

B-10 嫌気好気式活性汚泥における汚泥間相互作用

東京大学大学院環境学専攻

○市橋修

同上

佐藤弘泰

同上

味埜俊

1. はじめに

嫌気好気式活性汚泥法においてリン除去能が悪化する事例が知られている。系内にリンを蓄積する微生物 (PAO) 以外の微生物が優占したためと考えられ、これまでに運転条件に関する検討がなされてきたが、系内でどのように微生物たちが競合し、どのように PAO が優占できなくなるかについてはまだわかっていない。筆者らは運転条件ではなく、活性汚泥内の微生物同士が相互作用を起こした結果、リン除去が悪化するのではないかと考えた。活性汚泥においてはこれまで検討されてこなかったが、微生物どうしが化学物質を放出することで影響しあう現象は、農学の分野でアレロパシーとしてよく知られている。前報^{(1),(2)}では化学物質を介した相互作用を想定してそれを検証するための実験を行い、阻害と見られる相互作用を確認した。本報ではさらに詳細な検討を試みた。

2. 実験方法

嫌気好気リアクターを 2 台動かしてリン除去能の異なる嫌気好気式活性汚泥を馴養した。片方は通常の HRT、もう一方は長めの HRT とした。また、HRT を長くした系は馴致開始前に 2 日間基質を与えなかった。その結果、通常の HRT の系は良好なリン除去、長い HRT の系は低めのリン除去能を示した。これ以降はリン含有率に基づき、通常の HRT の系を High-P 系、長い HRT の系を Low-P 系と呼ぶ。HRT を長くしたのは汚泥が放出した化学物質を、系内に高濃度に保つためである。基質は同程度の有機物負荷、同程度の無機物濃度となるようにした。基質組成と主な運転条件を示す。Low-P 系と High-P 系で条件が異なる場合は High-P 系のものを括弧内に示す。CH₃COONa·3H₂O 1.7 (12.6) g/day, CH₃COOH 6.6 (0) g/day, CH₃CH₂COONa 0.18 (1.35) g/day, ペプトン 3g/day, 酵母エキス 1.1g/day, MgSO₄·7H₂O 170mg/L, KCl 65mg/L, CaCl₂·2H₂O 20mg/L, K₂HPO₄ 0.9(0)g/day, KH₂PO₄ 0.7g (0.98) /day, Water 4.25 (32) L/day, HRT 48(6.4)hr, SRT 10 days, 反応槽容積 8.5L, 嫌気槽：好気槽容積比 5：12, 汚泥返送量 59.75 (32) L/day, 水温 20℃。

これら 2 種類の汚泥混合液の上澄みを相互に入れ替える回分実験を行って相互作用の影響を観察した。回分実験は pH を 7.2 とした条件で酢酸を基質として嫌気 1 時間、好気 2 時間程度で行い、嫌気での酢酸摂取速度、リン酸放出量/酢酸摂取量比、好気でのリン酸摂取速度を相互作用判定のための指標とした。回分実験のサンプルは採取後直ちに 0.45 μm のフィルターで濾過した。回分実験では嫌気条件での酢酸の取り残しができるだけないようにした。MLSS は下水試験方法 (1997)、リン含有率は過硫酸カリ分解の後 ICP 発光法、リン酸はアスコルビン酸法、酢酸は HPLC により測定した。

3. 結果と考察

3.1 リアクターの運転状況

実験期間中の汚泥混合液の MLSS とリン含有率を図 1 に示す。汚泥のリン含有率は実験期間を通じて High-P 系の汚泥の方が Low-P 系の汚泥よりも高かった。Low-P 系の汚泥も 4% 程度のリン含有率がありリン除去を行っていなかったわけではない。

3.2 回分実験の結果

回分実験は約 1 ヶ月に渡って 7 回行った。実験中の汚泥混合液中の酢酸濃度、およびリン酸濃度のグラフ

を図2に示す。上澄みを入れ替えなかった対照系の代謝速度を100%とし、上澄みの交換による代謝速度の変化、および酢酸単位量摂取あたりのリン酸放出量の比の変化を図3,4に示す。

3.3 誤差の範囲について

図3,4に示した代謝速度比等の値が1から外れているのは、測定誤差のせいかもしれない。そこで誤差の影響の範囲について検討した。

一般に $x \pm \Delta x$, $y \pm \Delta y$ のデータ (Δx , Δy は独立した誤差) を加減するときの誤差は、 $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ となる。また、乗算するときの誤差は $xy\sqrt{(\Delta x/x)^2 + (\Delta y/y)^2}$ となる。以下では、リン酸摂取速度の誤差を例に説明する。リン酸濃度の定量に用いたアスコルビン酸法の誤差を検量線の相関係数から求めると、1.0mgP/L 程度の誤差になった。代謝速度は濃度どうしを引き算して時間で割って求めており、濃度の引き算で誤差が大きくなっている。例えば、Low-P系の35日目は11.5mgP/Lの差を取っていた。この場合の誤差は $\sqrt{2} \times 1.0 \div 11.5 \div 0.123$ となり、12.3%程度の誤差があったことになる。サンプリング時間の誤差は、ろ過時間が最大15秒異なるとしてこの時の計算区間が7分であることから、

$0.25 \times \sqrt{2} \div 50 \div 0.007$ である。分析の誤差と時間の誤差を合成すると、 $\sqrt{(0.123)^2 + (0.007)^2} \div 0.123$ となる。最後に、High-P上澄みで求めた速度とLow-P上澄みで求めた速度同士割り算しているのでこれらを合成して、 $0.123 \times \sqrt{2} \div 0.174$ で、約18%の誤差となる。なお、これは代謝速度比の誤差が2番目に大きかったものであった。代謝速度比の誤差が最大になったのもやはりLow-P系のリン酸放出速度の32日目で23%の誤差があった。同様にして計算すると酢酸摂取速度では最大5%以下、リン酸放出量/酢酸摂取量比に関しては、時間の影響が消え、濃度どうしの割り算をすることになり、最大15%以下の誤差となる。図3,4には $\pm 20\%$ のラインを示してあるが、これを超えるプロットがいくつか存在し、誤差が最大のケース(図3の括弧つきプロット)を除いては、これらについては測定上の誤差だけでは説明がつかない。

3.4 嫌気時の計測の問題点

嫌気条件の代謝活性の測定には、回分実験開始時に上澄み中に存在した硝酸・亜硝酸が影響を及ぼした可能性がある。嫌気条件での酢酸摂取速度比は、Low-P系汚泥の上澄み交換実験の場合1を有意に上回り、また、High-P系の汚泥の場合には逆に1を下回るケースがあったが、Low-P系の上澄みよりもHigh-P系の上澄みに多くの硝酸・亜硝酸が含まれていたためにそのようになったのかもしれない。酢酸単位摂取量あた

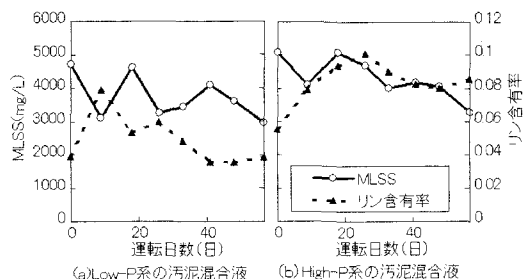


図1 汚泥混合液のMLSSとリン含有率

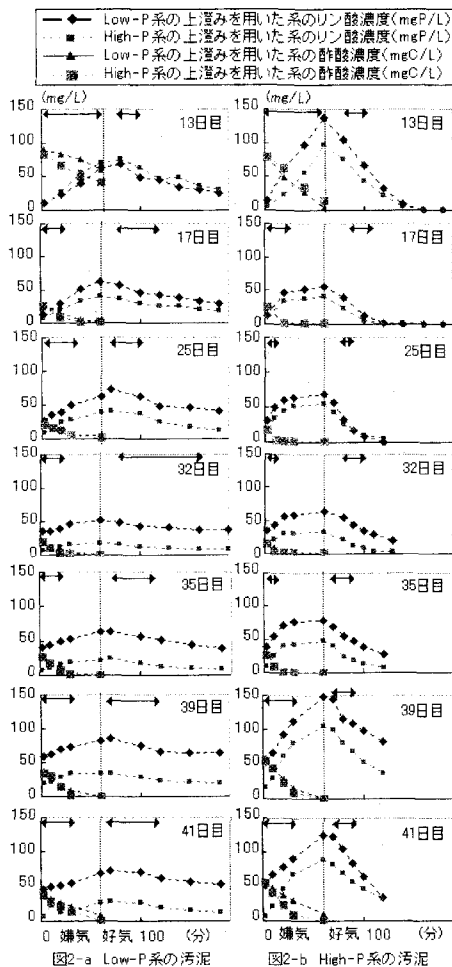


図2 回分実験の上澄み中のリン酸、酢酸濃度 (矢印は代謝速度計算区間を表す)

りのリン酸放出量の比についても同様の傾向がみられた。また、いくつかの実験（図4の括弧つきプロット）では摂取が速すぎて速度を測定できなかった。

3.5 代謝速度等に違いを生じた原因

図3、図4に示したように、概して、好気条件でのリン酸摂取速度は上澄みの交換により、Low-P系の汚泥の場合速度が有意に低下し、High-P系の汚泥の場合速度が有意に上昇した。その原因について考える。

いずれの実験も、酸素は過剰に供給し、pH・水温も一定にした。ポリリン酸のカウンターイオンとなるカリウム・マグネシウムは過剰に供給した。浸透圧の違いも、それほど大きくなかったと考えている。したがって、これらの環境因子が好気条件でのリン酸摂取速度に影響を及ぼした可能性は低い。むしろ、汚泥中に存在する内在的な因子による相互作用が存在すると考えた方が適当である。

内在的因子による相互作用として、(1)原生動物による捕食、(2)バクテリオファージによる溶菌、および、(3)活性汚泥中の微生物がリン除去関連の代謝を活性化したり阻害するような代謝活性をもつ化学物質を放出する可能性、をあげることができる。 (1)の可能性については、ここでは上澄みを交換しただけなので、否定できる。(2)については、Leeらが活性汚泥から単離したバクテリオファージについて、感染してから溶菌までに9時間程度かかることを報告しており^③、ここで行った回分実験の時間内にその影響が表れた可能性は低い。一方(3)については、議論では否定する材料がみあたらない。

3.6 化学物質を介した相互作用の予想と結果

以上の議論から、好気条件でのリン酸摂取速度について、活性汚泥中の微生物から放出される化学物質が影響を及ぼしていた可能性があげられた。ところで、嫌気好気式活性汚泥法は通常リン除去に結びつくが、必ずしも常にリン除去が成功するとは限らないことが知られている。そこで、「リン除去が悪化した活性汚泥中にはリン除去を阻害するような化学物質を生産する微生物がおり、そのような微生物が汚泥中に増えてくるとリン除去がうまくいなくなる」という仮説を立てることができる。この仮説に基づくと、Low-P汚泥の上澄みをHigh-P汚泥の上澄みと交換すればリン摂取が向上し、また、逆にHigh-P汚泥の上澄みをLow-P汚泥のそれと交換すれば、リン摂取は悪化する。実際、佐藤ら^②はそのような現象が見られたことを報告した。しかし本研究では図3,4に示すように、Low-P汚泥の場合上澄みの交換によりリン酸摂取速度は低下し、High-P汚泥の場合それは上昇した。すなわち予想とは異なる結果であった。

4. 結論

リン除去能の異なる2種類の活性汚泥混合液を用いて上澄みを交換する実験を行った結果、前報同様に化学物質を介するとみられる相互作用が確認された。しかし、相互作用の方向は、予想とは逆の向きであり、リン除去を行わない活性汚泥の上澄みが好気条件でのリン酸摂取を促進するという性質のものであった。活性汚泥中での化学物質を介した微生物間相互作用についてはまだ研究が少なく、今後、さらに知見が積み重ねられる必要がある。

参考文献: (1) 太田智久ら (1997) 第34回 環境工学研究フォーラム講演集 pp82-84. (2) 佐藤弘泰ら (1999) 第36回環境工学研究フォーラム講演集 pp43-45. (3) S.H.Lee et.al (2004) J. Microbiol. Biotechnol. 14(4):730-736.

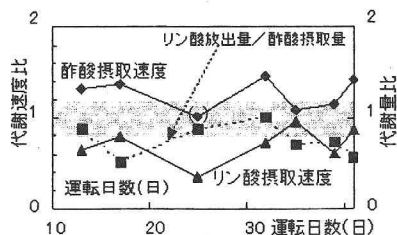


図3 Low-P系の汚泥に対する
上澄み交換の影響

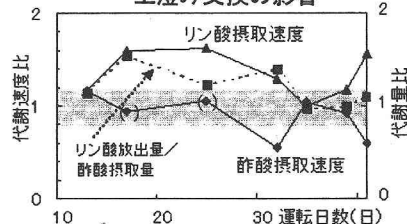


図4 High-P系の汚泥に対する
上澄み交換の影響