

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 —

山本 太平*・藤山 英保**・李 品芳***
郜 燕茹***・楊 志忠***

Studies on Irrigation Utilization of Ground Water
in the Mu Us Shamo of China (1)
— Salt Concentration and Leaching in Plant Fields
with High Ground Water Levels —

Tahei YAMAMOTO*, Hideyasu FUJIYAMA**, Pin-fang LI***
Yan-ru GAO*** and Zhizhon YANG***

Summary

This study, part of the basic cooperative research between Japan and China on desert greening and agricultural development, discusses the soil moisture extraction pattern of willow trees, and the relationship between rainfall and moisture-salt profiles in the root zone of fields which were influenced by the capillary water of ground water.

The meteorological characteristics of the Mu Us Shamo indicate irrigation periods from April to September, a dry season from April to June and the peak plant growing season in late July which has the maximum values of air temperature and evaporation.

With increases of the continuous non-rainfall days, the soil moisture contents decreased and salt concentration increased in the main root zone of willow fields in

-
- * 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

which the ground water levels were kept at a depth of 1.5~1.7m below the soil surface. In contrast, the soil moisture contents increased and salt concentration decreased with the appearance of rainfall.

In wild grass fields in which the ground water levels were kept at depths of 40~50cm below the soil surface, the soil moisture contents were higher in the total root zone and the salt concentration increased in the surface layer, regardless of the meteorological characteristics in these areas.

1. ま え が き

乾燥地圃場において地下水位が比較的高く水質が塩類化している場合には、土壌面や根群域付近を中心として著しい塩類集積が生じ、塩類化圃場の増大ひいては極端な農地の荒廃が考慮される。一般に、圃場における塩類の集積は、気象、作物、灌漑、圃場条件等によって左右される。例えば、高温乾燥の条件下において土壌中の塩類量は、作物の蒸発散量や地下水位に伴って増加する反面、降雨やリーチングによって減少する。

高地下水位圃場において土壌面蒸発が促進される場合、室内実験やシミュレーション計算では、蒸発に伴って土壌面付近で増大し深さに伴って急減する塩類集積パターンが形成され、これらのパターンは地下水位高、地下水の塩類濃度、土壌面蒸発量、土壌の種類等に左右されることが明らかになった^{1,2,3)}。またこれらの研究結果は、圃場実験データによって評価されると同時に、圃場条件を考慮した数値モデルを構築して再検討される必要性が提案された¹⁾。

ここでは、中国の毛烏素砂漠の砂漠開発研究センターで実施した現地調査を取り上げ、土壌における塩類集積とリーチングに関して二、三の検討を試みた。

2. 現 地 調 査

中国の毛烏素砂漠は、内蒙古自治区、陝西省、寧夏回族自治区にわたって分布し、約400万 haの面積を有する⁴⁾。砂漠開発研究センターは、この砂漠のほぼ中央部に位置し約8,400haの試験場を有する。試験地の殆どは流砂地であるが、砂丘の丘間には半固定砂地や固定砂地が分布している。緑化植物の苗試験

地、牧草試験地、野菜・果樹試験地は半固定、固定砂地にある(図-1参照)⁵⁾。

ここでは、本センターの固定砂地圃場において、1986年6月13日~9月20日と1987年4月25日~9月30日の間、自然圃場条件下の水・塩類分布の変動を追跡する調査を行った。固定砂地圃場から、試験区として柳苗試験区と養魚池周辺の自然草地試験区が選ばれた。柳苗試験区は本センターの代表的固定砂地圃場に相当し、灌漑期間の地下水は地表面から1.5~1.7mの深さに分布する。柳苗圃場には1~2年生の柳苗が株間50cm、列間隔2mに植栽されており、柳苗の樹高は1.5~2mを示す。柳苗圃場内にはほぼ3m×3mの試験区を設けた。自然草地試験区は本センターにおいて最も高地下水位の固定砂地圃場であり、湿地性の牧草が疎らに生育している。地下水位は年間を通じ深さ40~50cmの高水位にありこの地下水を利用した養魚池が設けられている。

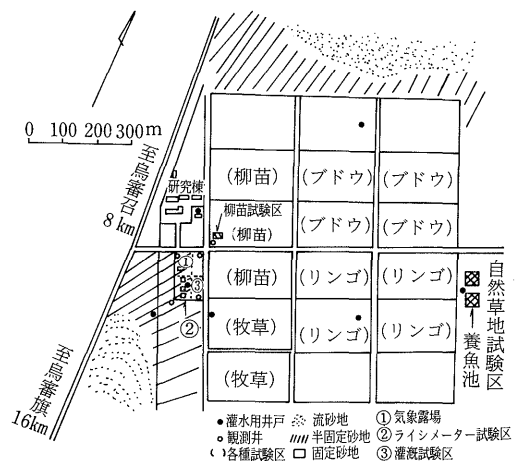


図-1 毛烏素砂漠開発研究センターにおける各種試験区の位置関係 (概略図)

調査期間の間、定期的に土壤のサンプリングを行い、水分量と塩類濃度分布を求めた。土壤の塩類度は、風乾した採取土壤に蒸留水を土：水＝1：5になるように加えよく振とうした溶液の電気伝導度 EC (dS/m), pH, 塩素濃度等を測定して求めた。

柳苗試験区には、テンシオメーターを埋設しマトリック・ポテンシャルの経日変化を求めた。テンシオメーターは、1986年の場合0～100cmの深さを、1987年の場合0～50cmの深さを対象にして、いずれも深さ10cm間隔に配置した。また気象データは本センターに新設した気象露場の観測値を利用した。

3. 実験結果と考察

1) 気象・土壤

調査期間のうち、1986年7月1日～9月30日、1987年4月1日から8月31日の間における最高・最低・平均気温の旬別変化を図-2に、降雨量、蒸発計(φ20cm)蒸発量、日照時数の旬別変化を図-3に示す。本地域における作物の灌漑期間は4～9月の間であり、この期間内で4～6月が降雨量の少ない乾燥期間、7月後半は気温と蒸発計蒸発量がピーク値を示し水消費が旺盛な時期と考えられる。

柳苗試験区における土壤の物理的性質を表-1、化学的性質を表-2に示す。また地下水の化学的性質を表-3に示す。本地域では流砂地、半固定地の土壤が砂土を示すのに対し、固定砂地の土壤は砂壤土～植壤土を示す。柳苗土壤の場合、0～40cmの表層土壤は主に砂壤土を示し、下層の40～100cmの深さではシルトや粘土分が増加し壤土になっている。土壤のpF-θ曲線は、L字型の直角部分が砂土の場合

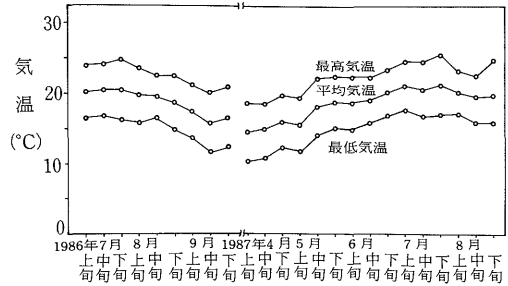


図-2 最高・平均・最低気温の旬別変化 (1986年7月～9月, 1987年4月～8月)

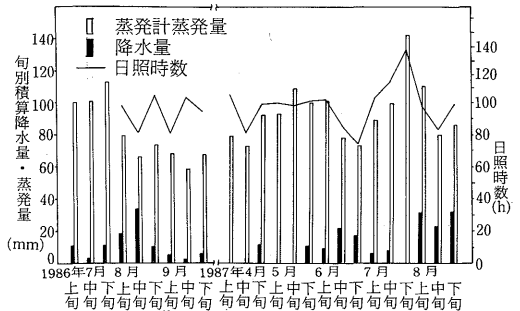


図-3 降水量、蒸発量、日照時数の旬別変化 (1986年7月～9月, 1987年4月～8月)

より高水分域に移動した。また下層のpF-θ曲線は上層の場合に比べてさらに高水分域に移動する傾向を示した。

表-2は1987年6月24日における各種イオンの深さ別濃度分布を示したものである。1：5土壤溶液でpHは8.1～8.9, ECは0.14～0.23dS/mを示した。また表-3は地下水の化学的性質を示しているが、各種イオン量とpH, ECの時期別変化は比較的少な

表-1 柳苗圃場土の物理的性質

深さ (cm)	土 壤 粒 径 分 布 (%)						飽和透水係数 (cm/s)	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	0.5	21.5	27.3	18.5	24.2	8.3	2.18×10 ⁻⁴	23.46
20～40	0.5	22.3	27.6	15.8	18.5	15.3	1.47×10 ⁻⁴	20.92
40～60	1.3	19.0	19.2	14.3	20.7	25.5	5.44×10 ⁻⁴	25.90
60～90	2.2	22.8	18.7	11.3	21.0	24.0	3.16×10 ⁻⁴	29.23

pF3.7水分量：12～15 (容積%)

表-2 柳苗圃場土の化学的性質 (1:5 土壌溶液)

深 さ cm	pH	EC (dS/m)	Mg	Ca	Na	K	Cl	NO ₃ -N	SO ₄	HCO ₃
0~10	8.1	0.213	37.0	106.5	67.0	17.0	41.2	0.9	154.4	392
10~20	8.2	0.230	44.5	106.5	72.5	11.5	99.9	2.4	109.5	373
20~30	8.6	0.143	40.5	73.5	56.5	12.0	16.4	tr.	38.4	400
30~40	8.5	0.170	51.5	72.0	77.0	10.0	17.1	〃	54.2	543
40~50	8.9	0.227	45.0	145.5	205.0	11.5	22.5	〃	75.5	825

注1) 採土時期: 1987年6月24日

注2) イオン類の単位はppm

表-3 地下水の化学的性質

地下水	採水時期	pH	EC (dS/m)	Mg	Ca	Na	K	Cl	NO ₃ -N	SO ₄	HCO ₃	SAR
柳苗圃場付近	1987年											
	6月22日	7.5	0.562	20.7	30.3	17.5	3.9	16.7	tr.	32.9	174.9	0.71
	7月7日	7.7	0.577	21.3	29.7	18.0	3.9	16.2	0.7	32.7	173.0	0.61
	7月22日	7.6	0.563	22.8	54.3	18.5	4.0	16.9	0.7	34.9	174.2	0.53
	8月6日	7.8	0.574	22.8	50.7	18.5	4.1	16.8	0.3	33.9	197.4	0.54
8月21日	7.7	0.578	22.5	61.2	18.0	4.2	16.6	0.2	34.5	207.9	0.50	
自然草地試験区	1987年											
	6月22日	9.5	0.502	16.8	16.5	60.5	6.6	46.2	0.8	58.0	108.7	2.50
	7月7日	10.0	0.515	15.3	17.1	66.0	6.7	48.7	1.0	60.1	122.3	2.79
	7月22日	7.3	0.580	21.0	37.8	66.0	8.6	54.5	1.3	61.1	219.7	2.13
	8月6日	9.4	0.607	22.8	22.8	66.0	8.5	53.3	0.5	66.2	192.9	2.34
8月21日	8.6	0.658	23.7	33.0	69.0	8.2	51.3	0.7	66.6	234.8	2.24	

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)

かった。

2) マトリック・ポテンシャルの日変動

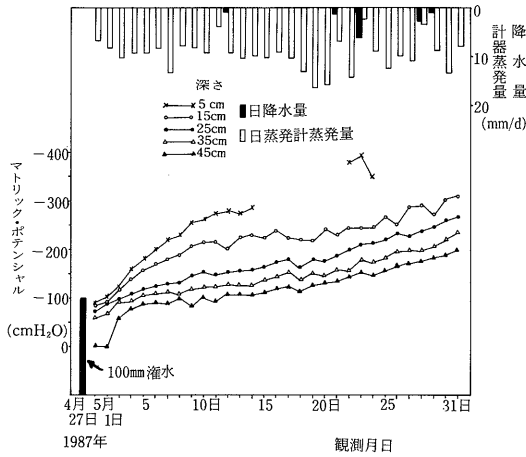
調査期間におけるマトリック・ポテンシャルの結果のうち、1987年5月1日~31日における経日変化を図-4に示す。1987年の場合もまず最初(4月27日)に約100mmの多量灌水を行い、試験区内の土層全体について、水分量を圃場容水量に設定すると同時に塩類濃度が小さくなるようにできるだけ試みた。

灌水後のマトリック・ポテンシャルは、各深さに

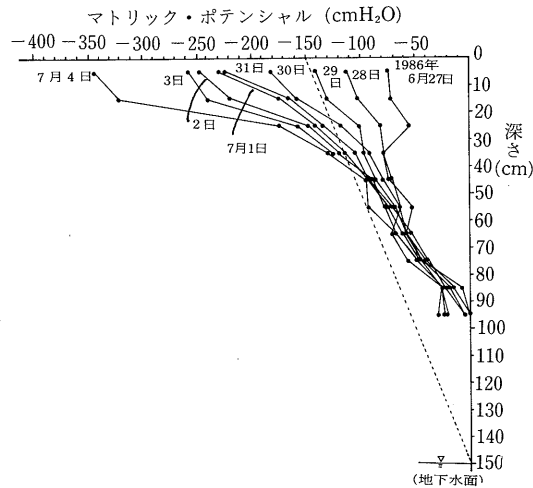
おいて干天日数に伴ってほぼ様な割合で減少している。5月は乾燥期であるので、月降水量が10mm程度、計器蒸発量が10mm/d以上を示す。このように、気温はそれ程高くないのに日照時数、風速、蒸発量が大きいために、緑化植物の水消費量が大きくなり、この結果5~50cmの深さにおけるマトリック・ポテンシャルの減少が考えられる。

3) 水消費パターン

従来柳苗圃場においては、灌漑期間に数回、一種



図一四 柳苗試験区におけるマトリック・ポテンシャルの日変化



図一五 柳苗試験区における地下水面上のマトリック・ポテンシャルのプロファイル (1986年6月27日～7月4日)

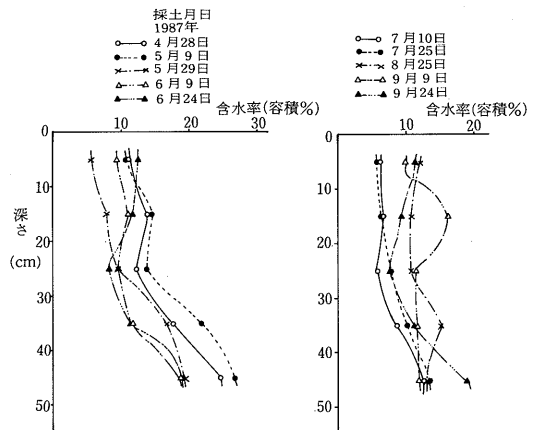
の水盤法に相当する地表貯留灌漑が行われている。灌漑においては、高さ10～20cmの土畦が5m×10mの方形に設けられ、小灌水路からこの方形内に灌漑水が導かれる。無灌水でも樹木の生育が可能といわれるのは、前述したように1.5～1.7mの地下水深を示すので、根群の一部が地下水に影響されていることが考えられる。調査期間におけるマトリック・ポテンシャルの結果のうち、連続干天を示した1986年

6月27日～7月4日の期間のマトリック・ポテンシャルのプロファイルを図一五に示す。図中には、水消費のない地下水位一定の土壤条件下におけるマトリック・ポテンシャルの定常プロファイルを点線で示した。点線から左側の領域では、植物の水消費速度が下方からの水分上昇速度より大きいポテンシャル状態が考えられる。右側の領域の場合には重力水による水の下降運動が考えられる。6月15日～26日の間は、降雨頻度が高く降雨量が多かったので全層にわたって土壌水の下降運動が生じやすかった。しかし、6月30日以降では0～50cmの根群域において上昇水の速度より水消費速度が大きいため、マトリック・ポテンシャルが急速に減少している。

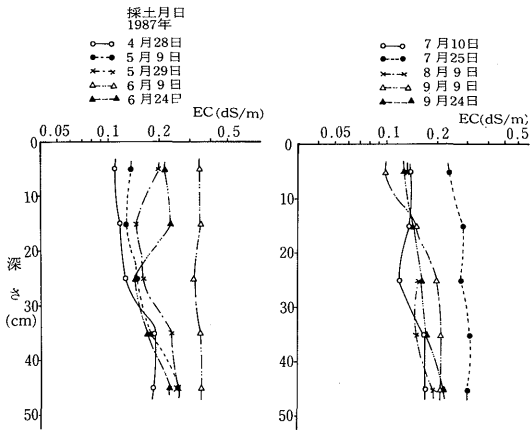
一方、調査期間を通じて、土壤面から深い領域ほどマトリック・ポテンシャルが大きくなる。深さ95cmのマトリック・ポテンシャルは、調査期間にわたって-50cm以上を示す期間が多く、長期の連続干天の場合でも-100cm以上の値を示した。すなわち、植物の水消費は主に0～50cmの領域で行われており、下方領域において小さいことが推察される。ここで0～50cmの深さは柳苗樹木の有効根群深と考えられよう。

4) 降雨と水分量・塩類濃度プロファイル

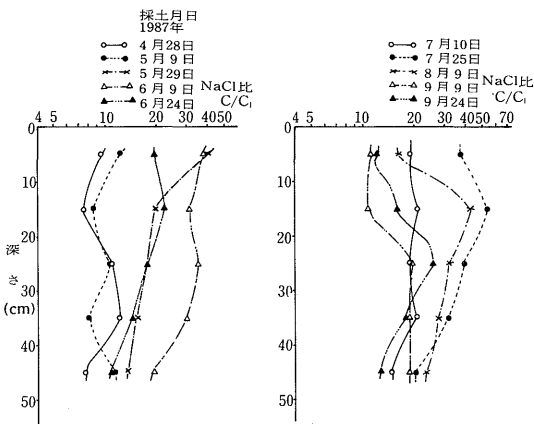
柳苗試験区において、0～50cmの深さを対象にして土壤サンプリングを行い、水と塩類分布の変動を求めた。これらの結果のうち、1987年4月28日～9月24日の間の水分量分布を図一六に、塩類分布を図



図一六 柳苗圃場における土壌水分量分布



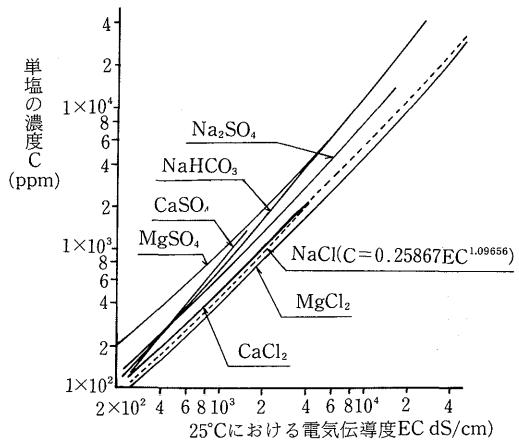
図一七 柳苗圃場における土壤溶液（1：5）の電気伝導度EC分布



図一八 柳苗試験区における土壤溶液のNaCl換算塩濃度比 C/C_i 分布（ C ：土壤溶液のNaCl量、 C_i ：地下水のNaCl量）

一七と図一八に示す。塩類濃度は、図一七において1：5の希釈濃度の電気伝導度 EC (dS/m) で表し、図一八において採土時の土壤溶液の NaCl 換算塩濃度比で表した。

土壤溶液中の塩類は、表一に示したように種々の複合塩で構成され、その構成割合は土壤、作物、灌漑水等の条件で異なる。即ち、土壤水中において個々の単塩はそれぞれ異なった動態を示すので、同一土壤で同一作物条件下においても深さによって構成割合が同一でないことが考えられる。溶液の電気伝導度と各単塩の濃度との関係は、図一九に示され



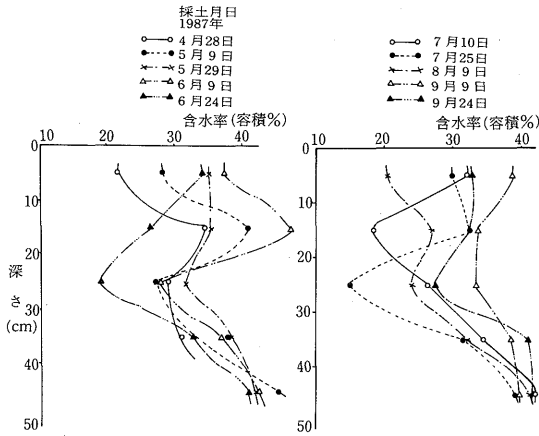
図一九 各種の単塩の濃度と電気伝導度との関係

るように、塩の種類によって異なった曲線を示す⁹⁾。ここでは、溶液の電気伝導度 EC を求めたが、複合塩類の指標として NaCl を取り上げ、EC の値を NaCl 量に変換して複合塩類の代表値として用いた。

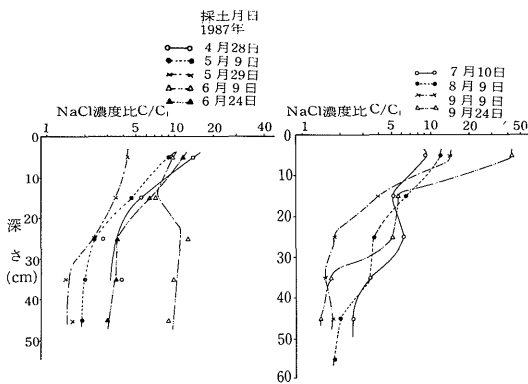
この試験区は、地下水位が比較的低いので、0～50 cmの深さでは地下水より降雨や灌漑の影響が大きい。灌漑や降雨の後はこの領域の水分量が増加している。しかし、一般に地下水の上昇量や降雨量より水消費量が大きいので、水分量分布はしだいに小水分量領域に移動している。4～6月では30～60cmの深さの水分量が地表面付近より大きい。7月以降の干天期間においてはこの領域の水分量も減少するが、45cmの深さの水分量は比較的大きく、下方からの地下水の影響が考慮される。

土壤中の EC と NaCl 換算塩濃度比分布においては、リーチング直後に最小の値を示す。5～6月の厳しい乾燥条件で塩類分布がしだいに高濃度領域に移動し6月9日にピーク値を示す。その後 NaCl 換算塩濃度比分布は、6月中・下旬～7月上・中旬の降雨によって低濃度領域に移動するが7月下旬の高温乾燥期に再びピーク値を示す。また8月になると降雨の影響で低濃度に減少する特徴がみられた。このような特徴は、1：5土壤溶液の EC 分布より NaCl 換算塩濃度比分布で表した場合が明らかになる傾向を示した。

自然草地試験区は丘間の低湿地にあり、前述した



図一10 自然草地試験区(低湿地)における土壌水分量分布



図一11 自然草地試験区(低湿地)における土壌溶液のNaCl換算塩濃度比C/C₁分布(C: 土壌溶液のNaCl量、C₁: 地下水のNaCl量)

ように高地下水位を示す。降雨期でも一部の地表面に白い塩類の結晶がみられる。この試験区の土壌は主に砂壤土から植壤土であり透水性も低い。柳苗試験区と同様な方法によって、水分量と塩類度分布を求めた。これらの結果のうち、水分量分布を図一10に、NaCl換算塩濃度比分布を図一11に示す。

水分量は全層にわたって大きく、気象条件によってあまり左右されない傾向を示した。土壌面から20~30cmの深さで水分量の減少が生じているのは、この深さに透水性の高い砂質土が分布していたためと推定される。土壌溶液のNaCl換算塩濃度比は地表面付近でピーク値を示し、土壌タンクの基礎的実験結果と同様な傾向を示した^{1,3)}。また、このNaCl換算塩濃度

比が降雨によっても減少せず大きい値を示すのは、高水分量のため地表面付近の水消費量が促進され、塩類の集積が生じやすいためと考えられる。

以上の圃場実験結果から、地下水位が比較的低い柳苗圃場では自然降雨によりリーチング効果が期待される。一方、高地下水位の自然草地試験区では、降雨に関係なく塩類集積の増加が考えられよう。

4. あとがき

中国毛烏素沙漠の沙漠開発研究センターの植生圃場において比較的地下水の低い圃場と高い圃場を選び、地下水からの上昇水が考慮される場合の水消費パターン、降雨と土壌中の水・塩類プロファイルの関係等について検討を行った。

1. 本地域では、灌漑期間が4~9月の間であり、このうち4~6月が降雨の少ない乾燥期間、7月下旬に気温と計器蒸発量がピーク値を示す時期がみられた。

2. 比較的地下水位の低い柳苗圃場においては、樹木の有効根群深として0~50cmの深さが考えられ、無降雨期間にこの有効根群深に対して地下水の上昇が推定された。

3. 無降雨期間の柳苗圃場において樹木の水消費量は地下水の上昇量より大きいので水分量プロファイルが低水分量域に移動するが、地下水の高い自然草地試験区では土層全体で高水分量を示した。

4. 柳苗圃場の塩類濃度プロファイルは、無降雨期間が長いほど高濃度域に移動するが降雨によって低濃度域側に移動し、降雨によるリーチング効果が認められた。自然草地圃場では地表面付近に常時塩類の集積がみられた。

最後に、本研究は中国内蒙古自治区林業科学研究所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にお世話になった。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沙漠化の機構解明と動態解析—毛烏素沙漠における沙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。また、本研究をまとめるにおいて

データの解析と検討は、文部省科学研究費補助金(総合研究A, 乾燥地域の農業水利に関する基礎的研究研究代表者:長 智男)によって行われた。

ここに厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 山本太平: 地下水位一定の土壤カラムからの蒸発に伴う塩類動態の非定常解析, 鳥大砂丘研報 26, pp29-38 (1987)
- 2) 山本太平・田中 明: 地下水位一定の土壤カラムからの蒸発と水分量分布の定常解析, 農土論集129, pp17-24 (1987)
- 3) 山本太平・田中 明: 地下水位一定の土壤カラムの蒸発に伴う水と塩の動態, 農土論集129, pp25-31 (1987)
- 4) 神近牧男・山本太平, 中国毛烏素沙漠における自然環境について一二, 三の気象・土壌特性—鳥大砂丘研報25, pp17-35 (1986)
- 5) 山本太平・神近牧男: 中国毛烏素沙漠における砂漠化の概況と農業開発—とくに気象・土壌特性と地下水の塩類化について, 農土誌55 (10), pp43-48 (1987)
- 6) US Salinity Lab. Staff : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Agr. handbook No. 60, pp 7-33 (1954).