



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低温下における廃水処理の微生物学的研究 : (第5報) 蛋白系廃水処理用活性汚泥の低温高負荷馴養時の変化について
Author(s)	豊田, 好洋; TOYOTA, Yoshihiro; 槇, 賢治 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(3), 223-230
Issue Date	1979-05-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/11920">https://hdl.handle.net/2115/11920</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(3)_p223-230.pdf



# 低温下における廃水処理の微生物学的研究

(第5報) 蛋白系廃水処理用活性汚泥の低温高負荷馴養時の変化について

豊田好洋\*・楨賢治

佐々木博・高尾彰一

(北海道大学農学部農芸化学科応用菌学講座)

(昭和53年8月24日受理)

## Microbiological Studies on Waste Water Treatment at Low Temperature

(V) Effect of high loading on low temperature acclimation of activated  
sludge for proteinous waste water treatment

Yoshihiro TOYOTA, Kenji MAKI, Hiroshi SASAKI  
and Schoichi TAKAO

(Laboratory of Applied Microbiology, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

### 緒言

寒冷地において、蛋白系廃水を合理的かつ経済的に処理するための活性汚泥法を確立する基礎として、さきに、魚肉エキスをモデル廃水とし、低温下でも十分な処理能を有する活性汚泥の育成と馴養<sup>7)</sup>、廃水の負荷量と水温の影響<sup>5)</sup>について報告した。

低温では、活性汚泥の廃水処理能が減退するとの報告が多く<sup>1,4,8)</sup>、著者らもこれとほぼ一致した見解を有しているが、寒冷地での廃水処理を効果的に行うためには、低温下でも効率よく処理できる方法の確立が不可欠である。

本報告は、前報に引続き、寒冷地における蛋白系廃水の生物学的処理に関する研究の一環として、これまで馴養した活性汚泥を用いて、低温高負荷で馴養を試み、その挙動を観察したものである。

### 実験方法

#### 1. モデル廃水

前報<sup>7)</sup>と同様、市販のながす鯨とかつお肉を原料としたエールリッヒ肉エキスを、目的に応じ希釈して使用した。

#### 2. 供試汚泥

著者らが、毎日COD約260ppmを負荷して、中温(25°C前後)と低温(6°C前後)で馴養して来た活性汚泥を用いた。両汚泥は、ともにそれぞれの馴養温度で、優れた蛋白系廃水処理能と沈降性を有する硝化型のものである。

#### 3. 廃水処理能の測定

廃水ならびに処理水のBOD、CODおよび窒素化合物の濃度は、JIS K 0102の方法<sup>6)</sup>に従って測定した。また、曝気槽は、前報<sup>7)</sup>記載のものを使用した。

### 結果および考察

#### 1. 負荷量増大による活性汚泥の変化

前報<sup>5,7)</sup>では、著者らの馴養汚泥は蛋白系廃水の負荷量がCODとして120~250ppmの範囲では硝化型で、すぐれた廃水処理能を示すと述べた。しかし、それらの結果は、窒素化合物の酸化処理に重点を置いたもので、COD負荷120~250ppmをBODに換算すると、このモデル廃水では220~450ppmに相当し、これを容積負荷で表すと0.22~0.45kg BOD/m<sup>3</sup>/dayとなり、標準活性汚泥法の負荷0.4~0.6kg BOD/m<sup>3</sup>/dayに比べるとやや少ない。そこで、蛋白系廃水において、一般有機廃水

\* 現勤務先 東菱製薬株式会社

と同程度まで負荷を増大させた場合に、MLSS、 $SV_{30}$ および廃水処理能にどのような変化を生ずるかを調べた。

中温馴養汚泥(約25°C, COD約260 ppm)を用い、COD負荷を260, 520および1,040 ppmの3段階に変えて、MLSSと $SV_{30}$ がどのように変化するかを測定したのがFig. 1である。また、その間における馴養汚泥のCOD除去能の変化はFig. 2に示した。

COD負荷を馴養時と同じ260 ppmとした対照では、MLSSの増加が比較的少なく、初発時の5,338 ppmが馴養51日で9,116 ppmとなったに過ぎない。これに比べ、負荷量の多い場合にはMLSSの増加が著しく、COD負荷520 ppmでは初発時5,840 ppmから14,224 ppm、COD負荷1,040 ppmでは初発時5,780 ppmから20,816 ppmへと増加した。

初発時のMLSSはほぼ等しくても、負荷が増すにつれてMLSSの増加率が大きくなることは前報<sup>5)</sup>でも述べているが、COD負荷260, 520, 1,040 ppmのそれぞれにおける馴養51日間のMLSSの増加量は、3,778, 8,384, 15,036 ppmで、3者の比は約1.0:2.2:4.0となり、負荷量の比1.0:2.0:4.0に近似していた。

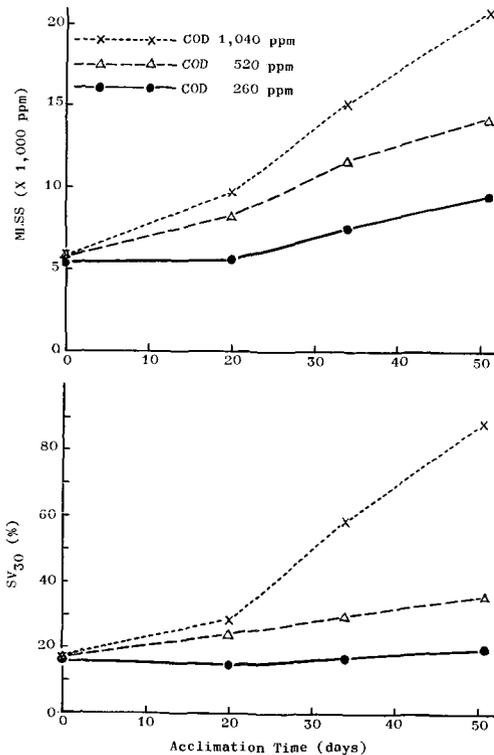


Fig. 1. Increase of MLSS and  $SV_{30}$  at high loading.

一般に汚泥増加量は次式で表されており<sup>3)</sup>,

$$\Delta S = [(S_0 + aL + bSS_t) - cMLSS] - S_0$$

汚泥微生物の生長に関与する定数( $a$ と $b$ )や、MLSSの自己消化により減少する定数( $c$ )を算出する試みもなされているが、これらの定数は廃水の種類や処理条件によって激しく変動するので、次の概算式が用いられることが多い。

$$\Delta S = a''L$$

ここで $\Delta S$ は汚泥増加量、 $L$ はBOD負荷量を示している。

洞沢<sup>3)</sup>は、この概算式において $a''$ が0.5~0.6を中心とした廃水が多いと述べている。著者らの結果では、MLSS増加量( $\Delta S$ )と負荷量( $L$ )との間に比例関係があることは明らかだが、この概算式に当てはめると、 $a''$ の値は約0.16と非常に小さい。この低い値が何を意味するかは、今後の検討をまたねばならないが、本実験ではBOD負荷/MLSSの値が小さいことや、曝気槽中のMLSS濃度が馴養中に増大するにもかかわらず余剰汚泥を除去できなかったため、余剰汚泥を除去する通常運転の活性汚泥処理に比べ、汚泥の自己消化が進んだことなどが大きく影響しているものと考えられる。

$SV_{30}$ の変化をみると、COD負荷260 ppmでは馴養51日間を通じ大きな変動が認められなかったが、負荷が増すにつれて $SV_{30}$ も大きくなり、COD負荷1,040 ppmでは51日馴養で約89%にも達し、曝気を止めて汚泥を沈降させても、上澄液がほとんど得られない状態となった。従って、高負荷では、頻繁な余剰汚泥の除去が必要であろう。

馴養51日間におけるSVIは、21.9~42.5の範囲に止まり、SVIとしては低い値といえる。そのため、 $SV_{30}$ が89%にも達したCOD負荷1,040 ppm、51日馴養の汚泥でもバルキングは起っておらず、余剰汚泥を除去すれば $SV_{30}$ も小さくなるものと推察された。

Fig. 2は、馴養期間におけるCOD除去能の変化を示したもので、COD負荷260および520 ppmでは4回の測定でCOD除去能に大きな変化が認められなかった。これに反し、COD負荷1,040 ppmでは馴養7日でCOD除去能が最良で、負荷後7時間で約90%の除去率を示した。しかし、その後次第にCOD除去能が悪化し、馴養42日後には約66%の除去率となった。この場合MLSSが次第に増加しているにもかかわらず負荷量が一定に保たれているので、汚泥負荷(kg COD/kg MLSS/day)は次第に低下していることとなる。MLSS増加に

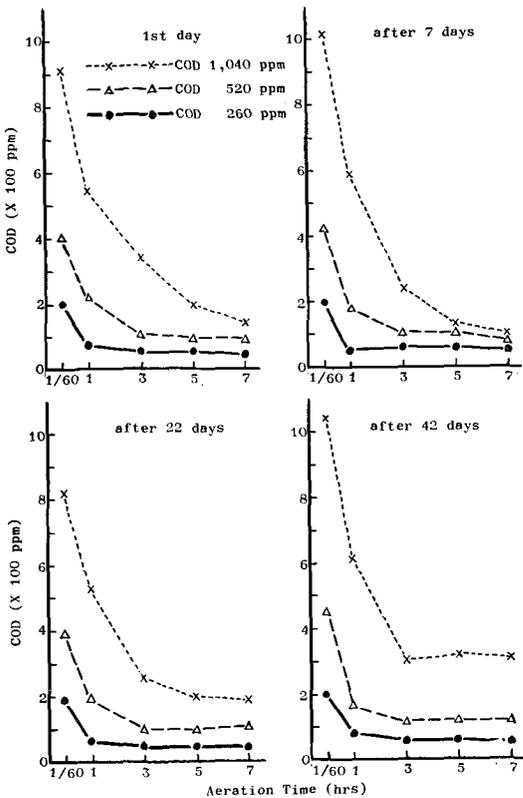


Fig. 2. COD reduction by activated sludge at high loading.

ともなる COD 除去能低下の現象は、活性汚泥に十分な廃水処理能を発揮させるためには、余剰汚泥の除去が必要なことを示唆している。

2. 廃水処理能におよぼす MLSS, 負荷量, 温度の影響

活性汚泥による廃水処理において、MLSS, COD 負荷および処理温度の間どのような関係があるかを明らかにするために、MLSS を 2,000~16,000 ppm の 6 段階、負荷量を COD 260, 520 および 780 ppm の 3 段階、処理温度を中温 (約 25°C) と低温 (約 6°C) の 2 段階に設定し、各組合せにおける負荷後 3, 5, 7 および 24 時間曝気時の残存 COD を測定したのが Fig. 3 である。なお、この実験では、負荷後 24 時間は汚泥量の増減はないものとみなした。

COD 負荷 260 ppm の中温では、MLSS の影響が少なく、曝気 7 時間では MLSS 8,000 ppm, 24 時間後には 5,000 ppm 以上で残存 COD が約 25 ppm となった。これに比べ低温では、いずれの曝気時間でも、残存 COD が同率となるには MLSS 7,000 ppm 以上を必要とし

た。このことから、COD 負荷 260 ppm 低温では、曝気槽内の MLSS が 7,000 ppm 以下の場合には MLSS の増加によって COD 除去能を改善できるが、7,000 ppm 以上の場合には MLSS の増加による COD 除去能の向上は期待し難いと判断された。

COD 負荷 520 ppm の場合、中温では MLSS が 6,000 ppm を越すと、残存 COD に対する MLSS の影響が少なくなった。これに比べ低温では曝気時間が短い時点で MLSS が多い程 COD 除去能が優れていた。

COD 負荷 780 ppm の場合には、中温では MLSS 8,000 ppm 以上で残存 COD に対する MLSS の影響がみられなくなったが、低温では COD 負荷 520 ppm の場合よりも MLSS と残存 COD の関係が密接で、曝気 3 時間では MLSS 16,300 ppm, 5 時間では 13,000 ppm, 7 時間でも 10,000 ppm まで MLSS の影響がみられた。

太宰ら (1967)<sup>2)</sup> は、活性汚泥の酸素吸収におよぼす汚泥濃度の影響を調べ、活性汚泥の基質酸化能は、MLSS 4,000~5,000 ppm 以下では MLSS の濃度に比例して増大するが、それ以上になると酸化活性の増加は緩慢になるので、MLSS 5,000 ppm 程度が適当であるとしている。

Fig. 3 に示した COD 除去能をもとに、蛋白系廃水処理における最適 MLSS 濃度を推定すると、太宰らの結論よりはやや多く、i) COD 負荷 260 ppm, 中温では約 5,000 ppm, 低温では約 7,000 ppm, ii) COD 負荷 520 ppm, 中温では約 6,000 ppm, 低温では約 9,000 ppm, iii) COD 負荷 780 ppm, 中温では約 8,000 ppm, 低温では約 10,000 ppm の MLSS を確保するのがのぞましいといえる。すなわち、COD 負荷が一定ならば、低温では中温よりも MLSS を増加させること、また、処理温度が一定の時には、負荷の増大に合わせて MLSS も増加させることが必要である。

Fig. 3 によると、MLSS と曝気時間がほぼ等しい場合には、COD 負荷 260, 520, 780 ppm のいずれにおいても、中温の方が低温よりも残存 COD が少なかった。しかし、低温でも MLSS を多くすると、残存 COD を中温に匹敵する値まで低下させることができた。例えば、24 時間後の残存 COD についてみると、COD 負荷 260 ppm の中温では、MLSS 3,000 ppm 以上で残存 COD が 30 ppm 以下となったが、低温で残存 COD を 30 ppm 以下にするには、MLSS 7,000 ppm 以上を必要とした。同様のことは、COD 負荷 520 ppm や 780 ppm の場合にもみられた。従って、活性汚泥法の低温対策として、MLSS を増やすならば、COD 除去能の低下は小幅

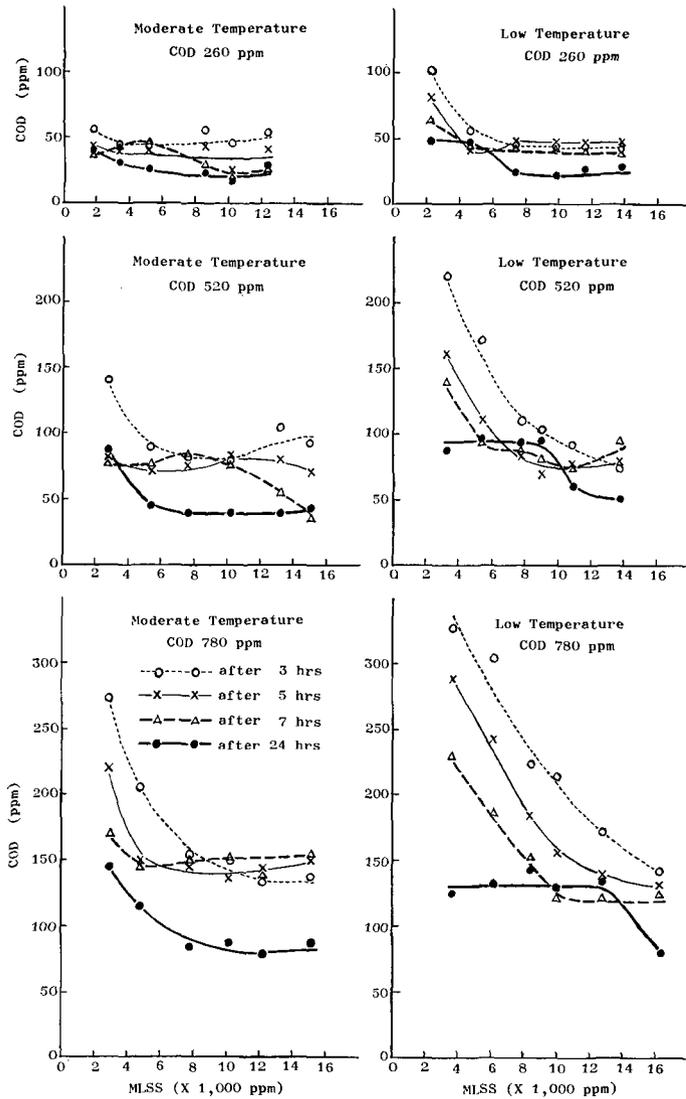


Fig. 3. Effect of MLSS on COD reduction by activated sludge.

に止めることができると考える。

COD 負荷と残存 COD との関係を見ると、24 時間後の残存 COD は、処理温度とは密接な関係がなく、COD 負荷 260 ppm で 22~48 ppm、COD 負荷 520 ppm で 41~99 ppm、COD 負荷 780 ppm で 80~145 ppm となり、24 時間後の残存 COD がどの位になるかは、負荷する廃水濃度に影響されるところ大であった。しかも、残存 COD は COD 負荷にほぼ比例しており、COD 除去率の上では、極端に差が現れることはないと理解された。この関係は、汚泥負荷 (kg COD/kg MLSS/day) を指標とすると、さらに明確にすることができる。COD

負荷量 (kg COD/kg MLSS/day) を横軸、COD 除去量 (kg COD/kg MLSS/day) を縦軸として、Fig. 3 の 24 時間曝気後に除去された COD を図示したのが Fig. 4 で、COD 除去率はほぼ一定値をとると判断される。このことは、24 時間曝気による COD 除去率は、汚泥負荷を指標とする限りでは、汚泥量や処理温度にさほど影響されないことを意味している。しかしながら、COD 除去率を詳細に検討してみると、80~90% の範囲内で若干異なった値を示している。そこで、COD 負荷と COD 除去率の関係をさらに明らかにするために、Fig. 5 を作成した。この図によれば、中温では、COD 負荷が 0.10 kg

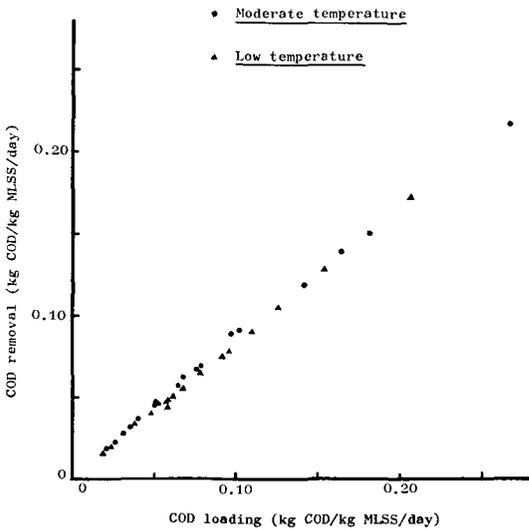


Fig. 4. Relationship between COD loading and COD removal.

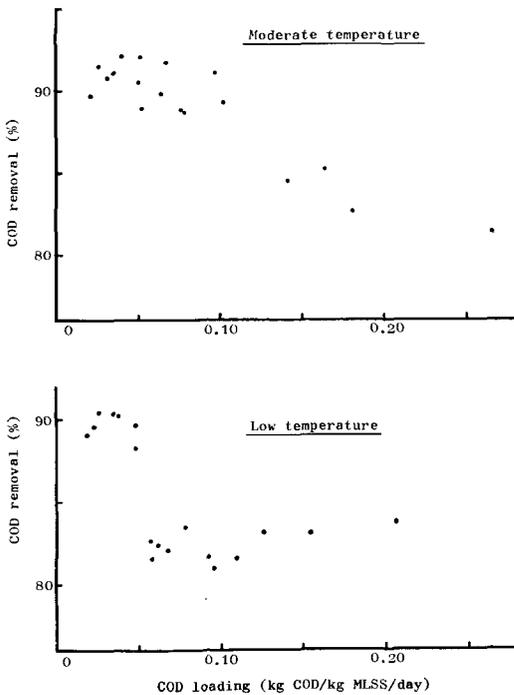


Fig. 5. Relationship between COD loading and COD removal.

COD/kg MLSS/day 以下ならば、COD 除去率は 90% 前後の値を示し、負荷がそれ以上になった時に、COD 除去率の低下が始まることが明らかである。また、低温では COD 負荷が 0.05 kg COD/kg MLSS/day 以下で

は、除去率は 90% 前後の値を示したが、それを越えると除去率の低下がみられた。これらのことから、汚泥負荷が増すと、中温、低温ともに COD 除去率が若干低下することは免れず、負荷増大の影響は、低温において、より顕著に現れるものと判断した。従って、低温において 90% 前後の COD 除去率を期待するならば、汚泥負荷を 0.05 kg COD/kg MLSS/day 以下に抑えなくてはならない。

汚泥負荷は、廃水の有機物濃度、曝気槽への流入速度、曝気槽内の汚泥量、廃水の滞留時間の 4 つによって決まるので、汚泥負荷を低くするためには、i) 廃水の有機物濃度を下げる、ii) 廃水の流入速度を小さくする、iii) 汚泥量を増やす、iv) 滞留時間を長くする、などの操作を行えばよいとされているが、著者らの成果からみても、これらの考え方にもとづいて廃水処理を行うのがのぞましい。

### 3. 高濃度廃水への活性汚泥の馴養

中温 (約 25°C) と低温 (約 6°C) で余剰汚泥を除きながら活性汚泥を高濃度のモデル廃水に馴養し、経日的に COD 除去能ならびに無機窒素の消長を追跡した。曝気槽の MLSS は、前項の実験結果を参考とし、中温では約 5,000 ppm、低温では約 10,000 ppm に保った。負荷

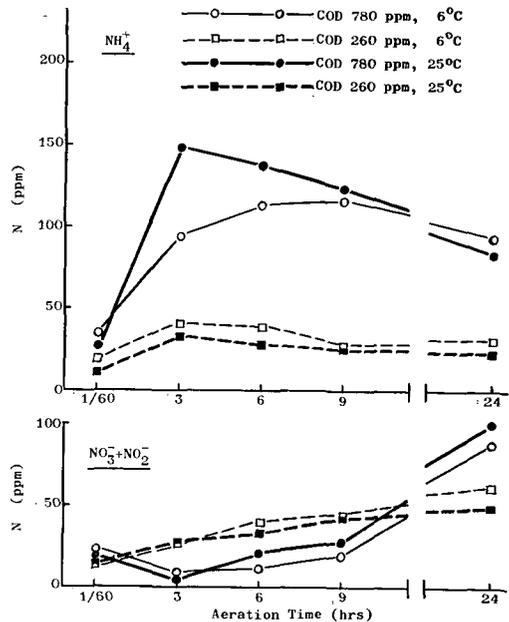


Fig. 6. Changes of inorganic nitrogen compounds during proteinous waste water treatment (at beginning of acclimation).

量は、中温、低温ともに COD 260 ppm と 780 ppm の 2 段階とした。ここでは、260 ppm を低負荷、780 ppm を高負荷と呼ぶこととする。

Fig. 6 は、馴養開始時の無機窒素の消長を示したもので、低負荷では、中温、低温ともに負荷後 3 時間で  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  が最大となり、その後徐々に減少した。また、 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  は、負荷直後から 24 時間後まで、増加の一途をたどった。これは、硝化型汚泥の典型的な無機窒素消長パターンで、供試汚泥が、それぞれ中温および低温で十分馴養されたものであることを示している。これに比べ、中温高負荷では  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  の増加が著しく、負荷後 3 時間で、処理水中の濃度は約 150 ppm となり、その後漸減した。低温高負荷では、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  の生成速度は遅かったが、負荷後 9 時間にわたり増加を続けた。低温高負荷で  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  の生成が遅く、生成量も少なかったのは、Fig. 7 の COD 除去曲線からも明らかなように、有機物の分解が遅れたためであろう。また、中温、低温ともに硝化は低負荷に比べやや遅れたが、24 時間後には中温で約 100 ppm、低温では約 87 ppm の  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  が検出された。

Fig. 7 は、馴養開始 2 日後の COD 除去能を示したもので、低温高負荷では、中温高負荷よりも COD 除去速度が遅く、また、24 時間後の残存 COD も多かった。

その後馴養 7, 15, 27, 42, 63 日後の窒素化合物の消長

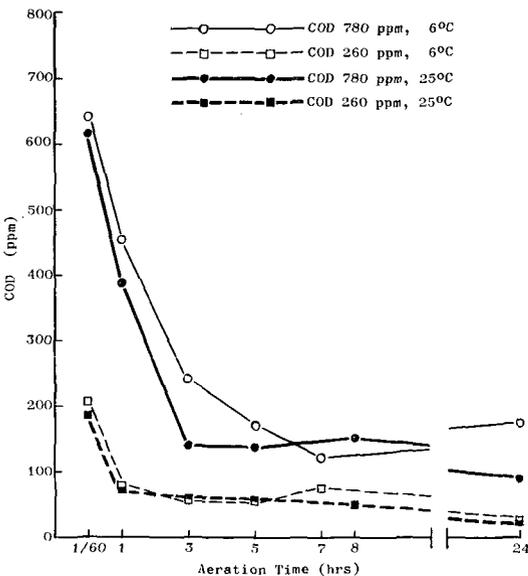


Fig. 7. COD reduction during proteinous waste water treatment (after 2 days acclimation).

を実測した結果によれば、低負荷では中温低温ともに馴養開始時と同じパターンを示したが、高負荷では次第に処理水中の  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が増加し、 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  が減少した。 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  生成量の減少は、中温よりも低温で速やかに現れた。これは  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  の増加と低温の相乗作用によって、硝化菌の発育ならびに活動が強く抑制されたばかりか、余剰汚泥の除去によって、発育の遅い硝化菌が淘汰されたためと考えられる。

Fig. 8 は、馴養 42 日後の活性汚泥による処理水中の窒素化合物の変化を示したもので、低温、中温ともに高負荷では、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  の生成が顕著となり、 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  の生成が抑制されていることが知られる。

馴養 9, 22, 34, 50 日後に測定した COD 除去能の変化によれば、馴養開始当初には、低温での COD 除去能は中温に比べかなり劣っていたが、馴養が進むにつれて、両者の差は少なくなった。Fig. 9 は、馴養 50 日後の COD 除去能を示したもので、低温高負荷汚泥も、中温高負荷汚泥に劣らぬ活性を有するものに馴養されていることが理解されよう。

Fig. 8 にみられるように、高負荷処理水では、馴養後期になると、中温、低温ともに、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  を多量に含み、 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)-\text{N}$  はほとんどみられなくなった。こ

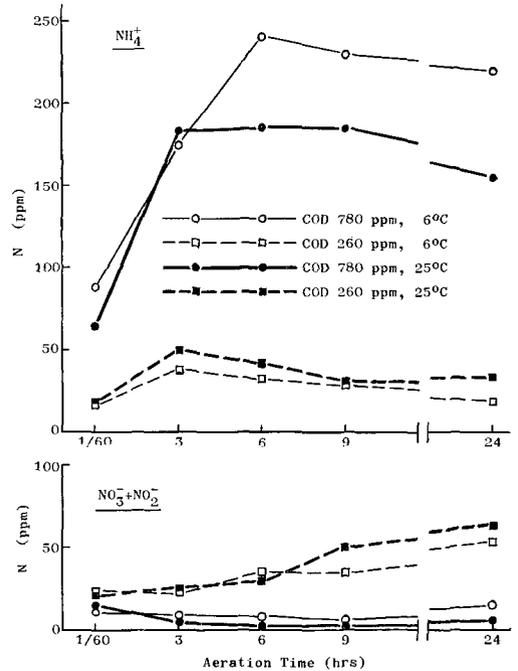


Fig. 8. Changes of inorganic nitrogen compounds during proteinous waste water treatment (after 42 days acclimation).

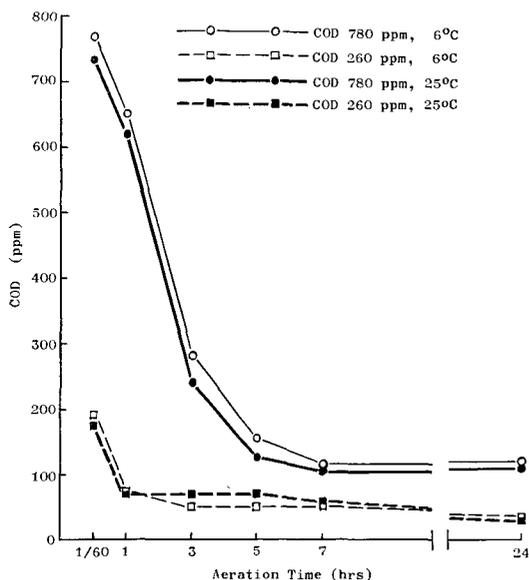


Fig. 9. COD reduction during proteinous waste water treatment (after 50 days acclimation).

のことは、蛋白系廃水処理用活性汚泥は、高負荷で馴養すると  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成型、低負荷で馴養すると硝化型となることを示している。活性汚泥利用の上で、 $\text{NH}_4\text{-N}$  生成型汚泥、硝化型汚泥のいずれを選ぶかは、それぞれの目的によって異なるであろうが、高負荷で処理効率を高めるには、 $\text{NH}_4\text{-N}$  生成型の利用が好ましいと思われる。

馴養の進んだ活性汚泥による高負荷処理水中の窒素化合物の動向として、曝気6時間を過ぎる頃から、常に中温よりも低温の方が  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度が高いという現象がみられた。これに関わりのある最も可能性の高い因子として、温度が高いほど気体の溶解度が低いことが考えられる。すなわち、 $\text{NH}_4\text{-N}$  生成型汚泥による処理水は、pHがアルカリ側に保たれているため、中温では、低温よりも、 $\text{NH}_4\text{-N}$  がガス化して空气中に放散され易いためであろう。

要 約

低温下における廃水処理の微生物学的研究の一環として、汚泥量 (MLSS) と処理能の関係を調査するとともに、高濃度廃水への馴養を試み、次の結果を得た。

1. 負荷量が多いほど、MLSS や  $\text{SV}_{30}$  の増加速度が早く、負荷量と MLSS 増加量との間には、比例関係が認められた。

2. 蛋白系廃水用活性汚泥を用いて、高負荷馴養を行ったところ、汚泥は  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成型に移行した。

3. 負荷量および MLSS が等しく、温度条件のみが異なる場合の COD 除去能は、低温で低く、中温と同程度の COD 除去能を達成するためには、MLSS を増やさなくてはならなかった。

4. 曝気 24 時間後の残存 COD は、負荷量、MLSS および温度の中で、負荷量によって最も大きな影響を受けた。

5. 蛋白系廃水処理において、90% 前後の COD 除去率を達成するためには、中温では負荷量を 0.10 kg COD/kg MLSS/day 以下、低温では 0.05 kg COD/kg MLSS/day 以下にしなければならない。

終りにのぞみ、本研究の費用の一部は、昭和 52 年度文部省科学研究費、特定研究「微生物による環境浄化」によったものであることを付記し、謝意を表す。

引用文献

- BENEDICT, A. H. and CARLSON, D. A.: Temperature acclimation in aerobic biooxidation systems, *J. Water Poll. Control Fed.*, **45**: 10-24. 1973
- 太宰宙郎・小川 誠・小野英男: 活性スラッジによる産業廃水の処理に関する研究, 第 12 報 諸条件下における活性スラッジの酸化活性の変化について, *醸工*, **45**: 841-847. 1967
- 洞沢 勇: 排水の生物学的処理, p. 93-144, 技報堂, 東京, 1976
- LUDZACK, F. J., SCHAFFER, R. B. and ETTINGER, M. B.: Temperature and feed as variables in activated sludge performance, *J. Water Poll. Control Fed.*, **33**: 141-156. 1961
- 森田壮平・秋田谷宣之・佐々木博・高尾彰一: 低温下における廃水処理の微生物学的研究, 第 4 報 蛋白系廃水処理用活性汚泥の低温馴養におよぼす水温と負荷量の影響, *北大農邦文紀*, **11**: 110-118. 1978
- 日本工業標準調査会: 日本工業規格, 工業排水試験方法, JIS K 0102, p. 1-47. 日本規格協会, 東京, 1975
- 高尾彰一・佐々木博・森田壮平・秋田谷宣之: 低温下における廃水処理の微生物学的研究, 第 3 報 蛋白系廃水処理のための低温馴養活性汚泥について, *北大農邦文紀*, **11**: 102-109. 1978
- 滝口 洋: 産業廃水の生物処理, (1) 活性汚泥法における水温の影響, *水処理技術*, **12**: (5), 35-42. 1971

### Summary

Activated sludge acclimation for high loading was examined as a part of the microbiological studies on proteinous waste water treatment at low temperature.

In particular, the effects of amount of activated sludge (MLSS) and acclimation temperature on the waste water treatment were studied.

This paper presents the following results.

1. The rate of increase of MLSS and  $SV_{30}$  became high with an increase of waste water concentration. The rate of increase of MLSS was proportional to the waste water concentration.

2. The activated sludges turned into ammonia-producing sludges at both moderate (about 25°C) and low (about 6°C) temperatures under the con-

dition of high loading of proteinous waste water.

3. When waste water concentration and MLSS were at the same level, the removals of COD were lower at low temperature than at moderate temperature. For the purpose of gaining high COD removal, it is necessary to increase MLSS in the aeration chamber.

4. Among waste water concentration, MLSS and temperature, waste water concentration had the greatest effect on the remaining COD after 24 hours aeration.

5. To obtain about 90% COD removal, it is necessary to decrease loading value to less than 0.10 kg COD/kg MLSS/day at moderate temperature and to less than 0.05 kg COD/kg MLSS/day at low temperature, respectively.