

氏名（本籍）	田 小維 (Xiaowei TIAN) (中華人民共和国)		
学位の種類	博 士 (生物工学)		
学位記番号	博 甲 第6687号		
学位授与年月日	平成25年7月25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	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Study on Geosmin Degradation by Biofilm under Enhanced Organic and Inorganic Substrates Conditions (有機・無機基質添加による生物膜におけるジェオスミン分解に関する研究)		
主査	筑波大学准教授	博士 (理学)	内海 真生
副査	筑波大学教授	博士 (農学)	張 振亜
副査	筑波大学准教授	博士 (生物工学)	楊 英男
副査	筑波大学准教授	工学博士	雷 中方

論 文 の 要 旨

地球規模での人口増加や産業活動の増大に伴う河川や湖沼周辺都市への人口集中により、水圏環境の富栄養化の進行と主にラン藻類によるアオコ発生が世界中で問題となっている。また、富栄養化の進行は2-MIBやgeosmin等のかび臭物質の生産を増加させ、水源池の水質管理に甚大な影響を及ぼしている。ラン藻類や放線菌などのかび臭産生物のかび臭物質産生機構や制御機構は未解明であり、水源池での対策が急務の課題である。上水処理でのかび臭物質除去は、吸着除去、酸化除去、生物分解除去がある。吸着や酸化による除去は維持管理の点で高コスト、副産物発生等の問題があり、生物分解除去が注目されている。これまでの生物膜によるgeosmin除去に関する研究から、生物膜によるgeosmin分解が水中に共存する有機炭素に大きく影響を受けることが判明している。溶存有機炭素をppm濃度レベルで添加した場合、生物膜によるgeosmin分解は疑似0次反応もしくは疑似1次反応となる。しかしながら、自然界の溶存有機炭素濃度はppbレベルであり、この濃度レベルの有機炭素存在下での生物膜によるgeosmin分解反応速度論は明らかになっていない。また、無機栄養塩である硝酸やアンモニア、リン酸態リン共存下での生物膜によるgeosmin分解特性も未解明である。そこで本論文では、浄水場内の生物処理槽で形成された天然生物膜を用い、ppbレベル濃度の有機炭素や無機栄養塩類共存下での生物膜によるgeosmin分解特性を解明することを目的に一連の研究を行った。

まず、秋季に採取した生物膜を用い、ppb濃度の各種有機炭素（グルコース、酢酸ナトリウム、酢酸）存在下でのgeosmin分解特性について明らかにすることを目的に、培養期間中のgeosmin濃度、細菌細胞数（16S rDNA copy数）、細菌活性（ATP濃度）および細菌群集構造（DGGE）の変化を測定した。その結果、geosminのみが炭素源である系と比較して、有機炭素を添加した系ではgeosmin分解速度定数の明確な増加が認められた。酢酸添加系では、分解実験開始後の1日目までは他の有機炭素添加系と同様の分解速度を示したが、その後geosmin分解が抑制されることが判明した。分解実験期間中の16S rDNA copy数は大きな増減は認められなかったが、ATP濃度はグルコースおよび酢酸ナトリウム添加系で2日目に増加し、その後減少した。DGGEバンド解析から、添加した有機炭素に対応して培養期間中に細菌群集構造が変化することが判明した。

次に、冬季に採取した生物膜を用い、無機栄養塩類（ NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} ）存在下、並びに有機炭素源（グルコース、酢酸）と無機窒素塩類（ NO_3^- 、 NH_4^+ ）の共存下でのgeosmin分解特性を明らかにすることを目的に培養実験を行った。その結果、geosminのみが炭素源である系と比較して、全ての無機栄養塩類系でgeosmin分解速度定数の明確な増加が認められた。分解実験期間中の細菌細胞数（DAPI直接計数）

は全ての系で大きな増減は認められなかったが、ATP濃度は全ての無機栄養塩類添加系で培養開始4日目まで増加し、その後減少した。DGGEバンド解析から、添加した無機栄養塩類毎に細菌群集構造が変化することが判明したが、変化の度合いは有機炭素添加系と比較し小さいものであった。一方、有機炭素源および無機窒素塩類共存下でのgeosmin分解は、細菌細胞数やATP濃度はそれぞれ独立で添加した場合と比較して同様の変動を示したが、分解速度定数が減少することが判明した。

以上の結果から、生物膜によるgeosmin分解はppb濃度レベルの有機炭素や無機栄養塩類の存在では疑似1次反応であること、有機炭素の方が無機栄養塩より分解活性の増加に大きく寄与することが明らかとなった。また、全ての有機炭素源添加系で生物膜を構成する細菌数に大きな変化が認められなかったことから、有機炭素源の共代謝によりgeosmin分解活性が増加している可能性が高いと言える。

審 査 の 要 旨

本論文は「有機・無機基質添加による生物膜におけるジェオスミン分解に関する研究」と題して、水のかび臭問題を解決することを目指し、副産物を生じないクリーンな除去法である生物膜法に注目し自然レベルの有機炭素や無機栄養塩類共存下での生物膜のかび臭物質（geosmin）の分解特性を明らかにすることを目的に一連の実験および解析が行われた。

著者は、研究対象である霞ヶ浦湖畔に位置する浄水場内生物膜を用い、秋季と冬季の生物膜によるgeosmin分解特性を解明する為の研究を行った。ここで、霞ヶ浦は他の日本の水源池と異なり、冬期から春期にかび臭が高濃度で発生する国内では例外的なかび臭発生期を持つ湖沼である。従来の生物膜によるgeosmin分解に関する研究は、添加する有機炭素濃度がppmレベルであり、水源池の平均溶存有機炭素濃度よりも高い環境下での研究結果であった。この点に著者は着目し、ppb濃度レベルの有機炭素源やこれまでほとんど検討されていない無機栄養塩類共存下での生物膜によるgeosmin分解特性について培養実験を通して詳細に解析している。

その結果、ppb濃度レベルのグルコースや酢酸ナトリウム添加系では、geosminのみの系と比較し、geosmin分解速度が明確に増加することを明らかにしている。この分解速度増加は、無機栄養塩類添加系でも確認された。また、各種物質を添加することで、生物膜を構成する細菌細胞数はほとんど変動しないが、ATP量は培養開始後2日目から4日目で増加しその後減少すること、生物膜を構成する細菌群集の構造が、添加物質に応じて迅速に変化すること、を明らかにしている。低濃度レベルの有機炭素添加でも生物膜によるgeosmin分解活性を増加できることは、この後の浄水場での生物膜を用いたかび臭物質除去法の構築に重要な新規知見を提供する成果である。また、添加した有機炭素の共代謝によりgeosmin分解活性が増加している可能性を示したことは、今後のかび臭物質分解研究の展開に重要な知見を提供したと言える。これら一連の結果は、今後の生物膜を利用したかび臭物質除去法の開発に大いに資することができる重要な知見であり、今後の発展が期待される成果である。

平成25年6月5日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（生物工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。