

投菌活性污泥法的研究及其應用

洪永哲* 于忠民**

內容提要

本論文闡述了投菌活性污泥法的基本概念，和七種細菌的功能特性。

儘管投菌活性污泥法(*Application of Bio-Augmentation Process With Liquid Live Microorganisms*)是美國近10年來新興的一門污水處理技術，但它已實地應用，並收到了良好的效果。

文章從投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水定性試驗成果論述了投菌活性污泥法、產泥量少、分解有機物質效率高、節省能源、硝化作用顯著等優點。

一、引　　言

儘管，世界上採用投菌法用於醫藥、食品、釀酒等工業上已具30多年的歷史了，但是在污水處理上的應用，卻只有10多年的歷史。投菌活性污泥法(*Application of Bio-Augmentation Process With Liquid Live Microorganisms*)與傳統活性污泥法比較，在概念上有其根本不同。傳統活性污泥法是在曝氣池內，為微生物提供一定的環境，依靠微生物的代謝過程，去除廢水中的各種有機質成份。然而，曝氣池混合液內的微生物絕非十足，而經常是有用的細菌沒有或細菌活性較差，以致使污水處理喪失了某一方面的功能，日積月累，成了污水處理廠的疑難問題。特別是當代，隨着工業發展，城市人口的高度集中，在城市污水處理中，不僅水量愈來愈大，而且含工業廢水成份也愈來愈增多，水質成份較複雜，諸如工業廢水中的有害物質；由於工業廢水排入所引起的衝擊負荷；污水中浮油問題，城市下水管道油垢淤積問題；以及隨着季節變化，冬季時污水處理廠的硝化作用減弱，出水水質含氨氮量增高等等，都是人們所關心的問題。當然，傳統活性污泥法還有每處理 $1m^3$ 水約需要0.2~0.3度電能，它不僅消耗能源，而且，污泥量大，通常，污泥的處理和處置費用要佔污水處理廠總費用的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 左右，因此，多年來，各國圍繞着節省能源與少佔土地進行着工藝方面的不少改革，但是，這畢竟是有限的改進。

投菌活性污泥法是與之不同的新概念，它以將具有強活力的細菌投入曝氣池裏去，使曝

* 美國克利夫蘭州立大學土木工程系教授

**美國克利夫蘭州立大學土木工程系副研究員

氣池混合液內的各種細菌處於最佳活性狀態，這樣，不僅投入了曝氣池內所缺少的細菌，在流入污水水質不變的條件下，微生物氧化作用顯著，而且，當污水水質改變，環境變異的情況下，微生物仍能適應，其氧化代謝過程依然充份，污水處理廠耐衝擊負荷，提高了處理效果，改善了出水水質。

投菌活性污泥法是根據在同一環境裏，最適應的細菌能自然繁殖，同樣，污水處理廠曝氣池混合液內的細菌也會自然繁殖到一定數目，自然界無處不可找到細菌，然而，在同一環境裏並非可以找到一切細菌這一原則^(3,4) (The ubiquity principle states that bacteria can be found anywhere; it does not state that all bacteria may be found in any specific environment.) 作為理論指導，從自然土壤內篩選出污水處理中的有用細菌，投入曝氣池內，該方法的應用已收到了良好的效果。

目前，美國已有幾家生產這種特殊細菌的工廠了，例如：(1)美國公共環境科學技術公司 (General Environmental Science Corporation) 簡稱 GES 公司。(2)帕雷白克公司 (Polybac Corporation)。(3)流量試驗室 (Flow Laboratories)。(4)斯伯郎公司 (Sybron Corporation)。(5)賽萊尼斯公司 (Celanese Corporation)。

美國 GES 公司生產的活性菌液具有很強的活性，活性菌液簡稱 LLMO (Liquid Live Microorganisms) 濃度為 5×10^7 細菌個數/ml 其內加入一定劑量的硫化鈉 (Na_2S)，抑制細菌的代謝過程，通常可貯存 1 ~ 2 年菌液由七種細菌組成：⁽⁴⁾

- (1)芽孢桿菌屬 (Bacillus)：兼氣性細菌，依靠體外產生的酵素，分解蛋白質、澱粉和脂肪，把不溶性脂肪分解成能溶於水的甘油 ($2\text{CH}_2\text{OH} \cdot \text{HCOH}$)、脂肪酸 (RCOOH)，供其它細菌進一步分解。
- (2)假單胞菌屬 (Pseudomonas)：兼氣性細菌，能分解各種有機質，能進行硝化作用，把硝酸，還原為亞硝酸，生成氮氣。
- (3)硝酸菌屬 (Nitrobacter)：好氣性細菌，把亞硝酸氧化成硝酸。 (Converts nitrite to nitrate in nitrification)。
- (4)亞硝酸菌屬 (Nitrosomonas)：好氣細菌，把廢水中的氨氧化為亞硝酸。 (Converts ammonia to nitrite in nitrification)。
- (5)纖維素分解菌屬 (Cellulomonas)：好氣性細菌，能緩慢地分解水中植物纖維素。
- (6)好氣性桿菌屬 (Aerobacter)：能分解碳水化合物 (CxHyOz) 生成脂肪酸 (RCOOH) 和乙醇類 ($\text{CH}_3 \cdot \text{CH}_2\text{OH}$)。
- (7)紫紅色假單孢菌屬 (Rhodopseudomonas)：兼氣性細菌，係活性菌液指示性細菌，在厭氣有陽光條件下呈紫紅色，好氣條件下呈無色。

二、投菌活性污泥法的應用

應用投菌活性污泥法解決污水處理中的疑難問題，已收到了良好的效果，它不僅提高了生化處理的效率；減少污泥量和節約能源，而且，還具有傳統活性污泥法所達不到的效果。

1. 對油脂、脂肪處理：

污水中的油脂來自食品工廠、肉類加工廠、餐館和煉油廠等，天長日久污水中的油脂會慢慢沉澱下來，並淤積在管壁上，以致減少了管道的過水斷面，甚至堵塞管道。過去，人們進行管道油物清除是很困難的，而使用投菌活性污泥，簡易可靠，使人們找到了途徑。

投菌活性污泥法是依靠活性菌液（LLMO）中的芽孢桿菌屬（Bacillus）具有較強的分解脂肪的能力，把污水或污泥中油脂的物理、化學性質改變了，將淤積在管壁上的油脂能以溶解在水中，隨水流走，得到處理。目前，在美國，使用 2ppm 的生物菌液（LLMO）連續地投入到受油物淤積的管道內，經過 2 ~ 6 週，即可消除油污淤積問題。

另外，管道壁上的油脂沉澱物，在厭氣菌的作用下，將污水中的硫酸鹽（SO₄⁻）轉化為硫化氫氣體，H₂S 再進一步被氧化為 H₂SO₄，硫酸與混凝土管道縫隙中二氧化矽和鈣作用，生成粉末狀硫酸鹽使管道腐蝕，有時 2 年就能把混凝土管腐蝕壞。但當投加活性菌液後，不只避免了 H₂S 氣體的產生，消除了臭味，而且防止了管道腐蝕延長了使用年限。

2. 防臭方面：

污水處理中的防臭，已引起人們的重視，如採用土地過濾以消除臭味。而採用投菌活性污泥法較簡單、經濟。它是在投菌活性污泥法處理過程中，同時有除臭作用。它依靠強活性細菌將生化處理階段產生的各類有機酸，迅速地分解，達到無機化，把硫化氫氣體氧化為硫酸（H₂SO₄），又投菌活性污泥法脫氮效果顯著，氨臭味也會消除，所以，投菌活性污泥法，能消除污水生化處理過程中因有機酸和硫化氫、氨引起的臭味。

3. 污泥厭氣消化方面：

污泥厭氣消化過程包括酸性發酵與碱性發酵兩個過程，這兩個過程是連續的，第一階段酸性發酵的好壞直接影響到第二階段，酸性菌繁殖快，環境條件要求不嚴格，而碱性發酵溫度條件要求嚴格，目前，人們正研究採用兩段發酵來提高產氣量。投菌活性污泥法，依靠 Bacillus 菌外酶，具有強活性，能將污泥內的油脂質分解徹底，從而為碱性發酵提供了充足的養料，如果碱性發酵設備容量大，則會提高產氣量。

4. 在沉澱方面：

污水沉澱池是污水廠的重要部分，初次沉澱池係前處理，沉澱效果直接受進流水水質影響，污水中懸浮顆粒太細，沉澱效果不好，而投加活性菌液（LLMO）之後將依靠其細菌強活力的分解作用，改變了細小顆粒的結構，使其容易聚合成較大顆粒，提高了初次沉澱池的沉澱效果。

同理，二次沉澱池為污水處理的後處理，當投加活性菌液後能依靠七種細菌的強分解能力，使曝氣池混合液內的氧氣，不會因負荷高而不足，C/N 比保持正常，不會造成二次沉澱池的污泥膨脹。

三、處理馬鈴薯廢水試驗研究

投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水是在試驗室進行的 (Cleveland State University)。用 6 個容積相等的反應槽，每個反應槽容積為 2 升，將馬鈴薯廢水注入，連續曝氣，在#1、#2、#3 反應槽內每日投加二次 LLMO，試驗條件如下表：

表-1 各反應槽試驗條件

反應槽	可溶性 TOC (mg/l)	不溶性 TOC (mg/l)	MLVSS (mg/l)	LLMO (mg/l-day)
1#	0	1,000	1,000	1
2#	50	1,000	1,000	1
3#	250	1,000	1,000	1
4#	0	1,000	1,000	—
5#	50	1,000	1,000	—
6#	250	1,000	1,000	—

試驗共進行了 28 天，從所得各項數據分析，得出投菌活性污泥法的主要優點。現分述如下：

1. pH

由表-2 數據看出，投加活性菌液 (LLMO) 的反應槽 pH 值開始增高，而後下降，而

表-2 pH 值試驗數據

時間 (hr)	各反應槽號 (pH)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0	6.26	6.70	6.61	6.70	6.90	6.70
4	7.10	7.10	6.50	8.10	7.00	6.35
8	7.00	7.05	6.60	6.80	7.10	6.90
12	7.10	7.00	7.00	7.00	7.00	7.32
24	7.10	7.10	7.70	7.10	7.05	7.74
48	7.10	7.00	7.60	6.95	7.05	7.70
72	7.05	6.95	7.52	6.95	7.10	7.53
96	6.80	6.75	7.02	7.01	7.02	7.02
144	7.01	7.02	6.80	5.85	5.75	6.70
216	5.10	6.20	7.00	7.21	4.80	7.10

表-3 TSS、VSS 試驗數據

時 間 (hr)	#1			#2			#3			#4			#5			#6		
	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)	% (V/T)															
0	3,500	2,755	79	3,350	2,615	78	2,755	1,995	72	3,625	2,870	79	4,180	3,365	81	4,020	3,250	81
4	4,100	3,390	83	4,105	3,390	83	4,280	3,545	83	3,875	3,150	81	4,015	3,305	82	2,985	2,305	107
8	4,020	3,270	81	3,980	3,230	82	3,410	2,640	77	3,835	3,080	80	4,140	3,345	81	3,670	2,890	79
12	3,840	3,100	81	4,010	3,260	81	2,850	2,090	73	3,350	2,600	78	4,075	3,265	80	3,920	2,580	75
24	4,055	3,310	82	3,715	3,000	81	3,800	3,020	80	4,040	3,215	80	4,060	3,320	82	4,580	3,795	83
48	3,950	3,200	81	3,980	3,215	81	3,200	2,420	76	3,930	3,170	81	3,695	2,920	79	3,845	2,990	78
72	3,980	3,265	82	3,985	3,230	81	3,405	2,650	79	3,980	3,215	81	4,005	3,235	81	4,170	3,340	80
96	4,005	3,215	80	4,030	3,260	81	4,425	3,685	82	3,850	3,090	80	3,805	3,060	80	3,220	2,600	81
144	3,935	2,695	79	3,550	2,800	79	3,545	2,775	78	3,250	2,690	82	3,455	2,760	80	3,595	2,840	79
216	3,355	2,575	77	3,560	2,745	77	3,330	2,495	75	3,340	2,600	79	3,570	2,750	77	3,550	2,590	73
312	3,180	2,400	76	3,080	2,335	76	3,070	2,180	71	3,250	2,430	75	3,270	2,400	75	3,000	2,130	71

未投加 LLMO 的各反應槽 pH 值在前 9 天之內，並無下降趨勢。這是因為馬鈴薯廢水，先是在微生物酶的作用下，將高分子糖轉化為低分子糖，進而生成有機酸；而蛋白質水解生成氨基酸，氨基酸再分解生成酮酸 (RCOCOOH)、脂肪酸 (RCOOH)、醇類 (RCH_2OH) 有機酸 (RCHOHCOOH)、飽和脂肪酸 (RCH_2COOH) 和氨等。活性菌液中的細菌將有機酸很快分解，反應開始 pH 值增高，隨後進入硝化階段，氨被氧化為 NO_2^- 與 NO_3^- pH 值下降。

2.VSS

由表-3數據看出，投加 LLMO 的反應槽與相應的未投加 LLMO 的各反應槽的數值為低，這說明 LLMO 是具有活性很強的細菌液體，能很快地分解廢水中的有機物質，同時也表明污泥量少。

3.TOC

由表-4看出，投加 LLMO 的各反應槽與相應的未投加 LLMO 的各反應槽，可溶性 TOC 數值增大較明顯，表明微生物活性較強，即當廢水中高分子有機物質被去除之後，細菌細胞體外酵素，開始把不溶性有機物分解為可溶性有機物，使 TOC 增大，而未投加活性菌液 (LLMO) 的反應槽 TOC 數值，增加較低。

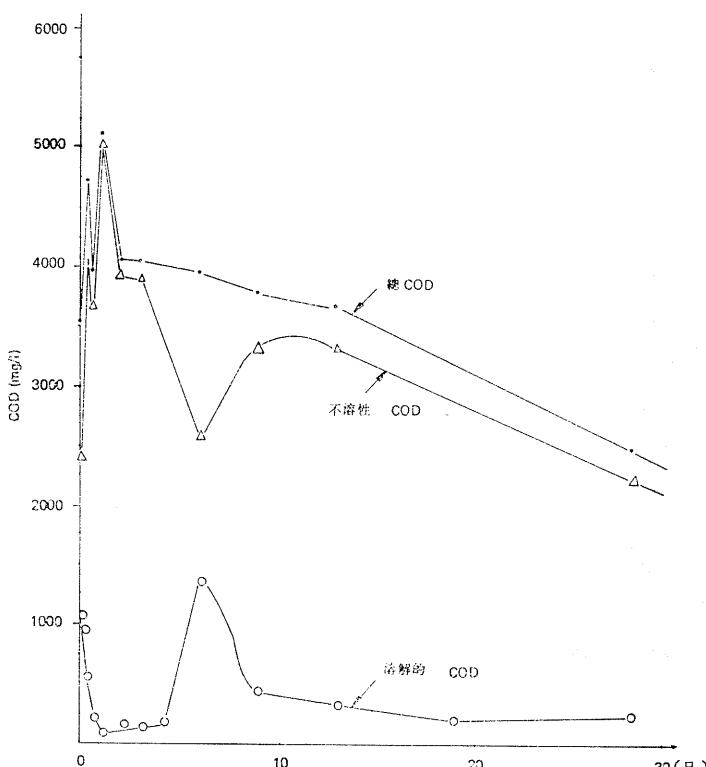


圖-1 #3反應槽 COD 變化曲線

4.COD

由圖-1與圖-2看出，#3反應槽為投加 LLMO，而 #6反應槽為未投加 LLMO 的反應槽。反應開始溶解性 COD 下降，表明微生物先降解易降解的有機質，當生化反應進行到一定階段總 COD 與不溶性 COD 下降，表明細菌進一步將廢水中的有機物質分解，同時溶解性 COD 上升，而 #3反應槽 可溶性 COD 上升值比#6反應槽相應 COD 上升值為大，說明投加 LLMO 分解有機質量多，活性菌液中的細菌活躍，活性強。

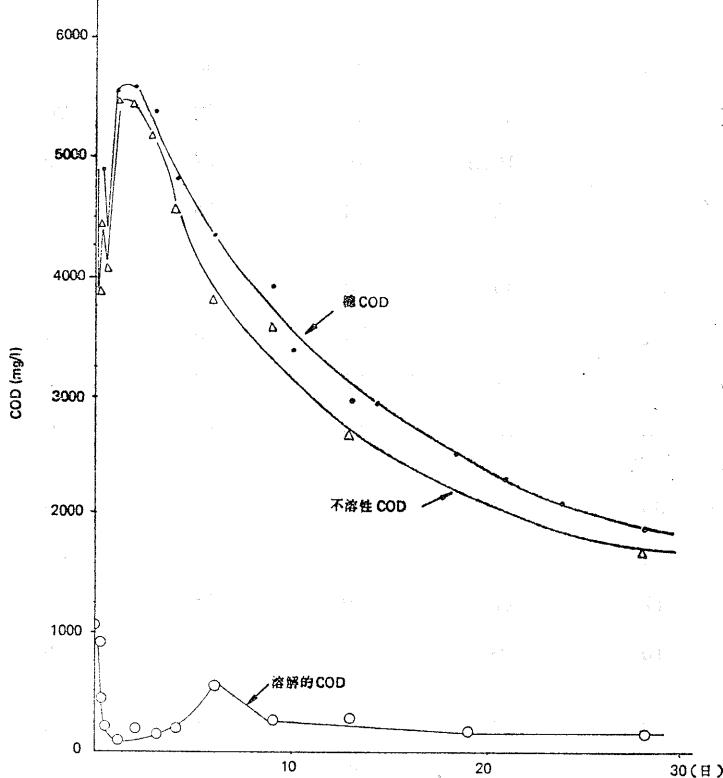


圖-2 #6反應槽 COD 變化曲線

5. 污泥沉降性能：

由表-4看出，在反應槽 216小時曝氣時間內，每隔 24小時用 100ml 量筒取 100ml 混合液，靜止沉降30分鐘，隔 2、10、20、30分鐘讀污泥沉降量（用%表示），隨着曝氣時間的增長，每個反應槽內的污泥量愈來愈少，表明微生物將不溶性有機物質分解，而 144小時之後，污泥量開始增加，表明污泥開始老化，有膨脹現象，但是，投加 LLMO 的反應槽污泥量比未投加 LLMO 的污泥量少，表明活性菌液的細菌活性強，有機質分解徹底，污泥保持活性。

表-4 汚泥沉降試驗數據

◎◎◎◎

時 間		各 反 應 槽 號 (%)					
時	分	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0	2	49	32	48	50	40	80
	10	25	22	28	24	22	25
	20	19	17	19	18	16	19
	30	16	15	17	16	14	13
4	2	43	42	40	35	27	22
	10	23	22	21	22	20	18
	20	17	16.5	16	17	16	15
	30	15	15	14	15	14	14
8	2	30	45	50	44	42	42
	10	21	23	22	23	22	23
	20	17	18	17	18	17	19
	30	15	16	15	16	16	17
12	2	33	33	83	33	33	35
	10	21	23	40	23	21	23
	20	17	17	29	18	18	19
	30	15	16	23	16	16	17
24	2	39	43	82	48	61	60
	10	21	23	37	25	24	31
	20	17	18	26	20	19	23
	30	15	16	21	18	17	20
48	2	45	53	89	40	43	82
	10	22	23	39	24	25	36
	20	18	19	28	19	20	26
	30	15	16	23	17	17	22

表-4 污泥沉降試驗數據 (續)

時 間		各 反 應 槽 號 (%)					
時	分	#1	#2	#3	#4	#5	#6
72	2	44	48	94	50	55	94
	10	25	26	52	25	29	60
	20	19	20	36	20	22	39
	30	16	17	27	17	19	30
96	2	46	50	64	80	56	92
	10	23	25	36	32	25	54
	20	18	20	25	23	20	36
	30	17	13	20	20	17	28
144	2	95	96	95	93	95	97
	10	72	71	65	63	70	78
	20	52	51	47	42	50	57
	30	38	39	37	31	38	43
216	2	56	91	94	77	65	94
	10	33	50	75	50	38	78
	20	26	36	50	30	30	60
	30	23	30	43	29	25	48

四、結論

1. 投菌活性污泥法是近 10 年來新興的一種污水處理工藝，它是鑒於一種新的概念，其主要部分為活性菌液 (LLMO)，一種含有多種細菌的菌液，已應用於油脂、脂肪處理、防臭處理、污泥厭氣消化及初次沉澱池和二次沉澱池上，並取得了良好效果。目前，美國已有幾家專門公司生產活性菌液。如 GES 公司生產的 Liquid Live Microorganisms、紐約生物化學公司 (Ecological Chemical Company) 生產的菌液 (Microbe Life) 等，並逐漸為人們所接受。美國能源部 (U. S. Department of Energy) 在污水廠試驗得出投加活性菌液可節省總能源 65%。⁽⁸⁾

2. 投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水定性試驗得出：活性菌液能減少污泥量，能增強硝化作用，使廢水中的氨 (NH_3) 轉化為硝酸 (NO_3^-) 與亞硝酸 (NO_2^-)，使 pH 值下降。活性菌液中的七種細菌具有不同的功能，在一定環境下不同的細菌表現出不同的活性，七種

細菌具有強活性，取自土壤，在污水處理生態平衡過程，投菌活性污泥法是較經濟的。但理論上尚待進一步研究。

References

- 1) American Public Health Association, 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th edition.
- 2) Gerardi, H. M., 1982. "Superbugs: Bacteria for Wastewater Plants", Public Works, December, 1982, pp. 37-38.
- 3) Horsfall, F. L., 1979. "Bacterial Augmentation of Wastewater Treatment", Journal of the New England WPCA, 13 (2): 158-163, September, 1979.
- 4) Horsfall, F. L. and B. Gilbert, 1976. U.S. Patent 3,963,576, "Method for Rendering Bacteria Dormant and the Product Produced Thereby", June 15, 1976.
- 5) Hyde, S. Christopher, 1981. "The Growing Business of Bacterial Cultures", Big Cycle, November-December, 1981, pp. 25-28.
- 6) Longaker, J.J., 1982. "Liquid Mixed Culture Bacteria Application to Aerobic Digesters", Report prepared for the Tennessee Valley Authority, Office of Power, Office of Natural Resources, Chattanooga, Tennessee, April, 1982.
- 7) Tamborini, S. M., Richardson, D. S., Horsfall, F. L., 1979. "A New Treatment for Biodegradable Waste", 40th Annual Meeting International Water Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, Oct. 30-Nov. 1, 1979.
- 8) U.S. Department of Energy, 1983. "Energy Optimization Utilizing Bacterial Augmentation", A study funded by the U.S. Department of Energy, March 30, 1983, Department of Public Works, City of Springfield, Massachusetts.
- 9) Zitrides, G. T., 1977. "Using Customizing "Bugs" for Biological Waste Treatment", Plant Engineering, June 23, 1977, pp. 117-119.
- 10) Horsfall, F. L., 1982. "The Use of Bacterial Augmentation in the Oxidation of Phenol and Hydrocarbon Containing Wastewater", Report presented to the Louisiana Water Pollution Control Association, Monroe, Louisiana, March 18, 1982.