

外雙溪流域水生微生物的調查與監測



內政部營建署陽明山國家公園管理處
委託研究報告

中華民國 93 年 12 月

政府研究資訊系統科資編號：PG9303-1428

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

受委託者：中華民國國家公園學會

研究主持人：李重義

內政部營建署陽明山國家公園管理處
委託研究報告

中華民國 93 年 12 月

目次

	頁碼
目次	I
表次	II
摘要	III
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究預期目標	5
第二章 研究方法與過程	7
第一節 採樣	7
第二節 計數與分離	7
第三節 鑑定	8
第四節 水樣中衛生菌相之監測	8
第三章 研究發現	9
第一節 確認培養條件對於分離及計數水中細菌之效果	9
第二節 一般異營細菌、放線菌及衛生菌群之數量調查	10
第三節 一般異營細菌之菌相調查	12
第四章 結論與建議	33
第一節 結論	33
第二節 建議	35
附錄一 河川污染等級分類	37
附錄二 雙溪污染程度概況	39
附錄三 雙溪流域水樣異營菌密度監測流程	41
參考書目	42

表 次

	頁碼
表1 比較 R2A 與 PCA 培養基用於分離及計數水中好氧異營菌之效果	13
表2 培養條件及水樣稀釋度對水中好氧異營菌計數之影響 .	14
表3 樣品熱處理條件對於分離及計數水中放線菌之效果 . .	15
表4 外雙溪流域水生微生物數量調查之綜合結果	16
表5 外雙溪流域各採樣點水溫之經時變化	17
表6 外雙溪流域各採樣點水樣酸鹼度之經時變化	17
表7 外雙溪流域各採樣點水樣異營菌密度之經時變化 . . .	17
表8 外雙溪流域各採樣點水樣放線菌密度之經時變化 . . .	18
表9 外雙溪流域各採樣點鵝卵石表面異營菌密度之經時變化	18
表10 外雙溪流域各採樣點鵝卵石表面放線菌密度之經時變化	18
表11 外雙溪流域各採樣點水樣大腸桿菌群密度之經時變化 .	19
表12 外雙溪流域各採樣點水樣大腸桿菌密度之經時變化 . .	19
表13 外雙溪流域各採樣點水樣糞生腸球菌密度之經時變化 .	19
表14 涓絲瀑布溪水中水生微生物數量之經時變化	20
表15 聖人瀑布溪水中水生微生物數量之經時變化	21
表16 至善國中溪水中水生微生物數量之經時變化	22
表17 5月及8月各採樣點樣品中不同細胞結構與生理功能的菌相分佈	23
表18 5月及8月各採樣點溪水樣品中不同菌屬的菌相分佈 .	24
表19 5月及8月各採樣點鵝卵石表面樣品中不同菌屬的菌相分佈	27
表20 各採樣點最常見的菌屬	30
表21 5月及8月各採樣點樣品中可鑑定菌株之不同菌屬數目及菌株數目之綜合統計	31

摘 要

關鍵詞：雙溪、外雙溪、水生微生物、調查、監測

一、研究緣起

過去有關陽明山國家公園內生物保育的研究偏重動、植物。然而陽明山國家公園境內有許多溫泉及溪流，其中或有許多未被發現的本土細菌物種，甚至新種值得研究。雙溪是台北市內少數未受嚴重污染的自然溪流之一，主要發源於陽明山國家公園東南側，由內、外雙溪匯流而成。近年來水質逐漸惡化。目前有關外雙溪水體細菌組成之資料極為欠缺。此外，外雙溪中早年有許多種類的淡水魚棲息其中，近年絕大多數已被吳郭魚所取代；而內雙溪雖然水質清澈卻無魚類的蹤影。其原因為何？亦值得探討。

二、研究方法及過程

選擇絹絲瀑布、聖人瀑布及至善國中三個採樣點，約每間隔一個月各進行一次採樣，採取水樣與河川岩石表面刮取物（生物膜），進行細菌之計數與衛生菌相之監測。五月及八月底的樣品並進行細菌之隨機分離，並對分離菌株進行鑑定。水溫以溫度計於採樣現場直接測定。pH 值則係攜帶水樣回實驗室，回復室溫後以 pH 測定儀分析。

三、重要發現

（1）位於陽明山國家公園境內的外雙溪流域已遭受到相當程度的污染，尤其是聖人瀑布的上游部分。內雙溪絹絲瀑布上游部分除了較少人為污染源

之外，水質偏酸也可能是水生微生物數量偏低的原因。

(2) 水樣異營菌密度的經時變化幅度較小，同時測定也很容易，因此十分適合長期監測作為環境安定性的生物指標。

(3) 由於外雙溪從民國 88 年起污染程度增加，因此不耐污染的魚種逐漸消失，現今在至善國中以下的河段只能發現大量吳郭魚生存其間。而內雙溪部分可能由於水質相當偏酸，而使得各種魚類皆無法生存。

(4) 溪水中細菌種類歧異度並不隨污染程度增加而有明顯變化，反而水溫增加可能是使細菌歧異度增加的主因

四、主要建議事項

立即可行之建議：

(1) 委託學術機構繼續對雙溪進行水樣異營菌密度的監測

主辦單位：陽明山國家公園管理處

本研究發現水樣異營菌密度十分適合長期監測作為環境安定性的生物指標。另一方面，本研究缺乏冬季到春季(1 月到 3 月)的研究數據，應予補充。

中長期建議：

(1) 建立長期監測水樣異營菌密度的技術

主辦單位：陽明山國家公園管理處保育科

可由陽明山國家公園管理處保育科與相關學術機構合作，建立長期監測水樣異營菌密度的技術，以作為環境監控之用。

(2) 對陽明山國家公園境內其他水域進行微生物的調查與監測

主辦單位：陽明山國家公園管理處

溫泉可說是陽明山國家公園的一大特色，大都分佈在北磺溪及南磺溪流。由於溫泉微生物較難培養，因此宜逐年編列預算，進行長期研究。

ABSTRACT

Keywords: Shuang-His, Wai-Shuang-His, aquatic microorganisms, investigation, monitoring

In the past years, biological studies for purposes of management and conversion are focused on animals and plants in Yangmingshan National Park. Wai-Shuang-His and Nei-Shuang-His originate from the southeast of Yangmingshan National Park and fuse together outside the Park to become the Shuang-His. This stream is one of the not seriously polluted aquatic areas in Taipei City. The water quality, however, is going bad recent years and data about the quantity and composition of microbes in the river are not available. The main purpose of the present study is to establish basic microbial data. Another aim is to find the reason why fishes are not found in the Nei-Shuang-His.

Water and biofilm samples were collected from three sites about every one month. Temperature and pH of waters were determined immediately. Cell density of heterotrophic bacteria, actinomycetes, and sanitary bacterial index were measured later. Community composition of bacteria in samples collected in May and August were determined for comparison.

Major conclusions are as follows:

1. The upstream of Wai-Shuang-His located in Yangmingshan National Park are somewhat more polluted than that of Nei-Shuang-His. Low pH values of the later may cause the lower microbial density.
2. The density of heterotrophic bacteria in water sample is a good biological index to monitor the environmental stability.
3. Low pH values of water in the Nei-Shuang-His may also a strict stress to prevent the survival of fishes.
4. The biodiversity of heterotrophic bacteria does not increase in company with the degree of pollution of river water. Temperature is a more important factor that affects the biodiversity of heterotrophic bacteria.

Suggestions for a better management are as follows:

1. To continue the monitoring of cell density of heterotrophic bacteria in the coming months, especially from January to March, is worth to do immediately.
2. Research staffs in Yangmingshan National Park Headquarters should establish the technique of determining cell density of heterotrophic bacteria in the near future for long term investigation.
3. To encourage the long-term research of the microbial ecological studies on rivers and hot springs located in Yangmingshan National Park.

第一章 前言

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

雙溪是台北市內少數未受嚴重污染的自然溪流之一，主要發源於陽明山國家公園東南側，由內、外雙溪匯流而成。近年每當假日，外雙溪沿岸地區就擠滿了休閒旅遊的人群，因而產生許多環境問題。台北市政府也擬推動「雙溪親水計劃」，以期確保雙溪優良之環境條件。細菌的生長深受其周遭環境因子之影響，且其世代時間極短；每當環境發生變化時，細菌相的組成最容易快速產生改變。因此，環境中之細菌相是一個很好的環境衝擊影響評估指標。目前有關外雙溪水體細菌組成之資料極為欠缺，可說毫無完整資料可考。另一方面，過去有關陽明山國家公園內生物保育的研究偏重動、植物。然而陽明山國家公園境內有許多溫泉及溪流，其中或有許多未被發現的本土細菌物種，甚至新種值得研究。

此外，外雙溪中早年有許多種類的淡水魚棲息其中，近年絕大多數已被吳郭魚所取代；而內雙溪雖然水質清澈卻無魚類的蹤影。其原因為何？亦值得探討，以作為往後規劃生物復育之參考。

二、研究主題背景及有關研究之檢討

微生物包括細菌、真菌、藻類、原生動物及病毒等五大類生物，與動物、植物一同構成了繁華的生物世界。一般所謂的細菌(bacteria)又包括細菌域(Bacteria)和古菌域(Archaea)兩大類的原核生物(prokaryotes)，它們在地表生態

系統中主要扮演分解者的角色，對於地球上物質循環具有關鍵性的作用，更可以穩定自然環境的平衡。細菌與其它四類微生物相比，不但在自然環境中的密度最大，種類也最多；甚至有可能是地球上數量和歧異度最大的一類生物(Torsvik et al., 2002)。然而，不同於動物與植物，細菌無法光靠肉眼便可看到，且不同菌種之間生理特性差異極大，培養方式也不盡相同。因此，人們對於生活在正常環境中細菌的瞭解可謂非常欠缺。

水域環境為構成生物圈(biosphere)之三大組成份子之一。正常未受污染之水體其養分含量極低，故其中細菌之種類與數目也與周遭陸域環境有很大的差異。根據過去研究結果，我們知道微生物的計數深受所用培養基與培養條件的影響；縱然如此，一般而言，在陸域環境中每克乾土約含 10^8 至 10^{10} 個細菌。雖然過去研究也顯示不同土壤中，微生物群落(community)組成並不相同，但是有些微生物在樣品中出現的頻率較其它為高。Alexander(1977)指出，土壤樣品中之常見單細胞細菌為 *Arthrobacter* (5-60%)、*Bacillus* (7-67%)、*Pseudomonas* (3-15%)、*Agrobacterium* (~20%)、*Alcaligenes* (2-12%)、*Flavobacterium* (2-10%)與少量(<5%)的 *Corynebacterium*、*Micrococcus*、*Staphylococcus*、*Xanthomonas*、*Sarcina*、*Mycobacterium* 等菌屬；就放線菌而言，能在一般固體培養基上生長之主要菌屬以 *Streptomyces* (70-90%)；有些土壤中可能低於 5%)為最多，其次為 *Nocardia* (10-30%)，最後為 *Micromonospora* (1-15%)，而 *Actinomyces* 則較為少見；至於 *Thermomonospora*、*Actinoplanes*、*Microbispora*、*Thermoactinomyces*、*Streptosporangium*、*Micropolyspora*、*Pseudonocardia*、*Microellorhizium* 等菌屬所佔比例均低於 0.2%。一般而言，在土壤剖面中微生物數目之分佈情形除了會隨深度而大幅下降外(Alexander, 1977)；其組成也會隨季節(Gsell et al., 1997；Rooney-Varga et al., 1997)、地表作物種類(Maloney et al., 1997)與土壤

水分含量(Bossio and Scow, 1995)而有所變化。再就水域環境而言，除了其中之本身菌種外，還有大量的土壤微生物隨地表逕流被帶入水中。Baker 與 Farr (1977)分析未受污染之溫帶河川中，發現其細菌組成以 *Pseudomonas*、*Flavobacterium*、*Acinetobacter*、與 *Moraxella* 為主；隨著污染程度增大，*Flavobacterium* 與 *Achromobacter* 的量越來越少，逐漸被 *Pseudomonas*、*Bacillus* 與 *Enterobacteriaceae* 所取代。此外，*Vibrio*、*Spirillum*、*Thiobacillus*、*Micrococcus*、*Sarcina*、*Nocardia*、*Streptomyces*、*Cytophaga* 與 *Spirochaeta* 也是河水中常見的細菌 (Rheinheimer, 1991)。在河川中除了以嗜低養份、革氏陰性、不產胞之桿菌為主外，在水中固體表面上還有許多會產生 stalk 的細菌，例如：*Hyphomicrobium*、*Caulobacter* 與 *Gallionella* 等(Rheinheimer, 1991)。水域中的放線菌則以 *Actinoplanes*、*Micromonospora*、*Rhodococcus*、*Streptomyces* 和 *Thermoactinomyces* 為主。*Actinoplanes* 常見於分解中的植物如樹枝或爛葉，*Micromonospora* 多為沈積物中的優勢放線菌，*Streptomyces* 可能從土壤隨地表逕流被帶入水域且多存在於水體中，*Thermoactinomyces* 可能從陸地上的自熱堆肥、過熱牧草、和表土沖刷入水中，*Rhodococcus* 則和農田牧場的關係密切(Goodfellow, 1983)。雖然放線菌在土壤或底泥中的數量較一般細菌為低，但當環境中營養成份較低或含有較難降解物質時，放線菌卻易佔優勢(McCarthy and Williams, 1992)。

陽明山國家公園位於台灣北端，受東北季風和西南季風的影響，屬於濕潤多雨的副熱帶季風氣候。本區年雨量在 2800~4500 mm 左右。全年雨日約 190~200 天。九月份為豐水期，雨日中的平均日降水量為 47.6 mm；四月份為枯水期，雨日中的平均日降水量為 11.3 mm。陽明山國家公園的主要溪流包括：北磺溪、員潭溪、瑪鍊溪、雙溪、南磺溪、北投溪、關渡溪、興福寮溪、公司田溪、大屯溪、八連溪、老梅溪、阿里磅溪等 13 條，大致發源自七

星山、大屯山、小觀音山、竹子山等地呈放射狀向四方流出，坡陡而流急，且大多獨流入海。其中流域面積的前三大為：北磺溪流域（包括馬槽溪 11.02 km²、大油坑溪 15.50 km²、磺溪頭 23.63 km²）、雙溪流域（包括外雙溪 10.89 km²、內雙溪 3.42 km²）及南磺溪（9.71 km²）（王，1991）。陽明山國家公園的溫泉大都分佈在北磺溪及南磺溪流，雙溪流域的內雙溪上游也有冷水坑溫泉。

雙溪也是台北市內少數未受嚴重污染的自然溪流之一，主要發源於陽明山國家公園東南側，由內、外雙溪匯流而成。上游部分保有多處自然景觀，更有斷崖形成青絲、儷人、聖人等瀑布；中游漸有人煙，並有農林體驗園區、青青農場、明德樂園、故宮、中影文化城，以及一些如餐廳、釣蝦場等人工設置的文化、休閒設施；下游則除了芝山岩文化史蹟公園外，絕大部分流經人口密集的住宅區。沿著雙溪河谷的崖壁上，可看到一層層明顯古老的沈積岩層，溪流的南側和雪山山脈北部尾端延伸的丘陵相連，溪流的北側是晚期的大屯火山群岩漿流過的邊緣地帶。雙溪附近雖然沒有很高的山，但是每到秋天東北季風來襲時，強風沿著溪谷進入，讓迎風面帶來充沛的雨量及低溫的現象。受到強風的影響生長在山頂稜線上的植物樹幹較矮小，且樹冠傾斜；在冬季有些植物的葉片會有變色或先開花後長葉子的現象。在季風的背風面，風力減弱，出現了一些副熱帶和熱帶的植物，呈現出和迎風面不同的生態，昆蟲、鳥類等穿梭林間，使得雙溪有著多樣的生態環境。除了豐富與多樣的自然景觀外；沿溪也有許多人文遺址。其中溯內雙溪上爬至擎天崗的小徑，是一條先民古道，屬於魚路古道的南支線，稱為「內雙溪古道」。若從擎天崗出發，可循著內雙溪的源頭，循著溪岸走，下接坪頂古圳，然後沿著水圳走向坪頂（平等里）地區。

近年由於市民所得提高，休閒時間增長，對於休閒的需求也日益增強。

每當假日，雙溪沿岸地區就擠滿了休閒旅遊的人群，但也產生許多環境問題。例如：烤肉戲水後遺留的垃圾，岸邊梯田的沖刷，沿岸許多釣蝦場和餐廳所排放的污水，甚至附近社區的生活污水都可能造成溪水的嚴重污染。台北市政府也擬推動「雙溪親水計劃」，以期在生態、景觀、土地使用、防洪遊憩等綜合考量下整體規劃雙溪流域，確保雙溪優良之環境條件。人類的活動或多或少都會對周遭的環境產生衝擊，每當我們發現環境有所改變時，往往已對生態系統造成無法挽回之影響。細菌之生長深受其周遭環境因子之影響，且其世代時間極短；每當環境發生變化時，細菌相的組成最容易快速產生改變。因此，環境中之細菌相是一個很好的環境衝擊影響評估指標。目前有關外雙溪沿岸細菌組成之資料極為欠缺，可說毫無完整資料可考。另一方面，過去有關陽明山國家公園內生物保育的研究偏重動、植物。然而陽明山國家公園境內有許多溫泉及溪流，其中或有許多未被發現的本土細菌物種，甚至新種值得研究。

第二節 研究預期目標

本研究主要的預期目標在於建立雙溪水體細菌組成與數量之基本資料，並透過長時間監測以期瞭解其變化規律，作為爾後環境監控參考依據之用，從而有助於環境保育及開發利用時的規劃與決策之參考。

本研究另一目的在於建立分離、鑑定細菌的方法，作為爾後調查陽明山國家公園境內許多溫泉及溪流中細菌物種及監測細菌數量的基礎。

本研究尚有一個目的，即透過水中細菌數量與水質酸鹼度的分析與監測，試圖瞭解外雙溪中早年有許多種類的淡水魚棲息其中，近年絕大多數已被吳郭魚所取代；而內雙溪雖然水質清澈卻無魚類的蹤影。其可能原因為何？

以作為往後規劃生物復育之參考。

陽明山國家公園

第二章 研究方法及過程

第一節 採樣

選擇絹絲瀑布、聖人瀑布及至善國中三個採樣點，於每個月各進行一次採樣，採樣前一週應不得有大雨。每次採樣時，取水樣（250 mL）與河川岩石表面刮取物（9 cm² 面積），各五重複（岩石表面刮取物加入 5 mL 稀釋液）。置於冰上攜回實驗室，充分混和後立即進行細菌之計數；五月及八月底的樣品並進行細菌之分離。有關衛生菌相之監測，亦為每月進行一次。水溫以溫度計於採樣現場直接測定。pH 值則係攜帶水樣回實驗室，回復室溫後以 pH 測定儀分析。

第二節 計數與分離

一、一般異營細菌

樣品利用滅菌的磷酸鹽－氯化鎂緩衝液（每公升含：KH₂PO₄ 42.5 mg、MgCl₂ 405.5 mg），進行 10 倍稀釋，由適當稀釋度取 0.1 mL 塗抹於 R₂A 平板培養基上，置於 25°C 培養 7 天後，進行計數。

菌株之分離係從上述計數平板上隨機挑選 25 個菌落，為了避免主觀誤差，使用具有 25 個交叉點的模版，置於培養基的底部，若菌落位於交叉點或離交叉點最近即挑選出來進行純化及後續之鑑定工作。這些分離株利用 R₂A 平板培養基以畫線法進行純化後，於黑暗、室溫下保存在 R₂A 培養基上。

二、放線菌

樣品先進行加熱（50℃, 60 min）或不加熱的處理，利用滅菌的磷酸鹽－氯化鎂緩衝液進行 10 倍稀釋，取適當稀釋液 0.1 mL 塗抹於分離放線菌之平板培養基（添加亞胺環己酮之 AGS 洋菜），於 28℃ 培養 3 至 4 週。觀察並計數放線菌菌落（李等，2004）。

第三節 鑑定

一、一般異營細菌

細菌之鑑定，採用 BIOLOG 快速菌種鑑定套組來進行。針對那些 BIOLOG 無法有效鑑定之菌株，將先根據外觀資料與 BIOLOG 套組所提供之生理資料加以分群，再隨機挑選菌株，利用 16S rDNA 之序列分析，進行親源分析。

第四節 水樣中衛生菌相之監測

按照環保署公告之方法進行水中大腸桿菌群(NIEA E215.50C)、大腸桿菌(NIEA E215.50C)與腸球菌(水中腸球菌檢驗方法－濾膜法，草案)的監測。

第三章 研究發現

第一節 確認培養條件對於分離及計數水中細菌之效果

環保署公告（93 年 3 月 29 日）之水中總菌落數檢測方法（NIEA E203.53B），採用含有葡萄糖（1.0 g/L）、胰化蛋白胨（5.0 g/L）、酵母萃（2.5 g/L）之 PCA 培養基，於 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 培養 2 天，以檢測能生長並形成菌落之水中（適用於飲用水、地面水體、地下水體、廢水、污水）好氧及兼性厭氧異營菌。R2A 培養基係由 Reasoner 及 Geldreich 在 1979 年發展出來用於檢測飲水中細菌數目的低營養成分培養基（葡萄糖 0.5 g/L、可溶澱粉 0.5 g/L、丙酮酸鈉 0.3 g/L、蛋白胨 0.5 g/L、酪蛋白氨基酸 0.5 g/L），它比營養豐富培養基（例如 PCA）更能支持生長較慢或受到環境壓力的細菌之生長，因此被推薦作為一般水體及廢水中異營菌檢測之用（Difco, 1998）。

以至善國中旁的外雙溪水樣進行預備實驗，發現在 R2A 培養基上長出的菌落數約為在 PCA 培養基上者 5 倍之多（表一），其原因可能是生長較快的細菌在 R2A 培養基上形成的菌落較小，不易阻礙或覆蓋生長較慢的細菌形成菌落。因此在本研究中確認選用 R2A 培養基來分離及計數水中好氧及兼性厭氧異營菌。廠商供應的推薦培養條件為 35°C 二至七天或 $20\sim 28^\circ\text{C}$ 五至七天；本研究為配合外雙溪水溫及實驗室操作的方便性，採用於冷氣空調室溫下（ $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ）培養七天，結果發現可測得更多數量的好氧及兼性厭氧異營菌（表二）。此外，水樣經過連續十倍稀釋，平板上生長之菌落數目並不呈現十倍遞減的效果，反而有稀釋度越大估算菌數越多的現象，但同時誤差也增大（表二）。綜合考量，選取每個平板上生長之菌落數目大於約 30、小於約 100 之

稀釋度作為計算的依據。

根據前人研究(李等, 2004), 將河川底泥的懸浮液在 50°C 加熱 1 小時, 可以有效分離底泥中的放線菌。本研究擬針對溪水樣品和溪水中鵝卵石表面的生物膜進行放線菌的分離及計數, 乃探討樣品前處理的效果。結果發現整體而言, 熱處理有利於抑制大量的一般細菌, 從而使放線菌得以長成菌落。55°C 加熱 10min 的熱處理條件比 50°C 加熱 1hr 更為嚴苛, 可抑制較多的一般細菌, 但同時也可能抑制較多的放線菌形成菌落(表三)。因此, 本研究熱處理仍以 50°C 加熱 1hr 進行。

第二節 一般異營細菌、放線菌及衛生菌群之數量調查

從五月初到十一月底, 大約每間隔一個月, 採取絹絲瀑布、聖人瀑布及至善國中的外雙溪水樣和溪水中鵝卵石表面的生物膜。除了測量水樣的溫度和 pH 值, 並調查樣品中的一般異營細菌、放線菌及衛生菌群(*Coliform*, *E. coli*, *Enterococcus faecalis*) 之數量。整體而言(表四) 絹絲瀑布的水溫最低(範圍在 16 - 23.5°C, 平均 20°C), 水樣 pH 值也最低(範圍在 4.0 - 6.8, 平均 5.1); 聖人瀑布的水溫次高(範圍在 17.5 - 24°C, 平均 21°C), 至善國中的水溫最高(範圍在 18.5 - 28°C, 平均 23°C); 聖人瀑布與至善國中水樣略偏鹼性且 pH 值差不多, 平均皆為 7.7。水生微生物數量的調查發現:(1) 三個採樣點中各項水樣中微生物數量皆以絹絲瀑布的最低, 聖人瀑布的次高, 至善國中的最高。(2) 水樣異營細菌及放線菌(水樣及鵝卵石表面) 數量的變化幅度較低。(3) 衛生菌群和鵝卵石表面菌群在聖人瀑布和至善國中皆有大幅度上升。以上結果顯示: 位於陽明山國家公園境內的雙溪流域已遭受到相當程度的污染, 尤其是聖人瀑布的上游部分。至於絹絲瀑布上游部分除了較少人為

污染源之外，水質偏酸也可能是水生微生物數量偏低的原因。

若觀察每一個採樣點的各個分析項目經時變化可發現：(1) 三個地方的溫度變化起伏一致，以 6、7、8 三個月為最高(表五)。(2) 三個地方的酸鹼度變化起伏一致，也是以 6、7、8 三個月為最高；但絹絲瀑布水樣酸鹼度變化起伏較大，而聖人瀑布與至善國中水樣酸鹼度變化起伏較小(表六)。(3) 聖人瀑布與至善國中水樣中一般異營細菌數量的變化起伏不大(約 3 倍)，但絹絲瀑布一般異營細菌數量的變化較大(超過 10 倍)(表七)。異營菌數量與放線菌數量無明顯關係，它們起伏變化也與溫度無明顯關係(表七、八)。(4) 聖人瀑布與至善國中鵝卵石表面異營菌數量在 6、7、8 三個月較高(表九)，鵝卵石表面放線菌數量的變化起伏較異營菌數量為大(表九、十)。(5) 衛生菌群中大腸桿菌群與大腸桿菌數量的變化起伏差不多，也以 6、7、8 三個月較高(表十、十二)，但腸球菌數量的變化起伏則與溫度無明顯關係(表十三)。(6) 絹絲瀑布水樣中異營菌、大腸桿菌群及大腸桿菌數量的變化起伏與酸鹼度變化起伏一致，鵝卵石表面菌數則無明顯關係(表十四)。以上結果顯示：

(1) 溪水中 pH 值可能是影響內雙溪(絹絲瀑布)水生微生物數量的重大因子，由於上游冷水坑溫泉的酸性泉水或酸性土壤受雨水沖刷可能導致內雙溪水質偏酸，不但使水生微生物數量偏低，也可能導致其他水生生物生存受到嚴格的挑戰。(2) 外雙溪(聖人瀑布與至善國中)一般異營細菌數量變化起伏相對於衛生菌群數量而言較為穩定；前者可以作為環境安定性的生物指標，後者則較適合作為污染指標。

第三節 一般異營細菌之菌相調查

於 5 月 22 日及 8 月 18 日分別採取絹絲瀑布、聖人瀑布及至善國中的外雙溪水樣和溪水中鵝卵石表面的生物膜，經過培養、分離、純化一般異營細菌，隨機挑選 25 株，測定格蘭氏反應，然後採用 BIOLOG 快速菌種鑑定套組來進行細菌之鑑定。將鑑定菌株依據屬名，按照 Bergey's Manual 的分類概念予以分群。由不同細胞結構與生理功能的細菌類別分佈調查（表十七）結果發現：（1）水生異營細菌絕大多數為格蘭氏陰性菌；污染程度較低的絹絲瀑布溪水及生物膜中較少格蘭氏陽性菌，而污染程度較高的聖人瀑布與至善國中溪水及生物膜中則有相當程度的蘭氏陽性菌。（2）污染程度較低的絹絲瀑布溪水及生物膜中較少兼性厭氧菌，而污染程度較高的聖人瀑布與至善國中溪水及生物膜中則有相當數量的兼性厭氧菌。（3）聖人瀑布與至善國中溪水中各類細菌的分佈程度相較於絹絲瀑布溪水而言較為接近。（4）溪水鵝卵石表面的生物膜中與溪水中各類細菌的分佈不盡相同。由不同菌屬的細菌分佈調查（表十八、十九）結果發現：最常見的菌屬依序包括 *Pseudomonas*、*Burkholderia*、*Flavobacterium*、*Enterobacter*、*Acinetobacter*、*Sphingobacterium*（表二十），其中 *Pseudomonas*、*Flavobacterium* 和 *Sphingobacterium* 在絹絲瀑布及聖人瀑布中較多，而 *Enterobacter* 則在至善國中較多。統計各樣品中可鑑定菌株之不同菌屬數目及菌株數目（表二十一）發現：（1）整體而言，在溪水中的菌屬的數目比石表生物膜中的多，歧異度較大。（2）8 月較 5 月可分離到更多屬的細菌，歧異度也較大。（3）聖人瀑布鵝卵石表面生物膜比絹絲瀑布和至善國中的鵝卵石表面生物膜可分到較多屬的細菌，歧異度也略大。三個地點溪水中異營細菌的歧異度則無明顯差異。（4）5 月絹絲瀑布的

菌屬數目較聖人瀑布及至善國中的菌屬數目明顯為少，8 月則無此種現象；可能與 5 月當時溪水過酸（pH 4.01），受到較大的環境壓力有關，導致水生微生物歧異度變低。

表 1：比較 R2A 與 PCA 培養基用於分離及計數水中好氧異營菌之效果

培養基	水樣稀釋度	洋菜平板上測得之菌落數 (cfu/plate) ^a	估算菌數 (10 ⁴ cfu/mL)
PCA	10 ⁰	135, 117, 112	0.121 ± 0.012
	10 ⁻¹	27, 21, 15	0.21 ± 0.06
	10 ⁻²	3, 1, 1	0.2 ± 0.1
R2A	10 ⁰	TNTC ^b	
	10 ⁻¹	113, 76, * ^c	0.95 ± 0.26
	10 ⁻²	13, 11, 9	1.1 ± 0.2

^a 將至善國中旁的外雙溪水樣（2004/4/16）經過連續十倍稀釋，取 0.1 mL 分別塗抹於 R2A 與 PCA 洋菜平板，於 35°C 培養 2 天。

^b 菌落數遠遠超過 300 個。

^c 真菌污染。

表 2：培養條件及水樣稀釋度對水中好氧異營菌計數之影響

採樣點	採樣日	培養條件	水樣稀釋度	洋菜平板上測得之菌數 (cfu/plate) ^a	估算菌數 (10 ⁴ cfu/mL)
至善國中	2004/4/16	35°C, 2 天	10 ⁰	TNTC	
			10 ⁻¹	113, 76, * ^b	0.95 ± 0.26
			10 ⁻²	13, 11, 9	1.1 ± 0.2
至善國中	2004/5/1	25°C, 7 天	10 ⁰	TNTC ^c	
			10 ⁻¹	465, 361, 302	3.76 ± 0.83
			10⁻²	153, 108, 100	12.0 ± 2.9
至善國中	2004/5/22	25°C, 7 天	10 ⁻¹	305, 300, 291	2.99 ± 0.07
			10⁻²	86, 75, 61	7.4 ± 1.3
			10 ⁻³	26, 17, 15	19 ± 6
絹絲瀑布	2004/5/1	25°C, 7 天	10 ⁰	TNTC	
			10 ⁻¹	335, 330, 290	3.18 ± 0.25
			10⁻²	125, 115, 64	10.1 ± 3.3
絹絲瀑布	2004/5/22	25°C, 7 天	10⁻¹	75, 69, 60	0.68 ± 0.08
			10 ⁻²	18, 16, 11	1.5 ± 0.4
			10 ⁻³	5, 6, 22	11 ± 10
聖人瀑布	2004/5/1	25°C, 7 天	10 ⁰	TNTC	
			10 ⁻¹	187, 162, 136	1.62 ± 0.26
			10⁻²	66, 62, 41	5.6 ± 1.3
聖人瀑布	2004/5/22	25°C, 7 天	10 ⁻¹	336, 211, 196	2.48 ± 0.77
			10⁻²	136, 44, 38	7.3 ± 5.5
			10 ⁻³	9, 6, 5	7 ± 2

^a 將採集的外雙溪水樣經過連續十倍稀釋，取 0.1 mL 塗抹於 R2A 洋菜平板，於 35°C 培養 2 天，或於 25°C 培養 7 天。

^b 真菌污染。

^c 菌落數遠遠超過 300 個。

表 3：樣品熱處理條件對於分離及計數水中放線菌之效果

樣品 種類	採樣點	稀釋 度	不同熱處理條件下的菌落數(cfu/plate) ^a					
			不加熱		50°C, 1hr		55°C, 10min	
			總細菌	放線菌	總細菌	放線菌	總細菌	放線菌
溪水	絹絲瀑布	10 ⁰	460、324	2、0	11、9	7、6	2、2	1、0
溪水	聖人瀑布	10 ⁰	ND ^b	ND	3、2	1、0	7、5	1、0
溪水	至善國中	10 ⁰	ND	ND	6、3	2、1	1、3	0、0
石頭	絹絲瀑布	10 ⁻¹	* ^c 、*	*、*	241、236	38、34	153、120	40、29
石頭	絹絲瀑布	10 ⁻²	208、*	13、*	41、31	15、5	38、25	16、6
石頭	聖人瀑布	10 ⁻¹	*、*	*、*	376、341	51、42	190、179	53、49
石頭	聖人瀑布	10 ⁻²	*、*	*、*	77、61	30、25	44、29	23、10
石頭	至善國中	10 ⁻¹	*、*	*、*	196、*	59、*	70、60	44、34
石頭	至善國中	10 ⁻²	267、133	9、0	51、44	27、13	20、14	17、9

^a 將絹絲瀑布、聖人瀑布、至善國中採集的外雙溪水樣及溪水中鵝卵石表面的生物膜懸浮液(2004/5/1)先進行加熱或不加熱的處理，再經過連續十倍稀釋，取 0.1 mL 塗抹於添加亞胺環己酮之 AGS 洋菜平板，25°C 培養 3 週。

^b Not Determined.

^c 真菌污染。

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 4：外雙溪流域水生微生物數量調查之綜合結果

分析項目	不同採樣點測得之結果 ^a					
	絹絲瀑布		聖人瀑布		至善國中	
	範圍	平均	範圍	平均	範圍	平均
水溫 (°C)	16 – 23.5	20	17.5 - 24	21	18.5 - 28	23
水樣 pH	4.01 – 6.84	5.06	7.20 – 8.08	7.72	7.39 – 8.09	7.73
異營菌 (10 ⁴ cfu/mL)	0.60 – 10.01	3.9	2.8 – 31 2.8 – 7.3	8.5 5.2	3.4 – 12.7	8.0
放線菌 (Actinomycetes) (cfu/mL)	<10 - 90	<30	<10 - 290	約 100	<10 - 400	約 80
鵝卵石表面異營菌 (10 ⁵ cfu/cm ²)	0.34 – 6.1	2.4	6.3 - 39	15	8.5 - 181	54
鵝卵石表面放線菌 (10 ³ cfu/ cm ²)	0.03 – 1.9	0.5	0.04 – 2.4	1.2	0.08 – 9.0	2.4
大腸桿菌群 (Coliform) (10 ⁴ MPN/100mL)	0.096 – 0.5	0.33	0.62 – 6.9	3.0	0.96 - 11	4.3
大腸桿菌(<i>E. coli</i>) (10 ⁴ MPN/100mL)	0.008 – 0.16	0.049	0.16 – 1.1	0.42	0.2 – 1.1	0.54
糞生腸球菌 (<i>Enterococcus faecalis</i>) (10 ³ MPN/100mL)	<0.01 - 0.095	< 0.05	0.06 – 1.7	0.55	0.084 – 4.9	0.96

^a 八次採樣(0501, 0522, 0627, 0722, 0818, 0930, 1104, 1118)的綜合結果。

表 5：外雙溪流域各採樣點水溫之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水溫 (°C)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	20	18	22	21	23.5	21	17	16	20
聖人瀑布	22	20	23	23.5	24	21.5	18.5	17.5	21
至善國中	25	21	28	26	26	22	19	18.5	23

表 6：外雙溪流域各採樣點水樣酸鹼度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣 pH								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	6.84	4.01	5.86	5.11	4.86	4.64	4.84	4.30	5.06
聖人瀑布	ND	7.20	7.99	8.08	7.89	7.42	7.92	7.57	7.72
至善國中	ND	7.39	7.93	8.09	7.82	7.54	7.75	7.62	7.73

表 7：外雙溪流域各採樣點水樣異營菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣異營菌密度 (10^4 cfu/mL)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	10.1	0.68	5.5	2.6	3.0	1.8	7.0	0.60	3.9
聖人瀑布	5.6	7.3	3.0	7.1	6.8	4.1	31	2.8	8.5 (5.2) ^a
至善國中	12.0	7.4	12.7	6.4	8.9	3.4	9.7	3.4	8.0

^a 去除 11 月 4 日數據所得之平均數

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 8：外雙溪流域各採樣點水樣放線菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣放線菌(Actinomycetes)密度 (cfu/mL)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	70	<10	<10	<10	90	* ^a	<10	<10	<30
聖人瀑布	<10	30	110	<10	70	290	*	230	約 100
至善國中	15	<10	10	20	130	30	400	30	約 80

^a 真菌污染。

表 9：外雙溪流域各採樣點鵝卵石表面異營菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之鵝卵石表面異營菌密度 (10^5 cfu/cm ²)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	ND	3.1	2.1	0.71	3.3	0.34	1.1	6.1	2.4
聖人瀑布	ND	8.1	39	14.2	24	6.5	8.1	6.3	15
至善國中	47	70	33	181	44	39	8.5	10.4	54

表 10：外雙溪流域各採樣點鵝卵石表面放線菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之鵝卵石表面放線菌密度 (10^3 cfu/cm ²)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	1.9	0.11	0.13	0.03	1.3	0.09	0.12	0.3	0.5
聖人瀑布	2.4	0.27	2.1	1.6	2.3	0.43	0.04	0.32	1.2
至善國中	1.7	0.9	2.6	3.72	9.0	0.7	0.16	0.08	2.4

表 11：外雙溪流域各採樣點水樣大腸桿菌群密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣大腸桿菌群(Coliform)密度 (10^4 MPN/100mL)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	0.86	0.096	0.31	0.27	0.50	0.29	0.19	0.14	0.33
聖人瀑布	0.62	1.3	6.9	3.7	3.9	2.6	2.6	2.4	3.0
至善國中	1.7	5.5	4.6	3.4	11	3.6	3.4	0.96	4.3

表 12：外雙溪流域各採樣點水樣大腸桿菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣大腸桿菌(<i>E. coli</i>)密度 (10^4 MPN/100mL)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	0.16	0.03	0.12	0.01	0.02	0.019	0.021	0.0084	0.049
聖人瀑布	0.21	0.17	0.16	0.40	1.1	0.43	0.50	0.40	0.42
至善國中	0.32	1.1	0.66	0.60	0.73	0.43	0.26	0.20	0.54

表 13：外雙溪流域各採樣點水樣糞生腸球菌密度之經時變化

採樣點	不同採樣日測得之水樣糞生腸球菌(<i>Enterococcus faecalis</i>)密度 (10^3 MPN/100mL)								
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118	平均
絹絲瀑布	0.095	0.010	< 0.01	< 0.01	0.051	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.05
聖人瀑布	0.38	1.5	0.086	0.066	1.7	0.42	0.18	0.06	0.55
至善國中	0.24	4.9	0.43	0.29	1.2	0.16	0.084	0.34	0.96

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 14：涓絲瀑布溪水中水生微生物數量之經時變化

分析項目	不同採樣日測得之結果							
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118
水溫 (°C)	20	18	22	21	23.5	21	17	16
水樣 pH	6.84	4.01	5.86	5.11	4.86	4.64	4.84	4.30
異營菌 (10 ⁴ cfu/mL)	10.1 ± 3.3	0.68 ± 0.08	5.5 ± 0.8	2.6 ± 1.0	3.0 ± 0.2	1.8 ± 0.6	7.0 ± 2.7	0.60 ± 0.01
放線菌 (Actinomycetes) (cfu/mL)	70 ± 10	<10	<10	<10	90 ± 40	* ^a	<10	<10
鵝卵石表面異營菌 (10 ⁵ cfu/cm ²)	ND ^b	3.1 ± 0.2	2.1 ± 0.7	0.71 ± 0.33	3.3 ± 0.1	0.34 ± 0.15	1.1 ± 0.5	6.1 ± 2.0
鵝卵石表面放線菌 (10 ³ cfu/ cm ²)	1.9 ± 0.1	0.11 ± 0.07	0.13 ± 0.02	0.03 ± 0.01	1.3 ± 0.2	0.09 ± 0.02	0.12 ± 0.08	0.3 ± 0.05
大腸桿菌群 (Coliform) (10 ⁴ MPN/100mL)	0.86	0.096	0.31	0.27	0.50	0.29	0.19	0.14
大腸桿菌(<i>E. coli</i>) (10 ⁴ MPN/100mL)	0.16	0.03	0.12	0.01	0.02	0.019	0.021	0.0084
糞生腸球菌 (<i>Enterococcus faecalis</i>) (10 ³ MPN/100mL)	0.095	0.010	<0.01	<0.01	0.051	<0.01	<0.01	<0.01

^a 真菌污染。

^b Not Detected.

表 15：聖人瀑布溪水中水生微生物數量之經時變化

分析項目	不同採樣日測得之結果							
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118
水溫 (°C)	22	20	23	23.5	24	21.5	18.5	17.5
水樣 pH	ND	7.20	7.99	8.08	7.89	7.42	7.92	7.57
異營菌 (10^4 cfu/mL)	5.6 ± 1.3	7.3 ± 5.5	3.0 ± 0.1	7.1 ± 1.1	6.8 ± 0.2	4.1 ± 1.1	31 ± 5	2.8 ± 1.9
放線菌 (Actinomycetes) (cfu/mL)	<10	30 ± 30	110 ± 30	<10	70 ± 10	290 ± 300	*	230 ± 40
鵝卵石表面異營菌 (10^5 cfu/cm ²)	ND	8.1 ± 3.2	39 ± 24	14.2 ± 2.4	24 ± 10	6.5 ± 0.6	8.1 ± 1.7	6.3 ± 1.7
鵝卵石表面放線菌 (10^3 cfu/ cm ²)	2.4 ± 0.4	0.27 ± 0.02	2.1 ± 0.9	1.6 ± 0.6	2.3 ± 0.2	0.43 ± 0.15	0.04 ± 0.01	0.32 ± 0.08
大腸桿菌群 (Coliform) (10^4 MPN/100mL)	0.62	1.3	6.9	3.7	3.9	2.6	2.6	2.4
大腸桿菌(<i>E. coli</i>) (10^4 MPN/100mL)	0.21	0.17	0.16	0.40	1.1	0.43	0.50	0.40
糞生腸球菌 (<i>Enterococcus faecalis</i>) (10^3 MPN/100mL)	0.38	1.5	0.086	0.066	1.7	0.42	0.18	0.06

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 16：至善國中溪水中水生微生物數量之經時變化

分析項目	不同採樣日測得之結果							
	0501	0522	0627	0722	0818	0930	1104	1118
水溫 (°C)	25	21	28	26	26	22	19	18.5
水樣 pH	ND	7.39	7.93	8.09	7.82	7.54	7.75	7.62
異營菌 (10^4 cfu/mL)	12.0 ± 2.9	7.4 ± 1.3	12.7 ± 2.6	6.4 ± 1.7	8.9 ± 0.2	3.4 ± 1.4	9.7 ± 0.8	3.4 ± 0.8
放線菌 (Actinomycetes) (cfu/mL)	15 ± 7	< 10	10 ± 10	20 ± 20	130 ± 30	30 ± 20	400 ± 130	30 ± 40
鵝卵石表面異營菌 (10^5 cfu/cm ²)	47 ± 2	70 ± 20	33 ± 6	181 ± 82	44 ± 7	39 ± 12	8.5 ± 2.5	10.4 ± 2.5
鵝卵石表面放線菌 (10^3 cfu/ cm ²)	1.7 ± 1.9	0.9 ± 0.3	2.6 ± 1.1	3.72 ± 0.58	9.0 ± 2.5	0.7 ± 0.2	0.16 ± 0.1	0.08 ± 0.02
大腸桿菌群 (Coliform) (10^4 MPN/100mL)	1.7	5.5	4.6	3.4	11	3.6	3.4	0.96
大腸桿菌(<i>E. coli</i>) (10^4 MPN/100mL)	0.32	1.1	0.66	0.60	0.73	0.43	0.26	0.20
糞生腸球菌 (<i>Enterococcus faecalis</i>) (10^3 MPN/100mL)	0.24	4.9	0.43	0.29	1.2	0.16	0.084	0.34

表 17：5 月及 8 月各採樣點樣品中不同細胞結構與生理功能的菌相分佈^a

細菌類別	絹絲 瀑布 溪水	絹絲 瀑布 石表	聖人 瀑布 溪水	聖人 瀑布 石表	至善 國中 溪水	至善 國中 石表
Gram-Negative	25 ^b /22 ^c	25/22	24/24	17/21	24/19	23/18
Gram-Positive	0/3	0/3	1/1	8/4	1/6	2/7
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Rods and Cocci	24/15	19/11	13/12	6/6	11/7	15/3
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Motile, Helical/Vibrioid	0/0	3/1	0/0	0/0	0/0	1/0
Nonphotosynthetic, Nonfruiting Gliding Bacteria	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	0/0
Other Gram-Negative Aerobic	0/4	0/3	1/6	0/3	0/1	0/0
Gram-Negative Facultatively Anaerobic Rods	1/3	0/7	5/6	7/5	6/10	2/16
Irregular, Nonsporing Gram-Positive Rods	0/1	0/2	0/0	2/0	0/0	0/2
Endospore-Forming Gram-Positive Rods and Cocci	0/0	0/0	0/1	0/1	0/1	0/0
Gram-Positive Cocci	0/0	0/0	0/0	0/1	0/4	0/0
Gram-Positive Aerobic Bacteria	0/1	0/0	0/0	0/0	0/1	0/0
Nocardioform Actinomycetes	0/0	0/0	0/0	1/2	0/0	0/4
無法鑑定	0/1	0/1	5/0	6/7	5/1	1/0
無法鑑定(G-)	0/0	0/0	4/0	1/6	4/1	1/0
無法鑑定(G+)	0/1	0/1	1/0	5/1	1/0	0/0
無法在 BUG+B R ₂ A 生長	0/0	3/0	1/0	3/0	2/0	6/0
無法在 BUG+B R ₂ A 生長(G-)	0/0	3/0	1/0	3/0	2/0	4/0
無法在 BUG+B R ₂ A 生長(G+)	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	2/0

^a 每一個樣品測試 25 株分離菌。^b 5 月 22 日樣品之結果。^c 8 月 18 日樣品之結果。

表 18：5 月及 8 月各採樣點溪水樣品中不同菌屬的菌相分佈

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Rods and Cocci	24 (96%)	15 (60%)	13 (52%)	12 (48%)	11 (44%)	7 (28%)
<i>Achromobacter</i>				/1		
<i>Acidovorax</i>		1		2		
<i>Acinetobacter</i>	2/1 ^a		/2		/1	
<i>Burkholderia</i>	/3	/1	4/1		/3	/2
<i>Chryseobacterium</i>	/5				/4	
<i>Comamonas</i>				1		
<i>Flavimonas</i>						/1
<i>Flavobacterium</i>	2/2	/2	1/3	4		1/1
<i>Francisella</i>		/1			/1	
<i>Moraxella</i>	1				1	
<i>Ochrobacterum</i>		/1				
<i>Phyllobacterium</i>						
<i>Pseudomonas</i>	/5	/2	/1	1		1
<i>Sinorhizobium</i>						
<i>Sphingobacterium</i>	2/1	1/1	1	/1		
<i>Sphingomonas</i>		2/2		1	1	1
<i>Xanthomonas</i>		1		1		
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Motile, Helical/ Vibrioid	0	0	0	0	0	0
<i>Aquaspirillum</i>						
<i>Herbaspirillum</i>						
Nonphotosynthetic, Nonfruiting Gliding Bacteria	0	0	0	0	1	0
<i>Capnocytophaga</i>					/1	

^a 已鑑定 / 有待確認

表 18：5 月及 8 月各採樣點溪水樣品中不同菌屬的菌相分佈（續一）

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Other Gram-Negative Aerobic	0	4	1	6	0	1
CDC group II-E subgroup A			1	/1		
CDC group IVC-2		1				
<i>Bergeyella</i>		/1				
<i>Brevundimonas</i>				1		
<i>Photorhabdus</i>		/1				
<i>Ralstonia</i>						
<i>Riemerella</i>						
<i>Shewanella</i>						
<i>Stenotrophomonas</i>		1		3/1		
<i>Vogesella</i>						/1
Gram-Negative Facultatively Anaerobic Rods	1 (4%)	3 (12%)	5 (20%)	6 (24%)	6 (24%)	10 (40%)
<i>Aeromonas</i>			/2		1/1	
<i>Chromobacterium</i>		1		1		
<i>Citrobacter</i>				1		
<i>Enterobacter</i>		/1	/1	1		1/2
<i>Erwinia</i>				1		
<i>Escherichia</i>	1			1		/1
<i>Haemophilus</i>					1	
<i>Klebsiella</i>						
<i>Kluyvera</i>					2	/1
<i>Pantoea</i>						1
<i>Photobacterium</i>						3/1
<i>Salmonella</i>				1		
<i>Serratia</i>						
<i>Vibrio</i>		1	1/1		/1	

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 18：5 月及 8 月各採樣點溪水樣品中不同菌屬的菌相分佈（續二）

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Irregular,Nonsporing Gram-Positive Rods	0	1	0	0	0	0
<i>Aureobacterium</i>		1				
<i>Cellulomonas</i>						
<i>Microbacterium</i>						
Endospore-Forming Gram-Positive Rods and Cocci	0	0	0	1	0	1
<i>Bacillus</i>				/1		1
Gram-Positive Cocci	0	0	0	0	0	4
<i>Deinococcus</i>						/1
<i>Staphylococcus</i>						/1
<i>Micrococcus</i>						/1
<i>Kytococcus</i>						/1
Gram-Positive Aerobic Bacteria	0	1	0	0	0	1
<i>Clavibacter</i>		/1				
<i>Sanguibacter</i>						/1
Nocardioform Actinomycetes	0	0	0	0	0	0
<i>Gordona</i>						
<i>Rhodococcus</i>						

表 19：5 月及 8 月各採樣點鵝卵石表面樣品中不同菌屬的菌相分佈

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Rods and Cocci	19 (76%)	11 (44%)	6 (24%)	6 (24%)	15 (60%)	3 (12%)
<i>Achromobacter</i>		1		/1		/1
<i>Acidovorax</i>						
<i>Acinetobacter</i>	1		1/1		3	
<i>Burkholderia</i>	1	3		/1	2/2	
<i>Chryseobacterium</i>			/1			
<i>Comamonas</i>						
<i>Flavimonas</i>						
<i>Flavobacterium</i>		1	1	/1	1	
<i>Francisella</i>						
<i>Moraxella</i>	1					
<i>Ochrobacterum</i>						
<i>Phyllobacterium</i>					/1	
<i>Pseudomonas</i>	6/10	2/3	1/1	3/1	4/2	1
<i>Sinorhizobium</i>						/1
<i>Sphingobacterium</i>		1				
<i>Sphingomonas</i>						
<i>Xanthomonas</i>						
Gram-Negative Aerobic/ Microaerophilic Motile, Helical/ Vibrioid	3	1	0	0	1	0
<i>Aquaspirillum</i>		/1			/1	
<i>Herbaspirillum</i>	2/1					
Nonphotosynthetic, Nonfruiting Gliding Bacteria	0	0	0	0	0	0
<i>Capnocytophaga</i>						

^a 已鑑定 / 有待確認

表 19：5 月及 8 月各採樣點鵝卵石表面樣品中不同菌屬的菌相分佈（續一）

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Other Gram-Negative Aerobic	0	3	0	3	0	0
CDC group II-E subgroup A				/1		
CDC group IVC-2						
<i>Bergeyella</i>						
<i>Brevundimonas</i>						
<i>Photorhabdus</i>						
<i>Ralstonia</i>		1				
<i>Riemerella</i>				/1		
<i>Shewanella</i>				/1		
<i>Stenotrophomonas</i>		2				
<i>Vogesella</i>						
Gram-Negative Facultatively Anaerobic Rods	0 (0%)	7 (28)	7 (28%)	5 (20%)	2 (8%)	16 (64%)
<i>Aeromonas</i>			1		2	
<i>Chromobacterium</i>						/1
<i>Citrobacter</i>						
<i>Enterobacter</i>		1	/1	/2		4/2
<i>Erwinia</i>						
<i>Escherichia</i>						
<i>Haemophilus</i>						
<i>Klebsiella</i>				/1		2/2
<i>Kluyvera</i>						
<i>Pantoea</i>			1			2
<i>Photobacterium</i>		/2		1		/1
<i>Salmonella</i>						
<i>Serratia</i>		3/1	3/1	/1		/1
<i>Vibrio</i>						/1

表 19：5 月及 8 月各採樣點鵝卵石表面樣品中不同菌屬的菌相分佈（續二）

細菌類別	絹絲 瀑布 5 月	絹絲 瀑布 8 月	聖人 瀑布 5 月	聖人 瀑布 8 月	至善 國中 5 月	至善 國中 8 月
Irregular, Nonsporing Gram-Positive Rods	0	2	2	0	0	2
<i>Aureobacterium</i>		/1				
<i>Cellulomonas</i>			/1			
<i>Microbacterium</i>		1	/1			1/1
Endospore-Forming Gram-Positive Rods and Cocci	0	0	0	1	0	0
<i>Bacillus</i>						
Gram-Positive Cocci	0	0	0	1	0	0
<i>Deinococcus</i>						
<i>Staphylococcus</i>				/1		
<i>Micrococcus</i>						
<i>Kytococcus</i>						
Gram-Positive Aerobic Bacteria	0	0	0	0	0	0
<i>Clavibacter</i>						
<i>Sanguibacter</i>						
Nocardioform Actinomycetes	0	0	1	2	0	4
<i>Gordona</i>				/1		/3
<i>Rhodococcus</i>			/1	/1		1

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

表 20：各採樣點最常見的菌屬^a

細菌類別	絹絲瀑布 5 月	絹絲瀑布 8 月	聖人瀑布 5 月	聖人瀑布 8 月	至善國中 5 月	至善國中 8 月
<i>Achromobacter</i>		/1		1/1		/1
<i>Acinetobacter</i>	3 ^b /1 ^c		2/2		1/3	
<i>Aeromonas</i>	/	/	2/1	/	2/2	/
<i>Burkholderia</i>	3/1	1/3	5/	/1	3/4	2/
<i>Enterobacter</i>	/	1/1	1/1	1/2	/	3/6
<i>Flavobacterium</i>	4/	2/1	4/1	4/1	/1	2/
<i>Photobacterium</i>	/	/2	/	/1	/	4/1
<i>Pseudomonas</i>	5/16	2/5	1/2	1/4	/6	1/1
<i>Sphingobacterium</i>	3/	2/1	1/	1/	/	/
<i>Sphingomonas</i>		4/	/	1/	1/	1/
<i>Vibrio</i>	/	1/	2/	/	1/	/1

a: 在 12 個樣本中至少發現 4 次

b: 溪水樣品中 25 個分離菌株中可以分離到的菌株數

c: 鵝卵石表面生物膜中 25 個分離菌株中可以分離到的菌株數

表 21：5 月及 8 月各採樣點樣品中可鑑定菌株之不同菌屬數目及菌株數目之綜合統計

採樣點	樣品 種類	採樣日	總菌數 N	菌屬數目 G	豐多度 richness $G/N^{1/2}$	豐富度 abundance $1/\Sigma(P_i)^2$
絹絲瀑布	溪水	93.05.22	25	8	1.6	6.6
	溪水	93.08.18	24	18	3.7	13.7
	石表	93.05.22	22	5	1.1	1.8
	石表	93.08.18	24	13	2.7	8.7
	合計	93.05.22	47	9	1.3	4.1
	合計	93.08.18	48	24	3.5	15.4
聖人瀑布	溪水	93.05.22	19	9	2.1	6.3
	溪水	93.08.18	25	18	3.6	12.3
	石表	93.05.22	16	11	2.8	8.0
	石表	93.08.18	18	14	3.3	10.1
	合計	93.05.22	35	15	2.5	10.7
	合計	93.08.18	43	27	4.1	17.3
至善國中	溪水	93.05.22	18	11	2.6	8.1
	溪水	93.08.18	24	17	3.5	12.5
	石表	93.05.22	18	7	1.6	4.8
	石表	93.08.18	25	13	2.6	8.1
	合計	93.05.22	36	15	2.5	8.9
	合計	93.08.18	49	26	3.7	15.3

N：隨機挑選的分離株，能夠被鑑定的數目。

G：每種樣品中的分離株被鑑定出來的菌屬數目。

P_i ：每種樣品中每個菌屬之菌株數佔總菌數之比例。

陽明山國家公園

第四章 結論與建議

第一節 結論

水質監測一般以物理與化學指標為主，我國環境保護署根據懸浮固體物、生化需氧量、溶氧及氨氮等四項物化水質參數，進行河川污染等級分類。（詳見附錄一）依據此項指標，雙溪在民國 87 年以前屬於未受污染或稍受污染，民國 88 年起變成輕度污染，92 年以後甚至某些月份有中度污染現象。（詳見附錄二）

物理化學指標的優點在於分析快速，精確性高，方法標準化，為各界所認可；缺點則在於需要相當的理化設備，只能反應採樣瞬間的水質，而且難以確切反應污染對水域環境生物的衝擊與影響。為了彌補物化指標的缺點並使水質評估更為完整真實，水質指標生物方法應運而生。這類方法從生物與生態的角度，評估中長期水質的變化，適合作為長期監測之用。田志仁及汪碧涵觀察淡水河支流外雙溪的水棲昆蟲相之變化，根據分類群豐富度指標及捕獲忍耐值低或高的水棲昆蟲，從而發現：(1)位於外雙溪上游的聖人瀑布河段，水質極為優良。(2)至善國中河段雖然水質仍是良好，但已受到些許程度的污染。(3)雨農橋河段水質為輕度至中度污染之間。（王及汪，2004）

本研究發現除了水樣中放線菌密度之外，其餘的微生物密度指標包括水樣異營菌密度、鵝卵石表面異營菌密度、鵝卵石表面放線菌密度、水樣大腸桿菌群密度、大腸桿菌密度、糞生腸球菌密度等，整體而言皆呈現污染較嚴重的至善國中河段比聖人瀑布河段為高的現象。其中水樣異營菌密度及鵝卵

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

石表面異營菌密度較其他項目的結果更為顯著，而水樣異營菌密度的經時變化幅度也比衛生菌相小，同時測定也較為容易，因此十分適合長期監測作為環境安定性的生物指標。

根據各項水中微生物密度之結果可以明顯看出位於陽明山國家公園境內的外雙溪流域已遭受到相當程度的污染，尤其是聖人瀑布的上游部分。走訪實地觀察也發現民居、農戶會將生活廢水排入溪中。內雙溪絹絲瀑布上游部分除了較少人為污染源之外，可能由於上游冷水坑溫泉的酸性泉水或酸性土壤受雨水冲刷導致內雙溪水質偏酸，也可能是水生微生物數量偏低的原因。

一般而言，環境遭受污染會對生存其中的生物造成壓力。只有耐受力高的物種得以生存，因此生物的歧異度會降低。王漢泉(2002)建立以魚類為台灣河川水質污染指標，分別為未受污染指標魚種（鯛魚）、輕度污染指標魚種（石賓、台灣櫻口鯪）、普通污染指標魚種（溪哥）、中度污染指標魚種（烏魚、花身雞魚、環球海鯨、鯉魚、鰱魚）及嚴重污染指標魚種（大眼海鯢、吳郭魚、泰國鰱魚、大鱗鯔、琵琶鼠）。由於外雙溪從民國 88 年起污染程度增加，因此不耐污染的魚種逐漸消失，現今在至善國中以下的河段只能發現大量吳郭魚生存其間。而內雙溪部分可能由於水質相當偏酸，而使得各種魚類皆無法生存。

就溪水中的細菌種類而言，一般生活污水排放到溪流中可以增加水中的有機物濃度，可能有助於某些異營性細菌的生長。從本研究結果發現污染增加可能使得 *Pseudomonas*、*Flavobacterium* 和 *Sphingobacterium* 等菌屬的密度減少而 *Enterobacter* 菌屬的密度增加。但是歧異度隨不同污染程度並沒有明顯變化的情形，反而水溫增加可能是使細菌歧異度增加的主因。

第二節 建議

建議一

委託學術機構繼續對雙溪進行水樣異營菌密度的監測：立即可行建議

主辦單位：陽明山國家公園管理處

本研究發現水樣異營菌密度的經時變化幅度較小，同時測定也較為容易，因此十分適合長期監測作為環境安定性的生物指標（詳見附錄三）。另一方面，本研究缺乏冬季到春季(1 月到 3 月)的研究數據，應予補充。

建議二

建立長期監測水樣異營菌密度的技術：中長期建議

主辦單位：陽明山國家公園管理處保育科

水樣異營菌密度的監測需要建立基本的微生物學實驗室，所需經費並不龐大，但需養成無菌操作技術。可由陽明山國家公園管理處保育科與相關學術機構合作，建立長期監測水樣異營菌密度的技術，以作為環境監控之用。

建議三

對陽明山國家公園境內其他水域進行微生物的調查與監測：中長期建議

主辦單位：陽明山國家公園管理處

陽明山國家公園內的主要溪流包括：北磺溪、員潭溪、瑪鍊溪、雙溪、南磺溪、北投溪、關渡溪、興福寮溪、公司田溪、大屯溪、八連溪、老梅溪、阿里磅溪等 13 條。其中北磺溪流域、雙溪流域及南磺溪流域面積為前三大。溫泉可說是陽明山國家公園的一大特色，大都分佈在北磺溪及南磺溪流，它

們與雙溪流域的環境差異頗大，值得深入研究。由於溫泉微生物的培養較為困難，因此宜逐年編列預算，從方法學的確立到數據的蒐集，進行長期研究。

陽明山國家公園

附錄一：河川污染等級分類

七〇年日本提出「河川污染指數」(River Pollution Index, RPI)作為河川水質之綜合評估，我國亦隨即採用之。根據懸浮固體物、生化需氧量、溶氧及氨氮等四項物化水質參數，將河川分別評估為未受（稍受）污染、輕度污染、中度污染和嚴重污染四個等級。

	未受、稍受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量 (DO)	>6.5	4.6~6.5	2.0~4.5	<2.0
生化需氧量 (BOD)	<3.0	3.0~4.9	5.0~15	>15
懸浮固體量 (SS)	<2.0	20~49	50~100	>100
氨氮 (NH ₃ -N)	<0.5	0.5~0.99	1.0~3.0	>3.0
點數	1	3	6	10
積分	<2.0	2.0~3.0	3.1~6.0	>6.0

*表內 DO、BOD、SS、NH₃-N 數值之單位皆為 mg/L；積分數為 DO、BOD、SS、NH₃-N 點數之平均值

RPI 監測項目的意義

溶氧 (Dissolved oxygen, DO)：溶氧係指溶解於水中的氧量，為評估水體品質的重要指標項目之一。水中溶氧可能來自大氣溶解、自然或人為曝氣及水生植物的光合作用等。水若受到有機物質污染，則水中微生物在分解有機物時會消耗水中的溶氧，而造成水中溶氧降低至成缺氧狀態。

生化需氧量 (Biochemical oxygen demand, BOD)：生化需氧量係指水中易受微生物分解的有機物質，在某特定時間及溫度下，被微生物的分解氧化作用所消耗的氧量。一般所稱的生化需氧量係以 20℃ 培養 5 日後所測得的結

果，記做 BOD_5 。生化需氧量可表示水中生物可分解的有機物含量，間接也表示了水體受有機物污染的程度。

氨氮 (Ammonia nitrogen)：含氮有機物主要來自動物排泄物及動植物屍體之分解，分解時先形成胺基酸，再依氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮程序而漸次穩定。因此當水體中存在氨氮可表示該水體受污染時間較短。

懸浮固體 (Suspended solids , SS)：懸浮固體係指水中會因攪動或流動而呈懸浮狀態之有機或無機性顆粒，這些顆粒一般包含膠懸物、分散物及膠羽。懸浮固體會阻礙光在水中的穿透，其對水中生物影響與濁度相類似；懸浮固體若沉積於河床，則會阻礙水流，若沉積於水庫區，則可能減少水庫的蓄水空間。

(中華民國環境教育學會 <http://www.greenschool.org.tw/wwwmd/idea16.htm>)

附錄二：雙溪污染程度概況

年月別	pH 值	溶氧量 mg/L	生化需 氧量 mg/L	懸浮固 體量 mg/L	氨氮 mg/L	大腸 桿菌 群 10 ⁴ MPN/ 100mL	積分	污染 等級
80 年	7.6	8.1	3.8	13	0.3	52.3	1.5	A
81 年	7.6	8.6	2.3	11	0.2	4.4	1.0	A
82 年	7.6	8.8	1.6	11	0.5	1.4	1.5	A
83 年	7.8	8.4	2.0	8	0.2	0.6	1.0	A
84 年	7.8	8.9	1.1	8	0.2	4.1	1.0	A
85 年	7.9	5.2	2.2	10	0.1	3.3	1.5	A
86 年	8.0	6.5	2.1	8	0.1	4.6	1.5	A
87 年	7.8	6.7	1.5	13	0.2	0.8	1.0	A
88 年	7.2	4.0	1.6	6	0.2	1.8	2.3	B
89 年	7.2	4.5	1.2	7	0.1	3.5	2.3	B
90 年	7.1	4.4	1.1	7	0.1	3.5	2.3	B
91 年	7.4	3.5	1.4	8	0.1	2.0	2.3	B
92 年	7.6	3.0	1.2	10	0.2	3.6	2.3	B
8 月	7.5	2.0	1.7	14	0.1	4.0	2.3	B
9 月	7.5	1.8	0.8	4	0.1	2.0	3.3	C
10 月	7.2	1.8	0.6	9	0.1	2.7	3.3	C
11 月	7.1	4.0	0.6	10	0.2	1.3	2.3	B
12 月	7.1	3.6	0.9	14	0.1	2.2	2.3	B
93 年								
1 月	7.7	4.2	1.2	12	0.2	1.2	2.3	B
2 月	7.6	3.0	1.1	8	0.0	1.0	2.3	B
3 月	7.5	4.1	0.8	6	1.6	1.0	3.5	C
4 月	7.8	3.8	0.8	8	0.1	1.0	2.3	B

外雙溪流域水生微生物的調查與監測

5 月	7.5	3.8	1.4	7	0.2	1.7	2.3	B
6 月	8.0	3.8	1.1	9	0.1	2.0	2.3	B
7 月	7.2	5.9	1.2	7	0.1	0.9	1.5	A
8 月	7.0	7.1	3.2	11	0.1	1.8	1.5	A
9 月	6.7	6.2	1.1	27	0.1	12.0	2.0	B
10 月	7.7	6.9	3.7	6	0.1	1.4	1.5	A

(淡水河系及愛河污染程度概況，中華民國環境保護統計月報第 191 期，93 年 11 月。 <http://www.epa.gov.tw/statistics>)

附錄三：雙溪流域水樣異營菌密度監測流程

一、採樣

選擇絹絲瀑布、聖人瀑布及至善國中三個採樣點，於每個月各進行一次採樣，採樣前一週應不得有大雨。每次採樣時，以經過滅菌的玻璃樣品瓶取水樣 250 mL，各五重複。置於冰上攜回實驗室，充分混和後立即進行細菌之計數。

二、測量水樣溫度與 pH 值

水溫以溫度計於採樣現場直接測定。pH 值則係攜帶水樣回實驗室，回復室溫後以 pH 測定儀分析。

三、一般異營細菌之計數

樣品利用滅菌的磷酸鹽－氯化鎂緩衝液（每公升含： KH_2PO_4 42.5 mg、 MgCl_2 405.5 mg），進行 10 倍稀釋，由適當稀釋度（ $10^{-1} \sim 10^{-3}$ ）取 0.1 mL 塗抹於 R₂A 平板培養基（Difco R2A Agar）上，置於 25℃ 培養 7 天後，進行計數。

參考書目

中文部分

王鑫。1991。陽明山國家公園河流地景保育之研究。

王漢泉。2002。台灣河川水質魚類指標之研究。環境檢驗所環境調查研究年報 9：207-236。

田志仁、汪碧涵。2004。淡水生物多樣性調查方法與評估指標。行政院環境保護局環境檢驗通訊雜誌，第五十期，中華民國 93 年 4 月 10 日。

李重義、江建成、陳成龍、黃金枝。2004。從河川底泥中有效分離放線菌以檢測其生物降解活性。投稿中。

環保署。NIEA E201.52B，水中大腸桿菌群檢測方法 — 多管發酵法。中華民國 93 年 3 月 29 日公告。

環保署。NIEA E203.53B，水中總菌落數檢測方法 — 塗抹法。中華民國 93 年 3 月 29 日公告。

英文部分

Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology* (2nd ed.), John Wiley & Sons, New York.

- Baker, J. H. and I. S. Farr. 1977. Origins, characterization and dynamics of suspended bacteria in two chalk streams. *Arch. Hydrobiol.* **80**: 308-326.
- Bossio, D. A., and K. M. Scow. 1995. Impact of carbon and flooding on the metabolic diversity of microbial communities in soils. *Appl. Environ. Microbiol.* **61**: 4043-4050.
- Cook, A. E. and P. R. Meyers. 2003. Rapid identification of filamentous actinomycetes to the genus level using genus-specific 16S rRNA gene restriction fragment patterns. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **53**: 1907-1915.
- Difco Manual. 1998. 11th edition, p.421-422.
- Goodfellow, M. 1983. Ecology of actinomycetes. *Ann. Rev. Microbiol.* **37**: 189-216.
- Gsell, T. C., W. E. Holben, and R. M. Ventullo. 1997. Characterization of the sediment bacterial community in groundwater discharge zones of an alkaline fen: a seasonal study. *Appl. Environ. Microbiol.* **63**: 3111-3118.
- McCarthy, A. J. and S. T. Williams. 1992. Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment – a review. *Gene*, **115**: 189-192.
- Rheinheimer, G. 1991. *Aquatic Microbiology*. Wiley, New York.
- Rooney-Varga, J. N., R. Devereux, R. S. Evans, and M. E. Hines. 1997. Seasonal changes in the relative abundance of uncultivated

sulfate-reducing bacteria in a salt marsh sediment and in the rhizosphere of *Spartina alterniflora*. *Appl. Environ. Microbiol.* **63**: 3895-3901.

Torsvik, V., L. Øvreås, and T. F. Thingstad. 2002. Prokaryotic diversity—magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science* **296**:1064-1066.

