

1. 概説

活性汚泥微生物反応は巨視的にみて除去の対象となる汚濁性有機物と活性汚泥微生物集団との反応であるが、さまざまな汚水有機物を BOD_5 という単一指標で種々の活性汚泥の反応に対する特性を活性度で表示することにより、複雑な汚水微生物反応をある程度単純化し一般化して説明することの意義、価値などについてはすでに報告した。本研究ではこれらの指標を用いて種々の活性汚泥法で行なわれる微生物反応一般の kinetics について検討した。

2. 微生物反応の基本式

すでに提出されている Herbert, Monod などの 1 相説, Sawyer, Eckenfelder などの 2 相説あるいは Zollinger, Busch などの零次反応説において、いずれも基質除去速度は基質濃度および汚泥濃度の関数として取り扱い、その他のすべての反応関係因子は速度定数の中に含めている。しかしながら、反応式の中に汚泥の活性度という指標を導入することにより反応はより合理的に説明される。活性汚泥微生物反応式として次のような速度式を考える。

溶解性有機物の除去速度に関して

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{a_1 K_1 C S}{a_0 (K_2 + C + K_3 C^2)} \quad \text{----- (1)}$$

全酸素吸収速度に関して

$$\frac{dO}{dt} = \frac{dO_1}{dt} + \frac{dO_2}{dt} + \frac{dO_3}{dt} = \frac{a_2 K'_1 C S}{a_{02} (K'_2 + C + K'_3 C^2)} + K'_4 L S + K'_5 C' \frac{a_3}{a_{03}} S \quad \text{----- (2)}$$

ここで

C : 溶解性基質濃度 ($S_0 - BOD_5$) mg/l

C' : 固形物基質濃度 ($SS - BOD_5$) mg/l

a_0 : 定数 K_1, K_2, K_3 の決定に用いた活性汚泥のその基質に対する BOD 除去活性度 $\frac{\text{mg BOD}}{\text{gr SS} \cdot \text{hr}}$

a_{02} : 定数 K'_1, K'_2, K'_3 の決定に用いた活性汚泥のその基質に対する基質代謝活性度 $\frac{\text{mg } O_2}{\text{gr SS} \cdot \text{hr}}$

a_{03} : 定数 K'_5 の決定に用いたその固形物基質に対する基質代謝活性度 $\frac{\text{mg } O_2}{\text{gr SS} \cdot \text{hr}}$

S : 活性汚泥濃度 $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$ L : 活性汚泥の自家呼吸によって消費される基質量 (汚泥の ultimate BOD) $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$

$\frac{dO_1}{dt}$: 溶解性基質による酸素吸収速度 $\frac{dO_2}{dt}$: 活性汚泥の自家呼吸による酸素吸収速度

$\frac{dO_3}{dt}$: 固形物基質による酸素吸収速度

K_1, K_2, K_3 : BOD_5 除去に関する速度定数

K'_1, K'_2, K'_3 : 酸素吸収に関する速度定数

K'_4 : 自家呼吸係数

K'_5 : 固形物基質の酸素吸収に関する速度定数

式-(1)は酵素反応における基質による阻害作用の式を基礎にしているが、 $K_3 = 0$ のとき Michaelis-Menten の式に一致する。酵素反応では $\frac{a_1 S}{a_0}$ に相当する酵素量が反応期間一定として取り扱えるのに反し、微生物反応の複雑なのは $a_1 S$ が反応経過によって変化する時間の関数であるということである。

すなわち、 S は増殖し、たとえば回分培養においては一分子自触媒反応式に従い、基質濃度および

時間の関数となっている。

一方、 α_1 もまた反応経過により変化する単一微生物では細胞令の関数であることが知られている。

式-(12)はエアレーションタンク内で微生物反応によって消費される全酸素吸収速度とあらわしており、酸素供給率を決定する上での重要な指標の1つである。ここで $\frac{dO_2}{dt}$ は式-(11)と同型であり、 $\frac{dO_2}{dt}$ は汚泥中の自家呼吸可能物質の量に比例し、 $\frac{dO_2}{dt}$ もまた固形有機物の量に比例する一分子反応とした。

3. 実験およびその結果

2の微生物反応式の妥当性を裏づける種々の実験を行なった。すなわち、①種々の基質に対する基質濃度(BODs)と単位汚泥の基質除去速度との関係、②汚泥濃度と基質除去速度との関係、③同一基質に対して種々の汚泥を用いた場合の基質濃度と単位汚泥の基質除去速度との関係、④反応経過における汚泥活性度の変化、⑤活性汚泥の自家呼吸速度に関する実験、⑥下水固形有機物の分解とそれが溶解性有機物の除去および代謝におよぼす影響、⑦実験装置の検討などである。

これらの実験結果の一部にはすでに報告したものもあるが実験結果をまとめると次のようである。

①基質としてグルコース、キシロース、グルタミンソーブ、アルギニン、醋酸アンモン、プロピオン酸、合成下水、尿、脱離液などを用いた実験結果より、単位汚泥のBOD除去速度と基質濃度、および酸素吸収速度($net\ O_2\ uptake\ rate$)と基質濃度との関係はどちらもほぼMichaelisの式($K_1=0, K_2=0$)に従うことを示し、一部基質では基質阻害の式に従った。②一般にBOD除去速度に比して酸素吸収速度は低濃度まで零次反応的に進行し、定数 K_2 は K_1 より低い値を示した。③合成下水(グルコース、グルタミン酸ソーブ、醋酸アンモン)を用いた実験により酸素吸収速度はいずれの基質濃度においてもほぼ汚泥の代謝活性度に比例した。④汚泥濃度と基質除去速度および酸素吸収速度との関係はほぼ比例する。⑤回分式および実験槽における実験結果より反応進行過程において汚泥の活性度は約1/3倍まで変化し、微生物反応では α_1, α_2 などは定数とならない。しかしながら活性度の変化は複雑な関係する因子も多いのでその特性と把握するには至っていない。もちろん完全混合、定常状態においては α_1 は定数と置くことができる。⑥活性汚泥の自家呼吸は式-2に示したように一分子反応的に進行しその速度定数 K_4 はほぼ $0.02\ hr^{-1}$ であった。⑦実験下水中の固形物を用いた実験により、SSが1000 $\mu m(BOD_{200})$ 程度であっても溶解性有機物BODの除去および代謝に影響することは少ない。⑧また $\frac{dO_2}{dt}$ は $\frac{dO_2}{dt}$, $\frac{dO_2}{dt}$ に比べて小さく巨視的にみれば無視し得る。⑨これらの実験は主として大規模フルゲル装置によって行なったものであるが、実際の場合とほぼ一致することを確かめた。

4. 考察

以上の実験結果は巨視的にみても式-1, 式-2の妥当性を実証しているが、汚水の微生物反応は非常に複雑であるので、さらに実験を重ねることによって一層の検討を加えなければならぬ。この際特に問題となるのは低濃度域でのBOD, COD物質の溶出現象である。この溶出物質は吸収された基質と性質の異なった物質である場合が多くその反応はさらに複雑である。また代謝産物の問題も重要で反応の進行にともない基質の成分組成が変わる場合には反応速度はそれによっても変化するのその解析は別に考えねばならない。実際の下水処理では固形物の除去もまたきわめて重要でこれにはMLSSの沈降性が問題となり、汚泥の活性度と沈降性能との関係の把握が必要である。