

乾燥条件下における塩水灌漑に関する基礎的研究 (第1報) 砂丘砂中の水分, Na^+ , Cl^- の動態

山本定博*・本名俊正*・渡辺博司*・山本太平**

Fundamental Studies on Salt Water Irrigation under Arid Conditions (I) The Movements of Water, Na^+ and Cl^- in Dune Sand Column

Sadahiro YAMAMOTO*, Toshimasa HONNA*,
Hiroshi WATANABE* and Tahei YAMAMOTO**

Summary

The movements of water, Na^+ and Cl^- in a dune sand column with plants under arid conditions (temperature 30°C, humidity 35%) was investigated by adopting drip irrigation and ordinary irrigation with 2000 ppm of NaCl. The experimental term was 7 days and the top of the column was covered to prevent evaporation from the sand. The following differences resulted from the two irrigation methods.

1. Drip irrigation kept the upper part of the column in a moist condition during the experiment, but the lower part gradually became dry. With ordinary irrigation, though the water content was kept constant throughout the whole of the column, that at the upper part was lower compared with drip irrigation.
2. The distribution of water soluble Na^+ and Cl^- corresponded to water distribution. As compared with ordinary irrigation, drip irrigation accumulated a greater amount of salt at the upper part of the column. This part, however, contained much more water, so that the salt concentration in the soil solution was kept lower (about 50%) during the experiment.
3. When the total evapotranspiration was less than the amount of irrigated water, the above differences between the two irrigation methods were not clearly observable.

*鳥取大学農学部農林総合科学科資源利用化学講座

**砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

*Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University

**Division of Arid Land Agriculture Information Analysis, Sand Dune Research Institute

緒 言

乾燥地域での農業において、灌漑は作物生産及びその安定収穫を可能にする有効で根本的な手段である。また、乾燥地に広く分布する塩類土壌の利用・改良に重要な手段でもある。しかし、このような地域では水資源そのものが乏しく、また貴重であるとともに、多くの場合かなりの塩分を含んでおり、植物の生育や土壌管理の面で様々な問題を引き起こすことが知られている^{3),4)}。つまり、灌漑水の使用により植物は一時的に生育しても、適正な管理が行われなければかえって土壌の塩類集積を助長し、作物の生育を全く不可能にしてしまう。

今日、灌漑に伴う土壌の塩類化を防止するために種々の手段が講じられているが、その1つに地下水の毛管上昇の原動力である地表面蒸発散を抑制するマルチ栽培が、野菜、果樹を中心に有効な手段として施行されつつある²⁾。

そこで、本実験では乾燥地における灌漑農業の基礎実験の1つとして、作物を植えた単層土壌(砂丘砂)カラムを地表面蒸発散を抑制した状態で高温・乾燥条件のグロースキャビネット内におき、塩水を用いて点滴灌漑と集中灌漑を行ない、砂中の水分と塩類の一次元的動向(深さ方向)について検討した。

実 験 方 法

乾燥地において、塩分を含む地下水を灌漑水として利用するマルチ栽培を想定して、実験条件を次のように設定した。

1) 土 壌

乾燥地域で農業利用されている土壌は一般的に粘土が多く重粘なものが多いが、本実験では透水性に優れた砂丘砂を供試した。砂丘砂は鳥取大学砂丘利用研究施設構内より採取し、2mmのふるいを通して植物根等を除去したものをを用いた。基本的性質

は表-1に示した。

2) 土 壌 カ ラ ム

直径12.5cm、高さ70cmの塩化ビニル管に砂丘砂を均一に充填し、作物を生育させた。作物からの蒸発散量を加減するために、作物の種類を変えて移植と直播の二通りの栽培方法をとった。すなわち、移植栽培にはチンゲンサイを用い、実験開始約2か月前に播種し生育させたものを1株2週間前に土壌カラムへ移植した(以下、移植区)。また、直播栽培には広い葉面積を確保できるタアサイを用い、約2か月前にカラムに播種し1株を生育させた(以下、直播区)。この作物・土壌カラムは、実験開始前に底部より吸引処理を行ない、初期水分プロファイルが一定(pF=2)となるように調整した。さらに、土壌表面からの蒸発散を抑えるため、透明なビニールシートで上部を覆い、鳥取大学農学部砂丘利用研究施設のグロースキャビネット(以下アリドロン)内に設置した。

3) アリドロン

乾燥地の気象条件を想定しアリドロン内の環境を次のように設定した。気温=30°C、地温=30°C、湿度=35%、照度=3万ルクス(6時~18時;12時間照射)。

4) 灌 漑 水

乾燥地の地下水を想定し、また解析を容易にするために、NaCl溶液(2,000ppm, EC=4.02mS/cm)を用いた。

5) 灌 漑 方 法

点滴法、慣行法(以下集中法)により上記の塩水を土壌カラムに与えた。1日当たり125ml(10mm相当量)の塩水を、点滴法では午前9時から移植区で6時間、直播区で8時間かけて与えた。集中法では午前9時から同量を2~3分間で注射器を用いて与えた。この条件で7日間灌漑を行った。上記の実験条件を表-2にまとめて示した。

表-1 供試土壌(砂丘砂)の性質

風乾土水分	粒径組成(国際法)%				土性	CEC (me/乾土100g)
	粗 砂	細 砂	シルト	粘 土		
0.34	83.5	14.4	1.1	1.0	S	2.50

表—2 実験方法

項 目		移 植 区		直 播 区	
カラム	内高植土前 処	径さ 物壤理	チンゲンサイ pF2となるように	12.5cm 70 cm 鳥取砂丘砂 下方より吸引処理をした	タアサイ
グロース キャビネット (アリドトロン)	気地湿照	温 温 度 度	30°C 30°C 35% 30,000ルクス (6:00~18:00)		
灌 水	使 用 水 量 灌 水 方 式 (点 滴 中 集 法)	2,000ppm NaCl溶液 (EC: 4.02mS/cm) 125ml/day		6 時間	8 時間 (ポンプ使用) 2~3 分間 (注射器使用)

表—3 土壌試料の採取

実 験	実 験 日 程						
	1	2	3	4	5	6	7
移 植 区	灌 水 前	①					
	灌 水 後	②	③	④	⑤	⑥	⑦
直 播 区	灌 水 前			③	⑤		
	灌 水 後	①	②	④			⑥

○印の順にカラムを取り出し試料を採取した。

6) 土壌試料の採取

塩分及び水分測定のための土壌試料は、点滴灌漑実験を基準に採取した。すなわち、点滴灌漑終了直後（灌水開始6あるいは8時間後、以後灌水後）と次の灌漑前（灌水前）に、点滴区、集中区のカラムをアリドトロン内から取り出し、深さ15cmまでは1cmの厚さごとに、15~41cmは2cmの厚さごとに採取し、1本のカラムについて28点の土壌試料を採取した。実験全体の日程と試料採取の順番については表—3に示した。

7) 分 析 項 目

作物、土壌カラム、土壌試料についての分析項目とその方法を次に示した。

a. 蒸発散量：各実験カラムについて毎日灌水前に重量を測定し、前日の重量との差を蒸発散量とした。

b. 葉面積：葉面積計を用いて測定した。

c. 土壌水分含量：カラムから採取した土壌試料

約3gを105°Cで2時間乾燥して測定した。

d. 根群重量：カラムから採取した土壌試料を風乾させた後、1mmのフルイを通し、残った根の重量を根群重量とした。

e. 土壌溶液：未風乾土に蒸留水を（土：水=1：2.5）の比率で加え1時間振とうした。一夜放置後、遠心分離（3,000rpm, 15min）し、ろ過して溶液を得た。この土壌溶液について次の項目を測定した。

e-1. 電気伝導度 (EC)：ECメーター

e-2. Na：原子吸光法

e-3. Cl：硝酸第二水銀法¹⁾

結果及び考察

1) 根 の 分 布

移植区は根圏が浅く、深さ5cmまでに約90%が存在していた。一方、直播区は根圏が深く、深さ5cmまでで約60%、深さ10cmまででは約80%が存在して

いた。さらに、直播区の場合、根の一部はカラム底部近くまで伸長していた。このような根の分布の違いは、後に述べるように、水分吸収、塩類の分布にいくつかの違いを生じさせる原因となった。

2) 蒸 発 散 量

まず、カラム1本当たりの総蒸発散量をみると、移植区と直播区とで非常に大きな差が生じた。

移植区は、実験7日間に集中法で543ml(44mm相当)、点滴法で524ml(43mm相当)となり、灌漑方式による相違は認められなかった。図-1に総灌水量に対する総蒸発散量の割合を示したが、総灌水量のそれぞれ62%、60%の水分が蒸発散し、蒸発散量

は灌水量を大きく下回った。

一方、直播区では、7日間に集中法で1807ml(147mm相当)、点滴法で1242ml(101mm相当)も水分が蒸発散した。これは、総灌水量のそれぞれ207%、142%に相当し、灌水量を大きく上回る水分が蒸発散により失われた。特に、集中法では点滴法の約1.5倍量の蒸発散があり、灌漑方式による差異が大きく表われた。

このような移植区と直播区での総蒸発散量の著しい相違は、移植区のチンゲンサイの平均葉面積が76.9cm²であるのに対し直播区のタアサイは628.1cm²と8倍以上大きかったこと、そして上述したとおり、直播区では根群がカラム全域に拡がりそれだけ多量の水分が吸収できたことが原因として考えられる。

次に、単位葉面積当たりの総蒸発散量を図-2に示した。両灌漑方式とも移植区の方が高い値を示した。灌漑方式による蒸発散の相違が明確にあらわれ、移植区、直播区とも集中法のほうが高い蒸発散量を示した。特に直播区では、集中法は点滴法の2倍におよんだ。

両灌漑方式とも、実験の経過にともない日蒸発散量が徐々に低下してゆき、直播区においては、点滴法で実験7日目に初日の60%、集中法で70%の蒸発散量になった。蒸発散の少ない移植区では両方式とも80%に低下した。本実験は栽培条件としてはかなり苛酷であり、高温・乾燥そしてなにより高塩濃度という厳しい条件下で作物体が強いストレスを受けたためと思われる。

3) 土壌水分の動向

土壌カラム中での水分の動きを移植区、直播区について図-3、図-4に示した。なお、点滴法では灌漑終了直後、集中法では灌水8時間後(移植区では6時間後)の水分状態を示している。

蒸発散量が灌水量の約半分である移植区では、点滴法、集中法とも表層から下層までほぼ一致し6%前後で一定であり、実験期間中もほとんど変化せず、両者の明確な相違は認められなかった。これは、蒸発散量が少なかったため、過剰な灌漑水が重力水として下方へ排水され、その結果土壌水分が圃場容量に近い状態で維持されていたことを示している。

一方、蒸発散量が灌水量を大きく上回っていた直

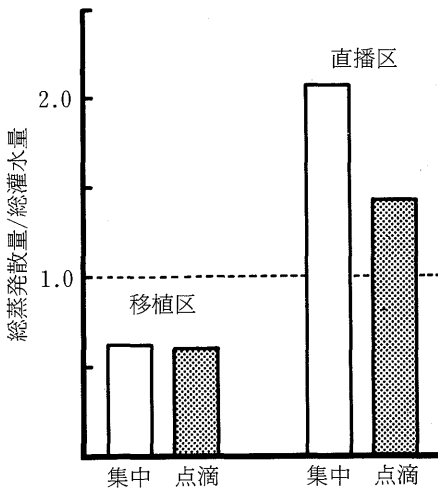


図-1 総灌水量に対する総蒸発散量の割合

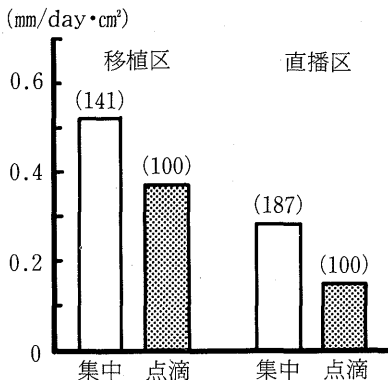


図-2 単位葉面積当り総蒸発散量

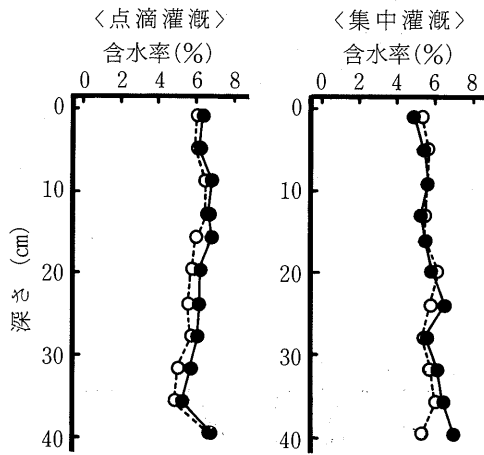


図-3 土壤中の水分の動向（移植区）
○……○2日目、●——●7日目

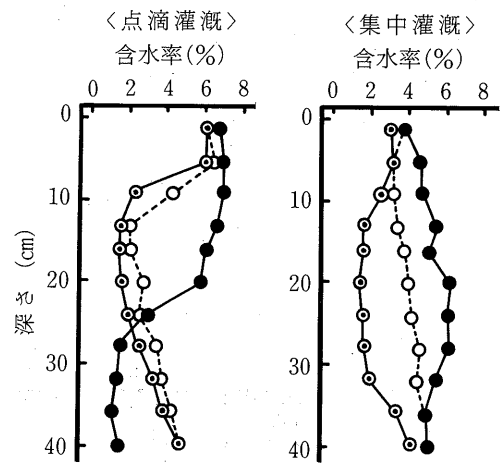


図-4 土壤中の水分の動向（直播区）
○……○1日目、◎……◎3日目、●——●7日目

播区では灌漑方式の違いが明瞭に表われた。集中法では、水分がカラム全体にほぼ一定量保持されていることが特徴的であった。これは、短時間に給水が行なわれ、しかも下方への水分移動速度が早いために、水分がカラム全体に広がってから作物に利用されたためと考えられる。水分含量の変化を経時的にみると、実験開始後3日目までは全層的に低下してゆき、その後徐々に増加し、7日目には実験開始前の初期水分状態に近い値を示した。これは、作物体からの蒸発散量が低下してきたこととも関係があると考えられる。

長時間かけてゆっくりと灌水する点滴法では、カラム中の水分の分布に大きな偏りが生じた。特に上層部において水分含量が高く保たれたことが特徴的であり、含水率が6%を越え、集中法よりも高い値を示した。実験初期に一時全層にわたり水分がやや減少する傾向が認められたものの、灌漑を重ねるに従い、徐々に高含水率の領域が下方に広がり、7日目には20cmまでが6%を越える高い水分含量となった。しかしながら、下層部においては水分は経時的に減少してゆき、最終的には含水率が2%をきる乾燥した状態になった。これは、作物体による旺盛な蒸発散作用で、滴下された水分の多くがカラム

下部への移動の途中で作物に吸収利用され、水分の下方移動が抑えられたためと考えられる。

また直播区について、上述の結果からさらに16時間経過した灌水直前の土壤水分含量を比較すると、深さ10cmまでの層で、点滴法は3~4%の含水率を保っていたが、集中法では2%弱まで低下していた。つまり、点滴法は灌漑水を有効に根圏に保持できるのに対して、集中法は灌漑水の多くが下方浸透し根圏から抜けてしまうため、また蒸発散量が多いことも相まって表層部が乾きやすいことが特徴としてあげられる。

4) Na⁺、Cl⁻の動向

1:2.5の比率で土壤から水抽出したNa⁺、Cl⁻の動向を移植区、直播区についてそれぞれ図-5、図-6に示した。単位は乾土100g当たりのミリグラム当量である。

蒸発散量の少ない移植区では、灌漑方式の違いによりNa⁺、Cl⁻の分布には明確な違いは表われなかった。両灌漑方式とも、上層部にやや多く集積する傾向があったが、灌漑にともない全層的に増加してゆき明確な集積ピークは認められなかった。

直播区では、蒸発散量が灌水量を上回っていたため移植区よりも多量の塩がカラム中に集積した。塩

の分布を灌漑方式で比較すると、点滴、集中両方式とも実験3日目までは表層に多く集積し、類似したパターンを示していたが、7日目には大きな相違が生じていた。それらの分布パターンは水分の分布と非常によく対応していた。

全層にわたりほぼ一定の水分を保持していた集中法では、 Na^+ 、 Cl^- とも、深さ10cmまでの含量が減少

し、ほぼ全層にわたって一定量が分布していた。一方、上層部の水分含量が高く保たれていた点滴法では、カラム上部に顕著に塩の集積が認められた。また、30cm以下には全く増加が認められず、灌漑水がカラム上部に留まり下部へは浸透しなかったことを物語っている。集中法において、点滴法よりも蒸発散量が多いにもかかわらず表層部に顕著な塩の集積

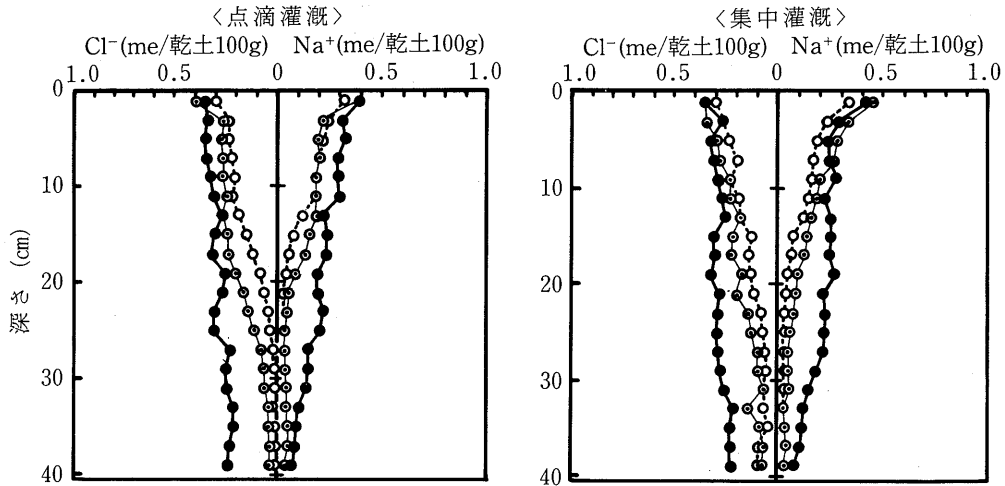


図-5 土壤中の水溶性塩類の動向 (移植区)
○……○ 2日目, ⊙……⊙ 3日目, ●——● 7日目

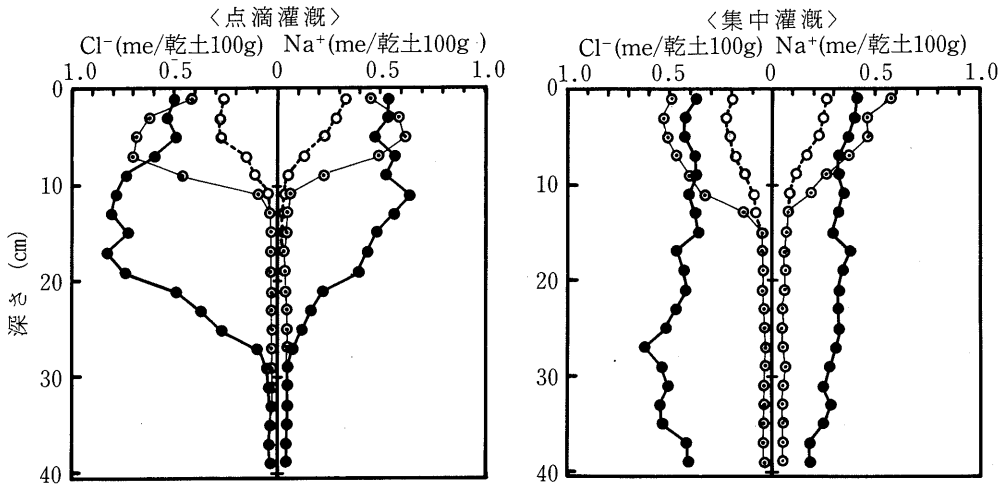


図-6 土壤中の水溶性塩類の動向 (直播区)
○……○ 1日目, ⊙……⊙ 3日目, ●——● 7日目

が認められなかったこと, また実験当初表層に集積していた塩類が一部除去されたことは, 下方へ移動する灌漑水と共に塩類がリーチングされたためと考えられる。本実験に供試した塩水はかなり濃度の濃いものであるが, まとまった量の灌漑水と十分な土壌の透水性が確保されれば土壌中の塩をかなり除去できることを示している。

表層に集積する塩の量を絶対量で比較すれば, 点滴法は集中法よりもはるかに多い。しかし, 実際の土壌溶液中の濃度で比較すると, 実験終了時, 80%の根が集中している10cmまでの層において, 点滴法では Na^+ が灌漑水塩濃度の2倍程度に濃縮されていたのに対して, 集中法では3倍弱から4倍に濃縮され(灌水直前には約10倍にも達した), 土壌溶液がきわめて高い塩濃度になっていた。そのため, 集中法では実験6日目には全ての植物にしおれが認められ, 中には下葉がひどくしおれて黄変するものもあった。しかし, 点滴法では実験終了時まで目に見える変化は生じなかった。

すなわち, 透水性の良い砂を用い, 蒸発散を植物体に限定した条件において両灌漑方式の特徴をまとめると, 点滴法は上層部の水分含量を高く保つため, 根圏の塩含量が多くても土壌溶液中の塩濃度を低く保つことができるが, 灌水間隔の長い集中法では表層部が乾燥しやすく土壌溶液の塩濃度が著しく高くなるということがいえる。

なお, 両灌漑方式とも Cl^- の方が Na^+ よりも下方に移動していたが, これは, 砂丘砂にわずかではあるが含まれる粘土分が陽イオン交換体として作用し, Na^+ が粘土表面の陽イオン交換座に吸着されその部位を飽和しながら下方移動してゆくために, その影響を受けにくい Cl^- に比べ移動速度が遅くなったものと考えられる。

総 括

乾燥地を想定したグロースキャビネット内で, 植物を植えた砂丘砂カラムに塩水(2,000ppmNaCl)を

灌漑した。土壌表面からの水分の蒸発を抑制し, 作物体だけに蒸発散を限定した場合, 点滴灌漑及び集中灌漑法による土壌中での塩分と水分の深さ方向の一次的動向は次のようにまとめられた。

1) 集中法は点滴法よりも総蒸発散量が多く, 特に蒸発散量が灌水量を大きく上回る場合, 点滴法の1.5倍の蒸発散が認められた。

2) 点滴法では上層根群域の水分含量が常に高く保たれ, 下層部は徐々に乾燥していった。集中法では土層全体にほぼ一定量が保持されていたが, 表層部の水分は点滴法よりも少なく, 灌漑後の減少も大きかった。

3) 水溶性塩類の分布は水分の分布とよく対応していた。集中法では全層的にほぼ一定量の塩がカラム土壌中に分布していた。一方, 点滴法では上層の根群域に集中法よりも多量の塩を集積したが, 水分含量が高いため土壌溶液の塩濃度は集中法の約半分に抑えられた。

4) 蒸発散量が灌水量より大きく下回った場合, 上述した灌漑方式による相違は明確には認められなかった。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金(試験研究2, 点滴方式による砂丘地の養水分管理と塩水灌漑法の確立に関する研究, 代表者: 山本太平(鳥取大学))によって行なわれた。

引 用 文 献

- 1) 日本工業標準調査会. 1974. 日本工業規格 工場排水試験法JISK0102. pp. 80-81. 日本規格協会.
- 2) 松本 聰. 1989. 世界における塩集積土壌の分布とその特性. 土肥誌講演要旨集. 35: 197-198.
- 3) 山本太平・藤山英保. 1988. 乾燥地における砂漠緑化と農業開発(その3) —水資源・水消費特性と灌漑技術—. 農土誌. 56(12): 1217-1224.
- 4) 山本太平・藤山英保. 1989. 乾燥地における砂漠緑化と農業開発(その4) —塩類特性とリーチング技術—. 農土誌. 57(1): 53-60.