

## 태국 농업에서 유황의 역할

Preeda Parkpian

Asian Institute of Technology

P.O. Box 4, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand

Prasart Kesawapitak, Wisit Cholitkul and Santi Teeraporn

Soil Science Division, Department of Agriculture

Bankok 10900, Thailand

### 요 약

타이에서 작물 생산성이 낮은 주요 원인은 토양중 식물양분인 질소, 인산 및 유황의 부족에 기인되었다. 이같은 부족현상은 원래 척박한 토양에 충분한 시비가 이루어지지 못한데 기인된다. 더욱이 유황을 함유하지 않은 고농도 복합비료의 사용으로 이와같은 현상이 심화되었다. 최근 농경지 토양 분석결과 모집단의 70%에서 유황부족이 나타난 것으로 확인되었다. 타이에서의 유황연구 사업은 유황과 작물생산성과의 관계를 이해하는데 큰 도움을 주었다. 유황부족 토양은 농림부에서 현지포장 시험에 의해 1974년에 밝혀졌다.

1985년부터 1992년까지 국제농업연구 호주센터와 UN 식량농업기구의 공동으로 인산과 유황비료의 효율적인 관리제도 방법을 개발하였다. 이에 부가하여 열대작물 재배체계에서 인산과 유황결핍 진단을 위한 토양 및 식물체 분석을 발전시켰고 또한 대체 유황 자원도 검토하였다. 끝으로 농경지에서 토양 유황 분포도는 유황비료를 추천하는데 보다 좋은 방법으로 이용되었다.

### 서 론

태국의 국토는 51백만ha로 이중 약40%가 농경지로 이용된다 (표 1).

Table 1. Land use in agriculture of Thailand.

	Area (million rai*)	Area (million ha)	Percent (%)
Whole Country	320.69	51.31	100
Agriculture	129.84	20.77	40
Rice	74.23	11.88	23
Field Crops	32.08	5.13	10
Fruit Trees	13.9	2.22	0.04
Vegetable and Flower	0.54	0.09	0.001

\*1 ha=6.25 rai

전국은 6개의 지형으로 구분된다 (그림 1). 반도 부분을 제외하고는 건기와 우기가 뚜렷하고 우기는 5월에 시작해서 10월에 끝나게 된다. 연평균 강우량은 동북

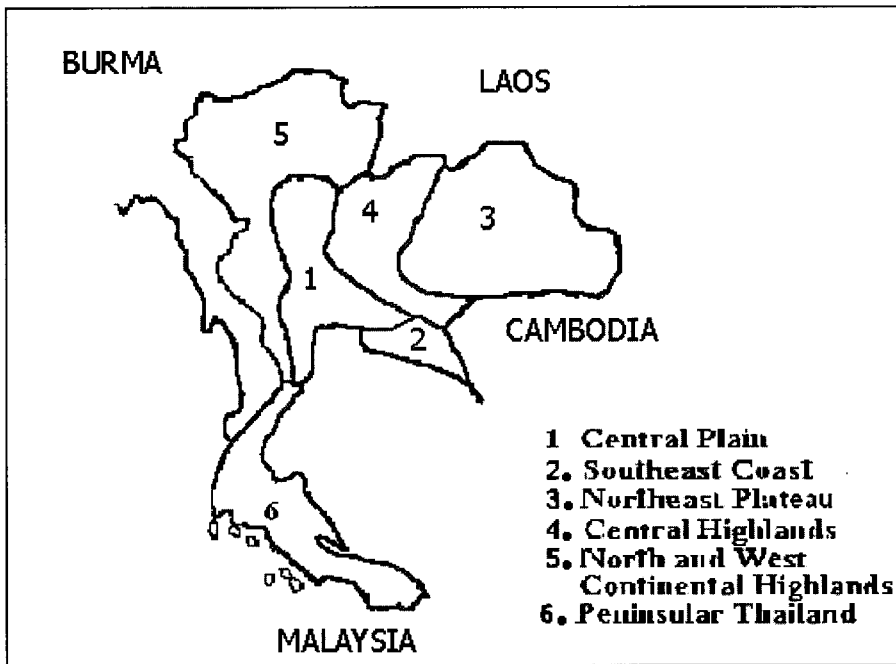


Figure 1. Physiographic regions of Thailand (after Tongchuta, 1973)

고원지방의 1000mm에서 반도에서는 우기에는 2000mm을 넘기도 한다. 주 작물은 벼이며 과수와 채소가 다음을 차지한다. 타이의 주요 수출작물은 수도를 비롯하여 카사바, 옥수수, 사탕수수와 고무 등이다 (표 2). 1990년 타이는 21백톤의 쌀을 생산하여 약 6백만톤을 수출했다. 그러나 식물단백질의 좋은 급원인 콩은 내수용으로 주로 재배된다. 전체적으로 타이의 작물수량은 사탕수수를 제외하고는 낮다.

**Table 2. Major crops grown in Thailand, 1994/95.**

Commodity	Estimated Production (million tons)	Yield (t ha <sup>-1</sup> )
Rice	21	2.1
Corn	8	2.7
Cassava	20	14
Sugarcane	50	54
Rubber	2	1
Soybean	0.5	1.4

이와같이 생산성이 낮은 주요 원인은 토양중 식물영양분이 부족한데 기인 되는데 주로 질소, 인산, 유황 원소와 충분한 비료를 쓰지 못하는데 있다.

많은 작물이 양분이 부족한 토양에서 재배되고 더욱이 작물생산으로 매 작기 유기. 무기비료로 시용 하는 것보다 많은 것이 수탈되는 것으로 특징된다. 이같이 척박해지는 토양은 급기야 토양의 황폐화로 이어지고 따라서 작물의 질과 수량을 동시에 떨어뜨리게 된다. 그리하여 이와같은 양분 부족을 교정하고 균형 양분 유지를 위하여 토양생산성 제고를 위한 개량이 요청되고 있다.

타이에서 사암에서 유래된 대면적의 토양은 비옥도가 척박하여 점토함량이 낮고 물의 침투이동이 빠르다. 이와같은 현상은 유황의 토양부족 현상을 가속화 한다. 더욱이 제한된 농경지에서 계속된 경작과 유황함유비료에서 유황 안든 고농도 비료로의 전환은 유황의 결핍현상을 심화 시키게 되었다.

본고에서는 타이의 농업에서 현 유황상황을 조명할 수 있는 유황비료 연구와 유황결핍을 극복하기 위한 유황관리 사항에 대해서 논하고자 한다.

## 타이의 농업과 유황

타이농업에서 유황결핍 및 개량에 대한 관심은 1974년부터 농림부에서 시작하였다. 그 이후 농림부는 외국과의 협조하에 유황 공동사업을 추진하였다. 특히 ACIAR(호주 국제농업연구센터)와 FAO가 주요 파트너였다 (표 3).

**Table 3. List of sulphur research in Thailand.**

Project	Organization	Year
Status of sulphur in Thai soils (Kurmarohita et al., 1977 to 1978)	Department of Agriculture, Soil Science, Division/DOA	1973 to 1979
ACIAR Project # 8328 (1988)	DOA/Australia	1983 to 1986
ACIAR Project # 8804 (1991)	DOA/Australia	1986 to 1988
FAO/S Network (1990)	DOA/FAO	1987 to 1989
FAO/S Network (1993)	DOA/FAO	1989 to 1992

유황 연구사업은 유황이 작물의 건전한 생육과 생산성을 증진시키는데 불가결하다는 새로운 이해를 불러 이르켰다. 밭에서 유황 결핍토양이 1974 농림부 팀에 의하여 단순 포장시험법으로 밝혀졌다. 1985부터 '92년까지 ACIAR와 FAO가 공동으로 인산과 유황비료를 효과적으로 사용하는 관리방안을 발전시켰다. 더욱이 열대지방의 작부체계에서 인산과 유황부족현상을 해석하기 위한 토양 및 식물체분석을 시도하고 유황공급원을 평가하였다.

또한 농업지대의 유황 분포상태를 파악하므로써 유황비료 시비에 대한 개선이 가능하였다.

유황 부족토양은 1973년에 전국 토양분석을 통하여 밝혀졌으며 중앙고원지, 동북고원지 및 남부반도 토양은 30~40%의 유황부족으로 나타났다 (표 4).

**Table 4. Sulphur status on agricultural soils (Kurmarohita, 1973).**

Region	Available S (mg kg <sup>-1</sup> )	Organic S (mg kg <sup>-1</sup> )	Total S (mg kg <sup>-1</sup> )
North Continental	49	109	158
Central Highlands	10	121	131
Coastal Plain	35	267	302
Northeast Plateau	10	47	57
Southeast Coast	45	142	187
South Peninsula	11	145	156

알려진 바대로 유기물이 가장 큰 유황공급원이었다. 북부와 동부 지방에서 많은 수의 단순 포장시험이 수행되었다. 유황이 많이 부족한 토양은 발토양 지역이었다. 이에 따라 주요 발작물이 개발되었다 (표 5).

**Table 5. Field trials on sulphur deficiencies.**

Crop	S Rate* (kg S ha <sup>-1</sup> )	S Source	Region
Corn	32	Gypsum	North
Soybean	32	Gypsum	North
Peanut	16	Gypsum	Northeast
Mungbean	16	Ammonium sulphate	Northeast
Clover	16	Gypsum	Northeast

\* S - recommended rate

유황의 주요 공급원은 석고와 유안이었다. 1985년 열대지방의 작부체계에서 유황과 인산의 효율에 대한 유황사업이 ACIAR와 농림부의 공동사업으로 수행되었다. 이 사업에서는 인산과 유황의 한계수준이 다양한 토양에서 인산과 유황부족의 기능을 확인하는 것이었다. 인산과 유황 비료관리에 있어서 균형접근이 제안되었으며 작물 잔재물 관리는 식물양분의 주요 급원으로 고려되었다. 이 사업에서 연구된 유황의 균형 값은 표 6에 표시되어있다.

**Table 6. Efficiency of sulphur fertilizers : balance sheet approach(ACIAR #8328).**

	S Level (kg ha <sup>-1</sup> )			
<b>Input</b>				
Fertilizer	0	16	32	96
Rain	12	12	12	12
Total	12	28	44	108
<b>Output</b>				
Product	21	17.1	23.1	26.6
Residue	19	18.2	23.9	29.6
<b>Balance</b>				
(+) Residues	-9	10.9	20.9	81.4
(-) Residues	-8	-7.3	-3	61.8

3년간 포장 시험기간 중 옥수수-대두 작부체계에서 유황비료는 사용하지 않고 강우에서 유일하게 공급되는 경우 ha당 28kg의 유황이 부족되었다. 식물 잔재물은 토양에 환원하면 ha당 9kg의 유황이 공급되는데 이는 토양에서 제거되는 많은 양의 유황과 잔재물에서 축적되는 유황은 생산물에서 축적되는 유황함량에 유사하다. 유황은 식물 잔재물에서 유래되는 것이 대단히 중요하고 이 연구에서는 유황용탈에 의한 손실은 계산에 넣지 않았다. 확실히 강우와 비료에 의해 유입되는 유황의 양은 작물이 요구하는 양과 맞아야 한다.

벼, 옥수수, 명빈같이 유황의 흡수지수가 낮은 작물에서는 잔재물 중 유황함량이 장기 유황 요구량을 결정하는 주요 요인으로 작용한다. 동 사업을 통하여 식물과 토양분석system이 옥수수, 명빈 또는 벼 작부체계에서 발전되었고 유황의 결핍지를 확인하는 방법으로 이용되었다 (표 7).

Table 7. Standards for diagnosis of P and S deficiencies.

Crop	P in Leaf (%)	S in Leaf (%)
<b>a. Plant Test</b>		
Corn	0.27	0.21
Mungbean	0.30	0.20
Rice	0.26	0.15
<b>b. Soil Test</b>		
	Field Crop	Rice
Extr. P <sup>a</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	16	12
Extr. S <sup>b</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	13	10

<sup>a</sup>Colwell Method

<sup>b</sup>Monocalcium Phosphate Method

유황은 쉽게 용탈 되고 특히 조립질 토양에서는 쉽게 근권으로부터 제거된다. 633mm강우에 의해 시용한 모든 유황이 근권 밖으로 유실되었다. 특징적인 유황결핍 토양은 모래질이고 높은 단구에 분포하였다 (표 8). 집약적인 토지이용과 불균형시비 예컨대 NPK를 제대로 주면서 유황이 결핍된 경우 많은 토양에서 유황의 결핍현상이 나타났다. 더욱이 유황의 대량 손실이 중점토에서도 발견되었다 (표 9).

Table 8. Sulphur losses by leaching in sandy soils.

Depth (cm)	Initial (mg kg <sup>-1</sup> )	After 633 mm of Rain (mg kg <sup>-1</sup> )
5	405	2
40	2	2
100	30	30
140	10	4
Total in Profile	447	38

**Table 9. Big losses of sulphur by leaching that occurs in clay loam soil.**

Year	S Rate (kg ha <sup>-1</sup> )		
	0	16	64
1986	44	50	53
1987	32	35	37

이와같은 현상은 열대지역에서 다우에 기인되는 것으로 해석된다. 유황 유실량은 사용량이 증가함에 따라 증가한다. 유황시비량의 50%정도가 용탈에 의해 유실된다. 용탈에 의한 유실을 막기 위한 2단계 ACIAR 및 FAO공동 사업이 1988-1990기간 수행되었다. 모래토양에서 유황 급원별 효율성과 적정량에 대한 평가가 이루어졌다. 대상작물은 땅콩으로 하였으며 여러 종류의 유황공급원은 효과적이었으며 유황원소, 유황입힌 중과석, 및 벤토나이트 효과가 있었다 (표 10).

**Table 10. Sulphur sources and residue in peanut.**

S Sources	Yield (kg rai <sup>-1</sup> )	
	1988	1989
Check (no S)	184	314
Elemental S <sup>1</sup>	204	403
S (Bentonite) <sup>1</sup>	224	350
S-TSP <sup>1</sup>	239	274
Gypsum <sup>2</sup>	205	352

<sup>1</sup>Fertilizer S at 8 kg ha<sup>-1</sup>; 1st year only

<sup>2</sup>Gypsum at 32 kg ha<sup>-1</sup>; annually

대조적으로 ha당 석고로 유황 32kg을 사용한 경우 잔효는 ha당 8kg이상에서 기대된다. 모래토양에서 콩에 대한 유황급원별 시험에서 유황원소, 요소 유황 및 석고 효과는 사용 첫해부터 유사하였다 (그림 2).



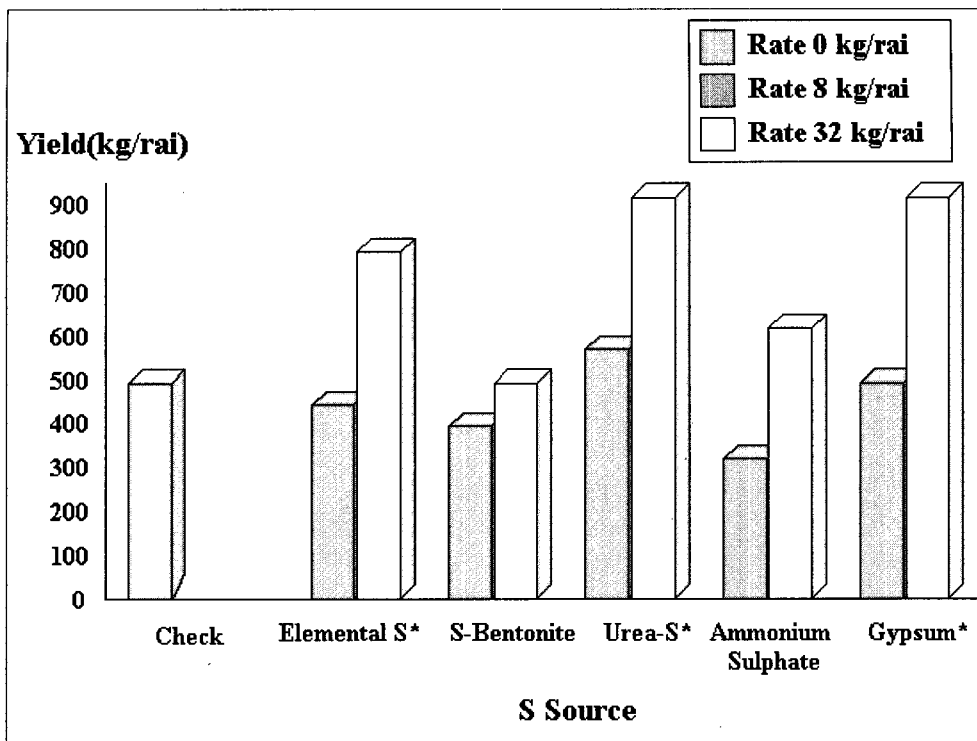


Figure 2. Sulphur sources and rate trials in corn.

열대토양에서 유황비료관리의 이해를 위해 유황흡착 및 보유능에 관한 연구가 DOA에 의하여 유황결핍 모래땅에서 수행되었다. 표 11과 같이 타이토양은 점토와 유기물함량이 낮고 흡착능이 약해  $SO_4$ 형 유황비료를 시용할 경우 유황성분의 유실이 발생된다. 식물이용이 가능한 유황과 흡착유황은 주로 점토입자에 연결되어있다 (표 12).

**Table 11. Sulphur sorbed by Thai soil with coarse texture (8% to 10% clay; soil organic matter < 1%).**

Depth (cm)	Sorbed SO <sub>4</sub> -S (mg kg <sup>-1</sup> )	Clay (%)
<b>Korat Series (Oxic Paleustults)</b>		
0 to 20	15	7
20 to 32	15	12
32 to 60	18	14
60 to 100	32	16

**Table 12. Stepwise linear equations for available sulphur and sorbed sulphur versus selected soil parameters.**

Dependent Variable	Independent Variable	F	R <sup>2</sup>
Available S	17.64+0.451 Clay	11.826**	0.448*
Sorbed S	-4.79+0.876 Clay	66.533**	0.816**

점토함량으로 토양유황함량의 예측이 가능하다. 타이에서 유황연구에 활동적인 기관으로는 FAO가 있다. 사업을 통하여 수량과 품질을 향상시키면서 다른 영양소와 균형을 유지하고 농업의 지속성을 이루는데 노력하고 있다. FAO는 두 개의 유황사업에 참여하고 있다. 유황의 결핍을 피하고 균형적인 비료시용을 통한 수량증수와 토양 유황상태조사사업을 지원하고 있다. NPK시비에 소량의 유황을 첨가함으로써 수량과 품질이 실질적으로 개선되었다. 카사바, 참깨, 옥수수등이 그 예이다 (표 13).

Table 13. Effects of NPK and sulphur on yields of crops at various sites in northeast Thailand.

Commodity	Fertilizer	Yield (t ha <sup>-1</sup> )
Cassava	0	10
	NPK	26
	NPK+S <sub>10</sub>	35
Sesame		kg ha <sup>-1</sup>
	0	360
	NPK	800
	NPK+S <sub>20</sub>	900
Sweet Corn		kg ha <sup>-1</sup>
	0	1,900
	NPK	3,800
	NPK+S <sub>20</sub>	5,000

*S* applied as gypsum at 10 and 20 kg ha<sup>-1</sup>

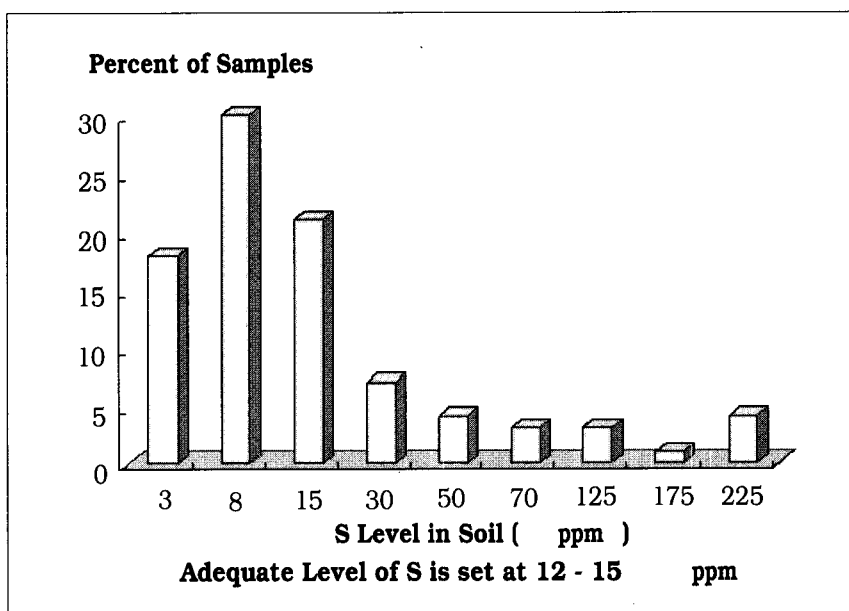


Figure 3. Soil sulphur status survey (FAO/S and FINNIDA) project (1992-1993).

최근 타이 농경지 토양분석결과 유황부족은 조사지역의 70%에 이르고 있다. 이는 타이토양이 충분한 시비없이 집약적으로 관리되기 때문이다 (그림 3). '89-93 FAO 유황함량 조사는 지금까지의 성적과 일치하였다. 이에 따르면 유황결핍은 더욱 심한 경향을 나타내고 특히 동북, 북부, 서부 및 남동부에서 심하였다(표 14).

**Table 14. FAO/S survey in several soil types of Thailand (1989-1993).**

Region	Number of Samples	SO <sub>4</sub> -S (mg kg <sup>-1</sup> /mean)	S Deficiency
Northeast	70	3	90
Central Highlands	32	11	31
North and West	65	2	89
Southeast Coast	32	2	94
Peninsula	45	12	50

이에 대한 가능한 설명은 유안 대신 유황이 함유되지 않은 고농도 비료의 사용에 기인된다.

## 타이의 비료 사용

타이에서의 NPK비료 사용량은 '75에서 '93년까지 급격히 증가 되었다. 질소요구량이 가장 크고 다음으로 인산과 칼리 순 이었다 (표 15).

**Table 15. Trend of fertilizer use in agriculture of Thailand (1985 to 1993).**

Year	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	t		
1975	81,514	74,781	17,930
1980	133,194	101,627	40,345
1985	252,900	142,999	55,663
1989	494,900	188,823	117,793
1993	769,095	430,233	250,147

다른 아시아 국가와 같이 타이는 현재 농경지의 효율적인 이용이 중요하다. 그 래야만 비료소모가 식량생산에 필요한 소요에 맞게 증가가 지속적으로 이루어질 것이다. 불행히도 유통시비에 대한 자료가 부족하다. '89년 유안이 주요 질소질 비료 로 사용되고 요소와 유인안이 다음 순위였다 (표 16).

**Table 16. Quantity of major fertilizers imported to Thailand.**

Fertilizers	Year		
	1987	1988	1989
Ammonium sulphate	423,749	562,689	591,638
A m m o n i u m phosphate sulphate	232,460	349,925	589,011
15-15-15	154,905	278,378	232,131
Urea	462,097	349,663	462,689
Others	128,618	178,420	228,249

타이에서 보통사용되는 이들 비료는 넓은 범위의 유통을 함유하고 있다 (표 17).

**Table 17. Sulphur content in grade fertilizers (1986).**

Fertilizers	Country of Origin	Sulphur (%)
16-20- 0	Korea, Japan, and the Philippines	18
20-20- 0	Japan, the Netherlands, and Romania	0.4 to 0.8
15-15-15	Korea	14
	United Kingdom	4
	Hungary	3
	Germany	1
13-13-21	Korea	11
	Italy	5
	Germany	3
16-16- 8	Korea	19
	France	12

이런 이유로 부수적으로 따라 들어가는 유통함량은 계산하기가 쉽지 않다. 이와같

이 부수적으로 사용되는 유황은 주로 논토양에서 유안 및 유인안도 사용되어 벼에서는 유황사용 효과가 거의 나타나지 않았다. 그러나 수량이 증가되고 지속적인 유황 없는 비료 사용은 유황결핍을 심화시키게 되었다.

균형시비가 이루어지지 않을 경우 유황결핍은 광범위하게 퍼져 나갈 것이다.

## 결론

유황결핍은 토양중 낮은 유황함량과 토양중 유황흡착 미약으로 상당히 심각한 수준이다. 이같은 이유로 작물 잔재물 관리를 포함한 균형시비 개념이 도입되어 양분 결핍과 토양악화를 피할 수 있는 토양 작부 체계가 실용화 될 수 있게 될 것이다. 이전 시험에서는 대체 유황공급원으로서 유황피복 TSP, 원소유황, 유황요소가 조립질 토양에서 발작물에 유황을 공급하는 비중으로 적합하다. 과거 타이에서 수행된 조사성적에서 부수적으로 들어간 유황은 유황결핍을 완화시켰다. 최근 유황이 함유된 고농도비료의 절대적인 사용으로 유황의 결핍이 증가되고 있다. 토양분석과 유황비료 관리체계의 발전으로 유황이 특별히 요구되는 토양 및 작물에 대한 실용적인 관리방안이 성안 될 것이다.

## References

- Australian Center for International Agriculture Research. 1998. Efficiency of Phosphorus and Sulphur Fertilizers in Tropical Cropping System; Final Report.
- Australian Center for International Agriculture Research. 1991. Sulphur and phosphorus Management in Tropical Cropping Systems, Final Report.
- Chairwanakupt S., S. Sitibusaya, P. Boonampol, and P. Parkpian. 1990. P. 1-246. Final report: yield increase through balanced fertilizer use avoiding sulphur deficiencies. FAO/Sulphur Network, Thailand.
- Kurmarohita, K. 1973. The distribution nature and availability of sulphur in soils of Thailand. Ph. D. diss. University of Illinois, U.S.A.
- Kurmarohita, K., S. Ratanarat, P. Pongsakul, and P. Wetbucha. 1974. The status of sulfur in soils of Thailand. (In Thai.) I. Field trials with soybean. Dept. of Agriculture. Ministry of Agriculture and Co-operatives. Research Report: 204-208.
- Kurmarohita, K., S. Ratanarat, V. Wajanawaj, and J. Sataporn. 1977. Field trials with corn and soybean. Research Report, Department of Agriculture, Thailand.
- Kurmarohita, K., S. Ratanarat, S. Teeraporn, V. Wajanawaj and S. Ratananukul. 1978. Field trials with soybean and sweet corn in dry season. Research Report, Department of Agriculture, Thailand.
- Parkpian, P., D.B. Lefroy and P. Pongsakul. 1991. Diagnosis of phosphorus and sulphur deficiencies in corn-mungbean cropping system. Proc. Int. Symposium on the Role of sulphur, magnesium and micronutrients in Balanced Plant Nutrition Proceedings, Sichuan, People's Republic of China.
- Parkpian, P., A. Eiumnoh, P. Sangtong and V. Thananusont. 1996. Mineral nutrients in soil: A matter of balance. p. 333-341. Proc. Int. Symp. on Geology and Environment. 31 Jan.-2 Feb. 1996.
- Tongchuta, T. 1973. Soils of the ASPAC Region, Part 5, Thailand. a. The Description and classification of the soils of Thailand. Technical Bulletin 14. Taiwan: Food and Fertilizer Technology Center.