

●柯清水 編著

# 硝化細菌與水產養殖

## 問答集

養魚世界雜誌社出版

硝化細菌與水產養殖  
問答集

內容簡介：

本書共61單元867問答

綜合論述硝化細菌的現代生態學知識

從硝化細菌的定義、分佈、功能、分類

鑑定、生長、營養、培養、保存等基本問題

談到硝化作用與硝化反應

以及硝化細菌的生境條件和其適應逆境的方法

進而揭露它與水產養殖的關係

最後論述它的應用

包括養水先養菌、生物淨化法

硝化細菌製劑、循環水養殖、硝化系統等

此外，也一併談及其他淨水細菌

如光合細菌的相關問題

並比較它們與硝化細菌在水產養殖中的應用有何不同。

柯清水2002.1.1

(節錄自本書作者序)

訂價：NT\$600元

水產養殖科學學術論著

# 硝化細菌與水產養殖

**Nitrifying Bacteria and Aquacultural**

(問答集)

柯清水編著

養魚世界雜誌社 出版



## 硝化細菌與水產養殖問答集

作者／柯清水

出版者／養魚世界雜誌社

地址／100台北市汀州路1段316號6樓

電話／02-23036255

傳真／02-23098929

E-mail／fish.world@msa.hinet.net

郵政劃撥帳號／0101032-0 戶名／鄭煥生

出版日期／2002年2月20日 初版一刷

定價／新台幣600元

※版權所有 請勿翻印

※本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回更換。



# P<sup>2</sup>-Biotics 活菌酵母

## (利菌生 + 生菌利)



### 為什麼叫做 P<sup>2</sup>?

P<sup>2</sup> = Probiotic (活菌酵母) × Prebiotic (活化營養劑)

因為利菌生的效果是乘法效果而不只是加法效果。

- 第一個 P 是 Probiotic 利菌生，是一種經高科技被覆技術的活菌酵母，耐酸、耐熱且耐儲存。
- 第二個 P 是 Prebiotic 生菌利，就是提供生菌快速生長所需營養，這些營養是經過無數次的實驗而配方。



利菌生 比活菌多營養 — 動物營養、生菌劑營養  
 利菌生 比菌母粉多活菌 — 活性酵母菌、活性乳酸菌  
 利菌生 比活菌酵母粉 — 多生菌劑營養 Prebiotic

### P<sup>2</sup> 與其他市售生菌產品的比較：

	活性酵母菌 Live Yeast	活性乳酸菌 Live Lactobacillus	生菌營養劑 Prebiotic	動物營養劑 Nutrition
P <sup>2</sup> 利菌生	V	V	V	V
酵母活菌	V	—	—	—
乳酸活菌	—	V	—	—
酵母粉	—	—	—	V



總代理：

**盛豐興農業有限公司**

公司：106 台北市羅斯福路三段 125 號 11 樓之 1  
 服務處：621 嘉義縣民雄鄉福樂村埤角 66 之 60 號 (溫莎小鎮)  
 TEL: 886-5-2130328 • 5877200  
 FAX: 886-5-2130338  
 E-mail: sunyagro@ms31.hinet.net



強力水質保健劑

# 可保淨<sup>®</sup>

コンポザイム<sup>®</sup> · COMPOZYME

非  
藥品

—— 與您共創 潔淨 · 自然 的  
養殖環境

よみがえ  
甦る自然



## 龍門實業有限公司

台北市民權西路 110 號 2 樓 TEL : (02) 25530108, 25572901

TLX : 16193 LONG. MAN FAX : (02) 25575976



# 1. 定義與分佈

1-1：硝化細菌是什麼細菌？

答：在細菌世界中，有一類好氣性（喜歡氧氣）細菌，在生命活動過程中，不斷進行着某種特有的生化反應，能將氨氧化為亞硝酸鹽，或將亞硝酸鹽氧化為硝酸鹽，凡具有這種特徵的細菌都可稱為硝化細菌(nitrifying bacteria)。因為這類細菌能將氨氧化為亞硝酸鹽或硝酸鹽，從而使它在現實生活上有着廣泛的應用，因此引起我們的注意。

1-2：為何硝化細菌需要有更嚴謹的定義？

答：凡是能使土壤或水中的氨氧化成亞硝酸鹽或硝酸鹽的細菌，都可以泛稱為硝化細菌。不過其中有少數菌種在執行氨的氧化作用時，其效率表現顯得微不足道，再加上這類菌種與真正的硝化細菌種類隸屬不同類群，為防止混淆起見，我們有必要針對硝化細菌再作更嚴謹的定義。

1-3：硝化細菌嚴謹的定義是什麼？

答：硝化細菌嚴謹的定義係指以利用氨或亞硝酸鹽作為主要生存能源，以及能利用 CO<sub>2</sub> 作為主要碳源的細菌（Watson et al., 1989）。雖然有極少數其他細菌、真菌亦具有類似微弱特徵，也可以被稱為硝化細菌，但是它們並不屬於嚴謹定義下的硝化細菌，一般所指硝化細菌，如果沒有特別指明，應指嚴謹定義下的硝化細菌而言。

1-4：硝化細菌是被誰何時首先發現的？

答：硝化細菌是俄國的微生物學家維諾格雷斯基（Winogradskyi）在

1890年首先發現的，不過在此之前就已經有人懷疑它的存在，因為當地球上大量含氮有機廢棄物或殘骸被細菌或其他微生物分解時，所產生的氮數量極為可觀，若非有另種微生物加以利用並引入氮的循環系統中（見38單元），氮必然會在自然界造成累積現象。果然，這個懷疑後來被維氏證實的確有這種微生物存在，它就是硝化細菌。

1-5：為何硝化細菌的研究比其他細菌慢許多？

答：自1890年維諾格雷斯（Winogradsky）發現硝化細菌以來，迄今已有一百多年歷史，但有關這類細菌的研究卻遲至最近這十多年才擴展開來。究其原因，至少由於不易獲得純種細菌，以及它們生長十分緩慢之故。

1-6：為何硝化細菌被視為是古老細菌之一？

答：古老細菌通常有一重要特徵，那就是它們能巧妙地利用環境中的天然能量（如光能或化學能）作為生存能源，以及能將無機碳轉化為有機碳用來結構生活細胞，因此能在完全無機環境中生長及繁衍。因硝化細菌可從氮氧化過程中獲得化學能，以及能以無機碳作為碳源，在完全無機環境中亦能生長及繁衍，故也被視為是古老細菌之一，惟其演化時間比某些具有相似特徵的厭氣性（不喜歡氧氣）細菌晚。

1-7：硝化細菌在自然界中的分佈如何？

答：硝化細菌是生物圈結構的一個組成份子，在地球上任何地方幾乎都有硝化細菌生存的蹤跡，它們在自然界鮮少大量出現，卻廣佈於土壤、淡水、鹽水、海水，和污水處理系統中。雖然今日的地球環境和古早以前很不一樣，有些地區的環境極端惡劣，但是仍有一些特殊的硝化細菌可以生活在各種惡劣環境中，例如即使是永遠寒冷的兩極、極為乾旱的沙漠、溫度很高的溫泉、永遠黑暗



同時承受著無比壓力的深海海底，甚至海底的火山口附近，都有硝化細菌在其中討生活（Watson et al., 1989）。

1-8：一般海洋中硝化細菌分佈在表水層或底層？

答：海洋中各水層都可能有硝化細菌的蹤跡，不過主要分佈在底層已經礦化的沉積物表面上（Watson et al., 1989）。對硝化細菌來說，海底是一個很重要的棲息處，海底越深，水壓越高，但硝化細菌一點也不在乎。壓力對硝化細菌沒有什麼影響，因此當其被帶到海面時，它的細胞不會突然爆裂。在地球表面可居住的部分，不論高壓或低壓，對硝化細菌的存活都不是問題（Postgate, 1994），所以海底壓力對硝化細菌族群的發展並不會造成妨礙。

1-9：在自然環境中何處可以預期將有大量硝化細菌被發現？

答：硝化細菌的生存環境中不能沒有氮源，可以確定有氮源的地方，通常一定有硝化細菌的蹤跡。因此，它的分佈狀況必然會受到氮源的影響，即氮源充裕的地方，硝化細菌的數量也比較多。即在含有豐富氮與好氧環境中，可以預期將有大量硝化細菌被發現。例如，蛋白質正在礦化（mineralized）之處必有源源不絕的氮源，無疑地，那將是硝化細菌生長及繁衍的好地方。蛋白質為最普通的有機氮化合物，可因其他微生物分解後變成氨氮，此種由有機氮經微生物的分解轉變為無機氮的作用，我們稱為稱礦化作用（mineralization）（Watson et al., 1989）。

1-10：在人工環境中何處可以預期將有大量硝化細菌被發現？

答：因為一般污水處理系統實際上是一種典型的人工礦化處理系統，許多有機污水在此系統中經各種礦化處理而得以淨化，但所排出之處理水中通常含有大量的氮，因此硝化細菌在靠近污水處理系統排水口的湖泊、河川或海域附近地區的族群發展常較其他地區更為龐大。

1-11：硝化細菌的分佈會受什麼環境因素的影響？

答：硝化細菌的分佈會受到許多環境因素的影響，如氮源、溫度、氧氣濃度、滲透壓、酸鹼度，和鹽度等等。

1-12：為何硝化細菌在地球上的分佈幾乎無所不在？

答：硝化細菌已經被證實可以普遍地分佈於地球上各種陸生和水生的生態系。為何它們具有如此不尋常的生存能力而廣為分佈，常引起我們的好奇，根據研究顯示，最大的原因是它們可在沒有任何有機資源的情況下，利用生物合成途徑（biosynthetic pathways）能將環境中的無機物合成它們所有所需要的生物質（biomass），即它們可以在完全無機的環境中自行完成生命功能，因此可以生存於其他生物所無法生存的環境（Bowien, 1989）。

## 2.碳源與能源

2-1：微生物的分類依據主要以什麼為基準？

答：微生物需要碳源及能源才能生長，碳源包括 CO<sub>2</sub> 及有機碳，能源又分為光或由無機物及有機物氧化得到之能源。因此，微生物的分類若從新陳代謝的角度來說，可以碳源及能源為基準（Bitton，1994）。

2-2：一般細菌依所需碳源之不同可分成那兩大類？

答：由於生活環境的條件不同，生物演化出不同的方式來取得所需的生命原料。在細菌世界中依其新陳代謝所需碳源來源不同，可分為兩大類：（1）異營性細菌（heterotrophic bacteria）與（2）自營性細菌（autorrophic bacteria）。

2-3：何謂異營性細菌？

答：簡單地說，所謂異營性細菌就是必須依賴攝取生活環境中的有機物（有機碳源）才能生存的細菌。如果環境中沒有有機物，它們就會「餓死」。這種需要依賴吸收或分解環境中的有機物才能生長及繁衍的細菌，我們形容它們是異營性的（heterotrophic）。頗有必須依靠他人供應食物才能生活的意味。

2-4：何謂自營性細菌？

答：自營性細菌剛好與異營性細菌相反，這類細菌不須依賴攝取環境中的有機物就能生存，因為它們能夠利用無機碳源（如 CO<sub>2</sub>）自行合成或製造有機物，供作生長及繁殖基質之用，故我們形容它們是自營性的（autorrophic）。顯示它們可以吸收或利用環境中的無機元素，如碳(C)、氫(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)、磷(P)，和其它

微量元素等，自行生產所需的生命物質，如碳水化合物、脂質、蛋白質，和核酸等。

2-5：異營性細菌所需能源來自何方？

答：任何生物都需要靠能源才能維持生存，異營性細菌也不例外。一般異營性細菌以分解有機物獲得能量。此種獲得能量的方式就好像一般動物以消化食物獲得能量一般，它們必須從環境中攝取醣類，並藉由醣解作用（一種醣類的氧化作用）以取得生活所需之能量，否則就無法生存。

2-6：自營性細菌所需能源來自何方？

答：自營性細菌不能利用異營性細菌取得能源方式生存，但能利用光能或化學能生存。光能主要來自日光（如行光合作用），化學能主要來自無機物的氧化作用（如硝化、硫化作用）。

2-7：自營性細菌依所需能源不同又分為那兩類？

答：地球上所有的有機碳都是生物利用特殊的生物轉化程序由無機碳合成而來，不過這個轉化過程必須耗用能源才能進行。自營性細菌也不能例外，假若缺乏適當能源，它們將因無法合成並獲得有機碳而難以生存。自營性細菌依所需能源不同又分為：光能自營性細菌（*photolithotrophs*）及化學能自營性細菌（*chemolithotrophs*）兩類。

2-8：何謂光能自營性細菌？

答：自營性細菌將無機碳合成有機碳時需要消耗能量，這些能量從何而來，光能是一種最自然的能源，地球上既存的有機物，其原始來源幾乎都是透過植物光合作用生產的。不過，不只植物會進行光合作用生產有機物，在自營性細菌中有一類細菌也具有這樣的功能。這類細菌被稱為光能自營性細菌（*photolithotrophs*），有時



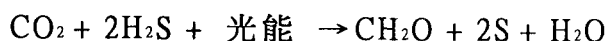
簡稱光合細菌 (photoroph)。

2-9：光能自營性細菌如何利用光能？

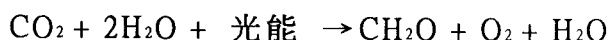
答：光能自營性細菌利用光能的方式與我們所熟悉的光合作用極為相似。所謂光合作用 (photosynthesis) 是綠色植物利用光能，在葉綠體中將二氧化碳、水和無機物造成有機養料的作用，其中包括光能的吸收、能量轉換，故光合作用是一種利用光能將無機物轉變成有機物的作用。而在植物中負責吸收光能的分子即是葉綠素，在自營性細菌主要是細菌光合色素。

2-10：光能自營性細菌利用光能與植物有何差異？

答：光能自營性細菌通常為厭氣性 (不喜歡氧氣)，與植物不同的是它們的光合作用屬於一種不產氧氣的無氧光合作用 (anoxygenic photosynthesis)，例如硫磺菌 (*Chromatium*) 能進行下列光合反應：



但植物的光合反應為：



2-11：何謂化學能自營性細菌？

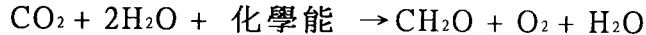
答：化學能自營性細菌不能利用光能，但能利用化學能將無機碳合成有機碳。所謂化學能是指物質發生化學變化所產生的能量。凡是能利用這種能量當作生存能源的細菌都可稱為化學能自營性細菌 (chemolithotrophs) (Watson et al. 1989)。化學能自營性細菌對於作為能量來源的無機物的要求嚴格，不同種類的化學能自營性的細菌，只能利用不同的無機物，例如，有些偏好氨，另一些則偏好硫化氫等。絕大部分自營性細菌均隸屬於這類細菌，因此除非特別指明光能自營性細菌，否則化學能自營性細菌通常僅簡稱自營性細菌即可。

2-12：化學能自營性細菌如何利用化學能？

答：存在地球上的許多無機物質大部分都有氧化態與還原態之別，它們可以經由化學作用互相轉變。因還原態係處於一種較高能級的狀態，如果有一種能引發化學轉變之機制作用於這些無機物質的還原態，它們就會放出多餘的化學能，並自行轉變為較低能級的氧化態。化學能自營性細菌就是巧妙地利用這類能量，將無機碳合成有機碳。

2-13：化學能自營性細菌的化學能合成作用與植物有何差異？

答：因為硝化細菌不含光合色素，故不會行光合作用，不過它的化學能合成作用與植物光合作用十分類似，也能把二氧化碳和水合成醣類，最大的歧異處僅在兩者所利用的能源不同而已，如下列方程式所示：



由方上述程式可知，這類細菌必須要利用化學能才能成長與繁殖，如果缺乏這種能源，它也將像植物因缺乏陽光不能進行光合作用一般，無法長久生存下去。

2-14：為何硝化細菌被歸類為化學能自營細菌之種類？

答：維諾格雷斯基 (Winogradsky) 曾證明硝化細菌類似植物一般能行無機營養生長。即當硝化細菌在被供應  $\text{CO}_2$  作為唯一碳源時，能夠產生有機物及細菌菌囊 (cysts)。因為這類細菌能夠使還原性無機氮化合物發生氧化反應產生化學能，並利用其中一部分能量，用於將無機碳合成有機碳，因此它們不必依靠外界供應有機物就能生長及繁衍，故在細菌分類學上被分類為化學能自營性細菌 (chemolithotrophs)。

2-15：為何探討硝化細菌需要使用到「化學能自營性」專門術語？

答：這個術語主要是依據硝化細菌能量代謝模式與其他細菌不同來分

類的。為何需要有這樣一個分類上的術語呢，原來自然界中所有細菌利用能量的來源並不相同，這個術語主要用於描述其間的差異性，同時它對我們研究及應用硝化細菌也有其重要性，因此有必要使用到這個術語。

2-16：硝化細菌所需要的能源為何種化學能？

答：硝化細菌所需要的化學能來自氨的氧化作用。氨在自然界中有兩種主要氧化態物質，分別是亞硝酸鹽(nitrite)和硝酸鹽(nitrate)。氨雖然具有較高的化學能，但是它的穩定性相當高，不容易發生「非生物性氧化作用」把多餘的化學能釋放出來，因此很難轉化為低能產物。職是之故，在自然界中欲使氨轉變為亞硝酸鹽或硝酸鹽，通常必須要靠硝化細菌的「生物性氧化作用」才能達到目的。

2-17：除了化學能外硝化細菌最需要的維生成分是什麼？

答：硝化細菌除了對化學能的需求外，維持其生命且最顯著地取之於其環境者為水與無機碳源。因為硝化細菌以無機碳源和水為原料，利用化學能可以合成它所需要的醣類。其中水通常是其棲息環境本身，故不虞匱乏，但無機碳源則需靠外界攝取，若缺乏無機碳源，它們的自營生活必會受到嚴重限制。

2-18：何以硝化細菌生長和繁殖速率遠比一般異營性細菌來得慢？

答：生物為了生長和繁殖，除了需要可用於建構細胞成分的基本物質外，也須取得能量。對於生物而言，可以取得能量的方式只有兩種：一是藉光合作用捕捉光能，二是氧化有機或無機物質獲得化學能。硝化細菌與一般異營性細菌都不能利用光能，只能利用化學能。硝化細菌利用氨氧化獲得合成反應所需化學能，藉以在體內製造必需的醣類，而製造醣類需要相當長之時間，不像其他異營性細菌可自有機廢物中直接分解及攝取所需要的醣類，因此硝

化細菌生和繁殖速率遠比一般異營性細菌來得慢 (Watson et al. , 1989)。

2-19：硝化細菌將所獲得的化學能用於何處？

答：硝化細菌首先將所獲得化學能用於儲藏，它們把能量儲藏於腺核苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 的高能物質中。這個磷酸化合物是由腺嘌呤 (adenine)、核糖 (ribose, 一種五碳糖)，及三個磷酸組成。它有兩個高能鍵，能再被水解成腺核苷二磷酸 (adenosine diphosphate, ADP)，並將化學能釋出。平均每一分子 ATP 大約可釋出 7500 卡的熱量。當硝化細菌需要熱量時，即以此種方式釋出，並用於有機物的合成反應、穿過細胞膜的主動傳輸，或保持運動，有些則成爲熱散失 (Bitton, 1994)。

2-20：硝化細菌的化學能通常用於那一類的有機物合成反應？

答：主要用於進行無機碳轉化成有機碳的有機物合成反應，即以  $H_2O$  爲電子供給者，以  $CO_2$  爲碳源，進行產氧的醣類合成反應。其次，在有補充維生素之礦物質基質中，用利用醣類及部分化學能來合成細胞形成的基本物質和生物大分子的前驅物 (如胺基酸)，以至於再合成生物大分子 (如蛋白質) 等 (Bitton, 1994)。

2-21：何謂混營性細菌？

答：有些細菌除了具有類似自營性細菌能利用無機碳的重要特徵外，也能利用一部分有機碳爲碳源，這類同時兼有自營性及異營性雙重特性的細菌，可稱爲混營性細菌 (mixotrophic bacteria)。不過，基本上，混營性細菌仍可歸納爲是自營性細菌的特殊菌種。

2-22：硝化細菌有混營性菌種嗎？

答：硝化細菌有混營性菌種，但爲數不多。主要混營性族群集中於硝酸菌 (Nitrifiers)，因此能利用少數有機物，進行混營生活。



2-23：硝化細菌可將氨直接氧化為硝酸鹽嗎？

答：在自然界中氨的生物氧化作用，絕大多數是由硝化細菌來進行的，此類微生物在好氣的氧化環境中能把氨先氧化成亞硝酸鹽，隨即再由另一類微生物氧化成硝酸鹽。至目前為止，尚未發現可將氨直接氧化為硝酸鹽的自營性細菌。但有些異營性硝化細菌則具有這種能力。

2-24：硝化細菌也能利用甲烷作為能源嗎？

答：亞硝酸菌可能涉及了大氣中甲烷的氧化作用。在好氣的環境中，亞硝酸菌可以將環境中的甲烷氧化，因為甲烷也能像氨一般受到菌體中氨單氧化酶（ammonia monooxygenase；簡稱 amo）的氧化作用，這表示當氨來源短缺時，這類細菌可能利用  $\text{CH}_4$  作為能源。此種氧化作用可能是直接或間接的，但其反應機構至目前為止依然不明朗。然而，從某些亞硝酸菌代表性菌株所進行的甲烷氧化研究顯示，此種氧化作用通常微不足道，因此除非再從其他新純化菌株去研究，並且證實它們確實具有較高效率的甲烷氧化作用，否則此種氧化作用就顯得沒有多大的意義（Jiang and Bakken, 1999）。