

B-1

実下水活性汚泥による各種有機物の取り込み特性

都立大学大学院工学系研究科土木工学専攻

生方 悠

1. 始めに

都市下水中の有機物は、揮発性有機酸を除けば、大部分は高分子の有機物であり、より具体的に言えば、活性汚泥とほぼ同じ大きさの固形性の有機物である。従って、活性汚泥による有機物除去においては、高分子有機物の加水分解の過程が有機物除去における律速段階になっていることは誰しも認める所である。ところが、都市下水を処理する活性汚泥における、固形性有機物の加水分解の機構や、加水分解酵素の特性、また加水分解酵素の存在箇所についての情報は至って少ない。都市下水には、比較的に多量の蛋白質と少量の高分子糖類が含有されているので、分子量の異なる各種の有機物の除去速度を測定して、未解決の部分の情報を得ることとした。

2. 実験方法

実験に使用した有機物は、糖類では、溶性澱粉（分子量：3～5万）、デキストリン（5千程度）、マルトース（澱粉の加水分解産物で、細菌に取り込まれる）、グルコース（澱粉の最終加水分解産物ではあるが、下水中には存在しない）、また蛋白質では、ペプトン（千程度）、カザミノ酸（カゼインの加水分解産物で、遊離アミノ酸の混合物）である。採取した都市下水処理活性汚泥は、 $425\mu\text{m}$ の篩いで夾雑物を除去し、13Lの水道水で洗い、1晩好気条件を保持した。翌日また13Lの水道水で洗い、沈殿した汚泥を20度の水で希釈し、20度の恒温槽で有機物の除去実験を行った。

3. 実験結果と考察

3. 1 分子量の異なる有機物の除去

図-1に示すように、TOC濃度が20 mg/l以上の濃度域においては、グルコース、マルトース、デキストリンの除去速度は同一であり、零次反応式に従っていた。溶性澱粉の除去も零次反応式に従っていたが、除去速度は他の糖類よりわずかに遅かった。ペプトンとカザミノ酸の除去は1次反応式に従っていた。ペプトンとカザミノ酸の除去速度が同一であるのは、蛋白質加水分解酵素が強力であるか、ペプトン中のペプチド結合の数が少ないことに起因しているのであろう。

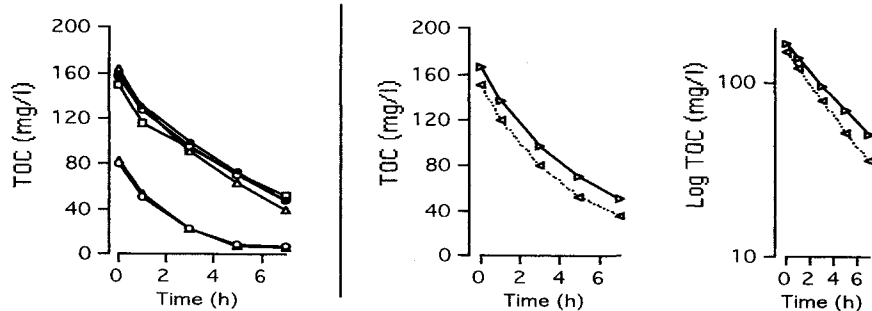


図-1. 活性汚泥による分子量の異なる有機物の除去 ($X_0=2.9\text{ mg/l}$).

左側：グルコース (●)、マルトース (○)、デキストリン (Δ)、溶性澱粉 (□)、
右側：ペプトン (▷、実線)、カザミノ酸 (◄、破線)

デキストリンで2ヶ月以上馴致した活性汚泥による、デキストリンの除去は1次反応式に従うことは、実験的に確かめられており、デキストリンで培養された活性汚泥に誘導された加水分解酵素はアミラーゼと考えられる。その理由は、アミラーゼ活性は澱粉の濃度に比例することが報告されているからである。都市下水処理活性汚泥に存在する糖類の加水分解酵素は、この実験結果からアミラーゼではないと考えられる。下水中の主要な有機物は蛋白質であり、ペプトンで培養した活性汚泥による、分子量の異なる糖類の除去過程も図-1に示すような結果が得られているので、糖類を加水分解する酵素は、細菌を含む微生物の死骸を加水分解する酵素の可能性がある。分子量の異なる糖類の除去速度がほぼ同じであることから、使用した有機物の範囲では、有機物除去においては加水分解の過程が、有機物除去における律速段階にはなっていないようである。使用した有機物は、下水中の固形性の有機物に比較すれば分子量が余りに低すぎるのであろう。

3. 2 加水分解酵素の存在箇所

活性汚泥の加水分解酵素の存在箇所については、活性汚泥細菌の細胞表面と溶液中に遊離しているとの説があるが、両説の根拠には実験方法に基本的な誤りがある。本実験では、実験当日に活性汚泥を、22Lの水道水に活性汚泥を分散し、沈殿汚泥を沈殿させ、上澄水を捨てる事を2回繰り返す、更にこの汚泥を12Lの水道水に分散させ、沈殿した活性汚泥を有機物の除去実験に使用した。もし加水分解酵素が溶液中に遊離しているなら、加水分解酵素はほとんど失われているものと考えられる。

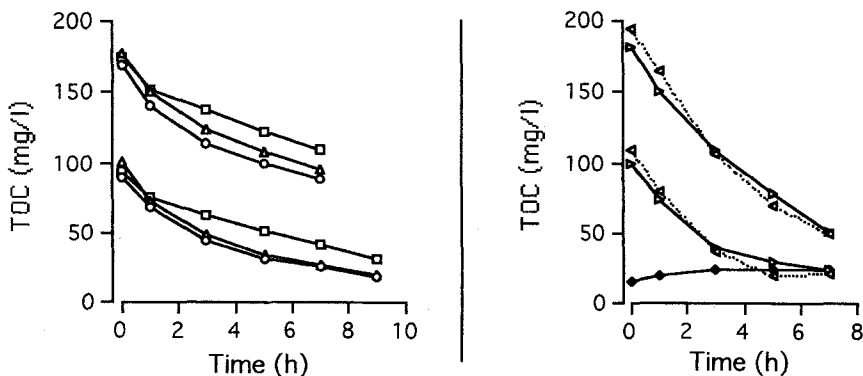


図-2. 多量の水道水で洗浄した活性汚泥による分子量の異なる有機物の除去 ($X_0=3.9 \text{ mg/l}$)。記号は、図-1に同じ

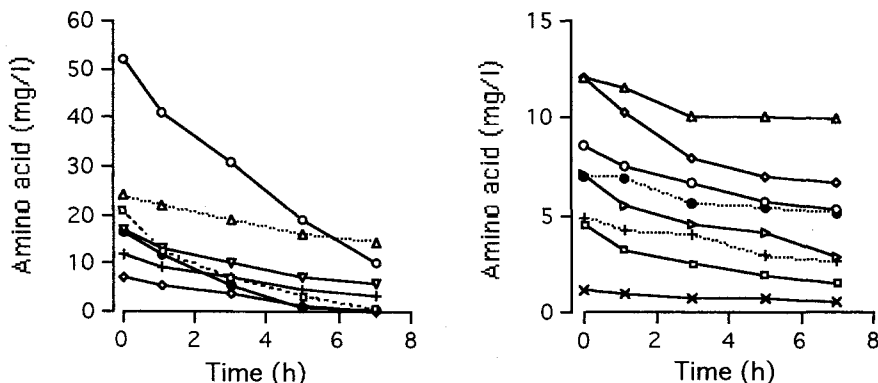
図-2に実験結果を示す (◆: ブランク値)。図-1の結果と比較すると、単位活性汚泥当たりの蛋白質の除去速度には大きな差はなかったが、糖類の除去速度は半分程度に減少しており、除去過程も直線的ではなかった。糖類では、マルトースとデキストリンの除去過程は同じであったが、溶性澱粉の除去速度は他の糖より遅く、実験初期を除くとその除去過程は直線的であった。添加基質の濃度を変えても、カザミノ酸の除去速度がペプトンのそれよりやや高いとの実験結果が得られた。

多量の水道水で洗浄した活性汚泥による分子量の異なる有機物の除去実験から、分子量の高い有機物の除去速度が、分子量の低い有機物より遅いことから、ここで使用した有機物の範囲では、有機物除去においては加水分解の過程が有機物除去における律速段階になっていた。ただし、活性汚泥を洗浄することにより活性度の高い微小な活性汚泥が失われている可能性が高く、また、分子量

の異なる有機物の除去速度には、大きな差は無いので、加水分解酵素は活性汚泥表面に付着しているもの判断して良からう。もし加水分解酵素が溶液中に遊離しているなら、この実験系ではその加水分解酵素は存在していないはずであるので、高分子有機物はほとんど除去されない筈である。

3. 2 有機物除去の1次反応式の理論について

生物学的廃水処理において、有機物除去が1次反応式で示される現象については、廃水中には数多くの有機物が存在し、有機物の初期濃度と除去速度（零次反応を仮定）が異なることから、その総和として、有機物除去は1次反応式に近似するものと説明されている。筆者は、ペプトン培養活性汚泥による、ペプトンとカザミノ酸の除去実験を行い、カザミノ酸は零次反応式で除去され、その除去速度はペプトンより速く、またペプトンにはペプチド結合が存在するので、ペプトンの加水分解の過程が律速段階になっており、更に加水分解速度は濃度に比例することから、ペプトンの除去は1次反応式に従うと説明してきた。この説明とて、実際の廃水中の有機物は、大部分が高分子有機物の1種である、コロイドや固形性物質であることを考慮すれば、奇妙な説明であることは誰しも認めるところであろう。



図－3 カザミノ酸の除去時における、各アミノ酸の除去過程

図－3に、図－1の実験に類似した条件下での、カザミノ酸の除去時における各アミノ酸の除去過程を示す。カザミノ酸の除去は1次反応式で示され、各アミノ酸はほぼ直線的に除去されている。この実験で、除去量の多かったアミノ酸は、グルタミン酸、アルギニン、アスパラギン酸、リジンで、残存量の多かったアミノ酸は、グルタミン酸、プロリン、バリンであった。またバリン、イソロイシン、ヒスチジン、チロシンの除去量は極わずか（2 mg/l）であった。この現象は、下水蛋白質中のアミノ酸組成がカザミノ酸のそれと異なることに原因が有るかも知れない。

4. 結論

実験室で培養した活性汚泥による各種有機物の除去特性に関するデータは数多く存在する。都市下水を処理する活性汚泥による有機物の除去特性は、実験室で得られたデータとは重要な点で著しく異なることが示された。処理場活性汚泥の加水分解酵素は、大部分が細胞表面付着していた。

本研究を遂行するにあたり、カザミノ酸除去時における各アミノ酸の濃度を測定して下さった、東京都衛生研究所・食品化学部の井部明広博士に、深く感謝申し上げます。