

工業區周邊水質調查及其對水生植物青萍之毒性評估

徐慈鴻* 李貽華 蔣慕琰

台中縣 行政院農委會農業藥物毒物試驗所

(接受日期：中華民國 91 年 7 月 24 日)

摘 要

徐慈鴻*、李貽華、蔣慕琰 2002 工業區周邊水質調查及其對水生植物青萍之毒性評估 植保會刊 44 : 157 - 169

本研究主要探討台灣中部一大型綜合工業區所屬之污水處理廠放流水水質及對周邊灌溉水水質之影響，並以青萍 (*Lemna aequinoctialis* Welwitsch) 生長試驗評估水樣之植物毒性(phytotoxicity) 調查地點包括：污水處理廠放流水口(PS) 及放流水口上游(UP1) 下游(DW1、DW2、WA) 共設定 5 處樣點，自 1997 年 11 月年至 1998 年 6 月共進行 4 次採樣，分日間及夜間時段分別採樣；水樣分別進行化學分析及植物毒性試驗。化學分析以灌溉水水質標準之檢測項目為主，包括：pH 值、電導度值、陰離子、陽離子及重金屬等；植物毒性試驗以青萍 7 天之生長抑制率來評估。化學分析結果顯示，工業區污水廠放流水(PS 樣點) 之電導度值、鈉、氯、硫酸根離子及總氮含量偏高，並影響下游 DW1 樣點之水質；WA 樣點夜間時段水樣之測值偏高且變化劇烈，可能與工廠廢水夜間不當排放有關。青萍生長試驗結果顯示，夜間時段之水質不論是造成青萍生長受抑制之樣品數或對青萍生長抑制率都明顯較日間時段高，PS 樣點水質對青萍生長之抑制率為 40%-63%，前三次之水質對青萍生長之抑制率皆達 60% 以上，WA 樣點第一次夜間時段之水質造成青萍生長 100% 受抑制。比較化學分析結果與青萍生長抑制率之變化，發現抑制率之高低與水中單一成分因子無顯著相關性，顯示青萍生長抑制率並非水質中單一成分因子所影響；僅以分析數據無法評估各成分因子間之協力作用(synergism) 對生物所造成之影響，評估放流水對農作物之毒害潛能(potential)，除化學分析外應再進行生物試驗。根據青萍生長速率及對污染物之反應顯示，本土之浮萍科植物青萍可做為放流水或工業廢水之監測指標植物，以評估水質之植物毒性。

(關鍵詞：水污染、植物毒性、青萍、生長抑制、工業區)

* 通訊作者。E-mail: ths@tactri.gov.tw

緒 言

利用生物試驗監測水域中之毒性物質是近年來環境保護及管理的重要趨勢，常用之水生生物包括：魚類、水蚤 (daphnids) 及藻類 (alga) 等；由於工業及都市廢水多數有顏色或者濁度高，以藻類進行毒性試驗，觀察評估上相當困難；對於某些含不穩定成分的水樣，需要以流動 (flow through) 或靜態更換 (static renewal) 的方式進行生物試驗，以保持水樣之穩定性，亦不適合利用藻類監測水質毒性。溶氧量低或生化需氧量 (BOD) 高之水樣，試驗時不宜進行打氣 (aeration)，以維持水樣之完整性，在此狀況下則無法利用魚類及水蚤進行試驗^(3,12,13,16)。魚類、水蚤及藻類等生物試驗不適合應用於評估工業及都市廢水之生物毒性。

浮萍科 (*Lemnaceae*, 俗稱 Duckweed) 植物分布廣，是水域中常見的漂浮性維管束植物，形態簡單，僅具有葉狀體 (frond) 及根部，植體容易聚集成群，可行營養繁殖及開花繁殖，生長速度遠超過其他開花植物，是水鳥、魚類及水生動物之食物來源及魚類之隱蔽處，在產生氧氣、養分之循環及淨化水質上亦佔有重要之地位，其在生態上代表著極重要之微域 (niche)。Wang 等⁽¹⁴⁾利用 *Lemna minor* 評估農產品製造業、機械工業及化學製造工業等廢水之植物毒性，顯示化學製造工業廢水之植物毒性較農業生產廢水明顯偏高，化學工業廢水之稀釋濃度至 1.6% 時，對浮萍之生長抑制率仍高達 50% 以上，Wang 認為以浮萍生長試驗監測工業廢水比植物幼苗根長試驗更敏感；Tong 等⁽¹²⁾利用 *Lemna minor* 之生長抑制率評估石化工業廢水中 acrylonitrile、acetonitrile 及 sulphocyanic sodium 等成分之植物急毒性，並與魚類及水蚤等水生動物之毒性試驗結果比較，認為浮萍生長抑制試驗應列入評估化學物質

之水生生物毒性試驗之一，以更瞭解化學物質進入水域環境時之毒性狀態 (toxicity profile)。利用浮萍生長試驗進行監測水質的變化是簡單、敏感且經濟的方法，其原因有：浮萍科屬高等植物，漂浮於水面生長，不會因為水質的混濁而影響試驗觀察，由於培養液之更換簡單，適合以流動或靜態更換的方式來進行試驗，試驗中不需打氣，不影響水中化學成分因打氣而可能產生變化^(3, 11, 16)；本試驗擬利用台灣地區水域中常見之浮萍品系-青萍 (*Lemna aequinoctialis* Welwitsch) 進行工業區排放水之植物毒性測試 (phytotoxicity test)，以本土性水生植物評估大型綜合工業區污水處理廠排放水之植物毒性，並比較排放水水質之化學分析結果與植物毒性試驗結果之差異。

材料與方法

供試植物之培育

自本省中部野外水域中 (包括：水田及水池) 採集浮萍，根據台灣維管束植物簡誌⁽¹⁾之分類檢索表及其他相關資料^(4,7)，鑑定其品種為浮萍科青萍屬之青萍 (*Lemna aequinoctialis* Welwitsch)，是台灣水域常見之品種；為確定其是否可作為水質監測植物，先進行生長試驗觀察。採回之青萍以清水濾洗數次，除去植體上附著之昆蟲及其他植物，並以 1,000 倍稀釋之次氯酸溶液快速濾洗，再以太離子水濾洗數次後，移置培養液中，於溫度 25℃、光強度 3,500-5,000 lux、每日光照 14 小時的生長環境下，進行馴養，本試驗以水溶性複合肥料花寶 1 號 (商品名，HYPONeX CO. 製造) 配置成 3,000 倍稀釋之花寶培養液，每星期更新一次培養液，青萍經過四次培養液更新馴養後，方可做為供試植物進行試驗。

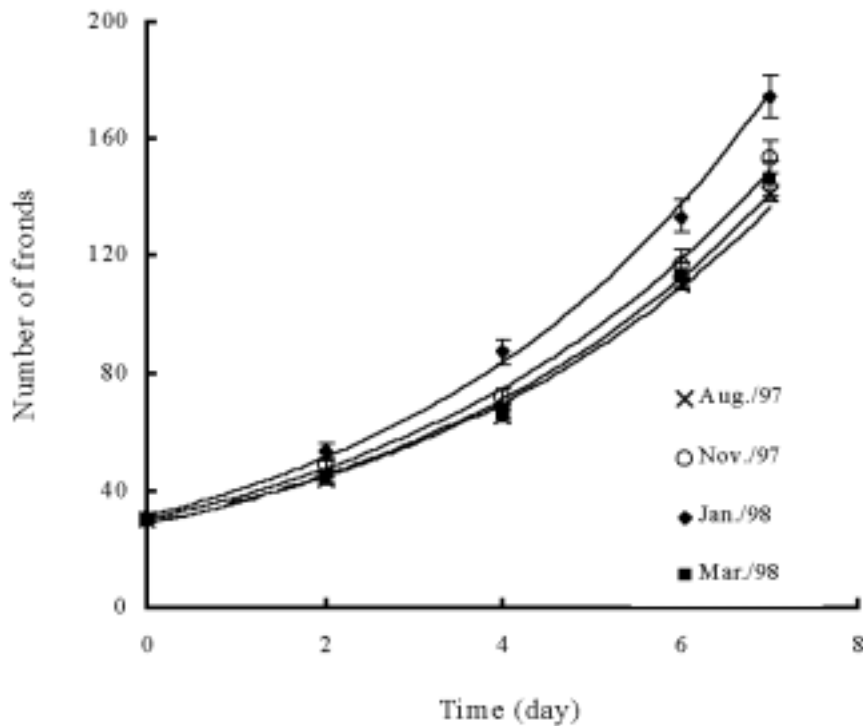
根據美國 APHA⁽³⁾及 EPA⁽⁸⁾之規範，以浮萍科植物進行水質生物毒性試驗，對照

組浮萍在 96 小時內葉狀體數目需增加達 2 倍以上，而白化 (chlorosis) 葉狀體數目佔總葉狀體數目之比例必須小於 10%，此二項是評估浮萍生長試驗結果可接受性的重要依據，符合上述二項指標，表示試驗過程中浮萍未受到病、蟲害等逆境之影響，若否，則當次試驗結果不予採納^(3,11,13)。浮萍葉狀體數目的增生速率會因品種、營養液、光照及水質等影響而不同，*L. minor* 葉狀體增生 2 倍的時間從 1.3 天至 2.8 天，而 *L. gibbar* 及 *L. paucicostata* 分別為 0.7 天、0.35 天⁽¹³⁾；本研究中選用之本土青萍品種 (*L. aequinoctialis* Welwitsch)，其生長試驗結果顯示 (圖一)，培養皿中葉狀體數目增生 2 倍之時間為 2.81-3.11 天，而葉

狀體之白化率為 0.2%-6.1%；為比較青萍與 *L. minor* 對化學物質之敏感性，以除草劑莫多草 (Metolochlor) 進行青萍植物毒性試驗，*L. aequinoctialis* 對 Metolochlor 之 EC_{50} 為 143.4 mg/l 較 *L. minor* 之 EC_{50} (343 mg/l) 敏感⁽⁷⁾，因此利用本土之青萍作為水質污染毒性測試植物。

樣點設置及水樣採集

採樣點的設置是以中部一綜合工業區所屬之污水處理廠放流水排放口為中心點，設樣點為編號 PS，在距離放流水口約 1 公里之上游處設樣點為編號 UP1，並於放流水口下游設置二個樣點，編號分別是 DW1 及 DW2，DW1 距離放流水口約 0.15



圖一、青萍 (*Lemna aequinoctialis* Welwitsch) 生長試驗之生長曲線。

Fig. 1. Quality of the control test as indicated by duckweed frond number. The duckweed frond increase during the 7 cultured period in HYPONeX nutrient solution. The tests took place in August 1997, November 1997, January 1998, and March 1998, respectively.

公里，屬於灌溉水入口閘門處；DW2 距離放流水口約 0.95 Km，為污水廠放流水之最終承受水體 (receiving water)，此水體亦為當地農業區之重要灌溉溪流；另有一處不明排水口，經觀察其周遭之水色呈現異常黃褐色，再設樣點之編號為 WA，共 5 個樣點。分別於 1997 年 11 月、1998 年 2 月、4 月及 6 月進行採樣，共四次；每一次採集水樣於日間（上午 10 12 時）及夜間（下午 6 8 時）二個時段分別採樣。

化學分析項目及分析方法

水質之化學分析項目包括：溫度、pH 值、電導度值、陰離子、陽離子及重金屬等，其中 pH 值及重金屬為台灣地區引發水、土壤污染事件之重要因子，而電導度值、陰離子及陽離子等為放流水標準及灌溉水標準有差異之項目。各分析之項目及設備如下：

1. pH 值：pH 測定計 (pH Meter, WTW

pH95)。

2. 電導度 (E.C.)：電導度測定計 (Conductivity Meter, WTW LF320)。
3. 溶氧量 (D.O.)：溶氧量測定計 (Dissolved Oxygen Meter, WTW OXI96)。
4. 重金屬 (鋅、鎘、總鉻、鉛、鎳、銅)：誘導式偶合電漿放射光譜儀 (Inductively coupled plasma spectrophotometer, JOBIN YVON 138 ULTRACE ICP-AES)。
5. 陽離子 (鈉、鉍、鉀、鈣、鎂) 及陰離子 (氟、氯、亞硝酸根、硝酸根、磷酸根、硫酸根)：離子層析儀 (Ionic Chromatography DX-100, DIONEX)。

青萍生長試驗

於直徑 11 cm 培養皿放入 35 ml 的供試水樣，移入 15 株具有二片葉狀體之青萍，每一樣點水樣之青萍生長試驗進行四重複；將培養皿移入平均溫度 25 °C，每日光照 14 小時，光強度 3,500-5,000 lux 的生

表一、青萍生長試驗條件

Table 1. Test conditions of *Lemna aequinoctialis* Welwitsch ¹⁾

	Duckweed Growth Test
Test species	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welwitsch
Test type	Static renewal
Test vessel	Petri dish (diameter: 11 cm)
Test solution/vessel	35 ml
Test specimens/vessel	30 fronds (15 colonies)
Temperature	25 ±2
Light intensity	3,500-5,000 lux
Photoperiod	14 hr
Water control	Duckweed growth nutrient solution ²⁾
Replicates	4
Test duration	7 days
End point of test	Froned increase/vessel

¹⁾ Modified from *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*⁽³⁾.

²⁾ To prepare the duckweed growth nutrient solution, 1g nutrient powder was dissolved in 3 L of deionized water. The nutrient powder is a commercial product named "HYPONeX No.1", from the HYPONeX CO. Marysville, OH, USA.

表二、不同樣點日、夜間時段水質化學分析結果

Table 2. Water quality of test samples from the industrial park

Items	Irrigation water quality standard /effluent quality standard						
	I/E ¹⁾	D/ T ²⁾	UPI	PS	DW1	DW2	WA
Temp. ()	35	D	23.5±8.0	24.6±6.5	24.1±6.9	24.0±7.5	24.3±6.0
		T	25.8±4.0	26.2±3.5	26.1±3.6	25.9±3.7	25.4±2.8
pH	6-9		7.4±0.2	7.7±0.3	7.5±0.2	7.4±0.2	7.5±0.4
			7.2±0.3	7.4±0.1	7.5±0.2	7.1±0.1	8.5±1.1
E.C. (µS/cm)	<750 / --		480±143	1423±431	1181±312	461±153	1226±102
			689±199	1428±82	1230±84	403±93	3178±812
D.O. (mg/l)			4.4±2.1	4.9±1.0	5.4±1.9	5.4±0.9	4.3±0.6
			3.1±1.2	4.2±0.5	3.8±0.5	3.9±0.4	3.7±0.8
SAR ³⁾	<6 / --		1.4±0.7	6.7±3.8	6.1±3.7	1.6±1.4	8.8±3.1
			2.5±1.2	7.0±0.8	5.4±1.9	1.1±0.4	19.1±5.6
Na ⁺ (mg/l)			39.1±18.2	186.6±98.8	182.8±113.9	48.3±43.1	206.9±80.4
			94.9±60.5	227.4±25.9	180.8±40.9	32.5±10.6	571.4±227.6
K ⁺ (mg/l)			9.2±4.0	27.0±6.2	26.2±7.8	7.5±3.1	9.7±4.7
			12.9±3.2	32.0±8.4	26.9±6.2	5.8±1.4	15.7±5.3
Mg ⁺² (mg/l)			7.8±2.3	9.5±2.3	9.3±1.0	10.8±0.7	8.1±2.1
			12.5±4.9	14.1±5.7	14.5±6.1	12.9±5.2	12.2±4.5
Ca ⁺² (mg/l)			45.8±10.0	43.6±11.5	51.9±5.8	46.7±3.9	28.2±6.6
			80.6±30.4	56.5±13.2	67.8±25.0	48.2±2.3	48.9±33.1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	T-N ⁴⁾ / <20		13.0±9.5	7.5±3.8	6.6±3.3	4.7±3.7	22.3±14.6
			16.2±8.8	15.2±10.0	13.3±10.0	4.3±1.7	40.8±36.6
NO ₃ ⁻ (mg/l)	T-N / <100		8.9±4.8	4.6±3.4	5.0±3.9	8.0±1.5	14.5±8.0
			4.3±2.1	4.1±1.4	3.3±0.7	9.8±2.7	17.6±8.2
F ⁻ (mg/l)	<15		0.5±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1	0.5±0.1	0.4±0.1
			0.7±0.4	0.9±0.3	0.6±0.2	0.5±0.1	1.5±1.4
Cl ⁻ (mg/l)	<175 / --		39.2±17.2	189.4±76.0	156.4±92.3	42.4±34.7	213.0±43.7
			63.4±38.1	175.1±25.3	151.4±33.8	25.0±14.6	679.3±249.7
SO ₄ ⁺² (mg/l)	<200/ --		43.3±12.0	238.9±116.7	181.0±77.1	65.1±27.4	108.9±48.8
			47.1±6.9	211.9±46.2	211.5±34.4	51.3±9.9	332.9±151.4
NH ₃ (mg/l)			0.3±0.4	0.2±0.1	0.2±0.2	0.1±0.0	0.7±0.9
			0.1±0.1	0.2±0.2	0.3±0.3	0.0±0.0	19.4±31.8

¹⁾ I: Irrigation water quality standard. E: Effluent quality standard.

²⁾ D: upper data are the water quality of samples obtained in daytime. T: data listed below are the water quality of samples obtained at night.

³⁾ SAR: sodium absorption ratio, $SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{+2} + Mg^{+2})/2}$.

⁴⁾ T-N (Total Nitrogen): the sum of organic and inorganic nitrogen. The irrigation water quality standard of total nitrogen is less than 1.0 mg/l.

長箱中培養，3 天後重新更換水樣，7 天後觀察試驗結果，試驗條件見表一；試驗結束時觀察記錄葉狀體是否出現白化、壞疽

之現象，並計算青萍葉狀體數目之變化，對照組以花寶培養液培養，試驗結果以 Student *t*-tests ($P < 0.05$) 進行統計分析。

結果與討論

水質之化學分析結果

化學分析結果見表二，污水廠放流水排放口 (PS) 及下游 DW1 樣點之電導度值、鈉離子、氯離子及硫酸根離子之含量較上游 UP1 及下游 DW2 樣點為高；UP1 樣點夜間時段水質鈣離子含量偏高，鈣離子最高測值達 116 mg/l，為其他樣點測值之 2-3 倍；UP1 樣點水質之氨離子和硝酸根離子之含量較 PS 及 DW1 樣點高，而 PS、DW1 及 WA 等樣點夜間時段水質銨離子平均含量較日間時段高但測值變異大；UP1、PS 及 DW1 等樣點之銨離子最高含量分別為 26.5、26.2 及 24.4 mg/l，WA 樣點之水質在日、夜間時段銨離子之最高含量則分別為 39.8 mg/l、94.6 mg/l，明顯較其他樣點高；WA 樣點水質在日、夜間時段之差異極為顯著，pH 值、電導度值、鈉離子、銨離子、氯離子及硫酸根離子等項目在日間時段之測值變異較小，而夜間時段之測值偏高且變化劇烈，顯示該樣點之水質在夜間時段有不穩定因子介入，此現象值得注意；表二中氨

(NH_3) 含量為估算值，主要根據 Caicedo⁽⁶⁾ 等之報告，由水質之溫度、pH 值及銨離子濃度計算所得，氨濃度越高對水生生物之毒性越高，WA 樣點夜間之氨濃度明顯偏高，其他樣點水質之氨濃度小於 1.0 mg/L。

DW1 及 DW2 樣點之水樣屬於灌溉水，水質之分析結果以灌溉水標準評比，DW1 樣點之電導度平均值大於 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (灌溉水標準為 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$)，吸鈉比值 (sodium absorption ratio, SAR, $\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/2)}$) 接近標準限值，與 DW2 樣點水質之分析結果比較，DW1 樣點水質非良好之灌溉水；DW1 與 DW2 兩樣點之總氮量皆超過 1.0 mg/l 之標準值，DW1 樣點以銨離子含量較高，DW2 則以硝酸銨離子含量高。

所有樣點水中之鋅、鎘、鎳、總鉻及銅等重金屬含量皆符合灌溉水及放流水標準 (表三)，各樣點水中之鉛含量大多數符合灌溉水標準，唯第四次夜間時段，UP1、PS 及 DW1 樣點水中之鉛含量略高於灌溉水標準 (0.1 mg/l)，含量分別為 0.139、0.125 及 0.128 mg/l。

表三、水中重金屬含量分析結果

Table 3. Summary of heavy metal content in water sampled from the industrial park

Heavy metal	I/E ¹⁾	Range of heavy metal content ²⁾				
		UP2	PS	DW1	DW2	WA
Zn	<2.0/<5.0	ND-0.106	ND-0.113	ND-0.091	ND	ND-0.012
Cd	<0.01/<0.03	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	<0.1/<1.0	ND-0.139 (1) ³⁾	ND-0.125 (1)	ND-0.128 (1)	ND-0.060	ND-0.071
Ni	<0.5/<1.0	ND-0.329	0.047-0.188	0.026-0.178	ND-0.033	ND-0.044
T-Cr ⁴⁾	<0.1/<2.0	0.003-0.089	0.004-0.018	0.004-0.049	0.002-0.031	0.003-0.088
Cu	<0.2/<3.0	ND-0.023	ND-0.029	ND-0.020	ND	ND-0.007

¹⁾ I: Irrigation water quality standard. E: Effluent quality standard.

²⁾ The data included samples of daytime and nighttime.

³⁾ The number of times that heavy metal content of water sample is over the irrigation water quality standard.

⁴⁾ "T-Cr" : the total Cr content, include Cr^{+3} and Cr^{+6} .

水質之青萍生長試驗結果

利用浮萍科植物評估水質，可根據浮萍之葉綠素含量 (chlorophyll content)、生質量 (biomass)、根長 (root length)、對¹⁴C之吸收量 (uptake) 及葉狀體數目 (frond number) 等方法，其中以計算葉狀體數目增加之方法最常被應用，此方法可直接反應浮萍之生長速率^(3, 7, 9, 10, 11, 13)。本試驗以青萍葉狀體數目之增加為評估指標，計算青萍之生長抑制率 (growth inhibition) 以評估水質之優劣，抑制率之公式如下：

$$\text{抑制百分率 (inhibition \%)} = \frac{(C - F)}{C} \times 100\%$$

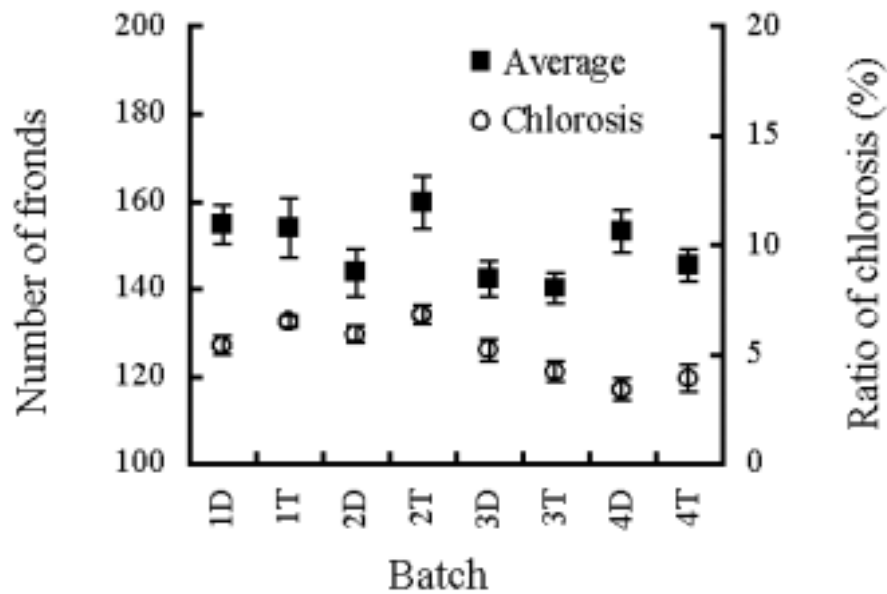
C：對照組青萍增加之葉狀體數目

F：試驗組青萍增加之葉狀體數目

由於浮萍生長試驗主要以對照組浮萍

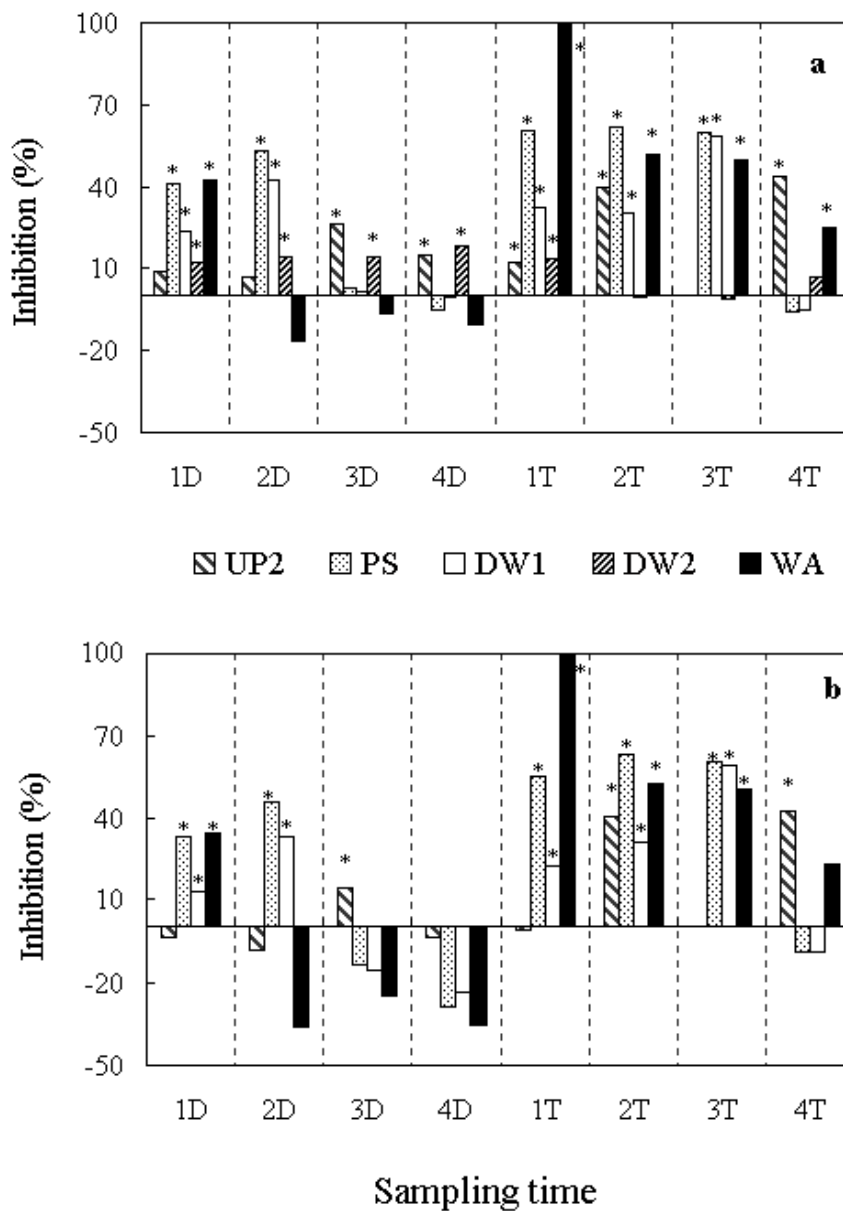
之葉狀體數目做為比較之基礎，因此對照組浮萍生長之穩定性會影響水質之評估；圖二為本研究中各次試驗對照組青萍之生長結果，經 7 天試驗後葉狀體之增生倍率達 4.5-5.1 倍，白化葉片的數目佔總葉狀體數目之比率為 3.4%-7.5%，而葉狀體平均值之變異係數 (coefficient of variation) < 5%，顯示試驗過程中對照組青萍之生長穩定且未受到病蟲害等逆境因子之影響。

各樣點在日間及夜間時段水質對青萍生長之影響，見圖三 a，污水廠放流水排放口 (PS) 的水樣多數呈現抑制青萍生長的趨勢，夜間時段放流水的水質對青萍生長的抑制較日間時段為高，除第四次水樣為促進青萍生長外，前三次水樣對青萍生長之抑制達 60.0% 以上；根據採樣時段及抑制率之變化顯示，DW1 樣點對青萍生長之



圖二、各批次試驗對照組青萍葉狀體增加及白化率之變化情形。

Fig. 2. Frond increase and ratio of chlorosis of duckweed in each batch of the control tests. Sampling time: 1D, the numeral means the sampling number and the letters "D" and "T" means daytime and nighttime, respectively.



圖三、各採樣點水樣對青萍生長之影響。(a)以花寶培養液做為對照組。(b)以 DW2 樣點水樣做為對照組。*：與對照組相比具顯著性差異 ($p < 0.05$)。

Fig. 3. Phytotoxicity test results of industrial effluent and irrigation water samples on duckweed. (a) Inhibition of growth is compared to the dilute HYPONeX nutrient solution. (b) Inhibition of growth is compared to the DW2 sample.

*: Significantly different from the control at $p < 0.05$.

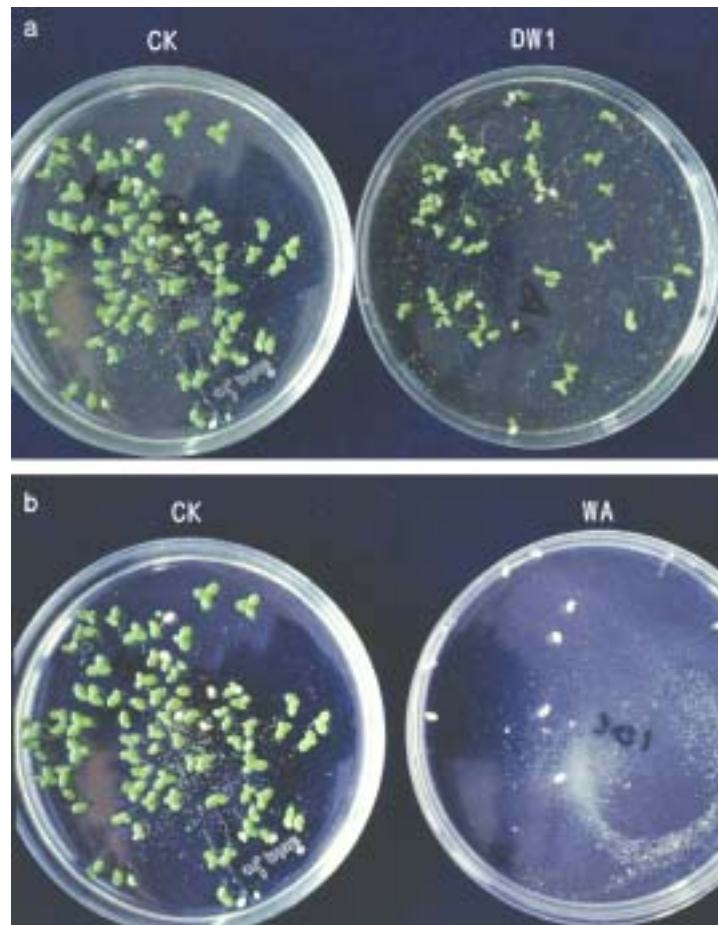
抑制情形與 PS 樣點類似，但抑制率較低，二樣點青萍抑制率之相關係數為 0.87，具顯著相關性。除 PS 及 DW1 樣點之青萍生

長抑制率具相關性外，其他樣點之間，青萍生長抑制率之相關性低（相關係數小於 0.35）；UP1 樣點對青萍之抑制情形亦以夜

間時段偏高，日間及夜間時段之最大抑制率分別為 28.0%、43.2%；DW2 樣點水質對青萍生長之抑制率較其他樣點低，日間時段之水樣對青萍生長之抑制率為 12.1-18.0%，而夜間時段的第一次水樣抑制青萍生長，抑制率為 13.3%，後三次水樣對青萍之生長與對照組無顯著差異。

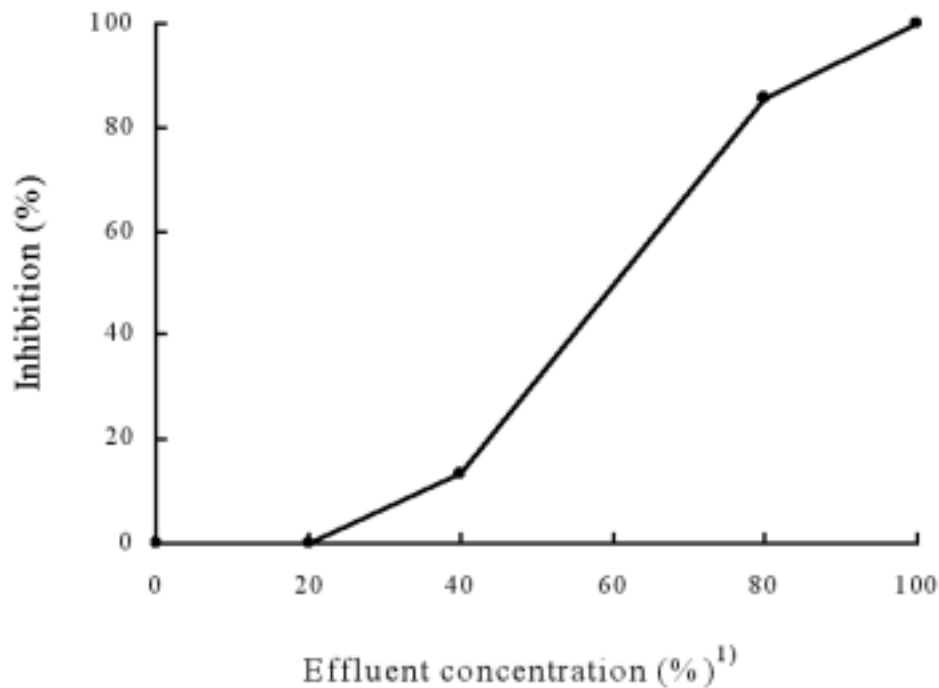
WA 樣點水質對青萍生長抑制率，在日、夜時段呈現極大差異，此情形與該樣點之化學分析結果類似，除第一次採樣之水

質，日間時段的水樣呈現促進青萍生長之趨勢，夜間時段之水樣則明顯抑制青萍生長，尤其第一次（1997 年 11 月份）夜間時段之水樣對青萍抑制率高達 100%，於試驗第二天青萍葉狀體即出現黃化及崩解（breakup），試驗結束時所有葉狀體葉片皆已白化死亡（見圖四）。為了解此水樣之毒性大小，進行確定試驗（definitive test），結果見圖五，該水樣對浮萍生長之 IC_{50} 值及 95% 之信賴區間分別為 57% 及 48% 至 66%。



圖四、青萍生長試驗。(a)DW1 樣點夜間時段水樣抑制青萍之生長情形；(b)WA 樣點夜間時段水樣造成青萍白化及死亡。

Fig. 4. The growth inhibition of duckweed (*Lemna Aequinoctialis* Welwitsch). (a) Duckweed growth in sample DW1. Some of the frond exhibit chlorosis. The growth rate decreased. (b) The water sampled from WA site. The frond exhibit chlorosis, necrosis and then colonies breakup.



圖五、1997年11月WA樣點水樣經稀釋後對青萍生長之抑制率(確定試驗)。

Fig. 5. Inhibition of duckweed grown in different dilutions of WA sample at the night in November 1997. ¹⁾: WA original sample diluted with deionized water to prepare different concentrations of test water for the definitive test.

化學分析結果顯示, DW2 樣點之水質除氮含量超過限值外, 其他項目皆符合灌溉水標準; 進一步以 DW2 作為採樣區之現場對照組, 比較其他各樣點水質對青萍之影響, 見圖三 b, 結果顯示各樣點水質青萍生長率之變化趨勢與圖三 a 類似。

圖三結果顯示, 夜間時段之水質不論是造成青萍生長受抑制之樣品數或對青萍生長抑制率, 都明顯較日間時段高, 日、夜間時段之水樣抑制青萍生長抑制率達 40% 以上者分別佔樣品數之 21% 及 47%; 由青萍生長試驗顯示, 夜間時段污水廠放流水排放口及周邊樣點之水質呈現較高的植物毒性。

水質化學分析與青萍生長試驗結果之比較

化學分析結果顯示, 工業區污水廠放

流水 (PS) 水質之電導度值、鈉、氯、硫酸根及氫離子有偏高的現象; 位於放流口下游樣點之水質則依距離遠近受到放流水不同程度之影響, DW1 距離 PS 樣點最近, 水質之化學分析結果與 PS 樣點相關性高, 包括: 電導度值、鈉、鉀、鎂、鈣離子及氫離子等項目皆達顯著相關 (相關係數 0.75-0.96), 顯示污水廠放流水會直接影響下游水田區之灌溉水, 放流水中所含高濃度之鈉離子也是導致 DW1 水質之吸鈉比偏高之重要原因, 吸鈉比值 (SAR) 與水中鈉及鎂、鈣離子之濃度有關, 高吸鈉比值代表水中鈉離子高, 長期引灌會造成鹽鹼土及鹼土之發生⁽²⁾; 由於放流水標準並未對電導度值、鈉、氯、硫酸根離子等項目訂定排放限值, 對於硝酸態氮及銨態氮之限值亦較灌溉水標準寬鬆, 儘管分析

結果顯示 DW1 樣點之水質受到放流水之影響而非良好之灌溉水，但依據放流水標準評估，不論日、夜間時段 PS 樣點之水質皆符合放流水標準。WA 位於 PS 樣點下游約 0.14 公里處，該樣點之水質雖然未進入工業區周邊之灌溉渠道（DW1 樣點）直接影響農作物之生長，然而 WA 樣點於日、夜間時段之水質，不論化學分析或青萍生長試驗之結果皆呈現明顯差異，推測此樣點為工廠私埋之排水管道，並且有夜間偷排未處理廢水之情形，此類水樣易對水生生物造成急性毒害。DW2 為該區域所有樣點之最終承受水體，其水質之化學分析結果除總氮含量較高外，其他成分因子皆符合灌溉水質標準，水質較其他樣點佳，對青萍生長之影響較低，本樣點距離放流水口遠且經過河床淤泥及植物之淨化，且上游有豐沛水量稀釋等因素而減低了放流水對該樣點水質之衝擊。

污水廠放流水（PS）於日、夜間時段之水質雖然符合放流水標準，卻仍然對浮萍之生長造成顯著之抑制，以迴歸分析比較化學分析結果與浮萍生長抑制率之變化，發現抑制率之高低與水中單一成分因子無顯著相關，個別分析項目之測值與抑制率之相關係數小於 0.35，迴歸分析後之 R^2 值皆小於 0.12，顯示青萍生長抑制率非水質中單一成分因子之變化所影響；Wang^(15, 16)報告指出，金屬蝕刻工廠之廢水經處理後，Zn、Pb 之濃度分別由 1,207 及 1,122 mg/l 降為 4.24、0.906 mg/l，略高於聯邦法規之放流水標準值（Zn=2.61、Pb=0.69 mg/l），在其他成分皆符合標準值之情況下，仍對種子發芽造成 100% 抑制率，其原因可能是放流水中個別成分間複雜的交互作用所導致，顯示合乎放流水標準之工廠廢水並不能表示對生物不具毒性；Clément⁽⁵⁾探討垃圾掩埋場之滲出液對浮萍生長之急毒性，認為滲出液之鹼度（alkalinity）不會直接影響浮萍之生長，

而是透過對 pH 值之影響控制銨離子（ NH_4^+ , ammonium）與氨（ NH_3 , ammonia）濃度之變化進而影響浮萍生長，當 pH 值升高銨離子轉變為氨，氨的濃度越高對浮萍之毒性則越強。化學及儀器分析雖可監測放流水中個別污染成分的含量，然而單純的分析數據無法完整評估成分因子間之協力作用對生物所造成之影響。

結 論

環境品質監測雖有物理、化學之方法，但此二法僅能測出環境瞬間之狀態，若以長期變化趨勢及對生態環境衝擊之監測，則生物指標更具實用性。化學及儀器分析雖可監測放流水中個別污染成分的含量，然而單純的分析數據並無法評估成分因子間之協力作用對生物所造成之影響，因此，放流水對生物之毒害潛能（potential）應考慮以生物試驗進行水質評估，報告指出，高等植物已經被應用於工業及都市廢水之淨化並監測已污染之環境，而浮萍科植物則是最具代表性者，有關浮萍與環境污染物之相關植物毒性試驗及其適用性仍被廣泛研究探討^(5, 6, 7, 9, 10, 11)。相較於魚類、水蚤及藻類試驗等生物毒性測試法，浮萍生長試驗法具有操作簡單且不需額外儀器設備或複雜培養系統等優點，本試驗結果顯示本土青萍 *Lemna aequinoctialis* Welwitsch 具有做為台灣地區監測環境水質之潛力。

謝 辭

本研究承蒙本所殘毒管制組協助水樣之重金屬分析，謹此致謝。

引用文獻

1. 楊遠波、劉和義、林讚標 編。2001。

- 台灣維管束植物簡誌第五卷。行政院農業委員會。台北。378 頁。
- 張仲民 編。1988。普通土壤學。國立編譯館。台北。604 頁。
 - American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
 - Armstrong, W. P. 2002. Wayne Armstrong's on-line description of *Lemna aequinocialis* (Lemnaceae). Available at <http://waynesword.palomar.edu/leae.html>.
 - Bernard, C., and Merlin, G. 1995. The contribution of ammonia and alkalinity to landfill leachate toxicity to duckweed. *Sci. Total Environ.* 170: 71-79.
 - Caicedo, J. R., Van Der Steen, N. P., Arce, O., and Gijzen, H. J. 2000. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*). *Water. Res.* 34: 3829-3835.
 - Cross J. W. 2002. Duckweed geography and environmental adaptation. Available at <http://www.mobot.org/jwcross/duckweed.html>.
 - US EPA. 1996. Ecological effects test guidelines OPPTS 850.4400 Aquatic plant toxicity test using *Lemna* spp., tiers I and II. EPA712-C-96-156. Duluth, MN, USA.
 - Lewis, M. A. 1995. Use of the freshwater plants for phytotoxicity testing: a review. *Environ. Poll.* 87: 319-336.
 - Lewis, M. A. 1998. Freshwater primary producers, pp. 28-50. *In*: P. Calow ed. Handbook of ecotoxicology. Blackwell Science, Oxford, UK. 850pp.
 - Mohan, B. S., and Hosetti, B. B. 1999. Aquatic plants for toxicity assessment (Review). *Environ. Res. Sect. A.* 81: 259-274.
 - Zhang, T., and Jin, H. 1997. Use of duckweed (*Lemna minor* L) growth inhibition test to evaluate the toxicity of acrylonitrile, sulphocyanic sodium and acetonitrile in China. *Environ. Poll.* 98: 143-147.
 - Wang, W. 1990. Literature review on duckweed toxicity testing. *Environ. Res.* 52: 7-12.
 - Wang, W., and Williams, J. M. 1990. The use of phytotoxicity tests (common duckweed, cabbage, and millet) for determining effluent toxicity. *Environ. Monit. Assess.* 14: 45-58.
 - Wang, W. 1990. Characterization of phytotoxicity of metal engraving effluent samples. *Environ. Monit. Assess.* 14: 59-65.
 - Wang, W. 1991. Higher plants (common duckweed, lettuce, and rice) for effluent toxicity assessment, pp.68-76. *In*: J. Gorsuch, W. Lower & K. St. John [eds.], Plants for toxicity assessment. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. 401 pp.

ABSTRACT

Shyu, T. H.*, Lee, Y. H., and Chung, M. Y. 2002. Investigations of water quality in a ditch from the Taichung Industrial Park and evaluation of effluent toxicity using a duckweed toxicity test. Plant Prot. Bull. 44: 157-169. (Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung, Taiwan 413, ROC)

The quality of effluents from a sewage farm at the Taichung Industrial Park and surrounding irrigation water was studied. Sampling was performed at 5 sites: the PS site is the effluent discharge point, the UP1 site is upstream of PS, and the DW1, DW2, and WA sites are downstream of PS; DW1 and DW2 are located around the industrial park in irrigation ditches. Water samples were collected during the daytime and nighttime in November 1997, and February, April, and June 1998. Items for irrigation standards such as pH, electrical conductivity, anions, cations, heavy metals, etc. were analyzed in each sample. The 7-day growth inhibition experiment of the common duckweed species *Lemna aequinoctialis* Welwitsch was used to evaluate the phytotoxicity of effluent and irrigation water samples. Results of water analysis showed that the values of electrical conductivity, Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , and total nitrogen content of the industrial effluent (PS site) were high, and influenced the qualities of DW1. The quality of water from the WA site was the worst; it is highly probable that illegal factories stealthily discharge untreated wastewater. The duckweed growth inhibition experiments indicated that the water samples collected at nighttime were more toxic. The first to the third nighttime water samples of industrial effluents (at the PS site) inhibited the growth of duckweed by more than 60%. The first nighttime water sample of the WA sites showed 100% inhibition in the duckweed growth test. There was no significant correlation between duckweed growth inhibition and the concentration of each item in the chemical analysis. It is hard to evaluate the toxicity of an effluent merely using chemical analysis. Phytotoxicity data must be considered in the development of water quality criteria to protect crops and aquatic life and for the toxicity evaluation of industrial effluents. *Lemna aequinoctialis* Welwitsch is one of the common duckweed species in Taiwan. According to its growth rate and response to pollutants, *L. aequinoctialis* Welwitsch is suitable for the determination of the phytotoxic effects of industrial effluents and evaluation of the impacts of pollutants in aquatic systems.

(Key words: water pollution, phytotoxicity, *Lemna aequinoctialis* Welwitsch, growth inhibition, industrial park)

*Corresponding author. E-mail: ths@tactri.gov.tw