



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コンポスト型トイレにおける抗生物質の挙動と糞便の分解反応に与える影響
Author(s)	柿本, 貴志; 大澤, 輝真; 船水, 尚行
Description	第13回衛生工学シンポジウム (平成17年11月17日 (木) -18日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 1 上下水道管理 . 1-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 13, 59-62
Issue Date	2005-11-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1331
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-7_p59-62.pdf



1-7 コンポスト型トイレにおける抗生物質の挙動と糞便の分解反応に与える影響

○柿本貴志, 大澤輝真, 船水尚行(北海道大学)

1. はじめに

排水分離分散型処理システム¹⁾において、家庭排水は水質に応じて分離・処理が行なわれる。このうちし尿はおがくずを担体としたコンポスト型トイレによって処理され、安定化されたコンポストを農地還元することによりし尿中の栄養塩を再利用する。し尿には栄養塩がある一方、ホルモン類、医薬品やその代謝産物が含まれる。これらは反応槽内に加わるが、コンポスト化反応過程における挙動に関する報告はされておらず、コンポストの土壌還元の際に医薬品による二次的な環境汚染が生じる可能性を検討するためにも、コンポスト化反応におけるホルモン類や医薬品類の挙動を明らかにすることは重要である。

抗生物質は生体内に吸収されると一部は不活化されるものの、抗菌活性を有する形態のままし尿を経て排泄される割合が高く²⁾また投与量が多いため³⁾、反応槽内の微生物に影響を及ぼし、し尿のコンポスト化反応に影響を与える可能性がある。

本研究では、し尿中に排泄される抗生物質がし尿のコンポスト化反応に与える影響を検討するために、抗生物質のなかで頻繁に使用されていると考えられる^{4,5)}Amoxicillinについて、抗生物質の初期濃度とその濃度における糞の分解可能量の関係を実験的に検討し、また糞の分解モデルを用いて抗生物質のコンポスト化反応へ与える影響の定性的評価を試みた。

2. 研究方法

2.1 反応装置とモニタリングシステム

実験は回分式反応装置を用いて行ない、反応槽は恒温水槽内(60°C)に浸漬した。供給空気と排気中の酸素濃度、温度、圧力を測定し酸素消費速度(OUR)を求めた。システムの空気流量は排気流量の調節を行ない定めた。

2.2 測定項目と測定方法

2.1 に示した測定項目以外に本研究で測定した項目は Amoxicillin 濃度、おがくず内の生菌数である。おがくず中の Amoxicillin 濃度はおがくずから Amoxicillin を溶媒抽出し、OASIS HLB を用いてクリーンアップした後に HPLC で測定した。おがくず内の生菌数は Live/Dead BacLight Bacterial Viability Kit (Molecular Probe 社)を用いて測定した。

2.3 糞処理機能へ対する影響評価

微生物担体であるおがくずは稼動中のトイレから採取したものを使用した。糞便とおがくずの乾燥重量比が 15%になるように人糞とおがくずを混合した後、抗生物質濃度が 10, 100, 500, 1000 $\mu\text{g/g-dry}$ になるように抗生物質量を溶解させた水を用いて糞・おがくず混合物の含水率が 60%になるように調整した。Amoxicillinの投与方法³⁾や薬物代謝・排泄に関する情報^{2,6)}より、現在用いられている 1 人用のトイレに 1 人 1 日分の抗生物質排泄量が入ったとき、濃度は約 150 $\mu\text{g/g-dry}$ となる。

2.4 シミュレーション

抗生物質によるコンポスト化反応の各プロセスへの影響は Lopez らの開発した糞のコンポスト化反応モデル⁷⁾を用いて検討した。抗生物質の添加により減少すると考えられる初期の生菌数 X_H を除いて定数の値を変更せず、 X_H はコントロール X_H の値に LIVE/DEAD を用いた生菌数の存在比率を乗じたものとした。このようにして設定した X_H では後述のように実測データの説明ができなかったため、続いて微生物の増殖や基質の消費などの活性に関係する最大増殖速度(μ_H)や加水分解速度(k_H)を試行錯誤的に変更し、抗生物質の添加がコンポスト化反応に与える影響を定性的に解釈した。

3. 結果と考察

3.1 糞分解反応へ及ぼす抗生物質の影響

抗生物質の初期濃度レベルが糞の分解に及ぼす影響を調べるために、OURの経時変化を測定した(図1)。図より抗生物質が加わることによって、人糞分解開始までにかかる時間の遅れ、人糞最大分解速度の減少、人糞の分解に要す時間の長期化が観察された。

抗生物質の影響は本研究における抗生物質の検討範囲のうち一番低い濃度である $10 \mu\text{g/g-dry}$ の系列にも観察された。この濃度は現在使用されている 10 人用サイズのトイレに 1 人 1 日分の抗生物質排泄量が入ったレベルに相当し、おがくずを多く加えることによる希釈効果で活性の低下を避けるためには、し尿処理に要する反応槽容量の 10 倍以上の規模が必要になることを意味する。希釈によって抗菌作用の低下は現実的には難しく、抗生物質は日常的に摂取し続ける種類の薬ではないため、低下した糞の処理活性を迅速に回復させる方法を検討することが重要である。

反応槽内に添加した抗生物質の濃度は図2(初期濃度 $700 \mu\text{g/g-dry}$)に示す通り添加後に急激に減少し、反応開始後 30 分程度で定量下限値($10 \mu\text{g/g-dry}$)に達した。Amoxicillin濃度の減少はおがくず中に存在するリン酸や OH^- 、アンモニアによる分解が主要な要因と考えられ⁸⁾、Amoxicillinは迅速に微生物に対して影響を及ぼさないレベルまで低減していたと推定される。よってコントロールと比べて抗生物質を添加した系列の呼吸活性が低下しているのは、Amoxicillinの残留によって微生物の再増殖が阻害されているのではなく、初期生菌数の減少など、他の要因によると考えられた。抗生物質を投与したおがくず中の細菌数を計測した(図3)。コントロールの細菌数に対する各サンプルの細菌数の割合は抗生物質の初期濃度が高まるにつれて減少していく傾向が確認できた。また明確なOURのピークが観察されなかった $1000 \mu\text{g/g-dry}$ の場合でも生菌の存在は確認された。

図4に糞の分解に消費された酸素量の相対値を示す。抗生物質を添加しない系と比べて、

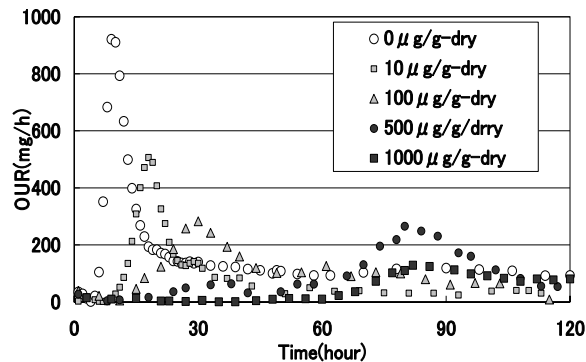


図1 酸素消費速度の経時変化

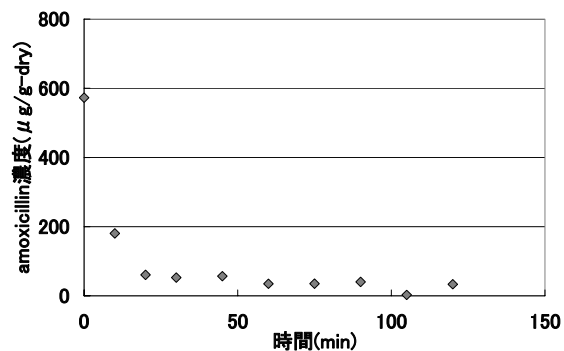


図2 抗生物質濃度の経時変化

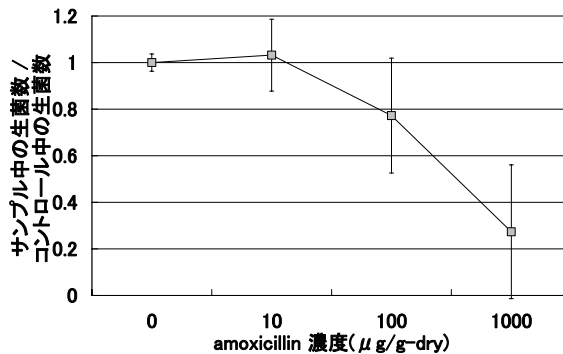


図3 生菌数の存在割合

抗生物質を多く加えたものほど酸素消費量が減少し、本研究の検討範囲では最大で本来処理可能な糞⁹⁾の約 80%が分解せずに残留することが分かる。1 人用のトイレに 1 人 1 日の抗生物質排泄量に加わった場合に相当するレベルでは、本来分解可能な量の約 60%が分解されず残留した。

3.3 シミュレーションによる検討

抗生物質の添加が糞のコンポスト化反応に対して与えた影響をLopezらにより開発されたし尿の分解反応モデル⁷⁾を用いて検討した。

本モデルには抗生物質に関する反応が組み込まれていないがAmoxicillinの濃度を測定した結果、抗菌作用が長期間に渡って残留するとは考えにくいと判断されたため、抗生物質の抗菌作用は残留せず反応開始直後に消失し、抗生物質の影響は初期の生菌数(X_H)に現れるとして検討を始めた。 X_H の値はコントロールの X_H の値に図3の相対値を乗じて得られたものとした。計算の結果を図5に示す。 X_H をLIVE/DEADの測定結果に応じて変更しても、酸素消費速度の最大値が現れる時刻がコントロールと比べて大きく遅れることはなく、OURの経時変化を再現できなかつた。つまり抗生物質を添加した影響は生菌数実測データのみでは説明ができなかつた。

抗生物質の影響は生菌数の実測データからは説明がつかないため、 X_H の値を更に小さく変更してみた。その結果、糞の分解開始時刻や最大分解速度が得られる時刻が遅れるという結果が得られた。また X_H を小さくすると糞の最大分解速度は少し低下するという結果が得られたが、更に X_H を小さく変更しても糞の最大分解速度の更なる低下やOUR曲線の勾配の変化は起こらないという結果が得られた。ゆえに X_H の値の変更をすることにより糞の分解開始時刻や最大分解速度が得られる時刻の遅れは初期生菌数の減少の影響を受けているという説明が可能であるが、OUR曲線のピーク値や勾配の減少という現象を説明することはできず、生菌数の他に活性にも変化があったと考えられる。続いて、微生物の基質の利用や増殖の速度の活性に関係する加水分解速度定数(k_H)、最大比増殖速度(μ_H)の値を変更し計算を行なった。その結果、糞分解量の総和の減少を説明できていないため実測値と完全に適合することはないものの、表1に示したパラメータを用いて計算を行なうことにより、図6に示した通りOUR曲線の概略を描くことが可能であった。これより、モデルを用いた計算により抗生物質によって糞・おがくず混合物中の生菌数の減少に加え、生存している細菌も加水分解速度や増殖速度のような活性の低下が引き起こされていることが推

定された。

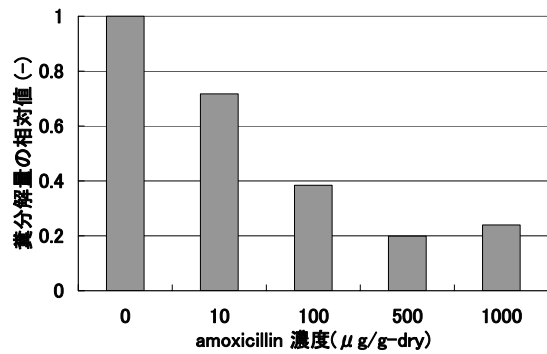


図4 分解された糞の量の比較

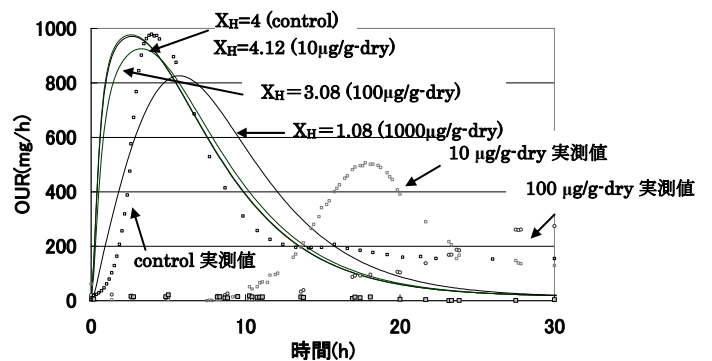


図5 実測 X_H を用いた計算値と実測値

表1 シミュレーションに用いた値

抗生物質濃度 ($\mu\text{g/g-dry}$)	X_H	k_H	μ_H
0	4	21.5	90
10	4.12	9.0	3.5
100	3.08	5.0	2.5
1000	1.08	2.5	1.5

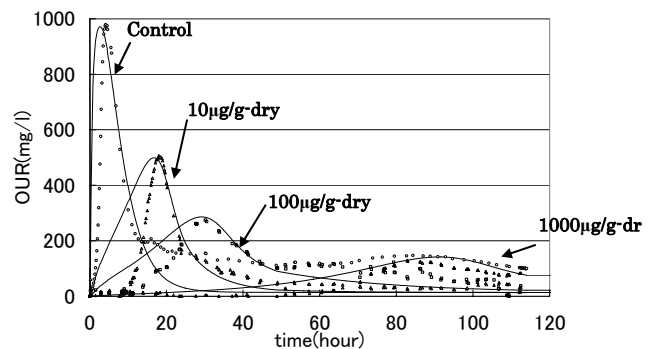


図6 計算結果と実測値の比較

4. まとめ

本研究では、糞のコンポスト化反応へ対して抗生物質が与える影響を検討するために、抗生物質の初期濃度を変化させた条件で糞の分解可能量の変化を調べた。また糞の分解モデルを用いて抗生物質のコンポスト化反応へ与える影響の定性的評価を試み、その結果以下の知見を得た。

- (1) 抗生物質を添加すると抗生物質を加えない場合と比べて、人糞分解開始までにかかる時間の遅れ、人糞最大分解速度の減少、人糞の分解に要する時間の長期化が観察された。
- (2) 1人用のトイレに1人1日分の抗生物質排泄量を加えたレベルに相当する100 µg/g-dryの場合、実験期間内における糞の分解可能量は、本来分解可能な糞のうちの約40%であった。
- (3) 10人用サイズのトイレに1人1日分の抗生物質排泄量が入ったレベルに相当する10 µg/g-dryにも抗生物質の影響が観察されたことから、希釈により抗菌作用を低下させる方法は現実的には難しい。抗生物質のコンポスト化反応に与える影響として、生菌数の減少が確認されたが、計測された生菌数を用いたシミュレーションではOURの実測値を説明できなかった。生菌数の減少は糞の分解開始時刻や最大分解速度が得られる時刻の遅れの説明は可能であるものの、糞の分解にかかる時間の長期化は説明できなかった。シミュレーションで加水分解速度定数や最大比増殖速度を低く設定し計算した結果、面積は一致しないものの、OURの波形は実測値に近いものが得られたため、抗生物質の影響は単に生菌数の減少ばかりではなく、生菌の活性を低下させる影響も与えていたと推定された。

謝辞

本研究は戦略的創造研究推進事業CREST((独)科学技術振興機構)の援助を受けて実施した。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Lopez Zavala Miguel Angel *et.al.*: Onsite Wastewater Differentiable Treatment System: Modeling Approach, Water sci. technol. Vol.46, NO.6-7, pp.317-324 (2002)
- 2) Peter A. Todd *et.al.*: Amoxicillin/Clavulanic Acid An Update of its antibacterial Activity, Pharmacokinetic Properties and Therapeutic Use, Drugs, Vol.39, No.2m pp.264-307 (1990)
- 3) 田中照二, 大西明弘編: 実践治療薬ガイド 改訂第2版, p.203, 日本医事新報社, (2001)
- 4) O.A.H. Jones *et.al.*: Aquatic environmental assessment of the top 25 English prescription pharmaceuticals, Wat. Res. Vol.36, pp.5013-5022 (2002)
- 5) Stuart J. Khan *et.al.*: Modelling of pharmaceutical residues in Australian sewage by quantities of use and fugacity calculations, Chemosphere, Vol.55, pp.355-367 (2004)
- 6) 中山一誠ら: 外科領域におけるBRL25000(Clavulanic acid-Amoxicillin)の吸収,排泄,代謝,臓器内濃度及び臨床応用, Chemotherapy, Vol.30,S-2, pp.358-378 (1982)
- 7) Miguel Angel Lopez Zavala *et.al.*: Modeling of aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix, Wat. Res., Vol.38, pp.1327-1339 (2004)
- 8) Takashi Kakimoto *et.al.*: Kinetics of the degradation of amoxicillin in composting toilet using sawdust as a matrix (in preparation)
- 9) Lopez Zavala Miguel Angel *et.al.*: Characterization of Feces for describing the aerobic biodegradation of feces, J. Environ. Syst. And Eng. JSCE, No.720/ VII -25, pp.99-105 (2002)