水質汚濁防止に関する研究 (第6報¹⁾)*Geotrichum candidum* による人工廃水のリン除去について

横田勝司, 蝦名敬一, 高下 忍, 坂口 平

東北薬科大学²⁾Studies on Prevention of Water Pollution. VI.¹⁾On the Phosphorus Removal from Artificial Wastewater
with *Geotrichum candidum*

KATSUSHI YOKOTA, KEIICHI EBINA

SHINOBU TAKASHITA and OSAMU SAKAGUCHI

Tohoku College of Pharmacy²⁾

(Received November 10, 1977)

A species of a sewage fungus, *Geotrichum candidum*, was used for a biological purification in removing phosphorus from waste water. The organism grown in a synthetic medium (1% glucose, 0.25% glycine, 0.05% KH_2PO_4) showed 99% removal rate of phosphorus by incorporation into the cells from the medium, and composition of the medium at that time was approximately C : N : P = 70 : 8 : 1.

The greatest rate of phosphorus removal was found in the organism grown from the lag phase to the exponential phase, and the rate was 1.12% of phosphorus incorporation into the cells grown at the exponential phase.

When artificial waste water was used at 3400 mg/l of glucose concentration, effective removal of phosphorus was obtained, and the C : N : P ratio was found to be 108 : 4.4 : 1. There was a marked difference in removal rate according to the kind of carbohydrate. Incorporation of phosphorus into the cells from artificial waste water containing tripolyphosphate was similar with that of orthophosphate. As compared with activated sludge, *G. candidum* singly showed a greater removal rate of phosphorus than the former.

Keywords—*Geotrichum candidum*; activated sludge; artificial wastewater; synthetic sewage; phosphorus removal; tripolyphosphate; MLSS; SV; COD removal rate; C : N : P ratio

緒 言

近年, わが国では水質汚濁防止の努力にもかかわらず, 河川や湖沼, 海域において窒素, リン等の栄養源の増加による富栄養化現象が徐々に進んでおり, 水の華や赤潮の発生原因となっている. このような現象は水界生物の種類や数量に著しい影響を与えており, その結果, 魚貝類の致死, 溶存酸素の減少, 悪臭, 濁り, 着色などを誘引し, 水質汚濁の重要な問題としてクローズアップされている.

藻類の成長に必要な栄養源は炭素, 窒素, リンなどで, その他に微量の金属を必要としており, 特にリン酸塩は藻類の異常発生を誘引する重要な発育因子であり, 0.01 ppm あるいはそれ以下でも水の華の発生を引き起こすことが知られている.³⁾

汚水の生物学的処理法の一つにフロック形成能を有する汚泥を利用した活性汚泥処理法がある. これは汚水中の炭素や窒素を容易に分解除去するが, リンの除去については比較的効率が悪く, 20—30%ぐらいと言われている.

1) 第5報: 坂口 平, 横田勝司, 高下 忍, 衛生化学, **23**, 180 (1977).

2) Location: 4-1, Komatsushima 4-chome, Sendai (仙台市小松島4丁目4番1号).

3) L. E. Kuenzel, *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, **41**, 1737 (1969).

る。⁴⁾ 特に家庭排水には合成洗剤由来のリン酸塩ビルダーが、し尿、雑排水中にはオルトリン酸塩が多く含まれており、さまざまな脱リン法が検討されて来たが、^{5,6)} 今日では *Chlorella* などの藻類を利用した生物学的処理システムが注目を受けている。^{7,8)}

G. candidum の大部分は非病原性菌で、汚水中に常在し、lipase⁹⁾ や amylase¹⁰⁾ 等の酵素を含有しており、トルラ酵母菌を利用した S-P 廃水の浄化¹¹⁾ と同様にキャベツ、ピクルス、オリーブなどを塩漬した際に生ずる酸塩廃水の実験的な浄化¹²⁾ に本菌が利用されている。また活性汚泥法における汚泥膨化 (バルキング) 発生時の原因真菌としても知られており、浄化障害の一面に関与している。

著者等はこのような污水真菌としての *G. candidum* を用いて、その栄養要求¹³⁾ の検討や本菌によるバルキング現象と関係のある酵母様相 (Yeast-like phase) と菌糸相 (Mycelial phase) の二相性発育形態に関与する因子の解析、¹⁴⁾ 二相性菌間の酵素活性¹⁵⁾ ならびに細胞壁の化学組成¹⁶⁾ の比較分析等についてすでに報告して来た。

そこで本報では *G. candidum* が発育する際に多量のリンを必要とする点に着目し、さまざまな人工廃水に対する浄化作用を検討し、特にリンの菌体内への取り込みによる除去効果を認めたので報告する。

実験方法

1. 供試菌株 *Geotrichum candidum* IFO 4597 株を実験に用いた。

2. 培地 前報¹⁴⁾ で調製した合成下水に KH_2PO_4 を 0.1%, glucose を 1% に加えた後、1N NaOH で pH を 7.0 に調整したものを 1% Glucose 培地とし、大量培養の培地とした。また、合成下水-0.1% KH_2PO_4 に glycerol の 0.5% を加えた 0.5% Glycerol 培地 (pH 7.0) でも大量培養の培地として用いた。前報¹³⁾ で用いた基礎培地 (1% glucose-0.25% glycine-0.1% KH_2PO_4 -0.01% MgSO_4) 中、 MgSO_4 以外の栄養源一種に

ついて二、三の濃度としたものを発育菌によるリンの取り込み用培地として用いた。

3. 培養方法 前培養は 500 ml の肩付フラスコに 300 ml の培地を入れたもので、30°, 4 日間の振とうを行い、次いで 5 l の同一培地を入れた 10 l の Jar Fermenter に分注し、前培養と同様に培養を行った。発育菌体によるリンの取り込みは 30°, 4 日間あるいは 1—12 日間の振とう培養をそれぞれ行った。

4. 洗滌菌体の調製法 1% Glucose 培地で培養した菌体は大型遠心器で集菌後、さらに生理食塩水で 2 回、蒸留水で 2 回遠心洗滌を行い、一定量の蒸留水に浮遊させ、Yeast-like phase の浮遊液とした。また、0.5% Glycerol 培地で培養した菌体は 3G1 のガラスフィルター上で生理食塩水、蒸留水の順に洗滌し、フィルター不通過部の Mycelial phase を蒸留水に浮遊させ、菌浮遊液とした。

5. 活性汚泥の調製法 前報¹⁴⁾ の下水処理場から分取した活性汚泥は使用の都度遠心洗浄した沈殿物を用いた。

6. 人工廃水の調製法 合成下水または合成下水から無機リン (Pi) あるいは glucose を除去したものにトリポリリン酸ナトリウム ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) や KH_2PO_4 または glucose, xylose, arabinose, glycerol, saccharose, starch, cellulose などの炭水化物を加えた各種人工廃水は使用の都度、その成分を記載した。

7. 人工廃水からのリンと有機物質の実験的除去 1 l の平底フラスコに各種人工廃水の 500 ml と *G. candidum* または活性汚泥の単独あるいは *G. candidum* と活性汚泥の混合したものを MLSS (mg/l)¹⁴⁾ が 2000—3000 となるように加えた。次いで 6000—6300 ml/min (フローメーター: KG-3, 草野科学製) の通気量と室温条件下で経時的に反応を行った。一定時間の反応後、混液の一定量を遠心にかけ、遠心上清部分の綿栓透過で得た滲液について、下記 9. の分析方法によって分析を

- 4) O. A. Albertson, R. J. Sherwood, *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, **41**, 1467 (1969).
- 5) L. A. Schmid, R. E. McKinney, *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, **41**, 1259 (1969).
- 6) E. A. Thomas, *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, **44**, 176 (1972).
- 7) M. M. Thomas, L. M. James, *Water & Sewage Works.*, **120**, 76 (1973).
- 8) W. N. Doemel, A. E. Brooks, *Water Research.*, **9**, 713 (1975).
- 9) Y. Tsujisaka, M. Iwai, Y. Tominaga, *Agr. Biol. Chem.*, **37**, 1457 (1973).
- 10) 福本寿一郎, 辻阪好夫, 荒木万里子, 松本悦子, 科学と工業, **35**, 412 (1961).
- 11) 五十嵐彦仁, “污水化学総論,” 内田老鶴園新社, 東京, 1967, p. 472—474.
- 12) Y. D. Hang, D. F. Splittstoesser, R. L. Landschoot, *Appl. Microbiol.*, **27**, 807 (1974).
- 13) 高下 忍, 横田勝司, 坂口 平, 東北薬科大学研究年報, **23**, 57 (1976).
- 14) 坂口 平, 高下 忍, 横田勝司, 日衛誌, **32**, 391 (1977).
- 15) 高下 忍, 横田勝司, 坂口 平, 日衛誌, **32**, 642 (1977).
- 16) 蝦名敬一, 高下 忍, 鎌口有秀, 横田勝司, 坂口 平, 日細菌, **33** (3), (1978)「投稿中」.

行った。

8. MLSS ならびに SV の測定法 汚泥浮遊物濃度 (MLSS mg/l) と活性汚泥沈殿率 (SV %) はそれぞれ前報¹⁴⁾と同様の方法を用い、SV %は静置1時間後の沈殿率を測定したものである。

9. 分析方法 アンモニア性窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) はネスラー試液、還元糖は Somogyi-Nelson 法で測定した。

全リン (TP) は Allen の湿式灰化法で有機リン (Po) を Pi とした後、中村の変法で比色定量を行い、Po は TP から直接比色定量した Pi を差し引いた値とし、トリポリリン酸は試料 1 ml に 2 N H_2SO_4 1 ml を加え、沸とう水浴中で 20 分間の水解によって得た TP から Pi を差し引いた値とした。

化学的酸素要求量 (COD) は工場排水試験方法の酸性高温過マンガン酸法 (100°, 30 min) で測定した。

菌の発育は 500 nm の吸光度による濁度測定法を用いた。

10. COD, リン, アンモニア性窒素ならびに還元糖の除去率 COD 除去率は前報¹⁴⁾の方法で算出し、リン、 $\text{NH}_3\text{-N}$ および還元糖の除去率についても、それぞれ COD 除去率と同様の方法で算出した。下記には人工廃水中のリンの除去率について、その算出式を示した。

リンの除去率 (%) =

$$\frac{\text{反応前のリン量} - \text{反応後のリン量}}{\text{反応前のリン量}} \times 100$$

結果と考察

1. 発育菌によるリンの除去

炭素源として glucose、窒素源として glycine、無機塩として KH_2PO_4 と MgSO_4 からなる液状培地における菌の発育とリンの除去率は、30°, 4 日間の振とう培養によって得た培養液について測定した (Table I 参照)。

1 % glucose-0.1 % KH_2PO_4 の基礎培地に glycine の各濃度を加えたものでは 0.25 % の添加が最も発育良好で、リンの除去率も 50 % を示した。これは無機リンとして 228 mg/l を含む培地から菌の発育に 114 mg/l が利用されたことを意味しており、リンの除去率は発育菌量に影響を受けるようであった。この 0.25 % glycine-0.1 % KH_2PO_4 基礎培地に glucose の各濃度を添加した場合、0.5 % ではリンの除去率 28 % (約 64 mg/l), 5 % では 42 % (約 96 mg/l) を示し、発育は 1 % と 5 % で殆んど変化なかったが、リンの除去率は 5 % glucose で若干低下するようであった。

発育に最適な炭素源と窒素源を一定とした 1 % glucose-0.25 % glycine の基礎培地に各濃度の KH_2PO_4 を加えたものでは 0.01 % で pi の除去率 83 % (約 19 mg/l), 0.05 % で 99 % (約 113 mg/l), 0.1 % で 50 % (約 114 mg/l), 0.5 % で約 114 mg/l を示し、最小濃度の 0.05 % 培地での C : N : P 比は約 70 : 8 : 1 で、リンの取り込みによる除去は一定の炭素源濃度を必要とすることが示唆された。

2. 菌の増殖と細胞内リン量の変化

合成下水に 1 % glucose と 0.008 % KH_2PO_4 を加えた人工廃水培地による菌の発育と細胞内リン量の経時変化について Fig. 1 に示した。

乾燥した発育菌体量は、培地 1 l 当たり培養 1 日で 215 mg, 2 日 : 500 mg, 4 日 : 1030 mg, 8 日 : 960 mg, 12 日 : 850 mg で、培養 4 日間までは菌の増殖が見られたが、8 日以降では発育菌量減少し、特に 12 日間培養では静置による菌体沈降後の上清液に濁りが見られ、自己融解の特徴を示した。

一方、細胞内リンの含有量は誘導期の培養 1 日間で最も高く 1.12 % を示し、次いで 2 日間の 0.98 %, 4 日間 :

TABLE I. Relationship between Growth and Phosphorus Removal with *G. candidum* Grown on Various Media

Basal medium	Source added to basal medium (%)	Incorporation of Pi (%)	Growth ($\times 10^3$) ^{a)}
1 % Glucose-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glycine 0.05	21	0.26
1 % Glucose-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glycine 0.1	35	0.37
1 % Glucose-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glycine 0.25	50	0.40
0.25 % Glycine-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glucose 0.1	9	0.09
0.25 % Glycine-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glucose 0.5	28	0.29
0.25 % Glycine-0.1 % KH_2PO_4 -0.01 % MgSO_4	Glucose 5	42	0.41
1 % Glucose-0.25 % Glycine-0.01 % MgSO_4	KH_2PO_4 0.01	83	0.32
1 % Glucose-0.25 % Glycine-0.01 % MgSO_4	KH_2PO_4 0.05	99	0.38
1 % Glucose-0.25 % Glycine-0.01 % MgSO_4	KH_2PO_4 0.5	10	0.26

a) Growth was expressed as OD at 500 nm of 10-fold diluted culture broth.

Cultivation was carried out on a rotary shaker of 100 rpm for 4 days at 30°, respectively.

0.80%, 8日間:0.66%, 12日間:0.56%の順となり、培養の経過と共に細胞内リン含有量が徐々に減少する傾向を示した。特に発育誘導期の細胞内リン量が高いことは、一般細菌と同様に細胞分裂を起こす際の核酸合成に使用されたものと思われる。いずれにせよ、人工廃水中のリンの取り込みによる除去は対数増殖期の菌を用いた方が、リンの除去効果が大きいものと推察された。

Fig. 1. Relationship between Growth and Cellular Phosphorus

Cultivation was carried out at 30° by rotary shaker of 100 rpm for 1-12 days in synthetic sewage containing 1 % glucose and 0.008 % KH_2PO_4 .

向を示した。特に発育誘導期の細胞内リン量が高いことは、一般細菌と同様に細胞分裂を起こす際の核酸合成に使用されたものと思われる。いずれにせよ、人工廃水中のリンの取り込みによる除去は対数増殖期の菌を用いた方が、リンの除去効果が大きいものと推察された。

3. 合成下水のグルコースとリンの除去

Fig. 2 は合成下水と合成下水に 0.05 % $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を添加したものから、*G. candidum* による COD, リン, 還元糖ならびにアンモニア性窒素の除去率について示したものである。反応条件は 洗滌菌体の MLSS が 3000 ± 25 (mg/l) となるように合成下水に添加した後、室温で 1 分間当り 6300 ml の通気量により反応を行った。また、反応開始時の pH は 7.0 に調整した。

700 mg/l の glucose を含有する合成下水の glucose は 6 時間で 94%, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 添加では 96% が代謝、資化されたが、リンは合成下水の 6 時間で 82%, 24 時間で 96%, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を添加したものでは 6 時間で 6 %, 24 時間で 8 % の除去率を示した。また、COD の除去率についてはリンの取り込みよりもさらに遅く、合成下水の 6 時間で 57%, 24 時間で 87%, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 添加では 6 時

Fig. 2. Removal of Reducing Sugar and Phosphorus from Synthetic Sewage with *G. candidum*

—○—: Synthetic sewage (8 ppm as Pi).
---●---: Synthetic sewage + 0.05 % $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (128 ppm as Pi).

間で58%, 24時間で86%, アンモニア性窒素は $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 添加合成下水のみで測定したが, 6時間で99%の除去率を示した.

その他, 図には示さなかったが合成下水に KH_2PO_4 を添加し, 無機リン量を 12.5 mg/l, 17 mg/l としたものでも行ったが, glucose の除去率と COD 除去率では殆んど合成下水の値と差異が見られなかった. しかし, リンの除去率では著しい相違が見られたが, これは炭素源濃度が高い程リンの菌体内取り込みが増大するため, リンの添加量が多いものほど除去率が低く算出された結果によるものである.

反応後の COD 除去率と還元糖の除去率は, いずれも $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を添加した合成下水が, 合成下水単独のものよりも大きく, これは含有するリン量ならびに窒素量が多いため, 糖の急速な取り込みが起こったものと推察された. また, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ のアンモニア性窒素の資化による消失も殆んど直線的に起こっており, 反応終了時の pH は 3.4 であったが, 合成下水では pH 6.4—6.5 を示した. なお, 24時間反応後の SV はいずれも 11—12 の値を示し, 肉眼による形態変化も殆んど見られなかった.

4. リンの除去におよぼすグルコース濃度の影響

一定濃度のリンと窒素を含む合成下水に glucose をさまざまな濃度で加え, 調製した人工廃水のリンと糖の取り込みによる除去を検討し, その結果を Fig. 3 に示した.

合成下水に 3400 mg/l (0.34 %) から 10000 mg/l (1 %) の glucose を加えた人工廃水のリンの除去率は, いずれも反応 8 時間で 92—96% を示し, 還元糖の取り込みは 10000 mg/l で 16%, 6600 mg/l で 24%, 3400 mg/l で 44%, 24 時間ではそれぞれ 27%, 62%, 99% の順となり, また, COD 除去率については 24 時間でそれぞれ 52%, 71%, 91% であった (図略す).

以上の結果から, 合成下水に 3400 mg/l の glucose を添加した人工廃水において効果的なリンと還元糖ならびに COD の除去が見られ, その C:N:P 比はおおよそ 108:4.4:1 となり, 特にリンの完全な取り込み除去には多量の炭素源を必要とした. 一方, Hang 等¹²⁾ が行った酸塩廃水における *G. candidum* の発育実験では培養 4 日間で BOD 除去率 88% を示し, この酸塩廃水の炭素源は主に乳酸で, その C:N:P 比はおおよそ 41.5:5.7:1 を示しており, 炭素源の種類に相違が見られるものの, いずれも共通する点はリンに対する窒素の割

Fig. 3. Effect of Glucose Concentration on Phosphorus Removal from Synthetic Sewage

a) () was expressed as per cent of glucose consumption.

---●---: 3400 mg/l glucose.
—○—: 6600 mg/l glucose.
—●—: 10000 mg/l glucose.

合が低いことであった.

活性汚泥法では COD:P 比が 220:1 の時, 最も効果的なリンの除去が見られると Morgan 等¹⁷⁾ は述べており, また, Jenkins¹⁸⁾ は 100:0.84—0.86 をそれぞれ報告していることから, 246:1 を示す *G. candidum* はこの点において活性汚泥法と良く一致した結果を得た.

5. リンの除去におよぼす各種炭水化物の影響

Glucose を除去した合成下水にいずれも 1 当り 1500 mg の各種炭水化物を加えた人工廃水に対する *G. candidum* のリン, COD ならびに還元糖の除去率を測定した (Fig. 4). Glucose, xylose, glycerol などの炭水化物の添加はいずれも効果的な除去を示したが, arabinose では著しく低い除去率を示した. また, 図には示さなかったが, saccharose, starch, cellulose 等でも同様に行ったが, saccharose と starch では arabinose よりも除去率さらに低く, cellulose では発育悪く殆んど除去が見られなかった.

前報¹⁸⁾ で *G. candidum* の発育におよぼす炭水化物の影響を検討したが, 菌の著しい発育を示す glucose や xylose, glycerol はリンや糖の栄養塩の取り込みが高く, また, cellulose では菌の発育も栄養塩の取り込みも見られなかったことから, 栄養塩の取り込みと発育間には強い相関性が示された. 一方, 菌の発育が見られなかった starch と saccharose では栄養塩の弱い取り込みが認めら

17) W. E. Morgan, E. G. Fruh, J. Wat. Poll. Cont. Fed., 46, 2486 (1974).

18) D. Jenkins, B. M. Arnold, Fourth International Conference on Water pollution Research, Prague, 1968, pp. 2—6.

Fig. 4. Effect of Various Carbohydrates on Phosphorus Removal from Synthetic Sewage

—●—: Glucose (1500 mg/l)-Synthetic sewage (Glc omitted).
 —○—: Xylose (1500 mg/l)-Synthetic sewage (Glc omitted).
 ---●---: Glycerol (1500 mg/l)-Synthetic sewage (Glc omitted).
 ---○---: Arabinose (1500 mg/l)-Synthetic sewage (Glc omitted).

れたが、これはおそらく C : N : P 比または温度や攪拌、振とうなどの反応条件が相違した結果起こったものではないかと思われる。

6. トリポリリン酸塩のリン除去

人工廃水は KH_2PO_4 を除去した合成下水に無機リン量として 10 mg/l のトリポリリン酸ナトリウムを加えた glucose 濃度約 850 mg/l のものと、約 2600 mg/l のものを使用した。反応は前述と同様の条件下で行い、一定時間の経過によるトリポリリン酸塩と還元糖の取り込みによる除去ならびに COD 除去率を検討し、その結果を Fig. 5 に示した。

トリポリリン酸塩からのリンの除去は Fig. 2 と Fig. 4 で示したオルトリン酸塩である KH_2PO_4 と比較した場合、いずれも遅かったが、明らかな取り込み除去が見られ、COD 除去と還元糖の除去も同様に観察された。また、図には示さなかったが、反応混液の濁度は glucose 850 mg/l では 0 時間 : 0.555, 8 時間 : 0.63, 24 時間 : 0.65 を、2600 mg/l では 0 時間 : 0.56, 8 時間 : 0.69, 24 時間 : 0.79 をそれぞれ示しており、反応中菌の発育増殖が認められた。このような濁度の増大による菌の発育は還元糖やリン量がバランス良く残存した結果、起こるものと推察された。

活性汚泥によるポリリン酸塩の加水分解速度について、堺¹⁹⁾はピロリン > トリポリリン > メタリンの順でオルトリンになり、これはオルトリンの脱水によって生成されるポリリンの縮合度の順と一致していると言う。*G. candidum* も活性汚泥と同様にこのような水解過程

Fig. 5. Phosphorus Removal from Artificial Wastewater containing Tripolyphosphate

—●—: Synthetic sewage (Pi omitted)-Tripolyphosphate (10 mg/l as Pi) [Glc : 850 mg/l].
 ---●---: Synthetic sewage (Pi omitted)-Tripolyphosphate (10 mg/l as Pi) [Glc : 2600 mg/l].

を経て、オルトリンとして菌体に取り込まれるものと思われる。

7. 活性汚泥ならびに *G. candidum* によるリンの除去

19) 堺 好雄, 用水と廃水, 16, 1389 (1974).

TABLE II. Phosphorus Removal from Artificial Wastewater with Activated Sludge and/or *G. candidum*

	Initial MLSS (mg/l)	Removal rate (%)		
		Pi	COD	Reducing sugar
Activated sludge only	2270	28	36	45
Activated sludge : <i>G. candidum</i> = 1 : 1	2315	72	57	72
<i>G. candidum</i> only	2360	51	42	66

Artificial wastewater : Synthetic sewage (Pi : 14.3 mg/l, Glc : 1300 mg/l, pH : 7.0). Aeration was carried out for 8 hr at flow rate of 6300 ml per min at 18°, respectively.

合成下水のリン量を 14.3 mg/l, glucose 量を 1300 mg/l とした人工廃水に活性汚泥のみ, 活性汚泥と *G. candidum* を等量宛混和したもの, *G. candidum* のみをそれぞれ Table II に示すような MLSS で加え, 好氣的条件下に 18°, 8 時間反応させた。

静置 1 時間後の上清液についてリン, 還元糖ならびに COD 除去率を測定したが, いずれも活性汚泥と *G. candidum* の共存したものが最も除去率高く, 次いで *G. candidum* 単独, 活性汚泥単独の順であった。なお, 供試した活性汚泥は下水処理場から分取したもので, 窒素源の多い蛋白廃水の浄化に効力を発揮しており, 比較的炭水化物濃度が高い人工廃水での浄化効力はこのように弱いものと思われる。

同一条件下でオルトリン酸塩の代わりにトリポリリン酸塩とした人工廃水に活性汚泥を用いた場合, 反応 4—8 時間後に上清液の無機リン量が著しく増大する現象を観察した (図略す)。長内等²⁰⁾ は活性汚泥法で処理した放流水中にはオルトリン酸塩が多量に含まれていることを述べており, このようなオルトリン酸の増大する現象はトリポリリン酸や有機リンの水解によって出現するものではないかと思われる。また, 活性汚泥のオルトリン酸塩の菌体内取り込み除去は比較的弱く, 普通 20—30% 程度²¹⁾ であると言われており, この点で一致した結果を得た。

一方, 真菌類は一般に炭水化物濃度の高い環境下で発育増殖し, 発育の際に多量のリンを要求することから, 活性汚泥と *G. candidum* の共存は栄養塩摂取のバランスが良いために, 除去率が高くなったものと推察された。

G. candidum を用いた各種栄養塩の取り込みによる除去では C : P 比が最も重要な役割を担っており, このような成分を含有する工場排水には果実缶詰, ビール, 酒造, 凍豆腐などがあり, これ等はいずれも炭水化物濃度

が高いため, しばしば糸状性バルキングを出現すると言う。²²⁾ このバルキングは糸状細菌と糸状菌の優占した発育増殖によるもので, 中でも二相性発育を示す真菌類は多量の炭素源を必要とし, バルキング時には菌糸相が優占する。

著者等は, 前報である一定の発育条件下で炭素源に glucose を用いた時, 酵母様相を示す¹⁴⁾ ことや, 重金属共存下では同様に變形した酵母様相の形成するもバルキング状を示すことを認めた。²³⁾ このような真菌類によって引き起こされる菌糸相によるバルキングは二相性発育の誘引因子を詳細に究明することによって, ある程度防止することが可能であり, 汚水真菌の *G. candidum* は, 逆に活性汚泥法の弱点であるリンの除去作用に一段と効力を発揮する利点もあるものと思われる。

結 語

汚水真菌の一種である *Geotrichum candidum* を生物学的浄化方法の一つとして人工廃水のリン除去に用いた。

1 % glucose—0.25 % glycine—0.05 % KH_2PO_4 培地で発育した菌はリンの除去率 99 % を示し, その C : N : P 比はおおよそ 70 : 8 : 1 であった。

誘導期から対数増殖期の菌によるリンの取り込みが最も大きく, 細胞内含有リン量も誘導期に増大し, 1.12 % を示した。

3400 mg/l の glucose を含む人工廃水を用いた時, 効果的なリンの除去が観察され, その C : N : P 比はおおよそ 108 : 4.4 : 1 であったが, リンの取り込み率は糖の種類によって, 大きな相違が見られた。

トリポリリン酸塩を含む人工廃水からのリンの菌体内への取り込みはオルトリン酸塩の取り込みと類似しており, 活性汚泥と比較した場合, 本菌単独の方がリン除去率が大きかった。

20) 長内睦子, 遠矢泰典, 下水道協会誌, **9**, 26 (1972/3)。

21) 吉田高年, 松林万行, 水処理技術, **14**, 781 (1973)。

22) 杉木昭典, 地田修一, 弓倉純一, 第11回水質汚濁研究に関するシンポジウム講演集, 1977, pp. 67—72。

23) 坂口 平, 天野倫子, 高下 忍, 横田勝司, 日衛誌, **32**, 451 (1977)。