

中国毛烏素砂漠における地下水の灌漑利用に関する研究(2)  
— ライシメーター試験区における二、三のリーチング特性 —

山本 太平\*・藤山 英保\*\*・李 品芳\*\*\*

部 燕茹\*\*\*・楊 志忠\*\*\*

Studies on Irrigation Utilization of Ground Water  
in the Mu Us Shamo of China (2)  
— A Few Characteristics of Leaching from Lysimeters  
Grown with Grass —

Tahei YAMAMOTO\*, Hideyasu FUJIYAMA\*\*, Pin-fang LI\*\*\*

Yan-ru GAO\*\*\* and Zhizhong YANG\*\*\*

Summary

This study discusses some characteristics of salt leaching on root zone areas and on percolation water below the root zone in the drainage type of lysimeters cultivated with an early stage of grass in the periods from July 15 to September 30, 1987.

The lysimeter field was subdivided into three experimental plots ; the first was a non-irrigation plot, the second was a one-time-irrigation plot in which the amount of irrigation was equal to evaporation, and the third was a two-time-irrigation plot in which the amount of irrigation was equal to twice the evaporation.

Matric potentials showed larger values than -100cm in both irrigation plots through all growing days of grass, and decreased abruptly in the non-irrigation plot under the condition of non-rainy periods.

---

\* 砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

\*\* 農学部農林総合科学科資源利用化学講座

\*\*\* 中国内蒙古自治区水利科学研究所

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

\*\* Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture

\*\*\* Inner Mongolian Institute of Water Conservancy, China

Electric conductivities and chlorine ion concentrations of drainage water from the lysimeter decreased relatively in the two-time-irrigation plot, a decrease greater than that measured in the one-time-irrigation plot, and decreased remarkably in the non-irrigation plot.

The NaCl concentration ratio in the soil solution showed slightly smaller values in the two-time-irrigation plot than those obtained in the one-time-irrigation plot.

The evapo-transpiration of grass showed 2-3mm/d in the non-irrigation-plot, 6mm/d in the one-time-irrigation plot and 6-9mm/d in the two-time-irrigation plot. However, there was little soil salts accumulation in the main root zone during the grass growing periods of 2.5 months which was the rainy season of 150mm in these areas.

### 1. ま え が き

中国毛烏素砂漠の地下水は、浅い地層に分布し比較的豊富な水量を有している。地下水の水質は1,000 ppm 以下の低塩類濃度を示すので、作物圃場において貴重な灌漑水源である。本地域において緑化・農業プロジェクトを実施する場合、地下水の灌漑利用が不可欠になるが、無計画な水利用は有限な地下水源の枯渇を生ずる。一方、灌漑利用後の排水は再び地下水に還元されるので地下水の2次的塩類化が推測される<sup>1,2)</sup>。地下水の効率的利用法と同時に、塩類化を考慮した水・土壌管理法を確立する必要がある。即ち、作物の水消費量を正確に求めることと、根群域の塩類度や根群域下方への浸透排水の塩類度をモニタリングすることが重要になる。

ここでは、上記の目的のために毛烏素砂漠開発センターの圃場にライシメーター施設を新設し、牧草の初期生育条件下において、灌漑水量と根群域および浸透排水の塩類濃度との関係等について検討を試みた。

### 2. 実験施設と方法

#### 1) ライシメーター施設

ライシメーター施設は、1987年6月基礎試験圃場の南側に新設した(図-1参照)。本施設は3基の土壌槽(ライシメーター)と観測室から構成されている。それぞれのライシメーターは表面積2m×2m、深さ1mの大きさを示し、各試験区(38m×20m)



図-1 毛烏素砂漠開発センターにおける基礎試験圃場(1987年9月現在)

のほぼ中央に配置した。ライシメーターは、図-2に示すように排水収支型の構造であり、各ライシメーターからの浸透排水は観測室において測定できる。各試験区において灌漑は、ライシメーター内への場合ジョウロできめ細かく行い、ライシメーター周辺域への場合スプリンクラー灌漑システムを利用し

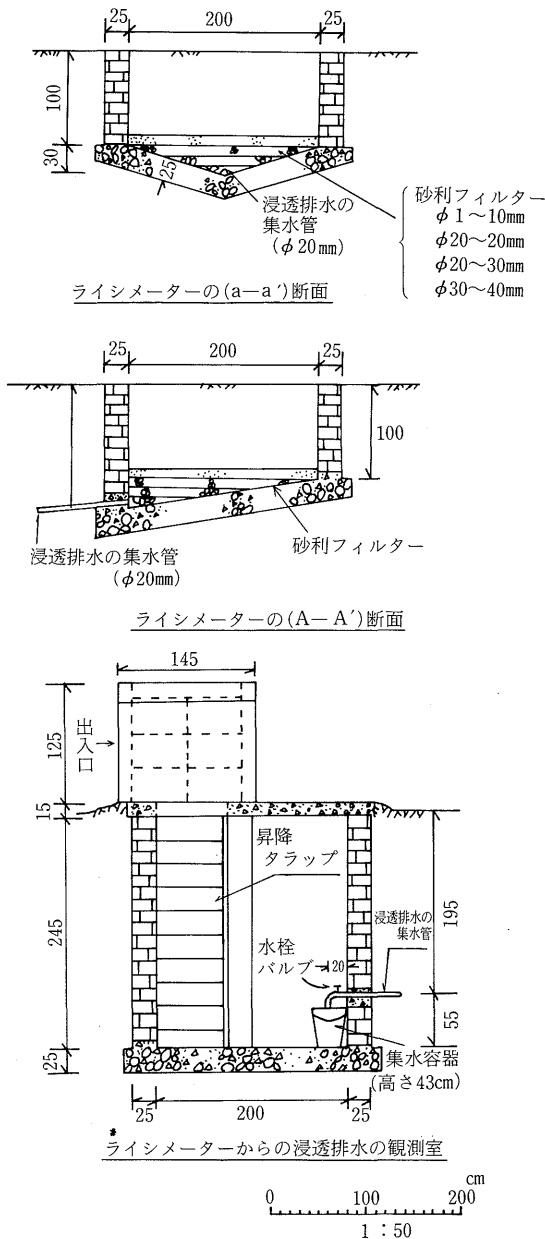


図-2 排水収支型ライシメーターと観測室

た。スプリンクラー灌漑施設を用いる場合には、ライシメーター上部をビニール・トンネルで覆うことによって灌漑水のライシメーター内への流入を防いだ。灌漑水は、観測室横の簡易井戸から取水された。ライシメーター試験区における地下水位は地表面から1.9~2.0mの深さを示した。

## 2) 牧草の耕種概要

ライシメーター試験には牧草として沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) を供試した。この牧草はマメ科の永年性品種で耐干性を有する。また生育最盛期には100cm程度の草丈を示し、本地域において広く栽培されている。ライシメーター試験区を整地した後、6月19日条間20cmに播種した。その後できるだけ試験区全体において生育を揃えるため、きめこまかな水・肥料管理を行った。この結果、観測開始の7月15日には、各試験区とも草丈が4~5cmの大きさまで生育した。

## 3) 実験区分と方法

ライシメーター圃場は半固定砂地に相当する。ライシメーターには半固定砂地の土壌をできるだけ均一に詰めこんだ。

3種類のライシメーター試験区において、1区は無灌水区であり、2区は蒸発計蒸発量の1倍灌水量区、3区は同2倍灌水量区である。即ち、2区または3区の灌水量は、前日までの大型蒸発計(直径70cm)の蒸発量と同じ水量、またはその2倍に相当する水量をそれぞれ適用した。また2区と3区の間断日数は、供試土壌(砂土)の有効水分量を考慮していずれも3日とした。

観測期間は、7月15日~9月30日の間であり、この期間内においてテンシオメーターの値、灌水量、浸透排水等が毎日定時に測定された。土壌および水中のイオン類の分析において、pHはpH計、電気伝導度はEC計、Mg、Caは原子吸光法、Cl、NO<sub>3</sub>、SO<sub>4</sub>はイオンクロマトグラフィー法、Na、Kは炎光法を用いて行った。

大型蒸発計蒸発量、降水量等の気象要素は、隣接の気象露場のデータを利用した。

## 3. 実験結果と考察

### 1) 灌漑水と土壌

実験に用いた灌漑水の化学的性質を表-1に示す。観測期間において、ECは0.59~0.62dS/m、pHは7.2~7.8、SARは0.6~0.8を示し、これらの値の時期的な変化がみられなかった。この灌漑水はUSDAの水質基準に基づくC2-S1に分類され、通常のリーチングが必要であることを示している。観測開

表-1 灌漑用水の化学的性質

採水時期	pH	EC (dS/m)	Mg	Ca	Na	K	Cl	NO <sub>3</sub> -N	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SAR
1978年											
6月22日	7.2	0.633	19.8	44.7	24.0	4.5	18.2	0.5	35.4	184.0	0.75
7月7日	7.7	0.623	21.0	36.3	23.0	4.7	19.8	0.6	35.1	202.3	0.75
7月22日	7.4	0.622	21.0	59.1	23.5	4.7	19.3	0.5	35.9	210.0	0.67
8月6日	7.8	0.615	18.9	63.0	24.5	5.2	19.2	1.1	37.5	209.6	0.70
8月21日	7.6	0.591	20.7	58.2	22.0	5.0	21.3	0.3	27.6	182.3	0.63

注1) イオン類の単位はppm

注2)  $SAR = Na / \sqrt{(Ca+Mg)/2}$  (Na, Ca, Mgの単位はme/l)

表-2 ライシメーター土壌の物理的性質

深 さ (cm)	土 壤 粒 径 分 布 (%)						飽和透水係数 (cm/sec)	24時間 容水量 (容積%)
	2mm~ 0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.005	<0.005		
0~20	0.50	40.50	52.50	4.00	1.50	1.00	$8.65 \times 10^{-3}$	6.93
20~40	1.00	56.00	33.00	6.00	3.50	0.50	$8.76 \times 10^{-3}$	8.83
40~60	1.00	47.50	44.50	4.00	2.50	0.50	$9.50 \times 10^{-3}$	11.59
60~80	0.50	42.50	49.00	5.00	2.50	0.50	$1.10 \times 10^{-2}$	10.39
80~100	0.50	41.50	47.00	5.50	5.00	0.50	$5.56 \times 10^{-3}$	12.70

pF3.0水分量：4.0~5.0 (容積%)

始直前にサンプリングした土壌のうち、物理的性質を表-2に示す。土性は砂土である。また、各ライシメーター土壌の1:5の土壌溶液において、pHは8.5~8.8、ECは0.1~0.3dS/mを示し土壌の塩類化はみられなかった。

## 2) マトリック・ポテンシャルの日変動

各ライシメーター土壌槽において、深さ10cm, 20cm, 30cm, 50cm, 75cmの深さにテンシオメーターを埋設し、マトリック・ポテンシャルの値を毎日観測した。これらの結果のうち、8月における2区の観測結果を図-3に示す。また各ライシメーターにおいて、7月14日、8月31日、9月30日に土壌サンプリングを行い、水分量プロファイルを求めた。これらの結果を図-4に示す。

観測期間における気象条件は、前報<sup>3)</sup>で示したよう

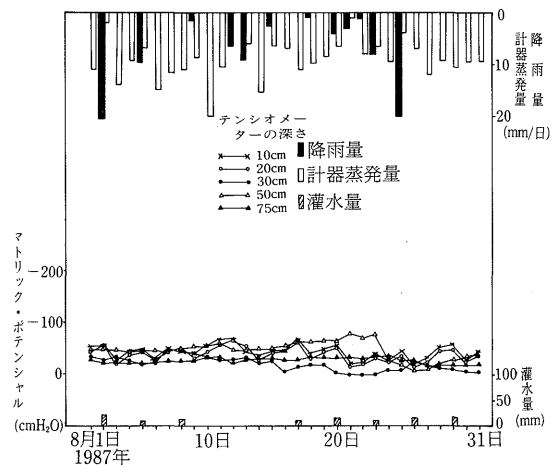


図-3 ライシメーター2区におけるマトリック・ポテンシャルの日変化

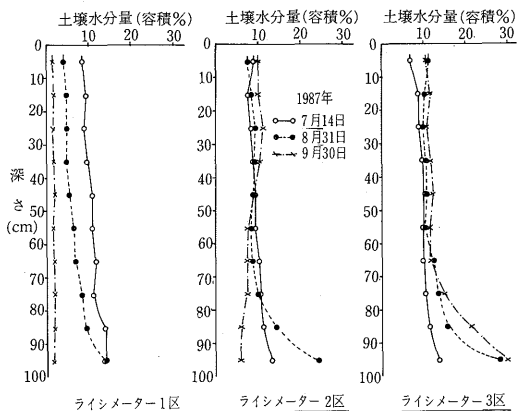


図-4 ライシメーター試験区における土壌水分量プロフィール

に7月下旬, 8月下旬, 9月中下旬において, 比較的連続干天が続き牧草の水消費が盛んであった。牧草は, 8月下旬に7~8cm, 9月上旬に15cm程度, 9月30日に20cm程度(1区:14cm, 2区:25cm, 3区:20cm)の草丈を示した。ライシメーターの土壌面がほぼ被覆され始めたのは8月上旬からであった。

2区においては, マトリック・ポテンシャルが各深さで-100cmより大きい値で変動し, 土壌水分量が10%(容積)前後の高い状態を示した。3区の灌水区においても同様の傾向を示した。無灌水区の1区においては, 連続干天時期にマトリック・ポテンシャルが減少した。特に9月下旬には全層にわたってマトリック・ポテンシャルが大きく減少し, 土壌水分量が2%(容積)程度の小水分量を示した。

### 3) ライシメーター排水のリーチング特性

毎日9時に各試験区からの排水をサンプリングして分析を行った。分析結果のうち, 8月における電気伝導度EC(dS/m)と塩素濃度(ppm)の経日変化を図-5に示す。図中には, 降水量, 蒸発計(φ20cm)蒸発量, 灌水量の値も示した。

一般に作物の耐塩度は, 根群域における土壌溶液の塩類濃度によって決定される。ライシメーター排水は根群域下方における土壌溶液(リーチング水)を示すので, このリーチング水の塩類濃度は, 根群域における土壌溶液の塩類濃度にある程度近似すると考えられる<sup>4)</sup>。またリーチング水は地下水への補給水としても考えられよう。

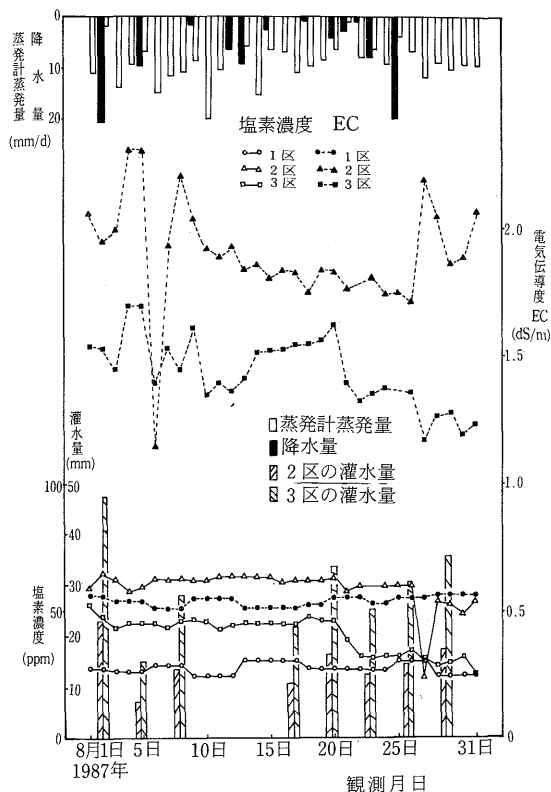


図-5 ライシメーター排水の塩素濃度と電気伝導度の経日変化

一般に土層中におけるリーチング・フラクションLFは定常状態において次式で表される。

$$LF = D/I = C_i/C_d \quad (1)$$

ここで, I,  $C_i$ : 灌漑水の給水速度と塩類濃度, D,  $C_d$ : 根群域より下方への深部浸透水の速度と濃度, である。

ライシメーター排水(リーチング水)のECと塩類濃度は, 2区(1倍灌水区)より3区(2倍灌水区)において低濃度を示す。即ち, 3区の場合ECが1.5~2.0dS/m, 塩素濃度が30~45ppmで変動するのに対して, 2区の場合にはECが2.5~3.5dS/m, 塩素濃度が55~65ppmに増加する。リーチング水には数多くの塩類が含まれており, ECはリーチング水の総塩類量の大きさを表わす一つの指標であるので, 塩素濃度の場合に比べて, 2区と3区におけるECの差異が大きい。

1区においては、観測開始（7月15日）以後降雨だけがライシメーターへの供給水になるのでリーチング水のECと塩素濃度が著しく小さい。これは、2区と3区の灌漑水が0.6dS/m程度の塩類を含むのに対し、降雨には塩類が含まれていないためである。2区と3区の場合においても、降雨直後においてリーチング水のECと塩類濃度が一時的に低下することが認められる。

#### 4) 根群域の塩類濃度

前述したように、沙打旺の地上部は8月上旬にライシメーター土壌面をカバーしたが、同時に根群の発達がみられた。9月30日の根群調査の結果、各ライシメーターの根群深は65cm付近まで認められた。各ライシメーターにおいて、7月14日、8月31日、9月30日に土壌サンプリングを行い、土壌溶液中の塩類濃度を求めた。各ライシメーターにおける土壌溶液中のNaCl換算塩濃度比C/C<sub>i</sub>分布を図-6に示す。土壌溶液中の塩類濃度を複合塩類濃度の単位で表すことは難しいので、ここでは、前報<sup>3)</sup>で行ったように、土壌溶液のEC(dS/m)をNaCl濃度(ppm)に換算し、灌漑水のNaCl濃度C<sub>i</sub>(ppm)との比C/C<sub>i</sub>で表した。1区のNaCl換算塩濃度比は2区と3区に比べて大きい。2区に比べて、3区のNaCl換算塩濃度比は全層にわたって若干小さい値を示している。

図-4に示したように、2区と3区の土壌水分量

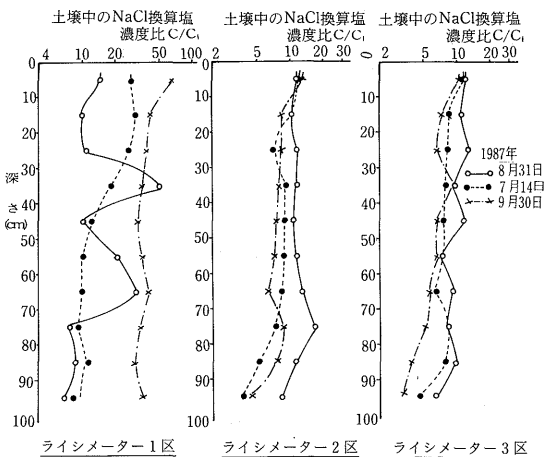


図-6 ライシメーター試験区における土壌溶液中のNaCl換算塩濃度比プロファイル(C:土壌溶液中のNaCl濃度、C<sub>i</sub>:灌漑水のNaCl濃度)

はほぼ同様なプロファイル形であるが、1区の場合は小さな水分量プロファイルを示した。土壌に保留される塩類量は土壌溶液の塩類濃度C(ppm)と土壌水分量 $\theta$ (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)の積で表される。この結果、ライシメーター土層中(深さZcm)に保留される総保留塩量 $\Sigma C$ (gr)は次式で示される。

$$\Sigma C = 4 \times 10^{-2} \int_0^Z \theta(z) \cdot c(z) dz \quad (2)$$

(2)式を用いて各ライシメーター土層(Z=100cm)における塩素量とNaCl換算塩量を計算し、その結果を表-3に示す。1区においては、塩素量およびNaCl

表-3 ライシメーター土層中の総保留塩量

採土時期	塩素量 (gr)			NaCl換算塩量 (gr)		
	1区	2区	3区	1区	2区	3区
1987年						
7月15日	5.394	3.468	3.825	18.400	9.841	9.850
8月31日	1.969	3.894	3.378	4.196	9.850	12.800
9月30日	0.606	5.820	11.010	1.023	7.150	12.350

換算塩量ともサンプリング毎に減少している。2区と3区の場合、サンプリング時期の間において総保留塩類の増減量には一定の傾向がみられない。しかし、3区の塩素とNaClの換算塩総保留量は2区より大きい傾向を示す。

(1)式を基準にして検討すれば、図-6における2区と3区の場合において、3区のNaCl換算塩濃度比が小さくなっている理由として灌漑水量が2倍になったことによるリーチング効果が考えられる。1区においては、土壌水分量が小さく比較的NaCl換算塩濃度比が高くなったものである。また、1区では前述したように塩類を有しない降雨だけが供給水であるが、本地域は降雨頻度が高いが一回あたりの降雨量が少ないので、初期の土壌塩類濃度がまだ十分リーチングされていないことが考えられる。しかし、表-3から判断すれば、観測開始後土壌中の総保留塩類量が漸次減少していることが理解される。

#### 5) 水収支および塩収支

排水収支形ライシメーターにおいては、水収支式と塩収支式によって、ある期間内における植物の蒸発散量ET(mm)と土層中の塩類集積量 $\Delta C$ (gr)を求めることができる。即ち、

$$ET = R + I - D \pm \Delta M \quad (3)$$

$$\Delta C = 10^{-6} (I \cdot C_i - D \cdot C_d) \quad (4)$$

ここで、R：降水量(mm)，ΔM：土壤中の水分増減量(mm)，である。また(4)式では植物体中における塩類量は無視してある。

(3)式において、7月15日～8月31日、9月1日～9月30日の期間における蒸発散量ETを求めた結果、

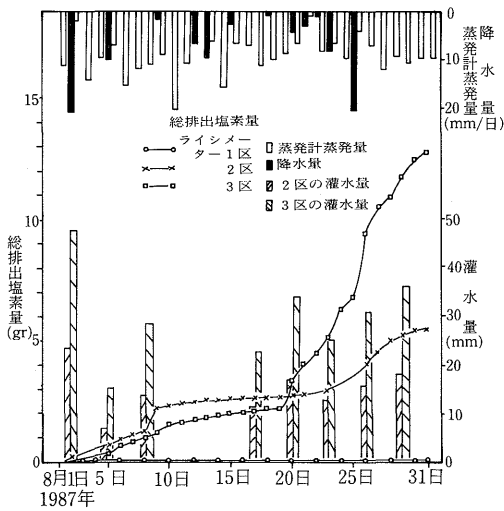


図-7 ライシメーターから排出された塩素量の経日積算値

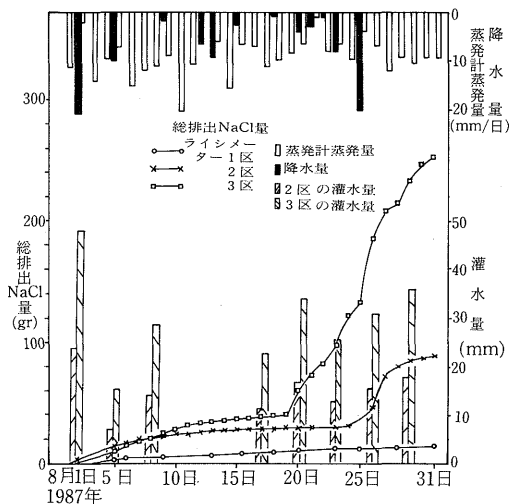


図-8 ライシメーターから排出されたNaCl換算塩量の経日積算値

1区が2.7～2.9mm/d，2区が6.0～6.1mm/d，3区が6.0～9.0mm/dの値を示した。ETは無灌漑区より灌漑区の方が2.2～3.0倍ほど大きい。また灌漑区においては灌漑量の多い3区の方がETが多くなっている。

つぎに(4)式の右辺第2項をもちいて、ライシメーターから排出される塩素量とNaCl量の積算値について検討した。このうち、8月における塩素量の経日積算値を図-7に、NaCl換算塩量の経日積算値を図-8に示す。ライシメーター3区の塩素濃度とNaCl換算塩濃度は、2区に比べていずれも小さかったが、それらの排出積算量は大きい。特に8月20日以降では灌漑水量と降雨量に伴って急増する。一方、1区においては塩素量およびNaCl換算塩量とも著しく小さくなっている。

(4)式の塩収支式を用いて塩素と換算NaClの土層中におけるΔCを求めた結果、いずれも数g程度であり、塩類集積はあまりみられなかった。

なお、ここで取り扱った観測期間は2.5か月であり、しかもこの期間はこの地域の降雨の多い時期に相当したので、(3)式と(4)式によって本地域のETと塩類集積量について判断するのは十分ではない。今後、灌漑期間全般にわたってデータの集積を図り、水収支と塩収支について検討を進める計画である。

#### 4. あとがき

中国毛烏素砂漠の砂漠開発研究センターの圃場にライシメーター施設を新設し、牧草の初期生育条件下の1987年7月15日～9月30日の期間、根群域と根群域下方の浸透排水の塩類濃度等について二、三の検討を行った。

1) ライシメーターは本センターの半固定砂地圃場に新設し、3種類の実験区(1区：無灌漑区、2区：蒸発計蒸発量の1倍灌漑区、3区：蒸発計蒸発量の2倍灌漑区)を設けた。牧草として沙打旺を本実験に供試した。

2) 灌漑水は電気伝導度ECが0.59～0.62dS/m，SARが0.6～0.8を示した。土壌は砂土であり実験開始時の土壌塩類度ECは1：5の土壌溶液で0.1～0.3dS/mである。本実験に供試した水、土壌ともあまり塩類化していなかった。

3) 沙打旺の順調な生育によって8月上旬には各試験区のライシメーターの土壤面がほぼ植生被覆された。各深さにおけるマトリック・ポテンシャルは、2区と3区において観測期間中-100cmより大きい値で変動した。1区の場合には、連続干天の時期に全層にわたって大きく減少した。

4) ライシメーターからの排水(リーチング水)のECと塩素濃度は2区より灌水量の多い3区において低濃度で変化した。また降雨だけが適用水になる1区においてはECと塩素濃度が著しく小さかった。

5) 根群域および根群域下方における土壤溶液中の塩素量とNaCl濃度比は2区に比べて3区の場合が若干小さい値を示した。比較的low水分量を示した1区においては、NaCl濃度比は比較的大きかったが、観測開始後土層中における総保留NaCl量の減少がみられた。

6) 観測期間における水収支量と塩収支量を求めた結果、蒸発散量は無灌水区より灌水区の方が2.0~3.0倍多く、灌水区では2区より3区の方が多かった。また土層中の集積塩類量は数g程度を示し少なかった。

ここで取り扱った観測期間は2.5カ月であり、しかもこの期間が本地域の降雨量の多い時期に相当したので、今後は灌漑期間全般にわたってデータの集積を図り、水収支と塩収支について検討を行うことが重要である。

最後に、本研究は中国内モンゴル自治区林業科学研究

院との共同研究で得られた結果の一部をまとめたものである。共同研究の準備、計画、実施においては数多くの中国側研究者のお世話になった。特に、中国側研究代表者である廖 茂彩副院長には終始多大なご支援をいただいた。なお本研究の一部は、トヨタ財団研究助成”中国の乾燥地における砂漠化の機構解明と動態解析—毛烏素砂漠における砂漠緑化と農業開発に関する基礎的研究—；研究代表者：松田昭美”で行われたものである。

ここに厚く感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 山本太平・神近牧男：中国毛烏素砂漠における砂漠化の概況と農業開発—特に気象・土壌特性と地下水の塩類化について—農土誌55(10), pp43-48 (1987)
- 2) 神近牧男・山本太平：中国毛烏素砂漠における自然環境について—二、三の気象・土壌特性—鳥大砂丘研報25, pp17~35 (1986)
- 3) 山本太平・藤山英保・李 品芳・部 燕茹・楊 志忠：中国毛烏素砂漠における地下水の灌漑利用に関する研究(1)—高地下水位圃場における塩類集積とリーチング—鳥大砂丘研報27, pp21~28 (1988)
- 4) 山本太平・田中 明：点滴法による植生条件下における土壌塩類動態の一次元解析, 農土論集127, pp 1~9 (1987)