

砂丘土壤における養分の移動に及ぼす アニオン種の影響

藤山英保* · 藤井昌彦* · 長井武雄*

Influence of Anion Species on the Movement of Some Cations in the Sand Dune Soil

Hideyasu FUJIYAMA,* Masahiko FUJII* and Takeo NAGAI*

Summary

The movement of some cations which applied to the sand dune soil as sulfates (SU), chlorides (CH) or phosphates (PH) was investigated.

The total amount of cations which flowed out of the pot was largest at CH treatment, that of SU treatment ranked next to CH treatment and was smallest at PH treatment. Most of the differences in the total amount between treatments was contributed by the differences in Ca^{2+} flow amount.

Ca^{2+} applied at PH treatment seemed to become undissolved by combining with phosphate ion and the calcium uptake by maize in this treatment was restricted.

The flow amount of NH_4^+ and K^+ decreased in order of SU, CH, PH and in the case of Na^+ and Mg^{2+} , CH, PH, SU.

Cations which had the same valency showed a similar movement in the sand dune soil, however, Na^+ showed a similar behavior to divalent cations.

The movement of Na^+ in the soil was closely related to that of phosphate ion and the sodium uptake by maize seemed to be related to phosphorus uptake.

It was found that nitrification was inhibited at SU treatment, which was attributed partially to a lower ratio of water-soluble NH_4^+ in the soil rather than other treatments.

It appeared that among the concerned cations the order of mobility in the sand dune soil was Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and except PH treatment, K^+ mobility was smallest.

* 鳥取大学農学部作物栄養学研究室

* *Laboratory of Plant Nutrition, Faculty of Agriculture*

緒 言

砂丘土壌で養分それぞれに流亡状況が異なることが示されている。例えば、アンモニア態窒素施肥後3～4週間目に硝酸化成作用が盛んになって流亡が激しくなること、リンやカリウムは流亡しにくく、施肥位置に残存する割合が高いことなどである¹⁾。また、カリウムは開墾後の年数が長い畑地ほど多く蓄積していることがわかって²⁾。

本報告では主要なカチオンを特定のアニオンの塩で砂丘土壌に添加した場合に随伴アニオンの違いがカチオンの流亡に差違をもたらすか否かを調査した。さらにアニオン種の違いが作物の生育や養分吸収に及ぼす影響を調査した。

実 験 方 法

風乾した砂丘土壌25kgをつめた直径20cmで深さ55cmのポットの土壌表面に40meのアンモニウムイオン、10meのカリウムイオン、5meのカルシウムイオンとマグネシウムイオンを硫酸塩、塩化物、あるいは磷酸塩のみで与えた。さらに、作物に磷酸を供給するためにすべての区に10meの磷酸イオン(H₂PO₄⁻)をナトリウム塩として与えた。1つの処理に5ポットを用い、そのうちの3ポットを無植生とし、残りの2ポットにトウモロコシ(イエローデント)を栽培した。

実験に用いた土壌の交換性カチオン含有率を第1表に示した。

第1表 供試土壌の交換性カチオン含有率

K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
me/100g			
0.23	0.13	2.42	0.48

栽培ポットには1981年8月3日に5粒を播種し、8月12日に間引いて均一な苗を2個体残すと同時に無植生ポットも含めて施肥を行った。

灌水には如露を用いて毎朝750ml(約12mm)を与えた。

ポット最下部の側面に設けた排水口からの流出水を採取し、含まれる養分量を測定した。

施肥後33日目と55日目に栽培ポットの作物を収穫し、土壌を採取した。作物は60°Cで乾燥させたのちに養分含有率を測定した。土壌は風乾したのちに1:5の水抽出を行い、養分濃度を測定した。

無植生ポットは80日目まで実験を継続した。

流出水、作物、および土壌抽出液についての分析方法は第2表に示すとおりである。

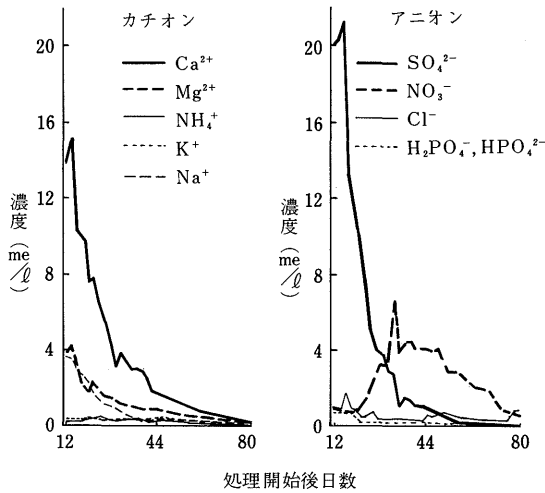
第2表 分析方法

流出水 および 土壌抽出液	NH ₄ ⁺	インドフェノール法
	K ⁺	炎光法
	Na ⁺	〃
	Ca ²⁺	原子吸光法
	Mg ²⁺	〃
	SO ₄ ²⁻	クロム酸バリウム-酸懸濁法
	Cl ⁻	硝酸第二水銀滴定法
	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	塩酸モリブデン法
作物	NO ₂ ⁻	グリース法
	NO ₃ ⁻	イオン電極法
	N	ネスラー法
	P	バナドモリブデン酸法
	K	炎光法
	Na	〃
	Ca	原子吸光法
Mg	〃	

結 果

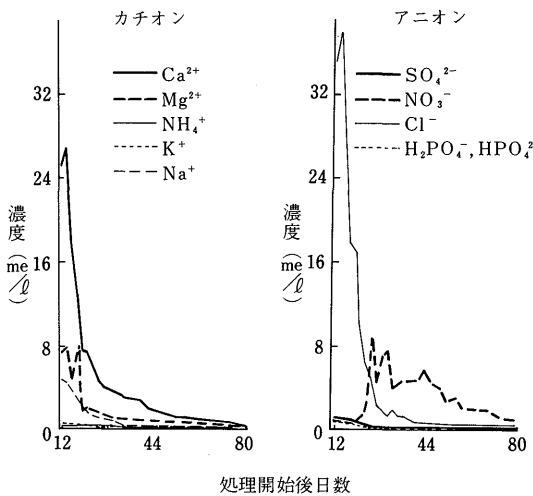
1. 無植生条件下での養分の流出

硫酸塩区の硫酸イオンの濃度は初めに高く、時間の経過とともに急激に低下した(第1図)。カチオンのなかではカルシウムイオンが最も高濃度で、その推移は硫酸イオンと類似していた。マグネシウムイオンとナトリウムイオンの濃度も初期に高く、時間が経過するにつれて低下したが、アンモニウムイオンとカリウムイオンの初期の濃度は他のカチオンよりも低く、しかも濃度の変動は小さかった。硫酸イオン濃度と測定を行ったカチオンの合計濃度との間には有意な相関が認められ($r=0.970^{***}$)、アニオンの合計濃度とカチオンの合計濃度との間の関係はさらに密接であった($r=0.971^{***}$)。



第1図 硫酸塩区の流出水中養分濃度

塩化物区の塩化物イオンの濃度は硫酸塩区の硫酸イオンと同様に初め高く、時間の経過とともに急激に低下した(第2図)。この区のカチオン濃度の推移は硫酸塩区と類似していた。

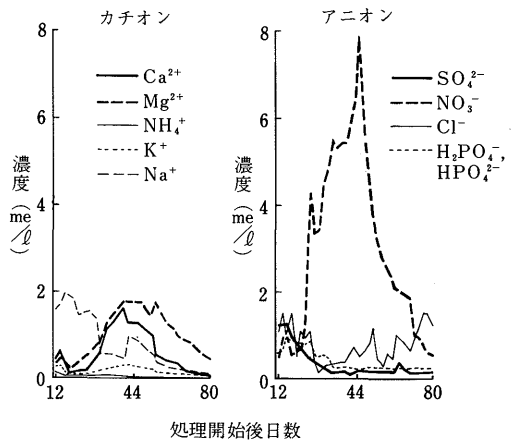


第2図 塩化物区の流出水中養分濃度

塩化物イオン濃度とカチオンの合計濃度との間には有意な相関が認められ ($r=0.981^{***}$)、アニオンの合計濃度とカチオンの合計濃度との間の関係はさらに密接であった ($r=0.983^{***}$)。

磷酸塩区の磷酸イオンの濃度も初期に高く、時間が経過するにつれて低下したが、その最高濃度は硫酸塩区の硫酸イオン、あるいは塩化物区の塩化物イオンよりもはるかに低かった(第3図)。この区のカチオンで最も高濃度になったのはナトリウムイオンである。カルシウムイオンとマグネシウムイオンの濃度のピークは処理開始後40日頃で、硝酸イオン濃度のピークの時期と一致していた。

磷酸イオン濃度とカチオンの合計濃度との間に有意な相関は認められなかったが ($r=-0.018$)、アニオンの合計濃度とカチオンの合計濃度との間には有意な相関が認められた ($r=0.881^{***}$)。



第3図 磷酸塩区の流出水中養分濃度

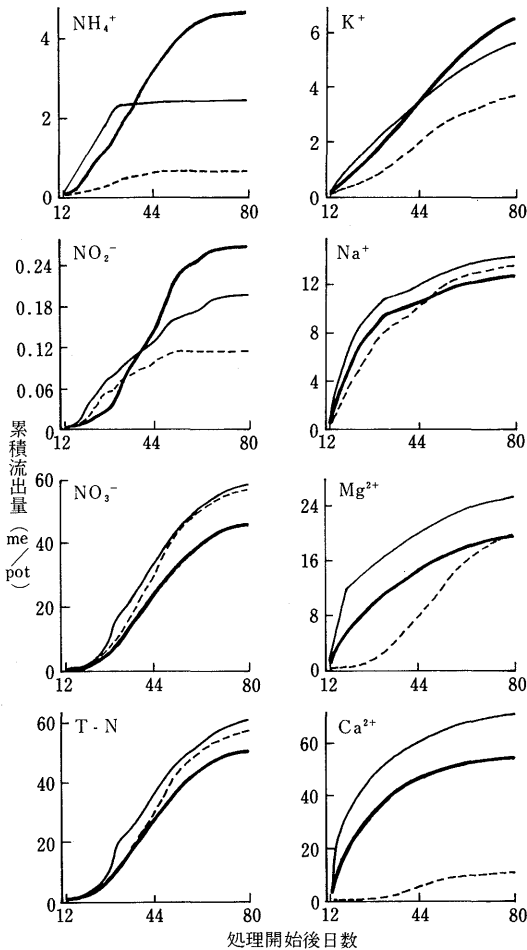
第4図は実験期間中の要素流出量の推移を示したものである。

アンモニウムイオンは初期には塩化物区が最も多かったが、処理開始後40日頃から硫酸塩区が最も多くなった。磷酸塩区は終始最も少なかった。

亜硝酸イオンの流出量の推移はアンモニウムイオンの場合と類似していたが、流出量はアンモニウムイオンの1/10程度であった。

硝酸イオンは前の2つのイオンと異なって硫酸塩区の流出量が最も少なかった。流出量が最も多かったのは塩化物区であるが、磷酸塩区との差は小さかった。

硝酸イオンの流出量はアンモニウムイオンや亜硝酸イオンの流出量よりもはるかに多かったために、



第4図 養分の累積流出量 (——硫酸塩区
——塩化物区 -----燐酸塩区)

全窒素流出量における3処理区間の関係は硝酸イオンの傾向を反映したものとなった。

カリウムイオン流出量における3処理区間の関係はアンモニウムイオンの場合と類似していたが、カリウムイオンの場合は流出量が最後まで直線的に増加した。

ナトリウムイオンの流出量は終始塩化物区が最も多かった。硫酸塩区は初めの頃は燐酸塩区よりも多かったが、途中で逆転した。

マグネシウムイオンの流出量もナトリウムイオンと同じく塩化物区が最も多かった。さらに、硫酸塩区と燐酸塩区との関係もナトリウムイオンの場合と似ていたが、逆転した時期が遅くなった。

カルシウムイオンの流出量は終始、燐酸塩区<硫

酸塩区<塩化物区で、燐酸塩区は他の2つの区よりもかなり少なかった。

実験期間中のカチオンの総流出量は硫酸塩区が98.2me、塩化物区が118.8me、燐酸塩区が49.5meであった。

2. 栽培条件下での養分の流出

流出水を取採できたのはいずれの区も初期のみであり、したがって第3表に示すように養分の流出量は無植生条件下よりも著しく少なかった。アンモニウムイオンを除く4つのカチオンの流出量は塩化物区が最も多く、次に硫酸塩区で、燐酸塩区が最も少なかった。

第3表 栽培条件下での養分流出量

	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	me/pot						
硫酸塩区	0	0	0.4	0.1	1.2	8.0	2.2
塩化物区	0	0	0.4	0.3	2.3	17.0	4.0
燐酸塩区	0	0	0	0	0	0.1	0.1

3. 栽培土壤の水溶性養分濃度

処理開始後33日目における硫酸塩区のアンモニウムイオン濃度は他の2つの区よりもはるかに低く、55日目も硫酸塩区が最も低かった(第4表)。硝酸イオン濃度は両時期とも硫酸塩区が最も低かった。

第4表 栽培土壤の水溶性養分濃度

	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
	ppm							
33日	硫酸塩区	0.05	0.02	1.05	3.32	5.46	11.06	3.16
	塩化物区	1.08	0.02	2.56	2.82	8.40	12.16	3.21
	燐酸塩区	0.91	0.01	2.43	3.50	11.50	2.60	1.88
55日	硫酸塩区	0.15	0.03	1.75	3.18	6.32	11.57	5.38
	塩化物区	0.38	0.02	7.54	2.73	7.68	7.24	6.68
	燐酸塩区	0.78	0.02	2.41	3.27	14.32	2.20	8.81

カリウムイオン濃度は燐酸塩区が最も高く、以下硫酸塩区、塩化物区の順であったが、処理間の差は

小さかった。

ナトリウムイオン濃度は磷酸塩区が最も高く、以下塩化物区、硫酸塩区の順であった。

カルシウムイオン濃度は磷酸塩区が他の2つの区とくらべて著しく低かった。

マグネシウムイオン濃度は両時期を通じて一定の傾向はみられなかったが、他の要素と違って55日目の濃度は33日目よりも高くなっていた。

磷酸イオン濃度は磷酸塩区が最も高かったが、磷酸塩区の施与量が他の2つの区の7倍であることを考えると、その差は大きいとは言えない。

4. 作物の乾物重と養分吸収量

乾物重と養分吸収量における3処理間の関係が33日目と55日目と似ていたため、ここでは55日目についてのみ述べる。

乾物重が最も大きかったのは硫酸塩区で、次いで磷酸塩区が大きく、塩化物区が最も小さかった(第5表)。

吸収量の順位が乾物重と同じであったのは窒素とマグネシウムのみであり、カルシウムも硫酸塩区が最も多かったが、塩化物区が磷酸塩区を上まわった(第5表)。

第5表 作物の乾物重と養分吸収量

	乾物重		養分吸収量				
	g/pot		N	P	K	Na	Ca
硫酸塩区	95.9	693	90.3	775	88.4	142.8	146.9
塩化物区	80.6	509	87.2	787	104.5	124.9	132.2
磷酸塩区	87.1	553	283.3	689	141.1	84.4	137.5

磷酸吸収量は硫酸塩区と塩化物区がほぼ同じで、磷酸塩区はそれらの3倍以上であった。

ナトリウム吸収量も磷酸と同じく磷酸塩区が最も多かった。

カリウム吸収量は乾物重が最も小さかった塩化物区が最も多かったのに対して、磷酸塩区は他の2つの区とくらべて少なかった。

考 察

無植生条件下で80日間に流出したカチオンの総量は塩化物区が最も多く、次に多いのが硫酸塩区で、磷酸塩区が最も少なく、塩化物区の半分以下であった。しかしながら個々のカチオンの流出量は必ずしもこの順とはならず、アンモニウムイオンとカリウムイオンは磷酸塩区<塩化物区<硫酸塩区、ナトリウムイオンとマグネシウムイオンは硫酸塩区<磷酸塩区<塩化物区であった。カルシウムイオンのみが総量の順位と一致した。言い換えると、カルシウムイオン流出量の違いが総流出量の差の大部分を占めたのである。

一般にアンモニウムイオンとカリウムイオンは土壤中で類似した挙動を示すとされており³⁾、本実験によって砂丘土壌でも両イオンの流出パターンが類似していることがわかった。また、2価のカルシウムイオンとマグネシウムイオンも硫酸塩区と塩化物区で類似した流出パターンを示した。ナトリウムイオンは1価であるにもかかわらず、その流出パターンは2価のカチオンに近かった。

硫酸塩区と塩化物区のカチオン流出量の順位はカリウムイオン<ナトリウムイオン<マグネシウムイオン<カルシウムイオンとなり、カリウムイオンを除くと土壌の交換性カチオン含有量(添加量を含む)を反映していた。なかでもカルシウムイオンは全カチオンの中で占める割合が両区とも50%を越えていた。両区のカルシウムイオン流出量は添加量をはるかに上まわっており、大部分が土壌由来であることを示している。一方、両区の交換性カチオン含有量に対する流出量の割合をとると、カリウムイオン<カルシウムイオン<マグネシウムイオン<ナトリウムイオンとなり、カリウムイオンを除くと含有量の順位と逆になる。

磷酸塩区のカチオン流出量の順位はカリウムイオン<カルシウムイオン<ナトリウムイオン<マグネシウムイオンで、カルシウムイオンの位置が他の2つの区と変わっている。一方、含有量に対する流出量の割合はカルシウムイオン<カリウムイオン<マグネシウムイオン<ナトリウムイオンとなり、カルシウムイオンが最も低い。これはカルシウムイオン

が磷酸イオンと結合して難溶性になったのが原因であろう。この区の作物のカルシウム吸収量が他の2つの区よりも少なかったのもこのためであろう。

カチオンの含有量に対する流出量の割合はカリウムイオンを除くとすべての区に共通して、カルシウムイオン<マグネシウムイオン<ナトリウムイオンとなり、砂丘土壌での流亡しやすさの度合を表わしていると考えられる。カリウムイオンが流亡しにくいのは以前に認められたとおりである¹⁾。

無植生条件下で硝酸イオンの流出量は硫酸塩区が最も少なかったが、アンモニウムイオンは逆に硫酸塩区が最も多かった。このことから硫酸塩区では硝酸化成が他の2つの区よりも抑制されたことがわかる。これは栽培土壌で硫酸塩区の硝酸イオン濃度が他の2つの区とくらべて低いことにも現われている。硫酸塩区の水溶性アンモニウムイオン濃度が他の2つの区よりも低く、特に処理開始後33日には他の2つの区の1/20程度であったことからアンモニウムイオンが硝酸化成を受けにくい状態にあったと推察される。

磷酸塩区の作物の磷酸吸収量が他の2つの区よりも多いのは当然と思われるが、ナトリウム吸収量も最も多かったこと、さらに、結果は示さなかったが無植生条件下で流出水中のナトリウムイオン濃度と磷酸イオン濃度との間にはどの区でも有意な正の相関が認められたことは、砂丘土壌中で両イオンの挙動が密接に関係していることを示している。

要 約

砂丘土壌に主要なカチオンを硫酸塩、塩化物あるいは磷酸塩のみで添加し、カチオンの挙動に及ぼす影響を調査した。

ポットから流出したカチオンの合計量は塩化物区が最も多く、次が硫酸塩区で、磷酸塩区が最も少な

かった。これにはカルシウムイオンの流出量の違いが大きく影響した。磷酸塩区でカルシウムイオンの流出が抑制されたのは磷酸イオンと結合して難溶性となったためと考えられ、この区のトウモロコシのカルシウム吸収も抑制された。

アンモニウムイオンとカリウムイオンの流出量は磷酸塩区<塩化物区<硫酸塩区の順となり、ナトリウムイオンとマグネシウムイオンの流出量は硫酸塩区<磷酸塩区<塩化物区となった。

原子価が同じであるカチオン（アンモニウムイオンとカリウムイオン、カルシウムイオンとマグネシウムイオン）の土壌中の移動状況は類似していたが、ナトリウムイオンの挙動は2価のカチオンと類似していた。また、ナトリウムイオンの移動は磷酸イオンと密接に関係しており、作物のナトリウム吸収と磷酸吸収との間にも関連が認められた。

硫酸塩区で硝酸化成が抑制される現象がみられたが、その一因としてアンモニウムイオンが水溶性で存在する割合が低く、硝酸化成を受けにくい状態にあることが考えられた。

砂丘土壌ではアニオン種にかかわらず、カチオンの移動しやすさはカルシウムイオン<マグネシウムイオン<ナトリウムイオンであることが示された。また、カリウムイオンは磷酸塩区を除くと最も移動しにくかった。

引 用 文 献

1. 藤山英保・三谷達夫・長井武雄, 1983, 砂丘土壌での三要素の移動と作物による吸収に及ぼす灌水量の影響, 土肥誌, 54(6), 512~518.
2. 長井武雄・藤山英保・柴原寿男, 1981, 砂丘土壌の養分供給力について, 砂丘研究, 28(1), 1~6.
3. 川口桂三郎ほか, 1983, 土壌学, 朝倉書店.