

(18) 嫌気性流動床における蛋白質・アミノ酸分解と
酢酸生成にはたす硫酸塩還元菌の役割

Role of Sulfate Reducing Bacteria for Acetogenicity and Decompo-
sition of Protein and Amino Acids, in An Anaerobic Fluidized Bed
Reactor

松井 三郎* 大滝 裕一** 木村 洋** 山本 良子*

Saburo Matsui*, Yuichi Otaki**, Hiroshi Kimura***, Ryoko Yamamoto*

ABSTRACT

Experiments on finding the role of sulfate reducing bacteria in an anaerobic fluidized bed reactor were conducted with the substrates of a refined soybean protein and amino acids. Soybean protein consists of 60 % of the soluble part and 40 % of the suspended particle part. The soluble part of the protein was rapidly decomposed into organic acids in the reactor with the hydraulic retention time of 25 min.. The organic acids were converted into acetic acid with reduction of sulfate, which meant the role of sulfate reducing bacteria was to convert certain low molecular organic acids into acetic acid. If the sulfate concentration in the influent is kept at the optimum ratio to the concentration of the protein, acetic acid occupies 44 to 76 % of total organic acids in the effluent. A mixed substrate of 14 amino acids was also used for the influent of the reactor and showed high decomposition of the amino acids ranging from 23 to 95 % decomposition for each amino acid. The reduction of sulfate and production of acetic acid were also observed. When single amino acid of 10 kinds was used for the substrate, decomposition and sulfate reduction were poor for most of the experiments. The stickland reactions of combinations of glycine-alanine, glycine-valine, glycine-leucine and arginine-leucine were investigated in the reactor. Compared to the experiments of single amino acid substrates of 10 kinds, the decomposition of all amino acids were more poor in the reactor.

Keywords: sulfate reducing bacteria, anaerobic fluidized bed reactor, soybean protein, amino acids, acetogenicity.

* 金沢大学工学部建設工学科 Kanazawa Univ. Dept of Const. & Environ. Eng.

** 京都府土木部下水道課 Kyoto Prefecture Division of Civil Eng.

*** 金沢大学大学院 工学研究科 Kanazawa Univ. Graduate School of Eng.

1. はじめに

第19回衛生工学研究討論会で発表した嫌気性流動床の酸生成の研究¹⁾について、今年是有機基質として分離大豆蛋白質とアミノ酸を使用して実験を行い、酢酸生成にはたす硫酸塩還元菌の役割について検討を行った。この研究の目的は、低濃度有機性廃水とりわけ下水の嫌気性処理技術を開発するところにある。従来から多くの研究がこの目的の下に行われて来たが、現在のところ成功例の報告がない。筆者らは、その原因の一つとして、反応槽における高濃度嫌気性微生物の保持方法と、さらに低濃度有機基質に対して共存する硫酸塩濃度の妨害を克服していない点にあると考えている。前者の問題は流動床による生物保持方法で解決が可能であるが、後者については、今までほとんど検討されたことがない。日本の下水の場合、一般に BOD_5 100~150 mg/l に対し SO_4^{2-} 40~60 mg/l の値が多く見られる。嫌気性処理では硫酸塩還元=硫化水素発生が避けられず、このことがメタン発酵の障害の一つとなっている。筆者らは、酸生成とメタン生成二相嫌気性処理を基礎とし、酸生成相において硫酸塩還元を終了させてしまうことを目的として研究を開始した。ところが硫酸塩還元反応を解明する中で、筆者らの流動床において酢酸生成が高速で実現していることを見出し、そのことの第1報を第19回衛生工学研究討論会で報告した。下水中の有機物の中で最も多く存在し、かつ処理困難な物質は蛋白質である。本論文における目的は、分子量が大きく分解速度の遅い蛋白質が、筆者らの酸生成流動床でどれだけ分解を受けるか、また硫酸塩還元と酢酸生成が共役した反応として進行するものであるかという未知の問題を実験的に解明しようとした。

実験の結果より大豆蛋白が有機酸にまで加水分解と脱アミノ分解等を受け、また適当な比率で硫酸塩濃度が存在すれば有機酸の内50~80%が酢酸に転換していることが認められた。この場合、硫酸塩還元菌の役割は有機酸の酢酸転換に主として関与していることが推定された。

2. 実験および測定方法

実験装置の概要を Fig-1 に実験条件を TABLE-1 に示す。

流動床カラムは高さ100 cm、内径5 cmの亚克力樹脂製である。流出口は高さ80 cmの位置に取付けられている。生物膜担体としては、造粒型軽量骨材（ビルトン：住友金属、密度 2.32 g/cm^3 ）を用いて、造粒はJIS規格 No. 0.4 mm と、No. 0.85 mm の篩によって整えた。（有効径 0.42 mm 、均等係数 1.58、平均径 0.65 mm ）。流動床を通過する水量と膨張した流動床体積より水理学的滞留時間を求めた。トレーサー実験ではプラグフローに近い混合状態を示した。流動床内平均通過時間と水理学的滞留時間はほぼ等しいとみなした。担体上への微生物付着は、金沢市A下水処理場における初沈越流水を用いて行った。さらにその後スキムミルク主体（糖質52%、蛋白質35%）の人工下水で馴致した。 SO_4^{2-} 、オルトリン酸、乳酸、プロピオン酸、酢酸の定量は、細管式等速電気泳動装置（島津 IP-1B）を用いた。アミノ酸の定量は、高速液体クロマトグラフィ（島津 LC-3A）（イオン交換カラム ISC-07/S 2504、カラム圧力60~80 kg/cm²、カラム温度55℃、クエン酸ナトリウム三液の移動相、分光蛍光検出器 EM 波長 450 nm、EX 波長 348 nm）を使用した。大豆蛋白の測定はLowry法（ウシ血漿アルブミン単位）を採用した。有機酸の測定は、下水試験法の揮発性有機酸直接滴定法に従った。TOCは全有機炭素分析計（島津 TOC-10A）で測定し、その他の試験項目は下水試験法に従った。

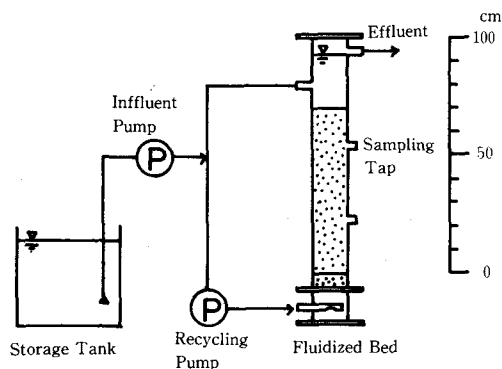


Fig. 1 Experimental apparatus of an anaerobic fluidized bed.

TABLE 1 Experimental conditions

Item	Values
Hydraulic retention time	25.0—235.0 min.
Flow Rate	80.0—100.0 ml/min.
Initial Height	40.0—45.0 cm
Expanded Height	65.0—75.0 cm
Bed expansion rate	1.40—1.50
Microorganism Density VSS	3,400—38,000 mg/l
Temperature	16—22℃
pH	7.0—7.5

3. 大豆分離蛋白の特徴と試料準備

実験に利用した大豆分離蛋白（昭和フレッシュ M 120, 昭和産業KK 製）の超遠心沈降成分の量比, 分子量, 成分蛋白質は TABLE-2 に示される。大豆分離蛋白の等電点は pH4.3 である。実験試料とし

TABLE 2 Volumetric ratio, molecular weight and compornents of each supernatant taken from ultracentrifugations of soybean protein.

Sedimentation coefficient	volumetric ratio (%)	Moleculart weight	compornents
2S	22	15,000—30,000	Trypsin inhibitor, cytchrome C
7S	37	100,000—200,000	Hemagglutinin, Lipoxidase, 7S globulin
11S	31	—350,000	11S globulin
15S	11	—600,000	

て溶解度を一定に保つために, 試料 10 g に対して, 温水 (40~50℃) 1 ℓ を入れ N/10 NaOH を用いて pH7.8 ~ 8.0 に調整した後, マグネチックスターラーで 90 分間攪拌し試料原液とした。さらに水道水を加えて濃度調整すると安定した溶解が得られ, 0.45 μm のメンブレンフィルター分画で, 溶解性蛋白と浮遊性蛋白の比が 6 : 4 となった。液体クロマトグラフィ分析で大豆分離蛋白の加水分解アミノ酸組成を決定し, 元素組成を求めると (C₃₇H₇₁O₂₀N₁₀)_n n = 16 ~ 600 となった。

4. 大豆分離蛋白を用いた有機酸生成と硫酸塩還元実験

4-1 有機酸生成流動床の安定状態の設定

嫌気性流動床はスキムミルク主体の人工下水 (スキムミルク 0.4 g, (NH₄) SO₄ 0.1 g, KH₂ PO₄ 0.02 g を水道水 1 ℓ に溶解) で馴致をつづけているが, 基質を大豆分離蛋白に代えた場合, 硫酸塩還元反応が安定した定常状態になる時間を求めた。水理学的滞留時間 (HRT) 25 分の条件では, HRT の 5 倍以上の時間が経過すると硫酸塩還元反応が安定することが確かめられた。

4-2 大豆分離蛋白の分解, 有機酸生成, 硫酸塩還元等の関係

硫酸塩濃度は K₂ SO₄ を用いて 45 mg/l と 76 mg/l に設定した。大豆分離蛋白質濃度は, 50 ~ 700 mg/l (COD_{cr} で 55 ~ 780 mg/l) を採用した。Fig-2 に嫌気流動床流入蛋白質量に対して除去された蛋白質量の関係を示した。水理学的滞留時間を 25 分に設定したこの実験では, 流入大豆蛋白質量と除去蛋白質量の間に直線関係よりは, やや放物的関係が見い出された。Fig-3 は蛋白質除去濃度に対する除去硫酸塩濃度の関係を示した。流入硫酸塩濃度が 45 mg/l の場合, 蛋白質除去濃度が 100 mg/l を越えると, 蛋白質除去に対して除去硫酸塩の関係が直線より離れて行く。同様に流入硫酸濃度が 76 mg/l の場合, 蛋白質除去濃度が 120 mg/l を越えると直線関係から離れて行く。蛋白除去濃度 (X) と除去硫酸塩濃度 (Y₁) の直線関係を最小自乗法で求めると Y₁ = -14.01 + 0.529 X - (1) となった。Fig-4 は, 蛋白質除去濃度に対する生成揮発性有機酸濃度 (酢酸換算値) と生成酢酸濃度の関係を示している。

蛋白除去濃度 (X) と生成揮発性有機酸濃度 (Y₂)

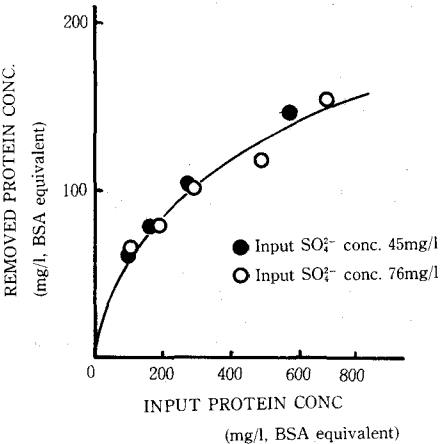


Fig. 2 Relationship between input protein conc. and removed protein conc.

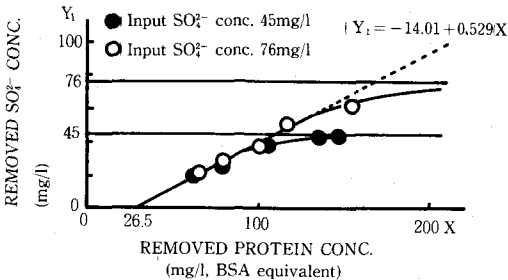


Fig. 3 Relationship between removed protein conc. and removed SO₄²⁻ conc.

の関係を直線として求めると、 $Y_2 = -19.28 + 0.836 X - (2)$ となった。生成酢酸濃度 (Y_3) と X との関係を、直線と見做せる部分にのみ求めると、 $Y_3 = -31.93 + 0.859 X - (3)$ となった。流入硫酸塩濃度が 45 mg/l の場合は、蛋白質除去濃度が 100 mg/l を越えると、有機酸の内、酢酸生成の占る割合が低下して行くことがわかる。流入硫酸塩濃度が 76 mg/l の場合、蛋白質除去濃度が 120 mg/l を越えると、同様に酢酸生成の割合が低下していることがわかる。このことから、もし流入硫酸塩を高くすると、蛋白質除去濃度が上昇しても生成酢酸の濃度は直線上を上昇していたと予測される。揮発性有機酸の直線と酢酸の直線の間の領域にある有機酸は、硫酸塩還元菌が電子供与体として利用できない有機酸と推定される。細管式等速度気泳動法による分析で、プロピオン酸、乳酸が検出されなかったため、酪酸以上の炭素数を持った有機酸と推定される。

Fig-5 は蛋白質除去濃度 (X) に対する生成無機炭素濃度 (Y_4) の関係を示しており、両者の直線関係は $Y_4 = -3.63 + 0.150 X - (4)$ となった。また Fig-6 は、蛋白質濃度 (X) に対する生成アルカリ度濃度 (Y_5) の関係を示したものである。この場合の直線は $Y_5 = -28.76 + 0.857 X - (5)$ となった。さらに Fig-7 は、蛋白質除去濃度 (X) と生成アンモニア性窒素濃度 (Y_6) の関係を求めたもので、直線は $Y_6 = -9.17 + 0.227 X - (6)$ となった。

これらの関係式を基礎に、本流動床における蛋白質除去にともなう諸反応の関係を TABLE-3 にまとめてみた。大豆蛋白中の炭素、窒素量(7)、(8)式、さらに有機酸生成と硫酸塩還元の関係(9)式、酢酸生成と硫酸塩還元の関係(10)式、無機炭素生成と硫酸塩還元の関係(11)式、アルカリ度生成と無機炭素生成の関係(12)式、同じく炭素基準の関係(13)式が深まった。また、蛋白質除去にともなう炭素収(14)式、窒素収支(15)式が求まった。これらの式の中から(2)、(3)、(4)および(7)式を用いて、炭素収支を Fig-8 に描いた。本流動床においては、除去蛋白の一定量が細胞増殖に転換し、除去蛋白量の増加に伴って、有機酸生成、酢酸生成、および無機炭素生

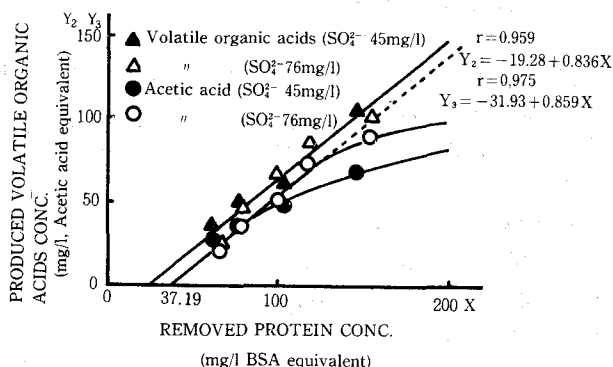


Fig. 4 Relationship between removed protein conc. and produced volatile organic acids conc.

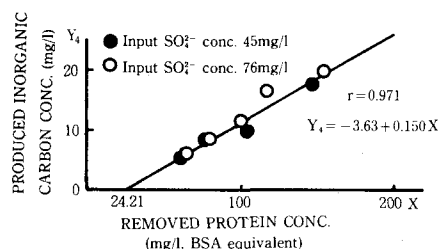


Fig. 5 Relationship between removed protein conc. and produced inorganic carbon conc.

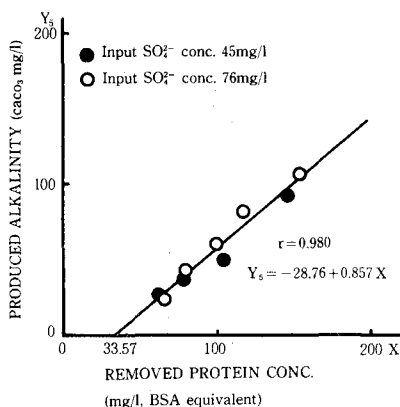


Fig. 6 Relationship between removed protein conc. and produced alkalinity.

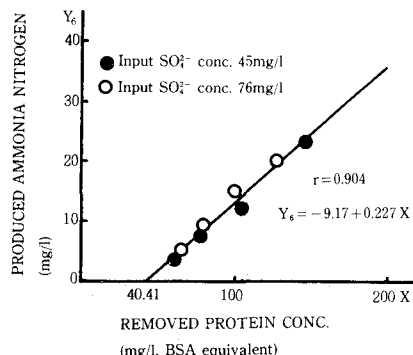


Fig. 7 Relationship between removed protein conc. and produced ammonia nitrogen conc.

TABLE 3 Reactions related to soybean protein removal in the anaerobic fluidized bed

蛋白質除去量と硫酸塩還元量

Reduced SO_4^{2-} to removed protein

$$Y_1 = -14.01 + 0.259 X \quad (1)$$

蛋白質除去量と有機酸生成

Produced volatile organic acids to removed protein

$$Y_2 = -19.28 + 0.836 X \quad (2)$$

蛋白質除去量と酢酸生成

Produced acetic acid to removed protein

$$Y_3 = -31.93 + 0.859 X \quad (3)$$

蛋白質除去量と無機炭素生成

Produced inorganic carbons to removed protein

$$Y_4 = -3.63 + 0.150 X \quad (4)$$

蛋白質除去量とアルカリ度生成

Produced alkalinity to removed protein

$$Y_5 = -28.76 + 0.857 X \quad (5)$$

蛋白質除去量と $\text{NH}_3\text{-N}$ 生成Produced $\text{NH}_3\text{-N}$ to removed protein

$$Y_6 = -9.17 + 0.227 X \quad (6)$$

大豆蛋白質中の炭素量 ($\text{C}_{37}\text{H}_{71}\text{O}_{20}\text{N}_{10}$)

Carbons of soybean protein

$$P_C = 0.455 X \quad (7)$$

大豆蛋白中の窒素量

Nitrogens of soybean protein

$$P_N = 0.144 X \quad (8)$$

(1)と(2)から有機酸生成と硫酸塩還元の関係

From (1) and (2), relationship between produced volatile acids and reduced SO_4^{2-}

$$Y_2 = 1.053 Y_1 + 25.94 \quad (9)$$

(1)と(3)から酢酸生成と硫酸塩還元の関係

From (1) and (3), relationship between produced acetic acid and reduced SO_4^{2-}

$$Y_3 = 1.00 Y_1 + 14.53 \quad (10)$$

(1)と(4)から無機炭素生成と硫酸塩還元の関係

From (1) and (4), relationship between produced inorganic carbons and reduced SO_4^{2-}

$$Y_4 = 0.189 Y_1 + 4.483 \quad (11)$$

(4)と(5)からアルカリ度生成と無機炭素生成の関係

From (4) and (5), relationship between produced alkalinity and produced inorganic carbons

$$Y_5 = 5.71 Y_4 - 8.02 \quad (12)$$

(12)の炭素基準の関係に改める

○ Rearrange equ. (12) to carbon equivalent

$$Y_{5c} = 0.685 Y_4 - 0.962 \quad (13)$$

蛋白質除去にともなう炭素収支

Carbon balance in protein removal

細胞増殖分 S_C , Cell growth S_C

$$= (7) \text{式} - (24/160) \cdot Y_2 - Y_4$$

$$= 11.34 - 0.029 X \quad (14)$$

蛋白質除去にともなう窒素収支

Nitrogen balance in protein removal

細胞増殖分 S_N , Cell growth S_N

$$= (8) \text{式} - Y_6$$

$$= 9.17 - 0.083 X \quad (15)$$

成が増加していることがわかった。なお、窒素収支は実験誤差が多く理論的關係を示すことができなかった。Fig-9は大豆分離蛋白濃度と流出液酸化還元電位(ORP)を示したものである。ORPは硫酸塩還元反応が始まると-150 mV程度になり、反応の進行とともに-400 mVに漸近している。この結果は、海洋性硫酸塩還元菌や水田土壤中の硫酸塩還元菌を用いて得られた実験結果とよく照応している³⁾。反応全体を検討すると、分離蛋白質の加水分解およびアミノ酸分解(decarboxylationとdemaminationを含む反応)の反応までは、硫酸塩還元反応に関係なく、生成した有機酸の中で電子供与体として利用できるものをすみやかに酢酸に転換していると判断された。

4-3 硫酸塩濃度の変動実験

流入大豆分離蛋白濃度を300 mg/lと500 mg/lに設定し、流入硫酸塩濃度の変動に対する除去硫酸塩濃度と生成有機酸、酢酸の関係をFig-10に示す。Fig-10の下図において流入硫酸塩濃度の上昇に対応して、生成酢酸濃度が上昇している。上の図において流入硫酸塩濃度が蛋白質濃度比して過剰になると、除去硫酸塩濃度の上昇は停止する。

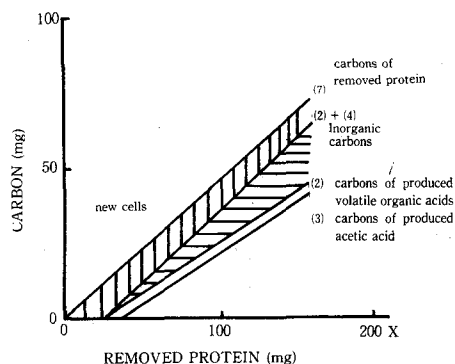


Fig. 8 Carbon balance of products in soybean protein metabolism.

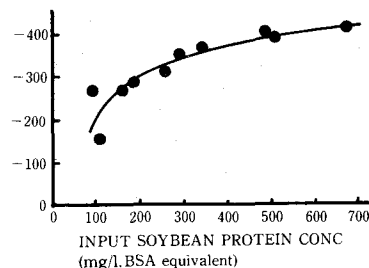


Fig. 9 Relationship between Oxidation Reduction Potential (ORP) and input soybean protein conc.

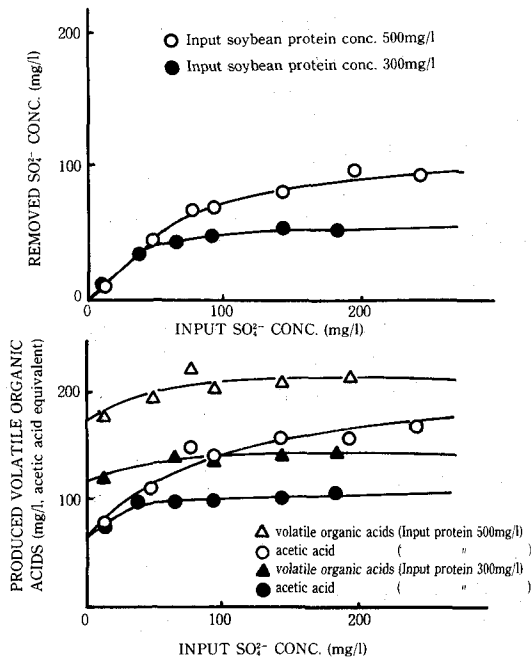


Fig. 10 Relation of removed SO_4^{2-} conc. and produced volatile organic acids to input SO_4^{2-} conc.

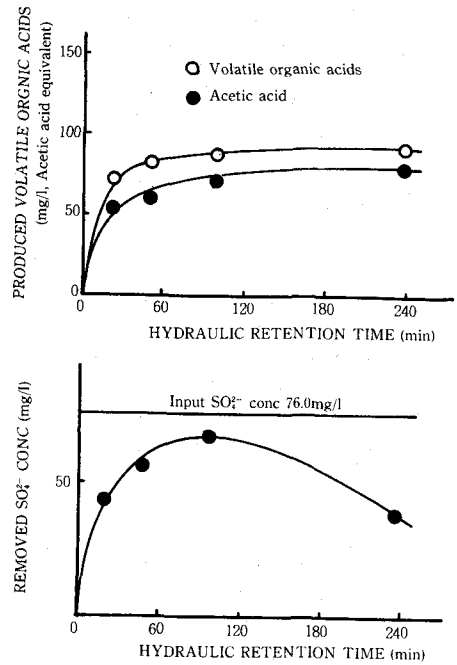


Fig. 11 Retention of produced volatile organic acid and removed SO_4^{2-} conc. to hydraulic retention time.

しかし下の図に見られる生成有機酸濃度は酢酸生成とは違い、余り流入硫酸塩濃度に影響を受けず一定である。水理学的滞留時間HRTが25分程度では、後述する実験結果からも判断されるが浮遊性蛋白質の分解が不十分になり、生物膜内に吸着・蓄積し遅れて徐々に分解する。このために、生成有機酸の濃度が硫酸塩濃度の上昇とともに漸増する結果になっている。しかしながら、酢酸塩還元反応が密接に関係していることがわかる。

4-4 水理学的滞留時間 (HRT) 変動実験

流入大豆分離蛋白濃度 300mg/l, 流入硫酸塩濃度 76mg/l で、HRTの変動に対する生成有機酸濃度と除去硫酸塩濃度の関係を求めたのが Fig-11 である。HRTの上昇とともに、除去硫酸塩濃度、生成有機酸、酢酸濃度が上昇している。これはHRTを長くすることにより分離蛋白質の分解効率が高まると生成有機酸が増加し、硫酸塩還元菌がさらに酢酸転換を行うからである。HRTが120分以上になると、除去硫酸塩濃度は低下する。しかし酢酸量は低下していない。この実験は、高負荷運転より順に低負荷運転に進行したが、それぞれの負荷では十分な定常状態にならないまま次に移っている。HRT 240分では F/M 比が非常に小さく ($0.045 \text{gCOD}_{\text{cr}}/\text{gMLVSS day}$) なるため、流入蛋白を利用した分解反応が維持できず前の実験で蓄積した細胞内蓄積物を酸化することによって酢酸を生成するためではないかと推定せられる。この時生成アンモニア性窒素の増加が分離蛋白の分解量に対応しているために、菌体が自己酸化したことはなく、自己酸化による酢酸生成は考えにくい。別のグルコースを用いた実験でも、同様にHRTを長くすると、生成酢酸量が流入グルコースから計算した化学量論的生成酢酸量を上まわった。この場合も菌体の自己酸化によるアンモニア性窒素濃度の増加は見られなかった。

Fig-12はLowry法による測定で大豆蛋白質の除去効率とHRTの関係を示している。HRT 100 分以下では、

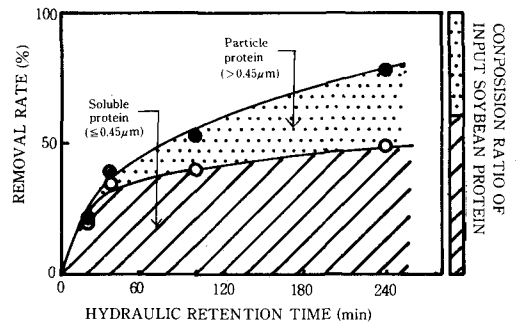


Fig. 12 Relationship between hydraulic retention time and removal rate of soybean protein.

溶解性蛋白質と浮遊性蛋白質の除去効率差が大きい。HRTが長いほど蛋白質除去効率は上昇するが、流動床付着菌体量を維持する点等の条件も考えて、最適HRTを決定する必要がある。

5. 混合アミノ酸および単一アミノ酸を基質とした実験

TABLE-4に混合アミノ酸（流入アミノ酸濃度147.1mg/l、 SO_4^{2-} 69.1mg/l）および単一アミノ酸（流入アミノ酸80~100mg/l、 SO_4^{2-} 40~45mg/l）をそれぞれ基質とした実験結果を示す。混合アミノ酸実験では、特にアスパラギン酸、アルギニン、リジン、グルタミン酸に高い分解効率が得られた。また溶解度の低いものを除いた各アミノ酸の単一アミノ酸実験では、アミノ酸除去効率は悪く硫酸塩還元率も低い。これはアミノ酸の分解が不完全であるために、

硫酸塩還元菌の必要とする電子供与体が少なく硫酸塩還元反応が起りにくいためである。なお、大豆蛋白質が基質として実験では、良好な除去分解が行われている場合、流出

水中にアミノ酸は検出されなかった。

6. スティックランド反応確認実験

Clostridium sporogenes, *C. botulinum*, *C. tetani*等は2種類のアミノ酸の一方を水素供与体、他方を水素受容体として酸化還元を行い生育する。この反応をスティックランド反応と呼んでいる。本嫌気性流動床においてこのような反応の有無を確認する実験を試みた。組合せは、グリシンを水素受容体とするグリシン-アラニン、グリシン-バリン、グリシン-ロイシン、さらにアルギニンを水素受容体とするアルギニン-ロイシンである。結果から見ると本流動床ではステックランド反応はほとんど起らなかった。

TABLE-5にアルギニン-ロイシンの結果を示したが、単一アミノ酸実験の結果と比較しても低い分解率であった。現在のところ理由は不明であるが、単一アミノ酸の実験や、スティ

TABLE 4-1 Amino acids removals with sulfate reduction under the condition of the mix amino acids substrate

No	Amino acid	Values with HPLC				removal rate %
		Influent mg	umole	Efluent mg	umole	
1	Asp	27.75	208.46	1.38	10.34	95.04
2	Thr	27.66	232.18	19.26	161.66	30.37
3	Ser	28.19	268.31	14.52	138.13	48.52
4	Gle	29.17	198.24	5.11	34.72	82.49
5	Gly	28.17	375.36	15.90	211.89	43.55
6	Ala	27.51	308.75	14.19	159.25	48.42
7	Val	27.17	231.92	20.47	174.72	24.66
8	Met	27.79	186.26	18.87	126.49	32.09
9	Ile	*12.07	92.04	4.09	31.20	66.10
10	Leu	26.62	198.40	19.11	145.70	26.56
11	Tyr	29.54	163.02	22.61	124.80	23.44
12	Phe	24.47	146.34	15.49	93.79	35.91
13	Lys	23.45	160.42	1.90	13.00	91.90
14	Arg	28.51	163.68	1.61	9.24	94.36
		369.07		183.70		

means 24.6 × 4 = 98.4 mg 12.25 × 4 = 48.8 mg

* Influent concentration of the amino acid mixture is 147.1 mg/l.

TABLE 4-2 Various amino acids removals with sulfate reduction under the condition of single amino acid substrate

substrate	Influent		Efluent			Amino acid removal rate %	SO_4^{2-} reducing rate %	SO_4^{2-} mg Amino acid removal mg
	Amino acid conc mg/l	SO_4^{2-} conc mg/l	Amino acid conc mg/l	SO_4^{2-} conc mg/l	acetic acid (Volatile organic acid) conc mg/l			
Glu	157.14	39.31	105.33	28.54	—	33.0	27.4	0.208
Ser	90.79	46.21	29.08	24.23	41.82 (56.43)	68.0	47.6	0.356
Arg	90.95	44.27	64.29	35.22	16.48 (40.03)	29.3	20.4	0.340
Gly	84.00	43.41	65.26	37.59	12.55 (31.84)	22.3	13.4	0.311
Leu	87.83	44.27	58.03	25.30	34.19 (52.01)	33.9	45.3	0.673
Val	87.02	45.00	87.02	41.68	12.25 (?)	0.0	7.4	—
Ala	90.46	43.84	64.86	35.65	12.05 (?)	28.3	18.7	0.320
Met	101.38	46.00	91.46	34.36	15.25 (?)	7.9	25.3	1.173
Thr	92.65	46.00	71.06	37.59	9.10 (?)	21.1	18.3	0.390
Phe	95.51	46.00	72.21	38.45	8.86 (?)	24.4	16.4	0.324

TABLE 5 Experiment on whether on the Stickland reaction occurring

Amino acid	Influent		Efluent		Efluent Organic acids conc (mg/l)	SO_4^{2-} removal rate (%)	Amino acid removal rate (%)
	Amino acid conc (mg/l)	SO_4^{2-} conc (mg/l)	Amino acid conc (mg/l)	SO_4^{2-} conc (mg/l)			
Arg	93.54	80.69	71.05	50.74	Acetic acid 28.29 volatile organic acids 37.51	37.12	24.04
Leu	87.83		63.63				27.55

ックランド反応のようにアミノ酸組成が単純な実験では、本流動床は、外見からも正常な色でなくなり、一部、生物膜のはく離が見られた。

7. まとめ

大豆分離蛋白質は、分子量 16,000 から 600,000 程度の不均一系である。溶解性と浮遊性成分によって分解除去に差があり、水理学的滞留時間が短い場合にその差が明らかになった。また流入蛋白質濃度が 400 mg/l 以下では、総蛋白質除去量の内約 70% は溶解性蛋白質で占められており、浮遊性蛋白質の除去率は余り大きくない。蛋白質濃度が 400 mg/l 以上では浮遊性蛋白質はほとんど除去されていない。HRT 25 分程度では、分子量の大きな蛋白の代謝は遅く、生物膜内に吸着されうる最大量に達すると加水分解速度が律速になり、浮遊性蛋白質の除去は見かけ上停止することになる。

溶解性蛋白質の場合は、HRT 25 分程度でもかなりの高い除去率を持つ、しかし溶解性蛋白質であっても巨大分子であるから、直接細胞に取り込まれることはない。いったん吸着・蓄積された後、細胞外加水分解酵素により、ペプトン・ポリペプチドなどに低分子化されて、細胞内へ取り込まれ代謝を受ける。本嫌気性流動床を概念的にモデル化すると Fig-13 になる。

14 種の混合アミノ酸を基質にした実験では、それぞれのアミノ酸が 23~95% の範囲で全体として高い分解効率を示した。しかし 10 種のアミノ酸をそれぞれ単一基質とした場合、0~68% と全体として低い分解率であった。また、グリシンとアルギニンをそれぞれ水素受容体とする 4 つの組合せスティックランド反応実験を試みたが、いずれも単一基質の分解よりも低い基質除去率に終わった。

8. 謝 辞

本研究を進めることができたのは、大谷満氏（川田工業 KK）、木村好孝氏（東亜建設 KK）の協力に負うところが多かったことを記して感謝します。本研究の一部は土木学会委託下水処理場エネルギー調査研究と文部省科学研究費総合研究 A（58350033）とからの費用に依っていることを記しておきます。

参考文献

- 1) 松井三郎, 井手慎司, 大滝裕一, “嫌気性流動床における有機物分解と酢酸生成にはたす硫酸塩還元菌の役割について” 衛生工学研究論文集, Vol. 19, 1983.
- 2) 中野政弘, 津坂伸幸, “新版 食品の化学” 大日本図書, 1975.
- 3) 畑幸彦, “海洋性硫酸還元細菌と培地の酸化還元電位との関係” 農水講究報告, 10, 57-77, 1960.

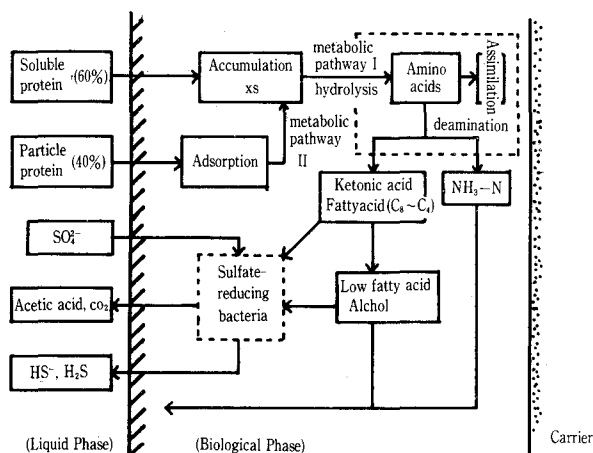


Fig. 13 Pathways of soybean protein metabolism by anaerobic bacteria and sulfate-reducing bacteria in the fluidized bed.