

微生物活性が水田土中の表面酸化層と還元の進行に与える影響 Influence of microbial activity on the surface oxide layer and the progress of the reduction in paddy soil

櫻井美帆¹・田崎小春²・渡辺晋生³・取出伸夫³・徳本家康¹

¹佐賀大学農学部・²鹿児島大学大学院連合農学研究科・³三重大学大学院生物資源学研究科

要旨(Abstract):

水田土中の表面酸化層と還元層への土層分化に着目し、微生物活性の異なる条件で湛水した土カラムにおける溶存酸素(DO)、pH、酸化還元電位(Eh)の微視的な鉛直分布の計測と溶液中のイオン濃度分析を行った。微生物活性の高い条件では、表面酸化層が薄くなり還元層の還元が進行した。また、流出液のCa²⁺濃度は、還元されたMn²⁺とFe²⁺の交換吸着により増加した。

キーワード: 表面酸化層, 溶存酸素, 酸化還元反応, イオン交換

Key words: Surface oxide layer, Dissolved oxygen, Oxidation-reduction reaction, Ion exchange

1.はじめに

水田土中では田面水中からの溶存酸素(DO)供給と微生物による有機物分解過程のDO消費により表面酸化層と還元層への土層分化が生じる。還元層は嫌氣的有機物分解によりマンガン、鉄の還元が進行し、可溶性の陽イオンが交換吸着する。また、隣接する表面酸化層と還元層は相互に影響を及ぼす。本研究では、水田土中の物質動態解明に向けて、水分浸透速度および有機物分解速度に関わる微生物活性が各種還元物質の移動に与える影響を明らかにするため、水分浸透条件下の湛水土カラムにおける水田土中のDO、pH、Ehの微視的な鉛直分布の計測と流出水のイオン濃度分析を行った。

2.実験方法

供試土には、佐賀大学西圃場内の水田圃場から採土し、風乾後2 mm篩を通過した攪乱土を用いた。直径14.9 cm、高さ10 cmのカラム底面に鳥取砂丘砂を1 cm充填し、その上に供試土を高さ5 cm、乾燥密度0.95 Mg m⁻³となるように均一に充填した(Fig.1)。その後、カラム下端から脱イオン水を供給して水分飽和した後、土表面に対してマリ奥特管を用いて1.2 cm程度の湛水、カラム下端には-5cmの負圧を与え、飽和浸透を与えた。

浸透溶液は、土中の微生物活性を高める0.3 mol L⁻¹のグルコース溶液(GS)と脱イオン水(DW)の2条件とした。土表面3 cmのDO、pH、Ehの計測には、ニードル型DO、pH、Ehセンサー(Unisense社製)を用いた。センサーの位置を上下方向に0.2 mm s⁻¹の速度で変化させ、湛水した土中のDO、pH、Ehの鉛直分布を計測した。また、流出水の重量測定より排水フラックスを測定した。流出水を定期的に採取し、イオンクロマトグラフ(Thermo Fisher Scientific社製)を用いて陽イオン(Ca²⁺, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺)および陰イオン(SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻)濃度を分析した。

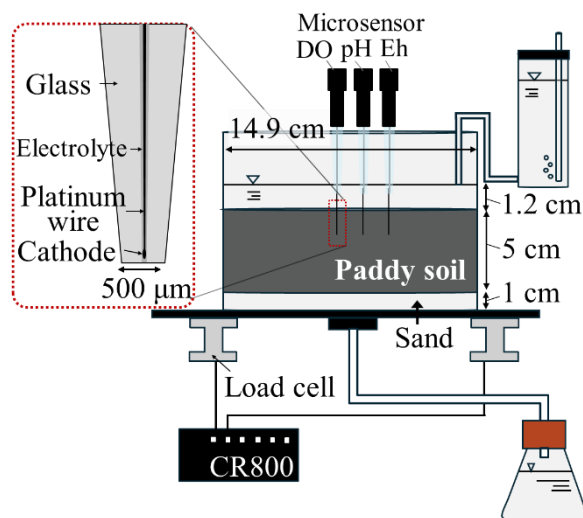


Fig. 1 湛水土カラム実験の概略図

3. 結果と考察

水分浸透開始から 6 日間の平均水分浸透速度は、GS では 0.73 cm d^{-1} 、DW では 2.09 cm d^{-1} となった。また、両条件とも浸透速度が経時的に減少する傾向にあった。GS では、実験開始 2 日目からガス発生が確認された。土中に停滞したガスは、水分浸透を妨げ、ニードル型センサーの測定を不安定にしたと考えられた。GS の DO 濃度は DW より低く、表面酸化層が薄くなった (Fig. 2(a), (d))。グルコースを与えたことにより、有機物の分解速度が増加して酸素の消費速度が増えたことが原因と考えられる。土中水 pH は GS と DW に明確な違いは見られず、どちらの条件も 6.5~6.8 の範囲で変動し、pH6.5 程度まで低下した後、微増する傾向が見られた (Fig. 2(b), (f))。Eh は GS の方が速やかに低下し、5 日には -250 mV 程度まで還元が進行した (Fig. 2(c), (g))。GS の条件では、水分浸透速度が小さく DO の供給が小さいことに加え、微生物活性の高さから嫌気状態での有

機物分解速度が早いことため還元が進行したと考えられる。なお、Eh 分布はガス発生による影響が強く、深さ方向のばらつきが大きい。

両条件ともにカラム下端からの流出液中のカルシウムイオン (Ca^{2+}) と硫酸イオン (SO_4^{2-}) 濃度は増加した (Fig. 3)。 Ca^{2+} 濃度は GS の方が大きく、 SO_4^{2-} 濃度は DW の方が大きかった。 O_2 を消費した後の嫌氣的有機物分解では、嫌気呼吸の電子受容体を、硝酸、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、硫酸 (SO_4^{2-})、炭酸 (CO_3^{2-}) の順に変える逐次還元反応が進行する。還元が進行した GS では、還元された Mn^{2+} と Fe^{2+} が Ca^{2+} と交換吸着するため流出液の Ca^{2+} 濃度が増加したと考えられる。また、 SO_4^{2-} の消費が SO_4^{2-} 濃度の低下をもたらしたと考えられる。今後、還元が進行に伴うマンガンと鉄のイオン交換と形態変化を含む動態について、実験とモデルの両面からの検討が必要である。

【謝辞】本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 (B)23K27019) によって行われました。ここに感謝申し上げます。

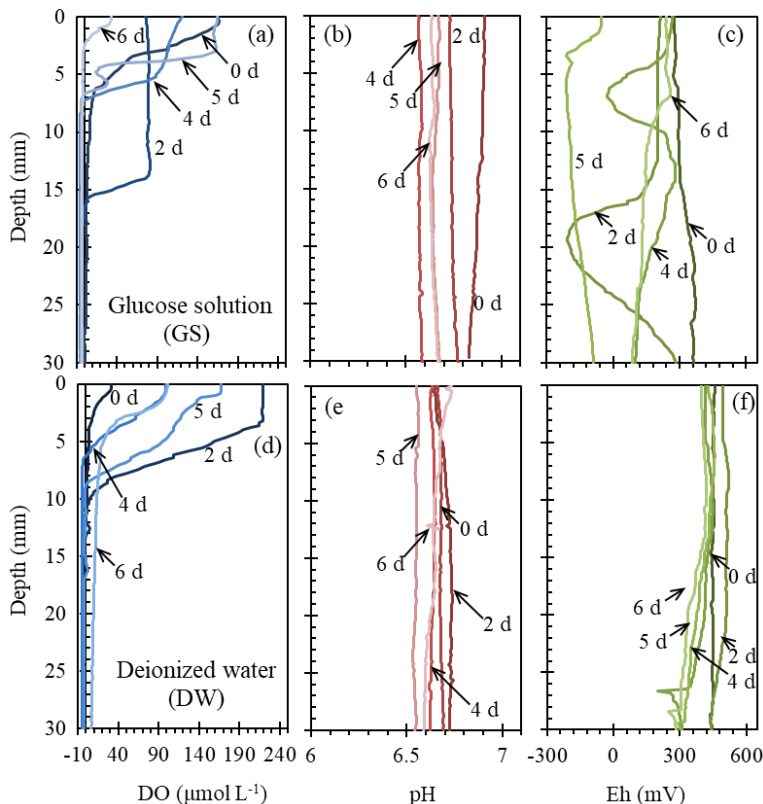


Fig.2 水分浸透開始 6 日間のカラム表層 30 mm の溶存酸素濃度 (DO), pH, 酸化還元電位 (Eh) の鉛直分布. 上段 ((a)~(c)) は GS, 下段 ((d)~(f)) は DW の分布を示す.

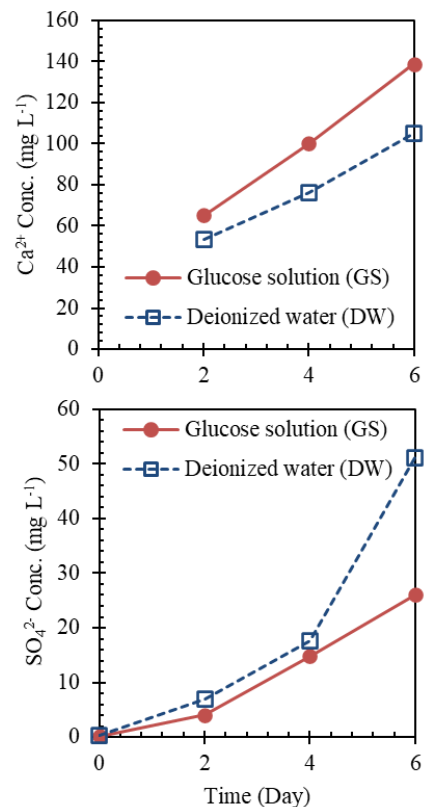


Fig.3 水分浸透開始 6 日間のカラム下端流出液中の Ca^{2+} および SO_4^{2-} 濃度