

嫌気性菌による厨芥・汚水同時処理システムに関する研究（その3）

——厨芥の嫌気分解特性に及ぼす温度の影響——

喜 田 大 三 辻 博 和
岩 波 洋

Studies on Simultaneous Treatment System for Garbage and Sewage by Anaerobic Microorganisms (Part 3)

—— Effect of Temperature of Biodegrading Properties of Acclimated Anaerobic Microorganisms
to Digest Garbage ——

Daizo Kita Hirokazu Tsuji
Hiroschi Iwanami

Abstract

In case of developing a new simultaneous treatment system for garbage and sewage using anaerobic microorganisms, it is indispensable to have microorganisms active at a temperature as low as that of sewage in general. Therefore, anaerobic microorganisms originating at local municipal sewage plants are being acclimatized to low temperatures. This paper reports on biodegrading properties of acclimatized organisms at 35°C and 20°C. The efficiency ratio of organisms to digest garbage is 1.3~1.4 g-vs/g-vs, and is not affected by the temperature. However, the time required for digestion, and the volume of digesting gas are affected by the temperature. At 35°C, the volume of digesting gas is about 0.76 l/g-vs with digesting time of about 20 days, but at 20°C it is about 0.71 l/g-vs with about 28 days. It is presumed from these volumes of digesting gas that the efficiency of organic materials degradation is about 76 percent at 35°C, and about 71 percent at 25°C.

概 要

嫌気性菌を用いた厨芥・汚水の同時処理システムの開発にあたって、一般の生活排水程度の温度で活性の高い嫌気性菌が不可欠である。筆者らは下水処理場の消化汚泥を種汚泥として、低温に馴化した嫌気性菌を入手すべく馴養作業を進めている。ここでは、35°Cおよび20°Cの条件下、約1年間馴養した嫌気性菌についての厨芥の嫌気分解特性を報告する。

厨芥を効率よく分解できる厨芥/汚泥比は温度に影響されず、有機物量比 (vs/vs) で1.3~1.4であった。しかし、嫌気分解に必要な消化日数、その際の消化ガス発生量は温度条件に影響された。35°Cでは消化日数約20日で約0.76 l/g-vsの消化ガスが発生するのに対して、20°Cでは消化日数として約28日必要で消化ガス発生量は約0.71 l/g-vsであった。上述の消化ガス発生量から、厨芥中の有機物の分解率は35°Cで約76%、20°Cで約71%と推定された。

1. はじめに

近年、都市再開発の動きが急ピッチに進んでおり、特に、大都市圏を中心に超高層集合住宅を組み込んだ地域開発が盛んである。超高層集合住宅においては、各戸から発生する生ゴミすなわち厨芥の衛生的かつ簡易な処理に対する要望が高まっている。

筆者らは超高層集合住宅などにおいて発生する厨芥をディスポーザーで粉砕し、生活排水とともに排出し、地下に設置する浄化槽において厨芥と汚水を同時に処理す

るシステムの開発に向けて研究を進めている。

このシステムの確立にあたって、重要課題の一つは厨芥などの固形性の有機物の処理である。この課題に対しては、システムから排出する余剰の汚泥の量を最小限にする為、嫌気性菌による嫌気分解処理を検討している。

ところで、固形性有機物の嫌気分解処理は、下水処理場での余剰汚泥の消化に多く採用されている。汚泥消化では、嫌気性菌が活発に進む至適温度は30~37°Cの中温度域さらには45~55°Cの高温域であり、10°C以下に温度が下がると嫌気分解が停止するとも言われている。従っ

て、実際の汚泥消化では、何らかの加温処理が施されている。しかし、我々がめざしている浄化槽では、一般の生活排水などの温度域で、厨芥を効率よく嫌気分解することを目標としており、低温で活性の高い嫌気性菌を入手する必要がある。

ところで、有機物の嫌気分解過程は、前段として、炭水化物・脂肪・タンパク質などの複雑な化合物を分解して酢酸をはじめとする揮発性脂肪酸に分解する過程（酸生成過程）と、揮発性脂肪酸や炭酸ガス・水素をメタンに転換する過程（メタン生成過程）で構成され、何れの過程にかかわる微生物群は複雑な生態系をなし、相互に依存しながら、あるいは連鎖をなして、嫌気分解を進行させている。

従って、低温で活性の高い嫌気性菌を入手するには、各菌種をバランスよく全て低温に馴化することが重要であろう。

筆者らは、中温の消化汚泥から、約1年をかけて、馴養を行ない、20°Cでも、かなり効率よく厨芥を嫌気分解できる嫌気性菌を入手できた。この報告では、さきに報告した35°C条件下における厨芥の嫌気分解特性の結果に加えて、20°C条件下におけるの結果を報告し、厨芥の嫌気分解に及ぼす温度の影響について考察する。

2. 実験方法

2.1. 供試厨芥

先の報告で提案した食品構成比の湿潤重量250gの厨芥を水道水1lを用いてデイスポーターで粉碎し、これを標準厨芥（容量約1.2l）として供試した。

標準厨芥は実験中、適宜作成した。表-1に、作成ごとに分析した標準厨芥の各水質項目について、その濃度の範囲・平均値・標準偏差を示す。表から判るように、各水質項目の変動係数は10~30%の範囲にある。その際、溶解性成分についての水質項目のバラツキはトータ

項目	範囲 (mg/l)	平均 (mg/l)	標準偏差 (mg/l)	変動係数 (%)	
全 体	BOD	17,400~33,000	22,300	7,300	33
	COD (Mn)	11,600~19,000	14,400	3,200	22
	COD (Cr)	34,400~44,000	39,500	4,800	12
	T-N	1,160~1,820	1,650	330	20
	T-P	160~262	210	50	24
	蒸発残留物	33,600~47,000	40,700	7,000	17
	強熱減量物	30,800~44,100	37,300	6,700	18
	強熱残留物	2,800~4,000	3,400	600	18
	浮遊物質	21,800~32,600	27,800	5,500	20
	溶 解 性	BOD	8,000~12,000	10,100	1,800
COD (Mn)		5,400~7,040	6,190	700	11
COD (Cr)		12,000~14,400	12,900	1,300	10
T-N		304~518	410	110	27
T-P		152~236	190	40	21
蒸発残留物		11,800~15,000	12,900	1,800	14
強熱減量物		9,400~12,000	10,300	1,400	14
強熱残留物		2,400~3,000	2,600	350	13

表-1 標準厨芥の性状（厨芥250g当り水道水1lで全量約1.2l）

ル成分についてのそれに比べて少なくなっている。

2.2. 供試汚泥

東京都S水処理センターから入手した中温消化汚泥を20°Cおよび35°Cで、さきに示した厨芥および人工排水を単独あるいは併用して添加し、約1年間馴養し、実験に供試した。

なお、中温消化汚泥を35°Cから20°Cまで順次低い温度に馴養した作業過程、さらには人工排水の組成などについては、先の報告に記述してあるので参照されたい。ここでは、供した馴養汚泥の性状を表-2に示しておく。

項目 種類	TS(mg/l)	VS(mg/l)	SS(mg/l)	灰分(mg/l)
35°C 馴養汚泥	9,700	5,600	8,000	4,100
20°C 馴養汚泥	11,000	6,000	7,800	5,000

表-2 供試した馴養汚泥の性状

2.3. 方法

汚泥500mlを1.7l容の亚克力槽にとり、標準厨芥を20~500ml添加し、水道水を必要量添加して全量を1lとして、スターラーで攪拌しながら20°Cあるいは35°Cの恒温室で嫌気養生した。

厨芥を添加後3~4日間は、有機酸の生成によって、pHが低下したので、1日1回アルカリ液でpHを7.0~7.5に調整した。

そして、消化ガスの発生がほぼ終了した段階で、攪拌を停止し、静置養生した後、上澄水の一部を採取除去し、再度標準厨芥を添加し、実験を繰り返した。

なお、消化ガスの発生量は、飽和食塩水を貯留したフラスコに発生ガスを捕集し、捕集ガスの圧力が大気圧条件下でフラスコに連結したメスシリンダーへ移動する食塩水の量を計量して測定した。また、消化ガスの組成は適宜、ガスクロマトグラフィで分析した。

3. 実験結果と考察

3.1. 20°C条件下における厨芥の分解挙動

厨芥の嫌気分解過程で発生する消化ガスの日当りの発生量は厨芥の添加直後で大きく、日数の経過とともに小さくなり、結果としてガスの累積発生量はほぼ一定値に達する。

そこで、厨芥の添加1回目から10回目における、ガス発生量がほぼ一定値に達するに要した日数とその時点におけるガス発生量を厨芥/汚泥比別に一覧表にして、表-3に示す。

ところで、発生ガス中のCH₄やCO₂は水に溶解する。しかし、今回の実験では、回分式に順次、厨芥を添加しているので、これらのガスの水中濃度は添加回数が多く

なる程飽和状態に近くなる。そこで、ガスが水中にほとんど溶けなくなり、かつ分解特性が比較的安定したと判断できる3回目以降の数値を平均して、表中に併記した。

(1) 消化ガス発生量

消化ガス発生量の平均値は、厨芥/汚泥比が 500 ml/500 ml・200/500・100/500・50/500・20/500でそれぞれ 15.0 l, 6.1 l, 2.9 l, 1.3 l, 0.48 l である。このガス発生量を湿潤厨芥 250 g (概ね大人一人の平均排出厨芥量) 当りについて、0°C・1 気圧下の発生量に換算すると、それぞれ 33.5 l, 34.1 l, 32.4 l, 29.0 l, 26.8 l となり、厨芥 250 g 当りに 27~34 l 程度のガスが発生することが明らかになった。

また、発生ガスの組成は厨芥/汚泥比によって明確な違いは認められず、CH₄が59~65%、CO₂が30~34%、N₂が3~7%であった。

なお、上述した消化ガスの発生量あるいは組成は消化ガスがほとんど水に溶けなかった場合の値であり、実際に厨芥を嫌気分解した場合には CH₄や CO₂は水に溶解するので、発生量は減少し、組成は変化することを考慮しておく必要がある。

(2) 消化日数

厨芥/汚泥比が消化日数に及ぼす影響を明らかにするため、ガス発生量がほぼ一定値に達した値を100%として、各養生日数におけるガス発生量割合を算出し、ガス発生量割合の経時変化の一例を図-1に、厨芥/汚泥比とガス発生量割合との関係を、図-2に示した。

両図から明らかなように、厨芥/汚泥比が 20 ml/500 ml~100 ml/500 ml の範囲では、養生日数とともにガス発生量割合がほぼ同じ傾向で上昇し、7日で70~90%、14日で85~95%、28日でほぼ100%に達している。これに対して、200 ml/500 ml では7日で40~60%、14日で75~90%であり、100%に達するのに約40日を要している。

厨芥/汚泥比	500ml/500ml		200/500		100/500		50/500		20/500	
	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)
1回目	129	12.4	38	5.0	38	2.1	29	1.2	17	0.55
2 "	76	13.9	29	5.9	31	2.9	28	1.4	31	0.42
3 "	55	14.1	49	5.8	33	3.0	23	1.2	23	0.53
4 "	45	14.8	41	5.4	27	2.8	27	1.4	28	0.50
5 "	47	15.4	35	6.1	28	2.6	19	1.3	21	0.51
6 "	71	15.8	29	6.0	28	2.7	28	1.4	17	0.45
7 "	73	15.4	25	6.8	25	3.3	25	1.5	14	0.51
8 "			45	5.9	28	2.8	22	1.2	9	0.43
9 "			49	6.7	28	3.0	23	1.5	12	0.43
10 "			45	6.1	29	2.7	20	1.2	12	0.48
3~10回目の平均値	58	15.0	40	6.1	28	2.9	23	1.3	17	0.48
厨芥250g当りのガス発生量 (0°C・1 気圧換算)	-	33.5	-	34.1	-	32.4	-	29.0	-	26.8

表-3 20°Cにおける厨芥の消化状況

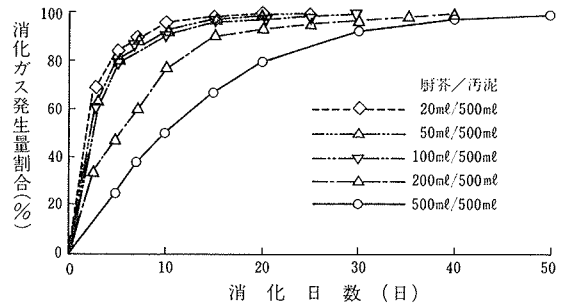


図-1 20°Cにおけるガス発生量割合の経日変化例

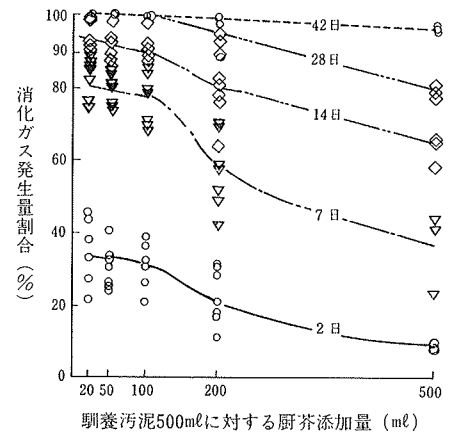


図-2 20°Cにおける厨芥/汚泥比とガス発生量割合との関係

る。さらに、500 ml/500 ml では、7日で20~50%、14日で60~70%であり、100%に達するのに約60日を要している。

このことから、汚泥の消化能力を最大限活用して、厨芥の嫌気分解を行なうためには、厨芥/汚泥比を約 100 ml/500 ml の条件で処理するのが好ましいと判断できる。なお、この条件を VS/VS で表現すると、1.3 g-VS/g-VS となる。

3.2. 35°C条件における厨芥の分解挙動

35°C条件における厨芥の分解挙動については、先の報告で詳述しているので、それ以後に継続して行なった実験の結果を含めて、厨芥の分解挙動をまとめて、表-4に示しておく。

厨芥/汚泥比	500ml/500ml		200/500		100/500		50/500		20/500	
	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)	日数 (日)	ガス発生量 (ℓ)
3~14回の範囲	39~60	16.2~19.4	21~37	5.9~7.5	13~23	2.9~3.6	10~21	1.3~1.9	~18	0.42~0.59
3~14回の平均	49	17.3	27	6.6	19	3.2	15	1.5	14	0.51
厨芥250g当りの0°C1気圧換算のガス量	-	36.8	-	35.1	-	34.0	-	31.9	-	27.1

表-4 35°Cにおける厨芥の消化状況

項目	適切な厨芥/汚泥比		消化日数	消化ガス発生量 (0℃・1気圧換算)	
	容量表示	VS/VS表示		厨芥250g当り	厨芥VS当り
35℃	100ml/500ml	1.4g・VS/g・VS	約20日	約34ℓ	約0.76ℓ/g・VS
20℃	100ml/500ml	1.3g・VS/g・VS	約28日	約32ℓ	約0.71ℓ/g・VS

表一5 20℃と35℃における厨芥の消化状況の比較表

3.3. 嫌気分解に及ぼす消化温度の影響

先に行なった厨芥の嫌気分解に関する実験結果から、厨芥の嫌気分解に及ぼす消化温度の影響を明確にするために、20℃と35℃の温度条件下の結果をまとめて表一5に示す。

20℃と35℃の条件下の両者とも、厨芥/汚泥比を100 ml/500 ml程度に設定することによって、厨芥を効率よく嫌気分解することができる判断された。なお、この厨芥/汚泥比をVS/VSで表示すると、約1.3~1.4 g・VS/g・VSとなる。

その際、必要となる消化日数については、温度条件によって大きく異なり、35℃では20日程度であるのに対して、20℃では28日程度を必要としている。

さらに、上記の条件下での消化ガスの発生量も温度条件によって大きく異なった。すなわち、湿潤厨芥250g当り35℃では約34ℓでなるのに対して、20℃では約32ℓであった。この値を厨芥のVS当りに換算すると、35℃では約0.76 ℓ/g・VS、20℃では約0.71 ℓ/g・VSである。

ところで、下水処理場などで行なわれている嫌気性消化処理の実績では、余剰汚泥を35℃付近の中温消化で消化ガスの発生量は0.45~0.55/g・VS程度と言われている。このことから、厨芥は余剰汚泥に比べて易分解性の有機物に富んでおり、厨芥の減量化に嫌気分解が有効であることを示唆している。

次に、各温度における厨芥中の有機物の分解率について考察する。有機物の分解率を算定するには、消化過程の前後における固形性あるいは水溶性の炭素の収支を正確に求めることによってはじめて可能となるが、ここでは、上記のガス発生量からその分解率を以下に試算してみる。

CH₄とCO₂の分子量およびガス比重から、CH₄あるいはCO₂ガス中の炭素濃度はそれぞれ0.536 g/l、0.539 g/lと算出される。単位体積の消化ガスがm%のCH₄とn%のCO₂とを含んでいる場合、消化ガスには次式で示す炭素量が含まれることになる。

$$C = 0.536 \times (m/100) + 0.539 \times (n/100)$$

ここで、厨芥に対するmとnとの概算値として、先の実験結果から、m=65%・n=35%を採用し上式に代入す

ると、C=0.538(g/l)となり、1ℓの消化ガス中には、平均0.538gの炭素が酸化されていることになる。言い換えれば、1gの炭素の分解により1/0.538ℓ、すなわち1.86ℓの消化ガスが発生することとなる。

ところで、厨芥中の有機物の炭素率は約52~55%であったので、次式からわかるように、厨芥中の1gの有機物が完全に分解する際には、約1.0ℓの消化ガスが発生することとなる。

$$G_0 = 1.86 \times (0.52 \sim 0.55) \\ = 0.97 \sim 1.02 (\text{l/g-or})$$

上記に試算したように、厨芥中の1gの有機物が分解する際には、約1.0ℓの消化ガスが発生すると予想されること、および、実際の各温度条件における厨芥の嫌気分解過程で発生した消化ガス量は、35℃で約0.76 ℓ/g・VS、20℃で約0.71 ℓ/g・VSであったことから、35℃では厨芥中の有機物の約76%が嫌気分解され、20℃では有機物の約71%が嫌気分解されていると推定される。

4. まとめ

某下水処理場の消化汚泥を種汚泥として、35℃および20℃の条件下、約1年間馴養した嫌気性菌について、厨芥の嫌気分解特性を試験した結果、下記の事項が明らかとなった。

厨芥を効率よく分解できる厨芥/汚泥比は温度に影響されず、有機物量比(vs/vs)で1.3~1.4であった。

しかし、嫌気分解に必要な消化日数、その際の消化ガス発生量は温度条件に影響された。35℃では消化日数約20日で約0.76 ℓ/g-vsの消化ガスが発生するのにに対して、20℃では消化日数として約28日必要で消化ガス発生量は約0.71 ℓ/g-vsであった。

上述の消化ガス発生量から、厨芥中の有機物の分解率は35℃で約76%、20℃で約71%と推定された。

現在、上述した嫌気性菌を用いて厨芥・汚水同時処理バイオリアクターのラボ試験を進めており、次回に報告する予定である。

なお、この研究は建設省建築研究所および東京ガス㈱との共同研究の一部として実施しているものである。

参考文献

- 喜田，他：嫌気性菌による厨芥・汚水同時処理システムに関する研究(その1)(その2)大林組技術研究所報, No. 36, No. 37, (1988), pp. 148~153, pp. 133~136
- たとえば、井出編：水処理工学の第8章、嫌気性消化法、(1980), pp. 347~382, 岩井監修：下水・廃水・汚泥処理ガイドブックの第15章、嫌気性消化法、(1979), pp. 496~530