ดังรูปที่ 2 พบว่าดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (SiCL) มีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด (8-11%) รองลงมาคือ ดินร่วนเหนียว (CL) ดินเหนียว (C) มีปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 6-8% และ 4-6% ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปความสามารถของดินด้านกายภาพได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available moisture content) กับอนุภาคดินขนาดต่าง ๆ

ที่มา : เล็ก มอญเจริญ (ไม่ระบุปีพิมพ์)

ตารางที่ 2 ลักษณะและสมบัติดินทางกายภาพตามชนิดของเนื้อดิน

เนื้อดิน	ลักษณะและสมบัติดินทางกายภาพ
ดินทราย	ดินอุ้มน้ำได้น้อย ดินจะแห้งเร็ว ดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี การระบายน้ำดีมากและเร็วเกินไปจนพืชไม่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ทัน
ดินร่วน	ดินอุ้มน้ำได้ดี น้ำในดินมีประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด พืชสามารถดูดใช้น้ำได้ง่าย การซาบซึมน้ำและการถ่ายเทอากาศดี
ดินเหนียว	น้ำในดินเป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อยกว่าดินร่วน เพราะน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กในดินเหนียว ซึ่งจะถูกดินดูดยึดไว้ได้มากด้วยแรงแคปปิลารี่ (Capillary force) และช่องว่างมีขนาดเล็ก ทำให้รากพืชที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่สามารถชอนไชเข้าไปดูดน้ำในช่องว่างได้ การถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำเลว

การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินเป็นสมบัติที่มีผลโดยตรง และโดยอ้อมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช ได้แก่ ปฏิกิริยาดิน ความต้องการปูน ความเค็มของดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารพืชในดิน ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุปกติแล้วในการวิเคราะห์ดิน เพื่อการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินสำหรับเกษตรกรจะวิเคราะห์เฉพาะธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองบางธาตุเท่านั้น แต่ในบางกรณีก็จำเป็นต้องวิเคราะห์จุลธาตุด้วย ส่วนรายการวิเคราะห์สำหรับนักวิชาการแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์และโครงการวิจัย

ปฏิกิริยาของดิน (Soil pH)

ปฏิกิริยาของดินหรือความเป็นกรด-ด่างของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก เพราะว่าความเป็นกรด-ด่างของดินจะมีอิทธิพลต่อการละลายของธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ในดินโดยเฉพาะธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อยเกือบทั้งหมดจะละลายออกมาได้มากเมื่อดินมีสภาพเป็นกรด pH ประมาณ 5.0-6.5 เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน ยกเว้นโมลิบดีนัม ละลายได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นด่าง และถ้า pH ต่ำกว่า 5.0 ธาตุบางชนิด เช่น เหล็ก อะลูมินั่ม และแมงกานีส จะละลายออกมามากจนอาจเป็นพิษ (Toxic) หรือทำอันตรายต่อพืชที่ปลูกและถ้าเป็นดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัดที่มีธาตุกำมะถันสูงหรือมีสารประกอบไพไรท์ (FeS_2) ด้วยแล้ว จะมีความเป็นกรดสูงกว่าดินกรดชนิดอื่น

การวัดปฏิกิริยาดิน

การวัด pH ของดินเป็นสิ่งที่ปฏิบัติกันมากที่สุดในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทั่ว ๆไป แม้ค่า pH โดยตัวของมันเองมีความหมายน้อยมาก เพราะบอกแต่เพียงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในระบบเท่านั้น ไฮโดรเจนไอออนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่พืชไม่ได้ดูดกินเข้าไปจากดิน จะได้จากไฮโดรเจนอะตอมที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำ เมื่อน้ำเข้าร่วมในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นไฮโดรเจนจึงไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย แต่ pH ควบคุมปริมาณการละลายได้ของอาหารธาตุหลายชนิดในดิน และนอกจากนี้ยังมีผลทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะ pH ควบคุมกิจกรรมของขบวนการต่าง ๆ ทางด้านสรีระวิทยาของพืชด้วย ดังนั้นการที่ทราบถึง pH ของดินก็พอจะประเมินข้อมูลบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชและปริมาณธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในสารละลายในดินได้บ้าง

ในการวัด pH วัดออกมาเป็นค่า pH แทนการบอกเป็นค่าความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- ในสารละลาย

$$pH = - \log [H^+]$$

เมื่อ log = logarithm ฐาน 10

$[H^+]$ = ความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลายมีหน่วยเป็น mole/l หรือ molar (M)

ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ผลคูณของความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- จะมีค่าคงที่คือ เท่ากับ 10^{-14} M ดังนั้นในการวัดความเป็นกรดและด่างของสารละลาย จึงนิยมวัดเฉพาะความเข้มข้นของ H^+

ดินที่มี pH > 7 มี $[H^+] > [OH^-]$ ดินจะเป็นดินกรด

ดินที่มี pH = 7 มี $[H^+] = [OH^-]$ ดินจะเป็นกลาง

ดินที่มี pH < 7 มี $[H^+] < [OH^-]$ ดินจะเป็นดินด่าง

ดินกรด

ดินที่มีสมบัติเป็นกรดมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ ดินกรด (acid soil) ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัด (acid sulfate soil) และดินอินทรีย์หรือที่เรียกกันว่า ดินพรุ (organic soil) การเกิดดินกรดส่วนใหญ่เป็นผลกระทบของดินผ่านกระบวนการชะล้างพังทะลายของดินอย่างรุนแรงและเป็นเวลานานหรือโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินถูกใช้ประโยชน์ตลอดเวลา ทำให้ธาตุประจุบวกที่เป็นด่างถูกชะล้างไปมาก จึงทำให้มีปริมาณต่ำ สำหรับดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่เคยมีน้ำทะเลท่วมมาก่อนหรือมีน้ำทะเลท่วมถึง ดังนั้น ดินเปรี้ยวจัดจึงเกิดจากตะกอนน้ำทะเลหรือตะกอนน้ำกร่อยที่มีสารประกอบซัลไฟด์ในรูปของแร่ไพไรท์ (FeS_2) เป็นวัตถุต้นกำเนิด ซึ่งสารประกอบไพไรท์นี้เมื่อถูกอากาศหรือมีออกซิเจนแทรกลงไปในดินจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารประกอบจาโรไซท์ {Jarosite, $KFe_3(SO_4)_2$} สีเหลืองฟางข้าวอยู่ในชั้นหน้าตัดดิน ในปฏิกิริยาออกซิเดชั่นนี้จะมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นด้วย จึงทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก pH ของดินบนมีค่า 3.0-4.5 หรือต่ำกว่า และ pH ของดินล่างส่วนใหญ่จะต่ำกว่าดินบน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของสารประกอบไพไรท์มากกว่า สำหรับดินอินทรีย์เกิดจากการทับถมเน่าเปื่อยผุพังตามธรรมชาติของพืชพรรณต่างๆ ที่ขึ้นอยู่ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขังตลอดปีเป็นเวลานานมาก มีการสลายตัวอย่างช้าๆ และปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาตลอดเวลา เมื่อนำเศษพืชที่อยู่ในดินไปวิเคราะห์ C^{14} นั้นพบว่ามีอายุมากกว่า 4,000 ปี (Paul และคณะ,1997) ดินอินทรีย์ที่พบมีชั้นหนาตั้งแต่ 40 เซนติเมตรไปจนถึงเกินกว่า 10 เมตร ดินอินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในที่ลุ่มตามชายทะเลซึ่งพบมากที่จังหวัดนราธิวาสซึ่งบางพื้นที่จะมีดินเปรี้ยวจัดแฝง (potential acid sulfate soil) เกิดอยู่ชั้นล่าง ดังนั้น ถ้ามีการระบายน้ำออกจนถึงชั้นดินเปรี้ยวจัดแฝงนี้ จะทำให้เกิดกรดกำมะถันขึ้น และดินจะมีความเป็นกรดอย่างรุนแรง จะทำให้เกิดปัญหาซ้ำซ้อนขึ้น โดยมีทั้งเป็นดินเปรี้ยวจัดและดินอินทรีย์ซึ่งเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้

ความเป็นกรดของดิน คือ เมื่อดินมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนมาก ปกติแล้วจะไม่เป็นพิษกับพืชโดยตรงดังกล่าวแล้ว แต่ดินมี pH ต่ำมาก (ต่ำกว่า 3.0) เมื่อรากสัมผัสกับความเป็นกรดนานๆ การแตกแขนงของรากจะถูกยับยั้งและถ้าเป็นกรดรุนแรงมากปลายรากอาจจะตายได้ เจริญและคณะ (2540) และเจริญ (2541) ได้รายงานอันตรายจากความเป็นกรดรุนแรงของดินดังนี้

1. ธาตุบางชนิดละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืช

1.1 ธาตุอะลูมินั่ม อะลูมินั่มละลายได้ดีเมื่อดินมี pH ต่ำ (pH < 4.5) ปริมาณ อะลูมินั่มที่ละลายได้จะมีค่าเป็นปฏิภาคกลับกับค่า pH คือ เมื่อ pH ลดลง 1 หน่วย ปริมาณอะลูมินั่มที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้น 10 เท่า ความเข้มข้นของอะลูมินั่มในสารละลายดิน ถ้ามีมากเกินกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากพืชโดยตรง จะทำลายระบบราก โดยรากจะสั้นอ้วนหรือบวมงอ และอะลูมินั่มที่สะสมในรากจะยับยั้งการดูดกินและการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสไปสู่ส่วนยอด

1.2 ธาตุเหล็ก เมื่อดินมี pH ต่ำกว่า 5.0 เหล็กจะถูกละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินมากขึ้น จะพบอาการเป็นพิษของเหล็กต่อพืชที่ปลูกในที่ลุ่มสภาพน้ำขัง โดยเฉพาะต่อข้าวที่ปลูกมากกว่าพืชที่ปลูกในที่ดอน สารละลายดินที่มีเหล็กมากกว่า 50 ppm จะทำให้ข้าวชะงักการแตกกอ และถ้าดินที่ปลูกข้าวมีปริมาณเหล็กสูงถึง 300-400 ppm ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษ โดยใบล่างจะมีจุดสีน้ำตาลแดงเล็ก ๆ อยู่ปลายใบแล้วค่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตลอดใบก่อนที่จะแห้งเหี่ยวไป สุรชัย (2537) รายงานว่า การเจริญเติบโตของข้าวชะงักการแตกกอ มีรากน้อย มีสีน้ำตาลดำ ให้ผลผลิตต่ำและมีเปอร์เซนต์เมล็ดลีบสูง

1.3 แมงกานีส แมงกานีสละลายได้ดีในดินมี pH ต่ำ (<5.5) และเมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 5.0 แมงกานีสจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้สูงมากหลายเท่าตัว จนเป็นพิษต่อพืช ปริมาณที่เหมาะสมของแมงกานีสควรอยู่ระหว่าง 1-4 ppm เท่านั้น เมื่อพืชปลูกอยู่ในดินที่มีแมงกานีสสูง ๆ ข้าวจะชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระ แกรน ข้าว และพืชอื่น ๆ บนแผ่นใบจะเกิดจุดสีน้ำตาลเพราะการกระจายของโคโรฟิลด์ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการสะสมของแมงกานีสเป็นแห่ง ๆ และขอบใบจะมีสีขาวซีด หรือบางชนิดจะมีสีขาวระหว่างเส้นแขนงใบ

1.4 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สำหรับดินเปรี้ยวจัดในสภาพน้ำขังที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดมากขึ้น มีผลทำให้เพิ่มก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้รากอ่อนแอ เกิดโรคง่าย เน่าเปื่อยและเป็นสาเหตุให้พืชตายได้

2. การขาดธาตุอาหารพืช

สำหรับดินกรด การขาดธาตุอาหารของพืชเนื่องจากความเป็นกรดนั้นเป็นที่ทราบกันโดยทั่ว ๆไป ที่สำคัญ คือ

2.1 การขาดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดินเปรี้ยวจัดมีความเป็นกรดสูงมาก จนทำให้เหล็กและอะลูมินั่มละลายออกมามาก ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสในดิน เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเรียกกันว่าฟอสฟอรัส ถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินั่ม ดังนั้นดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัดส่วนใหญ่แล้วจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมาก และถ้าปลูกพืชในดินชนิดนี้จำเป็นจะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงดินโดยการใส่วัสดุหินปูน ล้างความเป็นกรด และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพราะถ้าไม่ใส่แล้วพืชจะแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสอย่างเห็นได้ชัด ถ้าเป็นข้าว การแตกกอจะน้อยลง ต้นเตี้ยแคระ ใบจะสีเขียวเข้มตั้งตรง ถึงแม้ว่าดินนั้นจะมีฟอสฟอรัสเพียงพอ

2.2 การขาดธาตุอาหารพืชประจุบวกที่เป็นด่าง ดินกรดของประเทศไทยเป็นดินกรดเขตร้อนชื้น มีดินที่เป็นดินทราย ดิน laterite มีการชะล้างพังทะลายสูง เคยผ่านการชะละลายโดยน้ำฝนไหลซึมผ่านดินเป็นเวลานาน ประจุบวกที่เป็นด่าง (basic cation) ต่าง ๆ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+}, K^{+} และ Na^{+} ที่ดูดซับอยู่ทั่วไปของอนุภาคดินเหนียวจะถูกชะละลายซึมผ่านดินสูญหายไป และเมื่อน้ำฝนไหลซึมผ่านดินจะละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในดินเกิดเป็นกรดคาร์บอนิค ซึ่งทำให้น้ำไหลซึมผ่านดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541) ดินกรดชนิดนี้จะขาดแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จำเป็นที่จะต้องปรับ pH ของดินเพิ่มขึ้น ลดความเป็นกรดของดิน และเพิ่ม

แคลเซียมโดยการใส่หินปูน และใส่หินโดโลไมต์ เพื่อเพิ่มทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นต้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่าพืชขาดธาตุใดมากด้วย

ผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่นร่วมกับนักวิชาการกองปฐพีวิทยา (Motomura และคณะ, 1984) ได้เก็บตัวอย่างดินนาชั้นบน วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ pH แต่ละภาค (ตารางที่ 3) พบว่า ดินภาคใต้มี pH ต่ำสุด (ดินเปรี้ยวจัด) ถัดมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปฏิกิริยาของดิน (pH) ในดินนาชั้นบนของประเทศไทยเฉลี่ยตามภาคต่าง ๆ

ภาค	ปฏิกิริยาของดิน (pH)
ภาคกลาง	5.5
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	5.0
ภาคเหนือ	5.7
ภาคใต้	4.9

ที่มา : Motomura และคณะ (1884)
อ้างโดย : ปรีดา (2532)

สำหรับดินไร่เช่นเดียวกัน ผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่นร่วมกับนักวิชาการ กองปฐพีวิทยา (Ogarwa และคณะ, 1980) ได้ศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินไร่ของประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างดินบนมาวิเคราะห์แต่ละกลุ่มดิน พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นกรด และบางพื้นที่มีสภาพเป็นกรดแก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีเนื้อดินหยาบ และพบมากในภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางส่วนของภาคเหนือ (ตารางที่ 4) ดังนั้น สำหรับพืชไร่และพืชผักหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้างฟ่าง ฝ้าย ถั่วฝักยาว มะเขือเทศ กระหล่ำดอก พริก ฟักทอง ซึ่งต้องการดินที่เป็นกรดเล็กน้อย เกษตรกรจำเป็นต้องใส่ปูนเพื่อปรับ pH ตามความต้องการของพืช และเพื่อลดปัญหาความเป็นพิษของ อะลูมินั่มและแมงกานีส อีกทั้งเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลัก นอกจากนี้การใส่หินปูนยังเป็นการเพิ่มแคลเซียมให้กับดิน แต่สำหรับดินที่มีแมกนีเซียมน้อยด้วยแล้ว ถ้าใส่หินปูนพวกโดโลไมท์ ก็จะเพิ่มธาตุแมกนีเซียมอีกด้วย

ตารางที่ 4 ปฏิกิริยาของดิน (pH) ในดินไร่ชั้นบนของประเทศไทยเฉลี่ยตามกลุ่มดิน

กลุ่มดิน	ปฏิกิริยาของดิน (pH)
Reddish Brown Lateritics	5.1
Gray Podzolics	5.2
Low Humic Gley	5.3
Red Yellow Podzolics	5.4
Reddish Brown Latosols	5.5
Red Yellow Latosols	5.7
Regosols	6.0
Brown Forest	6.3
Non Calcic Brown	6.4
Alluvial	7.0
Rendzinas	7.5
Grumosols	7.9

ที่มา : Ogarwa และคณะ, (1980)
อ้างโดย : ปรีดา (2532)

ดินด่าง

ดินด่างเป็นดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นด่าง เป็นตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถม เช่น หินปูนมาร์ล ได้แก่ ชุดดิน บ้านหมี่ โคกกระเทียมและลพบุรี เป็นต้น ดินประเภทนี้จะมีประจุบวกเป็นด่างแลกเปลี่ยนได้สูงและอาจมีแคลเซียม และหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตปะปนอยู่ด้วย ปกติแล้วการทดสอบดินประเภทนี้จะใช้กรดเกลือเจือจางประมาณ 0.1 โมลาร์หยดลงไปจะเกิดฟอง ถ้ามีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงจะเรียกดินชนิดนี้ว่า ดินแคลคาเรียสหรือดินเนื้อปูน (calcareous soils) ซึ่งเกิดจากบริเวณดังกล่าวมีปริมาณฝนตกน้อยแห้งแล้ง แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตไม่ถูกชะละลาย จึงสะสมในดิน หรือเกิดจากระดับน้ำใต้ดินสูง ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตละลายอยู่แล้วจะขึ้นมาสะสมในดินบนเมื่อน้ำผิวดินระเหยออกไป แคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกน้ำนำขึ้นมาแทนในดินบน โดย capillary rise และตกตะกอน คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) รายงานว่าปกติแล้วดินด่างประเภทนี้จะมี pH สูงเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของประจุบวกแลกเปลี่ยนได้ หรือเกลือบางชนิดที่เป็นด่าง เช่น มี $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ ในปูนมากกว่า $NaCO_3$ ทำให้ pH ของดินไม่สูงกว่า 8.2 เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของ $CaCO_3$ หรือ $MgCO_3$ มักถูกจำกัดเนื่องจากสมบัติที่ละลายน้ำได้ยาก แต่ถ้ามี Na_2CO_3 ที่ละลายได้มากกว่า pH ของดินจะอยู่ในช่วง 10.0 ถึง 10.5

กรมพัฒนาที่ดิน โดยกองสำรวจจำแนกดินได้แบ่งระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ระดับ	ค่าของ pH
ปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก	<4.5
ปฏิกิริยาเป็นกรดจัด	4.5-5.0
ปฏิกิริยาเป็นกรดแก่	5.1-5.5
ปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลาง	5.6-6.0
ปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย	6.0-6.5
ปฏิกิริยาเป็นกลาง	6.6-7.3
ปฏิกิริยาเป็นด่างอย่างอ่อน	7.4-7.8
ปฏิกิริยาเป็นด่างปานกลาง	7.9-8.4
ปฏิกิริยาเป็นด่างแก่	8.5-9.0
ปฏิกิริยาเป็นด่างแก่มาก	9.0

พืชที่ปลูกแต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน โดยปกติแล้ว พืชส่วนใหญ่ชอบดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) และในดินชนิดเดียวกัน พืชชนิดหนึ่งอาจจะเจริญเติบโตได้ดี แต่พืชอีกชนิดหนึ่งอาจแสดงการขาดธาตุก็ได้ หรือในดินชนิดเดียวกัน พืชต่างชนิดกันอาจแสดงอาการขาดธาตุแตกต่างกันได้ เช่น กรมวิชาการเกษตรได้ทดลองพบว่า ถั่วลิสง เมื่อปลูกในดินเหนียวสีดำชุดตาคลีที่มีค่า pH 7.5 จะมีอาการใบเหลืองซีดเนื่องมาจากการขาดธาตุเหล็ก แต่ถ้าเมื่อปลูกข้าวโพดในดินชุดเดียวกัน จะแสดงอาการขาดธาตุสังกะสีอย่างเห็นได้ชัด (ปรีดาและคณะ, 2532) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าค่า pH ของดินสามารถใช้ประเมินสถานะของธาตุอาหารในดินได้อย่างคร่าว ๆ pH ของดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดนั้น ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงช่วง pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดพืช	pH ที่เหมาะสม
ธัญพืช	
ข้าว	5.5-6.5
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	5.5-7.0
ข้าวสาลี	6.0-7.5
พืชตระกูลถั่ว และพืชน้ำมัน	
ถั่วเหลือง ถั่วเขียว	5.0-6.5
ถั่วลิสง	5.3-6.5
ถั่วฝักยาว	5.5-6.7
ถั่วลันเตา	5.5-6.0
งา	5.8-8.0
ทานตะวัน	6.5-8.5
ปาล์มน้ำมัน	5.0-6.5
พืชผัก	
แครอท หัวหอม	5.7-6.5
กระหล่ำดอก แตงกวา ฟักทอง พริก เผือก ขมิ้น	5.5-6.5
มันฝรั่ง	5.0-5.5
มันเทศ	5.0-7.5
หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดหัว กระเจี๊ยบเขียว	6.0-7.0
มะเขือเทศ	5.5-6.7
ผักกาดหอม	6.0-6.9
กะหล่ำปลี	6.0-7.5
ถั่วฝักยาว	5.5-6.7
มะเขือ	5.5-6.0
พืชชนิดอื่น ๆ	
ส้มเขียวหวาน มะนาว	5.5-6.0
มะม่วง	5.5-6.5
กาแฟ แคนตาลูป	6.0-6.5
ส้มโอ	5.5-7.5
กล้วย	6.0-7.0
มะพร้าว	6.0-7.0
โกโก้	4.5-7.0

ตารางที่ 6 (ต่อ) แสดงช่วง pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดพืช	pH ที่เหมาะสม
ชา	4.0-6.0
ฝ้าย	5.5-6.5
ปอกระเจา	5.8-6.4
แตงโม	5.6-4.9
ยาสูบ	5.3-5.8
มันสำปะหลัง อ้อย	6.0-7.5
แคนตาลูป	6.0-6.5
สับปะรด	4.0-5.5
องุ่น ส้ม	6.5-7.5
พืชยืนต้น	
ยางพารา	4.0-7.5

ที่มา : FAO (1987) ; คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) ; เจริญ (2541) และ ปรีดา และคณะ (2532)

ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับระดับธาตุอาหารพืชในดินและการเจริญเติบโตของพืช

สภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก เมื่อดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดมาก ๆ หรือด่างมาก ๆ พืชจะไม่เจริญเติบโต หรือไม่สามารถขึ้นได้ หรืออาจจะตายได้ การศึกษาเกี่ยวกับความเป็นกรดเป็นด่างกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นมีมากมาย ซึ่งพบว่า อิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) นั้น ไม่ใช่มาจากความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลายดินโดยตรง แต่เป็นเพราะเป็นตัวควบคุมการเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน และธาตุที่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวข้างต้นมากกว่า ดังนั้นสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินจึงมีผลทางอ้อมในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน คือ ระดับธาตุอาหารพืชในดิน ดินที่เป็นกรดจัดมาก หรือเป็นกรดมาก ธาตุอาหารพืชบางธาตุเปลี่ยนแปลงไป อาจละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืช เช่น เหล็ก อะลูมินั่มและแมงกานีส ดังได้กล่าวแล้วในดินกรด หรือเมื่อดินเป็นดินด่างก็จะมีโซเดียม แคลเซียมหรือแมกนีเซียมสูง และทำให้พืชดูดกินโพแทสเซียมได้น้อยลง เป็นต้น ซึ่งผลของความเป็นกรดเป็นด่างต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร สรุปได้ดังนี้

1. ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

1.1 ไนโตรเจน กระบวนการไนทริฟิเคชั่น (nitrification) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น NH_3 หรือ NH_4^+ จะถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรต์ และไนไตรต์ที่เกิดขึ้นไม่มีโอกาสถูกสะสมในดินได้นาน จะถูกเปลี่ยนได้เป็นไนเตรททันที แต่ถ้าสะสมใน

สภาพไนไตรท์จะเป็นพิษต่อพืช ปกติแล้วขบวนการไนทริฟิเคชั่นนี้จะเกิดขึ้นได้ดีใน pH มากกว่า4.5 แต่ถ้าต่ำกว่านี้ กระบวนการนี้จะหยุดชะงักทันที เนื่องจาก nitrifying bacteria ค่อนข้างไวต่อสภาพกรดด่างมาก ถ้า pH มากกว่า 7.5 กระบวนการก็จะช้าและหยุดชะงักได้ pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-7.5

1.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินขึ้นอยู่ pH ของดิน เมื่อดินมี pH ต่ำมาก คือ เป็นกรดมาก ๆ เหล็ก และ อลูมินั่มที่ละลายออกมามากจะตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมินั่มฟอสเฟตที่ละลายยาก พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการละลายของฟอสเฟตที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 6-7 ซึ่งฟอสเฟตจะถูกตรึงน้อยที่สุด เมื่อดินมี pH สูงกว่านั้น ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้จะลดลง เนื่องจากฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยทำปฏิกิริยากับแคลเซียม แมกนีเซียม เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก เช่นแคลเซียมไตรฟอสเฟต ($Ca_3 PO_4$) เป็นต้น

1.3 โพแทสเซียม โพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กับ pH ของดินเช่นเดียวกับธาตุอาหารอื่น การใช้ปูนกับดินกรดเพื่อปรับระดับ pH ของดินนั้นพบว่า โพแทสเซียมจะถูกชะละลายน้อยลง เนื่องจาก Ca^{2+} จากปูนไปลดความเป็นกรดของดิน โดยไล่ที่ H^+ และ Al^{3+}ได้ง่ายกว่า K^+ ถูกดูดซับอยู่ที่อนุภาคดิน ดังนั้น โพแทสเซียมที่ถูกชะละลายไปโดยน้ำจึงน้อยลง (ตารางที่ 7) แต่ถ้าใส่ปูนมากเกินไปทำให้เกิดการขาดโพแทสเซียมได้ เพราะแคลเซียมจากปูนจะเข้าไปแทนที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนในดิน และถูกชะละลายไป จึงเหลืออยู่ในดินน้อย ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องความต้องการปูน

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่ถูกชะละลายกับ pH ของดิน และอัตราร้อยละอิ่มตัวเบส (% base saturation)

pH ของดิน	อัตราร้อยละอิ่มตัวเบส (% base saturation)	K แลกเปลี่ยนได้ที่ถูกชะละลาย (% ของ K ทั้งหมด)
4.83	28	70
5.30	40	49
5.63	50	26
7.03	72	16

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541)

2. แคลเซียม และแมกนีเซียม

ดินที่เป็นกรดอย่างรุนแรง ไม่รวมดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีแคลเซียมและแมกนีเซียมจากตะกอนทะเล จะมีแคลเซียมและแมกนีเซียมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจะถูกชะละลายลงไปสู่ดินล่างหรือออกไปจากดินได้ง่าย เมื่อดินมี pH 5.5-8.5 ปกติแล้ว ระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมจะมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้า pH ของดินต่ำหรือสูงกว่านี้ แคลเซียมและแมกนีเซียมอาจจะไม่เพียงพอก็ได้ ดินที่มี pH สูงกว่า 8.5 ปริมาณแคลเซียมใน

ดินโดยมากจะต่ำ เนื่องจากประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ส่วนใหญ่จะเป็นโซเดียม ซึ่งถ้ามีร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (ESP>40%) นอกจากพืชจะได้รับพิษจากการมีโซเดียมมากเกินไปแล้ว พืชยังขาดแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วย

3. จุลธาตุอาหาร (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และโบรอน)

จุลธาตุอาหารพืชในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชในปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับ pH ของดิน ดังได้กล่าวแล้ว

3.1 เหล็กจะละลายง่ายมากเมื่อดินมี pH ต่ำ (<pH 5.0) เมื่อดินมี pH สูงขึ้น ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ก็จะลดลง ดังนั้น ในดินที่มี pH สูง เช่น ชุดดินลพบุรี ซึ่งมี pH ประมาณ 7.2 พืชที่ปลูกจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แต่ส่วนใหญ่แล้วในดินจะมีเหล็กเพียงพอต่อการเจริญเติบของพืชถ้าดินไม่ใช่ดินทรายและดินเนื้อปูน

3.2 แมงกานีสละลายได้ง่ายเมื่อดินเป็นกรด ถ้าดินมีแมงกานีสมากอาจเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก เช่นเดียวกับเหล็ก เมื่อ pH ของดินสูงขึ้น ความสามารถในการละลายได้ลดลง และจะน้อยมากเมื่อ pH ใกล้เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ในดินที่มี pH 6.5 ขึ้นไป อาจจะเกิดปัญหาการขาดแมงกานีส แต่ปกติแล้วถ้าไม่ใช่ดินทรายซึ่งมีปริมาณแมงกานีสต่ำ ปริมาณแมงกานีสจะเพียงพอ ถึงแม้ว่า pH ของดินจะเป็นกลางก็ตาม

3.3 สังกะสี ละลายได้ง่ายเมื่อดินเป็นกรด และมี pH ต่ำมาก แต่เมื่อ pH ของดินสูงขึ้น สังกะสีในดินจะละลายน้ำได้น้อยลงเมื่อ pH ของดิน 6.5 แต่เมื่อ pH ของดินสูงขึ้นมากกว่า 7.0 สังกะสีจะเปลี่ยนสภาพจากไอออนบวกมาเป็นไอออนลบได้ คือ กลายเป็น Zincate ion ในกรณีดังกล่าวนี้ ถ้าดินเป็นด่างมีแคลเซียมมาก สังกะสีจะอยู่ในรูปของ Sodium Zincate ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำง่าย พืชจะนำไปใช้ได้ง่าย (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

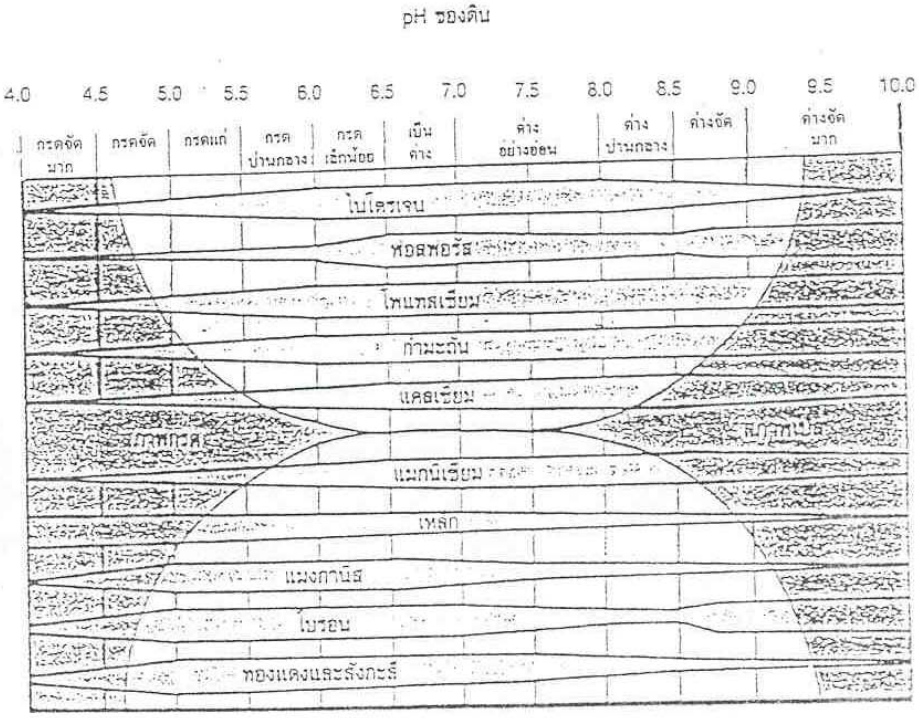
3.4 ทองแดงละลายน้ำได้ง่ายเมื่อดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด และละลายยากขึ้นเมื่อ pH เป็นกลางหรือเป็นด่าง ถึงแม้ว่าความเป็นประโยชน์ของทองแดงจะเกี่ยวข้องกับระดับของ pH แต่ไม่มีผลรุนแรงถ้าดินนั้นมีทองแดงเพียงพอ แต่ถ้ามีทองแดงอยู่ในดินน้อย พืชก็อาจจะขาดทองแดงได้ สำหรับดินอินทรีย์นั้น ข้าวแสดงอาการขาดทองแดงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีเมล็ดลีบมาก พจนีย์ และคณะ (2536) รายงานว่า จำเป็นจะต้องใส่ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ จำนวน 6 กิโลกรัมต่อไร่ (น้ำหนักดินอินทรีย์ชั้นบน 48,000 กิโลกรัมต่อไร่) เพื่อทำให้ข้าวที่ปลูกมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลง เนื่องจากทองแดงช่วยสร้างเมล็ด

3.5 โบรอน เมื่อดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง โบรอนจะละลายน้ำได้ยาก ดังนั้นเมื่อมีการใส่ปูนเพื่อแก้ไขสภาพความเป็นกรดของดิน จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของโบรอนลดน้อยลง และเมื่อมีปริมาณของแคลเซียมเพิ่มขึ้น พืชดูดกินแคลเซียมเข้าไปมากจะทำให้พืชมีความต้องการโบรอนมากตามไปด้วย ดังนั้น ในดินที่ใส่ปูน (แคลเซียม) อาจจำเป็นจะต้องเพิ่มโบรอนด้วย จึงจะทำให้ธาตุอาหารเกิดความสมดุลกัน

3.6 โมลิบดีนัม โมลิบดีนัมจะละลายน้ำได้ดีเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ดังนั้น เมื่อดินเป็นกรดมี pH ต่ำมักจะแสดงอาการ

ขาดโมลิบดีนั่ม โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว การที่จะให้โมลิบดีนั่มเป็นประโยชน์มากที่สุดจำเป็นจะต้องใส่ปูนเพื่อปรับระดับ pH ให้เป็นกลางและเหมาะสมกับพืชที่ปลูกด้วย

ดังนั้น การที่จะให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาให้พืชใช้ประโยชน์มากที่สุด จำเป็นที่จะต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของดิน กับระดับของธาตุอาหารพืชในดินที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินอนินทรีย์ (mineral soils) และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

ที่มา : ปรับปรุงจากคณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541)

เมื่อเราทราบแล้วว่าดินที่เราวิเคราะห์นั้นเป็นดินกรดหรือดินด่าง โดยวินิจฉัยจาก pH ของดิน ถ้าดินมี pH ต่ำมากและอยู่ในที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย หรืออยู่ตามชายฝั่งทะเลในภาคตะวันออกและภาคใต้ จะเป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัด แต่ถ้าอยู่นอกพื้นที่ดังกล่าวอาจเป็นดินกรดธรรมดาที่เกิดจากการชะละลายมานาน สำหรับดินมี pH สูงและไม่มีเกลืออยู่ในปริมาณมาก ก็สามารถวินิจฉัยได้ว่าเป็นดินด่าง ซึ่งมีแนวทางในการปรับปรุงดังนี้

1. <u>การปรับปรุงดินกรด และดินกรดจัด</u>

1.1 <u>ดินกรด</u> การปรับปรุงดินกรดซึ่งมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง มีทั้งเป็นพื้นที่ลุ่ม ที่ดอน และที่ราบต่ำ ดินที่มีการระบายน้ำเลว มีน้ำขังผิวดิน 3-4 เดือนในช่วงฤดูฝน อาจใช้ประโยชน์ในการทำนาได้ ขึ้นกับเนื้อดินซึ่งส่วนใหญ่ค่อนข้างเป็นทราย สามารถ

กักเก็บน้ำเพียงพอต่อการปลูกข้าวตลอดฤดูหรือไม่ อาจจะพบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำเมื่อฝนทิ้งช่วง ดินนี้จะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่งเนื่องมาจากอินทรียวัตถุต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ ทำให้ปริมาณธาตุอาหารแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมต่ำด้วย จึงควรมีการปรับปรุงดังนี้

1.1.1 การปรับสภาพพื้นที่ ถ้าต้องการใช้ประโยชน์พื้นที่ในการทำนาจะต้องดูว่าพื้นที่นั้นมีความลาดเทเพียงใด ถ้ามีความลาดเทน้อย ทำการแก้ไขปรับพื้นที่ให้น้ำขังในกระทงนาให้สม่ำเสมอ หรืออาจทำร่องน้ำระหว่างแปลงนา เพื่อให้มีน้ำเพียงพอ ไม่ให้ขาดน้ำได้

1.1.2 การใส่ปูน เพื่อแก้ไขความเป็นกรดของดิน โดยการใส่ปูนขาว ปูนมาร์ล หินปูนฝุ่น หรือวัสดุหินปูนอย่างอื่น อัตราตามผลการวิเคราะห์ความต้องการปูนของดินกรดนี้ ข้อควรระวังสำหรับดินที่มีเนื้อดินเป็นทราย ควรลดอัตราปูน เพราะว่าดินทรายจะมีสมบัติ Low buffering capacity จะทำให้พบกับปัญหาสภาพเกินปูนได้ (รายละเอียดอยู่ในเรื่องความต้องการปูน)

1.1.3 การใส่อินทรียวัตถุ ดินกรดมีสมบัติทางกายภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนอกเหนือจากสมบัติทางเคมีไม่เหมาะสม เนื่องจากมีเนื้อดินส่วนใหญ่ค่อนข้างหยาบ ถึงหยาบ ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ประสบปัญหาเมื่อฝนทิ้งช่วง จะขาดแคลนน้ำ ดังนั้น จำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติทางกายภาพควบคู่กันไป โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุซึ่งผลที่ได้จะลดความรุนแรงของกรดให้น้อยลง เนื่องจากดินจะโปร่ง ร่วนซุย และเมื่อปูนแทนที่กรดจะสามารถล้างกรดได้ง่ายขึ้น และปลดปล่อยธาตุอาหารบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ชนิดและแนวทางการใช้ วรรณลดา (2543) แนะนำการใส่อินทรียวัตถุกับพืชต่าง ๆ ดังนี้

ชนิดปุ๋ยอินทรีย์	ตัน/ไร่	อัตราเมล็ด (กก./ไร่)
ปุ๋ยหมัก,ปุ๋ยคอก	1-2 (ข้าว) 1-3 (พืชไร่) 2-3 (ผัก) 20-50 กก./หลุม (ไม้ผล)	
ปุ๋ยพืชสด		
โสนอาฟริกัน โสนคางคก		5-7
ถั่วพร้า ถั่วเหลือง ถั่วพุ่ม ปอเทือง		8-10
ถั่วมะแฮะ - ปลูกพืชแซม		2-4
แคฝรั่ง - ปลูกพืชเป็นแถบ		5
พืชคลุมดิน		
ถั่วคุดซู ถั่วลาย ถั่วซีรูเลี่ยม และถั่วฮามาต้า		1-3
วัสดุคลุมดิน - ฟางข้าว	1.2 (คลุมเท่าไรก็ได้ ยิ่งมากยิ่งดี)	

1.2 ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดกำมะถัน (acid sulfate soil)

ดินประเภทนี้นิยมใช้ปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง การแก้ไขปรับปรุงดินเพื่อลดความเป็นกรดของดิน และลดความเป็นพิษที่เกิดจากเหล็ก และอะลูมินั่มที่ละลายออกมามากเกินไป สามารถทำได้หลายวิธีแล้วแต่ความเหมาะสม ดังนี้

1.2.1 การล้างดิน โดยการใส่น้ำขังดินระยะเวลาหนึ่งแล้วปล่อยน้ำทิ้งจะทำให้ความเป็นกรดของดินลดลง และทำให้เหล็กและอะลูมินั่มลดลง pH ของดินเพิ่มขึ้น วิธีการนี้ใช้ได้ดีมากถ้ามีเวลามากพอ และมีความจำเป็นมากสำหรับดินที่มีความเป็นความกรดสูง ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง (2540) รายงานผลการทดลอง ใช้น้ำล้างความเป็นกรดในดินเปรี้ยวจัด โดยการขังน้ำแล้วสูบออกพบว่า ในตำรับที่ขังน้ำนาน 4 สัปดาห์ แล้วสูบออก pH มีค่าสูงกว่าในตำรับอื่นๆ ที่มีการขังน้ำในระยะสั้นกว่า และการเปลี่ยนแปลงของค่าอะลูมินั่มก็ลดลงเป็นลำดับ จากในปีแรกมีค่า 4.4-5.0 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ลดลงเป็น 2.1-2.8 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ในปีที่ 6 ปริมาณเหล็กมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่มีค่าขึ้นลงบ้าง โดยในปีแรกมีค่าระหว่าง 202-289 ppm แล้วลดลงเป็น 224-227 ppm ในปีที่ 6 พบว่าปริมาณเหล็กและอะลูมินั่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด

1.2.2 การใส่ปูน นอกจากปูนจะเพิ่ม pH ของดิน ลดความเป็นกรดของดิน ลดปริมาณอะลูมินั่มที่เป็นพิษต่อพืชแล้ว ปูนยังเพิ่มแคลเซียมให้กับดินอีกด้วย และถ้าต้องการเพิ่มแมกนีเซียมด้วยก็สามารถใช้ปูนโดโลไมต์ที่มีแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบได้

1.2.3การขังน้ำ ในการปลูกข้าวจำเป็นต้องขังน้ำเพื่อปลูกข้าวในระยะเริ่มต้น และดินในสภาพน้ำขัง pH ของดินจะเพิ่มขึ้น

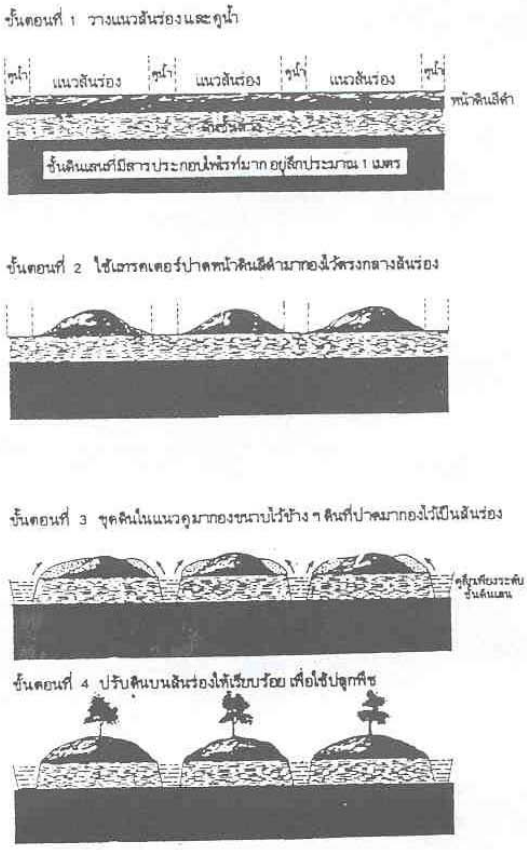
1.2.4 ถ้าดินนั้นมีเหล็กมากจนเป็นพิษต่อพืช การใส่ MnO_2 จะช่วยลดความเป็นพิษของเหล็ก

1.2.5เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินที่เป็นกรดจัด ซึ่งขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง ส่วนใหญ่ของปุ๋ย (บางครั้งมากถึง 90%) จะถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินั่ม พืชจะนำไปใช้ได้น้อยมาก (10%) ดังนั้น จำเป็นจะต้องปรับระดับ pH ของดินให้ถึงระดับที่พืชสามารถนำปุ๋ยฟอสเฟตไปใช้ได้ และจะเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทำให้เพิ่มผลผลิตเห็นได้ชัด

ปัจจุบันนี้เกษตรกรสามารถปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกพืชไร่และไม้ผลได้ โดยเฉพาะในภาคกลาง แต่การปลูกพืชไร่หรือไม้ผลจะประสบความสำเร็จได้จะต้องใช้วิธียกร่อง โดยการไถให้หน้าดินอยู่บนสันร่องแต่ต้องระวังอย่างยิ่ง อย่านำดินล่างมาไว้ด้านบนเนื่องจากดินล่างบางแห่งยังมีสารประกอบไพไรท์ซึ่งเมื่อเกิดออกซิเดชั่นแล้วให้กรดซัลฟูริก ทำให้ดินเป็นกรดอย่างรุนแรง ยากแก่การที่จะปรับปรุงโดยเฉพาะดินที่ยังมีสารประกอบไพไรท์อยู่ตื้น (< 1 เมตร) ซึ่งพบมากในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ (พจนีย์ และคณะ, 2530) ดังนั้น ในดินเช่นนี้จำเป็นจะต้องรักษาระดับน้ำในท้องร่องให้สูงกว่าระดับของไพไรท์ในดิน เพื่อป้องกันการเกิดกรดจากการออกซิเดชั่นดังกล่าว ดังรูปที่ 4, 5 และ 6 หลังจากนั้นจะต้องใส่ปูนบริเวณหลุมและดินที่ขุดไว้บนปากหลุมที่ปลูกไม้ผลตามผลการวิเคราะห์ความต้องการปูนของดินนั้น โดยคลุกปูนให้

เข้ากัน ทิ้งไว้ระยะหนึ่งประมาณ 1 เดือน ระหว่างนั้นต้องรดน้ำให้ดินชุ่มชื้นอยู่เสมอ ปูนจะทำปฏิกิริยาสะเทินกรด น้ำฝนหรือน้ำชลประทานจะชะละลายความเป็นกรดของดินออกไป เมื่อปฏิบัติเช่นนี้บ่อยเข้าและใช้เวลาชะละลายนานขึ้น ก็สามารถจะปลูกพืชต่าง ๆ ได้

1.2.6 สำหรับดินเปรี้ยวจัดที่ได้มีการใส่ปูนปรับปรุงดินแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการใส่อินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เพื่อช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เพราะว่าดินส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวจัด และเพื่อให้ดินมีความสามารถดูดซับธาตุอาหารมากขึ้น เช่นเดียวกันกับดินกรด วรรณลดา (2543) แนะนำดังตารางที่ 8



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการยกร่องสวนสำหรับดินเปรี้ยวจัด
ที่มา : เจริญ (2541)

รูปที่ 5 การปรับสภาพพื้นที่ยกร่องเพื่อปลูกผักหรือผลไม้
ที่มา : เจริญ (2541)

รูปที่ 6 การปรับสภาพพื้นที่โดยยกร่องและควบคุมระดับน้ำในร่อง
ที่มา : เจริญ (2541)

ตารางที่ 8 ชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กับพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์	ตัน/ไร่
ปุ๋ยหมัก	4-6 (ข้าว พืชไร่) 6-8 (พืชผัก)
	20-50 กก/หลุม (ไม้ผล)
ปุ๋ยคอก	2-3 (ข้าว พืชไร่) 3-5 (พืชผัก)
	20-50 กก/หลุม (ไม้ผล)

พืชคลุมดินและวัสดุคลุมดิน แนะนำเช่นเดียวกับดินกรด

2. <u>การปรับปรุงดินด่าง</u>

ประเทศไทยมีดินด่างไม่มากนัก แต่เราก็มีวัสดุที่มีสมบัติเป็นกรดไม่มากพอที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงดินด่าง โดยสะเทินฤทธิ์ด่าง ในพื้นที่การเกษตร วิธีที่เหมาะสมคือจะต้องเลือกพืชที่เหมาะสมและแก้ไขปัญหาการขาดธาตุอาหารพืชบางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีสพร้อมกับต้องแก้ไขสภาพทางกายภาพของดินที่มีปัญหา คือ เนื้อดินเหนียวหรือแข็งมาก เมื่อแห้งจะแตกระแหง และสภาพการระบายน้ำเลวถึงเลวมาก ดังนี้

2.1 พืชที่ชอบสภาพปูน ถ้าเป็นพื้นที่ลุ่มใช้ปลูกข้าวนาปีและนาปรังและปลูกพืชไร่ก่อนหรือหลังการปลูกข้าวในบางพื้นที่ ๆมีน้ำชลประทาน สามารถนำมาปลูกพืชบางชนิดที่ชอบสภาพปูนได้ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วลิสง งา เป็นต้น

2.2 การใส่ยิบซั่ม สำหรับดินด่างที่มีเปอร์เซนต์ของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก คือมีมากกว่า 15 และดินมี pH สูงคือระหว่าง 8.5-10 ซึ่งมีเกลือคาร์บอเนตของโซเดียม ดินชนิดนี้ส่วนใหญ่จะขาดแคลเซียมและแมกนีเซียม เนื่องจากตกตะกอน วิธีแก้ไขจำเป็นจะต้องใส่ยิบซั่ม ($CuSO_4.2H_2O$) เพื่อให้แคลเซียมแทนที่โซเดียม และต้องมีน้ำล้างโซเดียมที่เป็นพิษออกไปจากดินด้วย

2.3 การขาดธาตุอาหารพืช เมื่อปลูกพืชจะแสดงอาการขาดธาตุอาหารที่จำเป็นโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินจะลดลง เนื่องจากฟอสเฟตจะถูกตรึงเพราะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียม ตกตะกอน ละลายได้ยาก และพืชจะไม่สามารถดูดโพแทสเซียมได้ทั้ง ๆ ที่มีโพแทสเซียมมากพอ เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมและโซเดียมเป็นปฏิปักษ์กัน (antagonism) กล่าวคือ เมื่อดินมีโซเดียมสูง พืชจะดูดกันโพแทสเซียมน้อยลง ดังนั้นจำเป็นจะต้องเพิ่มโพแทสเซียมมากขึ้น เพื่อให้พืชดูดโซเดียมซึ่งเป็นพิษต่อพืชน้อยลง Moncharoen และ Tapamat (2000) ได้ทดลองปลูกพืชหลายชนิดในดินด่าง ดินเค็มด่างที่ไม่สามารถปลูกพืชได้ บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายพบว่า การปรับปรุงดินด้วยยิบซั่มอัตราตามความต้องการยิบซั่ม ร่วมกับปุ๋ยเคมี 21 กก. N /ไร่, 10 กก. P_2O_5 /ไร่, และ 100 กก. K_2O /ไร่ ทำให้ข้าวโพดได้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ และสามารถปลูกพืชอื่นได้ นอกจากนั้น พืชยังแสดงอาการขาดจุลธาตุอาหารบางชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี โดยเฉพาะถั่วลิสงและข้าวโพด ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องใส่

ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงขึ้นและถ้าขาดจุลธาตุอาหาร ควรแก้ปัญหาการใช้จุลธาตุอาหารประเภทคีเลต (chelate) ฉีดพ่นทางใบและลำต้น

2.4 ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากดินพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวจัด ควรปรับปรุงโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก (ตารางที่ 9) ร่วมกับการไถพรวนที่เหมาะสม เมื่อใส่แล้วให้ไถคลุกเคล้ากับดินและตากดินให้แห้งประมาณ 20-30 วัน ก่อนย่อยดินปลูกพืช

ตารางที่ 9 อัตราปุ๋ยหมักที่ใช้กับพืชต่าง ๆ

พืช	ตัน/ไร่
ข้าว	2-3
พืชไร่	1-2
ผัก	3-4
ไม้ผล	กก/ต้น
ระยะเตรียมดิน	10-20
ควรใส่ทุกปี	10-30

ความต้องการปูน (Lime Requirement)

ความเป็นกรดของดิน (total acidity) แบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ สภาพกรดจริง (active acidity) หรือ H^+ ที่อยู่ในสารละลายดิน ที่เราวัดปฏิกิริยาดินหรือ pH ของดิน และสภาพกรดแฝง (potential acidity) คือ ไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ หรือไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินซึ่งทั้งกรดจริง และกรดแฝงอยู่ในสภาพสมดุลกัน ดินที่มีสภาพเป็นกรดมีปัญหาต่อพืชที่ปลูก กล่าวคือ ไม่สามารถใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินได้เท่าที่ต้องการ เพราะธาตุอาหารบางอย่างไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ เช่น ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดยธาตุเหล็กและอะลูมินั่ม และในขณะเดียวกัน เหล็ก อะลูมินั่ม และแมงกานีส จะละลายออกมามากเกินไปจนถึงอาจเป็นพิษต่อพืชได้ ดังได้กล่าวแล้วในเรื่องของดินกรด เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว ต้องทำการปรับ pH ของดินให้สูงขึ้นเท่าที่พืชต้องการ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายและนิยม คือ โดยเลือกใส่วัสดุจำพวกปูน เช่น ปูนมาร์ล หินปูนฝุ่น และเปลือกหอยเผา ฯลฯ ซึ่งเป็นสารที่เป็นด่างในปริมาณที่เท่ากับสภาพกรดรวม (total acidity) ของดิน ในการทำปฏิกิริยานั้น OH^- ของด่างที่ใส่ลงไปจะทำปฏิกิริยากับ H^+ ในสารละลายดิน (สภาพกรดจริง) เมื่อ H^+ ในสารละลายดินพร่องไปจะเกิดสภาพเสียสมดุลระหว่างกรดจริงและกรดแฝง H^+ ที่แลกเปลี่ยนได้ในสภาพกรดแฝงจะถูกปลดปล่อยออกมาแทนที่ H^+ ในสารละลายดิน ปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปเรื่อย ๆ และ H^+ ในสภาพกรดแฝงก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันมีผลทำให้ระดับ pH ของดินค่อย ๆ สูงขึ้นจนกระทั่งเป็นกลาง เมื่อระดับ H^+ และ OH^- ในสารละลายดินเท่ากัน แต่ถ้าใส่ด่างมากเกินไป pH ของดินก็จะสูงกว่า 7 อาจมีผลทำให้เกิดปัญหาสภาพเกินปูนได้ ซึ่งจะเกิดโดยเฉพาะดินกรดที่มีเนื้อดินร่วนทรายหรือทรายร่วน

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า การปรับระดับ pH ของดินนั้นขึ้นอยู่กับ H^+ ในสภาพกรดแฝงมากกว่าสภาพกรดจริง ดินกรดที่มี pH เท่ากันมีความต้องการด่างที่มาปรับระดับ pH ให้เป็นกลางไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เนื่องจากมีสภาพกรดแฝงไม่เท่ากัน ทั้ง ๆที่มีสภาพกรดจริงเท่ากัน การพิจารณาด่างที่ไปสะเทินกรดนั้น จำเป็นต้องพิจารณาสภาพกรดแฝง จะพิจารณาเฉพาะสภาพกรดจริงหรือ pH ของดินไม่ได้ กล่าวคือ สภาพกรดแฝงของดินจะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน โดยถ้าดินมีความเป็นกรดแฝงน้อย ความต้องการด่างก็น้อยด้วย และ pH ของดินก็จะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเมื่อใส่ด่างลงไปสะเทิน คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) กล่าวว่า สภาพกรดแฝงของดินจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) ของดิน ดังนั้น ดินที่มี CEC สูง เมื่อเป็นกรดจะมีสภาพกรดแฝงสูง และมีความจุบัฟเฟอร์ (buffer capacity) หรือความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินสูงตามไปด้วย เนื่องจากดินที่เป็นกรดมีสมบัติของบัฟเฟอร์ คือ จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงระดับ pH เดิมนั้นให้เปลี่ยนไปทีละน้อย ไม่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วเมื่อถูกสะเทินให้เป็นกลาง

ความต้องการปูน (Lime Requirement , LR.) คือ ปริมาณด่างที่พอเหมาะที่ใช้แก้ความเป็นกรดของดิน หรือปริมาณด่างที่พอเหมาะที่สะเทินความเป็นกรดของดิน ที่ไม่เรียกความต้องการด่าง (base requirement) เป็นเพราะด่างที่ใช้ในการเกษตรนั้น เป็นพวกปูน เช่น ปูนขาว และหินปูนต่างๆ เช่น ปูนมาร์ล หินปูนฝุ่น วัสดุหินปูนเหล่านี้เป็นสารประกอบธรรมชาติ ราคาถูก หาง่าย ค่าของความต้องการปูนไม่แน่นอน นอกจากจะขึ้นกับสภาพกรดรวมแล้ว ขึ้นอยู่กับวิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่ได้เลือกมาใช้เหมาะสม และเมื่อคำนวณเพื่อยกระดับ pH ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องยกระดับ pH ของดินให้เป็นกลาง หรือสูงถึง 7.0 ก็ได้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน และควรพิจารณาว่า อัตราใดที่จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงที่สุด หรืออัตราใดที่จะทำให้อะลูมินั่ม ละลายได้และแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นพิษต่อพืชให้ตกตะกอนได้หมดหรือเหลือน้อยที่สุด

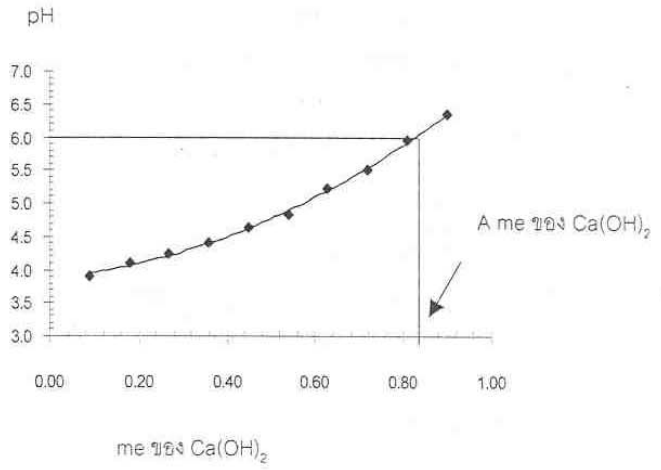
วิธีวิเคราะห์ความต้องการปูน

วิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนของดินกรดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งมีหลักเกณฑ์เช่นเดียวกัน คือ ต้องการทราบปริมาณกรดรวม ซึ่งเป็นผลรวมของกรดจริง และกรดแฝง ว่ามีปริมาณเท่าใด แล้วนำมาคำนวณปริมาณปูนที่จะใช้สะเทินกรดให้เป็นกลาง วิธีการต่างๆมีดังนี้

1. วิธีการทำ serial titration เป็นวิธีการวิเคราะห์สภาพกรดรวมที่เป็นพื้นฐาน ซึ่งต้องนำดินที่เป็นกรด ใส่ลงในบีคเกอร์โดยมีน้ำหนักเท่ากัน (5-10 ใบ) แล้วเติมน้ำกลั่นและด่างปริมาณต่างๆ ด่างที่นิยมใช้คือ $Ca(OH)_2$ คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ทำปฏิกิริยาจนถึงที่สุด วัด pH แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ระดับต่างๆ กับปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับความเป็นกรดของดินจนถึงระดับ pH นั้น ดังนั้น เมื่อต้องการปรับระดับ pH ของดินให้สูงถึง pH ที่ต้องการได้ ก็ให้นำค่าของด่างที่ใช้กับ pH นั้นมาคำนวณปริมาณปูนที่จะใส่

วิธีการทดลองหาปริมาณปูนที่จะสะเทินกรดรวม

ชั่งตัวอย่างดินเปรี้ยวจัดชุดองครักษ์ pH 3.77 หนัก 10 กรัมเท่าๆกันใส่บีคเกอร์ 10 ใบ เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมด่าง $Ca(OH)_2$ ปริมาณต่างๆกัน คนให้เข้ากันทิ้งไว้ค้างคืน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาถึงที่สุด วัด pH นำค่า pH ที่วัดได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ ปริมาณสมมูลย์ของด่างที่ใช้ทำปฏิกิริยากับกรดของดินจนถึงระดับ pH ที่ต้องการ คำนวณปริมาณที่จะใช้สะเทินกรด จาก serial titration curve ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่าง serial titration ของชุดดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์

จากเส้นกราฟในภาพปรากฏว่าเมื่อต้องการจะยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นมาเป็น pH 6.0 จะต้องใช้ด่างเป็นจำนวน A me Ca(OH)2/ดิน 10 กรัม

นั่นคือต้องใช้ $CaCO_3$ = A x me wt. $CaCO_3$ กรัม

= A X 0.05 กรัม $CaCO_3$ /ดิน 10 กรัม

ถ้าดินในพื้นที่ 1 ไร่ ลึก 15 ซม. หนัก 384,000 กิโลกรัม

ดังนั้นจะต้องใช้ $CaCO_3$ หนัก = 0.82 X 0.05 X 384,000/10 กิโลกรัม/ไร่

= 1,574.4 กิโลกรัม/ไร่

ปูนชนิดต่างๆ เมื่อใส่ลงไปในดินกรด และให้น้ำจนดินเปียกชื้น ปูนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายดิน ซึ่งมี CO_2 รวมอยู่ด้วย ปูนไม่ว่าจะอยู่ในสารประกอบใด จะทำปฏิกิริยาและสุดท้ายอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ดังสมการ

$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$

(หินปูน)

$CaO + H_2O \rightleftharpoons Ca(OH)_2$

(ปูนสุก) (ปูนขาว)

$Ca(OH)_2 + 2H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2 + H_2O$

(ปูนขาว)

หลังจากนั้น แคลเซียมไบคาร์บอเนตจะแตกตัวให้ Ca^{2+} และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ดังสมการ

$Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$

และ Ca^{2+} จะเข้าไปไล่ที่ adsorbed H (potential acidity) ที่ถูกดูดซับอยู่ที่พื้นผิวของคอลลอยด์ดิน ซึ่ง H^+ ที่ถูกไล่ที่ออกมาจะทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- เป็น H_2CO_3 หรือ H_2O และ CO_2 ดังนี้

$$H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O + CO_2$$

สำหรับพวกหินโดโลไมต์ $CaMg(CO_3)_2$ จะเป็นไปเช่นเดียวกับ $CaCO_3$ ปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องกันหลังจากใส่ปูนลงในดินและทำให้ adsorbed H ลดลง มี Ca และ Mg แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น อัตราร้อยละอิ่มตัวด้วยเบส (base saturation) จะสูงขึ้น และ pH ของดินก็สูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

นอกจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างต้น ปูนที่ใส่ลงไปในดินสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ adsorbed H และ Al ที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวคอลลอยด์ดิน โดยเฉพาะเมื่อปูนสัมผัสกับคอลลอยด์ดิน ซึ่งมีสมการดังนี้

1) $$\text{soil}\begin{bmatrix} H \\ H \\ Al \end{bmatrix} + 2CaCO_3 \longrightarrow \begin{bmatrix} H \\ Ca \\ Ca \end{bmatrix}\text{soil} + 2\,CO_2 + Al(OH)_3$$

2) $$\text{soil}\begin{bmatrix} H \\ H \\ Al \end{bmatrix} + CaMg(CO_3)_2 + H_2O \longrightarrow \begin{bmatrix} H \\ Ca \\ Ca \\ H \end{bmatrix}\text{soil} + Al(OH)_3 + H_2O$$

2. วิธีใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นด่าง

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่ว ๆไป เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวก สำหรับสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นด่างมีอยู่หลายชนิดแล้วแต่ประเทศไหนจะเลือกใช้น้ำยาตามความเหมาะสมของสภาพดินกรดในประเทศนั้น ๆ กองวิเคราะห์ดินใช้วิธี Woodruff's buffer solution ซึ่งจะรู้ปริมาณกรดที่แท้จริงที่จะลดระดับ pH ของสารละลาย โดยนำสารละลายบัฟเฟอร์นี้ใส่ลงไปในดินที่เป็นกรด แล้ววัดระดับ pH ของบัฟเฟอร์ที่ลดลงก็สามารถคำนวณปริมาณความเป็นกรดของดินที่ทำปฏิกิริยากับบัฟเฟอร์ได้ จากนั้นนำไปคำนวณปริมาณปูนที่ทำปฏิกิริยากันพอเหมาะกับดินที่เป็นกรดในระดับ pH ที่ต้องการ

3. วิธีอะลูมินั่มแทนที่ได้หรืออะลูมนั่มแลกเปลี่ยนได้

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันในต่างประเทศวิธีหนึ่ง โดยเฉพาะกับดินที่ปลูกข้าว เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เมื่อดินมี pH 5.5 เหล็กจะตกตะกอนและไม่เป็นพิษ และอะลูมินั่มจะไม่เป็นพิษต่อพืชและตกตะกอนหมดเมื่อปรับระดับ pH ของดินเกินกว่า 5.2 ดังนั้น จึงควรที่จะ

พิจารณาว่าต้องการปรับระดับ pH ที่เท่าใดจึงจะเหมาะสมกับพืชที่ปลูก สำหรับข้าวแล้ว pH ในระดับ 5.5 ก็เหมาะสม เพียงแต่ทำให้ธาตุเหล็กและอะลูมินั่มอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นพิษ พจนีย์และคณะ (2535) ศึกษา เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูน พบว่า วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาความต้องการปูนสำหรับดินเปรี้ยวจัดภาคใต้และยังเหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการอีกด้วย เนื่องจากปกติแล้วการวิเคราะห์ดินกรด จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ปริมาณอะลูมินั่มแลกเปลี่ยนได้อยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ความต้องการปูนอีก เพียงแต่นำปริมาณ อะลูมินั่มแลกเปลี่ยนได้ไปคำนวณเท่านั้น จึงได้แนะนำให้ห้องปฏิบัติการกรมพัฒนาที่ดินนำไปใช้ทุกห้องปฏิบัติการที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณอะลูมินั่มแลกเปลี่ยนได้และยังสามารถใช้กับดินเปรี้ยวจัดภาคกลางด้วย ซึ่งควรใส่ปูน 1.5 X Exch.Al cmol(+)/kg X 192 กิโลกรัม $CaCO_3$/ไร่

ปริมาณความต้องการปูน (Lime Requirement) คือ ปริมาณปูนที่ต้องการทำปฏิกิริยากับกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน ดินที่มี pH เท่ากันไม่จำเป็นต้องมีความต้องการปูนที่เท่ากันดังกล่าวข้างต้นแล้ว ดินที่เป็นกรดมากกว่าต้องการปูนเพื่อแก้ความเป็นกรดมากกว่า ดินที่มีเนื้อละเอียดกว่าต้องการปูนเพื่อแก้ความเป็นกรดมากกว่าดินเนื้อหยาบ ปริมาณปูนที่นำมาพิจารณาใช้จะต้องเป็นปริมาณที่ยกระดับ pH ของดินเกินกว่า 5.5 เพื่อให้อะลูมินั่มและเหล็กที่ละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชตกตะกอนหมด

สภาพการใช้ที่ดินเป็นสิ่งสำคัญที่ควรจะนำมาพิจารณาด้วย เพราะปริมาณปูนที่ใช้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ในการทำนา จะใช้ปริมาณปูนน้อยกว่าการปลูกพืชไร่ เนื่องจากการปลูกพืชไร่นั้น จะต้องยกระดับ pH ของดินตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไป ภิญโญ และคณะ (2540) ได้ศึกษาผลของการใส่ปูนโดยวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนวิธีต่าง ๆ ของดินเปรี้ยวจัดภาคใต้พบว่าวิธีแบเรียมคลอไรท์ไทเอทานอลามีนวิเคราะห์ความต้องการปูนได้สูงกว่าวิธีอื่น ๆ และควรใช้ไม่เกิน 80% ของความต้องการปูนสำหรับพืชทั่ว ๆ ไป และสามารถปรับระดับpH ของดินเปรี้ยวจัดได้ ระหว่าง 6.0-7.2 สำหรับนาข้าวแล้วควรใช้ปริมาณปูนน้อยกว่า เพราะยกระดับ pH ดินบนเกินกว่า 5.5 ก็เพียงพอ

<u>ประโยชน์ของการใส่วัสดุปูนเพื่อการเกษตร</u>

การใส่ปูนสำหรับดินที่เป็นกรด เพื่อปรับปรุงสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น ประโยชน์ของปูนสามารถปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้น ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ปูนสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น คือทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว เมื่อใส่ปูนแล้วจะไม่อัดกันแน่นทึบ จะเกาะกันเป็นก้อนเล็ก ซึ่งทำให้ดินโปร่งร่วนขึ้น ทำให้การถ่ายเทน้ำและระบายอากาศได้ดีขึ้น สำหรับดินที่เป็นกรดมีเนื้อดินหยาบ คือ ทรายร่วน หรือร่วนทรายนั้น อนุภาคของเม็ดดินจะอยู่รวมกันหลวม ๆ โปร่งมาก และอุ้มน้ำได้น้อย เมื่อใส่ปูนจะช่วยให้ดินเกาะกันเพิ่มขึ้น มีการอุ้มน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากปูนมีแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดการเกาะกลุ่ม (flocculating agents) และสารเชื่อม (cementing agents) ที่ดี

2. สมบัติทางเคมี ปูนที่ใส่ลงไปเพื่อยกระดับ pH ของดินกรดให้สูงขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชทั่วๆไป จะปรับระดับให้ถึง pH ที่เหมาะสม คือ 6.5 สมบัติทางเคมีของดินจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังนี้คือ

2.1 ปริมาณ H^+ ของดินลดลงเนื่องจาก Ca^{2+} และ Mg^{2+} เข้าไปแทนที่ และถูกชะละลายออกไปจากดิน

2.2 ปริมาณ เหล็ก อะลูมินั่ม และแมงกานีสในสารละลายดินลดลง ไม่เป็นพิษต่อพืช ความจริงแล้ว เหล็ก และแมงกานีสเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่เป็นธาตุที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อย ในดินกรดจัดจะละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืช

2.3 ธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โมลิบดีนั่มเป็นประโยชน์มากขึ้น

2.4 แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะมีปริมาณสูงขึ้นแต่สำหรับโพแทสเซียมนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ปูน เนื่องจากดินที่เป็นกรดมากๆ นั้น ดินจะอิ่มตัวด้วย H^+ ที่แลกเปลี่ยนได้ ที่พื้นผิวคอลลอยด์ของดินจึงมีแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อย ดังนั้น เมื่อใส่ปูนลงไปมากเกินไป นอกจาก Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะไปไล่ที่ H^+ ที่แลกเปลี่ยนได้แล้ว ยังเข้าไปไล่ที่ K^+ แลกเปลี่ยนได้ด้วย และสูญเสียไปโดยกระบวนการชะละลาย ซึ่งจะทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ลดลง

2.5 ควบคุมปริมาณกรดอินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ให้สะสมมากเกินไปจนเป็นพิษต่อข้าว

3. สมบัติทางชีวภาพ เมื่อ pH ของดินได้ปรับเพิ่มขึ้นเป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลางโดยการใส่ปูนนั้น จะเพิ่มและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นดีขึ้น เช่น จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและปลดปล่อยธาตุอาหาร หรือจุลินทรีย์ที่ช่วยให้เกิดกระบวนการตรึงไนโตรเจนเป็นต้น

4. การใช้ปุ๋ยเคมี ถ้าดินเป็นกรดจัด (ดินเปรี้ยวจัด) จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใส่ปูน เพราะจะเสริมประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมี ทำให้พืชสามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีแต่เพียงอย่างเดียว เช่น การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินกรดจำเป็นที่จะต้องใส่ร่วมกับการใส่ปูน เนื่องจากจะลดการสูญเสียธาตุโพแทสเซียมด้วยกระบวนการชะละลาย เพราะปูนจะช่วยให้โพแทสเซียมจากปุ๋ยเข้ามาอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากขึ้น เนื่องจาก K^+ ที่ละลายจากปุ๋ยสามารถเข้าแทนที่ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่แลกเปลี่ยนได้ง่ายกว่า H^+ และ Al^{3+} ที่แลกเปลี่ยนได้

5. ช่วยลดการเกิดโรคพืชบางชนิดที่มักระบาดในดินกรด เช่น โรครากเน่า และโคนเน่า (โรคไฟทอบเทอร่า)โดยจะลุกลามช้าลงเมื่อใส่ปูน

ปัญหาสภาพเกินปูน (Overliming)

ปัญหาสภาพเกินปูน คือ ทำให้ดินมีสภาพด่าง จะเกิดได้เมื่อดินกรดที่มีเนื้อดินหยาบ พวกดินทราย ดินร่วนทราย หรือดินทรายร่วน ซึ่งมีความจุบัพเฟอร์ (buffer capacity) ค่อนข้างต่ำ ได้รับปูนในปริมาณที่ไม่เหมาะสม คือ ได้รับปูนมากเกินไป มีผลเสียหายต่อพืชที่ปลูก สรุปได้ดังนี้

1. เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ในดินอย่างรวดเร็ว เนื่องจากดินมีความจุบัพเฟอร์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อพืช

2. ระดับของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง เพราะเกิดสารประกอบฟอสเฟตของแคลเซียม ที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้การดูดดึงฟอสฟอรัสลดลง และการใช้ฟอสฟอรัสในกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆในพืช ดำเนินไปได้ไม่สะดวก

3. เกิดการไม่สมดุลในธาตุอาหาร โดยขาดแคลนจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เหล็ก แมงกานีส โบรอน สังกะสี และทองแดง เช่น ทำให้การดูดดึงโบรอนมาใช้ไม่สะดวก จึงทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของโบรอนในพืชดำเนินไปไม่ดี

ดังนั้น การใส่ปูนสำหรับดินที่มีเนื้อดินดังกล่าว ควรใช้เพียงครึ่งหนึ่ง หรือเศษหนึ่งส่วนสามของอัตราที่วิเคราะห์ได้เท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับมีแคลเซียมมากหรือน้อยในดินด้วย เพื่อป้องกันการที่ดินจะมีสภาพเกินปูนได้

การพิจารณาชนิดพืชที่ปลูกในดินกรด

สำหรับดินเปรี้ยวจัด บางพื้นที่ดินที่ยังมีสารประกอบไพไรท์อยู่ในดินล่างหรือมีสารประกอบจาโรไซต์อยู่ในบางชั้นของดิน เมื่อดินแห้ง สารประกอบไพไรท์จะรวมกับอากาศ (oxidation) ให้กรดกำมะถันและสารประกอบจาโรไซท์สีเหลืองฟางข้าวเกิดขึ้น ซึ่งสารประกอบจาโรไซท์จะรวมกับน้ำแล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยกรดกำมะถันออกมาดังกล่าวต้น ดังนั้น ดินพวกนี้จะมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด เช่น ชุดดินองค์รักษ์ รังสิตกรดจัดและมูโน๊ะ เป็นต้น จำเป็นที่จะต้องมีการใส่ปูนเพื่อปรับระดับ pH ของดินขึ้น เพื่อให้ปลูกพืชได้อย่างเหมาะสม พจนีย์และคณะ (2530) ได้ทำการวิจัยและรายงานว่า การใส่หินปูนฝุ่นจะช่วยยกระดับ pH ของดินเปรี้ยวจัดในภาคใต้อย่างเห็นได้ชัด การใส่ปุ๋ยร่วมกับการใส่หินปูนฝุ่นในอัตราต่าง ๆ กัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งและจากการศึกษาและวิจัยดินเปรี้ยวจัดในภาคกลาง ของทัศนีย์และคณะ (2530) พบว่าดินรังสิตกรดจัดที่ไม่ได้รับการใส่ปูนจะมีปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส อะลูมินั่มและซัลเฟต ละลายได้ในน้ำและในส่วนที่สกัดได้สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ใส่ปูน ส่วนดินนาทั่วไป ถ้าไม่มีกรดกำมะถัน ไม่จำเป็นต้องใส่ปูน เพราะจะเป็นการเพิ่มทุนโดยไม่จำเป็นเนื่องจากเมื่อขังน้ำปลูกข้าว ระดับ pH ของดินจะเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกชนิดของพืชที่ปลูก พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อระดับความเป็นกรดของดินไม่เท่ากัน เช่น ตารางที่ 10 ในดินชนิดเดียวกัน พืชที่ทนกรดได้สูงกว่ามีความต้องการปูนในการปรับ pH ของดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับพืชน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้ประหยัดมากกว่า

ตารางที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ในความทนทานต่อกรดของพืชชนิดต่าง ๆ

ระดับความทนทานต่อกรด			
น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง
หน่อไม้ฝรั่ง	กล่ำปลี	ถั่งลิสง	กาแฟอะราบีกา
ข้าวบาร์เลย์	แคนทาลูบ	มันฝรั่ง	ถั่วคุดซู
ถั่วเมล็ดยาว	ข้าวโพด	ข้าว	หญ้าเนเปีย
ฝ้าย	ข้าวฟ่าง	สตรอเบอรี่	สับปะรด
ถั่งเมล็ดกลม	หญ้าต่าง ๆ	แตงโม	ชา
ถั่วเหลือง	ผักกาดหอม		สไตโลแซนเทส
ปวยเหล็ง	ถั่วลิสง		ยางพารา
ผักกาดหวาน	มันเทศ		มันสำปะหลัง
ทานตะวัน	ยาสูบ		
	ข้าวสาลี		

ที่มา : ปรับปรุงจาก Miller และ Donahue (1995) เจริญและคณะ (2542) และไพบูลย์ (2528)

ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัดและดินกรดบางพื้นที่ ประสบปัญหากับความเป็นพิษของอะลูมินั่ม พืชแต่ละชนิดมีความทนต่อระดับความเป็นพิษของอะลูมินั่ม (เปอร์เซนต์การอิ่มตัวของอะลูมินั่ม) แตกต่างกัน ดังนั้น ถ้าสามารถเลือกชนิดพืชที่ปลูกสามารถทนต่ออะลูมินั่มสูง และเจริญเติบโตได้ในดินที่มี pH ต่ำแล้ว จะช่วยลดปริมาณปูนที่ใช้ในการยกระดับ pH ของดินเปรี้ยว นั่นหมายถึงลดต้นทุนในการผลิตพืชด้วย หญ้าอาหารสัตว์หลายชนิดที่สามารถปรับตัวให้ทนต่อความเป็นกรดหรืออลูมินั่มของดินในเขตร้อนชื้นได้เป็นอย่างดี เช่น หญ้ากินี (แสดงไว้ในเรื่องอะลูมินั่มที่แลกเปลี่ยนได้

การพิจารณาเลือกชนิดและวัสดุปูนเพื่อการเกษตร

ชนิดของวัสดุปูนและคุณภาพของปูนที่ใช้ในการเกษตรจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะค่าการทำให้เป็นกลางของปูน (total neutralizing power หรือ TNP) ซึ่งกำหนดให้ปูนในสภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่บริสุทธิ์มีค่าการทำให้เป็นกลาง 100% แล้วเทียบกับปูนในรูปอื่นที่มีน้ำหนักเท่ากันว่าจะมีความสามารถทำให้เป็นกลางได้กี่เปอร์เซนต์ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์ ซึ่งเรียกตามความหมายนี้อีกอย่างหนึ่ง คือ สมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต หรือ ซีซีอี (Calcium Carbonate Equivalent หรือ CCE)

การคำนวณค่าการทำให้เป็นกลาง (CCE) ของปูนนั้นมีวิธีคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$CACO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

$$CaO + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O$$

จะเห็นได้ว่าในการทำปฏิกิริยากับกรด HCl แล้ว CaO หนึ่งโมล (mole) จะทำปฏิกิริยากับกรด HCl เท่ากันกับ $CaCO_3$ หนึ่งโมล แสดงว่า

ถ้า CaO หนัก 56 กรัม เทียบเท่ากับ $CaCO_3$ 100 กรัม

ถ้า CaO หนัก 100 กรัม เทียบเท่ากับ $CaCO_3$ $\frac{100 \times 100}{56}$ กรัม

$= 178.6$ กรัม

ดังนั้น ค่าการทำให้เป็นกลางของ CaO จึงเท่ากับ 178.6 ของ $CaCO_3$

ค่าการทำให้เป็นกลางของปูนในสารประกอบบริสุทธิ์แสดงไว้ใน ตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าการทำให้เป็นกลาง (neutralizing value) หรือ Calcium Carbonate Equivalent ของปูนบางชนิดในสภาพที่เป็นสารประกอบบริสุทธิ์

ชนิดของปูน	ค่าการทำให้เป็นกลาง (%)
$CaCO_3$	100
$CaMg(CO_3)_2$	109
CaO	179
$Ca(OH)_2$	136
$CaSiO_3$	68

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2526)

การจำหน่ายปูนเพื่อการเกษตรในประเทศไทยนั้น พบว่า มีการบอกคุณภาพปูนไม่ตรงกับคุณภาพที่แท้จริง ส่วนใหญ่จะบอกเกินความเป็นจริง โดยเฉพาะค่าการทำให้เป็นกลาง ผู้ประกอบการค้าควรจะต้องบอกปริมาณของแคลเซียม และแมกนีเซียมว่าอยู่ในรูปใด เช่น ถ้าเป็นแคลเซียม จะอยู่ในรูปของ Ca หรือ CaO และแมกนีเซียมจะอยู่ในรูป Mg หรือ MgO หรืออยู่ในรูปคาร์บอเนต ค่า CCE ที่ถุงบรรจุปูน นอกเหนือจากชื่อผู้ผลิตแล้ว ต้องมีทะเบียนการค้าและที่อยู่ให้ชัดเจน เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจว่าจะซื้อหรือไม่ ผู้ซื้อต้องพิจารณาว่าปูนที่จะซื้อนั้นมีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด เพราะปูนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะไม่บริสุทธิ์ร้อยเปอร์เซนต์ เนื่องจากมีสารประกอบอื่นเจือปนอยู่ด้วย

สำหรับปูนเพื่อการเกษตรนั้นเช่นเดียวกับสารปรับปรุงดินอื่นซึ่งยังไม่มีการควบคุมมาตรฐานที่ออกมาชัดเจนเหมือนกับปุ๋ยเคมี กรมวิชาการเกษตรได้เริ่มดำเนินการในเรื่องนี้ โดยมีการประชุมปรึกษาหารือ ออกระเบียบข้อกำหนด กฎเกณฑ์ต่าง ๆ เพื่อควบคุมมาตรฐานและคุ้มครองผู้บริโภคร่วมกับหน่วยราชการอื่นในกระทรวงเกษตรเพื่อดำเนินการดังกล่าวให้ออกเป็นพระราชบัญญัติสารปรับปรุงดิน สำหรับการจัดซื้อจัดหาปูนเพื่อการเกษตรของรัฐบาลเพื่อแจกจ่ายให้เกษตรกรนั้น ผู้ผลิตจำเป็นจะต้องให้ตรวจคุณภาพดังกล่าวก่อนที่จะซื้อ การบ่งบอกปริมาณของเนื้อปูนนั้น ไม่ว่าจะบ่งบอกในรูปใด จะเป็นแคลเซียม หรือแมกนีเซียมหรือในรูปสารประกอบต่าง ๆ ก็ตาม สามารถเปลี่ยนเป็นปริมาณปูนในรูปอื่น ๆ ตามความต้องการได้ (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541) ดังนี้

ปริมาณ	$CaCO_3$	เปลี่ยนเป็น	CaO	คูณด้วย	0.560
"	CaO	"	$CaCO_3$	"	1.786
"	$MgCO_3$	"	CaO	"	0.664
"	MgO	"	CaO	"	1.389
"	$MgCO_3$	"	$CaCO_3$	"	1.186
"	$MgCO_3$	"	MgO	"	0.476
"	$MgCO_3$	"	Mg	"	0.288
"	MgO	"	Mg	"	0.602
"	$CaCO_3$	"	Ca	"	0.400
"	CaO	"	Ca	"	0.714

การคำนวณทำได้ดังนี้ ถ้าหินปูนตัวอย่างมี $CaCO_3$ 79% และมี $MgCO_3$ 12% คุณภาพปูนมีดังนี้

1. คาร์บอเนตทั้งหมด (total carbonate) = 79+12 = 91%
2. ค่าทำให้เป็นกลาง (total neutralizing power) = 79 + (12 x 1.186)
   หรือสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) = 93.232
3. มี Ca = 79 x 0.40 = 31.6%
4. มี Mg = 12 x 0.288 = 3.456%

จากการศึกษาคุณภาพของวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ พบว่า วัสดุปูนส่วนใหญ่มีความสามารถในการทำให้เป็นกลางสูง (CCE) มากกว่า 80% ขึ้นไป ยกเว้นตะกรันที่มีค่าทำให้เป็นกลางต่ำกว่าวัสดุปูนอื่น ๆ (CCE 67-71%) ซึ่งในการเลือกใช้ ควรเลือกปูนที่มีค่า CCE ไม่ต่ำกว่า 80% ค่า CCE ยิ่งสูง แสดงว่าคุณภาพปูนจะสูงกว่า ประสิทธิภาพในการทำให้เป็นกลางสูงกว่า และเมื่อใช้รวมกับปุ๋ยเคมีแล้ว ทำให้ผลผลิตของพืชมากขึ้น คุ้มกับการลงทุน เมื่อคิดรวมถึงค่าขนส่งด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ปูนที่มีค่า CCE ต่ำกว่า 80% ด้วยเหตุผลดังกล่าว ค่า CCE ของวัสดุปูนเพื่อการเกษตรแสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่า CCE ของวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ

ชนิดวัสดุ	CCE (%)	pH
ปูนเผา (CaO)	129	12.4
ปูนขาว [$Ca(OH)_2$]	125	12.4
หินปูนบด ($CaCO_3$)	98	9.5
ตะกรันหรือเบสิคแสลค ($CaSiO_3$)	67-71	-
โดโลไมต์ [$CaMg(CO_3)_2$]	95-108	-
คัลไซต์ ($CaCO_3$)	100	-
ปูนมาร์ล	80-90	8.3
หินปูนฝุ่น	70-104	-
เปลือกหอยเผา	104	-

ที่มา : เจริญ (2540)

ในการวิเคราะห์ค่าความต้องการปูนนั้น ผลการวิเคราะห์จะแจ้งให้ทราบความต้องการปูนเทียบเท่าหินปูน $CaCO_3$ บริสุทธิ์ 100% ดังนั้น ในการแนะนำการใช้หินปูนที่มีเนื้อของหินปูนที่มีค่าการทำให้เป็นกลางน้อยกว่าหรือมากกว่าจะต้องคำนวณใส่ปริมาณเพิ่มขึ้น หรือลดลง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับ CCE ของหินปูนนั้น ๆ

คุณภาพและแหล่งของวัสดุปูนในภาคต่าง ๆของประเทศไทย ได้มีผู้ศึกษาไว้หลายคน โดยเก็บตัวอย่างวัสดุหินปูนในแหล่งต่าง ๆ รวมถึงโรงโม่หิน แล้วนำมาวิเคราะห์ รวบรวมดังตารางที่ 13, 14 และ 15 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการแนะนำเกษตรกร ให้เลือกวัสดุหินปูนที่มีคุณภาพถูกและหาง่าย ใกล้พื้นที่ เพื่อที่จะลดค่าขนส่งด้วย

ตารางที่ 13 แสดงคุณภาพของปูนมาร์ลจากแหล่งต่าง ๆ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน เมื่อเปิดชั้นดินที่ทับถมด้านบนแล้ว ที่พื้นที่ของสถานีพัฒนาที่ดินสระบุรี อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี

แหล่ง/ความลึก	CCE	Ca	Mg	pH
		%		
ปูนมาร์ลแหล่งที่ 1				
0-50 ซม.	78.9	28.2	4.5	8.3
50-100 ซม.	85.9	27.6	2.8	8.3
100 - 150 ซม.	87.3	25.3	2.0	8.2
150 - 200 ซม.	87.6	27.1	3.1	8.3
200 - 250 ซม.	88.5	25.2	4.4	8.3
ปูนมาร์ลแหล่งที่ 2				
0 - 50 ซม.	55.4	23.4	3.5	7.9
50 - 100 ซม.	76.0	30.4	1.2	8.0
100 - 150 ซม.	83.9	33.0	0.6	8.1
150 - 200 ซม.	84.5	33.2	1.4	8.2
200 - 250 ซม.	90.2	35.8	0.8	8.4
ปูนมาร์ลแหล่งที่ 3				
0 - 50 ซม.	80.7	33.0	1.2	8.1
50 - 100 ซม.	84.5	32.2	1.7	8.2
100 - 150 ซม.	86.7	34.6	1.6	8.2

ที่มา : ไพโรจน์ (2528)

ตารางที่ 14 แสดงสมบัติทางเคมีบางประการของหินปูนฝุ่นในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ของประเทศไทย

แหล่งหินปูน	CCE	Ca	Mg	K	P
	%	%	%	%	ppm
สงขลา	70 - 90	28 - 39	0.01 - 5.8	0.01-1.20	95-6450
ยะลา	76 - 91	34 - 41	0.06 - 2.7	0.01-0.20	110-790
สตูล*	75	34	1.4	0.54	80
นครศรีธรรมราช	78 - 88	31 - 36	0.4 - 1	0.66-1.47	40-190
พัทลุง	71 - 92	30 - 39	0 - 1.3	0.01-0.38	405-1150
สุราษฎร์ธานี	90 - 105	-	-	-	-
พังงา	98 - 100	-	-	-	-
กระบี่	98 - 103	-	-	-	-
ตรัง	82 - 93	-	-	-	-
ชุมพร	9 - 104	-	-	-	-

ที่มา : พจนีย์และคณะ (2530)

* เก็บจากโรงโม่แห่งเดียว

ตารางที่ 15 แสดงสมบัติทางเคมีบางประการของหินโดโลไมต์ ในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย

แหล่งสถานที่	CCE	Mg	MgO	Ca	CaO	pH
			%			
จ.แพร่						
อ.ร้องกวาง จุด (I)	58	2.5	4.1	15.8	22.1	8.6
จุด (II) ลึกที่ 1 ม.	90	2.7	4.5	24.2	33.9	8.5
ลึกที่ 3 ม.	84	2.5	4.2	24.7	34.6	8.7
อ.เมือง จุด (I)	66	4.2	7.0	19.4	27.2	8.5
จุด (I)*	-	10.6	17.8	20.5	28.6	9.5
จุด (III)***	-	-	20.0	-	30.3	-
จ.เพชรบูรณ์						
อ.วิเชียรบุรี จุด (I)	82	8.9	14.6	15.1	21.1	8.5
จุด (II) ลึกที่ 1 ม.	82	9.5	15.6	15.1	21.1	8.5
ลึกที่ 2 ม.	53	5.7	9.4	10.7	15.0	8.4
ลึกที่ 5 ม.	66	7.9	13.0	12.8	18.0	-
จ.กาญจนบุรี						
อ.เมือง จุด (I)	106	12.6	21.2	21.6	30.2	8.1
จุด (II)**	-	12.6	21.0	22.4	31.4	-
อ.ท่าม่วง***	-	-	19.7	-	33.0	-
จ.สุราษฎร์ธานี						
อ.กาญจนดิษฐ*	96	9.2	15.3	25.2	35.3	8.7

ที่มา : กองวิเคราะห์ดินและฝ่ายวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร (*) กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี (**) และอุบลศรีและเยาวลักษณ์ (2537) ***

อ้างโดย : เจริญและรสมาลิน (2542)

ตารางที่ 16 แหล่งผลิตวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย

ภาค	จังหวัด	อำเภอ
	หินปูนบดหรือหินฝุ่น	
เหนือ	ตาก	เมือง
	เชียงใหม่	เมือง สันกำแพง
		ดอยสะเก็ด จอมทอง
	น่าน	เมือง
	ลำปาง	เกาะคา แม่เมาะ
	เชียงราย	แม่สาย
	แพร่	ร้อยกวาง
	พะเยา	เมือง ดอกคำใต้
กลาง	สระบุรี	เมือง พระพุทธบาท
	ชลบุรี	เมือง สัตหีบ
	ระยอง	เมือง แกลง
ตะวันตก	กาญจนบุรี	เมือง
	ประจวบคีรีขันธ์	หัวหิน
ตะวันออกเฉียงเหนือ	นครราชสีมา	ปากช่อง
	เลย	ภูกระดึง
ใต้	ชุมพร	เมือง หลังสวน ปะทิว
	ตรัง	ห้วยยอด ปะเหลียน
	นครศรีธรรมราช	ร่อนพิบูลย์ ทุ่งสง
	พังงา	เมือง
	พัทลุง	เมือง ควนขนุน
	สุราษฎร์ธานี	เกาะสมุย

ตารางที่ 16 (ต่อ) แหล่งผลิตวัสดุปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย

ภาค	จังหวัด	อำเภอ
	ปูนเผาและปูนขาว	
เหนือ	ตาก	เมือง
	เชียงใหม่	หางดง
	ลำปาง	เถิน เกาะคา
	แพร่	เด่นชัย
	พะเยา	ดอกคำใต้ เชียงคำ
	กำแพงเพชร	ขาณุวรลักษณ์
กลาง	สระบุรี	เมืองพระพุทธบาท
ตะวันออก	ชลบุรี	บางละมุง (จากเปลือกหอย)
	จันทบุรี	มะขาม
ตะวันตก	กาญจนบุรี	เมืองท่าม่วง
	สมุทรสงคราม	เมือง (จากเปลือกหอย)
	สมุทรสาคร	เมือง (จากเปลือกหอย)
	ประจวบคีรีขันธ์	ปราณบุรี
	ราชบุรี	เมืองจอมบึง
ตะวันออกเฉียงเหนือ	นครราชสีมา	ปากช่อง โชคชัย
ใต้	ตรัง	เมืองห้วยยอด
	นครศรีธรรมราช	ร่อนพิบูลย์
	พังงา	เมือง
	สุราษฎร์ธานี	เมือง เวียงสระ พุนพิน
	ปูนมาร์ล	
เหนือ	นครสวรรค์	ตาคลี ตากฟ้า
กลาง	สระบุรี	พระพุทธบาท บ้านหมอ
	ลพบุรี	เมือง
ตะวันตก	กาญจนบุรี	ท่าม่วง

ที่มา : อรุณีและคณะ (2529)

ความเค็มของดิน (Soluble Salt)

วิธีวัดความเค็มของดินมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ การวัดความเค็มโดยใช้ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity ; EC) ซึ่งมีหน่วยเป็น dS/m หรือ mmho/cm ค่ามาตรฐานที่ใช้ต้องเป็นการวัดค่าการนำไฟฟ้าของดินจากสารละลายที่สกัดจากดินขณะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (electrical conductivity at saturation extract ; ECe หรือ ECs) ที่ 25°C มาใช้ประเมินปริมาณเกลือ หรืออิทธิพลของเกลือในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

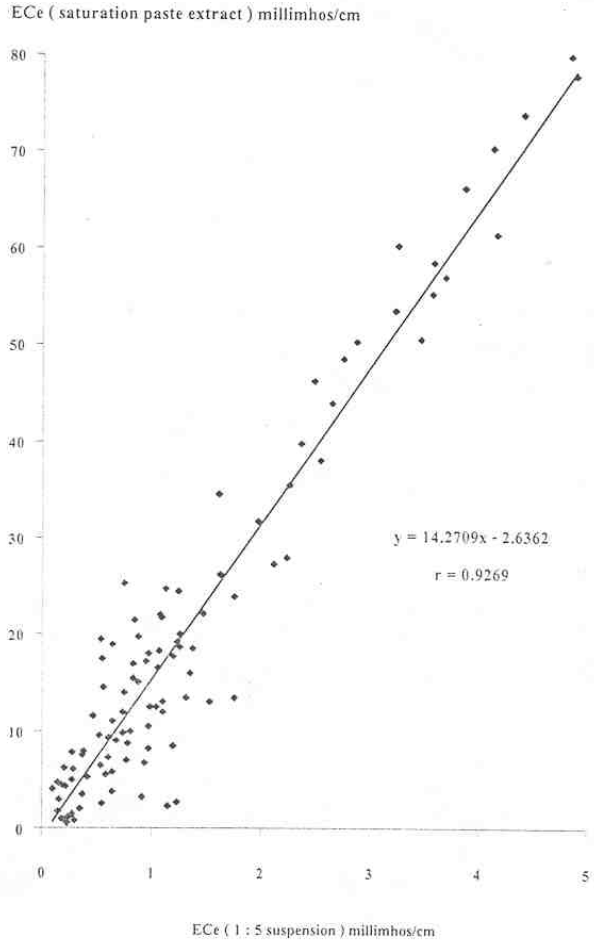
ECe (dS/m)	เกลือในดิน (%)	ระดับความเค็มของดิน	อิทธิพลต่อพืช
2	<0.1	ไม่เค็ม	ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
2-4	0.1 - 0.2	เค็มเล็กน้อย	มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม
4-8	0.2 - 0.4	เค็มปานกลาง	มีผลต่อพืชหลายชนิด
8-16	0.3 - 0.8	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี
16	>0.8	เค็มจัด	พืชทนเค็มน้อยชนิดหรือพืชชอบเกลือที่เจริญเติบโตได้ดี

ที่มา U.S. Soil Salinity Laboratory Staff (1954)

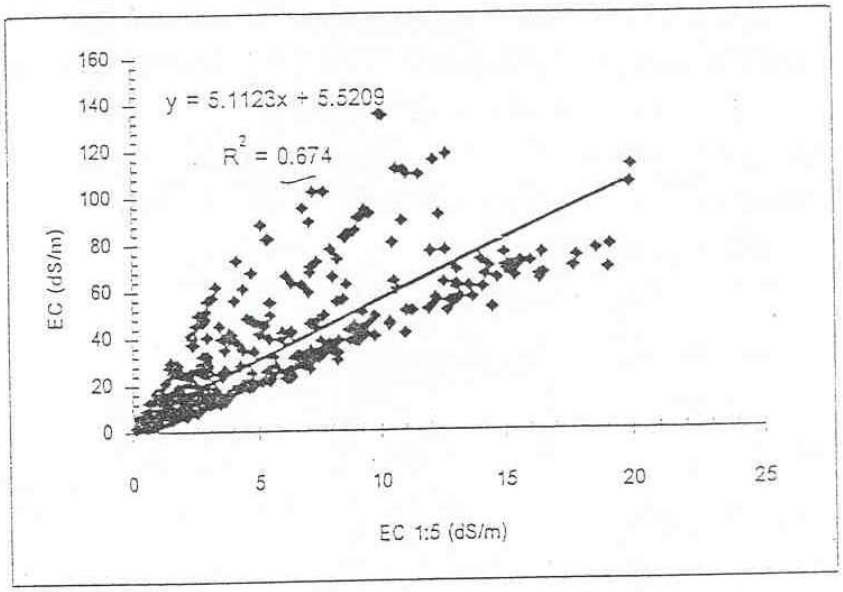
การวัดความเค็มของดินโดยการสกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้น เป็นวิธีสกัดดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำออกจากดินโดยใช้เครื่องสกัด (Baroid press) ซึ่งเป็นเครื่องสกัดที่มีราคาแพงและใช้เวลามาก สำหรับห้องปฏิบัติการทั่วไปที่ไม่มีเครื่องสกัดดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ควรใช้วิธีการวิเคราะห์ความเค็มโดยสกัดดิน : น้ำ อัตราส่วน 1:5 แล้วเทียบจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีสกัดดินที่อิ่มตัวกับวิธีสกัดดิน : น้ำ อัตราส่วน 1:5 (correlation curve) ที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว คือ จุไรและคณะ (2527) ได้เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ความเค็มของดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยวิธีสกัดดิน : น้ำอัตราส่วน 1:5และวิธีสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่า มีความสัมพันธ์ทางสถิติสูง ดังรูปที่ 8

ภิญโญ และคณะ (2543) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีสกัดดิน 2 วิธีเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 9 แต่ใช้ดินเค็มชายทะเลในภาคกลาง พบว่า ความสัมพันธ์รวมของตัวอย่างทั้งหมดของค่า ECe 1:5 และ Ece มีความสัมพันธ์ต่ำสุด แต่ถ้าความสมพันธ์ทางสถิติ ตามระดับ % clay ความสัมพันธ์ตามเนื้อดินมีสูงมาก ดังรูปที่ 10.1-10.5 ดังนั้น ถ้าต้องการทราบเฉพาะค่า Ece ของดินเท่านั้น ควรวัดโดยอัตราส่วน 1:5 จะรวดเร็วกว่า เนื่องจากวิธีที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นวิธีที่ใช้เวลามากคือ

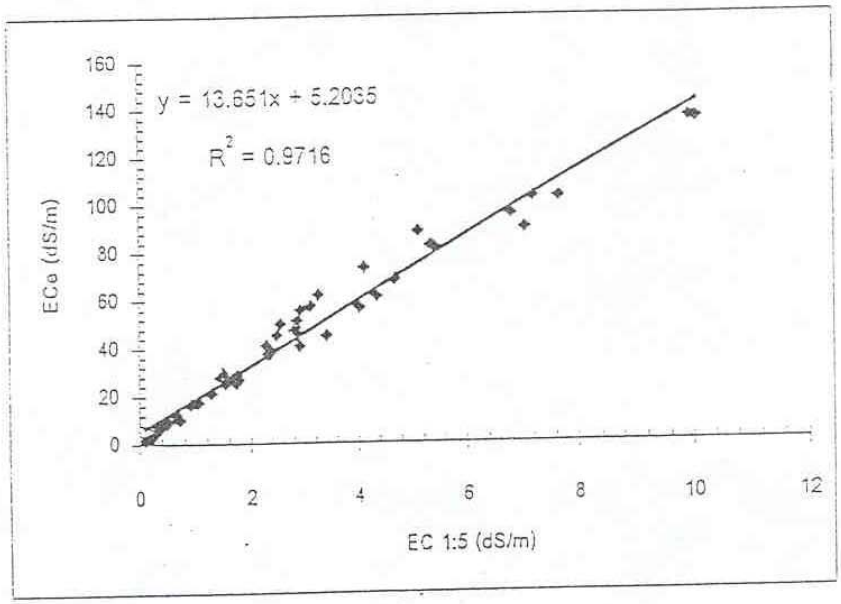
1. ในการกวนดินให้เป็นเนื้อเดียวกันจนไม่มีเม็ดดินและไม่มีน้ำที่แยกตัวจากดิน จนเกิดเป็นมัน ซึ่งเมื่อถึงจุดที่นำไปใส่เครื่องสกัดจะคล้ายกับยาสีฟันเหลว (saturation paste) (2) การสกัดถ้าเป็นดินเหนียว การดันน้ำโดยใช้ปั๊มลมจะใช้เวลามากหลายชั่วโมง และ (3) จะต้องวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของน้ำที่ทำให้ดินนั้นอิ่มตัว (saturation percentage) ซึ่งจะต้องระบุในรายงานการวิเคราะห์ ECe ด้วย เพื่อที่จะนำไปคำนวณปริมาณประจุบวกและลบของเกลือที่ละลายได้และประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้



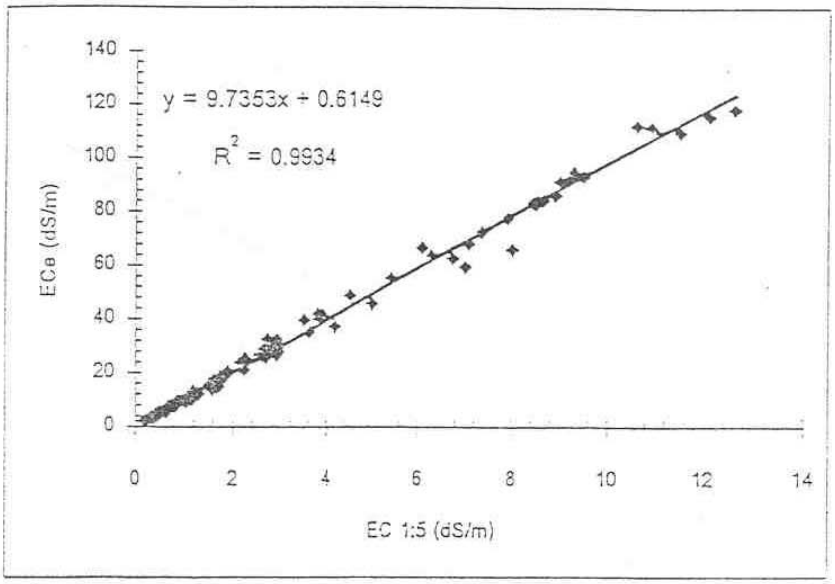
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ECe อัตราส่วน 1:5 และ ECe วิธีสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
ที่มา จุไร และคณะ (2527)



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe รวมทั้งหมดของดิน
ที่ความลึก 0-15 ซม.
ที่มา ภิญโญ และคณะ (2543)

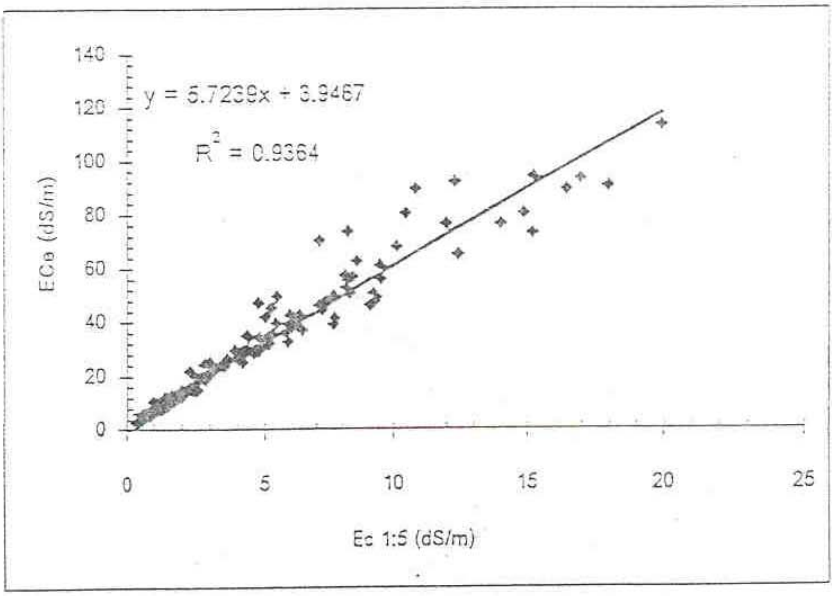


รูปที่ 10.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี %Clay < 10%
ที่ความลึก 0-15 ซม.
ที่มา ภิญโญ และคณะ (2543)



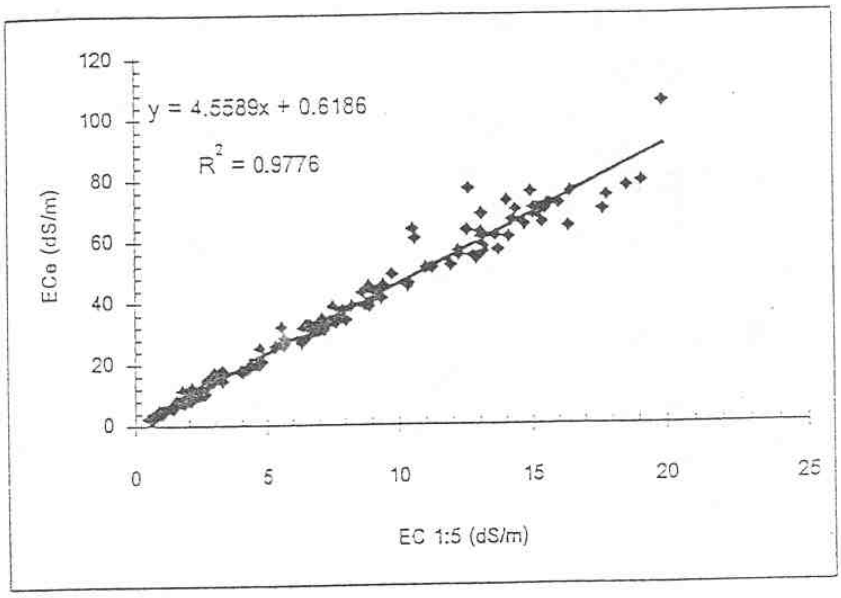
รูปที่ 10.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี %Clay 10-18% ที่ความลึก 0-15 ซม.

ที่มา ภิญโญ และคณะ (2548)



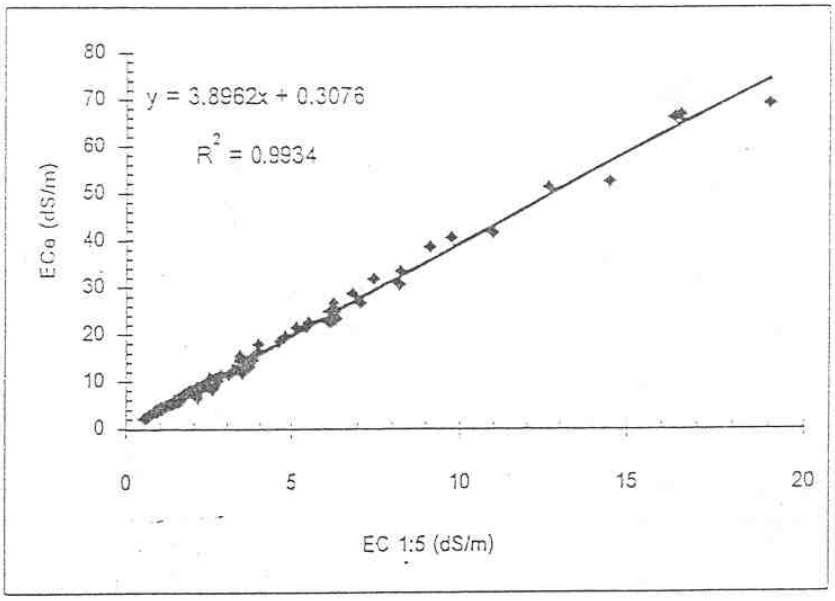
รูปที่ 10.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี %Clay 18-35% ที่ความลึก 0-15 ซม.

ที่มา ภิญโญ และคณะ (2543)



รูปที่ 10.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี %Clay 35-60% ที่ความลึก 0-15 ซม.

ที่มา ภิญโญ และคณะ (2543)



รูปที่ 10.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC 1:5 กับ ECe ของดินที่มี %Clay > 60% ที่ความลึก 0-15 ซม.

ที่มา ภิญโญ และคณะ (2543)

การจำแนกดินเกลือ

ดินเกลือ คือ ดินที่มีเกลือซึ่งละลายง่าย (soluble salts) และ/หรือ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium) ปริมาณมากจนทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ซึ่งเกิดผลกระทบจากปริมาณเกลือ โดยทั่ว ๆไปแล้ว ดินที่อยู่ใกล้ทะเลจะมีเกลือสะสมมากกว่าอยู่ไกลทะเล บางพื้นที่ถึงแม้ว่าจะอยู่ห่างทะเลมาก แต่ในอดีตเคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อนหรือน้ำอาจพัดพาเกลือจากแหล่งอื่น ๆมาสะสม จนดินนั้นมีเกลือมากกว่าปกติก็ได้ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น นำเกลือจากแหล่งอื่นมาใส่เพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ หรือสูบน้ำใต้ดินที่มีแหล่งหินเกลือเพื่อทำเกลือสินเธาว์ เป็นต้น ดินเหล่านี้เป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ (salt affected soil) หรือเรียกว่าดินเกลือ หรือดินเค็มก็ได้

การจำแนกดินเกลือมีหลายระบบด้วยกัน แต่ละระบบจำแนกแตกต่างกันไปเพื่อสะดวกในการจัดการดินเกลือ บ้างจำแนกตามชนิดของเกลือ เช่น ประเทศแถบยุโรปแยกตามเกลือ ถ้าใส่ไม่ได้ใส่ตาม Na_2CO_3 ซึ่งจะล้างออกจากดินได้ยากกว่าเกลือ Na_2SO_4 หรือ NaCl สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนามีเครื่องมือไม่ทันสมัยจะจำแนกดินเกลือตามระดับความเค็ม คือ เค็มน้อย เค็มปานกลาง และเค็มมาก เป็นต้น และบางประเทศไม่ได้จัดระดับความเค็มเลย แต่จำแนกโดยใช้คราบเกลือเป็นเกณฑ์

ประเทศไทยได้จำแนกดินเกลือตามการจำแนกของ USSL (U.S. Salinity Laboratory) ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งประเทศแถบตะวันตกนิยมใช้ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ดินเค็ม (saline soil) ดินโซดิก (sodic soil) และดินเค็มโซดิก (saline sodic soil)

1. ดินเค็ม (saline soil) คือดินที่มีเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่มากจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดย

1.1 มีค่าการนำไฟฟ้า (ECe) ของสารละลายดินที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (soil saturation extract) มากกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร (>2 dS/m) ที่อุณหภูมิ 25°C

1.2 มีค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage ; ESP) น้อยกว่า 15

1.3 pH มักจะน้อยกว่า 8.5 หรือเป็นกรด

1.4 เกลือมักจะเป็นเกลือคลอไรด์และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งละลายง่ายและมีความเข้มข้นสูง จึงทำให้โครงสร้างของดินอยู่ในสภาพดี ทำให้ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน (สมศรี,2539)

1.5 พืชที่ไวต่อเกลือจะมีการเจริญเติบโตลดลงมาก เมื่อปลูกในดินที่มีการนำไฟฟ้า 2 dS/m แต่การเจริญเติบโตของพืชทนเค็มลดลงอย่างชัดเจน เมื่อปลูกในดินซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าตั้งแต่ 8 dS/m ขึ้นไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2. ดินโซดิก (sodic soil) คือ ดินที่ไม่ใช่ดินเค็ม แต่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มากจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดย

2.1 ดินโซดิกมี natric horizon ซึ่งเป็นชั้น B ที่มีการสะสมแร่ดินเหนียวซิลิเกต (silicate clay) ที่ถูกชะลงมาจากชั้นดินบน (ชั้น A) ซึ่งชั้น A ส่วนล่างจะมีสีซีด ส่วนใหญ่มีแต่ทรายและทรายแป้ง และดินบางพื้นที่ถ้ามีปริมาณดินอินทรียวัตถุสูง ดินอาจมีสีคล้ำ เนื่องจากฮิวมัสบางส่วนละลายได้ดีในสภาพเป็นด่าง สมัยโบราณเรียกดินชนิดนี้ว่า black alkali soil

2.2 ค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) มากกว่า 15 และมีค่าอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับในดิน (SAR) เท่ากับ 13 หรือน้อยกว่า 13

2.3 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) น้อยกว่า 2 dS/m ที่อุณหภูมิ 25°C

2.4 ปฏิกิริยาดินเป็นด่าง โดยมี pH อยู่ระหว่าง 8.5-10

2.5 เกลือที่ละลายได้มักเป็นเกลือคาร์บอเนต และเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม

2.6 เมื่อดินมี pH สูงจึงเกิดการตกตะกอนของแคลเซียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้มีแคลเซียมและแมกนีเซียมในสารละลายดินต่ำ พืชอาจขาดธาตุอาหารรองสองธาตุนี้ได้

2.7 เนื่องจากดินมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากเกินไป ทำให้ดินมีสมบัติทางกายภาพเลว คือ ดินฟุ้งกระจาย (dispersion) สูง มีโครงสร้างที่ไม่อยู่ตัว และฝุ่นดินที่เกิดจากการฟุ้งกระจายนี้จะอยู่แทรกตามช่องว่างของดิน ทำให้ดินแน่นและแข็งมาก น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยาก จึงทำให้การระบายน้ำเลว และยากต่อการไถพรวน

2.8 ผลกระทบจากการที่ดินมี pH สูง ทำให้ขาดธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี ไนโตรเจน และความเป็นพิษของโซเดียม โบรอนและโมลิบดีนัม

3. ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) คือ เป็นทั้งดินเค็มและดินโซดิก นั่นคือ เป็นดินที่มีเกลือมากเกินไป ทั้งเกลือที่ละลายง่ายและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง จนทำให้การเจริญเติบโตของพืชทั่วไปลดลงมาก โดย

3.1 มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) มากกว่า 2 dS/m ที่ 25°C

3.2 ค่าอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับในดิน (SAR) ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป

3.3 ค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) มากกว่า 15

การจำแนกดินเค็ม ได้มีการกำหนดจุดพิกัดมาตรฐานกับดินโซดิกว่า เมื่อดินมีค่า ESP = 15 ดินเริ่มแสดงสมบัติทางกายภาพเลวลงกล่าวคือ ดินแน่นทึบ น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยากหรือช้ามาก แต่มีนักวิทยาศาสตร์หลายประเทศได้ศึกษาในเรื่องนี้ พบว่า การกำหนดค่า ESP นั้นไม่แน่นอนขึ้นกับชนิดของดินและพืชที่ปลูก เช่น เมื่อดินมีค่า ESP มากกว่า 6 ดินมีสมบัติทางกายภาพไม่ดี ดินจะแข็งและแน่นทึบ ส่วนงานวิจัยในสาธารณรัฐประชาชนจีนและประเทศอินเดีย พบว่า ค่า ESP ของดินมากกว่า 40 และ 60 ยังสามารถปลูกข้าวสาลี บาเล่ย์ และข้าวได้ผลผลิตตามปกติ การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างการยอมให้น้ำและอากาศซึมผ่านดินยุ่งยาก ดังนั้น จึงมีการเสนอให้วิเคราะห์อัตราส่วนการยอมให้น้ำซึมผ่านดินที่ใส่และไม่ใส่ 0.5 N $CaCl_2$ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเสื่อมของโครงสร้างดินมากกว่าใช้ค่า ESP ซึ่งปัจจุบัน

ใช้กันหลายประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ USSL สหรัฐอเมริกา (United State Saline Soil Laboratory) (สมศรี 2539)

สำหรับค่า ESP นั้น เป็นค่าที่คำนวณ ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี กล่าวคือ ต้องวิเคราะห์โซเดียมที่สกัดได้ โซเดียมที่ละลายได้ ซึ่งต้องสกัดโดยเครื่องสกัดดินจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ คือ Baroid press ใช้เวลานาน ราคาแพงดังกล่าวข้างต้น และต้องวิเคราะห์ความจุในแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity, CEC) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้เวลามากและเสียค่าใช้จ่ายสูงเช่นเดียวกัน ค่า ESP ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ดิน คำนวณดังนี้

$$\text{soluble Na meq/100 g ดิน} = \text{soluble Na} \frac{\text{meq}}{1000\ \text{ml}} \times \text{SP} \times \frac{\text{ml}}{100\ \text{g ดิน}}$$

$$\text{Exchangeable Na meq/100 g ดิน} = \text{Extractable Na} - \text{soluble Na}$$

$$\text{ESP} = \frac{\text{Exchangeable Na}}{\text{CEC}} \times 100$$

ดังนั้น จึงควรพิจารณาใช้ค่าอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับในดิน (Sodium Absorption Ratio : SAR) ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าร้อยละของโซเดียมที่แทนที่ได้ (Exchangeable Sodium Percentage : ESP) ซึ่งมีสูตร

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

โดย Na , Ca และ Mg ของสารละลายดินมีหน่วยเป็น meq/l จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ Na, Ca และ Mg ในสารละลายดินเพื่อคำนวณ SAR จะง่ายกว่า ใช้เวลาน้อยกว่า การวิเคราะห์เพื่อคำนวณ ESP เนื่องจากสารละลายดินที่จะวัด Na , Ca และ Mg นั้น จำเป็นจะต้องสกัดอยู่แล้วเพื่อวัดค่า ECe การจำแนกดินเกลือสรุปไว้ในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การจำแนกประเภทของดินเกลือ

ประเภทของดิน	ค่าการนำไฟฟ้า dS/m	อัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับในดิน
ดินธรรมดา	<2	<13
ดินเค็ม	≥2	<13
ดินโซดิก	<2	≥13
ดินเค็มโซดิก	≥2	≥13

ประเทศไทยพบดินเค็มแพร่กระจายทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและบริเวณชายฝั่งทะเล สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดินเค็มแพร่กระจายอยู่เกือบทุกจังหวัด ตั้งแต่ระดับเค็มน้อย เค็มปานกลาง และเค็มมาก รวมพื้นที่ถึง 17.61 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 17 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบในที่ลุ่มหรือที่ต่ำส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว ผลผลิตที่ได้ต่ำ หรือไม่ได้ผลผลิตเลย และนอกจากนี้ยังมีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายดินเค็มอีก 19.4 ล้านไร่ รวมแล้วมีพื้นที่มีปัญหาดินเค็มเข้ามาเกี่ยวข้อง ประมาณ 37 ล้านไร่ (สมศรี 2539) การแบ่งพื้นที่ดินเค็มสำหรับประเทศไทย มีดังนี้

1. ดินเค็มชายทะเล (coastal saline soil) สาเหตุเกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลท่วมถึงหรือเคยท่วมมาก่อน มีเกลือละลายได้หลายชนิด และมีปริมาณมาก ส่วนใหญ่ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต ของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม พื้นที่ดินเค็มส่วนใหญ่ไม่ห่างจากฝั่งทะเล ซึ่งในอดีตบริเวณชายฝั่งทะเลจัดเป็นบริเวณที่มีระบบนิเวศน์ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากร การใช้ประโยชน์มีความหลากหลายแล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่ เมื่อประชากรของประเทศเพิ่มขึ้น ประชากรได้บุกรุกเข้าไปทำประโยชน์บริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งเคยเป็นป่าชายเลนเป็นดินเค็มจัด จึงกลายเป็นพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัดที่เกิดจากการ Oxidation ของไพไรท์ ซึ่งเป็นปัญหาอีกอย่างหนึ่งเพิ่มขึ้น ดินเค็มประเภทนี้เป็นดินแน่นทึบไม่มีพืชขึ้น พืชที่ปลูกแคระแกรน ไม่เจริญเติบโต เนื่องจากความเค็ม พืชที่สังเกตเห็นที่สามารถเจริญเติบโตและทนเค็มบนดินชนิดนี้ คือ ชะคราม จาก แสม โกงกาง ลำแพน ลำพู เหงือก ปลาหมอ หนามแดง และหญ้าทนเค็มบางชนิด พื้นที่ที่พบมากที่สุด คือ ภาคใต้ รองลงมาคือ ภาคกลาง พบน้อยที่สุดในภาคตะวันออก (มานพ, 2536)

สาเหตุการเกิดดินเค็มชายทะเล และสมบัติดินทางกายภาพและเคมี รายละเอียดรวบรวมจากสมศรี (2539) ดังนี้

1.1 บริเวณที่น้ำทะเลท่วมถึง (active tidal flat) สภาพพื้นที่มีน้ำทะเลท่วมถึง วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำทะเลที่มีอายุน้อย โครงสร้างของดินยังไม่พัฒนา มีสมบัติทางกายภาพเลว เนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง การระบายน้ำเลว ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง ซึ่งขึ้นกับจำนวนรากพืช และจำนวนรูปู ดินมีจะมีความชื้นและความเค็มสูง เช่น ชุดดินท่าจีน (Tha Chin Series : Tc) ชุดดินบางปะกง (Bang Pakong series : Bpg) ชุดดินตะกั่วทุ่ง (Thakua Thung series ; Tkt) ชุดดินปัตตานี (Pattani series : Pti)

ชุดดินท่าจีน และชุดดินบางปะกง	ดินบน (< 30 ซม.)	ดินล่าง (> 30 ซม.)
pH	7.0	7.5-8.5
อินทรียวัตถุ	สูง	สูง
การอิ่มตัวด้วยเบส	สูง	สูงมาก
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	สูง	สูงมาก

สรุปได้ว่าดินนี้มีแร่ธาตุตามธรรมชาติสูง สำหรับชุดดินบางปะกงมีสารไพไรท์สูง เมื่อดินแห้งจะเกิดสภาพกรดแก่จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น แต่ถ้าดินเปียกอยู่ตลอดเวลาดินจะมีปฏิกิริยาเป็นด่าง

1.2 บริเวณที่น้ำทะเลเคยขึ้นถึง (former tidal flat) เป็นดินที่เกิดจากตะกอนของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย ปัจจุบันน้ำทะเลท่วมไม่ถึง ลักษณะพื้นที่ราบเรียบ ความสามารถยอมให้น้ำซึมผ่านได้ช้า เนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง มีความเค็มสูง บางแห่งอาจพบชั้นของทราย และหอยในดินชั้นล่าง ชุดดินในพื้นที่นี้คือ ชุดดินสมุทรปราการ (Samut Prakan series : Sm) ซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องความเป็นกรดของดินแต่ดินบางชุด เช่น ชุดดินชะอำ มีปัญหาเรื่องความเป็นกรดของดิน เมื่อนำมาใช้ในการเกษตร จำเป็นต้องปรับปรุงดิน ชุดดินสมุทรสงคราม (Samut Songkram series : Sso) และชุดดินหนองแก (Nong Kae series : Nk) ผลการวิเคราะห์ดินของตัวแทนดินนี้ มีดังนี้

ชุดดินสมุทรปราการ	ดินบน (< 30 ซม.)	ดินล่าง (> 30 ซม.)
pH	6.1-6.5	7.0-8.5
อินทรียวัตถุ	สูง	สูง
การอิ่มตัวด้วยเบส	สูง	สูง
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	สูงมาก	สูงมาก
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	สูงมาก	สูงมาก
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	สูงมาก	สูงมาก

ชุดดินนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการปลูกข้าว ผลผลิตไม่สูงเนื่องจากปัญหาดินเค็มและอาจถูกน้ำทะเลท่วมเมื่อน้ำทะเลขึ้นถึงควรทำเขื่อนหรือทำนบ

ชุดดินหนองแก	ดินบน (20/30 ซม.)	ดินล่าง (>20/30 ซม.)
เนื้อดิน	ดินร่วน ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนเหนียวปนทรายละเอียด ดินเหนียวปนทราย
pH	6.0-6.5 หรือ 4.5-7.0 (บางแห่ง)	8.0-8.5
การอิ่มตัวด้วยเบส	ปานกลาง	สูง
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ต่ำมาก	ค่อนข้างต่ำ
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ปานกลาง	สูง

กล่าวโดยสรุป ดินในชุดดินนี้มีสมบัติทางกายภาพเลว โครงสร้างของดินไม่ดี ดินมีการยึดตัว เม็ดดินแน่นทึบ แข็ง ยากต่อการไถพรวน และการระบายน้ำเลว ส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้ในการเกษตร เพราะรากพืชล้มลุกไม่สามารถชอนไชไปได้สะดวก เนื่องจากโครงสร้างแน่นทึบและดินแข็งมากดังกล่าวแล้วและดินมีโซเดียมสูงทำให้ดินจับตัวกันแน่น จึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่เจริญงอกงาม ต้นพืชที่ขึ้นได้คือจำพวกไผ่ ไม้หนาม ไม้พุ่ม ต้นสะแก ทุ่งหญ้าจะขึ้นอยู่ห่าง ๆ และมีลักษณะแคระแกร็น

การแพร่กระจายดินเค็ม และระดับความเค็มของดินเค็มชายทะเลนั้นขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดของดิน

2) การขึ้นลงของน้ำทะเล

3) ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน

4) ปัญหาในปัจจุบันของการแพร่กระจายดินเค็มอีกอย่างหนึ่งคือการระบายน้ำเค็มออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำไปยังพื้นที่การเกษตร หรือสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่น้ำจืดภาคกลาง

2. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าร้อยละ 17 ของพื้นที่เป็นดินเค็มกระจายอยู่ใน 18 จังหวัด นครราชสีมา ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี สกลนคร หนองคาย อุดรธานี และนครพนม เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินเค็ม ประมาณ 17.8 ล้านไร่ (สมศรี, 2539) แบ่งเป็น

2.1 ดินเค็มน้อย ไม่สามารถเห็นคราบเกลือบนผิวดินได้ การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง มีพื้นที่ 12.6 ล้านไร่

2.2 ดินเค็มปานกลาง สามารถเห็นคราบเกลือบนผิวดินเป็นหย่อม ๆ ผลผลิตของพืชลดลงกว่าครึ่งหนึ่งของผลผลิตที่เคยได้รับ

2.3 พื้นที่ดินเค็มจัดมีคราบเกลือมาก ปล่อยทิ้งไว้ว่างเปล่า ไม่สามารถทำการเกษตรได้ มีพื้นที่ประมาณ 1.5 ล้านไร่

แหล่งกำเนิดดินเกลือหรือดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสาเหตุใหญ่ ๆ คือ หินเกลือใต้ดิน หินทราย หินดินดานอมเกลือ และน้ำใต้ดินเค็ม ดังนี้

ชั้นหินเกลือ ชั้นหินเกลือประกอบด้วย โซเดียมคลอไรด์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ พบเป็นลักษณะวางตัวเป็นชั้นอยู่ในระดับตื้นและลักษณะผิวดิน เกลือที่พบในชั้นดินของพื้นที่ดินเค็มเกิดจากหินเกลือที่อยู่ชั้นบนผุพังสลายตัวทำให้มีเกลือสะสมในหินทราย และหินดินดานของหินชุดมหาสารคามมหาสารคาม หรือที่เรียกว่าหินอมเกลือ ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดิน ประมาณ 1-2 เมตร เท่านั้น ในฤดูแล้งจะเป็นคราบเกลือ เนื่องจากน้ำระเหยออกไป แต่ในฤดูฝนเกลือจะถูกชะละลายโดยน้ำซึมลงไป

น้ำใต้ดินเค็ม น้ำใต้ดินในที่ลุ่มได้รับอิทธิพลจากชั้นหินเกลือ ทำให้มีความเค็มสูง ถ้าน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกจากผิวดินไหลผ่านรอยแตกของชั้นหินเข้ามาปนเปื้อนกับน้ำชั้นบน จะทำให้

เกิดดินเค็ม ส่วนน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ผิวดิน เกลือจะเคลื่อนขึ้นมาในดินบนพร้อมกับการระเหยของน้ำผิวดิน ก่อให้เกิดดินเค็ม

อนึ่ง การเกิดดินเค็มในพื้นที่ลุ่มต่ำนั้น เกิดจากการที่น้ำที่มีเกลือละลายอยู่ไหลมารวมกัน และเมื่อน้ำระเหยออกไป เกลือที่เหลืออยู่จะสะสมในดิน นอกจากนั้น สาเหตุอาจมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ การสร้างอ่างเก็บน้ำบนดินเค็ม การชลประทานที่ขาดการวางแผนในเรื่องผลกระทบของดินเค็ม และการตัดไม้ทำลายป่า

3. ดินเค็มภาคกลาง ภาคกลางเป็นพื้นที่ราบลุ่ม ประกอบด้วย สามเหลี่ยมปากแม่น้ำ (delta) ซึ่งมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นดินแดนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเก่า (Old delta) จะครอบคลุมพื้นที่ตอนเหนือขึ้นไปจนถึงจังหวัดชัยนาท และส่วนที่เป็นดินแดนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำใหม่ (young delta) จะครอบคลุมพื้นที่จากปากแม่น้ำขึ้นไปจนถึงจังหวัดอยุธยา ซึ่งพื้นที่เหล่านี้สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 2 เมตร สมศรีและพรรณี, (2542) กล่าวว่า พื้นที่ภาคกลางเป็นดิน Bangkok clay พบตะกอนน้ำเค็มที่มีซากพืช ไม้โกงกาง และมีพวกหอย และหินปูนจากซากผุพังสะสมอยู่มีอายุหลายพันปี แสดงว่าพื้นที่ภาคกลางเป็นพื้นที่ที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงมาก่อน มีการสะสมเกลือในพื้นที่ จังหวัดที่มีปัญหาดินเค็ม คือ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ราชบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี อยุธยา ลพบุรี อุทัยธานี ชัยนาท

เกลือที่เกิดสะสมในดินเค็มภาคกลางแตกต่างจากเกลือที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมักจะเป็น NaCl แต่เกลือในภาคกลางเป็นเกลือ Cl^- , HCO_3^- และ SO_4^{2-} ของ Ca^{2+}, Mg^{2+} และ Na^+ สำหรับการปรับปรุงดินเค็ม เกลือที่มีอยู่ในดินนั้น เกลือ NaCl ละลายน้ำได้ง่ายกว่าเกลือในรูปของ $NaHCO_3$ หรือ Na_2CO_3 จึงทำให้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือล้างเกลือออกจากดินได้ง่ายกว่า แต่ปัญหาคือมีความเค็มมากกว่าและไม่มีแหล่งน้ำที่จะช่วยชะละลายและระบายออกจากพื้นที่ได้

แนวทางในการจัดการดินเค็ม

ปัญหาดินเค็มเป็นปัญหาใหญ่ที่จำเป็นจะต้องแก้ไขปรับปรุงมิฉะนั้นจะเกิดผลเสียต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น ถ้าไม่จัดการพื้นที่โดยให้มีการป้องกันและแก้ไขที่ถูกต้องแล้ว ผลกระทบโดยการแพร่กระจายจะเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว และยากที่จะแก้ไขเมื่อได้เกิดขึ้นแล้ว ดังนั้น มาตรการจัดการพื้นที่ดินเค็มที่มีประสิทธิภาพนั้น สมศรี (2539) แนะนำมาตรการการจัดการดังนี้

1. การป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มมากขึ้น โดยใช้วิธีทางวิศวกรรม วิธีทางชีววิทยา และวิธีการผสมผสานระหว่างทั้ง 2 วิธีการ เช่น

1.1 ออกแบบเพื่อลดหรือตัดกระแสการไหลของน้ำใต้ดินให้อยู่ในสมดุลของธรรมชาติมากที่สุด ไม่ให้เกิดการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินเค็มในที่ลุ่ม

1.2 ปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็ม ปลูกไม้ยืนต้นหรือไม้โตเร็วที่มีรากลึกใช้น้ำมากบนพื้นที่รับน้ำ (recharge area) เพื่อทำให้เกิดสมดุลของการใช้น้ำและน้ำใต้ดินในพื้นที่ซึ่งสามารถแก้ไขลดความเค็มในที่ลุ่มที่เป็นพื้นที่ให้น้ำได้ (discharge area)

1.3 พื้นที่เค็มจัด คัดพันธุ์พืชทนเค็มจัดหรือพืชชอบเกลือมาปลูก เช่น ไม้ยืนต้น ไม้พุ่มที่เป็นไม้โตเร็ว และหญ้าเพื่อลดอัตราการระเหยน้ำจากผิวดิน ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้เกลือขึ้นมาสะสม

2. การลดระดับความเค็มลงให้สามารถปลูกพืชได้ โดยวิธีการใช้น้ำชะล้างเกลือจากดินและการปรับปรุงดิน การให้น้ำล้างดินมี 2 แบบ

2.1 แบบต่อเนื่อง นิยมใช้กับพืชที่ทนทานต่อการที่มีน้ำขังเป็นเวลานาน ข้อดีคือ ใช้เวลาแก้ไขได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียคือ ใช้น้ำมากกว่าและดูแลมากกว่า

2.2 ขังน้ำเป็นช่วงเวลา เหมาะสำหรับการปลูกพืชไร่และพืชผักต่าง ๆ ข้อดีคือ ประหยัดน้ำ ข้อเสียคือ ใช้เวลาในการล้างดินมาก

3. การใช้พื้นที่ดินเค็มให้เกิดประโยชน์ตามสภาพที่เป็นอยู่ไม่ปล่อยให้ว่างเปล่า เปลี่ยนพืชเป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสม โดยปลูกพืชทนเค็ม พืชชอบเกลือ ใช้เทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ลงทุนน้อย และเกษตรกรสามารถปฏิบัติได้เอง

การจัดการตามมาตรการดังกล่าว จำเป็นจะต้องพิจารณาระดับความเค็มด้วยว่าเป็นดินเค็มน้อย เค็มปานกลาง เค็มจัด หรือเป็นแหล่งที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายเกลือ ซึ่งกรมพัฒนาที่ดิน โดยกองสำรวจดินได้ทำแผนที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือไว้แล้ว

พื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง

1 เลือกชนิดพืชทนเค็ม ในการปรับปรุงดินเค็มทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมมากและใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ คือ การล้างเกลือออกจากดิน (ตามข้อ 2) จนความเค็มลดลงปกติไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก แต่การล้างดินต้องใช้เทคนิคสูง ใช้เวลานาน เสียค่าใช้จ่ายมาก และสำหรับประเทศไทยการล้างเกลือออกจากดินที่มีความเค็มมาก เกษตรกรไม่สามารถลงทุนได้ด้วยตัวเอง เพราะลำพังแต่ลงทุนใส่สารปรับปรุงดินและปุ๋ยเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของดินก็ยังไม่สามารถทำได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากยากจนไม่มีเงินลงทุน อีกทั้งผลผลิตยังมีราคาต่ำ ดังนั้น วิธีการก็คือ ควรลดความเค็มของดินให้ถึงระดับหนึ่งที่พืชสามารถทนเค็มได้ กล่าวคือ ต้องล้างเกลือจนถึงเค็มปานกลางหรือเค็มน้อยที่พืชจะทนได้ ก็จะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย การปลูกพืชทนเค็มจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ควรนำมาใช้ โดยเฉพาะดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องล้างเกลือออกจากดินก็สามารถเลือกพืชทนเค็มหลายชนิดมาปลูกได้ เช่น การใช้พันธุ์ข้าวทนเค็มปลูกในที่ลุ่ม ซึ่งได้มีผู้วิจัยข้าวพันธ์ต่าง ๆ พบว่าสามารถปลูกในพื้นที่ดินเค็มน้อย และเค็มปานกลาง ส่วนที่ดอนน้ำไม่ท่วมสามารถควบคุมน้ำได้ ควรปลูกพืชเศรษฐกิจที่มีราคา เช่น หน่อไม้ฝรั่ง และแคนตาลูป เป็นต้น ซึ่งสามารถทนความเค็มระหว่าง 4-11 dS/m หรือ mmho/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส กลุ่มพืชทนเค็มที่เจริญเติบโตได้ในระดับความเค็มต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ชนิดพืชทนเค็มที่สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับต่าง ๆโดยให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 50 ของผลผลิตที่ได้รับเมื่อปลูกในดินปกติ

1. การนำไฟฟ้า (มิลลิโมห์/ซม หรือเดซิซีเมน/เมตร	2 →	4 →	8 →	12-16 →
2. เปอร์เซ็นต์เกลือ (โดยประมาณ)	0-.12 →	0.25 →	0.5 →	0.75-1.0 →
3. ชั้นคุณภาพของดิน	เค็มน้อย	เค็มปานกลาง	เค็มมาก	เค็มจัด
4. อาการของพืช	บางชนิดแสดงอาการ	พืชทั่วไปมีอาการ	พืชทนเค็มบางชนิดเท่านั้นที่เติบโตให้ผลผลิตได้	
	พืชสวน			
หมายเหตุ ช่องที่ลงพืชตรงกับค่าของความเค็มข้างบนแสดงว่าพืชนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ ในช่วงความเค็มนั้น และให้ผลผลิตลดลงไม่เกิน 50%	ผักกาด ถั่วฝักยาว ขึ้นฉ่าย แตงร้าย แตงไทย พริกไทย	กะหล่ำดอก บวบ กะหล่ำปลี น้ำเต้า พริกยักษ์ มันฝรั่ง ถั่วลันเตา กระเทียม ผักกาดหอม ผักชี ข้าวโพดหวาน หอมใหญ่ หอมแดง แตงโม องุ่น แคนตาลูป สับปะรด	ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม	หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กระเพรา ผักบุ้งจีน ชะอม
	ไม้ดอก			
	เยอบีร่า	กุหลาบ	บานบุรี บานไม่รู้โรย เล็บมือนาง ชบา เฟื่องฟ้า	คุณนายตื่นสาย เข็ม เขียวหมื่นปี แพรเซี่ยงไฮ้

ตารางที่ 19 (ต่อ) ชนิดพืชทนเค็มที่สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับต่าง ๆ โดยให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 50 ของผลผลิตที่ได้รับเมื่อปลูกในดินปกติ

	พืชไร่และพืชอาหารสัตว์			
	ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วปากอ้า งา	ข้าว โสนอินเดีย ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง หญ้าเจ้าชู้ ถั่วอัญชัญ มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า	หญ้า นวลน้อย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกา มันเทศ หญ้าขน หญ้ากินนี	ฝ้าย หญ้าแพรก หญ้าไฮบริด เนเบียร์ หญ้าซัน อากาศ หญ้าแห้ว หมู ป่าน ศรนารายณ์
	ไม้ผลและไม้โตเร็ว			
	อาโวกาโด กล้วย ลิ้นจี่ มะนาว ส้ม มะม่วง	ทับทิม ปาล์มน้ำมัน ชมพู่ มะกอก แค มะเดื่อ	กระถิน ณรงค์ ขี้เหล็ก ฝรั่ง ยูคาลิปตัส มะม่วงหิม พานต์ มะยม สมอ	ละมุด พุทรา มะขาม มะพร้าว อินทผาลัม สน สะเดา มะขามเทศ

ที่มา : 1. ผลงานวิจัยค้นคว้าทดลองโครงการพัฒนาดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ

2. ผลงานปลูกทดสอบหาพืชเศรษฐกิจทนเค็มของสถานีพัฒนาที่ดินฉะเชิงเทราและสถานีพัฒนาที่ดินสมุทรสาคร (สมศรี, 2539)

Ayers, R.S. และ D.W. Westcot (1976) ได้จัดทำคำแนะนำเพื่อพิจารณาการคาดคะเนผลผลิตลดลงของพืชทนเค็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือในน้ำชลประทานและเกลือที่เพิ่มขึ้นในดิน ซึ่งในที่นี้ได้คัดเลือกเฉพาะพืชที่สามารถปลูกกันมากในประเทศไทยเทียบกับความเค็มของดิน แสดงไว้ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การคาดคะเนของผลผลิตของพืชทนเค็มลดลง (%) เนื่องจากความเค็มของดิน

	Ece of the saturation extract of the soil mmhos/cm at 25 ° C				
	0%	10%	25%	50%	Maximum
Field crops					
Cotton (Gossypium hersutum)	7.7	9.6	13	17	27
Soybean (Glycine max)	5.0	5.5	6.2	7.5	10
Sorghum (Sorghum bicolor)	4.0	5.1	7.2	11	18
Groundnut (Arachis hypogaea)	3.2	3.5	4.1	4.9	6.5
Rice (Paddy) (Oryza sativa)	3.0	3.8	5.1	7.2	11.5
Corn (Zea mays)	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Cowpea (Vigna sinensis)	1.3	2.0	3.1	1.9	8.5
Beans (Phaseolus vulgaris)	1.0	1.5	2.3	3.6	6.5
Fruit crops					
Orange (Citrus sinensis)	1.7	2.3	3.2	4.8	8
Lemon (Citrus limonea)	1.7	2.3	3.3	4.8	8
Vegetable crops					
Tomato					
(Lycopersicon esculentum)	2.5	3.5	5.0	7.6	12.5
Cucumber (Cucumis sativus)					
Cabbage					
(Brassica oleracea capitata)	1.8	2.8	4.4	7.0	12
Pepper (Capsicum frutescens)	1.5	2.2	3.3	5.1	8.5
Onion (Allium cepa)	1.2	1.8	2.8	4.3	7.5
Forage crops					
Corn (forage0 (Zea mays)	1.8	3.2	5.2	8.6	15.5

1 Maximum Ece means the maximum electrical conductivity of the soil saturation extract that can develop due to the listed crop growth ceases (100% yield decrement)
ที่มา : FAO (1990)

จากตารางที่ 20 กล่าวถึงความสามารถของพืชที่ทนเค็มสามารถปลูกได้ และการตอบสนองของพืชต่อความเค็มเมื่อเทียบระดับความเค็มเป็นค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็น dS/m หรือ mmho/cm ที่ 25° เซลเซียสนั้น ความเค็มที่ระดับต่างๆ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือ ชนิดของดิน และชนิดของพืช มีผู้วิจัยมากมายเกี่ยวกับเรื่องนี้ระบุว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชนั้น ลดลงอย่างเด่น

ชัด ถ้าดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะระบุว่าลดลงเท่าใดจึงเด่นชัด การล้างดินด้วยน้ำจืดเพื่อลดระดับความเค็มของดิน ควรจะนำมาเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกชนิดพืชที่จะปลูกด้วย

การวิเคราะห์เชิงปริมาณดังกล่าวถึงการคาดคะเนผลผลิตของพืชที่นำปลูกในพื้นที่ดินเค็มนั้น ได้คิดวิธีคำนวณแสดงไว้เป็นสูตร (สมศรี, 2539)

$$Y = \frac{100\ (EC_0 - EC_e)}{EC_0 - EC_{100}}$$

Y คือผลผลิตที่คาดคะเนได้

EC_0 คือค่าความเค็มที่ทำให้พืชที่ปลูกมีผลผลิตเท่ากับ O

EC_e คือค่าความเค็มของดินที่ต้องการจะปลูกพืช

EC_{100} คือค่าความเค็มที่พืชจะเจริญเติบโตได้ตามปกติหรือได้ผลผลิต 100%

และ ได้ยกตัวอย่างจากตารางพืชทนเค็ม ข้าวจะทนเค็มได้อยู่ระหว่าง 4-8 dS/m ถ้าดินมีค่าความเค็มประมาณ 5 dS/m สามารถคาดคะเนผลผลผลิตได้ดังนี้

ผลผลิตข้าวที่คาดคะเนได้ $Y = \frac{100\ (8 - 5)}{(8 - 4)}$

$= 75\%$

แสดงว่าที่ความเค็มดิน 5 dS/m จะได้ผลผลิตข้าวเพียง 75% ของข้าวที่ปลูกในดินปกติ หรือผลผลิตข้าวจะลดลงไป 25% โดยที่ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ข้าวทนเค็ม วิธีการปลูก การใช้กล้าอายุมากขึ้น การจัดการน้ำ ชนิดของดิน เป็นต้น ที่จะทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นกว่าที่คำนวณได้

2 ใช้อินทรียวัตถุ ควรใช้อินทรียวัตถุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก เพิ่มความอุดมสมบูรณ์เพื่อทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รวบรวมจากการแนะนำหลายแห่งดังนี้

2.1 ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยที่ได้จากการหมักเศษพืช และวัสดุเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว กากถั่ว ใบไม้กิ่งไม้ และผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมจุลินทรีย์จนแปรสภาพไปจากรูปเดิม เป็นอินทรีย์วัตถุที่ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ การใส่ควรใส่ต่อเนื่องทุกปี อัตราแนะนำ 4-5 ตันต่อไร่ ซึ่งจะทำให้ดินมีความสามารถดูดซับธาตุอาหารได้มากขึ้น เนื่องจากไปเพิ่มความจุความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC : Cation Exchange Capacity) สูงขึ้น นอกจากนี้ อินทรียวัตถุยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพดิน ช่วยให้เม็ดดินเกาะตัวกันเพิ่มช่องว่างในดินลดความหนาแน่นรวมของดิน ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และช่วยการซาบซึมน้ำของดินดีขึ้น ทำให้เกลือในดินชั้นบนถูกชะละลายลงไปในดินชั้นล่างได้ง่ายขึ้น

2.2 ปุ๋ยคอก ซึ่งได้จากการขับถ่ายของสัตว์ที่หมักแล้วหรือส่วนของมูลสัตว์ผสมกับวัสดุรองพื้นคอกสัตว์ การใช้ปุ๋ยคอกใช้อัตราเช่นเดียวกับปุ๋ยหมัก คือ 4-5 ตันต่อไร่ และถ้าสามารถใส่อย่างต่อเนื่องได้ก็จะดี เนื่องจากช่วยปรับปรุงสมบัติทางภายภาพแล้วยังช่วยทำให้สมบัติทางเคมีของดินดีขึ้น เช่นเดียวกับปุ๋ยหมัก

2.3 ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการไถกลบเศษพืชขณะยังสดอยู่ในดินในช่วงระยะการเจริญเติบโตช่วงหนึ่ง และช่วงที่ให้ธาตุอาหารพืชดีที่สุดคือในช่วงที่เริ่มออกดอก จนถึงดอกบานเต็มที่ พืชปุ๋ยสดที่ขึ้นได้ในดินเค็มปานกลาง ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า โสนอาฟริกัน โสนคางคก โสนจีนแดง และโสนอินเดีย ซึ่งโสนเป็นพืชที่มีระยะพักตัวของเมล็ด ดังนั้น ก่อนปลูกจะต้องทำลายระยะพักตัวของเมล็ดก่อน โดยเอาเมล็ดแช่น้ำร้อนทิ้งไว้ 1 คืน ใช้อัตรา 5 – 7 กก./ไร่ เมื่อปลูกได้ 45 - 60 วัน จึงไถกลบ แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 7 วัน แล้วจึงปลูกพืชหลัก ทั้งนี้ เพราะโสนสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้เร็ว สำหรับดินนา แหนแดงที่เป็นที่รู้จักกับในการปรับปรุงดินนานั้น วรรณลดา (2543) แนะนำว่า เหมาะที่จะเป็นปุ๋ยพืชสดในดินนาที่มีระดับความเค็มน้อยที่มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 3 dS/m แหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 3 – 5 % มีค่า C/N ratio ต่ำ ประมาณ 8 – 13:1 จึงทำให้แหนแดงย่อยสลายได้ง่าย ภายใน 5 –10 วันเท่านั้น และพร้อมที่จะปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ให้แก่ข้าว และประมาณ 80% ของไนโตรเจนจะปลดปล่อยออกมาใน 8 สัปดาห์ วิธีใช้คือ ในนาชลประทานจะเลี้ยงแหนแดงก่อนระยะปักดำ 3 สัปดาห์ แล้วไถกลบ แต่ถ้าเป็นนอกเขตชลประทาน ไม่มีน้ำเพียงพอสามารถทำได้หลังจากปักดำข้าวแล้วเลี้ยงแหนแดงให้ขยายเต็มพื้นที่ แล้วปล่อยให้ตายตามธรรมชาติ (นันทกร และคณะ, 2535)

2.4 แกลบและฟางข้าว เป็นวัสดุที่สามารถใช้ปรับปรุงดินเค็ม โดยเฉพาะในนาข้าวที่เป็นดินเหนียว ดินเหนียวปนทรายที่แน่นทึบ การใส่แกลบควรใส่ 2 – 5 ตันต่อไร่ ไถกลบในขณะเตรียมดิน ช่วยให้ดินร่วมซุยความหนาแน่นลดลง การถ่ายเทอากาศและน้ำดีขึ้น ปักดำง่าย รากข้าวชอนไชได้สะดวกขึ้น และนอกจากนี้แกลบยังมีซิลิกา ซึ่งเมื่อสลายตัวจะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ต้านทานโรคและแมลง

3. การคลุมดิน การคลุมดินในพื้นที่ดินเค็มนั้นมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการลดอัตราการระเหยของน้ำที่จะนำเกลือมาสะสมบนผิวดินเพื่อรักษาความชื้นของดิน การปรับอุณหภูมิของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ลดการไหลบ่าของน้ำบนผิวหน้าดิน และนอกจากนั้นยังเป็นการควบคุมวัชพืช ถ้าเป็นวัสดุการเกษตรเมื่อสลายตัวจะเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน เช่น ฟางขาว ตอซังพืช ขี้เลื่อย ขี้เถ้าแกลบ ใบไม้ หญ้าแห้ง หรืออาจจะใช้วัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก ยางแผ่น เป็นต้น ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้ แต่ทางที่ดีควรใช้วัสดุธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น วิธีการคือ คลุมโคนต้น และระหว่างแถวพืชที่ปลูก หรืออาจคลุมหลังจากการเก็บเกี่ยวโดยตัดตอซังข้าวและใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อลดเกลือมาสะสมบนผิวดิน สำหรับข้าวเมื่อคลุมดินหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว โดยเฉพาะภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ควรไถกลบในฤดูการปลูกถัดไป นอกจากจะเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุแล้วยังเป็นการเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดให้กับดินด้วย

4. เทคนิคการปลูกพืช พืชส่วนใหญ่มีความอ่อนแอต่อความเค็มในช่วงการงอก หรือช่วงย้ายปลูก ความเค็มมีผลต่อการงอกของเมล็ด ดังนั้น จึงทำให้จำนวนต้นต่อพื้นที่ลดลง จึงทำให้ผลผลิตลดลงวิธีการปลูกพืชต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่เกลือสะสมอยู่ในดิน เพื่อให้พืชอยู่รอดได้ โดยเฉพาะการปลูกพืชไร่ที่ปลูกเป็นร่อง เกลือในดินที่อยู่ในรูปสารละลาย จะเคลื่อนที่ไปพร้อมความชื้นในดินจากที่ความชื้นสูง ไปยังที่ความชื้นต่ำ โดยขบวนการระเหยน้ำจากผิวดิน ดังนั้น เกลือจะถูกพาไปสะสมบนผิวดิน หรือที่สูงกว่าในที่สุด

การปลูกพืชในดินเค็มน้อยและดินเค็มปานกลาง

การปลูกพืชในดินเค็มน้อยและดินเค็มปานกลางนั้น ความเค็มของดินมีผลต่อการงอกของเมล็ด หรือช่วงย้ายปลูก โดยลดอัตราความงอกของเมล็ด ซึ่งทำให้จำนวนต้นต่อพื้นที่ลดลง มีผลให้ผลผลิตของพืชลดลงตามไปด้วย การเพิ่มอัตราเมล็ดต่อพื้นที่ในการปลูกอาจเป็นการช่วยให้จำนวนต้นต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าต้องมีการถอนแยกแล้วจะเป็นการสิ้นเปลือง ถ้าเมล็ดพืชนั้นมีราคาแพง ดังนั้น จึงควรหลีกเลี่ยงปลูกในตำแหน่งที่ดินมีความเค็มสูงและเลือกชนิดพืช หรือพันธุ์พืชที่สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มในระดับต่าง ๆ ซึ่งวิธีการจัดการการปรับปรุงแก้ไขเพื่อปลูกพืชนั้นควรดำเนินการ ดังนี้

1 การปลูกข้าว ข้าวเป็นพืชที่ทนเค็มได้ในความเค็มระดับ ปานกลาง การจัดการที่ดี โดยการล้างดิน การใส่อินทรีย์วัตถุปรับปรุงดินและการเลือกพันธุ์ข้าวทนเค็ม สามารถทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นได้ จากแนวทางของของสมศรี (2539) และนักวิชาการกลุ่มดินเค็ม สามารถนำมาปรับปรุงโดยอาศัยผลการวิเคราะห์ดิน ดังนี้

1.1 การล้างดินด้วยน้ำจืดเพื่อลดระดับความเค็มของดิน สำหรับภาคกลางอาจจะมีน้ำจืดมาชะล้างความเค็มได้ แต่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝน ดังนั้น แต่ละครั้งที่ฝนตกลงมาให้ขังน้ำในแปลงนา 2-3 วัน หรือสังเกตสีของน้ำ ถ้าเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน แล้วให้ระบายน้ำออกจากแปลงนา ควรทำการล้างดินอย่างน้อย 2-3 ครั้ง จะช่วยลดความเค็มของดินลง ซึ่งถ้าจะลดให้ความเค็มของดิน ECe < 4 ds/m หรือจนถึงดินปกติยิ่งดี

1.2 การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ ควรใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอกในอัตรา 4 - 5 ตัน/ไร่ ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ (0.5-1.5%) และ 2 - 3 ตัน/ไร่ ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุปานกลาง (1.5-2.5%) หรือการใส่แกลบในอัตราเดียวกัน ในขณะที่เตรียมดิน หรือก่อนการปลูกข้าว 2 - 3 เดือน ถ้าดินมีความชื้นพอ ควรปลูกพืชปุ๋ยสด เช่น โสนอัฟริกัน โสนคางคก โสนอินเดีย และโสนจีนแดง หว่านเมล็ด ในอัตรา 5-7 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อออกดอกอายุประมาณ 45-60 วัน ไถกลบและปล่อยน้ำเข้านาเล็กน้อย สับกลบแล้วทิ้งให้ปุ๋ยพืชสดสลายย่อยสลายก่อน 1-2 สัปดาห์จึงปลูกข้าว เพราะในสภาพน้ำขังไนโตรเจนจะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งเป็นรูปที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีในรูปของแอมโมเนียม ไม่สูญหายไปในบรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์

1.3 การปรับระดับพื้นที่ ควรไถกลบลึกประมาณ 30 ซม. แล้วปรับระดับผิวดินให้อยู่ในระดับเดียวกัน เพื่อให้น้ำขังแปลงนาสม่ำเสมอทั้งแปลง เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกลือมาสะสมที่ผิวดินตามส่วนใดส่วนหนึ่งของพื้นที่

1.4 พันธ์ข้าวทนเค็มและวิธีการปักดำ พันธ์ข้าวทนเค็มสำหรับพื้นที่ดินเค็มปานกลาง คือ

พันธุ์พื้นเมือง : หอมอ้ม ขาวตาอู่ กอเดียวเบา แดงน้อย เจ๊กกระโดด

พันธุ์ กข. : กข.1 กข.6 กข.7 กข.8 กข.15

พันธุ์แนะนำและส่งเสริม : ขาวดอกมะลิ 105 สันป่าตอง ขาวตาแห้ง คำผาย 41 เก้ารวง 88

ควรใช้ต้นกล้าที่มีอายุมากกว่าพื้นที่ที่ไม่เค็ม ควรมีอายุประมาณ 30 - 35 วัน ในการปักดำ และใช้จำนวนต้นต่อพื้นที่มากขึ้น คือ 5-8 ต้น/จับ และระยะปลูกที่แคบลง 20 x 20 ซม. เพื่อจะได้จำนวนต้นข้าวที่รอดตายและจำนวนรวงต่อพื้นที่สูง

1.5 การใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นดินทราย มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่โพแทสเซียมให้มากเกินพอ เพราะมิฉะนั้นแล้วพืชจะดูดกินโซเดียมมาก เพราะทั้งสองธาตุมีความสัมพันธ์กลับกัน (antagonism) คือ ถ้ามีการเพิ่มประจุบวกชนิดหนึ่งลงไป จะทำให้พืชดูดประจุบวกอีกชนิดหนึ่งลดลง (เล็ก, 2539) สูตรปุ๋ยที่แนะนำ คือ

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ppm)	สูตรปุ๋ย
ต่ำมาก (<30)	15-15-15
ต่ำ (30-60)	16-16-8
	18-12-6

สำหรับภาคกลางซึ่งมีโพแทสเซียมเพียงพออยู่แล้ว แนะนำให้ใช้สูตร 16-16-0 อัตราเดียวกันกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 30 กก./ไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละเท่าๆ กัน ครั้งแรกใส่แล้วปักดำ 7 - 10 วัน ครั้งที่สองระยะที่ข้าวแตกกอสูงสุด และครั้งที่สามใส่ระยะข้าวท้อง โดยหว่านให้ทั่วแปลงนา

การจัดการตามขั้นตอนข้างต้นนี้จะช่วยให้ความเค็มของดินลดลง โดยการชะเกลือที่ละลายง่ายและระบายออกไปจากพื้นที่นั้น ถ้าใช้พื้นที่ทำนาและไม่สามารถล้างเกลือโดยการระบายเกลือออกนอกพื้นที่ ดินนั้นก็ยังคงเป็นดินเค็มเหมือนเดิม ความเค็มของดินจะลดลงในฤดูฝน เนื่องจากเกลือเจือจางเพราะมีน้ำฝนชะละลายเกลือลงไปในดินล่าง พอถึงฤดูแล้งดินจะกลับมาเค็มอีก เนื่องจากเกลือขึ้นมาสะสมในดินบน

2. การปลูกพืชไร่และพืชผัก

ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ความเค็มของดินมีผลต่อการงอกของเมล็ด การย้ายปลูกและมีผลต่อจำนวนต้น และผลผลิตพืช ดังนั้น ควรหลีกเลี่ยงการปลูกในบริเวณที่ดินมีการสะสมเกลือ เนื่องจากพืชมีความอ่อนแอในช่วงการงอกและการย้ายดังกล่าว การปรับปรุงแก้ไขควรทำดังนี้

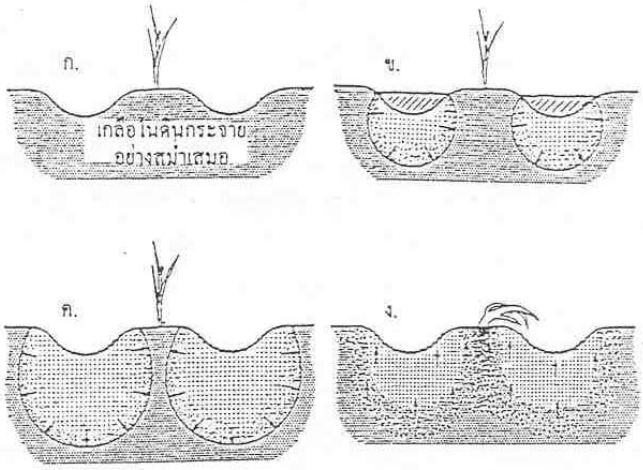
2.1 ปรับพื้นที่ยกร่อง และให้มีร่องหรือคูระบายน้ำ แบ่งแปลงย่อยทำคันดินล้อมรอบแปลงย่อย และมีคูระบายน้ำด้วย เพื่อที่จะระบายน้ำที่มีเกลือออกนอกพื้นที่ และเป็นการลดระดับน้ำใต้ดินด้วย

2.2 ปรับปรุงดิน โดยใช้อินทรียวัตถุเพื่อให้ดินมีการแทรกซึมและซาบซึมน้ำดีขึ้น ลดการสะสมเกลือบนผิวดิน ควรใช้อินทรียวัตถุซึ่งได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และแกลบปรับปรุงดินอัตราที่ใส่จะใส่เท่าไรก็ได้ ยิ่งมากยิ่งดี โดยเฉพาะพืชผัก อัตราที่แนะนำทั่วๆ ไป คือ 4-5 ตัน/ไร่ วิธีใส่สำหรับผักโรยเป็นแถวตามแนวร่องที่ยกไว้ แล้วสับกลบ หรือถ้าเป็นพื้นที่ที่มีความชื้นเพียงพอ ควรปลูกพืชตระกูลถั่ว ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด เช่น ถั่วพุ่ม หรือถั่วพร้า แล้วไถกลบ ตอนออกดอก และทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกพืชไร่หรือพืชผัก

2.3 ปลูกพืชทนเค็ม ควรเลือกพืชทนเค็มปลูกโดยคัดเลือกจากตารางที่ 19 พืชไร่ เช่น ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หม่อน และมันสำปะหลัง เป็นต้น พืชผักควรเลือกปลูกพืชที่ทนเค็มให้ผลตอบแทนสูง เช่น แคนตาลูป หน่อไม้ฝรั่ง บร็อคโคลี่ กุยช่าย กะหล่ำดอก เป็นต้น

2.4 วิธีปลูก จำเป็นจะต้องปลูกบริเวณริมร่อง เนื่องจากสันร่องซึ่งเป็นที่สูงมีการระเหยน้ำสูงสุด เกลือจะถูกนำขึ้นมาสะสมที่ส่วนบนของสันร่อง ดังนั้น จึงควรปลูกพืชในบริเวณที่ต่ำกว่า เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือบริเวณใกล้ร่องน้ำต่ำกว่าบริเวณอื่น จากหลักการที่เกลือไปสะสมบริเวณสันร่องนี้ การปลูกพืชบนร่องทำได้ ดังนี้

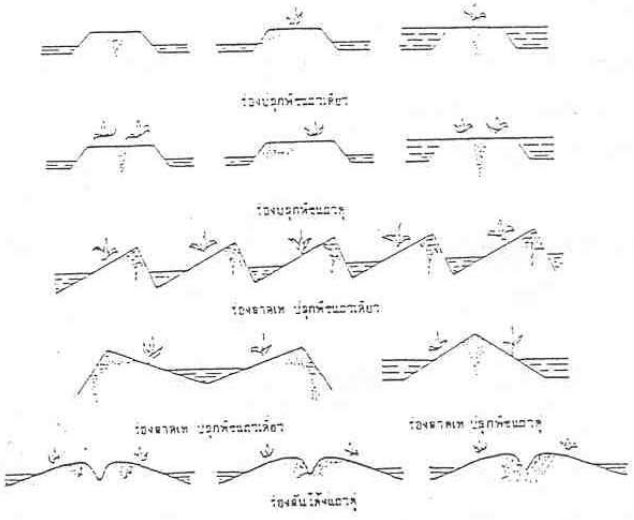
2.4.1 การปลูกพืชแถวเดี่ยว ไม่ควรปลูกตรงกึ่งกลางของสันร่อง แต่ควรปลูกด้านใดด้านหนึ่งของร่อง เพราะบริเวณสันร่องจะมีเกลือสะสมอยู่มาก อาจทำให้พืชตายได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อิทธิพลของการให้น้ำตามร่องน้ำต่อการกระจายของเกลือบนร่องปลูกพืช ก) ดินก่อนการให้น้ำมีการกระจายของเกลือสม่ำเสมอ ข) ขณะที่น้ำไหลไปตามร่องน้ำเกลือจะเคลื่อนที่ในดิน โดยรอบเกลือส่วนหนึ่งเข้าไปในร่องปลูกพืช ค) แม้จะหยุดให้น้ำแล้วน้ำก็ยังซะเกลือลงสู่เบื้องล่าง และบางส่วนเข้าหาส่วนกลางของร่องปลูกพืช และ ง) ประมาณ 1 สัปดาห์ หลังการให้นำเกลือจะเคลื่อนที่พร้อมกับน้ำสู่ผิวดิน เมื่อน้ำระเหยไปเกลือก็สะสมอยู่มากบริเวณสันร่องปลูกพืช และเป็นอันตรายต่อพืช

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541)

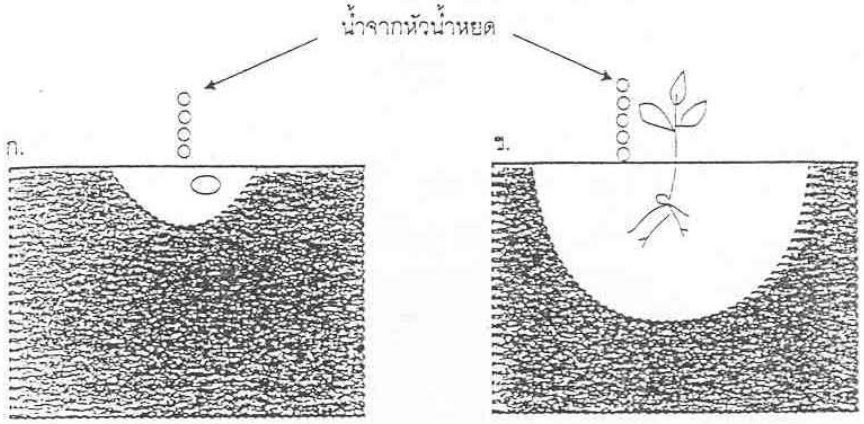
ถ้าหากเตรียมร่องพืชกว้างก็จะปลูกได้สองแถวเช่นเดียวกัน ควรหยอดเมล็ดริมร่องทั้งสองข้างของร่องปลูก ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การเตรียมแปลงและวิธีการปลูกพืชในพื้นที่ดินเค็ม

ที่มา : สมศรี (2534)

2.5 การให้น้ำที่เหมาะสม สำหรับพืชผักหรือพืชที่ให้ผลตอบแทนสูง นิยมใช้ระบบน้ำหยด หรือ mini sprinker ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ระบบน้ำหยดทำให้บริเวณน้ำหยดมีความเข้มข้นของเกลือต่ำ และมีบริเวณกว้างและลึกพอควร ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่แบบฉีดฝอย (sprinker) นั้น จะชะเกลือจากดินบนลงตามแนวดิ่ง ถ้ามีการระเหยของน้ำที่ผิวดินสูง เกลือจะเคลื่อนย้ายมาสู่ผิวดินตามเดิม ซึ่งเป็นอันตรายต่อรากพืช ดังนั้น จึงควรให้น้ำครั้งละไม่มากแต่บ่อยครั้ง เพื่อให้ดินมีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การให้น้ำแบบน้ำหยดช่วยชะเกลืออกจากดินบริเวณรอบ ๆ เมล็ดพืช (ก) จึงช่วยให้เมล็ดงอกและเจริญเติบโตได้

(ข) □ บริเวณที่มีเกลือน้อย

■ บริเวณที่มีเกลือสะสมอยู่มาก

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541)

2.6 ใช้วัสดุคลุมดิน ดังได้กล่าวแล้ว สำหรับดินเค็มถ้าสามารถป้องกันการระเหยของน้ำบนผิวดินได้ ก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการเคลื่อนย้ายของเกลือมาสะสมที่ผิวดิน จึงควรใช้ฟางข้าว หญ้า คลุมดิน ระหว่างแถวที่ปลูกพืช

3. การปลูกไม้ผล

พื้นที่ดินเค็มน้อยและปานกลางที่จะทำการปลูกไม้ผล จำเป็นจะต้องจัดการแก้ไขความเค็มและปรับปรุงบำรุงดินให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในระยะยาว และควรจะพิจารณาอย่างละเอียดทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ การเลือกชนิดพืชที่สามารถทนความเค็มและเจริญเติบโตได้ และวิธีการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม

พื้นที่ดินเค็มจัด

ดินเค็มจัดเป็นดินที่พบคราบเกลือเห็นได้ชัดอยู่ทั่วไป มีความเค็มตั้งแต่ 16 dS/m ขึ้นไป มีสมบัติทางเคมีและกายภาพเลว พืชทนเค็มจัดพื้นเมืองขึ้นอยู่ประปราย เช่น หนามแดง หนามพุงตอ หญ้าชอบเกลือ เป็นต้น การที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จำเป็นจะต้องพิจารณาก่อนว่าจะคุ้มทุนหรือไม่ หรือสามารถปลูกพืชทนเค็มจัด หรือพืชชอบเกลือได้เลย อย่างไรก็ตาม ถ้าจะนำมาปลูกพืชเศรษฐกิจที่ทนเค็มน้อย หรือปานกลาง จำเป็นจะต้องล้างเกลือออกจากดินเพื่อลดความเค็มให้ถึงระดับที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตได้ ซึ่งการจัดการในเรื่องดังกล่าว ต้องอาศัยวิธีการทางวิศวกรรมในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะใช้ล้างเกลือ วิธีการระบายน้ำจากชั้นดิน รวมถึงการควบคุมไม่ให้เกลือกลับขึ้นมาอีก ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีชั้นสูง การลงทุนสูง ใช้เวลานาน เกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง ดังนั้น วิธีการง่าย ๆ ที่เกษตรกรสามารถปฏิบัติได้เอง ในการปลูกพืชเพื่อปกคลุมพื้นที่ และใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. ปลูกหญ้าชอบเกลือและไม้ทนเค็มจัด การปลูกพืชชอบเกลือเหล่านี้ขึ้นปกคลุมพื้นที่ช่วยลดอัตราการระเหยน้ำออกจากดิน ไม่ให้เกลือขึ้นมาบนผิวดิน เมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น พืชอื่น ๆก็สามารถขึ้นตามมาในภายหลัง สภาพแวดล้อมของพื้นที่ดีขึ้น อาจจะสามารถใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชชอบเกลือหรือพืชทนเค็มเป็นพืชอาหารสัตว์และฟืนได้ สำหรับพันธุ์พืชต่าง ๆ สมศรี (2539) ได้รายงานไว้ดังนี้

พันธุ์หญ้าชอบเกลือ : ดิกซี สเมียร์นา ซีบรูค จอร์เจียร์ คาลล่า

ไม้ทนเค็มจัด : กระถินออสเตรเลีย ไม้ทนเค็มโตเร็ว (ต้องปรับปรุงหลุมปลูกให้ดี) สะเดา ขี้เหล็ก มะขามเทศ มะขาม แค กระถินณรงค์ ยูคาลิปตัส ไม้ทนเค็มบางชนิดเป็นพืชตระกูลถั่ว สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและใบร่วงหล่นลงดินจะสลายตัวเป็นอินทรียวัตถุช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพให้ดีขึ้น อีกทั้งเป็นพืชทนแล้งด้วย

2. วิธีการเตรียมดิน และปลูก ไถที่เตรียมดินแล้วปลูกหญ้าชอบเกลือ ใช้ระยะปลูก 50 x 50 ซม. ทำการปรับปรุงดินด้วยแกลบและปุ๋ยคอก อย่างละ 500 กก./ไร่ ในปีต่อไปใส่ยูเรีย 10-15 กก./ไร่ เพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กับดิน และทุกระยะ 5-10 เมตร ของแปลงหญ้าปลูกไม้ทนเค็มจัดเป็นแถวคู่ ระยะปลูก 2 x 2 เมตร ชัยนามและคณะ (2535) แนะนำว่า เปอร์เซนต์การอยู่รอดและการเจริญเติบโตของต้นไม้จะสูงขึ้น ถ้ามีการเตรียมแปลงปลูกแบบยกร่องสันคู่ และปรับปรุงบำรุงดินในหลุมปลูกด้วยยิปซั่ม และปุ๋ยหมักอย่างละ 2 กก./ต้น และคลุมด้วยแกลบอัตรา 2 กก./ต้น เช่นเดียวกัน

การเลือกใช้พันธุ์ข้าวทนเค็ม กรมพัฒนาที่ดินได้วิจัยพันธุ์ข้าวทนเค็มที่เหมาะสมสำหรับปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

ข้าวพันธุ์พื้นเมือง : หอมอ้ม ขาวตาอู่ กอเดียวเบา แดงน้อย เจ๊กกระโดด

ข้าวพันธุ์แนะนำส่งเสริม : กข.1 กข.6 กข.7 กข.8 กข.15 ขาวดอกมะลิ 105 สันป่าตอง ขาวตาแห้ง คำผาย 41 เก้ารวง 88 ขาวปากหม้อ 148

ดินโซดิกและดินเค็มโซดิก

ก่อนที่จะปรับปรุงดินโซดิก และดินเค็มโซดิก ซึ่งเป็นดินที่มีโซเดียมสูงเกินกว่าจุดพิกัดมาตรฐาน คือ มีค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) มากกว่า 15 นั้น ถ้าเป็นดินที่ยังไม่มีปัญหามากนักก็ควรพิจารณาปลูกพืชทนเค็ม หรือทนต่อโซเดียม ในขณะเดียวกันควรลดความเค็มของดิน หรือต้องพยายามลดโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ หรือเท่ากับดินปกติ โดยการ 1) ใช้แคลเซียมแทนที่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ 2) ชะเกลือโซเดียมออกไปจากบริเวณพื้นที่ที่ปลูกพืช 3) ปรับปรุงสมบัติดินทางกายภาพให้ดีขึ้น โดยเพิ่มการแทรกซึมหรือการซาบซึมน้ำ ทำให้เกลือและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ถูกชะและนำออกไปจากบริเวณนั้นได้ง่ายขึ้น ควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1 ปรับปรุงดิน เนื่องจากดินนี้เป็นดินที่มีโซเดียมสูง มีการฟุ้งกระจายมากและเป็นดินแน่นทึบ ดังนั้น ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะเป็นปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ผลิตเอง และหาได้ง่าย หรือราคาถูกใส่ประมาณ 3-5 ตัน/ไร่ หรือจะปลูกพืชปุ๋ยสด ไถกลบเมื่อออกดอกเป็นปุ๋ยพืชสด หรือปลูกเป็นพืชหมุนเวียนกับพืชหลักในปีต่อไปก็ได้ เพื่อให้ดินมีการแทรกซึมและซาบซึมน้ำดีขึ้น

2 ปรับสภาพพื้นที่สำหรับแปลงที่ปลูกพืชนั้น จำเป็นจะต้องปรับพื้นที่แล้วแบ่งเป็นแปลงย่อย ทำคันดินเล็กรอบแปลงย่อย ทำคูระบายน้ำเพื่อให้น้ำนำเกลือออกไปพ้นจากแปลงปลูก และเพื่อลดระดับน้ำใต้ดิน

3. จัดหาแหล่งน้ำขนาดเหมาะสมที่สามารถล้างเกลือและมีใช้ในการปลูกพืชตลอดปี

4. การใช้สารเคมีปรับปรุงดิน สารปรับปรุงดินทางเคมี (soil chemical amendment) ที่เหมาะและนิยมใช้กับดินโซดิกและดินเค็มโซดิก คือ ยิบซัม และกำมะถัน

4.1 ยิบซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เป็นแร่ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงดินโซดิก เป็นแร่ที่หาง่าย ราคาถูก มีปริมาณและกระจายอยู่มากในประเทศไทย แร่ยิบซัมมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อแตกตัวแล้วสามารถเข้าแทนที่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ที่คอลลอยด์ดิน ดังนี้

$$\text{คอลลอยด์ดิน}\begin{bmatrix} Na^+ \\ Na^+ \end{bmatrix} + CaSO_4 \longrightarrow Ca^{2+}\begin{bmatrix} \text{คอลลอยด์ดิน} + Na_2SO_4 \\ \text{ละลายง่าย} \\ \text{ถูกชะล้างไป} \end{bmatrix}$$

เมื่อปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนสิ้นสุดลง โซเดียมซัลเฟตละลายง่ายจะถูกชะออกไปจากดินบน ทำให้โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงและดินจะมีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นและยิมซั่มที่ใส่ลงไปในดินยังทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีอยู่ในดินได้

แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งตกตะกอนและโซเดียมซัลเฟตซึ่งละลายน้ำง่ายก็จะถูกชะล้างออกไปอีกด้วย ดังนี้

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \longrightarrow \underset{\text{ตกตะกอน}}{CaCO_3} + \underset{\substack{\text{ละลายง่าย}\\ \text{ถูกชะล้างไป}}}{Na_2SO_4}$$

สำหรับอัตราการใส่นั้น ควรใส่ในอัตราที่ได้จากผลการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ โดยหว่านให้ทั่วบนผิวดิน และพรวนกลบ ให้น้ำเพื่อให้ดินเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ ปล่อยทิ้งไว้ 1 เดือน โดยให้ดินมีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ หลังจากนั้น ให้น้ำมากพอที่จะละลายเกลือโซเดียมซัลเฟต แล้วระบายออกไปจากพื้นที่

4.2 กำมะถัน (S) เป็นวัสดุที่สามารถลดโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ราคาแพง ปฏิกิริยาในดินเมื่อใส่กำมะถัน มีดังนี้ คือ

กำมะถันถูกออกซิไดส์โดยจุลินทรีย์ดิน แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดกำมะถัน

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$$

กรดกำมะถันแตกตัวให้ H^+ และ SO_4^- แล้ว H^+ เข้าแทนที่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่คอลลอยด์ดิน โซเดียมทำปฏิกิริยากับอนุมูลได้โซเดียมซัลเฟตซึ่งละลายน้ำง่าย จะถูกชะล้างออกไปจากดิน

$$\text{คอลลอยด์ดิน}\begin{bmatrix} Na \\ Na \end{bmatrix} + H_2SO_4 \longrightarrow \begin{bmatrix} H \\ H \end{bmatrix}\text{คอลลอยด์ดิน} + \underset{\text{ละลายง่าย}}{Na_2SO_4}$$

วิธีการ หว่านกำมะถันบนผิวดิน พรวนดินกลบ ให้น้ำจนดินชื้นแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 1 เดือน เพื่อให้แบคทีเรีย Thiobacillus thiooxidans ออกซิไดซ์กำมะถัน จนได้กรดกำมะถัน และทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนในดินอย่างสมบูรณ์ ให้น้ำชลประทานเพื่อล้างเกลือโซเดียมซัลเฟตที่ละลายง่ายออกไปจากดิน

5 วิธีทางชีวภาพ

เนื่องจากดินมีปัญหาทางกายภาพ เพราะดินแน่นทึบ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541) ได้แนะนำว่า ในระหว่างการขังน้ำเพื่อชะเกลือออกไปจากดินนั้น ถ้าสามารถคัดเลือกพืชทนต่อสภาพโซดิกเข้ามาปลูกด้วยจะช่วยให้การปรับปรุงดีขึ้น เนื่องจาก

5.1 การไชชอนของรากพืชช่วยเพิ่มการซาบซึมน้ำของดินล่าง

5.2 CO_2 จากการหายใจของรากช่วยให้การละลายของแคลเซียมคาร์บอเนตดีขึ้น และแคลเซียมไอออนที่ได้จากการละลายนี้จะแลกเปลี่ยนกับโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งจะช่วยลดโซเดียมด้วย

5.3 ร่มเงาของพืชที่ปลูกคลุมดินช่วยลดการระเหยของน้ำจากผิวดิน ทำให้การสะสมของเกลือที่ผิวดินลดลง

5.4 ควรไถพรวนก่อนปลูกคลุกเคล้าอินทรียวัตถุลงไปในดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น และ CO_2 รวมถึงกรดอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุช่วยละลายแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในดินได้แคลเซียมไอออน ซึ่งไปแลกเปลี่ยนกับโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งเป็นการลดโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อีกด้วย

การป้องกันไม่ให้เป็นดินเค็ม ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก

วิธีการป้องกัน คือ จะต้องพึงระวังเสมอที่จะเป็นการเพิ่มการสะสมเกลือที่ละลายได้และหรือโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนี้

1. ใช้น้ำชลประทานที่มีคุณภาพดี

ถ้าน้ำชลประทานมีโซเดียมสูงกว่าปกติ และมีแคลเซียมต่ำต้องใส่ยิบซั่มเพื่อปรับให้มีสัดส่วนของแคลเซียมในน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการมีปริมาณแคลเซียมในน้ำสูง ทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น อัตราส่วนของ Na : Ca ไม่ควรเกิน 3 : 1 ถ้าเกินกว่านี้เกิดการแตกกระจายของเม็ดดิน ทำให้ไปอุดช่องว่างระหว่างก้อนดิน ดินอัดตัวแน่น น้ำซึมผ่านยาก รากพืชชอนไชไม่ได้

2. ปลูกพืชหมุนเวียน โดยให้ปลูกพืชตระกูลถั่วบำรุงดิน สลับกับพืชเศรษฐกิจตลอดเวลา เพื่อไม่ให้น้ำระเหยจากผิวดินมาก เนื่องจากจะนำเกลือและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้เคลื่อนย้ายสู่ผิวดิน

3. ปลูกไม้ยืนต้นทนเค็มและทนต่อโซเดียมได้ เพื่อลดระดับน้ำใต้ดิน ตามแนวคูคลองระบายน้ำ หรือในปัจจุบันนิยมปลูกไม้ยืนต้นเพื่อเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ แต่จะต้องมีพื้นที่มากและไม่สามารถปลูกพืชเศรษฐกิจได้ผล อย่างไรก็ตามการปลูกป่าเป็นการป้องกันการแพร่กระจายดินเค็มที่ดีวิธีหนึ่ง

อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter)

อินทรียวัตถุ คือ สิ่งที่ได้จากการย่อยสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ ขยะต่าง ๆ ไปจนถึงเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว เมื่อย่อยสลายต่อไปจนถึงขั้นสุดท้ายได้ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารที่เสถียรมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (CEC) จึงสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้ดี อินทรียวัตถุในดิน ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ สารฮิวมิก (humic substances) ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนและจุลินทรีย์ย่อยสลายยากมาก และพวกที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (non humic substances) มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรท โปรตีน ลิปิด กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์

อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุม หรือมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวะของดิน ซึ่งสมบัติและบทบาทของอินทรีย์วัตถุ รวบรวมจากคณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) และที่อื่น ๆดังนี้

1. สี อินทรียวัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ เราสามารถสังเกตได้ เช่น ชุดดินตาคลี และจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดินสีจาง เนื่องจากสีคล้ำดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่า

2. เป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน อินทรียวัตถุในดินเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึด หรือรวมตัวกับอนุภาคต่าง ๆ ของดิน หรือเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยการสร้างสารเชื่อมโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้ดินเหนียวเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งเม็ดดินเมื่อรวมกลุ่มกันจำนวนมาก ก่อให้เกิดเกิดเป็นโครงสร้างของดินที่ดีสามารถดูดซับน้ำได้มาก ดินมีการซาบซึมน้ำและระบายอากาศได้ดี

3. การดูดซับน้ำและละลายน้ำ เนื่องจากอนุภาคของอินทรียวัตถุมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์มีขนาดเล็ก มีพื้นผิวที่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก และอนุภาคของอินทรียวัตถุยังประกอบกันเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ จึงมีช่องว่างในการดูดซับน้ำได้ดี ปกติแล้วอินทรียวัตถุในดินไม่สูญหายไปง่าย โดยการชะล้างของน้ำ เนื่องจากส่วนที่ละลายน้ำได้มีอยู่น้อยมาก ซึ่งมักจะต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลล์ของจุลินทรีย์ เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และสารฮิวมิก รวมถึงสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่เกาะยึดกับดินเหนียว หรือทำปฏิกิริยากับแคตไอออนหรือโลหะบางชนิด เช่น Fe, Al หรือ Cu หรือเป็นสารเชื่อมของเม็ดดิน (cementing agent) ซึ่งสลายตัวยาก อินทรียวัตถุสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ 6-20 เท่าของน้ำหนัก

4. มีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออนสูงมาก

อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับไอออนสูงกว่าคอลลอยด์อื่น ๆ ปริมาณประจุบวก (cations) ที่ดินดูดซับไว้ทั้งหมดนั้น เป็นการดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุถึง 30-90% การดูดซับประจุบวกนี้มาจากอินทรียวัตถุซึ่งมีประจุลบจำนวนมากที่ส่วนใหญ่เกิดจากการ dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง carboxylic group และ phenolic OH group และนอกจากนั้นโมเลกุลของอินทรียวัตถุยังมีประจุบวกบางส่วน ทำให้สามารถดูดซับประจุลบ (anions) ได้ด้วย

5. เป็นแหล่งอาหารจุลินทรีย์ และธาตุอาหารพืช

อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง เช่น การตรึงไนโตรเจนโดยขบวนการ ammonification, nitrificaiton และ denitrification ฯลฯ และจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์นี้ ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในการสลายตัวของอินทรียวัตถุยังให้กรดคาร์บอนิค ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ ที่ช่วยละลายสารประกอบของธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช และเกิดสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลค (chelating agent) ซึ่งจะรวมตัวกับไอออนของจุลธาตุที่เป็นโลหะให้เป็นประโยชน์ต่อพืชด้วย

6. มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน

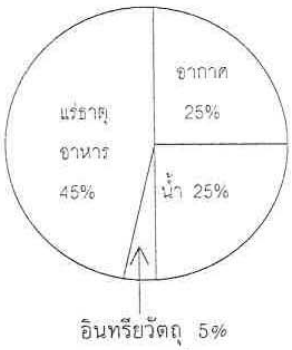
จากการที่อินทรียวัตถุมีประจุลบจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง จึงทำให้อินทรียวัตถุมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินได้ดี หรือมี buffering capacity) สูง ดังนี้

$$\underset{\text{(reserved acidity)}}{\text{Absorbed } H^-} \rightleftharpoons \underset{\text{(active acidity)}}{\text{Soil solution } H^-}$$

จากปฏิกิริยาสมดุล (equilibrium reaction) นี้ ถ้ามีการเพิ่มสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือด่างลงไปในดินก็ตาม ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที เพื่อรักษาสมดุลไว้ โอกาสที่กรดหรือด่างจะสะสมอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) จึงมีน้อยมาก และเป็นเหตุให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่เหมาะสม

ความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน

ดินที่เหมาะสมในการปลูกพืชนั้นจะต้องมีองค์ประกอบต่าง ๆ คือ เนื้อดินหนึ่งหน่วยปริมาตรประกอบด้วย ส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุอาหาร 45% ส่วนที่เป็นอากาศ 25% ส่วนที่เป็นน้ำ 25% และส่วนที่เป็นอินทรียวัตถุ 5% อินทรียวัตถุมีความสำคัญมากเพราะเป็นตัวควบคุมองค์ประกอบอื่น ๆ ของดิน เช่น โครงสร้างดิน ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม ฯลฯ ทั้งในทางตรงและทางอ้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงองค์ประกอบของดินที่เหมาะสมในการปลูกพืช

สำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อน สภาพพื้นที่มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างต่ำเนื่องมาจากสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว สาเหตุเพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนดังกล่าว และมีอากาศร้อน ฝนตกชุก เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์และย่อยสลายของอินทรียวัตถุ พื้นที่ทำการเพาะปลูกติดต่อกันโดยไม่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน การทำการเกษตรที่ขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทำให้หน้าดินที่มีอินทรียวัตถุถูกน้ำชะล้างลงสู่แม่น้ำลำคลอง และคุณสมบัติของไม่เหมาะสมดินอีกด้วย ดินบางชนิดเกิดจากหินทรายซึ่งเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ เม็ดดินไม่สามารถเกาะกันได้ หรือถ้าเป็นดินเหนียวที่ขาดอินทรีย์วัตถุ ดินจะแน่นทึบ น้ำไม่สามารถผ่านช่องว่างของดินได้ วรรณลดา (2543) ได้ประเมินระดับอินทรียวัตถุในดินบนประเทศไทย โดยแบ่งระดับปริมาณอินทรียวัตถุออกเป็น 2 ระดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 21 ดังนี้

ตารางที่ 21 ระดับอินทรียวัตถุในดินบนภาคต่าง ๆของประเทศไทย

ระดับอินทรียวัตถุ (%)	พื้นที่ (ล้านไร่)
1.5 - 3.5 (ปานกลาง)	109.6 ภาคเหนือ (39.6) ภาคกลาง (23.5) ภาคใต้ (23.0) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ(15.3) ภาคตะวันออก (8.1)
>1.5% (ต่ำ)	98.7 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (75.7) ภาคเหนือ (10.2) ภาคตะวันออก (6.7) ภาคกลาง (4.1) ภาคใต้ (1.8)

และกลุ่มปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ (2540) ได้แสดงการกระจายของอินทรียวัตถุในดินบนของพื้นที่ต่าง ๆ ประเทศไทย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 แสดงพื้นที่ดินที่มีอินทรียวัตถุในดินบนระดับต่าง ๆ ของประเทศไทย

ระดับอินทรียวัตถุในดิน (%)	พื้นที่ (ไร่)	คิดเป็น % ของพื้นที่ทั้งหมด
<0.5	1,122,439	0.31%
0.5 - 1.0	22,160,155	6.85%
>1.0 - 1.5	45,250,335	15.01%
>1.5 - 2.0	114,071,888	35.5%
>2.0 - 2.5	32,294,176	9.96%
>2.5 - 3.5	4,553,894	1.55%
>3.5 - 4.5	4,489,757	1.24%

การพิจารณาระดับอินทรียวัตถุนั้น กรมพัฒนาที่ดินได้จัดระดับปริมาณอินทรียวัตถุตามมาตรฐานสากล แสดงไว้ในตารางที่ 23 ดังนี้

ตารางที่ 23 ระดับอินทรียวัตถุในดินตามมาตรฐานสากล

ระดับ	% อินทรียวัตถุ
ต่ำมาก	<0.5
ต่ำ	0.5 - 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 - 1.5
ปานกลาง	1.5 - 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 - 3.5
สูง	3.5 - 4.5
สูงมาก	>4.5

ดังนั้น หลังจากที่ทราบผลการวิเคราะห์ดิน ว่าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับใดนั้น แนวทางในการจัดการการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินเพื่อรักษาระดับอินทรียวัตถุในดินนั้น ควรพิจารณาชนิดและอัตราของอินทรียวัตถุหรือปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่นั้น ๆ ถ้ามีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในปริมาณต่ำ จำเป็นจะต้องใส่ในปริมาณมากถ้าไม่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย แต่ถ้าใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือเศษวัสดุอินทรีย์แล้ว สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น สำหรับพืชผัก ไม้ดอก ไม้ประดับ และไม้ผลบางชนิด ซึ่งเป็นพืชรากตื้นหรือพืชที่มีระบบรากไม่แข็งแรง จำเป็นที่จะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณสูง

การเพิ่มปุ๋ยอินทรีย์ให้กับดิน ควรเพิ่มอย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาระดับอินทรียวัตถุในดิน โดยใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ฯลฯ ซึ่งวรรณลดา (2543) แนะนำไว้ในตารางที่ 24 ดังนี้

ตารางที่ 24 ระดับอินทรียวัตถุในดิน ชนิดและปริมาณอินทรียวัตถุที่ต้องใส่

ระดับอินทรียวัตถุ (%)	ชนิดและปริมาณอินทรีย์วัตถุ
1.5 – 3.5	ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ไถกลบตอซัง 1-3 ตัน/ไร่ พืชปุ๋ยสด เมล็ด 5-8 กก./ไร่ หว่านปลูกจนออกดอก (แล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด)
<1.5	ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก 3-5 ตัน/ไร่ ไถกลบตอซัง 3 ตัน/ไร่ พืชปุ๋ยสดเมล็ด 5-8 กก./ไร่ หว่านปลูกจนออกดอกแล้วไถกลบ

ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. นาข้าว

1.1 พื้นที่นาลุ่ม ตอซังข้าวที่เหลืออยู่ในพื้นที่นา และฟางข้าว แกลบ ที่นำออกไปจากพื้นที่ควรที่จะนำมาไถกลบดินก่อนที่จะมีการปลูกพืช และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 20 วัน หรืออาจจะปลูกพืชปุ๋ยสดตระกูลถั่วบำรุงดิน เช่น ถั่วพุ่ม โสนอาฟริกัน และโสนอินเดีย เมื่อครบอายุ 50 วัน หรือเริ่มออกดอก ไถกลบปล่อยให้ย่อยสลาย 15 วัน แล้วปลูกข้าว

1.2 พื้นที่นาดอน เกษตรกรจะทำการปลูกข้าวในฤดูฝนและหลังจากเก็บผลผลิตข้าว แล้วปลูกพืชตาม ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เกษตรกรสามารถเลือกปฏิบัติได้หลายอย่าง เช่น ไถกลบตอซัง เศษวัสดุ ใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน ก่อนหรือหลังปลูกข้าวหรือปลูกพืชไร่

2. พืชไร่ ในพื้นที่การเกษตรที่เป็นที่ดอนนั้น เกษตรกรนิยมปลูกอ้อย และมันสำปะหลัง ซึ่งพืชนี้มีการดูดใช้ธาตุอาหาร รวมถึงการใช้อินทรียวัตถุมาก เนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากกว่าหนึ่งฤดูปลูก ดังนั้น การเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน เกษตรกรจำเป็นจะต้องเคร่งครัดในการไถกลบเศษวัสดุกากอ้อย เปลือก และกากมันสำปะหลังทิ้งไว้ให้ย่อยสลาย 20 วัน หรือปลูกพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า ปอเทือง ฯลฯ จนออกดอก หรือ 50 วัน แล้วไถกลบ หรือในระหว่างปลูกนั้นสามารถใช้เศษใบอ้อยคลุมดิน หรือสับกลบหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตปีแรก หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแซมระหว่างแถวของพืชหลัก แล้วสับกลบเมื่อพืชตระกูลถั่วอายุ 50 วัน อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาจใช้ตามตารางข้างต้นสำหรับพืชไร่อื่น ๆ เช่น ข้าวโพดหวานและพืชตระกูลถั่วนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีให้พืชใช้ได้มากขึ้น กล่าวคือ ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยดูดซับธาตุอาหารที่ละลายออกมาจากปุ๋ยเคมีไม่ให้ถูกชะล้างสูญหายไป กรมพัฒนาที่ดิน กรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตร

และสหกรณ์ ได้ทำการวิจัยและส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีมากมาย พบว่าในการปลูกพืชแบบผสมผสานที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชนั้น สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้ และถ้านำมาพิจารณากับพืชที่ปลูกว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีเพียงพอหรือไม่ สามารถพิจารณาดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 เกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุในดินสำหรับพืชไร่

ชนิดของพืชที่ปลูก	ระดับอินทรีย์วัตถุในดิน %		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง ถั่วลิสง	<1.8	1.8 - 2.9	>3
ปอ	<0.5	0.5 - 1.5	>1.5
ฝ้าย	<1.5	1.5 - 2.5	>2.5
อ้อย	<1	1.0 - 3.0	>3.0

ที่มา : สำเนา (2525)

3. พืชสวน ในการปลูกไม้ยืนต้นนั้น สมบัติของดินทางด้านกายภาพมีความสำคัญมาก เพราะรากของพืชจะต้องหยั่งลึก และมีการพัฒนาแตกแขนงออกไปทางราบใกล้ผิวดินเพื่อดูดซับธาตุอาหารจากดินมากพอกับการเจริญเติบโตของลำต้น กิ่งก้าน ใบ และดอกรวมถึงผลด้วย ดังนั้น อัตราที่แนะนำสำหรับไม้ผล และไม้ยืนต้น นอกเหนือจากการคลุมดิน รักษาความชื้นให้กับดินบริเวณหลุมแล้ว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 อัตราปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกตามปริมาณอินทรียวัตถุในดินสำหรับพืชสวน

ปริมาณอินทรียวัตถุ	ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก (กก./ต้น/ปี)
1.5 - 3.5	20-30
<1.5	30-50

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนหรือความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity หรือ CEC)

สารคอลลอยด์ในดินมีทั้งแคตไอออนและแอนไอออน ดินจึงสามารถดูดยึดประจุตรงข้ามได้แต่สารคอลลอยด์ในดินมีแอนไอออนมากกว่าแคตไอออน ดังนั้น กล่าวได้ว่าดินโดยทั่วไปจึงมีไอออนรวมเป็นลบ สามารถดูดยึดแคตไอออนมากกว่าแอนไอออนซึ่งทำให้เกิดดับเบิลเลเยอร์ แคตไอออนที่ถูกดูดยึดนั้นสามารถแลกเปลี่ยนได้กับแคตไอออนที่อยู่ในสารละลายชั้นนอก เนื่องจากถูกยึดเกาะไว้ไม่แข็งแรงนัก การที่จะทราบว่าดินนั้นมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) หรือผลรวมของประจุบวกทั้งหมดที่เป็นด่าง Ca^{2+} Mg^{2+}, Na^{+} และ K^{+} และประจุบวกที่เป็นกรด H^{+} และ Al^{3+} เท่าใดนั้นต้องทำการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีการทั่ว ๆไปไม่ยากนัก แต่ใช้เวลาค่อนข้างมากซึ่งมีหน่วยวัดเป็น milliequivalent ต่อดินแห้ง 100 กรัม แต่ปัจจุบัน CEC ได้ใช้หน่วยเป็นเซ็นติโมล/กิโลกรัมของดินแห้ง (cmol(+)/kg) ซึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยเดิม meq/100 กรัมดิน การวิเคราะห์ CEC ของดินนั้นเป็นการวิเคราะห์ทางเคมีโดยการไล่ที่แคตไอออนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินด้วย NH_4^{+} แล้วให้ NH_4^{+} นั้นเข้าไปแทนที่จนหมด จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางเคมีหาปริมาณ NH_4^{+} ที่ถูกดูดซับ (adsorbed NH_4^{+}) ดังกล่าว โดยการใช้ Na^{+} เข้าไปแทนที่ การวิเคราะห์ CEC นั้นสามารถวิเคราะห์เฉพาะดินเหนียว (นิยมวิเคราะห์เมื่อศึกษาเกี่ยวกับแร่ดินเหนียว) ซึ่งมีประจุบวกดูดซับมากกว่าขนาดอนุภาคดินอื่นก็ได้ ดังนั้น ในการบอกค่าของ CEC จะต้องบอกด้วยว่าเป็นค่า CEC ของดินหรือดินเหนียว คือ เซนติโมล/1 กิโลกรัมของดิน หรือ เซนติโมล/1 กิโลกรัมดินเหนียว

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จะแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ดิน

ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของคอลลอยด์ดินต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของคอลลอยด์ดิน (ตารางที่ 27) เช่น ฮิวมัส เวอร์มิคิวไลต์ มอนต์มอริลโลไนต์ อิลไลต์ เคโอลิไนต์ และไฮดรัสออกไซด์ มีค่า CEC แตกต่างกันตามลำดับดังนี้ 200, 100, 100, 30, 8 และ 4 cmol(+)/kg นอกจากนี้ในคอลลอยด์ดินซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ นั้น แต่ละชนิดมีค่า CEC ของตัวมันเองแตกต่างกัน ดังนั้น ถึงแม้ว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวเท่ากันแต่องค์ประกอบของดินมีแร่ดินเหนียวต่างชนิดกันก็มี CEC ไม่เท่ากันกล่าวคือดินที่มีฮิวมัสมากหรือมีมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบมากย่อมมี CEC สูงกว่าดินที่มีแร่ชนิดอื่น เช่น เคโอลิไนต์ และไฮดรัส ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินั่มเป็นองค์ประกอบ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณดินเหนียวเท่ากัน

2. ปริมาณดินเหนียวในดิน

เนื้อดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถใช้ประเมิน CEC ได้อย่างคร่าว ๆ ดินที่มีเนื้อละเอียดคือดินที่มีเปอร์เซนต์อนุภาคดินเหนียวสูงจะมี CEC สูงกว่าดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีเปอร์เซนต์อนุภาคดินเหนียวต่ำ วิธีประเมิน CEC ในดินจากปริมาณดินเหนียวอย่างคร่าว ๆ นี้ คือ ปริมาณดินเหนียว 1 เปอร์เซนต์ให้ CEC แก่ดิน 0.5 cmol(+)/kg ของดิน ดังนั้น ถ้าดินเนื้อหยาบมีปริมาณดินเหนียว 20% CEC ของดินจะได้ 10 cmol(+)/kg ซึ่งมีปริมาณต่ำ ในขณะที่ดินเนื้อละเอียดมีปริมาณดินเหนียว60% ดังนั้น CEC ของดินเหนียวนี้มี CEC 30 cmol(+)/kg ซึ่งเป็นปริมาณสูง

ตารางที่ 27 CEC ของสารอินทรีย์และอนินทรีย์คอลลอยด์ในดิน (cmol(+)/kg ดิน)

ชนิด	CEC	เฉลี่ย
ฮิวมัส [1]	200	200
ปุ๋ยหมัก [1]		
Vermiculite	100 - 150	100
Montmorillonite	80 - 150	100
Illite	10 - 40	30
Kaolinite	3 - 15	8
Oxide of Fe + Al [2]	4	4

ที่มา : Toth., 1964

1 Brady., 1974

2 คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2526)

3. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

เนื่องจากฮิวมัสในอินทรียวัตถุมี CEC สูงมาก ถึง 200 cmol(+)/kg ดินแห้ง ดังนั้นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงก็ย่อมมี CEC สูงด้วย การประเมิน CEC ที่เนื่องมาจากอินทรียวัตถุสามารถคำนวนได้ คือ 1 เปอร์เซนต์ของอินทรียวัตถุที่สลายตัวดีแล้วในดิน (well humidified organic matter) จะมี CEC 2 cmol(+)/kg ดังนั้น ถ้าดินชนิดหนึ่งมีปริมาณดินเหนียวประมาณ 20% มีอินทรียวัตถุ 1% การประเมิน CEC คำนวณได้ดังนี้

จากดินเหนียว	=	20.0 x 0.5	=	10	cmol(+)/kg
จากอินทรีย์วัตถุ	=	1.0 x 2.0	=	2	cmol(+)/kg
CEC ของดิน			=	12	cmol(+)/kg

ขบวนการวิเคราะห์ CEC ของดินนั้น เป็นขบวนการไม่ยากมากนัก ต้องใช้ความละเอียด เสียเวลามาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น นักวิชาการส่วนใหญ่จะประเมินค่า CEC จากปริมาณดินเหนียวและปริมาณอินทรียวัตถุ ซึ่งค่าอาจจะแตกต่างไปบ้างเล็กน้อย ยกเว้นแต่ดินนั้นจะมีแร่ดินเหนียวพวกมอนต์มอริลโลไนท์มากเป็นพิเศษ หรือมีพวกเคโอลิไนต์ และไฮดรัสออกไซด์สูงกว่าปกติ ค่าที่ได้จากการคำนวนดังกล่าวจึงแตกต่างกันมากจากการวิเคราะห์โดยตรง อย่างไรก็ตาม ค่า CEC เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ของดิน ปริมาณจะเปลี่ยนนอกจากจะมีการปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้สารปรับปรุงดินที่เพิ่ม CEC เท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆและซีโอไลท์ ฯลฯ ดังนั้น จึงไม่จำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ค่า CEC ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

4. การเปลี่ยนแปลง pH

ในดินมีประจุที่ขึ้นอยู่กับ pH อยู่ด้วย และ CEC ที่วิเคราะห์ได้ก็ขึ้นอยู่กับ pH เหมือนกัน ดังนั้นในการรายงานค่า CEC ควรบอกด้วยว่าใช้วิธีวิเคราะห์อะไร และ pH เท่าใดด้วย มิฉะนั้นจะทำให้การแปลความหมาย (interpretation) ผิดไปด้วย ไพบูลย์ (2528) รายงานว่าค่า CEC ของดินที่วิเคราะห์ได้ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำยาที่ใช้สกัดดินโดยอ้างถึง Schofield และ Taylor (1955) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ประจุลบถาวรของดินใด ๆ มักจะไม่เปลี่ยนแปลงในช่วง pH 2.5-5.0 แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วง pH 5-7 และการแตกตัวเป็นไอออนของกลุ่ม OH จะมีเล็กน้อยที่ pH 6 แต่จะมีมากที่ pH 7 ดังนั้น เพื่อให้ทราบสถานะของประจุที่ถูกดูดซับที่แท้จริง สำหรับดินทั่วไปนั้น ควรจะวัด CEC ของดินด้วยน้ำยาสกัดที่เป็นกลาง วิธีที่นิยมใช้คือ วิธีแอมโมเนียมอะซีเตท 1 นอร์มอล pH 7 ส่วนดินเค็มหรือดินเกลือนั้นใช้วิธีโซเดียมอะซีเตท 1 นอร์มอล pH 7 วิธีการวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้มีด้วยกันหลายวิธีด้วยกัน ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการวัด CEC และประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ วิธีที่นิยมใช้กันในประเทศไทยที่คุ้นเคยกันดังนี้ คือ

1. วิธีแอมโมเนียมอะซีเตท (NH_4OAc) 1 นอร์มอล pH 7 คือใช้ NH_4^+ จากสารละลายNH_4OAc ไปแทนที่ประจุบวกต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับที่ clay micelle ของดิน แล้วจึงหาปริมาณ NH_4^+ ทั้งหมดโดยการกลั่น หลังจากถูกแทนที่โดย Na^+ จาก NaCl วิธีนี้เป็นวิธีที่แทนที่โดยตรง (direct displacement) และเป็นวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดินในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจำแนกดิน

2. Effective CEC เป็น CEC ที่ได้จากการรวมปริมาณประจุบวกที่สกัดได้กับปริมาณไฮโดรเจนและอลูมินัมที่สกัดได้ (Extractable H^+ , Al^{3+}) โดยสารละลาย KCl 1 นอร์มอล pH 7 เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหา CEC เพื่อการปรับปรุงดินอีกวิธีหนึ่ง

3. CEC by sum เป็นการคิดค่า CEC จากการรวมปริมาณประจุบวกที่สกัดได้ทั้งหมดกับปริมาณกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity) ด้วย $BaCl_2$ 1 นอร์มอล pH 8.2 วิธีนี้ใช้ในการจำแนกดิน

ค่าของ CEC ทั้ง 3 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันนี้ CEC by sum ที่ใช้ $BaCl_2$ pH 8.2 จะได้ค่าสูงกว่า CEC ที่ใช้ NH_4OAc 1 N, pH 7 และสูงกว่า Effective CEC ที่ใช้ KCl 1 N, pH 7 ทั้งนี้เนื่องจาก Ba^{2+} ใน $BaCl_2$ สามารถแทนที่ประจุบวกได้อย่างสมบูรณ์มากกว่า NH_4^+ ใน NH_4OAc และ K^+ ใน KCl และ CEC ที่วิเคราะห์โดยการแทนที่โดยตรงโดย NH_4OAc 1 N, pH 7 นั้น ได้ค่ามากกว่าวิธีของ Effective CEC (KCl 1 N, pH 7 เป็นน้ำยาสกัด) เนื่องจาก CEC นี้ได้จากประจุบวกถาวรที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

4. วิธีโซเดียมอะซิเตท 1 นอร์มอล pH 8.2 ให้ Na^+ ในน้ำยา NaOAc เข้าแทนที่ประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ แล้ววัดโซเดียมโดยใช้แอมโมเนียมจากแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล pH 7 แทนที่อีกครั้งหนึ่ง ภิญโญและคณะ, 2542 ได้ทำการวิจัยแล้วว่าใช้ได้ดีและมีประสิทธิภาพกับดินเค็มในประเทศไทย และมีสหสัมพันธ์กับวิธีแอมโมเนียมอะซีเตท (วิธีที่ 1)

ดังนั้น ในการแปลผลการวิเคราะห์ดิน (soil data interpretation) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระบุวิธีด้วยเพื่อให้ทราบค่าที่นำมาใช้ในการประเมิน เพราะแต่ละวิธีได้ค่าไม่เท่ากัน วิธีที่ 1 และ 2 นั้นใช้สำหรับดินที่ไม่ใช่ดินปูน (non calcareous soil) และดินปูน (calcareous soil) และวิธีที่ 3 นั้นเหมาะสมใช้กับดินกรด (Black และคณะ, 1965) วิธีที่ 2 ใช้สำหรับคำนวณค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมในดินเปรี้ยวจัด (พจนีย์, 2544) แต่ Chapman (1965) ได้รายงานว่า Calcareous soils จะมีปัญหากับวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท (วิธีที่ 1) เนื่องจากค่า CEC ที่วิเคราะห์ได้จะต่ำมากถ้ามีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ด้วย เพราะแคลเซียมที่ละลายได้ในน้ำยาแอมโมเนียมอะซิเตท จะไปขัดขวางทำให้การแทนที่ด้วยแอมโมเนียมไอออนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจะต้องแยกคาร์บอเนตเสียก่อน โดยใช้แอมโมเนียมคลอไรด์และการกลั่น (steam Distillation) ซึ่งเป็นเทคนิคของ Shaw (1939) แล้วจึงวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท สำหรับดินเค็มและดินด่างซึ่งมีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้สูง จะมีปัญหากับวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท (วิธีที่ 1) เช่นเดียวกัน เนื่องจากเกลือที่ละลายน้ำได้จะละลายในน้ำยาแอมโมเนียมอะซิเตท และจะทำให้เกิดการตรึงของแอมโมเนียมไอออนขึ้น ทำให้การแทนที่ของแอมโมเนียมไอออนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ค่า CEC ของดินจะต่ำลงตามปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่ถูกตรึง (Richards, 1954) สำหรับปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าวิเคราะห์ดินเค็มและดินด่างด้วยวิธีโซเดียมอะซิเตท (วิธีที่ 4) ซึ่งเป็นวิธีของ Bower และคณะ (1952) โดยใช้น้ำยาโซเดียมอะซิเตท 1 นอร์มอล pH 8.2 แทนน้ำยาแอมโมเนียมอะซิเตทที่เป็นกลางในการแทนที่ประจุบวกที่อนุภาคดิน และยังให้ข้อสังเกตว่า ค่า CEC ของดินโดยวิธีโซเดียมอะซิเตทนี้ไม่มีผลกระทบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในดิน และไม่ทำให้ค่า CEC ของดินลดลงด้วย

ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับอิทธิพลต่าง ๆ เช่น ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุ นั้น ค่า CEC ของดินมีความแตกต่างกันตั้งแต่ <1 ถึง >100 cmol(+)/kg (Black, 1965) กรมพัฒนาที่ดินได้จัดระดับปริมาณสูงต่ำของ CEC ไว้ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ระดับ CEC ในดินตามมาตรฐานสากล

ระดับ	CEC cmol(+)/ดิน 1 กิโลกรัม
ต่ำมาก	<3.0
ต่ำ	3.0 - 5.0
ค่อนข้างต่ำ	5.0 - 10.0
ปานกลาง	10.0 - 15.0
ค่อนข้างสูง	15.0 - 20.0
สูง	20.0 - 30.0
สูงมาก	>30.0

สำหรับปริมาณของธาตุที่เป็นด่างอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งได้แก่ แคลเซียม (Ca^{2+})แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^{+}) และโซเดียม (Na^{+}) ที่ถูกดูดยึดไว้ที่พื้นผิวของคอลลอยด์ในดิน ได้แบ่งระดับสูง-ต่ำ ไว้ดังตารางที่ 29 (บรรเจิด, 2523)

ตางรางที่ 29 ระดับธาตุประจุบวกต่าง ๆ ที่สกัดได้ในดิน (วิธีวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก NH_4OAc 1 N pH 7 อัตราส่วน 1:20)

ระดับ	cmol(+)/ดิน 1 กิโลกรัม			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}
ต่ำมาก	<2.0	<0.3	<0.2	<0.1
ต่ำ	2 - 5	0.3 - 1.0	0.2 - 0.3	0.1 - 0.3
ปานกลาง	5 - 10	1.0 - 3.0	0.3 - 0.6	0.3 - 0.7
สูง	10 - 20	3.0 - 8.0	0.6 - 1.2	0.7 - 2.0
สูงมาก	>20	>8.0	>1.2	>2.0

ความสำคัญและประโยชน์ของการใช้ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีความสำคัญมากในการปลูกพืช กล่าวคือ ดินที่มี CEC สูงส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและทำให้สมบัติบางอย่างของดินดีขึ้น ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพดิน เช่น ดินมีความร่วนซุยมากขึ้น ดินที่มีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง น้ำซึมผ่านได้ยาก น้ำขังได้ง่าย การไถพรวนลำบาก (ถ้าเป็นดินเหนียวจะติดไถ) เมื่อดินแห้ง ดินจะแข็งและแตกระแหง การปรับปรุงดินโดยการใช้ Ca^{2+} จากยิบซัมเข้าแทนที่ Na^{+} และชะล้างออกไปนั้นจะทำให้ดินจับตัวกัน (flocculate) ความเหนียวของดินลดลง น้ำซึมผ่านง่ายขึ้นและไถพรวนสะดวกขึ้น

2. สมบัติทางเคมีของดิน ดินที่เป็นกรด เป็นดินที่มี H^+ ดูดซับอยู่ที่ผิวดินเหนียว (clay micell) หรือคอลลอยด์ดิน ปริมาณมากกว่าประจุบวกที่เป็นด่าง เช่น Ca^{2+} และ K^+ การปรับปรุงดินกรดเพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช คือการใส่ปูนที่มี Ca^{2+} ลงไปในดินเพื่อเข้าแทนที่ H^+ ที่ผิวดินเหนียวแล้ว H^+ ที่ถูกไล่ที่จะรวมกับ (OH^-) กลายเป็นน้ำ

3. ธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่เป็นพวกประจุบวกถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียว และเป็นประโยชน์ต่อการดูดกินของพืช เพราะรากพืชจะดูดกินได้โดยตรงโดยกระบวนการ contact exchange เมื่อใส่ปุ๋ยลงไปในดิน เช่นปุ๋ยโพแทสเซียม K^+ ที่ละลายออกมาจากปุ๋ยเคมีจะเข้าแทนที่ โดยไปไล่ที่ประจุบวกเดิมที่มีอยู่ในดินให้ออกไป ดังนั้น พืชไม่จำเป็นจะต้องใช้ปุ๋ย โพแทสเซียม ให้หมดทันที K^+ จะถูกดูดซับไม่ถูกชะล้างสูญหายไปจากดินได้ง่ายเหมือนกับ NO_3^- และ $SO_4^=$ ถึงแม้ว่าจะมีฝนตกมาก

การแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินมีความสำคัญอย่างมากในด้านต่างๆ ที่มีดินมาเกี่ยวข้อง คือ ด้านปฐพีวิทยา ธรณีวิทยา วิศวกรรมก่อสร้าง สิ่งแวดล้อม และวิชาการสาขาอื่น ๆ สำหรับทางด้านปฐพีวิทยานั้น ได้รวบรวมความสำคัญและประโยชน์ไว้แล้วข้างต้น ส่วนด้านอื่นๆรวบรวมจากคณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) และแหล่งอื่นๆ ดังนี้

1. ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคกลาง ได้มีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยการนำความเค็มจากน้ำทะเล หรือดินเลนตะกอนทะเลมาปรับความเค็มของน้ำจืดให้มีความเค็มเพิ่มขึ้น การทำเช่นนี้นอกจากมีความเสียหายหลังจากเลิกเลี้ยงกุ้งแล้ว พื้นที่กลายเป็นดินเค็ม หรือดินเค็มด่าง ดินเกิดการฟุ้งกระจาย ดินไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน ดินไม่ร่วนอีกต่อไปกลับเหนียวขึ้นเมื่อดินชื้นเปียก และจะแตกระแหงเมื่อแห้ง การเกิดเช่นนี้เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนไอออนนั่นเอง ซึ่งถ้าเป็นดินเค็มอย่างเดียว สามารถล้างเกลือออกไปได้ แต่ถ้าเป็นทั้งดินเค็มและดินด่างด้วย จะต้องใช้ยิบซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เพื่อให้ Ca^{2+} เข้าไปแทนที่ Na^+ ดังได้กล่าวแล้ว เพราะถ้าล้างเกลืออย่างเดียวจะไม่ประสบผลสำเร็จ

2. ด้านธรณีวิทยา การแลกเปลี่ยนประจุบวกมีความสำคัญเกี่ยวกับขบวนการผุพังอยู่กับที่และการสังเคราะห์ของแร่ต่างๆ ในดิน ในการผุพังประจุบวกที่เป็นด่าง (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ ฯลฯ) ที่ออกมาจากแร่ไม่สูญหายไป เมื่อมีมากขึ้นจะสะสมและรวมตัวเกิดผลึกของแร่ทุติยภูมิ เช่น พวกแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ

3. นักก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นก่อสร้างตึกหรือถนนก็ตาม การยืดหดของดินเมื่อเปียกหรือแห้งจะเป็นอันตรายต่อฐานของตึกและถนนมาก ถ้าดินเป็นพวก 2:1 จำเป็นจะต้องใส่ปูนลงไปคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนสร้างเพื่อลดศักยซีต้า (Zeta potential) และเมื่อดินจับกลุ่ม (flocculate) แล้ว การยืดและหดตัวเมื่อเปียกและแห้งจะลดลง

4. อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา มีความจำเป็นมากที่จะคุมความเหนียวและความร่วนซุยของดินเหนียวที่จะใช้ปั้นด้วย ถ้าต้องการความเหนียวหรือมีสภาพ และมีสภาพ plasticity สูง ต้องเพิ่ม Na^+ แต่ถ้าต้องการความเหนียวหรือมีสภาพ plasticity ลดลงให้ใส่ Ca^{2+} ไปไล่ที่ Na^+ โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนไอออน

เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง
(Base saturation percentage)

เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (base saturation percentage) หรืออัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส หรือร้อยละความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่อิ่มตัวด้วยเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{ปริมาณเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมด}}{\text{ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน}} \times 100$$

ปริมาณเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้หมายถึงร้อยละผลรวมของ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมต่อประจุในการแลกเปลี่ยนประจุวก

ถ้าต้องการคำนวณจาก CEC by sum จะคำนวณเปอร์เซ็นต์ความอิ่มด้วยประจุบวกที่เป็นด่างดังนี้

- จากค่าวิเคราะห์ความเป็นกรดที่สกัดได้ โดย $BaCl_2$ 1 N, pH 8.2
- จากค่าวิเคราะห์ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้โดย KCl 1 N, pH 7.0

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{ปริมาณเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมด}}{\text{ผลรวมของเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดกับแคตไอออนที่เป็นกรดที่สกัดได้ที่ pH 8.2}} \times 100$$

หรือปริมาณเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง บ่งบอกถึงปริมาณธาตุอาหารที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินธรรมดาโดยทั่วๆ ไป ดินที่มี % base saturation สูง จะมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าดินที่มี % base saturation ต่ำ ยกเว้นดินนั้นเป็นดินเค็ม ซึ่งเป็นดินที่มี % base saturation สูงมากเกินกว่าความเป็นจริง เนื่องจากมีแคตไอออนละลายได้อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการคำนวนแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ต้องเอาปริมาณแคตไอออนต่างๆ จากที่สกัดได้ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์หักด้วยแคตไอออนละลายได้ออกเพื่อได้ค่าของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนี้

$$\underset{\text{(exchangeable cations)}}{\text{แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้}} = \underset{\text{(extractable cations)}}{\text{แคตไอออนสกัดได้}} - \underset{\text{(soluble cations)}}{\text{แคตไอออนละลายได้}}$$

อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์ทั้งแคตไอออนสกัดได้ และแคตไอออนละลายได้อาจจะไม่ได้แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ และละลายได้ทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราส่วนของดินและปริมาณสารละลายที่สกัด หรือน้ำที่ใช้ในการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation paste extract) เพื่อได้ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ในสภาพธรรมชาติ

สำหรับดินบางชนิดเช่นดินด่าง ดินเค็มด่างก็เช่นเดียวกัน ถ้าดูแต่ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสอย่างเดียวในการพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดิน จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้

เช่นเดียวกัน เนื่องจากดินประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีค่า base saturation สูง แต่แคตไอออนที่มีมากจนเป็นอันตรายต่อพืช คือ โซเดียม ทั้งแลกเปลี่ยนได้และละลายน้ำได้ และมีผลทำให้ดินฟุ้งกระจาย น้ำไม่สามารถซึมได้ ดินแห้งจะแตกระแหงถ้าเป็นดินเหนียว พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี และเป็นปฏิปักษ์กับธาตุโพแทสเซียม

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสอาจจะมากกว่า 100% เพราะร้อยละของดินต่อน้ำที่วิเคราะห์ส่วนที่ละลายได้ (saturation percentage) ส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 70 ซึ่งเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนดินต่อน้ำแล้วน้อยกว่า 1:1 ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกในขั้นตอนแรกที่สกัดแคตไอออนแต่ละธาตุนั้นใช้อัตราส่วน 20:1 ดังนั้น ในดินเค็มซึ่งมีแคตไอออนละลายน้ำอยู่มาก จึงมีผลทำให้ค่าแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้บางตัวอาจจะสูงกว่าความเป็นจริง อย่างไรก็ตามสำหรับดินเค็มนั้น clay micelle ถูกดูดยึดด้วยแคตไอออนที่เป็นด่างทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่ค่อยนิยมคำนวณค่า % base saturation และใช้ในการพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เป็นดินเค็มหรือดินด่างตามเหตุผลที่ได้กล่าวแล้วในดินประเภทนี้

การแบ่งระดับความสูงต่ำของปริมาณธาตุที่เป็นด่างที่ดินดูดยึดไว้ได้แบ่งไว้ดังนี้

ระดับ	% ปริมาณธาตุที่เป็นด่างที่มีประจุบวก
ต่ำมาก	< 20
ต่ำ	20 – 40
ปานกลาง	40 – 60
สูง	60 – 80
สูงมาก	> 80

แต่ค่านี้ทางกองสำรวจดินแบ่งไว้ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ มีน้อยกว่า 35% ระดับปานกลางอยู่ระหว่าง 35 – 75% ระดับสูง ๆ กว่า 75% ฉะนั้น ในการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินที่จะกล่าวต่อไปจะใช้คำนี้เป็นหลัก

ธาตุอาหารพืชในดิน

พืชสามารถดูดกินธาตุต่าง ๆ ในดิน ได้ทั้งธาตุที่พืชใช้ประโยชน์และไม่ได้ใช้ประโยชน์ ธาตุที่พบในพืชมีมากมายมากกว่า 60 ธาตุ ธาตุที่มีปริมาณมาก คือ ออกซิเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน สำหรับธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมนั้นอยู่ในเนื้อเยื่อพืชไม่มากนัก และธาตุที่มีปริมาณต่ำมากได้แก่ อลูมินั่ม ซิลิกอน ตะกั่ว ปรอท และอาเซนิค ดังนั้น ธาตุที่มีอยู่ในพืชจึงไม่ใช่เป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งโดยทั่วไปถือว่า ถ้าไม่มีธาตุนั้นพืชไม่สามารถมีชีวิตจนครบชีพจักร หรือเป็นส่วนประกอบของสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเมทาบอลิซั่มของพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ยอมรับกันมีทั้งหมด 16 ธาตุ ในจำนวนนี้ 13 ธาตุ ที่พืชต้องการมาจากดินซึ่งยกเว้นไนโตรเจนบางส่วนที่พืชตระกูลถั่วได้มาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของจุลินทรีย์ไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในราก ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจนพืชได้รับจากอากาศโดยตรง พืชได้รับคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าทางปากใบจากการสังเคราะห์แสงออกซิเจนได้จากการหายใจเข้าทางปากใบ และผิวของราก ส่วนไฮโดรเจนนั้นได้รับจากน้ำเนื่องจากการสังเคราะห์แสงที่มีน้ำเข้าร่วมด้วย ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ธาตุอาหารหลัก (macro nutrients) เป็นธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากและมักได้รับจากดินไม่เพียงพอ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จึงได้มีการผลิตปุ๋ยทั้งสามธาตุอย่างกว้างขวาง ดังนั้น จึงนิยมเรียกธาตุเหล่านี้ว่า ธาตุปุ๋ย (fertilizer elements) ด้วย

2. ธาตุอาหารรอง (secondary nutrients) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการรองลงมาจากธาตุอาหารหลักแต่อาจพบในดินบางชนิดบ้าง เช่นชุดดินบ้านหมี่ โคกกระเทียม และลพบุรี จะพบแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่มาก ส่วนในดินกรดภาคเหนือเป็นที่ทราบกันว่า ดินขาดธาตุกำมะถัน ธาตุอาหารรองเหล่านี้ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน สำหรับแคลเซียม และแมกนีเซียมนั้นอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ธาตุปูน (lime elements) เนื่องจากวัสดุปูนที่ใช้ในการแก้ไขความเป็นกรดของดิน มีธาตุทั้งสองเป็นธาตุหลัก

3. ธาตุอาหารจุลธาตุ หรือธาตุอาหารเสริม (micro nutrients หรือ trace elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง แต่ไม่ได้หมายความว่า ธาตุในกลุ่มนี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยกว่าธาตุสองกลุ่มแรก ธาตุทุกธาตุมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชเท่า ๆ กัน ต่างกันที่ปริมาณความต้องการของพืชเท่านั้น จุลธาตุเหล่านี้ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัมและคลอรีน

เมื่อปลูกพืชไปนาน ๆ ติดต่อกันดินมักจะขาดจุลธาตุ เนื่องจากจุลธาตุอาหารเหล่านี้มีอยู่ในดินน้อยมาก ยกเว้นธาตุเหล็ก และยังเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ช้ามาก ถ้าไม่มีการให้จุลธาตุกับพืชแล้ว พืชอาจขาดแคลนได้ ดินที่มักจะขาดแคลนจุลธาตุ ได้แก่ ดินทราย ซึ่งจะมีธาตุพวกนี้ในปริมาณต่ำ ดินอินทรีย์และดินด่างจัด อาจมีจุลธาตุพอสมควรแต่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

พืชบางชนิดอาจต้องการธาตุอาหารอื่นเป็นการเฉพาะตัวนอกเหนือจาก 16 ธาตุ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งถือว่าธาตุเหล่านั้นเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นเฉพาะพืชนั้น ๆ

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารทั้ง 16 ธาตุแตกต่างกัน ดังนั้น เป็นการยากที่จะบอกระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่จัดว่าเพียงพอสำหรับพืชนั้น ๆ เพราะจะต้องใช้ผลการทดลองในพื้นที่ต่าง ๆเป็นจำนวนมากที่มีความเข้มข้นของธาตุนั้น ๆต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นในดินหรือสารละลายธาตุอาหาร เพราะการปลูกในความเข้มข้นของธาตุอาหารระดับหนึ่งจะต้องการแตกต่างกับความเข้มข้นของอีกระดับหนึ่งเป็นต้น คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) ได้จัดลำดับธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชชั้นสูงทั่ว ๆไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอในตารางที่ 30 และชี้แจงว่า ตารางนี้อาจมิใช่มาตรฐานที่เหมาะสมเสมอไป โดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียมตลอดจนจุลธาตุ

ตารางที่ 30 ธาตุที่จำเป็นต่อพืชชั้นสูงทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชที่จัดว่าเพียงพอ

ธาตุ	สัญลักษณ์ธาตุ	รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืช
			(มก./กก.)
โมลิบดินัม	Mo	$MoO_4^{=}$	0.1
ทองแดง	Cu	Cu^{+}, Cu^{++}	6
สังกะสี	Zn	Zn^{++}	20
แมงกานีส	Mn	Mn^{++}	50
โบรอน	B	$H_2BO_3^{-}$, $B_4O_7^{=}$	20
เหล็ก	Fe	Fe^{++}, Fe^{+++}	100
คลอรีน	Cl	Cl^{-}	100
			(%)
กำมะถัน	S	$SO_4^{=}$	0.1
ฟอสฟอรัส	P	$H_2PO_4^{-}$, $HPO_4^{=}$	0.2
แมกนีเซียม	Mg	Mg^{++}	0.2
แคลเซียม	Ca	Ca^{++}	0.5
โพแทสเซียม	K	K^{+}	1.0
โนโตรเจน	N	NH_4^{+}, NO_3^{-}	1.5
ออกซิเจน	O	O_2, H_2O	45
คาร์บอน	C	CO_2	45
ไฮโดรเจน	H	H_2O	6

ที่มา : ปรับปรุงจากคณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2541)

ไนโตรเจนในดิน
(Nitrogen in Soil)

ธาตุไนโตรเจน เป็นธาตุที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่ง และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีหน้าที่ช่วยพืชสร้างโปรตีน โดยเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนซึ่งมีอยู่ในโปรตีนของพืช การที่พืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตแข็งแรง ใบมีสีเขียว โดยเฉพาะพืชผักที่ใช้ใบ ลำต้น เป็นอาหาร ดังนั้น เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ พืชจะแสดงอาการแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช บางชนิดใบจะเหลืองหรือไม่มีสีเขียวที่ใบ บางชนิดต้นเหลือง หรือใบล่างเหลือง และปลายใบจะแห้งและหล่นเร็วกว่าปกติ ลำต้นผอมและเจริญเติบโตช้า ในที่สุดพืชจะให้ผลผลิตต่ำ ในกรณีถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะพบมากที่เกิดจากความต้องการให้พืชเจริญเติบโตเร็วทันใจ ส่งผลให้ลำต้นอวบน้ำ อ่อน ล้มง่าย โดยเฉพาะข้าว ข้าวโพด ผลผลิตพืชลดลง เพราะสร้างลำต้นและใบมากกว่าจะสร้างผลและเมล็ด ทำให้พืชแก่ช้าผิดปกติ ความต้านทานโรคและแมลงน้อยลง และถ้าเกิดกับยาสูบ จะทำให้ใบยาสูบเสื่อมคุณภาพ

ไนโตรเจนในดินสูญหายไปจากดินได้ง่ายและหลายทางด้วยกัน กล่าวคือ พืช และจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ การชะละลายลงไปสู่ดินชั้นล่างจากฝนหรือน้ำชลประทาน และการสูญเสียในรูปของแก๊ซ ส่วนการเพิ่มของไนโตรเจนนั้นได้จากการใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม จากการที่ไนโตรเจนเป็นธาตุที่สูญหายง่าย จึงควรระวังไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนสะสมในดินครั้งละมาก ๆ เพราะจะสูญหายไปโดยเปล่าประโยชน์ อีกทางหนึ่งที่พืชได้รับไนโตรเจนก็คือจากการค่อย ๆ ปลดปล่อยจากอินทรียวัตถุ นอกจากนั้น ดินยังได้รับจากการตรึงแก๊ซไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินนั้น ในห้องปฏิบัติการหลาย ๆ แห่งไม่นิยมวิเคราะห์เนื่องจากปริมาณไม่แน่นอน ปริมาณเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จากการที่ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ (mobile nutrients) และสูญหายง่ายโดยชะละลายไปกับฝนและน้ำชลประทาน และถ้าน้ำใต้ดินสูงก็จะกลับขึ้นมาใหม่ หรือถ้าถูกชะละลายไปในชั้นที่ไม่ลึกนัก รากพืชสามารถดูดกินได้และไนโตรเจนยังสูญเสียไปในรูปของแกซดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้ทราบระดับไนโตรเจนในดินสามารถคำนวณจากปริมาณอินทรียวัตถุ เนื่องจากอินทรียวัตถุจะประกอบด้วยไนโตรเจน ประมาณ 5% (อินทรียวัตถุ 20 ส่วน มีไนโตรเจน 1 ส่วน) ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) = ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) x 0.05

ดังนั้นถ้าเราทราบปริมาณอินทรียวัตถุแล้ว สามารถจะคาดคะเนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยประมาณได้ เช่น ถ้าดินมีอินทรีย์วัตถุ 2% จากการวิเคราะห์ดินจะมีไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) = 2 x 0.05
= 0.1 %

การควบคุมระดับไนโตรเจนให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชนั้น จะต้องพิจารณาการรักษาระดับของไนโตรเจน ชนิด ปริมาณและเวลาในการปรับระดับตามความต้องการของแต่ละชนิดของพืช ดินในแต่ละปีจะมีการสูญเสียไนโตรเจนไปโดยการกัดกร่อนประมาณ 4.5 กก. ต่อไร่ และเมื่อรวมกับที่พืชดูดไปใช้ด้วยแล้ว ไนโตรเจนจะสูญเสียไปถึง 18 กก.ต่อไร่ต่อปี ดังนั้นการที่จะใส่ไนโตรเจนเพื่อทดแทนจะต้องไม่น้อยกว่าที่สูญเสียไป (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541) สำหรับระยะเวลาที่ใส่นั้นจะต้องใส่ให้ตรงกับระยะเวลาที่พืชต้องการ เพื่อให้เป็นประโยชน์มากที่สุด และสูญเสียน้อยที่สุด อัตราการใส่ขึ้นกับชนิดของพืช พืชบางชนิดในระยะแรกต้องการไนโตรเจนสูง ดังนั้น จำเป็นต้องใส่เป็นระยะๆ ไป ไม่เท่ากันน้อยบ้างมากบ้าง แต่ต้องพึงจำไว้ว่าต้องใช้ให้เหมาะสม ทั้งปริมาณที่เพียงพอและเวลาในการใส่ รวมถึงป้องกันไม่ให้สูญเสียจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ปุ๋ยที่เพิ่มไนโตรเจนให้กับดินได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด

ข้อควรระวังอีกประการหนึ่ง ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน คือ ถ้าดินนั้นเป็นดินด่าง (alkaline soil) หรือเป็นดินที่มี pH ค่อนข้างสูง การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมอาจทำให้เกิดการสะสมไนไตรต์มากขึ้นได้ ทั้งนี้ เพราะขบวนการออกซิเดชั่นของแอมโมเนียมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนขบวนการออกซิเดชั่นที่เปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรทจะช้า ไนไตรต์เป็นพิษต่อ Nitrobacter เมื่อดินมีสภาพเป็นด่างมาก

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
(Available Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักของพืชที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่ง มีหน้าที่เร่งการเจริญเติบโต ความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนประกอบของต้นและการแพร่กระจายของราก การออกดอกผลและรวมถึงการสร้างเมล็ด ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอในช่วงใดช่วงหนึ่งของอายุพืชพืชจะแสดงอาการ ซึ่งการแสดงอาการขาดแคลนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความยาวนานของการขาดแคลน และอายุของพืช ได้แก่ ระบบรากเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ต้นเล็กแกร็น ใบแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวอมม่วงและหลุดร่วงไป ดอกจะออกช้า และทิ้งดอก ผลไม่สมบูรณ์ ซึ่งพืชบางชนิดแก่ช้าอีกด้วย

ฟอสฟอรัสที่พบในพืชเกือบทั้งหมดมาจากดิน ในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยแล้วในดินมีฟอสฟอรัสเพียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีไนโตรเจน 0.14 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.83 เปอร์เซ็นต์ ดินบนของดินนาในประเทศไทยมีฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.02 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าดินนาประเทศอื่นๆ ปริมาณของฟอสฟอรัสแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ความมากน้อยของการชะล้างและการใช้ที่ดิน ดินเนื้อละเอียดมักมีฟอสฟอรัสมากกว่าดินเนื้อหยาบ ดินที่ถูกใช้มานาน หรือถูกชะล้างมากกว่า จะมีฟอสฟอรัสน้อยกว่าดินที่เปิดป่าใหม่ ดินชั้นบนมักมีน้อยกว่าดินชั้นล่าง แต่ดินชั้น B_2 มักมีฟอสฟอรัสมากกว่าทุกชั้นดินเพราะเป็นชั้นที่มีการสะสมของสารที่ถูกชะล้าง ในฤดูเพาะปลูกพืชไร่หนึ่งฤดูปลูกมีการสูญเสียฟอสฟอรัสไปจากดินประมาณ 0.8-5 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่ (ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2526) ฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างการเจริญเติบโตความแข็งแรงของพืช ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและราก ตลอดจนการออกดอกออกผล รูปของฟอสฟอรัสที่พืชดูดกินนั้นยังเป็นที่สงสัยกันในหมู่นักปฐพีวิทยา แต่เข้าใจว่าควรเป็นรูปของ monobasic orthophosphate ($H_2PO_4^-$) และ dibasic orthophosphate ($HPO_4^=$) ส่วนอินทรีย์ฟอสเฟต พืชสามารถดูดกินได้ในรูปของ phytin โดยตรง สำหรับดินในประเทศไทยทั้งดินไร่และดินนา มีฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมากดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจากการทดลองมากมายพบว่า ดินเกือบทุกกลุ่มชุดดินจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส กล่าวคือ ดินขาดแคลนฟอสฟอรัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินไร่ ทุก ๆ ปี หรือทุกครั้งที่มีการปลูกพืชจำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดิน กล่าวคือ

1. ชนิดของอนินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งมีความสามารถในการละลาย หรือปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตให้อยู่ในสารละลายดินต่างกัน

2. ปฏิกิริยาดิน ซึ่งมีอิทธิพลมากต่อการละลายได้ของเหล็ก อะลูมินัม และแคลเซียมฟอสเฟต เมื่อดินมี pH ต่ำ คือ มีความเป็นกรดมาก เหล็กและอะลูมินัมออกไซด์จะทำปฏิกิริยาจับ (ตรึง) ไอออนฟอสเฟตเกิดเป็นเหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมินัมฟอสเฟตที่ละลายยาก แต่เมื่อดินมี pH สูงขึ้น คือ ความเป็นด่างมากขึ้น เหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมินัมฟอสเฟตจะปลดปล่อยไอออนออกมาสู่สารละลายดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนี้

$$Al(H_2PO_4)_3 + 3OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_3 + 3H_2PO_4^-$$

ในทางตรงกันข้าม แคลเซียมฟอสเฟตในดิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายยาก สามารถละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่อดินเป็นกรด

$$Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6 + 14H^+ \rightleftharpoons 10Ca^{++} + 2H_2O + 6H_2PO_4^-$$

3) ในดินที่มี pH สูง เช่น ดินปูน (calcareous soil) มีแคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่ ไอออนฟอสเฟตทำปฏิกิริยาได้ดีกับ Ca^{+2} และ Mg^{+2} เป็นสารแคลเซียมและแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก

$$3Ca^{+2} + 2H_2PO_4^- \rightleftharpoons Ca_3(PO_4)_2 + 4H^+$$

$$3CaCO_3 + 2H_2PO_4^- \rightleftharpoons Ca_3(PO_4)_2 + 3HCO_3^- + H^+$$

ดังนั้นสรุปได้ว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ลงไปในดิน ส่วนใหญ่ของปุ๋ยจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลาย คือ ถ้าดินมี pH ต่ำ (<5.5) ฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินั่มที่ละลายออกมามาก หรือถูกตรึงโดย hydrousoxide ของเหล็ก อะลูมินั่ม และแมงกานีส หรือในดินที่มี pH สูง จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียมให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลาย ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจึงขึ้นอยู่กับ pH ของดิน ซึ่ง pH ของดินที่เหมาะสมต่อการเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส คือ 6-7

การสูญเสียฟอสฟอรัสในดินนั้น นอกจากติดไปกับส่วนของพืชที่เอาออกไปจากดิน เช่น ต้นใบ ผล เมล็ด ตอซัง แล้ว ฟอสฟอรัสสามารถถูกชะละลายลงไปในดินล่าง และสูญเสียไปกับการชะล้างพังทลายของดินดังกล่าวแล้ว ดังนั้น การจัดการเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินซึ่งมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ต้องคำนึงถึงว่า ปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปจะถูกตรึงมากด้วย ซึ่งควรปฏิบัติดังนี้

1. ปรับระดับ pH ของดินให้อยู่ระหว่าง 6-7
2. เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน โดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด
3. ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้ใกล้รากพืช
4. ให้ปุ๋ยสัมผัสดินน้อยที่สุด ควรใช้ปุ๋ยละเอียดละลายง่าย

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแต่ทำให้ดินขาดฟอสฟอรัส ดังนั้น การตรวจระดับของฟอสฟอรัสในดินก่อนฤดูปลูกในแต่ละปีจึงมีความจำเป็น การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธี Bray 2 เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในบ้านเรา ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถใช้ได้ผลดีกับทุกดิน เพราะผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสบางดินไม่มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตของพืช อย่างไรก็ตาม วิธีนี้เป็นวิธีสะดวก รวดเร็วและใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับดินส่วนใหญ่ในบ้านเรา แต่สำหรับดินเค็มได้ใช้วิธีของ Olsen วิเคราะห์ กรมพัฒนาที่ดิน ได้กำหนดระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสโดยวิธีของ Bray 2 แสดงไว้ในตารางที่ 31 ดังนี้

ตารางที่ 31 ระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)
ต่ำมาก	<3
ต่ำ	3-6
ค่อนข้างต่ำ	6-10
ปานกลาง	10-15
ค่อนข้างสูง	15-25
สูง	25-45
สูงมาก	>45

ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน ถ้าพบว่าค่อนข้างต่ำ จนถึงต่ำมาก จำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับพืชที่ปลูก แต่จะใส่จำนวนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช เนื้อดิน ปริมาณน้ำฝน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ฯลฯ สำหรับการแนะนำปุ๋ยบางแห่งได้มีการบอกค่าสูงต่ำของธาตุอาหารที่มีในดิน ซึ่งหมายความว่า ถ้าผลการวิเคราะห์ดินมีปริมาณธาตุอาหารนั้นๆ ต่ำกว่าค่าวิกฤตที่กำหนดไว้ พืชจะแสดงผลตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเคมี (โชติ, 2539) ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในดินสำหรับพืชชนิดต่างๆและเกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในดินกับชนิดของพืชแสดงไว้ในตารางที่ 32, 33, 34

ตารางที่ 32 ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกพืชชนิดต่างๆ

พืช	ค่าวิกฤต P (ppm)–Bray 2
มันสำปะหลัง	7
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	10
ปอแก้ว	10
ฝ้าย	12
ถั่วเขียว*	4

ที่มา * โชติ 2539

ตารางที่ 33 ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกพืชชนิดต่าง ๆเมื่อวิเคราะห์ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ

วิธีสกัด	พืช	Critical level (ppm)
Colwell *	ข้าวโพด	12
(0.5 M $NaHCO_3$)	ถั่วเขียว	14
Bray 2	ข้าว	10
	ข้าวสาลี	10-17
	ข้าวโพด	15
Olsen	ข้าว	10-18
(0.5 M $NaHCO_3$)	ข้าวสาลี	11
	ข้าวโพด	15

* Colwell Method (soil : solution = 1:100) เขย่านาน 16 ชั่วโมงด้วย end-over-end-shaker
ที่มา : ปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

ตารางที่ 34 เกณฑ์พิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในดินกับชนิดของพืช

ชนิดของพืชที่ปลูก	ระดับของฟอสฟอรัสในดิน (ppm)		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
	Bray 2 (0.1 N HCl + 0.03 N NH_4F)		
ข้าว	<10	10-30	>30
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย	<10	10-19	>20
ถั่งเหลือง	<8	8-15	>15
ถั่วลิสง	<5	5-10	>10
ฝ้าย	<15	15-40	>40
ปอ	<10	10-30	>30
	Olsen P (0.5 M $NaHCO_3$, pH 8.5)		
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฝ้าย	<5	5-10	>10
พืชหัว	<11	11-26	>26
ถั่วต่าง ๆ	<2	2-4	>4

ที่มา : สำเนา (2525)

ตารางที่ 35 ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินและอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับพืชชนิดต่าง ๆ

พืช	ค่าวิเคราะห์ (Bray 2)	ปุ๋ย P_2O_5
สับปะรด		
ปัตตาเวีย	<25	6 กรัม/ต้น/ฤดู
อินทรชิต	25-50	3-6 กรัม/ต้น/ฤดู
	>50	0
ถั่วเหลือง	5-15	9 กก./ไร่
มันสำปะหลัง		
ดินทรายจัด	<5	15-20 กก./ไร่
ดินทรายร่วน	5-13	8-15 กก./ไร่
อ้อย		
ดินทราย	10-20	6-12 กก./ไร่
ข้าวโพด	10-17	10 กก./ไร่
ข้าวฟ่าง		
ดินร่วน	10	10 กก./ไร่
ดินเหนียว	30	0
ข้าว		
ดินทราย	3-6	4-6 กก./ไร่
ดินเหนียว	20-25	4-8 กก./ไร่
ยางพารา*		
ดินทราย	<8	1200 กรัม/ต้น/2 ปี
ดินร่วน	8-20	900 กรัม/ต้น/2 ปี

* ยางพารา อายุ 5 ปีขึ้นไป เปิดกรีดแล้ว

แหล่งข้อมูล : กลุ่มดินปุ๋ยพืชไร่ ดินปุ๋ยพืชสวน กองปฐพีวิทยา

อ้างโดย : ปรีดาและคณะ (2532)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
(Available Potassium)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักใน 3 ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นส่วนสำคัญสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์พืช คือ มีอิทธิพลต่อปริมาณแป้ง การเคลื่อนย้ายของแป้งและน้ำตาล กระบวนการสังเคราะห์และหายใจ โครงสร้างของเอนไซม์ ปริมาณกรดอินทรีย์ ปริมาณของไนโตรเจน ความต้านทานโรคและคุณภาพของผลผลิต การขาดโพแทสเซียมสังเกตได้ง่าย ขอบใบมีสีซีด แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลจากปลายใบสู่โคนใบ แล้วต่อมาใบจะแห้ง ลำต้นอ่อน ล้มง่าย โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในส่วนประกอบของพืช ดังนั้น จะเกิดอาการขาดที่ใบแก่ก่อนใบอ่อนผลของพืชจะผิดปกติ เช่น ธัญพืช เมล็ดพืช พืชหัวจะมีแป้งน้อย ข้าวโพด มีเมล็ดไม่เต็มฝัก ผลไม้เนื้อฟ่าม สีไม่สวย และถ้าเกิดกับยาสูบคุณภาพในการติดไฟของใบยาสูบจะต่ำ เป็นต้น

การสูญเสียโพแทสเซียมในดินนั้นนอกจากพืชดูดไปใช้และนำผลผลิตของพืช หรือเศษพืชออกไปจากพื้นที่แล้ว โพแทสเซียมยังสูญเสียไปโดย การชะละลาย การกัดกร่อนของผิวดิน การตรึงโพแทสเซียมที่เกิดจากแร่ดินเหนียวในดิน ซึ่งอยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ยากแต่เป็นการเก็บโพแทสเซียมไว้ให้พืชใช้เมื่อโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง และสูญเสียโดยการที่พืชดูดกินเข้าไปมากเกินความต้องการโดยไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้น การใส่โพแทสเซียมจึงต้องมีความระวังในปริมาณ เวลา และความถี่ของการใส่ เพื่อให้การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับบางพืชอาจจะต้องใส่ปริมาณน้อยในแต่ละครั้ง แต่ใส่บ่อยครั้ง

รูปของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภท คือ

1. รูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (relative unavailable form) คือ โพแทสเซียมที่อยู่ในแร่ต่าง ๆ เช่น เฟลด์สปาร์ และไมกา ซึ่งสลายตัวได้ยาก จะละลายได้โดยน้ำที่มีคาร์บอเนต ($CO_3^=$)

$$2KAlSi_3O_8 + H_2CO_3 + H_2O \longrightarrow H_4Al_2Si_2O_8 + K_2CO_3 + 4SiO_2$$

ละลายยาก ละลายง่าย

2. ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้อย่างช้า ๆ (slowly available form) มีประมาณ 1-10% ของโพแทสเซียมทั้งหมด เป็นโพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ระหว่างหลืบของอนุภาคดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น Illite, Vermiculite และ Montmorillonite ซึ่งพืชไม่สามารถใช้ได้ แต่ถ้าถูกปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนได้ และอยู่ในสารละลายดินพืชจะสามารถนำไปใช้ได้

3. ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (readily available form) ส่วนนี้จะมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 1-2% ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ซึ่งเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และอยู่ในสารละลายดิน โพแทสเซียมในสารละลายดินนี้พืชเอาไปใช้ได้ง่ายกว่า แต่ก็ถูกชะละลายง่ายกว่าเช่นเดียวกัน โพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้ จะมีความสมดุลกัน กล่าวคือ เมื่อพืชดูดกินโพแทสเซียมในสารละลายดินไปจะเกิดการเสียสมดุล โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายดินแทน

ซึ่งโพแทสเซียมของทั้ง 3 รูปนี้ จะมีความสมดุลกัน ดังนี้

K แลกเปลี่ยนไม่ได้ $\rightleftharpoons$ K แลกเปลี่ยนได้ $\rightleftharpoons$ K ในสารละลายดิน
หรือถูกตรึง

การเปลี่ยนรูปโพแทสเซียมในดินจะเปลี่ยนกลับไปกลับมาเสมอเพื่อให้เกิดความสมดุล แต่เมื่อไรก็ตามที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปในดิน ระดับโพแทสเซียมในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะสูงขึ้นทันที ทำให้เสียการสมดุล บางส่วนของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะถูกตรึงให้เป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ทันที และจะเกิดขึ้นเรื่อยจนกว่าจะสมดุล ซึ่งถือว่าเป็นผลดีกับดินเพราะโพแทสเซียมในรูปนี้จะไม่สูญเสียไปโดยการชะละลาย และจะค่อย ๆปลดปล่อยออกมาให้พืชให้ประโยชน์อย่างช้า ๆ

ระดับวิกฤตของโพแทสเซียมซึ่งเป็นค่าประมาณที่ใช้เป็นเกณฑ์ ในการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชไร่บางพืช (ตารางที่ 36) และการประเมินค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ตามประเภทของดินดังตารางที่ 37

ตารางที่ 36 ระดับวิกฤตของโพแทสเซียมในการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชไร่บางพืช

พืช	ค่าวิกฤต K (ppm) (1 N NH_4OAc)
มันสำปะหลัง	28
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	50
ปอแก้ว	30
ฝ้าย	40

ที่มา : ปรีดา (2532)

ตารางที่ 37 การประเมินค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ซึ่งสกัดด้วย 1 N ammonium acetate, pH 7.0 ในดินของประเทศไทย

ประเภทของดิน	ขาดแคลนมาก	ขาดปานกลาง	ขาดแคลนน้อย-ไม่ขาด
	ppm		
ดินทราย (clay+silt , <15%)	19 - 27	27 - 55	>55
ดินร่วน (clay+silt , 15-45%)	39	39-78	>78
ดินเหนียว (clay+silt , >45%)	78	78-156	>156

ที่มา : ปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดความเป็นประโยชน์ไว้ตามตารางที่ 38 ดังนี้

ตารางที่ 38 ระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ	ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ppm)
ต่ำมาก	<30
ต่ำ	30-60
ปานกลาง	60-90
สูง	90-120
สูงมาก	>120

เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส ถ้าดินใดมีโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำจนถึงต่ำมาก จำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ย หรือถ้ามีปานกลางก็อาจจำเป็นจะต้องใส่ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สายพันธุ์พืช ชนิดของดิน ระบบการปลูกพืช และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ทั้งนี้ ต้องขึ้นอยู่กับการพิจารณาประกอบกันเป็นรายๆ ไป โดยพิจารณาปัจจัยหลายๆอย่างดังกล่าวแล้ว อย่างไรก็ตาม การพิจารณาความต้องการธาตุของพืชเป็นสิ่งจำเป็น เกณฑ์พิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในดินกับชนิดของพืชที่ปลูก (ตารางที่ 39) ซึ่งปรีดาและคณะ (2532) ก็ได้รวบรวมค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินและอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อประกอบการพิจารณาการใช้ผลวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน (ตารางที่ 40)

ตารางที่ 39 เกณฑ์พิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในดินกับชนิดของพืชที่ปลูก

ชนิดของพืชที่ปลูก	ระดับโพแทสเซียมในดิน (ppm)		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง ฝ้าย	<40	40-100	>100
ปอ	<30	30-80	>80
ถั่วลิสง	<40	40-80	>80
อ้อย	<80	80-150	>150

ที่มา : สำเนา (2525)

ตารางที่ 40 ค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมและอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับพืชชนิดต่าง ๆ

พืช	ค่าวิเคราะห์ K (NH_4OAc) ppm	ปุ๋ย K_2O (กก./ไร่)
สับปะรด		
ปัตตาเวีย	<35	16-20 กรัม/ต้น/ฤดูกาล
อินทรชิต	36-70	12-16 กรัม/ต้น/ฤดูกาล
	71-105	8-12 กรัม/ต้น/ฤดูกาล
	106-145	4-8 กรัม/ต้น/ฤดูกาล
	>140	0
ถั่วเหลือง	<35	6
	35-40	4
	>54	0
มันสำปะหลัง		
ดินทราย	10-30	15-20
ดินร่วน	30-50	8-15
อ้อย		
ดินทราย	30-60	6-12
ดินร่วน	60-120	6
ถั่งลิสง	<30	15
	30-50	5
	>50	0
ฝ้าย	<60	15
	60-120	6
	>120	0
ปอ	<30	12
	30-45	8
	>45	0-8

ที่มา : ปรีดาและคณะ (2532)

* : Phetchawee และคณะ (1985)

ธาตุอาหารรอง
(Secondary Essential Elements)

นอกจากธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N, P และ K ซึ่งพืชต้องการปริมาณมากแล้ว พืชต้องการธาตุ Ca, Mg และ S เช่นเดียวกันแต่ในปริมาณที่น้อยกว่า จึงเรียกว่าธาตุอาหารรอง (Secondary essential elements) ดินไม่ค่อยขาดธาตุเหล่านี้ ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากปุ๋ยต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งมีธาตุรองทั้งสามธาตุนี้รวมอยู่ด้วยเสมอ

แคลเซียม (Ca)

แคลเซียมมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ การสร้างโปรตีน การเคลื่อนย้าย การเก็บรักษาคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การแบ่งเซลล์ องค์ประกอบของผนังเซลล์ ทำลายความเป็นพิษ ของสารพิษหรือสารที่พืชดูดมากเกินไป เช่น oxalic acid, Cu และ auxin เพิ่มการเกิดปมของรากถั่ว และลดการดูดดึงโพแทสเซียมดังกล่าวไว้ในเรื่องของโพแทสเซียม แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ไม่ได้ ดังนั้น อาการขาดจะแสดงในส่วนที่เป็นส่วนที่เจริญเติบโต คือ ที่ใบอ่อนและปลายราก โดยใบอ่อนจะงอและบิดเบี้ยว ขอบใบจะแห้งและเป็นสีน้ำตาลและยอดอ่อนจะตาย รากพืชจะสั้น ไม่มีเส้นใย และเหนียวคล้ายวุ้น

ปริมาณแคลเซียมในดินแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ดินทั่วไปมีแคลเซียมอยู่ระหว่างน้อยกว่า 0.1 ถึง 2% แต่ดินเนื้อปูน (calcareous soil) มีแคลเซียมมากกว่า 2.5% ดินที่เป็นกลางและดินที่เป็นด่างจะมีแคลเซียมสูงถึง 30-40 cmol(+)/kg ดินทรายที่เป็นกรดมีแคลเซียมน้อยมาก น้อยกว่า 5 cmol/kg และถ้าเป็นกรดแก่ อาจจะพบน้อยกว่า 1 cmol(+)/kg ปริมาณแคลเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะมีปริมาณอยู่ระหว่าง 1 cmol ถึงมากกว่า 50 cmol ต่อดิน 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมของดิน ปริมาณแคลเซียมในสารละลายดินแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของดิน ชนิด และปริมาณของเกลือแคลเซียมในดิน

แคลเซียมในดินมีอยู่ด้วยกันหลายรูปด้วยกันคือ

1. องค์ประกอบของหินและแร่ ได้แก่ บะซอลต์ หินปูน หินอ่อน ฟลูออไรด์ อะปาไทต์ และยิปซั่ม ฯลฯ

2. เกลือแคลเซียมอิสระ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนตหรือโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งทั้งหมดขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดิน เกลือคาร์บอเนตจะพบน้อยในดินธรรมดา แต่จะพบมากในดินที่เกิดจากหินปูน ส่วน $CaSO_4$ จะพบมากในดินชั้นล่างที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเล และแคลเซียมฟอสเฟตจะพบในดินมากถ้าดินนั้นอยู่ใกล้แหล่งหินฟอสเฟต

3. แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้หรือแคลเซียมที่ถูกดูดยึด (exchangeable Ca หรือ adsorbed Ca) เป็นแคลเซียมที่ถูกคอลลอยด์ดินดูดยึดไว้ และจะถูกไล่ที่ หรือ hydrolyze ออกมาอยู่ในสารละลายดินเป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณคอลลอยด์ดิน

4. แคลเซียมในสารละลายดิน แคลเซียมในรูปนี้เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณแคลเซียมในรูปนี้จะสมดุลกับแคลเซียมที่ถูกดูดยึดกับคอลลอยด์ดิน และในแร่และเกลืออิสระ ดังนี้

แคลเซียมในแร่และเกลืออิสระ $\rightleftharpoons$ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้หรือแคลเซียมที่ถูกดูดยึด $\rightleftharpoons$ แคลเซียมในสารละลายดิน

ค่าวิกฤตของแคลเซียมและปริมาณที่เหมาะสมในดินสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 41 และ 42

ตารางที่ 41 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและค่าวิกฤตของแคลเซียมสำหรับพืชบางชนิด

ชนิดพืช	ระดับของแคลเซียมในดิน			
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ค่าวิกฤต
		(ppm)		(cmol(+)/kg)
ถั่วเหลือง (1 N NH_4OAc extr.)	<300	300-400	>450	
อ้อย (1 N NH_4OAc extr.)				0.55
ถั่วลิสง (1 M NH_4Cl extr.)				<1.4
ถั่วเหลือง (1 M NH_4Cl extr.)				0.45
ยาสูบ (1 M NH_4Cl extr.)				<1.2

ที่มา : Peverill และคณะ, 1999

ตารางที่ 42 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในดินที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชชนิดต่าง ๆ

พืช	Ca (%)
ข้าว	0.2 - 0.6
ข้าวโพด	0.25 - 1.0
ข้าวสาลี	0.35 - 1.0
ถั่วเหลือง	0.6 - 1.5
ถั่วลิสง	1.2 - 2.5
ฝ้าย	0.6 - 1.5
ทานตะวัน	0.8 - 2.0

หมายเหตุ : ดินทุกชนิดมี Ca พออยู่แล้ว แต่การใส่ปูนเพื่อปรับปรุงทาง ecological aspects เสียมากกว่า พืชที่ sensitive ได้แก่ มะเขือเทศ ถ้าขาด Ca จะเป็นโรคก้นดำ , ก้นเน่า แก้โดยการใส่ปูน นอกจากนี้ปูน (Ca) ช่วยแก้ปัญหาพืชขาดน้ำได้ด้วยระดับหนึ่ง เพราะ available water จะสูงกว่าในดินที่มี Ca ในดินสูง

ที่มา : ปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

ระดับสูงต่ำของแคลเซียมในดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้จัดระดับไว้ดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ระดับปริมาณของแคลเซียมในดิน

ระดับ	ปริมาณแคลเซียมในดิน (ppm)	
	ppm	cmol/kg
ต่ำมาก	<400	< 2.0
ต่ำ	400-1000	2-5
ปานกลาง	1000-2000	5-10
สูง	2000-4000	10-20
สูงมาก	>4000	>20

ที่มา : บรรเจิด, 2523

ระดับความสูงต่ำของแคลเซียมที่ได้จัดแบ่งไว้ข้างต้นนั้น เป็นค่าปริมาณแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ที่วิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ประจุบวกที่เป็นด่างจากการวิเคราะห์ CEC โดย NH_4OAc 1 N, pH 7 อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:20 แต่ถ้าวิเคราะห์แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชปกติแล้วนิยมวิเคราะห์ 1:10

ความต้องการแคลเซียมของแต่ละพืชแตกต่างกันไป ในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธ์กันอาจจะมีความต้องการแตกต่างกัน การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์แคลเซียมที่เพียงพอในประเทศไทยมีการศึกษาบ้างดังตารางที่ 41 และ 42 ดังนั้น การที่จะบอกว่าแคลเซียมสูงหรือต่ำนั้น นอกจากจะใช้ตารางที่ 43 เป็นพื้นฐาน จำเป็นจะต้องพิจารณาความต้องการของแต่ละพืชด้วย เพราะบางพืชต้องการแคลเซียมสูง เช่น พวกพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น และนอกจากนั้นควรจะพิจารณาเนื้อดินประกอบด้วย ในดินที่มีอนุภาคทรายการใช้ค่าแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะต้องใช้ค่าที่น้อยกว่า เนื่องจากแคลเซียมถูกดูดยึดโดยอนุภาคน้อยกว่า

การวินิจฉัยผลการวิเคราะห์แคลเซียมนั้น นอกจากจะใช้ค่าแคลเซียมแลกเปลี่ยนโดยตรงแล้ว ระดับของแคลเซียมมักจะใช้เกี่ยวข้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุอื่น ยกตัวอย่างเช่น ค่าความอิ่มตัวของแคลเซียม ซึ่งได้จาก Ca ต่อผลรวมของประจุบวกที่เป็นด่างและประจุบวกที่เป็นกรด (Effective CEC) หรือใช้อัตราส่วนระหว่าง Ca และ Mg Kamprath (1984) รายงานว่าในดินที่มีการสลายตัวสูง ค่าความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมที่มีแคลเซียมเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่วไปเกือบทั้งหมด อยู่ระหว่าง 25-30% ค่าวิฤติของค่าความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมที่ทำให้รากของถั่วเหลืองยึดตัวดี คือ 11% (Bruce และคณะ, 1988) และถั่วเขียว 34% (Menzies และคณะ, 1994) อย่างไรก็ตามค่าความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไม่ใช่จะเป็นพื้นฐานในการวินิจฉัยการขาดแคลนได้เสมอไป (Adams และ Moore , 1983 ; Adams และ Hathcock, 1984)

แมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองธาตุหนึ่งในสามธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ เป็น phosphate carrier ร่วมกับกำมะถันให้พืชสร้างน้ำมัน มีส่วนสำคัญในการหายใจของเซลล์ และให้พลาสมา (plasma) ของเซลล์พืชพองตัว ฯลฯ อาการของพืชเมื่อพืชขาดแมกนีเซียมต่างกันไปแล้วแต่ชนิดพืช แมกนีเซียม เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ ดังนั้น จึงเคลื่อนที่ไปให้พืชใช้ในส่วนที่เจริญเติบโต พืชจึงแสดงการขาดที่ใบล่าง ซึ่งจะมีสีเหลืองและเปลี่ยนไปเป็นสีขาวน้ำตาลและร่วงหล่นในที่สุด หรืออาจเป็นจุดขาวกระจายใบเปราะ บางพืชอาจมีสีม่วงแดง ซึ่งแสดงอาการขาดคลอโรฟิลล์ เป็นต้น

ปริมาณแมกนีเซียมในดินขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ดินที่มีเนื้อละเอียดมีแมกนีเซียมมากกว่าดินเนื้อหยาบเนื่องจากมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ หรือแมกนีเซียมที่ดูดยึดไว้มากกว่า แมกนีเซียมจะถูกชะละลายได้ง่าย ดังนั้น ดินที่มีการชะละลายมากจะมีแมกนีเซียมน้อย

รูปของแมกนีซียมในดิน

1. ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของหินและแร่ ได้แก่ หินปูน โดโลไมต์ หินอัคนี หินดินดาน และหินทราย ส่วนแร่ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ คือ แร่ซิลิเกตซึ่งละลายน้ำยาก ได้แก่ ฮอร์เบลนท์ ไบโอไทต์ เซอร์เพนไทน์ และแร่คาร์บอเนต ละลายน้ำได้พอสมควร ได้แก่ โดโลไมต์ แมกนีไซด์ และจะอยู่ใน secondary mineral คือ คลอไรต์ เวอร์มิคิวไลต์ อิลไลต์ มอนท์มอริลโลไนต์และโอลิวีนเป็นต้น

2. ในรูปของเกลือซัลเฟต และคลอไรด์ ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย

3. รูปของไอออนที่ดูดยึดไว้โดยคอลลอยด์ของดิน หรือแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งมีปริมาณน้อยมากที่ถูกดูดซับรองลงมาจากแคลเซียม แต่ถ้าเป็นดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจะมีมากเป็นอันดับสามรองจากไฮโดรเจนและแคลเซียม ยกเว้นดินโซดิกบางแห่งจะมีโซเดียมที่ถูกดูดซับมากกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียม เนื่องจากแมกนีเซียมถูกคอลลอยด์ของดินดูดยึดไว้ด้วยแรงน้อยกว่า ดังนั้น ปริมาณของแมกนีเซียมในดินทั่ว ๆไปจึงน้อยกว่าแคลเซียมดังกล่าวข้างต้น (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

แมกนีเซียมในดินมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับแคลเซียม คือ รูปต่าง ๆ อยู่ในรูปสมดุล ดังนี้

$$\text{Mg ในแร่} \rightleftharpoons \underbrace{\text{Mg แลกเปลี่ยนได้} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} \text{ ในสารละลายดิน (อาจสูญเสียไปกับน้ำที่ระบายลงสู่ดินล่าง)}}_{\text{รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช}}$$

ความสมดุลของแมกนีเซียม และปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินคล้ายคลึงกับแคลเซียม ความสัมพันธ์ของแมกนีเซียมกับธาตุอาหารอื่นมีผู้ศึกษาไม่มากนัก ทั้งๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในหน่อของพืชลดลงเมื่อดินบริเวณรากมี Mn^{2+}, Ca^{2+}, K^{+} NH_4^{+} หรือ Al^{3+} (Metson, 1974) หรืออัตราส่วนระหว่าง Ca : Mg ถ้าสูงอาจทำให้พืชขาดแมกนีเซียมได้ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 2 ถึง 7 (Simson และคณะ, 1997; Reid, 1996) แต่ในประเทศออสเตรเลียได้ชี้ว่า อัตราส่วนที่กว้างของ Ca : Mg ไม่มีผลต่อผลผลิตของพืช (Poile และคณะ, 1989 ; Hailes และคณะ, 1997)

นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่าง K : Mg มีความสำคัญมากกล่าวคือ ควรจะ <5 สำหรับพืชไร่ <3 สำหรับพืชผัก และ <2 สำหรับไม้ผลและพืชที่ปลูกในเรือนกระจก ปริมาณของแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) หรือแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available Mg) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งรวมถึงแมกนีเซียมไอออนที่อยู่ในสารละลายดินมีน้อยมากในดินทั่วๆ ไป และน้อยกว่าแคลเซียมเนื่องจากถูกดูดยึดไว้ด้วยแรงที่น้อยกว่า ดินนาโดยทั่วไปของประเทศไทยไม่พบว่าขาดแมกนีเซียมแต่มักจะขาดในดินทราย และดินด่าง ค่าวิกฤติของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ระหว่าง 25-50 ppm หรือ 0.2-0.4 cmol ต่อดิน 1 กิโลกรัม ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่สำหรับพืชต่างๆ แสดงในตารางที่ 44 และ 45

ตารางที่ 44 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

พืชทุกพืช พืชผักและไม้ผล	ระดับของแมกนีเซียมในดิน			
	ขาดแคลน ppm	เหมาะสม ppm	พอเพียง ppm	ค่าวิกฤต cmol(+)/kg
ข้าวโพด (1M NH_4Cl extr.)*	<25	25-50	51-100	0.21-0.27
พืชคลุมดิน (0.25 M $BaCl_2$ extr.)				0.22
Subterraneam (Trifolium subteraneam)				
หญ้า (1M NH_4OAc. extr.)				0.14-0.15
sugar beet (1M NH_4NO_3 extr.)				**0.17-0.29**
อ้อย (0.02 M HCl extr.)				**0.1-0.25**
ยาสูบ (1M NH_4Cl extr.)				<0.44

หมายเหตุ ระดับ Mg 51 - 100 ส่วนในล้านส่วนนั้นถือว่าพอเพียงสำหรับพืชทุกชนิด แต่อาจเกิดการขาด Mg ได้ เนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง K : Mg กว้างมากในดิน

ที่มา : *สำเนา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

: Peverill และคณะ, 1999.

ตารางที่ 45 ระดับแมกนีเซียม (Mg) ที่พอเหมาะกับพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

พืช	ระดับที่ต่ำมาก cmol(+)/kg	ระดับที่พอเหมาะ cmol(+)/kg
ข้าว	< 0.18	0.2-0.4
ถั่วเหลือง	< 0.26	0.3-0.5
ถั่วลิสง	< 0.29	0.3-0.6
มันฝรั่ง	< 0.21	0.25-0.6
ปาล์มน้ำมัน*	< 0.24	0.25-0.4

● ดินทรายมักจะขาด Mg ดินนาโดยทั่วไปในประเทศไทยไม่พบว่าขาด Mg เลย อนึ่ง ค่าวิกฤติของ Exch. Mg สกัดด้วย 1 N NH_4OAc, pH 7.0 มีค่าอยู่ระหว่าง 25-50 ppm หรือ 0.2-0.4 cmol/kg

● พืชที่ไวต่อการขาด Mg ให้ใส่ Mg เมื่อค่า Exch.Mg = 50 ppm เช่น ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลังมันฝรั่ง ส่วนพืชที่ไม่ไวต่อการขาดจะแนะนำให้ใส่ Mg เมื่อค่าวิเคราะห์ Mg ในดินมีค่า 25 ppm หรือ 0.2 cmol/kg

ที่มา : ปรับปรุงจากปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

ระดับสูงต่ำของแมกนีเซียมในดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้จัดระดับไว้ตารางที่ 46

ตารางที่ 46 ระดับปริมาณของแมกนีเซียมในดิน

ระดับ	ปริมาณแมกนีเซียมในดิน	
	ppm	cmol(+)/kg
ต่ำมาก	<36	<0.3
ต่ำ	36-120	0.3-1.0
ปานกลาง	120-360	1.0-3.0
สูง	360-960	3.0-8.0
สูงมาก	>960	>8.0

ที่มา : บรรเจิด 2523

: จากการวิเคราะห์ประจุบวกที่เป็นด่างโดยวิธีวิเคราะห์ CEC (NH_4OAC 1 N pH 7 อัตราส่วน 1 : 20)

กำมะถัน (S)

กำมะถันเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกเหนือจากแคลเซียมและแมกนีเซียม คือจำเป็นต่อการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิด เป็นองค์ประกอบไวตามิน B1, glutathione, coenzyme A ซึ่งมีส่วนในกระบวนการเมทาบอลิซึ่มของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนด้วย สารที่ระเหยได้ในพืชซึ่งเมื่อ hydrolyze แล้วจะได้ mustard oil พวกสารระเหยได้นี้มีกลิ่น เช่น กลิ่นของหัวหอม กระเทียม กะหล่ำปลี มีผลทางอ้อมต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลด์ของพืช การแบ่งเซลล์ และยังมีส่วนในการเพิ่มปริมาณน้ำมันในพืช เช่น แฟลค (flax) และถั่วเหลืองด้วย (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

อาการของพืชเมื่อขาดกำมะถันคล้าย ๆ กับการขาดไนโตรเจน ต้นลีบใบเล็ก ยอดจะไม่ค่อยเจริญเติบโต ซึ่งต่างกับไนโตรเจน ถ้าพืชขาดจะเริ่มที่ใบล่างเหลืองแล้วค่อย ๆตาย เนื่องจากกำมะถันเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ (immobile nutrient) การแสดงอาการขาดธาตุกำมะถันจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของพืช เช่น พืชตระกูลถั่ว ใบอ่อนทั้งใบจะมีสีเขียวอ่อนถึงสีเหลือง ยาสูบทั้งต้นมีสีเขียวอ่อน แต่ใบอ่อนจะสีเขียวอ่อนกว่าใบแก่ ในขณะที่ผักใบล่างจะหนา ลำต้นมีสีเหลืองเขียว เป็นต้น

ปริมาณกำมะถันในดิน

กำมะถันในดินอยู่ในรูปของซัลไฟด์ และซัลเฟต และอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งอยู่รวมกับคาร์บอนและไนโตรเจน กำมะถัน ส่วนใหญ่ในดินจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ส่วนที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์พบในรูปของยิปซั่ม ซึ่งอยู่ในดินล่าง เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ปัจจุบันดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยขาดกำมะถันรุนแรงที่สุด 50% ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ภาคเหนือตอนบนและบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก (30-40% ของพื้นที่)

นอกจากนี้ปัญหาดินขาดกำมะถันพบได้เช่นกันในพื้นที่ภาคกลางและภาคใต้ แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า (ปรีดา ไม่ระบุปีพิมพ์) กำมะถันในรูปของซัลเฟตจะถูกดูดยึดโดยแร่ดินเหนียว และ hydrous ของเหล็กและอลูมินั่มในดิน ดังนั้น ดินที่มีเนื้อหยาบจึงมีการสูญเสียซัลเฟต ($SO^{=}_4$) โดยการละลายมากกว่าดินเนื้อละเอียด จึงเป็นเหตุทำให้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งดินส่วนใหญ่มีเนื้อหยาบขาดกำมะถัน การชะละลายง่ายของกำมะถันนี้อาจทำให้ดินล่างมีกำมะถันให้พืชที่มีรากยาวสามารถใช้ได้ ในขณะที่ดินบนอาจขาดกำมะถันอย่างรุนแรงก็ได้

รูปของกำมะถัน

กำมะถันในดินมีอยู่หลายรูป

1. องค์ประกอบของหิน หินดินดาน ซึ่งหินอื่น ๆ มีกำมะถันอยู่มากกว่า
2. แร่ เช่น แร่ไพไรท์ (FeS_2) ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) และแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$)
3. เกลือซัลเฟต ซึ่งละลายน้ำได้ดี จะถูกชะละลายไปในดินล่าง
4. สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งกำมะถันที่อยู่ในรูปนี้จะถูกรีดิวส์เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วจึงถูกออกซิไดส์เป็นซัลไฟด์ ($SO^{=}_3$) และเป็นซัลเฟต ($SO^{=}_4$)

ค่าวิกฤติของกำมะถัน

ค่าวิกฤติของกำมะถันในดินไมค่อยจะมีผู้ศึกษามากนัก โดยทั่วไปแล้วเมื่อดินที่มีกำมะถันน้อยกว่า 20 ppm จะถือว่าดินมีกำมะถันต่ำ ส่วนใหญ่จะมีงานวิจัยกำมะถันในพืชมากกว่า ค่าวิกฤติของกำมะถันในพืชแสดงไว้ในตารางที่ 47 และปริมาณกำมะถันที่พืชต่าง ๆ ต้องการ (ตารางที่ 48)

ตารางที่ 47 ค่าวิกฤติของ S ในพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

พืช	ระดับต่ำ	พอเหมาะ	สูง - สูงมาก
	----------% ----------		
ถั่วเหลือง	0.15 - 0.18	0.19 - 0.3	>0.3
ถั่วลิสง	0.16 - 0.2	0.21 - 0.25	>0.25
ถั่วเขียว	0.17 - 0.2	0.21 - 0.24	>0.24
ข้าวโพด	0.10 - 0.13	0.14 - 0.20	>0.28
ข้าวสาลี	0.20 - 0.29	0.3 - 0.4	>0.4
ข้าว	0.08 - 0.12	0.13 - 0.15	>0.15

หมายเหตุ : ค่าวิกฤติของ S (Extractable S) ในดินโดยทั่ว ๆ ไปเท่ากับ 8 - 12 ppm
ดินที่มี O.M. <1.0% และ Extractable P < 10 ppm ส่วนมากพบว่าขาด S ด้วย
ดินที่เป็นทรายจัด เช่น ชุดโคราช ร้อยเอ็ด ขาด S เช่นกัน

ที่มา : ปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

ตารางที่ 48 ปริมาณกำมะถัน (S) ที่พืชต่าง ๆ ต้องการ

ชนิดของพืช	S ที่พืชต้องการ (กก./ไร่)
พืชน้ำมัน	
ปาล์มน้ำมัน	5
มะพร้าว	2.5
พืชตระกูลถั่ว	
ถั่วเหลือง	3.2
ถั่วลิสง	2.5
ธัญพืช	
ข้าว	1.6
ข้าวสาลี	5
ข้าวโพด	4
พืชหัว	
มันสำปะหลัง	3
มันฝรั่ง	3
พืชอื่น ๆ	
อ้อย	9.6
กาแฟ	4.2
ยาสูบ	4
ฝ้าย (เส้นใย)	3.2

ที่มา : ปรีดา (ไม่ระบุปีพิมพ์)

การแก้ไขการขาดธาตุอาหารรอง

ธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน นั้น ดินส่วนใหญ่ไม่ค่อยจะขาด เพราะปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินเพื่อเพิ่มธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม มักจะมีธาตุรองเหล่านี้เป็นองค์ประกอบด้วยเสมอ พืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารรองน้อยกว่าธาตุอาหารหลัก และในปริมาณที่แตกต่างกัน ผลการทดลองเกี่ยวกับธาตุอาหารรองและผลการวิเคราะห์ดินมีไม่มากนัก จึงไม่ค่อยที่จะมีคำแนะนำปุ๋ยธาตุอาหารรอง และไม่ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ดินแนะนำโดยตรงถึง ระดับของค่าวิกฤตและปริมาณที่เหมาะสมของพืชต่าง ๆ ดังนั้น ถ้าไม่มีข้อมูลที่จะประเมินได้อาจจะใช้ระดับปริมาณสูงต่ำในดินแต่ละธาตุที่กรมพัฒนาที่ดินได้จัดไว้ ในดินดังตารางที่ 43 และ 46 แต่ในการพิจารณาต้องคำนึงถึงเนื้อดินด้วยดังนี้

1. การแก้ไขดินขาดแคลเซียม ดังได้กล่าวแล้วว่าดินขาดแคลเซียมมีไม่มากนัก ดินที่มีแคลเซียมอยู่น้อยมากเป็นดินทรายที่เป็นกรดมีแคลเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินระหว่าง 1 cmol ถึงมากกว่า 50 cmol ต่อดิน 1 กิโลกรัม (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541) การแก้ปัญหานั้นสามารถทำได้ดังนี้

1.1 ใส่อินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุที่ควรใส่ลงไปในดิน ได้แก่ ส่วนของพืชที่เหลือในไร่นา ซึ่งมีแคลเซียมอยู่มากในต้นและใบ ต้องใส่กลับลงไปในดิน เท่ากับว่าได้ใส่แคลเซียมที่พืชดูดใช้กลับลงไปในดินใหม่อีก ปุ๋ยคอก การใส่ปุ๋ยคอกจะเพิ่มแคลเซียมให้กับดินมาก เพราะการเลี้ยงวัวนม จำเป็นจะต้องให้แคลเซียมแก่วัวมาก และวัวก็จะขับถ่ายออกมาอยู่ในปุ๋ยคอกมากเช่นเดียวกัน ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์วัตถุอีกชนิดหนึ่งที่ควรใส่ลงไปในดิน เพราะมีแคลเซียมอยู่ไม่น้อยเช่นเดียวกัน นอกจากจะให้แคลเซียมแล้วยังให้ธาตุอื่น ๆ อีกรวมทั้งให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้นอีกด้วย

1.2 ใส่หินปูน ดินที่ขาดแคลเซียมนั้น สามารถใช้หินปูนเพิ่มแคลเซียมได้อย่างดี วัสดุหินปูนเหล่านี้ ได้แก่ ปูนขาว ปูนมาร์ล หินปูนเผาและหินปูนบด หรือหินปูนฝุ่น การใส่วัสดุหินปูนสำหรับการแก้ไขปรับปรุงดินกรด ดินเปรี้ยวจัดโดยการลดความเป็นกรดของดิน เพิ่ม pH ของดินนั้น ก็เป็นการเพิ่มแคลเซียมให้กับดินด้วย ซึ่งอัตราการใช้ขึ้นกับความต้องการปูนของดินที่จะปรับ pH ของดินให้ถึงระดับที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด สำหรับบางพืชนั้นในดินทั่ว ๆ ไปมีการจัดการใส่แคลเซียมให้กับดิน สำหรับพืชบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 แคลเซียมสำหรับพืชไร่บางชนิด

พืช	สารที่ใช้	อัตราที่ใช้(กก./ไร่)	วิธีการใส่
พริกไทย	ปูนขาว ($Ca(OH)_2$)	100 - 200	หว่านก่อนปลูกอย่างน้อย 2 สัปดาห์
	น้ำปูนใส	2-4 กก./น้ำ 2 ลิตร	รดที่โคนต้น
ถั่วลิสง	ปูนขาว	100	หว่านก่อนปลูกอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ที่มา : พิชิตและปรีดา (2535)

1.3 ปุ๋ยเคมี นอกจากใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และวัสดุหินปูนแล้ว การใส่ปุ๋ยบางชนิดลงในดินจะเป็นการเพิ่มแคลเซียมให้กับดินด้วย ปุ๋ยเคมีที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ดังตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยบางชนิด

ชนิดปุ๋ย	% แคลเซียม
แคลเซียมไนเตรต (calcium nitrate)	19.4
สารผสมระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตและปูน (ammonium nitrate-fime mixture)	8.2
แคลเซียมไซยานามีด (calcium cyanamide)	38.5
ยิบซัม (gypsum)	22.3
หินฟอสเฟต (phosphate rock)	33.1
ซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา (ordinary superphosphate)	19.6
ทริเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple superphosphate)	14.3

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา, (2541)

2. การแก้ไขดินขาดแมกนีเซียม

ดังนั้น เมื่อดินมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำก็จำเป็นจะต้องเพิ่มแมกนีเซียมให้กับดิน แต่ควรระวังอย่าใส่มากเกินไป โดยเฉพาะในดินทรายซึ่งเป็น low buffering capacity อาจจะทำให้มีแมกนีเซียมมากเกินไป และจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมลดลง การใส่แมกนีเซียมสามารถทำได้ดังนี้

1. ใส่อินทรียวัตถุ เศษเหลือของพืชในส่วนที่เหนือดินที่ดูดกินแมกนีเซียมจากดินมีปริมาณแมกนีเซียมเกินกว่าครั้งหนึ่ง ดังนั้น ควรไถกลบกลับลงไปในดิน รวมถึงการใส่ปุ๋ยคอกปรับปรุงบำรุงดินด้วยเพราะในปุ๋ยคอกมีแมกนีเซียมพอสมควร

2. ใส่หินโดโลไมต์ (dolomite) ดินที่ขาดแมกนีเซียมสามารถใช้หินโดโลไมต์บดซึ่งใช้เป็นวัสดุปูนได้ดี ใช้ในการปรับปรุงดินกรดได้ด้วยมีค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) อยู่ระหว่าง 60-100% หรือมากกว่าเล็กน้อย หินโดโลไมต์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดโดยทั่วไปแนะนำให้ใช้โดโลเมต์ที่มีธาตุแมกนีเซียม ระหว่าง 10-13% (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

3. ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.H_2O$) หรือ $MgSO_4.7\ H_2O$ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งมี Mg ประมาณ 18% และแมกนีเซียม (sulfate of potash) การใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชต่าง ๆ ที่นิยมแนะนำกันและผ่านการทดลองแล้ว ดังตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ชนิดของปุ๋ยแมกนีเซียม อัตรา และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้(กก. Mg/ไร่)	วิธีการใส่ปุ๋ย
ข้าว	$MgSO_4.7H_2O$	2	หว่าน
ถั่วเหลือง	$MgSO_4.7H_2O$	4	โรยเป็นแถว
ฝ้าย	$MgSO_4.7H_2O$	3-5	โรยเป็นแถว
มันสำปะหลัง	$MgSO_4.7H_2O$	6	โรยเป็นแถว
มันฝรั่ง	$MgSO_4.H_2O$	2-4	โรยเป็นแถว
สับปะรด	$MgSO_4.7H_2O$	4	โรยเป็นแถว
ส้ม	$MgSO_4.H_2O$	0.3-0.4 กก. Mg/ต้น/ปี	หว่านรอบ ๆ ต้น
มะพร้าว	MgO	0.2 กก. Mg/ต้น/ปี	หว่านรอบ ๆ ต้น
ปาล์มน้ำมัน	$MgSO_4.H_2O$	0.3 กก. Mg/ต้น/ปี	หว่านรอบ ๆ ต้น

ที่มา : พิชิตและปรีดา (2535)

3. การแก้ไขดินขาดซัลเฟอร์

เป็นที่ทราบกันแล้วว่า ดินขาดกำมะถันเป็นดินทราย มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด รองลงมาได้แก่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกชายฝั่ง ภาคกลางและภาคใต้บ้าง ถ้าต้องการปลูกในพื้นที่ที่มีกำมะถันต่ำจำเป็นจะต้องเพิ่ม ดังนี้

3.1 ใส่อินทรียวัตถุ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด

3.2 ใช้กำมะถันผง ซึ่งเมื่อใส่ลงในดินแล้วจะออกซิไดซ์ (oxidize) เป็นซัลเฟตให้พืชใช้ได้ นิยมใช้แก้ไขดินที่เป็นด่างมาก ๆ เพราะกำมะถันจะทำให้เกิดกรดต่อหน่วยน้ำหนักมาก แต่ถ้าเป็นดินทรายที่มีความจุบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ต่ำ ต้องระวังในปริมาณการใช้ เพราะถ้าใส่มากเกินไป จะทำให้ดินเป็นกรดจัดอย่างรุนแรงได้ การใช้กำมะถันผงอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับขนาด ยิ่งมีขนาดละเอียดเท่าไรจะละลายได้ง่ายขึ้น แต่ทำให้ขนส่งและนำเอาไปใช้ในสภาพไร่ยากขึ้น ดังนั้น ในดินที่มีการชะล้างสูงควรใช้กำมะถันขนาดต่าง ๆละเอียดบ้าง หยาบบ้าง รวมกันจะช่วยลดการไถกลบตอซัง หรือเศษเหลือของพืช เพราะมีงานวิจัยหลายประเทศพบว่าการไถกลบต้นข้าวโพด ถั่วเหลือง ก่อนฤดูปลูกถัดไป เป็นการคืน S ให้กับดินซึ่งจะสลายตัวให้ S แก่พืชอย่างช้า 2-4 กก.S/ไร่ ซึ่งมากกว่าครึ่งหนึ่งของพืชต้องการ

3.3 ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีบางชนิดมีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต (S ประมาณ 24%) ซิงเกิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (S ประมาณ 11%) และโพแทสเซียมซัลเฟต (S ประมาณ 20%) หรือโพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต แอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟต (16-20-0) ซึ่งมี S ประมาณ 18%

ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นแม่ปุ๋ยไนโตรเจนมี S เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยถึง 24% การให้ปุ๋ยนี้จึงเป็นประโยชน์เพราะการให้ทั้ง N และ S ไปด้วยกัน ซึ่งพืชอาจจะได้รับมากเกินกว่าต้องการ แต่ถ้าใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (MAP) และปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

(DAP) ซึ่งเป็นปุ๋ยเกรดสูง (high analysis) เป็นปุ๋ย N และ P จะเร่งให้พืชที่ปลูกในดินที่มี S ต่ำขาด S รุนแรงเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากปุ๋ยเกรดสูงดังกล่าวมี S เจือปนอยู่น้อยมาก

ปุ๋ยเคมีที่นิยมอีกอย่างหนึ่ง คือ แมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งถ้าดินขาดแมกนีเซียมด้วยก็จะเป็นการเพิ่มทั้งสองธาตุ

S-เบนโทไนท์ (S-bentonite) เป็นปุ๋ยผสมระหว่างแร่ดินเหนียวเบนโทไนท์ และแร่กำมะถัน มี S ประมาณ 90% และเบนโทไนท์ 10% เมื่อใส่ลงในดินที่มีความชื้น เบนโทไนท์ จะขยายตัวปลดปล่อย S ออกมาในดิน

ปุ๋ยเคมีที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมีอีกหลายชนิดและมียอดจำหน่ายสูงมากในตลาดโลก คือ ปุ๋ยเกรดสูง เช่ย ยูเรีย-S และ TSP (triple super phosphate) ที่เคลือบด้วยกำมะถัน นอกจากมีการเติม S ลงไปเพื่อรักษาสมดุลของธาตุอาหารแล้ว ยังเป็นการรักษาเนื้อปุ๋ยให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินได้นาน ความต้องการกำมะถันของพืชแสดงในตารางที่ 52 และปุ๋ยกำมะถันชนิดต่าง ๆดังตารางที่ 53

ยิปซัมเป็นสารประกอบที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยที่เพิ่มกำมะถันให้กับดินซึ่งจะมีกำมะถันอยู่ประมาณ 18%) มีราคาถูก ใช้ได้ดีกับดินที่เป็นด่าง เนื่องจาก Ca ไปไล่ที่ Na แล้วใช้น้ำล้างออกไปจากดิน ในขณะเดียวกันก็ยังมีซัลเฟอร์ (S) เหลืออยู่เป็นประโยชน์ต่อพืชด้วย สำหรับดินที่ขาด S อื่นก็นิยมใช้ด้วยเพราะนอกจากจะเพิ่ม S แล้วยังให้ Ca แก่ดินด้วย ดังนั้น ควรส่งเสริมให้มีการใช้กับดินที่ขาดทั้งแคลเซียมและกำมะถัน

ตารางที่ 52 ปุ๋ยซัลเฟอร์ อัตราและวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้ (กก. S/ไร่)	วิธีการใส่ปุ๋ย
ถั่วลิสง 1	ยิบซัม ($CaSO_4H_2O$)	2.5	โรยก้นร่องก่อนปลูก
ถั่วเหลือง	แอมโมเนียม ซัลเฟต	5	"
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	"	5	"
ข้าวโพดข้าวเหนียว	"	5	"
ข้าวโพดหวาน	"	5	"
ข้าวโพด 2		20 กก/เฮกเตอร์	"
ข้าวโพด *		32 "	"
มันสำปะหลัง		10 "	"
งา		20 "	"
ถั่วเขียว *		35 "	"

ที่มา : 1 พิชิตและปรีดา (2535)

2 Preeda และคณะ (ไม่ระบุปีพิมพ์)

* Reddish brown soil

ตารางที่ 53 การจำแนกปุ๋ยกำมะถันชนิดต่าง ๆ ออกเป็นกลุ่มโดยอาศัยสมบัติทางเคมีเป็นหลัก

ชนิดของปุ๋ย S	S (%) (โดยประมาณ)
1. ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-})	
แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate)	24
แอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟต (Ammonium phosphate-sulphate)	18
ยูเรีย - ซัลเฟต (Urea sulphate)	22
โปตัสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate)	22
โปตัสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต (Potassium magnesium sulphate)	22
ยิปซั่ม (Gypsum)	15-18
2. ธาตุกำมะถัน (S^0)	
ผงกำมะถัน (Elemental sulphur)	85-100
กำมะถัน - เบนโทไนท์ (Sulphur Bentonite)	90
ยูเรีย - กำมะถัน (Urea - Sulphur)	20
ดีเอพี - กำมะถัน (DAP - Sulphur)	12
ทีเอสพี - กำมะถัน (TSP - Sulphur)	12
3. ผลิตภัณฑ์ซัลเฟตรูปอื่น ๆ	
แอมโมเนียมไบซัลไฟท์ (Ammonium bisulphite)	17
แอมโมเนียมโพลี่ซัลไฟต์ (Ammonium polysulphide)	80
แอมโมเนียมไทโอซัลเฟต (Ammonium thiosulphate)	26
ไพไรท์ (Pyrite)	25

ที่มา : Plant Nutrient Sulphur, Sulphur 87 Houston, Texas April 5-8, 1987. Wiggins, D.J. (1988)

อ้างโดย : ปรีดา และคณะ (ไม่ระบุปีพิมพ์)

จุลธาตุอาหาร
Micronutrient Elements

จุลธาตุอาหารเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการในปริมาณน้อยมาก มีทั้งหมด 7 ธาตุด้วยกัน คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนั่ม (Mo) และคลอรีน (Cl) ถึงแม้ว่าพืชต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณน้อยก็ตาม แต่พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ไม่ได้ เพราะมีความจำเป็นและสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ช่วงของปริมาณจุลธาตุอาหารที่พืชต้องการนั้นแคบมากเมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารทั้งสองกลุ่ม กล่าวคือ ถ้ามีมากเกินพิกัดบน (maximum limit) จะเป็นพิษต่อพืช แต่ถ้าต่ำกว่าพิกัดล่าง (minimum limit) พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ ซึ่งถ้าต่ำกว่ามาก พืชจะแสดงอาการ

เป็นที่ทราบกันดีว่า จุลธาตุหรือนิยมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ธาตุอาหารเสริมนี้นับวันจะมีความสำคัญเพิ่มขึ้นทุกวัน ดังจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดจะมีธาตุเหล่านี้จำหน่าย และเกษตรกรรู้จักมากขึ้น ซึ่งอาจจะถูกบ้างผิดบ้าง อย่างไรก็ตามนักวิชาการควรที่จะตระหนักความสำคัญของจุลธาตุด้วย มิใช่สนใจแต่ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองเท่านั้น ด้วยเหตุผลดังนี้

1) ดินบางชนิดมีจุลธาตุอาหารอยู่น้อย เมื่อมีการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักสูงเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช ทำให้พืชดูดจุลธาตุอาหารในดินมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ในระยะยาวจึงทำให้ดินปลดปล่อยจุลธาตุอาหารบางชนิดไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช

2) จุลธาตุอาหารถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากดินในรูปผลผลิตของพืช หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของพืช เกษตรกรไม่ได้ใส่ใจในการที่จะนำกลับมาใช้ในดินอีก

3) การปรับปรุงพันธ์พืชให้ผลผลิตสูงขึ้น จึงทำให้มีการดูดกินจุลธาตุอาหารเพิ่มขึ้นด้วย ตามสัดส่วนของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง

4) การเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน ในบางพื้นที่เกษตรกรไม่คำนึงถึงการเพิ่มอินทรียวัตถุอย่างอื่นนอกเหนือจากปุ๋ยคอก และซากพืชที่อยู่ในดิน ปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้เลี้ยงสัตว์ เช่น โค และกระบือ เพื่อใช้ไถนาอีกแล้ว ดังนั้น ปุ๋ยคอก ซึ่งมีปริมาณจุลธาตุอาหารพอควรจึงไม่มีใส่ลงไปในดิน

เช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก ปริมาณความต้องการจุลธาตุอาหารของพืชขึ้นกับชนิดของพืชและชนิดของดินที่พืชนั้นปลูกอยู่ ถึงแม้ว่า พืชที่ปลูกเป็นพืชชนิดเดียวกัน แต่ปลูกในดินต่างชนิดกัน การจัดการดินจะเหมือนกัน หรือแตกต่างกันก็ตาม ธาตุอาหารพืชที่พืชใช้ในการให้ผลผลิตนั้นจะมีปริมาณแตกต่างกัน ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารที่พืชจะใช้จึงขึ้นกับชนิดของดิน ในขณะเดียวกันถ้าปลูกพืชต่างชนิดในดินเดียวกัน การจัดการดินที่เหมือนกันผลผลิตและการตอบสนองก็จะแตกต่างกัน ดังนั้น ความต้องการธาตุอาหารจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย เพราะพืชแต่ละชนิดมีพฤติกรรมในการดูดกินธาตุอาหารแต่ละอย่างและปริมาณความต้องการแตกต่างกัน และยังพบว่าในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธ์ยังมีการตอบสนองต่อธาตุอาหารพืชไม่เท่ากันด้วย

แร่สามัญที่มีจุลธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541) ได้รวบรวมจากKrauskopf (1972) พบว่า มีแร่หลายชนิดที่มีสูตรทางเคมีที่มีจุลธาตุประกอบอยู่ดังแสดงในตารางที่ 54

ตารางที่ 54 แร่สามัญที่มีจุลธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ (Krauskopf, 1972)

ชนิดของแร่	ชื่อแร่และสูตรเคมี
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุเหล็ก
Oxides	hematite, Fe_2O_3 ; goethite, FeOOH
	limonite, FeOOH. $^1/_4$ H_2O; magnetite, Fe_3O_4
Sulfides	pyrite, FeS_2 ; pyrrhotite, $Fe_{1-X}S$
Carbonates	siderite, $FeCO_3$
Sulfates	jarosite, $KFe_3 (OH)_6 (SO_4)_4$
Silicates	olivine, $(Mg, Fe)_2 SiO_4$;
	hypersthene, $(Mg, Fe)_2 SiO_3$;
	augite, $Ca (Mg, Fe, Al) (Si, Al)_2 O_6$; hornblende,
	$(Na, Ca)_2 (Mg, Fe, Al)_5 (Si, Al)_8O_{22} (OH)_2$
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุแมงกานีส
Simple oxides	pyrolusite, MnO_2; hausmannite, Mn_3O_4;
	manganite, MnOOH
Complex oxides	braunite $(Mn, Si)_2O_3$; psilomelane
Carbonate	rhodochrosite, $MnCO_3$
Silicate	rhodonite, $MnSiO_3$
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุทองแดง
Simple sulfides	chalcocite, Cu_2S; covellite, CuS
Complex sulfides	chalcopyrite, $CuFeS_2$; bornite, Cu_5FeS_4
	enargite, Cu_3AsS_4; tetrahedrite, $(Cu, Fe)_{12} Sb_4S_{13}$
Oxides	cuprite, $Cu_2 O$; tenorite, CuO
Carbonates	malachite, $Cu_2(OH)_2CO_3$; azurite, $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$
Sulfate	brochantite, $Cu_4(OH)_6SO_4$
Silicate	chrysocolla, $CuSiO_3 2H_2O$

ตารางที่ 54 (ต่อ) แร่สามัญที่มีจุลธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ (Krauskopf, 1972)

ชนิดของแร่	ชื่อแร่และสูตรเคมี
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุสังกะสี
Sulfide	sphalerite, ZnS
Carbonate	smithsonite, $ZnCO_3$
Silicate	hemimorphite, $Zn_4(OH)_2Si_2O_7H_2O$
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุโมลิบดินัม
Sulfide	molybdenite, MoS_2
Oxide	ilsemannite Mo_3O_8 $8H_2O$
Molybdates	wulfenie, $PbMoO_4$; powellite, $CaMoO_4$; ferrimolybdite, $Fe_2(MoO_4).8H_2O$
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุโบรอน
Hydrous borates	borax, $Na_2B_4O_7.10H_2O$; kernite, $Na_2B_4O_7.4H_2O$ colemanite, $Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$ ulexite, $NaCaB_5O_9.8H_2O$
Anhydrous borates	ludwigite, Mg_2FeBO_5 ; kotoite, $Mg_3(BO_3)_2$
Complex borosilicate	tourmaline, oxinite
	แร่สามัญซึ่งมีธาตุคลอรีน
	ไม่มีรายงาน

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา (2541)

ปริมาณจุลธาตุอาหาร หรือธาตุอาหารเสริมในดินนั้นในต่างประเทศได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางเพื่อทราบปริมาณสำรองในดิน สำเนา (2535) ได้รวบรวมปริมาณจุลธาตุอาหารในดินจากนักวิจัยทางการเกษตรหลายๆ คน โดยแสดงค่าเฉลี่ย และช่วงต่ำสุด-สูงสุดของปริมาณจุลธาตุอาหาร เพื่อเป็นแนวทางใช้เปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 55 และได้ประมาณค่าปริมาณจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริมที่พืชทั่วไปดูดไปใช้ (ตารางที่ 56)

ตารางที่ 55 ปริมาณจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริมที่จำเป็นแก่พืชในดินทั่วไป (มก./กก.)

ธาตุอาหารพืช	ปริมาณในดินทั่วไป	
	เฉลี่ย	ช่วง
จุลธาตุอาหาร		
โบรอน	38	0.9 - 1000
คลอรีน	485	18 - 806
ทองแดง	26	2.5 - 60
เหล็ก	3.2%	0.01 - 21%
แมงกานีส	761	<1 - 18300
โมลิบดีนัม	119	0.07 - 5
สังกะสี	60	1.5 - 2000

ที่มา : ปรับปรุงจาก สำเนา (2535)

ตารางที่ 56 ประมาณค่าปริมาณธาตุอาหารเสริมที่พืชทั่วไปดูดไปใช้

ธาตุ	ปริมาณที่พืชทั่วไปดูดไปใช้	
	กก/เฮกตาร์	กรัม/ไร่
เหล็ก (Fe)	0.5	80
แมงกานีส (Mn)	0.5	80
ทองแดง (Cu)	0.1	16
สังกะสี (Zn)	0.2	32
โบรอน (B)	0.2	32
โมลิบดินัม (Mo)	0.01	1.6

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mitchell, R.L. (1963)
อ้างโดย : สำเนา (2535)

การจัดการดินที่ขาดจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริมเหล่านี้จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหน้าที่ บทบาท รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และสังเกตอาการขาดจุลธาตุอาหารเพื่อให้การวินิจฉัยถูกต้อง และถ้าจะให้การวินิจฉัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น การวิเคราะห์พืชเพื่อประเมินสถานะของธาตุอาหารเสริมจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการใช้ปุ๋ยธาตุอาหารเสริมให้เพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูกในขณะนั้น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 57 และตารางที่ 58

ตารางที่ 57 ค่าความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในพืชที่พืชทั่วไปต้องการจากดินและปุ๋ย

จุลธาตุอาหาร	ความเข้มข้นในน้ำหนักแห้ง (ส่วนในล้านส่วน, ppm)
คลอรีน (Cl)	100
เหล็ก (Fe)	100
แมงกานีส (Mn)	50
สังกะสี (Zn)	20
โบรอน (B)	20
ทองแดง (Cu)	6
โมลิบดินัม (Mo)	0.1

ที่มา : ปรับปรุงจาก Edward D.G. (1971)

ตารางที่ 58 ความเข้มข้นโดยประมาณของจุลธาตุอาหารในใบเมื่อพืชแก่เต็มที่

จุลธาตุอาหาร	ความเข้มข้นในใบเมื่อพืชแก่เต็มที่ (ppm)		
	ขาดแคลน	พอเพียง	มากเกินไปหรือเป็นพิษ
Fe	<50	50 - 250	ไม่มีรายงาน
Mn	<20	20 - 500	> 500
Cu	<5	5 - 20	> 20
Zn	<20	25 - 150	> 400
B	<15	20 - 100	> 200
Mo	<0.1	0.5 - 9	ไม่มีรายงาน
Cl	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน

ที่มา : คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2541)

การทำการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการทำสวนผลไม้นั้น ต้องการวิธีการที่เชื่อถือได้ที่จะวินิจฉัยหรือคาดคะเนการขาดหรือการเป็นพิษของจุลธาตุอาหาร การวินิจฉัยหรือการคาดคะเนที่น่าเชื่อถือดังกล่าวยากมากเพราะมีช่องว่างหลายอย่างมากมาย การวินิจฉัยไม่ถูกต้องทำให้พืชถูกทำลายเสียหาย ผลผลิตลดลงรวมถึงคุณภาพของผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน เชื่อกันว่าวิธีที่ดีที่สุดที่จะขจัดช่องว่างเหล่านั้น คือ การใช้การตอบสนองของพืช การวินิจฉัยที่การขาดแคลนจุลธาตุในพืชแต่ละชนิดจากอาการการตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี การวิเคราะห์พืช ล้วนแล้วแต่นำมาใช้ในการวินิจฉัยการขาดแคลนจุลธาตุทั้งสิ้น แต่ในขณะที่นำวิธีการต่าง ๆมาใช้อย่างมีประ

สิทธิภาพนั้น พืชอาจจะขาดจุลธาตุอย่างรุนแรงเกินกว่าที่จะจัดการได้ โดยเหตุที่ว่าการแสดงอาการขาดจุลธาตุนั้น ถ้าเป็นการขาดจุลธาตุชนิดเดียวอาการจะชัดเจน แต่ถ้ารวมกันหลายธาตุอาการขาดที่เห็นจะเป็นเพียงแนวทางในการวินิจฉัยเท่านั้น ดังนั้น การวิเคราะห์ดินและการวิเคราะห์พืชน่าจะนำมาใช้ประกอบกันเพื่อทำนายการขาดแคลนได้ การวินิจฉัยและการทำนายได้มีการพัฒนากันมาตลอด ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ดินและวิเคราะห์พืชแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ส่วนใหญ่ขึ้นกับการตอบสนองของพืชในสนาม การวิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุในดินก่อนการปลูกพืชเพื่อทำนายการขาดแคลนจุลธาตุเป็นสิ่งที่จำเป็น มีค่าและมีประสิทธิภาพในการปลูกพืช อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์ดินที่น่าเชื่อถือในการนำมาทำนายการขาดแคลนจุลธาตุที่มีปริมาณในช่วงกว้างมากในดินนั้นมีน้อยมาก ซึ่งปัญหาบางอย่างเนื่องมาจากความลำบากในวิธีการวิเคราะห์จุลธาตุ บางอย่างมาจากคุณสมบัติของดินแตกต่างกันซึ่งมีผลกระทบต่อน้ำยาเคมีที่สกัดจุลธาตุจากดินในเรื่องที่ไม่สามารถสัมพันธ์กับปริมาณที่สกัดได้จากพืช (Loneragan และ Bell, 1989)

เหล็ก (Fe)

ในบรรดาจุลธาตุอาหารทั้ง 7 ธาตุนั้น จะพบธาตุเหล็กในดินและพืชมากที่สุด เหล็กมักจะรวมตัวอยู่กับธาตุอื่น โดยอยู่ในแร่สามัญทั้งแร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ ในรูปของออกไซด์ เช่น hematite (Fe_2O_3) goethite (FeOOH) magnetite (Fe_3O_4) รูปของคาร์บอเนต คือ ferrous carbonate ($FeCO_3$) และ ferric carbonate ($Fe_2(CO_3)_3$) รูปของซัลไฟด์ คือ pyrite (FeS_2) รูปของซัลเฟต คือ Jarosite ($KFe_3(OH)_6(SO_4)_4$) และรูปของซิลิเกต คือ olivine $(Mg,Fe)_2SiO_4$ ดังตารางที่ 54

รูปและปริมาณของเหล็กในดิน

ธาตุเหล็กในดินอยู่ในรูปของ ferric ion ละลายน้ำได้ดีในช่วง pH ของดิน ระหว่าง 3–5 ในดินกรดจัดที่มีปริมาณเหล็กสูง คือ มีปริมาณไพไรท์ (FeS_2) สูง เมื่อดินแห้งออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับไพไรท์เกิดกรดซัลฟูริค ซึ่งจะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น และมีเหล็กละลายออกมามากขึ้น จนอาจเป็นพิษต่อพืชที่ปลูกได้ โดยเฉพาะถ้าใช้พันธ์พืชที่ไม่ทนต่อสภาพกรดและสารพิษ การใส่ปูนลงไปในดินเพื่อปรับความเป็นกรดของดินให้ลดลง หรือปรับ pH ของดินให้เพิ่มขึ้นนั้น เหล็กจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ferrous ion จนถึง pH 8 ขึ้นไป พืชจะแสดงอาการขาดเหล็กได้ เนื่องจากเหล็กจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฮดรอกไซด์ หรือออกไซด์ที่ละลายน้ำยาก และตกตะกอน ดังนี้

$$\underset{\text{ละลาย}}{Fe^{++} + 2OH} \longrightarrow \underset{\text{ไม่ละลาย}}{Fe(OH)_2}$$

ดังนั้นในดินปูน หรือดินแคลเซียมคาร์บอเนต (calcareous soil) พืชจะแสดงอาการขาดเหล็ก ผลการวิเคราะห์ดินแสดงในตารางที่ 59 ธาตุเหล็กมีอยู่ในดินแตกต่างกันไปแล้วแต่แร่ในดิน หรือชนิดของดิน ซึ่งมีอยู่ประมาณตั้งแต่ 200 ppm จนถึง 10%

ตารางที่ 59 ระดับเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาต่าง ๆในดินเนื้อปูน (Black calcareous soil) ในภาคกลางประเทศไทย

Extractant	Top soil		Sub soil	
	Range	Mean	Rane	Mean
Hot perchloric acid (g Fe/kg)	2.1-5.2	3.3	2.3-5.4	3.7
Citrate dithionte (g Fe/kg)	1.0-3.5	1.8	1.0-3.9	2.2
Ammoium oxalate (g Fe/kg)	0.7-1.2	0.7	0.7-1.2	0.7
Sodium pyrophosphate (g Fe/kg)	trace	-	trace	-
DTPA (mg Fe/kg)	2.3-19	6.4	2.4-15	6.4

ที่มา : Parkpian และคณะ (1987)

หน้าที่ของเหล็กต่อพืช ได้แก่

1. หน้าที่หลัก คือ มีส่วนในการสร้างคลอโรฟิลล์ให้แก่พืช

2. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) โดยทำหน้าที่ส่งอิเลคตรอนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และรีดักชั่นในพืช โดยเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น catalase และ peroxidase และมีส่วนอยู่ในเฮโมโกลบินและโปรตีนด้วย

อาการขาดธาตุเหล็ก

เนื่องจากเหล็กเป็นจุลธาตุอาหารที่พืชต้องการมากกว่าธาตุอื่น ในดินกรดจัดหรือดินนาเปรี้ยวจัดนั้นจะไม่พบการขาดธาตุเหล็ก เนื่องจากเหล็กสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์กับพืชได้มากดังกล่าวข้างต้น ซึ่งอาจจะพบความเป็นพิษของเหล็กในบางพื้นที่ก็ได้ สำหรับดินดอนยังไม่พบความเป็นพิษของเหล็กเลย แต่กลับพบอาการขาดธาตุเหล็กของพืชบ้าง ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะแสดงอาการแตกต่างกัน กันออกไป ส่วนใหญ่จะแสดงออกที่ใบ เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ (immobile) และเป็นธาตุที่สร้างคลอโรฟิลล์ ดังนั้น เมื่อขาดเหล็กจะขาดคลอโรฟิลล์ โดยมีสีขาวจากยอดและใบล่างยังเขียวอยู่ พืชจะลำต้นแคระแกร็น ใบร่วง กิ่งก้านแห้ง ผลมีสีซีด ผลจะร่วงในระยะแรก ไม่แก่ไม่สุก และที่พบมากคือ พืชที่ขาดธาตุเหล็กนั้น อัตราส่วนของฟอสฟอรัส : เหล็ก ในเนื้อเยื่อของพืชจะสูงกว่าในพืชปกติ (สำเนา 2535)

วิธีการวิเคราะห์เหล็กในดินมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าวิธีใดเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำนายการขาดแคลน Fe ของพืช อย่างไรก็ตามการขาดแคลนเหล็กนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น pH ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณไบคาร์บอเนต และชนิด

ของพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูดกินของเหล็กจึงทำให้ยากในการคาดคะเนดังกล่าว นอกจากนั้น ในดินแห้งทำให้เหล็กที่สกัดได้มีปริมาณแตกต่างกันในดินชนิดเดียวกัน

รูปของเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

พืชดูดธาตุเหล็กในรูปของ Fe^{2+} หรือในรูปของคีเลตไปใช้ แต่ยังพบว่ามีเหล็กในสภาพของไอออนอิสระในคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในเซลล์ของพืชแต่ยังไม่ทราบว่าเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} หรืออาจเป็นทั้งสองรูปก็ได้ และยังไม่ทราบหน้าที่แน่ชัด (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

การเป็นพิษของเหล็ก

ความเป็นพิษของเหล็กเกิดขึ้นอย่างเห็นชัดในข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มหรือที่ชุ่มน้ำ (wet land soil) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเปรี้ยวจัด (acid sulfate soil) ที่มีเฟอรัสในสารละลายสูงมาก ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในหลายๆ ประเทศในแถบเอเชีย อาฟริกา และอเมริกา ประเทศที่พบแถบเอเชีย คือ อินเดีย ศรีลังกา มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทยยังไม่พบรายงานการเป็นพิษของเหล็ก ความเป็นพิษของเหล็กต่อข้าวนั้น ปริมาณความเข้มข้นของ Fe^{2+} ไม่น่าที่จะเป็นค่าบ่งชี้ เพราะว่าความเป็นพิษเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการขาดธาตุอาหารมากกว่าจากการที่ดินมี pH ต่ำ และหรือมีปริมาณเหล็กที่เคลื่อนที่ได้ในดิน ดังนั้น ความสัมพันธ์ของ Fe ในสารละลายดินจึงรายงานในรูปของ $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Ca^{2+} + Mn^{2+} + Mg^{2+})$ บอกถึงสถานะของธาตุอาหารเพื่อใช้บ่งชี้สมรรถนะของความเป็นพิษของเหล็กสำหรับข้าวพันธ์ต่างๆ (Peverill, 1999) ซึ่งถ้าสัดส่วนดังกล่าวเกินกว่า 0.75 อาจทำให้เหล็กเป็นพิษต่อข้าวในดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัดได้ (Moore และ Patric, 1989; Genon และคณะ, 1994) การวิเคราะห์เหล็กในดินมีหลายวิธีและยากที่จะคาดคะเนดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นนิยมใช้ค่าการวิเคราะห์พืชแทน ซึ่งความเข้มข้นเป็นพิษขั้นวิกฤต (critical toxicity content) ของเหล็ก คือ สูงกว่า 500 มก./กก. ของใบแห้งของข้าว (ยงยุทธ 2543) สำหรับไม้ผลทั่วๆ ไป ปรีดา และคณะ (2534) ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 60

ตารางที่ 60 ความเข้มข้นของเหล็กในใบอ่อนที่เจริญเต็มที่ เพียงพอต่อความต้องการของพืชสวนบางชนิด

พืช	ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) ppm
กล้วย	80
ส้ม	60
เสาวรส	100
สับปะรด	80
น้อยหน่า	55
ลิ้นจี่	75
มะม่วง	135

ที่มา : ปรีดา พากเพียรและคณะ (2534)

: Plant tissue and water interpretation manual (1989)

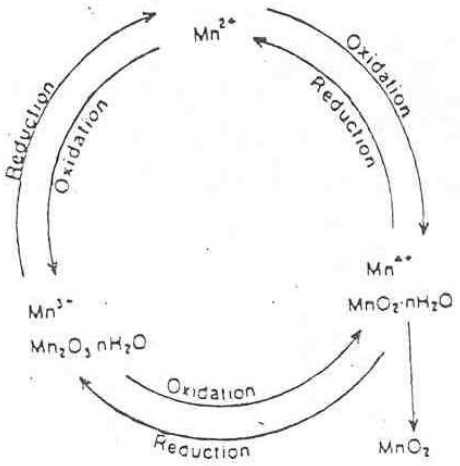
การที่ดินมีเหล็กสูงเกินไปจะเป็นปฏิปักต์ (antagonism) กับทองแดง (Cu) metabolism ของสัตว์ที่กินหญ้า ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลกระทบโดยตรงกับสัตว์ แต่ถ้ามีเหล็กสูงในสภาพที่ทองแดงถูกควบคุม (diet lower)จะเป็นเหตุทำให้เกิดอาการขาดแคลนทองแดง (Cu) ได้ เมื่อดินในทุ่งหญ้ามีซัลเฟอร์ (S) และโมลิบดีนัม (Mo) สูง (Campbell และคณะ. 1974: Suttle และคณะ. 1984; Lcech และ Thornton, 1987.)

แมงกานีส

แมงกานีสเป็นจุลธาตุอาหารธาตุหนึ่งที่ได้จากแร่สามัญ ซึ่งมีทั้งที่เป็นแร่ปฐมภูมิ เช่น แร่ซิลิเกต และแร่ทุติยภูมิ (แสดงไว้ในตารางที่ 54)

รูปและปริมาณของแมงกานีสในดิน

แมงกานีสในดินที่พบอยู่ในรูปของ MnO_2 ไฮเดรทและรูปที่แลกเปลี่ยนได้ คือ Mn^{2+} ซึ่งพืชจะดูดซึมแมงกานีสในรูปนี้ และดูดใช้ได้ดีที่สุด ดินที่ pH ต่ำกว่า 5.0 แมงกานีสจะละลายออกมาในสารละลายดินสูงมากกว่าเดิมหลายเท่าตัวเกินความต้องการของพืชซึ่งอาจจะเกิดความเป็นพิษได้ ในดินที่มี pH ต่ำ คือ pH 4.5-5.5 แมงกานีสในดินมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับ oxidation และ reduction โดยรูปของแมงกานีสจะเปลี่ยนไปในสภาพต่าง ๆ โดยถูก oxidise เป็น Mn^{3+} และ Mn^{4+} และถูก reduce จาก Mn^{4+} เป็น Mn^{3+} และ Mn^{2+} ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 วงจรของ oxidation-reduction ของ Mn ในดิน

ที่มา : Dion and Mann (1946)

ดินที่อินทรียวัตถุสูง แมงกานีสจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ Mn^{+} ในสารละลายดินจะอยู่ในสภาพสมดุลกับแมงกานีสแลกเปลี่ยนได้ ความสมดุลของแมงกานีสและแมงกานีสออกไซด์ขึ้นอยู่กับ pH ของดิน ถ้าดินมี pH ลดลงแมงกานีสจะละลาย ออกมามากขึ้น ความเป็นประโยชน์ก็จะมากขึ้นและถ้า pH ต่ำมาก อาจจะละลายออกมามากถึงขึ้นเป็นพิษต่อพืชได้ แต่ในขณะเดียวกัน ถ้า pH ดินเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษประโยชน์ของแมงกานีสจะลดลงโดยอยู่ในรูปของแมงกานีสออกไซด์

แมงกานีสเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้าย มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ปฐพีวิทยา 2541, ยงยุทธ 2543 และสำเนา 2535) ดังนี้

1. เมื่ออยู่ร่วมกับเหล็กเป็นตัวควบคุมขบวนการ oxidation-reduction potential

2. มีความสำคัญในการสร้างคลอโรฟิลล์และขบวนการสังเคราะห์แสงรวมถึงการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิปิด

3. เป็นตัวปลุกฤทธิ์ของเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทฟอสเฟตและวงจรของกรด tricarboxylic

4. การแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ โดยเฉพาะการยืดตัวของราก การงอกของเมล็ดพืช และยังมีส่วนในการสุกแก่ของผลผลิตพืชด้วย

5. มีส่วนในเมทาบอลิซึมของเหล็กและไนโตรเจน

การขาดแคลนและความเป็นพิษของแมงกานีส

พืชทั่วไปที่เจริญเติบโตปกติจะมีแมงกานีส 20-250 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ต่อน้ำหนักแห้ง และระดับขาดแคลนวิกฤตในใบแก่จะมีแมงกานีส 15-25 ppm แต่ถ้ามีแมงกานีสในใบพืชมากกว่า 550 ppm แมงกานีสอาจเป็นพิษต่อพืชก็ได้ พืชแต่ละชนิดไวต่อการขาดแคลนและทนทานต่อการเป็นพิษของแมงกานีสไม่เท่ากัน กล่าวคือ ข้าวโพดไวต่อการขาดแมงกานีสมากกว่าข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี ในขณะที่กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก ธัญพืช สับปะรด มันฝรั่ง มะเขือเทศ ทานตะวัน ทนทานต่อความเป็นพิษของแมงกานีสมากกว่ากล้วยและกาแฟ ซึ่งระดับเป็นพิษขั้นวิกฤตของแมงกานีส และความเพียงพอของแมงกานีสในพืชแต่ละชนิดมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากมีความแตกต่างในชนิดและช่วงการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ค่าวิฤกตแต่ละพืชและความเพียงพอดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 61 และ 62

ตารางที่ 61 ระดับเป็นพิษขั้นวิกฤต (critical toxicity levals)* ของแมงกานีสในส่วนเหนือดินของพืช 6 ชนิด

พืช	ความเข้มข้นของแมงกานีส มก./กก. (พืชแห้ง)
ข้าวโพด	200
ถั่วนกพิราบ	300
ถั่วเหลือง	600
ฝ้าย	750
มันฝรั่ง	1380
ทานตะวัน	5300

* ความเข้มข้นของแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืชที่ทำให้น้ำหนักของพืชลดลง 10%

ที่มา : Edward and Asher (1982)

: ยงยุทธ 2543

ตารางที่ 62 ความเข้มข้นของแมงกานีสที่เพียงพอต่อความต้องการของไม้ผลบางชนิด

พืช	ส่วนของพืช	Mn ที่เพียงพอ (ppm)
กล้วย	ส่วนกลางของใบที่ 3 นับจากยอด	25
ส้ม	ใบส้มที่มีอายุ 5-7 เดือน	25
สตรอเบอรี่	ใบอ่อนที่เจริญเต็มที่แล้ว	30
องุ่น	ก้านของใบที่อยู่ตรงข้ามกับช่อดอก	30
เสาวรส	ใบอ่อนที่เจริญเต็มที่แล้ว	50
สับปะรด	ใบอ่อนที่เจริญเต็มที่แล้ว	150
มะม่วง	ใบแก่ล่าสุดในระยะใกล้จะออกดอก	60
ลิ้นจี่	ใบสมบูรณ์ก่อนออกดอก 1-2 สัปดาห์	100-250
น้อยหน่า	ใบที่ 4 หรือ 5 นับจากยอด	30-90

ที่มา : Plant tissue and water interpretation manual (1989)

: พิชิต พงษ์สกุล และปรีดา พากเพียร (2535)

ลักษณะอาการขาดแมงกานีส

1. ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลง พื้นใบของยอดอ่อนเป็นสีเขียวจาง แต่เส้นใยยังเขียว ลักษณะคล้ายกับขาดเหล็ก

2. การเจริญเติบโตของยอดอ่อนไม่เต็มที่ และมีสีเหลืองขาวซีด ลักษณะคล้ายกับการขาดแมกนีเซียม

3. การเกิดดอกของพืชลดลง

4. อาการเด่นของพืชใบเลี้ยงคู่พบว่า มีสีเหลืองซีดที่ใบอ่อน และเส้นใบซึ่งแตกต่างจากอาการของเหล็กที่เกิดขาวเหลืองซีดตลอดทั้งใบและพืชบางชนิดมีจุดเหลืองเล็กๆ บนใบ แต่ถ้าเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะพบจุดสีเทาแถบเขียวที่ใบล่าง ซึ่งเกิดกับพืชที่ปลูกในดินซึ่งผ่านการชะล้างมานานหรือดินด่าง เนื่องจากระดับความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสในดินดังกล่าวต่ำมาก (ยงยุทธ 2543)

ลักษณะอาการเป็นพิษจากแมงกานีส

สำหรับอาการเป็นพิษของแมงกานีสในพืช สำเนา (2535) และยงยุทธ (2543) ได้รวบรวมไว้ดังนี้

1. มีรอยด่างสีน้ำตาลที่ใบแก่เด่นชัดมาก หากพืชได้รับแสงความเข้มข้นสูง

2. การกระจายของคลอโรฟิลล์ไม่สม่ำเสมอ กลายเป็นใบขาวเหลืองซีดอย่างรุนแรงในบางพืช เช่น สับปะรด

3. บางพืชไหม้เป็นจุด ขอบใบแห้ง ใบแก่เป็นจุดสีแดง น้ำตาล หรือดำ และแม้แต่เส้นใบ

4. พืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น ถั่ว และฝ้ายอาการแตกต่างกันออกไป เช่น ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ เนื้อเยื่อตายเป็นหย่อมๆ ระหว่างเส้นใบ ส่วนใบอ่อน นั้น แผ่นใบย่นเป็นคลื่นคล้ายขาดแคลเซียมแสดงว่าการที่มีแมงกานีสมากเกินจนเป็นพิษกระตุ้นให้ขาดธาตุอื่น เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็ก

5. เกิดอาการเด่นชัดลักษณะหนึ่งคือ ไม้กวาดแม่มด (witches broom) ซึ่งตาข้างแตกกิ่งมากมายและมีหลายยอดพร้อมๆ กัน

สำหรับแมงกานีสนั้น เช่นเดียวกับเหล็ก พบว่า การเป็นพิษมีน้อยมาก โดยมากจะพบว่าขาดแคลน

ทองแดง

ทองแดงเป็นจุลธาตุอาหารหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แร่สามัญในดินที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ แสดงไว้ในตารางที่ 54 ปริมาณทองแดงในดินแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และถึงแม้ว่าจะเป็นดินชนิดเดียวกันก็มีความแปรปรวนมาก ในดินปกติมีอยู่ประมาณ 1-50 ppm ในดินเหนียวทองแดงจะถูกดูดยึดไว้อย่างเหนียวแน่น แต่สามารถแลกเปลี่ยนแทนที่ได้ง่ายโดยธาตุประจุบวกอื่นเป็นคอบเปอร์ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ยาก สำหรับดินอินทรีย์หรือดินที่มีอินทรียวัตถุสูงทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช พจนีย์และคณะ (2536) ปลูกข้าวในดินอินทรีย์จังหวัดนราธิวาสพบว่า ข้าวมีเมล็ดลีบเนื่องจากขาดธาตุทองแดง (Extr.Cu =1.43 ppm) ดังนั้น ทองแดงที่ถูกดูดยึดไว้ด้วยอนุภาคดินเหนียวเป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าธาตุทองแดงที่ถูกดูดยึดไว้กับอินทรียวัตถุ นั่นคือ พืชที่ปลูกในดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมากจึงขาดธาตุทองแดง

รูปและปริมาณของทองแดงที่พืชใช้ประโยชน์

รูปของทองแดงที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ คือ Cu^{2+} พืชต้องการทองแดงในปริมาณที่น้อยมาก น้อยกว่าธาตุสังกะสี

หน้าที่ของทองแดงต่อการเจริญเติบโตของพืช (สำเนา, 2535 : คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541: ยงยุทธ, 2543) ดังนี้

1. มีหน้าที่ทางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์โดยเพิ่มโมเลกุลและป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ ทองแดงอยู่ใน chloroplast ในใบพืชประมาณ 70%
2. เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนออกซิเดชั่นต่าง ๆ ในพืช
3. เป็นตัวปลุกฤทธิ์เอนไซม์หลายชนิด ซึ่งบางตัวทำหน้าที่เร่งการหายใจ และช่วยทำให้พืชใช้เหล็กได้มากขึ้น
4. ทำหน้าที่เป็น electron carrier ในเอนไซม์ ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชั่นและรีดักชั่นในพืช
5. มีบทบาทพิเศษในขบวนการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว

การขาดแคลนทองแดง

ทองแดงเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายง่าย แต่จะพบว่าเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อนในกรณีที่พืชดูดกินเพียงพอ แต่จะเคลื่อนที่ยากในกรณีที่พืชขาดทองแดง ทองแดงสามารถไล่ที่ไอออนตัวอื่นในรากพืช ทำให้รากพืชมีทองแดงสูงกว่าในเนื้อเยื่ออื่น การขาดทองแดงที่เห็นได้ชัด คือ ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงดังกล่าวแล้วข้างต้น ถ้าใบของพืชมีทองแดง 3-5 มก./กก. ต่อน้ำหนักแห้งแล้ว พบว่ามีทองแดงต่ำ ถ้ามีเพียงพอควรมีมากกว่า 7 มก./กก. สำหรับข้าวสาลี (Robson และคณะ, 1981) และต้นเบญจมาศขาดทองแดงเมื่อมีปริมาณ 2.4 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ทานตะวันขาดเมื่อมีปริมาณ 1.0 ไมโครกรัม/กรัมน้ำแห้ง

ค่าวิกฤตของทองแดงในดินที่จะนำมาคาดคะเนถึงการขาดหรือเป็นพิษของแต่ละชนิดของพืชและดินนั้นยากมาก เนื่องจากมีการวิเคราะห์โดยใช้น้ำยาสกัดแตกต่างกัน ในการศึกษาความสัมพันธ์ของทองแดงในดินและผลผลิตของพืช Peverill (1999) ได้รวบรวมไว้ตารางที่ 63

ตารางที่ 63 แสดงค่าวิกฤตของทองแดงที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA

พืช		ค่าวิกฤตของทองแดง (mg/kg)	
ทุ่งหญ้า (alkaline peat)		0.15-0.23	
ข้าวโอ๊ต		0.17	
ข้าวสาลี (ขึ้นกับชนิดของดิน)		<0.1	ขาดแคลน
		0.1-0.3	ต่ำ
		0.3-0.5	ปานกลาง
ผักต่าง ๆ เช่น	ถั่วฝักยาว	<0.1	ขาดแคลน
	ผักประเภทหัว	0.1-0.3	ต่ำ
	คะน้า	0.3-5.0	ปานกลาง
	แครอท		
	ฟักทอง		
	มะเขือเทศ ฯลฯ		

ที่มา : Peverill (1999)

อาการพืชเมื่อขาดทองแดง

พืชแต่ละชนิดมีความไวต่อการขาดทองแดงแตกต่างกัน ใบจะมีสีเขียวจัดแถบน้ำเงินเข้มผิดสังเกต ขอบหรือปลายใบจะเหี่ยวและต่อมาใบจะเหลือง และชะงักการเจริญเติบโต อาการบางพืชจะแสดงเด่นชัด แตกต่างกันดังนี้

1. พวกท้อ และส้ม แสดงอาการคลอโรซิส และค่อย ๆ ตายจากยอดอ่อนลงมา

2. สำหรับส้มที่อายุน้อย จะชะงักการเจริญเติบโต เมื่อแตกกิ่งใหม่ ใบมีขนาดใหญ่ผิดปกติ ถ้าอายุมากใบจะบิดเบี้ยว มีสีเขียว และมีจุดสีเหลืองใต้ข้อใบ และจะร่วงหล่น รูปร่างของผลส้มจะผิดปกติคุณภาพลดลง เปลือกผลมีสีน้ำตาลแดงเป็นแถบ ๆ (สำเนา, 2535)

3. ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และข้าวบาเลย์ ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อนแถบเหลืองที่ฐานของใบ และที่ปลายใบจะแห้งและตายแตกต่างจากการขาดโพแทสเซียม คือ เกิดขึ้นกับใบตอนบนมากกว่าใบตอนล่าง เกิดใกล้โคนใบมากกว่าปลายใบ (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

ความเป็นพิษของทองแดง

ระดับเป็นพิษขั้นวิกฤตของทองแดงสำหรับพืชทั่วไปอยู่ระหว่าง 20-30 มก./กก. ของน้ำหนักแห้งของพืช พืชแต่ละชนิดทนความเป็นพิษของทองแดงแตกต่างกันไป ถั่วทนกว่าข้าว

โพดมากเนื่องจากถั่วมีทองแดงสะสมในส่วนเหนือดินน้อยกว่าข้าวโพด (ยงยุทธ, 2543) อาการของพืชเมื่อได้รับทองแดงมากเกินไป คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2541) รวบรวมไว้ คือ

1. การเจริญเติบโตจะลดลง ปริมาณเหล็กในพืชลดลง ซึ่งพืชอาจแสดงอาการขาดเหล็กได้

2. ส้มจะแสดงอาการทองแดงเป็นพิษเมื่อดินมีทองแดงระหว่าง 12-250 มก./กก. และมี pH ไม่เกิน 5

3. ดินบางแห่งทองแดงจะเป็นพิษกับผัก เมื่อดินมีทองแดงสูงกว่า 400 มก./กก. โดยเฉพาะกับมะเขือเทศ รากจะชะงักการเจริญเติบโตก่อนส่วนเหนือดิน

นอกจากนี้ การจัดการดินบางอย่างทำให้ดินมีทองแดงสะสมอยู่ในดินมากจนถึงเป็นพิษต่อพืช ดังนี้คือ

1. การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicide) ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบเสมอ

2. การใช้ปุ๋ยคอก โดยเฉพาะมูลสุกร ซึ่งมีทองแดงปะปนอยู่มาก

3. จากอุตสาหกรรม และกิจกรรมของมนุษย์ที่ปลดปล่อยทองแดงออกมาปนเปื้อนในดิน และสิ่งแวดล้อม

สังกะสี (Zn)

สังกะสีเป็นจุลธาตุอีกธาตุหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แร่สามัญที่อยู่ในดินมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบแสดงไว้ในตารางที่ 54 ในดินธรรมดาทั่วไปมีสังกะสีอยู่ระหว่าง 50-300 มก./กก. (Davies และ Jones, 1968) ปริมาณสังกะสีในสารละลายดินต่ำมากประมาณ 0.6-20 ไมโครกรัม/ลิตร (Anmore และคณะ, 1990) และไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH และสังกะสียังมีปริมาณมากพอสมควรในปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะปุ๋ยคอก

รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

โดยทั่วไปพืชดูดสังกะสีในรูปไดวาเลนซ์แคตไอออน (Zn^{2+}) แต่ในดินที่มี pH สูง พืชอาจดูดกินสังกะสีในรูปโมโนวาเลนซ์แคตไอออน ($ZnOH^{+}$)ได้ อัตราการดูดสังกะสีของรากพืชขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีอยู่ในดินหรือเครื่องปลูก หากมีแคลเซียมสูงเกินไปอาจยับยั้งการดูดสังกะสีได้ ซึ่งทำให้พืชใช้สังกะสีได้น้อยลง (ยงยุทธ, 2543) พืชต้องการธาตุสังกะสีมากกว่าธาตุทองแดง การดูดใช้ธาตุสังกะสีเชื่อกันว่าถูกควบคุมโดยระบบการย่อยและดูดซึมของธาตุอาหาร สังกะสีจะถูกพืชดูดช้าลงในสภาพอุณหภูมิต่ำ และมีตัวยับยั้ง ได้แก่ ธาตุทองแดง

หน้าที่ของสังกะสีต่อพืช

1. เนื่องจากสังกะสีไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของออกซิเดชั่น-รีดักชั่นเหมือนกับเหล็ก แมงกานีส หรือทองแดง แต่เนื่องจากเป็นไดวาเลนซ์แคตไอออนที่สามารถรวมกับอินทรีย์สารได้ จึงทำให้สังกะสีเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด และยังมีบทบาทในการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ด้วย

2. มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์โปรตีน

3. มีบทบาททางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์เพื่อการสังเคราะห์แสง และเมเทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างแป้งและน้ำตาล

4. มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชในส่วนของการยืดต้นและความสุกแก่ของเมล็ดพืช

สังกะสีในดินส่วนใหญ่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช อาจแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 5 กลุ่มด้วยกัน (Viets, 1962) คือ

1. สังกะสีในสารละลายดิน
2. ส่วนที่ดูดซับและสามารถแลกเปลี่ยนได้
3. เป็นสารผสม complex กับอินทรียวัตถุ
4. Occluded โดยตกตะกอนร่วมกับออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัมและแมงกานีส

การขาดแคลนและความเป็นพิษของสังกะสี

การขาดสังกะสีของพืชพบเห็นโดยทั่วไป แต่เช่นเดียวกับเหล็กและแมงกานีส แทบจะไม่พบอาการสังกะสีเป็นพิษเลย ในใบพืชที่สมบูรณ์ตามปกติจะมีธาตุสังกะสี 20–100 ppm Zn ของน้ำหนักแห้ง ระดับของสังกะสีในพืชที่ขาดอยู่ในช่วง 0–20 ppm Zn ปริมาณของสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของพืชไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนยอดของต้น ค่าวิกฤตของสังกะสีในพืชแสดงไว้ในตารางที่ 64 และความเข้มข้นของสังกะสีในใบพืชสำหรับพืชต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 65

อนึ่งในดินที่มีสังกะสีที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำ ถ้าใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีอัตราสูงเกินไปจะทำให้พืชมีความต้องการสังกะสีเพิ่มขึ้น (Loneragan และคณะ, 1979) ซึ่งยงยุทธ 2543 ได้รวบรวมไว้ดังนี้

1. ฟอสฟอรัสทำให้พืชเจริญเร็ว ทำให้สังกะสีในเนื้อเยื่อเจือจางไม่เพียงพอ

2. ปุ๋ยทริเปิลซูเปอร์ฟอสฟตซึ่งมีแคลเซียมอยู่ด้วย เป็นตัวขัดขวางการดูดสังกะสี เนื่องจากมีภาวะปฏิปักษ์ของธาตุทั้งสอง

3. ฟอสฟอรัสส่งเสริมให้สังกะสีดูดซับติดกับผิวของเหล็ก และอะลูมินัมออกไซด์ หรือไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต

4. ฟอสฟอรัสยับยั้งการเคลื่อนย้ายสังกะสีเมื่อรากดูดได้แล้ว จึงพบสังกะสีในส่วนเหนือดินน้อย

5. ฟอสฟอรัสทำลายฤทธิ์ (inactivate) ของสังกะสี จึงไม่สามารถทำหน้าที่ได้

ดังนั้น การขาดธาตุสังกะสีต้องพิจารณาจากสัดส่วนระหว่างฟอสฟอรัสและสังกะสีในใบพืช แต่ไม่สามารถใช้ได้ในทุกกรณี บางแห่งมีสัดส่วนกว้างแต่พืชไม่แสดงอาการขาดสังกะสีเลยก็ได้

ลักษณะการขาดสังกะสี (สำเนา, 2535 และคณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

1. มีการยืดต้นช้า ใบเล็กแคบ ไม่ออกผล

2. เกิดใบฝอย (little leaf or rosette) ตรงปลายยอดของกิ่งและที่ตาพืช ถ้าเป็นธัญพืชข้อจะสั้น แต่ถ้าเป็นส้มจะแคระแกร็น

3. ใบแก่ เกิดสีเหลือง ประ หรือแถบเหลือง เหลืองซีดระหว่างเส้นใบ

ตารางที่ 64 แสดงค่าวิกฤตของสังกะสีในดินวิเคราะห์โดยวิธี DTPA ของพืชต่าง ๆ

พืช	ดิน	ค่าวิกฤต mg/kg	หมายเหตุ
ทุกพืช	ทั่วไป	0.3-0.8	ต่ำสำหรับดินpH >7
		0.2-0.5	ต่ำสำหรับดินpH <7
ถั่ว	ดินทราย-ดินเหนียว	0.5	
อ้อย	brown candosol	0.3	
ข้าวสาลี	ทั่วไป	0.8	
	ดินทราย	0.12-0.27	เรือนทดลอง

ที่มา : Peverill (1999)

ตารางที่ 65 ความเข้มข้นของสังกะสีในใบอ่อนที่เจริญเต็มที่ ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของไม้ผลบางชนิด

พืช	ความเข้มข้นของ Zn (mg/kg)
ส้ม	25
กล้วย	18
ทุเรียน	20
มะม่วง	17-23
ลิ้นจี่	17-23
สับปะรด	15
เสาวรส	45
สตรอเบอรี่	20

ที่มา : ปรีดา พากเพียร และ พิชิต พงษ์สกุล (2535)

โบรอน (B)

ในบรรดาจุลธาตุ หรือธาตุอาหารเสริมทั้ง 7 ธาตุนั้น ธาตุโบรอน เป็นธาตุหนึ่งที่สามารถจำกัดผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต ถึงแม้ว่าพืชต้องการธาตุโบรอนน้อยมาก มีรายงานทั่วไปเกี่ยวกับการขาดธาตุโบรอนในพืชหลายชนิด (Peverill และคณะ, 1999) เช่น พืชผัก และพืชตระกูลถั่วทั้งที่เป็นอาหารของคนและสัตว์ และไม้ผล (Bell และคณะ, 1990) สำหรับประเทศไทยมีนักปฐพีวิทยาหลายคนได้ศึกษาเกี่ยวกับการขาดโบรอนไว้มากพอสมควร โดยเฉพาะการขาดโบรอนกับถั่วลิสงในดินแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ การเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินนั้นมีปัจจัยหลายประการที่ควบคุมอยู่ กล่าวคือ ดินที่มี pH ต่ำกว่า 7 จะมีการดูดซับโบรอนน้อย ในขณะที่ดินมี pH สูงกว่า 7 จะดูดซับโบรอนได้มากขึ้น (Davies และ Jones, 1988)

ในดินที่มีการชะล้างพังทลายสูงและดินเป็นกรด ดินจะมีโบรอนต่ำ เนื่องจากโบรอนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกชะล้างได้ง่าย ดังนั้น ดินในประเทศไทยจึงมีแนวโน้มในการขาดโบรอน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะดังกล่าว

รูปและปริมาณโบรอนในดินและพืช

โบรอนอยู่ในดินในรูปที่ไม่ใช่ไอออน พืชดูดใช้โบรอนในรูปของกรดบอริก (H_3BO_3) ปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมการเป็นประโยชน์ของโบรอน คือ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน กล่าวคือ โบรอนจะละลายไม่ดีในดินที่มีสภาพเป็นด่าง ในประเทศออสเตรเลีย พืชขาดโบรอนเมื่อดินมีโบรอนอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.5 mg B/kg สำหรับพืชที่ไวต่อการมีโบรอนต่ำ ที่ปลูกในดินด่างที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวนั้น ช่วงที่พืชขาดจะมีโบรอนสูงกว่าดินปกติเท่าตัว (Peverill และคณะ, 1999)

ปริมาณโบรอนในพืชจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดและพันธุ์พืช โดยปกติพืชทั่วๆไปจะอยู่ระหว่าง 15-40 ppm ของน้ำหนักแห้ง แต่ในการวินิจฉัยนั้นว่าพืชมีโบรอนเพียงพอ ขาด แคลน หรือเป็นพิษแตกต่างกันมาก พืชบางชนิดมีช่วงความทนทานกว้าง เช่น ส้ม อยู่ระหว่าง 30-100 ppm ในขณะที่ผักมีช่วงแคบ 25-45 ppm โดยทั่วไปพวกธัญพืชแสดงการขาดโบรอนเมื่อมีระดับต่ำกว่า 4 หรือ 5 ppm ระดับวิกฤติของการขาดแคลนโบรอนของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวต่ำกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ และในพืชพวกใบเลี้ยงคู่ด้วยกัน พืชที่มีน้ำยางมีความต้องการโบรอนสูง สำหรับความเป็นพิษของโบรอน เกิดขึ้นกับพืชหลายชนิด เช่น พวกธัญพืช พืชอาหารสัตว์ อาการเป็นพิษของโบรอนอาจเกิดขึ้นได้ ถ้าในใบมีธาตุโบรอนเกินกว่า 30 ppm (สำเนา 2535)

หน้าที่ของโบรอน

บทบาทของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของพืช (สำเนา, 2535 ; คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541 และยงยุทธ, 2543)

1. เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของธาตุอื่น เช่น แคลเซียม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เช่น ช่วยให้พืชดูดซึมแคลเซียมไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. มีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในพืช ทั้งนี้ เพราะ BO_3^{3-} จะอยู่ร่วมกับ NO_3^- และ PO_3^-

3. เป็นตัวควบคุม (regulator) ที่จะทำให้สัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมกับแคลเซียมในพืชให้เหมาะสม

4. จำเป็นสำหรับการงอกของละอองเรณู และการเจริญเติบโตของท่อนำนิวเคลียสของเรณู (pollen tube)

5. จำเป็นในการแบ่งเซลล์ของพืช จึงมีความสำคัญต่อการสร้างกิ่ง หรือหน่อใหม่ของพืชและราก ดังนั้น ถ้าหากพืชขาดโบรอนแล้วจะไม่มีการพัฒนาเนื้อเยื่อใหม่ และอาจเกิดช่องกลวงภายในราก ในหัว ในผล และเมล็ดของพืช

ดังนั้น โบรอนจึงมีความจำเป็นต่อการพัฒนาคุณภาพของผลไม้ เมล็ดพืช ผลผลิตพืช พืชหลายชนิดรวมถึงไม้ผลมีการตอบสนองต่อโบรอนแตกต่างกัน

ลักษณะการขาดโบรอน

1. เนื่องจากโบรอนเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช ดังนั้น จะพบปริมาณโบรอนในส่วนล่างของพืชมากกว่าส่วนบน โบรอนจะเคลื่อนย้ายโดยผ่าน xylem ดังนั้น ยอดจะชะงักการเจริญเติบโตมีสีแดงหรือสีเหลือง ต่อไปอาจจะตายถ้าขาดมาก พืชจะแคระแกร็น

2. มีผลกระทบต่อคุณภาพของพืชและผลไม้หลายชนิด (สำเนา, 2535 และคณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541) เช่น

2.1 พืชผัก ลำต้นจะแตกเป็นร่อง เช่น เซลเลอรี่ คื่นฉ่าย พืชหัว ไม่มีการพัฒนาในส่วนที่จะใช้ประโยชน์ โดยหัวจะแตกเป็นร่อง พืชตระกูลกระหล่ำ เช่น กะหล่ำปลี กะหล่ำปม และกะหล่ำดอก ใบอ่อนมีจุดประสีน้ำตาลหรือดำ ใบเปราะ แตกง่าย ม้วนลงด้านล่าง ต้นแคระแกร็น ไส้กลางมักกลวง

2.2 พืชไร่ ข้าวโพดจะเกิดคลอโรซิส ถ้าขาดต้นฤดูจะเป็นอันตรายต่อการออกดอกตัวผู้ และตัวเมีย ทำให้การติดฝักและละอองเรณูมีลักษณะผิดไป ถั่วลิสง พบอาการเมล็ดกลวงเป็นรูปหัวใจ สำหรับถั่วเขียวผิวมันเมื่อขาดโบรอนผลผลิตลงลงโดยการติดฝักลดลง การร่วงของช่อดอกและความล้มเหลวของการติดฝัก ถั่วเหลืองต้นเตี้ยลง จำนวนข้อทั้งหมดลดลง รวมถึงจำนวนข้อที่ติดฝักจำนวนเมล็ด/ฝัก และน้ำหนักแต่ละเมล็ดลดลงด้วย (Rerkasum,. 1989)

2.3 ไม้ผล ส้ม เกิดเป็นจุดสีน้ำตาลคล้าย ๆ อาการของโรค cankers อยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ใบสีเหลือง หรือขาวซีด รูปร่างผลผิดปกติ เนื้อข้างในเน่าตรงกลางผล ผลร่วงก่อนกำหนดแต่ถ้าไม่ร่วง เปลือกจะหนาแข็ง มีน้ำส้มน้อย อุ่น ปลายยอดหรือปลายกิ่งจะแห้งตาย ติดผลไม่ดี ในช่ออุ่นจะมีผลเล็ก ๆ ปะปนอยู่มาก

ค่าวิกฤติของโบรอนในดินแสดงไว้ในตารางที่ 66

ตารางที่ 66 แสดงค่าวิกฤติของโบรอนในดิน (วิธี Hot water) สำหรับพืชต่าง ๆ (mg/kg)

ชนิดพืช	ดิน	ค่าวิกฤติ		
		ขาดแคลน	เพียงพอ	เป็นพิษ
ข้าวบาร์เลย์	ดินทราย-ดินอินทรีย์	0.04-0.15	0.23-0.54	
พืชผัก	-		0.28-0.34	
กีวีฟรุ๊ต	-			0.5-1.3 (เป็นพิษมาก)
ถั่วลิสง	ดินทราย		0.14-0.16 (ประเทศไทย)	
สน	ดินทราย-ดินเหนียว	0.2-0.25 (รุนแรง) 0.15-0.32 0.13-0.45 (ไม่มีอาการ)		
ทานตะวัน	-	0.12-0.14	0.14	
ข้าวสาลี	ดินด่าง		0.12-0.38	

ที่มา : Peverill (1999)

อาการของพืชเมื่อมีโบรอนเป็นพิษ (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541 และ Victor และคณะ, 1989)

อาการคล้ายคลึงกับทุกพืชและคล้ายกับการขาดโพแทสเซียม แต่แตกต่าง คือ การที่โบรอนเป็นพิษเกิดที่ใบล่าง หรือใบแก่ก่อน ในขั้นแรกของการขาด ปลายใบจะมีสีเหลือง และเกิดคลอโรซิสที่ปลายใบ ถ้าหากเป็นพิษมากจะเกิดเนโครซีสที่ใบตามมาโดยเริ่มจากปลายและขอบใบแผ่เข้ามาระหว่างเส้นใบส่วนข้างเข้ามายังเส้นกลางใบ ต่อมาใบจะแห้งคล้ายถูกไฟไหม้ เกิดกับพืชหลายชนิด โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วผลผลิตลดลง

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโบรอนแตกต่างกัน บางชนิดมีความทนต่อความเป็นพิษของโบรอนได้น้อย ถึงแม้ว่าพืชเหล่านั้นอาจจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงถ้าขาดโบรอนมาก โดยเฉพาะพวกส้มและพวกตระกูลถั่วที่ให้เมล็ด และเกิดความเสียหายน้อยกว่ากับธัญพืชเมล็ดเล็ก เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต

งานวิจัยในประเทศไทยเกี่ยวกับจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริมมีอยู่น้อยมาก นักวิชาการส่วนใหญ่สนใจแต่ธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่ใช้เป็นอาหารและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและใช้บำรุงดิน โดยทั้งผ่านขบวนการตรึงไนโตรเจน และไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด ดังนั้น นักวิชาการจึงได้หันมาสนใจเกี่ยวกับจุลธาตุมากขึ้น โดยเฉพาะทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งได้ปลูกถั่วเหลือง ถั่วลิสง และถั่วเขียวเป็นพืชรอง โดยปลูกกันเป็นล่ำเป็นสันในบางพื้นที่ แต่โดยทั่วไปจะปลูกกันประปรายตลอดปี

โมลิบดีนัม (Mo)

โมลิบดินัมได้จัดว่าเป็นจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อ Arnon และ Stout (2539) ได้รายงานว่าพืชตอบสนองต่อโมลิบดินัม โมลิบดินัมในดินปกติจะอยู่ระหว่าง 0.07–5.0 ppm (Wild และ Jones, 1988) แร่สามัญในดินที่มีธาตุโมลิบดีนัมเป็นองค์ประกอบแสดงในตารางที่ 54 และโมลิบดีนัมยังมีในปุ๋ยคอกด้วย ในสารละลายดินกรดโมลิบดิต (H_2MoO_4) จะแตกตัวออกมาตลอดช่วง pH ของดิน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโมลิบเดตแอนไอออน (MoO_4^{2-}) ซึ่งมีสมบัติทั่วไปคล้ายคลึงกับแอนไอออน อนินทรีย์อื่นๆ ซึ่งเป็นพวกไดวาเลนซ์ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในดินกรดโมลิบเดตไอออนมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับฟอสเฟตไอออน คือ ต่างก็ถูกดูดซับอย่างเหนียวแน่นที่ผิวของอนุภาคเหล็กหรืออลูมิเนียมออกไซด์

รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

พืชดูดโมลิบดินัมในรูปของโมลิเดตแอนไอออน (MoO_4^{2-}) การดูดใช้จะลดลงเมื่อมีอนุมูลของซัลเฟตมาแข่งขัน ด้วยเหตุภาวะปฏิปักษ์ (ยงยุทธ์, 2543) แต่ฟอสเฟตไอออนจะส่งเสริมการดูดใช้ของโมลิบดินัม ดังนั้นการใส่ปูนเพื่อปรับ pH ของดินให้สูงถึง 7 นั้น จะช่วยส่งเสริมการดูดใช้ของโมลิบดินัม (สำเนา, 2535)

หน้าที่ของโมลิบดินัมต่อพืช (Romheld and Marchner., 1991.)

1. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ nitrate reductase เพื่อเปลี่ยน NO_3^- ให้เป็น NO_2^-

2. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ nitrogenase ที่เกี่ยวกับการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย โดยมีจุลินทรีย์ไรโซเบียมร่วมด้วยในขบวนการ

3. โมลิบดินัมอาจมีผลทางอ้อมต่อ nitrogen metabolism ผ่าน amino acid ที่มีซัลเฟอร์อยู่ด้วย

4. โมลิบดินัมมีผลต่อการติดเกสรของพืช เช่น ข้าวโพด เมื่อขาดโมลิดินัมจะมีฝักและเกสรไม่สมบูรณ์ ออกดอกช้า เกสรติดยาก

ลักษณะการขาดโมลิบดินัม

จากการทดลองหลายแห่งพบว่า ถ้าความเป็นประโยชน์ของโมลิบดีนัมในดินจะเพิ่มขึ้นและพืชจะแสดงอาการขาดโมลิบดีนัมในดินกรด อาการที่พืชขาดโมลิบดีนัมนั้นมีการศึกษากันไม่มากนัก พืชแต่ละชนิดแสดงอาการแตกต่างกัน กล่าวกันว่าการขาดโมลิบดินัมมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างรุนแรง ถึงแม้ว่าจะได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างพอเพียงแล้ว แต่อาการยังปรากฏให้เห็นอยู่ คือ ลักษณะใบผิดรูปไป โดยมีใบเรียบ ขอบหยัก และมีขนาดเล็ก ซึ่งรวบรวมได้ดังนี้

1. พืชตระกูลถั่ว การขาดโมลิบดินัมนั้นแสดงอาการขาดไนโตรเจน เนื่องจาก enzyme nitrogenase ไม่สามารถทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนได้

2. ไม้ผล ใบส้มเป็นจุดสีน้ำตาลแดงที่ใบแก่ และเนื้อเยื่อรอบ ๆ จุดจะมีสีเหลือง ถ้าขาดรุนแรงใบจะร่วงก่อนกำหนด (สำเนา 2535)

3. พืชผัก เช่น กระหล่ำดอก ใบจะมีลักษณะคล้ายปลายแซ่ เนื่องจากเนื้อเยื่อตายเป็นหย่อม ๆ และการพัฒนาของระบบท่อลำเลียงในช่วงที่ใบกำลังเปลี่ยนสภาพเป็นไปอย่างผิดปกติ (Gupta และ Lipsett, 1981) มะเขือเทศ ใบล่าง ๆจะด่าง ต่อมาจะเกิดเนโครซิส (necrosis) คือ แห้งตายและขอบใบหงิกงอ ทำให้ดอกร่วง ถ้าติดผล ผลจะแคระแกร็น

4. พืชอื่น ๆ เช่น ยาสูบอาการจะคล้ายกับมะเขือเทศ ข้าวโอ๊ต ใบจะโค้งกลับ และหักในเวลาต่อมาและแห้งตาย (คณาจารย์ปฐพีวิยา, 2541)

การขาดแคลนและความเป็นพิษ

ระดับการขาดแคลนขั้นวิกฤตของโมลิบดินัมแต่ละพืชแตกต่างกันตามชนิดของพืช ความเข้มข้นของโมลิบดินัมในพืชอยู่ในช่วง 0.1–1.0 ไมโครกรัม/กรัม (ใบพืชแห้ง)

การขาดแคลนขั้นวิกฤตกับระดับความเป็นพิษขั้นวิกฤตของจุลธาตุบางธาตุ เช่น แมงกานีส หรือโบรอน จะต่างกันประมาณ 10 เท่า แต่โมลิบดินัมมีลักษณะพิเศษต่างจากจุลธาตุอื่น ๆ เนื่องจากค่าทั้งสองแตกต่างกันถึงหมื่นเท่า คือ 0.1 กับ 1,000 ไมโครกรัม Mo/กรัม (น้ำหนักแห้งของพืช) ถ้าพืชได้รับธาตุนี้จนถึงระดับเป็นพิษ ใบจะบิดเบี้ยว สีใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง พืชบางพันธ์สะสมโมลิบดินัมไว้โดยไม่เป็นพิษ ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ด้านดี ช่วยให้เมล็ดสะสมธาตุนี้ไว้มาก หากใช้เป็นเมล็ดพันธ์ในดินที่ขาดโมลิบดินัมก็มักมีปัญหาน้อย ส่วนด้านเสีย การใช้เป็นพืชอาหารสัตว์การที่มีโมลิบดีนัมมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (Peverill, 1999)

คลอรีน (Cl)

คลอรีนเป็นจุลธาตุอีกธาตุหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชใน 7 จุลธาตุ แหล่งของคลอรีนแสดงไว้ในตารางที่ 54 คลอรีนเป็นธาตุที่มีมากตามธรรมชาติ เกลือคลอไรด์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะในดินธรรมดา หรือดินเกลือจะละลายน้ำง่าย และแตกตัวให้คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ปริมาณของคลอไรด์ในดินแตกต่างกันไปแล้วแต่แหล่ง นอกจากจะได้คลอไรด์จากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดแล้ว ยังได้จากน้ำทะเล น้ำชลประทาน น้ำฝน และปุ๋ย ดังนั้น จะไม่พบว่าพืชมีปัญหาการขาดคลอรีน แต่จะพบปัญหาจากความเป็นพิษของคลอรีน

รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

คลอรีนอยู่ในสารละลายดิน ในรูปของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) พืชสามารถดูดไปใช้ได้ดีในรูปของคลอไรด์ ขณะที่อยู่ในเซลล์ของพืชนั้นจะเป็นคลอไรด์ไอออนอิสระ หรือดูดซับอยู่กับประจุบวกด้วย นอกจากนั้นยังพบอยู่ในสารประกอบอินทรีย์

หน้าที่ของคลอรีน

หน้าที่ของคลอรีนต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น ปัจจุบันยังไม่ค่อยทราบกันแน่ชัด แต่มีผู้รายงานว่าคลอรีนมีความสำคัญหลายอย่างด้วยกัน

1. มีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสง และทำให้พืชแก่เร็วขึ้น (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2541)

2. มีความสำคัญในการรักษา osmotic pressure ในเซลล์ของพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูดใช้น้ำในลำต้นให้มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ พืชที่มีคลอไรด์มากจะมีปริมาณน้ำในต้นมาก (สำเนา, 2535)

สำหรับหน้าที่อื่น ๆ นั้น ยงยุทธ (2543) ได้รวบรวมหน้าที่เพิ่มมากขึ้น ดังนี้ คือ ช่วยให้เซลล์พืชยืดตัวได้ดีขึ้น บทบาทในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน เคลื่อนย้ายไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็ว และเป็นตัวละลายที่มีความสำคัญในการควบคุมศักย์ออสโมซิสและศักย์ความเต่งของเซลล์พิเศษ ใบบวม โคนใบของไมยราบในปรากฏการณ์ใบสะดุ้ง เมื่อใบถูกกระทบ

การขาดแคลนและความเป็นพิษ

เราคงไม่พบการขาดคลอรีนในดินทั่ว ๆ ไป เพราะพืชได้รับคลอรีนในรูปของคลอไรด์จากธรรมชาติ ดิน น้ำ อากาศอย่างเพียงพอดังกล่าวแล้ว นอกจากจะได้จากธรรมชาติแล้ว พืชยังได้รับคลอรีนจากปุ๋ยเคมีอีก โดยเฉพาะปุ๋ยโพแทสที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ โพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ให้คลอรีนมาก ดังนั้น พืชจึงไม่มีโอกาสที่ขาดธาตุนี้ ปริมาณความต้องการที่แท้จริง คือ 1 กรัม/กิโลกรัม (พืชแห้ง) หรือ 0.64–1.28 กิโลกรัมคลอรีนต่อไร่เท่านั้น (ยงยุทธ, 2543)

ความเป็นพิษของคลอรีนแต่ละพืชมีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ พืชที่ไวต่อคลอรีน เช่น ถั่ว และข้าวโพดจะเป็นพิษเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีคลอไรด์สูงกว่า 20 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่ ชูการ์บีตสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อมีคลอไรด์มากกว่านี้ 4–5 เท่า โดยไม่เป็นพิษ และ

จะทนได้ถึงแม้จะมีคลอรีนในใบแห้ง 20-30 กรัม/กิโลกรัม ในขณะที่พืชที่ไวต่อคลอรีนดูดคลอรีนไปไว้ในพืชแค่ 3.5 กรัม/กิโลกรัม ของใบแห้งก็เป็นพิษแล้ว (Marshener และคณะ, 1981)

อาการขาดและเป็นพิษจากคลอรีน

การขาดคลอรีนมักไม่ค่อยพบดังกล่าวข้างต้น แต่ที่พบสังเกตได้นั้น คือ ใบเหี่ยว พืชมีรากสั้น สำหรับอาการของพืชเมื่อได้รับคลอรีนมากเกินไปจนเป็นพิษนั้น ขนาดของใบลดลง ใบจะไหม้ที่ปลายใบและตามขอบใบ การเจริญเติบโตช้า

การแก้ไขการขาดจุลธาตุอาหารในดิน

ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น การขาดจุลธาตุอาหารพืชในดินนั้นขึ้นกับชนิดดิน ชนิดของพืชที่ปลูกและปริมาณของจุลธาตุในดินขณะนั้น ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความเป็นประโยชน์และการละลายได้ของจุลธาตุ คือ pH ซึ่งถ้าดินเป็นกรดสูงมาก จุลธาตุอาหารประจุบวกและโบรอนอาจละลายออกมามากเกินไปและมีปริมาณสูง แต่จะมีโมลิบดีนัมต่ำ เช่นเดียวกับการระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศเลว มีผลทำให้จุลธาตุที่รวมอยู่กับออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์สามารถละลายออกมาได้มาก แต่ตามปกติแล้วในดินประเทศไทยเราไม่ค่อยพบจุลธาตุที่เป็นพิษต่อพืช แต่จะพบเสมอว่าดินขาดจุลธาตุ วิธีการที่ควรพิจารณานำมาแก้ไข ดังนี้

1. ใส่อินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ซึ่งมีจุลธาตุอาหารพืชมากพอสมควรดังตารางที่ 67 และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวช่วยให้ดินร่วนซุย และมีความสามารถอุ้มน้ำให้ดินมากขึ้น การถ่ายเทน้ำและอากาศก็ดีขึ้นด้วย และเช่นเดียวกันควรไถกลบเศษพืชที่ปลูกกลับลงไปในดินด้วยเช่นเดียวกัน

2. ใส่วัสดุปูน การใส่ปูนเพื่อช่วยปรับ pH ของดิน (6.5-7.0) ให้สูงขึ้น นอกจากให้ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg แล้ว ยังช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของโมลิบดีนัมมากขึ้น และถ้ามีจุลธาตุอื่นที่มากเกินไปก็จะช่วยแก้ไขการเป็นพิษด้วย

3. การใส่ปุ๋ยจุลธาตุ การใส่ปุ๋ยจุลธาตุต้องพิจารณาให้รอบคอบเนื่องจากจุลธาตุเหล่านี้เป็นพิษได้ง่าย กล่าวคือ เมื่อใส่มากเกินไปเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เป็นพิษต่อพืช ในทางตรงข้ามถ้าใส่น้อยเกินไปอาจไม่พอกับความต้องการของพืช เพราะระดับปริมาณที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิดค่อนข้างแคบ ดังนั้น ก่อนที่จะแนะนำให้ใส่ปุ๋ยจุลธาตุนั้น ควรวิเคราะห์ดิน และวิเคราะห์พืชก่อนว่าดินนั้นขาดธาตุอะไร และควรจะใส่ธาตุนั้นในรูปใด ซึ่งบางครั้งการใส่อินทรียวัตถุ หรือการใส่ปูนอาจจะทำให้สมดุลของธาตุต่าง ๆ ดีขึ้น หรือในกรณีที่พืชขาดน้อยหรือพืชมีความต้องการน้อยมากอาจไม่จำเป็นต้องใส่เพิ่มเติมก็ได้ หรือการใส่ปุ๋ยชนิดหนึ่งอาจทำให้การขาดของอีกธาตุหนึ่งหมดไปได้ เนื่องจากทำให้ธาตุนั้นละลายออกมาให้พืชใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น Kurmarohita และคณะ (1966) ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อหว่านกำมะถัน 100 กก./ไร่ สามารถลดอาการขาดเหล็ก (Fe chlorosis) ในถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ได้ โดยได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 69% สำหรับการขาดธาตุเหล็กนั้นพบมากในถั่วลิสงที่ปลูกในดินสีดำ (Black calcareous soil) ชุดดินตาคลี ซึ่ง Fe ที่พบในดินนี้เมื่อสกัดด้วย DTPA มีค่าต่ำมากเพียง 6.4 mg/kg (Preeda, 1988)

ปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่ แสดงไว้ในตารางที่ 68

ตารางที่ 67 ปริมาณของจุลธาตุอาหารในปุ๋ยคอกสด

จุลธาตุอาหาร	ความเข้มข้นเป็น ppm ในน้ำหนักแห้ง		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
Fe [1]	7,717	10,250	8,825
Mn	75	549	201
Cu	7.6	40.8	15.6
Zn	43	247	96.2
Mo	0.84	15.8	2.4
B	4.5	52.0	20.2

[1] ปริมาณของเหล็กใน beef feedlot manure จาก Murphy and Walsh (1972)

ที่มา : อ้างโดยคณาจารย์ปฐพีวิทยา 2541

ตารางที่ 68 ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.1 ธาตุเหล็ก

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้	วิธีการใส่ปุ๋ย
ส้ม [1]	Fe chelate	12-24 กรัม Fe/ต้น	หว่านรอบ ๆ ต้น
ข้าวโพดและข้าวฟ่าง	$FeSO_4 7H_2O$	0.8-1.25 กก. Fe/น้ำ 100 ลิตร	พ่นในอัตรา 45 ลิตร/ไร่
ถั่วเหลือง	Fe chelate	0.17 กก. Fe/น้ำ 100 ลิตร	พ่นในอัตรา 45 ลิตร/ไร่
ฝ้าย	$FeSO_4 7H_2O$	1.16 กก. Fe/น้ำ 100 ลิตร	พ่นในอัตรา 45 ลิตร/ไร่
ท้อ องุ่น [2] ไม้ผลจำพวกเปลือกเมล็ดแข็ง (nut trees)	Fe	3-10 กก./ไร่	หว่านรอบ ๆ ต้น ถ้าใช้ฉีดทางใบใช้อัตราต่ำกว่า
ถั่วลิสง [4]	$FeSO_4$	100 กก./ไร่	หว่านระหว่างแถว
	Fe EDDHA*	53 กรัม/ไร่	ฉีดทางใบ 3 ครั้ง
[5]	$FeSO_4$	0.5% $FeSO_4$ 0.25% Tween 80	ฉีดทุกอาทิตย์ หลังปลูก 10 วัน

หมายเหตุ : * Fe EDDHA ใช้ในดินที่มีแคลเซียมคาร์บอนเนตสูง

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.2 ธาตุแมงกานีส

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้ (กก. Mn/ไร่)	วิธีการใส่ปุ๋ย
ส้ม 1	$MnSO_4$ $4H_2O$	0.2-0.5 กก. Mn/น้ำ 100 ลิตร	พ่นทางใบ
ข้าวโพด	"	1-3.5	โรยเป็นแถว
ถั่วเหลือง	"	1-3.5	โรยเป็นแถว
หอม	"	1.8-3.5	โรยเป็นแถว
กะหล่ำดอกและผักกาดหอม	"	1.6-1.9	โรยเป็นแถว
มันฝรั่ง	"	1.8-2.7	โรยเป็นแถว
ข้าวโอ๊ต ถั่ว 2 ถั่วเหลือง หอม มันฝรั่ง	Mn	3-6	โรยเป็นแถว ถ้าพ่นอัตราต่ำกว่า

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.3 ธาตุทองแดง

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้ (กก.Cu/ไร่)	วิธีการใส่ปุ๋ย
ข้าวโพด	$CuSO_4$ $5H_2O$	0.16-0.48	โรยเป็นแถว
ถั่วเหลือง	"	0.32	"
พืชผัก	"	0.16-0.64	"
ข้าว 2	Cu chelate	0.03-0.13	"
(ดินอินทรีย์)	$CuSO_4$ $5H_2O$	6 กก./ไร่	คลุกกับดิน

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.4 ธาตุสังกะสี

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้ (กก.Zn/ไร่)	วิธีการใส่ปุ๋ย
ข้าว	$ZnSO_4$	1.3-1.8	หว่านก่อนปลูก
	Zn chelate	0.16	"
ข้าวโพด	$ZnSO_4$	0.8-1.8	โรยเป็นแถว
	Zn chelate	0.16-0.32	"
ข้าวฟ่าง	$ZnSO_4$	0.6-1.4	"
	Zn chelate	0.16-0.32	"
ถั่วเหลือง	$ZnSO_4$	0.32-0.64	"
	Zn chelate	0.16-0.32	"
หอม	Zn chelate	0.05-0.11	"

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.5 ธาตุโบรอน

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้	วิธีการใส่ปุ๋ย
ส้ม	Borax ($Na_2B_4O_7$)	30-60 กรัม B/ต้น	หว่านรอบ ๆ ต้น
ถั่วลิสง	"	48-96 กรัม B/ไร่	หว่าน
ถั่วเหลือง	"	96-176 กรัม B/ไร่	"
ฝ้าย	"	96-176 กรัม B/ไร่	"
		32-96 กรัม B/ไร่	โรยเป็นแถว
ถั่วลิสง ถั่วเขียว (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)	"	0.5-1 กก. Borax/ไร่	"

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.5 ธาตุโบรอน (ต่อ)

คำแนะนำชนิดและอัตราการใช้โบรอนในดินและการฉีดทางใบสำหรับพืชต่าง ๆ

พืชรากตื้น

ชนิดพืช	ปริมาณ Borax ใส่ในดิน (กก./ไร่)	การให้ปุ๋ยโบรอน	
		Solubor (20.9%B) สำหรับการให้ทางใบ	Granubor* (15.0%B) สำหรับการให้ทางดิน
Carnation	1.44-2.88	ใช้ในอัตรา 7 กรัม (ประมาณ 1 ช้อนตวงนมผงเด็ก) ผสมน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วทรงพุ่ม	ใช้ในอัตรา 500 กรัม/ไร่ หว่านให้ทั่วแปลง หรือใช้ผสมกับปุ๋ยเคมีที่มีการใช้ตามปกติอยู่แล้ว
Chrysanthemum	0.64-2.88		
Gradioli	0.64-2.88		
Roses	1.94-2.88		
Flowers, general	0.64-2.88		
Kale	1.44-2.88	สามารถใช้ Solubor ผสมร่วมกับสารกำจัดศัตรูพืชฉีดไปในคราวเดียวกันได้ โดยฉีดพ่น 1-2 ครั้ง ในช่วงหลังการปลูกพืช 15-30 วัน และฉีดพ่นอีก 1-2 ครั้ง ในช่วงที่เริ่มให้ผลผลิต	หว่านให้ทั่วแปลง โดยใส่ในช่วงเตรียมแปลง ถ้ามีการใส่โดโลไมต์ ให้ใส่ Granubor หลังการใส่โดโลไมต์แล้ว 2 สัปดาห์
Cabbage	1.44-2.88		
Celery	1.44-2.88		
Lettuce	1.44-2.88		
Spinach	1.44-2.88		
Blackberry	1.44-2.88		
Blueberry	0.64-2.88		
Raspberry	1.44-5.76		
Strawberry	0.64-1.44		
Carrot	0.80-01.60		
Potato	0.32-0.80		
Tea	1.28-2.08		

พืชรากลึก

ชนิดพืช	ปริมาณ Borax ใส่ในดิน กรัม/ต้น	การให้ปุ๋ยโบรอน	
		Solubor (20.9%B)	Fertibor* (15.0%B)
Apple	130-450	ให้ใช้ Solubor 7 กรัม ผสมน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่น ในช่วงเริ่มออกดอก 1-2 ครั้ง หลังจากที่มีการติดผลอ่อนแล้ว ไม่ควรฉีดในช่วงที่มีการผสมเกสร	ให้ใช้ Fertibor 50-70 กรัมหว่านรอบโคนต้นภายใต้ทรงพุ่ม ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว
Apricot	130-250		
Peach	90-130		
Pears	130-450		
Plum	130-250		
Coffee	20-40		
Citrus	50-125		

ที่มา : ปรับปรุงจาก Boron deficiency : Its prevention and cure. 1989.
และเอกสารแนะนำการใช้ปุ๋ยโบรอน ของ บริษัท US Borax, USA.

* ปัจจุบันนิยมใช้ Fertibor และ Granubor มากกว่าที่จะใช้ Borax

ตารางที่ 68 (ต่อ) ชนิดของปุ๋ยจุลธาตุ อัตราที่ใช้ และวิธีการใส่สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

3.6 ธาตุโมลิบดีนัม

พืช	ชนิดของปุ๋ย	อัตราที่ใช้	วิธีการใส่ปุ๋ย
ถั่วเหลืองและถั่วลิสง	$Na_2 MoO_4 2H_2O$	160 80	โรยเป็นแถวคลุกเมล็ด
กะหล่ำดอก	"	3.2-4.8	พ่นทางใบ
ส้ม	"	1 กรัม Mo/ต้น	"

ที่มา : พิชิต และปรีชา (2535)

1 ปรีดาและคณะ (ไม่ระบุปีพิมพ์)
2 พจนีย์และคณะ (2536)
3 เพิ่มพูน (2532)
4 Kurmarohita (1966)
5 Rattanarat และคณะ (1987)

4. การใส่ปุ๋ยเคมีและหินปูน

การใส่ปุ๋ยเคมีบางชนิดและหินปูน ซึ่งมีจุลธาตุเป็นองค์ประกอบ ก็จะเป็นการเพิ่มจุลธาตุบางชนิดให้กับดิน ดังนั้นในดินที่ขาดจุลธาตุบางอย่าง จะไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยจุลธาตุเลยก็ได้ถ้าใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Rock phosphate) ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา หรือปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์และปูน ซึ่งมีจุลธาตุอาหารชนิดต่าง ๆเจือปนอยู่ ดังตารางที่ 69

ตารางที่ 69 ปริมาณจุลธาตุอาหารบางชนิด (ppm) ในปุ๋ยเคมีและหินปูน

จุลธาตุอาหาร	หินฟอสเฟตบด	ซูเปอร์ฟอสเฟต	หินปูนบด
Fe	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน
Mn	85	51	850
Cu	100	23	5
Zn	342	168	35
B	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน
Mo	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน
Cl	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน

ที่มา : คณาจารย์ปฐพีวิทยา

1 พจนีย์ และคณะ (2530)

อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้
Exchangeable Alluminum

อลูมินัม (Al) ไม่ใช่ธาตุอาหารพืช เป็นธาตุที่มีปริมาณมากในแร่ปฐมภูมิ (primary mineral) และแร่ทุติยภูมิ (secondary mineral) เช่น อลูมิโนซิลิเกต ซึ่งมีทั้งแร่เฟลด์สปาร์ ไมก้าและแร่ดินเหนียว นักวิจัยทั้งทางด้านดินทางเคมี แร่ในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน สนใจความเกี่ยวข้องของอลูมินัมในการแลกเปลี่ยนและความเป็นกรดของดิน และยังไม่ค่อยเข้าใจระหว่าง Al ซึ่งอยู่ในรูปแลกเปลี่ยนได้ที่ผิวดิน สมดุลกับสารละลาย unbuffered salt ที่ถูกปลดปล่อยไปและ Al ที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้

อลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อลูมินัมที่สกัดได้เนื่องจากไม่สามารถแยกแยะได้อย่างถูกต้องระหว่างรูปของ Al เหล่านั้น เพราะไม่ได้วิเคราะห์อลูมินัมที่ละลานได้ การที่มีอลูมินัมมากเกินไปในดินจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อาการเป็นพิษของอลูมินัมพบที่ปลายใบแก่ มีสีเหลืองทองส้มที่เส้นใบ ต่อมาก็จะมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น และปริมาณอลูมินัมในพืชไม่ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นพิษของอลูมินัม ดังนั้น การเป็นพิษของอลูมินัมจึงไม่ได้สังเกตจากอาการผิดปกติของพืชมากนัก (ทัศนีย์ 2534)

เมื่อดินมี pH <3.5 H^{+} และ Fe^{3+} อาจจะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชแต่อลูมินัมที่ละลายได้เป็นอันดับแรกที่ทำอันตรายต่อพืชในดินเปรี้ยวจัด อลูมินัมปรากฏอยู่ใน colloidal hydroxide หรือซัลเฟต เมื่อ pH<4 ถึง 4.5 อลูมินัมจะละลายออกมามากที่สุด ซึ่ง Van Breeman (1973, 1976) ได้แสดงให้เห็นว่า Al^{+3} ขึ้นอยู่กับ pH ของดิน และจะเพิ่มขึ้น 10 เท่า เมื่อ pH ของดินลดลง 1 หน่วย และพบว่า ในน้ำใต้ดินของดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทยมี Al^{3+} 0.015 mol m^{-3} (0.4 ppm) ที่ pH 5.5 ถึง 2.12 mol m^{-3} (54 ppm) ที่ pH 2.8 ในการทดลองการ oxidation ในดินเปรี้ยวจัด Al^{+3} มีปริมาณ 0.1 mol m^{-3} (2.7 ppm) เมื่อ pH 4 ถึง 58 mol m^{-3} (1500 ppm) เมื่อ pH 1.8

ความเข้มข้นของ Al^{3+} ต่ำเพียง 0.04 ถึง 0.08 mol m^{-3} (1 ถึง 2 ppm) มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตพืช ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างต่อความทนพิษของ Al ของแต่ละพืชมาก อลูมินัมที่ละลายได้จะสมในรากจะหยุดยั้งการแบ่งเซลล์ และการยืดตัวของเซลล์ และมีผลกระทบต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์ phosphokinase และ ATPase ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ผนังเซลล์ (Rorison 1973) ทำให้พืชแคระแกร็น รากสั้น และยับยั้งการดูดกินฟอสเฟต และการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสสู่ส่วนยอด นอกจากนี้ผลเสียทางอ้อม คือ การที่ดินมีอลูมินัมและเหล็กมากเกินไป จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดลง เนื่องจากเหล็กและอลูมินัมจะตรึงฟอสฟอรัสในดิน ไม่ปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช (Foy and Brown, 1963; Hesse, 1961) ดังนั้น ถึงแม้ว่าดินจะมีฟอสฟอรัสมากเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชอาจแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงดังกล่าว

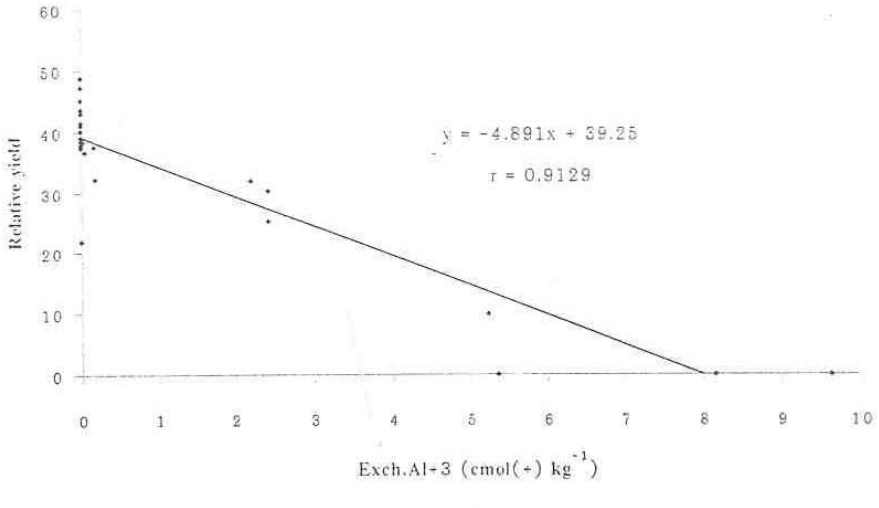
ดินกรดและดินกรดจัด ถ้า pH ของดินต่ำ ความเป็นพิษของอลูมินัมจะมากเมื่อดินมี pH<5.0 แต่ปกติแล้ว ความเป็นพิษของอลูมินัมไม่เกิดเมื่อดินมี pH>5.5 (Kamprath และ Foy 1971) แต่สำหรับดินที่มีแร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นแร่หลักในดิน ความเป็นพิษของอลูมินัม

อาจเกิดขึ้นได้เหมือนกันที่ pH ของดิน 5.5 (Sumner and Meyer 1971, Foy 1984) ดังนั้น สำหรับดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ซึ่งมีแร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นแร่หลักนั้น (พจนีย์, 2535) จำเป็นจะต้องปรับ pH ของดินให้เพิ่มมากกว่า 5.5 เพื่อให้อลูมินัมตกตะกอนให้หมดจริง ๆ จะได้ไม่เป็นพิษต่อพืช เพราะว่า อลูมินัมในสารละลายดินมากกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนจะเป็นต้นเหตุของการลดลงของผลผลิตของพืช (Sanchez, 1976) ความสำคัญของการเป็นพิษของอลูมินัมในดินสามารถพิจารณาจากค่าที่วิเคราะห์และคำนวณได้ 2 ค่า คือ

1. อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ในดิน วิธีวิเคราะห์อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อลูมินัมที่สกัดได้แตกต่างกันไปแต่ละประเทศ และการแปลผล ก็เช่นเดียวกันแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชต่อความทนต่ออลูมินัม บางพืชอาจจะแตกต่างกันตามพันธุ์พืช เนื่องจากมีความทนต่อความเป็นพิษไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะเป็นพืชชนิดเดียวกัน

ดังนั้น pH ของสารละลายดินจะประเมินถึงปริมาณอลูมินัมในสารละลายดินได้โดยเฉพาะในดินกรดและดินกรดจัดที่มีอลูมินัมเป็นสารประกอบอยู่ในดินมาก แต่ถ้ามีปริมาณน้อยก็ยากที่จะประเมินปริมาณ ดังนั้น จึงไม่ค่อยจะมีผู้ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) ในเรื่องนี้มากนัก สำหรับประเทศไทย พจนีย์ และคณะ (2544) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ และ pH ของดินเปรี้ยวจัดภาคกลางของประเทศไทยมีความสัมพันธ์น้อยมาก ซึ่งบางชุดดินถึงแม้ว่าจะมี pH ต่ำมาก แต่ก็มีอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ไม่สูงมากนัก

แต่สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืช และอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ในดินเปรี้ยวจัดนั้น พจนีย์ และคณะ (2535) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนของดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ โดยทดลองปลูกข้าวในกระถางพบว่า ค่าอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ในดินมีความสัมพันธ์กับผลผลิตของข้าว (รูปที่ 16) และ (ตารางที่ 70)



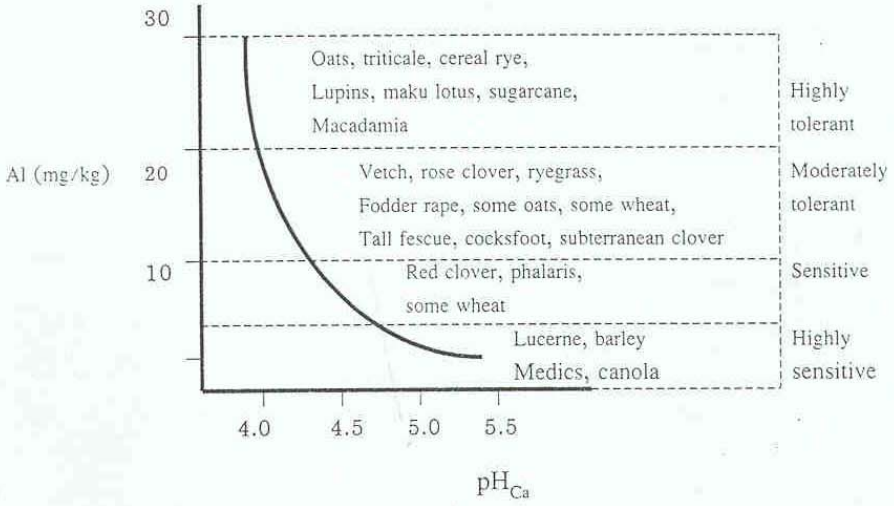
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้กับผลผลิตของข้าว ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ของประเทศไทย (พจนีย์ และคณะ, 2535)

ตารางที่ 70 อิทธิพลของอลูมินัมต่อผลผลิตของข้าวในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้

Exch. Al^{3+} (cmol kg^{-1})	น้ำหนักผลผลิตข้าวเฉลี่ย กรัม/กระถาง	Relative yield (%)
0	40.63	100.00
0.04	37.40	92.05
0.18	34.89	85.87
2.36	29.10	71.62
5.30	4.96	12.21
8.17	0	0

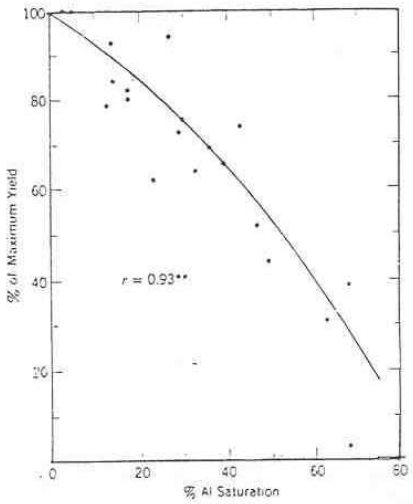
ที่มา : พจนีย์ และคณะ (2535)

พืชมีความทนต่ออลูมินัมแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดพืช และพันธ์พืชที่ปลูกในดินที่มีปริมาณ อลูมินัมเป็นพิษปานกลาง พืชที่ทนต่ออลูมินัม เช่น ข้าวสาลีบางพันธุ์อ้อย และแมกคาดาเมีย สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตโดยไม่มีผลกระทบต่อความเป็นพิษของอลูมินัม อย่างไรก็ตามควรระวังและจดจำไว้ด้วยว่า เมื่อไรก็ตามที่ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น และปริมาณอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น เมื่อนั้น แม้พืชที่ทนต่ออลูมินัมก็จะได้รับผลกระทบ ความสัมพันธ์ระหว่างอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้และpH ของพืชต่าง ๆ แสดงไว้รูปที่ 17



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้และ pH ของดิน (ใน $CaCl_2$) ต่อระดับความทนต่ออลูมินัมของพืชชนิดต่าง ๆ

2. ค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมในดิน (Al-saturation) ซึ่งใช้เป็นค่าบ่งบอกสภาพปัญหาของ อลูมินัมต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชในดินกรดได้ดี กล่าวคือ ผลผลิตของพืชจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมในดินเพิ่มขึ้น (รูปที่ 18)



รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมของดินกับผลผลิตของ snap bean ในดินอันดับออกซิโซลส์และอัลฟิโซลส์จากเปอร์โตริโก (Abruna และคณะ, 1975)

ค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมนั้น เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\% \text{ Al-saturation} = \frac{\text{อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ (วิธี KCl 1N)}}{\text{ผลรวมประจุบวกที่เป็นด่าง+กรดที่แลกเปลี่ยนได้ (วิธี KCl 1 N)}} \times 100$$

$$\text{หรือ} = \frac{\text{Exchangeable aluminum}}{\text{CEC by sum (Effective CEC)}} \times 100$$

การใช้ค่าวิกฤตของค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมแตกต่างกันไป เนื่องจากค่าวิกฤตของค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัม และ pH มีผลกระทบต่อผลผลิตของพืชจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช และยังแตกต่างกันตามชนิดของดินอีกด้วย ค่าวิกฤตของพืชส่วนใหญ่มีผลผลิตมากกว่า 90% ของผลผลิตสูงสุด เมื่อค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมอยู่ระหว่างน้อยกว่า 7-น้อยกว่า 20 และเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตสูงสุดของพืชจะลดลงเมื่อค่าความอิ่มตัวของอลูมินัมเพิ่มขึ้น และจะให้ผลผลิตต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตสูงสุด เมื่อค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัมของดิน มีปริมาณระหว่าง 45-50 เปอร์เซ็นต์ (เจริญและคณะ, 2540) ค่าวิกฤตของความอิ่มตัวด้วยอลูนินัมและ pH ของดินต่อผลผลิตของพืชต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 71

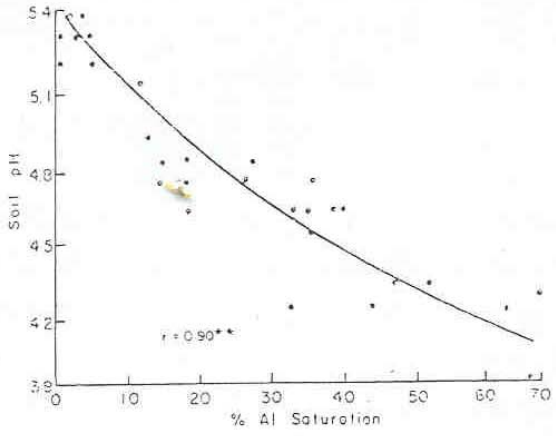
ตารางที่ 71 ค่าวิกฤตของความอิ่มตัวด้วยอลูมินัม และ pH ของดินต่อผลผลิตพืชชนิดต่าง ๆ

แหล่งปลูก	ชนิดพืช	ระดับวิกฤต (Critical level)			
		ผลผลิตสูงสุด < 50%		ผลผลิตสูงสุด > 90%	
		pH	Al-sat(%)	pH	Al-sat(%)
บราซิล	ข้าวโพด	-	-	5.3-5.6	<10
ปอร์โตริโก	ข้าวโพด	4.4	50	5.0	<15
อเมริกา	ข้าวโพด	4.5	60	5.1	<40
ฟิลิปปินส์	ข้าวโพด	4.4	46	5.0	<20
บราซิล	ถั่วเหลือง	-	-	5.6	<10
ปอร์โตริโก	ถั่วเหลือง	5.0	20	5.6	<10
อเมริกา	ถั่วเหลือง	4.9	40	5.6	<20
ปอร์โตริโก	อ้อย	4.4	50	5.0	<10
อเมริกา	ฝ้าย	5.0	45	5.0	<7
ยูกานดา	ฝ้าย	-	-	5.3	0

ที่มา : Kamprath (1980)

อ้างโดย : เจริญ และคณะ (2540)

ดังได้กล่าวแล้ว pH ของสารละลายดินจะบ่งบอกถึงปริมาณอลูมินัมในสารละลายดิน โดยเฉพาะในดินกรดที่มีอลูมินัมอยู่ในดินมาก ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง pH และอลูมินัมมักจะศึกษากับค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัม ซึ่งมีสหสัมพันธ์สูงกว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง pH และปริมาณอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ หรือสกัดได้ (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความอิ่มตัวด้วยอลูมินัม ในดินอันดับอุลติโซลส์และออกซิโซลส์ จากเปอร์โตริโก (Sanchez, 1976)

อ้างโดย : เจริญ และคณะ (2540)

สำหรับดินในประเทศไทย ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ pH ของดิน อลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ (Exch. Al) และค่าความอิ่มตัวด้วยอลูมินัม (Al-saturation) บ้าง เช่น เจริญและคณะ (2540) ได้แสดงตัวอย่างของค่าทั้งสามค่านี้ สำหรับดินกรดประเทศไทย (ตารางที่ 72 และ 73)

การแก้ไขความเป็นพิษของอลูมินัม

การแก้ไขความเป็นพิษของอลูมินัม สำหรับดินกรด คือ การใส่ปูน วิธีวิเคราะห์ หรือประเมินความต้องการปูนสำหรับดินกรด ดินเปรี้ยวจัดภาคกลาง และดินเปรี้ยวจัดภาคใต้นั้น จำเป็นจะต้องวิเคราะห์อลูมินัมโดยสกัดด้วย 1N KCl แล้วนำมาคำนวณซึ่งสูตรในการคำนวณปรับปรุงมาจากของวิธีประเมินความต้องการปูนโดยวิธีของ Sanchez (1976) และวิธีของ McLean (1967) ดังนี้

ดินเปรี้ยวจัดภาคกลาง (พจนีย์ และคณะ 2544)

ปริมาณความต้องการปูน = 1.5 X Exch.Al X 192 กก. $CaCO_3$/ไร่

(สำหรับการปลูกข้าว)

ปริมาณความต้องการปูน = 1.5 X Exch.Al X 160 กก. $CaCO_3$/ไร่

(สำหรับพืชไร่)

ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ (พจนีย์ และคณะ, 2535)

ปริมาณความต้องการปูน = 2.0 X Exch.Al X 192 กก. $CaCo_3$/ไร่

(สำหรับการปลูกข้าว)

ปริมาณความต้องการปูน = 2.0 X Exch.Al X 160 กก. $CaCO_3$/ไร่

(สำหรับพืชไร่)

สำหรับการแนะนำปริมาณปูนที่จะใส่จะต้องคำนวณค่าการทำให้เป็นกลางตามชนิดของปูนด้วย เพราะปูนแต่ละชนิดมีค่าการทำให้เป็นกลางไม่เท่ากัน (ดูเรื่องความต้องการปูน) และปริมาณการใส่จึงต้องขึ้นกับชนิดของปูน และปริมาณปูนขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วย Sanchez (1976) ได้สรุปไว้ว่า factor ตัวคูณจะเป็น 1.5 หรือ 2 นั้น เหมาะสมสำหรับดินที่มีอินทรีย์วัตถุระหว่าง 0-7% เนื่องจากที่เกิน 1 นั้น เป็นการใส่ปูนสำหรับสะเทิน H^+ ที่ถูกปลดปล่อยจากอินทรีย์วัตถุ อย่างไรก็ตาม factor นี้อาจจะมากกว่า 2 ก็ได้ ถ้าอินทรีย์วัตถุเกินกว่า 7% นอกจากนี้ ปริมาณปูนควรจะต้องคำนึงถึงเนื้อดินด้วย เช่น ดินเนื้อหยาบ โดยเฉพาะดินกรดภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นดินทราย เมื่อคำนวณปูนแล้วอาจจะใส่เพียงครั้งเดียว มิฉะนั้นอาจจะทำให้เกิดสภาพการเกินปูนได้ (overliming) เนื่องจากดินที่มีทรายสูง จะมีสมบัติเป็น low buffering capacity

วิธีใส่ปูน ถ้าปลูกข้าว ควรใส่คลุกเคล้าให้เข้ากับดินบน ทำให้ดินมีความชื้นเท่ากับความจุสนาม เพื่อให้ปูนทำปฏิกิริยากับดิน 1 อาทิตย์ แล้วจึงขังน้ำปลูกข้าว pH ของดินจะเพิ่มขึ้น และอลูมินัมแลกเปลี่ยนได้ที่เป็นพิษต่อพืชจะลดลง หรือหมดไป และถ้า pH ของดินเกินกว่า 5.2 อลูมินัมจะตกตะกอนหมด หรือเหลือน้อยมาก แต่ถ้า pH >5.5 แล้ว จะตกตะกอนหมดและยังเป็น pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวด้วย

ตารางที่ 72 ตัวอย่างค่า pH Exch. Al และ Al-saturaton ของดินกรดประเทศไทยที่ระบายน้ำดี (well drained soil) บางชุดดิน

	Horizon (cm)	pH (1:1 น้ำ)	Exch.Al (cmol kg^{-1})	Al-saturation (%)
ดินอันดับออกซิโซลส์				
- ชุดดินท่าใหม่ (Ti)	0-20	5.3	0.2	82
	20-50	5.3	0.3	83
	50-95	5.2	0.7	91
	95-125	5.3	0.3	88
	125-155	5.2	0.5	90
	155-180	5.1	0.4	88
- ชุดดินโชคชัย (Ci)	0-10/14	4.4	0.1	69
	10/10-36	4.2	0.2	83
	36-60	3.9	1.7	91
	60-86	3.8	1.7	90
	86-120	3.8	1.7	91
	120-156	3.9	1.9	92
	156-185	3.9	1.9	95
	185-220	4.1	1.7	94
ดินอันดับอุลติโซลส์				
- ชุดดินปากช่อง (Pc)	0-12	6.2	0.4	48
	12-30	5.3	3.9	60
	30-53	4.4	5.0	82
	53-90	4.4	5.0	93
	90-37	4.4	3.6	93
	137-160	4.1	3.6	84
	160-200	4.1		83
- ชุดดินยโสธร	0-14	5.8	tr	56
	14-34	4.1	0.3	85
	34-62	4.3	0.2	82
	62-85	4.1	0.6	84
	85-115	4.1	0.8	85
	115-150	4.1	0.7	77
	150-175	4.1	0.5	74
	175-200	4.1	0.5	83

ตารางที่ 72 ตัวอย่างค่า pH Exch. Al และ Al-saturaton ของดินกรดประเทศไทยที่ระบายน้ำดี (well drained soil) บางชุดดิน

	Horizon (cm)	pH (1:1 น้ำ)	Exch.Al (cmol kg^{-1})	Al-saturation (%)
- ชุดดินพังงา	0-16	4.2	0.7	88
	16-33	4.2	1.3	96
	33-62	3.9	1.5	98
	62-85	4.0	1.7	97
	85-112	4.3	1.6	96
	112-135	4.1	1.6	97
	135-155	4.0	1.8	96
	155-180	4.4	2.0	94
- ดินอันดับอัลฟิโซลส์	0-13	5.5	rt	44
- ชุดดินสีคิ้ว (Si)	13-33	5.2	0.5	58
	33-53	5.3	0.6	59
	53-75	64	tr	35
	75-94	5.8	tr	39
	94-125	5.5	tr	37
	125-152	6.0	tr	33
	152-190	7.3	tr	21

ที่มา : บุรี (2526)
อ้างโดย เจริญ และคณะ (2540)

วิธีใส่ปูน ถ้าปลูกข้าว ควรใส่คลุกเคล้าให้เข้ากับดินบน ทำให้ดินมีความชื้นเท่ากับความจุสนาม เพื่อให้ปูนทำปฏิกิริยากับดิน 1 อาทิตย์ แล้วจึงขังน้ำปลูกข้าว pH ของดินจะเพิ่มขึ้นและอลูนินัมแลกเปลี่ยนได้ที่เป็นพิษต่อพืชจะลดลง หรือหมดไป และถ้า pH ของดินเกินกว่า 5.2 อลูนินัมจะตกตะกอนหมด หรือเหลือน้อยมาก แต่ถ้า pH > 5.5 แล้ว จะตกตะกอนหมดและขังเป็น pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวด้วย

สำหรับพืชอื่น ควรจะใส่ปูนให้ความเป็นพิษของอลูมินัมหมดไป และปรับ pH ให้สูงขึ้นเท่าที่พืชที่จะปลูกต้องการ นักปฐพีวิทยาหลายคนได้สังเกตพื้นที่ที่มีอลูมินัมในปริมาณมาก มีพืชชนิดหนึ่งชื่อโคลงเครง พืชพุ่มเล็กดอกสีแดงขึ้นอยู่ประปราย บางแห่งหนาแน่น โดยเรียกกันติดปากว่า aluminum eating plant จะขึ้นมากในพื้นที่ทั่ว ๆ ไปที่เป็นดินกรด กรดจัด หรือเปรี้ยวจัด เท่าที่เคยพบภาคใต้ จ.นราธิวาส ปัตตานี ภาคกลาง นครนายก ปราจีนบุรี ภาคเหนือ ที่ลำปาง เป็นต้น เคยนำต้นไม้นี้ให้ห้องปฏิบัติการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณอลูมินัมในต้นพืชสูงจริง ดังนั้น ถ้าพบว่ามีพืชชนิดดังกล่าวขึ้นอยู่อาจจะอนุมานได้ว่า พื้นที่นี้มีปริมาณอลูมินัมอยู่พอสมควรแต่จะมีปริมาณมากจนเป็นพิษหรือไม่จะต้องเก็บดินไปวิเคราะห์

ตารางที่ 73 ปฏิกิริยาของดิน (pH) และอลูมินัมในดินของชุดดินเปรี้ยวจัด และชุดดินที่ได้รับอิทธิพลความเป็นกรดในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด

	Horizon (cm)	pH (1:1 น้ำ)	Exch.Al cmol kg^{-1}	Al-saturation (%)
บางน้ำเปรี้ยว (Bp)	0-20	3.5-6.4	0-2.70	0-7.52
	20-40	3.5-8.9	0-4.60	0-11.92
มหาโพธิ (Ma)	0-20	3.6-8.5	0-16.10	0-71.45
	20-40	3.6-7.5	0-54.30	0-69.80
อยุธยา (Ay)	0-20	3.7-6.7	0-8.49	0-29.74
	20-40	3.7-5.5	0-13.30	0-51.55
ฉะเชิงเทรา (Ce)	0-20	3.7-6.4	0-6.14	0-28.26
	20-40	3.7-6.3	0-8.80	0-31.16
เสนา (Se)	0-20	3.4-8.4	0-8.50	0-32.95
	20-40	3.8-5.7	0-12.1	0-47.01
รังสิต (Rs)	0-20	3.2-7.2	0-16.80	0-69.70
	20-40	3.4-5.8	0-18.80	0-72.06
ธัญบุรี (Tan)	0-20	3.5-5.8	0-17.45	0-29.14
	20-40	3.4-6.3	0-17.30	0-33.83
ดอนเมือง (Dm)	0-20	3.9-5.6	0-2.90	1.49-22.31
	20-40	3.9-6.3	0-6.70	0.77-44.08
ชะอำ (Ca)	0-20	4.0-6.4	0-2.30	1.57-6.82
	20-40	3.5-6.4	0-3.50	1.39-11.08
รังสิตกรดจัด (Rs/a)	0-20	3.3-4.65	1.50-20.3	4.21-72.13
	20-40	3.5-3.85	13.20-16.70	39.40-70.23
องครักษ์ (Ok)	0-20	3.2-6.5	0-13.10	0-74.11
	20-40	3.2-5.0	0-17.67	1.19-90.60
มูโน๊ะ (Mu)	0-20	3.8-6.8	0-4.47	0-14.60
	20-40	3.4-7.2	0-6.99	0-13.74
บางกอก (Bk)	0-20	4.2-6.7	0-1.90	0-4.88
	20-40	4.1-6.7	0-5.53	0-16.67
บางเลน (Bl)	0-20	4.3-7.0	0-1.68	0-7.94
	20-40	4.2-7.3	0-2.46	0-4.98
บางเขน (Bn)	0-20	4.0-7.1	0-9.69	0-48.92
	20-40	3.4-7.1	0-13.37	0-50.53
บางปะอิน (Bin)	0-20	4.2-5.6	0-8.00	0-32.39
	20-40	4.1-6.0	0-10.40	0-44.07
แกลง (Kl)	0-20	4.0-6.30	0.5-5.0	4.76-65.79
	20-40	3.8-5.0	1.6-9.4	21.33-67.57

หมายเหตุ ตัวอย่างดินที่มี pH ใกล้กับ 7 หรือมากกว่า 7 อาจพื้นที่ที่เคยมีการใส่ปูนมาก่อนหรือมีแร่ยับซั่มในดิน

ที่มา : พจนีย์ และคณะ (2544)

การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากผลการวิเคราะห์ดินนั้นมีผู้คิดค้นวิธีการหลายรูปแบบด้วยกัน ส่วนใหญ่จะใช้สมบัติของดินบางประการร่วมกับปริมาณธาตุอาหารหลักบางธาตุรวมถึงปริมาณอินทรียวัตถุ ดังนั้น จะนำวิธีต่าง ๆ ในการประเมินและสามารถนำไปใช้ได้เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาในการแปลผลการวิเคราะห์ดิน (soil analysis data interpretation) และแนะนำการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินและการใส่ปุ๋ย โดยพิจารณาว่าวิธีการใดที่เหมาะสมสำหรับดิน หรือพืชที่แนะนำ การจัดระดับความอุดมสมบูรณ์สำหรับดินทั่ว ๆไปแสดงในตารางที่ 74

ตารางที่ 74 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์	อินทรีย์วัตถุ %	การอิ่มตัวด้วยประจุด่างที่เป็นบวก %	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก cmol/kg	ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ mg/kg	ธาตุโพแทสเซี่ยม mg/kg
ต่ำ	ต่ำมาก <0.5 ต่ำ 0.5 - 1.0 ต่ำ ปานกลาง 1.0-1.5	ต่ำ <35 -	ต่ำมาก <3.0 ต่ำ 3-5 ต่ำ ปานกลาง 5.0-10	ต่ำมาก <3 ต่ำ 3-6 ต่ำ ปานกลาง 6-10	ต่ำมาก <30 ต่ำ 30-60 -
ปานกลาง	ปานกลาง 1.5 - 2.5 สูง ปานกลาง 2.5 - 3.5	ปานกลาง 35 - 75 ปานกลาง -	ปานกลาง 10 - 15 สูง ปานกลาง 15 - 20	ปานกลาง 10 - 15 สูง ปานกลาง 15 - 25	ปานกลาง 60 - 90 -
สูง	สูง 3.5 - 4.5 สูงมาก >4.5	สูง 75 -	สูง 20 - 30 สูงมาก >30	สูง 25 - 45 สูงมาก >45	สูง 90 - 120 สูงมาก >120

ที่มา : บรรเจิด 2523

กองจำแนกดิน (ปัจจุบันรวมกับกองสำรวจดิน) กรมพัฒนาที่ดิน (2516) ได้จัดระดับการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับการปลูกข้าวและพืชไร่ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 75, 76, 77

ตารางที่ 75 Rating of the selected soil test values (KEY FOR ESTIMATING NATURAL FERTILITY)

CEC	(me/100 gm soil)	Base Saturation	(%)
High	more than 20	High	more than 75
Moderately high	15 - 20	Medium	35 - 75
Medium	10 - 15	Low	Less than 35
Moderately Low	5 - 10		
Low	less than 5	Available Phosphorus	(ppm of P)
		High	more than 25
Organic Matter	(weigh %)	Medium	10 - 15
High	more than 3.5	Moderately low	6 - 10
Moderately high	2.5 - 3.5	Low	less than 6
Medium	1.5 - 2.5	Very low and very high may be used if	
Moderately low	1.0 - 1.5	Significant for values below 3 and	
Low	less than 1.0	Above 45.	

For soils with cat clay within one meter, the soil reaction (pH) at 30 cm may limit the Natural fertility as follows:

Estimated Natural Fertility	pH in 1:1 soil : water at 30 cm
Moderately low	4.2 - 4.5
Moderately low - low	4.0 - 4.2
Low	less than 4.2

ที่มา : Soil interpretation Handbook of Thailand. 1973

ตารางที่ 76 Key for estimating the natural fertility of soils mainly suited for wetland rice

C.E.C.	Base Sat.	Org. Matter	Av. Phosphate	Natural Fertility
H-MH	H	H-M	H-M	high
"	H	M-ML	M-ML	moderately high
"	M	M	H-M	moderately high
"	H	ML	M-L	moderate
"	M	M-ML	M-L	moderate
"	L	M	M	moderately low
"	L	ML	M-L	low
M	H	H-M	H	high
"	H	M	M	moderately high
"	H	ML	M-L	moderate
"	M	M	M-L	moderate
"	M	ML	H-M	moderate
"	M	ML	M-L	moderately low
"	L	ML	H-M	moderately low
"	L	M	M-L	low
ML	H	M	H-M	moderately high
"	H	ML	M-L	moderate
"	M	M	H-M	moderate
"	M	ML	M-L	moderately low
"	H	L	M-L	moderately low
"	M	L	M-L	low
"	L	ML	M-L	low
L	H	ML	M	moderately low
"	M-L	L	L	low

ที่มา : Soil interpretation handbook of Thailand. 1973.

ตารางที่ 77 Key for estimating the natural fertility of soils mainly suited for upland crops

C.E.C.	Base Sat.	Av. Phosphate	Natural Fertility
H-MH	H	H	high
"	M	H	moderately high
"	L	M	moderately low
"	H	MH-M	moderately high
"	H	L	moderate
"	M	M-L	moderately
M	H	H	high
"	M	H	moderately high
"	L	H	moderately low
"	H	M	moderately high
"	H	L	moderate
"	M	M-ML	moderate
"	M	L	moderately low
"	L	M-L	moderately low
ML	H	H	moderately high
"	M	H	moderately
"	L	H-M	moderately low
"	H	M	moderate
"	M	M-L	moderately low
"	L	L	low
L	H	M	moderately low
"	M-L	M-L	low

ที่มา : Soil interpretation handbook of Thailand. 1973.

กองสำรวจและจำแนกดินได้จำแนกความเหมาะสมของที่ดิน สำหรับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี 2523 โดยนำลักษณะต่าง ๆ ของดินมาใช้จำแนกความเหมาะสม อาทิเช่น ความลึกของดิน เนื้อดิน ชั้นดินอินทรีย์ (organic horizon) ปริมาณชิ้นส่วนที่เป็นของแข็งในดิน ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน ความสามารถของดินที่จะใช้แร่ธาตุอาหารพืช ปฏิกิริยาดิน ความลึกของชั้นดินที่มีสารจาโรไซท์ (jarosite) ความเค็มของดิน การระบายน้ำของดิน สภาพน้ำท่วม สภาพภูมิประเทศและการมีหินโผล่ สำหรับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับให้แร่ธาตุอาหารพืชนั้น จากการศึกษาความต้องการแร่ธาตุอาหารสำหรับพืชต่าง ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ สามารถนำเอาสมบัติทางเคมีบางประการมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังตารางที่ 78

ตารางที่ 78 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยกองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	การอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%)	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก mc/ดิน 100 กรัม	ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P: ppm) (Bray II)	ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K : ppm)
ต่ำ	<1.5 (1)	<35 (1)	<10 (1)	<10 (1)	<60 (1)
ปานกลาง	1.5 - 3.5 (2)	35 - 75 (2)	10 - 20 (2)	10 - 25 (2)	60 - 90 (2)
สูง	>3.5 (3)	>75 (3)	>20 (3)	>25 (3)	>90 (3)

วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ใช้วิธีให้คะแนน (ซึ่งตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง) ถ้ามีผลรวมคะแนน 7 หรือน้อยกว่า ถือว่ามีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ถ้ามีผลรวมคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่ามีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ถ้าผลรวมคะแนน 13 หรือมากกว่าถือว่ามีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง

ที่มา : คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ 2523

การแนะนำปุ๋ยจากค่าการวิเคราะห์ดินกับพืชต่าง ๆ

ดังได้กล่าวในบทนำแล้วว่า การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการวัดระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารนั้น สามารถทำการตรวจวัดได้หลายวิธี วิธีการทำแปลงทดลองการใช้ปุ๋ยกับพืชในสภาพไร่นา เป็นวิธีการที่ถูกต้องแม่นยำสูง แต่ผลการทดลองที่แห่งหนึ่งบางครั้งไม่สามารถนำไปใช้ในที่อีกแห่งหนึ่งได้ เนื่องจากสภาพดิน ภูมิอากาศแตกต่างกันนั้น ในเรื่องนี้นักวิชาการเกษตรได้ทำการทดลองในไร่นาถึงการตอบสนองของปุ๋ยกับพืชชนิดต่าง ๆ ในดินที่เหมือนกันและแตกต่างกันมาเป็นระยะเวลายาวนาน เพื่อที่จะได้ข้อมูลความต้องการธาตุอาหารแต่ละธาตุตามชนิดของพืชแต่ละชนิดของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดินที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดกินธาตุเหล่านั้นของพืช หรือผลผลิตของพืช เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้กำหนดสูตรและอัตราการใช้ปุ๋ยโดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่เกษตรกร

การใช้ปุ๋ยเคมีในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดอีกมาก เกษตรกรใช้ปุ๋ยไม่มีประสิทธิภาพ รัฐควรจะเข้ามามีบทบาทในเรื่องนี้มากขึ้น โดยต้องมีมาตรการในการควบคุมป้องกันการเอารัดเอาเปรียบเกษตรกรที่ขาดความรู้ในเรื่องการปนปลอมปุ๋ย การบรรจุปุ๋ยน้อยกว่าที่ระบุไว้ การกำหนดราคาโดยประมาณ และมีปุ๋ยเพียงพอในทุกพื้นที่และทันต่อฤดูปลูก การใช้ปุ๋ย N P และ K ไม่สมดุลกับธาตุอาหารในดิน Maene (2538) ชี้ให้เห็นว่าประเทศในแถบภูมิภาคเอเชียมีโอกาสในการเพิ่มผลผลิตได้อีกถ้ามีการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น แต่การใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้นมีข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งข้อจำกัดแต่ละประเทศแตกต่างกัน แต่ข้อจำกัดที่เหมือนกันคือ พื้นที่เพาะปลูกมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ประชากรเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ Eswaran (1998) ได้ประเมินเกี่ยวกับการเพิ่มของประชากรและข้อจำกัดของการใช้ที่ดินของประเทศไทยในแถบเอเชียว่า ในปี 2568 ประชากรของประเทศไทยอาจเพิ่มขึ้นเป็น 80 ล้านคน ซึ่งในเวลานั้นประเทศไทยคงต้องผลิตข้าวแค่เลี้ยงประชากรเท่านั้น คงจะไม่มีความสามารถในการผลิตเพื่อการส่งออก เนื่องจากพื้นที่ของประเทศเพียง 6.6% เท่านั้นที่เป็นพื้นที่ที่ไม่มีข้อจำกัดในการเพาะปลูกที่ยั่งยืน และให้ผลผลิตสูงมายาวนาน ในขณะที่อีก 26% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศมีข้อจำกัดบางอย่าง ซึ่งต้องการการลงทุนขั้นต่ำเพื่อการเกษตรยั่งยืน และควรเป็นพื้นที่อันดับแรกของทรัพยากรดินของประเทศที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้อยู่ในโครงการการจัดการดินที่เหมาะสม (Moncharoen และคณะ, 1999) โชติ สิทธิบุศย์ (2539) ได้สรุปประเด็นสำคัญที่เป็นข้อจำกัดบางประการของเกษตรกรที่ต้องมีการแก้ไข ดังนี้

(1) ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพ
(2) ราคาของธาตุอาหารปุ๋ย N,P,K ไม่เท่ากันและไม่จูงใจให้มีการใช้อย่างสมดุล
(3) ปุ๋ยที่เหมาะสมและต้องการใช้ไม่มีจำหน่าย
(4) การแนะนำการใช้ปุ๋ย ไม่มีหน่วยงานใดรับผิดชอบอย่างจริงจัง
(5) ขาดข้อมูลเกี่ยวกับปุ๋ยในรูปแบบอื่นที่สามารถนำมาใช้แทนกันได้
(6) ไม่มีความสามารถผสมปุ๋ยใช้เองกรณีต้องการปุ๋ยเป็นพิเศษสำหรับตนเอง

(7) ไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องหรือขาดแคลนข้อมูลเกี่ยวกับดิน

(8) ใส่ปุ๋ยไม่สม่ำเสมอในกรณีใช้แม่ปุ๋ย

(9) เกษตรกรใช้ปุ๋ยเพียงเพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงการบำรุงดินและการสมดุลกันระหว่างธาตุอาหาร ดังนั้น จึงควรมีการสร้างแรงจูงใจให้มีการใช้ปุ๋ยที่สมดุลในเรื่องของธาตุอาหาร ไม่ใช่เพียงเพื่อเพิ่มผลผลิตแต่เพียงอย่างเดียว

สำหรับการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพนั้น ผู้ใช้ปุ๋ยจำเป็นต้องเรียนรู้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยลดลง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 79

ตารางที่ 79 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ลดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย

ปัจจัย	ประสิทธิภาพของปุ๋ยลดลง %
เตรียมแปลงปลูกพืชไม่ดี	10-25
ปลูกพืชล่าช้ากว่ากำหนดที่เหมาะสม	20-40
ใช้พันธ์พืชไม่เหมาะสม	20-40
ใช้จำนวนต้นต่อเนื้อที่ไม่เหมาะสม	10-25
วางตำแหน่งปุ๋ยในดินและเวลาใส่ไม่เหมาะสม	5-10
วัชพืชขึ้นในแปลง	5-50
การใส่ปุ๋ยไม่สมดุล	20-50

ที่มา : International Fertilizer Correspondent (1993)

การค้นคว้าวิจัยต่าง ๆทั้งในเรื่องดิน ปุ๋ย น้ำ รวมถึงสมบัติทางเคมี ชีวเคมี และกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของพืช นั้น นักวิชาการด้านดินและปุ๋ยในประเทศไทย ได้ทำการวิจัยทดลองกันมาตลอดเวลา ข้อมูลที่น่าจะนำมาพิจารณาประกอบการแนะนำปุ๋ยที่พอจะรวบรวมได้สำหรับธาตุอาหารหลัก มีดังนี้

1. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชต่าง ๆ ที่ปลูกในดินลักษณะต่างกัน

นักวิชาการของกรมวิชาการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรของกรมส่งเสริมการเกษตร อาจารย์ด้านปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้ร่วมมือกัน นำผลการวิจัยทดลอง ซึ่งดำเนินการติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน โดยนักวิชาการกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร และผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศของกองปฐพีวิทยาที่มีอยู่ พิจารณาและปรับปรุงดัดแปลงแก้ไขคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชชนิดต่าง ๆ ให้เป็นคำแนะนำที่เกษตรกรสามารถปฏิบัติตามได้ มีอัตราการเสี่ยงต่อความเสียหายน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากลักษณะของเนื้อดินที่ปลูกและอัตราส่วนของปริมาณธาตุอาหารตามที่พืชชนิดนั้น ๆ ต้องการ อัตราการใช้ปุ๋ยกำหนดจากผลตอบแทนของผลผลิตพืชแต่ไม่ใช่อัตราปุ๋ยเคมีที่ให้ผลกำไรสูงสุด เพราะการลงทุนค่าปุ๋ยเคมีจะสูงมาก การปฏิบัติดูแลรักษาต้องเป็นไปอย่างระมัดระวัง เสี่ยงต่อ

ความเสียหายมากกว่า การกำหนดคำแนะนำเป็นไปตามลักษณะเนื้อดิน 4 ชนิด คือ ดินเหนียวสีดำ ดินเหนียวสีแดง ดินร่วน และดินทราย ซึ่งคำแนะนำตามลักษณะของเนื้อดินนี้ เป็นคำแนะนำกว้างมาก แต่ก็ยังมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นแนวทางในการใช้ในกรณีที่ไม่สามารถจะวิเคราะห์ดินทางเคมี เพื่อทราบความอุดมสมบูรณ์ของดินเฉพาะพื้นที่ สำหรับคำแนะนำสูตรปุ๋ยเคมีและอัตราการใช้สำหรับพืชต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ข้าว

คำแนะนำสูตรปุ๋ยเคมี อัตราการใช้ (กก./ไร่) ตามลักษณะของเนื้อดินตามภาคต่าง ๆของประเทศ ชนิดของการทำนา สูตรปุ๋ย ซึ่งไนโตรเจนต้องอยู่ในรูปของแอมโมเนียม อัตราการใช้ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธ์ข้าว แสดงไว้ในตารางที่ 80

ตารางที่ 80 สูตรปุ๋ยเคมีและอัตราการใช้ (กก./ไร่) ตามลักษณะของเนื้อดินและพันธุ์ข้าว

ลักษณะของเนื้อดิน	ชนิดของการทำนา	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ (N ต้องอยู่ในรูป NH_4 หรือ NH_2)	อัตราการใช้ปุ๋ยครั้งที่ 1		ชนิดของปุ๋ยและอัตราการใช้ครั้งที่ 2 (ระยะสร้างรวงอ่อน)			
					พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง		พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	
			พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง	พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์	ยูเรีย	แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์	ยูเรีย
ดินเหนียว ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	นาดำ,นาหยอด นาหว่านข้าวแห้ง นาหว่านน้ำตม นาข้าวขึ้นน้ำ	16-20-0 หรือ 16-22-0 หรือ 20-20-0	20-25	25-35	10-20	5-10	20-30	10-15
ดินร่วนและดินทราย ภาคตะวันออก เฉียงเหนือ ภาคใต้	นาดำ นาหยอด ข้าวไร่	16-16-8 หรือ 16-12-6 หรือ 15-15-15	20-25	25-35	10-20	5-10	20-30	10-15
ข้าวสาลี								
ลักษณะของเนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ	อัตราการใช้ครั้งที่ 1			ชนิดของปุ๋ย และ อัตราการใช้ครั้งที่ 2			
					แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์		ยูเรีย	
ดินร่วน	15-15-15 16-16-8	25 - 50			20 - 40		10-20	

หมายเหตุ :

1. การใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งเลือกใช้ปุ๋ยเพียงสูตรเดียวเท่านั้น
2. อัตราที่ใส่ครั้งที่ 1 และ 2 ตัวเลขตัวหน้าเป็นอัตราปกติ ตัวเลขตัวหลังเป็นอัตราที่ต้องการผลผลิตเพิ่มมากกว่าอัตราปกติ
3. ถ้าจำเป็นต้องปักดำเดือนกันยายนหรือตุลาคม ให้นำปุ๋ยครั้งที่ 2 รวมกับครั้งแรกใส่ก่อนปักดำ ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันออก

ที่มา : ชอบ (2535)

1.2 พืชไร่

คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีตามลักษณะของเนื้อดิน สูตรปุ๋ยที่แนะนำ อัตราที่ใช้ ซึ่งตัวเลขตัวหน้าเป็นอัตราปกติ ตัวเลขตัวหลังเป็นอัตราที่ต้องการผลผลิตเพิ่มมากกว่าอัตราปกติ ซึ่งถือได้ว่าเป็นอัตราสูง ดังตารางที่ 81

ตารางที่ 81 คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

ชนิดของพืช	ชนิดของเนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ	อัตราที่ใช้ (กก./ไร่)
ถั่วเหลือง,ถั่วลิสง	ดินเหนียวสีแดง	0-45-0	18-20
		0-40-0	15-25
		0-20-0	30-50
		ปุ๋ยหินฟอสเฟต	100-200
	ดินร่วน	0-20-10	20-30
	ดินทราย	8-24-15	25-40
		10-30-20	20-30
ข้าวโพด,ข้าวฟ่าง	ดินเหนียวสีดำ	20 ถึง 21-0-0	25-30
		25 ถึง 25-0-0	20-40
		44 ถึง 46-0-0	10-20
		20-20-0	20-30
	ดินเหนียวสีแดง	20-20-0	25-50
	ดินร่วน	16-16-8	40-80
		15-15-15	35-70
อ้อย	ดินเหนียวสีแดง	20-10-10	40-60
		15-10-10	50-80
	ดินร่วน	20-10-10	40-60
		15-10-10	50-80
	ดินทราย	15-15-15	50-80
		14-14-21	50-80
ฝ้าย	ดินเหนียวสีดำ	20 ถึง 21-0-0	25-30
		25 ถึง 26-0-0	20-25
		44 ถึง 46-0-0	10-15
	ดินเหนียวสีแดง	12-24-12	40-60
	ดินร่วน	15-15-15	40-60
		12-24-12	40-60

ตารางที่ 81 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

ชนิดของพืช	ชนิดของเนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ	อัตราที่ใช้ (กก./ไร่)
	ดินทราย	15-15-15	50-70
		20-10-10	50-70
ปอแก้ว	ดินร่วน,ดินทราย	15-15-15	25-50
มันสำปะหลัง	ดินร่วน	20-10-20	30-60
	ดินทราย	15-15-15	50-80
ยาสูบ	ดินเหนียวสีดำ,สีแดง	4-16-24	50-120
	ดินร่วน	4-16-24	50-120
	ดินทราย	6-18-24	50-120

ที่มา : กองปฐพีวิทยา (2531)

1.3 พืชผัก

ตารางที่ 82 อัตราส่วนธาตุอาหารพืช สูตรปุ๋ยเคมี อัตราการใช้ ปริมาณธาตุอาหารพืช วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชผัก

พืช	ลักษณะดิน	อัตราส่วนธาตุอาหารพืช $N:P_2O_5:K_2O$ ของสูตรปุ๋ยเคมีที่แนะนำ	ปุ๋ยเคมีสูตรที่แนะนำ	อัตราการใช้ (กก./ไร่)		ธาตุอาหารพืช $N:P_2O_5:K_2O$ ที่ได้จากปุ๋ยเคมีสูตรที่แนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
				อัตราต่ำ	อัตราสูง	อัตราต่ำ	อัตราสูง	
กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก บรอคโคลี คะน้า ผักกาดหัว ผักกาดขาวปลี และผักกาดเขียวปลี	ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย	1:1:1 2:1:1 3:2:2	15-15-15 20-10-10 15-10-10	40 50 80	50 60 100	6-6-6 10-5-5 12-8-8	7.5-7.5-7.5 12-6-6 15-10-10	แบ่งปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ครั้งแรกใส่หลังจากย้ายกล้าปลูกแล้ว 7 วัน ครั้งที่สองใส่หลังจากใส่ครั้งแรก 20-25 วัน ใส่สองข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ กรณีที่ปลูกโดยหว่านเมล็ดให้ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวหลังจากถอนแยกแล้วหรือหลังจากแตกใบจริงแล้ว 2-3 ใบ ใส่โดยหว่านให้ทั่วทั้งแปลงแล้วรดน้ำให้ชุ่มอย่าให้ปุ๋ยตกค้างอยู่บนใบพืช

ตารางที่ 82 (ต่อ) อัตราส่วนธาตุอาหารพืช สูตรปุ๋ยเคมี อัตราการใช้ ปริมาณธาตุอาหารพืช วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชผัก

พืช	ลักษณะดิน	อัตราส่วนธาตุอาหารพืช $N : P_2O_5 : K_2O$ ของสูตรปุ๋ยเคมีที่แนะนำ	ปุ๋ยเคมีสูตรที่แนะนำ	อัตราการใช้ (กก./ไร่)		ธาตุอาหารพืช $N : P_2O_5 : K_2O$ ที่ได้จากปุ๋ยเคมีสูตรที่แนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
				อัตราต่ำ	อัตราสูง	อัตราต่ำ	อัตราสูง	
ถั่วฝักยาว และถั่วลันเตา	ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย	1:3:1 1:3:2 1:3:2 1:3:3	10-30-10 10-30-20 8-24-16 8-24-24	30 40 50 60	40 50 60 80	3-9-3 4-12-8 4-12-8 4.8-14.4-14.4	4-12-4 5-15-10 4.8-14.4-9.6 6.4-19.2-19.2	แบ่งใส่ 2 ครั้งเท่าๆกัน ครั้งแรกใส่รองก้นหลุมก่อนปลูกกลบดิน แล้วหยอดเมล็ด ครั้งที่สองเมื่อเริ่มออกดอกใส่โดยโรยสองข้างแถว
พริก มะเขือเทศ และมะเขือต่างๆ	ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย	1:1:1 3:2:2 3:2:2	15-15-15 15-10-10 15-10-10	50 80 80	60 100 100	7.5-7.5-7.5 12-8-8 12-8-8	9-9-9 15-10-10 15-10-10	แบ่งใส่ 2 ครั้งเท่าๆกัน ครั้งแรกใส่หลังจากย้ายกล้าปลูกแล้ว 5-7 วัน ครั้งที่สองใส่เมื่อเริ่มออกดอกหรือหลังจากย้ายกล้าปลูกแล้วประมาณ 30 วัน ใส่สองข้างแถว
กระเทียม หอมแดง และหอมหัวใหญ่	ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย	2:1:1 3:2:2 3:3:2 3:2:2	20-10-10 15-10-10 15-15-10 15-10-10	40 80 80 80	50 100 100 10	8-4-4 12-8-8 12-12-8 12-8-8	10-5-5 15-10-10 15-15-10 15-10-10	แบ่งปุ๋ยเคมีอัตราที่แนะนำออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ครั้งแรกใส่ก่อนปลูกโดยหว่านให้ทั่วแปลง ครั้งที่สองใส่หลังจากปลูกแล้ว 30 วัน โดยวิธีหว่านให้ทั่วแปลงแล้วให้น้ำทันที
มันเทศ มันฝรั่ง และเผือก	ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย	2:1:2 1:1:1 2:2:3	16-8-16 16-16-16 16-16-24	50 60 80	60 80 100	8-4-8 9.6-9.6-9.6 12.8-12.8-19.2	9.6-4.8-9.6 12.8-12.8-12.8 16-16-24	แบ่งปุ๋ยสูตรแนะนำออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ครั้งแรกใส่รองก้นหลุมก่อนปลูก ครั้งที่สองใส่หลังจากปลูกแล้ว 30 วัน ใส่สองข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ

ที่มา : สมเกียรติ (2535)

1.3 ไม้ยืนต้น ไม้ผล และยางพารา

คำแนะนำสูตรปุ๋ยเคมี และอัตราการใช้ตามลักษณะเนื้อดินทั้งอัตราต่ำและอัตราสูง วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ยแสดงไว้ในตารางที่ 83

ตารางที่ 83 คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
สับปะรด	ดินร่วน	14-14-21	200	400	แบ่งปุ๋ยใส่ 2 ครั้งเท่า ๆกัน ครั้งแรกใส่หลังจากปลูกแล้ว 1-3 เดือน ครั้งที่ 2 ใส่เมื่อสับปะรดมีอายุ 6 เดือน การใส่ปุ๋ยให้ใส่ปริมาณกาบใบล่าง
สตรอเบอรี่	ดินร่วนและดินทราย	16-12-12	150	200	แบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งละเท่า ๆ กัน หลังจากปลูกแล้ว 1 และ 2 เดือน
ไม้ผลยืนต้น	ดินเหนียว สีดำ, สีแดง ดินร่วน , ดินทราย	20-10-10	(0.5-1) x อายุ (ปี)		- ก่อนตกผล
	ดินเหนียว สีดำ,สีแดง ดินร่วน , ดินทราย	15-15-15	(0.5-1) x อายุ (ปี)		- ตกผลแล้ว
		14-14-21	(0.5-1) x อายุ (ปี)		- ระหว่างติดผล
ขนุน	ดินเหนียว	20-10-10	0.10	0.20	(1) อายุ 1-3 ปี ใส่ 6 ครั้ง/ปี
	ดินร่วน	15-15-15	1	2	(2) อายุ 4-6 ปี ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ละครั้งในอัตรา 20-30 กก./ต้น ใส่ห่างต้น
	ดินทราย	14-14-21	1	2	(3) ก่อนออกดอก 3 เดือน ใช้สูตร 1-2 กก./ต้น
					(4) ปลายฝนใช้ปุ๋ยสูตร 14-14-21 อัตรา 1-2 กก./ต้น

ตารางที่ 83 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
มะม่วงหิมพานต์	ดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว	12-24-12 15-15-15 14-14-21	(0.5-1) x อายุ (ปี) (0.5-1) x อายุ (ปี) (0.5-1) x อายุ (ปี)		(1) ดินกรดจัด ต้องใส่ปูนขาวอัตรา 500-1000 กก./ไร่ (2) ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 20 กก./ต้น/ปี (3) การใส่ปุ๋ยเคมีแบ่งใส่ 2-3 ครั้ง/ปี โดยใช้อัตรา (0.5-1) อายุ(ปี) โดยหว่านรอบทรงพุ่มใบแล้วพรวนดินกลบทุกครั้ง
มังคุด	ดินร่วนและดินทราย	20-10-10 15-15-15 8-24-24	1 1	2 2	(1)ในปีที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 20-10-10 ใส่ 4 ครั้ง/ปี ในอัตรา 100-200 กรัม/ต้น (2)เมื่อมังคุดอายุ 6 ปี ใช้ปุ๋ยสูตร 20-10-10 และ 8-24-24 อัตราสูตรละ 500 กรัม/ต้น หรือจะใช้สูตร 15-15-18 แทน โดยใช้อัตรา 1 กก./ต้น (3) เมื่ออายุมากกว่า 6 ปี เปลี่ยนอัตราปุ๋ย 1.5 กก./ต้น
ส้ม	ดินเหนียว ดินร่วน	15-15-15 14-14-21 12-24-12	1	2	(1)ในปีแรกควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 10-20 กก./ต้น สำหรับปุ๋ยเคมีใช้ในอัตรา 150-200 กรัม/ต้น ใส่ 4-6 ครั้ง/ปี (2)ในปีที่ 2 ใช้ปุ๋ยอัตรา 2 กก./ต้น โดยแบ่งใส่ 4 ครั้ง ครั้งละ 500 กรัม/ต้น

ตารางที่ 83 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
					(3)สำหรับส้มที่ติดผลแล้ว ใช้ปุ๋ยในอัตรา 2 กก./ต้น/ปี โดยแบ่งใส่ 4 ครั้งเท่า ๆ กัน ตามระยะเวลาดังนี้ - ครั้งที่ 1 ใส่หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตและตัดแต่งกิ่งแล้ว - ครั้งที่ 2 ใส่ก่อนออกดอก 15 วัน - ครั้งที่ 3 ใส่หลังออกดอก 2-3 เดือน - ครั้งที่ 4 ใส่ก่อนเก็บผล 2-3 เดือน
มะม่วงและลำไย	ดินเหนียว ดินร่วน	20-10-10 15-15-15	0.5 1	1 2	(1) ระยะก่อนติดผลแบ่งปุ๋ยใส่ครั้งละเท่า ๆ กัน 4 ครั้ง/ปี (2)เมื่อมะม่วงมีอายุมากจนได้ผลแล้วแบ่งปุ๋ยใส่ 3 ครั้ง คือ - ครั้งที่ 1 หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตและตัดแต่งกิ่งแล้ว โดยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 - ครั้งที่ 2 ใส่ก่อนออกดอก 2-3 เดือน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 - ครั้งที่ 3 ใส่หลังจากติดผลแล้วโดยใช้ปุ๋ยสูตร 14-14-21

ตารางที่ 83 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
ลิ้นจี่	ดินร่วน	15-15-15 14-14-21 12-24-12	1	2	(1)เมื่อต้นยังเล็กอายุ 1-3 ปี ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 10-40 กก./ต้น/ปี ส่วนปุ๋ยเคมีแบ่งใส่ 3-4 ครั้งต่อปี (2) เมื่อลิ้นจี่อายุ 4 ปี ขึ้นไป แบ่งปุ๋ยเคมีใส่ 2-3 ครั้ง/ปี โดยแบ่งปุ๋ยออกเป็น 4 ส่วน ใส่บริเวณรอบทรงพุ่มใบ 3 ส่วน อีก 1 ส่วน ใส่บริเวณภายในพุ่มใบห่างจากโคนต้น 8-12 นิ้ว
องุ่น	ดินเหนียว	15-15-15 12-24-12 14-14-21	0.3 0.3 0.3	- - -	(1) เมื่อเริ่มปลูกองุ่นจนถึงระยะตัดแต่งกิ่งได้ ใส่ปุ๋ยรอบๆ ต้น ห่างประมาณ 30 ซม. (2) ระยะตัดแต่งใส่ครั้งแรกก่อนตัดแต่งกิ่ง 15 วัน ครั้งที่ 1 หลังตัดแต่งกิ่ง 45 วัน สูตรใดสูตรหนึ่งในอัตราเดิม (3) หลังจากตัดแต่งกิ่งแล้ว 75 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 14-14-21 ในอัตรา 0.3 กก./ต้น

ตารางที่ 83 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
ทุเรียน	ดินทราย	15-15-15	2	5	(1) ในระยะแรกของการเจริญเติบโตใช้แนวทางการใส่ปุ๋ยไม้ผลโดยทั่ว ๆไป หลังจากเก็บผลและตัดแต่งกิ่งแล้ว เลือกใช้ปุ๋ยสูตรใดสูตรหนึ่งในอัตรา 2-5 กก./ต้น (2) หลังจากทุเรียนติดผลแล้วและผลมีขนาดเท่าลูกหมาก ใช้ปุ๋ยสูตร 14-14-21 อัตรา 2-5 กก./ต้น
เงาะ	ดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว	15-15-15 8-24-24 14-14-21	2 2 2	5 5 5	(1) ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ใช้แนวทางการใส่ปุ๋ยไม้ผลทั่ว ๆ ไป หลังจากเก็บผลและตัดแต่งกิ่งแล้ว ระหว่างเดือน มิ.ย.-ก.ค. ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 2-5 กก./ต้น เดือน ก.ย. ใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 2-5 กก./ต้น (2) เมื่อเงาะเริ่มออกดอกใช้ปุ๋ยสูตร 14-14-21 อัตรา 2-5 กก./ต้น แล้วใส่อีกครั้งหนึ่งเมื่อเงาะติดผลขนาดเล็ก
พริกไทย	ดินร่วน	16-12-8	(1-2) x อายุ (ปี)		
มะพร้าว	ดินร่วน ดินทราย	13-13-21	(1-5) x อายุ (ปี)		

ตารางที่ 83 (ต่อ) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับไม้ยืนต้นและไม้ผลในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน

พืช	ลักษณะดิน	ปุ๋ยเคมีสูตรแนะนำ	อัตราการใช้ปุ๋ยสูตรแนะนำ (กก./ไร่)		วิธีการและระยะเวลาการใส่ปุ๋ย
			อัตราต่ำ	อัตราสูง	
ยาง อายุต่ำกว่า 42 เดือน	ดินร่วน ดินทราย	20-10-10 16-8-15	5 20	20 30	
ยาง อายุระหว่าง 42/72 เดือน	ดินร่วน	20-5-5 15-5-10	40 40	60 60	

หมายเหตุ มะพร้าวต้องการแมกนีเซียม เพราะเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหารของพืช และนำพาธาตุฟอสฟอรัส ควบคุมปริมาณแคลเซียม ดังนั้นในดินที่ขาดแมกนีเซียม เช่น ในดินกรด ควรใส่แมกนีเซียมซัลเฟต 250 กรัมต่อต้นต่อปี

ที่มา : สุรัตน์ และคณะ (2535)

ตารางที่ 84 การใช้ปุ๋ยเคมีกับอ้อย

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียว ดินร่วนเหนียว ****	12-6-6	16-8-8 20-10-10 16-6-6 หรือใส่ 14-14-14 15-15-15 ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	70-80 50-60 80-90 40-50 40-50 25-30 15-20	แบ่งครึ่งโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ แบ่งครึ่งโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	อ้อยปลูก (เขตชลประทานและอาศัยน้ำฝน) ใส่ครั้งแรกหลังอ้อยงอก 30 วัน และครั้งที่สองหลังจากครั้งแรก 60 วัน อ้อยตอ (อาศัยน้ำฝน) ใส่ครั้งแรกต้นฤดูฝนและใส่ครั้งที่ 2 หลังจากครั้งแรก 60 วัน
	18-6-6	ใส่ปุ๋ยเคมีตามที่แนะนำข้างบนนี้ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	25-30 15-20	แบ่งครึ่งปุ๋ยสูตรผสมโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ (ใส่ไนโตรเจนเพิ่มอีก 6 กก. N/ไร่ โดยใส่รวมในครั้งที่ 2)	อ้อยตอ (เขตชลประทาน) ใส่ครั้งแรกหลังจากแต่งตอและครั้งที่สองหลังจากแต่งตอ 60 วัน โดยใส่ปุ๋ยผสมร่วมกับไนโตรเจน
ดินทราย ดินร่วนทราย ****	12-6-12	16-8-14 15-5-20 16-11-14	70-90 70-90 70-80	ครั้งแรกใส่ 20 กก. /ไร่ โรยกับร่องและกลบปุ๋ยก่อนวางท่อนพันธุ์ ครั้งที่สอง ใส่ปุ๋ยที่เหลือโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	อ้อยปลูก (ต้นฤดูฝน) ใส่ครั้งแรกพร้อมปลูก ครั้งที่สองหลังอ้อยงอก 90 วัน อ้อยปลูก (ปลายฤดูฝน) ใส่ครั้งแรกพร้อมปลูก และใส่ครั้งที่สองในช่วงต้นฤดูฝนถัดไป อ้อยตอ (อาศัยน้ำฝน) ใส่ครั้งแรกต้นฤดูฝน ครั้งที่สองหลังจากใส่ครั้งแรก 60 วัน

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

**** หมายถึง ดินชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวในเรื่องเนื้อดิน

ตารางที่ 84 (ต่อ) การใช้ปุ๋ยเคมีกับอ้อย

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
	18-6-12	ใส่ปุ๋ยเคมีตามที่แนะนำข้างบนนี้ใส่ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	 25-30 15-20	ใส่ตามวิธีที่แนะนำข้างบนนี้ (ใส่ไนโตรเจนเพิ่มอีก 6 กก. N/ไร่ โดยใส่รวมในครั้งที่สอง)	อ้อยตอ (เขตชลประทาน) ใส่ครั้งแรกหลังจากแต่งตอและครั้งที่สองหลังจากแต่งตอ 60 วัน โดยใส่ปุ๋ยผสมร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

**** หมายถึง ดินชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวในเรื่องเนื้อดิน

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 85 การใช้ปุ๋ยเคมีกับ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และถั่วเขียว

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีดำ	0-6-0	0-45-0	15-20	โรยก้นร่องหรือ	พร้อมปลูกหรือ
		0-40-0	15-20	โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
ดินเหนียว ดินร่วนเหนียว สีน้ำตาล	3-6-0 หรือ 3-6-3	12-24-12	20-30	โรยก้นร่องปลูกหรือ	พร้อมปลูกหรือ
		10-20-10	20-30	โรยข้างแถวแล้ว พรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		หรือ			
		0-3-0 (หินฟอสเฟต)	50	หว่านพรวนกลบทุก ๆ ปี	พร้อมปลูก
				หว่านพรวนกลบทุก ๆ 2 ปี	
			100	หว่านพรวนกลบ ทุก ๆ 4 ปี	พร้อมปลูก
			200		พร้อมปลูก
		หรือ		โรยก้นร่องปลูก หรือโรยข้างแถวปลูก	
		11-52-0	10-15	แล้วพรวนดินกลบ	พร้อมปลูกหรือ
		18-46-0	10-15		หลังปลูก 20-25 วัน
ดินร่วนทราย	3-9-3	12-24-12	20-30	รองก้นร่องปลูก	พร้อมปลูกหรือ
		10-20-10	25-35	หรือโรยข้างแถว ปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
ดินทราย	3-9-6	8-24-24	30-40	โรยก้นร่องปลูกหรือ	พร้อมปลูกหรือ
		หรือ		โรยข้างแถวปลูกแล้ว	หลังปลูก 20-25 วัน
		0-3-0 (หินฟอสเฟต) ร่วมกับ	50-200	พรวนกลบ เช่นเดียวกับใน ดินเหนียว-ดินร่วน เหนียวสีน้ำตาล	พร้อมปลูก
		12-12-17	20-30	โรยข้างแถวปลูก	พร้อมปลูกหรือ
		13-13-21	20-30	แล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ตารางที่ 85 (ต่อ) การใช้ปุ๋ยเคมีกับ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และถั่วเขียว

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีแดง	3-9-3	12-24-12	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูกหรือ
		10-20-10	40-50	หรือโรยข้างแถว	หลังปลูก 20-25 วัน
		8-24-24	30-40	ปลูกแล้วพรวนกลบ	
		หรือใส่			
		0-3-0 (หินฟอสเฟต)	50-200	เช่นเดียวกับในดินเหนียว-ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		12-12-17	20-30	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		13-13-21	20-30	แล้วพรวนกลบ	
ดินกรดจัด (pH<5.5)		ใส่ปูนขาว	100-150	ดินทราย-ดินร่วนทราย	ก่อนปลูก 15-20 วัน
			150-300	ดินเหนียว-ดินร่วนเหนียว	
		ร่วมกับ		หว่านแล้วพรวนกลบ	
		12-24-12	20-30	(3-4 ปี/ครั้ง)	หลังปลูก 20-25 วัน
		10-20-10	25-35	โรยข้างแถวปลูก	
		หรือ		แล้วพรวนกลบ	
		0-3-0 (หินฟอสเฟต)	100-200	หว่านแล้วพรวนกลบ (3-4 ปี/ครั้ง)	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		12-12-17	20-30		หลังปลูก 20-25 วัน
		13-13-12	20-30	โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	
ดินเหนียวสีดำมีก้อนหินปูนปนในดินชั้นบน	0-6-0	0-45-0	15-20	โรยก้นร่องปลูกหรือ	พร้อมปลูกหรือ
		0-40-0	15-20	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		ร่วมกับ		แล้วพรวนกลบ	
		$FeSO_4$ [1]	0.5%	พ่นทางใบ	หลังปลูก 3-5 ครั้ง

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

1 ใช้ในกรณีที่พืชแสดงอาการใบเหลืองซีด (อาการขาดธาตุเหล็ก) ซึ่งมักจะแสดงอาการในสภาวะที่ฝนแล้ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 86 การใช้ปุ๋ยเคมีกับ ละหุ่ง

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินทราย ดินร่วนทราย	10-10-10	15-15-15	50-60	แบ่งครึ่ง พันธุ์หนัก ครั้งแรกรองก้นหลุม และครั้งที่สองโรยรอบโคนต้นแล้วพรวนกลบ พันธุ์เบา ครั้งแรกรองก้นร่องปลูกและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก และครั้งที่ 2 หลังปลูก 20-25 วัน
		หรือ			
		8-24-24 ร่วมกับ	30-40	รองก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	20-30	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15	แล้วพรวนกลบ	
ดินเหนียว สีแดง	10-10-0	20-20-0	40-50	แบ่งครึ่ง พันธุ์หนัก ครั้งแรกรองก้นหลุม และครั้งที่สองโรยรอบโคนต้นแล้วพรวนกลบ พันธุ์เบา ครั้งแรกรองก้นร่องปลูกและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก และครั้งที่ 2 หลังปลูก 20-25 วัน
ดินเหนียว สีดำ และ ดินร่วนเหนียว สีน้ำตาล	10-0-0	21-0-0	40-50	พันธุ์หนักโรยรอบโคนต้นแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	20-25	พันธุ์อายุสั้น โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 87 การใช้ปุ๋ยเคมีกับงา

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินทราย ดินร่วนทราย	8-8-4	16-16-8	40-50	แบ่งครึ่งครั้งแรกรองก้นร่องปลูกและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกหรือใส่แบบหว่านถ้ามีการปลูกแบบหว่าน	ครั้งแรกใส่พร้อมปลูกและครั้งที่ 2 หลังปลูก 20-25 วัน
		หรือ			
		12-24-12	30	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		21-0-0	20	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10	แล้วพรวนกลบ	
ดินเหนียว สีแดง	8-8-0	20-20-0	30-40	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรยก้นร่องปลูกและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกหรือโรยปุ๋ยทั้งหมดข้างแถวหลังปลูกแล้วพรวนกลบ หรือหว่านปุ๋ยทั้งหมดหลังปลูกถ้ามีการปลูกแบบหว่าน	ครั้งแรกใส่พร้อมปลูกและครั้งที่ 2 หลังปลูก 20-25 วัน
ดินเหนียวสีดำ ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล	8-0-0	21-0-0	30-40	โรยปุ๋ยทั้งหมดข้างแถวปลูกหลังปลูกแล้วพรวนกลบ หรือหว่านปุ๋ยทั้งหมดหลังปลูกถ้ามีการปลูกแบบหว่าน	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	15-20		

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 88 การใช้ปุ๋ยเคมีกับฝ้าย

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีแดง	6-12-6	12-24-12	50-60	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรยก้นร่องและ ครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูกและหลังปลูก 20-25 วัน
	หรือ				
	12-12-6 ***	16-16-8	70-80	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรยก้นร่องและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูกและหลังปลูก 20-25 วัน
		หรือ			
		15-15-15 ร่วมกับ	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		20-20-0	30-40	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		23-23-0	30-40		
ดินทราย ดินร่วนทราย	6-6-6	14-14-14	40-50	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรยก้นร่องและครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูกและหลังปลูก 20-25 วัน
		15-15-15	35-40		
		หรือ			
		8-24-24 ร่วมกับ	35-30	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	20-30	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15		
	12-6-6 ***	16-8-8	75-80	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรยก้นร่องปลูก และครั้งที่สองโรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูกและครั้งที่ 2 หลังปลูก 20-25 วัน
		20-10-10	60-70		
		หรือใส่			
		15-15-15 ร่วมกับ	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	20-30	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15		

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

*** สำหรับสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยและราคาผลผลิตสูง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ผลการทดลองการใช้ปุ๋ยในสภาพไร่นาและใช้ข้อมูลระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลการวิเคราะห์ดินทางเคมี เช่น pH อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ คิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและนำมากำหนดอัตราปุ๋ยนั้น ได้มีนักวิจัยทำการทดลองและทดสอบมามากและมีความจำเป็นต้องวิจัยเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชชนิดหนึ่งปลูกในดินที่หนึ่งอาจตอบสนองแตกต่างจากปลูกในดินที่อื่น ทั้ง ๆที่มีธาตุอาหารใกล้เคียงกัน หรือในดินชนิดเดียวกันปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน การตอบสนองของพืชก็จะต้องแตกต่างกันด้วย ดังนั้น การแนะนำปุ๋ยจากผลวิเคราะห์ดินทางเคมีในแต่ละพืชนั้น ต้องอาศัยผลการทดลองความสัมพันธ์ของธาตุอาหารในดินและผลผลิตของพืชจำนวนมากและต่างพื้นที่กัน ซึ่งรวบรวมได้ดังนี้

ตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดดินโดยใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี

ผลการทดสอบปุ๋ยกับพืชไร่ต่าง ๆ โชติ (2530) ได้รายงานแนวทางในการกำหนดอัตราปุ๋ย N-P-K ที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจกับพืชไร่ 10 ชนิด (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเขียว ข้าวฟ่าง ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ฝ้าย ปอแก้ว และงา) ซึ่งเป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทบทวนและหาข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการแก้ไขปรับปรุงคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่มีอยู่แล้วให้ถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ดีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานะความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืช ยังไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้อย่างเป็นระบบ จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลที่มีอยู่นี้ อาจนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น (data base) ของงานวิจัย ที่เกี่ยวกับจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อคำแนะนำปุ๋ยในขั้นตอนต่อไป

การจัดรวบรวมข้อมูลนี้มีทั้งหมด 607 แปลงทดสอบ ภาคเหนือ 155 แปลง ภาคกลาง 134 แปลง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 233 แปลง และภาคตะวันออก 85 แปลง การทดสอบเป็นแปลงในไร่เกษตรกร ทดสอบปุ๋ย N-P-K อย่างง่าย ๆ (Simple Fertilizer Trial) ทดลองแบบ Randomized Complete Block ซึ่งกำหนดให้สถานที่ทดลองแต่ละแห่งตามแหล่งปลูก ให้มีจำนวนซ้ำอย่างเพียงพอ (มีมากกว่า 12 ซ้ำ) ในแต่ละแห่งจะมี Treatment combination ของปุ๋ย N-P_2O_5-K_2O จำนวน 8 หรือ 9 แปลงย่อย กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ได้รวบรวมผลการทดลองต่าง ๆที่นักวิจัยในกองได้ทดลองแนะนำปุ๋ยสำหรับพืชต่าง ๆจากผลวิเคราะห์ดิน (โชติ, 2530) ดังตารางที่ 89 ถึง 98

ตารางที่ 89 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ข้าวโพด (พันธุ์สุวรรณ 1)

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน	---N-P_2O_5-K_2O (กก/ไร่)---	
เหนือ	ชัยบาดาล	เพชรบูรณ์	6.1-7.7	1.70-3.10	7-42	80-221	ร่วนเหนียว	5-5-0	7.6^{nn}-2.7-3.9
	(n=10)						สีน้ำตาล	10-10-0	9.9-6.4-4.6
	ปากช่อง	นครสวรรค์	4.0-7.6	1.10-2.70	1.39	121-266	เหนียวสีแดง	5-5-0	12.9^{nn}-7.6^{nn}-0.0
	(n-20)							10-10-0	17.8^{nn}-12.7-5.6
กลาง	ปากช่อง	ลพบุรี	5.1-7.2	1.44-3.22	5-41	28-313	เหนียวสีแดง	5-5-0	10.5-0.0-NA
	(n=10)							10-10-0	13.4-8.4-NA
	ลพบุรี	ลพบุรี	6.8-7.5	2.68-4.13	24-41	60-190	เหนียวสีดำ	0-0-0	0.0-0.9-1.4
	(n=5)							5-5-5	1.2-8.7-2.6
ตะวันออก	ปากช่อง	นครราชสีมา	5.6-7.6	1.80-3.60	1-26	55-429	เหนียวสีแดง	5-5-0	11.1^{nn}-6.4-2.2
เฉียงเหนือ	(n=8)							10-10-0	13.8-10.0-3.0
	โชคชัย	ศรีสะเกษ	4.8-5.9	2.22-3.09	47-218	31-383	เหนียวสีแดง	5-5-5	11.1-0.0-NA
	(n=10)							10-10-0	19.8-0.0-NA
	เลย	เลย	5.4-5.7	1.81-2.28	2-3	111-216	เหนียวสีแดง	5-5-0	7.7-4.5-7.1
	(n=4)							10-10-0	9.1-7.7-4.5

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 90 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

มันสำปะหลัง

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน	---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
ตะวันออก	ลัตหีบ	ฉะเชิงเทรา	3.5-5.9	0.34-1.38	4-45	11-100	ทราย	15-15-15	14.3^{nn}-0.0-0.0
	(n=16)	(2525-27)						20-20-20	16.3^{nn}-0.0-6.7
	ลัตหีบ	ชลบุรี	3.7-5.6	0.54-1.51	2.24	20-96	ทราย	15-15-15	10.3^{nn}-0.0-8.8
	(n=25)	(2527-29)						20-20-20	14.1-7.2-12.7
ตะวันออก	โคราช	นครราชสีมา	3.9-5.5	0.20-1.01	1-21	12-64	ทราย	8-8-8	NA-2.5-NA
เฉียงเหนือ	(n=15)	(2525-27)						15-15-15	NA-5.0-NA
	โคราช	ขอนแก่น	4.0-6.1	0.13-0.95	1-18	10-63	ทราย	8-8-8	18.0^{nn}-4.0-10.7^{nn}
	(n=34)	(2527-29)						15-15-15	20.5-6.4-12.4

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 91 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

อ้อย

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
กลาง	กำแพงแสน	สุพรรณบุรี	4.3-7.5	1.14-5.4	5-210	56-340	ร่วน	6-6-6	39.1-NA-NA
	(n=26)	กาญจนบุรี					สีน้ำตาล	12-6-6	108.5-NA-NA
	ปราณบุรี	ประจวบคีรี	4.8-7.4	0.80-1.14	4-20	62-158	ร่วน	6-6-6	1839-0.0-9.0
	(n=13)	ขันธ์					สีน้ำตาล	12-12-12	23.2-8.7-11.5
เหนือ	กำแพงเพชร	กำแพงเพชร	5.8-6.4	0.84-1.78	30-106	120-236	ร่วน	6-6-6	11.0-0.0-10.0
	(n=5)						สีน้ำตาล	12-6-6	19.3-0.0-11.9
	ลันป่าตอง	อุตรดิตถ์	5.6-6.4	0.54-1.78	8-106	48-236	ทราย	6-6-0	16.4 ^{nn}-5.6-NA
	(n=15)							12-12-12	17.8-9.1-NA
ตะวันออก	โคราช	อุดรธานี	4.0-4.5	0.40-0.74	3-26	22-60	ทราย	6-6-6	NA-NA-NA
เฉียงเหนือ	(n=10)							12-12-12	NA-NA-NA
ตะวันออก	สัตหีบ	ระยอง	4.1-7.3	0.34-1.01	6-153	34-77	ทราย	6-6-6	29.9-NA-NA
	(n=11)	ชลบุรี						12-12-12	36.3-NA-NA
	เลย	เลย	5.4-5.7	1.81-2.28	2-3	111-216	เหนียวสีแดง	5-5-0	7.7-4.5-7.1
	(n=4)							10-10-0	9.1-7.7-7.5

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 92 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ถั่วเขียว

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำ ปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน	---N-P_2O_5-K_2O กก./ไร่---	
กลาง	ลพบุรี	ลพบุรี	5.9-7.6	1.58-4.16	6-44	50-440	เหนียวลึกดำ	0-6-0	0.0-0.0-0.0
	(n=10)							3-9-0	3.3-3.4-0.0
เหนือ	โคราช	พิษณุโลก	4.6-6.1	0.50-1.87	4-42	48-215	ทราย	3-6-3	3.2^{nn}-5.0^{n}-6.0^{n}
	(n=20)							3-9-6	3.5-8.5-7.1
ตะวันออก	โคราช	กาฬสินธุ์	3.9-5.5	0.23-0.64	6-9	11-23	ทราย	3-6-3	0.0-0.0-0.0
เฉียงเหนือ	(n=10)							3-9-6	0.0-8.5-0.0
	วาริน	นครราชสีมา	5.7-6.5	0.42-0.90	7-12	17-45	ทราย	3-6-3	21.1-8.9^{nn}-5.8
	(n=5)							3-9-6	26.3-11.4-7.0
ตะวันออก	โคราช	ฉะเชิงเทรา	4.81-5.5	0.94-1.16	13-263	21-70	ทราย	3-6-3	3.1-5.5^{nn}-6.0
	(n=10)							3-9-6	4.1-8.6-8.9
	มาบบอน	ฉะเชิงเทรา	4.1-5.4	0.23-1.04	6-135	18-93	ทราย	3-6-3	1.4-0.0-NA
	(n=10)							3-9-6	2.7-0.0-NA

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา = โชติ (2530)

ตารางที่ 93 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ข้าวฟ่าง

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
กลาง	กำแพงแสน	สุพรรณบุรี	5.1-7.9	1.13-2.40	5-54	202-309	ร่วน	5-0-0	1.6-8.7-0.0 nn
	(n=10)						สีน้ำตาล	10-0-0	14.3-13.1-5.7
	ลพบุรี	ลพบุรี	6.8-7.5	2.68-3.75	15-40	45-420	เหนียว	0-0-0	NA-NA-NA
	(n=5)						สีดา	5-5-0	NA-NA-NA
	ปากช่อง	ลพบุรี	5.9-7.9	0.87-2.82	4-15	44-382	เหนียว	5-5-0	8.0-4.7-NA
	(n=10)						สีแดง	10-10-5	14.0-12.0-NA
เหนือ	โคราช	กำแพงเพชร	5.0-6.7	0.80-1.89	2-32	42-148	ทราย	5-5-3	10.4 nn-1.3-0.3
	(n=13)							10-10-5	14.7-6.8-2.6
	ลำนารายณ์	นครสวรรค์	6.0-6.5	2.25-2.89	3-9	50-102	ร่วน	0-0-0	10.1 nn-3.7-NA
	(n=5)						สีน้ำตาล	5-5-0	13.7-9.0-NA
ตะวันออก	ปากช่อง	นครสวรรค์	6.7-7.3	1.81-2.22	3-9	29-254	เหนียว	5-5-0	1.4 nn-3.8-6.3
	(n=4)						สีแดง	10-10-0	13.1-8.5-14.6
	โคราช	กาฬสินธุ์	4.8-6.2	0.34-1.74	1-24	12-84	ทราย	5-5-3	9.4 nn-0.2-3.0
	(n=15)	ขอนแก่น						10-10-5	11.9-6.7-4.2

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 94 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ถั่วเหลือง

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
กลาง	ลาดหญ้า	ปะจวบ	5.3-6.4	0.54-1.71	1-12	96-219	ทราย	0-6-0	2.7-9.1 nn-5.8
	(n=5)	คีรีขันธ์						3-9-0	2.8-9.7-6.0
	ลพบุรี	ลพบุรี	6.9-7.5	1.00-4.35	22-38	70-390	เหนียว	0-6-0	0.0-NA-1.4
	(n=5)						ลึกต่ำ	3-9-0	0.1-NA-3.2
	ปากช่อง	ลพบุรี	5.4-6.8	1.84-2.99	9-25	38-210	เหนียว	3-6-3	NA-NA-0.0
	(n=5)						ลึกต่ำ	3-9-6	NA-NA-2.9
เหนือ	หางดง	เชียงใหม่	4.2-6.4	0.25-3.56	2-110	12-216	ดินนา	0-6-0	2.6-3.7-3.7
	(n=22)	แพร่						3-9-0	3.2-11.9 nn-5.3
	โคราช	เชียงใหม่	4.5-4.9	2.50-2.94	1-1	60-90	ทราย	3-6-3	NA-3.8-0.0
	(n=5)							3-9-6	NA-7.4-0.0
	ลำปาง	ลำปาง	4.1-5.2	1.24-3.62	2-15	21-106	ดินนา	3-6-3	2.5-12.5 nn-4.8
	(n=15)							3-9-6	3.1-14.0-5.8
	ท่าลี่	อุตรดิตถ์	5.0-6.3	0.39-5.10	2-24	40-128	เหนียว	0-6-0	NA-2.5-6.4
	(n=11)						สีแดง	3-9-0	NA-6.3-7.6
ตะวันออก เฉียงเหนือ	เลย (n=5)	เลย	4.9-5.3	2.31-3.26	0-1	75-170	เหนียว สีแดง	0-6-0 3-9-0	NA-NA-NA NA-NA-NA

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 95 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ถั่วลิสง

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำ ปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
กลาง	ป่ากช่อง	ลพบุรี	5.6-6.4	1.63-3.05	8-17	51-245	เหนียว	3-6-3	NA-NA-NA
	(n=5)						สีแดง	3-9-6	NA-NA-NA
เหนือ	โคราช	พิษณุโลก	5.1-6.3	0.78-1.64	11-24	100-200	ทราย	3-6-3	23.7-9.8-NA
	(n=5)							3-9-6	27.6-14.6-NA
	หางดง	ลำพูน	4.8-5.2	0.41-2.41	1-11	23-65	ดินนา	0-6-0	2.3-0.4-3.9
	(n=5)							3-9-0	2.5-3.4-4.8
ตะวันออก	โคราช	ขอนแก่น	4.2-6.2	0.38-1.36	0-10	18-65	ทราย	3-6-3	3.4-4.9-9.5
เฉียงเหนือ	(n=9)							3-9-6	3.8-6.5-11.0
	ร้อยเอ็ด	สกลนคร	4.8-6.3	0.38-1.09	1-21	1-30	ดินนา	3-6-3	2.3-6.6-6.0
	(n=5)							3-9-6	2.6-11.0-6.9
	วาริน	มหาสารคาม	4.8-6.1	0.22-0.60	3-25	14-40	ทราย	3-6-3	NA-NA-7.4
	(n=10)	นครราชสีมา						3-9-6	NA-NA-10.0
ตะวันออก	โคราช	ฉะเชิงเทรา	4.7-5.5	0.82-1.38	6-11	20-50	ทราย	3-6-3	3.9^{nn}-7.8-5.7
	(n=5)							3-9-6	4.1-9.1-6.1

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 96 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ฝ้าย

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								-----N-P_2O_5-K_2O กก./ไร่----	
กลาง	ลาดหญ้า	ประจวบ	5.3-6.7	0.57-1.34	0-26	68-216	ทราย	6-12-6	6.6-4.3-5.5.9
	(n=8)	คีรีขันธ์						12-12-6	7.5-5.7-5.9
	ลพบุรี	ลพบุรี	7.2-7.6	2.99-4.11	28-45	125-480	เหนียว	0-0-0	6.3-5.1-5.4
	(n=4)						ลึดำ	6-0-0	6.9-5.6-5.7
	ปากช่อง	ลพบุรี	5.1-7.2	1.44-2.79	5-24	28-265	เหนียว	6-12-6	7.3-7.0-7.6
	(n=10)						ลึแดง	12-12-6	7.7-7.9-7.8
ตะวันออก	เลย	เลย	5.1-5.9	0.44-1.58	3-4	17-220	เหนียว	6-12-6	NA-7.3-NA
เฉียงเหนือ	(n=5)						ลึแดง	12-12-6	NA-8.3-NA
	วาริน	นครราชสีมา	4.9-5.9	0.10-1.52	0-5	25-55	ทราย	6-12-6	7.1 ^{nn}-5.9-10.4 ^{nn}
	(n=11)							12-12-6	7.7-6.6-10.8
ตะวันออก	ลัดหิบ	ชลบุรี	4.7-5.6	0.82-1.04	2-9	36-76	ทราย	6-6-5	7.0-9.8-7.6
	(n=7)							12-6-6	8.1-11.8-8.3

nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 97 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

ปอแก้ว

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำ ปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR = 1 MRR = 0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดิน ชั้นบน	---N-P_2O_5-K_2O กก/ไร่---	
ตะวันออก เฉียงเหนือ	โคราช (n=70)	ต่าง ๆ (8 จังหวัด)	3.3-6.1	0.36-1.20	1-96	8-103	ทราย	4-4-4 8-8-8	8.1^{n}-4.4^{n}-9.7^{n} 10.7-9.9-12.3

n และ nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10 และ 0.15

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

ตารางที่ 98 ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละชุดและความแตกต่างของอัตราปุ๋ยที่แนะนำกับผลการวิเคราะห์อัตราที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ

งา

ภาค	ชุดดิน	จังหวัด	ช่วงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					อัตราแนะนำปัจจุบัน อัตราต่ำ อัตราสูง	อัตราคำนวณได้ MRR=1 MRR=0
			pH	อินทรียวัตถุ %	P-Bray 2 ppm	K ppm	เนื้อดินชั้นบน		
								-----N-P_2O_5-K_2O กก./ไร่---	
กลาง	ลพบุรี	ลพบุรี	7.2-7.4	2.91-7.00	28-38	100-380	เหนียว	5-5-0	NA-0.0-NA
	(n=3)							10-10-0	NA-0.0-NA
ตะวันออก	โคราช	มหาสารคาม	4.8-5.5	0.43-0.57	7-8	14-28	ทราย	5-5-0	3.6-NA-NA
เฉียงเหนือ	(n=4)							10-10-0	5.1-NA-NA
	วาริน	ขอนแก่น	5.8-6.2	0.43-0.59	1-6	13-39	ทราย	5-5-0	NA-NA-NA
	(n=4)							10-10-0	NA-NA-NA

n และ nn = ผลผลิตตอบสนองต่อปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10 และ 0.15

NA = ข้อมูลที่ใช้ไม่เข้ากับรูปลักษณะของสมการ Quardratic

MRR = 1 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนพอสมควร เสี่ยงต่อการสูญเสียน้อย

MRR = 0 = เป็นอัตราที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

ที่มา : โชติ (2530)

การพิจารณาเนื้อดินและธาตุอาหารหลัก P และ K

สำหรับการแนะนำปุ๋ยเฉพาะพืชที่ทราบเนื้อดิน ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ (2541) ได้จัดทำเอกสารคำแนะนำการใช้ปุ๋ยพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเป็นการแนะนำการใช้ปุ๋ยธาตุหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อัตราการใช้ปุ๋ยเคมีที่แนะนำนั้นมีทั้งอัตราที่อยู่ในระดับต่ำและปานกลาง ซึ่งจะใช้ผลผลิตและผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุน แสดงในตาราง 99 ถึง 103 ในตารางคำแนะนำจะบ่งบอกปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ สูตรปุ๋ย อัตราการใช้ รวมถึงวิธีการ เวลาการใส่ด้วย

ตารางที่ 99 การใช้ปุ๋ยเคมีกับมันสำปะหลัง

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินทราย	16-6-12	16-8-14 15-7-18 22-11-22	80-90 80-90 60-70	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่ครั้งเดียวหลังปลูก 1-3 เดือน
		หรือ 13-13-21 ร่วมกับ 21-0-0	40-60 50-60	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่หลังปลูก 1-2 เดือน ใส่หลังปลูก 3 เดือน หรือ ใส่ปุ๋ยทั้งสองสูตรรวมกันทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน
ดินร่วนทราย P ต่ำ * K ต่ำ *	12-6-12	16-8-14 15-7-18 22-11-22	70-80 75-80 40-50	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่ครั้งเดียวหลังปลูก 1-3 เดือน
		หรือ 13-13-21 ร่วมกับ 21-0-0	40-60 40-60	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่หลังปลูก 1-2 เดือน ใส่หลังปลูก 3 เดือน หรือ ใส่ปุ๋ยทั้งสองสูตรรวมกันทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน
ดินร่วนทราย P ต่ำ * K สูง *	12-6-6	15-15-15 ร่วมกับ 21-0-0	30-40 30-40	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่หลังปลูก 1-2 เดือน ใส่หลังปลูก 3 เดือน หรือ ใส่ปุ๋ยทั้งสองสูตรรวมกันทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน

มันสำปะหลัง * ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 7 ppm

ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 28 ppm

ตารางที่ 99 (ต่อ) การใช้ปุ๋ยเคมีกับมันสำปะหลัง

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินร่วนทราย P สูง * K ต่ำ *	12-4-8	16-8-14 15-7-18	70-80 75-80	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่ครั้งเดียวหลังปลูก 1-3 เดือน
		หรือ 13-13-21 ร่วมกับ 21-0-0	50-70 30-40	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่หลังปลูก 1-2 เดือน ใส่หลังปลูก 3 เดือน หรือ ใส่ปุ๋ยทั้งสองสูตรรวมกันทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน
ดินร่วนทราย P สูง * K สูง *	12-4-4	15-15-15 ร่วมกับ 21-0-0	25-30 35-40	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่หลังปลูก 1-2 เดือน ใส่หลังปลูก 3 เดือน หรือ ใส่ปุ๋ยทั้งสองสูตรรวมกันทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน
ดินเหนียวลึกแดง P ต่ำ * K สูง *	6-6-6	15-15-15	30-40	ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วพรวนกลบ	ใส่ครั้งเดียวทั้งหมดหลังปลูก 1-3 เดือน

มันสำปะหลัง *ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 7 ppm

ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 28 ppm

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 100 การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีดำ					
P สูง *	10-0-0	21-0-0	40-50	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	20-30	แล้วพรวนกลบ	
P ต่ำ *	10-0-0	20-20-0 หรือใส่	40-50	โรยก้นร่องข้างแถวปลูก	พร้อมปลูก
		16-20-0 ร่วมกับ	40-50	โรยก้นร่องข้างแถวปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	15-20	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	5-10	แล้วพรวนกลบ	
ดินเหนียวสีแดง					
P ต่ำ *	10-10-0	20-20-0 หรือ	40-50	โรยก้นร่องข้างแถวปลูก	พร้อมปลูก
		16-20-0 ร่วมกับ	40-50	โรยก้นร่องข้างแถวปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	15-20	โรยก้นร่องข้างแถว	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	5-10	ปลูกแล้วพรวนกลบ	
ดินเหนียวสีแดง	10-5-0	20-10-0 หรือ	40-50	โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
P สูง *		16-20-0	25-30	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		20-20-0 ร่วมกับ	25-30		
		21-0-0	25-30	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-20	แล้วพรวนกลบ	
ดินร่วนเหนียวน้ำตาล					
P สูง *	10-0-0	21-0-0	40-50	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	20-30	แล้วพรวนกลบ	
P ต่ำ *	10-10-0	20-20-0 หรือ	40-50	ใส่โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		16-20-0 ร่วมกับ	40-50	ใส่โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		21-0-0	15-20	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	5-10	แล้วพรวนกลบ	

ตารางที่ 100 (ต่อ) การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินทราย	10-5-5	15-15-15	30-40	ใส่โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		16-16-16	30-40	ใส่โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		21-0-0	25-30	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15	แล้วพรวนกลบ	
		หรือใส่			
		16-8-8	60-70	แบ่งครึ่ง ครั้งแรก	พร้อมปลูก
				โรยก้นร่องปลูก	
				ครั้งที่สองโรย	หลังปลูก 20-25 วัน
				ข้างแถวปลูก	
				แล้วพรวนกลบ	
ดินร่วนทราย	10-5-3	16-16-8	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		21-0-0	20-25	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15	แล้วพรวนกลบ	
ดินกรดจัด (pH<5.5)		ปูนขาวหรือ	ดินทราย	หว่านแล้วพรวน	ก่อนปลูก 15-20 วัน
		ปูนมาร์ล	ร่วนทราย	ผสมคลุกเคล้ากับดิน	
		หรือหินปูนบด	100-150	(3-4 ปี/ครั้ง)	
			ดินเหนียว		
			ร่วนเหนียว		
			150-300		
	ปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำตามเนื้อดินและค่าวิเคราะห์	ร่วมกับปุ๋ยเคมีตามอัตราที่แนะนำหรือใส่		ตามวิธีที่แนะนำ	ตามวิธีที่แนะนำ
		0-3-0	100-200	หว่านแล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูก
		(หินฟอสเฟต)		(3-4 ปี/ครั้ง)	
		ร่วมกับ			
		25-7-7 [1]	20-25	แบ่งครึ่ง ครั้งแรก	พร้อมปลูกและ
		15-5-20 [2]	40-60	โรยก้นร่องปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
				ครั้งที่สองโรยข้าง	
				แถวปลูกพรวนกลบ	

* ข้าวโพด ข้าวฟ่าง : ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 10 ppm
ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 50 ppm

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

[1] สำหรับดินเหนียว-ดินร่วนเหนียว

[2] สำหรับดินทราย-ดินร่วนทราย

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 101 การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพดฝักอ่อน

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
นาดินเหนียว	10-5-0	20-20-0 23-23-0 ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	25-35 25-35 30-40 15-20	โรยก้นร่องปลูก โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูก หลังปลูก 20-25 วัน
นาดินทราย P สูง *	15-5-5	14-14-14 15-15-15 ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	30-35 30-35 45-55 20-25	โรยก้นร่องปลูก โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูก หลังปลูก 20-25 วัน
นาดินทราย P ต่ำ *	15-10-5	16-16-16 ร่วมกับ 21-0-0 46-0-0	40-50 30-40 15-20	โรยก้นร่องปลูก โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ	พร้อมปลูก หลังปลูก 20-25 วัน
ดินกรดจัด (pH<5.5)	ดูคำแนะนำข้าวโพดที่ปลูกในดินกรดและเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนอีก 4-8 กก.N/ไร่				
		21-0-0 46-0-0	20-40 10-20	โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบ (ใส่รวมในครั้งที่ 2)	หลังปลูก 20-25 วัน

* ข้าวโพด ข้าวฟ่าง : ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 10 ppm

ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 50 ppm

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 102 การใช้ปุ๋ยเคมีกับฝ้าย

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียว สีดำ					
P สูง *	6-0-0	21-0-0	20-30	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15		
P ต่ำ *	6-6-0	20-20-0	25-30	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		23-23-0	20-30		
ดินร่วน ดินร่วนเหนียว สีน้ำตาล					
K สูง *	6-6-0	20-20-0	25-30	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		23-23-0	20-30		
K ต่ำ *	6-6-6	14-14-14	40-50	โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบ	หลังปลูก 20-25 วัน
		15-15-15	35-40		
ดินกรดจัด (pH<5.5)	อัตราที่แนะนำตามเนื้อดิน	ปูนขาวหรือปูนมาร์ลหรือหินปูนบด	ดินทราย ร่วนทราย 100-150 ดินเหนียว ร่วนเหนียว 150-300	หว่านแล้วพรวนกลบ (3-4 ปี/ครั้ง)	ก่อนปลูก 15-20 วัน
		ร่วมกับปุ๋ยเคมีตามอัตราที่แนะนำหรือใส่ 0-3-0 (หินฟอสเฟต) ร่วมกับ	100-200	หว่านแล้วพรวนกลบ (3-4 ปี/ครั้ง)	พร้อมปลูก
		25-7-7 [1]	20-30	โรยข้างแถวปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		15-5-20 [2]	40-60		

* ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 12 ppm

ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 40 ppm

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

[1] สำหรับดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว

[2] หรับดินทรายหรือดินร่วนปนทราย

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

ตารางที่ 103 การใช้ปุ๋ยเคมีกับปอแก้ว

เนื้อดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ $N-P_2O_5-K_2O$ (กก./ไร่)	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้ ** $N-P_2O_5-K_2O$	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีดำ					
P ต่ำ *	8-8-8	14-14-14	40-60	โรยข้างแถวหลังปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
K ต่ำ *		15-15-15	40-60	แล้วพรวนกลบ	
P สูง *	8-4-8	12-12-17	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
K ต่ำ *		13-13-21	30-40		
		ร่วมกับ			
		21-0-0	20-30	โรยข้างแถวหลังปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15	แล้วพรวนกลบ	
P สูง *	8-4-4	20-10-10	40-50	แบ่งครึ่ง ครั้งแรกโรย	พร้อมปลูกและ
K สูง *		16-8-8	50-60	ก้นร่องปลูกครั้งที่สอง	หลังปลูก 20-25 วัน
				โรยข้างแถวหลังปลูก	
		หรือใส่		แล้วพรวนกลบ	
		14-14-14	25-30	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
		15-15-15	25-30		
		ร่วมกับ			
		21-0-0	20-30	โรยข้างแถวหลังปลูก	หลังปลูก 20-25 วัน
		46-0-0	10-15	แล้วพรวนกลบ	
ดินกรดจัด (pH<5.5)		ปูนขาวหรือปูนมาร์ลหรือหินปูนบด ร่วมกับปุ๋ยเคมีตามอัตราที่แนะนำ หรือใส่	100-150 (ดินทราย ร่วนทราย)	หว่านแล้วพรวนกลบ (3-5 ปี/ครั้ง)	ก่อนปลูก 20-25วัน
	อัตราที่แนะนำตามเนื้อดินและค่าวิเคราะห์	0-3-0 (หินฟอสเฟต)	100-200	หว่านแล้วพรวนกลบ (3-4 ปี/ครั้ง)	พร้อมปลูก
		ร่วมกับ			
		15-7-18	40-50	โรยข้างแถวปลูกแล้ว	หลังปลูก 20-25 วัน
		15-5-20	40-50	พรวนกลบ	

* ค่าวิกฤตของ P (Bray 2) = 12 ppm

ค่าวิกฤติของ K (1 N NH_4Oac) = 40 ppm

** เลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง

ที่มา : คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ (2541)

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2520. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุจำพวกปูนไลม์เพื่อการเกษตร (Standard for Agricultural Liming Material), มอก. 223-2520, UDC 631.821.1. 20 น.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2527. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ. ความรู้เรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ฝ่ายเผยแพร่ประชาสัมพันธ์, สำนักงานเลขานุการกรม. 159 น.

กองปฐพีวิทยา. 2531. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจ. ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่, กองแผนงานและวิชาการ, กรมวิชาการเกษตร. (แผ่นพับ)

คณะกรรมการพิจารณากำหนดสูตรปุ๋ยพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ. 2530. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการกองปฐพีวิทยา, เล่มที่ 1. 21 น.

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา. 2526. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาคปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 673 น.

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาคปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.

คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. 2523. เอกสารวิชาการเล่ม 28 กองสำรวจดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 76 น.

คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ. 2540. การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้,. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์ 2540. การจัดการดินกรดในประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 120 น.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ. 2541. คู่มือดินเปรี้ยวจัดและการจัดการเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 109 น.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ และรสมาลิน ณ ระนอง. 2542. คู่มือการใช้วัสดุปูนเพื่อการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยวจัด. โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเปรี้ยว, กรมพัฒนาที่ดิน. 62 น.

จุมพล ยูวะนิยม. 2524. การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการหมักปูนมาร์ลและประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตชนิดและอัตราต่าง ๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกบนดินรังสิตเปรี้ยวจัด. หน้า 345-352. ในรายงานวิชาการประจำปี 2524. กองบริรักษ์ที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.

จุไร ทองมาก, หญิงเล็ก พงศ์พยัคฆ์ และศุภพล พลางกูร. 2527. การศึกษาเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ Electrical Conductivity โดยวิธีและอัตราส่วนต่าง ๆ ของดิน และน้ำทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. (เอกสารโรเนียว 3 หน้า)

ชอบ คณะฤกษ์. 2535. สาเหตุและข้อสังเกตการบางประการที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยโดยคณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุนศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. หน้า 269-285. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โชติ สิทธิบุศย์. 2530. แนวทางในการกำหนดอัตราปุ๋ย NPK ที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจกับพืชไร่. กลุ่มงานวิจัยดินและปุ๋ยพืชไร่, กองปฐพีวิทยา. 84 น.

โชติ สิทธิบุศย์. 2539. แนวทางการพัฒนาระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่. เอกสารทางวิชาการกรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 199 น.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ ไพบูลย์ ประพฤติธรรม ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ สมชาย กรีฑาภิรมย์. 2530. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบอนินทรีย์ในดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยในสภาพที่ควบคุมการลดออกซิเจน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 219 น.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2534. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 420 น.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2536. การวิเคราะห์ดินและพืชเพื่อประเมินระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน. หน้า 89-100. ในคู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2541. ดินกรด ดินด่าง และดินเกลือ. ในปฐพีวิทยาเบื้องต้น. หน้า 186-222. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

นันทกร บุญเกิด ประยูร สวัสดี และออมทรัพย์ นพอมรบดี การใช้จุลินทรีย์ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช. 2535. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. หน้า 287-310 คณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุนศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. ภาคปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรเจิด พลางกูร. 2523. ทรัพยากรที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 228 น.

ปรีดา พากเพียร. ไม่ระบุปีพิมพ์. .ค่าวิกฤตของ P, K, Ca, Mg และ S ในดินที่ใช้ปลูกพืช. กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 5 น.

ปรีดา พากเพียร พิชิต พงษ์สกุล ประพิศ แสงทอง และวิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2532. หลักการใช้ค่าวิเคราะห์เพื่อการแนะนำปุ๋ย. หน้า 58-79. การประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่องความก้าวหน้าการวิจัยและวิชาการทางปฐพีวิทยา. กลุ่มดินและปุ๋ย , กองส่งเสริมพืชพันธ์, กรมส่งเสริมการเกษตร

ปรีดา พากเพียร สุรัตน์ ศรีวรวิทย์ วิศิษฐ โชลิตกุล และสัมฤทธิ์ ชัยวรรณคุปต์. ไม่ระบุปีพิมพ์. หลักในการเลือกใช้ปุ๋ยกำมะถันเพื่อการเกษตร. (เอกสารแจก) 13 น.

ปรีดา พากเพียร และพิชิต พงษ์สกุล. 2534. บทบาทของธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชสวน. เอกสารวิชาการ 001. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร.

พจนีย์ มอญเจริญ ไพบูลย์ ประพฤติธรรม ทิพวรรณ อินทโสตถิ เทอดศักดิ์ ศุภสารัมย์ ชูศรี ยสินทร และชูจิตต์ สงวนทรัพยากร. 2530. การศึกษาอิทธิพลของหินฝุ่นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและผลการเจริญเติบโตของข้าวในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ของประเทศไทย. ทะเบียนวิจัยที่ 01-06-08-00-00-02. กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 21 น.

พจนีย์ มอญเจริญ มรกต ทัพพะกุล ณ อยุธยา จุไร ทองมาก ชนินทร์ ปิ่นทิพย์ หญิงเล็ก พงศ์พยัคฆ์ และโสภณ สมเหมาะ. 2530. การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และแร่ของหินปูนฝุ่นเพื่อการเกษตรในภาคใต้ของประเทศไทย. ทะเบียนวิจัยที่ 01-06-08-00-03. กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 14 น.

พจนีย์ มอญเจริญ หญิงเล็ก พงศ์พยัคฆ์ นภาพร เมฆลอย สุรพล เจริญพงศ์ และชนินทร์ ปิ่นทิพย์. 2530. การศึกษาปริมาณไพโรฟ์ในดินเปรี้ยวจัดชุดต่าง ๆ ภาคใต้ของประเทศไทย. เอกสารรายงานวิจัย. กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 17 น.

พจนีย์ มอญเจริญ เกรียงศักดิ์ หงษ์โต และอภิชาติ จงสกุล. 2535 รายงานการประเมินผลด้านวิชาการโครงการพัฒนาดินเปรี้ยวและดินเค็มภาคใต้ปี 2526-2534. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 57 น.

พจนีย์ มอญเจริญ ภิญโญ เทียมรัตน์ และ ละเอียด สินธุเสน. 2535. การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนวิธีต่าง ๆของดินเปรี้ยวจัดภาคใต้กับผลการทดลองในกระถาง. ทะเบียนวิจัยที่ 33 34 08 04 211 08 03 08 12. เอกสารวิชาการ. กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 123 น.

พจนีย์ มอญเจริญ อภิชาต จงสกุล และบุญส่ง ไกรสรพรสรร. 2536. ผลของแร่ธาตุอาหารพืชทองแดง(Cu)ต่อเมล็ดลีบของข้าวที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 42 น.

พจนีย์ มอญเจริญ ละเอียด สินธุเสนและจรรยา อินทรังษี. 2544. การประเมินความต้องการปูนของดินเปรี้ยวจัดโดยใช้ค่าอลูมินั่มที่แลกเปลี่ยนได้. ทะเบียนวิจัยที่ 41 44 04 04 211.2 08 03 05 12. เอกสารวิชาการ. กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. *** น.

พรรณี รุ่งแสงจันทร์ และ ประสิทธ์ ตันประภาส. 2539. การเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเค็ม. หน้า 322-332. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง ดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิชิต พงษ์สกุล และปรีดา พากเพียร. 2535. ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช.หน้า 157 - 174.

พิทยากร ลิ่มทอง. 2535. การปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด. หน้า 75-88. ในคู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยโดยคณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุน ศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

พิสุทธิ์ วิจารสรณ์. 2523. ดินของประเทศไทยตามระบบการจำแนกดินแบบใหม่. กองสำรวจดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2532. ผลงานวิจัยจุลธาตุอาหารกับพืชตระกูลถั่วที่เป็นอาหารในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารประกอบสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง "จุลธาตุเพื่อการเกษตรบนที่ดอนของประเทศไทย". สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, 2 ตุลาคม 2532. กรุงเทพฯ. 12 น

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 502 น.

ไพโรจน์. จิตรนุสนธิ์. 2528. วัสดุปรับปรุงดินเปรี้ยว หน้า 64 - 69. ในคำบรรยายในการฝึกอบรม. โครงการเร่งรัดพัฒนาดินเปรี้ยว. ฝ่ายพัฒนาบุคคล. กองการเจ้าหน้าที่, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ภิญโญ เทียมรัตน์ พจนีย์ มอญเจริญ และละเอียด สินธุเสน. 2540. ผลของการใส่ปูนโดยวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนวิธีต่าง ๆของดินเปรี้ยวจัดภาคใต้. ทะเบียนวิจัยที่ 35 36 03 08 0210 27 00 03 12. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 126 น.

ภิญโญ เทียมรัตน์ พจนีย์ มอญเจริญ และละเอียด สินธุเสน. 2542. การเปลี่ยนแปลงเทคนิควิธีวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเค็มและดินด่างโดยโซเดียมอะซิเตท. เอกสารวิจัยกลุ่มเคมีดินที่ 2, กองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน. 49 น.

ภิญโญ เทียมรัตน์ ละเอียด สินธุเสน และวนิดา จุฑาทิส. 2543. ความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดิน : น้ำ อัตราส่วน 1:5 กับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินเค็มชายทะเลภาคกลางของประเทศไทย. ทะเบียนวิจัยที่ 43 43 08 04 000 08 03 01 11. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน . 85 น.

มานพ ตัณฑะเตมีย์ 2536 ดินเค็มชายทะเลของประเทศไทย และการปรับปรุงในเอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน น.16-36

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 424 น.

เล็ก มอญเจริญ. 2539. ความเค็มกับการเจริญเติบโตของข้าว. หน้า 259-268. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง ดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. 2543. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปรับปรุงบำรุงดินที่มีปัญหาในประเทศไทย. ทะเบียนวิจัยที่ 40 42 04 12 839 25 00 03 12. เอกสารวิชาการกองอนุรักษ์ดินและน้ำฉบับที่ 52-04, กรมพัฒนาที่ดิน . 122 น.

วิโรจน์ อิ่มพิทักษ์. 2536. จุลินทรีย์ดินและอินทรียวัตถุในดิน. หน้า 81-87. ในคู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สมเกียรติ ขำเอี่ยม. 2535. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับพืชผัก. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยโดยคณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุนศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. หน้า 247 - 255. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี อรุณินทร์. 2534. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก. (เอกสารแจกทั่วไป)

สมศรี อรุณินทร์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน. 251 น.

สมศรี อรุณินทร์ และพรรณี หงส์น้อย. 2542. ดินเค็มภาคกลาง. หน้า 88-98. ในเอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม, กรมพัฒนาที่ดิน.

สุรชัย หมื่นสังข์. 2537. ดินเปรี้ยวจัดและการปรับปรุง. เอกสารวิชาการประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของรัฐ. กลุ่มปรับปรุงดินเปรี้ยวและดินอินทรีย์, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน. 39 น.

สุรัตน์ ศรีวรวิทย์ เกรียงศักดิ์ พันธ์มณี และประเทือง ลักษณะวิมล. 2535. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับไม้ผล ไม้ยืนต้น และยางพารา. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยโดยคณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุน ศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. หน้า 191 - 224. ภาควิชาปฐพีวิทยา,คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ ทองแพ. 2536. ปฏิกิริยาของดินและการแก้ไข. หน้า. 57-69. ในคู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2543 สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2541/2542 ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารเลขที่ 10/2543. 311 หน้า

สำเนา เพชรฉวี. 2525. การแปลความหมายผลการวิเคราะห์ดินและน้ำ. กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร. เอกสารแจก. 28 น.

สำเนา เพชรฉวี 2535 บทบาทของธาตุอาหารเสริมต่อไม้ผล เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมนา เรื่อง"ปุ๋ยทางใบกับไม้ผลเศรษฐกิจ" ของสมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย วันที่ 8 ธันวาคม 2535. 33 น.

สำเนา เพชรฉวี (ไม่ระบุปีพิมพ์) การแปลความหมายผลการวิเคราะห์ดินและน้ำ. งานวิจัยเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน, กองเกษตรเคมี, กรมวิชาการเกษตร .(เอกสารแจก) 28 น.

อรุณี เจริญศักดิ์ศิริ ดุสิต จิตตนูนท์ และมงคล จันทร์เพ็ญ. 2529. ปูนเพื่อการเกษตรในประเทศไทย. วารสารดินและปุ๋ย. 8: 103-110

Abruna, F.R., W. Pearson and R. Perez-Escolar. 1975. Lime responses of corn and beans grown on typical Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. pp 261-281. Cited by Sanchez. 1976. In Properties and management of soil in the tropics. E.Bornemisza and A.Alvarado (eds) . Soil Management in Tropical America. North Calorina State University. Raleigh. 618 p.

Adams, F., and J.I.Wear. 1957. Manganese toxicity and soil acidity in relation to Crinkle leaf of cotton. Soil Soc. Am. Proc. 21:305-308.

Adams, F., and B.L. Moore. 1983. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. Soil Science Society of America Journal. 47:99-102.

Adams, F., and P.J Hathcock. 1984. Aluminium toxicity and calcium deficiency in acid subsoil horizons of two coastal plains soil series. Soil Science Society of America Journal. 48:1305-9.

Alison. L.E. 1965. Organic Carbon. pp. 1367-1378. In Method of Soil Analysis Part.2 Clumical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wiscoasin , USA.

Armour, J.D., Robson, A.D., and Ritchie, G.S.P. (1990). Prediction of zinc deficiency in navy beans by soil and plant analysis. Australian Journal of Experimental Agriculture 30, 557-63.

Ayers, R.S. and D.W. Westoot. 1976. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Irrigation and Drainage Paper. No.29:97

Bell ,R.W.,B.Rerkasem, P.Keerati-Kasikorn, S Phetchawvee, N. Hirunburana, S.Ratanarat, P.Pongsakul and J.F.Loneragan. 1990. Mineral nutrition of food legumes in Thailand with particular reference to micronutrients ACIAR Technical Report 16 Canberra, Australia.

Benjawan Rerkasem. 1989. Boron deficiency in food legumes in Northern Thailand. Micronutrients for upland agriculture in Thailand. Soil and Fertilizer Society of Thailand.

Black, C.A., D.D. Evans., J.L. White., L.E. Ensminger, F.E. Clark. and R.C.Dinaner. 1965. pp.891-900. *In* Method of Soil Analysis, Part 2 No.9. Chemical and Microbiological Properties Amer. Soc. Of Agro. Inc. Madison, Wis., USA.

Bower, C.A., R.F. Reitemies, and M. Fireman. 1952. Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkaline Soils. Soil Sci. 73:251-261.

Brady, N.C. 1974. Soil Colloids. Their Nature and Practical Significance. pp. 71-110 The Nature and Properties of Soil. 8th ed., the Mac Milan Co. Inc.

Breeman, N.Van. 1973. Dissolved aluminium in acid sulphate soils and in acid mine waters. Proc. Soil Sci.Am. 37 pp. 694-697.

Breeman, N.Van. 1976. Genesis and solution chemistry of acid sulphate soils in Thailand. Pudoc, Wageningen.

Bruce, R.C., L.A Warrell , D.G Edwards, and L.C Bell. 1988. Effects of aluminium and calcium in the soil solution of acid soils on root elongation of Glycine max . Forrest. Australian Journal of Agricultural Research. 39:319-38.

Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity by Ammonium Saturation Method. Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. Agro. No.9. Part 2. 57:894-895.

Chen. Y., and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 35:217-240.

Coleman, N.T., S.B. Weed, and R. J. Mc Cracken. 1959. Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carlina. Soil Sci. Soc. Am Proc. 23:146-149.

Davies ,B.E. and L.H.P. Jones 1988. Micronutrients and toxic elements. In "Russell's Soil Conditions and Plant Growth" 11th ed. Longman Scientific and Technical. England.

Edwards, D.G.. 1971. Concepts of essentiality and function of nutrients. AIAS.(Qld Branch). Plant Nutrition Refresher Course, University of Queensland, Australia.

Eswaran, H. 1998. Major land resource stresses in relation to sustainable agriculture in Asia. Special lecture in the Thai Agricultural Council Meeting on 20th November 1998. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

FAO. 1985. Water quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 29:174 p.

Foy C.D. and , J.C Brown. 1969. Toxic factors in acid soils. I.Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Am.Proc. 27:403-407.

Foy C.D. 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In Soil Acidity and Liming. 2nd ed. (Ed.Fred Adams). pp.57-97. Agronomy No.12. (Am.Soc.Agron.: Madison, Wisc.).

Genon , J.G., de Hepcee, N., J.E Duffy, B. Delvaux, and P.A. Hennebert. 1994. Iron toxicity and other chemical soil constraints to rice in highland swamps of Burundi. Plant and Soil. 166:109-15.

Gessami,F., A.J. Jakeman, and H.A. Nix. 1995. Salinisation of land and water resources. Center for Resource and Environmental Studies. The Australian National University. Australia. 526 p.

Gupta U.C. and , J. Lipsett. 1981. Molybdenum in soils, plants and animals. Adv.Agron. 34:73-115.

Hailes, K.J., R.L. Aitken, and N.W Menzies. 1997 . Magnesium in tropical and subtropical soils from north-eastern Australia. II. Response by glasshouse-grown maize to applied magnesium. Australian Journal of Soil Research. 35 : 629-641.

Heintze, S.G. 1957. Studies on soil manganese. J. Soil Sci. 8:287-300.

Hesse, P.R. 1961. The decomposition of organic matter in a mangrove swamp soil. Plant and Soil. 14: 249-263

Kamprath , E.J. and C.D. Foy . 1971. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In Fertilizer Technology and Use. 2nd ed. (Eds. R.A.Olson et al.) pp.105-151. Soil Sci. Soc.Am.:Madison, Wisc.

Kamprath, E.J. 1980. Soil acidity in well-drain soils of the tropics as a constraint to food Production. Cited by B.Boonsompobpan. The role of aluminum in soil acidity. 19 p.

Kamprath, E.J. 1984 . Crop response to lime on soils in the tropics. In "Soil Acidity and Liming". (Ed. F.Adams.) 2nd Edn. Pp.349-68. Agronomy No.12. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Krauskopf, K.B. (1972). Geochemistry of micronutrients. In Micronutrients in Agriculture. (Eds.J.J.Mortvedt, P.M.Giordano and W.L.Lindsay). pp. 7-40 (Soil Sci. Soc. Am.:Madison, Wisc.).

Kurmarohita K., S. Phetchawee, and P. Morakul. 1966. An investigation of the development of chlorosis in peanut grown on Rendzina soils of Thailand. In : Ann. Rep.on Fertilizer Experiments and Soil Fertility Research. pp. 103-111. Division Agric. Chemistry. Dept. Agric. Thailand.

Loneragan , J.F., T.S. Grove A.D.Robson and K.Snowball. 1979. Phosphorus toxicity as a factor in zine-phosphorus interactions in plants. Soil Sci. Soc. Am.J.43 : 966-972.

Loneragen, J.F. and R.W. Bell. 1989. Principles of micronutrient research. Micronutrient for upland agriculture in Thailand. Soil and Fertilizer Society of Thailand., October 2. 1989.

Maene, L.M. 2538. ข้อจำกัดและโอกาสในด้านการเติบโตของการ (บริโภคปุ๋ย) ใช้ปุ๋ยของประเทศในภาคพื้นเอเชีย. เอกสารประกอบการประชุมนานาชาติ ครั้งที่ 24 ของ International Potash Institute ที่จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 21-24 กุมภาพันธ์ 2538 แปลเป็นภาษาไทยโดย ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน ในวารสารดินและปุ๋ย สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย ปีที่ 17 หน้า 103-118.

McLean ,E.O.,S.W. Dumford and F.Comel. 1966. A comparison of serveral methods of determining lime requirement of soils. Soil Sci. Soc. Amer.Proc.30:26-30.

Menzies, N.W., D.G Edwards,, and L.C. Bell. 1994. Effects of calcium and aluminium in the soil solution of acid, surface soils on root elongation of mungbean. Australian Journal of Soil Research. 32:721-737.

Metson, A.J. 1974. Magnesium in New Zealand Soils 1. Some factors governing the availability of soil magnesium : a review. New Zealand Journal of Experimental Agriculture. 2:277-319.

Miller, R.W., and R.L. Donahue. 1995. Soils and our environment. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersy. 649 p.

Moncharoen, P. 1984. Soil Analysis Date Interpretation For Agricultural Planning and Implementation. In Technical Workshop on the problem of Lands with Declining And Stagnating Productivity. Organized by Department of Land Development in Cooperation with McGowan International Pty. Ltd. And FAO. (unbublisher).

Moncharoen, P., Verasilp and H.Eswaran. 1999. Land resource constraints for sustainable Agriculture in Thailand. Presented in the 10th ISCO Conference, 23-28 May 1999. Purdue University, Lafayette, Indiana, USA.

Moncharoen, P. and P Tapamat. 2000. Enhancing soil quality at Huay Sai Royal Development Study Center. Poster paper presented in the technical tour at the Second International Conference on Vetiver and Environment 12-22 January, 2000. Cha-am Phetchaburi, Thailand. 6 p.

Moore ,P.A.Jr, and , W.H Patrick Jr. 1989.. Iron availabilitiy and uptake by rice in acid sulfate soils. Soil Science Society of America Journal. 53:471-6.

Parkpian P., R.W. Bell, S. Ratanarat, and S Petchawee. 1988. Plant Nutrition. 11:1275-1284.

Paul, E.A., R.F. Folett, S.W. Leavitt, A. Halvorson, G.A. Petersen, and D.J. Lyon. 1997. Radiocarbon dating for determination of soil organic matter pool sizes and dynamics. Soil Sci. Am. J. 61:1058-1067.

Peverill, K.I., L.A. Sparrow, and D.J. Reuter. 1999. Soil analysis and interpretation manual. Australian soil and Plant Analysis Council Inc. 369 p.

Phetchawee,S., C. Kanareugsa, C. Sittibusaya and H. Khunathai. 1985. Potassium in the Agricutural Systems of the Humid Tropices. pp167-181. Proceedings of the 19th Colloquium of the Internation Potash Institue held in Bangkok, Thailand.

Poile, G.J., S.M Ring, , R. Fisher, and H. Mclnerney. 1989. Factors influencing barley tissue magnesium. In Proceedings of the Australian Acid Soil Research Workshop, Coonawarra, South Australia' (Eds K.R.Helyar and P.A. Murray.) p.17. Agricultural Research Institute : Wagga Wagga.

Prabuddhum. P. 1990. Investigations on Al and Fe Toxicities in Thai Acid Sulfate Soils. 5th meeting of the cooperation for Research on Problem Soils : Acid Sulfate Soils. 26-30 November, 1990. Pathum Thani, Thailand. (Unpublished).

Pratt, P.F. 1961. Effect of pH on the cation-exchange capacity of surface soils. Soil.Sci.Am. Proc. 25:96-98.

Preeda, P., R.D.B. Lefrog, and Pichit Pongskul. (No year publish). Diagnosis of Phosphorus and sulphur deficiencies in corn-mungbean cropping system. 8 p.

Ratanarat, S., P. Parkpian, and S. Phetchawee. 1987. Iron deficiency in peanuts on black calcareous soils. In: Proc. Intern. Workshop on Food Legume Improvement in Asian Farming Systems. 1-5 Sept. 1986, Khon Kaen, Thailand. (in press).

Reid, H.S. 1996. Influence of lime and calcium : magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trefoil yields. Communications in Soil Science and plant Analysis. 27 : 1885-1900.

Richards, L. A. 1954. Exchange Cations. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Agriculture Handbook No. 60 : 19-20.

Robson , A.D., O'Hara, G.W. and L.K. Abbott. 1981. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover. (Trifolium subterraneum L.) Aust. J.Plant Physiol. 8: 427-436.

Rorison , J.W. 1973. The effect of soil acidity on the nutrient uptake and physiology of plants In Dost Vol. pp.223-254.

Sanchez , P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. (John Wiley and Sons: New York).

Schofield, R.K., and A.w. Taylor. 1955. Measurement of the Activities of Bases in Soil. J. Soil Sci. 6:137-146.

Shaw. W.M. 1939. Report on the Ammonium Chloride, Distillation Procedure for the Determination of Exchangeable Bases in Soil. J. Assoc. Offic. Agr. Chemists. 22:242-248.

Simson. C.R., R.B Corey, and M.E. Sumner. 1979. Effect of varying Ca : Mg ratios onyield and composition of corn (Zea mays) and alfalfa (Medicargo sativa). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 10 : 153-62.

Soil Interpretation Handbook of Thailand. 1973. Land Classification Division, Land Development Department. Ministry of Agriculture and Co-operatives. 222 p.

Spain,.M. 1986. Strategies for overcoming soil acidity and aluminum toxicity as production constraints in the tropics and subtropics. pp. 79-83. In Proceedings of the international conference on the management and fertilization of upland soils in the tropics and subtropics, Nanjing, People's Republic of China.

Sumner ,M.E. and J.H. Meyer. 1971. Incidence of toxic aluminium in sandy

Tabatabai, M.A. 1982. Sulfur. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of soil analysis Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd cc. Agronomy. 9:501-538.

Toth, S.J. 1964. The physical chemistry of soil. Chemistry of the soil F.E. Bear editor. Reinhold Pub.Co. , N.Y. pp 142-162.

U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. L.A. Richards (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. of agric. Handb. 60.U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.

Victor M., M.A. Shorrocks, D. Phil., and M.I.Biol. 1989. Boron deficiency, its prevention and cure. Borax holding limited. Borax House, Cartisle Place, London SWIPIHT.

Viets, F.G. 1962. Chemistry and availability of micronutrients in soils. Agriculture and Food Chemistry. 10: 174-8.

Viets, F.G. JR. and L.C. Boawn. 1965. Zinc: In methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties. pp.1090-1101.

Walker, T.W. B.K. Thapa. and A.F.R. Adams. 1959. Studies on soil organic matter:3. accumulation of carbon, nitrogen, sulfur, organic and total phosphorus in improved grassland soils. Soil Sci. 87:135-140.

Wiggins,D.J. 1988. Plant Nutrient Sulphur. Sulphur 87. Houston, Texas, USA.

Wild A. and L.H.P. Jones. 1988. Mineral nutrition of crop plants. In "Russell's Soil Conditions and Plant Growth" 11th ed. Longman Scientific and Technical England.

ภาคผนวก

การผสมปุ๋ยเชิงเดี่ยวใช้เอง
(คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อย่างมีประสิทธิภาพ 2541)

ตารางภาคผนวกที่ 1 การคำนวณปุ๋ยที่ใช้ต่อไร่จากปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ

(ช่องที่ 2) = 10-5-3 N, P_2O_5 และ K_2O กก./ไร่

หรือ ต้องการใส่ N = 10 กก./ไร่.....A

หรือ ต้องการใส่ P_2O_5 = 5 กก./ไร่.....B

หรือ ต้องการใส่ K_2O = 3 กก./ไร่.....C

แม่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต้องการ

ยูเรีย (46%N) = $\frac{(100)}{46}$ A กก.

= $\frac{(100)}{46}$ 10 กก.

= 21.7 กก.

หรือแอมโมเนียมซัลเฟต (21%N) = $\frac{(100)}{21}$ A กก.

= $\frac{(100)}{21}$ 10 กก.

= 46.7 กก.

แม่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ต้องการ

ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (45% P_2O_5) = $\frac{(100)}{45}$ B กก.

= $\frac{(100)}{45}$ 5 กก.

= 11.1 กก.

แม่ปุ๋ยโพแทสที่ต้องการ

โพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O) = $\frac{(100)}{60}$ C กก.

= $\frac{(100)}{60}$ 3 กก.

= 5.0 กก.

ฉะนั้น ปริมาณแม่ปุ๋ย (N-P-K) ที่จะต้องใส่ต่อไร่ มีดังนี้

ยูเรีย (46-0-0)	=	21.7	กก.
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0)	=	11.1	กก.
โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)	=	5.0	กก.
รวม	=	37.8	กก.

หรือ

แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0)	=	47.6	กก.
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0)	=	11.1	กก.
โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)	=	5.0	กก.
รวม	=	63.7	กก.

หลักการผสมปุ๋ยเคมีใช้เอง

เมื่อทราบปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการในแต่ละพื้นที่ ก็จัดหาแม่ปุ๋ยที่มีจำหน่ายในท้องที่นำมาผสมตามคำแนะนำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่สิ่งที่ควรคำนึงในการผสมปุ๋ยเคมีใช้เองเพื่อจะให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ควรปฏิบัติดังนี้

1. เม็ดปุ๋ยที่นำมาผสมควรมีขนาดใกล้เคียงกันและมีน้ำหนักไม่แตกต่างกันเพื่อที่จะคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้สนิท ทำให้นำไปใช้กับเครื่องใส่ปุ๋ยได้ง่าย โดยปุ๋ยจะถูกปล่อยลงดินอย่างสม่ำเสมอ หรือการใส่ปุ๋ยแบบหว่านก็ให้ผลดีเช่นกัน ถ้าแม่ปุ๋ยมีขนาดเม็ดแตกต่างกันดังเช่นปุ๋ยโพแทช ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตออกมาเป็นผงเพราะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า เนื้อปุ๋ยผสมจะไม่เข้าสนิทแต่อย่างไรก็ตามถ้าเป็นแปลงขนาดเล็กใช้แรงงานคนใส่ก็อาจปฏิบัติได้โดยหมั่นคลุกเคล้าปุ๋ยอยู่เสมอ

2. เมื่อผสมปุ๋ยได้ตามต้องการแล้วควรนำไปใช้ทันทีเพื่อเลี่ยงปุ๋ยที่ผสมดูดความชื้นจากอากาศกลับมา โดยเฉพาะในฤดูฝนควรระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต หรือยูเรียมีสมบัติดูดความชื้นได้ดี (hygroscopic properties) ถ้าปุ๋ยผสมมีความชื้นสูงเกิน 5 % จะทำให้ยากต่อการนำไปใช้กับเครื่องใส่ปุ๋ย

3. บดแม่ปุ๋ยที่นำมาใช้ให้เม็ดแตกร่วนเสียก่อนผสมเพื่อจะให้เนื้อปุ๋ยคลุกเคล้ากันเป็นอย่างดี ควรเลี่ยงใช้ปุ๋ยเก่าเพราะเม็ดปุ๋ยมักจะจับตัวกันเป็นก้อน

4. ปุ๋ยที่ผสมแล้วอย่าใช้ร่วมกันปูนที่ใส่ปรับปฏิกิริยาของดิน เพราะจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้สูญเสียไนโตรเจนจากดินไปโดยเปล่าประโยชน์

5. ควรผสมปุ๋ยตามปริมาณที่ต้องการให้พอใช้ในแต่ละครั้ง ไม่ควรผสมเก็บไว้นานเกินควร จะไม่สะดวกในการใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0,46-0-0,0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$ กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยว			
			21-0-0*	46-0-0*	0-45-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
มันสำปะหลัง	ทราย	16-6-12	76	35	13	20
	ร่วนทราย P ต่ำ , K ต่ำ	12-6-12	57	26	13	20
	ร่วนทราย P ต่ำ , K สูง	12-6-6	57	26	13	10
	ร่วนทราย P สูง , K ต่ำ	12-4-8	57	26	9	13
	ร่วนทราย P สูง , K สูง	12-4-4	57	26	9	7
อ้อย	ดินเหนียว-ดินร่วนเหนียว	12-6-6	57	26	13	10
	ดินทราย-ดินร่วนทราย	12-6-12	57	26	13	20
ข้าวโพด	ดินเหนียวสีดำ P สูง	10-0-0	48	22	0	0
ข้าวฟ่าง	ดินเหนียวสีดำ P ต่ำ	10-10-0	48	22	22	0
	ดินเหนียวสีแดง P สูง	10-5-0	48	22	11	0
	ดินเหนียวสีแดง P ต่ำ	10-10-0	48	22	22	0
	ร่วนเหนียวสีน้ำตาล P สูง	10-0-0	48	22	0	0
	ร่วนเหนียวสีน้ำตาล P ต่ำ	10-10-0	48	22	22	0
	ดินทราย	10-5-5	48	22	11	8
	ดินร่วนทราย	10-5-3	48	22	11	5
ข้าวโพด	นาดินเหนียว	10-5-0	48	22	11	0
ผักอ่อน	นาดินทราย P สูง	15-5-5	71	33	11	8
	นาดินทราย P ต่ำ	15-10-5	71	33	22	8

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียวร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต (45% P_2O_5) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$ กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยว			
			21-0-0*	46-0-0*	0-45-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
ถั่วต่าง ๆ	ดินเหนียวสีดำ	0-6-0	0	0	13	0
	ดินร่วมเหนียวสีน้ำตาล	3-6-0	14	7	13	0
	ดินเหนียวสีแดง	3-9-3	14	7	20	5
	ดินทราย-ดินร่วนทราย	3-9-6	14	7	20	10
ละหุ่ง	ดินทราย-ร่วนทราย	10-10-10	47	22	22	17
	ดินเหนียวสีแดง	10-10-0	47	22	22	0
	ดินเหนียวสีดำ-ร่วนเหนียวสีน้ำตาล	10-0-0	47	22	0	0
งา	ดินทราย - ร่วนทราย	8-8-4	38	38	17	17
	ดินเหนียวสีแดง	8-8-0	38	38	17	0
	ดินเหนียวสีดำ-ร่วนเหนียวสีน้ำตาล	8-0-0	38	38	0	0

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียวร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต (45% P_2O_5) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$ กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยว			
			21-0-0*	46-0-0*	0-45-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
ฝ้าย	ดินเหนียวสีดำ P สูง	6-0-0	29	13	0	0
	ดินเหนียวสีดำ P ต่ำ	6-6-0	29	13	13	0
	ดินเหนียวสีน้ำตาล K สูง	6-6-0	29	13	13	0
	ดินเหนียวสีน้ำตาล K ต่ำ	6-6-6	29	13	13	10
	ดินเหนียวสีแดง	6-12-6	29	13	26	10
	ดินเหนียวสีแดง	12-12-6 [1]	57	26	26	10
	ดินทราย-ร่วนทราย	6-6-6	29	13	13	10
	ดินทราย-ร่วนทราย	12-6-6 [1]	57	26	13	10
ข้าวโพด	ดินทราย-ร่วนทราย P ต่ำ , K ต่ำ	8-8-8	38	17	17	13
	ดินทราย-ร่วนทราย P สูง , K ต่ำ	8-4-8	38	17	9	13
	ดินทราย - ร่วนทราย P สูง , K สูง	8-4-4	38	17	9	7

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียว ร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต (45% P_2O_5) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

[1] สำหรับสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยและผลผลิตราคาสูง

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$ กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียว			
			21-0-0*	46-0-0*	18-46-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
มันสำปะหลัง	ทราย	16-6-12	65	30	13	20
	ร่วนทราย P ต่ำ , K ต่ำ	12-6-12	46	21	13	20
	ร่วนทราย P ต่ำ , K สูง	12-6-6	46	21	13	10
	ร่วนทราย P สูง , K ต่ำ	12-4-8	50	23	9	13
	ร่วนทราย P สูง , K สูง	12-4-4	50	23	9	7
อ้อย	ดินเหนียว-ดินร่วน เหนียว ดินทราย-ดินร่วนทราย	12-6-6 12-6-12	46 46	21 21	13 13	10 20
ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	ดินเหนียวลึกต่ำ P สูง	10-0-0	48	22	0	0
	ดินเหนียวลึกต่ำ P ต่ำ	10-10-0	29	13	22	0
	ดินเหนียวลึกแดง P สูง	10-5-0	38	17	11	0
	ดินเหนียวลึกแดง P ต่ำ	10-10-0	29	13	22	0
	ร่วนเหนียวลึกน้ำตาล P สูง	10-0-0	48	22	0	0
	ร่วนเหนียวลึกน้ำตาล P ต่ำ	10-10-0	59	13	22	0
	ดินทราย	10-5-5	38	17	11	8
	ดินร่วนทราย	10-5-5	38	17	11	8
ข้างโพดอ่อน	นาดินเหนียว	10-5-0	38	17	11	0
	นาดินทราย P สูง	15-5-5	62	28	11	8
	นาดินทราย P ต่ำ	15-10-5	52	24	22	8

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียวร่วมกับปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$ กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ ($N-P_2O_5-K_2O$) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยว			
			21-0-0*	46-0-0*	18-46-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
ถั่วต่าง ๆ	ดินเหนียวสีดำ	0-6-0	0	0	13	0
	ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล	3-6-0	3	1	13	0
	ดินเหนียวสีแดง	3-9-3	0	0	20	5
	ดินทราย-ดินร่วนทราย	3-9-6	0	0	20	10
ละหุ่ง	ดินทราย-ร่วนทราย	10-10-10	28	13	22	17
	ดินเหนียวสีแดง	10-10-0	28	13	22	0
	ดินเหนียวสีดำ-ร่วนเหนียวสีน้ำตาล	10-0-0	48	22	0	0
งา	ดินทราย-ร่วนทราย	8-8-4	23	11	17	7
	ดินเหนียวสีแดง	8-8-0	23	11	17	0
	ดินเหนียวสีดำ-ร่วนเหนียวสีน้ำตาล	8-0-0	38	17	0	0
ฝ้าย	ดินเหนียวสีดำ P สูง	6-0-0	29	13	0	0
	ดินเหนียวสีดำ P ต่ำ	6-6-0	19	9	13	0
	ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล K สูง	6-6-0	19	9	13	0
	ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล K ต่ำ	6-6-6	19	9	13	10
	ดินเหนียวสีแดง	6-12-6	6	3	26	10
	ดินเหนียวสีแดง	12-12-6 [1]	35	16	26	10
	ดินทราย-ร่วนทราย	6-6-6	17	8	13	10
	ดินทราย-ร่วนทราย	12-6-6 [1]	46	21	13	10

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียวร่วมกับปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

[1] สำหรับภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยและผลผลิตราคาสูง

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) ปริมาณปุ๋ยเชิงเดียวชนิดต่าง ๆ (21-0-0, 46-0-0, 0-45-0 และ 0-0-60) ที่ใช้กับพืชและดินชนิดต่าง ๆ (กิโลกรัมต่อไร่) ตามปริมาณธาตุอาหารที่แนะนำ (N-P_2O_5-K_2O กก./ไร่)

พืช	ชนิดดิน	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ (N-P_2O_5-K_2O) (กก./ไร่)	ปริมาณปุ๋ยเชิงเดี่ยว			
			21-0-0*	46-0-0*	18-46-0	0-0-60
			(กก./ไร่)			
บ่อแก้ว	ดินทราย-ร่วนทราย P ต่ำ , K ต่ำ	8-8-8	23	10	18	13
	ดินทราย-ร่วนทราย P สูง , K ต่ำ	8-4-8	31	14	9	13
	ดินทราย-ร่วนทราย P สูง , K สูง	8-4-4	31	14	9	7

* เลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) สำหรับดินทราย-ร่วนทราย ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46% N) ใช้สำหรับดินร่วน-ดินเหนียวร่วมกับปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และปุ๋ยโพแทช (60% K_2O)

เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ร่วมกัน ถ้านำมาใช้ไม่ถูกต้องตามหลักการ ผลเสียจะปรากฏออกมาอย่างเด่นชัด จึงขออธิบายให้ทราบถึงสมบัติของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ตามตาราง ภาคผนวกที่ 3 ดังนี้

ตารางภาคผนวกที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
- เป็นปุ๋ยที่ได้จากการเกษตร	- เป็นปุ๋ยที่ได้จากกรรมวิธีผลิตทางเคมี
- มีธาตุอาหารพืชครบถ้วนในปริมาณน้อย	- มีธาตุอาหารพืชมากน้อยตามชนิดของปุ๋ยเคมี
- มีจุดประสงค์ที่จะใช้เพื่ออนุรักษ์หรือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินเป็นหลัก	- มีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- เป็นแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตในดิน	- ให้ธาตุอาหารพืชโดยตรง
- บางชนิดจะทยอยปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมา	- ให้ธาตุอาหารพืชได้รวดเร็วตามที่พืชต้องการ
- ต้องใช้ในปริมาณมาก	- ใช้ในปริมาณที่แนะนำ
- ไม่มีข้อจำกัดในการใช้ที่เคร่งครัด	- ใช้ให้ตรงกับพืช ดิน และวิธีการใช้มิฉะนั้นจะมีผลเสียต่อพืช
- ยุ่งยากในการรวบรวม และบางชนิดมีกลิ่นรบกวนและมีราคาสูง เช่น มูลค้างคาว	- จัดหาปุ๋ยสูตรทั่ว ๆ ไปได้ง่าย

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงการเปลี่ยน non SI Units เป็น SI Units

Quantity	SI Unite	Conversion equation
Electrical conductance	$dS\ m^{-1}$	$1\ mS/cm = 1\ dS\ m^{-1}$
Cation exchange capacity	$cmol(+)kg^{-1}$	$1\ meq/100g = 1\ cmol(+)kg^{-1}$ or $1\ cmol\ kg^{-1}$
Anion exchange capacity	$cmol(-)kg^{-1}$	$1\ meq/100g = 1\ cmol(-)kg^{-1}$ or $1\ cmol\ kg^{-1}$
Exchangeable cation	$cmol(+)kg^{-1}$	$1\ meq/100g = 1\ cmol(+)kg^{-1}$ or $1\ cmol\ kg^{-1}$
Mass ratio	$g\ kg^{-1}$	$1\ \% = 1\ g\ kg^{-1}$
	$mg\ kg^{-1}$	$1\ ppm = 1\ mg\ kg^{-1}$
		$1\ mg/100g = 10\ mg\ kg^{-1}$
	$\mu g\ kg^{-1}$	$1\ ppb = 1\ \mu g\ kg^{-1}$
	$ng\ kg^{-1}$	$1\ ppt = 1\ ng\ kg^{-1}$
Mass concentration	$g\ L^{-1}$	$1\ \% = 1\ g\ L^{-1}$
	$mg\ L^{-1}$	$1\ ppm = 1\ mg\ L^{-1}$
	$\mu g\ L^{-1}$	$1\ ppb = 1\ \mu g\ L^{-1}$
	$ng\ L^{-1}$	$1\ ppt = 1\ ng\ L^{-1}$
DeNSity	$Mg\ m^{-3}$	$1\ g/cm^{-3} = 1\ Mg\ m^{-3}$
Rate, Yield	$Kg\ ha^{-1}$	$1\ kg/10\ a = 10\ kg\ ha^{-1}$
	$Mg\ ha^{-1}$	$1\ t/10\ a = 10\ Mg\ ha^{-1}$