

山葵園之土地利用於集水區水質保育的影響研究

Assessment of Water Quality from Wasabi Landuse in Watershed

陳鴻烈¹

摘 要

山葵是一種喜陰濕環境的十字花科多年生作物，通常栽培於高冷地之杉林下，是故曾文水庫集水區內的阿里山地區頗適合山葵生長。因山葵種植面積愈來愈廣，加上民間環保意識的提升、政府單位的重視，故在阿里山地區此種林班地農用對水土資源污染之影響就逐漸受到社會大眾的關切。本研究之目的即是以位於曾文水庫集水區內的阿里山山葵園為對象，研究山葵園土地利用對水庫水質之影響。研究顯示，山葵園的確帶來污染，其中，電導度是森林水的 4~31 倍，濁度是森林水的 2~137 倍，酸度是森林水的 2~44 倍，其餘則分別是：鹼度 8~167 倍、氮氮 11~3,281 倍、有機氮 14~444 倍、凱氏氮 29~1,154 倍、硝酸鹽氮 1.3~5 倍、亞硝酸鹽氮 7~280 倍、總氮 3~26 倍、總磷 31~3,425 倍，及溶解性碳污染 17~219 倍。由此可知，山葵園除造成土壤沖蝕嚴重外，亦因大量施肥，造成水中碳、氮、磷濃度大幅增加，故山葵園的污染相當可觀，對曾文水庫水質的影響實不容忽視。

前 言

近年來，由於芥菜之需求量增加，因而山葵的種植面積急速成長。山葵是一種喜陰濕環境的十字花科多年生作物，通常栽培於高冷地之杉

1：國立中興大學水土保持學研究所副教授

林下，是故曾文水庫集水區內的阿里山地區頗適合山葵生長，已登記之種植面積從民國 65 年的 17 公頃增加至現今的 269 公頃。本省山葵的栽培，不但破壞森林的水質保護功能，且由於施用重肥（加上常施大量未經發酵的鮮雞糞）及噴灑農藥，更造成水的污染與優養化現象，嚴重影響曾文水庫的水質與營運。

因山葵種植面積愈來愈廣，加上民間環保意識的提升、政府單位的重視，故在阿里山地區此種林班地農用對水土資源污染之影響就逐漸受到社會大眾的關切。本研究之目的即是以位於曾文水庫集水區內的阿里山山葵園為對象，探討山葵園土地利用對水庫水質之影響。

研究方法

本研究是以曾文水庫集水區內的阿里山山葵園為對象進行採樣分析工作，採樣點包括：雨水一點、經森林樹冠的雨水一點、森林水一點、第七林班地山葵園一點、豬灶山葵園三點，及眠月線山葵園一點。採樣方法係參考水質檢驗法通則，盡量取得各點之代表性水樣。每一水樣重複分析 2 至 3 次後，取平均值進行比較研究。

水質分析項目包括：水溫、pH 值、電導度、溶氧、濁度、酸度、鹼度、氮肥（氮氣、有機氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮）、磷肥（總磷），及有機物含量（溶解性有機碳）等共十三項。而除了水溫、pH 值、電導度，及溶氧乃現場測定外，其餘水質檢測項目的保存與分析方法則參照 Standard Methods (APHA et al., 1985)：

濁度 -- 方法 214A；

酸度 -- 方法 402；

鹼度 -- 方法 403；

氮氣 -- 方法 417A 及 417B；

有機氮 -- 方法 420A 及 417B；
硝酸鹽氮 -- 方法 418A；
亞硝酸鹽氮 -- 方法 419；
總磷 -- 方法 424C 及 424E；
溶解性有機碳 -- 方法 505B。

結果與討論

山葵園對水質之影響

阿里山山葵園之採樣分析結果如表 1 所示，其水質狀況將分別討論於後。

1. 水溫：因各個採樣點均位於林地內，依據打枝成山葵園的狀況，或陽光透過率都將影響林內溫度。表 1 指出，各採樣點的水溫皆分佈於 10°C 左右。
2. pH 值：由表 1 數據顯示，雨水、經森林樹冠之雨水，及森林水的 pH 值較低，落於 5.0 ~ 5.5 之間；而經山葵園之水樣的 pH 值較高，落於 6.5 ~ 7.5 間。
3. 溶氧：表 1 指出，各採樣點的溶氧值與逕流量及逕流水中污染量有關，一般而言，污染愈大的，水中溶氧值愈低。其中，溶氧值最高的是雨水 — 10.4 mg/L，最低的是豬灶山葵園 (2) — 1.2 mg/L。
4. 電導度：電導度可作為水中溶解性固體物 (total dissolved solids, TDS) 多寡之測定指標，亦即電導度愈大，水中溶解性固體物愈多；反之，則愈少 (Chen, 1996)。由表 1 可知，雨水的電導度最低 (30.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$)，經森林樹冠後增加一倍左右 (71.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$)，而森林水的電導度則與經森林樹冠之雨水者相差不大。至於山葵園部分，表 1 指

表 1 阿里山山葵園各採樣點之水質分析結果

採樣日期：86 年 3 月 25 日

採樣點	水質項目	水溫 (°C)	pH	溶氧 (mg/L)	電導度 (μ S/cm)	濁度 (NTU)	酸度 (mg CaCO ₃ /L)
	雨水	11.5	5.14	10.4	30.8	3.1	8.0
	經森林樹冠之雨水	10.0	5.43	4.5	71.8	1.9	43.6
	森林水	12.2	5.49	6.9	75.7	0.6	6.6
	第七林班地山葵園	10.1	6.68	7.0	343	81.9	148.5
	豬灶山葵園 (1)	13.0	6.73	6.5	562	1.5	29.2
	豬灶山葵園 (2)	10.0	7.04	1.2	2360	27.3	288.9
	豬灶山葵園 (3)	10.0	6.99	8.1	314	1.8	16.1
	眠月線山葵園	10.1	7.24	9.4	344	1.2	4.2

採樣點	水質項目	鹼度 (mg CaCO ₃ /L)	氨氮 (mg N/L)	有機氮 (mg N/L)	凱氏氮 (mg N/L)
	雨水	2.3	0.30	0.09	0.39
	經森林樹冠之雨水	8.8	0.37	0.52	0.89
	森林水	2.8	ND	0.03 ^a	0.04
	第七林班地山葵園	57.1	1.37	0.43	1.80
	豬灶山葵園 (1)	44.8	0.40	1.64	2.04
	豬灶山葵園 (2)	467.6	32.81	13.33	46.14
	豬灶山葵園 (3)	22.8	0.11	1.06	1.17
	眠月線山葵園	28.2	0.13	1.57	1.70

採樣點	水質項目	硝酸鹽氮 (mg N/L)	亞硝酸鹽氮 (mg N/L)	總氮 (mg N/L)	總磷 (mg/L)	DOC ^b (mg/L)
	雨水	0.29	0.004	0.68	0.014	1.09
	經森林樹冠之雨水	0.12	0.004	1.01	0.038	8.48
	森林水	1.80	0.002	1.84	0.003	0.59
	第七林班地山葵園	3.70	0.056	5.56	0.093	11.30
	豬灶山葵園 (1)	8.42	0.559	11.02	0.997	12.88
	豬灶山葵園 (2)	2.39	0.025	48.56	10.274	129.17
	豬灶山葵園 (3)	4.12	0.035	5.33	0.579	9.77
	眠月線山葵園	3.81	0.013	5.52	1.238	11.73

註：1. ND：小於偵測極限。

2. 偵測極限：氨氮 0.01 mg N/L。

^a：有機氮濃度是由凱氏氮濃度減掉氨氮濃度而得，然此一採樣點之氨氮濃度小於偵測極限，故求值時，氨氮濃度以偵測極限 0.01 mg N/L 進行計算。

^b：DOC 是指溶解性有機碳。

出其電導度顯著增加，約為雨水的 10~77 倍 (表 2)，森林水的 4~31 倍左右 (表 3)，污染性相當高。

表 2 山葵園土地利用之水質和雨水之比較

採樣日期：86 年 3 月 25 日

水質項目 水質之比值	電導度	濁度	酸度	鹼度	氨氮	有機氮
第七林班地山葵園/雨水	11.1	26.4	18.6	24.8	4.6	4.8
豬灶山葵園 (1)/雨水	18.2	- ^a	3.7	19.5	1.3	18.2
豬灶山葵園 (2)/雨水	76.6	8.8	36.1	203.3	109.4	148.1
豬灶山葵園 (3)/雨水	10.2	-	2.0	9.9	-	11.8
眠月線山葵園/雨水	11.2	-	-	12.3	-	17.4

水質項目 水質之比值	凱氏氮	硝酸鹽氮	亞硝酸鹽氮	總氮	總磷	DOC
第七林班地山葵園/雨水	4.6	12.8	14.0	8.2	6.6	10.4
豬灶山葵園 (1)/雨水	5.2	29.0	139.8	16.2	71.2	11.8
豬灶山葵園 (2)/雨水	118.3	8.2	6.3	71.4	733.9	118.5
豬灶山葵園 (3)/雨水	3.0	14.2	8.8	7.8	41.4	9.0
眠月線山葵園/雨水	4.4	13.1	3.3	8.1	88.4	10.8

^a：表示雨水濃度高於山葵園土地利用之水質濃度。

5. 濁度：濁度是一種污染指標，其會影響水中光透過的程度，進而改變水中生物群聚並影響食物鏈。懸浮在水中可被肉眼或一般顯微鏡看到的固體顆粒，如：細砂、泥土、微生物、分散性有機物質等，都會增加水的濁度 (陳國誠, 1991)。表 1 指出，雨水、經森林樹冠之雨水、森林水之濁度值依序降低。至於山葵園部分，由表 3 可知其水中之濁度值均高於森林水，約為 2~137 倍，顯示山葵園造成土壤沖蝕嚴重，並使水中含大量會增加濁度的物質。

6. 酸度：酸度是由許多物質貢獻而得，包括：強的無機酸、弱酸 (如

表 3 山葵園土地利用之水質和森林水之比較

採樣日期：86 年 3 月 25 日

水質項目 水質之比值	電導度	濁度	酸度	鹼度	氮氮	有機氮
第七林班地山葵園/森林水	4.5	136.5	22.5	20.4	137.0	14.3
豬灶山葵園 (1)/森林水	7.4	2.5	4.4	16.0	40.0	54.7
豬灶山葵園 (2)/森林水	31.2	45.5	43.8	167.0	3281.0	444.3
豬灶山葵園 (3)/森林水	4.1	3.0	2.4	8.1	11.0	35.3
眠月線山葵園/森林水	4.5	2.0	- ^a	10.1	13.0	52.3

水質項目 水質之比值	凱氏氮	硝酸鹽氮	亞硝酸鹽氮	總氮	總磷	DOC
第七林班地山葵園/森林水	45.0	2.1	28.0	3.0	31.0	19.2
豬灶山葵園 (1)/森林水	51.0	4.7	279.5	6.0	332.3	21.8
豬灶山葵園 (2)/森林水	1153.5	1.3	12.5	26.4	3424.7	218.9
豬灶山葵園 (3)/森林水	29.3	2.3	17.5	2.9	193.0	16.6
眠月線山葵園/森林水	42.5	2.1	6.5	3.0	412.7	19.9

^a：表示森林水濃度高於山葵園土地利用之水質濃度。

碳酸、醋酸)、水解鹽類 (如硫酸鐵、硫酸鋁)、．．．等 (APHA et al., 1985; 楊萬發, 1992), 故酸度亦可作為水質受污染的指標之一。由表 1 可看出, 雨水的酸度值為 8.0 mg CaCO₃/L, 經森林樹冠後增加至 43.6 mg CaCO₃/L, 而森林水的酸度值又降為 6.6 mg CaCO₃/L, 較雨水的酸度值更低, 顯示森林具有吸收、利用物質, 及去除污染物的功能。至於山葵園部分, 表 2 及表 3 指出, 除了眠月線山葵園外, 其餘之酸度值均高於雨水和森林水, 分別是雨水的 2~36 倍、森林水的 2~44 倍左右。

7. 鹼度：鹼度通常為碳酸鹽、重碳酸鹽、氫氧化物等的函數, 可作為這些成分的濃度指標; 另有一些來源則包括硼酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽, 或其他的鹽類 (APHA et al., 1985; 楊萬發, 1992)。因此, 鹼度的量測亦可呈現水質受污染的程度。表 1 指出, 鹼度的變化與酸

度類似，亦即，森林水的鹼度值低於經森林樹冠之雨水者，再次顯示森林具有吸收、利用物質，及去除污染物的功能。山葵園部分，表 2 與表 3 指出，所有山葵園採樣點之水樣中的鹼度值均高於雨水及森林水，約為雨水的 10 ~ 203 倍、森林水的 8 ~ 167 倍，污染性相當可觀。

8. 氨氮：氮在自然界中可以多種不同的氧化態存在，其中之一即為氨氮 (NH_4^+-N)。在地面水、地下水，及污水中大都有氨氮存在，最主要是由含氮有機物產生脫氨基作用及尿素水解作用而造成，此外，硝酸鹽氮在厭氧狀態下也會還原成氨氮 (陳國誠, 1991)。由表 1 可知，經森林樹冠之雨水的氨氮濃度稍高於雨水者，而森林水的氨氮濃度則降至 0.01 mg N/L 以下，顯示森林能吸收利用水中的含氮物質。至於山葵園部分，表 3 指出，山葵園土地利用下之水質中氨氮濃度是森林水的 11 ~ 3,281 倍左右，顯示施肥對水質的影響甚巨，不容忽視。
9. 有機氮：有機氮 (Org-N) 係指與有機物結合的氮，氧化態為 -3，包括自然界的蛋白質、核酸、尿素，以及合成的有機物質等 (陳國誠, 1991)。表 1 顯示，經森林樹冠之雨水的有機氮濃度高出雨水甚多，然經森林吸收利用後，森林水的有機氮濃度顯著減少。而由表 2 及表 3 則可知，山葵園土地利用之水質中的有機氮濃度分別是雨水和森林水的 5 ~ 148 及 14 ~ 444 倍左右，十分可觀，此乃因山葵園施用大量氮肥之故。
10. 凱氏氮：氨氮和有機氮可以合併測其含量，所得結果稱為凱氏氮 (TKN)。表 1 顯示，凱氏氮的變化情形類似於氨氮與有機氮，即經森林樹冠之雨水的凱氏氮濃度高於雨水者，然森林水的凱氏氮濃度卻大幅降低，此係森林具有吸收、利用水中含氮物質之作用。山葵園部分，其水中的凱氏氮濃度顯著增加，約為雨水的 3 ~ 118 倍 (表

2)，森林水的 29 ~ 1,154 倍左右 (表 3)，其所造成的污染相當驚人，值得重視。此外，表 4 指出，因施肥種類 (有機、無機肥)、施肥時間等的不同，山葵園各採樣點水質中呈現出完全不同比例之氨氮與有機氮。

表 4 凱氏氮中氨氮與有機氮濃度 (mg N/L) 變化情形及所佔百分比 (%)

採樣日期：86 年 3 月 25 日

採樣點	水質項目	氨氮	有機氮	凱氏氮
雨水		0.30 ^a (76.9) ^b	0.09 (23.1)	0.39 (100)
經森林樹冠之雨水		0.37 (41.6)	0.52 (58.4)	0.89 (100)
森林水		ND ^c (25.0)	0.03 (75.0)	0.04 (100)
第七林班地山葵園		1.37 (76.1)	0.43 (23.9)	1.80 (100)
豬灶山葵園 (1)		0.40 (19.6)	1.64 (80.4)	2.04 (100)
豬灶山葵園 (2)		32.81 (71.1)	13.33 (28.9)	46.14 (100)
豬灶山葵園 (3)		0.11 (9.4)	1.06 (90.6)	1.17 (100)
眠月線山葵園		0.13 (7.6)	1.57 (92.4)	1.70 (100)

註：1. ND：小於偵測極限。

2. 偵測極限：氨氮 0.01 mg N/L。

^a：濃度 (mg N/L)。

^b：百分比 (%)。

^c：為方便比較，ND 值以最小偵測極限 0.01 mg N/L 進行計算。

11. 硝酸鹽氮：硝酸鹽氮 (NO_3^- -N) 為氮循環中氧化價數最高的代表，

為生物氧化作用最後的階段，也是植物吸收氮的主要型態 (陳國誠, 1991)。表 1 數據指出，經森林樹冠之雨水的硝酸鹽氮濃度 (0.12 mg N/L) 低於雨水者 (0.29 mg N/L)，可能是雨水中部分的硝酸鹽氮被樹葉吸收去除所致。至於森林水中的硝酸鹽氮濃度提高至 1.80 mg N/L，則是因某些植物 (如豆科植物) 死亡或生命力減弱時會釋出 NH_4^+ ，而後再經微生物作用轉化為硝酸鹽氮，此種來源的硝酸鹽氮有一部分會被植物吸收利用，另一部分則被釋出而進入水中 (陳國誠, 1991)，造成森林水中有較高的硝酸鹽氮濃度。至於山葵園部分，表 2 與表 3 顯示，其水中的硝酸鹽氮濃度均高於雨水和森林水者，分別為 8~29 倍與 1.3~5 倍左右，此乃因山葵園施用大量氮肥之故。

12. 亞硝酸鹽氮：亞硝酸鹽氮 (NO_2^- -N) 是由氨氮氧化，或是硝酸鹽氮還原而成。由表 1 可看出，雨水、經森林樹冠之雨水，及森林水的亞硝酸鹽氮濃度均不高 (0.002~0.004 mg N/L)，而山葵園土地利用下之水中的亞硝酸鹽氮濃度則約為雨水的 3~140 倍 (表 2)，森林水的 7~280 倍左右。
13. 總氮：總氮是指氨氮、有機氮、硝酸鹽氮，及亞硝酸鹽氮濃度之總和。由表 1 總氮數據可看出，雨水 → 經森林樹冠之雨水 → 森林水的總氮濃度依序增加；至於山葵園部分，其水中的總氮濃度均高出雨水及森林水甚多，分別是 8~71 和 3~26 倍左右 (表 2 與表 3)，此乃因種植山葵大量施用氮肥之故。而由表 5 可知，雨水中氮存在的形式是以氨氮 (~44%) 及硝酸鹽氮 (~42%) 為主，經森林樹冠之雨水的主要氮成分是有機氮 (~51%)，森林水則是以硝酸鹽氮 (~98%) 為主；至於山葵園部分，則除了豬灶山葵園 (2) 是以氨氮 (~68%) 為主外，其餘均以硝酸鹽氮為主要的氮形式，佔總氮的 67~77% 左右，此與其他學者的研究 (Power and Schepers,

表 5 總氮中各種氧化態氮濃度(mg N/L)的變化情形
及所佔百分比(%)

採樣日期：86 年 3 月 25 日

水質項目 採樣點	氨氮	有機氮	硝酸鹽氮	亞硝酸鹽氮	總氮
雨水	0.30 ^a (43.86) ^b	0.09 (13.16)	0.29 (42.40)	0.004 (0.58)	0.68 (100)
經森林樹冠之雨水	0.37 (36.49)	0.52 (51.28)	0.12 (11.83)	0.004 (0.39)	1.01 (100)
森林水	ND ^c (0.54)	0.03 (1.63)	1.80 (97.72)	0.002 (0.11)	1.84 (100)
第七林班地山葵園	1.37 (24.66)	0.43 (7.74)	3.70 (66.59)	0.056 (1.01)	5.56 (100)
豬灶山葵園 (1)	0.40 (3.63)	1.64 (14.88)	8.42 (76.41)	0.559 (5.07)	11.02 (100)
豬灶山葵園 (2)	32.81 (67.57)	13.33 (27.45)	2.39 (4.92)	0.025 (0.51)	48.56 (100)
豬灶山葵園 (3)	0.11 (2.07)	1.06 (19.91)	4.12 (77.37)	0.035 (0.66)	5.33 (100)
眠月線山葵園	0.13 (2.35)	1.57 (28.43)	3.81 (68.98)	0.013 (0.24)	5.52 (100)

註：1. ND：小於偵測極限。

2. 偵測極限：氨氮 0.01 mg N/L。

^a：濃度 (mg N/L)。

^b：百分比 (%)。

^c：為方便比較，ND 值以最小偵測極限 0.01 mg N/L 進行計算。

1989; Hallberg, 1989) 指出 — 「農業」是人為活動中最重要的硝酸鹽氮來源相符合。

14. 總磷：表 1 顯示，雨水的總磷濃度為 0.014 mg/L，經森林樹冠後增加至 0.038 mg/L，而森林水的總磷濃度則降至 0.003 mg/L，此乃因森林中的植物將磷吸收利用所致，是故森林具有保持物質、吸收物質的功能。至於山葵園部分，由於磷肥的大量施用，及森林改種

山葵對磷保持能力的破壞，故其水中總磷濃度大幅增加，為雨水的 7 ~ 734 倍 (表 2)、森林水的 31 ~ 3,425 倍 (表 3) 左右，污染性非常高。

15. 溶解性有機碳：因山葵園部分土壤沖蝕嚴重，水樣中含大量固體物質，為避免總有機碳分析儀管線受到阻塞，且為了比較上具有一致性，故所有水樣均先以 0.45 μm 濾紙過濾後才進行分析測定，所得結果乃稱為溶解性有機碳 (DOC)。由表 1 指出，雨水的 DOC 濃度為 1.09 mg/L，稍微偏高，經森林樹冠後更高達 8.48 mg/L，而森林水的 DOC 值則降至 0.59 mg/L，顯示森林能充分吸收利用水中的溶解性有機物。此外，由表 2 及表 3 可知，山葵園土地利用下之水質中 DOC 濃度約為雨水的 9 ~ 119 倍、森林水的 17 ~ 219 倍，污染性相當可觀。

由上述討論可知，阿里山地區林班地改種山葵，不但使土壤嚴重沖蝕、破壞森林對水質的保護功能，且因施用大量的氮肥、磷肥，及噴灑農藥，的確造成水質污染，嚴重影響曾文水庫的水質與營運。而在碳 (DOC)、氮 (總氮)、磷 (總磷) 的污染中，又以磷的污染最為嚴重 (表 2, 表 3)，實不容忽視。

山葵園面積對水質之影響

表 6 顯示山葵種植面積對水質之影響，由表中數據可知，溶氧值是隨山葵種植面積增加而減少，顯示面積愈大，污染愈大，水中溶氧值愈低。其餘水質項目中，除了硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮濃度較不具規則變化外，一般均隨山葵種植面積的增加而濃度增高，污染愈大。主要是因種植面積愈大，對土壤的破壞沖蝕愈厲害，相對的，亦施用更多之肥料、農藥，故對水質的污染更形嚴重。

表 6 山葵種植面積的大小與水質之關係

採樣日期：86年3月25日

水質項目 採樣點	溶氧 (mg/L)	電導度 (μ S/cm)	濁度 (NTU)	酸度 (mg CaCO ₃ /L)	鹼度 (mg CaCO ₃ /L)	氨氮 (mg N/L)
豬灶山葵園 (小)	8.1	314	1.8	16.1	22.8	0.11
豬灶山葵園 (中)	6.5	562	1.5	29.2	44.8	0.40
豬灶山葵園 (大)	1.2	2360	27.3	288.9	467.6	32.81

水質項目 採樣點	有機氮 (mg N/L)	凱氏氮 (mg N/L)	硝酸鹽氮 (mg N/L)	亞硝酸鹽氮 (mg N/L)	總氮 (mg N/L)	總磷 (mg/L)	DOC ^b (mg/L)
豬灶山葵園 (小)	1.06	1.17	4.12	0.035	5.33	0.579	9.77
豬灶山葵園 (中)	1.64	2.04	8.42	0.559	11.02	0.997	12.88
豬灶山葵園 (大)	13.33	46.14	2.39	0.025	48.56	10.274	129.17

^a：DOC 是指溶解性有機碳。

結 論

曾文水庫集水區內的阿里山地區之山葵園的確帶來污染，在各項水質中，電導度約為森林水的 4~31 倍、濁度 2~137 倍、酸度 2~44 倍、鹼度 8~167 倍、氨氮 11~3,281 倍、有機氮 14~444 倍、凱氏氮 29~1,154 倍、硝酸鹽氮 1.3~5 倍、亞硝酸鹽氮 7~280 倍、總氮 3~26 倍、總磷 31~3,425 倍，及溶解性有機碳 17~219 倍。由此可知，山葵園的污染相當可觀，對曾文水庫水質的影響實不容忽視。

誌 謝

本文承蒙台灣省林務局嘉義林區管理處之贊助，方得以完成研究，作者謹此致謝。

參考文獻

陳國誠，“廢水生物處理學”，茂昌圖書有限公司發行，台北（1991）。
楊萬發譯，“水及廢水處理化學”，茂昌圖書有限公司發行，台北
（1992）。

APHA, AWWA and WPCF, “Standard Methods for the Examination of
Water and Wastewater”, 16th Ed., American Public Health Association,
Washington, D.C. (1985).

Chen, P. H., “Assessment of Leachate from Sanitary Landfills: Impact of
Age, Rainfall, and Treatment”, *Environment International*, Vol. 22, pp.
225 ~ 237 (1996).

Hallberg, G. R., “Nitrate in Ground Water in the United States”, *Nitrogen
Management and Groundwater Protection* (R. F. Follett, editor),
Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, the Netherlands (1989).

Keeney, D. R., “Nitrate in Ground Water-Agricultural Contribution and
Control”, *Agricultural Impacts on Groundwater*, Natl. Water Well Assn.,
Worthington, Ohio (1986).

Keeney, D. R., “Sources of Nitrate to Ground Water”, *CRC Critical
Reviews in Environmental Control* (C. P. Straub, editor), CRC Press,
Boca Raton, Florida (1986).

Power, J. F. and J. S. Schepers, “Nitrate Contamination of Groundwater in
North America”, *Agriculture, Eco-systems, and Environment*, Elsevier
Sci. Publ., Amsterdam, the Netherlands (1989).

Spaling, R. F. and M. E. Exner, “Nitrate Contamination in the USA”, *NATO
Nitrate Conf.*, Lincoln, Nebraska (1990).