

閉鎖循環式陸上養殖システムに適応可能な脱窒装置の開発

香川高等専門学校 賛助会員 ○根ヶ山裕矢 戸井風希 佃凌介 松木順聖
香川高等専門学校 正会員 多川正

1. はじめに

現在ケニアでは主にタンパク質の不足が起因とされる 37 万人近い小児が急性栄養不良の治療を必要としていることが報告されており、良質なタンパク質の供給が可能な淡水魚の陸上養殖が注目されている。今後、世界的に人口増加に伴うタンパク質への需要拡大に、家畜の飼料となる穀物などの供給が追い付かず、世界中でタンパク質不足が起こることが予測される。しかしケニアで陸上養殖を取り入れようとした場合、設備の導入費用や装置の維持管理に膨大な費用がかかってしまう。これらの問題点を踏まえて、ケニアには低コストで高効率、かつ簡単な作業で運用可能な陸上養殖システムの開発と、それと並行して行うことができる食糧生産システムの開発が必要である。本研究では、閉鎖循環式陸上養殖にて飼育水に含まれる排泄物や残餌などが分解される過程で発生するアンモニアについて、微生物を利用した生物学的硝化脱窒法で無害化を図ることを目的とし、閉鎖循環陸上養殖システムの安定的な水質浄化と維持が可能か検証する。

2. 生物学的脱窒素法

生物学的硝化脱窒反応は、図-1 に示したように硝化工程と脱窒工程に分割される。養殖の際、排泄物や残餌などが分解される過程でアンモニアが発生する。アンモニアは魚毒性が極めて高いので、発生したアンモニアを細菌の力を利用した生物学的硝化脱窒法という方法で無害化を図る。硝化工程は、硝化細菌によりアンモニア（アンモニウムイオン）は亜硝酸を経由して硝酸まで酸化する。そしてここに関与する微生物が硝化細菌で、増殖には有機物は不要だが反応槽内に十分な溶存酸素の存在が必要となる好気性細菌である。一方脱窒工程は硝酸、亜硝酸を窒素ガスに還元する反応で、溶存酸素の代わりに亜硝酸や硝酸を電子受容体として有機物を炭酸ガスと水に酸化分解し、その結果、亜硝酸や硝酸から窒素ガスが生成される。この工程に関与する細菌を脱窒細菌と総称し、溶存酸素のない嫌気性状態で脱窒活性が発揮される。このため脱窒反応が十分に進行するには、溶存酸素のない嫌気性雰囲気と亜硝酸、硝酸中の酸素原子を還元するのに必要な電子（有機物）の存在が不可欠となる。

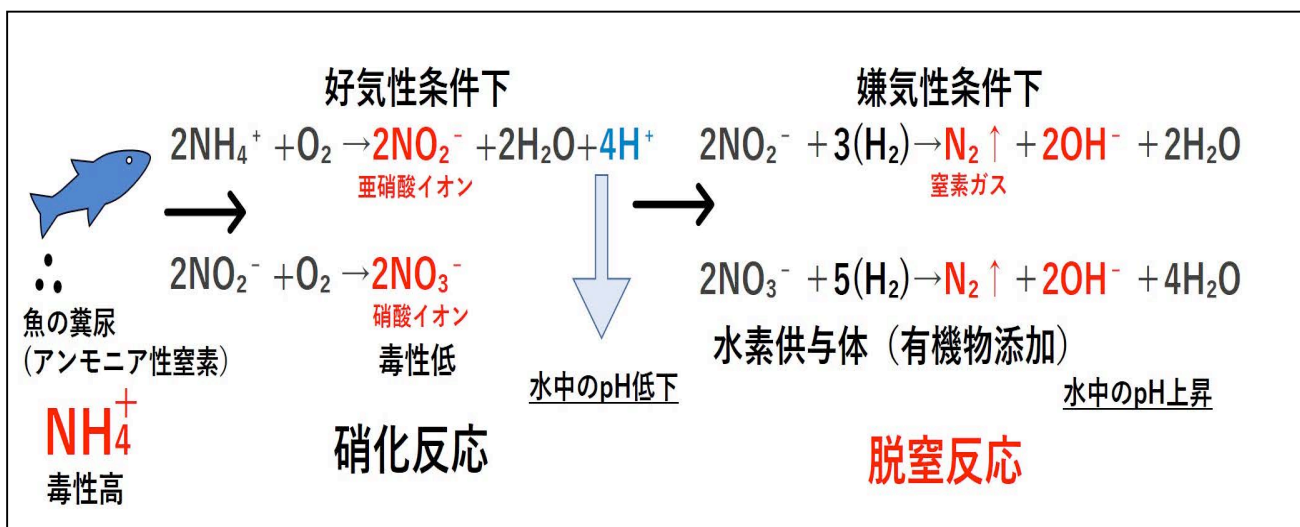


図-1 閉鎖循環式陸上養殖システムの飼育水中における窒素成分の影響と形態変化

3. 脱窒システムの能力検証

設置している傾斜土槽の最下槽に約 6 L の小型の容器を使用した実験を行った。脱窒反応の生成には、嫌気

条件および有機物の存在が不可欠である。そこで嫌気条件を満たすために、図-2のように脱窒槽上部には蓋をし、内部は12 cm×10 cmの仕切りを5 cm間隔で配置することで水理的滞留時間（HRT）を長くし、溶存酸素の低減と反応効率を向上させる構造を考案した。溶存酸素量を更に少なくするため、充填する担体は傾斜土槽の処理槽に用いている矩形のスポンジではなく、板状のスポンジを利用し、更に水の流れの緩和を図った。有機物は残餌・排泄物を約1 gを蒸留水200 mLに懸濁溶解させ、上澄み液を槽内に投入し供給した。能力評価はナイルティラピアを除いた飼育水の分析を行った。また、後半では有機物として酢酸ナトリウムを、硝酸性窒素量に対して3~4倍の有機物（CODcr換算）を添加し、飼育水の水質分析を行った。



図-2 脱窒性能評価実験の様子

表-1に脱窒槽導入後の飼育水中に含まれる硝酸性窒素濃度の推移を示す。また、表中、12月16日以降の後半には、酢酸ナトリウムを飼育水槽中に添加した後の硝酸性窒素濃度の推移を示す。

表-1 脱窒槽導入後の硝酸性窒素濃度の推移

日付	11月25日	12月8日	12月9日	12月16日	12月20日	12月23日
NO ₃ -N(mg/L)	134	247	252	185	211	213

表-1の結果より、脱窒槽を導入した後、2週間で硝酸性窒素は134 mg/Lから252 mg/Lと約2倍になった。考えられる原因として脱窒に必要な有機物不足が挙げられる。実験では残餌・排泄物約1 gを蒸留水200 mLに懸濁溶解し、脱窒反応の電子供与体として上澄み液を脱窒槽内に投入したが、十分にスポンジに定着せず、すぐに流れてしまったことが原因であると考えられた。また、脱窒反応には装置の規模、流量などからすると、投入した有機物量が少なかったことも考えられる。そこで脱窒槽の能力評価として、有機物が不足しないようにナイルティラピア飼育にて硝酸性窒素が蓄積した飼育水量50 Lに対して酢酸ナトリウム試薬を約14 gを投入し、脱窒槽を運転し、12月16日から23日までの1週間の水質測定を行った。表-1の試験結果より、硝酸性窒素は185 mg/Lから211, 213 mg/Lと増加し、安定してしまった。実験手法や装置の確認、分析を行った結果、原因は2つ考えられた。1つ目は水槽の水がわずかながら蒸発することにより、水槽内の硝酸濃度が高くなったことが考えられる。2つ目は脱窒反応が十分に進行するには、溶存酸素のない嫌気性雰囲気と有機物の存在が不可欠であることから、脱窒槽内の嫌気条件がうまく構築できていないことが考えられる。その理由として脱窒槽に流入する飼育水の溶存酸素濃度を測定すると8.41 mg/Lもあったため、脱窒槽に流入する前にある程度低減させるか、脱窒槽に流入する水量を減らしてHRTを長く確保する必要があると考える。

4. まとめと今後の予定

ナイルティラピアの飼育に適した餌の量は1日2回、2~3分程度で摂取可能な量である。食欲旺盛かつ雑食性で、与えた分だけ摂食し、排泄物にて飼育水を汚しやすい特徴を持っており、現状2回で約7gの餌やりにて硝酸性窒素濃度は約250 mg/Lと高濃度に蓄積している。ナイルティラピアの更なる成長を目指すには、給餌量を増やすことだが、現在の排水処理装置では処理性能の限界となっている。今後は脱窒反応が進行しない主な原因として、傾斜土槽から流出される処理水の溶存酸素濃度が高いことが考えられたため、脱窒槽に入る前の段階で溶存酸素量を減少させる対策や、処理水の一部のみを脱窒槽に循環させ、HRTを確保するなどに加え、脱窒槽の大型化や新たな形状、内部担体をスポンジのみならず軽石などを用いたハイブリッドなパターンなどを検討し、閉鎖循環式陸上養殖のボトルネックとなる脱窒の効率化を図る。