

第四核能發電廠預定地及其周圍土壤微生物生態 Microbial Ecology in the Reserved Site of Nuclear Power Plant No.4 and Its Surrounding Areas

楊盛行* 楊鈞凱 林依晴 張義宏 魏嘉碧
Shang-Shyng Yang* Chiun-Kai Yang I-Ching Lin Ed-Haun Chang Chia-Bei Wei

ABSTRACT

To investigate the operation effect of nuclear power plant on the environmental qualities, the reserved site of nuclear power plant No.4 at Kong-Liau, Taipei County was chosen and the populations of bacteria, actinomycetes, fungi, cellulolytic, phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing microbes were selected as the parameters. The soil pH values ranged from 4.07 to 7.44 and soil moisture contents were between 15.20 and 46.49%. Soil moisture contents in the reserved site were lower than those in the surrounding areas. Each gram of dry soil contained bacteria $8.66 \times 10^5 - 5.21 \times 10^7$ CFU, actinomycetes $1.70 \times 10^3 - 4.25 \times 10^5$ CFU and fungi $1.57 \times 10^4 - 5.60 \times 10^6$ CFU. Microbial populations of the topsoil (0-20 cm depth) were higher than those of the subsoil (21-40 cm depth). 33.33% of soil samples in the reserved site accommodated higher populations of bacteria, actinomycetes and fungi than those in the surrounding area. Each gram of soil contained cellulolytic, phosphate-solubilizing and nitrogen-fixation microbes $1.73 \times 10^4 - 1.92 \times 10^7$, $1.04 \times 10^5 - 5.81 \times 10^6$ and $2.82 \times 10^5 - 3.43 \times 10^6$ colonies, respectively. Cellulolytic and

nitrogen-fixing microbes were active at a collection site 1.0 km distance from the reserved site of nuclear power plant reactor, however the other sites did not show any difference. After this study, no significant difference of microbial ecology between the reserved site of nuclear power plant No. 4 and its surrounding area was concluded.

Key words : Nuclear power plant, Microbial ecology, Cellulolytic microbe, Phosphate-solubilizing microbe, Nitrogen-fixing microbe.

摘要

為了解核能發電廠對環境品質之影響，以臺北縣貢寮鄉第四核能發電廠預定地及其周圍土壤為對象，探討土壤中細菌、放線菌、真菌、纖維素分解菌、溶磷菌和固氮菌在預定地廠區內外及其上下層土壤中之變化情形，以供核能發電廠未運轉前之背景值及運轉後之影響探討。結果發現第四核能發電廠預定地及其周圍土壤pH值介於4.07~7.44之間，水分含量介於15.20~46.49%之間，預定地廠區內土壤水分含量比廠區外低。每克乾重土壤含細菌 $8.66 \times 10^5 - 5.21 \times 10^7$ CFU，放線菌

$1.70 \times 10^3 - 4.25 \times 10^5$ CFU 和真菌 $1.57 \times 10^4 - 5.60 \times 10^6$ CFU，上層土壤微生物含量大部分皆較下層土壤高。廠區外土壤有 33.33 % 樣品其土壤中細菌、放線菌和真菌含量比預定地廠區內土壤高。另外每克乾重土壤含纖維素分解菌 $1.73 \times 10^4 - 1.92 \times 10^7$ CFU，溶磷菌 $1.04 \times 10^5 - 5.81 \times 10^6$ CFU 和固氮菌 $2.82 \times 10^5 - 3.43 \times 10^6$ CFU。除距反應爐預定地 1.0 km 之後方小山坡林地土壤其纖維素分解菌和固氮菌含量較高外；其餘預定地廠區內外土壤菌數含量差異性不顯著。第四核能發電廠預定地及其周圍土壤微生物含量，在設廠前雖然部分廠區內土壤微生物含量比預定地廠區外略高，但差異性不顯著。

關鍵字：核能發電廠預定地，微生物生態，纖維素分解菌，溶磷菌，固氮菌。

緒 言

工業革命以後，工商業發達，人類生活水準提高，因而能源消耗也隨之增加。初級能源消費，從 1990 年至 1996 年增加 6.68 %，其中石油增加 5.59 %、天然氣增加 11.56 %、煤炭增加 0.57 %、水力增加 15.40 % 和核能增加 20.24 % (行政院主計處, 1997)。電是次級能源，主要來自水力、火力和核能發電，另外也有少量來自太陽能、風力、地熱、海洋溫差、潮汐和生質能發電 (Sayigh, 1998)。1998 年台灣地區主要發電量中，火力發電佔 67.8 %、核能發電佔 24.8 % 和水力發電佔 7.2 % (行政院經濟部, 1999)。

近年來，國人環保意識高漲，電廠用地取得不易，甚至建廠後之營運也常受到附近居民反對，影響新電源開發甚鉅。自從在台灣東北角海域出現祕雕魚，1970 ~

1971 年間美國愛德荷州核子反應爐之爐心冷卻系統故障，1986 年俄羅斯車諾堡核能災變，1997 年日本核廢料回收廠輻射外洩，1999 年日本核反應爐冷卻管破裂引起冷卻水外洩和濃縮鈾處理廠輻射外洩以及台灣核能發電廠時而跳機和核廢料之儲存問題，使環保團體及反核民眾認為核能發電雖然不產生二氧化碳有助於地球溫暖化的緩和，但安全性則有待評估 (王，1997；鄭，1997；自由時報，1999)。火力發電廠有塵埃、 NO_x 、 SO_x 等污染物，可能會影響作物產量、產品品質和人類健康 (孫，1992；陳，1996)。而建水壩發展水力發電，會影響上游及下游的水中生態 (徐，1998)。

土壤中微生物以細菌含量最多，放線菌和真菌含量次之 (Alexander, 1977)。台灣地區土壤微生物分布，過去研究不多，有陽明山附近黑色土壤 (足，1931a)、無機酸性土壤 (足，1931b)、看天田土壤 (足，1933a)、台南鹼土 (足，1933b)、塔塔加高山森林和草原土壤 (楊等，1998a)、第一核能發電廠、第二核能發電廠、第三核能發電廠和協和火力發電廠及其周圍土壤 (楊等，1998b，1999a，b，2000)。由於微生物生態受外界環境影響很大，且非常敏感，因而可以作為環境因子變動的指標 (Dutka 和 Bitton, 1986a，b；Berg 等，1998)。國內過去較缺乏某些環境因子對微生物生態之本土化資料以及核能發電廠尚未運轉前之背景資料。因而本研究仍針對位於臺北縣貢寮鄉之第四核能發電廠預定地及其周圍土壤，探討其微生物生態，以提供國人有關核能發電廠營運時對環境品質影響之資訊。

材料及方法

一、供試土壤採樣點

位於臺北縣貢寮鄉第四核能發電廠預定地及其周圍土壤，分別位於第一、二號核反應爐預定地後方山坡處(距反應爐預定地0.1 km)，後方山坡地400 m小徑旁林地(距反應爐預定地1.0 km)，二省道105～106 km右轉小路山坡林地(距反應爐預定地2.0 km)，縣道102甲線4 km右側竹林(距反應爐預定地5.0 km)和縣道102甲線28.5 km往瑞芳方向左側竹林(距反應爐預定地10.0 km)等五處取樣。

二、取樣方法

以第四核能發電廠核反應爐預定地為中心，分別在上述距核反應爐預定地0.1 km、1.0 km、2.0 km、5.0 km和10.0 km附近林地或草地，採取上層土壤(0～20 cm深)及下層土壤(21～40 cm深)。採樣地區以未經人為處理、迎風面、背海，除樹林外，無其他遮蔽之林地或草地。每個樣品分別取三重複，取回後均勻混合，測定下列各項性質及微生物生態。

三、培養基及培養方法

土壤細菌以營養洋菜培養基(每升含牛肉抽出物3.0 g，蛋白胨5.0 g和洋菜15.0 g，其最終pH為6.8)，在25℃培養3～5天測定之。而放線菌則以甘油酵母抽出物培養基(每升含甘油5.0 ml，酵母抽出物2.0 g， K_2HPO_4 1.0 g，和洋菜15.0 g，其最終pH為7.0)，必要時添加鏈黴素和亞胺環己酮(cycloheximide)至最後濃度各為10 µg/ml以抑制細菌和黴菌生長，在25℃下培養7天測定之。黴菌則以Rose bengal培養基(每升含蛋白胨5.0 g，葡萄糖10.0 g， K_2HPO_4 1.0 g， $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 g，Rose bengal 33.0 mg和洋菜20.0 g，其最終pH為6.8)，

在25℃下培養3～5天測定之。而纖維素分解菌則以羥甲基纖維素為唯一碳源培養基，於25℃下培養3～7天，以剛果紅噴灑，如產生透明圈，則為具纖維素分解酵素之菌株(Mandels等，1981)。而溶磷菌則以磷礦粉為唯一磷源培養基，於25℃下培養3～5天，如有透明圈則為溶磷菌(Young，1990)。固氮菌則以未含氮源之固氮培養基(每升含L-蘋果酸5.0 g， K_2HPO_4 0.5 g， $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g，NaCl 0.1 g， $CaCl_2$ 0.02 g，KOH 4 g和洋菜15.0 g，其最終pH為6.8)於25℃培養3～7天分離之(Krieg和Dobereiner，1984)。所有測定值皆為三重複。

四、季節性對微生物分布之影響

分別於1997年7月4日和10月21日，1998年3月20日，7月3日，11月17日，1999年2月1日和5月25日取樣測定季節性對土壤細菌、真菌和放線菌含量之變化情形。並測定1998年11月17日所取樣品中纖維素分解菌、溶磷菌和固氮菌含量，測定方法如前所述。

五、分析方法

1. 土壤水分含量：土壤樣品置於105℃烘箱中烘乾8～10 h至恆重，所減少之重量即為水份含量。
2. pH值：土壤樣品與等量(w/v)蒸餾水混合均勻2 min後，直接以pH計測定之。
3. 溫度：直接以溫度計測定大氣及表土下方5 cm深之溫度。

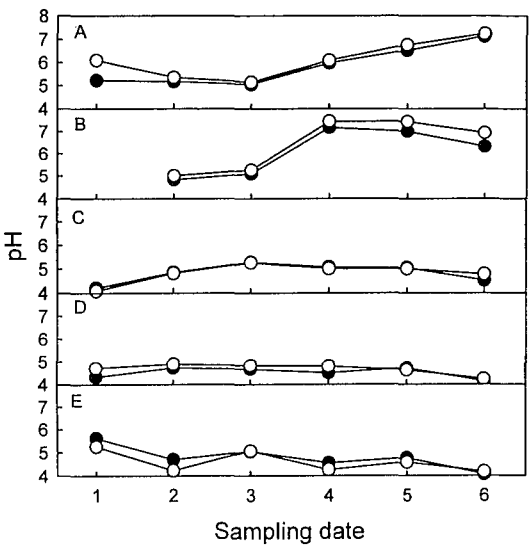
六、統計分析

每一實驗進行三重複，以統計分析測定其變異性(SAS，1988)，探討土壤水份、土壤深度和季節性對土壤細菌、真菌、放線菌、纖維素分解菌、溶磷菌和固氮菌含量之影響及其差異顯著性。

結果與討論

一、土壤性質

第四核能發電廠預定地廠區內上層土壤 pH 值介於 4.21 ~ 7.16，廠區外土壤 pH 值介於 4.07 ~ 5.62；廠區內下層土壤 pH 值為 4.09 ~ 7.44，廠區外 pH 值為 4.18 ~ 5.26 (圖一)。當以距反應爐預定地不同距離土壤 pH 值做統計分析時，發現部份預定地廠區內土壤 pH 值高於廠區外，且差異性顯著 ($p<0.05$) (表一)，上下層土壤 pH 值呈差異性顯著者只有 10 %。塔塔加高山森林土壤，經年有豐富的落葉覆蓋其上，且地處低溫有機物未完全分解，多量有機酸累積而使土壤 pH 值介於 3.38 ~ 4.90 呈微酸性 (楊等，1998a)。荷蘭 Wekerom 森林土壤有機物含量高，pH 值 3.8 亦呈酸性 (Berg 等，1998)。在台北縣境內之第一核能發電廠及第二核能發電廠其土壤 pH 值分別介於 4.28 ~ 6.96 和 4.21 ~ 5.99 呈微酸性，第三核能發電廠土壤 pH 值為 7.19 ~ 8.30，而第四核能發電廠預定地 pH 值呈微酸性至中性，可能係土壤母質不同所致 (楊等，1998b，1999a，2000)。基隆市之協和火力發電廠廠區內多為岩石，廠區內土壤 pH 值介於 5.02 ~ 6.72 (楊等，1999b)。



圖一、第四核能發電廠預定地附近土壤 pH 值之變化

Fig. 1. Soil pH at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4 and its surrounding areas. A: 0.1 km, B: 1.0 km; C: 2.0 km; D: 5.0 km, and E: 10.0 km. Sampling dates were: 1 on July 4, 1997; 2 on October 21, 1997; 3 on March 20, 1998; 4 on November 17, 1998; 5 on February 1, 1999; and 6 on May 25, 1999. ● : Topsoil (0-20cm depth); ○ : Subsoil (21-40cm depth).

表一、第四核能發電廠預定地距預定反應爐不同距離土壤 pH 值及其差異性比較

Table 1. pH and its statistical analysis at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4

Distance (km)	Sampling date						
	1	2	3	4	5	6	7
0.1	5.67 ^a	5.27 ^a	5.10 ^a	5.54 ^a	6.04 ^b	6.65 ^b	7.20 ^a
1.0	--	4.92 ^{ab}	5.18 ^a	4.98 ^b	7.30 ^a	7.21 ^a	6.62 ^b
2.0	4.15 ^c	4.85 ^{ab}	5.28 ^a	4.89 ^{bc}	5.05 ^c	5.03 ^c	4.66 ^c
5.0	4.53 ^{bc}	4.82 ^{ab}	4.75 ^b	4.56 ^c	4.66 ^d	4.68 ^d	4.20 ^d
10.0	5.44 ^{ab}	4.47 ^b	5.06 ^a	5.35 ^{ab}	4.41 ^d	4.67 ^d	4.13 ^d

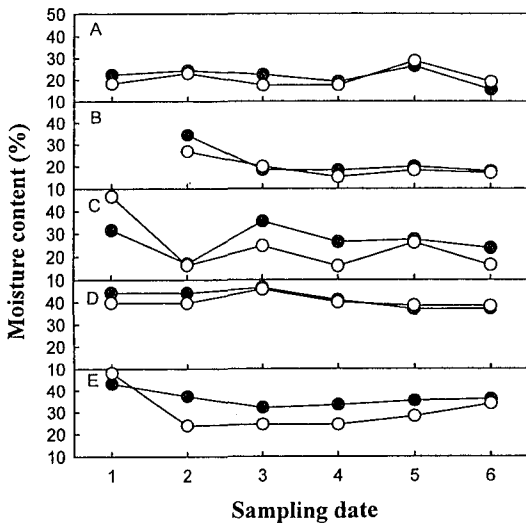
* Means (n=6) in the same column that did not share the same alphabetic superscripts were significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test. -- : Non available. Sampling dates were described in Fig. 1.

土壤水份含量之季節性變化如圖二所示。預定地廠區內土壤水份含量介於 15.00 ~ 46.47 %，廠區外則為 24.37 ~ 46.49 %。預定地廠區內土壤水份含量比廠區外低。下層土壤水份含量大部份比上層低，此乃土壤滲水性較低所致。當以距反應爐預定地不同距離土壤水分含量作統計分析時，廠區外土壤水分含量比廠區內高且差異性顯著。第四核能發電廠預定地及其周圍土壤水分含量與第一核能發電廠及其周圍土壤水分含量 (介於 19.71 ~ 60.67 %)、第二核能發電廠及其周圍土壤水分含量 (介於 6.66 ~ 47.78 %) 及協和火力發電廠及其周圍土壤水分含量 (介於 8.08 ~ 33.49 %) 相近，而比第三核能發電廠及其周圍土壤水分含量高 (介於 8.77 ~ 22.88 %) (楊等，

1998b, 1999a, b, 2000)。土壤水分含量高低對土壤微生物含量及分布影響甚大 (Ohtonen 和 Hakkola, 1991)，對細菌之影響比真菌更明顯 (Schnurer 等, 1986)。

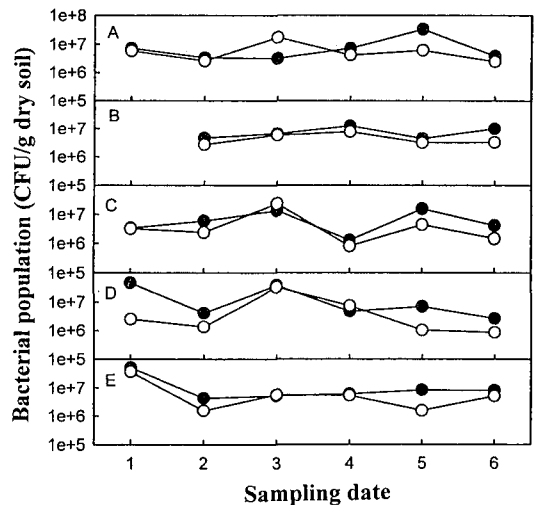
二、細菌數目之變化

第四核能發電廠預定地及其附近土壤細菌含量之季節性變化如圖三所示，預定地廠區內每克上層土壤含細菌 $3.18 \times 10^5 - 1.35 \times 10^7$ CFU，下層土壤 $1.47 \times 10^6 - 7.23 \times 10^7$ CFU；而廠區外每克上層土壤含細菌 $2.65 \times 10^6 - 5.21 \times 10^7$ CFU，下層土壤 $8.66 \times 10^5 - 3.69 \times 10^7$ CFU。上層土壤一般比下層土壤所含細菌數目高，經統計分析發現預定地上下層土壤細菌含量有差異性顯著者為 56.67 % (預定地廠區內為 55.56 %，而



圖二、第四核能發電廠預定地附近土壤水分含量之變化

Fig. 2. Soil moisture content at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4 and its surrounding areas. Sampling dates and symbols were same as described in Fig. 1.



圖三、第四核能發電廠預定地附近土壤細菌含量之變化

Fig. 3. Soil bacterial population at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4 and its surrounding areas. Sampling dates and symbols were same as described in Fig. 1.

廠區外為 58.33 %)，廠區內外土壤細菌數目含量相近。塔塔加高山草原土壤，深 21 ~ 40 cm 之 2A 和 2A1 層土壤細菌含量只有深 0 ~ 20 cm 之 O 和 1A 層土壤細菌含量之 15 ~ 40 % (楊等, 1998b)。此種差異性可能因土壤質地黏重，影響有機物、菌體和氧氣移動和擴散有關。塔塔加高山雲杉林和鐵杉林土壤，由於有機質層厚，養分、菌體和氧氣之移動和擴散較容易，因而部分下層土壤細菌含量反而比上層土壤高 (楊等, 1998b)，第四核能發電廠預定地廠區內土壤因建廠翻動，部分下層土壤其細菌含量反而較高。Stockfisch 等 (1995) 也指出在樺樹森林土壤中，土壤微生物活性在表層下數公分最強，微生物生質量、ATP 含量和呼吸作用皆隨著剖面深度之增加而減少。Berg 等 (1998) 稱松樹森林土壤中細菌含量在上方 L 層和 F 層比下方 H 層含量高。至於預定地廠區內外細菌數目經統計分析發現在兩年 7 次採樣中，有 3 次廠區外土壤細菌含量比預定地廠區內土壤細菌高，另有 2 次反是 (表二)。

三、放線菌數目之變化

放線菌具有多種酵素，可以利用多種

複雜物質為碳源及能源，在土壤養分循環及生態上佔極重要的地位 (Alexander, 1977)。預定地廠區內每克乾重上層土壤含放線菌 $5.06 \times 10^3 - 4.55 \times 10^5$ CFU，下層土壤含 $2.32 \times 10^3 - 3.87 \times 10^5$ CFU。廠區外每克乾重上層土壤含放線菌 $5.42 \times 10^3 - 2.45 \times 10^5$ CFU，下層土壤含 $1.32 \times 10^3 - 7.61 \times 10^4$ CFU。預定地廠區內外土壤放線菌數目經統計分析如表三所示。在 7 次採樣中，有 2 次廠區外土壤放線菌含量比預定地廠區內土壤高，但亦有 4 次反是。可見第四核能發電廠預定地廠區內外放線菌含量差異性不明顯。第一核能、第二核能及協和火力發電廠廠區內土壤放線菌數目比廠區外高 (楊等, 1998b, 1999a, b)，而第三核能發電廠其土壤 pH 值為中性至微鹼性，土壤放線菌數目廠區內外差異性不明顯 (楊等, 2000)。在季節性變化方面，在春、秋兩季其菌數較高。

雖然上層土壤放線菌數目通常比下層土壤高，在 7 次採樣中上下層土壤放線菌數目經統計分析發現其間之差異性並不明顯。只在距反應爐預定地 2.0 km 之二省道 105 ~ 106 km 小路山坡有 4 次樣品其上下

表二、第四核能發電廠預定地距預定反應爐不同距離土壤細菌含量及其差異性比較

Table 2. Bacterial population and its statistical analysis at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4

Distance (km)	Sampling date						
	1	2	3	4	5	6	7
	-----x 10 ⁶ CFU/g soil-----						
0.1	6.54 ^c	3.00 ^a	10.34 ^c	2.66 ^c	5.69 ^b	19.80 ^a	3.17 ^b
1.0	--	3.54 ^a	6.13 ^c	0.87 ^d	10.24 ^a	3.83 ^b	6.65 ^a
2.0	3.30 ^c	4.15 ^a	18.40 ^b	11.70 ^b	1.05 ^c	9.93 ^b	2.80 ^b
5.0	24.28 ^b	2.74 ^a	34.90 ^a	15.10 ^a	6.07 ^b	4.02 ^b	1.76 ^b
10.0	44.50 ^a	2.74 ^a	5.45 ^c	2.26 ^c	5.77 ^b	4.98 ^b	6.59 ^a

* Means (n=6) in the same column that did not share the same alphabetic superscripts were significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test. -: Non available. Sampling dates were described in Fig. 1.

表三、第四核能發電廠預定地距預定反應爐不同距離放線菌含量及其差異性比較

Table 3. Actinomycetes population and its statistical analysis at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4

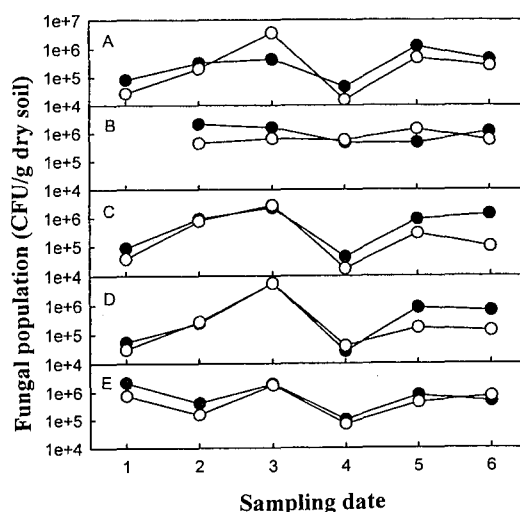
Distance (km)	Sampling date						
	1	2	3	4	5	6	7
	-----x 10 ⁵ CFU/g soil -----						
0.1	0.54 ^a	2.61 ^a	20.23 ^b	27.20 ^a	0.31 ^b	8.63 ^a	3.17 ^b
1.0	--	12.83 ^a	11.20 ^b	19.90 ^a	5.22 ^a	9.51 ^a	6.40 ^{ab}
2.0	0.63 ^a	8.56 ^a	25.25 ^b	4.23 ^c	0.31 ^b	5.92 ^a	9.178 ^a
5.0	0.42 ^a	2.61 ^a	55.80 ^a	9.34 ^b	0.33 ^b	5.07 ^a	3.48 ^{ab}
10.0	14.53 ^a	2.84 ^a	18.40 ^b	13.51 ^b	0.87 ^b	6.01 ^a	5.42 ^{ab}

* Means (n=6) in the same column that did not share the same alphabetic superscripts were significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test. -: Non available. Sampling dates were described in Fig. 1.

層土壤放線菌含量差異性顯著，其他則否。預定地廠區內外上下層土壤放線菌含量呈差異性顯著者只佔24.13%，與第一核能、第二核能及協和火力發電廠上下層土壤放線菌含量之差異性相近（楊等，1998b，1999a，b），而比第三核能發電廠其上下層土壤放線菌含量之差異性高（楊等，2000）。塔塔加高山草原土壤在21～40 cm深之2A和2A1層，其放線菌含量只有0～20 cm深之O和1A層土壤之2.1～17.4%（楊等，1998a）。可見下層土壤放線菌比上層土壤低，可能與土壤有機物含量、氧氣通透性及菌絲體移動有關。

四、真菌數目之變化

第四核能發電廠預定地及其周圍土壤真菌含量之季節性變化如圖四所示，預定地廠區內每克乾重上層土壤含真菌 $2.28 \times 10^4 - 2.37 \times 10^6$ CFU，下層土壤含 $8.12 \times 10^3 - 3.70 \times 10^6$ CFU；廠區外每克乾重上層土壤含真菌 $1.97 \times 10^4 - 5.70 \times 10^6$ CFU，下層土壤含 $2.94 \times 10^4 - 8.68 \times 10^5$ CFU。預定地廠區內外土壤真菌數目經統計分析時發現，在7次採樣中有2次樣品其預定地廠區外土壤真菌數目較廠區內高但其差異



圖四、第四核能發電廠預定地附近土壤真菌含量之變化

Fig. 4. Soil fungal population at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4 and its surrounding areas. Sampling dates and symbols were same as described in Fig. 1.

性不顯著，但也有3次反是，其差異性亦不顯著。可見預定地廠區內土壤真菌含量雖比廠區外土壤略為高些，但差異性不顯

著。第一核能、第二核能和協和火力發電廠廠區內外土壤真菌數之差異性比第三核能發電廠高(楊等, 1998b, 1999a, b, 2000)。而第四核能發電廠預定地廠區內外土壤真菌含量之變化並不規則, 距反應爐預定地 0.1 km、1.0 km、2.0 km 和 10.0 km 處, 在 7 次採樣中其真菌含量最高者分別有 1 次、1 次、3 次和 1 次。雖然上層土壤真菌含量一般比下層土壤高, 在 35 個樣品中經統計分析發現, 其差異性顯著者佔 56.67 %。比第三核能發電廠上下層土壤真菌之差異性高, 而與第一核能、第二核能和協和火力發電廠上下層土壤真菌之差異性相近(楊等, 1998b; 1999a, b, 2000)。塔塔加高山草原土壤, 深 21 ~ 40 cm 土壤之真菌含量只有深 0 ~ 20 cm 土壤之 0.6 ~ 2.1 % (楊等, 1998a)。荷蘭 Wekerom 森林土壤真菌菌絲體含量隨土壤深度而顯著減少(Berg, 1998), Douglas 酸性森林土壤中之硝化菌含量, 亦隨土壤深度之增加而漸減(de Boer 等, 1992)。

五、纖維素分解菌含量

由於核能發電廠所在地及其周圍大部分土地為林地, 地上含有落葉、枯枝等富含纖維素物質, 因而探討第四核能發電廠預定地及其周圍土壤中纖維素分解菌之含量及佔總菌數之比例, 其結果如表四所示。五個採樣點其土壤樣品中所含纖維素分解菌在預定地廠區內每克上層土壤介於 $1.27 \times 10^5 - 1.10 \times 10^6$ CFU, 下層土壤為 $1.94 - 7.36 \times 10^5$ CFU。廠區外每克上層土壤含纖維素分解菌介於 $4.51 - 6.20 \times 10^5$ CFU, 下層土壤 $3.97 - 8.68 \times 10^5$ CFU, 彼此差異不大。纖維素分解菌佔總菌數之比例, 在預定地廠區內上層土壤為 3.44 ~ 26.51 %, 下層土壤為 3.55 ~ 37.87 %。廠區外上層土壤為 7.56 ~ 13.19 %, 下層土壤為 7.39 ~ 11.67 %。經統計分析其纖維素分

解菌含量佔總菌數百分比之差異性如表五所示。預定地廠區內 2.0 km 及廠區外 5.0 km 處纖維素分解菌平均含量佔總菌數之比例較其他樣品點高, 且差異性顯著。此與第一核能、第二核能和協和火力發電廠, 其廠區外纖維素分解菌含量及其所佔總菌數之比例較廠區內高且差異性顯著之結果相同(楊等, 1998b; 1999a, b), 而與第三核能發電廠不同(楊等, 2000)。塔塔加高山雲杉林和鐵杉林土壤, 因其上覆蓋落葉及枯枝等有機質, 故所含纖維素分解菌佔總菌數之比例高達 70 ~ 91 %, 而草原區土壤則只有 11 ~ 25 % (楊等, 1998a)。

由於上下層土壤所含纖維素分解菌數目與土壤有機質含量關係密切。上層土壤所含纖維素分解菌之數目及比例大部分高於下層土壤。經統計分析結果發現第四核能發電廠預定地廠區內外土壤, 其纖維素分解菌佔總菌數之比例, 上下層差異性顯著者為 20 %。與第一核能、第二核能和協和火力發電廠, 部分土壤上下層纖維素分解菌佔總菌數之比例呈差異性顯著相近(楊等, 1998b; 1999a, b)。塔塔加高山雲杉林土壤及鐵杉林土壤, 因土壤較疏鬆, 故上下層土壤中所含纖維素分解菌佔總菌數之比例, 其差異性不顯著; 而草原區土壤較黏重, 故上下層土壤中所含纖維素分解菌佔總菌數之比例, 其差異性較明顯(楊等, 1998a)。

六、溶磷菌族群變化

由於林地之肥力全來自樹林落葉、土壤母質和大氣沉降物。第四核能發電廠預定地及其周圍土壤中溶磷菌含量及佔總菌數之比例如表四所示。預定地廠區內上層土壤每克含溶磷菌 $1.47 \times 10^5 - 1.65 \times 10^6$ CFU, 下層土壤含 $7.54 \times 10^4 - 1.41 \times 10^6$ CFU。廠區外上層土壤每克含溶磷菌 $1.97 - 9.84 \times 10^5$ CFU, 下層土壤含 $4.48 - 7.19$

表四、第四核能發電廠預定地及其周圍土壤微生物含量及其佔總菌數百分比

Table 4. Microbial populations and percentage of test organisms in the reserved site of nuclear power plant No. 4 and its surrounding areas

Soil depth	Distance(km)				
	0.1	1.0	2.0	5.0	10.0
(1) Total viable count (CFU/g soil)					
Topsoil	5.24 x 10 ⁶	1.16 x 10 ⁷	1.11 x 10 ⁶	4.37 x 10 ⁶	4.66 x 10 ⁶ -
(0-20 cm)	9.04 x 10 ⁶ (7.18 x 10 ⁶)*	1.43 x 10 ⁷ (1.27 x 10 ⁷)	1.54 x 10 ⁶ (1.29 x 10 ⁶)	5.36 x 10 ⁶ (4.70 x 10 ⁶)	8.11 x 10 ⁶ (6.16 x 10 ⁶)
Subsoil	3.76 x 10 ⁶	6.21 x 10 ⁶	5.68 x 10 ⁵	5.46 x 10 ⁶	3.72 x 10 ⁶
(21-40 cm)	4.94 x 10 ⁶ (4.19 x 10 ⁶)*	9.09 x 10 ⁶ (7.78 x 10 ⁶)	1.15 x 10 ⁶ (8.16 x 10 ⁵)	9.73 x 10 ⁶ (7.44 x 10 ⁶)	6.20 x 10 ⁶ (5.37 x 10 ⁶)
(2) Cellulolytic microbe (CFU/g soil)					
Topsoil	3.45 x 10 ⁵	4.37 x 10 ⁵	1.27 x 10 ⁵	4.51 x 10 ⁵	4.66 x 10 ⁵
(0-20 cm)	5.71 x 10 ⁵ (4.28 x 10 ⁵)*	1.10 x 10 ⁶ (8.03 x 10 ⁵)	3.42 x 10 ⁵ (2.70 x 10 ⁵)	6.20 x 10 ⁵ (5.54 x 10 ⁵)	4.79 x 10 ⁵ (4.70 x 10 ⁵)
Subsoil	1.94 x 10 ⁵	2.76 x 10 ⁵	2.25 x 10 ⁵	7.70 x 10 ⁵	3.97 x 10 ⁵
(21-40 cm)	2.65 x 10 ⁵ (2.41 x 10 ⁵)*	7.36 x 10 ⁵ (5.02 x 10 ⁵)	3.09 x 10 ⁵ (2.68 x 10 ⁵)	8.68 x 10 ⁵ (8.31 x 10 ⁵)	5.08 x 10 ⁵ (4.46 x 10 ⁵)
(3) Ratio of cellulolytic microbe to total viable count (%)					
Topsoil	4.81-7.95	3.44-8.66	9.84-26.51	9.60-13.19	7.56-7.78
(0-20 cm)	(5.96)*	(6.32)	(20.93)	(11.79)	(7.63)
Subsoil	4.63-6.32	3.55-9.46	27.57-37.87	10.35-11.67	7.39-9.46
(21-40 cm)	(5.75)*	(6.45)	(32.84)	(11.17)	(8.31)
(4) Phosphate-solubilizing microbe (CFU/g soil)					
Topsoil	1.04 x 10 ⁶ -	1.06 x 10 ⁶	1.47 x 10 ⁵	1.97 x 10 ⁵	7.45 x 10 ⁵
(0-20 cm)	1.48 x 10 ⁶ (1.29 x 10 ⁶)*	1.65 x 10 ⁶ (1.40 x 10 ⁶)	1.70 x 10 ⁵ (1.56 x 10 ⁵)	9.02 x 10 ⁵ (5.73 x 10 ⁵)	9.84 x 10 ⁵ (8.33 x 10 ⁵)
Subsoil	5.17 x 10 ⁵	1.18 x 10 ⁶	7.54 x 10 ⁴	4.48 x 10 ⁵	5.21 x 10 ⁵
(21-40 cm)	6.23 x 10 ⁵ (5.64 x 10 ⁵)*	1.41 x 10 ⁶ (1.29 x 10 ⁶)	1.33 x 10 ⁵ (6.90 x 10 ⁵)	6.72 x 10 ⁵ (5.27 x 10 ⁵)	7.19 x 10 ⁵ (5.91 x 10 ⁵)
(5) Ratio of phosphate-solubilizing microbe to total viable count (%)					
Topsoil	14.48-20.61	8.35-12.99	11.40-13.18	4.19-19.19	12.09-15.97
(0-20 cm)	(17.97)*	(11.02)	(12.09)	(12.19)	(13.52)
Subsoil	12.34-14.87	15.17-18.12	9.24-16.30	6.02-9.03	9.70-13.39
(21-40 cm)	(13.46)*	(16.58)	(12.75)	(7.08)	(11.01)
(6) Nitrogen-fixing microbe (CFU/g soil)					
Topsoil	1.59 x 10 ⁶ -	1.89 x 10 ⁶ -	3.14 x 10 ⁵	1.31 x 10 ⁶ -	1.24 x 10 ⁶
(0-20 cm)	2.52 x 10 ⁶ (2.01 x 10 ⁶)*	2.90 x 10 ⁶ (2.30 x 10 ⁶)	3.95 x 10 ⁵ (3.63 x 10 ⁵)	1.78 x 10 ⁶ (1.57 x 10 ⁶)	1.78 x 10 ⁶ (1.49 x 10 ⁶)
Subsoil	1.09 x 10 ⁶	1.29 x 10 ⁵	2.77 x 10 ⁵	1.47 x 10 ⁶	1.54 x 10 ⁶
(21-40 cm)	1.28 x 10 ⁶ (1.18 x 10 ⁶)*	1.39 x 10 ⁶ (1.34 x 10 ⁶)	3.41 x 10 ⁵ (3.05 x 10 ⁵)	2.31 x 10 ⁶ (2.02 x 10 ⁶)	2.06 x 10 ⁶ (1.84 x 10 ⁶)
(7) Ratio of nitrogen-fixing microbe to total viable count (%)					
Topsoil	22.14-35.10	14.88-22.83	24.34-30.62	27.87-37.78	20.13-28.90
(0-20 cm)	(28.00)*	(18.11)	(28.14)	(33.40)	(24.19)
Subsoil	26.01-30.55	16.58-17.87	33.95-41.79	19.76-31.18	28.68-38.36
(21-40 cm)	(28.16)*	(17.22)	(37.38)	(27.15)	(34.26)

* Means of triplicates.

表五、第四核能發電廠預定地及其周圍土壤微生物含量佔總菌數百分比之差異統計分析*

Table 5. Percentage of test organisms and statistical analysis at different distances from the reserved site of nuclear reactor in nuclear power plant No. 4

Distance (km)	Cellulolytic microbe	Phosphate-solubilizing microbe	Nitrogen-fixing microbe
0.1	5.86 ^c	15.72 ^a	28.08 ^a
1.0	6.39 ^c	13.80 ^a	17.67 ^b
2.0	26.89 ^a	12.42 ^a	32.76 ^a
5.0	11.48 ^b	9.64 ^b	30.28 ^a
10.0	7.97 ^c	12.27 ^a	29.22 ^a

* Means (n = 6) in the same column that did not share the same alphabetic superscript were significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test. Sampling date was November 17, 1998.

$\times 10^5$ CFU。至於溶磷菌含量佔總菌數之百分比，預定地廠區內上層土壤介於 8.35 ~ 20.61 %，下層土壤為 9.24 ~ 18.12 %。廠區外上層土壤介於 4.19 ~ 19.19 %，下層土壤為 6.02 ~ 13.39 %。經統計分析，平均溶磷菌其佔總菌數之比例，只有距反應爐預定地 5.0 km 處較低外，其他樣品點廠區內外差異性不顯著 (表五)。此與第一核能、第二核能和協和火力發電廠之結果不同 (楊等，1998b；1999a, b)。塔塔加高山森林土壤及草原土壤溶磷菌佔總菌數之比例，分別只有 7.24 ~ 16.80 % 和 1.88 ~ 5.67 % (楊等，1998a)，比第四核能發電廠預定地及其周圍土壤為低。

上層土壤所含之溶磷菌及其佔總菌數之比例皆比下層土壤高，經統計分析結果發現，彼此間只有 20 % 呈差異性顯著。而第一核能發電廠只在距離反應爐 10.0 km 處，第二核能發電廠在距反應爐 1.0 km、5.0 km 和 10.0 km 處和協和火力發電廠距煙囪 0.1 km、1.0 km 和 2.0 km 處，其上下層土壤溶磷菌含量及佔總菌數之比例呈差異性顯著 (楊等，1998b；1999a, b)。塔塔加高山雲杉林土壤及草原土壤，其上層土壤之溶磷菌含量及佔總菌數之比例，亦比

下層土壤高 (楊等，1998a)。

七、固氮菌族群變化

林地之氮素來源有大氣沉降物、落葉分解及固定大氣中氮素。第四核能發電廠預定地及其周圍土壤固氮菌之含量及佔總菌數之比例如表四所示。預定地廠區內上層土壤每克含固氮菌 $3.14 \times 10^5 - 2.90 \times 10^6$ CFU，下層土壤為 $1.29 \times 10^5 - 1.39 \times 10^6$ CFU。廠區外上層土壤每克含固氮菌 $1.24 - 1.78 \times 10^6$ CFU，下層土壤含 $1.47 - 2.31 \times 10^6$ CFU。預定地廠區內上層土壤固氮菌佔總菌數之 14.88 ~ 35.10 %，下層土壤為 16.58 ~ 41.79 %。廠區外上層土壤固氮菌佔總菌數之 20.13 ~ 37.78 %，下層土壤為 19.76 ~ 38.36 %。每克土壤平均固氮菌含量佔總菌數之比例經統計分析，只在距反應爐 1.0 km 處較低外，其他預定地廠區內外土壤固氮菌含量佔總菌數之百分比，其差異性都未顯著 (表五)。而與第一核能及協和火力發電廠其廠區外土壤固氮菌含量及佔總菌數之比例較廠區內高且其差異性顯著不同 (楊等，1999a, b)，而與第二核能及第三核能發電廠相似，差異性皆不顯著 (楊等，1998b，2000)。塔塔加高山森林土壤固氮菌佔總菌數之比例介於 10.56 ~

27.30%，草原土壤僅為2.83～7.26%，比第三核能發電廠及第四核能發電廠預定地低(楊等，1998a，2000)。

至於上下層土壤所含固氮菌含量佔總菌數之比例，經統計分析發現上下層土壤固氮菌含量佔總菌數之比例，差異性並不顯著。此結果與第一核能和第二核能發電廠之結果不同(楊等，1998b，1999a)，而與協和火力發電廠及第三核能發電廠之結果相似(楊等，1999b，2000)。塔塔加高山森林土壤和草原土壤，其上層土壤固氮菌含量和佔總菌數比例，皆比下層土壤高(楊等，1998a)。

結 論

第四核能發電廠預定地及其周圍土壤微生物生態受土壤使用、土壤管理、土壤母質和環境因子等因素影響。預定地廠區內外土壤pH值及微生物生態等差異性皆不顯著。在設廠前雖然部分廠區內土壤微生物含量比預定地廠區外略高，但差異性不顯著，這些資訊可以提供核能發電廠未來運轉時之背景資料。

致 謝

本研究承開發電源基金會管理委員會許主委文富教授、黃執秘仁勇先生、台灣電力公司第四核能發電廠預定地龍門施工處前主任黃顯男先生、主任林居萬先生、副主任劉富雄先生、股長張長滉先生、湯清宗先生，台灣電力公司環保處、核發處、發電處、公服處，開發電源基金會管理委員會黃康明組長、洪金榜組長、楊慶仁先生等提供資料及採樣工作上之協助。國立台灣大學農藝學系彭雲明教授協助統計分析，農業化學系應用微生物研究室陳

威希博士、Ullas Hegde 博士、孫瓏月小姐、許書欽先生、陳顥竹先生、洪維鍊先生等協助取樣，及開發電源基金管理委員會經費補助，使得本研究得以順利完成，僅致謝忱。

參考文獻

- 王塗發。1997。台灣需要什麼樣的能源政策。能源開發與利用，pp.33-48。林鴻淇、楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
- 自由時報。1999。日嚴重核外洩10公里內警戒。民國88年10月1日，第一版，台北。
- 行政院主計處。1997。能源統計資料。行政院主計處。台北。
- 行政院經濟部。1999。發電量統計資料。行政院經濟部。台北。
- 足立人。1931a。臺灣土壤之微生物研究。第一報。熱帶農學會誌，3:130-203。
- 足立人。1931b。赭土之微生物學的性質。熱帶農學會誌，3:274-314。
- 足立人。1933a。看天田之微生物學的性質，一般概念及根瘤菌接種。熱帶農學會誌，5:107-121。
- 足立人。1933b。鹼性土壤之微生物學性質。熱帶農學會誌，5:15-26。
- 徐谷。1998。電源開發與二氧化碳排放。溫室效應與能源開發，pp.33-39。
- 林鴻淇、楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
- 孫岩章。1992。植物表面燃油火力發電廠黑煙微粒之顯微鏡鑑定與X光微量分析。植物病理學會刊，1:96-202。
- 陳武揚。1996。植物葉表沉降性微粒之鑑定及植物對微粒之淨化作用。碩士論文，國立台灣大學植物病理研究所，台北。

- 楊盛行、賴朝明、孫瓏月、羅陽青、范曉雲、楊鈞凱、魏嘉碧。1998a。塔塔加高山土壤微生物生態。中國農業化學會誌，36: 229-238。
- 楊盛行、孫瓏月、楊鈞凱、魏嘉碧、黃仁勇、許文富。1998b。第二核能發電廠及其周圍微生物族群探討。中華民國環境保護學會會誌，21:144-158。
- 楊盛行、孫瓏月、楊鈞凱、魏嘉碧、黃仁勇、許文富。1999a。第一核能發電廠及其周圍土壤微生物生態之探討。中華農學會誌，188: 20-31。
- 楊盛行、張義宏、楊鈞凱、魏嘉碧。1999b。協和火力發電廠及其周圍微生物生態。微生物免疫及感染雜誌，32: (印刷中)。
- 楊盛行、林依晴、楊鈞凱、張義宏、魏嘉碧。2000。第三核能發電廠及其周圍土壤微生物生態。中國農業化學會誌，38: (印刷中)。
- 鄭先佑。1997。核能利用的問題:質與量的考量。能源開發與利用，pp.49-61。林鴻淇、楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
- Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology*, 2nd ed., pp.16-72. John Wiley & Sons, New York.
- Berg, M. P., J. P. Kniese and H. A. Verhoef. 1998. Dynamic and stratification of bacteria and fungi the organic layers of a Scots pine forest soil. *Biol. Fertil. Soils*, 26:313-322.
- de Boer, W., A. Tietema, P. J. A. Klein and H. J. Loanbrock. 1992. The chemoautotrophic ammonium-oxidizing community in a nitrogen-saturated acid forest soil in relation to pH-dependent nitrifying activity. *Soil Biol. Biochem.*, 24:229-234.
- Dutka, B. J. and G. Bitton. 1986a. *Toxicity Testing Using Microorganisms*. Vol. 1. pp.163. CRC Press. Inc., Florida.
- Dutka, B. J. and G. Bitton. 1986b. *Toxicity Testing Using Microorganisms*. Vol. 2. pp. 202, CRC Press. Inc., Florida.
- Krieg, N. R. and J. Dobereiner. 1984. Genus *Azospirillum*. In: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 1: 94-104. Ed. by N. R. Krieg, Willims and Wilkins, Baltimore, USA.
- Mandels, M., J. E. Mrdeiros, R. E. Andreotti and H. Bisset. 1981. Evaluation of cellulase culture filtrates under use conditions. *Biotechnol. Bioeng.*, 23:2009-2026.
- Ohtonen, R. and A.M. Hakkola. 1991. Biological activity and amount of FDA mycelium in humus of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in relation to soil properties and degree of pollution. *Biogeochemistry*. 13:1-26.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03, SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Sayigh, A.A.M. 1998. *Renewable energy: Energy efficiency, policy and the environment, Part I-IV*. Elsevier Science Ltd, Oxford.
- Schnurer, J., M. Charholm, S. Bastrom and Y. Rosswell. 1986. Effects of moisture on soil microorganisms and nematodes. A field experiment. *Microbiol. Ecol.*, 12:217-230.
- Stockfisch, N., R.G. Joergensen, V. Wolters, T. Klein and U. Eberhardt. 1995. Examination of microbial biomass in beech forest model profiles. *Biol. Fertil Soils*, 19:209-214.
- Young, C. C. 1990. Effects of phosphorous-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 36:225-231.