

台灣地區自來水水源梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲 存在性之研究

許昺慕¹ 黃志彬²

摘 要

梨形鞭毛蟲(*Giardia*)及隱孢子蟲(*Cryptosporidium*)是兩種能引起水媒疾病的寄生性原生動物。本研究針對十一處水廠 48 個原水與清水水樣中的梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲以及相關水質參數進行檢測。檢測結果顯示，在 24 個原水水樣中梨形鞭毛蟲的平均含量為 349.2 cysts/100 L，隱孢子蟲的平均含量為 685.0 oocysts/100 L。至於 24 個清水水樣中梨形鞭毛蟲的平均含量為 36.1 cysts/100 L，隱孢子蟲的平均含量為 73.3 oocysts/100 L。而在原蟲與其它水質參數的相關性分析中亦發現，梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲在原水中的存在情形具相關性，另外濁度與二類原蟲以及梨形鞭毛蟲含量與總菌落數亦具有相關性。而在風險評估中我們也發現，台灣的飲用水並不適合生飲。為了降低梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的感染風險，水源保護以及水廠淨水能力之提升同等重要。各種淨水程序之原蟲去除效能評估以及對各程序之操作方法提出建議，以期有效提升飲用水品質，亦為本研究之目的。

一、前 言

梨形鞭毛蟲(*Giardia*)及隱孢子蟲(*Cryptosporidium*)已被證實廣泛存在於水體中，而且會寄生在宿主的腸道系統⁽¹⁾。近十年來全球已爆發多起梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的大型感染案例⁽²⁻⁴⁾，而台灣之花東地區亦有相關之感染案例⁽⁵⁾。供水系統受此類原蟲污染乃是爆發梨形鞭毛蟲症與隱孢子蟲症流行的主要原因⁽⁶⁻⁸⁾。因此，對飲用水體進行梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的檢測，並由水廠在處理技術上提出對策，乃是防止該類原蟲疾病爆發流行的最佳方法。目前常用來檢測水樣中梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲的分析方法乃列於美國資訊蒐集法則(ICR)中⁽⁹⁾，其採樣、分離與檢測方法為濾管過濾法、Percoll-Sucrose 梯度澄清法以及免疫螢光抗體技術。本研究的主要目的乃要對國內十一處水廠的原水及清水進行檢測，以評估這些區域的水體受致病性原生動物污染之情形。本研究亦要比較在水樣中原蟲含量與水質參數間的相關性、計算水廠淨水程序之原蟲與顆粒移除效率以及生飲自來水時此二類原蟲的感染風險。此外，我們亦將提供自來水公司及政府單位相關建議，以便在飲用水受原蟲污染時，能有效降低原蟲感染風險。

¹元培科學技術學院 環境工程與衛生系 助理教授

²交通大學 環境工程研究所 教授

二、研究方法與實驗設備

受測水體經濾管過濾後乃將濾心取出，將濾心由內而外切成三等分，依序放入三個鐵胃袋中並加入流洗液，以鐵胃揉洗。揉洗完畢後收集流洗液，並分別倒入 50 mL 的離心管中。經離心步驟後，將上清液倒掉並加入與沈澱顆粒等體積的 10% 福馬林溶液。在雜質分離步驟，首先加入流洗液使總體積達 20 mL 並將 30 mL 的 Percoll-Sucrose (比重 1.1) 以注射管由溶液的下層注入。離心後，吸取上層 25 mL 的溶液，置於新的離心管中，再加入 25 mL 的流洗液，以 1050×g 的轉速離心 10 分鐘，將上層溶液吸出，剩下的 5 mL 溶液則讓其通過平鋪支撐濾紙及醋酸纖維濾紙的十管過濾器，以免螢光抗體分析法進行染色。最後以螢光顯微鏡 (Olympus, Japan) 進行鏡檢。至於偵測極限的計算方法乃依下列公式所示：

$$X = \frac{100}{V \times F \times R} \quad (1)$$

其中 X 為每 100 L 水樣中原蟲之偵測極限值，V 為過濾水樣體積，F 為流洗液用於梯度澄清步驟的體積比，R 為梯度澄清後之液體以螢光免疫抗體進行檢測的體積比。水樣中梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的含量，乃是由螢光顯微鏡所觀察到的原蟲數量，經回收率與偵測極限值的換算所求得。本研究於檢測水樣中梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲含量之同時也另取水樣並針對濁度、總菌落數、大腸桿菌群、*E. coli*、糞便大腸菌、糞便鏈球菌等水質參數作分析，以測定水源中致病性原生動物之存在與上述之水質參數是否有相關性。本計劃中相關性之分析方法是以前 STATISTICA 軟體 (StatSoft, Inc., USA) 中無母數相關性分析法—Spearman R 進行計算。

原蟲致病風險中的飲用劑量乃決定於清水中原蟲的濃度、偵測方法的回收率、原蟲的存活率以及每天飲用未煮過的自來水之體積。我們每天飲用的原蟲量可以公式 2 表示：

$$N = C \times I / R \times I \times V \quad (2)$$

其中 C 為清水中可偵測出之原蟲濃度，R 為偵測方法之回收率，I 為原蟲的存活比例，V 為民眾每天飲用未煮過自來水之飲水量。而指數風險評估模式 (公式 3) 已被成功的用來評估梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲的感染風險。

$$P = 1 - \exp(-rN) \quad (3)$$

在此公式中 r 為一個常數，梨形鞭毛蟲的 r 值乃設定為 0.0105，隱孢子蟲則為 0.00419。P 為每天潛在的飲用風險，N 為每人每天的飲水中所含梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲的劑量。本計劃中我們將計算每人每天飲用兩公升自來水時之感染風險。至於每年的感染風險則以公式 4 來進行換算：

$$P_A = 1 - (1 - P)^{365} \quad (4)$$

式中的 P_A 值為每年的感染風險，P 值則為每天的感染風險。由上列三式即

可推算出梨形鞭毛蟲和隱孢子蟲每年的感染風險值。

三、研究結果與討論

本研究中原水與清水各採樣點之名稱、採樣日期、致病性原生動物的含量、濁度、pH、導電度、與微生物指標等水質參數之檢測結果乃列於表1與表2。根據上述之數據統計後發現，79.2%的原水水樣中含有梨形鞭毛蟲，62.5%含有隱孢子蟲。梨形鞭毛蟲於原水中的平均含量為349.2 cysts/100L，範圍為<6.2至3,461.5 cysts/100L，隱孢子蟲於原水中的含量為685.0 oocysts/100L，範圍為<11.4至5,578 oocysts/100L。原水中隱孢子蟲含量約為梨形鞭毛蟲含量的1.96倍。而清水水樣中則70.8%含梨形鞭毛蟲，45.8%含隱孢子蟲。

表3乃對十一處水廠的原水中致病性微生物之存在情形與各水質參數之間的相關性作一整理。由表3得知，不但梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲在原水中的含量具相關性而且此二類原蟲在原水中的含量與濁度亦皆具相關性。在指標微生物部份，則僅有梨形鞭毛蟲含量與總菌落數之相關性較佳，其餘的水質指標則與原蟲含量不具相關性。

在本研究中，水廠原水平均濁度為31.4 NTU，清水平均濁度為0.92 NTU。表4乃對十一處淨水場中梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲及濁度的物理去除百分率作整理，由表4可得知水廠淨水程序對濁度的去除率為 $85.3 \pm 27.1\%$ ($n = 11$)、梨形鞭毛蟲的去除率為 $87.2 \pm 7.8\%$ ($n = 10$)、隱孢子蟲的去除率為 $85.9 \pm 17.9\%$ ($n = 9$)。

本研究進行梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲風險度之統計時，假設台灣水廠的消毒程序之CT值，能使99.9%的梨形鞭毛蟲及99%的隱孢子蟲失活。根據梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲之指數風險評估模式所求得之水廠飲用水中梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的感染風險度乃列於表5，而此十一處水廠的梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲平均感染風險度分別為 2.9×10^{-3} /每年及 1.9×10^{-2} /每年。而此梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的風險度比美國表面水處理法則中之規定——飲用水之風險度需低於 10^{-4} /每年，高出甚多。

四、去除原生動物的水廠操作建議

台灣地區水廠之原蟲與濁度的平均去除率約為85.3%至87.2%，因此以多層阻絕的方式確保原蟲及濁度顆粒不會進入清水中，即顯得格外重要。提升清水水質的方法包括水源區的保護，及混凝、膠凝、沈澱、過濾等淨水程序達到最佳操作化之要求。目前台灣的飲用水濁度標準即將於2000年底由4 NTU降為2 NTU，雖然這樣的濁度要求尚未達到安全飲用水的要求，但這畢竟已經是一個開始。為達成這項要求，各水廠必須評估目前操作上之缺失以求改進。若各水廠都能達到新的清水濁度標準，對於降低原蟲的感染風險將非常有幫助。除了濁度的問題之外，以下提出幾點水廠面之對水中致病性原生動物存在時之因應對策：

1. 訂立整體水處理設備之顆粒去除策略，以達成保護公共飲用水的目標

可將水廠的各種操作狀況之臨界控制點繪製成圖表，以便能確實有效的去除特殊物質。

2.根據水廠的整廠處理流程分析原蟲孢子去除的主要單元

根據現有的各項水處理設備對照文獻中的各項操作參考值，提供給操作者作為指導手冊。於淨水操作中較需注意的是避免處理之水量產生太大的變化，而且水頭的變化要盡量減少。淨水場中對原蟲孢子去除的最佳操作法即是以淨水設備對顆粒物質能達最大去除效率為目標。

3.混凝對原蟲孢子的去除機制及其重要性

添加何種帶電性高分子聚合物之助凝劑，乃取決於各水廠的水質特性，這些助凝劑可能在反沖洗剛結束後添加，有時也會在尚未處理的原水中添加，此時對新濾床之過濾效果的提昇特別有用。文獻中，原蟲孢子的表面電荷是否真的對去除效率有幫助也尚有爭議，但可確定的是，在原蟲孢子形成微細膠羽的過程中，這些表面電荷反而有助於其膠羽的形成。

4.過濾操作

要使過濾系統的濾速及濾料維持在最佳狀態，首先需防止濾速的快速改變，尤其需使水流產生之剪應力的衝擊降到最低。突發的濾速改變，將增加原蟲孢子突破濾層的風險。濾池在剛開始進水時，水量必須要由小至大慢慢遞增，以減少剪應力。假如水廠有多個濾床，需在濾池反沖洗時小心控制水量，使其他操作中的濾池水力波動不會太大。

當濾層剛反沖洗完畢時，是顆粒最易穿透過濾層的時候，某些濾池因反沖洗停止進水時，其他操作中的濾池入流量而波動過大亦會發生顆粒貫穿的情形。若能在原水進入濾層前先將顆粒沈澱去除，即能降低原蟲孢子穿透過濾層的風險，而這也是混凝與沈澱的最大功用。對於通過剛清洗完畢之濾池的過濾水，也可藉由將過濾水迴流至過濾池或將濾池串連，來降低原蟲孢子穿透過濾層的機會。另外，將通過成熟期濾池之過濾水排掉，或在濾池加裝流量控制裝置，使剛反沖洗過的濾床以較小流量開始操作，也是一個好方法。

五、結 論

本研究發現，台灣水廠之原水與清水中梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲的含量比預期要多，在原水水樣中梨形鞭毛蟲的平均含量為 349.2 cysts/100 L，隱孢子蟲的平均含量為 685.0 oocysts/100 L。在清水樣中，梨形鞭毛蟲的平均含量為 36.1 cysts/100 L，隱孢子蟲的平均含量為 73.3 oocysts/100 L。原水濁度與梨形鞭毛蟲以及隱孢子蟲含量具有相關性，因此濁度可作為此二類原蟲的替代性指標。水廠去除原蟲的能力，將直接影響消費者的感染風險。而原蟲風險度的評估結果顯示，目前台灣地區的自來水尚不適合生飲。

表 1. 十一處水廠原水中原蟲含量與水質參數之檢測結果

水廠名稱	孢囊 (Cysts/100L)	卵孢囊 (Oocysts/100L)	總菌落數 (CFU/ml)	大腸桿菌群 (CFU/100ml)	E. coli (CFU/100ml)	糞便大腸菌 (CFU/100ml)	腸球菌 (CFU/100ml)	PH	水溫 (°C)	導電度 (μS)	濁度 (NTU)	採樣日期
L. D.	589.2	138.0	9.9×10 ⁴	—	1.7×10 ⁴	9.5×10 ⁴	1.4×10 ⁴	7.10	21.5	247	320	98/11/19
	3461.5	1084.8	1.7×10 ⁵	1.7×10 ⁵	1.1×10 ⁵	1.3×10 ⁵	2,650	7.10	22.3	211	110	99/04/01
S. S.	6.2	11.4	4.0×10 ³	2.4×10 ³	—	—	—	6.70	22.8	250	1.9	97/10/13
	34.6	<29.1	2.0×10 ³	4.6×10 ⁴	—	780	—	7.84	24.4	132	2.4	98/04/08
P. H.	47.3	51.9	1.3×10 ³	225	—	—	—	7.42	22.0	282	16	97/12/01
	11.5	<38.0	4.4×10 ³	4.9×10 ³	—	102	—	7.40	23.5	243	2.4	98/04/08
H. C.	129.2	<212.7	3.0×10 ³	—	1.6×10 ³	588	80	7.59	21.4	210	41	98/11/19
	604.2	722.8	2.7×10 ⁴	360	150	1.6×10 ³	<1	7.86	23.9	236	9.1	99/04/01
	<31.3	2470.9	729	—	2.0×10 ³	2.2×10 ³	38	7.50	25.4	368	25	98/12/01
D. S.	635.8	1046.8	4.5×10 ⁴	9.0×10 ³	100	1.0×10 ⁴	3.0×10 ²	6.87	22.4	392	39	99/04/13
	<15.4	<50.6	1.0×10 ³	2	—	—	—	6.91	27.5	454	1.7	97/08/15
F. Y.	83.1	78.5	50	93	—	<1	—	7.23	22.2	153	0.7	98/04/07
	<31.5	619.0	1.7×10 ⁴	7.2×10 ³	—	—	—	8.13	20.4	240	7.2	97/12/05
	100.0	93.7	4.5×10 ³	1.4×10 ³	—	215	—	7.72	24.6	203	1.6	98/04/07
	27.3	89.9	5.5×10 ³	1.1×10 ⁴	—	1.1×10 ³	—	7.69	24.4	217	1.6	98/04/07
C. C.	30.0	<98.7	471	—	1.0×10 ³	503	33	7.64	21.8	248	3.3	98/12/01
	311.9	1026.6	1.0×10 ⁴	5.9×10 ³	1.6×10 ³	2.4×10 ³	43	7.86	20.2	231	1.5	99/03/23
	44.6	<146.8	3.7×10 ⁴	—	2.0×10 ³	550	2	7.8	22.4	515	1.5	99/01/07
K. T.	283.5	1554.4	2.5×10 ³	200	1×10 ³	300	14	7.9	28.4	617	51	99/05/05
	970.4	2873.4	1.2×10 ⁵	1.0×10 ⁵	—	3.4×10 ⁴	—	7.24	22.1	644	11	98/01/16
C. S.	<72.3	<238.0	2.3×10 ⁴	6.1×10 ³	1.0×10 ³	5.5×10 ³	38	7.31	24.4	620	1.4	99/01/07
	661.9	<726.6	<5	<1	—	<1	—	7.05	20.5	437	80	98/01/16
P. D.	347.7	4578.5	8.9×10 ³	276	—	31	—	7.30	25.7	845	20	98/01/16
U. G.	<80.8	<265.8	5.8×10 ³	878	—	337	—	7.08	25	890	5.2	98/01/16

表 2. 十一處水廠清水中原蟲含量與水質參數之檢測結果

水廠名稱	孢囊 (Cysts/100L)	卵孢囊 (Oocysts/100L)	總菌落數 (CFU/1mL)	大腸桿菌群 (CFU/100mL)	E. coli (CFU/100mL)	糞便大腸菌 (CFU/100mL)	腸球菌 (CFU/100mL)	PH	水溫 (°C)	導電度 (μS)	濁度 (NTU)	採樣日期
L. D.	137.5	159.5	<1	—	10	<10	<10	6.88	21.1	248	4.0	98/11/19
	102.6	131.9	<5	<1	1.5	<1	<1	6.71	21.2	246	0.4	99/04/01
S. S.	<15.2	<35.3	55	1	—	—	—	6.89	23.0	260	0.3	97/10/13
	5.2	<4.3	<5	<1	—	<1	—	7.27	30.9	204	0.2	98/04/08
P. H.	<14.5	167.2	<5	1	—	—	—	7.52	21.6	275	1.7	97/12/01
	6.7	<7.8	<5	<1	—	<1	—	7.31	24.3	248	0.4	98/04/08
	70.6	245.7	5	—	99	2	<1	6.96	21.3	265	1.9	98/11/19
H. C.	115.2	<26.7	<5	<1	1	<1	<1	7.24	23.6	284	0.4	99/04/01
	<19.0	<44.0	<5	—	4	<1	<1	7.06	24.2	382	0.9	98/12/01
	159.5	154.3	<5	<1	2	<1	<1	6.86	22.7	411	0.4	99/04/13
D. S.	<8.6	<19.8	<5	<1	—	—	—	7.24	28.5	437	1.0	97/08/15
	6.7	<7.8	<5	<1	—	<1	—	6.62	21.8	223	1.3	98/04/07
F. Y.	20.1	77.6	<5	2	—	—	—	7.33	22.3	223	1.5	97/12/05
	23.4	6.0	<5	<1	—	<1	—	7.30	25.1	204	0.8	98/04/07
	<24.2	<56.0	<1	—	7	<1	<1	7.15	25.4	242	0.5	98/12/01
	34.2	26.7	<1	<1	<1	1	<1	7.20	21.0	237	0.4	99/03/23
C. C.	13.8	<31.9	<5	2	—	<1	—	7.10	25.5	634	1.4	98/01/14
	<9.7	<22.4	5	<1	1	<1	<1	7.08	21.2	620	0.7	99/01/07
	17.4	612.9	5	<1	7	1	<1	7.36	26.7	580	2.3	99/05/05
K. T.	47.6	55.2	<5	1	—	<1	—	7.15	24.1	546	0.3	98/01/16
	<21.6	<50.0	<1	<1	1	<1	<1	7.13	24.3	657	0.17	99/01/07
C. S.	55.8	<43.1	<5	<1	—	<1	—	7.10	19.7	436	0.4	98/01/16
P. D.	39.4	122.4	<5	<1	—	<1	—	6.60	25.2	595	0.2	98/01/16
U. G.	11.5	<26.7	<5	<1	—	<1	—	7.20	22.6	770	0.5	98/01/16

表3. 原水水樣的原蟲含量與水質參數間的相關性 (n: 樣本數; R: Spearman R; P: P-levels)

原蟲	隱孢子蟲	總菌落數	大腸桿菌群	E. coli	糞便大腸菌	腸球菌	pH	水溫	導電度	濁度
	n = 24	n = 23	n = 18	n = 11	n = 18	n = 11	n = 24	n = 24	n = 24	n = 24
梨形鞭毛蟲	R = 0.479	R = 0.508	R = 0.245	R = 0.405	R = 0.394	R = 0.406	R = -0.339	R = -0.090	R = -0.098	R = 0.521
	P = 0.018	P = 0.013	P = 0.328	P = 0.216	P = 0.106	P = 0.215	P = 0.105	P = 0.676	P = 0.649	P = 0.009
		n = 23	n = 18	n = 11	n = 18	n = 11	n = 24	n = 24	n = 24	n = 24
隱孢子蟲	——	R = 0.359	R = 0.141	R = 0.293	R = 0.242	R = 0.142	R = 0.095	R = 0.122	R = -0.081	R = 0.383
		P = 0.093	P = 0.577	P = 0.382	P = 0.334	P = 0.677	P = 0.660	P = 0.569	P = 0.706	P = 0.064

表4. 十一處水廠對梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲及濁度的物理去除百分率

水廠名稱	梨形鞭毛蟲去除百分率	隱孢子蟲去除百分率	濁度去除百分率
L. D.	94.08%	76.15%	98.98%
S. S.	87.25%	≈ 100%	88.34%
P. H.	75.70%	46.70%	93.58%
H. C.	74.91%	95.61%	97.96%
D. S.	91.94%	≈ 100%	4.17%
F. Y.	79.30%	86.25%	76.64%
C. C.	93.64%	73.13%	94.41%
K. T.	95.09%	98.08%	96.21%
C. S.	91.57%	—	99.50%
P. D.	88.66%	97.33%	99.00%
U. G.	—	—	90.38%

表 5. 十一處水廠清水的梨形鞭毛蟲症與隱孢子蟲症感染年風險

水廠名稱	梨形鞭毛蟲症之感染年風險	隱孢子蟲症之感染年風險
L. D.	9.2×10^{-3}	4.4×10^{-3}
S. S.	2.0×10^{-4}	—
P. H.	3.7×10^{-3}	3.1×10^{-2}
H. C.	6.1×10^{-3}	2.3×10^{-2}
D. S.	2.6×10^{-4}	—
F. Y.	1.5×10^{-3}	8.4×10^{-3}
C. C.	8.0×10^{-4}	6.1×10^{-2}
K. T.	1.8×10^{-3}	8.4×10^{-3}
C. S.	4.3×10^{-3}	—
P. D.	3.0×10^{-3}	3.7×10^{-2}
U. G.	8.8×10^{-4}	—

參考文獻

1. Cook G. C., Entamoeba histolytica and Giardia lamblia infection: current diagnostic strategies, *Parasite*, 2(2): 107-112, 1995.
2. Fout G. S., Schaefer III, F. W., Messer J. W., Dahling D. R. and Stetler R. E., ICR Microbial Laboratory Manual, EPA 600/R-95/178. USEPA, Ofce. of Research and Development, Washington, DC, 1996.
3. SoloGabriele H. and Neumeister S., US outbreaks of cryptosporidiosis, *J. Am. Water Works Assoc.*, 88(9): 76-86, 1996.
4. Kramer M. H., Herwaldt B. L., Craun G. F., Calderon R. L. and Juranek D. D., Waterborne disease: 1993 and 1994, *J. Am. Water Works Assoc.*, 88(3): 66-80, 1996.
5. 林倩瑜, 健康教育: 防止梨形鞭毛蟲菌感染從飲水開始, 慈濟道侶, 282 期, 1997 年。
6. Teunis P. F. M., Medema G. J., Kruidenier L. and Havelaar A. H., Assessment of the risk of infection by Cryptosporidium or Giardia in drinking water from a surface water source, *Wat. Res.*, 31(6): 1333-1346, 1997.
7. Eisenberg J. N. S., Seto E. Y. W., Colford J. M., Olivieri A. and Spear R. C., An analysis of the Milwaukee cryptosporidiosis outbreak based on a dynamic model of the infection process, *Epidemiology*, 9(3): 255-263, 1998.
8. Perz J. F., Ennever F. K. and Le Blancq S. M., Cryptosporidium in tap water - comparison of predicted risks with observed levels of disease, *Am. J. Epidemiol.*, 147(3): 289-301, 1998.
9. USEPA, ICR Protozoan Method for Detecting Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in Water by a Fluorescent Antibody Procedure, EPA/814-B-95/003. USEPA, Ofce. of Ground Water and Drinking Water, Washington, DC., 1995.