

## 일본 농업에서 유황의 역할

S. Matsumoto  
 Soil Science Laboratory  
 Department of Applied Biological Chemistry  
 Graduate School of Agriculture and Life Sciences  
 University of Tokyo  
 Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku 113-8657  
 Tokyo, Japan

### 요 약

일본 토양의 유황 함량은 변이 폭이 매우 크다. 화산회에서 발달된 갈색삼림토 양은 유황이 풍부한데 특히 북해도, 동북 및 기타 화산지역에서 그러하다. 일본에서 주요 쌀 생산지인 저평탄지대 역시 유황 함량이 높다. 따라서 이 지역에서의 유황 부족 현상은 발생되지 않는다. 그러나 이러한 지역에서도 집약재배가 이루어지면서 토양에서 유황의 적정 수준을 지키기 위하여 유황 시용을 권장하고 있다. 반대로 남서부의 적황색토 지대의 해안선의 모래땅 및 일부 층적토양에서는 유황 함량이 매우 낮아 이 지역에서의 작물생산은 함유황비료를 시용 하지 않는 한 유황부족으로 영향을 받게 된다. 대기로부터 SO<sub>2</sub>가스의 공급에도 불구하고 지난 20년간 유황공급은 꾸준히 감소되어 왔으며 함유황비료 사용이 극도로 감소함에 따라 작물생산에서 유황의 중요한 역할을 농업관리 실행계획에 포함시킬 필요가 있다.

### 서 론

유황은 필수 영양소의 하나로서 다량으로서 식물체에 흡수되고 토양으로 부터도 질소, 인산, 칼리, 석회, 고토와 함께 공급된다. 농업에서 유황 요구는 함유황 비료의 시용으로 충족되고 일부는 대기중의 유황으로부터 공급된다. 그러나 환경규제의 강화로 대기로부터 공급이 감소됨에 따라 유황 결핍이 점차 세계적인 현상으로 나타나기 시작하고 있으며 이는 요소와 중과석등 유황을 함유하고 있지 않는 비료사용의 증가에도 기인된다. 공업 국가에서는 대기 오염규제 강화로 유황의 대기로부터 공급이 30%이상 감소되었다.

유황결핍은 또한 다수확 품종의 보급에 의하여 촉진되었고 집약 경영, 농산 잔류물의 제거 및 함유황 농약의 사용 감소에도 원인이 있다.

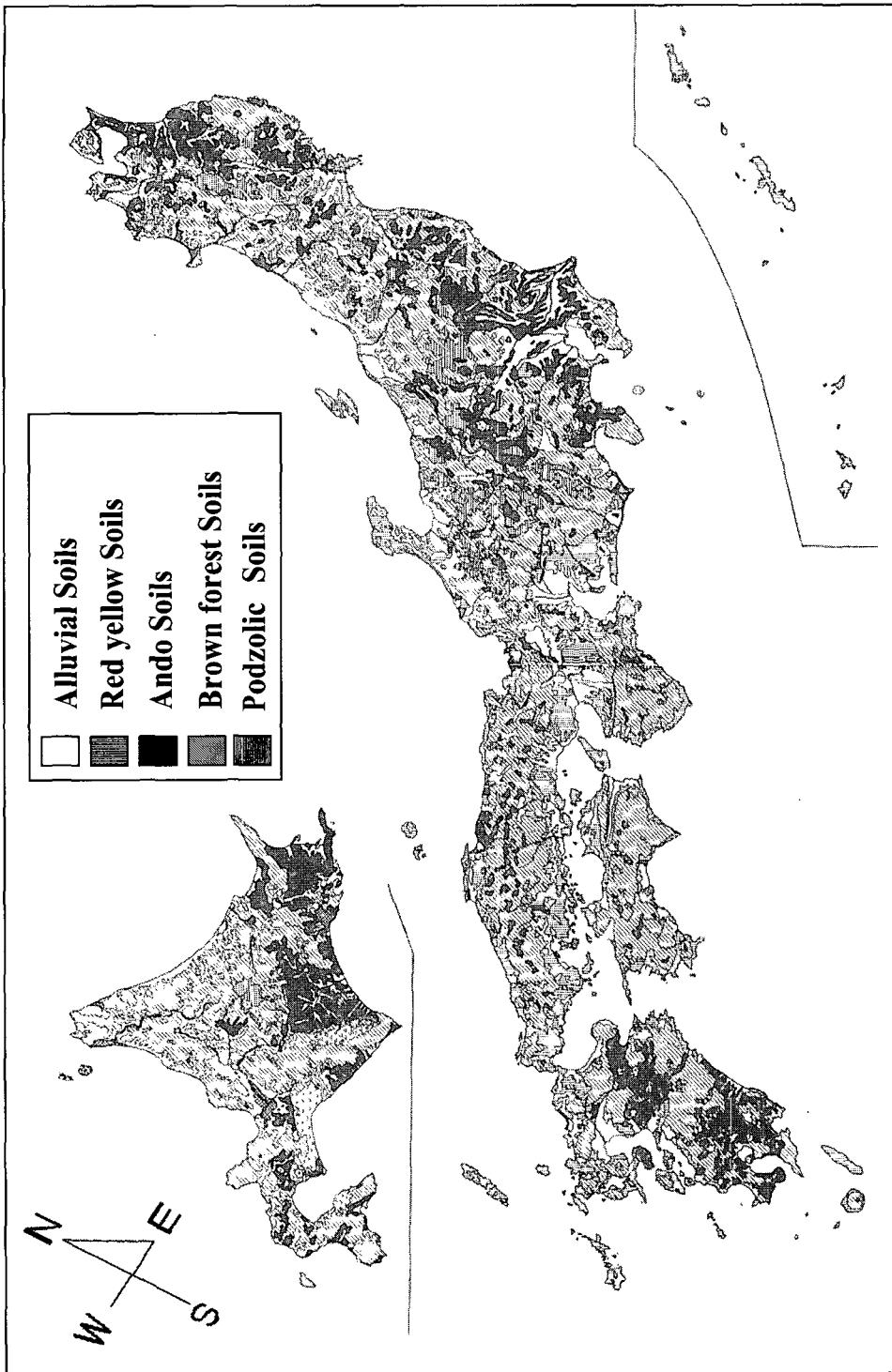


Figure 1. The distribution of soil types in Japan

여기서는 일본 농경지에서 유황 시용에 대한 개관을 통하여 유황의 토양 동태 및 식물 영양에 관하여 논술하고자 한다.

## 일본 토양의 유황함량

일본에서 갈색산림토는 황갈색토와 화산회토와 함께 주요 토양형으로 일본 전국 토의 70%를 차지하고 있다 (그림 1). 갈색산림토의 모재는 화산 분출물(화산회)과 홍적층 또는 이들의 혼합물에서 유래되었다. 토양의 염기 함량은 충분히 높지 않으나 식물의 성장에는 지장이 없을 정도로 함유되어 있다. 토양 반응은 자연식생 조건에서는 약산(pH5.7~6.3)이어서 일본 백양나무와 같은 대부분의 활엽수는 잘 자라고 있다. 한편 갈색삼림토의 유황 함량은 화산회에서 유래된 것으로 대단히 풍부한데 이는 화산 폭발시 유황 화합물을 분출하기 때문이다. 특히 황화철( $FeS_2$ )과 유황 원소 광물이 북해도, 토호쿠 및 기타 화산회지 역에 흔하게 나타난다. 이러한 지역에서 농업생산에서 유황결핍문제는 절대로 야기되지 않는다. 주요 쌀 생산지인 간척지대에서는 간척 당시 강 환원조건에서 황화철이 생성되어 유황 화합물의 함량이 높다. 그러나 일본의 서남부에 분포한 적황색토나, 해변에 위치한 사구토와 일부 충적토에서는 유황 함량이 낮아 함유황 비료를 시용하지 않을 경우 쉽게 유황 결핍이 발생된다. 더욱이 유황 함량이 토양 모재에서부터 부족한 지역에서는 경작되는 작물이 흡수된 만큼 보충하기 위해서 각 지역 지도사들은 농민들에게 계속적으로 함유황 비료를 추천하고 있다.

표 1은 일본의 미 경작지 대표 토양 표토에서 자연유황 함량을 나타낸 것이다. 일본 토양의 유황 함량은 넓게 분포되어 있고 특히 레고솔, 포드졸, 갈색산림, 화산회 및 유기질토에서 분포범위가 넓다. 그러므로 농경지 토양에서는 토양을 분석, 그 결과에 따라 유황 비료의 시용이 요청된다.

Table 1. Sulphur content ( $\text{SO}_3$ ) in A horizon of the Japanese uncultivated soils.

Soil Groups	Ranges of Percentages	Percentage	Representative analyses (mg S $\text{kg}^{-1}$ Soil)
Regosols	00.0 - 1.55	0.40	888.0
Podzols	0.05 - 0.60	0.08	177.6
Luvisols	0.06 - 0.20	0.10	222.0
Ferrasols	0.00 - 0.01	0.01	22.2
Andosols	0.07 - 1.90	0.09	199.8
Histosols	0.02 - 1.00	0.10	222.0
Fluvisols	0.00 - 0.02	0.01	22.2

## 유황의 생리적 기능

유황은 식물생장의 필수 원소로 알려져 왔다. 유황에 대해서는 세포에서의 작용이 필수적임은 이미 많은 것이 밝혀졌다. 유황은 아미노산의 주성분으로 메티오닌, 구루타지온과 시스테인의 주성분으로 이의 부족시 인간의 영양에도 악영향을 미치게 된다. 비타민중 바이틴과 지아민은 유황을 함유하고 단백질 구조는 이들 유황군의 함유량에 따라 결정된다. 일부 단백질효소 특성은 유황 연결형에 따라 결정되는 것으로 이해되고 있다. 다른 필수원소와 같이 유황은 동식물 대사에서 주요한 역할을 담당하고 있다. 유황이 부족한 식물은 왜소하고 특히 줄기가 나약하며 유식물 잎은 담녹색 내지 황색을 띤다.

대두에서는 뿌리 혹 발달이 저조하고 과실과 종자의 속도가 늦게 된다. 식물에서 유황 부족에 의한 생리현상에 지장이 있음이 알려진 것은 최근의 일이다. 1940년 함유황 비료인 과석이 제조된 이후 유황 공급의 필요함이 강조되었다. 이와 동시에 함유황 비료인 유안이 주요 비종으로서 오랜 기간 중요한 유황 공급원으로 사용되었다.

대기에서 유래된 아황산가스는 석탄과 석유의 연소 부산물로 식물과 토양에 많은 양의 유황을 공급하게 된다. 그리하여 식물이 필요로 하는 유황은 이와 같이 대기에서 부생되어 공급을 받게 되는데 이는 특히 공단 근처에서 많게 된다. 그러나 1950년대 중반기 이후부터 고농도 비료사용으로 과석과 유안의 사용이 감소하게 되어 그 결과 함유황 비료의 시장 점유율이 낮아지고 비료의 유황 함량이 점차 감소되었다. 또한 함유황 농약마저 지난 20년간 비유황 화합물로 대체 되면서 크게 감소되었다. 더욱이 연료로서 목재와 석탄이 석유, 전기 등으로 대체되고 저유황 석

유사용은 대기중 아황산가스의 방출량을 크게 줄이게 되었다. 특히 일본에서는 아황산가스에 의한 대기오염 문제의 심각성을 경험한바 있어 아황산가스의 방출 규제를 강화하여 거의 대부분의 아황산가스를 포집하게 되었다. 대기가스의 정화로 식물 성장을 위한 유황의 공급이 필요하게 된 것이다. 식물에 대한 유황원소의 생리연구에서 단백질 농축은 유황의 식물체 유입과 세포대사로 이루어진다. 유황원소의 잎 조직으로 유입은 결정형 동위유황원소에서 확인되었다. 시용된 1~3% 유황용액은 규질층 또는 기공을 통해 식물체에 유입될 수 있다.

**Table 2. Production of S-compounds from elementary sulphur under different light and atmospheric conditions. (P. Jolivet, 1993).**

Atmosphere Light intensity	Oxygen		Nitrogen	
	light	dark	light	dark
SO <sub>4</sub> ( $\mu$ mol ml <sup>-1</sup> )	29.8	20.0	21.5	19.0
SO <sub>3</sub> ( $\mu$ mol ml <sup>-1</sup> )	0.5	0	2.5	0.5
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $\mu$ mol ml <sup>-1</sup> )	1.0	0.4	2.0	1.2

표 2는 유황원소에서 유황 화합물의 생산을 밀의 엽록체를 통해서 광 강도를 달리하여 2시간동안 대기 조건에서 조사하였다. 유황원소 전환은 미약하였지만 2시간 후의 10~15%의 원소 유황이 유황 화합물로 전환되었음이 확인되었다.

## 유황의 적정 시용량

식물은 세 가지 형태로 유황을 흡수한다. 토양 중에서 유기물의 무기화와 원소 유황의 산화를 통하여 황산염이 되어 이용되고 기공을 통하여 잎으로 들어온 아황산가스가 대사 작용을 통하여 흡수되며 잎에 살포된 농약중의 유황원소가 황산염으로 동화 이용되고 나머지는 토양에 고정된다. 일본 토양의 대부분이 아황산염(SO<sub>3</sub><sup>-</sup>S)으로 10mg S/kg이하로 적정 수량을 위해서는 부족한 수준으로 평가된다.

이와 같이 유황이 부족한 지역에서는 유황 시용이 요청되고 있는바 곡류에서는 매년 ha당 10-15kg을, 목초, 십자화과, 기타 채소는 20-30kg, 양파, 마늘, 부추등 유황을 다량 요구하는 작물은 30-35kg의 유황이 추천되고 있다. 이와 같이 필요한 유황이 공급되지 않을 경우는 작물이 정상적으로 생육할 수 없게 되어 유황 결핍으로 전락하게 될 것이다. 대부분의 작물에서 질소와 유황의 비는 14~16대1로서 건

물 및 단백질의 최대 생산량을 위해서는 이 비율이 유지되어야 하며 이 비가 높아질 경우 수량 및 품질의 저하가 유발된다. 유황 결핍은 식물체에서 황백화 현상으로 나타나고 특히 백색 클로버와 유채의 경우 진한 자색으로 된다. 또한 잎의 발달이 저조하여 질소의 결핍증과 구분이 매우 어렵다.

## 유황 비료의 시용효과

유황 비료의 작물 반응에 대해서는 많은 연구가 되어있다. 유황이 부족한 경우 유황을 시비하면 곡류작물에서 일반적으로 증수 되는데 이는 입수와 수수의 증가에 기인된다. 또한 유황은 수수를 확보하고 봄보리의 경우 분얼을 촉진하는 것으로 되어있다. 유황은 메치오닌의 함량을 높이고 특히 유채에서는 유황시용으로 7%의 수량 증수를 가져오고 유황 함량도 현저히 증가되었다. 사탕수수의 경우 지상부의 생육을 촉진하여 뿌리의 사탕 및 조단백질 함량을 증가시킨다.

특히 질소시비가 높은 수준에서 유황이 부족되면 심각한 수량 감수가 나타난다. 유황결핍은 작물의 품질에 영향한다. 특히 밀 품질에서 밀알이 단단하여 가루로 만들기가 어렵고 반죽이 차지지 않을 뿐 아니라 시스테인 함량이 낮아 빵제조용으로 부적합하다. 유황은 동물사료의 품질에도 영향을 한다. 목초의 조성과 위내 미생물에 유황이 작용하여 양의 경우 1일 1.95g을 섭취해야 위내에서 정상적인 단백질 생산이 가능하게 된다. 유황결핍 목초를 급여한 반추 가축에서는 체중의 증가가 둔화된다.

## 유황비료의 긍정 및 부정적인 인식

이상의 사실에 입각하여 유황은 생물의 정상적인 생육에 불가결의 원소임에는 틀림없다. 그러나 토양중에서 적정량을 유지하는 문제는 질소, 인산, 칼리 성분에 비하여 쉽지 않다. 더욱이 농경지에서 광범위하게 유황이 부족되는 경우는 3요소에 비하면 훨씬 적는데 이는 주로 대기로부터 유래된 유황성분의 이용에 기인된다. 과거 20년간 작물생산에 있어 토양조건은 많은 변화가 있어 유황 부족은 보다 실제적인 문제로 부각 되고 있다. 토양 전문가는 작물의 안정생산을 위해서는 통상적으로 유황의 시용이 필요하다고 주장하고 있다. 가까운 장래에 유황 시용효과가 점차 증가될 것으로 예측하고 있다. 그런데 또한 수도작에서 함유황비료 시용의 부정적인 시각이 있다. 잘 알려진 사실이지만 논에서 추락현상은 담수상태의 강환원 조건에서 생성된  $H_2S$ 가스에 의한 근 피해로 화강암 모재에서 발달된 철함량이 적고 모래땅인 경우에 함유황 비료를 시용하면 문제가 발생하는 것으로 이 같은 조건에서는 시비에 주의가 요구된다. 그러나 이와 같은 문제 토양이 개량된 상태에서는 함유황

비료의 사용은 문제가 없다.

### 문제토양의 개량제로서 유황의 중요성

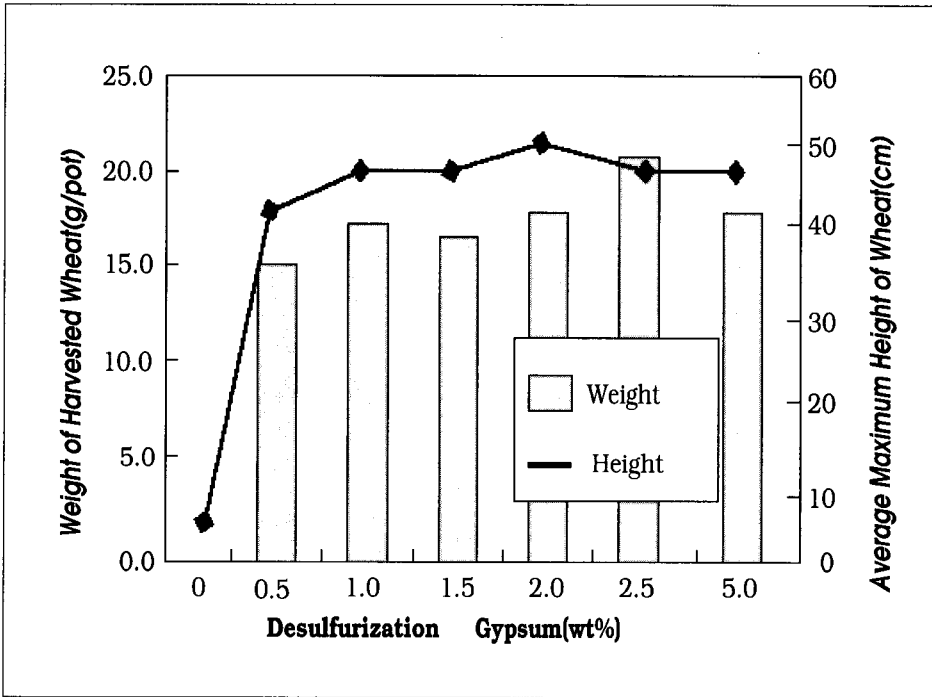


Figure 2. Effect of desulfurization gypsum on alkali soil.

전 세계적으로 문제토양이 널리 분포되어 식량의 안정적 생산에 걸림돌이 되고 있다. 최근 관개의 확대 및 사막지역의 개발로 염류 및 알칼리 토양의 재배 면적이 급격히 증가되고 있다. 이들 토양은 생산성이 낮아 특별한 토양관리 대책이 요구된다. 토양중 염류를 제거하기 위한 관개제염과 이때 관개수의 질 등이 중요하고 또한 토양 물리성이 나빠 배수가 불량한 탓으로 개량하는데 많은 비용이 소요된다.

최근 중국에서는 이런 알칼리 토양 개량에 석고를 쓰고 있는데 이는 유황을 함유한 석탄 연소시 방출되는 아황산가스를 석회수로 잡아 제조된 것이다. 석고의 사용으로 알칼리토양중의 소듐이온을 칼슘이온으로 치환하여 알칼리 토양을 개량한다. 보통 알칼리 토양은 중량으로 1-2% 석고가 요구되는데 다량 이어서 개량비용이 많이 들게 되는 제한점이 있다. 그러나 알칼리 토양 개량에는 좋은 방법으로 그 효과는 그림 2에서 볼 수 있다.

## References

- Consultation Committee for Japanese Soil Conservation. 1985. Guidelines for the improvement of fertilizers application in Japanese arable lands. Hakuyusya, Tokyo, Japan. In Japanese.
- Cram, W.J., L.J. De Kok, I. Stulen, C. Brunold, and H. Rennenberg (eds.). 1997. Sulphur metabolism in higher plants. Backhuys Publishers, Leiden.
- De Kok, L. J., I. Stulen, H. Rennenberg, C. Brunold, and W.E. Rauser (eds.). 1993. SPB Academic Publishing, Hague.
- Garcia Del Moral, L.F. and J.M. Ramos. 1987. Effects of foliar sulphur and ethrel on evolution and survival of tillers in spring barley. p. 545-552. Proc. Int. Symp. Elemental Sulphur in Agriculture, Nice, France.
- Ivanov, M.V. and J.R. Freney. 1983. The global biochemical sulphur cycle, SCOPE 19. Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A.
- Jolivet, P. and P. Kien. 1993. Elemental sulphur metabolization by wheat chloroplasts. C.R. Academy Science, Paris, France.
- Matsumoto, S. 1998. Alkali soils distributed in Northeast of China and their amelioration, 12<sup>th</sup> TOYOTA Conference, Mikkabi.
- Schnug, E. 1990. Phytopathological aspects of glucosinolates in oilseed rape. J. Agron. Crop Sci. 165:319-328.
- Shioiri, M. Studies on "akiochi paddy soil" and its reclamation, Nougyou to engei 20, No. 1-1-15, 1945. In Japanese.