

II-385

リン摂取に及ぼす窒素の影響

日本大学理工学部 正会員○松島 眸

1. はじめに

活性汚泥法による生物学的な有機物の酸化分解とは汚泥中に生息する微生物の代謝活動を通じた有機物のエネルギーレベルの低下を意味する。エネルギーレベルの低下とは有機物の酸化によって得たエネルギーを消費することであり、そのエネルギーの減少分は介在する微生物がなした仕事量に相当すると言える。この意味において、有機物摂取(利用)速度は単位時間、単位細胞量あたりのエネルギー源物質の利用量を意味すると解することができる。換言すれば、微生物がなした仕事に相当する内容と量とが推察可能となる。つまりその内容とは細胞の分裂・増殖とそれに要する形質成分の生合成であり、また形質成分を構成する炭素、窒素、リン等の基本成分の摂取(利用)および貯蔵・蓄積である。

本研究では、TOCを算定ベースとする有機物利用速度が細胞を含めた活性汚泥の骨格構造形成用(長期的保存用エネルギー源としてのPHBも含む)と微生物細胞の代謝活動に必要なエネルギー生成用のTOC利用速度で表わされると仮定し、窒素とリンの摂取速度の内容とをあわせて考慮して、物質収支の面からリン過剰摂取についての関係式を検討した。

その結果、リンの過剰摂取に関して、基質の窒素と炭素の負荷強度比が重要な因子であり、基質の(N/C)比が比較的小さい場合にリンの過剰摂取が起き、この場合、より多くのエネルギーが消費される必要のあることが推論される。その内容を要約して以下に述べる。

2. リン摂取に関する炭素、窒素の影響

微生物細胞を構成する主要成分元素はC, N, P, O, Hであり、その他の微量元素も必要とされる。これらは基本的には細胞の組織構築に要する糖質、脂質そしてタンパク質などの高分子有機化合物の生合成に必要であり、特に有機化合物中の炭素源はこれらの高分子有機化合物の生合成に必要となるエネルギーの供給源にもなる。微生物の細胞内で行われるこの生合成の反応は酵素タンパク質が関与する生化学反応であり、タンパク質が重要な機能をはたすことになる。

本研究では、細胞内での生化学反応における重要なタンパク質の基本成分としてC, N, Pの三元素を選択し、これらの成分の代謝について物質収支の概念に基づく物質摂取(利用)速度の面から考察を加えた。エネルギー供給源となる有機物質中の炭素は全有機炭素(TOC)を算定ベースとした。

微生物細胞による窒素同化は、アンモニア性窒素やその有機体のアミノ酸を直接に摂取することによってなされると考えられる。特に無機性のアンモニア性窒素の同化はグルタミンやグルタミン酸の合成であり、これらは核酸やタンパク質合成の素材となり、アミノ酸供与体として重要である。アンモニア性窒素は全窒素(TN)で表示した。

微生物の代謝活動における全有機炭素、全窒素、リンの摂取速度の内容と物質収支式について以下のように仮定する。

$$U(TOC)_T = U(TOC)_{SLD} + U(TOC)_{ENG} \quad (1)$$

$$U(P)_T = U(P)_{SLD} + U(P)_{PP} \quad (2)$$

$$U(TN)_T = U(TN)_{SLD} + U(TN)_{DN} \quad (3)$$

ここに、 $U(TOC)_T$: TOC全摂取速度、 $U(TOC)_{SLD}$: 活性汚泥の組成用のTOC摂取速度、 $U(TOC)_{ENG}$: エネルギー生成用のTOC摂取速度、 $U(P)_T$: リン全摂取速度、 $U(P)_{SLD}$: 活性汚泥の組成用のリン摂取速度、 $U(P)_{PP}$: 蓄積あるいは過剰摂取されるリン摂取速度、 $U(TN)_T$: 全窒素全摂取速度、 $U(TN)_{SLD}$: 活性汚泥の組成構築用のTN摂取速度、 $U(TN)_{DN}$: 脱窒素速度、を意味する。前述のように、 $U(TOC)_{SLD}$ についてはPHB等のエネルギー源物質の貯蔵あるいは蓄積も含まれるものとする。ピロリン酸あるいはポリリン酸の分解によってエネルギーが一部供給されると考えられるが、そのエネルギー生成量については考慮していない。

式(2)において、嫌気工程を含まない好気的生物処理工程においては、脱窒素現象は起こらない [$U(TN)_{DN} = 0$]、そして摂取された窒素のすべてが同化されたとするならば、次式のように変形される。

$$\begin{aligned} U(TN)_T &= \frac{\Delta(TN)_{SLD}/T-VS/\theta}{\Delta(TOC)_{SLD}/T-VS/\theta} \cdot \Delta(TOC)_{SLD}/T-VS/\theta \\ &= \frac{\Delta(TN)_{SLD}}{\Delta(TOC)_{SLD}} \cdot U(TOC)_{SLD} \\ &\approx \left(\frac{N}{C}\right)_{SLD} \cdot U(TOC)_{SLD} \quad (4) \end{aligned}$$

ここで、 $(\frac{N}{C})_{SLD}$ ：活性汚泥の平均組成（N/C）比を表わす。

式（4）に式（1）を代入して次式を得る。

$$U(TN)_T \approx (\frac{N}{C})_{SLD} \{U(TOC)_T - U(TOC)_{ENG}\} \quad (5)$$

式（5）は、全窒素の利用速度が全有機炭素の利用速度の関数で表わされ、曲線の勾配が活性汚泥の平均組成（N/C）比となることを示している。この図の内容から、摂取されたTOCのうち細胞構造形成用とエネルギー生成用に利用されたTOC利用量が図式的に算定できる。式（5）を変形して、エネルギー生成用に利用されるTOCの酸化量の関係式を導くと次式を得る。

$$U(TOC)_{ENG} = U(TOC)_T - (\frac{C}{N})_{SLD} \cdot U(TN)_T \quad (6)$$

エネルギー生成用に利用されるTOCの酸化量は全有機炭素の摂取（利用）速度に比例して増加する。単にエネルギー生成用のTOCの酸化量を増加させるためならば、有機物負荷を大きくする、あるいはSRTを小さく設定すればよいことになる。

エネルギー生成用に利用されるTOCの酸化率は式（7）で示される。

$$\frac{U(TOC)_{ENG}}{U(TOC)_T} = \frac{U(TOC)_{ENG}}{U(TOC)_{SLD} + U(TOC)_{ENG}} \quad (7)$$

$$= 1 - (\frac{C}{N})_{SLD} \cdot \frac{U(TN)_T}{U(TOC)_T} \quad (8)$$

$$\approx 1 - (\frac{C}{P})_{SLD} \cdot (\frac{TN}{TOC})_{SUB} \quad (9)$$

$(\frac{TN}{TOC})_{SUB}$ ：基質のTNとTOCとの負荷強度の比または基質の（N/C）比を表わす。この結果から、式（7）によれば、活性汚泥増殖量を可及的に低く操作する、例えばSRTを大きくする、あるいは内生呼吸時間を長く拘束することなどによってエネルギー生成のために酸化されるTOCの割合が大きくなることができ、また式（9）からはその割合は基質の（N/C）比の影響を受けることが示される。

式（5）の場合と同様にして、式（10）を得る。

$$U(TN)_T \approx (\frac{N}{P})_{SLD} \{U(P)_T - U(P)_{PP}\} \quad (10)$$

$(\frac{N}{P})_{SLD}$ ：活性汚泥の平均組成（N/P）比（リン過剰摂取分は含まない）を意味する。式（10）を変形してリン摂取速度に占める過剰摂取分の割合を求めると、

$$\begin{aligned} \frac{U(P)_{PP}}{U(P)_T} &= 1 - (\frac{P}{N})_{SLD} \cdot \frac{U(TN)_T}{U(P)_T} \quad (11) \\ &= 1 - (\frac{P}{N})_{SLD} \cdot \frac{1}{U(P)_T} \{U(TOC)_T - U(TOC)_{ENG}\} \quad (12) \end{aligned}$$

式（11）と式（12）とから、リンの過剰摂取の可能性に関して、窒素の負荷強度が低いことが必要条件の一つであって、さらにより多くのエネルギーが消費されると推論される。

3. むすび

活性汚泥の性状特性は環境の影響を受けて対応する。一例として、活性汚泥のリン過剰摂取の現象を検討した。リン過剰摂取に関して、活性汚泥の組成と基質中の窒素負荷強度が大きく関与し、リンの過剰摂取が生じる場合にはエネルギー消費が必要であることを述べた。このことは、活性汚泥に対する窒素源の供給が活性汚泥の性状特性を決定する重要な要因であることを意味している。