

硫 黃 細 菌

王 祖 農 著

科 學 出 版 社

硫 黃 細 菌

王 祖 農 著

科 學 出 版 社

內 容 提 要

這本小冊子是以卓越的蘇聯科學家，現代土壤微生物學創始人維諾格拉陀斯基 (Виноградский) 所著的土壤微生物學論文集為主要參考資料，並且吸收了一些新的有關硫黃細菌的專門論著寫成的。把硫黃細菌從被定名時開始直到最近的一些工作，以較新的觀點，作了個比較全面而系統的介紹。計分七節：首先指出什麼叫做硫黃細菌和其在細菌系統中的地位；接着說明了這類細菌的分佈，重要性，生理，形態和分類；最後指出怎樣培養和研究它們。

本書是希望認識硫黃細菌和準備以之作為研究對象的科學工作者最基本的讀物。通過它，不只可以從形態上認識硫黃細菌；並且可以知道它們生命活動的規律及其和經濟建設的關係，從而可以在正確觀點指導下初步地具有進行研究的能力，以為進一步掌握這些細菌使之為社會主義建設服務打下穩固的基礎。

本書適於微生物學，生物學，植物生理學，農業，水產以及給水工程等方面的研究工作者和教學人員的參考。也可以充作研究生的高級微生物學，土壤微生物學或水的微生物學的部分教材。

硫 黃 細 菌

著 者 王 祖 農

出版者 科 學 出 版 社
 北 京 東 四 區 帽 兒 胡同 2 號

印刷者 華 成 印 刷 所
 上 海 泰 興 路 523 弄 14 號

總經售 新 華 書 店

書號: 0157

1955 年 3 月 第一版

(專) 043

1955 年 3 月 第一次印刷

(滬) 0001—3,089

開本: 787×1092 1/32

字數: 36,000

印張: 2 $\frac{3}{8}$

定價: 四角五分

目 錄

緒言	1
一. 什麼是硫黃細菌	3
二. 硫黃細菌在細菌系統中的地位	5
三. 硫黃細菌的分佈	9
四. 硫氧化細菌的重要性	10
五. 硫黃細菌的生理	15
1. 硫黃細菌體內所含硫粒的來源	15
2. 硫黃細菌體內所含硫粒的性狀	18
3. 硫粒在硫黃細菌生活過程中的作用	21
4. 紫色硫黃細菌的色素	23
六. 硫黃細菌的形態和分類	25
1. 無色硫黃細菌	27
2. 紫色硫黃細菌	33
3. 硫化細菌	46
七. 硫黃細菌的培養	49
1. 硫黃細菌的水柱培養	49
2. 硫黃細菌的微量培養	50
3. 人造硫泉	51
4. 硫化細菌的培養	52

緒 言

現代土壤微生物學是微生物科學中新興的一支。自從卓越蘇聯科學家維諾格拉陀斯基（Виноградский）創始以來，雖然歷史很短只有七八十年，但據所知，它所能引起的作用則絕不僅僅只局限在農業生產上，而是涉及到經濟建設和日常生活的各個方面。因此當祖國在黨和毛主席領導下大規模建設的今天，土壤微生物學工作者的任務將會日漸增加，需要我們從多方面來努力。硫黃細菌也是我們努力的一個方向，因為：

在社會主義建設過程中，農業建設上要求提高單位面積產量。而要能增產就必須掌握土壤微生物的生命活動，以便最有效地供應植物所需要的一切元素，包括呈硫酸鹽狀態的硫。因此需要善於利用天然條件下植物可吸收狀態的硫的生產者——硫的氧化細菌。

隨着祖國大規模地興建水利，巨型水庫和貯水池日漸增多，利用這些水庫可以同時發展水產養殖事業，而要能進一步地保證水產豐收，當然要從多方面來努力，可是改善其水質的營養分和生活環境也是不可忽視的一環。如果貯水池中可給態硫太少相反地累積了過多的硫化氫，則水產植物不只缺乏養料並且可以中毒死亡，招致減產。爲了要避免此種危險可以藉助於硫黃細菌——轉化有毒的硫化氫爲植物可以吸收的硫酸鹽的能手。

與進行大規模建設的同時，政府還要相應地逐步提高人民的文物生活，行將普遍地供給大小城市和鄉村居民以美好飲水。

爲了協助政府搞好這一點，微生物學工作者應研究掌握使水發生不快的味道，或使水管阻塞和變質腐蝕的硫黃細菌的生命活動。

文化建設中要能培養出合乎規格的人材，就需要按照先進的蘇聯教學計劃開出許多過去所沒有開設過的新課程來。微生物學工作者必須團結一致，同心協力地以謀解決缺乏教材的困難，分工合作地整理出一些有系統的專門性參考資料。在微生物學方面硫黃細菌就是其中之一。

祖國幅員遼闊，礦產蘊藏豐富，等待着科學工作者尋找和發掘。工具很多，微生物乃是其中最新的一個，先進的蘇聯科學家已在使用這種工具了。我們應該努力學習先進經驗，而先打下一個有關硫的氧化細菌的基礎，將來或許對於尋找和發掘某些礦產有些幫助。

總結以上所說，足見硫黃細菌可以在許多方面起重大的作用，因此在祖國的社會主義建設過程中亟須這方面的工作人員。但是目前我國由於反動政府遺留下來的科學基礎太差，以硫黃細菌爲研究對象的人太少。同時有關的文獻，由於歷史甚短而太缺乏，也亟待發展和充實。所以微生物學工作者必須立即響應黨和政府的號召大力在這方面開展科學研究，培養幹部，努力學習蘇聯，以求能以正確的觀點來有系統的認識硫黃細菌，能以正確的方法來研究它們生命活動的規律，並且學習應用這些規律來爲社會主義建設服務，這本着重介紹維諾格拉陀斯基著作並且吸收了一些新的有關專門論著寫成的小冊子，主要目的就在於此。

本書係綜合性材料，雖然力求內容充實而正確，但限於水平，很可能事與願違，請大家批評指正。

最後應該向山東大學生物學系微生物學教研組白毓謙和陳琦兩同志大力複製照片，表示感謝。

一. 什麼是硫黃細菌

生物學工作者都知道：在自然情況下，植物所需要的各種元素，無論是需要量大的或是需要量小的，無論這些元素將用來作為直接的養料或是作成酶，基本上都必須通過微生物的直接或間接的作用，才可以被植物所吸收。比如：呈有機化合物狀態的元素是植物所不能利用的，須先經微生物將其礦化；很多不溶性的無機鹽類，須由微生物轉化為另一種，部分或是完全可以溶解的狀態，才可以被吸收。

自然界中各種主要元素的轉化過程，人們原則上是能夠了解的，特別是對於氮素轉化的過程知道得比較清楚。一致同意：有機氮素化合物一般是植物所不能利用的，須先經各種腐敗細菌將其加以分解，以產生氨（氨在一定條件下，已可被植物吸收），氨繼續為特有的硝酸化細菌進行硝酸化作用(nitrification)之後，變為硝酸，更可以被植物所吸收。但是，在某些情況之下，已經形成的硝酸還可以為一些細菌所還原，引起了所謂反硝酸化作用(denitrification)。

硫在自然界中的轉化情況究竟怎樣呢？可能對於部分的生物學工作者要比較生疏些了。其實，硫的轉化情況和氮的轉化情況基本上是很相類似的：植物不能利用的硫的有機化合物，

也得先經過許多腐敗細菌將其加以分解，以產生硫化氫，硫化氫繼續為特有的細菌進行硫酸化作用 (sulphofication) 之後，變為硫酸，才可以被植物所吸收。同在氮的轉化過程中所產生的硝酸一樣，在某些情況下，已經形成了的硫酸還可以被一些細菌引起反硫酸化作用 (desulphofication)，而被還原。

如此說來，硫和氮素在自然界中的轉化情況，確實是很相類似的了。這樣，在氮素轉化過程中，把氨氧化成硝酸的，以及能固定空氣中氮氣的細菌等等都有專門名詞，前者叫作硝酸化細菌，後者叫作固氮細菌。那麼，在硫的轉化中，什麼細菌叫作硫黃細菌呢？是不是所有的參與硫之全部轉化的一切細菌，其中包括能以分解硫的有機化合物成硫化氫和還原硫酸鹽的許多腐敗細菌，都可以稱之曰硫黃細菌？

1887—1888 年，維諾格拉陀斯基在研究硫化氫和硫對於體內含有硫粒的細菌的作用時，發現了這類細菌，在當時看起來，生理類型比較特殊，可以氧化硫化氫成硫酸，並且藉着這種氧化作用以獲取其所須之能。於是他就把這類能氧化硫化氫成硫酸，並在體內累積有硫粒的細菌叫作硫黃細菌。可以分為兩羣，一羣無色，可以稱之為無色硫黃細菌；另一羣具有特殊的菌紫素，習慣上稱之曰紫色硫黃細菌。形態上都比較細菌為大。

1907 年以後，莫里舒 (Molisch) 等研究到有若干種細菌，如果按其色素特徵來看，就很像紫色硫黃細菌，只是體內不含硫粒，不能氧化硫化氫成硫酸，並且需要有有機質才能生長得很好。當然，這類細菌是不符合於上述硫黃細菌的定義的。為了避免混淆起見，莫里舒將其稱為不含硫紫菌 (Athiorhodaceae)，

以區別於含硫紫菌 (Thiorhodaceae)。

1912 年以後,納特森 (Nadson) 等更發現了一些,往往和其他微生物共生的,小的綠菌,雖然也可以氧化硫化氫,但體內不含硫粒(個別的菌種,如 *Clathrochloris sulphurica* Geitler, 雖有含硫粒的記載,但菌體過小,直徑只有 0.5—0.7 微米,觀察很困難,記載得也極不完全)。並且所具的色素是菌綠素而非菌紫素。雖然有人把這類細菌叫作綠硫菌 (Green sulfur bacteria), 但維諾格拉陀斯基則名之曰綠菌。其他許多分解硫的有機化合物成硫化氫,或還原硫酸鹽的腐敗細菌,就更不能稱為硫黃細菌了。本文篇幅有限,均不擬一一介紹。

1894 年,三好 (Miyoshi) 在硫泉中發現了一種無色小桿菌,生理習性和硫黃細菌很相似,只是體內也不含有硫粒,可以氧化硫化氫,硫,硫代硫酸鹽和四硫磺酸鹽 ($\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$) 為硫酸。這一類的細菌叫作硫化細菌。不只在土壤中分佈很廣,而且在硫的轉化過程中,佔據着很重要的地位,富有巨大的經濟意義。因此,我們雖以討論硫黃細菌為主,但還以適當的篇幅來研究硫化細菌。

二. 硫黃細菌在細菌系統中的地位

從形態上看,硫黃細菌組中的各成員表現得很是複雜: 有的呈絲狀,很像藍綠藻中的顫藻 (*Oscillaria*) 如白硫菌 (*Beggiatoa*); 有的在生活過程中的某一時期,整個的菌膠團 (*Zooglea*: 細胞集結成羣,外包以公共的莢膜) 可以作十分協調的,好像變形蟲一樣的運動,就有些像原生動物了如 *Amoebobacter*; 更有,形態上和一般細菌沒有很大的區別。因此,如果要把所有的

硫黃細菌歸成一組，從形態上來研究它們在細菌系統中的地位，將是很不方便的。但是，如果從營養方式來研究，就比較方便了。

應該知道：微生物這門科學，在1887年以前，無論是觀點上或是方法上，都受着巴斯德(Pasteur)和珂赫(Koch)兩個學派的統治。研究或培養任何一種細菌，一概毫無區別地使用營養明膠培養基(當時營養洋菜培養基尚未被廣泛地應用)。足見當時一般細菌學家的目光，只局限在能以分解有機質的一類細菌。因此，若就細菌的營養方式來說，他們只能看到半個細菌世界——異營菌。

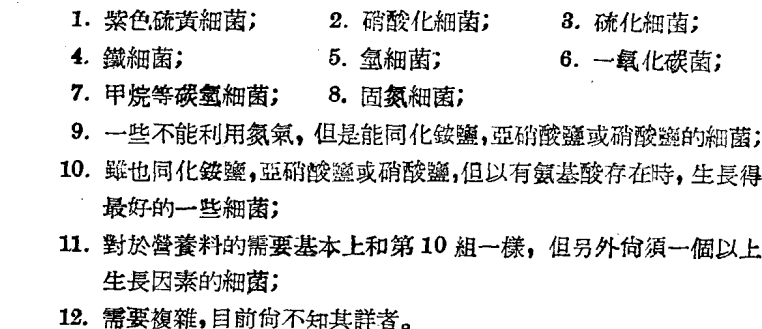
天才而負有革命性的維諾格拉陀斯基，經過了長期而深入地研究硫黃細菌的生理之後，首先正確地指出：細菌學上，有機固體培養基不可否認地有其極大的價值，但是並不能用來研究一切生理類型的細菌。自然界中還存在着很多不能分解有機質，只能利用無機物的細菌——自營菌，需要另找新的培養基來進行培養和研究。基於這裏概念，維諾格拉陀斯基使用了完全無機的矽酸，代替有機的明膠作為固化劑，創造出了矽膠平板(Silico-gel plate)，1890年成功地分離出了硝酸化細菌。從此以後，從營養方式上說，人們才能看到整個細菌世界。把細菌分為兩大類，自營菌和異營菌。

嚴格地說起來，自營菌需要很簡單的無機原料，需要從二氧化碳或碳酸鹽中取碳，從硝酸鹽，亞硝酸鹽或銨鹽中取氮以合成細胞質；異營菌則需要有機質才能生長。兩者所需合成細胞質

的原料,雖有簡單複雜之別,而合成後的產物的複雜程度則是一樣。足見自營菌的合成能力要比異營菌的合成力強大得多了。自營菌和異營菌一樣,所包甚廣,硫黃細菌只是其中的一類,其與其他自營菌的關係可以下列的簡單檢索表說明之:

- I. 氧化氮素化合物
 - 1. 氧化氮成亞硝酸如 *Nitrosomonas*
 - 2. 氧化亞硝酸成硝酸如 *Nitrobacter*
- II. 氧化硫或硫的化合物
 - 1. 簡單細菌如 *Thiobacillus*
 - 2. 高級細菌(硫黃細菌)
 - (1) 無色如 *Beggiatoa*
 - (2) 紫色如 *Thiocystis*
- III. 氧化亞鐵和亞錳化合物
 - 1. 簡單細菌如 *Gallionella*, *Sideromonas*
 - 2. 絲狀菌如 *Leptothrix*
- IV. 氫細菌 *Hydrogenomonas*

根據這個檢索表,不只可以知道硫黃細菌在自營菌中的地位,而且可以了解到:用生理類型作為細菌分類的依據,並非是不可行的。特別是研究水和土壤細菌的時候,不少人就主張以生理類型為依據進行細菌分類。但是,這種依據也還是有其一定的相對性的,切不可絕對化地看問題。應該記住:自營菌和異營菌之間的絕對界限是不存在的。下列的一個假設性的細菌營養譜,可以概括而明顯地說明自營菌和異營菌的區別和其聯續性。



應該知道：這個細菌營養譜是假設性的，用來解釋自營菌和異營菌之間沒有嚴格的界限，很為方便。但是如果機械地把其上所排列的，各種生理類型細菌的次序，看作是不能變動的，那就很不合式了，特別是在細菌生理學還很幼稚的今天，就尤其不合式了。比如，以前(1936年)大家都以為異營菌是完全

不利用二氧化碳的，可是新的材料證明了：雖是嚴格異營菌，至少是其中的一部如腦膜炎雙球菌，也還是需要少量的二氧化碳的。說到這裏，可能有人要問：按照這個假設性細菌營養譜的次序，硫黃細菌列為“1”，好像是說它們是完全不分解有機質的，是嚴格自營菌。難道它們連微量的有機質也不利用嗎？

維諾格拉陀斯基曾經企圖用很多種含有少量有機質：(1) 蛋白胨；(2) 蛋白胨和糖；(3) 糖與硝酸鹽；(4) 糖與草酸鹽；(5) 天門冬素和草酸鹽；(6) 各種植物浸出液的培養基來培養硫黃細菌，都沒有成功。這樣看起來，硫黃細菌確實不分解有機質，是嚴格自營菌了。可是不能忘記：硫黃細菌最適合的繁殖場所是天然的含硫化氫的水裏，而根據分析許多來源不同的天然含硫化氫水的結果，知道這些水中都含有少量的有機質，就似乎又說明了硫黃細菌也許可能利用微量的有機質了。

三. 硫黃細菌的分佈

上一節中已經詳細指出：硫黃細菌是自營菌，是一種氧化硫化氫成硫酸，並且藉着這種氧化作用以獲得其所需要的能的自營菌。因此在自然情況下，至少必須同時有硫化氫和氧氣供給的場所，才可能有它們的存在。

自然界中，同時能有硫化氫和氧氣存在的地方很多，因此無色硫黃細菌在地球上的分佈也就極為廣泛。土壤，沼澤地，池塘，鹽湖，淺海底的泥裏，含有進行分解的植物質的積水，天然泉以及含有腐爛海藻的岩洞中，都有它們的分佈。不過有些地方如土壤，由於硫化氫的供應較不理想，氧氣不敷需要等種種原

故，無色硫黃細菌繁殖得較差，相對的其他微生物則極多，故不易引起人們的注意。泉水以及含有硫化氫，深度不超過幾公分，流動緩慢的流水中，乃是無色硫黃細菌最理想的繁殖場所。在這些地方，它們繁殖得極其旺盛，無數的絲狀菌相連成片，好像是鋪上了一層白絨一樣。

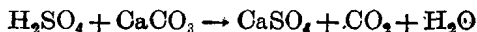
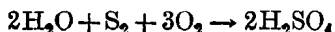
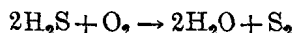
和無色硫黃細菌比較起來，紫色硫黃細菌需要較低的氧的壓力和較高的硫化氫壓力（紫色硫黃細菌可以在含有大量的硫化氫的環境中發育，說明了它們也可以在純嫌氧條件下進行生命活動）。因此這兩羣硫黃細菌在自然界中的分佈不可能完全一致。如果說無色硫黃細菌以在泉水中最多，那麼紫色硫黃細菌就以在湖沼基部，較深的水池和近岸的海水中最茂盛。茂盛到足以將海水映成紅色。海洋學上往往有“紅水”或“血海”這個名稱，根據不少的報告，就是紫色硫黃細菌的旺盛繁殖所引起的。

硫化細菌在自然界中的分佈同樣很廣。鹽水，淡水和土壤中都有。特別是在正常的肥沃的土壤中最多。這裏所要談到的，只有一屬——硫桿菌屬 (*Thiobacillus*)，它們在土壤中的可以氧化硫或其簡單化合物的細菌中，不只數量上佔絕對優勢，而且所起的作用也是獨一無二的。

四．硫氧化細菌的重要性

自然界中分佈得很廣泛的硫黃細菌和硫化細菌，都可以氧化硫或其簡單化合物，在所有的參與硫之轉化的細菌當中，最令人注意，重要性很大，分述如下：

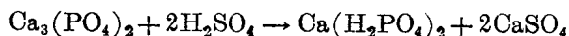
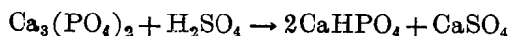
1. 作為維持植物生長的主要元素之一的硫，加入到土壤或貯水池中去的方法不外三個：(1)呈有機化合物狀態；(2)元素硫(主要是源於肥料)；(3)硫酸鹽(某些無機肥料)。其中最主要的是頭一個，就是大部分的硫都是以有機化合物的狀態，隨着動植物遺體一道加入土壤或貯水池中去的。有機硫化合物當然是植物所不能直接利用的，可是當其被許多腐敗細菌分解之後，又大部變為硫化氫，不只仍然不能被利用，而且還有毒害於植物。假如貯水池中有過量的硫化氫累積，水生植物和動物將不能生活；灌溉地中累積有太多的硫化氫，生長着的植物可能很快的趨於死亡。因此設法使它繼續轉化成爲對生物體沒有毒害的，並且可以供給植物吸收的狀態，乃是極爲重要的措施。貯水池中常見的硫黃細菌就可以完成這種任務，可以將硫化氫轉化成硫酸，硫酸再與環境中的碳酸鹽作用以產生植物可以吸收的硫酸鹽；在土壤中硫化氫通過純粹的化學化用，很快地轉化成硫，硫復被硫化細菌作用以產生硫酸，再轉化爲硫酸鹽以供植物吸收：



可以化植物有毒的硫化氫爲植物所能吸收的硫酸鹽，乃是硫氧化細菌的第一個作用。

2. 硫氧化細菌的第二個重要作用是它們的溶解性活動。誰都知道土壤中存在很多不溶性的無機鹽類。如果沒有微生物溶解性活動，這些不溶性的鹽類當然是不能被植物所利用的，

只有在通過微生物生命活動所產生的有機或無機酸的作用之後，變為部分或完全可溶狀態，才可以供植物吸收。微生物生命活動所產生的無機酸，如果按量的多寡來排列，應該是碳酸，硝酸和硫酸。硫酸，從量的方面來看，雖然遠比碳酸為少，但它的強度大，所以在不溶性無機鹽轉化為可溶狀態的作用上，仍然可觀。比方，在鈣質土質中，最主要的磷酸鹽是磷酸鈣。磷酸鈣有三種形態：磷酸三鈣 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ；磷酸一氫鈣 CaHPO_4 ；和磷酸二氫鈣 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 。磷酸三鈣很不容易溶解，所以植物不能利用，但經硫酸（或經其他有機酸或無機酸如硝酸）的作用之後，可以變為含氫的磷酸鈣，增加土壤中可溶性磷酸鹽的含量，以便被植物吸收：



因此，很多人認為直接施用磷灰石，同時施以大量的硫黃，將和施用過磷酸石灰一樣的得到效果。就是因為硫經硫氧化細菌氧化為硫酸，硫酸與磷灰石化合以後，仍然可以得到過磷酸石灰的原故。

3. 大家都知道：為为了提高單位面積產量和改進作物的質量，往往需要施用細菌肥料，進行土壤接種，以把許多土壤中缺少的細菌，用人為的辦法，介紹到土壤中去。

談到土壤接種，人們對於根瘤菌，非共生好氣性固氮菌，磷細菌等很熟悉，因為它們被應用得最廣泛，效果最顯著。除了這些細菌之外，為了達到增產的目的，還可以接種其他一些微生物。接種硫氧化細菌就是其中的一個。

前節已經說過：硫氧化細菌可以將硫及其某些簡單的化合物氧化，以產生大量的硫酸。因此，這些細菌就可以在一定程度內，改變土壤反應。

人們很清楚：土壤反應對於微生物的影響很大。喜酸的微生物在鹼性土壤中不活躍，喜鹼的微生物遇到土壤酸性達到了一定的程度也就不能繁殖了。一般地說起來，黴菌喜酸，細菌和放線菌喜中性或微鹼。所以改變土壤反應，可以顯著地影響到它們的活動。因此，在某些情況下，施以硫黃並伴以硫氧化細菌的接種可以增產，主要地就是因為它們可以產生硫酸，以限制某些病原微生物滋長的原故。比方，引起馬鈴薯瘡痂病的放線菌 (*Actinomyces scabies*) 一般在 pH 4.8 即不生長。如果在病情嚴重的地方，正確地施以硫黃，接種以硫桿菌 (*Thiobacillus thiooxidans*)，並有效地將土壤反應控制在 pH 4.6—4.8，即可確保病原菌沒有活動的餘地，而無礙於植物的生長。

硫氧化細菌活動的結果可以限制某些病原微生物的為害，從而可以保健植物，使人類獲得豐收，乃是它們的第三個重要作用。

誰都知道：研究生物學的主要目的在於掌握各種生物的生命活動，發揚其對人類有利的一面，消滅其為害的另一面，使生物可以全面地被利用來生產財富。研究硫氧化細菌的目的也就在此。因此，上述的它們有益於人類的各方面要儘量地加以發揚和利用，但是，對於下述的它們不利於人類的各方面就須加以控制：

1. 水，不管是具有什麼不快的氣味，都不適於飲用。然而