

氏名・（本籍）	もり 森	ただ 忠	ひろ 洋
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理	第 602	号
学位授与年月日	昭和54年9月26日		
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当		
最終学歴	昭和43年3月 東京工業大学大学院理工学研究科 （修士課程）化学専攻修了		
学位論文題目	シマミミズ個体群における生産過程の解析		
論文審査委員	（主査） 教 授 栗 原 康 教 授 長 内 健 治		

論 文 目 次

緒 論

第1章 シマミミズの生産過程の諸量について

- 1.1 生長速度, 1.2 卵包の生産速度, 1.3 呼吸速度, 1.4 排出速度,
1.5 炭素収支

第2章 シマミミズ個体群の動態に関するシミュレーションについて

- 2.1 孵化率および孵化幼体数, 2.2 幼体死亡率
2.3 生息密度, 2.4 卵包の生産に及ぼす密度効果
2.5 個体群の動態に関するシミュレーション

第3章 シマミミズによる重金属の蓄積について

- 3.1 シマミミズ中の重金属濃度と堆肥中の重金属濃度の関係
3.2 体内への重金属の吸収, 3.3 カドミウム結合性蛋白
3.4 カドミウムの生物学的半減期, 3.5 ゴカイ中の重金属濃度と汚泥中の重金属濃度の関係
3.6 ゴカイによる重金属の蓄積

総括および展望

論文内容要旨

緒 論

近年、廃水処理の普及に伴って発生汚泥量が急激に増大し、汚泥の処理および処分は重大な都市問題の一つになっている。しかも石油危機に象徴されたエネルギー問題を鑑みれば、将来の汚泥処理は省資源、省エネルギー的方法に依存せざるを得ない。多量の汚泥を省エネルギー的に処理するためには、自然界における物質循環の一部を導入してそれを人工的に管理し効率良く処理する、いわゆる生物学的方法が極めて有効である。これまでに細菌および放線菌などが汚泥処理に利用されてきたが(嫌気性または好気性消化、堆肥化など)自然界においては森林、田畑および感潮水域の干潟にみられるように、微生物以外に環形動物のミミズやゴカイも汚泥処理に果たす役割が大きいと考えられている。

このような動物による汚泥処理の可能性を検討する上で重要なことは、生産過程の諸量を検討し、汚泥量の減少となる呼吸量、質的な変化量の目安となる排出量、および汚泥から生物への変化量である生長および再生産量などを定量的に把握することである。また、動物を大量に飼育して汚泥処理を行なうことになるので個体群の動態を正確に知っておく必要がある。一方、動物に汚泥処理を行なわせると同時に生長した動物を家禽類または魚類の飼料として利用するならば、重金属などの有害物質の蓄積に関して十分な検討を行ない安全性を確認することが重要である。

このような観点から、本論文ではシマミミズ(*Eisenia foetida*)に下水汚泥から作成した堆肥を与えて飼育し、シマミミズを生産過程の諸量、個体群の動態および重金属の蓄積に関する解析を行なうことを目的とした。

第1章 シマミミズの生産過程の諸量について

シマミミズを実験室的に堆肥で飼育して生産過程の諸量(生長、再生産、呼吸および排出量)を検討し次の結果を得た。

(1) 10、20および30°Cにおける生長は20°Cが最も安定しており、20°Cにおける生長速度(G , mg/日)は生重量(W , mg)の関数で次のVon Bertalanffyの式で近似できた。

$$\frac{dW}{dt} = 0.876W^{2.0} - 0.116W$$

(2) 卵包は10、20および30°Cにおいて1個体からそれぞれ21、9~19および15日に1個生産された。

(3) 1個体当たりの呼吸速度(R , mg O₂/日)は生重量のべき乗に比例して増加した。呼吸速度と温度の間にはVan't Hoffの Q_{10} の法則があてはまった。一例として20°Cにおける1個体当たりの呼吸速度を示せば次の通りである。

$$R = 0.083W^{0.64}$$

(4) 1個体当たりの排出速度も呼吸速度と同様に生重量のべき乗に比例した。20°Cにおける排出速度 (F' , mg/日) は次式で近似できた。

$$F' = 0.154 W^{0.88}$$

(5) 炭素収支を求めるため、上述の各生産過程の諸速度を炭素換算し、次の式を得た。

$$\text{生長 } G_c = 0.375 C^{2/3} - 0.116 C$$

$$\text{呼吸 } R_c = 0.052 C^{0.64}$$

$$\text{排出 } F'_c = 0.52 C^{0.88}$$

$$\text{再生産 } R_{pc} = 0.18$$

ここで C はシマミミズ中の炭素含有量 (mg C)

(6) これらの式を用いて、シマミミズの各生長段階におけるそれぞれの生産過程に用いられた炭素量を求めた。まず生長に用いられた炭素量は生産量の増加と共に増加し、生重量 128 mg/個体の場合極大になり 0.6 mg C /日/個体の値をとり、その後漸次減少した。呼吸量は生重量の増加に対してほぼ直線的に増加した。したがって、総同化量 ($G_c + R_c$) は生重量の増加と共に急激に増加し、生重量 179 mg/個体の時極大となり、0.8 mg C /日/個体の値をとり、その後漸次減少した。

同化量に占める生長と呼吸量の割合は孵化直後の幼体ではそれぞれ80および20%であったが、生重量が増加すると共に生長の割合が減少し、成体になる直前の幼体では60:40(%)であった。成体(生重量 400 mg/個体と仮定)では、同化量に占める呼吸および再生産の割合はそれぞれ80および20%程度であった。

排出された炭素量は生長および呼吸量に比較して極めて多く、生重量の増加に対して直線的に増加した。

摂取された炭素量に対する生長、呼吸および排出量の割合は孵化後間もない幼体ではそれぞれ30、10および60%程度であったが、生重量が増加するに従って生長の割合が減少し排出の割合が増加した。

例えば成体になる直前の幼体では生長:呼吸:排出 = 5:5:90(%)程度であった。一方、成体では再生産および呼吸の割合がそれぞれ1, 5および94%程度になった。

以上の結果から成体に近づくほど摂取された炭素のうち同化に用いられる割合が減少し、ほとんど排出されることがわかった。

第2章 シマミミズ個体群の動態に関するシミュレーションについて

孵化率、卵包から孵化する幼体数、幼体死亡率、生息密度、および卵包生産に及ぼす生息密度の影響を検討した後、第1章で得られた生産過程の諸量およびいくつかの仮定を導入して個体群の動態に関するシミュレーションを行ない、ミミズまたは糞の収穫のための最適条件を推定した。

(1) 10および20°Cにおける孵化率は70%であったが、25または30°Cになれば孵化率はそれぞれ100

または90%に増加した。孵化するまでに要した日数は温度の上昇と共に短くなり、10および20°Cで21~68日であったが、25°Cで24~35日、30°Cでは10~19日であった。

- (2) 10および30°Cにおける幼体の死亡率はそれぞれ15および10%程度であったが、20°Cでは最も低く5%程度であった。
- (3) 1つの卵包から生産された幼体数は1~7個体、平均3個体であった。
- (4) 堆肥中における生息密度は最大で20,000個体/㎡程度であると調査結果から推定された。
- (5) 卵包の生産速度と密度効果の関係はDrosophila型の曲線を示した。
- (6) シミュレーションを行なった結果、シマミミズの収穫を最大にするためには15~30日間隔または生息密度が15,000個体/㎡になったらその時の成体の半分を採取すればよいことがわかった。また、糞の収穫を最大にするためには成体を全く採取しない方がよいことがわかった。

第3章 シマミミズによる重金属の蓄積について

重金属濃度が異なった堆肥中でシマミミズを飼育して、カドミウム、亜鉛、クロム、および銅の蓄積に関し検討し以下の結果を得た。

- (1) これらの4種の重金属はすべて堆肥中の重金属濃度の増加に比例してシマミミズ中の重金属濃度が増加した。特にカドミウムの場合が著しく堆肥中のカドミウム濃度に対するシマミミズ中のカドミウム濃度の比率は2.3~7.5の範囲にあり、他の重金属の比率が0.2~0.5であるのに比較して極めて高かった。
- (2) シマミミズによって摂取された重金属のうち、体内に吸収されたカドミウムは平均29.5%であり、他の重金属の吸収率1~2%に比較して極めて高い吸収率を示した。
- (3) 高濃度のカドミウムを含んだ堆肥で飼育したシマミミズをゲル濾過して紫外線吸収を求めた結果、カドミウムチオネインまたはカドミウム結合蛋白と考えられる吸収が得られた。
- (4) シマミミズ体内におけるカドミウムの生物学的半減期は16.7日であった。

比較のため環形動物、多毛類の*Perinereis nuntia* var. *vallata* と *Neanthes japonica* に下水処理場の余剰汚泥を与えて飼育し、重金属の蓄積を検討した結果、次のことがわかった。

- (1) 汚泥中の重金属濃度に対する*P. nuntia*中の重金属濃度の比率は0.10~0.29であり、重金属の種類の違い(亜鉛、銅、ニッケル、クロム、および鉛)があってもほぼ同じ比率であった。また、体内への吸収率も重金属の種類による相違がみられず1.3~3.5%の範囲にあった。
- (2) 同様に汚泥を*N. japonica*に与えた場合、ゴカイ中の重金属濃度、汚泥中の重金属濃度に対するゴカイ中の重金属の比率、体内への吸収率ともに*P. nuntia* var. *vallata*とほとんど同じ値を示した。

以上の結果からシマミミズ中へはカドミウムが特に蓄積されやすいことがわかった。一方、ゴカイ中へはほとんどの重金属が蓄積されないことが判明した。

本研究を通して汚泥処理におけるシマミミズの役割に関しては、シマミミズ単独では汚泥量の減少（呼吸による消費）に対して余り期待できないことがわかった。しかしながらミミズの糞は、ミミズに摂取されない汚泥より分解され易いと言われているので、シマミミズと細菌の両者の働きによる汚泥量の減少に関して今後検討する必要がある。

汚泥が糞に変化すれば団粒化または腐植物質の生成が行なわれると言われているので、シマミミズによる汚泥の摂取そして排出は汚泥の質的変化という意味での処理が行なわれると考えられる。糞の生産量を最大にするためにはシマミミズの収穫を全く行なわない方がよいことがわかった。

シマミミズの生産を最大にするためには比較的密度効果を受けにくい生息密度を維持しつつ収穫した方がよいことがわかったが、シマミミズは重金属（特にカドミウム）を蓄積しやすいので、餌飼料として利用する場合は安全性に関して十分検討しておく必要がある。

論文審査の結果の要旨

本論文は下水汚泥堆肥で飼育した *Eisenia foetida* (シマミミズ) 個体群における生産過程を解析することを意図したものであり、生態学的手法を用いて、生産過程の諸量、個体群の動態、生長に伴う重金属の蓄積を定量的に解析している。

すなわち、まず生長、再生産、呼吸、排出および摂取量を定量的に求め炭素をベースにして数式化し、シマミミズの各生長段階におけるそれぞれの生産過程諸量間の関係を明示した。これから、摂取された炭素のうち排出される割合が極めて高く、すなわち同化される割合が低く、その傾向は生長に伴って大きくなることを見出した。

次に卵包から孵化する幼体数、孵化日数、孵化率、幼体の期間、幼体死亡率、卵包の生産に及ぼす密度効果を実験的に求め、寿命、環境条件などについて仮設を設け、シマミミズ個体群の動態に関するシュミュレーションを行ない、シマミミズの収穫に対する卵包、幼体および成体数の変化、および成体または糞収穫を最大にするために生息密度と収穫期間を見い出した。

さらに、シマミミズ中の重金属、カドミウム結合蛋白であるカドミウム-メタロチオネイン、およびカドミウムの生物学的半減期を実験的に求めた結果、シマミミズはカドミウムを蓄積することを明示した。また、同じ環形動物のゴカイ類は重金属を蓄積しにくいことを見い出した。

この研究は堆肥に生息するシマミミズの生態に関して多くの重要な知見を提供しており、特にシマミミズの実験的および個体群の動態を明確にした点において生態学的に寄与するところが大きいと考えられる。

以上の点から本論文は博士の学位論文として適当である。よって森忠洋提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。