

砂丘土壌での養水分環境が作物の生育に及ぼす影響

藤山英保*・蔵増一夫*・長井武雄*

Effect of Moisture and Nutrient Status in the Sand Dune Soil on Growth and Nutrient Uptake of Tomato

Hideyasu FUJIYAMA*, Kazuo KURAMASU* and Takeo NAGAI*

Summary

The effect of three irrigation levels (4, 8, 12mm/day) on growth and nutrient uptake of tomatoes which were cultivated on the sand dune soil was investigated. A discussion on the results was made from changes of moisture and nutrient status which were created by the treatments.

A growth reduction under insufficient irrigation attributed to not only water stress, but to osmotic stress by a rise in electric conductivity of the soil solution accompanied with a reduction of soil moisture. Besides, a high concentration of magnesium and chloride ion in the soil solution seemed to be harmful for plant growth.

Under too much irrigation, nitrogen loss from the soil with the drainage water seemed to be the main reason of growth reduction, secondly low concentration of all nutrients in the soil solution. But, that magnesium and calcium uptake was fairly good seemed to be due to sufficient transpiration in this irrigation condition.

Higher irrigation intensity than that in previous papers resulted in a decrease in downward movement of potassium and phosphorus in the soil.

緒 言

一般に、作物の生長に必要な無機養分は土壌溶液を介して供給される。したがって、土壌水分状態が

単に水分供給のみならず、養分供給の重要なファクターであることは言うまでもない。

砂丘土壌は水分保持力が小さいために、栽培にはかんがいが行われているが、供給された水分が土壌

*鳥取大学農学部作物栄養学研究室

*Laboratory of Crop Nutrition, Faculty of Agriculture, Tottori University

溶液の濃度及び組成に如何なる影響を及ぼすか、また作物の養分吸収及び乾物生産に如何なる影響を及ぼすかについての詳細な研究はない。

そこで本報では、灌水量の違いによって形成される養水分環境の差違を調査し、作物の生育との関係を見た。

実験方法

直径20cm、深さ55cmのポットに風乾した砂丘土壌を50cmまで充てんした。ポット中央部の深さ15cmの地点に先端を不織布で被ったビニールチューブを埋設し、吸引法で経時的に土壌溶液を採取した。また、同じ場所にテンシオメータの受感部を埋設した。このようにした18個のポットのそれぞれに1982年5月24日にトマト（大福）を8粒播種した。このときに発芽と初期生育のために800mlの水を与えた。

発芽後10日目の6月7日に第1表に示す養分を土壌表層に均一に混合した。

第1表 要素施肥量

要素	施肥量(meq/pot)	使用塩
窒素	20	(NH ₄) ₂ SO ₄
りん酸	20	KH ₂ PO ₄
カリウム	20	
カルシウム	10	CaCl ₂ ·2H ₂ O
マグネシウム	10	MgSO ₄ ·7H ₂ O

6月14日に2本立てとし、灌水を開始した。灌水量は1日あたり4、8、12mmの3段階とし（以後それぞれ4区、8区、12区と表記する）、隔日午前9時に如露で給水した。灌水前に流出水を採取するとともにポットの重量を測定し、2日間の蒸発散量を算出した。土壌水分ポテンシャルの測定は午前10時、午後3時、及び灌水直前に行った。

灌水処理開始後30日目、44日目、52日目に各処理の2ポットの作物を収穫し、60℃で乾燥した。土壌は表面から10cm毎に採取して風乾した。

土壌溶液、流出水、土壌の1：5水抽出液及び作物についての分析方法をまとめて第2表に載せた。

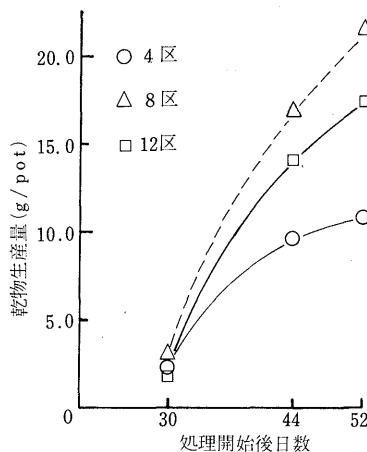
第2表 分析方法

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

実験結果

1. 作物の乾物生産量と要素吸収量

乾物生産量ほどの収穫時も8区が最も大きく、30日目を除くと、以下は12区、4区の順となった（第1図）。したがって乾物生産に関しては4区の作物が最も強いストレスを受けたことになる。



第1図 乾物生産量

そこで、最も乾物生産量の大きかった8区の作物の要素吸収量を100としたときの4区と12区の値を第3表に示した。

12区の乾物生産量が4区を上まわっているにもかかわらず、窒素とカリウムの吸収量は4区の方が上まわった。52日目において、8区に対する4区の比

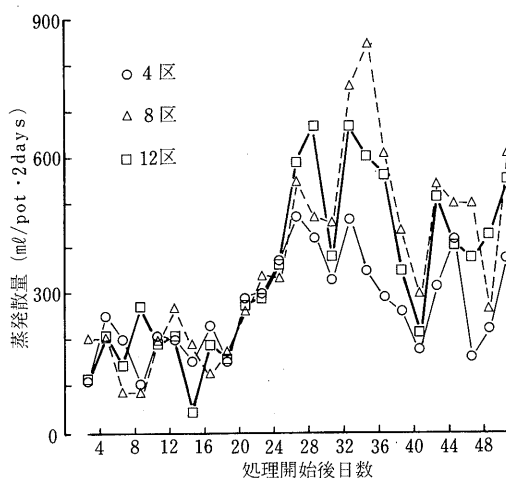
第3表 8区の要素吸収量を100としたときの4区と12区の値

		30日目	44日目	52日目
窒素	4区	66.0	93.1	96.6
	12区	64.5	79.7	80.4
りん酸	4区	54.6	61.7	63.1
	12区	60.3	72.8	65.8
カリウム	4区	69.2	81.0	77.1
	12区	55.3	70.1	70.2
カルシウム	4区	57.3	65.7	56.6
	12区	61.4	82.6	93.8
マグネシウム	4区	62.8	75.2	75.3
	12区	61.3	81.6	100.0

が最も高かったのは窒素で、以下はカリウム、マグネシウム、りん酸、カルシウムの順となった。一方、8区に対する12区の比は高い方から、マグネシウム、カルシウム、窒素、カリウム、りん酸であった。

2. 蒸発散量

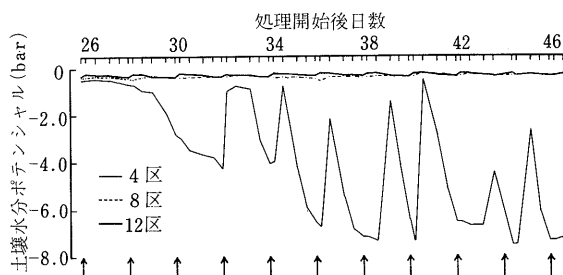
処理開始後20日目頃まではどの処理区でも200ml/pot・2daysを中心として変動したが、その後急激に上昇した(第2図)。処理区間に大きな差が認められるようになったのは26日目からで、それから実験終了時までの2日平均蒸発散量は4区が330ml、8区が523ml、12区が482mlであった。4区と他の2つの区



第2図 蒸発散量の推移

との間には有意差が認められた。8区の蒸発散量が12区よりも多いのは作物の生長量の違いを反映したものである。

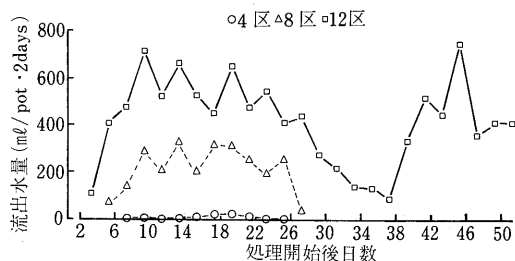
3. 土壌水分ポテンシャル



第3図 土壌水分ポテンシャルの推移(矢印は灌水時)

処理開始後28日目から4区の水分ポテンシャルが次第に低下し、32日目以後は灌水後に値が上昇し、次の灌水時まで低下しつづけるといった繰返しが実験終了時まで続いた(第3図)。特に36日目以後は灌水直前のポテンシャル値が、トマトで蒸散、光合成がゼロになるといわれている約-8 bar⁶⁾に近く、強い水分ストレスを受けたことがわかる。これに対して8区と12区では、4区と同様にポテンシャル値に変動がみられたものの、常に-1 bar以上の値で推移しており、好適な水分状態にあったことを示している。

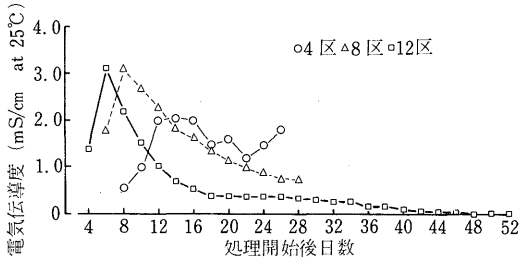
4. 流出水の量, 電気伝導度(EC), 要素濃度



第4図 流出水量の推移

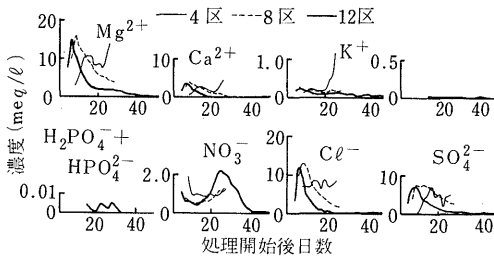
第4図は流出水量の推移を示したものである。4区では処理開始後28日目以後、8区では30日目以後、流出水は全く認められなくなった。これは蒸発散量が急激に増加したためであり、12区においても流出

水量は次第に減少した。12区ではその後再び増加したが、これも蒸発散量を反映したものである。



第5図 流出水の電気伝導度の推移

ECのピークは灌水量が多い区ほど早く現われた(第5図)。最高値は12区が3.1mS/cm(6日目)、8区が、3.1mS/cm(8日目)、4区が2.0mS/cm(14日目)であった。ピークが現われたのちにどの区においても値が低下したが、その度合は12区が最も大きかった。4区では22日目以後ECは再び上昇した。



第6図 流出水中の要素濃度の推移

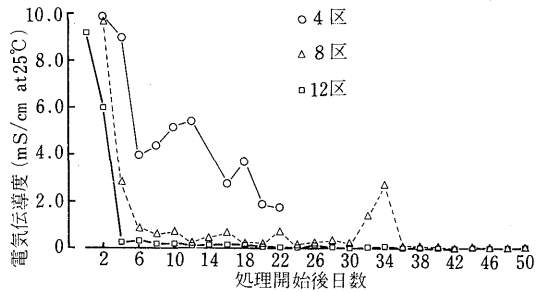
流出水中の各要素の濃度の推移を第6図に示した。この図から、カチオンのうちでECの推移に最も寄与していたのがマグネシウムで、次にカルシウムであることがわかる。カリウム、カルシウム、マグネシウムの施肥量比(当量比)が1:0.5:0.5であるのに対して、流出水のECが最も高い時の比は、4区が1:11:47、8区が1:13:70、12区が1:14:58であった。

アニオンで最も高濃度になったのは塩化物イオンで、硫酸イオンがそれに次いだ。これらのイオンの濃度の推移はカルシウム、マグネシウムと類似していた。硝酸イオン濃度は初期には4区が最も高かったが、20日目頃から12区の濃度が急激に高まった。

流出水量が多いにもかかわらず、このように濃度が高くなったのは、硝酸化成分がより早く活発になったことを示している。りん酸イオンが検出できたのは12区のみであり、この区においても濃度は他の要素とくらべて著しく低かった。

5. 土壌溶液の電気伝導度(EC)と要素濃度

土壌溶液のECの推移を第7図に示した。どの区においても初期には10mS/cmに近い値を示した。その後は灌水量が多い区ほどより急速に低下し、8区と12区では実験期間の大部分を1mS/cm以下の値で推移した。これに対して、4区では6日目に約4mS/cmとなったのちに12日目まで上昇して5mS/cmを越えた。その後再び低下しはじめたが、22日目においても約2mS/cmであり、この区の作物が生育初期に高塩濃度障害を受けたと推察できる。なお、4区では24日目以後は土壌水分が少なく、試料を採取できなかった。



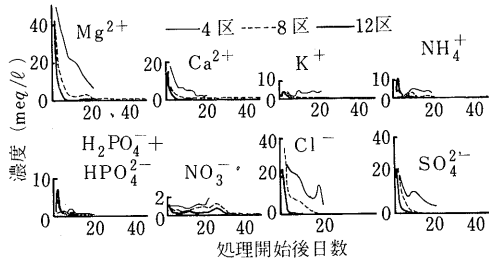
第7図 土壌溶液の電気伝導度の推移

土壌溶液中のマグネシウムとカルシウムの濃度はすべての区で時間の経過とともに低下するパターンを示した(第8図)。カリウムとアンモニウムの場合も8区と12区においてはおよそこれらと類似したパターンを示したが、4区において濃度はむしろ上昇した。したがって、4区ではECに占めるカリウムとアンモニウムの割合が時間の経過とともに上昇したことになる。

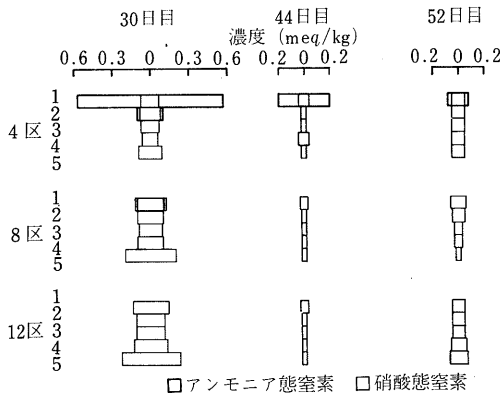
土壌溶液中に存在するアニオンの主体は塩化物イオンと硫酸イオンであった。硝酸イオン濃度は灌水量が少ない区ほど高く推移した。しかし、りん酸イオンの場合は処理間に大きな差は認められなかった。

6. 栽培跡土壌中の要素濃度

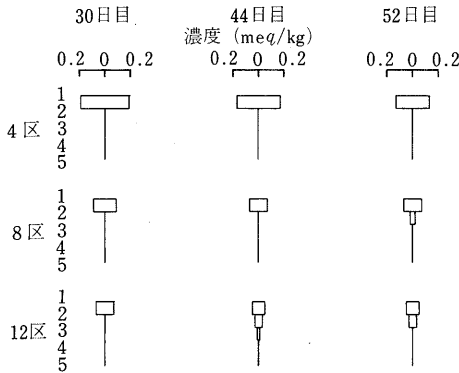
各収穫跡土壌の水抽出液から得た土層別要素濃度



第8図 土壤溶液中の要素濃度の推移



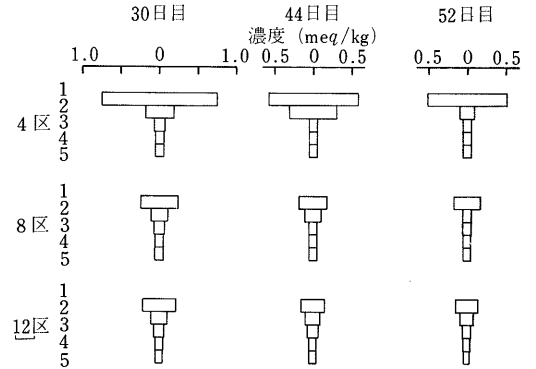
第9図 窒素の土層別分布 (1: 0~10cm, 2: 10~20cm, 3: 20~30cm, 4: 30~40cm, 5: 40~50cm)



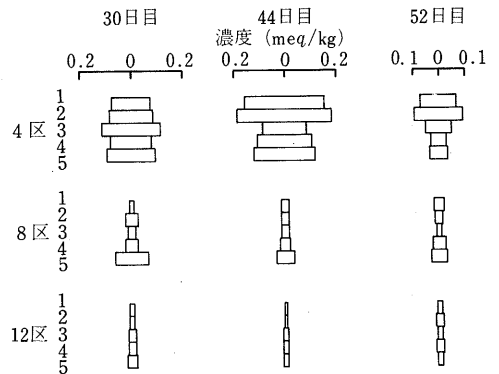
第10図 リン酸の土層別分布 (1: 0~10cm, 2: 10~20cm, 3: 20~30cm, 4: 30~40cm, 5: 40~50cm)

を第9~15図に示した。三要素についてはおおよそ前報⁴⁾と類似した分布が認められたが、そのなかでリン酸とカリウムは前報とくらべてより上層に集積している傾向が認められた(第9~11図)。カルシウムは採取時期によらず、灌水量が多い区ほど低濃

度であった(第12図)。4区では後になるほど上層の方が高濃度になる傾向があったが、8区と12区ではどの時期にも下層ほど高濃度になる傾向があった。12区では層間の濃度差が次第に小さくなった。マグネシウム濃度の推移はカルシウムと類似していた(第13図)。



第11図 カリウムの土層別分布 (1: 0~10cm, 2: 10~20cm, 3: 20~30cm, 4: 30~40cm, 5: 40~50cm)

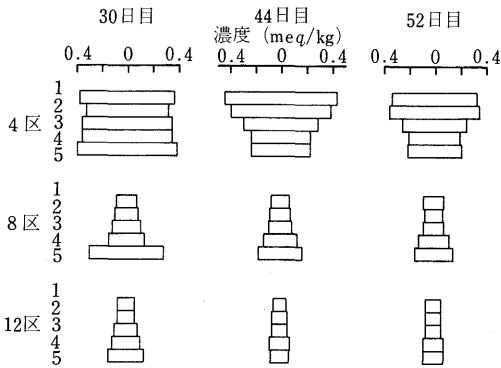


第12図 カルシウムの土層別分布 (1: 0~10cm, 2: 10~20cm, 3: 20~30cm, 4: 30~40cm, 5: 40~50cm)

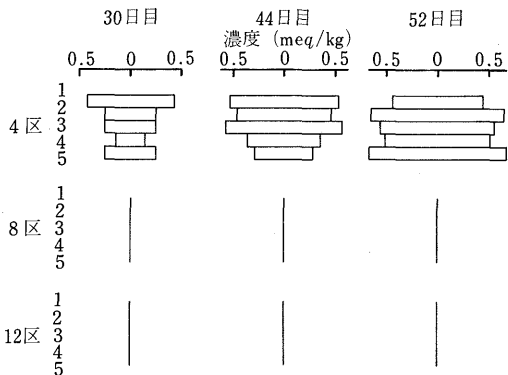
塩化物イオンが検出されたのは4区のみである(第14図)。後になるほど濃度が上昇している理由はいくつかあるが、分析方法自体の精度にも若干の問題があるようである。8区では30日目までに添加量の86%が流出しており、12区では95%が流出していた。したがって、これらの区では土壤中にほとんど残っていないのである。

4区において30日目までに流出した硫酸イオンの

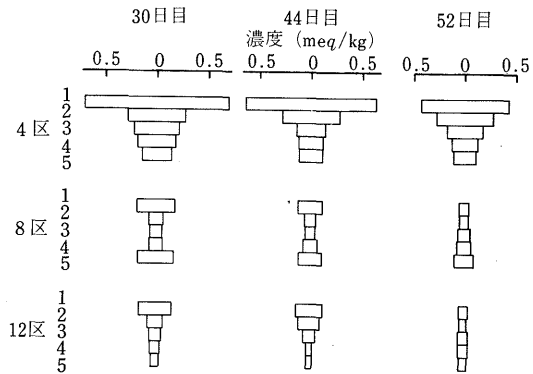
量は添加量の9%にすぎず、その後も土壌水分が少ないために下方への移動がほとんどなかった(第15図)。8区では30日目までに添加量の76%が流出した。第5層に集積しているのは、ポットの構造上、排水が不完全なために、移動してきた硫酸イオンが停滞し、その後流出水が全くなくなったためにそのまま残存したものである。12区では30日目までに添加量の93%が流出したために残存量はわずかであり、その後も次第に減少した。



第13図 マグネシウムの土層別分布 (1 : 0~10cm, 2 : 10~20cm, 3 : 20~30cm, 4 : 30~40cm, 5 : 40~50cm)



第14図 塩化物イオンの土層別分布 (1 : 0~10cm, 2 : 10~20cm, 3 : 20~30cm, 4 : 30~40cm, 5 : 40~50cm)



第15図 硫酸イオンの土層別分布 (1 : 0~10cm, 2 : 10~20cm, 3 : 20~30cm, 4 : 30~40cm, 5 : 40~50cm)

考 察

前報とは供試作物及び灌水間隔が異なったにもかかわらず、作物の生長にとって1日あたり4mmの灌水が少なすぎ、12mmの灌水が多すぎることは共通していた。

灌水過少の場合には、当然、作物は水分ストレスを受けることになる。しかし、本実験の4区において、最初の収穫時(処理開始後30日目)までの土壌水分ポテンシャル値の推移から、この間に作物が水分ストレスを受けたとは考えにくい。この間の生育抑制はむしろ、ECの推移から判断して、土壌水分が少ないことに伴う高塩濃度障害によるものと考えられる。それも、生育初期の蒸発散量が他の2つの区とくらべて遜色がないことから、浸透ストレスではなく、土壌溶液中の濃度が高かった特定のイオンすなわちカチオンではマグネシウム、アニオンでは塩化物イオンによる害作用と考えることができる。なお、マグネシウムはカチオンのなかでも生育障害を引き起こしやすいとされている⁷⁾。第2回の収穫時(44日目)になると、土壌水分ポテンシャルの推移からみて、既に水分ストレスが進行していたことがわかる。それに加えて浸透ストレスを受けていた可能性もある。このような条件下でも窒素の吸収は8区と大差がなかった。これは前報と同じく、窒素の流亡が少なかったことによるものである。4区のカルシウムとマグネシウムの吸収量の8区に対する比が窒素やカリウムの場合よりも低いのは、吸収が

受動的であり、特にカルシウムの吸収が主にマスローによるために¹⁾、蒸散の制限が吸収抑制につながったものであろう。

一方、12区においては土壌水分が実験期間を通して好適な状態にあったことから、作物が受けたストレスは水分以外のものである。主原因と考えられるのは窒素の流亡（施肥量の41%）である。それに加えて、第8図にみられるように土壌溶液中の要素濃度が低く推移していることである。これは、塩化物イオンと硫酸イオンの流亡が激しく、これらと等量のカチオンが随伴して流亡することによるものである³⁾。しかし、伊藤⁵⁾も指摘しているように、栽培土壌の土壌溶液組成は本来、空間的、時間的に不均一なものであり、特に砂丘土壌のように養水分保持力が小さい場合には不均一さの度合は大きくなると考えられる。したがって、本実験のように、1地点の土壌溶液濃度の推移から養分吸収全体を推論するには多少の無理がある。例えば、12区のカルシウムとマグネシウムの吸収量は8区に劣っていない。

前報とくらべてりん酸とカリウムがより上層の土壌に残存する傾向が認められた、1日あたりの灌水量は前報と同じであるが、今回は2日に一度の灌水である。つまり灌水強度は今回の方が高い。筑紫²⁾は、同じ砂丘土壌で給水強度が高いほど塩分のリーチングが起りやすいことを認めているが、無植生でしかも給水強度が著しく低いなど、今回の実験と条件が大きく異なっている。カリウムとりん酸は他のイオンとは違った行動をとるので、個々のイオンの動きについてはさらに検討を加える必要がある。

要 約

砂丘土壌において、3段目の灌水処理（4，8，12mm/day）を設けてトマトを栽培した。

各灌水処理下で形成された養水分環境を調査し、それらが作物の養水分吸収及び乾物生産に及ぼす影響をみた。

得られた結果を要約すると次の通りである。

1) 少灌水条件下で作物がダメージを受ける原因としては、水分ストレスに加えて、土壌水分の減少に伴う土壌溶液の電気伝導度の上昇による浸透ストレス、及び特定イオン（マグネシウムと塩化物イオ

ン）の濃度の上昇による害作用が考えられた。

2) 多灌水条件下では窒素の流亡が激しいこと、個々の要素の土壌溶液中濃度が低く推移することなどによって、作物の養分吸収と乾物生産が抑圧されたが、蒸散の抑制がないために、少灌水条件下とは逆にカルシウムとマグネシウムの吸収が良好であった。

3) 灌水強度の上昇はカリウムとりん酸の土壌中での移動を減少させるようであった。

引用文献

1. AL-ABBAS, H. and S.A. BARBER. 1963. Effect of root growth and mass-flow on the availability of soil calcium and magnesium to soybean in a greenhouse experiment. *Soil Sci.* 95: 103-107.
2. 筑紫二郎. 1983. リーチング. 乾燥地域における塩分の挙動と水管理 (昭和56, 57年度試験研究(2)研究成果報告書): 36~47.
3. 藤山英保・藤井昌彦・長井武雄. 1984. 砂丘土壌における養分の移動に及ぼすアニオン種の影響 鳥大砂丘研報. 23: 73~78.
4. 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の吸収に及ぼす灌水量の影響. *土肥誌.* 54: 512~518.
5. 伊藤純雄. 1982. 土壌溶液組成の動態測定法と野菜の養分管理. *野菜試験場報告A.* 10: 169~184.
6. 鴨田福也・坂田公男・伴義之. 1974. 干ばつ時における限界かん水量に関する研究 I. 畑作物の限界必要水量に関する研究. *防災科学技術総合研究報告.* 34: 47~60.
7. 高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄. 1976. 植物栄養土壌肥料大事典: P. 740.