

최근 한국 토양의 유황함량

J. H. Yoon, B. G. Jung, Y. H. Kim, and J. S. Shin

National Institute of Agricultural Science and Technology

441-707 Suweon,

Republic of Korea

요 약

유황은 작물에는 양적으로 인산만큼 요구되고 자연계에서 질소와 비슷하게 순환한다. 한국 토양에서 유황의 결핍은 예측이 가능한데 이는 농민이 현재까지 합유황 비료의 사용을 등한히 한데 기인된다. 그러나 최근 담배, 채소, 과수 등 경제작물을 재배하는 농가에서는 합유황 비료의 수량 증수와 품질 개선을 이해하고 선호하게 되었다. 더욱이 주요 도시의 아황산가스 배출이 점차 감소하는 것도 한 이유가 된다. 최근 논 토양 1,155점, 밭토양 498점, 시설 재배지 114점을 채취 분석 유효 유황함량을 조사하였다.

'88년 1차 유황 심포지엄 성적과 비교하면 작물에 유효한 제일인산칼슘 침출유황은 논과 시설재배지토양에서 뚜렷이 감소되었으며 밭토양에서는 증가하였다.

유효 유황함량인 10mg S/kg 이하인 비율은 논 8.2, 밭 5.2%이었다.

논 토양의 토성속, 배수, 퇴적양식, 지형 등이 논 토양의 유황함량과 밀접한 관계가 있었으나 밭에서는 이 관계가 뚜렷하지 못했다. 조립질이고 배수가 양호하며 잔적층에서 발달된 토양에서는 유황함량이 낮아 이를 개선할 필요가 있으며 토양중 시용 유황의 행동에 대한 세밀한 연구가 요구된다.

서 론

유황은 동식물에 필수적인 원소임에도 오랫동안 관심이 적었는데 이는 비료, 구비, 농업용수와 대기로부터 상당량이 공급된 데 기인된다. 유황 순환은 질소와 흡사하나 질소의 Pool은 대기이나 주요 유황 Pool은 인산의 경우와 같이 암석권에 속한다. 최근 유황결핍 현상이 세계적인 현상으로 나타나고 있는데 이는 유황함량이 적은 고농도 화학비료의 사용, 석탄 및 목재 대신 유황 없는 석유나 천연가스의 연료 대체와 작물에 의한 유황의 흡수제거 증가에 기인된다. 최근까지 한국농업에서 식물 영양으로서 유황의 중요성은 별로 주의를 받지 못한 게 사실이다. 최근까지 농민은

유황이 토양을 산성화시키고 수도에서 유화수소 발생에 의한 해작용으로 유해하다는 고정개념을 갖고 있었다. 1970에서 1980년대에 이르기까지 그들은 주요 함유황 비료인 유안과 과석비료 사용을 꺼렸다. 그리하여 논에서는 함유황 비료의 사용을 기피하고 밭작물에서 수량 증수 및 품질개선을 위하여 제한적으로 사용 하였다. 현재 토양에 환원되는 유황의 량은 유황 저함유비료 사용 결과와 대기 중으로의 방출 규제 로 감소되고 있다. 이러한 여건 변화로 농경지에서 유황 결핍은 흔히 있게 되었다. 본 고 에서는 한국 농경지토양에서 최근 유황상태를 파악하여 보고하고자 한다.

농경지토양의 유황함량

논 토양 시료 1,155, 밭토양 498점과 시설 재배지 114점에 대해서 농가 포장 표토 15cm까지 시료를 채취 분석하였다. 토양중 유효 유황은 토양과 P를 500ppm 함유한 제일인산칼슘 용액을 1:10으로 하여 30분간 진탕 후 ICP로 측정하였다. 경작지에서 제일인산칼슘 침출 유황함량은 시설재배토양>밭토양>논 토양 순으로 높았다. '88 심포지엄 성적과 비교하면 논과 시설 재배 토양에서의 유효 유황함량은 현저하게 감소 된 반면 밭에서는 상당한 수준으로 증가되었다 (표 1).

Table 1. Monocalcium phosphate-extractable sulphur in arable land by year.

Year	Paddy soil		Upland		Greenhouse	
	Avail. SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples	Avail. SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples	Avail. SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
'87(A)	86.3	269	28.0	164	205.0	60
Recent*						
year(B)	44.7±80.88	1,155	62.2±77.57	498	116.3±136.69	114
B-A	-41.6		34.2		-88.7	

* Recent year indicates 1995 for paddy soils, 1992 for upland soil and 1996 for greenhouse soils.

밭에서의 유황함량이 높은 것은 함유황 비료를 많이 쓴 데 기인되는 것으로 판단 된다. 중부, 남서부와 남동부 지역으로 나누어 유황함량의 분포를 보면 논에서는 동남부(영남지역)>중부>서남부(호남지역)순이었고, 밭에서는 중부>서남부>동남부지역 순이었다 (표 2).

Table 2. Available sulphur by regions. (mg kg⁻¹)

Arable land	Region		
	Central	Southwest	Southeast
Paddy field	40.2±33.76	30.7±36.04	60.8±135.05
Upland	74.3±86.80	40.1±38.69	10.6±17.81

논 토양 유황함량

논 토양에서 정상적인 수도생육을 위한 유황함량인 10mg S/kg 이하인 토양이 8.2% 이었고, 10-20mg S/kg에 속한 것이 21.4%, 30-100mg S/kg인 토양이 42.6%에 이르렀다. 유황함량에서 '88년에 비해 유황함량이 낮은 토양의 분포면적이 증가되었다.

Table 3. Percentage distribution of paddy soil samples in different ranges of sulphur contents in three regions of the Republic of Korea. (%)

Range of SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Country	Region		
		Central	Southwest	Southeast
≤ 10	8.2(0.7)*	4.0	9.0	14.6
>10 ~ 20	21.4(1.1)	18.5	36.2	16.9
>20 ~ 30	22.9(0.7)	21.4	27.6	22.3
>30 ~ 100	42.6(35.4)	52.6	23.5	38.0
>100~200	3.0	3.1	2.3	3.4
>200~500	1.1	0.2	1.4	2.5
>500	0.8	0.2	0	2.3
>100	4.9(62.1)	-	-	-
Samples	1,155	579	221	355

* Numbers in parenthesis indicates the percentage distribution of paddy soils in 1987.

우리나라 토양을 5개의 지질 군으로 나누어 보면 흑색과 암회색 지역이 유황함량이 가장 높았으며 이 지역 토양은 퇴적암 지대에서 발달되었다. 회색지역 토양은 하해혼성 평야지대로 유황함량이 상당히 높았다. 담회색지역 토양은 화강암 및 화강편마암 지대의 풍화산물로서 이들 암석의 조암광물은 비교적 유황함량이 낮은 것이 특징이다. 석회암지대는 유황함량이 5개 지역 중 가장 낮았다 (그림 1).

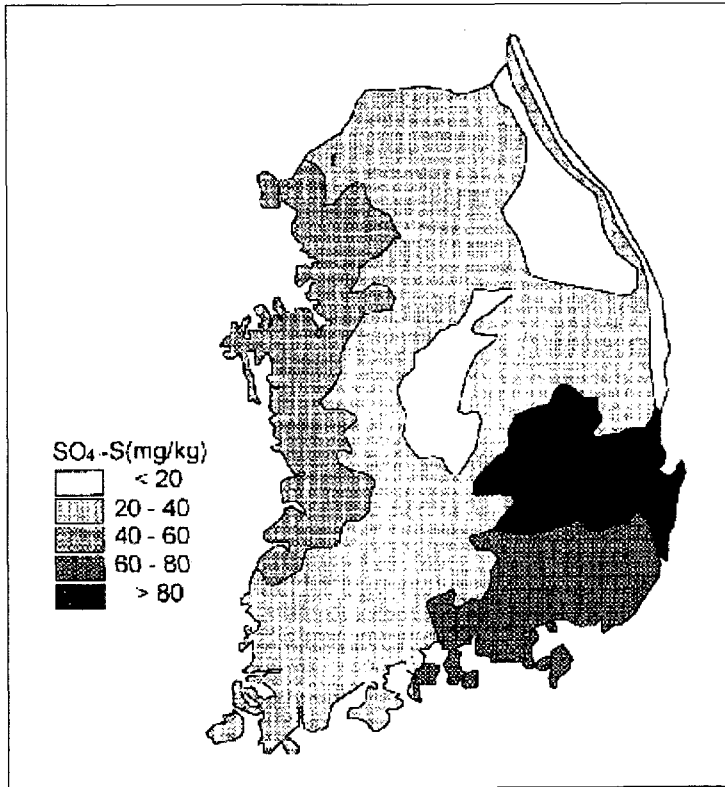


Figure 1. Regional distribution of available sulphur in paddy soil.

유황 결핍 지역의 특성을 밝혀 내기 위하여 퇴적양식, 토성, 배수, 지형 등과 논 토양 유황함량을 분석한 결과 잔적층에서 발달한 토양에서 유황함량이 낮았다 (표 4).

Table 4. Available sulphur in paddy soils with various modes of deposition.

Mode of deposition	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Residual	28.4± 8.08	7
Colluvial	39.4±52.76	36
Alluvial-Colluvial	36.4±20.34	15
Alluvial	44.8±84.93	1,011
Old alluvial	48.6±40.82	86

토성의 경우 세립질 토양에서 일반적으로 높았는데 이는 가는 입자가 더 많은 황산염 이온을 흡착한 데 기인된 것으로 판단된다 (표 5).

Table 5. Available sulphur in paddy soils with various soil textural families.

Soil Texture	All Soils		Except Fluvial-Marine	
	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Sand	19.7± 8.77	25	19.6 ± 8.88	23
Sandy loam	32.1±62.72	311	31.7± 63.84	295
Silty sandy loam	41.8±21.48	19	31.0 ± 9.80	4
Silty clayey loam	58.5± 96.4	219	54.8±109.93	151
Clayey loam	46.1±95.90	432	45.8± 96.23	427
Clay	51.2±35.74	149	47.4± 38.38	103

Table 6. Available sulphur in paddy soils for four drainage classes.

Drainage Class	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Well	27.9± 7.12	8
Moderately well	36.8±36.82	389
Imperfectly	47.3±96.96	591
Poorly	54.7±92.12	167

토양 배수에서는 배수가 불량한 경우 유황함량이 높았으며 양호한 토양에서는 황산염 이온이 물과 함께 쉽게 침층으로 이동한 것으로 보인다 (표 6).

황산염 이온은 쉽게 이동하여 고지에서 저지로 토양과 유기수와 함께 유실되어 산록지 토양에서보다 하해혼성 토양에서 높았다 (표 7).

Table 7. Available sulphur in paddy soils with various topography.

Topography	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Mountain foot slopes	39.4 ± 52.76	36
Local valleys & fans	43.8 ± 102.30	513
Alluvial plains	39.7 ± 66.12	364
Dilluvial terrace	48.1 ± 40.19	89
Fluvio-marine plains	58.8 ± 44.44	153

논 유형별 유황함량을 보면 염류, 습논 및 보통논 순으로 높았다 (표 8).

Table 8. Available sulphur in different types of paddy soils.

Soil Type	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Sandy	31.4 ± 59.35	349
Sandy loam	38.0 ± 36.48	240
Loam	53.6 ± 104.86	495
Clay loam	66.1 ± 84.49	50
Clayey	81.2 ± 42.11	21

밭토양 유효황함량

밭토양에서의 유효 유효황은 논 토양에 비하여 높았으며 논과 같이 변이 폭이 컸다. 10mg S/kg이하 토양은 5.2%, 10-20mg S/kg범위의 토양은 18.5%이었고 대부분의 토양이 10-100mg S/kg 범위에 있었다 (표 9).

Table 9. Percentage distribution of upland soil samples at different ranges of available sulphur contents in whole country and three regions of the Republic of Korea.

Range of SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Country (%)	Region(%)		
		Central	Southwest	Southeast
≤10	5.2	0.6	0.8	76.7
>10 to 20	18.5	14.9	30.0	13.3
>20 to 30	16.7	15.8	22.5	3.3
>30 to 100	44.0	48.0	41.7	6.7
>100 to 200	10.8	14.4	3.3	0
>200 to 500	4.2	5.4	1.7	0
>500	0.6	0.9	0	0
Samples	498	348	120	30

논 토양과는 달리 토양중 유효황함량과 토성, 배수등급, 지형과는 밀접한 관계가 나타나지 않았으나 유형과는 상관이 있었다 (표 10, 11, 12, 13).

Table 10. Available sulphur in upland soils with various modes of deposition.

Mode of Deposition	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Residual	71.0±110.84	73
Colluvial	51.2±53.72	118
Alluvial-Colluvial	60.3±72.18	199
Alluvial	70.9±78.89	100
Old alluvial	82.0±88.50	8

Table 11. Available sulphur in upland soils with various soil texture.

Soil Texture	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Sand	83.1 ± 77.61	18
Sandy loam	66.4 ± 74.78	217
Silty clayey loam	68.1 ± 69.96	40
Clayey loam	53.6 ± 82.77	197
Clay	68.5 ± 60.44	26

Table 12. Available sulphur in upland soils for four drainage classes.

Drainage Class	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Excessively	68.7 ± 71.11	35
Well	61.8 ± 80.24	405
Moderately well	73.5 ± 74.69	31
Fairly poor	44.5 ± 26.54	26
Poor	101	1

Table 13. Available sulphur in upland soils with various topography.

Topography	Available SO ₄ -S (mg kg ⁻¹)	Samples
Mountains	28.9 ± 25.66	9
Rolling & Hill	77.0 ± 114.86	68
Mountain foot slopes	53.0 ± 41.54	122
Local valleys & Fan	59.1 ± 71.64	246
Alluvial plains	87.0 ± 103.40	45
Dilluvial plains	77.8 ± 101.86	6
Fluvio-marine plains	54.4 ± 46.35	2

이와 같이 일정한 경향이 없음은 토양의 복잡성과 작부체계의 다양성에 기인되어

토양 특성과 유효함량과의 관계를 해설하기가 쉽지 않다. 논 토양에서와 같이 유효함량은 식토와 잔적토에서 높았다. 앞으로 보다 세밀한 유효함량의 행동 연구는 밭토양에서 이루어져야 할 것이다 (표 14).

Table 14. Available sulphur in different types of upland soils.

Soil Type	Available $\text{SO}_4\text{-S}$ (mg kg^{-1})	Samples
Sandy	56.2 ± 61.82	132
Productive	63.5 ± 75.80	262
Clayey	60.1 ± 48.46	49
Newly reclaimed	70.3 ± 125.11	54
Plateau	170	1

시설 재배지 토양 유효함량

경작지에서의 유효함량은 시설재배토양에서 가장 높았으며 10mg S/kg 이하의 토양이 4.4%, $10\text{-}20\text{mg S/kg}$ 범위의 토양이 7.0%, $20\text{-}200\text{mg S/kg}$ 에 속하는 토양이 나머지를 점유하여 시설 재배지 토양은 유효함량이 논·밭 토양에 비하여 매우 높았다 (표 15).

Table 15. Percentage distribution of greenhouse soil samples at different ranges of available sulphur contents.

Range of $\text{SO}_4\text{-S}$ (mg kg^{-1})	Distribution (%)	Samples
≤ 10	4.4	5
>10 to 20	7.0	8
>20 to 30	10.5	12
>30 to 100	40.4	46
>100 to 200	24.6	28
>200 to 500	9.6	11
>500	3.5	4

결론

경작지에서 식물에 유효한 유황함량의 감소추세에 대응하여 토양의 유황을 지속적으로 모니터링하고 유황함량이 적은 토양에 대한 개선 연구가 강화되어야 한다. 또한 토양에서의 유황의 행동에 대한 구체적인 연구를 통해서 토양 유황함량과 토양 특성과의 관계를 밝혀 내야 할 것이다.

References

- Kanwar, J. S. and M. S. Mudahar. 1986. Determinants of sulfur deficiency. Fertilizer Sulphur and Food Production : p 75-76. Martinus Nijhoff Dr. W. Junk Publishers. The Netherlands.
- Park, J. K., Y.H. Park, W. C. Kim and J. H. Yoon. 1988. Sulphur status in Korean soils. Proc. Inter. Symp. on Sulphur for Korean Agric : p. 21-28. Kor. Soc. of Soil Sci and Fert, Sulphur Institute.
- Tabatabai, M. A. 1982. Inorganic sulfate. Methods of soil analysis Part 2. Agronomy Monograph 9 : 518-522. Amer. Soc. Agron, Madison., WI. USA.