

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

040714

水質監測－水生生物與重金屬之分析研究

學校名稱：高雄縣立林園高級中學

作者：	指導老師：
高二 劉佩紋	李憶萍
高二 顏菀李	王天德
高二 黃亭皓	
高二 黃俊富	

關鍵詞：重金屬、水生植物、逆境激素

水質監測-水生生物與重金屬之分析研究

前言：

台灣從傳統的農業社會蛻變轉型，邁入經濟發達的現代化工商業社會，雖然有了如此般的經濟奇蹟，卻也因此葬送了寶貴的生態環境；許多人對於林園的第一印象總是與「汙染」劃上等號，但在林園工業區旁的那一大片濕地卻鮮少有人知道，濕地中有許多水生動植物(例如：蒼燕鷗、海茄苳、水筆仔…等)，對林園人來說無疑是在水質淨化與監測上扮演了十分重要的角色。

壹、研究動機

重金屬汙染問題一直困擾著許多國家，尤其對已開發國家來說，健康是人們追求生命意義最崇高的目標。最近有一份報導指出在鎘污染嚴重的區域種植稻米易產生鎘米，且若栽種不同品種的稻米則產生鎘米的程度也有所不同，例如：蓬萊米、在來米，其原因可能與植物體內的某種激素對重金屬的反應改變蒸散作用的強弱，進而影響植物所吸收的重金屬多寡有關。同時我們找到了一份有關植物吸收重金屬離子的相關研究，其內容是關於布袋蓮對重金屬離子的吸附能力，但由於布袋蓮是外來種且對環境有害，因此我們想以淡水常見的水生植物如小榕、水蘊草及萍蓬草來做實驗，希望能藉由結果來淨化水質，並能幫助溼地的復育。另有報導指出使用水蚤做為水質污染分級指標，故因而想到溪水較常見的長臂蝦是否也可以做為重金屬級數的分類依據。

貳、研究目的

- 一、探究水生植物包含沉水植物(小榕、水蘊草)及挺水植物(台灣萍蓬草)於重金屬離子(Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+})逆境時的忍受閾值
- 二、比較小榕、水蘊草、台灣萍蓬草對重金屬離子(Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+})之吸附率及探究其降低水中重金屬濃度之能力
- 三、了解重金屬離子(Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+})對長臂蝦存活之影響並以其對長臂蝦的傷害作為污染分級依據

參、研究設備及器材

- 一、水生生物：小榕、水蘊草、台灣萍蓬草、長臂蝦
- 二、重金屬：硝酸鉛、硫酸鋅、硫酸銅
- 三、測量儀器：TDS 水質測試筆、複式顯微鏡、導電度測量器(由碳棒、毫安培器、電阻與直流電源供應器串聯而成)
- 四、其他：1 公升燒杯、50 毫升燒杯、4 公升水槽、量筒、蒸餾水、乳頭滴管、洗滌瓶、幫浦機、數位相機、微量天秤、攪拌棒、載玻片、蓋玻片

肆、研究過程或方法

一、置入小榕、水蘊草、台灣萍蓬草

(一)生物材料與資料查閱：

分類	水生植物	小榕(參一)	水蘊草(參二)	台灣萍蓬草(參三)
	學名	Anubias barteri var. nana	Egeria densa	Nuphar pumilum
	界	植物界 Plantae		
	門	被子植物門 Magnoliophyta		
	綱	雙子葉植物綱 Magnoliopsida	單子葉植物綱 Liliopsida	雙子葉植物綱 Magnoliopsida
	目	澤瀉目 Alismatales	水蘊目 Hydrocharitales	毛茛目 Ranunculales
	科	天南星科 Araceae	水蘊科	睡蓮科 Nymphaeaceae
	屬			萍蓬草屬 Nuphar
	種			萍蓬草 N. pumilum

(二)實驗步驟及方法：

- 1、配置 10ppm~70ppm 的各類重金屬污染液當做對照組並測量其 TDS、mA 值，製成表格便於作為比對
- 2、分別在 1L 燒杯中加入蒸餾水並配置 30、40、50、60、70ppm 的 ZnSO₄、CuSO₄、Pb(NO₃)₂ 污染液
 - (1)分別置入水生植物：沉水(水蘊草 2 株、小榕 1 株)、挺水(台灣萍蓬草 2 株)
 - (2)連續觀察十五天，並且每天測試水的 TDS、mA 值，且重複三次取其平均值以折線圖呈現變化趨勢，且觀察植物的外觀變化及觀察細胞變化

二、置入長臂蝦

(一)生物材料與資料查閱：

中文學(俗)名：潔白長臂蝦(參四)

科文學名：長臂蝦科

拉丁學名：Palaemon concinnus

命名者：Dana

基本特徵：潔白長臂蝦 頭胸甲光滑長 10.8~13.1 公厘，不具肝刺。

額角細長，頭胸及腹甲均為半透明。(圖見附錄)

棲息地：台灣、大陸東南部、香港、馬來群島、非洲東部及紅海

全球分布：河川下游及稍有鹽分之河口水域

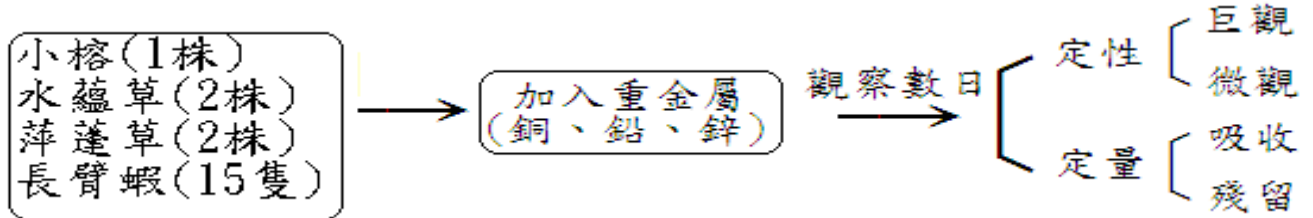
(二)實驗步驟及方法：

1、分別在 4L 水槽中加入蒸餾水並配置 30、40、50、60、70ppm 的 ZnSO₄、CuSO₄、Pb(NO₃)₂ 污染液

(1)分別置入水生動物：長臂蝦(無脊椎動物，15 隻)，觀察其外觀變化

(2)以低濃度(40ppm 以下)、中濃度(40ppm~60ppm)、高濃度(60ppm 以上)做為分級，並將其外觀變化整理製為表格

實驗流程圖：



伍、研究結果

一、置入水蘊草、小榕、台灣萍蓬草後的變化

(一) 對照組

表 1 各 ppm 的重金屬污染液之對照組(Zn²⁺-黑 Cu²⁺-綠 Pb²⁺-藍)

數值 ppm 濃度	TDS(PPM)			mA		
10 ppm	12	8	3	3	2	1
20 ppm	13	13	7	4	4	2
30 ppm	19	24	17	4	5	4
40 ppm	23	39	20	5.6	7	5
50 ppm	34	45	26	6.7	8	5.7
60 ppm	42	51	33	7.9	8	6.6
70 ppm	47	66	38	9.2	10	8

(二) 三種植物在 30、40、50、60、70ppm 之 ZnSO₄ 的 TDS、mA

表 2-1 ZnSO₄ 對小榕的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	19	19	16	15	14	11	10	10	9	9	7	8	9	11	13
40ppm	23	21	20	18	17	16	16	15	17	18	19	22	24	28	31
50ppm	34	33	31	30	26	31	35	37	39	41	43	44	44	46	49
60ppm	42	41	39	37	40	43	44	46	47	49	52	53	57	59	62
70ppm	47	49	51	52	54	57	61	66	67	69	72	73	74	78	82

表 2-2 ZnSO₄ 對小榕的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	4	3.5	3.4	3.3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.6	2.8	2.8	2.9	3
40ppm	5.6	4.9	4.3	4	3.8	3.5	3.5	3.5	3.8	4	4	5.2	5.6	6	6.4
50ppm	6.7	6.7	6.4	6.3	5.8	6.4	6.7	6.8	6.8	7	7.1	7.1	7.1	7.8	8.3
60ppm	7.9	7.8	7.7	7.4	7.9	8.4	8.8	9.2	10	10.4	10.8	11	11.5	12	12.3
70ppm	9.2	9.7	10.3	10.9	11.4	11.6	12.3	12.7	13.5	14	14.3	14.8	15.3	15.7	16.5

表 2-3 ZnSO₄ 對水蘊草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	19	17	14	13	11	9	8	7	9	12	14	15	17	17	18
40ppm	23	22	21	19	16	20	23	24	26	28	31	32	35	37	38
50ppm	34	31	27	32	33	35	38	42	46	47	47	51	55	57	61
60ppm	42	46	50	51	52	55	57	59	62	66	68	72	75	78	82
70ppm	47	52	56	62	63	68	73	77	79	83	84	89	92	96	99

表 2-4 ZnSO₄ 對水蘊草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	3.6	3.3	3.2	3	2.8	2.7	2.6	2.8	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.9
40ppm	5.6	5	4.6	4	3.5	4.2	4.8	5.7	5.9	6	6	6.1	6.6	7	8.1
50ppm	6.7	6	5.6	5.7	5.7	6.2	6.8	7.5	8	8.3	8.6	9.4	9.7	10.2	11.1
60ppm	7.9	8.4	9.2	9.6	9.7	10.1	10.5	11	11.2	12.3	13.2	13.7	14.1	14.3	14.9
70ppm	9.2	10	11.1	11.5	12.9	13.6	14.2	15	15.8	16.2	17	17.9	18.7	19.6	21

表 2-5 ZnSO₄ 對萍蓬草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	19	17	17	16	14	13	17	18	21	22	24	25	27	27	28
40ppm	23	21	19	18	17	20	22	23	24	27	31	32	33	36	40
50ppm	34	31	28	30	33	37	42	48	53	56	58	59	61	64	71
60ppm	42	48	51	55	59	63	66	70	75	76	77	79	83	87	92
70ppm	47	56	63	72	80	85	90	93	96	97	99	101	104	106	109

表 2-6 ZnSO₄ 對萍蓬草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	3.1	3	2.9	2.5	2.3	2.4	2.6	2.9	3	3.8	4	4.2	4.5	5.2
40ppm	5.6	4.6	4.3	4	3.6	3.7	3.9	4.2	4.5	5.2	5.6	6	6.2	6.6	7.2
50ppm	6.7	6.4	6	6.4	6.4	6.8	7	7.4	7.9	8	8.4	9	9.8	10.8	11.7
60ppm	7.9	8.4	9.3	10	10.8	11.3	12	12.4	12.4	12.9	13.3	13.9	13.9	14.2	14.9
70ppm	9.2	10.7	10.7	12	12.7	13.7	14.1	15.5	15.8	16.6	16.8	16.9	17.2	17.3	17.9

TDS 誤差約為 ±2~±3

mA 誤差約為 ±0.2~±0.3

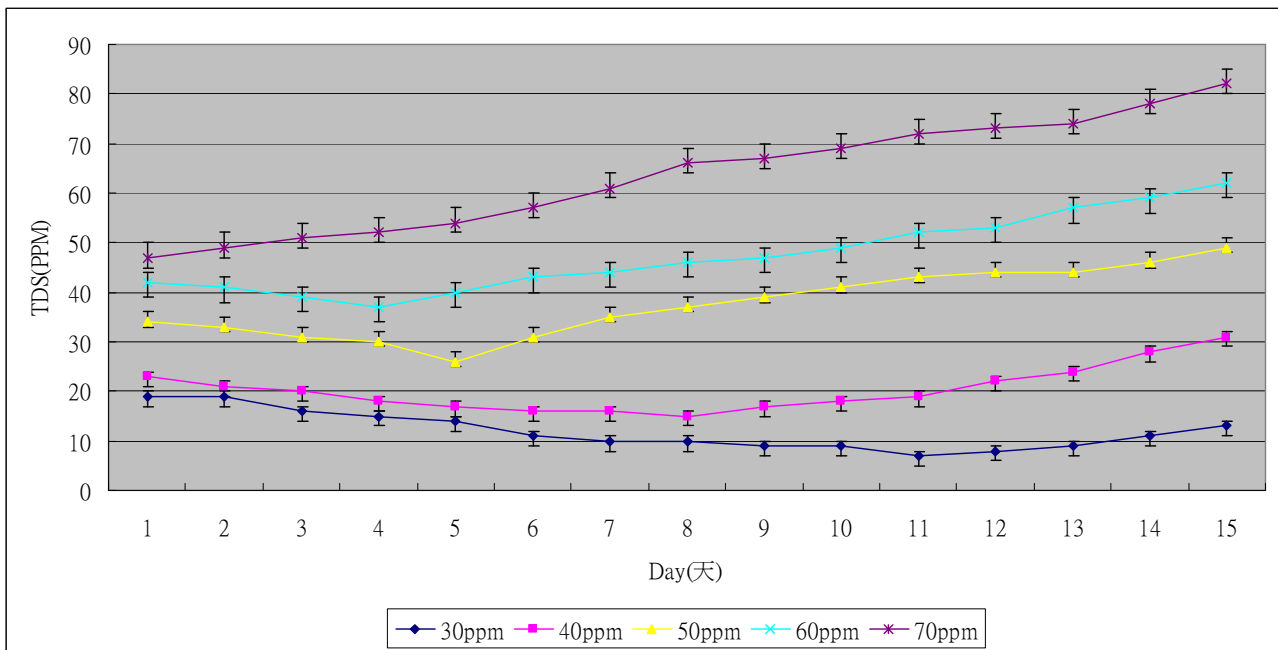


圖 2-1 ZnSO₄ 對小榕的 TDS

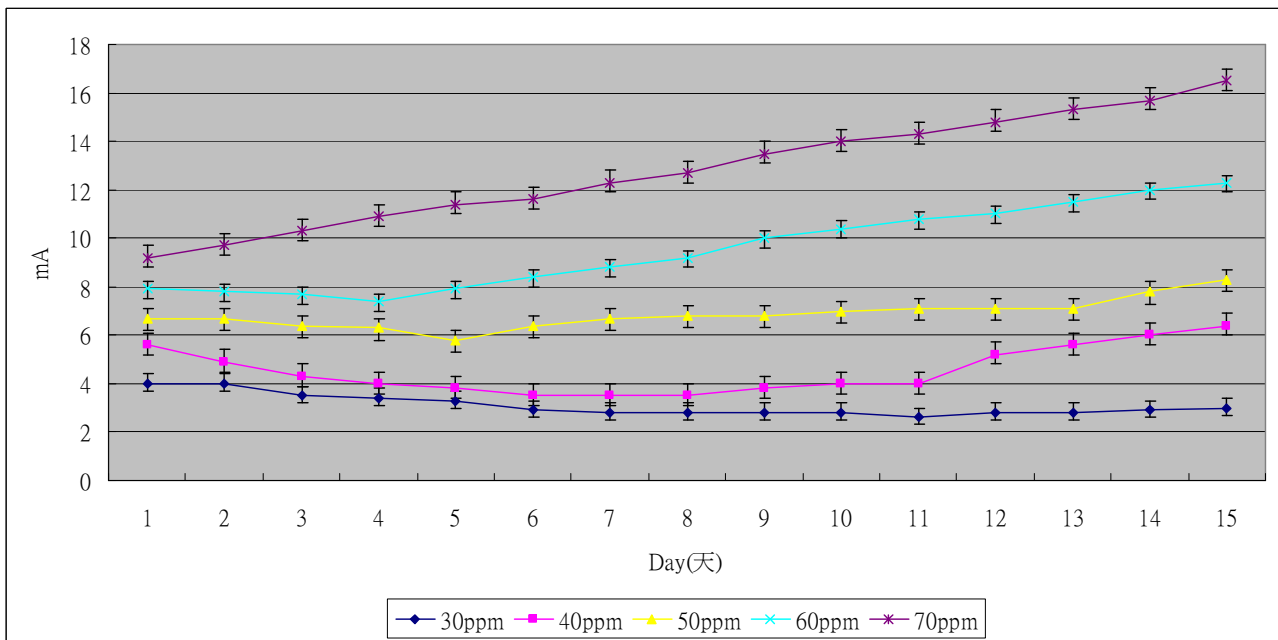


圖 2-2 ZnSO₄ 對小榕的 mA

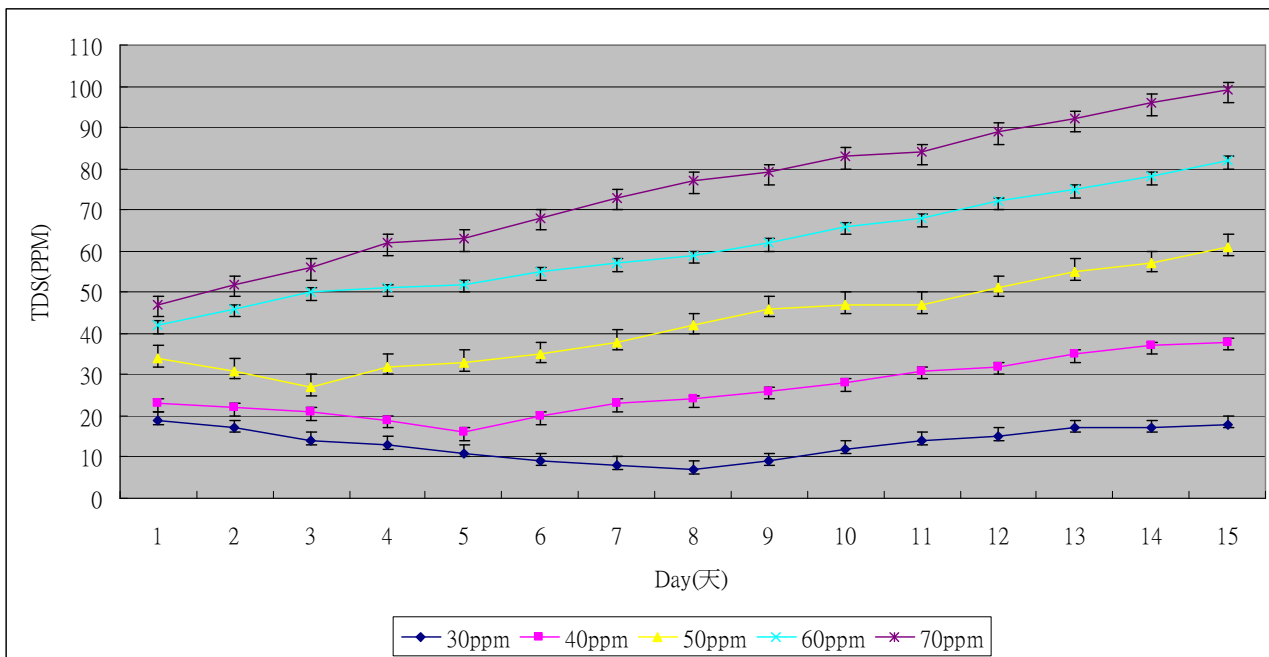


圖 2-3 ZnSO₄ 對水蘊草的 TDS

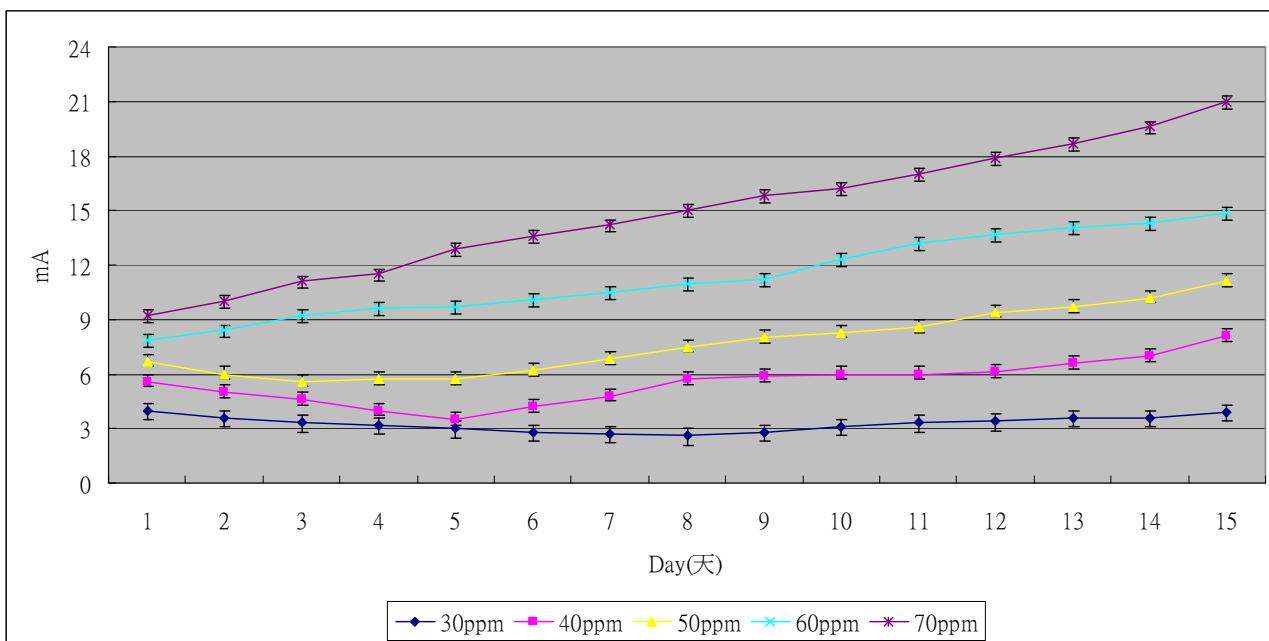


圖 2-4 ZnSO₄ 對水蘊草的 mA

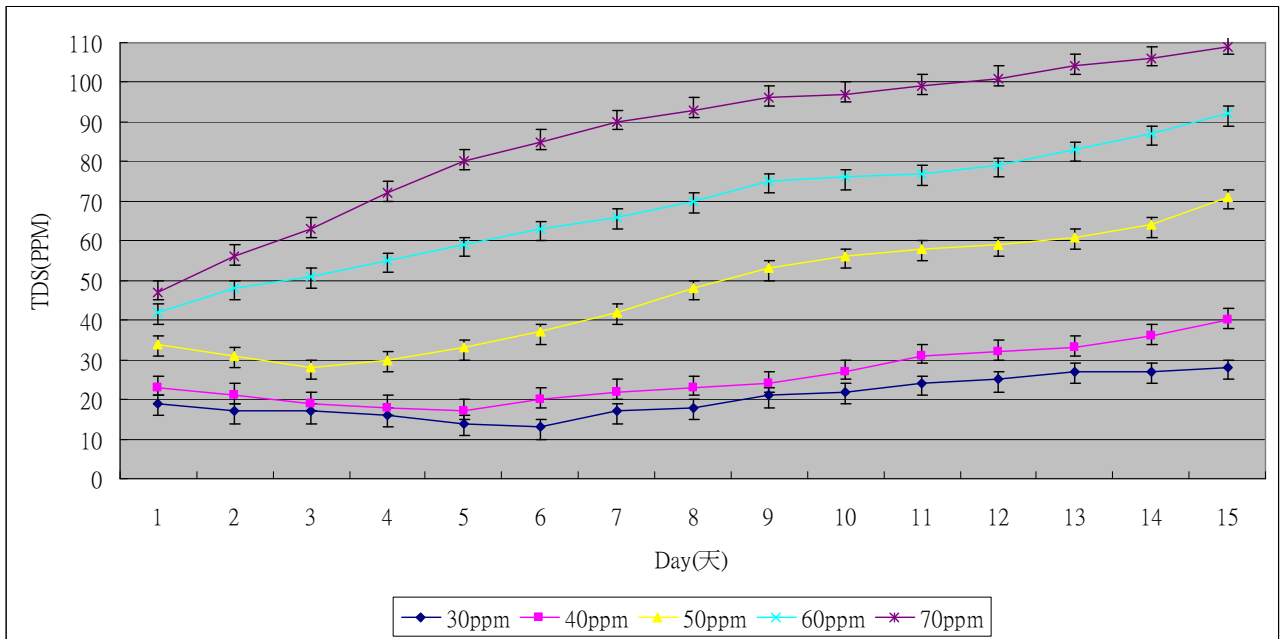


圖 2-5 ZnSO₄ 對萍蓬草的 TDS

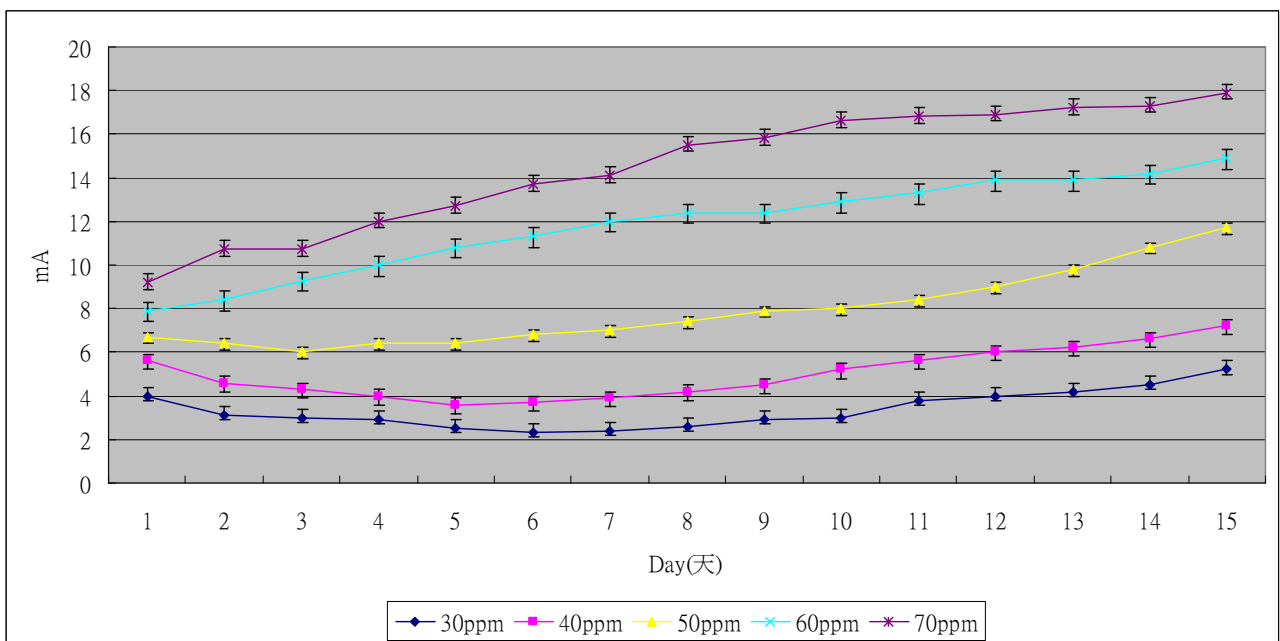


圖 2-6 ZnSO₄ 對萍蓬草的 mA

(三) 三種植物在 30、40、50、60、70ppm 之 CuSO_4 的 TDS、mA

表 3-1 CuSO_4 對小榕的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	24	21	18	47	69	74	89	93	106	113	124	156	187	203	217
40ppm	39	34	57	69	87	102	128	158	189	206	234	256	279	311	332
50ppm	45	87	165	189	213	235	264	273	287	301	321	337	367	372	391
60ppm	51	112	189	235	259	280	300	320	340	351	374	392	402	444	479
70ppm	66	150	269	306	348	393	440	460	475	480	495	498	507	520	549

表 3-2 CuSO_4 對小榕的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	6	5.7	5.4	12.3	15.6	19.7	21.2	21.6	23	23.6	25	29.1	33.3	35.3	38.2
40ppm	9	7.8	14	16.4	20.6	22.4	26	29.8	32	35.3	41	43.1	46	47.2	49
50ppm	11.6	20.6	30.2	35	37.3	40	44.4	45	46.5	47	48.3	49.5	50	50.5	51.3
60ppm	14.9	23.5	32	40	42.2	46.2	46.9	48	49.6	49.8	51.1	51.5	51.7	52	54.5
70ppm	18.9	28.5	44.8	50.4	50.5	51.7	52	52.8	54.3	54.6	55	55.2	56.3	57.6	59

表 3-3 CuSO_4 對水蘊草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	24	21	17	16	16	15	14	13	12	16	18	20	23	26	31
40ppm	39	37	33	31	29	27	26	28	31	35	36	39	42	43	46
50ppm	45	43	42	40	43	44	46	47	50	53	54	57	61	62	65
60ppm	51	50	53	54	57	62	63	66	69	73	77	80	84	88	93
70ppm	66	73	79	84	87	89	94	97	98	102	106	110	118	124	127

表 3-4 CuSO₄ 對水蘊草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	6	5.7	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	5.2	5.4	5.5	5.9	6.2	7
40ppm	8.2	8	7.7	7.3	7	7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.9	8.2	8.5	9	9.6
50ppm	11.6	9	8.5	8.3	9	10.8	12	12.3	12.9	13.5	13.7	14	14.5	14.6	15
60ppm	14.9	12.9	15	15	15.3	15.6	15.7	16.2	16.4	17.1	17.1	17.3	17.7	18.2	21.5
70ppm	18.9	19.5	20.1	20.4	20.6	21.2	21.8	22	22.1	22.4	23	23.4	24.5	25	25.3

表 3-5 CuSO₄ 對萍蓬草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	24	22	21	25	29	31	39	48	57	61	67	73	82	94	102
40ppm	39	36	38	41	48	53	62	67	72	77	83	87	97	109	118
50ppm	45	61	69	74	80	85	89	93	97	101	106	113	117	121	135
60ppm	51	70	78	82	89	96	102	110	117	125	136	142	151	164	179
70ppm	66	78	89	97	104	113	125	136	149	161	176	191	213	227	239

表 3-6 CuSO₄ 對萍蓬草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	6	5.8	5.7	6.2	7	7	9	12.4	14	14.5	19.2	19.5	20.3	21.8	22.4
40ppm	9	7.9	8.1	8.4	12.4	13.5	14.6	19.2	19.4	20	20.2	20.6	22	23.2	24.5
50ppm	11.6	14.5	19.2	19.7	20.2	20.5	21.2	21.6	22	22.1	23	23.6	24	24.7	26.5
60ppm	14.9	19.3	20	20.2	21.2	21.5	22.4	23.4	24	25.5	26.7	27.5	28.3	30.2	31
70ppm	18.9	20	21.2	21.7	22.8	23.6	25.3	26.7	28	29.7	30.5	33	37.4	39.2	41.2

TDS 誤差約為 ±3~±5

mA 誤差約為 ±0.3~±0.5

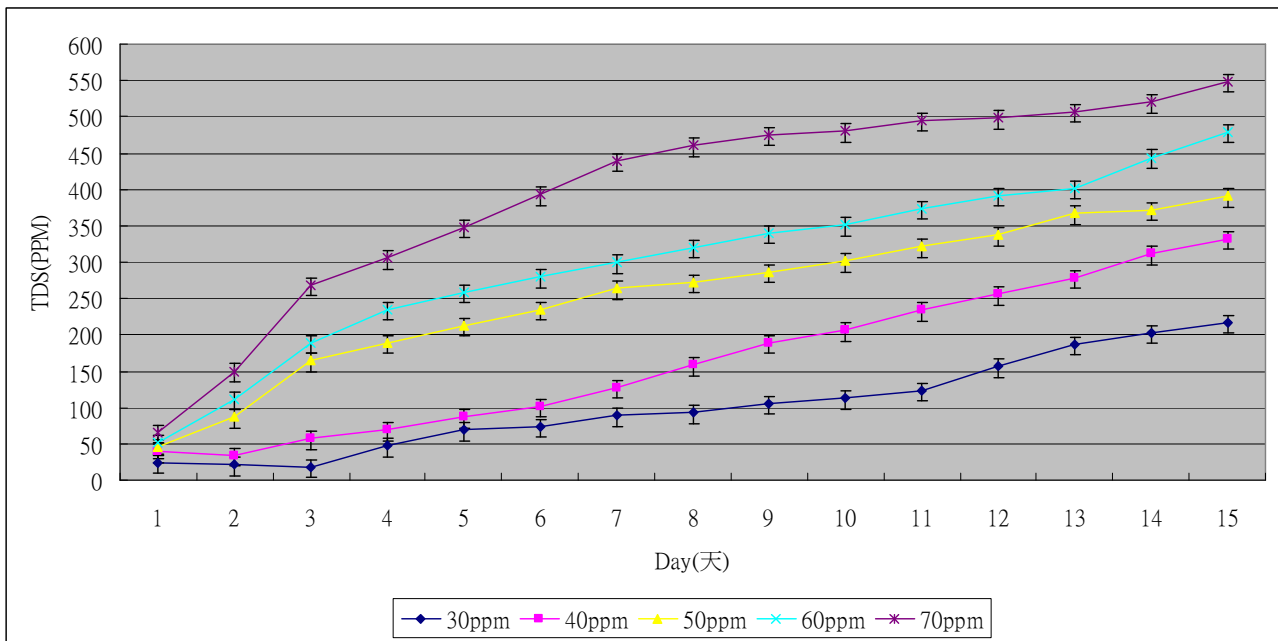


圖 3-1 CuSO_4 對小榕的 TDS

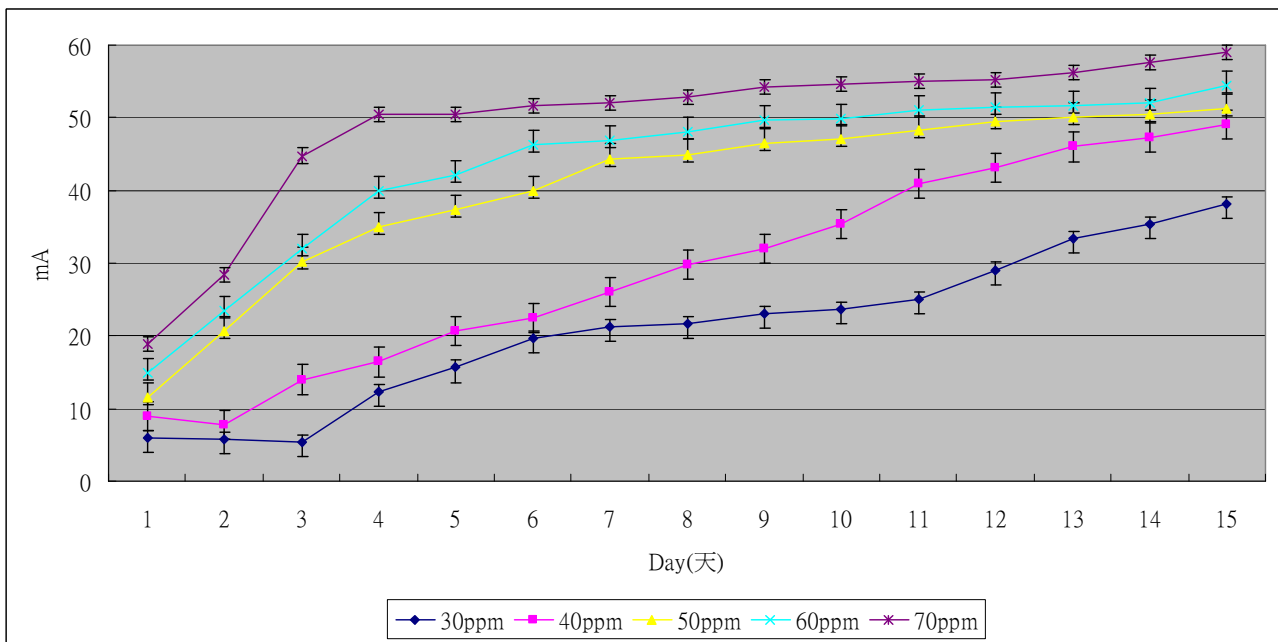


圖 3-2 CuSO_4 對小榕的 mA

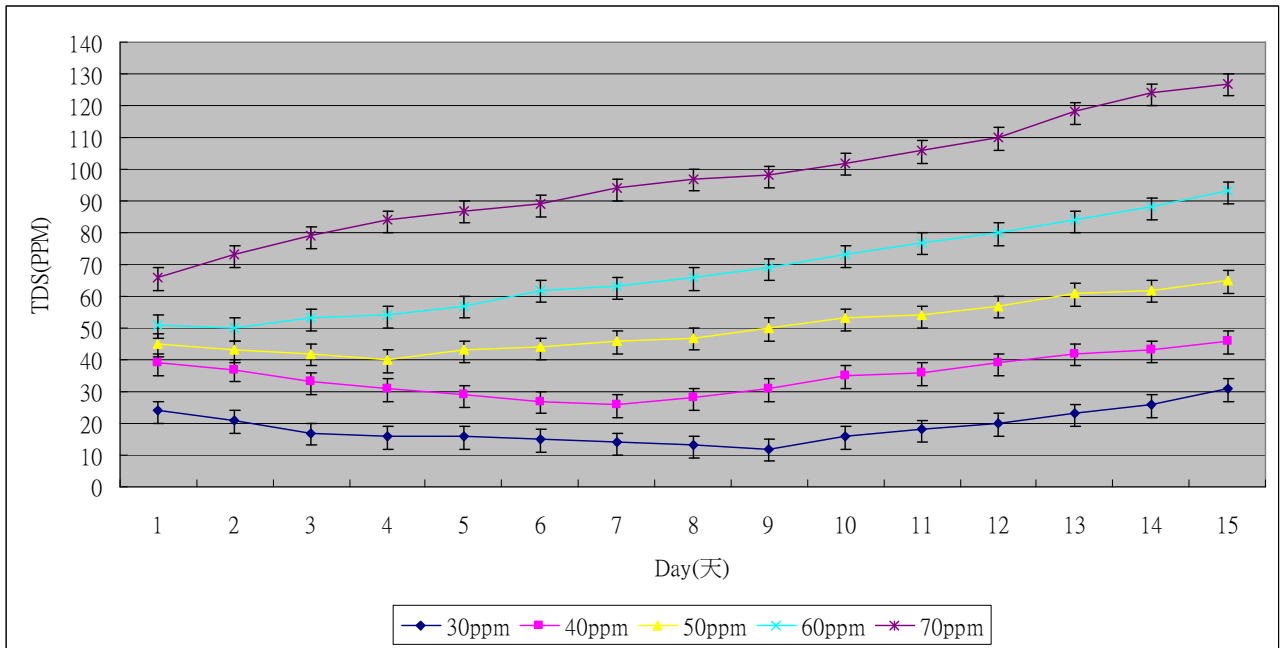


圖 3-3 CuSO_4 對水蘊草的 TDS

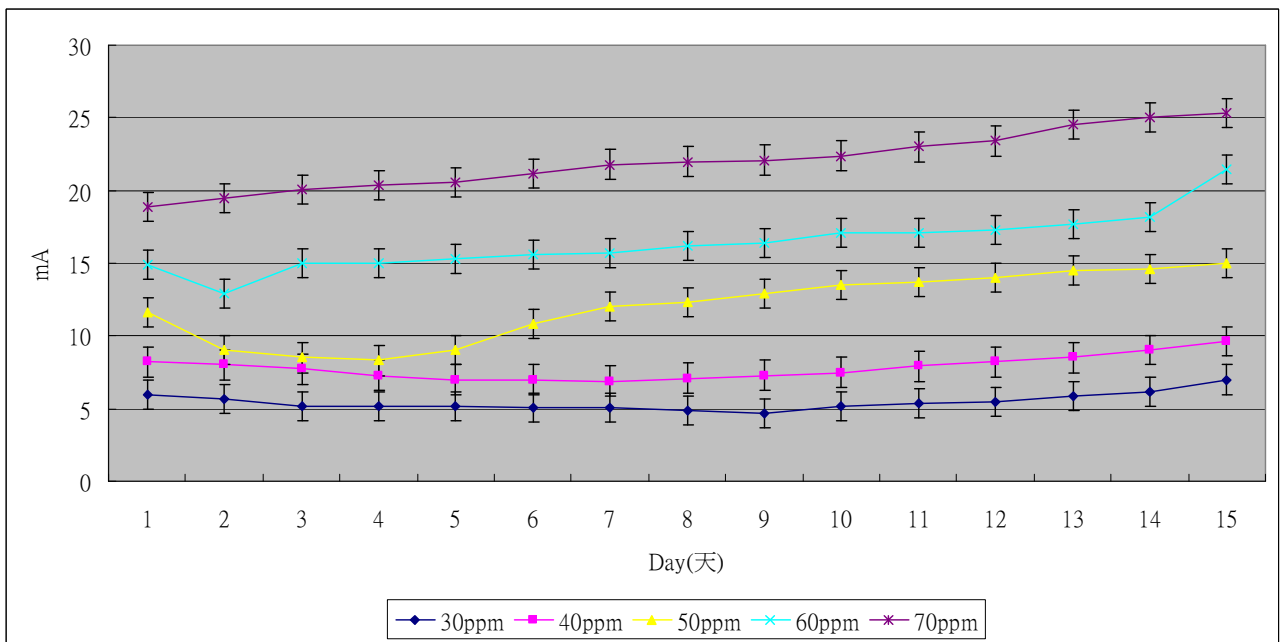


圖 3-4 CuSO_4 對水蘊草的 mA

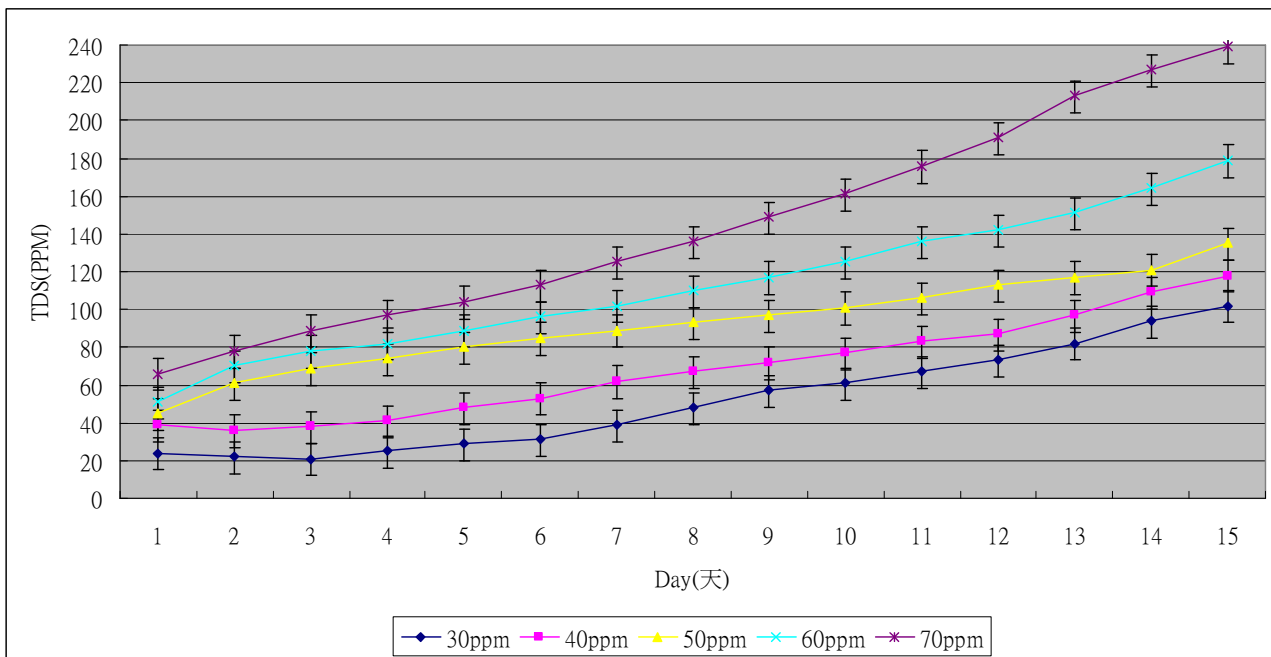


圖 3-5 CuSO₄ 對萍蓬草的 TDS

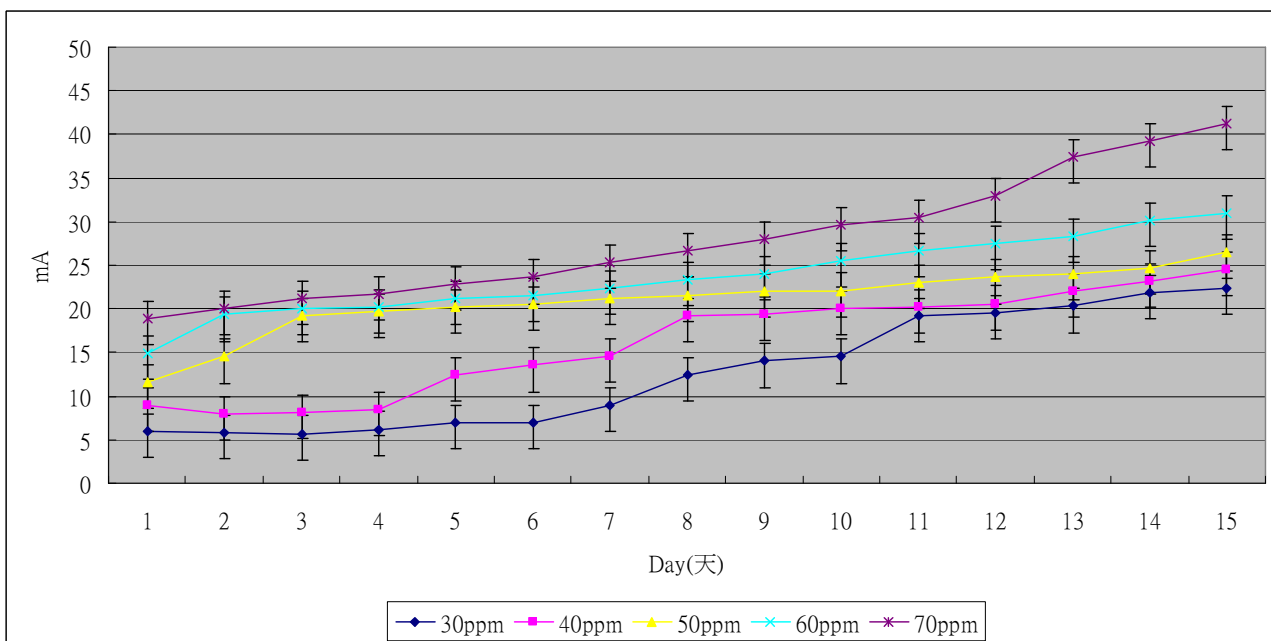


圖 3-6 CuSO₄ 對萍蓬草的 mA

(四) 三種植物在 30、40、50、60、70ppm 之 $Pb(NO_3)_2$ 的 TDS、mA

表 4-1 $Pb(NO_3)_2$ 對小榕的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	17	16	14	12	11	11	9	12	13	14	15	17	19	19	21
40ppm	20	18	17	15	14	17	18	18	19	22	23	25	26	27	29
50ppm	26	26	27	29	29	31	33	34	36	37	37	38	39	41	43
60ppm	31	35	39	42	45	45	46	47	49	51	52	54	57	61	63
70ppm	38	45	51	55	59	63	66	73	77	82	86	89	92	97	105

表 4-2 $Pb(NO_3)_2$ 對小榕的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	3.5	3.3	3	2.8	2.6	2.2	2.4	2.5	2.8	3.1	3.5	3.6	3.8	4.5
40ppm	5	4.5	4.1	3.9	3.6	4	4	4.1	4.3	4.6	4.7	4.9	5.1	5.7	6
50ppm	5.7	5.7	5.8	5.8	6	6.2	6.4	6.5	6.7	6.9	7	7.4	7.5	8	8
60ppm	6.6	7	7.2	7.6	8	8.1	8.5	9	9.2	10	10.5	10.7	10.8	11	11.2
70ppm	8	8.9	9.6	10.2	10.8	11.6	12.7	13.9	14.8	15.5	15.9	16.3	16.8	17.6	18.7

表 4-3 $Pb(NO_3)_2$ 對水蘊草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	17	15	12	9	8	11	12	12	13	14	15	18	19	20	23
40ppm	20	17	14	10	18	21	23	25	27	27	31	32	32	33	35
50ppm	26	24	31	33	34	34	35	35	36	37	38	38	39	40	40
60ppm	33	39	41	46	49	52	54	57	62	66	68	69	71	72	76
70ppm	38	49	57	64	71	80	84	88	98	101	102	104	107	116	124

表 4-4 $Pb(NO_3)_2$ 對水蘊草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	3.2	2.6	2.4	2	2.2	2.4	2.7	2.8	3	3.2	3.5	3.7	4	4.8
40ppm	5	4.4	4.1	3.5	3.9	4	4.3	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6	6	6
50ppm	5.7	5.5	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	6	6	6.1	6.1	6.3	6.4	6.4
60ppm	6.6	7	7.2	7.3	7.4	8.1	8.6	9.1	9.6	10.6	11.1	11.4	11.9	12.6	13.2
70ppm	8	8.9	9.7	10.4	11.1	11.4	12.4	13.1	13.4	13.7	14.1	14.5	15.4	16.8	19.3

表 4-5 $Pb(NO_3)_2$ 對萍蓬草的 TDS

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	17	16	16	15	14	12	10	9	9	8	10	13	14	17	21
40ppm	20	19	17	17	16	14	14	10	12	13	14	16	17	19	23
50ppm	26	24	22	22	21	20	19	20	21	24	25	25	27	28	31
60ppm	31	28	27	32	33	36	38	39	41	45	48	51	53	55	59
70ppm	38	43	47	53	56	61	63	66	73	77	83	88	89	93	99

表 4-6 $Pb(NO_3)_2$ 對萍蓬草的 mA

天數 濃度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30ppm	4	3.7	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3	2.7	2.6	3	3.1	3.2	4	4.4
40ppm	5	4.7	4.4	4.4	4.2	4.1	4	3.7	4.2	4.3	4.5	4.7	5	5.2	5.4
50ppm	5.7	5.6	5.6	5.4	5.3	5	4.5	5	5.3	5.4	5.8	6	6.2	6.4	6.6
60ppm	6.6	6.4	6.2	6.5	7	7.4	7.6	7.9	8.4	9.1	9.4	9.8	10	11.1	11.9
70ppm	8	9	10	10.1	10.6	11.4	11.8	12.3	13	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	16.7

TDS 誤差約為 $\pm 1 \sim \pm 3$

mA 誤差約為 $\pm 0.1 \sim \pm 0.3$

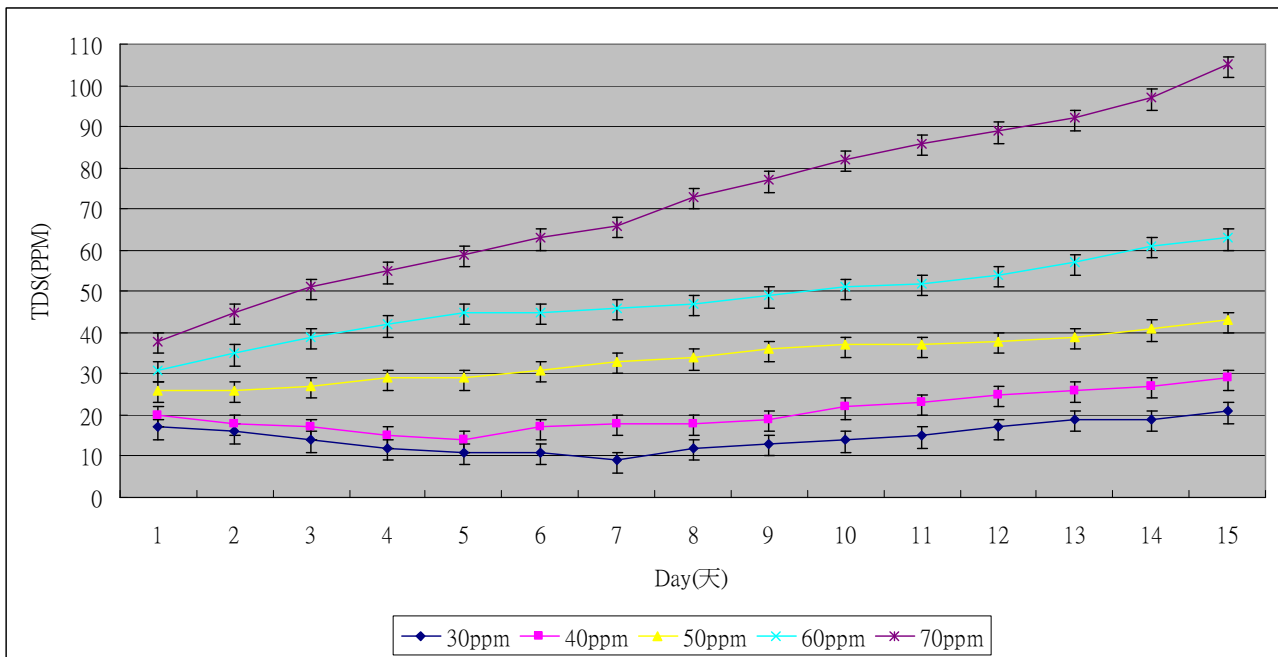


圖 4-1 $Pb(NO_3)_2$ 對小榕的 TDS

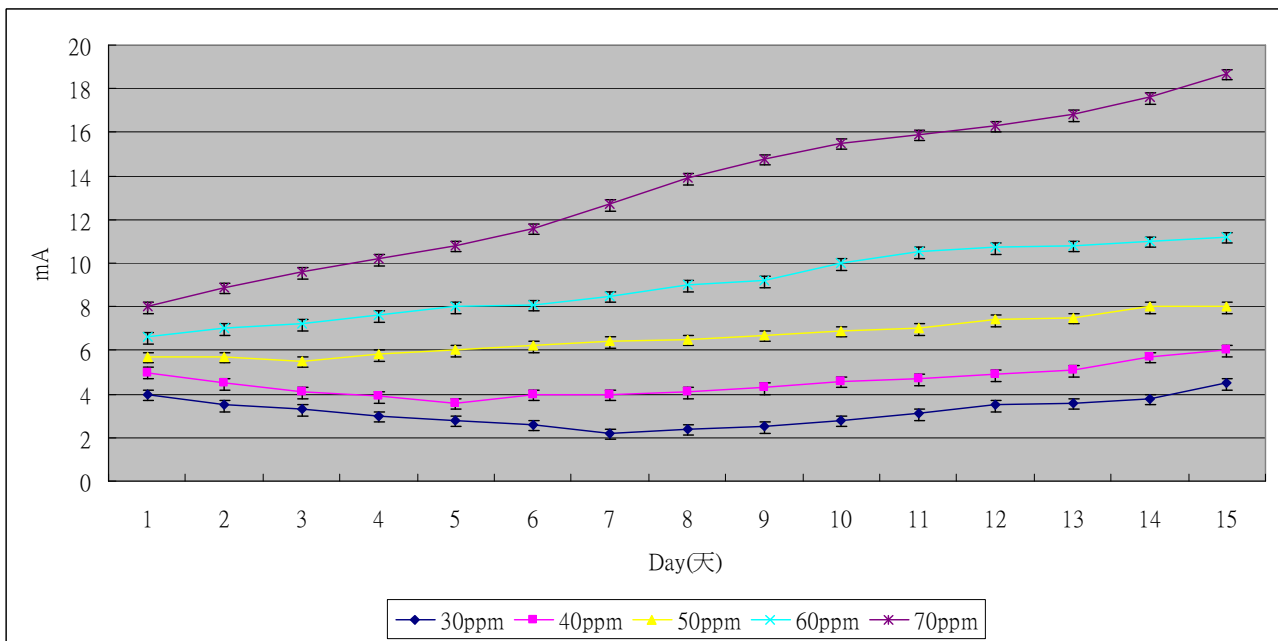


圖 4-2 $Pb(NO_3)_2$ 對小榕的 mA

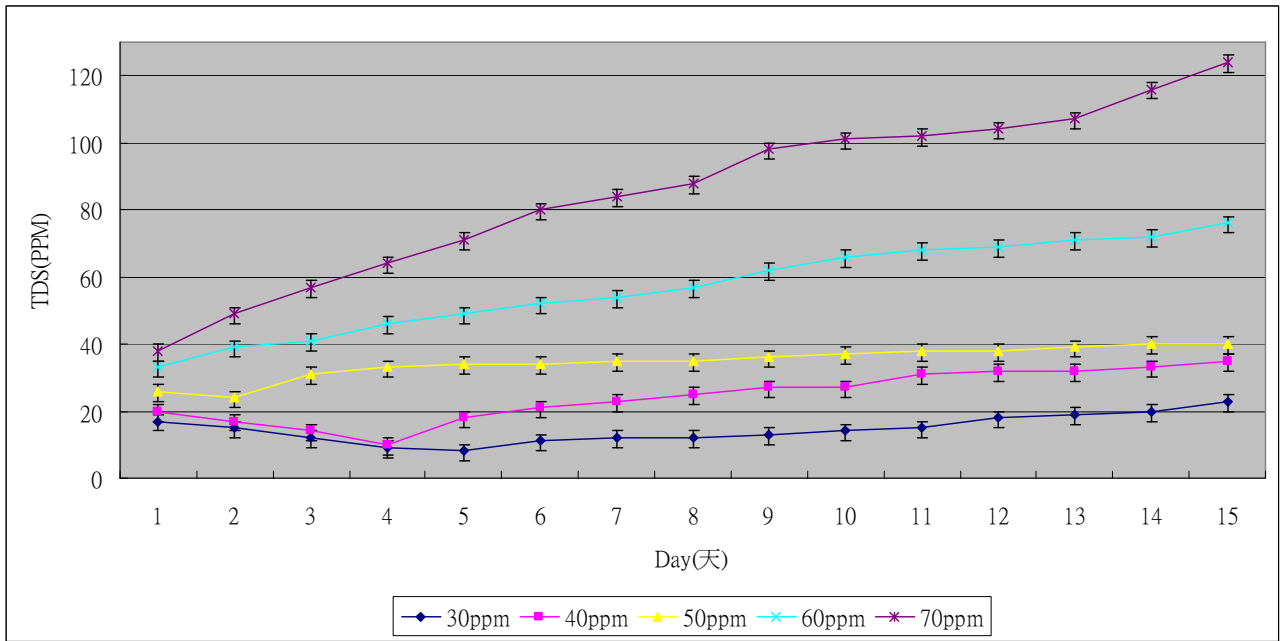


圖 4-3 $Pb(NO_3)_2$ 對水蘊草的 TDS

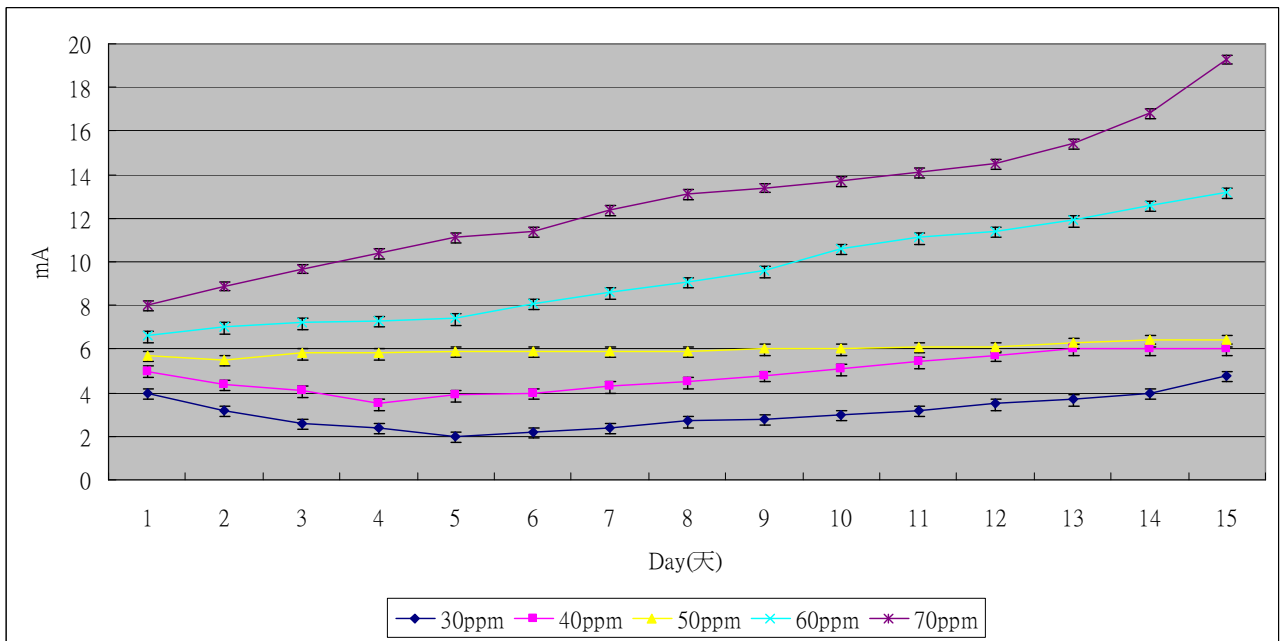


圖 4-4 $Pb(NO_3)_2$ 對水蘊草的 mA

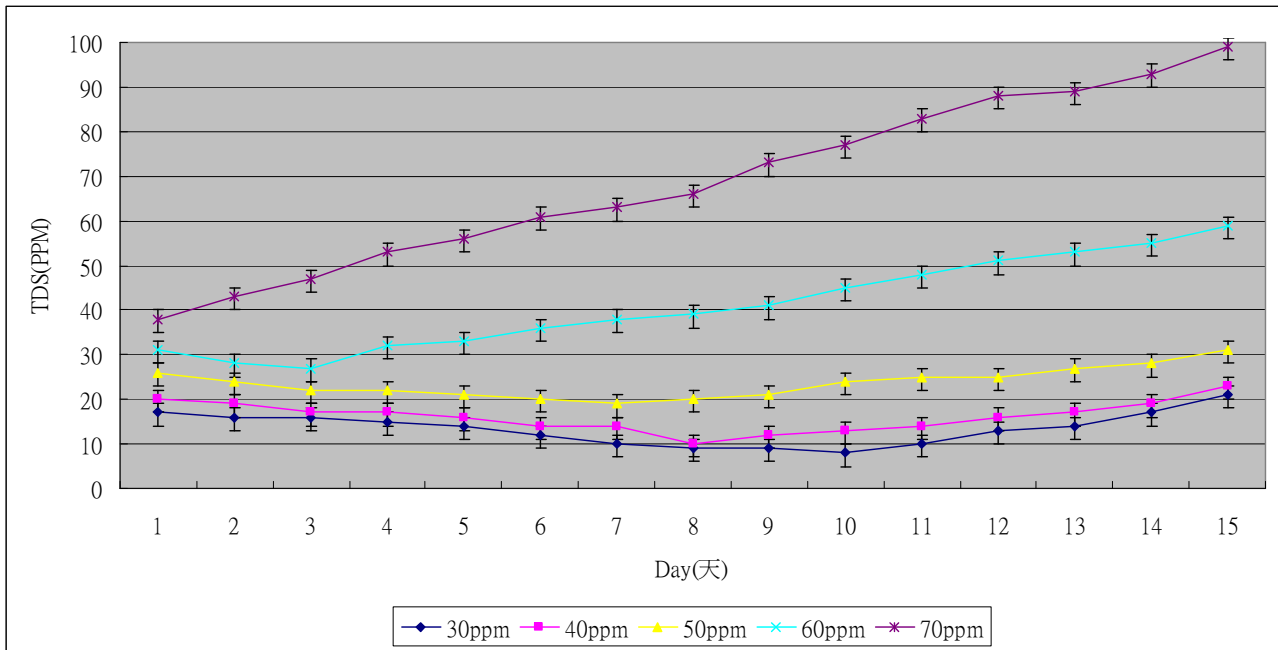


圖 4-5 $Pb(NO_3)_2$ 對萍蓬草的 TDS

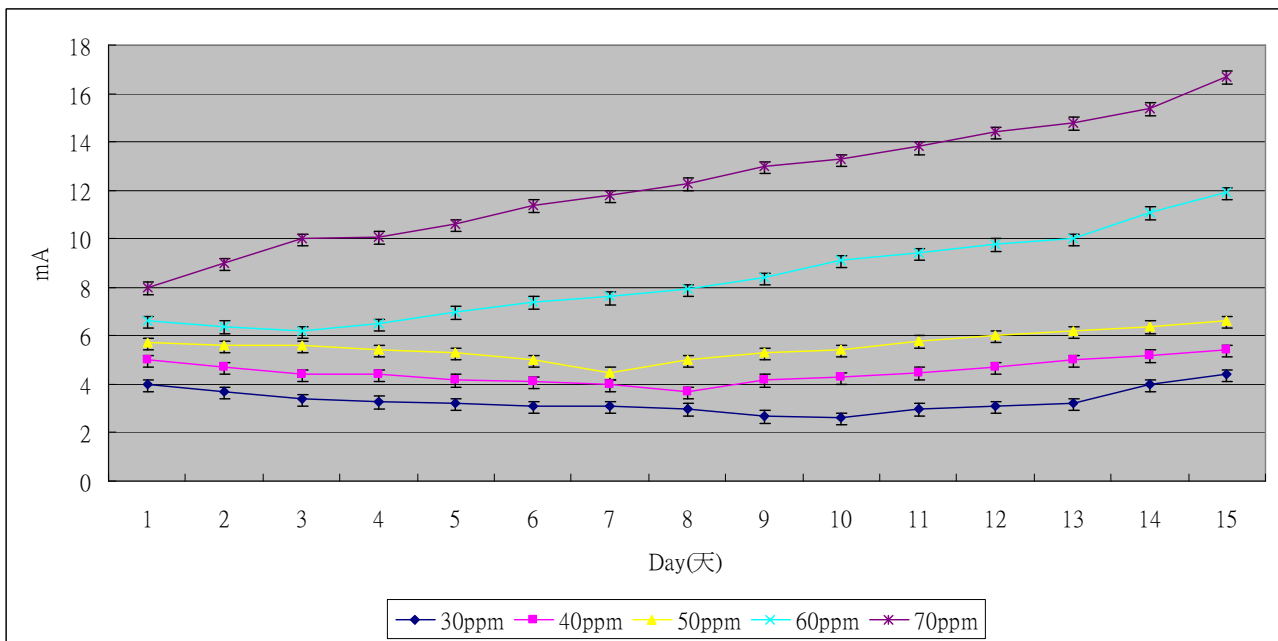


圖 4-6 $Pb(NO_3)_2$ 對萍蓬草的 mA

二、定性結果

植物外觀變化之整理如下：

Zn ²⁺			
水生植物	低濃度	中濃度	高濃度
小榕	1.無變化	1.葉子顏色慢慢變翠綠	1.葉子仍然呈翠綠色
水蘊草	1.根莖葉顏色慢慢開始變淡 2.葉子略成透明	1.根莖葉顏色慢慢開始變淡 2.葉子略成透明	1.根莖葉顏色變淡且透明
台灣萍蓬草	1.根莖葉顏色略成透明 2.葉子邊緣缺角	1.根莖葉顏色變淡黃略為透明 2.葉子邊緣缺角	1.根莖葉顏色變黃 2.葉子掉落

Cu ²⁺			
水生植物	低濃度	中濃度	高濃度
小榕	1.根莖顏色變更黑(尤其是根), 2.葉子變更黑且開始成乾枯狀,最後呈蜷曲狀	1.根莖顏色始終成深黑色,葉子乾枯開始呈蜷曲狀 2.根莖漸漸爛掉,葉子凋落	1.根莖葉顏色變更黑(尤其是根),葉子乾枯部分變大成蜷曲狀 2.根莖已爛,葉子掉落
水蘊草	1.根莖顏色變暗,葉子慢慢成透明狀成枯黃色 2.根莖漸漸爛掉,一碰就斷	1.葉子透明成枯黃色 2.根莖漸漸爛掉,一碰就斷	1.根莖葉顏色明 2.根莖葉顏色皆成枯黃,已爛
台灣萍蓬草	1.葉子更透明且邊緣缺角 2.根莖葉漸漸爛掉	1.根莖顏色開始變枯黃色 2.水溶液開始呈現混濁	1.葉子開始掉落,溶液變混濁 2.發出臭味

Pb ²⁺			
水生植物	低濃度	中濃度	高濃度
小榕	1.根莖顏色始終成暗黑綠色,葉子開始乾枯 2.根莖漸漸爛掉	1.根莖顏色始終成深黑色,葉子乾枯開始呈蜷曲狀 2.根莖爛掉,葉子凋落	1.根莖顏色變更黑(尤其是根),乾枯範圍變大且成蜷曲狀 2.根莖爛掉,葉子凋落
水蘊草	1.根莖顏色變更暗,葉子末端呈白色. 2.根莖葉略透明	1.根莖顏色變更暗,葉子末端呈白色 2.根莖漸漸爛掉,一碰就斷	1.根莖顏色變更暗綠且略透明 2.根莖爛掉,一碰就斷
台灣萍蓬草	1.根莖葉顏色開始變枯黃色,葉子缺角 2.根莖葉漸漸爛掉	1.根莖葉顏色變枯黃色,葉子缺角 2.根莖葉爛掉	1.根莖葉爛掉 2.水溶液混濁

三、重金屬對長臂蝦存活之影響及其對長臂蝦的傷害
蝦子外觀變化之整理如下：

濃度分級	低濃度	中濃度	高濃度
重金屬離子			
Zn ²⁺	蝦子的頭胸開始變淺白	緩慢活動，暴斃，頭胸爆開(比其他兩種金屬嚴重，腸子露出)	幾乎不活動 暴斃，頭胸爆開(內臟露出)
Cu ²⁺	蝦子的頭胸開始變藍	緩慢活動，暴斃	幾乎不活動 暴斃，頭胸爆開
Pb ²⁺	蝦子的頭胸開始變白(較 Zn ²⁺ 更白)	暴斃，頭胸爆開，整隻蝦成黑色	暴斃，頭胸爆開，整隻蝦成黑色(比中濃度更黑，爆的更加嚴重)

陸、討論

一、水生植物重金屬逆境時的忍受閾值

(一) 閾值

閾值，又叫臨界值，是指一個效應能夠產生的最低值或最高值。(參五)

本實驗之各植物對各種金屬的閾值之表格如下：

水生植物 \ 重金屬離子	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺
小榕	70ppm	50ppm	50ppm
水蘊草	60ppm	70ppm	60ppm
台灣萍蓬草	60ppm	50ppm	70ppm

二、吸附率及其降低重金屬濃度之能力

(一) 環境逆境促使植物產生植物螯合素

當植物細胞遭遇重金屬逆境時，會產生植物螯合素 (phytochelatin, PC) 與重金屬結合，以減少細胞中的重金屬濃度。早在 1985 年 Fujita 發現布袋蓮根中有銅複合體存在，並且推測布袋蓮具有吸收環境中銅的能力。(參六)

以公式計算出吸附率，我們的實驗結果如下：

《吸附率公式》： $[(\text{初 TDS} - \text{末 TDS}) / \text{初 TDS}] \times 100\%$

吸附率之整理如下：

重金屬離子 \ ppm 濃度	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺
30	小榕 68.42% 水蘊草 63.16% 萍蓬草 31.58%	小榕 25.00% 水蘊草 50.00% 萍蓬草 12.50%	小榕 47.06% 水蘊草 52.94% 萍蓬草 52.94%
40	小榕 34.78% 水蘊草 30.43% 萍蓬草 26.09%	小榕 10.25% 水蘊草 33.33% 萍蓬草 7.69%	小榕 30.00% 水蘊草 50.00% 萍蓬草 50.00%
50	小榕 23.53% 水蘊草 20.59% 萍蓬草 17.65%	水蘊草 11.11%	水蘊草 7.69% 萍蓬草 26.92%
60	小榕 11.90%	水蘊草 1.96%	萍蓬草 12.90%
70			

依照吸附率之整理並且由文獻推論：水蘊草可能有銅複合體，可以適度吸附環境中的銅；小榕可能有鋅複合體，可以吸收重金屬鋅；萍蓬草可能有鉛複合體；可有效降低鉛的危害。

(二)在來米鎘風險 高蓬萊米 10 倍

研究指出，在來米比蓬萊米更容易受到土壤中的鎘污染，在相同的條件下，兩者的鎘含量可相差高達十倍，主要是因為不同品種的稻米因葉片的蒸散作用不同，對鎘的吸收力就有差異。以在來米而言，其荷爾蒙(激素)遇到鎘後，會促使葉片氣孔打開，蒸散作用比較強，因而出現拉力，將土壤中的鎘吸收至作物；至於蓬萊米，遇鎘後的蒸散作用並不強，而沒有類似在來米的那種拉力增強鎘進入體內。(參七)

由此推論：或許水蘊草含有某種對銅離子有加強蒸散作用的激素，鋅離子則會刺激小榕，加強它的作用，當然萍蓬草可能也含有對鉛離子反應的某種荷爾蒙。

(三)植物妙用

磨菇及其他菌類植物未來可能成為「去毒劑」，他既易獲得又不昂貴。有朝一日，一般園生菌類植物能夠「吃掉」站場上的有毒微塵，大幅降低彈藥中所添家的有毒成份鈾。現在，磨菇已被用於處理海上漏油，並很有可將被用來處理美國加州某鋸木場原址所殘留的致癌物質戴奧辛。

蕨類植物可以吸收那些經防腐處理的舊木質房屋或屋頂所轉移到土壤中的砷(砒霜)。屋主不必掘地三尺尋找可疑泥土，只需種植蕨類植物，這種植物會透過根部吸收毒素，並儲藏在葉子裏。之後只要在根據法規剷除，或以其他方式處理掉這些植物即可。(參八)

由此推論：依據以上文獻及實驗結果，可證明植物是可吸收重金屬及污染物質的，而本實驗之水蘊草、小榕及萍蓬草也不例外。

(四)離層素(ABA)

離層素(abscisic acid)是一種抑制生長的植物激素，可以促進芽的休眠，使芽在寒冷的冬天來臨之前，停止生長並產生厚厚的鱗片來保護，以免凍傷。離層素也可以促進種子的休眠，這個機制對於植物適應四季的溫度變化非常重要。溫帶和亞熱帶的植物，果實在秋天成熟後，種子內通常含有相當高濃度的離層素，使種子維持休眠狀態不會萌發，以免萌發後的幼苗隨即受到冬天嚴寒的摧殘，種子在經過冬天寒冷的洗禮之後，離層素含量銳減，於是春天來到時便可萌發了。

離層素是植物體內對抗逆境(不利環境)的激素，當植物遭遇到嚴重的乾旱時，葉內的離層素會大量增加，促使氣孔關閉，以防止失水，因此離層素乃被稱為逆境激素(stress hormone)。(參九) 依照文獻及本次實驗的結果，更加確立了植物具有逆境激素，有利於植物度過難關。

三、長臂蝦外觀變化

(一)用水蚤測水質

有研究以水蚤檢測重金屬變化，不同水質對水蚤有不同傷害，尤其水蚤碰到農藥水質傷害的最嚴重，腸道膨脹壞死，可簡易檢測水質好壞。(參十)

而本次實驗以長臂蝦做為重金屬污染分級之指標，憑藉長臂蝦外觀傷害，來對重金屬污染水質做簡易之分級。

柒、結論

(一)水生植物於重金屬逆境時的忍受閾值

- 1.同種植物遇到不同的重金屬離子時，所能忍受的閾值都不盡相同。
- 2.忍受重金屬離子濃度 水蘊草>小榕>台灣萍蓬草

(二)水生植物在所能承受的閾值中，可以有效的降低水中的重金屬離子濃度

- 1.在 Cu^{2+} 中 以水蘊草所能忍受閾值最高，最有效降低濃度
吸附率範圍 1.96%~50.00%
- 2.在 Zn^{2+} 中 以小榕所能忍受閾值最高，最有效降低濃度
吸附率範圍 11.90%~68.42%
- 3.在 Pb^{2+} 中 以萍蓬草所能忍受閾值最高，最有效降低濃度
吸附率範圍 12.90%~52.94%
- 4.水蘊草在未到達所能承受的最高閾值之前，所能降低的重金屬離子濃度最大。

(三)三種重金屬離子對長臂蝦之影響大小為 $\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ ，並針對三種金屬

離子對長臂蝦之外觀影響將其污染程度分級如下：

- Zn^{2+} ：低濃度 頭胸呈淺白色
中濃度 蝦身嚴重腫脹(以頭胸較為明顯)
高濃度 頭胸暴開且內臟爛掉
- Cu^{2+} ：低濃度 頭胸呈淡藍色
中濃度 蝦身略為腫脹
高濃度 頭胸暴開
- Pb^{2+} ：低濃度 頭胸呈白色
中濃度 蝦身略黑
高濃度 蝦子整隻變黑色

未來展望：

希望小榕、水蘊草、台灣萍蓬草可利於推廣種在普通淡水水域中(池塘.水潭.淡水河邊…等)並清除污染物質，以達淨化水質之目的；長臂蝦當作水質監測員，有利於辨別某區域的水質污染狀況及污染物質。根據本實驗的結果，希望能夠改善台灣工業所產生的重金屬污染所造成的生態危害，並找到更多的動植物來有效地控制重金屬污染的問題。最後希望可以用基因工程的技術，將能夠有效降低重金屬的基因遺傳物質移入植物的體內，使得該植物能夠在重金屬環境下存活，並吸收重金屬達到淨化土壤、水質的功效。

捌、參考資料及其他

參一-小榕，草影水族。民 93 年，取自：<http://www.a-charming.com/list/a0057.htm>

參二-水蘊草，維基百科。民 98 年 2 月 09 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E6%B0%B4%E8%98%8A%E8%8D%89&variant=zh-tw>

參三-萍蓬草，維基百科。民 98 年 5 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%90%8D%E8%93%AC%E8%8D%89&variant=zh-tw>

參四-長臂蝦，國立海洋生物博物館，取自：
http://study.nmmba.gov.tw/03_search/search_biology.aspx?bio_rid=305

參五-閾值，維基百科。民 97 年 9 月 10 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%96%BE%E5%80%BC&variant=zh-tw>

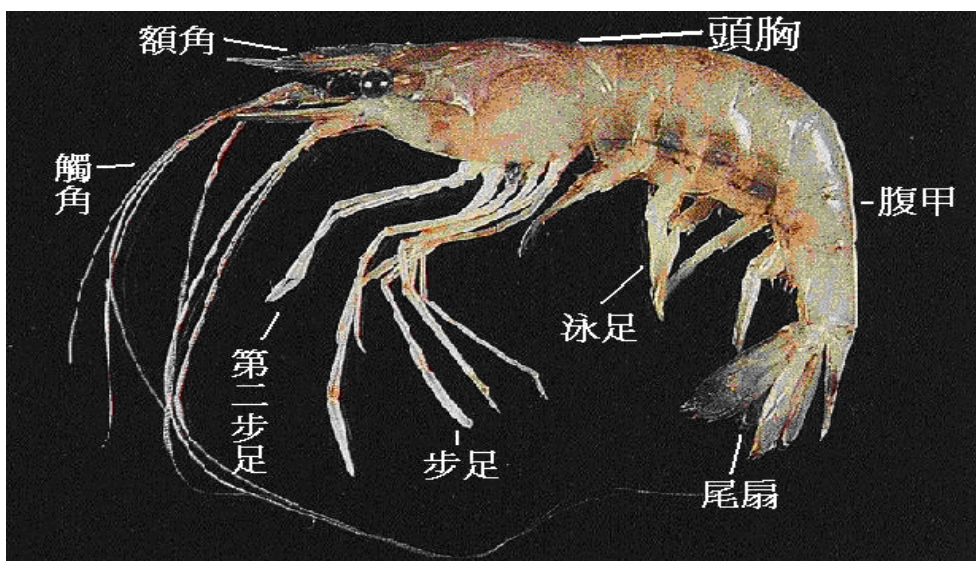
參六-何子潔、莊榮輝(民 91 年 6 月 28 日)。布袋蓮的重金屬隔離機制研究。國立台灣大學農業化學所生物化學組。取自：<http://juang.bst.ntu.edu.tw/Lab520/hyacinth.htm>

參七-在來米鎊風險 高蓬萊米 10 倍(民 98 年 06 月 11 日)。自由時報。民 98 年 06 月 11 日，取自：<http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/090611/78/111tq.html>

參八-植物妙用。讀者文摘(民 97 年 11 月)。

參九-鄭永涇、林金盾(民 97 年)。離層素(ABA)。高二生物(上)，康熙文化。

參十-蚤尋活水(民 98 年 2 月 18 日)。自由時報。



附圖 a 長臂蝦外觀構造

【評語】 040714

- 1、 主題明確且深入了解。
- 2、 看板之圖表清楚，表達能力佳。
- 3、 實驗材料株數不夠。
- 4、 宜先調查當地之水生生物相及污染物種類。
- 5、 水質之檢測方法宜用較精確之方法。