草類の硫黄欠乏症発現と植物体の硫黄含有率および土壌の硫黄供給可能量との関連

誌名	日本土壌肥料學雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	河野,憲治 尾形,昭逸 小林,省吾
発行元	日本土壌肥料學會
巻/号	58巻3号
掲載ページ	p. 343-349
発行年月	1987年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

草類の硫黄欠乏症発現と植物体の硫黄含有率および土壌の硫黄供給可能量との関連*

河野憲治**・尾形昭逸**・小林省吾***

キーワード　硫黄栄養，硫黄欠乏症，硫黄限界含有率，硫黄供給可能量

1. 緒　言

硫黄欠乏（以下，本文中の硫黄はSと表記）による作物や牧草の生産量低下の報告が，インドネシアの水稲[2]，ナイジェリアのトウモロコシ[8]，カリフォルリアのサブクローバ[7]，オーストラリアのイネ科牧草，クローバ[5]など数多くある．しかし，わが国では作物のS栄養や土壌のS供給能に関する報告[15,16]は数少ない．その理由は，わが国では火山灰土壌が多く，S欠乏の生じる可能性が小さいと考えられていたこと，Sの定量が煩雑であったことにあると考えられる．

近年，無硫酸根肥料の多用によって，わが国の草地などでもS欠乏の生じる可能性が生じてきた．草地においてS施与を必要とするか否か，あるいは必要とするS施与量を決めるためには，草地土壌のS供給能や草類のS栄養状態を把握すると同時に，草類のS要求量を把握する必要がある．HEU ら[6]はコムギの生育に必要な最少SO_4-S量は，土壌溶液中では8 ppm S であり，$Ca(H_2PO_4)_2$一抽出 SO_4-S 量では6 mg S/kg であると報告している．またSPENCER and FRENEY[12]は，コムギの，JONES ら[7]はサブクローバの生育に必要な植物体のS量をN/S比やSO_4-S/全S比などを指標として推定している．しかしながら，作物の生育に必要な土壌中S含量，あるいは作物体中のS含有率は作物の種類によって異なること[3,4]が知られており，必要量を示す指標も研究者によってそれぞれ異なっている．

そこで，草類の生育に必要な土壌中や植物体中のS量を示すのに，最も適した指標を明らかにし，それらの草種間差異を解析することを目的として一連の研究を開始した．本報では，まず中国地域土壌のS天然供給量を把握し，ソルガムとシコクビエのS欠乏症発現と土壌のS供給可能量および植物体S含有率との関連を明らかにした．

2. 材料および方法

1) 栽培方法

供給土壌として，中国地域に広く分布し，第1表に示すような特徴をもつ2種の土壌，すなわち，マサ土と呼ばれる花こう岩の風化した鉱質酸性土壌と黒色火山灰土壌（以下，火山灰土壌）の未耕地土壌を用いた．

S施与量は0，10，100，200 kg S/ha の4段階とし，各相当量のSを硫酸アンモニウムで行った．各S処理区とも200 kg N/ha となるよう，塩化アンモニウムまたは尿素を施与し，おのおの塩化アンモニウム区，尿素区とした．S，N以外の施与は，P_2O_5 500 kg/ha，K_2O 265 kg/ha，MgO 75 kg/ha 相当量を基肥として行った．また，各土壌をpH=6に矯正するため，$CaCO_3$ を鉱質土壌では0.8 g/kg，火山灰土壌では10 g/kg 加えた後，1/5000 a ワグネルポットに鉱質土壌 4.6 kg，火山灰土壌 2.6 kg をおのおの充填した．

1983年6月2日にポット当りソルガム（*Sorghum vulgare* PERS. cv. Sweet Sioux IV）20粒，シコクビエ（*Eleusine coracana* GAERTN. cv. Snow Brand）100粒播種し，発芽後5日目にポット当りソルガム10個体，シコクビエ80個体とした．生育期間中は必要に応じて脱塩水で灌水した．また，生育期間を通じてS以外の養分が不足しないよう，NH_4NO_3，KH_2PO_4，$Mg(NO_3)_2$ を用い，N 100 kg/ha，P_2O_5 200 kg/ha，K_2O 138 kg/ha，MgO 43 kg/ha 相当量を播種後37日目と66日目の2回液肥として施与した．試料採取は播種後54日目に第1回目を地表5 cm で行い，再生長させ，播種後82日目に第2回目を地ぎわから行った．なお，第2回刈取り時には栽培後の土壌を採取し，また一部は根の採取を行った．植物体は葉，茎，根別に生重を測定し，熱風乾燥した後，土壌は風乾後分析に供した．

2) 分析方法

植物体試料：a) 全S；乾燥粉末試料 75 mg を 20 m*l* 容蒸発皿に採取し，5％ $Mg(NO_3)_2$ を 2 m*l* 加えて均一に湿らせ，ホットプレート上で乾燥させた後電気炉で

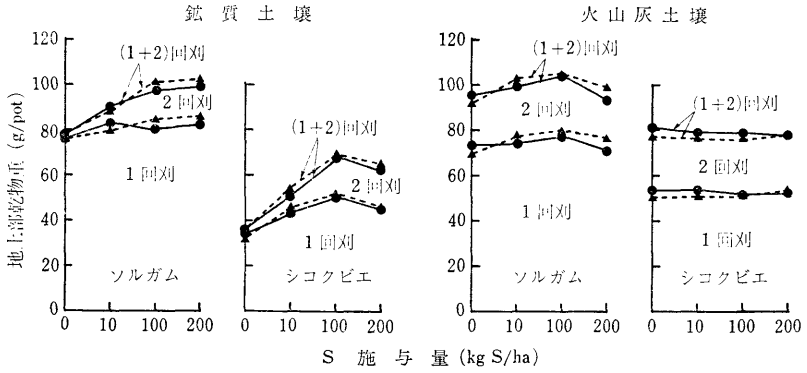
* 草類の硫黄栄養に関する研究（第1報）
本報の概要は昭和59年8月の日本土壌肥料学会東北大会で発表した．

** 広島大学生物生産学部（720 福山市緑町 2-17）
*** 同上（現在，K.K. 中国環境指導センター　730 広島市中区加古川町 2-8）

昭和61年7月3日受理
日本土壌肥料学雑誌 第58巻 第3号 p. 343～349（1987）

第1表　供試土壌の特徴

土壌	土性	pH 1N-KCl	全C (%)	全N (%)	置換態塩基 (mg/100 g) Ca	Mg	K	Na	可給態 P_2O_5 (ppm)	可給態S (mgS/kg)	全S (mgS/kg)
鉱質土壌	砂壌土	4.0	Trace	0.03	37.4	9.4	3.1	4.5	0.9	5.4	52.5
火山灰土壌	微砂質壌土	4.1	9.77	0.39	6.9	5.2	6.9	2.7	2.1	24.8	505.1



第1図　中国地域の鉱質土壌と黒色火山灰土壌におけるソルガムとシコクビエの生育に及ぼすS施与の影響
●，塩化アンモニウム区；▲，尿素区.

400～500℃で2時間灰化した．冷却後約 1 m*l* の 2 *N*HCl で灰化試料を溶解し，さらにホットプレート上で HCl を乾固後，蒸留水で定容とし，この溶液中の SO_4-S を Wescan (26P-001 型) イオンクロマトにより定量した．

b)　SO_4-S；乾燥粉末試料約 150 mg を 50 m*l* 容の遠沈管に採取し，20 m*l* の蒸留水を加え 30 分振とうした後，ろ過し，ろ液中の SO_4-S をイオンクロマト法により定量した．

c)　蛋白態 N と非蛋白態 N；乾燥粉末試料から 5% 冷過塩素酸で非蛋白態Nを抽出し，残渣中のNをケルダール法で定量して蛋白態Nとし，全N（ケルダールN）含有率と蛋白態 N 含有率の差を非蛋白態 N 含有率とした．

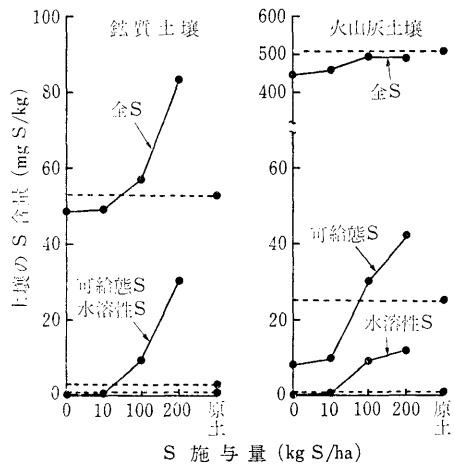
土壌試料：a)　全S；微粉末試料をペレットにした後蛍光X線分析法で定量した．

b)　可給態 S，水溶性 S；0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ および H_2O の抽出液中の SO_4 S をイオンクロマト法で定量し，おのおの可給態 S，水溶性 S とした。

3. 結　果

1)　栽培概要

栽培期間中，ソルガム，シコクビエはともに病害，虫害もなく，Sの供給が不足した区でS欠乏症が見られた以外は順調に生育した．鉱質土壌の S-0，10 kg/ha 区

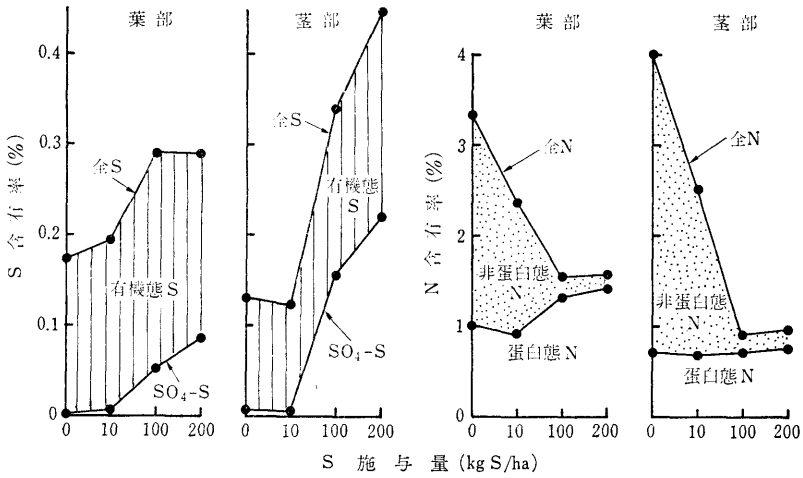


第2図　シコクビエ栽培後の土壌の全S，可給態S，水溶性S含量

のソルガムとシコクビエの生育は1回刈取り時で他区よりもやや劣り，再生長時には明らかに不良となった．その場合の両草種の葉色はN欠乏と類似の黄色を呈した．

2)　乾物重

ソルガムとシコクビエの乾物重は，S施与量の増加に伴って，火山灰土壌では1回刈，2回刈ともにほとんど変動しなかったが，鉱質土壌では1，2回刈とも



第3図　鉱質土壌で生育させたシコクビエ（2回刈）のS，N含有率

増加し，特に2回刈で顕著に増加した（第1図）．また，これらの傾向は塩化アンモニウム区と尿素区で同様であったので，以下の結果は塩化アンモニウム区について述べる．

3）栽培前後の土壌中S含量

栽培前の供試土壌中の全Sと可給態S含量は第1表に示すように鉱質土壌でおのおの52.5 mg S/kg，5.4 mg S/kgであり，火山灰土壌ではおのおの505.1 mg S/kg，24.8 mg S/kgであった．草類によるS吸収量はソルガムよりもシコクビエで大きかったことから，第2図にシコクビエ栽培跡地土壌のS含量を示した．土壌中の全S，可給態S含量は，鉱質土壌のS-100，200 kg/ha区は原土より高かったが，S-0，10 kg/ha区では，いずれも原土より低下していた．すなわち，S-0，10 kg/ha区の土壌中全S含量は，鉱質土壌では48 mg S/kg，火山灰土壌では447～456 mg S/kgに低下した．また，可給態S含量は鉱質土壌では1 mg S/kg以下に，火山灰土壌では8，10 mg S/kgに低下した．したがって，S無施与区の栽培前後の全S含量の差は，鉱質土壌では4.5 mg S/kg，火山灰土壌では58 mg S/kgとなった．

4）植物体のS，N含有率（乾物中）

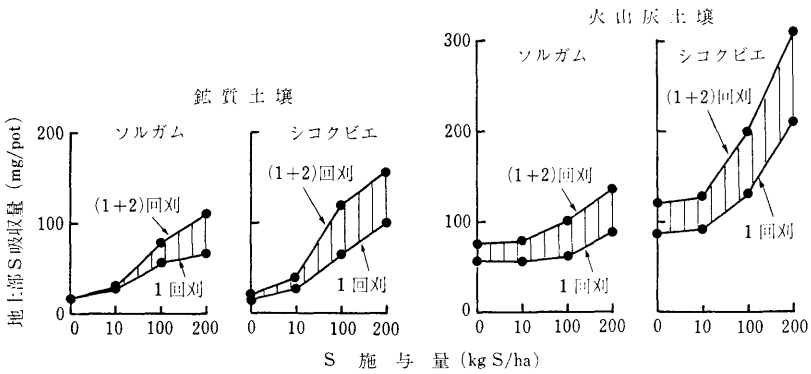
ソルガムとシコクビエの葉部，茎部の全S，SO_4-S含有率は，S施与量の増加に伴って上昇したが，その上昇割合は，火山灰土壌よりも鉱質土壌で生育させた場合に大きく，ソルガムよりシコクビエで，1回刈よりも2回刈で，また，葉部よりも茎部で大きかった．そこで，S供給不足により最も生育に差が生じ，またS含有率の変動も最も大きかった，鉱質土壌で栽培したシコクビエの2回刈のS，N含有率を葉，茎部別に，第3図に示した．

全S含有率は，葉部ではS欠乏症を呈したS-0，10 kg/ha区で0.2%以下と低く，S-100，200 kg/ha区で0.3%程度であり，茎部ではS-0，10 kg/ha区で0.12%と低く，S-100，200 kg/ha区で0.3%以上と高かった．またSO_4-S含有率は，葉部ではS-0，10 kg/ha区で50 ppm以下と低く，S施与量の増加に伴って顕著に上昇し，茎部でもS-0，10 kg/ha区で60 ppm以下と低く，S-100，200 kg/ha区で1500 ppm以上と顕著に上昇した．したがって，有機態S含有率は葉，茎部ともにS施与量の増加に伴って上昇したが，その上昇割合は小さかった．

全N含有率は，葉，茎部ともにS-0区では3～4%と高かったが，S施与量の増加に伴って葉部では2%程度，茎部では1%程度まで顕著に低下した．しかし蛋白態N含有率はS施与量の増加に伴って葉部ではわずかに上昇し，茎部ではほとんど変動しなかった．したがって，S-0，10 kg/ha区では葉，茎部ともに非蛋白態N含有率が著しく高かった．

5）ソルガムとシコクビエのS吸収量

ソルガムとシコクビエのS吸収量はS施与量の増加に伴って増加し，その増加の程度は火山灰土壌でよりも鉱質土壌で生育させた場合に大きく，ソルガムよりもシコクビエで大きかった（第4図）．また，S吸収量は1回刈で低く，特に鉱質土壌のS-0，10 kg/ha区で低かった．S無施与区における1回刈，2回刈の合計S吸収量はソルガムよりもシコクビエで大きく，鉱質土壌ではポット当り19.3 mg S，火山灰土壌では121.7 mg Sであった．さらに，図には示していないが，シコクビエ



第4図　鉱質土壌と黒色火山灰土壌で生育させたソルガムとシコクビエのS吸収量

の根部のS吸収量は，鉱質土壌では 3.9 mg S，火山灰土壌では 18.5 mg S であった．したがって，シコクビエによる合計S吸収量は鉱質土壌では 23.2 mg S，火山灰土壌では 140.2 mg S となった．

4. 考　察

1) 土壌のS天然供給量

土壌のS天然供給量を推定するための適切な指標はいまだ確立されていない．そこで，土壌のS天然供給量をS無施与区における植物体のS吸収量と，栽培前後の土壌中の全S量から推定すると同時に，その値を一般に可給態Sとして用いられる 0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ で抽出されるS量[6]などと比較した．なお草種はソルガムよりもS吸収量の多かったシコクビエについて算出した．シコクビエのS無施与区のポット当りS吸収量は，鉱質土壌では 22.9 mg S，火山灰土壌では 140.5 mg S であった．鉱質土壌，火山灰土壌でおのおのポット当りの土壌は 4.6 kg，2.6 kg であったので，上記S吸収量から土壌のS天然供給量を算定すると，鉱質土壌では 5.0 mg S/kg，火山灰土壌では 54.0 mg S/kg となる．また，土壌のS天然供給量をシコクビエのS無施与区における栽培前後の全S含量の差から算定すると，鉱質土壌では 4.5 mg S/kg，火山灰土壌では 58.1 mg S/kg であり，S吸収量からの算定値と大差なくよく一致した．

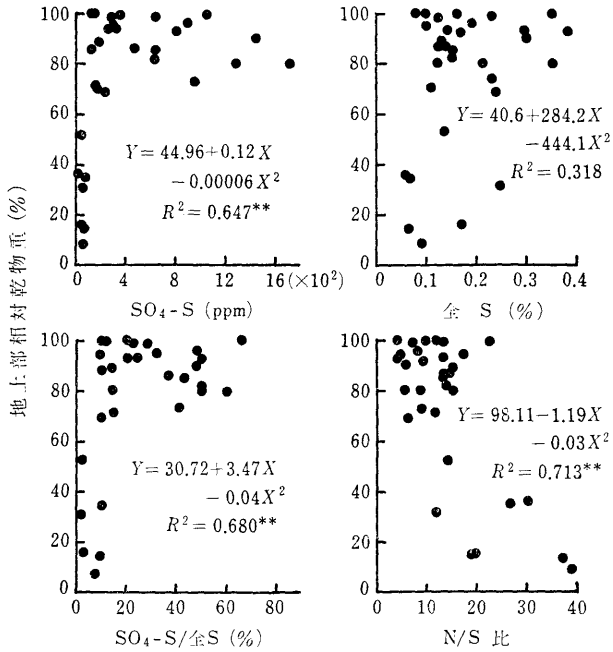
鉱質土壌のS無施与区で栽培したシコクビエはS欠乏症状を呈し，S供給不足のため生育も著しく不良であった．また火山灰土壌においても，S無施与区では生育量の低下はわずかであったが，S含有率は顕著に低下していた．したがって，本実験期間中における草類のS吸収量から算定した両土壌のS天然供給量の値がこれ以上に大きく増加することはなく，これらの値はほぼ妥当と考えられる．したがって，両土壌のS天然供給量は鉱質土壌では約 5 mg S/kg，火山灰土壌では約 58 mg S/kg と推定できる．

一般に可給態Sとされている 0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ 抽出可能なS量から土壌のS天然供給量を推定すると，鉱質土壌では 5.0 mg S/kg，火山灰土壌では 24.8 mg S/kg となり，鉱質土壌では前記推定値と一致するものの，火山灰土壌では前記推定値の約 1/2 と低い．土壌中のSの多くは有機物の構成成分として存在する[9]ことが知られており，両者の差は有機物の無機化に伴うSの供給に起因すると考えられる．草地土壌は一般にはその表層に多かれ少なかれ有機物を含んでおり，草地土壌のS供給可能量を推定する上で可給態Sはその指標とはなりにくい．

有機物の無機化の速度は土壌の温度，pH，水分などの条件の他，有機物自体の性質によっても異なる[1]と考えられ，草地土壌でS天然供給量を推定するためには，全S含量や有機物含量などを総合した新たな指標が必要と考える．

2) 草類のS欠乏症発現と土壌のS供給可能量

草類のS欠乏症状を“目で見る診断”すなわち葉色のみで判断することは，葉色がN欠乏の場合ときわめて類似していることから困難である．本実験結果から，S欠乏の特徴を挙げると，まず葉，茎部の SO_4-S 含有率が顕著に低下すると同時に，非蛋白態N含有率が上昇する．そして葉が黄化し，蛋白質，乾物生産が低下する．こうした草類のS欠乏症発現と土壌のS供給可能量との関連は土壌のS供給可能量の適切な指標がないため図式化しにくい．ただ，作物が良好に生育するのに必要な最小限の土壌S量についていくつかの報告がある．Fox ら[4]や Heu ら[6]は $Ca(H_2PO_4)_2$ 抽出可能なS量を可給態S量として指標に用い，作物の生育に必要なS量は可給態Sで 6～8 mg/kg であるとしている．本実験で使用した



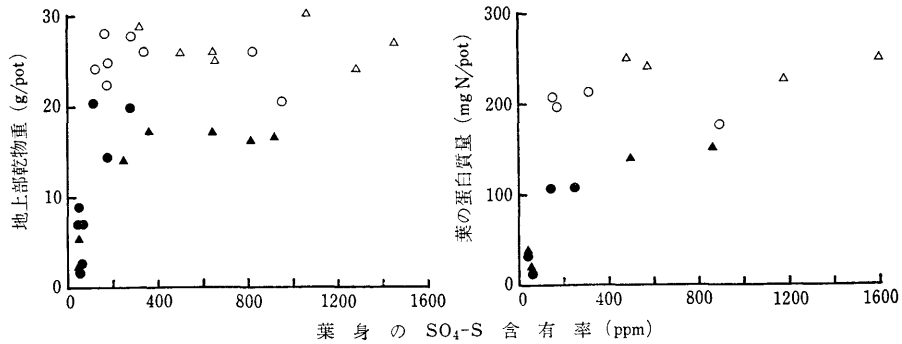
第5図　ソルガムとシコクビエの相対乾物重（最大値を100とした）と葉の SO_4-S，全S含有率および SO_4-S/全S，N/S比との関連

火山灰土壌のS無施与区においては，シコクビエの葉，茎部S含有率は明らかに低下していたが，生育量はわずかしか低下していなかった．この場合の $Ca(H_2PO_4)_2$ 抽出可能な土壌中のS含量は8 mg S/kgであった．このことから，シコクビエが良好に生育するためには，土壌中に $Ca(H_2PO_4)_2$ 抽出可能S量として少なくとも8 mg S/kg必要と考えられ，この値は前記報告ともよく一致する．したがって，$Ca(H_2PO_4)_2$ 抽出Sが8 mg/kg以下の土壌ではシコクビエにS欠乏症が発現し，生育も低下するものと推察される．

3）草類のS欠乏症発現と植物体S含有率との関連

植物体のS栄養状態を判断するための指標として，従来植物体の全S，SO_4-S含有率やN/S比などが用いられてきた[10,12~14]．これらに加え，最近，JONES ら[7]は SO_4-S/全S比を用いることを，より信頼性が高いことを理由に提案している．これら指標のうち，N/S比や SO_4-S/全S比では，2つの成分分析を必要とする難点がある．また，S定量にイオンクロマト法を用いる場合でさえも全Sの定量は供試液作製までに時間を要するため，より簡単なS指標を考える必要がある．植物体中の SO_4-S含有率は水で容易に抽出しうることから，これを指標として利用できれば有効である．しかし，この SO_4-S含有率は生育時期によって変動し，指標としての信頼度が低いとの報告[12]があったので，本実験でその内容を検討した．その結果，SO_4-S含有率の生育ステージや生育条件の相違に伴う変動は特に茎部で大きく，葉部で比較的小さいことが判明した．そこで，鉱質土壌と火山灰土壌で生育させたソルガムとシコクビエの葉部における SO_4-S，全S含有率，N/S比および SO_4-S/全S比と相対乾物重との関係をみると，相対乾物重と全S含有率との相関は低かったが，SO_4-S含有率，SO_4-S/全S比，N/S比との相関はいずれも有意に高かった（第5図）．したがって，葉中の SO_4-S含有率はN/S比や SO_4-S/全S比の代りに指標として用いうると考えられる．このことから，本報告では葉中の SO_4-S含有率を植物体のS栄養を示す指標として用い，ソルガムとシコクビエのS欠乏発現と，植物体の SO_4-S含有率との関連を考察した．

ソルガムとシコクビエの地上部乾物重と葉の蛋白質含量は，葉身の SO_4-S含有率の上昇によって，0～200 ppm Sまでは顕著に増加し，それ以上のS含有率ではほぼ一定となった（第6図）．そして，葉身の SO_4-S含有率が50 ppm以下では生育が著しく不良であると同時に葉が黄化した．したがって，ソルガムとシコクビエでは葉身の SO_4-S含有率が200 ppm以下では乾物や蛋白質生産が低下し，さらに50 ppm以下では葉が黄化し，



第6図 ソルガムとシコクビエの葉身の SO_4-S 含有率と地上部乾物重および葉の蛋白質量との関連
●○, ソルガム; ▲△, シコクビエ; ●▲, 鉱質土壌; ○△, 火山灰土壌.

S欠乏により著しく生育が低下すると判断される.

こうした作物や草類のS限界含有率には種間差のあることが知られており[3,11], 草地で生育する草種おのおのについて, S欠乏症発現と葉身の SO_4-S 含有率や土壌のS供給可能量との関連を明らかにすることが必要と考える.

5. 要 約

土壌のS天然供給量を把握し, 草類のS欠乏症発現と植物体のS含有率および土壌のS供給可能量との関連を明らかにする目的で, 中国地域に分布する鉱質土壌と黒色火山灰土壌を供試し, S施与量を4段階に変えて土耕ポット試験を行った. ソルガムとシコクビエを栽培し, 播種後54日目と82日目に両草種の乾物重, S, N含有率, 栽培前後の土壌中S含量などを測定した.

1. 両草種の乾物と蛋白質収量はS施与量の増加に伴って, 鉱質土壌では増加し, 黒色火山灰土壌ではほとんど変化しなかった.

2. 両草種のS吸収量はS施与量の増加により増加し, 特にシコクビエで顕著に増加した.

3. S無施与区における栽培前後の土壌の全S含量と草類のS吸収量から求めた土壌のS天然供給量は鉱質土壌では5 mg S/kg 乾土, 黒色火山灰土壌では58 mg S/kg 乾土であった.

4. 有機物含量が低く, S天然供給量の低い鉱質土壌のS：0, 10 kg S/ha 区では両草種ともに再生長時の生育が不良で, N欠乏と類似の葉色（黄色）を呈した. この時の両草種の葉身の SO_4-S 含有率は 50 ppm 以下と低く, 非蛋白態N含有率が著しく高く, 栽培後の土壌の可給態S含量は 1 mg S/kg 以下と著しく低かった.

以上の結果, ソルガムやシコクビエでは葉身の SO_4-S 含有率が 50 ppm 以下に低下すると葉が黄化し, S欠乏により蛋白質や乾物生産が低下する. S天然供給量推定値が 5 mg S/kg と低く, 腐植含量も著しく低い鉱質土壌では草類のS欠乏が生じやすいことが明らかとなった.

文 献

1) Bettany, J.R., Saggar, S. and Stewart, J.W.B.: Comparison of the Amounts and Forms of Sulfur in Soil Organic Matter Fractions after 65 Years of Cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44**, 70～75 (1980)
2) Blair, G.J., Mamaril, C.P., Pangerang Umar, A., Momuat, E.O. and Momuat, C.: Sulfur Nutrition of Rice. I. A Survey of Soils of South Sulawesi, Indonesia. *Agron. J.*, **71**, 473～480 (1979)
3) Burmester, C.H., Adams, F. and Haaland, R.L.: Effects of Nitrogen and Sulfur Fertilizers on Sulfur Content of Tall Fescue and Phalaris. *ibid.*, **73**, 614～618 (1981)
4) Fox, R.L., Kang, B.T. and Nangju, D.: Sulfur Requirements of Cowpea and Implications for Production in the Tropics. *ibid.*, **69**, 201～205 (1977)
5) Gilbert, M.A. and Robson, A.D.: Studies on Competition for Sulfur between Subterranean Clover and Annual Ryegrass. *Aust. J. Agric. Res.*, **35**, 53～64 (1984)
6) Heu, N. V., Adams, F. and Evans, C.E.: Plant-Available Sulfur as Measured by Soil-Solution Sulfate and Phosphate-Extractable Sulfate in a Ultisol. *Agron. J.*, **76**, 726～730 (1984)
7) Jones, M.B., Ruckman, J.E., Williams, W.A. and Koenigs, R.L.: Sulfur Diagnostic Criteria as Affected by Age and Defoliation of Subclover. *ibid.*, **72**, 1043～1046 (1980)
8) Kang, B.T. and Osiname, O.A.: Sulfur Response of Maize in Western Nigeria. *ibid.*, **68**, 333～336 (1976)
9) Mclaren, R.G. and Swift, R.S.: Changes in Soil Organic Sulfur Fractions due to Long-Term Cultivation of Soils. *J. Soil Sci.*, **28**, 445～453 (1977)

10) Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Allmaras, R.R. and Smith, C.M.: Nitrogen-Sulfur Relations in Soft White Winter Wheat. II. Initial and Residual Effects of Sulfur Application on Nutrient Concentration, Uptake, and N/S Ratio. *Agron. J.*, **67**, 224～228 (1975)

11) Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Ekin, L.G. and Rhode, C.R.: Tissue Analyses for Diagnosing Sulfur Deficiency in White Wheat. *Plant Soil*, **46**, 153～163 (1977)

12) Spencer, K. and Freney, J.R.: Assessing the Sulfur Status of field-Grown Wheat by Plant Analysis. *Agron. J.*, **72**, 469～472 (1980)

13) Spencer, K., Freney, J.R. and Jones, M.B.: A Preliminary Testing of Plant Analysis Procedures for the Assessment of the Sulfur Status of Oilseed Rape. *Aust. J. Agric. Res.*, **35**, 163～175 (1984)

14) Stewart, B.A. and Porter, L.K.: Nitrogen-Sulfur Relationship in Wheat (*Triticum aestivum* L.), Corn (*Zea mays*), and Beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agron. J.*, **61**, 267～271 (1969)

15) 辻　藤吾：草地におけるイオウの分布および牧草の硫酸根肥料に対する反応（第1報）野草地土壌のイオウ含量に及ぼす二，三の要因，土肥誌，**51**，210～220 (1980)

16) 辻　藤吾：草地におけるイオウの分布および牧草の硫酸根肥料に対する反応（第2報）牧草および野草のイオウ含量，土肥誌，**51**，221～228 (1980)