

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

040719

汙所遁形－水生植物如何淨化汙水

學校名稱：國立嘉義女子高級中學

作者： 高二 周妤璇 高二 林孟言 高二 林亞萱	指導老師： 林鈺婷
---	------------------

關鍵詞：重金屬汙染、水生植物、水質淨化

摘要

由於現代化學、金屬工業蓬勃發展，工廠及家庭所排放的廢水正嚴重污染水質環境。為了減低人類對環境造成的傷害，現今多以培養人工濕地、藉水生植物來達到淨化水質的目的。為深入了解水生植物是否能確實淨化水中的重金屬物質，我們選用了兩種不同品種的浮水布袋蓮、沉水的水蘊草、挺水的空心菜等四種植物，種植在含有銅離子或鉛離子等不同污染物質的水中做為模擬；並觀察其吸收金屬離子的情形、與葉綠素含量及含糖量的改變。希望能深入了解水生植物在受污染的環境中生長的情形，以及其為環境所帶來的改變。

壹、 研究動機

在上生物課時，讓我們了解到近年來台灣水質受到嚴重的污染，而有許多水生植物皆有淨化水質的功能，除此之外，我們也學到植物本身會從水中吸收其所需的金屬離子。我們對此有很大的興趣，查了許多資料後我們了解到：為了搶救日益惡化的水質，設立污水處理廠與種植人工濕地是目前常用的解決之道。而在人工濕地的應用上，水生植物的生長是整體水質淨化的關鍵因子。但究竟各種植物對於水質淨化有哪些不同的功用？水生植物是否真能成功達成對水中廢棄物的吸收與轉換呢？淨化的過程中，生物體內是否會有殘留，而殘留又會對其本身及環境造成哪些後續影響？許許多多的問題，激起了我們深入研究的興趣。

想要了解以水生植物來去除污染物質是否有效果；想要知道吸收了重金屬的植物體內將產生何種變化，因此在本次的研究中，我們選擇了水蘊草、空心菜，及兩種不同品種的布袋蓮作為實驗對象，將他們種植在電鍍廠普遍排放的銅離子水溶液及鉛離子水溶液中，希望能觀察到生長狀態不同的水生植物能否以自身來淨化水質。

貳、 研究目的

本研究目的在於探討布袋蓮、水蘊草及空心菜置於重金屬離子溶液後發生的變化，並觀測其是否具有淨化水質的功能。

- 一、 觀測布袋蓮、水蘊草及空心菜置於重金屬離子溶液後的外觀變化，以及水蘊草葉綠體含量及位置的變化，並比較與對照組的差異。
- 二、 量測水質的濃度變化，進一步比較各種植物對於重金屬離子溶液的淨化能力。
- 三、 觀測布袋蓮、水蘊草及空心菜體內金屬含量的變化，進一步探討其是否與淨化水質具有關聯性。
- 四、 觀測布袋蓮、水蘊草及空心菜在重金屬離子溶液中的葉綠素含量變化。
- 五、 觀測布袋蓮、水蘊草及空心菜在重金屬離子溶液中的含糖量變化。

參、 研究設備及器材

一、 藥品

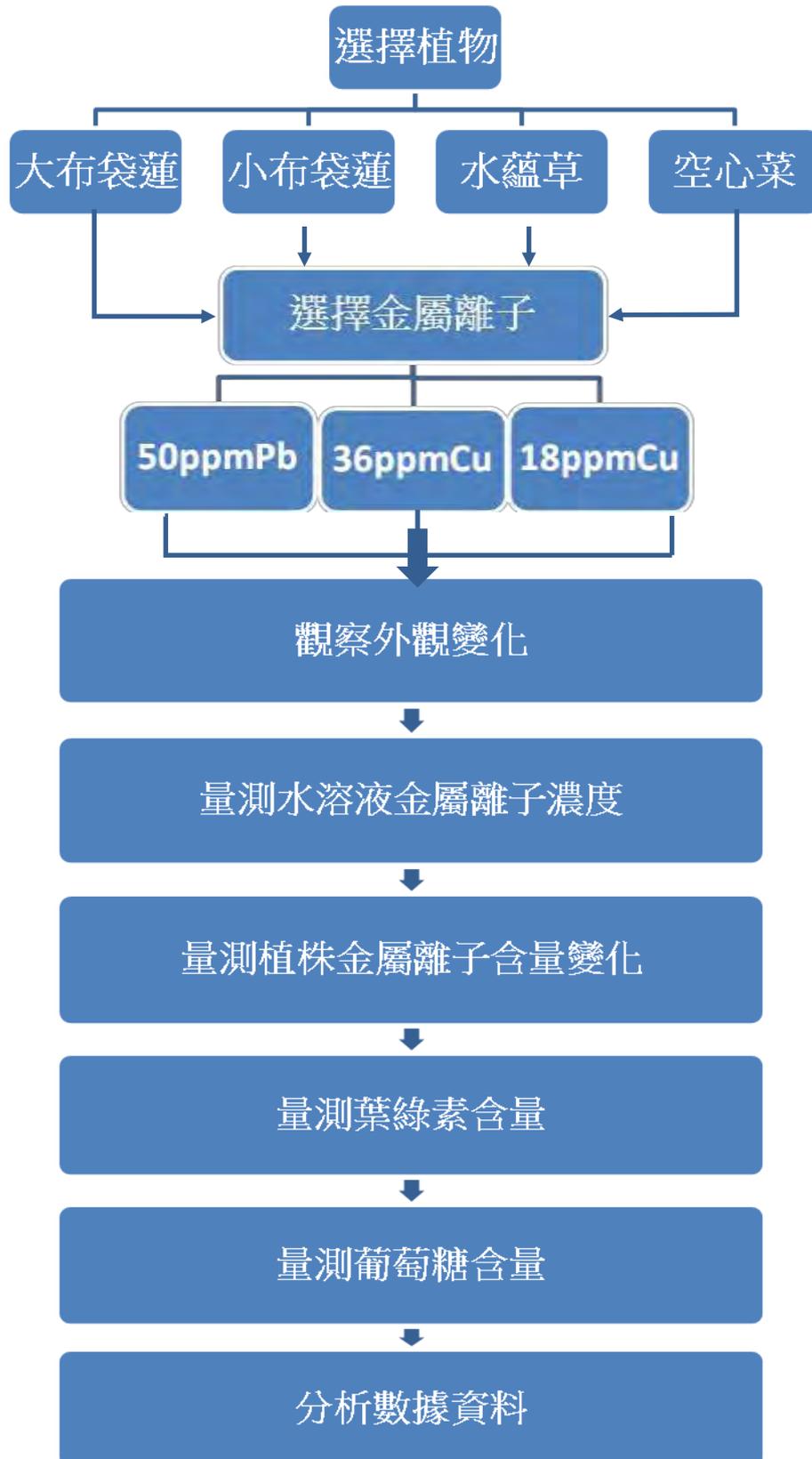
1.蒸餾水	5.氫氧化鈉 NaOH
2.丙酮	6. CuSO ₄ · 5H ₂ O
3.3,5-二硝基水楊酸	7. Pb(NO ₃) ₂
4.酒石酸鉀鈉	

二、 器材

1.水族箱	10.燒杯
2.通氣馬達	11.量筒
3.玻片	12.滴管
4.解剖顯微鏡	13.分光光度計
5.照相機	14.磁石攪拌機(加熱板)
6.鑷子	15.離心機
7.研鉢	16.離心管
8.烘箱	17.防潮箱
9.電子秤	18.試管

肆、 實驗方法及流程

一、 實驗流程



二、實驗裝置

- (一) 十二個水族箱→分別裝上通氣馬達
- (二) 分別將大、小布袋蓮置入 4 升的純水、36ppm 硫酸銅溶液、50ppm 硝酸鉛溶液，水蘊草置入 4 升的純水、18ppm 硫酸銅溶液、50ppm 硝酸鉛溶液，空心菜置入 1 升的純水、18ppm 硫酸銅溶液、50ppm 硝酸鉛溶液中。
- (三) 種植 15 天



三、實驗步驟

- (一) 觀察外觀變化
在為期 15 日的種植時間中，每隔三日拍照及用複式顯微鏡觀察記錄水蘊草葉緣葉綠體的分布多寡。
- (二) 量測水溶液金屬離子濃度
 1. 找出銅離子及鉛離子水溶液的對應波長
 - (1) 吸取原離子水溶液放入分光光度計中，分別從波長 200nm 開始，以間距 100nm 逐步輸入，找到數值高點，再縮小範圍至間距 10nm、1nm，擇取數值最高者作為測量波長。(Cu：221nm Pb：221nm)
 2. 以分光光度計量測水溶液金屬離子濃度
 - (1) 吸取各個水溶液，以蒸餾水為標準液校正分光光度計，分別以波長 221nm 偵測並記錄數值。
- (三) 量測植株體內金屬離子濃度
 1. 取下大、小布袋蓮的葉、根，及水蘊草、空心菜的葉，放入烘箱中烘乾，以除去水分。

2. 依下列比例置入研鉢中研磨至無明顯纖維絲。

0.1g 大布袋蓮葉+5ml 蒸餾水
0.2g 大布袋蓮根+10ml 蒸餾水
0.1g 小布袋蓮葉+5ml 蒸餾水
0.2g 小布袋蓮根+10ml 蒸餾水
0.1g 水蘊草+5ml 蒸餾水
0.1g 空心菜葉+5ml 蒸餾水



3. 將上方溶液放入離心機中以轉速 2000rpm，旋轉 3 分鐘，取離心管上層溶液。



4. 將溶液放入石英管中，以分光光度計，波長 221nm 偵測並記錄數值。

(四) 量測植株體內葉綠素含量

1. 取大布袋蓮、小布袋蓮、水蘊草、空心菜的葉，放入烘箱中烘乾，以除去水分。
2. 配置 80% 的丙酮水溶液。
3. 取 0.1g 大布袋蓮葉、0.1g 小布袋蓮葉、0.05g 水蘊草葉、0.1g 空心菜葉分別 +80% 丙酮水溶液 6ml。置入研鉢中研磨至無明顯纖維絲。
4. 放入分光光度計中，以 80% 丙酮水溶液為標準液校正分光光度計使之為零，分別用波長 645nm、663nm 偵測葉綠素含量並記錄其數值。

(五) 量測植株體內葡萄糖濃度

1. 製作葡萄糖濃度標準曲線：
取各濃度的葡萄糖標準液 0.5ml 及蒸餾水 0.5ml，分別加入 DNS 指示劑 0.5ml，加入沸水中加熱 5 分鐘後冷卻，以蒸餾水+DNS 試劑者為標準液，並設定分光光度計的波長為 540nm，以標準液校正分光光度計使之為零，再分別測量不同濃度的葡萄糖標準液之吸光度，繪製成葡萄糖濃度標準曲線。
2. 取大布袋蓮、小布袋蓮、水蘊草、空心菜的葉放入烘箱中烘乾，以除去水分。
3. 取 0.1g 大布袋蓮葉、0.1g 小布袋蓮葉、0.05g 水蘊草葉、0.1g 空心菜葉分別 +10ml 蒸餾水。置入研鉢中研磨至無明顯纖維絲。
4. 將上方溶液放入離心機中以轉速 2000rpm，旋轉 3 分鐘，取離心管約 3ml 之上層溶液。
5. 將樣品以 1:1 之比例與 DNS 指示劑相混合，放入沸水中隔水加熱 5 分鐘。
6. 將溶液放入石英管中，輸入分光光度計的波長為 540nm，蒸餾水+DNS 指示劑為標準液校正分光光度計，偵測並記錄數值。

伍、 研究結果

一、 外觀變化

(一) 大布袋蓮

大布袋蓮 H0(對照組)	02/27	03/08	03/11
			
	健康的大布袋蓮	長大了一些，分枝變多	健康，外觀無明顯差異
大布袋蓮 C1	02/27	03/08	03/11
			
	健康的大布袋蓮	拗折的葉子乾枯，無明顯增生	拗折的葉子更加枯萎，有新葉生出
大布袋蓮 B1	02/27	03/08	03/11
			
	健康的大布袋蓮	無明顯差異，生長良好	有新芽生出，生長良好

(二) 小布袋蓮

1. 外觀

小布袋蓮 H ₂ O(對照組)	02/27	03/08	03/11
			
	健康的小布袋蓮	無明顯差異，唯部分枯黑	無明顯差異，亦無生新葉
小布袋蓮 Cu	02/27	03/08	03/11
			
	健康的小布袋蓮	部分枝條枯黑，新芽冒出	枯者下沉，新葉持續生長
小布袋蓮 Pb	02/27	03/08	03/11
			
	健康的小布袋蓮	新芽冒出，無枯黑枝條	許多新芽增生，生長良好

2. 水質比較

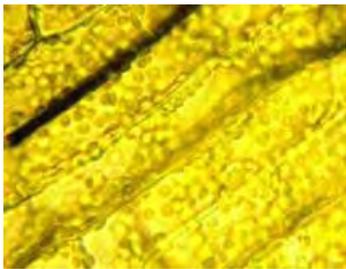
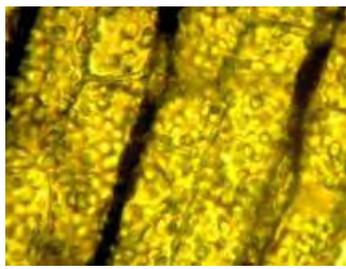
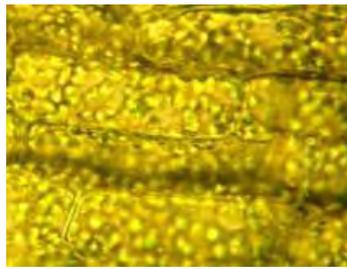
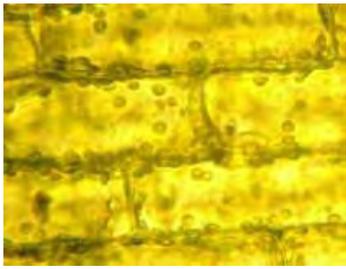
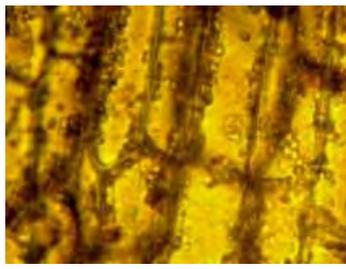
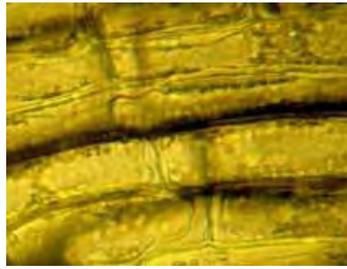
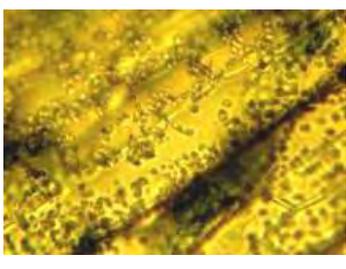
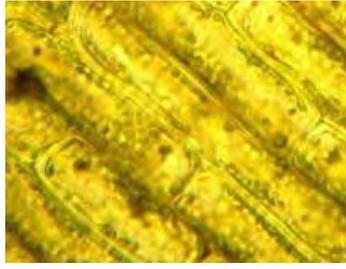
小布袋蓮 H ₂ O(對照組)	小布袋蓮 Cu	小布袋蓮 Pb
		
水中有許多水藻	水中無水藻	有少量水藻

(三) 水蘊草

1. 外觀

水蘊草 H ₂ O(對照組)	02/27	03/05	03/11
			
	健康的水蘊草	生長狀況良好	生長良好，枝葉繁多
水蘊草 Cu	02/27	03/05	03/11
			
	健康的水蘊草	漸無生氣，枝葉稍微下垂	已枯死，無法撐起枝葉
水蘊草 Pb	02/27	03/05	03/11
			
	健康的水蘊草	葉子稍顯枯黃，枝葉較為下垂	葉子更加枯黃，但仍維持生命

2. 葉綠體

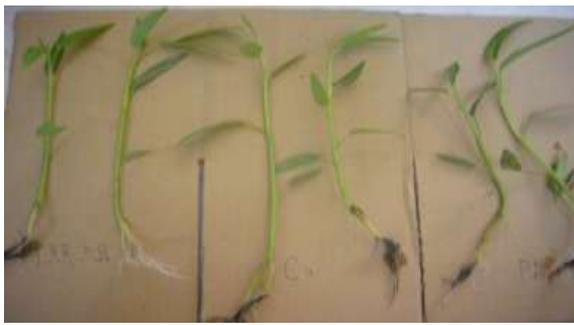
水蘊草 H ₂ O(對照組)	02/27	03/05	03/11
			
	葉綠體多而均勻散布	葉綠體數量稍增，排列更緊密	葉綠體數量仍多，無明顯變化
水蘊草 Cu	02/27	03/05	03/11
			
	葉綠體數量相當少，且分佈在細胞邊緣	葉綠體數量仍相當少，分佈在細胞邊緣	葉綠體數量依然很少，分佈在細胞邊緣
水蘊草 Pb	02/27	03/05	03/11
			
	葉綠體數量中等，均勻散布	葉綠體數量仍介於水與Cu的中間，分佈往邊緣靠近	葉綠體數量變化不大，位置多靠邊緣

(四) 空心菜

1. 外觀

空心菜 H ₂ O(對照組)	03/08	03/22
		
	健康的空心菜	健康，生長良好
空心菜 Cu	03/08	03/22
		
	健康的空心菜	健康，生長良好
空心菜 Pb	03/08	03/22
		
	健康的空心菜	健康，生長良好

2. 三者比較

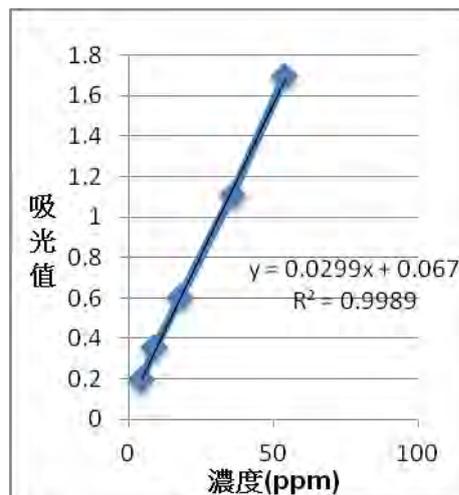
空心菜 H ₂ O	空心菜 Cu	空心菜 Pb	空心菜 H ₂ O	空心菜 Cu	空心菜 Pb
					
外觀無明顯差異，唯 Cu、Pb 的枝葉上有些許鹽類附著，且 Pb 的枝葉稍黑一些			植株外觀無明顯差異，但 Cu 及 Pb 的水質明顯較對照組混濁		

二、水溶液金屬離子濃度

(一) Cu 水溶液

1. Cu-221nm 標準曲線

濃度(ppm)	吸收度(Abs)平均值
4.50	0.195
9.00	0.335
18.00	0.605
36.00	1.111
54.00	1.698

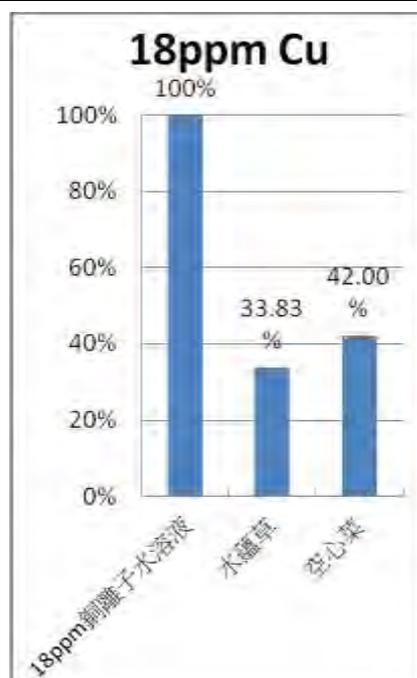
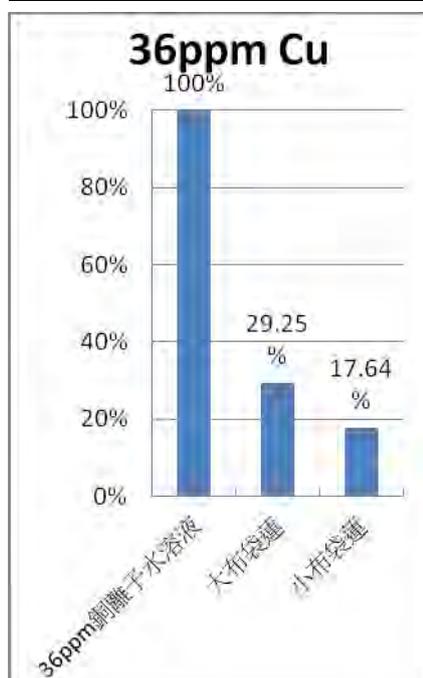


2. 36ppm Cu_(aq)

36ppm	吸收度(Abs)平均值	濃度	百分比
對照組	1.111	36.00ppm	100%
大布袋蓮	0.382	10.53ppm	29.25%
小布袋蓮	0.257	6.35ppm	17.64%

3. 18ppm Cu_(aq)

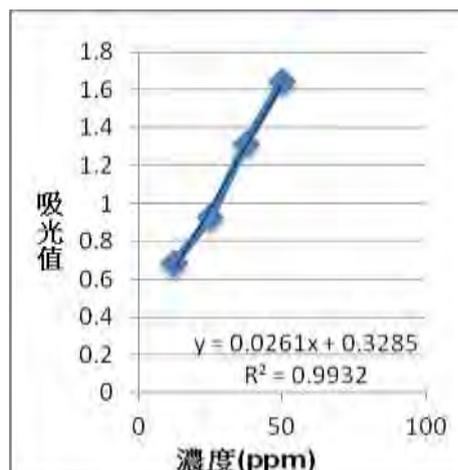
18ppm	吸收度(Abs)平均值	濃度	百分比
對照組	0.605	18.00ppm	100%
水蘊草	0.249	6.09ppm	33.83%
空心菜	0.774	7.56ppm	42.00%



(二) Pb 水溶液

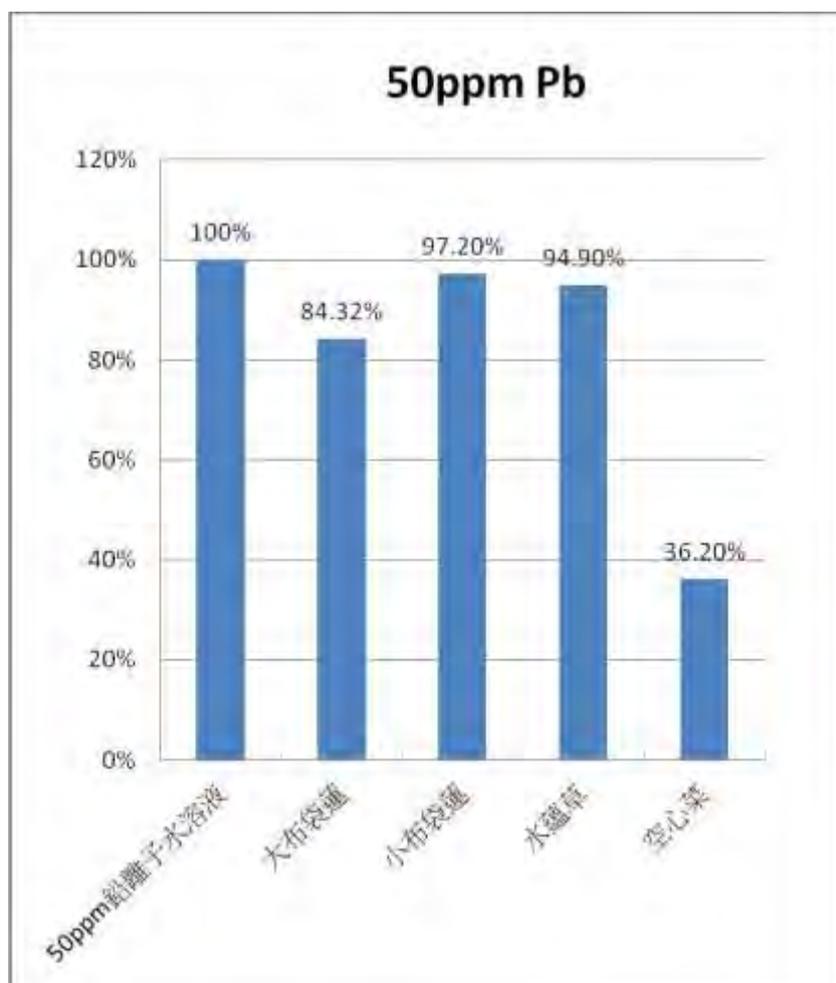
1. Pb-221nm 標準曲線

濃度(ppm)	吸收度(Abs) 平均值
12.50	0.685
25.00	0.930
37.50	1.315
50.00	1.643



2. 50ppm Pb_(aq)

50ppm	吸收度(Abs)平均值	濃度	百分比
對照組	1.643	50.00ppm	100%
大布袋蓮	1.429	42.16ppm	84.32%
小布袋蓮	1.597	48.60ppm	97.20%
水蘊草	1.567	47.45ppm	94.90%
空心菜	0.801	18.10ppm	36.20%



三、植株體內金屬離子含量變化

(一) 大布袋蓮

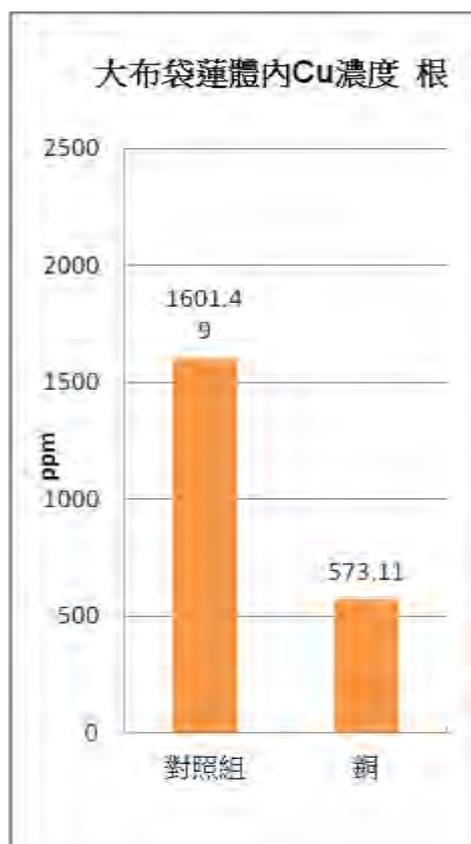
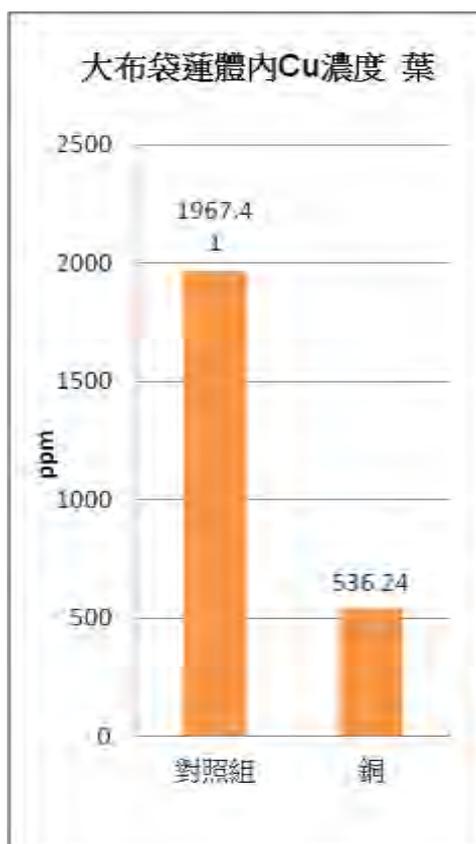
1. Cu

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液Cu離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	1963.34	1967.41
對照組 2	0.02	1971.47	
Cu 1	0.02	574.52	536.24
Cu 2	0.02	497.96	

(2) 根

根	根水溶液 濃度(g/ml)	根水溶液Cu離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	1630.43	1601.49
對照組 2	0.02	1572.54	
Cu 1	0.02	572.41	573.11
Cu 2	0.02	573.81	



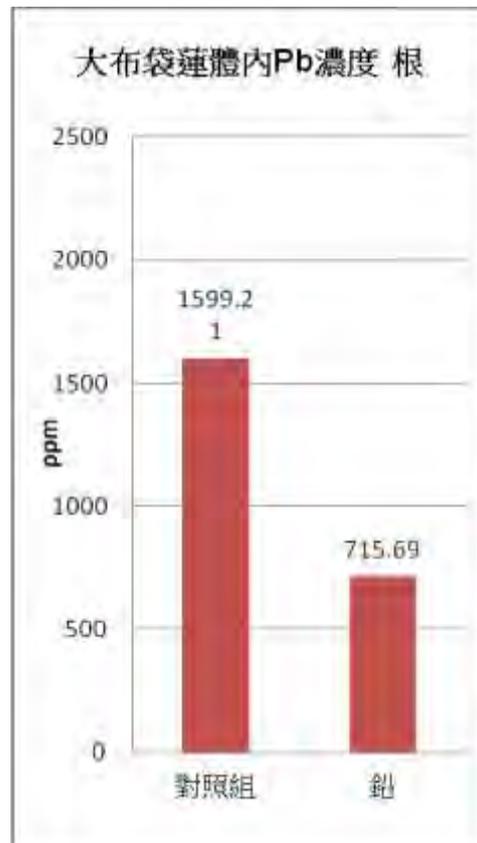
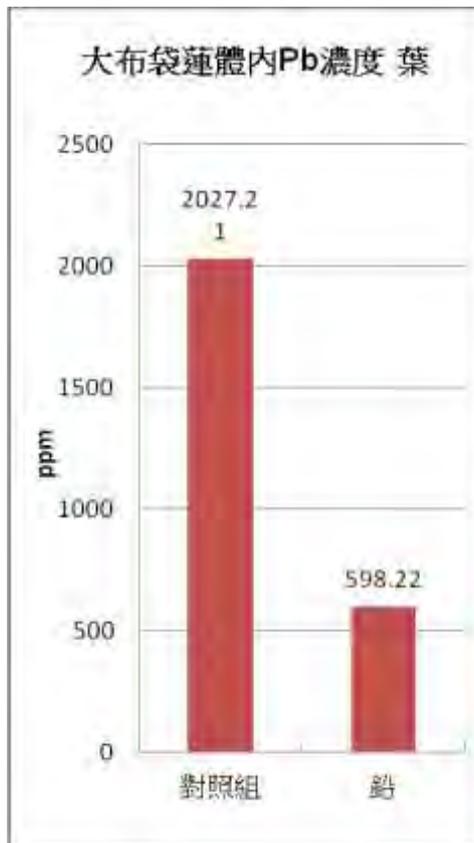
2. Pb

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液 Pb 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	2008.73	2027.21
對照組 2	0.02	2045.69	
Pb 1	0.02	617.53	598.22
Pb 2	0.02	578.91	

(2) 根

根	根水溶液 濃度(g/ml)	根水溶液 Pb 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	1607.32	1599.21
對照組 2	0.02	1591.09	
Pb 1	0.02	719.71	715.69
Pb 2	0.02	711.67	



(二) 小布袋蓮

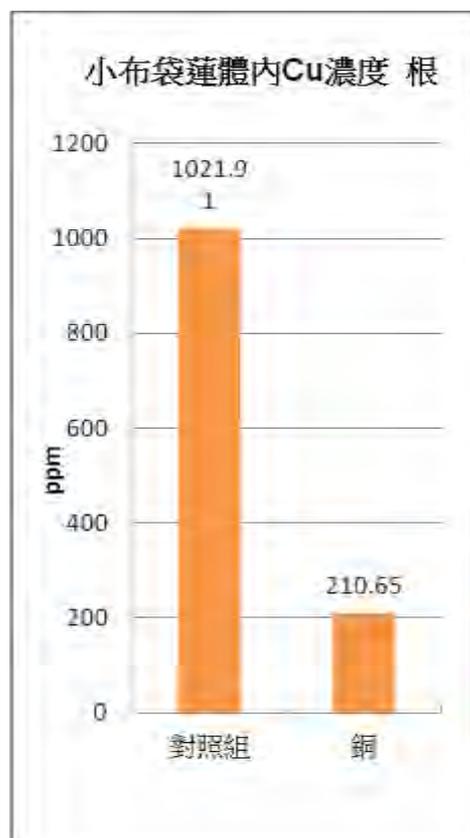
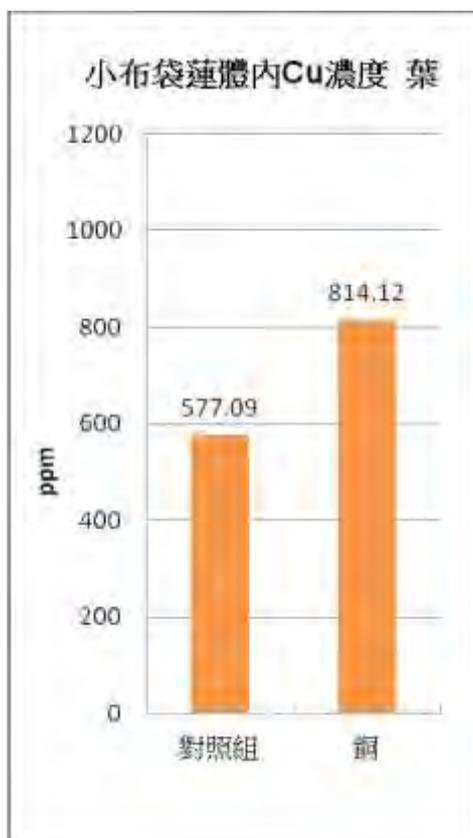
1. Cu

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液Cu離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組	0.02	577.09	577.09
Cu 1	0.02	660.20	814.12
Cu 2	0.02	264.78	

(2) 根

根	根水溶液 濃度(g/ml)	根水溶液Cu離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	708.56	1021.91
對照組 2	0.02	1335.25	
Cu 1	0.02	156.52	210.65
Cu 2	0.02	264.78	



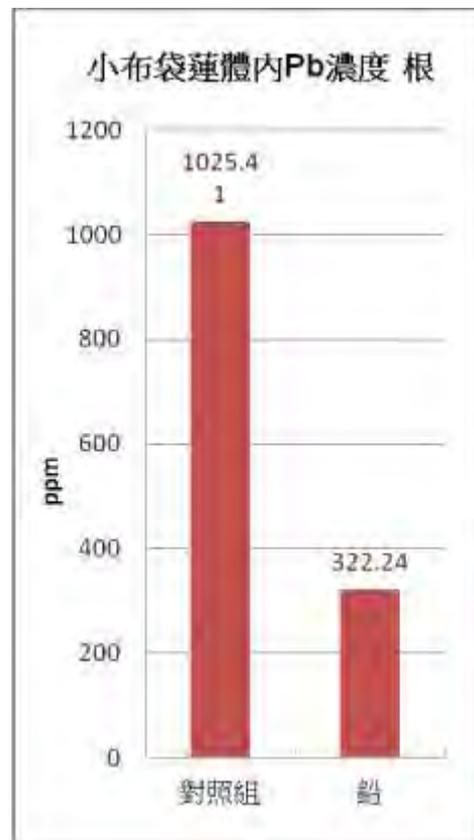
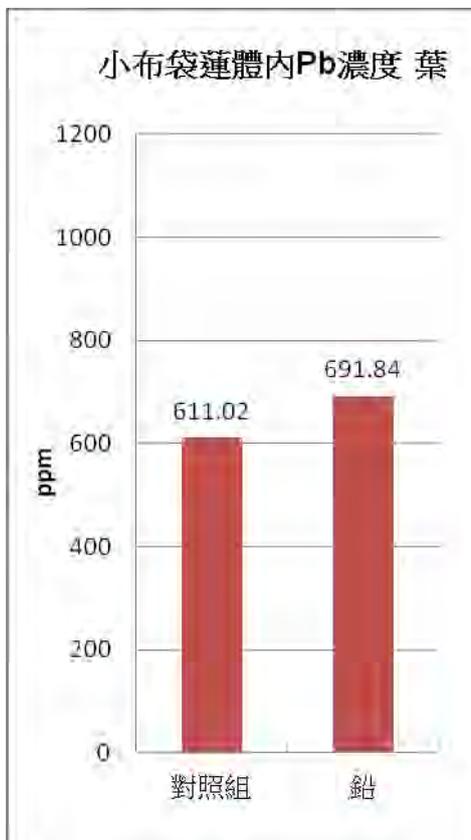
2. Pb

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液 Pb 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組	0.02	611.02	611.02
Pb 1	0.02	538.45	691.84
Pb 2	0.02	845.23	

(2) 根

根	根水溶液 濃度(g/ml)	根水溶液 Pb 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	701.51	1025.41
對照組 2	0.02	1349.31	
Pb 1	0.02	302.93	322.24
Pb 2	0.02	341.55	



(三) 水蘊草

1. Cu

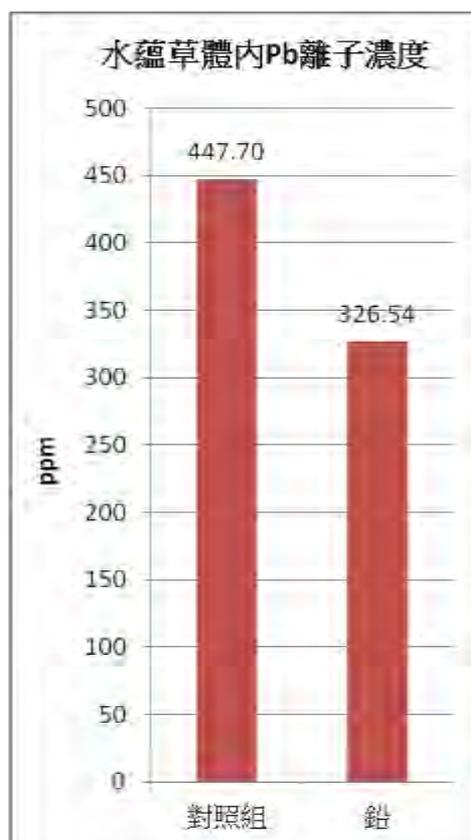
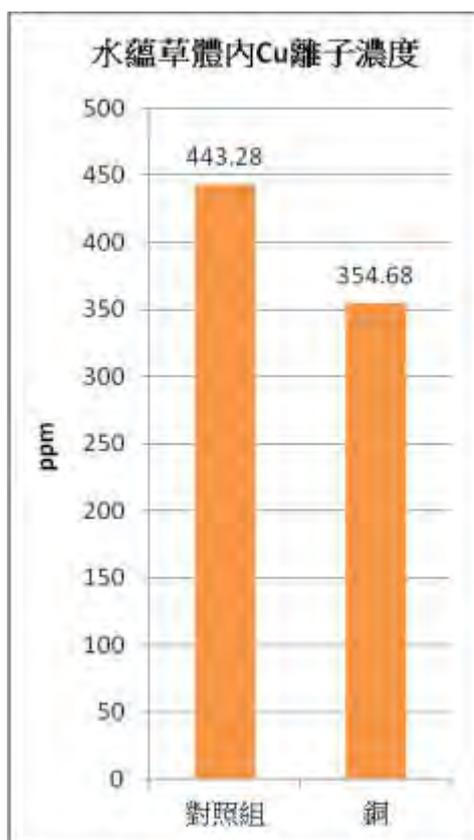
(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液 Cu 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	499.67	443.28
對照組 2	0.02	386.89	
Cu 1	0.02	450.43	354.68
Cu 2	0.02	258.93	

2. Pb

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液 Pb 離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	512.30	447.70
對照組 2	0.02	383.10	
Pb 1	0.02	319.56	326.54
Pb 2	0.02	333.51	



(四) 空心菜

1. Cu

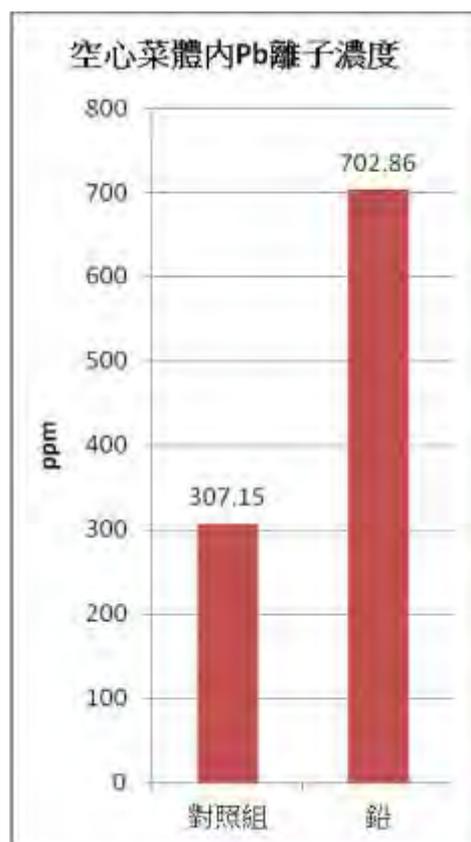
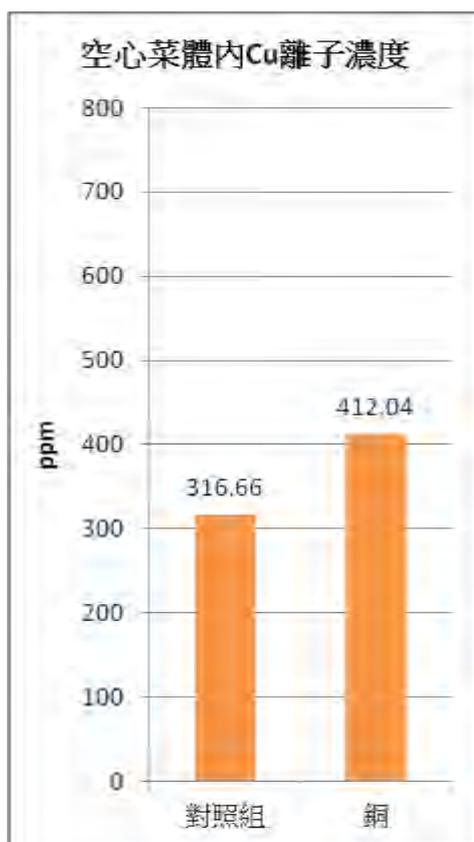
(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液Cu離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	376.45	316.66
對照組 2	0.02	256.86	
Cu 1	0.02	414.98	412.04
Cu 2	0.02	409.10	

2. Pb

(1) 葉

葉	葉水溶液 濃度(g/ml)	葉水溶液Pb離子 濃度(ppm)	平均值 (ppm)
對照組 1	0.02	371.15	307.15
對照組 2	0.02	243.14	
Pb 1	0.02	681.03	702.86
Pb 2	0.02	724.69	



四、葉綠素含量

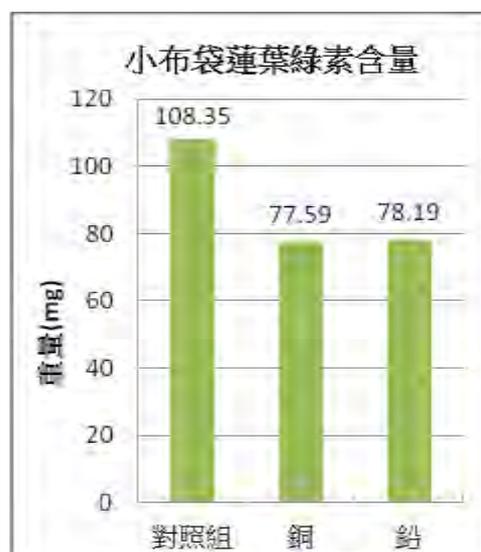
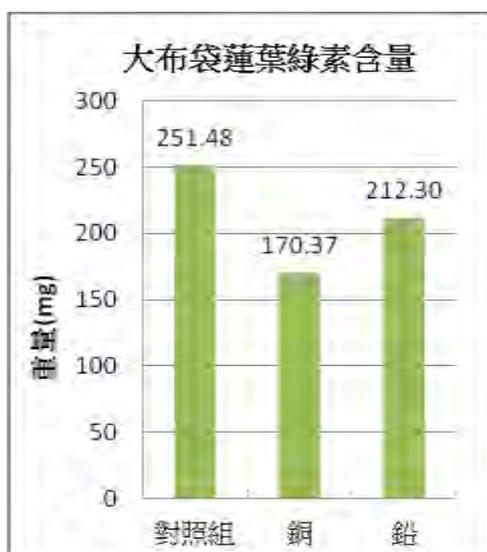
- 葉綠素總量(mg)公式=(8.02*A663+20.2*A645)*萃取毫升數

(一) 大布袋蓮

	663nm 吸收度(Abs)	645nm 吸收度(Abs)	萃取毫升數	葉綠素總量(mg)	平均值(mg)
對照組 1	2.943	3.045	3ml	255.33	251.48
對照組 2	3.076	2.865	3ml	247.63	
Cu 1	2.810	1.784	3ml	175.72	170.37
Cu 2	2.753	1.630	3ml	165.02	
Pb 1	2.862	2.915	3ml	245.51	212.30
Pb 2	2.814	1.838	3ml	179.09	

(二) 小布袋蓮

	663nm 吸收度(Abs)	645nm 吸收度(Abs)	萃取毫升數	葉綠素總量(mg)	平均值(mg)
對照組 1	2.094	0.929	3ml	106.68	108.35
對照組 2	2.176	0.927	3ml	108.53	
對照組 3	2.172	0.933	3ml	108.80	
對照組 4	2.239	0.916	3ml	109.38	
Cu 1	1.822	0.701	3ml	86.32	77.59
Cu 2	1.760	0.680	3ml	83.55	
Cu 3	1.305	0.520	3ml	62.91	
Pb 1	1.740	0.657	3ml	81.68	78.19
Pb 2	1.655	0.631	3ml	78.06	
Pb 3	1.576	0.609	3ml	74.82	

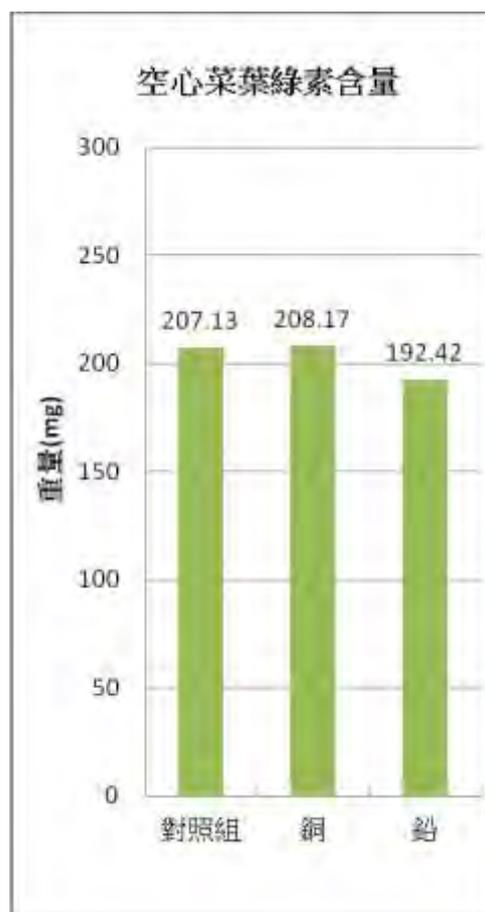
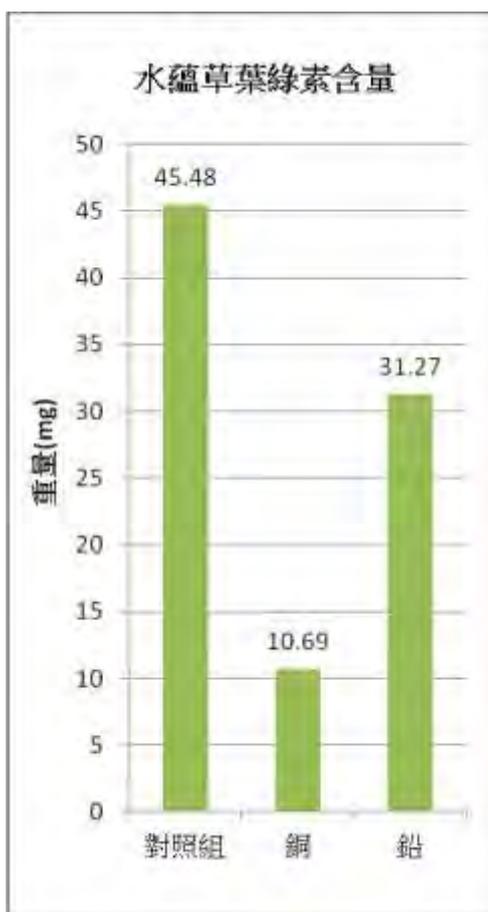


(三) 水蘊草

	663nm 吸收度(Abs)	645nm 吸收度(Abs)	萃取毫升數	葉綠素總量(mg)	平均值(mg)
對照組 1	0.811	0.510	3ml	33.62	45.48
對照組 2	1.636	0.770	3ml	57.34	
Cu 1	0.180	0.135	3ml	8.34	10.69
Cu 2	0.282	0.211	3ml	13.04	
Pb 1	0.842	0.412	3ml	23.26	31.27
Pb 2	1.066	0.549	3ml	39.28	

(四) 空心菜

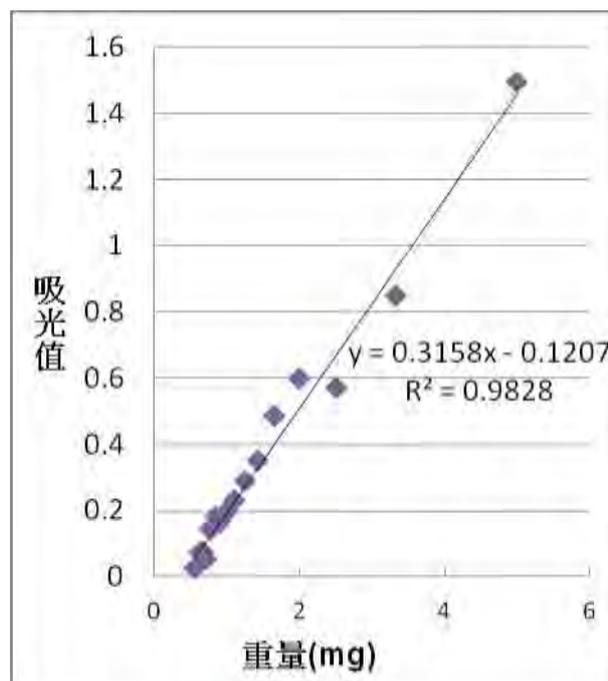
	663nm 吸收度(Abs)	645nm 吸收度(Abs)	萃取毫升數	葉綠素總量(mg)	平均值(mg)
對照組	2.972	2.238	3ml	207.13	207.13
Cu	2.960	2.260	3ml	208.17	208.17
Pb	2.965	1.998	3ml	192.42	192.42



五、葡萄糖含量

(一) 葡萄糖濃度標準曲線

含糖量 (mg)	540nm 吸收度 (Abs)平均值
5.00	1.495
3.33	0.848
2.50	0.573
2.00	0.600
1.66	0.487
1.43	0.352
1.25	0.288
1.11	0.231
1.00	0.197
0.91	0.165
0.83	0.180
0.77	0.141
0.71	0.055
0.67	0.077
0.63	0.074
0.59	0.034
0.56	0.027

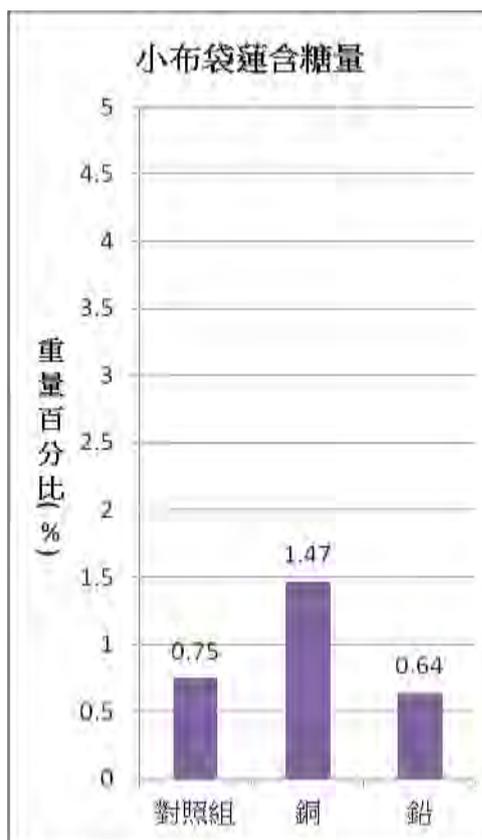
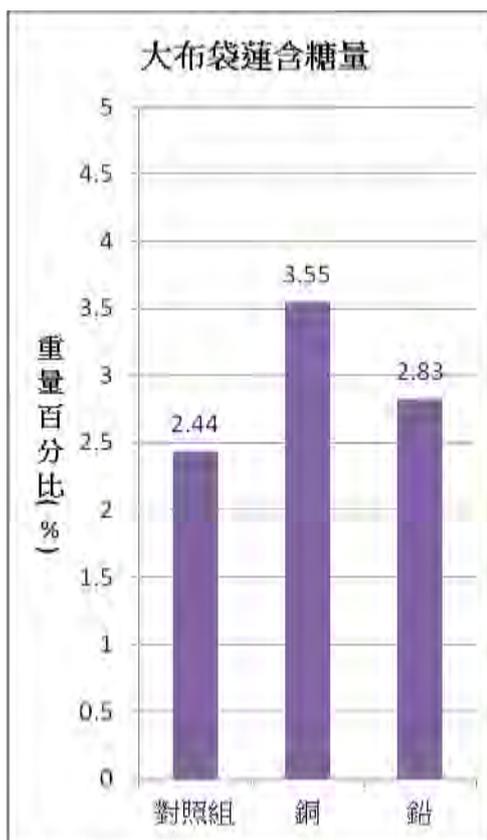


(二) 大布袋蓮

大布袋蓮 0.1g	吸收度(Abs)	含糖量 (mg)	重量百分比 (%)	平均值(%)
對照組 1	0.757	2.78	2.78	2.44
對照組 2	0.543	2.10	2.10	
Cu 1	0.951	3.39	3.39	3.55
Cu 2	1.052	3.71	3.71	
Pb 1	0.785	2.87	2.87	2.83
Pb 2	0.760	2.79	2.79	

(三) 小布袋蓮

小布袋蓮 0.1g	吸收度(Abs)	含糖量 (mg)	重量百分比 (%)	平均值(%)
對照組 1	0.103	0.71	0.71	0.75
對照組 2	0.130	0.79	0.79	
Cu 1	0.391	1.62	1.62	1.47
Cu 2	0.293	1.31	1.31	
Pb 1	0.073	0.62	0.62	0.64
Pb 2	0.069	0.66	0.66	

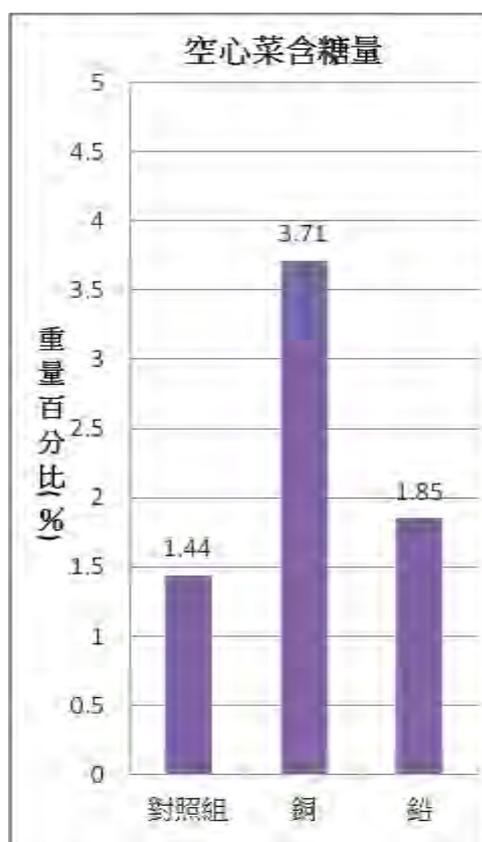
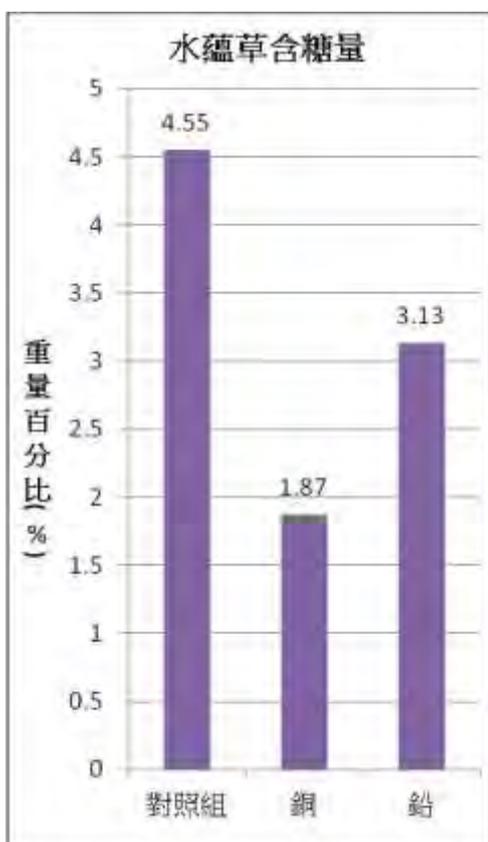


(四) 水蘊草

水蘊草 0.05g	吸收度(Abs)	含糖量 (mg)	重量百分比 (%)	平均值(%)
對照組 1	0.714	2.64	5.28	4.55
對照組 2	0.482	1.91	3.82	
Cu 1	0.144	0.84	1.68	1.87
Cu 2	0.204	1.03	2.06	
Pb 1	0.500	1.97	3.94	3.13
Pb 2	0.247	1.16	2.32	

(五) 空心菜

空心菜 0.10g	吸收度(Abs)	含糖量 (mg)	重量百分比 (%)	平均值(%)
對照組	0.334	1.44	1.44	1.44
Cu	1.050	3.71	3.71	3.71
Pb	0.464	1.85	1.85	1.85



陸、 討論

經過 15 日的種植時間，我們將資料做以下的分析：

一、 銅離子水溶液

(一) 大布袋蓮

1. 外觀部分除拗折處逐漸乾枯，其餘枝葉並無明顯變化，且仍有新葉增生。
2. 與對照組之水溶液相比，其銅離子水溶液的銅離子濃度約下降為三成。
3. 大布袋蓮植物體內的銅離子濃度，在葉、根與對照組相比約只剩三成。
4. 在葉綠素的含量變化方面，較對照組約少了三成。
5. 植株體內的含糖量約成長為對照組的一點五倍。

由上述結果我們推測：在銅離子濃度較高的生長環境，大布袋蓮可能為適應該環境，而以非儲存於體內的機制來降低水中銅離子濃度。在此過程中，其葉綠素含量減少，含糖量卻相對增加。

(二) 小布袋蓮

1. 在記錄外觀時，發現植物體接觸至銅離子水溶液的部分，大多呈現黑褐色與斑點，然而其氣囊頂卻仍長出嫩葉。
2. 水溶液銅離子濃度較大布袋蓮有更顯著的降低。
3. 小布袋蓮葉的銅離子濃度約為對照組的一點五倍，但根的部分卻約只有對照組的二成左右。
4. 葉綠素含量約只剩下七成左右。
5. 植物體內的含糖量較對照組巨幅成長為近兩倍

由上述結果我們推測：在銅離子濃度為 36ppm 與大布袋蓮相同的生長條件下，其淨化水質的能力更佳。而其葉內的銅離子濃度明顯上升，故猜測小布袋蓮可能將從根部吸收的銅離子運輸至葉儲存或做其它的轉換反應，在此過程中，植物體可能為加速體內代謝反應而產生較多醣類以提供足夠能量。除此之外，我們也有另一種猜想，銅離子是否會影響到植物合成醣類，而造成這種結果。同時，高濃度的金屬離子溶液導致葉綠素含量減少。

(三) 水蘊草

1. 水蘊草在 18ppm 的銅離子水溶液中存活率極低，種植七天後枝葉下垂；到第十三天已呈死亡狀態。至於葉綠體分佈則隨種植天數增加而漸往邊緣移動，數量也明顯減少。
2. 銅離子在水溶液中的濃度下降為三成。
3. 植物體內銅離子濃度約為對照組的八成。
4. 水蘊草內葉綠素含量下降極多，約只有對照組的二點五成。
5. 有別於大、小布袋蓮的上升，水蘊草內含糖量下降許多，剩不到對照組的

五成。

由上述結果我們推測：由於水中銅離子濃度過高，使得水蘊草無法適應，而死亡，含糖量及葉綠體濃度因而較對照組低，植株體內的銅離子濃度亦因此下降。

(四) 空心菜

1. 空心菜於銅離子水溶液中生長良好，外觀無明顯變化。
2. 水溶液中銅離子濃度下降為四成。
3. 植物體內銅離子濃度亦上升了約三成。
4. 空心菜體內葉綠素含量改變不大。
5. 空心菜體內含糖量上升為對照組的二點五倍。

由以上觀測結果我們推論：空心菜能夠藉由吸收水中銅離子來大幅降低環境中的銅離子濃度，而在此過程中累積於植株內的銅離子可能影響了植物體內醣類的新陳代謝，含糖量因此改變。

二、鉛離子水溶液

(一) 大布袋蓮

1. 外觀部分沒有太大的差異，生長良好，且有新芽生出。
2. 與對照組相比，鉛離子於水溶液中的濃度約下降了一點五成。
3. 大布袋蓮葉的鉛離子濃度約只剩對照組的三成；而根部則約為對照組的四成五。
4. 關於葉綠素含量的變化，種植在鉛離子水溶液中的約較對照組下降一成五左右。
5. 含糖量較對照組成長了一點五成。

和大布袋蓮在銅離子水溶液中的情形相似，水中及植株體內的離子濃度皆下降；只是鉛離子在水中的濃度下降不若銅離子顯著，而葉綠素含量下降不及銅離子溶液中多。因此我們推測：大布袋蓮轉化鉛離子為其他物質的方式可能與轉化銅離子的方式類似，但對葉綠素含量影響較小。同樣的，我們也推測處理鉛離子的機制可能也會使植株含糖量上升。

(二) 小布袋蓮

1. 外觀上，在鉛離子水溶液中的小布袋蓮生長良好，亦有新芽冒出。
2. 鉛離子濃度在水中只下降近 3%。
3. 小布袋蓮葉的鉛離子含量較對照組多出一成多；根部卻反而下降到約只剩對照組的三成。
4. 葉綠素含量較對照組下降了近三成。
5. 植株內含糖量則較對照組下降約一成五。

相較於小布袋蓮降低水中銅離子的效果來說，其減少水中鉛離子的能力十分有限，變化不大。不過和在銅離子溶液中的情況相似，植株葉部的金屬離子濃度上升，根部的金屬離子濃度下降，葉綠素含量減少，含糖量降低；因此我們推測：或許小布袋蓮處理水中鉛離子的機制和其處理銅離子的方式有部分相似之處。只是鉛離子對小布袋蓮造成的效果不若銅離子顯著。

(三) 水蘊草

1. 水蘊草在濃度為 50ppm 的鉛離子水溶液中生存不易，種植七天後枝葉略為下垂，且稍顯枯黃；種植十三天後情況更嚴重。至於葉綠體數量雖不及對照組多，但多於銅離子水溶液中者；分佈則亦隨種植天數增加而漸往邊緣移動。
2. 水溶液中鉛離子濃度約只下降 5%。
3. 植物體內的鉛離子含量約剩下對照組的七成左右。
4. 其葉綠素含量亦約為對照組的七成左右。
5. 水蘊草體內含糖量約較對照組減少三成。

由上述結果我們推測：在鉛離子濃度過高的水溶液中，水蘊草無法適應，而枯黃，含糖量及葉綠體濃度因而較對照組低，植株體內的鉛離子濃度亦因此下降。

(四) 空心菜

1. 空心菜在鉛離子水溶液中生長良好，外觀與對照組無明顯差異。
2. 鉛離子在水溶液中的濃度剩下不到對照組的四成。
3. 植株體內的鉛離子濃度大幅成長為對照組的兩倍多。
4. 空心菜體內的葉綠素含量約下降為九成。
5. 空心菜體內含糖量較對照組成長了三成。

空心菜體內的鉛離子含量大幅上升，因此我們猜測空心菜以吸收的方式將環境中的鉛離子大量儲存於體內，以降低水中鉛離子濃度，且其對鉛離子的耐受力極高，同時鉛離子也改變了植株合成醣類的效率。

三、水質

在十五日的種植時間後，我們將通氣馬達取出，發現種植小布袋蓮的三組水溶液中，對照組水溶液大量長出藻類，成混濁的綠色；鉛離子水溶液次之；銅離子水溶液中則幾乎無藻類生長。因此我們推測：在富含銅離子的水質環境中較不利藻類生長。

柒、 結論

在此次的研究過程中我們希望能觀察到植物體能否以自身淨化水質，因此我們以高出法律規定濃度許多的銅、鉛離子溶液種植大布袋蓮、小布袋蓮、水蘊草及空心菜。然而其生長狀況除種植於銅離子溶液的水蘊草外，自外觀而言大多相當良好。而水溶液中的金屬離子變化方面，對大、小布袋蓮來說，對銅離子水溶液的淨化程度較鉛離子水溶液佳；水蘊草則是對此兩種環境的忍耐度較低，但其水溶液中的銅離子濃度大幅下降，而鉛離子濃度則只有些微下降；至於空心菜對銅與鉛離子的淨化能力則皆相當高，然而空心菜對鉛離子的吸收力則相對較高。

本次實驗過程時間較不寬裕，以上實驗之餘，我們還有做蛋白質電泳，然而由於學校儀器不夠精密，僅能在蛋白質條帶上看出模糊的不同，因此若能大量且長時間的種植並輔以質譜儀的協助，在加上同位素追蹤法，便能對植物體內所吸收的金屬離子及蛋白質因應其改變的機制有更詳盡的了解。另外於本次的實驗中，我們並未探討有關硫酸銅在水溶液中會解離出的硫酸根離子，以及硝酸鉛的硝酸根離子對植物造成的影響，未來如果還有機會，我們會試圖減低水溶液中其他離子的干擾，更能精準控制影響實驗的變因。最後期待此次實驗對淨化水質的議題能有實際貢獻，希望日後能更深入探討並應用在實際層面。

捌、 參考資料

- 一、王月雲、陳是瑩、童武夫。植物生理學實驗。藝軒圖書出版社。p.93-95。1996。
- 二、林春吉。台灣水生與濕地植物生態大圖鑑。第一版。台北市。天下文化。2009。
- 三、C. Barry Cox and Peter. D. Moore。生物地理學—從生態及演化的角度來探討。第一版。台北縣新店市。藝軒圖書出版社。2007。
- 四、Robert. F. Weaver。分子生物學。初版。偉明圖書有限公司。2003。
- 五、行政院環保署水質淨化現地處理網站
http://wqp.epa.gov.tw/ecological/ClassRoom.aspx?Num=02#02_47
- 六、台灣水生植物圖誌 <http://163.20.159.3/scat/動植物圖鑑/台灣水生植物/index.htm>

【評語】 040719

污水處理之研究主題很好，但研究材料種類太多種，並無焦點，建議可針對其中某一材料探討相關淨化機制。