บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ยิปซัมที่ใช้ในการเกษตร

ในการเกษตรที่ยั่งยืนได้มีการใช้ประโยชน์จากยิปซัมในการผลิตพืชกันอย่างแพร่หลาย เพราะยิปซัมมีสมบัติในการปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะแก่การปลูกพืชและเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่หลายชนิดโดยเฉพาะธาตุแคลเซียมที่มีปริมาณมาก เหมาะกับการแก้ปัญหาการขาดธาตุแคลเซียมของพืชได้ดี ยิปซัมจัดเป็นสารที่หาง่ายมีราคาถูกและพบได้ในธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่แต่ก็สามารถหาได้จากแหล่งอื่นๆ เช่น ที่รัฐโอไฮโอ ในประเทศสหรัฐอเมริกา ยิปซัมที่ใช้ในด้านการเกษตรจะมีที่มาอยู่ 4 แหล่ง (Katerina *et al*, 2005) คือ

- ยิปซัมที่เกิดจากการทับถมตามธรรมชาติ
- ยิปซัมสังเคราะห์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
- ยิปซัมจากกระบวนการกำจัดของเสียของโรงงานต่างๆ
- ยิปซัมจากฝ่าผนังที่ไม่ใช้แล้ว

ยิปซัมจากแหล่งต่างๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 1

2.2 Flue Gas Desulfurization Gypsum (FGD-Gypsum)

กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์จะใช้วิธีผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงไปในน้ำปูนขาว โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกเติมออกซิเจนกลายเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งต่อมาจะทำปฏิกิริยากับ $CaCO_3$ กลายเป็นยิปซัม ดังสมการ

$$2H_2O + CaCO_{3(s)} + SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CaSO_4.2H_2O_{(s)} + CO_{2(g)}$$

สารยิปซัมที่เกิดขึ้นถูกเรียกว่า FGD-Gypsum (ภาพที่ 1) เป็นยิปซัมที่ละลายในน้ำบริสุทธิ์ได้เล็กน้อย คือประมาณ 2.5 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร หรือ15 มิลลิโมลาร์ ซึ่งระดับการละลายน้ำจะช่วยสนับสนุนความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆในสารละลายดินและเป็นความเข้มข้นที่สามารถปลดปล่อยให้เกลือละลายได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่พบในยิปซัมธรรมชาติและยิปซัมจากแหล่งต่างๆ

Measure	Units	Museum specimen	Synthetic gypsum	Natural gypsum	Cast gypsum	Drywall gypsum
Calcium	%	22.6	23.0	19.1	22.4	21.9
Magnesium	%	0.01	0.03	1.35	0.05	0.22
Sulfur	%	18.6	18.7	15.1	19.3	18.1
Boron	ppm	< 13.1	26.7	9.4	0.4	7.3
Iron	ppm	< 1	264	1045	44	547
Manganese	ppm	0.1	5.5	14.6	9.1	9.4
Phosphorus	ppm	3.8	16.7	30.6	7.5	51.6
Arsenic	ppm	< 0.52	0.56	< 0.52	< 0.52	0.98
Cadmium	ppm	< 0.48	< 0.48	< 0.48	< 0.48	< 0.48
Chromium	ppm	0.01	1.30	1.38	0.07	1.09
Cobalt	ppm	< 0.48	< 0.48	0.53	< 0.48	< 0.48
Copper	ppm	< 0.48	1.16	1.33	1.40	0.95
Lead	ppm	< 0.48	0.80	2.92	0.57	0.70
Mercury	ppm	< 0.26	< 0.26	< 0.26	< 0.26	< 0.26
Molybdenum	ppm	< 0.24	0.51	1.28	< 0.24	< 0.24
Nickel	ppm	< 0.24	0.73	1.42	< 0.24	0.83
Selenium	ppm	< 1.45	5.51	< 1.45	< 1.45	1.85
Zinc	ppm	< 0.24	3.88	0.91	< 0.24	3.08

ที่มา: Katerina *et al.* (2005)

ดังนั้น FGD (flue gas desulfurization) จึงหมายถึง การแปรสภาพของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไปเป็นสารประกอบของแข็งซัลเฟอร์ที่สามารถรวบรวมเพื่อนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งในกระบวนการแปรรูปจะแบ่งเป็นกระบวนการแบบเปียกและแบบแห้งซึ่งจะแตกต่างกันทั้งการใช้ตัวดูดซับและผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยกระบวนการแบบเปียกจะใช้หินปูน ($CaCO_3$) หรือปูนขาวแห้ง ส่วนกระบวนการแบบแห้งจะใช้ปูนขาวที่มีความชื้น โดยทั่วไประบบ FGD ของสหรัฐอเมริกา 90 % จะนิยมใช้แบบเปียกมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 1 FGD-Gypsum ที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์

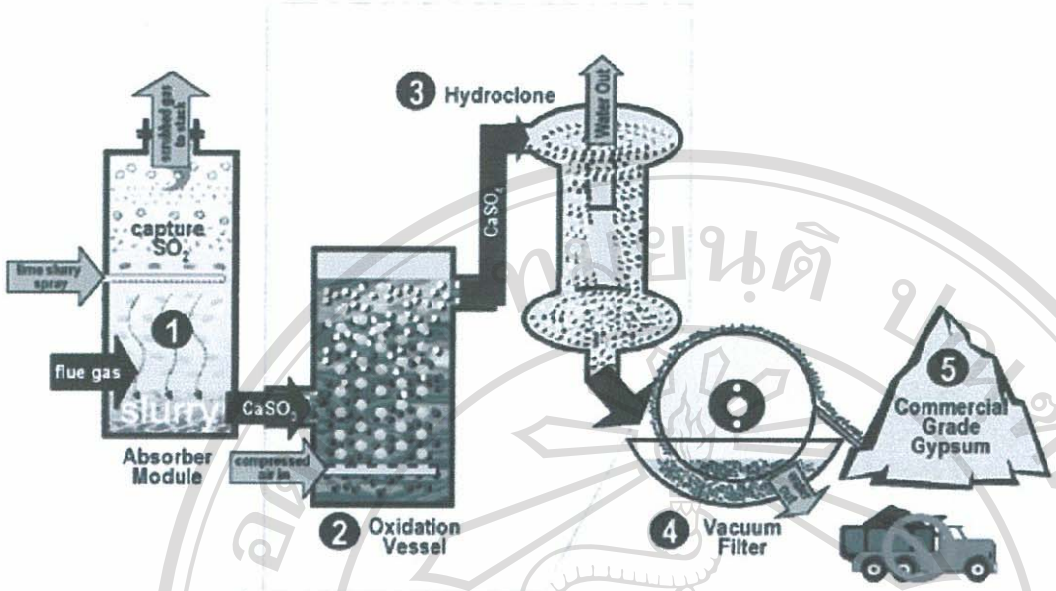
2.2.1 กระบวนการแบบเปียก

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์มักใช้กระบวนการแบบเปียก (wet scrubber) (ภาพที่ 2) ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นเมื่อกำจัดเถ้าลอยที่ปะปนในก๊าซออกแล้ว ก๊าซก็จะถูกส่งไปผ่านการสเปรย์ด้วยสารละลายที่มีเศษกากปูนขาว (แคลเซียมไฮดรอกไซด์;$Ca(OH)_2$) หรือหินปูน ($CaCO_3$) ปะปนอยู่ใน wet scrubber ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับกับก๊าซ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซีเมนต์เปียกซึ่งเรียกว่า กากสครับเบอร์ (scrubber sludge)

สำหรับกระบวนการตามธรรมชาติที่ใช้ก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในก๊าซที่ผ่านน้ำเข้ามาเท่านั้น จะได้ $CaSO_3$ เป็นผลิตภัณฑ์ แต่ในระบบที่ใช้เครื่องเป่าอากาศช่วยในการเพิ่มออกซิเจนจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น $Ca\ SO_4.2H_2O$ ซึ่งก็คือยิปซัมนั่นเอง

เนื่องจาก $CaSO_3$ เป็นสารที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจต่ำและมีการนำไปฝังกลบในปริมาณสูง ดังนั้นจึงต้องมีการนำมาทำเป็น FGD-Gypsum เพื่อพัฒนาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพให้มีคุณค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยิปซัมที่ได้จากระบบที่ใช้เครื่องเป่าอากาศช่วยจะมีการคงตัว มีรูพรุน และมีโครงสร้างหรือลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่า จึงง่ายต่อการนำไปฝังกลบหรือใช้ประโยชน์อย่างอื่น และยังทำให้เกิดตะกรันน้อยกว่าส่งผลให้สมรรถนะของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงกว่าด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 กระบวนการแปรรูปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเปียก

ที่มา: Katerina *et al.* (2005)

2.2.2 กระบวนการแบบแห้ง

ในระบบนี้จะมีการใช้น้ำน้อยกว่าแบบเปียกโดยมีหลักการ คือกำจัดเถ้าลอยและซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากก๊าซที่ปล่อยออกมาทันทีจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแห้ง ส่วนใหญ่จะใช้ระบบที่เรียกว่า spray dryer ซึ่งภายใน spray dryer นี้จะพ่นกากปูนขาวที่เป็นสารข้นๆที่ได้จากกระบวนการขึ้นไปสัมผัสกับก๊าซที่ปล่อยเข้ามาในระบบความร้อนจากก๊าซที่เข้ามาจะทำให้กาก ปูนขาวแห้งกลายเป็นเกล็ดหรือผงแล้วตกลงมาพร้อมกับเถ้าลอยภายในภาชนะรองรับที่เตรียมไว้หรืออีกวิธีหนึ่ง คือการฉีดโซเดียมซึ่งเป็นตัวดูดซับเข้าไปสัมผัสกับก๊าซในปล่องปล่อยโดยตรง

องค์ประกอบหลักของ FGD-Gypsum ที่ได้จากระบบนี้ คือ $CaSO_3$ กับเถ้าลอย และสารอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น $CaSO_4$ (ในระบบที่ใช้โซเดียมเป็นตัวดูดซับจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น $NaSO_3$ และ $NaSO_4$) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเปียกพบว่าในกระบวนการแบบแห้งจะมีสัดส่วนของเถ้าลอยที่ปะปนอยู่สูงกว่า เนื่องจากมีการรวบรวมไว้พร้อม ๆ กันและไม่มีปริมาณออกซิเจนหรือระยะเวลามากพอที่จะทำให้เกิดสารประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟต (SO_4^{2-})

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ใน FGD-Gypsum

FGD-Gypsum ส่วนใหญ่จะได้จากกระบวนการแบบเปียกที่ใช้หินปูน ($CaCO_3$) มาเป็นตัวดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วเติมก๊าซออกซิเจนลงไปซึ่งทำให้มีสมบัติในการละลายน้ำได้น้อยและมีผลต่อระดับความเข้มข้นของธาตุต่างๆในสารละลายดิน FGD-Gypsum มีปริมาณของธาตุแคลเซียม กำมะถันในปริมาณมากแต่จะมีจุลธาตุอื่นๆรวมทั้งพวกโลหะหนักในปริมาณที่ต่ำ ยกเว้นโบรอนซึ่งเป็นจุลธาตุที่มีปริมาณค่อนข้างสูง (Miller and Miller, 2000) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ใน FGD-Gypsum

Element	FGD-Gypsum
Major element	**g kg^{-1}**
Al	0.292
Ca	230
Mg	0.3
S	187
Fe	0.045
Trace element	**mg kg^{-1}**
As	0.56
B	55.1
Ba	-
Cd	< 39
Cr	< 37
Cu	< 42
Mn	< 2.6
Mo	< 65
Ni	< 44
Pb	< 26
Se	0.87
Zn	< 21

ที่มา: Chen *et al.* (2005)

จะเห็นได้ว่า FGD-Gypsum นอกจากจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมแล้วยังสามารถนำมาใช้ในด้านเกษตรกรรมได้ ทั้งนี้เพราะมีธาตุอาหารพืชอยู่หลายชนิดในองค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ความแตกต่างระหว่าง FGD Gypsum และ Gypsum ที่มีในธรรมชาติ

FGD-Gypsumมีลักษณะแตกต่างจากยิปซัมที่เกิดตามธรรมชาติ คือยังมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หลงเหลืออยู่ในองค์ประกอบรวมไปถึง ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โบรอน คลอไรด์ โซเดียม นอกจากนี้สมบัติของยิปซัมที่เกิดขึ้นนี้ยังมีความแตกต่างกับยิปซัมที่มาจากสินแร่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากยิปซัมจากโรงไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์มีส่วนผสมของหินปูน ($CaCO_3$) อยู่จึงมีค่า pH ประมาณ 6.5 – 7.0 ซึ่งสูงกว่าค่า pH ของยิปซัมตามธรรมชาติซึ่งมีค่าประมาณ 5.0

FGD-Gypsum ถือว่าเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เอื้อต่อการลดความเป็นกรดของดิน ในขณะเดียวกันธาตุอาหารพืชที่เจือปนอยู่ในFGD-Gypsumจะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีต่อพืช อย่างไรก็ตามเนื่องจาก FGD-Gypsum ยังมีส่วนประกอบของโลหะหนักปะปนอยู่บ้าง ดังนั้นการนำ FGD-Gypsum ไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรต้องมีการตรวจสอบการแพร่กระจายของโลหะหนัก ได้แก่ As, Pb, Cd, Hg, Co และ Ni ในดินดั้งเดิมด้วยเพื่อให้แน่ใจว่าจะนำยิปซัมไปใช้ในอัตราที่เหมาะสมจะไม่เกิดปัญหา

2.5 ผลของ FGD-Gypsum ต่อสมบัติของดิน

2.5.1 ผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

การใช้ยิปซัมในการปรับปรุงดินมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้นเพราะแคลเซียมไอออนจากยิปซัมจะช่วยให้อนุภาคดินเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นเม็ดดินที่มั่นคง Chang และ คณะ (1989) แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นพร้อมกับการเพิ่มของออกซิเจน ความแน่นทึบของเนื้อดินลดลงอันเป็นผลมาจากการใส่ FGD-Gypsum ลงไปร่วมกับการใส่ปูนมีผลทำให้ดินมีโครงสร้างดี ร่วนซุย มีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดีเหมาะแก่การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของราก แต่ถึงแม้จะทำให้ดินบางชนิดมีการอุ้มน้ำดีขึ้นแต่ก็ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าจะทำให้ดินมีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่

อย่างไรก็ตาม Jakob และคณะ (1991) ได้ทำการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดินที่มีการปลูกข้าวโพดเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับน้ำพบว่าเมื่อใส่ FGD-Gypsum ลงไปรากข้าวโพดจะเจริญเติบโตเฉพาะบริเวณที่มียิปซัมดังกล่าวซึ่งจะทำให้เกิดภาวะอุ้มน้ำได้ดีเมื่อฝนตกลงมาและปริมาณผลผลิตข้าวโพดในแปลงดังกล่าวนี้จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ยิปซัมสามารถลดและป้องกันการเกิดจับตัวกันแน่นบนผิวดินอันเกิดจากแรงฝนตก หรือการให้น้ำแบบพ่นฝอยลงบนดินที่ไม่คงรูป (Sheinberg *et al.* (1989)) ป้องกันการจับตัวกันแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของดินซึ่งเป็นผลมาจากการใส่ปูนเกินในดินกรด (Sumner ,1993) การใส่ยิปซัมร่วมกับการใส่ปูน การใส่ยิปซัมอาจใส่โดยโรยที่ผิวดิน หรืออาจใส่ไปพร้อมกับการให้น้ำ การป้องกันมิให้เกิดการจับตัวกันเป็นแผ่นแข็งที่ผิวดินเป็นการช่วยให้เมล็ดพืชงอกโผล่พ้นผิวดินได้ง่ายขึ้นทำให้พืชเก็บเกี่ยวได้เร็ววันขึ้น เมล็ดพืชงอกเพิ่มขึ้น 50-100 % กลไกการป้องกันการเกิดการจับตัวกันแน่นของดินเหนียวที่ฟุ้งกระจายก็เพราะยิปซัมทำให้ดินเกิดปฏิกิริยาเกาะตัวเป็นก้อนขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะยิปซัมให้แคลเซียมซึ่งช่วยให้ดินเกาะตัวกันเป็นก้อนไม่ว่าจะเป็นดินกรดหรือดินด่าง (Sheinberg *et al.* (1989)) เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของดินที่เป็นก้อนเล็กรวมตัวกันเข้าด้วยกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น ลักษณะการเกาะตัวของดินเช่นนี้เป็นสิ่งที่ต้องการในการปรับโครงสร้างของดินที่อำนวยประโยชน์แก่รากพืชและให้อากาศและน้ำเคลื่อนย้ายได้

2.5.2 ผลต่อสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เนื่องจากธรรมชาติของ FGD-Gypsum ที่ได้มาจากการเผาถ่านหินมีธรรมชาติของความเป็นอัลคาไลน์ การศึกษาจึงเน้นไปที่ผลลัพธ์ของมันในการปรับเปลี่ยนสมบัติทางด้านเคมีของดิน

ดินเค็มที่มีค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากจะต้องให้ค่านี้ลดลงเพื่อปรับปรุงดิน และพืชสามารถเจริญเติบโตได้ วิธีการที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่สุดคือการใส่ยิปซัมที่ได้มาจากโรงงานซึ่งจะให้แคลเซียมเข้าไปแทนที่โซเดียมที่ยึดติดรวมกับดินเหนียวปลดปล่อยโซเดียมออกมาเป็นอิสระ ทำให้โซเดียมจะถูกชะล้างออกจากดินในรูปของโซเดียมซัลเฟต อนุมูลซัลเฟตเป็นส่วนตกค้างที่ออกจากยิปซัม ถ้าปราศจากยิปซัมแล้วจะไม่เกิดการชะล้างในดินได้ดังสมการ

$$2Na\text{-}Clay + CaSO_4 \text{ --------> } Ca\text{-}Clay + Na_2SO_4$$

เมื่อดินเค็มที่มีโซเดียมเป็นองค์ประกอบ(หรือที่เรียกว่าดินโซดิก)ได้รับการแก้ไขแล้วไม่จำเป็นต้องใช้ยิปซัมจำนวนทั้งหมดภายในหนึ่งปี แต่ควรหว่านยิปซัมติดต่อกันหลายปี

อีกทั้งพบว่า FGD-Gypsum ที่เป็นแหล่งให้แคลเซียมซึ่งเป็นกลไกหลักที่จะรวมตัวกันของอินทรียวัตถุกับดินเหนียวจะทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนที่มั่นคงของดิน ซึ่งเมื่อใส่ยิปซัมจะทำให้คุณค่าของอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น (Muneer and Oades ,1989)

ปกติการเติมยิปซัมธรรมชาติลงไปในดินกรดจะไม่ได้ช่วยยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นเช่นเดียวกับพวกปูน (lime) กลับทำให้ pH ของดินลดลง แต่ถ้าเติม FGD-Gypsum ลงไปจะทำให้ดินมี pH เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะใน FGD-Gypsum มี pH สูงกว่ายิปซัมทั่วไปนั่นเอง อย่างไรก็ตามทั้ง FGD-Gypsum และยิปซัมทั่วไปสามารถช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมินัมที่มีอยู่ในดินกรดได้ เพราะแคลเซียมไอออนจากยิปซัมเหล่านี้จะไปไล่ที่อะลูมินัมไอออนที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวให้หลุดออกมาอยู่ในสารละลายดิน ดังสมการ (Tisdale and Nelson, 1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

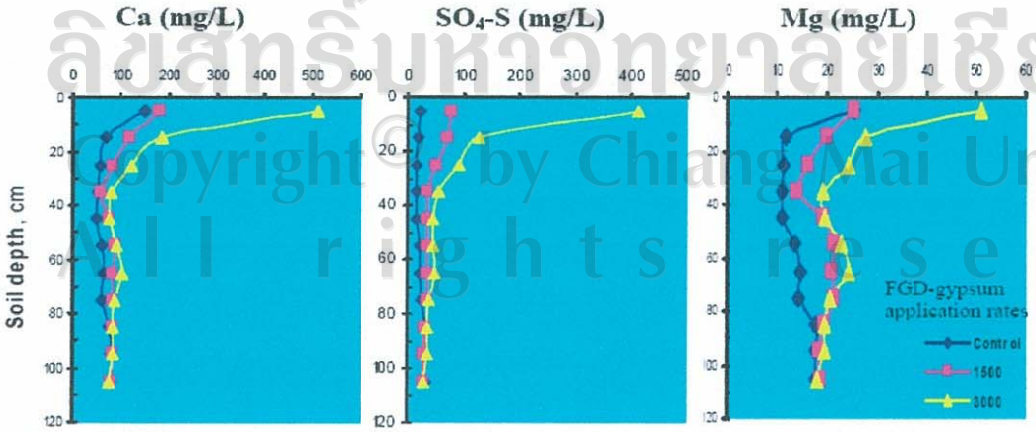
$$CaSO_4.2H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$$

$$\text{Clay colloids}\begin{bmatrix}H\\Al\\Fe\\H\end{bmatrix} + Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightleftharpoons \text{Clay colloids}\begin{bmatrix}Ca\\Ca\\Ca\end{bmatrix} + Al^{3+} + Fe^{3+} + 2H^{+}$$

จากนั้นอะลูมินัมไอออนจะไปรวมตัวกับซัลเฟตไอออน(SO_4^{2-}) ทำให้ลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในดินลงได้ ดังนั้นการเติมยิปซัมหรือ FGD-Gypsum ลงไปในดินจึงต้องมีการพิจารณาถึงปริมาณที่จะใส่ และสมบัติของดินนั้นๆ ด้วย

Chen และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาผลจากการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดิน พบว่ามีปริมาณของ Ca และ S เพิ่มขึ้นในช่วง 0 – 80 ซม.และยังส่งผลให้มีปริมาณของ Mg เพิ่มขึ้นด้วยถึงแม้ว่าจะมี Mgอยู่ในองค์ประกอบของ FGD-Gypsum ในปริมาณต่ำก็ตาม(ภาพที่ 3) ทำให้สัดส่วนของ Ca และ Mg (Ca : Mg ratio) ในสารละลายดินลดลงเนื่องจาก Mg ภายในแร่ดินเหนียวถูกไล่ที่โดย Ca ที่มาจาก FGD-Gypsum นั่นเอง และการใช้ FGD-Gypsum ยังส่งผลให้เกิดการลดลงของ Al ที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดินในช่วงความลึก 0 – 40 ซม. อีกด้วย (ภาพที่ 4)

แคลเซียมใน FGD-Gypsum เป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืชซึ่งพืชต้องการอย่างต่อเนื่อง และเป็นธาตุที่ปรับแก้ให้เกิดความสมดุลในระหว่างธาตุอาหารพืชทั้งหมดและช่วยลดผลกระทบจากธาตุที่ไม่ใช่อาหารพืชซึ่งอยู่ในพืชจนอยู่ในระดับที่เป็นพิษ พวกไม้ผลและพืชที่มีเมล็ดมักจะขาดแคลเซียม (Wallace, 1995)

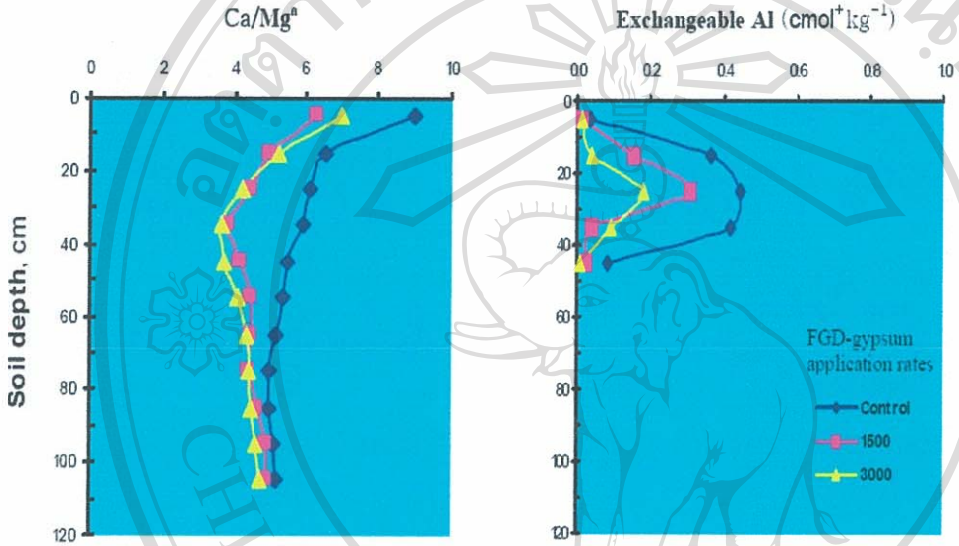


ภาพที่ 3 ผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อ Ca , S , Mg ในสารละลายดินในช่วงความลึกต่างๆ

ที่มา: Chen *et al.* (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมใน FGD-Gypsum จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับความสมดุลของธาตุอาหารเสริมในดิน เช่น เหล็ก, สังกะสี, แมงกานีส และ ทองแดง (Alva *et al.* 1993) แคลเซียมยังเป็นตัวปรับจุลธาตุที่ไม่จำเป็นต่อพืชอีกด้วย แคลเซียมจะช่วยขัดขวางการดูดธาตุอาหารที่มากเกินไปเมื่อธาตุเหล่านั้นถูกดูดอยู่ในต้นพืชเมื่อมีแคลเซียมอยู่จะช่วยควบคุมรักษาให้ธาตุอาหารและธาตุที่ไมใช่ธาตุอาหารให้อยู่ในสมดุลทำให้พืชสมบูรณ์เป็นปรกติ



ภาพที่ 4 ผลของ FGD-Gypsum ต่ออัตราส่วนของCa และMg (Ca/Mg (meq/meq))และ Al ที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายดิน(Ca/Mg = water soluble Ca (meq L^{-1}))/water soluble Mg (meq L^{-1})

ที่มา: Chen *et al.* (2005)

ในช่วงของการพัฒนาผลในไม้ผลระดับแคลเซียมในพืชจะอยู่ก้ำกึ่งเสมอหรือมักจะขาดแคลนบ่อยๆ แคลเซียมเคลื่อนย้ายช้ามากจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งของพืชและไปยังผลและตรงปลายทางของระบบการขนส่งจะได้รับแคลเซียมน้อยเกินไปดังนั้นจึงต้องมีแคลเซียมจำนวนหนึ่งที่รากพืชอยู่เสมอ ในดินที่มี pH สูงหรือต่ำมากแคลเซียมจะมีอยู่ไม่มากเพียงพอกับความต้องการของพืช ดังนั้น FGD-Gypsum สามารถจะช่วยแก้ไขสถานะการเช่นนี้ได้ FGD-Gypsum ช่วยป้องกันโรคเน่าของแตงโม (Scott *et al.*1993) และมะเขือ มันฝรั่งต้องการยิปซัมมากกว่าปูนในสภาพดินกรดในการควบคุมโรคสแคป นอกจากนี้ FGD-Gypsum ยังอาจป้องกันผลไม้แตก ผลไม้ร่วงขณะที่ผลยังไม่แก่ และยังมีส่วนป้องกันการเกิดโรคราก และลำต้นเน่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3 ผลต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน

การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางชีวภาพที่มีผลกระทบจากการใส่ FGD-Gypsumไม่ได้รับความสนใจมากนักงานวิจัยส่วนใหญ่ที่มีมาจนถึงปัจจุบันนี้ถ้าไม่ศึกษาเกี่ยวกับกิจกรรมของจุลินทรีย์แล้ว ก็ศึกษาเกี่ยวกับกิจกรรมการหายใจภายในดิน (Cervelli *et al.* 1987 , Pichtel and Hayes ,1990) ผลของการศึกษานี้และการศึกษาอื่นๆกล่าวโดยทั่วไปแล้วยังไม่มีข้อสรุปเป็นที่แน่นอน แม้ว่ามีแนวโน้มว่าจะมีการลดระดับของการหายใจภายในดินและมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากหลังจากมีการเติม FGD-Gypsum ลงไป สาเหตุดังกล่าวยังจะต้องมีการศึกษาค้นคว้าให้ละเอียดต่อไป

2.6 งานศึกษาทดลองที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การใช้ FGD-Gypsum ในดินที่มีสภาพเป็นกรด

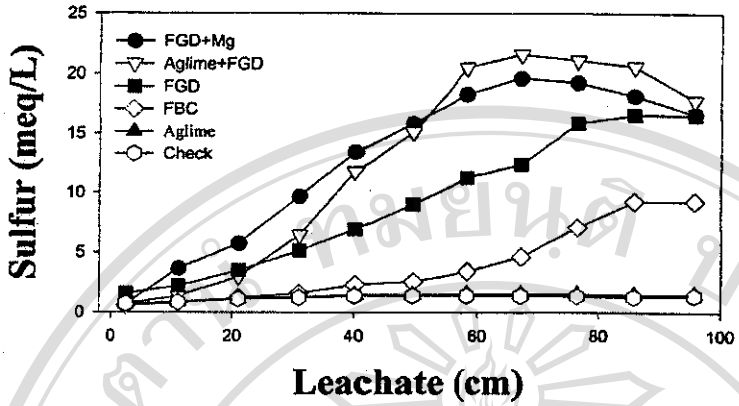
จากการทดลองของ Dale และ คณะ (1999) ที่ศึกษาผลของการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดินที่เป็นกรดเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินโดยประเมินผลจากค่าความเข้มข้นของสารต่างๆที่ถูกชะผ่านดินที่ระดับความลึกต่างๆ ทำการทดลองโดยเติมสารปรับปรุงดิน 3 ชนิด คือ FGD-Gypsum, aglime (dolomitic limestone) และ FBC (fluidized bed combustion residue) ลงในดิน Lily (Typic Hapludult loam soil) ซึ่งสารทั้ง 3 ชนิดนี้มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทุกตัวอย่างจะเติมฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รดด้วยน้ำกลั่นในปริมาณที่เทียบเท่ากับปริมาณน้ำฝน 138 มม. ในปริมาณเท่าๆ กัน จากนั้นนำน้ำที่ชะผ่านดินที่ระดับต่างไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ แคลเซียม และแมกนีเซียม ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่ถูกชะออกมาจากดินในระดับต่างๆ ของแต่ละกรรมวิธี

Mineral element (mg/column)								
Treatment	**Ca**	**%**	**Mg**	**%**	**S**	**%**	**Al**	**%**
Check	29	6.3	6	7.7	145	26.2	5	2.6
Aglime	31	2.0	7	1.1	160	28.5	5	2.6
FGD	524	10.6	61	71.1	1119	28.9	37	19.6
Aglime+FGD	533	11.0	236	37.5	1457	37.5	49	25.9
FGD+Mg	682	15.6	307	60.5	1555	43.2	55	29.1
FBC	97	2.7	28	25.5	457	25.9	15	7.9

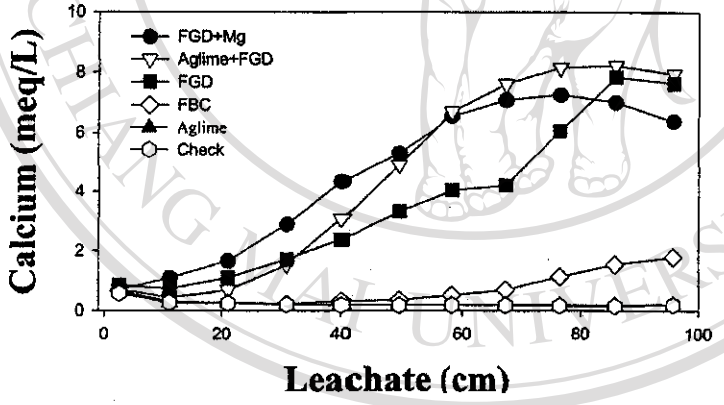
ที่มา: Dale *et al.* (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์จากน้ำชะจากดินระดับต่าง ๆ โดยแสดงในรูปปริมาณสะสม

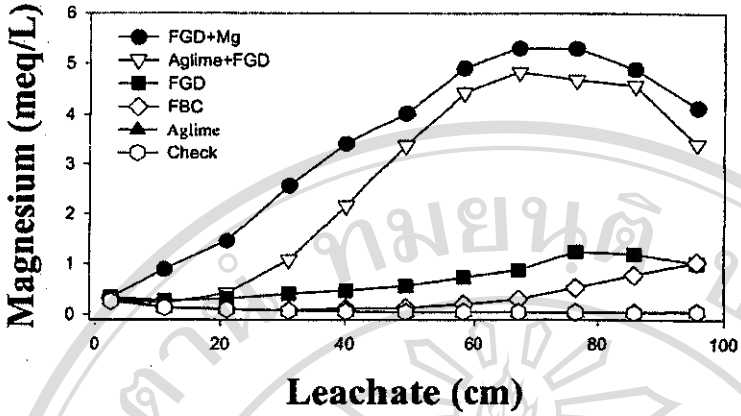
ที่มา : Dale *et al.*, 1999



ภาพที่ 6 ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมจากน้ำชะจากดินระดับต่าง ๆ โดยแสดงในรูปปริมาณสะสม

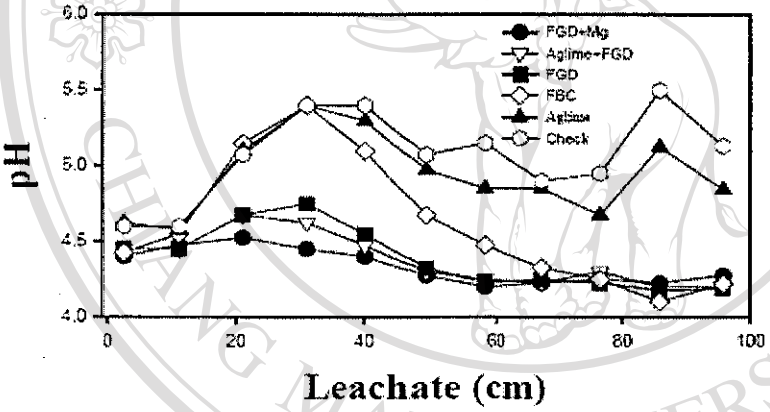
ที่มา : Dale *et al.*, 1999

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 7 ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมจากน้ำชะจากดินระดับต่าง ๆ โดยแสดงในรูปปริมาณสะสม

ที่มา : Dale *et al.*, 1999



ภาพที่ 8 ค่า pH จากน้ำชะดินที่ระดับความลึกต่างๆ โดยแสดงในรูปปริมาณสะสม

ที่มา: Dale *et al.* (1999)

จะเห็นว่าในทุกๆ กรรมวิธี จะมีค่า pH เพิ่มขึ้นในช่วงความลึก 20 - 45 ซม. และจะมีค่าลดลงในระดับที่ลึกลงไป ค่า pH ของทุกกรรมวิธีจะแตกต่างจาก pH เริ่มต้นในช่วงแคบๆ เท่านั้น

จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า การนำยิปซัมมาใช้ปรับปรุงดินจะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของธาตุแคลเซียม อะลูมิเนียม ซัลเฟอร์ และ แมกนีเซียม ลงสู่ดินชั้นล่างมากขึ้น มีผลต่อการปรับปรุงระบบรากของพืชในดินชั้นล่างที่มีสภาพเป็นกรด แต่การเพิ่มขึ้นของการชะแมกนีเซียมในชั้นผิวดินจะทำให้เกิดการสูญเสียแมกนีเซียมซึ่งมีความจำเป็นต่อพืช สำหรับดินที่ขาดธาตุอาหารหากมีการนำ FGD-Gypsum โดยปราศจากการใช้สารช่วยเสริมตัวอื่นจะทำให้เกิดการสูญเสียแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่าซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนของ Ca: Mg ในชั้นผิวดินไม่สมดุล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้สารช่วยเสริม เช่น ยิปซัมที่มีองค์ประกอบของ $Mg(OH)_2$ 6 % จะช่วยให้ดินมีอัตราส่วน Ca : Mg สมดุลขึ้นแต่แมกนีเซียมที่เติมลงไปยังคงถูกชะออกไปประมาณ 60 % สำหรับการใช้ FGD-Gypsum ร่วมกับ aglime จะช่วยลดข้อจำกัดในเรื่องของแมกนีเซียมเนื่องจากจะช่วยลดการชะของแมกนีเซียมในชั้นผิวดินได้ดีกว่าการใช้สารช่วยเสริมตัวอื่น

2.6.2 การใช้ FGD-Gypsum ในดินที่มีสภาพเป็นด่าง

วิธีการปรับปรุงดินด่างที่เป็นดินประเภทดินโซดิก (sodic soil) ซึ่งเป็นดินที่มีเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) สูงนิยมใช้ยิปซัมเพราะยิปซัมจะมีแคลเซียมมากสามารถเข้าไปไล่ที่โซเดียมที่ดูดยึดอยู่กับอนุภาคของแร่ดินเหนียวให้ออกมาอยู่ในสารละลายดินและถูกชะล้างออกไปในรูปโซเดียมซัลเฟต

Lebron และ คณะ (2002) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ยิปซัมในการปรับปรุงรูปร่างและโครงสร้างของดินโซดิก 3 ชุดดิน คือชุดดิน Hanford, ชุดดิน La Animas และ ชุดดิน Madera ซึ่งมีสมบัติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยนำดินทั้ง3 ชุดดินมาผสมกับยิปซัมแล้วใส่คอลัมน์ดินทำให้เกิดการชะล้างภายใต้สภาวะที่อิ่มตัวแล้วนำมาวัดค่า ESP แล้วทำการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดินและช่องว่างในดินโดยใช้ scanning electron microscopy (SEM) ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 สมบัติของดินทั้ง 3 ชุดดินก่อนทำการทดลอง

Soil Type	Sand %	Silt %	Clay %	$CaCO_3$ %	OM %	EC $dS\ m^{-1}$	CEC $mmol_c\ kg^{-1}$	ESP	pH
Hanford	78.96	14.78	6.26	0.07	0.41	10.44	59.2	46.6	7.06
La Animas	31.97	50.76	17.27	6.04	1.27	12.08	145	54.5	8.10
Madera	52.40	25.74	22.22	0.06	0.61	10.57	150	45.3	7.64

ที่มา : Leborn *et al.* (2002)

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการใช้ยิปซัมในการปรับปรุงดินโซดิก 3 ชุดดิน

Soil Type	pH	ESP	Aggregate >300 µm (%)	Porosity (%)
Hanford	7.78	2.99	88.77	21.13
La Animas	8.33	29.05	75.20	23.47
Madera	7.70	20.8	83.37	19.78

ที่มา : ดัดแปลงจาก Leborn *et al.* (2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลอง การใส่ยิปซัมลงไปในดินโซดิกจะทำให้ดินทั้ง 3 ชุดดินมีค่า ESP ลดลง โดยเฉพาะในชุดดิน Handford และส่งผลให้มี pH ลดลงมากกว่าดินชุด La Animas และชุดดิน Madera และขนาดของเม็ดดินที่ใหญ่กว่า 300 μm ทั้ง 3 ชุดดินมีถึง 70 % ขึ้นไป ส่วนช่องว่างภายในดินจะมีปริมาณใกล้เคียงกันและพบว่าดินทั้ง 3 ชุดดินนี้จะมีสมบัติที่เหมาะแก่การปลูกพืชเพิ่มขึ้นจากเดิม

2.7 การใช้ประโยชน์ FGD-Gypsum ในการผลิตพืช

ในระบบการเกษตรที่ยั่งยืนส่วนใหญ่ได้มีการนำยิปซัมมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้มากขึ้น ในประเทศไทยก็มีการใช้กันแต่ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร สำนักงานวิจัยและพัฒนา (2546) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ศึกษาผลของการใช้ยิปซัมจากโรงไฟฟ้าลิกไนต์ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชสวนโดยเลือกส้มเป็นพืชทดสอบและกำหนดพื้นที่การทดลองเป็นสวนส้มในจังหวัดแพร่และจังหวัดน่านซึ่งดินมีลักษณะเป็นกรด มีความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับต่ำถึงปานกลาง ทำการเพาะปลูกโดยใช้ FGD-Gypsum เป็นสารร่วมปรับปรุงดินในการปลูก ผลการวิจัยพบว่า การใช้ FGD-Gypsum ร่วมในการปลูกส้มให้ผลทางบวกต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลส้ม สำหรับการศึกษาผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบและเนื้อเยื่อของผลส้มพบว่า FGD-Gypsum ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินให้เหมาะสมกับพืช และให้ธาตุแคลเซียม ซัลเฟอร์และโบรอน ที่เจือจางอยู่ประมาณ 10 ppm นอกจากนี้ FGD-Gypsum ยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุไนโตรเจนในใบเปลือกและกากส้ม โดยเฉพาะในส่วนของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมซึ่งเป็นธาตุสำคัญต่อการสร้างความหวานและรสชาติ ตลอดจนคุณภาพอื่น ๆ ของผลส้ม ส่วนปริมาณแคลซียม แมกนีเซียมและธาตุเหล็กในใบของส้มพบว่าอยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับสังกะสี และทองแดง ซึ่งถือว่าเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่สุด ในกลุ่มของจุลธาตุของต้นส้มพบว่าเมื่อนำ FGD-Gypsum มาร่วมใช้ในการเพาะปลูกทำให้ผลผลิตที่ได้มีค่าจุลธาตุเหล่านี้อย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีและหากมีการนำ FGD-Gypsum ไปใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปูนโดโลไมท์พบว่าจะช่วยให้ธาตุต่างๆละลายน้ำได้มากขึ้น เช่น โพแทสเซียม สังกะสีและโบรอน ซึ่งมีผลต่อรสชาติของส้ม นอกจากนี้ยังช่วยลดความเป็นพิษของแมงกานีสและอะลูมินัมอีกด้วย แต่ยังไม่สามารถตรวจสอบผลของการใช้ FGD-Gypsum ในดินที่มีต่อปริมาณเหล็กและทองแดงในดินได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับต่างประเทศการศึกษา FGD–Gypsum นั้นได้มีการศึกษาทดลองกันอย่างแพร่หลาย เช่น Reeve and Sumner (1972) อ้างโดย Levy and Sumner (1998) ได้รายงานการตอบสนองในรูปของผลผลิตของพืชหลายชนิดต่อดินชั้นบนที่คลุกเคล้าด้วย FGD–Gypsum ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การตอบสนองในรูปของผลผลิตของพืชหลายชนิดต่อดินชั้นบนที่คลุกเคล้าด้วยFGD – Gypsum

Crop	Location	Soil type	FGD-Gypsum Rate (kg ha^{-1})	Yield response (%)
Corn	South Africa	Plinthic Paleudult	10	19
Sugarcane	Brazil	Typic Hapludox	6	8
Corn	Brazil	Xanthic Hapludox	6	76
Coffee	Brazil	Oxisol	2.6	59
Alfalfa	Georgia	Typic Hapludox	10	100
Soybean	Kentucky	Typic Hapludox	3.5	40
Leucena	Brazil	Xanthic Hapludox	6	81
Wheat	Australia	Yellow Sandplain	9	55

ที่มา: Levy and Sumner (1998)

ในหลายกรณีการตอบสนองของพืชต่อยิปซัมจะปรากฏหลังจากการคลุกยิปซัมที่ผิวดินแล้วยิปซัมถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นล่างทำให้ค่า pH ของดินสูงขึ้น แคลเซียมอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น ความเป็นพิษของอะลูมินัมลดลงในดินชั้นล่าง และเมื่อรากพืชหยั่งลึกไปถึงดินชั้นล่างก็จะสามารถเกิดการแพร่กระจายในดินกรดชั้นล่าง และสามารถใช้น้ำจากดินชั้นล่างได้เป็นผลให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของการใส่ยิปซัมที่มีต่อกระบวนการกระจายของรากไปสู่ดินชั้นล่างตามความลึกของดินที่มีการสลายตัวสูง

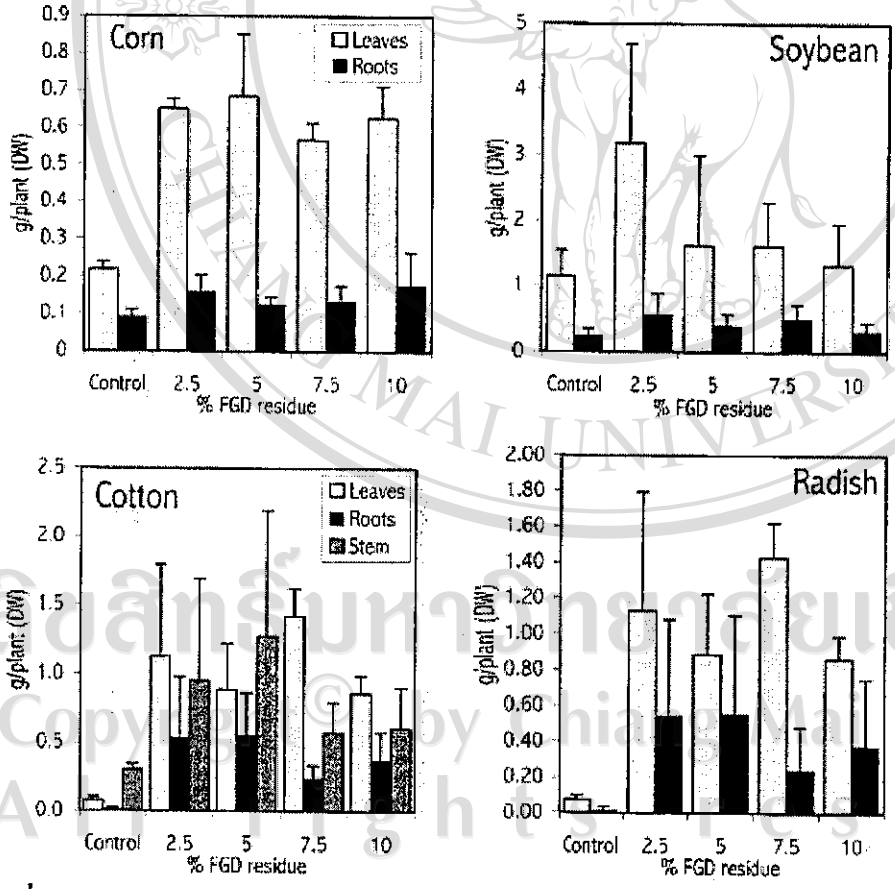
Depth (cm)	Corn (South Africa) Root length (m)		Corn (Brazil) Relative root Distribution (%)		Apples (Brazil) Root density (cm g^{-1})		Alfalfa (Georgia) Root density (m m^{-1})	
	Control	Gypsum	Control	Gypsum	Control	Gypsum	Control	Gypsum
0 -15	3.10	2.95	53	34	50	119	375	439
15 -30	2.85	1.60	17	25	60	104	40	94
30 – 45	1.80	2.00	10	12	18	89	11	96
45 – 60	0.45	3.95	8	19	18	89	52	112
60 - 75	0.08	2.05	2	10	18	89	4	28

ที่มา: Sumner (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Punshon และคณะ (2001) ได้ทำการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดินที่มีการปลูกพืช 4 ชนิดได้แก่ ข้าวโพด, หัวผักกาด, ฝ้าย และ ถั่วเหลืองเพื่อศึกษาหาอัตราการงอก และปริมาณชีวมวลของพืชพบว่าในระยะแรกของการปลูกพืชไม่พบผลกระทบใดๆที่มีต่ออัตราการงอก แต่ในปลายสัปดาห์ที่ 10 พบการเพิ่มขึ้นของชีวมวลในใบอ่อนที่เป็นผลจากการเติม FGD-Gypsum

ภาพที่ 9 แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนในปริมาณชีวมวลในใบระหว่างพืชควบคุมกับพืชที่เติม FGD-Gypsum แต่ไม่พบความแตกต่างในปริมาณชีวมวลในรากเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม FGD-Gypsum เป็นสัดส่วนสูงขึ้นแสดงถึงการเพิ่มปริมาณชีวมวลในรากไม่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการเติม FGD-Gypsum แต่การเติม FGD-Gypsum มีผลทำให้ปริมาณชีวมวลในใบสูงขึ้นโดย การเติม FGD-Gypsum ทำให้ปริมาณชีวมวลสูงขึ้นในพืชทั้ง 4ชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

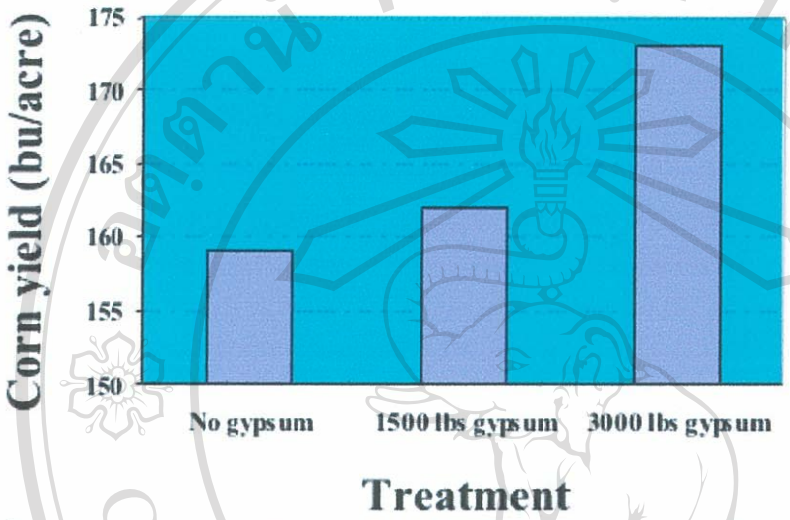


ภาพที่ 9 แสดงความแตกต่างในปริมาณชีวมวลระหว่างพืชควบคุมกับพืชที่เติมFGD-Gypsum

ที่มา : Punshon *et al.* (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Chen และคณะ (2005) ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้ FGD-Gypsum ต่อผลผลิตของข้าวโพด การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่สูงจะทำให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงขึ้นด้วย โดยที่เติม FGD-Gypsum ลงไปในอัตรา 1500 lbs $acre^{-1}$ และ 3000 lbs $acre^{-1}$ จะทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้น 1.9 % และ 8.8 % ตามลำดับ (ภาพที่ 10)



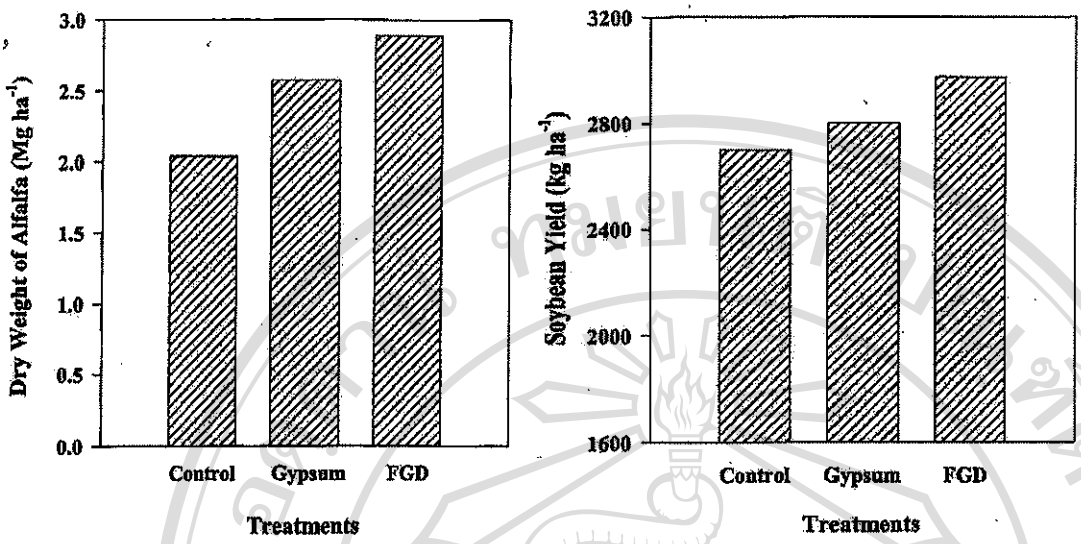
ภาพที่ 10 แสดงผลผลิตของข้าวโพด เมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดิน

ที่มา: Chen *et al.* (2005)

จากการศึกษาของ Swarup (1993) ที่แสดงถึงผลของธาตุเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสต่อการปลูกข้าว (*Oryza sativa* L.) ในพื้นที่น้ำขังโดยใช้ FGD-Gypsum เป็นสารปรับปรุงดินเค็มช่วยเพิ่มธาตุเหล็กให้แก่ดินโดยประเมินผลจากการเจริญเติบโตของข้าวและปริมาณธาตุอาหารในดิน พบว่าจะมีธาตุเหล็กและสังกะสีอยู่ในรูปซัลเฟตได้แก่ $FeSO_4.7H_2O$ และ $ZnSO_4.7H_2O$ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าข้าวจะมีผลผลิตสูงขึ้นและดินมีธาตุอาหารสะสมมากขึ้น แต่การตอบสนองสูงสุดของข้าวที่มีต่อสังกะสีจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมธาตุเหล็กในอัตราสูงสุดในขณะที่การเติมธาตุเหล็กนั้นกลับทำให้ธาตุสังกะสีลดลง ดังนั้นการเติมสารที่ช่วยเพิ่มธาตุเหล็กจะเป็นประโยชน์ต่อการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มได้ดีเมื่อมีการใช้ร่วมกับการเติมธาตุสังกะสี

Chen และคณะ (2001) ศึกษาการใช้ FGD-Gypsum ที่เป็นสารด่างและเป็นแหล่งธาตุซัลเฟอร์สำหรับการเพาะปลูกอัลฟาฟ่า (*Medicago Sativa L.*) และถั่วเหลือง (*Glycine max L.*) โดยได้ทดลองนำ FGD-Gypsum เติมลงไปในดินกรดในปริมาณ 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 เท่าของอัตราความต้องการปูนของดิน (lime requirement ; LR) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่าเมื่อเติม FGD-Gypsum ลงในดินจะช่วยให้ถั่วเหลืองและอัลฟาฟ่ามีผลผลิตเพิ่มขึ้น 5 และ 8 เท่าของชุดควบคุมตามลำดับภายในระยะเวลา 2 ปี (ภาพที่ 11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 11 น้ำหนักแห้งของอัลฟาฟ่าและถั่วเหลืองสำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งแรกเมื่อใช้ FGD-Gypsum ในอัตราส่วน 16 กก.ซัลเฟอร์ เฮกเตอร์$^{-1}$

ที่มา : Chen และคณะ (2001)

2. 8 ผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก

ถึงแม้ว่ากระบวนการ FGD-Gypsum ที่ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะให้ pure calcium salfate dihydrate ($CaSO_4.2H_2O$) สูงถึง 95 % แต่ก็ยังเป็นที่กังวลถึงผลกระทบของโลหะหนักซึ่งอาจจะเกิดการตกค้างภายในดินและพืชเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ดังกล่าวลงไปในดิน

การพิจารณาถึงความเป็นพิษของธาตุต่างๆที่อาจปนเปื้อนในน้ำและพืช เช่น Ag, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn โดยเฉพาะเมื่อธาตุเหล่านั้นเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหาร ธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษสูงได้แก่ B, As, Se และ Mo ซึ่งเป็นธาตุประจุลบซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในดิน ธาตุ B, Mo, Cu, Ni และ Zn มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และSe มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์

Indianapolis Power and Light (1995) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ใน FGD-Gypsum นอกเหนือจาก $CaSO_4$ พบว่ามีปริมาณของ As, Cd , Cr , Se , Ni , Pb , Hg อยู่ในองค์ประกอบของ FGD-Gypsumด้วยแต่พบในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก ซึ่งค่าดังกล่าวถูกกำหนดโดย RCRA(Resource Conservation and Recovery Act)และแสดงอยู่ในตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 ตารางแสดงค่ามาตรฐานของโลหะหนักต่อคุณภาพดิน และน้ำที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร

โลหะหนัก (Heavy Metal)	ดิน ค่ามาตรฐาน ($mg\ kg^{-1}$)	น้ำ ค่ามาตรฐาน ($mg\ l^{-1}$)
1. สารหนู (As)	< 3.9 [1/]	< 0.25 [4/]
2. แคดเมียม (Cd)	< 37 [1/]	< 0.03 [5/]
3. โครเมียม (Cr)	< 300 [2/]	< 0.75 [5/]
4. ตะกั่ว (Pb)	< 400 [1/]	< 0.2 [5/]
5. แมงกานีส (Mn)	< 1800 [1/]	< 5.0 [5/]
6. ปรอท (Hg)	< 23 [3/]	< 0.005 [6/]
7.นิเกิล (Ni)	< 1600 [1/]	< 1.0 [5/]
8.เซเลเนียม (Se)	< 390 [1/]	< 0.02 [4/]
9.โมลิบดินัม (Mo)	< 20 [1/]	< 0.1 [5/]
10.สังกะสี (Zn)	< 2700 [1/]	< 5.0 [5/]

[1/] ตรวจวัดโดยวิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

[2/] ตรวจวัดโดยวิธี Coprecipitation

[3/] ตรวจวัดโดยวิธี Cold Vapor Technique

[4/] ตรวจวัดโดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride

[5/] ตรวจวัดโดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration

[6/] ตรวจวัดโดยวิธี Atomic Absorption Cold Vapor Technique

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2547)

Punshon และ คณะ (2001) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืชเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดินพบว่าพืชที่ทำการทดลองทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด , หัวผักกาด , ฝ้าย และถั่วเหลืองมีความเข้มข้นของ As , Se , Mo , B และCa สูงขึ้น Mn , Na และ Zn ลดลง และNi , Pb , Fe และCu ไม่เปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อพืชดังกล่าว(ตารางที่ 9) ความเป็นพิษของ As แปรตามชนิดพืช ทั้งนี้ปริมาณ As เดิมที่สูงกว่าพืชชนิดอื่นในหัวผักกาด และข้าวโพด (ภาพที่ 12) สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดถึงความทนทานต่อ As ที่มีมากกว่าพืชอื่นๆได้เพราะโดยทั่วไปแล้วพืชตระกูลถั่วและข้าวมักมีแนวโน้มในการเกิดภาวะ As เป็นพิษได้ง่ายกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ไม่พบอาการที่แสดงถึงความเป็นพิษของ As ในพืชทุกชนิดทั้งนี้การเคลื่อนตัวของ As นั้นน่าจะสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณ Ca ที่สูงขึ้นซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเติม FGD-Gypsum ความเข้มข้นของ Fe และ Al ที่มีอยู่สูงในดินจะทำให้ As ในรูปที่ไม่ละลายน้ำมีมากขึ้น ขณะที่ปริมาณ Ca ที่สูงขึ้นจะไปทำให้เกิดสารประกอบของ Ca และ As ซึ่งลายน้ำได้ดี และสามารถถูกดูดซับในพืชได้

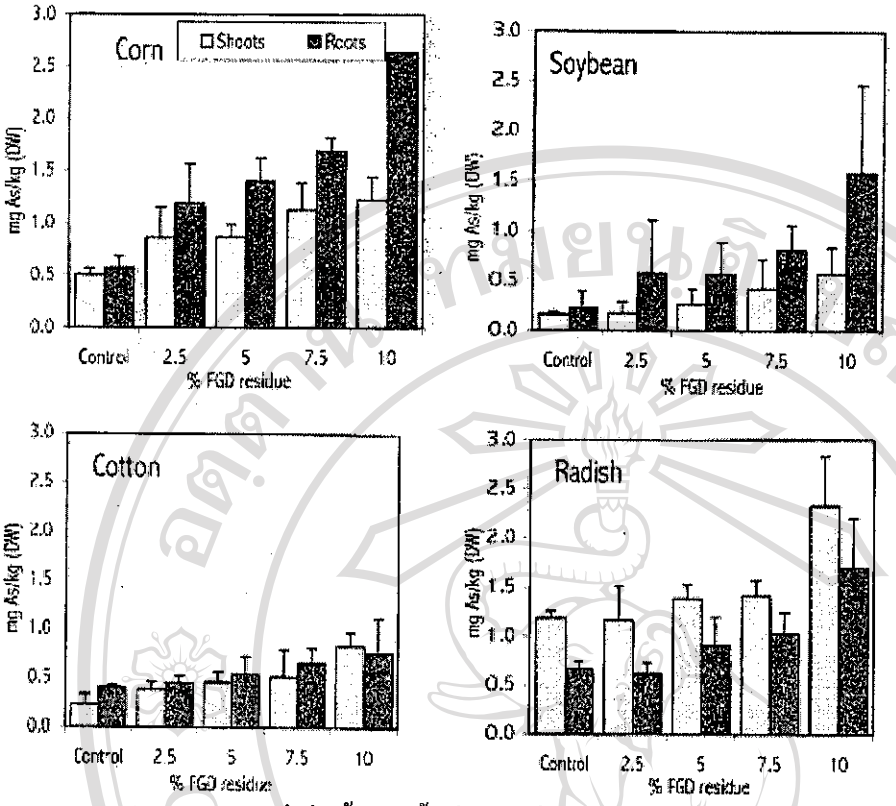
ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของโลหะที่พบในเนื้อเยื่อของพืชที่ทำการทดลองหลังจากเติม FGD-Gypsum ลงไปในดิน

Species	Portion	Al	As	B	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Se	Zn
Corn	Leaf	–	↑	↑	↑	–	–	↓	↓	↑	↓	–	–	↑	–
	Root	–	↑	–	↑	–	–	↑	↓	↑	↓	–	↓	↑	–
Cotton	Leaf	–	↑	↑	↑	–	–	–	↓	↑	↓	↓	–	↑	↓
	Root	–	↑	–	↑	–	↓	–	↓	↑	↓	↓	–	↑	↓
Soybean	Leaf	–	↑	↑	↑	–	–	↓	↓	↑	–	–	–	↑	↓
	Root	–	↑	–	–	–	–	–	↓	↑	↓	–	–	↑	↓
Radish	Leaf	↓	↑	↑	–	–	↓	–	↓	↑	↓	↓	–	↑	↓
	Root	↓	↑	–	–	–	↓	–	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓

ที่มา : Punshon *et al.* (2001)

ปริมาณ Se ในใบของหัวผักกาดที่ปลูกในดินที่ไม่เติม FGD-Gypsum จะมีอยู่สูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆที่มีอยู่ต่ำ นอกจากนี้ปริมาณ Se ในใบและในรากของหัวผักกาดจะสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นเมื่อดินถูกเติม FGD-Gypsum มากขึ้น (ภาพที่ 13)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

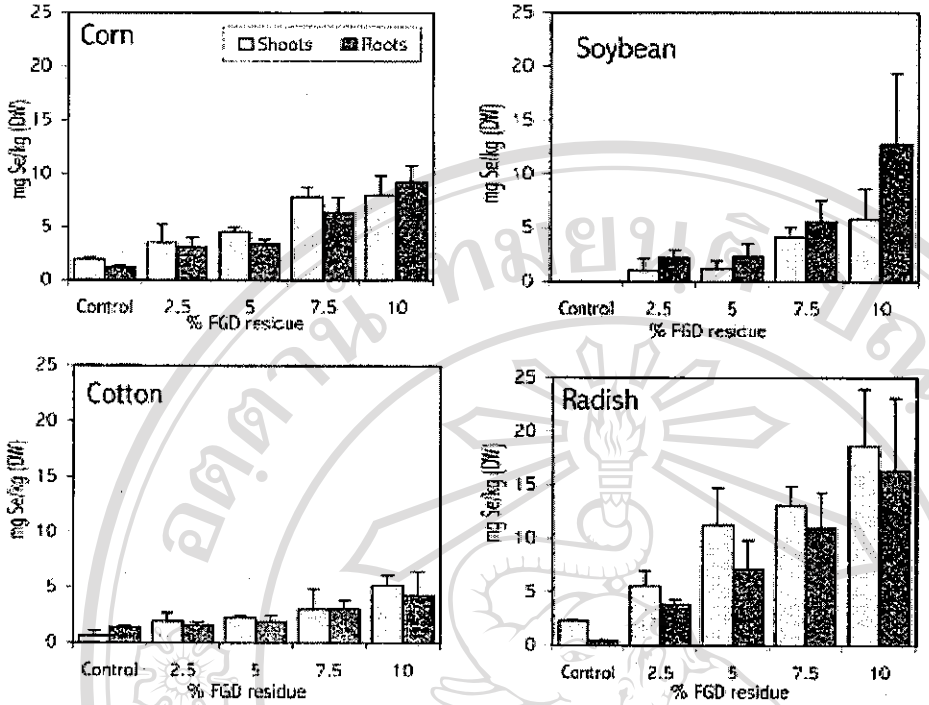


ภาพที่ 12 แสดงปริมาณของ As ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อพืชเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ในอัตราที่ต่างกัน

ที่มา : Punshon *et al.* (2001)

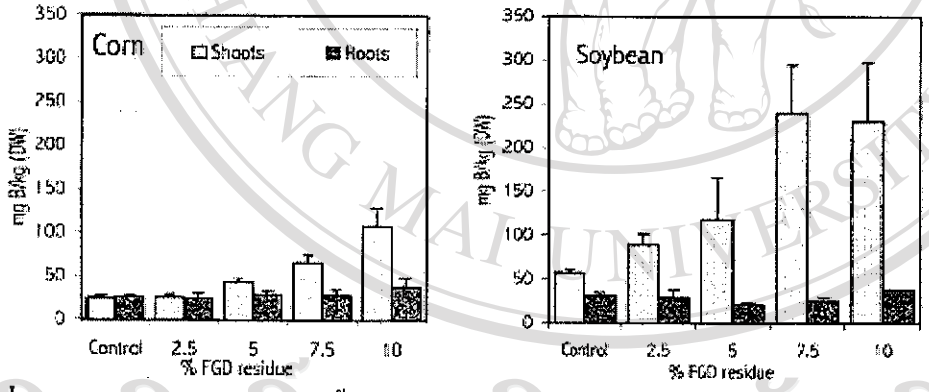
การสะสมของ B จะเกิดขึ้นเพียงในใบเท่านั้นโดยจะสูงที่สุดในถั่วเหลืองและข้าวโพด (ประมาณ 4 เท่าจากปริมาณเดิมที่ FGD 10%)(ภาพที่ 14) จากการศึกษาครั้งนี้ยังพบปริมาณของ Mo ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติม FGD-Gypsum เช่นกันแต่จะพบมากที่สุดในใบถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความต้องการ Mo เพื่อใช้ในการสร้างไรโซเบียมในรากของพืชตระกูลถั่ว Mo เป็นธาตุที่มักจะพบในดินที่มีการเติม FGD-Gypsum และมักสะสมในพืช อย่างไรก็ดียังไม่มีรายงานการศึกษาที่กล่าวถึงการเกิดพิษในพืชเนื่องจาก Mo สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบในพืชเท่านั้นส่วนในดินและในน้ำชะจะพบน้อย โดยทั่วไปแล้ว ระดับ Mo มากกว่า 20 mg kg^{-1} อาจเป็นสาเหตุให้เกิดพิษขึ้นได้ในสัตว์ที่กินพืชนั้นเข้าไป ทั้งนี้ปริมาณ Mo ส่วนใหญ่ที่พบจะมีสาเหตุจากการปนเปื้อนของเถ้าลอยในปริมาณมาก ดังนั้นหากจะนำไปใช้ปลูกพืชเลี้ยงสัตว์ควรผสมกับดินที่มีปริมาณ Mo น้อยจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของดินและไม่ ทำให้เกิดพิษกับสัตว์ที่กินเข้าไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 13 แสดงปริมาณของ Se ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อพืชเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ในอัตราที่ต่างกัน

ที่มา : Punshon *et al.* (2001)



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณของ B ในเนื้อเยื่อของข้าวโพด และถั่วเหลืองเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum

ที่มา : Punshon *et al.* (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบการลดลงของปริมาณ Mn ในพืชที่ปลูกในดินที่มีการเติม FGD-Gypsum ทั้งในใบและในรากเท่าๆกัน ที่อัตราการเติมสูงสุดจะทำให้ปริมาณ Mn ลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้เป็นผลจากการที่ปูนจะไปลดความเป็นกรดที่ผิวดินนั่นเอง ปริมาณ Mn ที่ต่ำที่สุดที่พืชจะต้องใช้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 mg kg^{-1} ในใบหากต่ำกว่านี้จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง

Dhillon และคณะ (2000) ศึกษาการสะสมของธาตุเซเลเนียมที่เกิดจากการนำ FGD-Gypsum มาใช้ในดินประเภท seleniferous soil เพื่อใช้ในการปลูกข้าวสาลีและข้าวแบบต่อเนื่อง โดยได้ทดลองนำ FGD-Gypsum เติมลงในดินที่ปลูกข้าวสาลี (*Triticum aestivum L.*) และข้าว (*Oryza sativa L.*) ในอัตราส่วน 0.2 -3.2 ตัน เฮกเตอร์$^{-1}$ และศึกษาผลของการสะสมของธาตุเซเลเนียมใน 1 ปีแรก ผลการทดลองพบว่าพืชทั้งสองชนิดมีผลผลิตของเมล็ดเพิ่มขึ้น 0.4 – 0.5 ตัน เฮกเตอร์$^{-1}$ มีผลผลิตของต้นเพิ่มขึ้น 0.4 -1.1 ตัน เฮกเตอร์$^{-1}$ การลดลงของการสะสมธาตุเซเลเนียมในข้าวสาลีจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ FGD-Gypsum มากกว่า 0.8 ตัน เฮกเตอร์$^{-1}$ และมีผลแสดงชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 2 ปี ซึ่งเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum 0.8 ตัน เฮกเตอร์$^{-1}$ พบว่าการสะสมธาตุเซเลเนียมในเมล็ดข้าวสาลีมีค่า 53 – 64 % ในต้นข้าวสาลีมีค่า 46 - 49 % ในเมล็ดข้าวมีค่า 35 – 63 % และในต้นข้าวมีค่า 36 -51 % นอกจากนี้อัตราส่วนของซัลเฟอร์ต่อเซเลเนียมในข้าวสาลีมีค่าเพิ่มขึ้น 6 – 8 เท่า และในข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น 3 – 6 เท่า การลดการสะสมของธาตุเซเลเนียมโดยการดูดใช้ของพืชเมื่อมีการนำ FGD-Gypsum มาเติมลงในดินเป็นการช่วยลดความเสี่ยงต่อการมีปริมาณธาตุเซเลเนียมมากเกินไปซึ่งอาจกระจายไปสู่คนและสัตว์ได้ ทั้งนี้จะขึ้นกับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตที่มีอยู่ในดินที่มีธาตุเซเลเนียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง

Chen และ Dick (2001) ทำการเปรียบเทียบธาตุอาหารในถั่วอัลฟาฟ่า พบว่าถั่วอัลฟาฟ่าที่มีการใช้ FGD-Gypsum เป็นสารปรับปรุงดินมีการเพิ่มขึ้นของแคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) และโครเมียม (Cr) มากกว่าในถั่วอัลฟาฟ่าที่ไม่มีการเติม FGD-Gypsum ลงไป ซึ่งการเพิ่มขึ้นและลดลงของโลหะหนักดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการใส่ FGD-Gypsum ด้วย อย่างไรก็ตามค่าของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อดินมากนักเนื่องจากค่าที่วิเคราะห์ออกมายังมีระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ RCRA อยู่พอสมควร

แต่อย่างไรก็ตามควรมีการนำตัวอย่างดินและน้ำที่ผ่านการเติมFGD-Gypsum ไปวิเคราะห์เสมอเพื่อไม่ให้เกิดธาตุที่เป็นพิษที่มีค่าสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้

ดังนั้นFGD-Gypsum (flue gas desulfurization) และCCP (coal combustion products) ที่ถูกจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ ซึ่งตามกฎหมายต้องทำการควบคุมและฝังกลบเพื่อไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าจะนำกลับมาใช้ประโยชน์และเมื่อมีการนำทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้ไปฝังกลบเป็นจำนวนมากก็มักก่อให้เกิดปัญหาหรือสภาพการณ์ที่ไม่เป็นที่น่าพอใจเพิ่มขึ้น อีกทั้งวัสดุเหล่านี้มีสมบัติที่ดีอีกหลายประการที่น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้ จึงมีการปรับความคิดที่จะนำทรัพยากรเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์แทนที่จะนำไปทิ้ง การนำ CCP ไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมจะช่วยปรับปรุงลักษณะของดินและพืช ในการจัดการวัสดุประเภท CCP โดยเฉพาะการนำเอา FGD-Gypsum มาใช้ในดินสำหรับการเกษตรกรรมนอกจากจะมีผลดีต่อระบบดินพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แล้วการใช้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง แต่หากมีการใช้อย่างเหมาะสมย่อมไม่ก่อให้เกิดผลเสียหรือการปนเปื้อนใด ๆ ข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างในการใช้จะเป็นขอบเขตในการพิจารณาในการใช้งาน FGD-Gypsum ซึ่งอาจรวมถึงข้อกำหนดและเงื่อนไขทางเศรษฐกิจอื่น ๆ อีกด้วยซึ่งยังต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ให้หลากหลายยิ่งขึ้นอีกต่อไปในอนาคต

2.9 ข้อดี และ ข้อจำกัดในการใช้ FGD-Gypsum ในการเกษตร

2.9.1 ข้อดีของการใช้ FGD-Gypsum

1. ช่วยปรับปรุงความเป็นกรดของดิน : ข้อดีอันดับแรกของการใช้ FGD-Gypsum คือ ช่วยแก้ปัญหาค่า pH ของดินโดยทั่วไป ดินที่เป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ซึ่งถือว่าเป็นอันตรายต่อพืช และยังมีผลต่อการละลายของอะลูมิเนียมและแมงกานีสซึ่งเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของรากพืช นอกจากนี้จะทำให้ฟอสฟอรัส แคลเซียม สังกะสี และทองแดง ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช มีความเป็นประโยชน์น้อยลง แต่ไปเพิ่มการละลายของธาตุโลหะหนัก (สารหนู แคดเมียม, โครเมียม, ตะกั่ว และ นิกเกิล) ซึ่งเป็นพิษในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น ดังนั้นเมื่อนำ FGD-Gypsum ซึ่งเป็นสารที่ประกอบไปด้วยสารที่ให้ความเป็นด่างมาก เช่น CaO, $Ca(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น องค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของ FGD-Gypsum คือ $CaSO_4$ เพราะเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีกว่า $CaCO_3$ (Korcak ,1998)และมีศักยภาพในการละลายและชะลงไปในดินชั้นลึก ๆ ได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียม และซัลเฟอร์ที่ชะลงไปในดินซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อรากพืช และช่วยลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิด เช่น Al, Mn, Cd, Cr และ Pb ช่วยเพิ่มการละลายของธาตุที่เป็นประโยชน์ เช่น P, Zn, Cu และ Mo ทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องมีการรบกวนหน้าดิน

2. เป็นแหล่งอาหารของพืชและสัตว์ : การใส่ FGD-Gypsum ลงในดินนอกจากจะให้ธาตุแคลเซียม และซัลเฟอร์แล้วยังให้ธาตุที่เป็นสารอาหารที่จำเป็นอื่น ๆ อีกด้วย เช่น Mg, K, Zn, Cu และ B ซึ่งสารเหล่านี้มักได้จากเถ้าลอยและFBC (fluidized bed combustion products) ซึ่งปนอยู่ใน FGD-Gypsum แม้ว่าพืชจะไม่ต้องการธาตุเซเลเนียมแต่ธาตุนี้มีความจำเป็นต่อสัตว์ซึ่งจะได้รับธาตุนี้จากการบริโภคพืชอีกต่อหนึ่ง อย่างไรก็ตามธาตุเซเลเนียมจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ในช่วงความเข้มข้นหนึ่งเท่านั้นและจะเกิดเป็นพิษหากได้รับในความเข้มข้นที่สูงเกินไป ดังนั้นควรมีการเฝ้าระวังหากมีการนำ FGD-Gypsum ที่มีเซเลเนียมเข้มข้นสูงมาใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน : ดินที่ใส่ FGD-Gypsum จะมีลักษณะของการจับตัวกันแน่นและการแตกระแหงน้อยลง ดินจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและการซึมผ่านของน้ำได้ดีขึ้น มีการจัดเรียงตัวของเม็ดดินดีขึ้น เกิดการชะและสึกกร่อนของหน้าดินเนื่องจากน้ำลดลง เนื่องจาก FGD-Gypsum มีประจุไฟฟ้าที่ช่วยป้องกันการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดดิน และแคลเซียมจะช่วยในการจับตัวและเรียงตัวกันของอนุภาคของเม็ดดินโดยเฉพาะดินเหนียว นอกจากนี้จะช่วยให้ดินมีความร่วนซุยน้ำซึมผ่านได้ง่ายรากสามารถชอนไชได้ดีและยังช่วยให้ชั้นดินแต่ละชั้นมีการอัดเรียงตัวได้ดีขึ้น (Norton and Zhang ,1998)

4. ช่วยแก้ปัญหาดินเค็ม : การจับตัวกันแน่นของดินเค็ม (เกิดการกระจายตัวของอนุภาคดิน) ที่เกิดจากดินที่มีค่าความเข้มข้นโซเดียมสูงขึ้นทำให้น้ำซึมผ่านได้ยากเมื่อมีการเติมยิปซัมลงไป แคลเซียมในยิปซัมจะเข้าไปแทนที่ โซเดียมในเม็ดดินทำให้เกิดการชะล้างออกไปได้ง่าย ดินเค็มน้อยลง ขณะเดียวกันดินจะมีการจับตัวของดินมากขึ้นทำให้ดินมีความเสถียรมากขึ้น (Norton and Zhang ,1998) แต่ในบางครั้งอาจมีการปนเปื้อนของโซเดียมจากสารที่ใช้จับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปนมากับ FGD-Gypsum ด้วย ดังนั้นในการนำมาใช้ควรพิจารณาค่าโซเดียมใน FGD-Gypsum ก่อนนำมาใช้ปรับปรุงดินเค็ม

5. ช่วยลดการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของฟอสฟอรัส : FGD-Gypsum จะช่วยลดการละลายของฟอสฟอรัสในดินที่มีฟอสฟอรัสสูง หรือเมื่อมีการเติมวัตถุดิบที่มีฟอสฟอรัสสูงลงไปในดิน (Sharpley *et al*.,1994) เช่น มูลสัตว์ และมูลสัตว์ปีกหรือปุ๋ยหมัก ระดับฟอสฟอรัสบริเวณผิวดินที่สูงเกินไปจะเกิดการชะล้าง และก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสถูกชะลงไปสะสมในแม่น้ำลำคลอง ฟอสเฟตจะช่วยให้สาหร่ายและพืชชั้นต่ำเติบโตอย่างรวดเร็วและอาศัยออกซิเจนอยู่ไปจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ในน้ำ ทะเลสาบและน้ำใต้ดินนั้นๆ เช่น การเกิดความเป็นพิษจากสาหร่าย *Pfiesteria piscidia* ในสหรัฐอเมริกา FGD-Gypsum ที่มี $CaSO_4$ ในปริมาณสูงจะช่วยลดการละลายของฟอสฟอรัสโดยจะเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยากซึ่งช่วยลดการละลายของฟอสฟอรัสลงสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Stout *et al*., 1998)

6. ประโยชน์อื่น ๆ ของ FGD-Gypsum ได้แก่ การนำ FGD-Gypsum เป็นวัตถุดิบในการสร้างโคลนเลนสำหรับเลี้ยงสัตว์ หรือนำมาสร้างโรงเก็บหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้อาจนำ FGD-Gypsum มาเป็นวัสดุกันน้ำซึมในบ่อน้ำ หรืออาจนำไปผสมรวมกับสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น มูลสัตว์ กากตะกอน เปลือกไม้หรือเศษขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจาก FGD-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Gypsum ให้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Ca, S, K, B) และสารอินทรีย์จะให้ธาตุ N และ P สารผสมดังกล่าวยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินอีกด้วย ส่วน FGD-Gypsum ที่มีสารด่างในปริมาณสูงจะใช้เป็นสารช่วยในการหมักวัสดุอินทรีย์ได้ด้วย (Logan and Burnham ,1995)

2.9.2 ข้อจำกัดของการใช้ FGD-Gypsum

1. ผลต่อ pH ของดิน : ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นจากการเติม FGD-Gypsum เกิดจากสารประกอบ $CaCO_3$, CaO และ $Ca(OH)_2$ ที่มีอยู่ใน FGD-Gypsum ซึ่งสารเหล่านี้มีผลต่อ pH ของดินที่เป็นกรดน้อยมาก ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้ในการปรับ pH ของดินที่เป็นกรดให้ได้ตามต้องการอาจต้องใช้ปริมาณมาก และถ้าดินมี pH ที่สูงเกินกว่า 8 จะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในดินที่เป็นกรดมีความสัมพันธ์ต่อการลดความเป็นพิษ และ การเพิ่มธาตุอาหารในดินมากกว่าความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจน

2. ผลต่อการละลายของเกลือ : ผลเสียของดินที่มีค่า pH สูงต่อพืชจะเกิดการละลายของเกลือส่วนเกิน (B, K, Mg, Na) เกลือใน FGD-Gypsum มาจากสารที่เติมเพื่อให้เสถียรมากกว่าเกิดจาก $CaSO_4$ ที่ไม่ละลายน้ำ พืชที่มีความอ่อนไหวต่อความเค็มมากถึงปานกลางจะทนต่อค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ประมาณ 1.5 – 3.5 dS m^{-1} โดยปกติผลจากค่าความเค็มจะไม่ค่อยเกิดขึ้นจากการเติม FGD-Gypsum ลงในดินยกเว้นมีการเติมในปริมาณที่สูงมากเท่านั้น (Maas,1990)

3. ผลต่อความไม่สมดุลของแคลเซียม และ ธาตุอาหารอื่น ๆ : FGD-Gypsum ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลต่อธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น Mg , K และ P (Korcak , 1998) โดยหากอัตราส่วน Ca : Mg มีค่ามากกว่า 30:1 จะทำให้เกิดอาการของการขาดธาตุแมกนีเซียม ดังนั้นควรมีการเลือกใช้ FGD-Gypsum ให้เหมาะสมเช่น การปลูกข้าวโพดต้องใช้ FGD-Gypsum แบบอัตราต่ำเพื่อไม่ให้เกิดการขาด Mg ในดินที่เป็นกรดต้องเติม FGD-Gypsum ร่วมกับธาตุ K เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช (Zeto *et al.*,1997)

4. ผลจากความเป็นพิษของอะลูมินัม : ธาตุแคลเซียมสามารถแลกเปลี่ยนกับธาตุอะลูมินัมในอนุภาคดินได้ และเมื่ออะลูมินัมมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะเกิดความเป็นพิษต่อรากพืชในดินที่มี pH ต่ำ เมื่อเติม FGD-Gypsum ที่มีแคลเซียมต่ำลงในดินจะเป็นการเพิ่มการละลายของอะลูมินัมในดินและเกิดความเป็นพิษมากขึ้นเมื่อดินมีค่า pH ไม่สูงพอ ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยการเติม FGD-Gypsum ที่มี $CaSO_4$ ประมาณ 5 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ผลจากความเป็นพิษของซัลไฟต์ : FGD-Gypsum ที่ได้จากการตกตะกอนในกระบวนการ scrubber จะมีปริมาณซัลไฟต์ปนอยู่ในปริมาณสูง และถ้าเติมลงไปในดินจะเป็นพิษต่อพืช ดังนั้นการนำ FGD-Gypsum ไปใช้ต้องทิ้งช่วงเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนเพาะปลูก เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันของซัลไฟต์เป็นซัลเฟตเพื่อลดความเป็นพิษเนื่องจากหากเติม FGD-Gypsum ที่มีซัลไฟต์ลงในดินที่เป็นกรด ซัลไฟต์สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ได้

6. ผลจากความเป็นพิษของโบรอน : ส่วนใหญ่จะเกิดจาก FGD-Gypsum ที่มีการเติมเถ้าลอยและสารคงตัวอื่น ๆลงไปด้วย (Sumner , 1999) โบรอนเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ดี ถูกชะล้างได้ง่าย โบรอนที่เติมลงไปใน FGD-Gypsum มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นในการนำไปใช้ ควรพิจารณาใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดโบรอนส่วนเกินซึ่งเป็นพิษต่อพืช

7. ผลต่อการสะสมธาตุอาหารส่วนเกินของพืช : หากมีการนำ FGD-Gypsum มาเติมลงในดินในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดการสะสมของแคลเซียม และซัลเฟอร์ในเนื้อเยื่อพืช มากเกินไปแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับธาตุอาหารอื่นทำให้เกิดการขาดแคลนแร่ธาตุในพืช (Clark *et al.*,1999) ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจะได้รับผลกระทบหากมีการเติม FGD-Gypsum มากเกินไปยกเว้น ทองแดงและสังกะสี ซึ่งจะไม่มีการสะสมส่วนเกินในพืช (Marschner ,1995) นอกจากนี้อาจพบการสะสมของธาตุโมลิบดินัมในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่บริโภคพืชนั้น ๆ เข้าไปอีกด้วย (Underwood ,1977)

8. ผลต่อความเป็นพิษของจุลธาตุ : ข้อพิจารณาหลักของการนำ FGD-Gypsum มาใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม คือการพิจารณาถึงความเป็นพิษของธาตุต่าง ๆที่อาจปนเปื้อนในน้ำและพืช เช่น Ag, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn โดยเฉพาะเมื่อธาตุเหล่านั้นเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหาร ธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษสูงได้แก่ B, As, Se และ Mo ซึ่งเป็นธาตุประจุลบซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในดิน ธาตุ B, Mo, Cu, Ni และ Zn มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และ Se มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ส่วนใหญ่ธาตุเหล่านี้จะใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียรซึ่งจะผสมเข้ากับ FGD-Gypsum ดังนั้นควรมีการนำตัวอย่างดินและน้ำที่ผ่านการเติม FGD-Gypsum ไปวิเคราะห์เสมอ เพื่อไม่ให้เกิดธาตุที่เป็นพิษที่มีค่าสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved