

論文の内容の要旨

生物・環境工学専攻
平成 18 年度博士課程 進学

氏 名 西田 和弘

指導教員名 塩沢 昌

論文題目 植物被覆による乾燥地の農地保全に関する研究

1. 序論

乾燥地、半乾燥地の灌漑農地では、根圏への塩類の集積とそれに伴う塩害が生じ問題となっている。このような土地では、灌漑排水設備の導入により塩類集積を防止する必要があるが、これは必ずしも容易では無い。そのため、多くの農地は耕作放棄され、塩類集積がさらに進行し、深刻な土壌劣化が引き起こされている。そこで、塩類集積の防止法として、植物被覆による農地の保全方法が注目されている。しかし、植物の導入がどのように塩類集積に影響を与えるかに関して、科学的に十分な検討はなされていない。私は、土壌表面への高濃度の塩類集積を防ぎ、それに伴う土壌劣化を防止することが、植物による農地保全効果であると考えた。これには、土壌-植物-大気連続体 (SPAC) における水・塩移動に基づいた評価が必要であると考えた。そこで、本研究では、植物被覆による農地保全効果を、SPAC の水・塩移動のメカニズムに基づき評価すること、を目的とした。

2. 小麦を用いた蒸散・根の吸水に伴う塩類集積過程の評価

二章では、地下水位一定のポット実験と、SPAC モデルによる数値解析により蒸散・根の吸水に伴う塩類集積過程の比較を行った。

実験は自然光温室(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。以下に数値計算の基礎方程式を示す。

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。塩移動は、移流分散式で表される。

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

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

θ : 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. 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。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。

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

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

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

R_s, R_p : 土壌と植物の抵抗.

数値計算方法は、(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。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, θ, D 、小麦の $f(h_l)$ は別途測定したものをを用いた。初期・境界条件は実験と同様に与えた。空間刻み 0.5cm、時間刻み 6min とし実験終了時(27日目)まで計算した。

Fig.1 に塩分量・塩濃度分布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。根の吸水の計算値を Fig.2(a)に示す。根の吸水は、初めは根長分布(Fig.2.b)に対応し、根の多い上部において大きいが、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、土壤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。

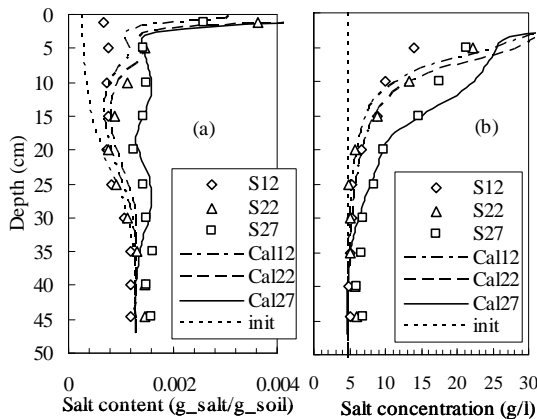


Fig.1 (a) Salt content, (b) Salt concentration profiles

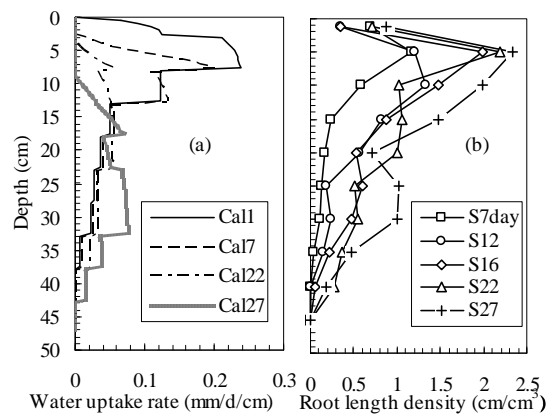


Fig.2 (a) Root water uptake rate, (b) Root density

3. 芝の蒸散と裸地面蒸発に伴う塩類集積過程の比較

3章では、植物の蒸散と裸地面蒸発に伴う土壌内の塩類集積過程の違いを評価することを目的とし、浅い地下水水位を持つ地下水水位一定のポット実験を行った。

植物には、土壌表面を葉で被覆するのに適していると考えられる、密集して生育する芝、ひめのと、好塩性のあも青の二品種を用いた。実験は、自然光の温室で行った。実験手順は、二章の実験とほぼ同様に行い、塩水供給を行う塩水供給ポットを、三種類×3ポットずつ、水道水供給を行う対照ポットを同様に三種類×1ポットずつ用意した。地下水水位は30cmで一定とし塩水は7.5g/lのNaCl溶液を与えた。塩水供給ポットは、塩水供給後27, 64日後に解体し、サンプリングを行った。二章同様に、蒸発散量、葉の水ポテンシャル、サンプリング時に、土壌水の体積含水率分布、塩分量分布、を測定した。

裸地ポットの塩濃度は、土壌の表面において上昇し、約120g/lと非常に高い値となった。一方、芝ポットの塩濃度では、根の吸水によって塩類集積が生じるため、裸地ポットよりも下方において塩濃度上昇が見られた。逆に、表面では裸地ポットの二分の一から三分の一の低い濃度を示した。この結果より、裸地では土壌表面の土壌水の濃度が高濃度に濃縮されること、植生下では、根の周囲に塩が集積し、表面の濃度は裸地よりも低濃度になることが明らかになった。

4. SPACモデルを用いたシミュレーションによる塩類集積過程の比較

四章では、SPACモデルにより、実験を行うことが困難な、様々な地下水位、土性、植物被覆の有無の違い、による蒸発散量、塩類集積過程、塩濃度分布を比較し、これまでの結果の一般化を行った。

シミュレーションには2章で用いたモデルを用いた。基礎方程式は、土壌中の水移動に関しては、Rihcards式、塩移動について、移流分散式、根の吸水モデルは、SPACモデルを用い、蒸散速度は、可能蒸散速度×蒸散比、裸地面蒸発速度は等温蒸発とした。植物には、二章で用いた小麦の特性を、土壌には、庄内砂丘砂と黒ボク土の特性を与え、大気の状態は、可能蒸発散速度を6mm/day, 相対湿度を30%と与えた。

Fig.3に、地下水・初期状態の塩濃度を2g/l, 地下水位を100cmにおける、塩類集積時の裸地と植物被覆下の土壌水の塩濃度分布変化を示す。裸地条件では、塩濃度は表面でのみ上昇した。表面の濃度は、40日目には飽和濃度(360g/l)に達し、それ以降は、表面に塩が析出した。一方、植生下では、塩濃度は根圏全体で上昇した。表面の塩濃度は700日目においても27g/lと、裸地よりも1オーダー低い値に維持された。この結果より、裸地条件下では、土壌水の塩濃度が飽和濃度になり、塩が析出したとしても塩類集積は停止せず、また塩は蒸発の生じる表面にほぼ全てが集積するため、表面には高濃度の塩類集積が生じるが、植物被覆下では、吸水によって下がりうる土壌水の水ポテンシャルが、必ず植物の水ポテンシャルよりも高い値になるため、植物が生きている限り、植物被覆下では裸地ほどの高濃度の塩類集積は生じないことが明らかになった。

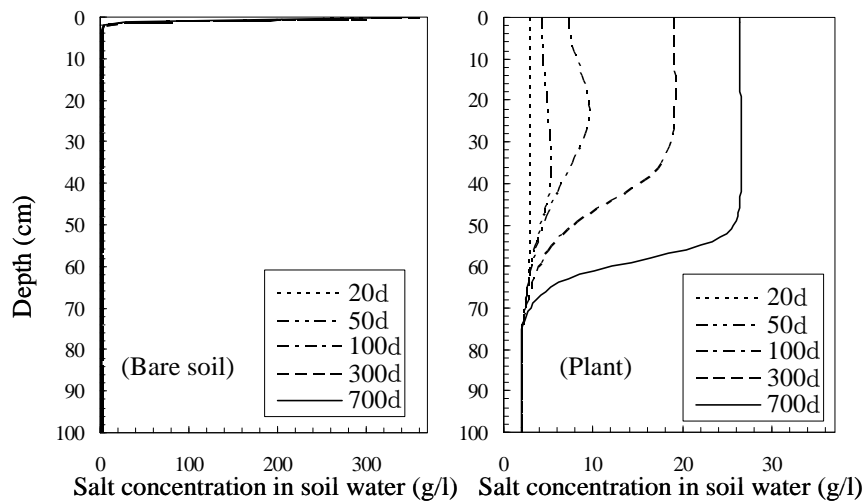


Fig.3 (a) Salt content, (b) Salt concentration, profiles

5. 植物被覆による農地保全のメカニズムの考察

5章では、植物被覆による農地保全効果のメカニズムを考察し本研究の成果をまとめる。裸地条件下では、土壌表面に高濃度の塩類集積が生じるため、ソーダ質化や土粒子の分散などの土壌劣化が起こる。しかしながら、植物被覆下では、表面の塩濃度上昇が遅くなると共に、表面の濃度が裸地よりも低濃度に保たれるため、土壌の劣化が防止される。また、裸地条件下では、降雨があると、表面の透水性が低下し、浸透能が大きく低下する。浸透能の低下は、降雨量が蒸発散量より多い条件においても、上向きの水移動を発生させ、塩類集積を引き起こすため、局所的な塩類集積を引き起こすと考えられる。一方、植物は、こうした、高濃度の塩類集積による土壌の透水性の低下を防ぐと共に、植物の根の効果により透水性を高めるため、浸透能の低下に伴う塩類集積の発生を防ぐと考えられる。

以上より、植物被覆による農地保全効果は、土壌表面の高濃度の塩類集積とそれに伴う土壌劣化を防止すること、浸透能の低下を防止し、それに伴う塩類集積を防止することにあると結論づける。このメカニズムにより植物被覆は乾燥地の土壌を守る。従って、塩類集積により耕作放棄された農地では、収量を期待出来なくとも植物を導入することが良い。