

包括固定担体としての機能性ゲルによる硝化活性の促進

九州大学工学部 ○学生員 進藤 健治 Boonsak Warinpaisan
同 上 正会員 久場 隆広 楠田 哲也

1. はじめに

生物学的硝化脱窒法は廃水から窒素を除去する有効な手段である。一般に、脱窒菌に比べ、硝化菌の増殖速度は遅く、また、その増殖収率が低いことから、硝化過程が窒素除去における律速段階となりやすい。したがって、高い硝化活性を維持するためには、好氣的汚泥滞留時間を十分に長くする必要がある。ゲルへの包括固定による硝化菌の高濃度化は、アンモニア性窒素の高速処理及び硝化反応槽の省容量化を可能にした¹⁾。しかしながら、一方で、包括固定担体内部へのアンモニア性窒素及び酸素の拡散律速により、担体表層部に存在する硝化菌しか処理に参与していないと考えられる。そこで、本研究では包括固定担体として、温度変化によって不連続な体積変化(体積相転移)を引き起こす機能性ゲルを用い、担体内部への物質輸送の促進を試みた。本研究の目的は、硝化活性の促進に対する包括固定担体としての機能性ゲルの有効性を処理水質及び担体内部での硝化菌数の空間分布から明らかにすることである。

2. 機能性ゲルの作製と実験方法

2.1 ゲルの作製

本研究では機能性ゲルとしてN-イソプロピルアクリルアミド(NIPAAm)ゲルを用いた。ゲルの組成を表1に示す。NIPAAm 7.8gとBIS 0.133gを蒸留水 100mlに溶かし、窒素置換を行う(溶液A)。長期間集積培養した硝化菌(90mg-VSS)を遠心分離した後、溶液Aに懸濁する。この硝化菌懸濁液を5ml分取し、10%ペルオキシ二硫酸アンモニウム 40 μ l及びN,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン 20 μ lを加え、厚さ3mmのガラス製型枠に流し込む。これを25℃の恒温水槽中でゲル化(約5分間)した後、型枠から取り出し、未架橋部分を取り除くために蒸留水中に約1日浸す。その後、3×3×3mm³のキューブ型に切断する。

2.2 NIPAAmゲルの膨潤・収縮特性

NIPAAmゲルは、ある特定の温度(相転移温度)を境にして不連続な体積変化(体積相転移)を起こす。本実験に用いたNIPAAmゲルの相転移温度は34℃付近にあり、ゲルは相転移温度以上で収縮し、相転移温度以下で膨潤する。図1にNIPAAmゲルの体積相転移の一例を示す。ゲルの膨潤率の測定には読み取り顕微鏡を用いた。各温度における定常状態でのゲルの一辺の長さを測定し、35℃を基準体積(V_0)として V/V_0 で無次元化した。

2.3 実験方法

硝化菌を包括固定したNIPAAmゲルを3つの反応槽(有効容積200ml)に投入した。ゲルの添加率は10%(v/v)である。3つの反応槽をそれぞれ、25℃、35℃の恒温条件及び25~35℃の間を繰り返す変温条件下(図2)で好氣的に連続回分運転した。基質は1日1回投入した。定期的に基質添加後のアンモニア性窒素濃度をオートアナライザーを用いて測定し、硝化活性を評価した。

3. 結果及び考察

3.1 恒温・変温条件下での硝化活性の比較

恒温条件(25℃、35℃)と変温条件(25~35℃)下での温度パター

表1 機能性ゲルの組成

(メインモノマー) N-イソプロピルアクリルアミド (NIPAAm)	7.8g
(架橋剤) N,N'-メチレンビス-アクリルアミド (BIS)	0.133g
(溶媒) 蒸留水	100ml
(開始剤) 10%ペルオキシ二硫酸アンモニウム	40 μ l
(重合促進剤) N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン	20 μ l

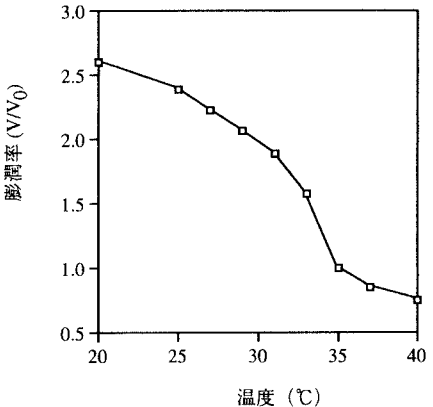


図1 硝化菌を包括固定した機能性ゲル(NIPAAm)の体積相転移

ンと運転開始3週間後の硝化活性の比較を図2に示す。それぞれの硝化速度は1.0、1.2、1.7 (mg-N/L/h) であり、変温条件下で硝化活性が最も高かった。図3に、運転開始後の各反応槽の硝化活性の経日変化を示す。Start-up時における硝化活性も変温条件下において高く、また、図示していないが、全実験期間 (8週間以上) を通じて常に変温条件下において活性が高かった。

3.2 体積相転移によるゲルの膨潤・収縮

硝化菌の至適温度が約28℃であることが、変温条件 (25~35℃) 下において最も高い硝化活性をもたらした可能性がある。しかしながら、別途行った28℃の恒温条件下での活性と比較しても、変温条件下での活性の方が高かった。したがって、この硝化活性の促進は、NIPAAmゲルの体積相転移による物質輸送の増加に起因すると推察された。図1に示したように、35℃から25℃に温度を低下させると、ゲルは約2.5倍の体積に水膨潤する。すなわち、変温条件下においてゲルが膨潤・収縮を繰り返すことによって、あたかもポンプのような働きをし、これによりゲル内への物質輸送が促進されたためと考えられる。ゲルの水膨潤により流入した基質 (1サイクルで約12ml/20ml-gel) が完全に硝化されていたと仮定すると、アンモニア性窒素の濃度変化は図2の計算値 (---) で与えられる。この計算値と変温条件下での活性を比較すると、膨潤・収縮によって取り込まれたアンモニア性窒素の約80%が硝化され、約20%が硝化されずに一旦ゲル外に排出されたと考えることもできる。

3.3 ゲル内の硝化菌の空間分布

微小電極による生物膜やグラニュール汚泥内の物質濃度分布の研究結果は、その有効生物膜厚は数十~数百 μ m 程度であることを示唆している^{2), 3)}。また、包括固定化担体 (PEGASUS) では60 μ m 程度であることも報告されている¹⁾。これらの結果は、拡散律速により、包括固定化担体表層部に存在する微生物しか処理に関与していないことを示している。もし、機能性ゲルの体積相転移により担体深部にまで物質が輸送されているのであれば、微生物の担体内空間分布はより内部まで広がっている可能性がある。そこで、DAPI (4',6-diamidino-2-phenylindole) で核酸染色を施し、蛍光顕微鏡でゲル内の硝化菌の空間分布を観察した。恒温条件下、変温条件下とも硝化菌は表層部に多く局在していることが確認されたが、ゲル内部には温度条件の違いによる硝化菌の空間分布に明確な違いは見られなかった。空間分布に明確な違いが認められない主な原因は、(1) 本実験に用いたゲルの体積相転移があまり大きくないこと、また、(2) 基質負荷速度があまり高くないこと、であろう。

4. おわりに

硝化菌の担体内空間分布には明確な違いが認められなかったものの、各温度条件下での硝化活性を比較した結果から、機能性ゲルの体積相転移による硝化活性の促進は明らかであった。このような体積相転移を起こすゲルには、ここで用いられている温度に应答するものの他にも、pH・電圧・光などに应答するものもある。今後、これら機能性ゲルの衛生工学・環境工学分野への応用も検討する予定である。

[参考文献] 1) 浦田健一ら (1996) 包括固定化硝化細菌による排水の窒素除去技術の開発, 環境研究, No.103

2) L. Tjhuis (1994) The Biofilm Airlift Suspension Reactor, Ph.D thesis, TU Delft

3) 大橋晶良ら (1996) 微小電極と数学的モデルによる嫌気性微生物グラニュール内の基質濃度とpHプロファイルの評価, 環境工学研究論文集, 第33巻, pp.235~245

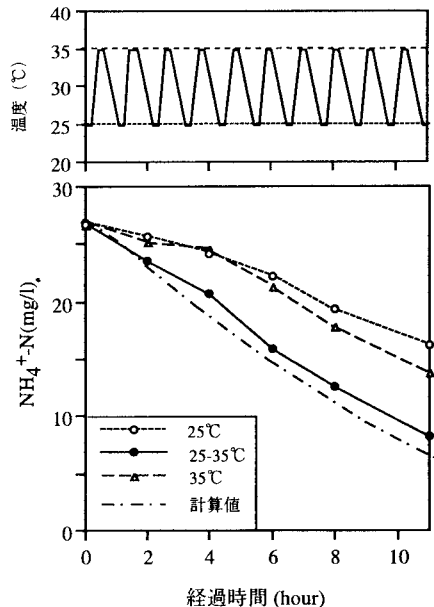


図2 各反応器の温度パターンと硝化活性の比較 (3週間後)

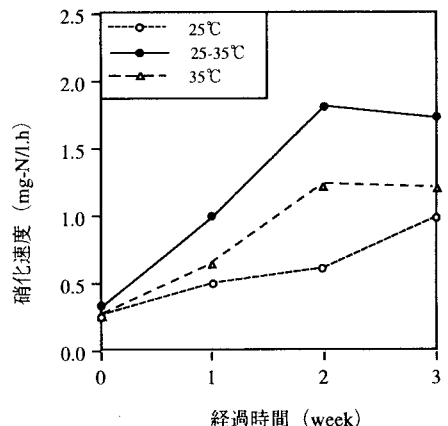


図3 硝化活性の経日変化