

## 중국의 유황시비 및 유황연구 개관

Zhihong Cao and Zhengyi Hu  
 Academia Sinica  
 Institute of Soil Science  
 71 East Beijing Road  
 Nanjing 210008  
 People's Republic of China

### 요 약

중국 토양표토의 유황함량은 27에서 967mg S/kg(평균 233.2mg S/kg, n=632)범위에 있다. 이중 홍토(Haplic Acrisols)와 황갈색토(Eutric Cambisols)는 양쯔 및 Huaihe강 사이에 중국 중앙에 분포하고 유황함량은 각각 146과 159mg S/kg이다. 황색 목장토(Gleyic Cambisols)와 회색 목장토(Umbric Fluvisols)는 가장 높은 전 유황함량과 가장 높은 유황공급력을 가지고 있으나 제일 인산석회 침출 유황함량(현지 유효 유황함량으로 평가)은 가장 낮다. 그러나 황갈색 및 홍토는 이와는 반대 특성을 지니고 있다. Shajiang 흑토(Calcic Vertisols)와 논토양(Mollic/Eutric Fluvisols과 Anthraquic 相)은 총 유황함량, 인산 침출 유황함량과 잠재 유황 공급력에서는 중간에 속하고 남부 Huaihe강에 걸쳐있는 논토양에서 유황함량은 재배기간중 균형 상태에 있으나 전(前)작물에서 특히 밀과 유채에서는 부족한 상태이다. 황산염( $\text{SO}_4^{2-}$ )은 토양중 상하로 이동 되면서 균형을 유지하여 토양 수분함량과 밀접한 관계가 있다. 따라서 제일인산칼슘 용액침출 유황 함량을 가지고 표토에서 유황의 과부족을 진단하기는 그리 쉬운 일이 아니다. 중국에서 수행된 유황시비 시험에서 20개 작목에서 평균 4.3-40%의 수량증수를 기록하였으며 유황시비는 증수뿐만 아니라 작물의 질을 개선하나 담배잎의 연소성은 유황함량과 부의 상관성이 있다.

### 서 론

유황시용에 의한 수도증수는 1940년대에 보고되었다. 토양중 유황에 대한 세부적인 연구를 통하여 토양작물계에서 유황균형, 작물 수량 및 품질에 미치는 유황시비 효과 시험이 1980년대에서 시작되었다.

## 토양유황 현황

중국토양 표토의 총 유황함량은 표 1과 같이 27에서 967mg S/kg (평균233.2mg S/ kg, n=632)범위에 있다. 토양중 총 유황함량은 양쯔강 남쪽에 분포한 지역이 강 북단지역에 비하여 낮았으며 유효 유황함량은 반대이었다. 강 양안지역의 석회석 모암에서 유래한 토양의 총 유황함량은 산성 내지 중성 토양에 비하여 높았다. 그러나 양쯔강 북단에 위치한 토양은 산성토양과 같은 수준이었다.

토양중 홍토(紅土 Haplic Acrisols)는 중국의 남부 및 남동부에 위치하고 황갈색 토(Eutric Cambisols)는 양쯔 및 Huaihe강 사이에 중국의 중앙부에 위치한 토양으로 총 유황함량은 가장 낮아 각각 146과 158.9mg S/kg의 범위에 있었다. 표토에서 제일 인산칼슘 침출 유황함량은 24.3mg S/kg(n=1433)이고 총 유황함량은 Huaihe강 북부 >Huaihe에서 양쯔강에 이르는 중부 중국>양쯔강 남부 순이었다 (표 1).

**Table 1. Total sulphur and available soil sulphur content of different types.**

Area	Soil	Total S Number	Monocalcium
		of Samples	Phosphate-Extracted S
		(mg S kg <sup>-1</sup> )	Number of Samples
			(mg S kg <sup>-1</sup> )
All	Paddy Soil	421(162.2)	801(24.6)
South of Yangtze River	Acidic Soil	36(181.6)	144(36.3)
	Neutral Soil	4(158.9)	64(30.1)
	Calcareous Soils	4(259.1)	58(19.3)
North of Yangtze River	Acidic Soils	29(380.3)	23(18.8)
	Calcareous Soils	159(407.5)	343(18.8)
	Mean	653(233.2)	1433(24.3)

\* South of Yangtze River: Acid soils (Red soil, Purple earth, and Yellow earth); Neutral soil (Yellow cinnamon, and Yellow brown earth); Calcareous soils (Grey meadow).

\*\* North of Yangtze River: Acid soil (Beijing soil, Brown earth, and Dark burozen) calcareous soils (Shajing black meadow, Yellow meadow, Cinnamon soil, Black soil, Meadow soil, Cherozem, and Chestnut soil)

그러나 제일인산칼슘 추출 토양 유황함량은 반대이었다. 농업에서 유황시비와 토양유황 연구는 주로 양쯔강 남부에서 이루어 졌다. 유황 시비에 의한 작물 수량 증수는 양쯔강 이북에서도 가능할 것이다. 토양 층위별 총 유황함량은 3개군으로 구분이 가능하였다 (표 2).

**Table 2. Sulphur content in soil profiles (Hu, 1996; Hu et al, 1996b),** (mg S kg<sup>-1</sup>)

Soils	Depth(cm)	Total S*	Available S**
Acidic Soils (Haplic Acrisols)	0 to 18	116.3	84.0
	18 to 28	228.6	179.3
	28 to 60	182.3	98.7
Neutral Soils (Eutric Cambisols)	0 to 18	112.4	21.7
	18 to 28	197.8	32.5
	28 to 60	209.0	25.5
Calcareous Soils (Gleyic Cambisols; Gray Meadow; Umbric Fluvisols)	0 to 18	241.5	9.6
	18 to 28	213.5	26.7
	28 to 60	291.5	37.9
Paddy Soils (Mollic Fluvisols)	0 to 18	146.7	16.5
	18 to 28	120.3	7.5
	28 to 60	220.1	10.4

\*Methylene blue method after digestion with sodium hypobromite (NaBrO).

\*\*Available S: 500 mg kg<sup>-1</sup> monocalcium phosphate-extracted sulphur content

즉, 석회질인 황색 목장토(Gleyic Cambisols), 회색 목장토(Umbric Fluvisols)와 답토양 (Anthraquic 相을 가진 Mollic/Eutric Fluvisols)으로 구분되고 그 함량은 밀층>표층>중간층 순이었다. 중성토양(황갈색토)은 밀층>중간층>표층이었으나 산성

토양(홍토)은 중간층>밑층>표층 순이었다.

한편, 유황함량은 대부분의 경우 밑층에서는 석회질토>논토양>중성토>산성토 순으로 많았다. 토양별 단면에서 유황함량의 분포차이는 여러인자 특히 토양모재, 작물 영양 흡수, 유기 무기 유황 분포 조성과 용탈조건에 기인된다. 예로서 석회질토의 무기유황은 주로 서서히 이용될 수 있는 유황(탄산칼슘 및 황산염의 침전물)이고 이는 산성 및 중성토양에서 용해되고 토양에 흡착된 황산염은 쉽게 용탈되고 쉽게 가용화된다.

논토양에서의 유기 유황은 홍토나 황갈색토에서 높고 보다 안정화되어 덜이용성이다. 그리하여 논토양 단면에서 총 유황은 밭토양에서 보다 일반적으로 높았고 가용성 유황함량은 반대로 나타났다.

**Table 3. Sulphur fraction in some soils (Hu et al., 1996a).**

Soils		Organic S				Inorganic S			
		C-O-S	C-S	Inert S	Total Organic S*	Slowly Soluble S**	Adsorbed S	Soluble S	Total Inorganic S
Paddy Soils	mgS	76.6	17.3	46.0	139.8	11.7	20.3	8.3	40.3
	kg <sup>-1</sup>								
	%	42.5	9.6	25.5	77.6	6.5	11.3	4.6	22.4
Acidic Soils <sup>1</sup>	mgS	0	11.8	4.6	16.4	60.0	84.0	0	144.0
	kg <sup>-1</sup>								
	%		7.4	2.9	10.2	37.4	52.4	0	89.8
Neutral Soils <sup>2</sup>	mgS	18.1	9.6	57.3	85.0	5.7	21.7	0	27.4
	kg <sup>-1</sup>								
	%	16.1	8.5	51.0	75.6	5.1	19.3	0	24.4
Calcareous Soils <sup>3</sup>	mgS	91.2	14.3	73.4	177.6	41.6	10.2	4.1	55.9
	kg <sup>-1</sup>								
	%	39.1	6.1	31.4	76.1	17.8	4.4	1.8	23.9

\* The measurement of soil sulphur using the methylene blue method.

\*\* Slowly soluble S(calcareous)=S content extracted with 1 N hydrogen chloride (HCl) sulphur content - that extracted 0.15% calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>). Slowly soluble (acidic and netutral soils)=S content extracted with 1 N ammonium acetate (NH<sub>4</sub>OAc) sulphur content - that extracted with 0.15% CaCl<sub>2</sub>.

Monocalcium phosphate-extracted sulphur content=adsorbed sulphur + soluble sulphur.

<sup>1</sup>Acidic soils (Red); <sup>2</sup>Neutral soils (Yellow Cinnamon); and <sup>3</sup>Calcareous soils (Yellow Meadow and Gray Meadow).

### 토양유황의 전환이동 및 이용성

총 유황함량은 건기에는 낮아지고 표토(0-15cm)에서 유황함량의 감소경향은 작물 재배와 관계없이 큰 차이가 없었으나 (그림 1) 작물에 의한 흡수, 축적과 황산염의 용탈이 있었고 무작물일때는 용탈만 있었다.

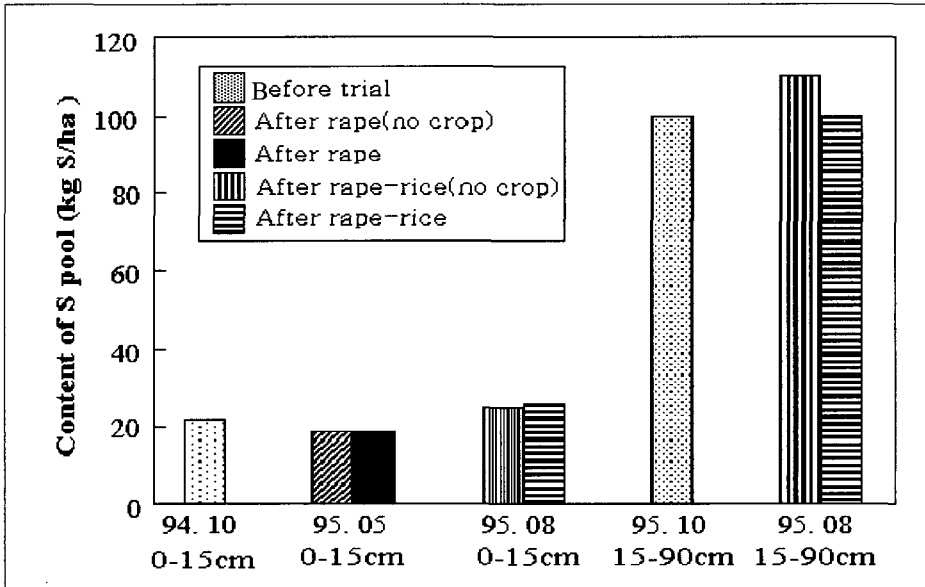


Figure 1. The variation of pool in rapeseed-rice rotation (Hu, 1996).

작물에 의한 유황의 흡수는 표토의 유황 총 함량에 영향을 주지 못했고 수도작기 간 심토(15-90cm)에서 유황 Pool에 크게 영향 하였다. 심토에서 총 유황Pool은 수도작 이후 작물 도입으로 큰 변화가 없었다. 무작물상태와 비교해서 12% 감소 되었다. 불활성 유황을 포함한 유황의 분획물이 표층, 중간층에서 작물의 재배와 관계없이 동적으로 전환되었다 (그림 2).

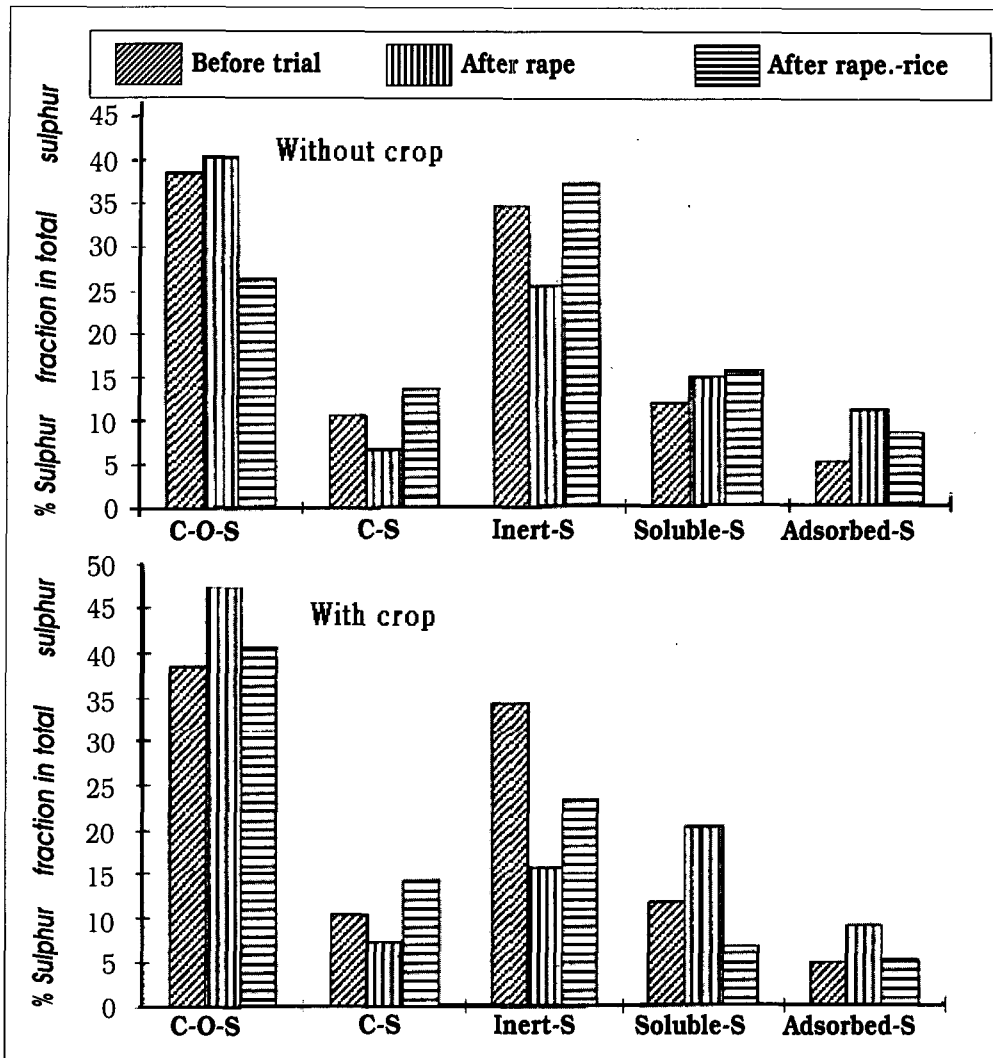


Figure 2. Effect of rapeseed-rice rotation on fraction distribution in soil (0-15 cm) (1994-1995) (Hu, 1996).

이와같은 결과는 동적힘이 토양 층위별 유기유황분획의 분포를 변화시킨다는 사실을 나타내주고 있다. 토양 유황 분획물은 일정한 균형으로 유지 되지만 물의 이동에 따라 황화물은 쉽게 위 아래로 이동된다. 따라서 제일인산칼슘 추출 유황은 표층에서 유황이 과부족을 가늠하는 기준으로 사용할 수 있다. 작물에 흡수된 유황은 표층의 유황함량과 상관이 있을 뿐아니라 심층에서도 관계가 있다. 유기유황 분획물과 무기 유황함량과도 상관이 있었다

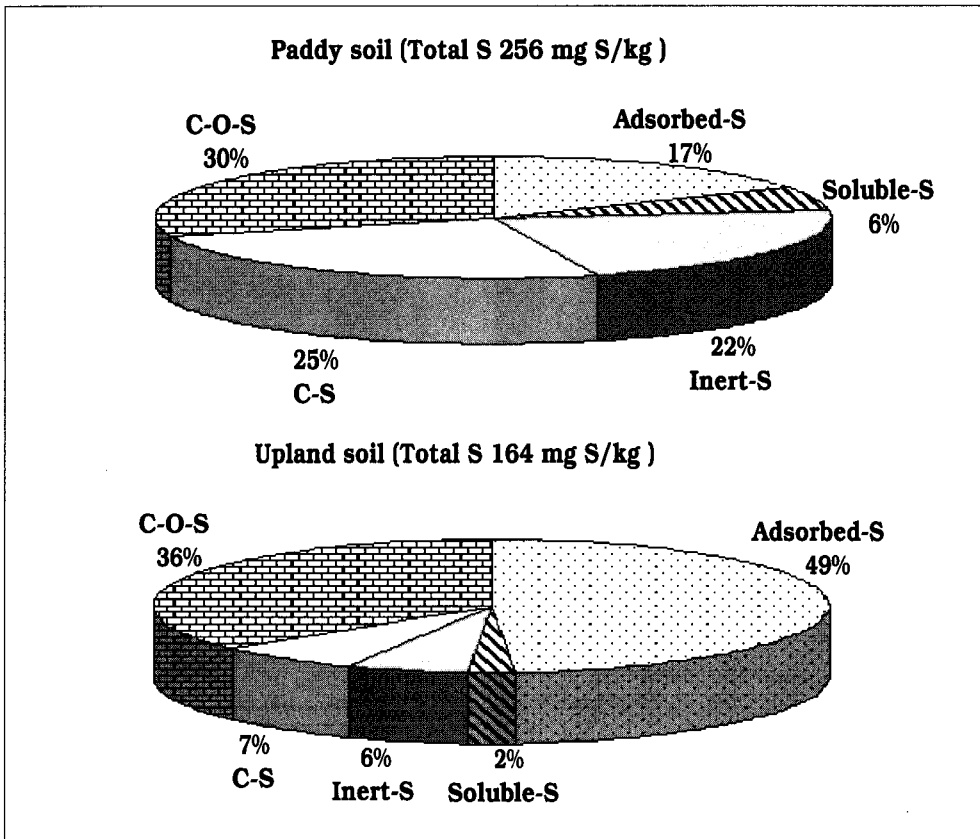


Figure 3. Comparison of sulphur fraction distribution in soil derived from the same parent material (Quaternary Red Clay) under different land use patterns (Hu,1996a).

유황에 대한 토양검정은 일반적으로 만족할 만한 결과를 얻지 못하게 되는데 토양 유황 검정의 이같은 결과는 주로 추출용액(제일인산칼슘)의 부적합에 기인되며 특히 유기유황 Pool토양에서 심하다. 또한 토양의 황산염 공급능력 역시 적게 평가된다. 이런 이유로 토양 유황 검정의 새로운 시도가 있게 되었고 유기 유황의 중요성이 인식되었다. 최근 개발된 0.25M KCl-40℃에서 3시간 침출법은 토양 유황검정을 한 단계 높혀 놓았으나 이 방법은 좀더 연구검토 되어야 할 것이다. 다양한 토양-작물 체계에서 유황비료의 보다 합리적이고 경제적인 이용을 위해서 새롭고 정확한 유황 검정법이 수립되어야 할 것이다.

## 유황균형

현재 중국 남부에서 논토양의 유황함량은 벼재배에서 균형을 이루고 있다. 농업 용수에 의하여 6.7~12.5kg S/ha가 유입되고 3~5.3kg S/ha가 유실되어 많은 양이 토양에 남게 된다. 그러나 동작물인 유채, 밀이 재배되고 있는 양쯔강 지역의 토양 유황함량은 불균형 상태에 있다. 총 유황함량과 유기 유황 분획물, 특히 C-S와 Inert-S 분획물은 논토양에서 동일모재의 밭토양에 비하여 높았다 (그림 3). 토양에서 유황비옥도의 퇴화는 오랜기간 약탈농업에 기인된 것이다.

Huaihe와 양쯔강 지역 토양의 유황함량은 벼재배 기간중 균형을 이루었다. 그러나 유채 재배기간동안 부족상태에 있었다. 약 10kg S/ha시용으로 유채 생육을 정상적으로 유지 할 수 있을 것이다. 관개수에 의해 43kg S/ha의 유황이 유입되므로 벼재배 기간에는 유황함량이 과도하여 수도작기에는 유황시비가 필요하지 않다. 벼-유채 윤작 체계에서의 유황 균형 상태는 상기 두 지역에서 유사한 결과로 나타났다.

## 작물수량 및 품질에 미치는 유황시비 효과

유황 시비결과 20개이상의 작물에서 수량은 4.5에서 40% 증수되는 것으로 나타났다. 동북부 지역의 총 유황함량이 높은 토양에서 유황시비로 5~34%의 수량증수를 가져왔다. 이와 같은 현상은 유기유황의 변환기간과 토양에서 서서히 가용화됨으로서 작물이 요구하는 제때에 토양유황이 공급 된다 기인된다.

**Table 4. Effect of sulphur fertilizer on crop yields (Liu, 1995).**

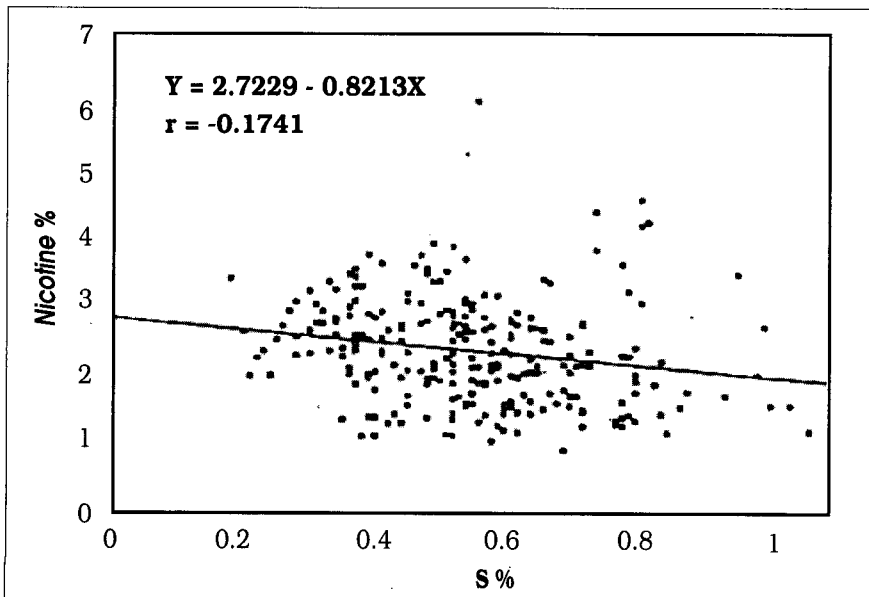
Crop	Number of Trials	Average Increase
		(%)
Potato	2	25.9
Sesame	2	19.5
Rice	95	15.7
Wheat	9	15.4
Rapeseed	28	14.9
Milk Vetch	6	14.7
Maize	11	13.4
Peanut	7	8.3



작물의 유황 결핍은 유모시기에 관찰되고 유황시비는 이때 하는 것이 좋은 것으로 동북지방에서 알려져있다. Huaihe강 남부와 중국 중부, 남부 및 남동부 지역에서는 작물 생육 후기에 결핍증상이 더 뚜렷하게 나타난다. 유황시비는 수량 증수 및 품질 개선이 되며 특히 땅콩의 경우 메치오닌 함량이 40.9%나 증가된다. pH가 낮은 토양에서 담배잎의 질과 건조잎의 흡연질은 토양 유황함량과는 부의 관계가 있는 것으로 보고 되었다 (그림 4).

**Table 5. Effect of sulphur fertilizer on crop yields (Liu, 1995).**

Crop	Province	Average Increeas (%)
Sugarcane	Guangxi	29.0
Litchi	Guangdong	23.8
Tea	Zhejiang	15.6
Tobacco	Hunan	14.6
Radish	Jiangxi	13.4
Garlic	Jiangxi	12.0
Cotton	Henan	5.9
Jute	Guangxi	5.9



**Figure 4. The relation between sulphur and nicotine content in tobacco leaves.**

## 유황연구 전망

중국 농업에서 토양유황의 이해와 유황비료의 보다 과학적이고 경제적인 사용을 위하여 다음과 같은 연구가 강화되어야 할 것이다.

1. 토양 유황의 생물학적 소진과 양적 퇴화를 방지 하기 위하여 다양한 생태계에서 유황순환연구, 총 토양 유황함량이 낮은 지역에서 유황 용량을 재조성 할 수 있는 대책연구
2. 토양 유황의 생물학적 이용기구, 특히 불활성 유황과 서서히 용해되는 유황 (HCl침출유황)분획물 및 심층의 유황이용
3. 상이한 토양과 작물에서 유황의 정확한 표준 값의 설정을 위한 새로운 해석적 방법개발
4. 다양한 토양작물 조건에서 유황비료의 이용 효율 증진과 새로운 수요에 부응 하기 위하여 유황자원의 국내 및 국제적인 발굴

## References

- Blair G.J., R.D.B. Lefroy, N. Chinoim, and G.C. Anderson. 1994. The development of KC1-40 sulphur soils test. 351-363. Proc. 15th World Congress of Soil Sci, Acapulco, Mexico. Volume 5a.
- Blair G.J., R.D.B. Lefroy, M. Dana, and R. Till. 1993. Sulphur sources for agriculture in south and southeast Asia and China. p.87-101. Proc. of the Int. Symp. of Present and Future Raw Material and Fertilizer Sulphur Requirements for China. Beijing, China., June 15-17. 1993.
- Cao Zhihong. 1995. Effect of potassium sulphate and micronutrients on smoking quality of flue-cured tobacco. Research Report:37-121.
- Chen Guoan. 1984. Sulphur status of soils located northeast of China. Chinese of J. Soil Sci. 15(6):271-273.
- Chen Guan. 1987. Effect of S and P fertilizer on output of rapeseed. Soil (6): 236-240.
- Chen Guoan. 1990. Supply of S. Pin some soils located northeast of China and effect of fertilizer. J. of Research of Modernization.
- Deng Chunzheng. 1989. Sulphur unbalance and benefit of improving crop yield by phosphogypsum application in paddy soil located Dehong Yunnan Province. J. of Ecology. 8(30):49-52.
- Hu Zhengyi, 1996. Sulphur cycle in farm soil-crop system Ph.D. diss. Institute of Applied Ecology, Academica Sinica, China.
- Hu Zhengyi, Zhang Jizhen, and Zhu Weimin. 1996a. Composition of sulphur forms in major land soils of Anhui Province. Soil, 2893):119-112.
- Hu Zhengyi, Zhang Jizhen, and Zhu Weimin. 1996b. Pool and potential sulphur supply capacity in Yellow Meadow. J. of Soil Sci. In press.
- Liu Chongqun. 1981. Soil sulphur status and sulphur application in China. Acta Pedological Sinica (Chinese), 19(2):185-193.

- Liu Chongqun. 1990. Sulphur in the agriculture of south of China. *Acta Pedologica Sinica*(Chinese), 27(4): 389-404.
- Liu Chongqun. 1992. Soil sulphur standard fertilizer requirement in China. p.19-29. In S. Potech (ed.) *Proc. of Int. Symp. on the Role of Sulphur, Magnesium, and Micronutrients in Balance Plant Nutrient*, Chengdu,China. 3-10 Apr. 1991. PPI.
- Liu Chongqun. 1995. Sulphur: The 4th major necessary nutrient element of crop. p.6-7 (Chinese).
- Liu Chongqun. 1980. Results of sulphur application in different soil types. *Soil and Fertilizer* (5):29-31.
- Li Zhongshen. 1984. The cause of S-deficiency of rice in south of Jiangxi Province. *Chinese of J. Soil Sci.* 15(1):38-39.
- Liu Quanyou. 1993. Distribution feature of sulphur in soils located Hal River valley. *J. Env. Chem.* 12(2):132-138.
- Luo Hang. 1993. Sulfur status in soils and effect of sulfur apportion in Jiangxi Province. *Soil and Fertilizer*(6):4-7.
- Peng Huaixuan. 1991. The content and change of available sulphur and magnesium in soil. *J. Hunan Agric. Sci.* (41):31-34.
- Zhang Jizhen. 1994. Available sulphur soils of Anhui Province. *J. of Soil Science.* In press(Chinese).
- Hang Jazzmen. 1995. Favorable level of sulphur application for better yield of rapeseed in available sulphur rich soil. *Research Report.*
- Hang Juan. 1992. Output result of sulphur application the basis of N. P. K balance use. *J. of Joplin Agric. Sci.* (1):48-52.
- Wei Qinknen. 1996. The characteristics of sulphur fraction in forest soil. B.S.diss. Anhui Agriculture University, Hefei, China.
- Zhang Kuan, Wu Wei, Wang Xiufang, and Hu Heyun. 1993. Soil sulphur and sulfate fertilizer use in northeast China. p. 64-70. *Proc. Int. Symp. on Present and Furture Raw Material and Fertilizer Sulphur Requirements for China.* Beijing, China. 15-17, June 1993.