

# 根の吸水に伴う塩類集積に関する実験と数値解析

Experiment and numerical analysis on salt accumulation induced by root water uptake

西田和弘\* 矢岡哲\* 塩沢 昌\*

Kazuhiro Nishida, Tetsu Yaoka, Sho Shiozawa

乾燥地では、根の吸水に伴って根の周囲への塩類集積が生じる。根の吸水は、土壌水と植物の水ポテンシャル差で生じるので、集積した塩類により根の吸水量は変化する。それゆえ根の吸水に伴う塩類集積過程は、土壌と植物が相互関係を持つ複雑な現象である。この現象を明らかにするために、本研究では地下水位一定のポット実験と、土壌 - 植物 - 大気系 (SPAC) における水・塩移動に基づいた数値解析を行った。

## 実験方法

実験はバイオトロン(温度 25 度, 湿度 70% に制御, 自然光)で行った。庄内砂丘砂を充填したポット(高さ 60cm, 内径 20cm)に、春小麦を播種し(2004/5/18), 水道水で十分生育させた。実験ポットは, NaCl 濃度 4.6g/l の塩水を供給する塩水供給ポットを 5 つ, 水道水を供給する対照ポットを 1 つの計 6 ポット用意した。播種後 43 日目に、塩水を十分に灌漑し土壌水を塩水に置換した後、マリオット管を接続し、地下水位一定の元で下部からのみの塩水供給を開始した。地下水位は 47cm とし、表面に乾燥層が形成され土壌面蒸発が小さくなる条件とした。塩水供給ポットは、塩水供給から 7,12,16,22,27 日後に 1 ポットずつ解体し、5cm 毎の塩濃度、体積含水率、根長密度の測定、および葉の水ポテンシャルの測定を行った。また、マリオット管の重量変化より日蒸発散速度を測定した。

## 基礎方程式と数値計算方法

基礎方程式：水移動は、根の吸水項  $S$  と等温水蒸気移動を含む Richards 式で表される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( (K + K_v) \left( \frac{\partial h}{\partial x} - 1 \right) + K_v \frac{\partial h_o}{\partial x} \right) - S \quad (1)$$

：体積含水率,  $h$ ：マトリックポテンシャル,  $h_o$ ：浸透ポテンシャル(土壌水の塩濃度  $C$  より計算),  $K$ ：不飽和透水係数,  $K_v$ ：水蒸気

輸送係数,  $x$ ：鉛直下向き座標,  $t$ ：時間。

塩移動は、移流分散式で表される。

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - q \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

$D$ ：溶質分散係数,  $q$ ：液状水フラックス

根の吸水は、葉の水ポテンシャル  $h_l$  と土壌水の水ポテンシャル差で生じ、次式で表される。

$$S(x, t) = \frac{h + h_o - h_l}{R_s + R_p} \quad (3)$$

$R_s, R_p$ ：土壌と植物の抵抗。

蒸散速度  $E_t$  は、可能蒸散速度  $PE_t$  と相対的な気孔の開鎖程度を表す関数  $f(h_l)$  の積で表される。

$$E_t = f(h_l) PE_t \quad (4)$$

数値計算方法：まず、根の吸水量の総和と蒸散量が等しいと仮定し、(3)(4)式より(5)式を満たす  $h_l$  をニュートン・ラフソン法で決定した。

$$E_t = \int_0^{\infty} S(x, t) dx \quad (5)$$

そして、(1)(2)式を差分法で離散化し(1)(2)(5)式が満たされるまで反復計算により  $h, C, h_l$  を解いた。砂丘砂の  $K, D$  は Mehta et al.(1994,1995)の、小麦の  $f(h_l)$  は矢岡ら(2003)の関数を用いた。

計算条件：上部境界条件は、等温蒸発条件とし空気と土壌表面の相対湿度差から計算した。下部境界条件、初期条件、空気の湿度は実験条件を、可能蒸散速度は対照ポットの測定値 (Fig.1) を与えた。空間刻みは 0.5cm, 時間刻みは 6min とし実験終了時の 27 日目まで計算した。

## 結果と考察

小麦の蒸散速度は塩類集積によって低下し、対照ポットの約 6 割となった (Fig.1)。また、葉の水ポテンシャルは約 -2.0 ~ -2.5MPa となり (Fig.2), ストレス無しの小麦の水ポテンシャル -1.5MPa (矢岡ら 2002) と比べ小さい値となっ

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo  
キーワード：塩類集積, 根の吸水, 土壌 - 植物 - 大気系 (SPAC)

た。葉の水ポテンシャルの低下によって気孔の閉鎖が生じ、蒸散速度が低下したことがわかる。

Fig.3 に塩濃度(塩重さ/乾燥土の重さ)分布変化の実測値と計算値を示す。塩供給開始時には表面に近い上部に塩は集積したが、時間が経過すると上部での集積は停止し深い位置に塩が集積した。この時の根の吸水の計算値を Fig.4 に示す。根の吸水は、初めは根長分布(Fig.5)に対応し、根の多い上部において大きいだが、時間が経過するにつれ上部の吸水は低下し、下部の吸水が増加する傾向がみられた。これらの結果より、根の吸水に伴う塩類集積過程では、塩濃度が低い時は、塩類は、根の多い上部に多く集積するが、塩濃度が上昇すると、土壌水と植物のポテンシャル差が減少するため、上部の吸水は阻害されそこでの塩類集積は停止すること、そして、根の伸張により吸水量が増加する下方で、塩の集積が増加することが明らかになった

引用文献：Mehta et al.(1994,1995)：Soil science.

矢岡ら(2003)：農業土木学会講演要旨集

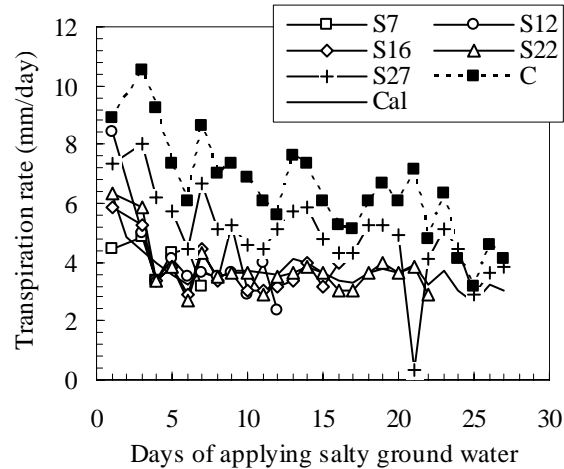


Fig.1 Measured and calculated dairy transpiration rate . S:measured,Numbers:days, C:control,Cal:calculated.

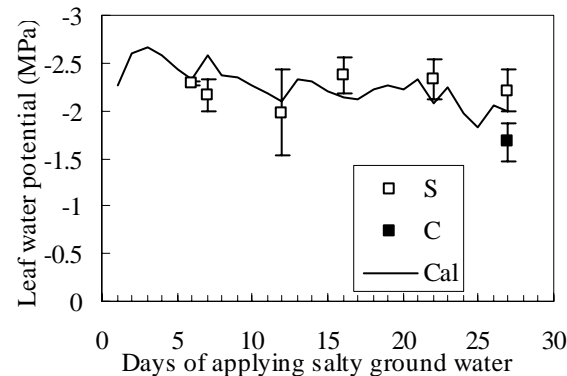


Fig.2 Changes in measured and calculated leaf water potential. S:measured, C:control,Cal:calculated, Error bar:SD

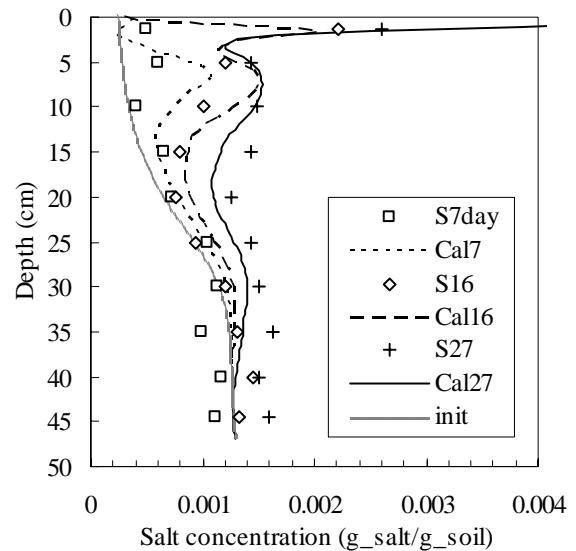


Fig.3 Salt concentration (salt weight/dry soil weight) profiles. S:measured, Cal:calculated, Numbers:days,init:initial. At first, salt concentration increased at upper part due to a higher water uptake rate, but that became constant with time due to an inhibition of water uptake. On the contrary, salt concentration at lower part gradually increased.

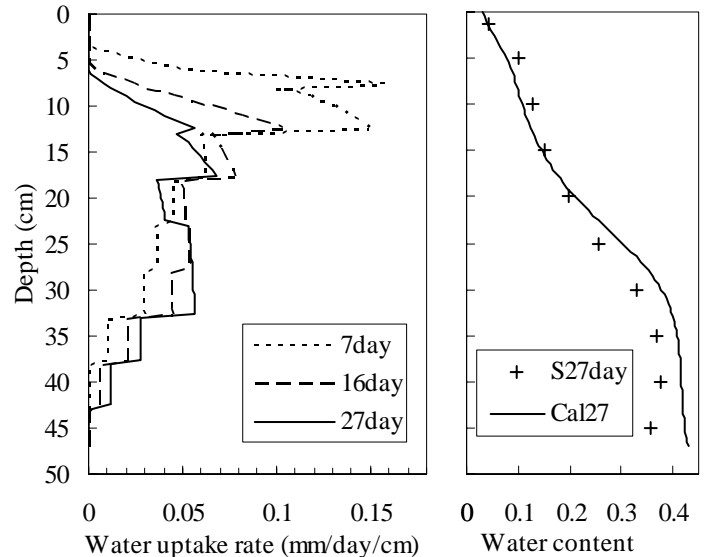


Fig.4 Calculated dairy root water uptake rate per unit depth, and water content profile. Numbers:days. Water uptake rate gradually decreased due to the salt accumulation at upper part, on the contrary, that increased at lower part due to the root growth.

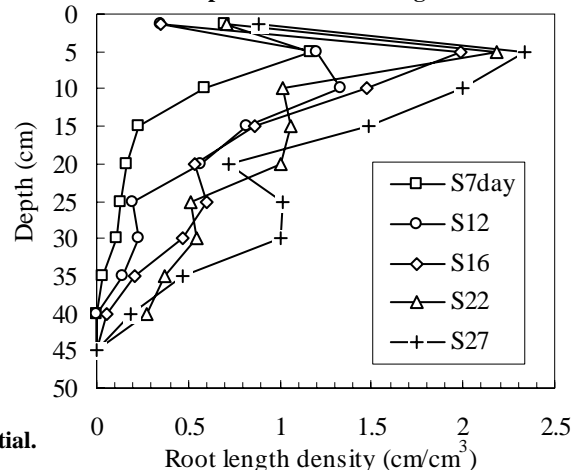


Fig.5 Measured root length density profiles.