

湛水・落水処理および浸透速度が土壌中のヒ素およびカドミウムの可溶化・不溶化に及ぼす影響

Arsenic and cadmium solubilization in soil as affected by alternate submergence/drainage and water percolation rates.

中村 乾^{1*}, 志水康裕¹, 加藤英孝¹, 鈴木克拓², 西村 拓³

Ken Nakamura^{1*}, Yasuhiro Shimizu¹, Hidetaka Katou¹, Katsuhiko Suzuki², Taku Nishimura³

¹農業環境技術研究所, ²中央農業総合研究センター, ³東京大学

¹Natl. Inst. Agro-Environ. Sci., ²Natl. Agric. Res. Cent., ³Univ. of Tokyo

水田土壌中のヒ素 (As) は、還元状態の発達により酸化数5のヒ酸が酸化数3の亜ヒ酸に還元されるに伴って、溶液中濃度が高まることが知られている。一方、カドミウム (Cd) は還元的条件下で不溶化し、落水により土壌が酸化になると可溶化しやすい。これらの元素の水稲による吸収を抑制するには、土壌溶液中のヒ素およびカドミウム濃度をできる限り低く保つことが望ましい。ここでは、土壌カラム浸透実験により、湛水・落水処理および浸透速度などの水管理条件が土壌の酸化還元状態とヒ素およびカドミウムの土壌溶液中濃度に与える影響を明らかにすることを目的とした。

(方法) 細粒灰色低地土水田土壌作土 (1 M HCl抽出性As 7.9 mg/kg, 0.1 M HCl抽出性Cd 0.22 mg/kg) をアクリル製円筒カラム (内径20 cm) に15 cmの厚さに充填し、湛水・落水処理 (慣行的水管理, 長期湛水および間断灌漑) が異なる浸透実験 (湛水深5 cm, 浸透溶液は0.5 mM CaCl₂) を行った。深さ2.5 cm, 7.5 cm, 12.5 cmにおいて土壌の酸化還元電位 (Eh), 気相率 (TDRで測定した体積含水率から推定), 溶存酸素濃度 (酸素濃度センサーにより測定), 土壌溶液中の形態別ヒ素濃度, 二価鉄濃度およびカドミウム濃度を経時的に測定した。慣行的水管理では湛水32日間→落水17日間→湛水32日間→落水19日間, 長期湛水では湛水50日間→落水20日間, 間断灌漑では湛水35日間→落水21日間のあと湛水5日間 (湛水深1 cm)・落水5日間の繰返しとした。浸透速度は長期湛水で1.6 (±0.6) mm/d, 慣行的水管理の湛水処理1回目で7.8 (±3.3) mm/d, 2回目で14.5 (±0.9) mm/d, および間断灌漑の湛水処理1回目で11.7 (±0.6) mm/dとした。土壌溶液の採取は3~4日ごとに行い, 各深さ2か所から一回につき7~8 mLを採取した。

(結果) いずれの湛水・落水処理においても, 土壌溶液中の全ヒ素濃度は湛水による還元状態の発達とともに上昇し, 最大濃度は長期湛水, 慣行的水管理および間断灌漑カラムでそれぞれ522 μg/L, 340 μg/Lおよび264 μg/Lに達した。湛水によるヒ素可溶化はどの深さでもほぼ同時期 (湛水約5日後, Eh≒100 mV) に始まり, 全ヒ素濃度には必ずしも深さによる明瞭な違いは見られなかった。また, 溶存ヒ素はほとんどが三価のヒ素であった。

土壌溶液中の二価鉄濃度には深さおよび浸透速度の影響が明瞭に見られ, 慣行的水管理ではカラム下部ほど濃度が高く, 深さ12.5 cmでは湛水20日後に851 mg/Lに達した。二価鉄濃度はその後どの深さでも減少に転じたが, 溶存ヒ素濃度は上昇を続けた。湛水期間中の浸透速度が大きかった間断灌漑カラムでは, 慣行的水管理カラムに比べ, 溶液中の二価鉄濃度は約1/4程度に過ぎなかった。湛水後日数が同じ場合, 間断灌漑カラムの溶存ヒ素濃度は長期湛水・慣行的水管理両カラムの約2/3であった。高めの浸透速度は溶存ヒ素濃度を抑制する効果があることが示唆された。

落水により土壌表層から空気が侵入すると, Ehの上昇に伴い, 各深さとも土壌溶液中の全ヒ素

濃度が低下し、カドミウム濃度が上昇した。いずれの深さでも、溶液中カドミウム濃度の上昇はヒ素濃度が低下した後にみられた。ただし、落水による土壌の酸化はカラム上部から進み、落水後もカラム下部では土壌水分の減少（気相率の増加）が遅れる傾向があったため、深さ12.5 cmでは落水後も約7～10日間は高い全ヒ素濃度が維持された。慣行的水管理カラムでは、落水5～9日後は深さ2.5 cmは酸化的、12.5 cmでは還元的な状態が生じ、深さ2.5 cmでカドミウム濃度が10～19 $\mu\text{g/L}$ に上昇する一方で、12.5 cmで全ヒ素濃度が287 $\mu\text{g/L}$ に維持され、作土内でヒ素とカドミウムが同時に溶存した状態になった。この状態は、落水開始による土壌の乾燥が緩慢で、作土下部のEh上昇が遅れる（例えば10日程度かかる）場合に典型的に見られた。落水後5日程度で作土下部まで乾燥が速やかに進んだ間断灌漑カラムでは、溶存ヒ素とカドミウムの共存は必ずしも明瞭ではなかった。

キーワード:カドミウム,水田土壌,ヒ素,水管理

Keywords: Arsenic, Cadmium, Irrigation, Paddy