

有機堆肥の投与が砂質土壌中の重金属可給性に及ぼす影響 Effects of organic compost on phytoavailability of heavy metals in sandy soil

○金森拓也*・堀野治彦**・櫻井伸治**・中桐貴生**

Kanamori Takuya, Horino Haruhiko, Sakurai Shinji, Nakagiri Takao

1. はじめに 重金属汚染が広範囲に生じている地域では、経済的・時間的な側面から土壌浄化が困難である場合が多く、汚染土壌においても安全な作物生産を可能にする土壌・水管理体系の構築が肝要となる。そこで有機堆肥を用いた重金属の不動化処理が検討されているが、汚染状態や重金属種間の相互作用を考慮した事例は少ない。本研究では、重金属の作物への可給性に注目し、様々な汚染状況下における重金属移行特性の評価および有機堆肥の性状が重金属不動化に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 試験方法 (1) **バッチ試験** 単一または複数の重金属を添加した土壌バッチ試験を行った。供試土壌は砂丘砂で、銅 (Cu)、カドミウム (Cd)、鉛 (Pb) を対象とした。これら重金属は硝酸塩の水溶液として土壌に添加し、添加濃度は 100 mg kgDW⁻¹ または 50 mg kgDW⁻¹ とした。なお、このとき土壌水分状態は pF1.5 に調整している。一方、有機堆肥は牛ふん (以下、CM) およびメタン発酵消化液 (以下、LM) を用い、重量ベースで 10% の割合で土壌に投与した。砂丘砂および CM は 2mm ふるいにかけて後、風乾させ供試した。また、有機物の分解性を考慮し、各条件において重金属を添加後 1, 7, 28, 60 日の状態分析を行った。実験系は実際の現場を模擬するために側面をアルミ箔で遮光した状態で保管した。対照試験 (以下、Control) として有機物無投与の条件でも同様の試験を行った。

(2) **分析項目** 土壌試料の分析は Tessier らの逐次抽出法に準じ、図 1 のように重金属を化学形態別に分画して、ICP 発光分析装置で各形態の重金属濃度を測定した。すなわち、本研究では植物の吸収に大きく関与する水溶態、イオン交換態 (以下、交換態) および環境変化により容易に可溶化しうる炭酸塩態の 3 形態を可給態として重点的に取り扱う。また、重金属の不動化要因を検討するために、土壌の化学的特性である pH ならびに有機物含量 (強熱減量) も測定した。

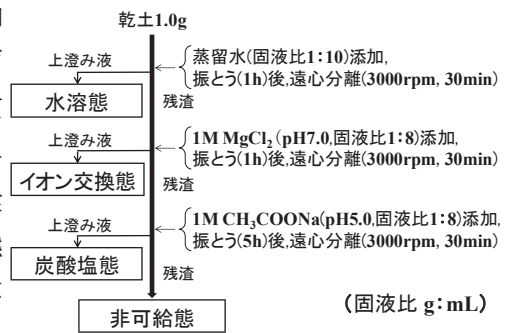


図 1 逐次抽出法の操作フロー

3. 結果および考察 (1) 各種有機堆肥の不動化効果

Cu の可給態濃度変化を図 2 に示す。Control に対して CM では 88~91% の減少、LM では 2~29% の増加が見られる。同様に、Cd, Pb では CM でそれぞれ 16~25%, 46~68% の減少、LM で 0~16% の減少、-11~+6% の増減が見られ、Cu 以外の重金属種においても LM よりも CM の不動化効果が高く、CM 投与による当該効果の大小は Cu > Pb > Cd の順であった。

ここで表 1 に示す各試験土壌の化学的特性に着目すると、まず pH に関して、Control では 5~6 程度であるのに対し、CM, LM とともに 7~8 程度と上昇している。一方、有機物含量

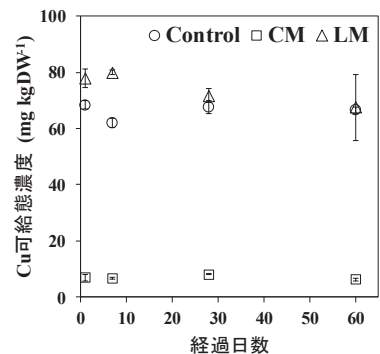


図 2 Cu 単一試験における可給態濃度 エラーバーは標準偏差を表す。(n=3)

*農研機構農村工学研究部門施設保全ユニット Division of Facilities and Geotechnical Engineering, Institute for Rural Engineering, NARO

**大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University

キーワード : 重金属, 可給性, 不動化, 有機物利用

は、LM で Control を若干上回る程度であるのに対し、CM では Control の約 7 倍と大きい。なお、この傾向は重金属種に依らず同様であった。このことから、CM での可給態濃度の減少には、有機物含量の増加が影響していると考えられる。

異なる汚染濃度に対しては、CM における可給態濃度を比較検証した (表 2)。結果として、汚染濃度と可給態濃度にはほぼ比例的な関係が見られ、CM の有する重金属の不動化効果は汚染濃度にも依存することが示された。

以上より、CM の投与は重金属の不動化に有効であることが実証されたが、その程度は重金属種ごとに異なることがわかった。また、高濃度の汚染状況下では量的に十分な不動化が見込めない可能性も高く、今後は補助剤などの併用も検討しなければならない。

(2) 化学形態を考慮した移行性評価

重金属添加 7 日後を例として化学形態別分布を図 3 に示す。まず、単一試験 (図 3 (a)) の Control に注目すると、同分布は重金属種で異なっており、Cd では水溶態と交換態で可給態の 9 割以上を占める。可給態の中でも化学形態ごとに移行特性は異なり、水溶態、交換態、炭酸塩態の順に作物への移行性は小さくなることから、Cd は Cu や Pb と比べ移行しやすいといえる。CM では Control と比較して可給態総量が減少したことに加え、可給態の中でも移行性の大きい「水溶態+交換態」も減少しており、形態別に見ても CM が移行抑制に寄与することが示された。また、LM では可給態総量の見地からは不動化効果は小さかったものの、「水溶態+交換態」に着目すると Control よりも減少しており、移行性の低下が窺われた。

Cd に対する他種混合試験 (図 3 (b)) では、Control において他の重金属共存下で、最も移行しやすい水溶態の増加が確認され、特に 3 種混合でその傾向は顕著である。この現象は Cd 以外に Cu でも確認されたが、Pb では見られなかった。一方、CM では Control とは異なり、重金属共存による移行性の顕著な増大は見られなかった。

また、pH と「水溶態+交換態」の関係を整理すると、図 4 のように pH 上昇に伴い減少する傾向が見られ、その決定係数は Cu, Cd, Pb でそれぞれ 0.76, 0.73, 0.61 であった。

以上のことから、化学形態による分析からは、一部で重金属間の相互作用が確認され、さらに可給態における化学形態別分布の決定には pH が大きく関与することが示された。

4. おわりに 様々な汚染状況下でのバッチ試験から、牛ふん堆肥の投与が重金属の不動化に有効であることが示されたが、Cd の不動化効果は小さく、さらには重金属の共存状態によって移行性が変化する可能性も示唆された。したがって、実際の汚染サイトに応用する際には、投与する有機物の性状だけでなく、汚染レベルや共存状態も精査する必要がある。

表 1 Cu 単一試験における強熱減量および pH

	有機物含量 (%)	pH			
		1日目	7日目	28日目	60日目
Control	1.08	5.6	5.6	5.9	6.1
CM	7.29	7.2	7.2	7.3	7.2
LM	1.24	6.9	7.3	7.8	7.8

表 2 汚染濃度別の可給態濃度

汚染濃度 (mg kgDW ⁻¹)	可給態濃度 (mg kgDW ⁻¹)		
	Cu	Cd	Pb
50	6.6	29.1	13.2
100	7.3	61.4	29.4

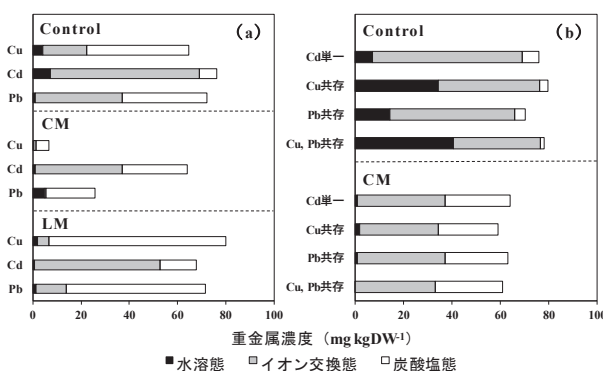


図 3 各試験における化学形態別分布

(a) 単一試験, (b) Cd を含む複数種混合試験

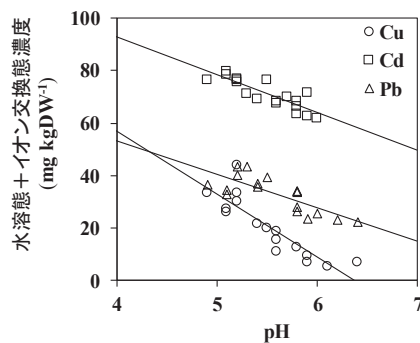


図 4 pH と「水溶態+交換態」の関係
添加濃度 100 mg kgDW⁻¹, Control