

水素，酸素安定同位体比測定による乾燥地灌漑農地の水・塩分の動態分析
 Analysis of water and salt dynamics in irrigated field in arid region by measurement of stable isotopes of hydrogen and oxygen

○中尾千晶*・赤江剛夫*・長野宇規**・久米崇***・
 Chiaki Nakao*・Takeo Akae*・Takanori Nagano**・Takashi Kume***

1. はじめに

乾燥地灌漑農業の持続性の維持と効率的な水資源利用において、水と塩分の循環・収支構造を把握することは基幹的な問題であるにも関わらず、その実態の定量的な解明は極めて困難な課題である。本研究では、中国内蒙古の大規模灌漑地区である河套灌区を対象に用排水システムおよび地下水中の塩分組成および水の安定同位体比を計測した。各排水ブロックでの蒸発率および洗脱効果係数を算定し、灌区全域における水・塩分移動構造を検討した。

2. 調査・実験方法

2.1 採水地点と蒸発試験

調査地点を Fig.1 に示す。河套灌区は 12 本の支線用水路と 1 本の幹線用水路、12 本の支線排水路と 1 本の幹線排水路からなる。用水路から排水に至る経路に沿って、2007 年 9 月に水試料を採取した。灌漑水は黄河水取水口である三盛公頭首工と永濟渠、沙河渠において、地下水は、沙壕渠試験場、永濟渠試験場、五原旭日村で採取した。また排水は、一排干溝から義通干溝に至る 9 本の支線排水路終端および幹線排水路の終端で採取した。三盛公頭首工で採取した黄河水を 5, 10, 20, 30, 40, 50%の蒸発率まで天日のもとで蒸発させ、各蒸発率段階での水を採取した。

2.2 実験方法

採水したサンプルの pH、EC を現地地で測定するとともに、陽イオン組成 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) を原子吸光法 (日立製, Z5300) で測定した。安定同位体測定用の水サンプルは孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のフィルターを通した後、通過試料を気密性の高い 100cc ポリエチレンボトルに気泡などが混入しないよう封入し、冷蔵保存した。安定同位体比 (δD , $\delta^{18}\text{O}$) の測定は、質量分析計 (Finnigan MAT 製 MAT252) を使用した。

3. 結果と考察

3.1 蒸発率の推定と各排水経路における蒸発率

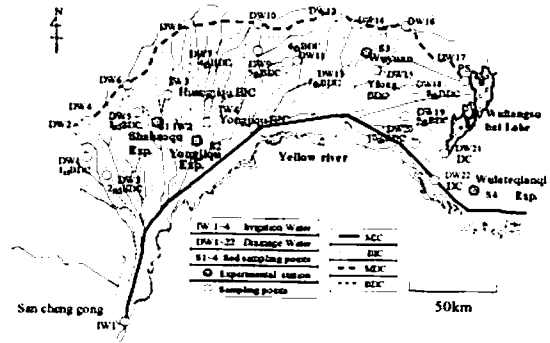


Fig.1 水路システムと調査地点
 Canal system of Hetao Irrigation District and sampling points

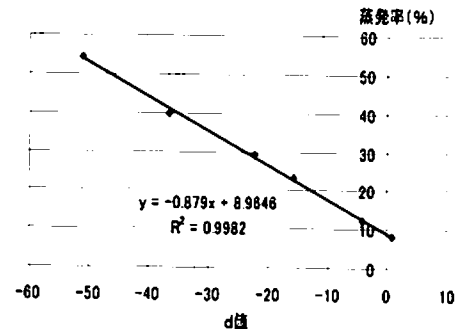


Fig.2 d 値と蒸発率の関係
 Relation between d value and evaporation rates

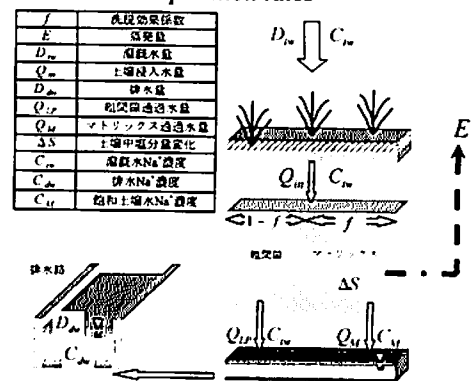


Fig.3 灌漑水から排水に至る水分と塩分の経路
 Pathways of water and salt from irrigation to drainage

*岡山大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environmental Sci. Okayama Univ.,
 **総合地球環境学研究所 Research Institute for Humanity and Nature,
 ***鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori University
 キーワード：安定同位体比，灌漑，洗脱効果係数，乾燥地，塩分

(1)式は天水線を表すが、ここでd値は、蒸発の指標である。

$$d = \delta D - 8 \times \delta^{18}O \quad (1)$$

各蒸発段階まで蒸発させた試料の($\delta D, \delta^{18}O$)を(1)式に代入しd値を求め、d値と蒸発率REの回帰直線を作成した(Fig2).

$$RE(\%) = -0.879d + 8.9646, \quad R^2 = 0.9982 \quad (2)$$

3.2 洗脱効果係数の算定

灌漑水の移動経路において、蒸発は灌漑水が地下水から排水路への復帰流となる過程で発生すると考えた(Fig.3). また、塩の溶脱・沈澱・交換はもっぱら土壌マトリックス中で行われ、粗間隙を通過する水はこれらの過程に関わらないと考えた。したがって、マトリックス中Na濃度 C_M とマトリックス通過水量の割合である排水ブロックの平均的な洗脱効果係数fの関係は、排水路水塩分構成式で表される。

$$C_M \times f + C_{iw} \times (1 - f) = C_{dw} \quad (3)$$

C_{dw} は排水の Na^+ 濃度、 C_{iw} は灌漑水の Na^+ 濃度である。

これをfについて解くと、

$$f = (C_{dw} - C_{iw}) / (C_M - C_{iw}) \quad (4)$$

C_M を飽和土壌溶液塩分濃度で与え、fを計算した。

3.3 排水ブロック別蒸発率

各採水地点試料のd値を(2)式に代入して、蒸発率を算定した。灌漑水の蒸発率は0.10~0.95%で平均は0.53%、地下水の蒸発率は0.32~2.67%で平均は1.46%であった。また、排水については下流に向かって蒸発率が増加する傾向が見られた。灌区最上流の三盛公頭首工から最下流の総排干溝末端のホンガバ揚水場に至るまでにおよそ8.8%蒸発が起こっていることがわかった(Fig.4).

3.4 排水ブロックの洗脱効果係数

Table1に各排水ブロックでの平均的な洗脱効果係数を示している。洗脱効果係数は0.21~0.69となり二排干溝ブロックが最も小さく、七排干溝ブロックが最も大きくなった。Fig.5に見られるように流出水量は粗間隙通過分が多いが、Fig.6に見られるように、流出Na量については約90%が土壌マトリックス通過分であり、残りの約10%は灌漑水中に含まれていた塩分によって構成されていると考えることが出来る。

4. まとめ

水の安定同位体比を測定することにより、各排水ブロックでの蒸発率を算定することができた。また、排水ブロックごとの洗脱効果係数を算定することで各排水ブロックにおける土壌中の塩分流出機構の特徴を評価することができた。

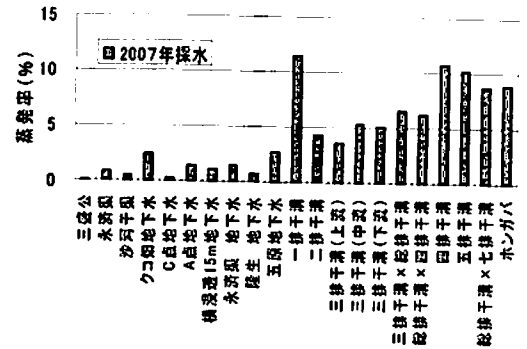


Fig.4 用水路から排水路に至る蒸発率
Evaporation rates of water from irrigation to drainage

Table1 各排水ブロックの洗脱効果係数
Coefficients of leaching efficiency of each block

排水ブロック	洗脱効果係数 f
一排干溝	0.45
二排干溝	0.21
三排干溝	0.31
四排干溝	0.28
五排干溝	0.33
六排干溝	0.63
砂原干溝	0.28
七排干溝	0.69
普通干溝	0.46

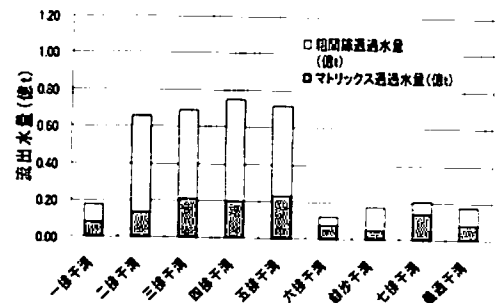


Fig.5 各ブロックの土壌マトリックス通過水量と粗間隙通過水量
Amount of effluent water through soil matrix and large pore of each block.

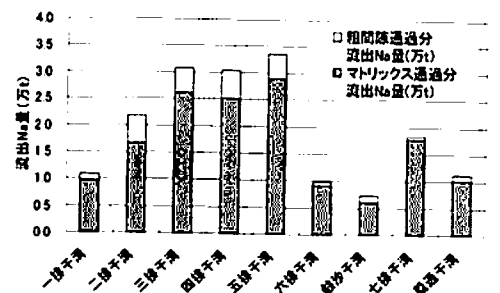


Fig.6 各ブロックの土壌マトリックスからの流出Na量と粗間隙からの流出Na量
Amount of effluent sodium through soil matrix and large pore of each block.