



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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
Author(s)	高尾, 彰一; TAKAO, Shoichi; 佐々木, 博 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(1), 102-109
Issue Date	1978-07-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11907
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(1)_p102-109.pdf



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

高尾 彰一・佐々木 博

森田 壮平*・秋田谷宣之**

(北海道大学農学部農芸化学科応用菌学講座)

(昭和52年8月22日受理)

Microbiological Studies on Waste Water Treatment at Low Temperature

(III) Characteristics of low temperature acclimated
activated sludge of proteinous waste water

Shoichi TAKAO, Hiroshi SASAKI, Souhei MORITA
and Nobuyuki AKITAYA

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

結 言

水産資源の豊富な北海道は、魚介類の加工場を多数か
かえ、わが国の重要な蛋白食品供給基地となっている。
しかしながら、水産加工業者には零細なものが多く、十
分な処理施設を持たず、廃水中にかなりの水溶性蛋白質
を流出させ、沿岸海域の汚染をもたらししているのが現状
である。また、将来の規制に対応するために、活性汚泥
法等の廃水処理施設を備えたものでも、冬期間は気温の
低下が著しく、その機能を十分発揮できないもの
が多い。

水産加工場から排出される廃水処理のための活性汚泥
法については、太宰ら (1968)³⁾、橋永ら (1970)⁶⁾、小野
(1972)¹²⁾、長田ら (1976)^{9), 10)} の論文があり、水産庁の指
導では、汚濁度の高い排水は、凝集法と活性汚泥法との
組合せにより浄化するとされている。橋永ら⁶⁾は、運転
条件が適切であれば、低温でも活性汚泥法による処理が
十分可能であるとしながらも、温度低下による処理能の
劣化を認めており、冬期の活性汚泥法活用には、幾多の
問題が残されているといえよう。また、低温下での活性
汚泥微生物については、HALVORSON ら (1968⁴⁾, 1969⁵⁾)

や PRASAD と JONES (1974)¹³⁾ により研究が行われ、
好冷菌の役割が示唆されているが、さらに詳細な微生物
学的研究の進展がのぞまれている。

本研究は、寒冷地における蛋白系廃水処理を円滑に行
う手がかりをうるために、活性汚泥を育成し、その性質
を微生物学的立場から試験したものである。

実 験 方 法

1. モデル廃水

蛋白系廃水処理に適した活性汚泥を育成するため、モ
デル廃水として、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希釈して使用した。

供試肉エキスの pH は、5.0~6.5、食塩 15.0% を含有し、
肉エキス 1g を水 1ℓ に溶解した場合の BOD は約 450
ppm、COD は約 250 ppm であった。また、この中には
有機体窒素 (Org-N) 約 100 ppm、NH₄-N 約 4 ppm、
NO₃-N 約 8 ppm を含み、NO₂-N は検出されな
かった。

2. 活性汚泥の育成と馴養

Fig. 1 に示した曝気装置を用い、活性汚泥の育成と馴
養を試みた。曝気槽は、直径 13 cm、高さ 30 cm のガラ

* 現勤務先 三井東圧化学株式会社砂川工業所

** 現勤務先 かねさ味噌株式会社

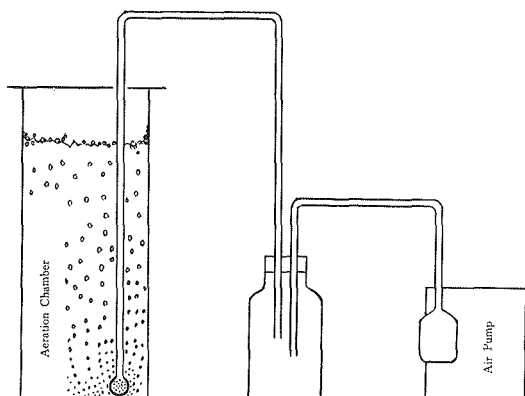


Fig. 1. Diagram of experimental aeration chamber used for activated sludge development and acclimation.

ス円筒で、液量を 2.5 ℓ とし、エアポンプを用いて通気攪拌した。

汚泥育成初期には、モデル廃水の負荷量を COD 150 ppm とし、汚泥量の増加にともない 250 ppm まで増大させた。

汚泥育成ならびに馴養過程では、1日に1度曝気槽の通気を止め、汚泥を沈降させた後上澄液を捨て、再びモデル廃水を加え、総量を 2.5 ℓ として通気攪拌を繰返した。

3. 廃水処理能の測定

曝気槽内の廃水を、必要量採取して濾過、濾液について、BOD, COD, Org-N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ および pH を測定した。測定方法は、いずれも JIS K 0102 の方法¹¹⁾に従った。

負荷直後の BOD, COD および窒素化合物の値は、汚泥への吸着等の現象をも解明するために、上澄液除去後の残存処理水の実測値に、新たに負荷したモデル廃水の実測値を合算した値を理論値とし、さらに負荷後1分間モデル廃水を汚泥と混合した後の値を実測した。

4. 微生物の分離および分類学的検索

活性汚泥を沈降させた後、一定量の汚泥を採取、十分洗浄後、1分間ホモゲナイザーで処理し、希釈平板培養法で、菌数の測定および分離を行った。使用培地は、肉汁寒天 (肉エキス 0.3%, ペプトン 0.5%, 寒天 2.0%, pH 7.2) を主体とし、これに酵母エキスを加えた NAY 寒天培地 (肉エキス 0.3%, ペプトン 0.5%, 酵母エキス 0.1%, 寒天 2.0%, pH 7.2) およびグリセリンを添加した PYG 寒天培地 (ペプトン 0.5%, 酵母エキス 0.1%, グリセリン 0.5%, 寒天 2.0%, pH 7.2) を併用した。

平板上に形成した集落については、菌数測定後、代表的なものを分離し、細菌は BERGEY の細菌分類書^{1,2)}、酵母は LODDER らの分類書^{7,8)}に従って分類学的検索を行った。

結果および考察

1. 活性汚泥の育成経過

モデル廃水を室温で放置したままで発生した菌塊を極少量採取し、COD 約 150 ppm のモデル廃水とともに Fig. 1 の曝気槽に入れ、室温で通気を続けるだけで、この廃水に適した活性汚泥が得られるか否かを確かめた。その結果、通気開始後わずか1日で溶液が白濁し、その後白色の大きなフロックが発生した。

フロック生成後は、1日に一度沈降させ、上澄液を除去、新しいモデル廃水を加えて通気攪拌を続けた。このフロックは、すぐれた凝集沈澱力を有し、増殖も速やかで、育成開始後1週間で MLSS (活性汚泥浮遊物質) が約 2,700 ppm, 12日で約 5,200 ppm, 19日で約 10,000 ppm に達し、 SV_{30} (活性汚泥沈降率) は 40% 以下を示した。

活性汚泥育成初期のフロックは、直径 0.5~1 mm の固い顆粒状であったが、育成 20 日頃から、綿状のフロックが混在するようになった。この綿状フロックは、顕微鏡で観察すると、Fig. 2 に示した通り *Zoogloea* 様のもの、そのまま染色すると、グラム陰性の桿菌で占められていた。

MLSS が約 5,200 ppm の時点で COD 除去能を測定

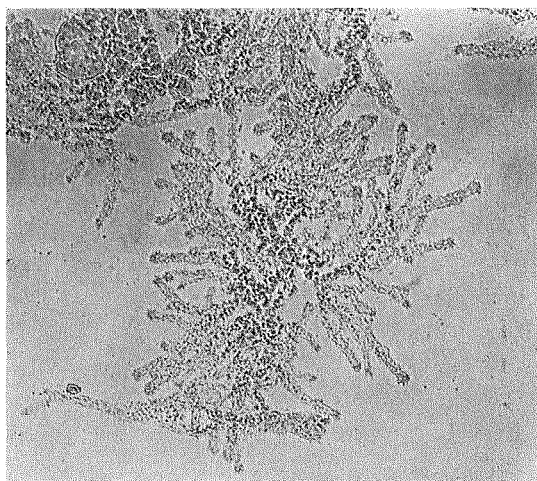


Fig. 2. *Zoogloea*-like flocs which appeared at an early stage of activated sludge development. ($\times 600$)

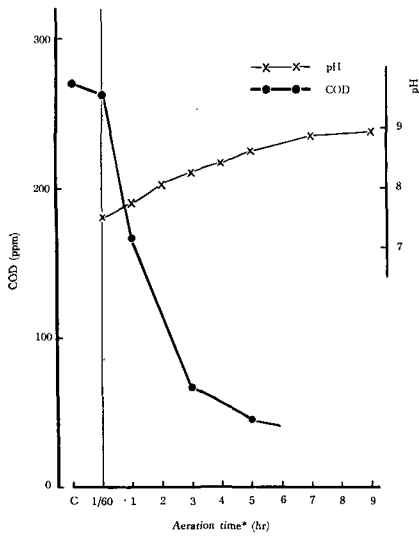


Fig. 3. COD removal and changes of pH by activated sludge at an early stage of sludge development.

* C: Calculated loading value, 1/60: After one minute aeration.

したところ、Fig. 3に示した通り、約270 ppmの負荷で1時間曝気した時の残存CODが166 ppm、3時間で66 ppm、5時間で45 ppmまで減少し、pHは処理時間の経過とともに7.5から8.9まで上昇した。

これと比較するために、札幌市創成川下水処理場の返送汚泥を、ほぼ同量用いて、モデル廃水のCOD除去能を測定したところ、残存CODが曝気3時間で108 ppm、5時間で74 ppmとなり、その処理能は育成汚泥よりも低く、しかも、当初50であったSV₃₀が、24時間後には80まで劣化した。

このように、著者らが育成した活性汚泥は、COD除去能ならびに沈降性がすぐれていることが判明したので下水処理場の汚泥を多量に種汚泥として加えることは、活性汚泥微生物の生態系にいたずらに複雑な要素を加味することになると判断し、以後の実験には、育成汚泥をそのまま種汚泥として使用することとした。

2. 馴養による処理能の変化

さきに述べた育成汚泥を種汚泥として、毎日COD約180 ppmのモデル廃水を負荷し、馴養を続け、この間における処理能の変化を観察したところ、馴養初期には、24時間曝気後でも処理水はアルカリ性を呈し、かなりのアンモニア臭が感じられた。これに反し、馴養が進むにつれて、処理水は一旦アルカリ性を呈したが、24時間後

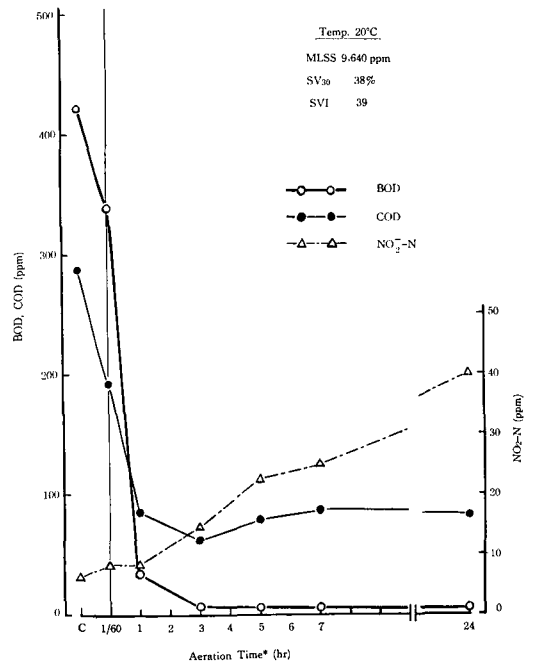


Fig. 4. Transformation of nitrogen compounds by activated sludge (NO₂-N producing stage).

* C: Calculated loading value, 1/60: After one minute aeration.

にはpH 5.5付近の酸性を示すようになった。また、負荷後数時間で、BOD、CODともに減少し、その後BODは低い値を示しているにもかかわらず、CODが上昇する傾向がみられた。その原因を解明するために、馴養2カ月後の窒素化合物の消長を調べたところ、Fig. 4にみられるように、負荷数時間後から、処理水中にNO₂-Nが増加し、これがCODの上昇に関連するものと考えられた。

その後もしばらくの間、高濃度のNO₂-Nが検出されたが、汚泥量が著しく増加したので、曝気槽を18ℓ容のものに変え、更に1カ月の馴養を続けたところ、Fig. 5に示したように、NO₂-Nの代りにNO₃-Nを生成し、BOD、CODの除去能が共に優れた活性汚泥となった。

この汚泥では、負荷3時間後からNO₃-Nが急速に増加し、NO₂-Nが減少、8時間後にはほとんど検出されなくなった。また、処理水のpHは、負荷後数時間はNH₄-Nの生成に伴ないアルカリ側に傾いたが、NO₃-Nの生成によりその後次第に酸性となった。

この活性汚泥では、負荷した魚肉エキス中のOrg-Nが、わずか1分の通気搅拌で約65%、3時間で95%が

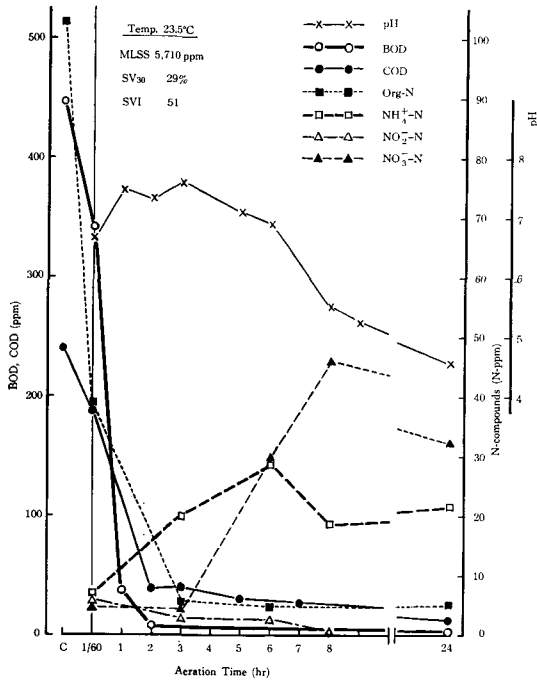


Fig. 5. BOD, COD removal and transformation of N-compounds by activated sludge (NO_3^- -N producing stage).

除去され、やや遅れて NH_4^+ -N が生成したが、 NH_4^+ -N は NO_3^- -N の生成に伴って減少した。Org-N のこのような急速な消失は、分解にさきだつて、活性汚泥への吸着あるいは汚泥微生物への取り込みが行われているためと思われる。

馴養初期の活性汚泥は、負荷した Org-N を NH_4^+ -N まで分解するに止まり、処理水はアルカリ性を示していたが、馴養が進むにつれて NO_2^- -N を生成するようになり、その後更に酸化の進んだ NO_3^- -N を生成する硝化型汚泥となった。このことは、馴養初期には Org-N の分解を行う heterotrophic な微生物が主体で、馴養が進むにつれて *Nitrosomonas*、次いで *Nitrobacter* などの微生物が共存する汚泥へと変化したことを示唆している。

3. 低温下での活性汚泥の馴養

室温で約 3 カ月の馴養を行い、硝化型となった汚泥を二分し、一方を室温 (約 25°C) に、他方を低温 (約 8°C) に保ち、低温下での活性汚泥の挙動を観察するとともに低温馴養の効果を確かめた。馴養開始時の MLSS は 5,710 ppm, SVI (汚泥容量指標) は 51 であった。馴養中の負荷は、回分式で毎日 BOD 約 450 ppm, COD 約

240 ppm とした。

馴養 10 日後の汚泥の活性測定結果は、Fig. 6 に示した。図から明らかなように、室温馴養のものは、Fig. 5 の汚泥よりも BOD, COD および Org-N の除去能が向上し、 NH_4^+ -N や NO_3^- -N の生成速度も増大したが、低温馴養のものでは、BOD, COD および Org-N の除去速度はいずれも遅く、4~5 時間遅れて室温並みの除去能を示した。その結果、負荷直後には処理水中に NH_4^+ -N の増加がみられず、10 時間以降になって漸く増加した。また、室温のものでは、処理水中の NH_4^+ -N と NO_3^- -N の濃度が約 5 時間で逆転し、その頃から pH も酸性側に傾いたが、低温のものでは NH_4^+ -N が NO_3^- -N の生成を上回り、pH はアルカリ側に維持された。

低温に移行した活性汚泥は、移行直後に、室温のものに比べ細かい粉状となり、上澄液が若干混濁したが、1 日で回復し、それ以降は、むしろ室温よりも優れた沈降性を示した。従って、馴養初期の段階で、すでに汚泥微生物相の平衡関係に、何等かの変動が始まっているものと考えられた。Fig. 6 は、馴養 10 日後のものであり、低温馴養開始直後の汚泥では、低温下での BOD, COD および Org-N 除去能が更に劣っていたものと推測される。

この汚泥を更に 6 日間馴養を続け、処理能を測定し、

Fig. 7 の結果をえた。室温馴養のものは、Fig. 6 とほぼ等しい傾向を示しているのに反し、低温馴養のものは BOD, COD および Org-N の除去能がかなり向上し、残存 COD は負荷後約 2 時間、残存 BOD は約 5 時間で、室温のものにはほぼ匹敵する値を示した。また、 NH_4^+ -N は、低温でも負荷直後から増加し、 NO_3^- -N の生成速度も増大したが、 NH_4^+ -N の酸化が遅れるためか、室温のように NH_4^+ -N から NO_3^- -N への移行が円滑でなく、pH の低下もみられなかった。しかし、低温馴養 30 日頃からかなり硝化も進み、処理水の pH は酸性となった。Fig. 8 は、馴養 40 日後の処理能を示したもので、低温では BOD や COD の除去速度が室温より若干遅れるが、 8°C という低温でも、馴養によって十分その効果を発揮できる活性汚泥がえられることを示している。

室温馴養汚泥では、馴養中期から、処理水の NO_3^- -N が負荷後約 2 時間で一旦低下し、その後急速に増加、更に、負荷後 12 時間頃から再び低下し、その後また増加するという複雑な現象がみられるようになった。このような傾向は、ときには低温馴養汚泥でも観察されるが、活性汚泥微生物との因果関係を明らかにするには到っていない。

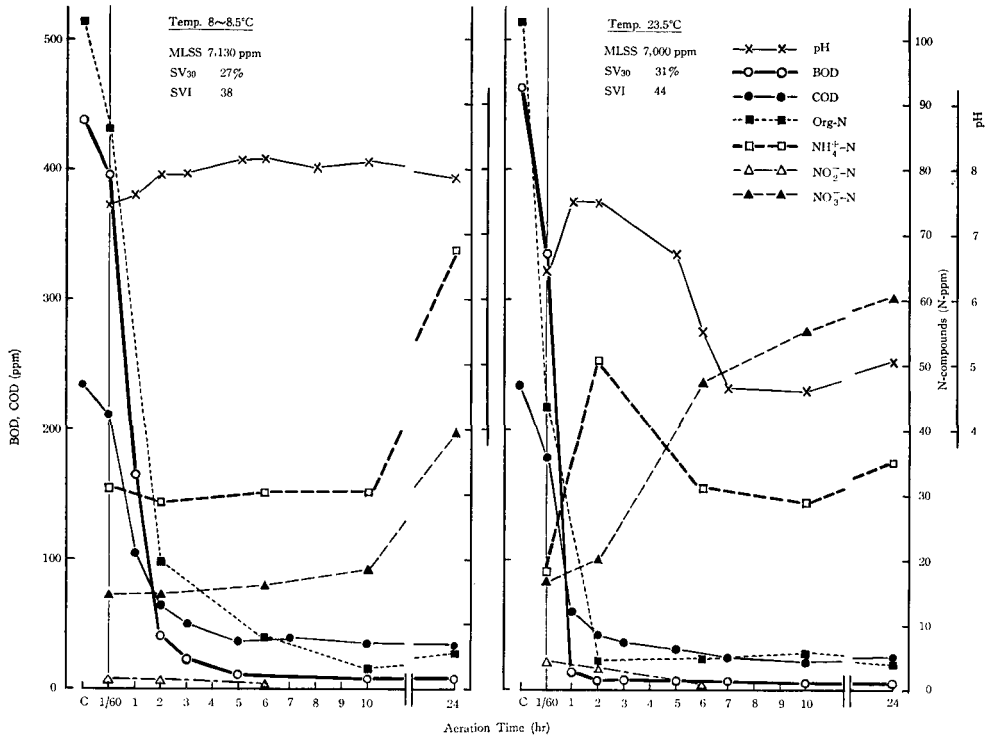


Fig. 6. Waste water treatment efficiency by activated sludge after 10 days acclimation.

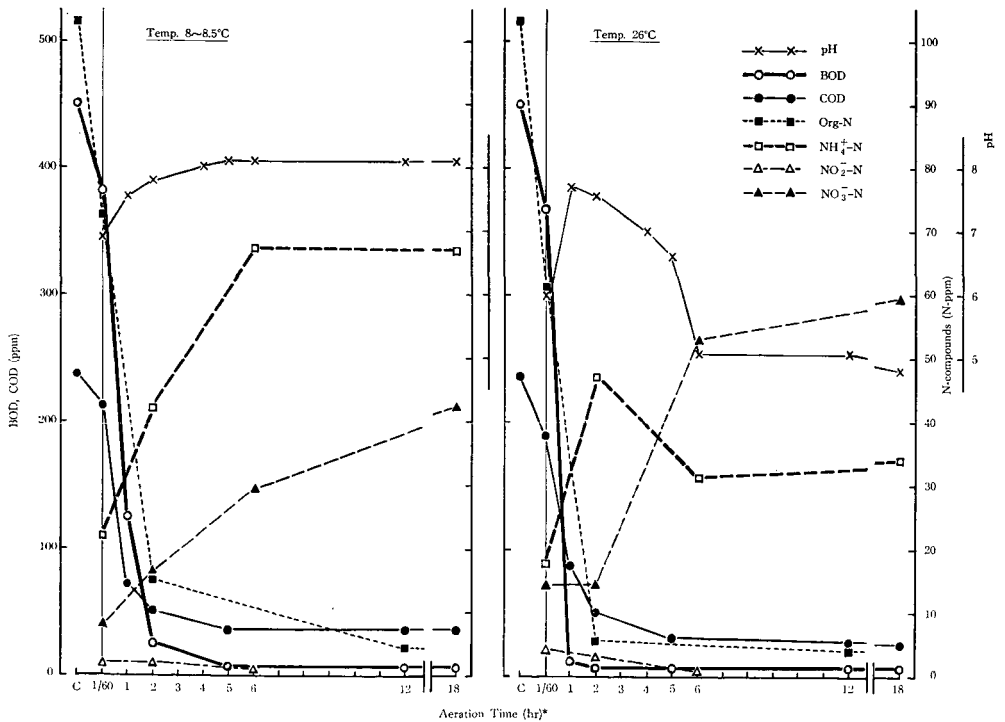


Fig. 7. Waste water treatment efficiency by activated sludge after 16 days acclimation.

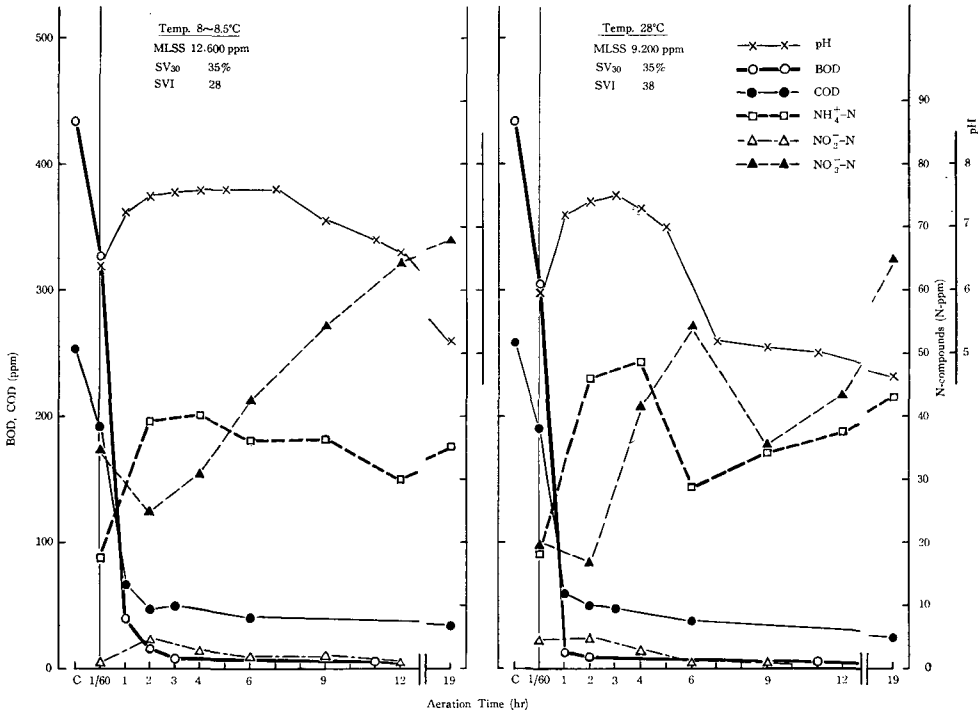


Fig. 8. Waste water treatment efficiency by activated sludge after 40 days acclimation.

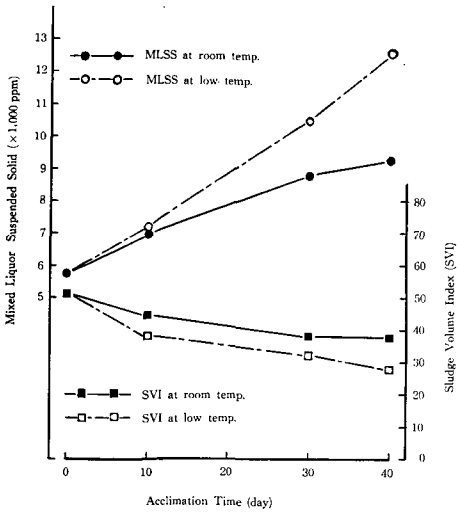


Fig. 9. Changes of MLSS and SVI during acclimation.

馴養 40 日間における MLSS と SVI の変化は、Fig. 9 に示した。前述のように、室温で馴養した汚泥を低温に移した直後、フロックが細かい粉状となり、沈降速度が

やや遅くなったが、日数の経過につれて、室温と同様大きなフロックをつくり、沈降速度も速くなった。

室温、低温ともに MLSS 5,710 ppm で馴養を開始したが、低温では、40 日間で MLSS 12,600 ppm まで、ほぼ直線的に増加した。これに比べ、室温では MLSS の増加が少なく、9,200 ppm に止まった。SVI は馴養開始時に 51 であったが、日数の経過に伴い次第に低下し、10 日後には低温馴養のものが室温馴養のものを下回る値を示した。この傾向は馴養期間を通じて変わらず、低温馴養汚泥は、MLSS が多いにもかかわらず、沈降性が優れていることを示している。

一般に、活性汚泥は、低温では沈降性が悪化するといわれているが、本実験でみられるように、馴養によって低温でも優れた沈降性を示す活性汚泥がえられるとの知見は、低温下における廃水処理にとって非常に有益なものと考えられる。

4. 活性汚泥中の微生物

曝気処理中の汚泥懸濁液では、生菌数として、1 ml 当たり $8.0 \times 10^7 \sim 3.5 \times 10^9$ の細菌が存在しており、その大部分はグラム陰性の桿菌で、運動性、鞭毛その他の形態学的性質、培養上の性質および生理学的性質から、

Acinetobacter, *Achromobacter* 並びに *Pseudomonas* が主体と考えられた。*Zoogloea* 様フロックからの細菌分離も試みているが、未だ活性汚泥中に多いとされている *Zoogloea ramigera* とみなされる菌は認められていない。また、低温馴養汚泥では、室温馴養汚泥に比べ、*Micrococcus* とみなされるグラム陽性球菌の検出率が高く、今後、これらの菌の汚泥中での役割等も検討することが必要であろう。

真菌類は、汚泥懸濁液 1 ml 当り $1.6 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^4$ で菌数の上では、細菌に遠く及ばなかった。分離菌株の中では、*Trichosporon*, *Rhodotorula* および *Candida* に属する酵母が主体で、かびはほとんど検出されなかった。真菌類の少ない理由としては、モデル廃水が蛋白系のものであり、炭水化物が不足していることも一因と考えられる。しかし、分離酵母は、モデル廃水に使用した肉エキス単独でも発育し、これに活性汚泥抽出物を添加すると、発育はより顕著となるので、廃水処理の上で無視出来ないものと思われる。

要 約

北海道内水産加工場等より排出される蛋白系廃水を、冬期間でも処理できる活性汚泥を育成するための基礎として、モデル廃水を用いて活性汚泥を育成し、次の知見をえた。

1. 育成初期の活性汚泥は、有機体窒素 (Org-N) を $\text{NH}_4\text{-N}$ まで分解するに止まり、処理水はアルカリ性を呈していたが、馴養が進むにつれて、 $\text{NO}_2\text{-N}$ を生成するようになり、その後更に酸化の進んだ $\text{NO}_3\text{-N}$ を生成する硝化型となった。

2. 馴養が進んだ汚泥懸濁液では、Org-N は、負荷後短時間で処理水より消失し、その後やや遅れて $\text{NH}_4\text{-N}$ 、それより更に遅れて $\text{NO}_2\text{-N}$ が生成し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成に伴って、処理水は酸性となった。

3. 低温馴養汚泥では、室温馴養のものに比べ、BOD, COD 除去速度がやや遅れるが、 8°C でも十分効果を発揮しうることが判明した。

4. 低温馴養によって、MLSS の増加が著しいにもかかわらず、沈降性の優れた活性汚泥がえられ、低温下における廃水処理上好都合と思われた。

終りに、本研究の費用の一部は、昭和50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、謝意を表する。

なお、本報告の一部は、昭和50年度日本農芸化学会北海道支部秋季学術講演会で発表した。

引用文献

1. BREED, R. S. *et al.*: *Bergey's Manual of determinative bacteriology*, 7th ed., p. 88-368, 454-505, 613-634. Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1957
2. BUCHANAN, R. E. *et al.*: *Bergey's Manual of determinative bacteriology*, 8th ed., p. 217-444, 450-574, 599-632. Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1974
3. 太宰宙朗・小川 誠・御園光信: 活性スラッジによる産業廃水の処理に関する研究 (第18報) 魚肉ねり製品廃水の処理について, 工業技術院発研報, **34**: 11-18. 1968
4. HALVORSON, H., ISHAQUE, M. and LEES, H.: *Microbiology of domestic wastes, I. Physiological activity of bacteria indigenous to lagoon operation as a function of seasonal change*, *Can. J. Microbiol.*, **14**: 369-376. 1968
5. HALVORSON, H., ISHAQUE, M. and LEES, H.: *Microbiology of domestic wastes, II. A comparative study of the seasonal physiological activity of bacteria indigenous to a sewage lagoon*, *Can. J. Microbiol.*, **15**: 563-569. 1969
6. 橋永忠志・太宰宙朗・御園光信: 活性スラッジによる産業廃水の処理に関する研究 (第20報) 煮だこ加工廃水の処理について, 工業技術院微工研報, **38**: 61-70. 1970
7. LODDER, J.: *The yeasts*, p. 1-1352. North-Holland Pub. Co., Amsterdam, 1970
8. LODDER, J. and KREGER-VAN RIJ, N. J. W.: *The yeasts*, p. 1-667. North-Holland Pub. Co., Amsterdam. 1952
9. 長田美治・鳥谷部憲男・大島 浩: 水産加工排水処理の試験, 第2報 生物学的処理について, 北水試月報, **33**(8), 1-13. 1976
10. 長田美治・鳥谷部憲男・大島 浩: 水産加工排水処理の試験, 第3報 生物学的処理の様式について, 北水試月報, **33**(10), 1-9. 1976
11. 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
12. 小野英男: 水産加工廃水の処理, 用水と廃水, **14**: 669-676. 1972
13. PRASAD, D. and JONES, P. H.: Degradation of organic nitrogenous compounds by psychrophilic bacteria, *J. Water Poll. Control Fed.*, **46**: 1686-1691. 1974

Summary

Further microbiological studies on the practical use of activated sludge under cold weather conditions are needed in order to treat proteinous waste water exhausted from marine products processing factories.

As a part of the microbiological studies on waste water treatments, activated sludge was developed and acclimated to low temperature, feeding with artificial proteinous waste water.

In the course of acclimation research, the following results were obtained.

1. At an early stage of activated sludge development, the sludge decomposed organic nitrogen compounds and produced $\text{NH}_4^+\text{-N}$, resulting in an alkaline sludge suspension. During the process of acclimation, microflora of the sludge changed slowly to a $\text{NO}_2^-\text{-N}$ producing type, and later to a

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ producing type.

2. In the acclimated sludge suspension, most of the loaded organic nitrogen compounds disappeared in a short time. After a while, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ appeared, and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ production occurred. Following the increase of the $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration, the pH of the suspension changed from alkaline to acidic.

3. Removals of BOD and COD by low temperature acclimated sludge were slightly delayed as compared with room temperature acclimated sludge, but the sludge could treat organic nitrogen compounds effectively at 8°C.

4. MLSS increased markedly in low temperature acclimation, but SVI was smaller than sludge acclimated at room temperature. Excellent sedimentability of the sludge was considered to be a favorable point for proteinous waste water treatment under cold weather conditions.