

氏 名 (国 籍)	モハメド ゴラム ムハブブ アラム (バングラデシュ)		
学 位 の 種 類	博 士 (農 学)		
学 位 記 番 号	博 甲 第 2533 号		
学位授与年月日	平成 13 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審 査 研 究 科	農学研究科		
学 位 論 文 題 目	Biological accumulation of arsenic in a lake system with a trial environmental remediation technology (湖沼システムにおけるヒ素の生物濃縮と環境汚染回復技術の試み)		
主 査	筑波大学教授	農学博士	前 川 孝 昭
副 査	筑波大学教授	農学博士	黒 田 健 一
副 査	筑波大学助教授	農学博士	杉 浦 則 夫
副 査	筑波大学教授	農学博士	関 文 威
副 査	物質工学工業技術研究所主任研究官	工学博士	徳 永 修 三

論 文 の 内 容 の 要 旨

本研究は、霞ヶ浦の食物連鎖の栄養段階の上位方向、つまり沈降物、湖底堆積有機物、植物プランクトン、動物プランクトン、そして養殖と天然のコイ (*Cyprinus carpio*) の 5 種の組織に重点を置き、食物連鎖を通じた重金属の生物濃縮の度合を計る調査を実施した。次いでヒ素に汚染された土壌の実験的修復技術を検討した。

この栄養進化の最初の段階を明らかにするため、霞ヶ浦の天然の富栄養化水質を用いた富栄養池において、植物プランクトン群落を調節する動物プランクトンによる補食と栄養制限の相対的な重要性を実験的に研究した。この池での植物プランクトン群落は動物プランクトンによる補食と栄養の供給との双方によって調節されるが、これら 2 つの要素の相対的な機能は季節的に変動した。全ての植物プランクトン種は光周期と同調した関係を持つ同期的な細胞分裂を示した。細胞分裂の頻度は深夜において最も高く、全ての季節における細胞分裂の日間周期は直線期の分裂パターンを示した。植物プランクトンの総バイオマス量は、冬季と春季よりもミジンコが多量に出現する夏季と秋季において補食による影響を大きく受けており、ワムシによって補食される植物プランクトンのバイオマス量に対する影響は低い。さらに動物プランクトンはカルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウムのような多量栄養素と、マンガン、鉄、銅、亜鉛のような必須微量栄養素についてより大きな濃縮を示した。ヒ素、鉛、カドミウム、コバルト、クロム、ニッケル、バナジウムのような毒性を示す必須で無い微量栄養素の場合は、夏季以外の、冬季、春季、秋季において比較的高かった。動物プランクトンの金属生体濃縮の差異は、摂食、分配、あるいは金属の含有量を左右する食料構成の差異、そして動物プランクトンの分類学的構成の変化によって影響を受けていると思われた。

コイ養殖に関連する底泥とその水柱における 24 種の元素濃度について、1994 年 9 月から 1995 年 9 月の間、コイが集約的に生簀養殖されている水域と、既存の生簀から離れた所に位置する水域の 2 つのサイトにてモニターした。Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si を除き、霞ヶ浦湖水のほとんどの元素の濃度は ppb レベル未満であった。また、湖水中のヒ素の変化は植物プランクトンの代謝、バクテリアによる有機物の分解、堆積物中の鉄や酸化マンガンの微生物による還元などの還元などの生物的過程に大きく依存した。養殖と野生の間では、養殖サイトの底泥において統計的に有意に高い金属濃度が見られ。しかし、1995 年に観察された底泥中の全ての金属濃度は 1979 年に

双方のサンプリングサイトで測定された存在量よりも低かった。

養殖と野生のコイ (*Cyprinus carpio*) との間で微量元素の比較を行うため、1994年9月から1995年9月の間、2つのサイトから養殖と野生のコイを捕獲し、筋肉、肝臓、腸、腎臓および生殖器における32の元素の濃度を測定した。この結果は、低い栄養段階から魚に至るヒ素の減少、言い替えれば動物プランクトン>魚という事を示した。また、Cdが腎臓と生殖器で生物濃縮されている一方、クロムと鉛は養殖および野生のコイのどの組織においても生物濃縮されていない事を示した。しかし、亜鉛は養殖および野生のコイの全ての組織において生物濃縮されていた。これは、その食性の差異にかかわらず養殖と野生のコイは金属の蓄積と分配を同じメカニズムで行っており、水産養殖はこれらの魚における金属濃度を増加させてはいない事を示している。金属濃度は筋肉において最も低く、魚の品質基準を超えるものではなかった。腸、腎臓、肝臓、生殖器では常に筋肉よりも高い濃度であった。養殖と野生のコイの間での金属濃度の差は無視できるものであり、コイにかぎって言えば現時点では消費者にとって健康問題となるものではないことが明らかとなった。

実験的な修復技術として、霞ヶ浦流域の汚染土壌からのヒ素の除去について、環境低負荷型のコストの低い抽出技術の研究を行ってきた。モデル土壌として、黄褐色森林土がヒ素で汚染されたものを使用した。各種のカリウムあるいはナトリウム塩の中で、リン酸カリウムはヒ素の抽出に最も効果的であり、pH 6～8の範囲で土壌の特性に与えるダメージを最小限とし40%の抽出率で達成できた。リン酸を用いた土壌からのヒ素抽出について、交換メカニズムが提示される。連続的な抽出は、AlまたはFeと結合した形態のヒ素の抽出においてリン酸が効果的であることが分かった。残りの形態のヒ素は抽出されなかった。リン酸溶液の濃度300mM, pH6.0, 40℃の条件下でヒ素は効果的に抽出された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、重要な環境問題の一つである重金属汚染の、小沼における濃縮過程と、原因となる汚染土壌の修復技術についての研究である。まず霞ヶ浦を試験フィールドとし、食物連鎖の栄養段階の上位方向、すなわち沈降物、湖底堆積有機物、植物プランクトン、動物プランクトン、そして養殖及び天然コイ (*Cyprinus carpio*) の5種について、これらの組織に重点を置き、食物連鎖を通じた重金属の生物濃縮の度合を計る調査を実施した。次いで、ヒ素に汚染された土壌の実験的修復技術を研究した。

著者本人の母国バングラデシュにおいては、地下水などに由来する環境のヒ素汚染が問題となっている。この汚染は土壌のみならず国民の重要なタンパク源となっている淡水魚にも及んでおり、その汚染機構の解明と修復技術の開発が重要であるとされている。この論文ではそれを念頭に置き、霞ヶ浦をフィールドとする事で淡水魚を含む湖沼生態系におけるヒ素などの金属の生物濃縮過程を詳細にわたって明らかにする一方、生物に対して高い安全性を有するリン酸カリウム水溶液を用いて、土壌を損傷することなく、汚染土壌から安全かつ安価にヒ素を抽出除去する土壌浄化法を開発したという点で高い独創性と応用性を持っていると考えられる。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。