

2. 簡介光合細菌及其在水產養殖上之應用

魏志榮 · 陳瑤湖 · 陳秋錦

(國立台灣海洋學院水產繁殖研究所)

一、前言

(光合細菌 (photosynthetic bacteria; P S B) 是一種能以光作為能源並以二氧化碳或有機物質作為碳源而能營養繁殖的微生物。早在二十億年前，光合細菌就已棲息在地球上，其在自然界分布的範圍極廣，在有水份的地方，只要有微量的光存在，不論其環境為好氣性或嫌氣性均可生存繁殖，是一種生命力極強的菌體。像水田、溝、河川、湖沼、海岸、土壤中均可發現，就連南極海底及 90° C 的高溫泉水中亦不例外(小林，片山，奧田，1966)，在土壤的次表層或污水中，於缺氧狀況下，有機物被異營微生物分解時會產生一些還原物質，如氨 (ammonia)，亞硝酸 (nitrite)、硫化氫 (hydrogen sulfide) 等，而光合細菌於此時會將上述物質加以利用，作為其成長過程中所需之養分而大量繁殖。由於其能將還原物質轉化，可使土壤次表層的還原情況減少，氧化還原電位 (Reduction-Oxidation Potential; redox potential) 增加，而污水之水質亦得以被淨化。國外利用光合細菌處理工業廢水及家庭污水的情形相當普遍 (Si-

fert, Irgens, and Pfennig, 1978)。農業上，日本曾作實驗，在果樹的肥料中添加光合細菌可使長出來的果子，果數增加，果色更鮮豔，糖度亦增高 (小林，葦澤，中条，1974)；又由於細菌本身富有多種營養成分，亦有將光合細菌添加於飼料中，餵給蛋雞食用的報導 (Kobayashi & Kurata, 1978)，結果產卵數及卵重均呈大幅增加。光合細菌於水產養殖，不但可以改良底質、淨化水質、促進魚蝦健康、抑制魚蝦病原菌發生，尚因菌體含有高量的蛋白質等成分，可直接或間接作為魚貝類仔稚時期的餌料。光合細菌尚含有豐富之類胡蘿蔔素 (carotenoids)，添加於飼料中，對魚蝦類體色具改良效果 (荻野，1978)。

二、光合細菌之種類及基本特徵

1. 光合細菌之種類：

光合細菌於光合作用中，並不像一般植物或藍綠藻用水當電子供應者 (electron donors)，而是利用還原態的硫化物，分子態氫及有機受質。並非任何電子供應者均可被

光合細菌所利用，根據對電子供應者的利用情形，光合細菌可分成三個科 (families) : *Rhodospirillaceae* , *Chromatiaceae* , *Chlorobiaceae* , 而各科各含有若干屬 (表 1) (Boyd, 1984)。*Chromatiaceae* 與

Chlorobiaceae 較喜歡利用還原態的硫化物當作電子供應劑，而 *Rhodospirillaceae* 只有少數幾種可利用硫代硫酸鹽與硫化氫 (Gottschalk, 1985)。

表 1 光合細菌之分類

科 (Family)	屬 (Genus)
(1) <i>Rhodospirillaceae</i> (紫色非含硫細菌)	<i>Rhodospirillum</i> <i>Rhodopseudomonas</i> <i>Rhodomicrobium</i>
(2) <i>Chromatiaceae</i> (紫色含硫細菌)	<i>Chromatium</i> <i>Lamprocystis</i> <i>Thiocystis</i> <i>Thiodictyon</i> <i>Thiosarcina</i> <i>Thiopedia</i> <i>Thiospirillum</i> <i>Amoebobacter</i> <i>Thiocapsa</i> <i>Ectothiorhodospira</i>
(3) <i>Chlorobiaceae</i> (綠色含硫細菌)	<i>Chlorobium</i> <i>Pelodictyon</i> <i>Prosthecochloris</i> <i>Clathrochloris</i> <i>Chloropseudomonas</i>

2. 光合細菌之基本特徵：

(1)在生理需求方面：首先要有光之存在才能進行光合作用；此外，環境中越是缺氧的狀態其生長情形愈好，含氧量高的環境下，其成長反而不佳。另外，環境中尚需有電子之供應者 (不管是有機的或無機的) 才能進行光合作用 (Gerhard, 1985)。

(2)光合作用 (photosynthesis) 之特性：

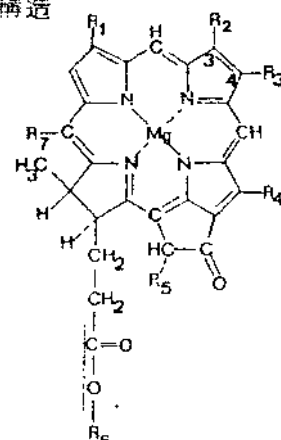
光合細菌其進行光合作用的過程和一般真核植物或藍綠藻不同 (表 2) (Boyd, 1984)。首先，光合細菌的葉綠素和一般植物不同，是屬於細菌的菌綠素 (bacteriochlorophylls)，菌綠素有 5 種 (a, b, c, d, e) (表 3)，依種類不同而異。光合細菌其光合作用的部位，在綠色含硫細菌其光合器 (photosynthetic apparatus) 排列成囊 (vesicles) 而成 Chlorosomes，外圍包被著 electron dense 膜；而紫色細菌為一細胞膜內之膜狀系

表2 光合細菌與真核植物 (Eukaryotes) 及藍綠藻 (Cyanobacteria) 在光合作用構造及機制上之比較 (Boyd, 1984)

	真核 (Eucaryotes)	藍綠藻 (Cyanobacteria)	紫菌 (purple bacteria)	綠菌 (green bacteria)
電子供應體	H ₂ O	H ₂ O, 有些能利用 H ₂ S	H ₂ S, So, H ₂ , S ₂ O ₃ organic compounds	H ₂ S, So, H ₂ , S ₂ O ₃ organic compounds
光合作用部位	Thylakoids	Thylakoids	cell membrane	chlorosomes
氧之產生	○	○	×	×
葉綠素形式	chlorophyll a	chlorophyll a	Bacteriochlorophyll a or b	Bacteriochlorophyll a and c, d or e
Photosystem I	○	○	○	○
Photosystem II	○	○	×	×

表3 各種菌綠素 (bacteriochlorophylls) 之化學構造

substituent	bacteriochlorophyll				
	a	b	c	d	e
R ₁	-CO-CH ₃	-CO-CH ₃	-CHOH-CH ₃	-CHOH-CH ₃	-CHOH-CH ₃
R ₂	-CH ₃	-CH ₃	-CH ₃	-CH ₃	-CHO
R ₃	-C ₂ H ₅	-CH-CH ₃	-C ₂ H ₅	-C ₂ H ₅	-C ₂ H ₅
R ₄	-Cl ₃	-Cl ₃	-C ₂ H ₅	-C H	-C H
R ₅	-CO-OCH ₃	-CO-OCH ₃	-H	-H	-H
R ₆	phytyl	phytyl	farsenyl	farsenyl	farsenyl
R ₇	-H	-H	-Cl ₃	-H	-CH ₃

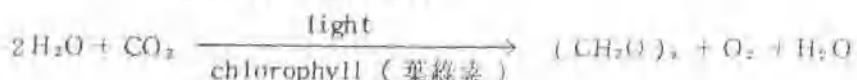


(Gloe, Pfennig, Brockmann, Trowitzsch, 1975)

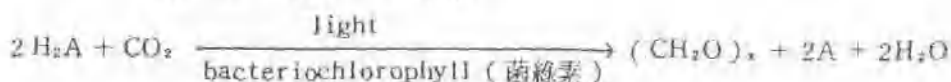
統 (intracytoplasmic membrane system) , 光合細菌不具一般植物光合作用之產氧系統 (Oxygen producing system of photo-

synthesis 或 photosystem II) , 所以光合作用結果並不伴隨氧之產生 (Gottschalk, 1985) 。

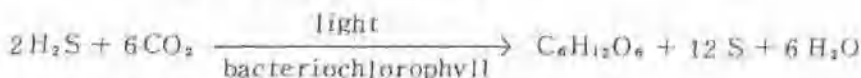
一般植物光合作用簡式：



而光合細菌光合作用簡式：



以 H_2S 作為電子供質者為例：



三、光合細菌與水產養殖

1. 在水質淨化及底質之改良方面：

養殖池由於高度密集養殖，投餌不當造成殘餌，加上養殖魚蝦的排泄物或浮游生物屍體沈積於池底中，造成底質有機質堆積過多，而使池土表層之氧化層越來越薄而下層之還原層越來越厚，此時氧化還原電位降低。異營微生物將有機質分解，會釋出一些對魚有毒的物質如氨、亞硝酸、硫化氫等。若氣溫升高（如夏天），加速池底腐敗菌或分解菌之分解作用，大量耗去氧，而使魚蝦易發生“泛池”的現象。光合細菌可將這些有機質或硫化氫等物質加以吸收利用，而使耗氧的異營微生物因缺乏營養而轉為弱勢，因而降低底質之 BOD（生物需氧量），使氧化層增厚，氧化電位亦可提高，底質及水質因而被淨化，而促進養殖生物之健康及成長。依據日本廣島電氣大學佐佐木健

及行武道雄所作的實驗（佐佐木，行武，1987），將 15 尾鯉魚（體長 15—20 cm）分別放養於 2 噸之水槽，每天投餌 300 g，15 天後，光合細菌添加組（每日添加 140ml）與不添加組，其 BOD 比為 22ppm：37ppm，磷酸值比為 2.9ppm：4.9ppm。

2. 營養飼料上之應用：

光合細菌之菌體含多種營養成份（表 4 及表 5）（小林，1975）。光合細菌其粗蛋白含量高達 57.95%，比綠藻（chlorella）還高（表 4）。由表 5 亦可看出光合細菌與綠藻及酵母（Yeast）其胺基酸之組成與比較。在草蝦之 11 種必需胺基酸中（Tyrosine, Arginine, Histidine, Leucine, isoleucine, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tryptophan, Valine）（Kanazawa, 1985）及在魚類之 10 種必需胺基酸中（Arginine, Histidine, isoleucine, Leucine + Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine,

表4 光合細菌體 (*R. capsulatus*)
之一般成分組成 (%)

試料	粗蛋白	粗脂肪	可溶性 醣類	粗纖維	灰分
光合細菌	57.95	7.91	29.83	2.92	4.40
綠藻	53.78	6.31	19.28	10.33	1.52
麥	7.48	9.04	98.60	9.35	0.72
大豆	38.99	19.33	39.93	5.11	5.68

(小林, 1975)

表5 光合細菌、綠藻、酵母中胺基
酸組成 (g / 100g 乾燥重)

	Photosynthetic bacteria	Chlorella	Yeast
Lysine	2.88	2.71	3.76
Histidine	1.25	1.06	0.90
Arginine	3.34	3.24	2.50
Aspartic acid	4.56	4.74	3.11
Threonine	2.70	2.28	2.65
Serine	1.68	2.12	2.75
Glutamic acid	5.34	4.52	6.21
Proline	2.80	2.12	1.77
Glycine	2.41	2.28	2.18
Alanine	4.65	2.98	2.86
Valine	3.51	3.02	3.20
Methionine	1.58	0.27	0.51
Isoleucine	2.04	2.44	2.63
Leucine	4.50	4.46	3.54
Tyrosine	1.71	0.90	1.30
Phenylalanine	2.00	2.65	2.20
Tryptophan	1.09	0.64	0.60
NH ₃	4.01	2.58	5.30

(小林, 1975)

Tryptophan, Valine) (莊健隆, 1986)。除了 Lysine, 光合細菌 (2.86g / 100g) 少於酵母 (3.76g / 100g) 及 Phenylalanine, 光合細菌 (2.6g / 100g) 略少於綠藻 (2.65g / 100g), 其餘必需胺基酸, 光合細菌均是含量最高, 尤其 Methionine 較酵母高出 2 倍而 Tryptophan 高出 50%。此外, 光合細菌其維生素 (Vitamins) 的含量亦頗高, 從表 6 可容易地發現, 其 B 族維他命的含量均遠高於酵母。

表6 光合細菌體 (*R. capsulatus*) 中
維生素含量與酵母之比較

維生素	光合細菌 (γ / 100g)	酵母 (γ / 100g)
B2	3,600	2,900
B6	3,000	2,400
葉酸	2,000	1,700
B12	200~2,000	1
C	20,000	—
D	10,000 IU	300,000 IU

(小林, 1975)

光合細菌可直接或間接作為魚介類之初期餌料。日本有人曾做實驗 (小林, 1984) 於 2 噸水槽中, 各蓄養 4000 尾仔鯽魚 (*curcuan carps*), 一槽於餌料中添加 0.1% 的光合細菌, 另一槽則不添加, 經過 1 個月後, 添加光合細菌槽與不添加那槽其仔鯽魚活存率為 3860 尾 (95.5%) 比 2772 尾 (69.3%), 其間的差別相當大。另東京大學 Shimizu 教

授以比目魚 (flatfish) 之仔魚做實驗，仍為餌料中添加與不添加光合細菌之比較，試驗 50 天後，結果發現，添加光合細菌的體長較不添加者長 24%，這意味添加光合細菌那組長得較快；此外，比目魚仔魚時期分別位兩側的眼睛，添加光合細菌者於第 25 天轉移到另一側，而不添加者於第 30 天才移到另一側。且添加光合細菌之池魚體型亦較大，活存率亦較高，而更顯示和天然狀況下所捕獲之比目魚，體色更為接近。光合細菌用於培養動物性餌料生物（例如豐年蝦）效果相當不錯（小林，1984）。由圖 1 我們可明顯看出，使用光合細菌培養的動物性浮游生物，其成長速度遠超過用酵母及綠藻者。

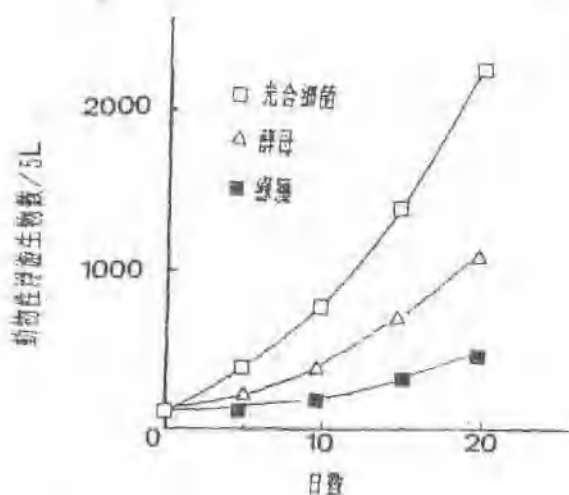


圖 1 光合細菌，酵母，綠藻用於培養動物性餌料生物之比較（小林，1984）

光合細菌尚含有豐富的類胡蘿蔔素 (carotenoid) (圖 2)，每克菌體 (*R. capsulatus*) 約含有 41.7 毫克的類胡蘿蔔素 (小林，1975)，添加於飼料中，可改進魚蝦體

色之效 (萩野，1978)。

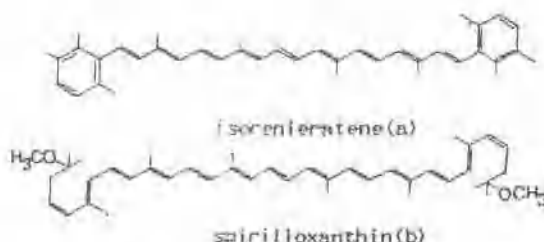


圖 2 光合細菌中，綠色硫細菌(a)與紫色細菌(b)之類胡蘿蔔素 (Gottschall, 1985)

3. 魚病發生之預防：

前面我們曾談到光合細菌能生存在含氮、亞硝酸、硫化氫及有機酸等污水環境，但養殖池中尚有些相當令人困擾的細菌，如 *Fusarium Oxysporum* 及 *Strepto coccus* 等，它們亦能利用一些含氮物質，在污水環境中活潑地生長，並且會造成魚類感染疾病。假若，光合細菌能和其生長在同一水域中，與其競爭同樣的營養鹽，於是 *Fusarium Oxysporum* 及 *strepto coccus* 等因為缺乏營養而不再活躍，不易再感染魚病。這也就是利用光合細菌佔優勢，而使“優勢種”來抑制有害雜菌繁殖，以達到防止魚病發生的功效。

4. 養殖用水重複使用之處理：

近幾年來由於工業急速發展，使得台灣沿岸海域飽受工業廢水排放的污染，水質不堪使用於養殖，加以南部因草蝦養殖大量抽取地下水造成地層下陷，是故水資源日益枯竭的今天

，養殖用水之再循環使用是值得重視的。而在此再利用處理系統中，我們可以設計一個過程，利用光合細菌的特性來處理水質，將污水經過淨化後再輸送回到養殖池中，以提高養殖用水重複使用的功能。

四、結 語

過去在養殖池處理底質改良或水質淨化，常常使用化學方法，加入一些化學物質如石灰

、茶粕、沸石、過錳酸鉀等，雖然一時之間可達到某些效果，但亦會干擾或甚至破壞整個養殖池子的生態平衡。光合細菌為存在於自然水界或底土中的一種微生物，在物質循環上扮演重要的角色（圖3）（星野，北村，1984）。在重視生物防治法的今天，利用光合細菌特殊之生理特性及生態習性來改善養殖環境，降低魚罹病率，減少藥物之使用，避免藥物殘留等是值得推廣的。而其營養方面的潛力更值得我們去探討，若能大量培養製成水產飼料則對水產養殖業更有助益。

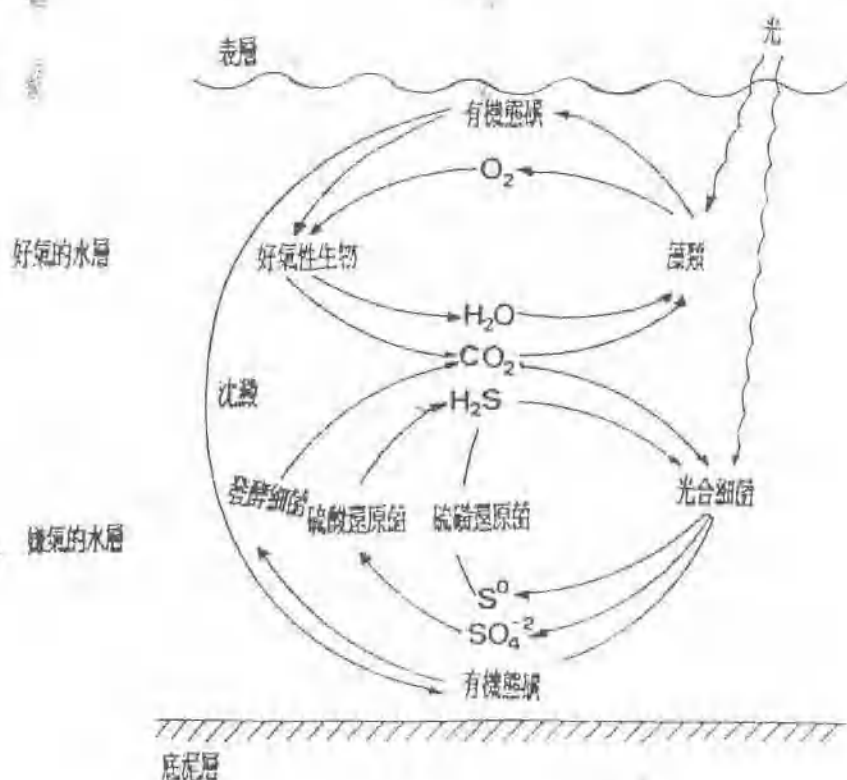


圖3 在自然水界中，好氣水層以及嫌氣水層，經由光合細菌之物質循環（星野，1984）

五、參考文獻

- 1 小林達治・片山 直・奥田 東 (1966)
水田狀態土壤中の微生物群の連續的變動
土肥誌・37・p.441。
- 2 Siefert, E., Iragens, R.L. and Pfennig,
N. (1978) Phototrophic purple and
green bacteria in a sewage treatment
plant, Applied and Environmental Microbiology, Vol.35 p.38 ~ 44。
- 3 小林達治, 華澤正義, 中条利明 (1974)
果實の品質におよぼす有機質肥料施用の效果
土肥誌・45・p.315 ~ 317。
- 4 Kobayashi, M. & Kurata, S. (1978)
Process Biochem. 13, p.27。
- 5 萩野珍吉 (1978) 養魚飼料としへの光
合成細菌の利用發酵と工業 Vol.36,
p.2 ~ 7。
- 6 Boyd, R.F. (1984) General Microbiology Times Mirror・Mosby Collage
Publishing pp.806。
- 7 Gottschalk Gerhard (1985) Bacterial
Metabolism Springer - Verlag pp.359。
- 8 佐佐木健・行武道雄 (1987) 光合成細菌
にとる池水の浄化 魚病研究會講演要旨・
p.13 ~ 14。
- 9 小林達治 (1975) 光合成細菌の基礎と應
用 II 土肥誌・46・p.148 ~ 156。
- 10 Kanazawa (1985) 海洋學院演講 美國黃
豆協會養蝦飼料專輯。
- 11 莊健隆 (1986) 魚類的蛋白質及胺基酸需
求與利用 台灣水產飼料之研究與發展 (下
冊) 台灣水產水產學會印行 p.11 ~ 30。
- 12 小林達治 (1984) 光合成細菌 學會出版
ヤニター p.339 ~ 351。
- 13 星野八洲雄・北村 博 (1984) 光合成細
菌 學會出版ヤニター p.3 ~ 17。
- 14 Gloe, A. Pfennig, N. Brockmann, H.
and Trowitzsch, W. (1975) Arch.
Microbiol. 102, p.103 ~ 109。

中國水產協會誠徵新會員

歡迎水產界和關心漁業的人士參加本會為會員

歡迎水產行政、學術團體、漁會、公司參加本會為團體會員

會員可獲按月寄贈中國水產月刊！