

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-生物科

科 別：生 物 科

組 別：高 中 組

作品名稱：布袋蓮吸取重金屬的研究

關 鍵 詞：布袋蓮、重金屬

編 號：040703

學校名稱：

國立武陵高級中學

作者姓名：

周祐賢、陳泰位

指導老師：

蔡靜宜



布袋蓮吸收重金屬的研究

前言

台灣近年來由於工業以及都市不斷的建設和擴張，帶來了污染問題；而廢水中所含大量的養分，成為促進布袋蓮快速生長及繁殖的主要原因。也因此而造成灌溉渠道淤塞、妨礙水庫功能、阻礙航運、破壞野生資源，影響魚類生存、減少戶外遊樂以及造成生活的不適環境等缺點。而由於布袋蓮的根部為紫色，且開的花為藍紫色，故農業上予布袋蓮有「紫色的煩惱」之稱。但除此之外，根據報導指出，布袋蓮還具有廢水處理的功能，此乃由於其對水中之物質，具有強烈的吸收能力。基於此點，國外已有利用布袋蓮去除工業廢水中有毒重金屬物質的議題出現。且由於近幾十年來台灣的工廠林立，工業廢水量大增，處理工業廢水已是刻不容緩的事。而工業廢水中的毒性重金屬之去除，已非活性污泥等傳統方式所能勝任的。故我們是否能就台灣滋生的有害布袋蓮加以利用，以處理工業廢水中的重金屬，得一兩全其美的方法，乃為我們研究之目的。

一、 實驗動機：

我們無意間在網路上看到一篇名為「布袋蓮研究」的布袋蓮相關報導，主要的內容是介紹布袋蓮的生態習性以及布袋蓮對環境所造成的影響，其中並提及布袋蓮具有清除重金屬及其他如氮、磷等毒物的特殊能力，引起我們對這方面的興趣以及好奇。但是由於在報導中並未對這方面做詳細的深入探討，我們為了要更深入了解布袋蓮與重金屬環境的關係及其作用機制，所以想要藉著這實驗來研究布袋蓮與重金屬之間的關係。

二、 實驗目的：

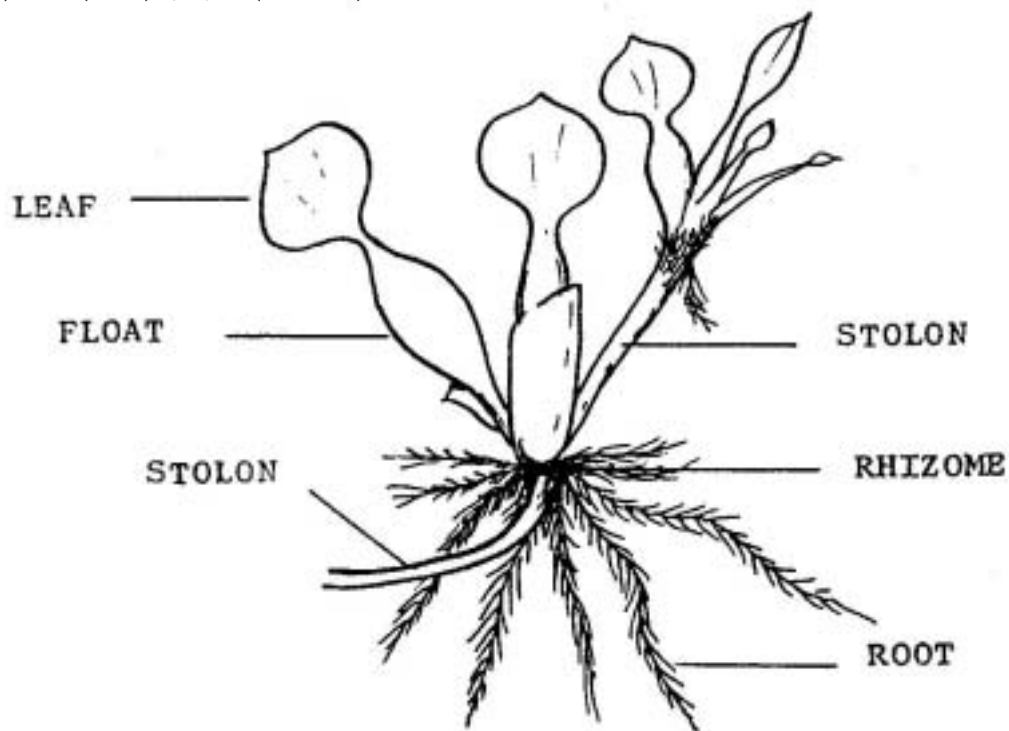
為了探討重金屬環境與布袋蓮的相互作用機制，所以設計了以下實驗：由於布袋蓮吸收重金屬的能力可能會受到許多因素的影響，所以我們將實驗劃分成幾個不同的方向，希望藉由不同數量的根毛(探討同一時間不同的吸收量)、不同大小的葉片(探討蒸散作用的強度不同)、以及不同的色光照射之下(探討光合作用的強度不同)，甚至是在不同種類的重金屬溶液中，觀察其吸收重金屬的含量是否

會有所異同，而造成這些現象的原因又是為何、以及在不同因素的多重相互關係下如何影響布袋蓮吸收重金屬的機轉。

三、 相關資料：

(一) 布袋蓮之特徵

布袋蓮屬雨久花科(pontederiaceae)，其學名為 *Eichhornia crassipes*，英文名稱爲 Water Hyacinth。爲多年生、導管水生植物，浮於水面呈叢生長。分布於世界上熱帶、亞熱帶及溫帶地區⁽³⁾⁽⁷⁾。外型上可分爲根(root)、根莖(rhizomes)、匍匐根(stolon)，葉(leaf)及莖(stem)等部分(如圖一)。



圖一：布袋蓮的外型

(二) 布袋蓮的繁殖

布袋蓮繁殖的方法包括分裂生殖及種子繁殖。分裂生殖是在其匍匐根尾端伸出新株體，新植株又可長出新植株，因而造成龐大的群體。種子繁殖則是以種子沉入水底，在適宜的水溫下（82.4~98.6°F）則萌芽；雖然發芽率甚低，但因種子數目相當多，所以萌芽的植株亦相當可觀⁽⁸⁾。

(三) 布袋蓮之生存環境

布袋蓮原產於中南美洲，現已遍布於世界上，其品種有四，而台灣僅為其一。在各地方之布袋蓮大小、形狀不同，其差異乃由於生長環境不同所致。影響布袋蓮生長及繁殖之環境因素為：鹽份、溫度、日照、水質、風向與流速…等。

(四) 布袋蓮之利用

布袋蓮對水中物質具有強大吸收能力，也因此布袋蓮不僅對氮、磷具強大吸收能力，對污水中有機物、懸浮固體物等亦具去除效果⁽³⁾。

(五) 重金屬與植物生理關係

銅：植物缺銅會使葉尖壞死，產生枯萎及顏色變黑的葉子。但是銅過量，反而會對植物造成毒害。其造成毒害之原因，係銅離子使植物酵素不具活性，及使蛋白質沉澱⁽²⁾。鎳：鎳與植物之明確關係尚不清楚⁽¹⁾。鉻：鉻不為植物體所需要者。六價鉻 Cr^{6+} 毒性甚大，三價鉻 Cr^{3+} 毒性較小。據研究，以重金屬土壤試驗各種作物，其毒害因作物而異，大約在 3.4~17.3mg/L 之間，開始出現輕微之毒害⁽¹⁾。

實驗前處理：

1. 於桃園八德的池塘採集大小約相同，且高度也大致相同的布袋蓮。
2. 將取回的布袋蓮清洗乾淨，並將附著其上的福壽螺、水蛭及污泥清洗掉，培養在清水中七日，作為第一批初步實驗的材料。
3. 接下來在各項實驗中所需的實驗用布袋蓮，皆使用由採集來的布袋蓮所培植出的新株，作為實驗材料。

實驗後處理：

1. 實驗後殘餘的重金屬溶液，交由土城工業區污水處理廠的專員代為處理
2. 實驗後的被污染布袋蓮，將其全部收集統一消化後，其消化液交由土城工業區污水處理廠的人統一代為處理

四、 實驗過程：

(一) 初步實驗 (實驗 4-1.1、4-1.2、4-1.3)：

實驗目的：

確認布袋蓮的確具有吸收重金屬的能力，同時研究在鉻(實驗 4-1.1)、鎳(實驗 4-1.2)、銅(實驗 4-1.3)等不同種類及不同含量的重金屬溶液中，布袋蓮吸收重金屬的能力有何不同

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
鉻、銅、鎳標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 將 10ml 的鉻標準液滴入 1990ml 的清水中；20ml 的鉻標準液滴入 1980ml 的清水中；50ml 的鉻標準液滴入 1950ml 的清水中，可配出 5ppm、10ppm、25ppm 的 2 升六價鉻 Cr^{6+} 溶液。
2. 每種濃度作三重複，每一杯都同時放入同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮各一株。另外再各放置 1 株同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，分別作為各組對照之用。
3. 將所有實驗組放到相同位置（通風日照處），並自放入布袋蓮後隔天，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗。再由測量結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。
4. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的濃度數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液

的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此此誤差仍可被我們所省略。

5. 其餘如二價銅 Cu^{2+} 和二價鎳 Ni^{2+} 溶液吸收的測定，重複類似 I ~ III 的步驟，並紀錄之。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

(二) 蒸散實驗(實驗 4-2.1、4-2.2)：

實驗 4-2.1：

實驗目的：

研究根毛多寡(同一時間不同的吸收量)對於布袋蓮吸收重金屬的影響

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
鎳標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 預先利用鎳標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆 (配法同實驗 4-1.2 之步驟 1)。
2. 取出 12 個預先處理過的實驗用布袋蓮，將其分為三組：根毛多、根毛中、根毛少，每組各四株布袋蓮。並紀錄各組的根毛平均重量。將每一株布袋蓮的葉片面積修剪至相同的大小，並記錄其面積。

3. 將 9 株布袋蓮分別置入 5ppm 的二價鎳 Ni^{2+} 溶液中，並將其分為三組(根毛多、根毛中、根毛少，每組各 3 株)，另外再將餘下的 3 株布袋蓮(根毛多、根毛中、根毛少)分別放至 3 盆 2 公升清水中，作為各組對照之用。
4. 將所有實驗組放到相同位置（通風日照處），並自隔日開始，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。
5. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

實驗 4-2.2：

實驗目的：

研究蒸散作用(葉片大小)對布袋蓮吸收重金屬的影響

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
鎳標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 預先利用鎳標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆（配法同實驗 4-1.2 之步驟 1）。

2. 取出 12 株預先處理過的實驗用布袋蓮，將其分為三組：葉片總面積大、葉片總面積中、葉片總面積小，每組各四株布袋蓮。並紀錄各組的總面積平均數。將每一株布袋蓮的根毛修剪至相同的重量，並記錄之。
3. 將 9 株布袋蓮分別置入 5ppm 的二價鎳 Ni^{2+} 溶液中，並其分為三組(總面積大、總面積中、總面積小，每組各 3 株)。另外再將餘下的 3 株布袋蓮(總面積大、總面積中、總面積小)分別放至 3 盆 2 公升清水中，作為各組對照之用。
4. 將所有實驗組放到相同位置(通風日照處)，並自隔日開始，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。
5. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

(三) 光合作用實驗(實驗 4-3.1、4-3.2)：

實驗 4-3.1：

實驗目的：

研究布袋蓮在不同色光照射下(光合作用的強度)對於布袋蓮吸收重金屬的影響

實驗器材：

布袋蓮

2.5 公升水盆

鉻標準液(1000ppm)

試管

拋棄式滴管

量筒

日光燈

電子分光光度儀

底挖空再貼上玻璃紙的紙箱

黃玻璃紙

藍玻璃紙

綠玻璃紙

實驗步驟：

1. 預先利用鉻標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆（配法同實驗 4-1.1 之步驟 1）。
2. 取出 9 株預先處理過的實驗用布袋蓮，每一盆六價鉻 Cr^{6+} 重金屬溶液都同時放入同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮各一株。另外再各放置 1 株同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，分別作為各組對照之用。
3. 將每 3 個盆子和 1 個對照盆分為一組，分別蓋上黃紙箱、綠紙箱、藍紙箱，並放置到通風良好且具有日光燈的室內。每天給予實驗組 12 小時光照和 12 小時的黑暗。
4. 從隔天開始，每逢第 1、2、3、5、7 天黑暗結束、光照之前的時間，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。
5. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例（誤差可接受的範圍），因此我們可以省略此誤差。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

實驗 4-3.2：

實驗目的：

當我們進行實驗 4-3.1，在測出前三天的值之後，發現其值都相當的接近，且較原濃度都無明顯的改變。因此決定於每次實驗 4-3.1 的原定取樣之後，每

隔十二小時進行第二次取樣，確認行光合作用後是否對實驗結果造成影響。

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
鉻標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
日光燈
電子分光光度儀
底挖空再貼上玻璃紙的紙箱
黃玻璃紙
藍玻璃紙
綠玻璃紙

實驗步驟：

1. 實驗延長至 9 天
2. 利用鉻標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆(配法同實驗 4-1.1 之步驟 1)。
3. 取出 9 株預先處理過的實驗用布袋蓮，每一盆六價鉻 Cr^{6+} 重金屬溶液都同時放入同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮各一株。另外再各放置 1 株同樣重量（30 克）及高度（15 公分）的實驗用布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，分別作為各組對照之用。
4. 從隔天開始，每逢第 5、7、9 天光照結束、黑暗之前的時間，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。
5. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。

6. 進行數據的整理及結果的討論。

(四) 蒸散關鍵點實驗(實驗 4-4)：

實驗目的：

確認布袋蓮在空間大小不同的環境中，影響蒸散作用後，是否也會影響吸收重金屬的能力，同時也要確認蒸散作用是否真為開啓吸收大門之鑰

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
玻璃罩
鉻標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 將 20ml 的鉻標準液滴入 1980ml 的清水中，可配出 10ppm 的六價鉻 Cr^6 溶液。
2. 一組置於玻璃罩下，另一組置於無玻璃罩環境中。
3. 一組作三重複，每一杯都同時放入同樣重量（克）及高度（公分）的實驗用布袋蓮各一株。另外再各放置 1 株同樣重量（克）及高度（公分）的實驗用布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，分別作為各組對照之用。
4. 將所有實驗組放到相同位置（通風日照處），並自放入布袋蓮後隔天，每逢第 1、2、3 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗。再由測量結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

5. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的濃度數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此此誤差仍可被我們所省略。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

(五) 植物體分析實驗(實驗 4-5)：

實驗目的：

研究布袋蓮吸收不同的重金屬後，會將重金屬儲存在植物體內的何種部位

實驗器材：

布袋蓮
5 公升水盆
試管
拋棄式滴管
純硝酸 HNO_3
過氯酸
蒸餾水
鉻、銅、鎳標準液(1000ppm)
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 任取三株重量、高度相同的 1 號實驗用布袋蓮將其根、莖、葉分別進行消化，再紀錄其各部位所含的重金屬平均含量。
2. 利用鉻、鎳、銅標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液各 3 盆(配法同實驗 4-1.1~4-1.3 之步驟 1)。
3. 將重量、高度和 1 號實驗用布袋蓮相同的九株實驗用布袋蓮，分別置入 5ppm 的二價銅 Cu^{2+} 、二價鎳 Ni^{2+} 、六價鉻 Cr^{6+} 重金屬溶液中七天。
4. 將吸收過重金屬的布袋蓮取出滴除水分，再用清水洗淨根部，並將

其晾乾。將晾乾之布袋蓮分為根、莖、葉三部位，於烤箱 105℃ 烘乾。以硝酸及過氯酸進行消化，消化完全後之殘餘物用蒸餾水稀釋，再加以過濾，使最後濾液體積為 100ml。然後再利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出各部位中的重金屬含量，並紀錄之。

5. 進行數據的整理及結果的討論。

(六) 重金屬混合實驗(實驗 4-6.1~4-6.3)：

實驗目的：

研究在鉻、鎳、銅混合的重金屬溶液中，布袋蓮吸收各種重金屬的能力有何不同

實驗器材：

布袋蓮
2.5 公升水盆
鉻、銅、鎳標準液(1000ppm)
試管
拋棄式滴管
量筒
電子分光光度儀

實驗步驟：

1. 將 10ml 的鉻標準液及 10ml 的鎳標準液滴入 1980ml 的清水中，可配出 5ppm 的六價鉻 Cr^{6+} 和 5ppm 的鎳離子 Ni^{2+} 溶液。
2. 作三重複，每一杯都同時放入同樣重量（克）及高度（公分）的實驗用布袋蓮各一株。另外再各放置 1 株同樣重量（克）及高度（公分）的實驗用布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，分別作為各組對照之用。
3. 將所有實驗組放到相同位置（通風日照處），並自放入布袋蓮後隔

天，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗。再由測量結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

4. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 公升的狀態，以求得較正確的濃度數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例(誤差可接受的範圍)，因此此誤差仍可被我們所省略。
5. 另配出 5ppm 的銅離子 Cu^{2+} 和 5ppm 的鎳離子 Ni^{2+} 溶液和配出 5ppm 的六價鉻 Cr^{6+} 和 5ppm 的銅離子 Cu^{2+} 溶液，重複步驟 2.~3.並紀錄之。
6. 進行數據的整理及結果的討論。

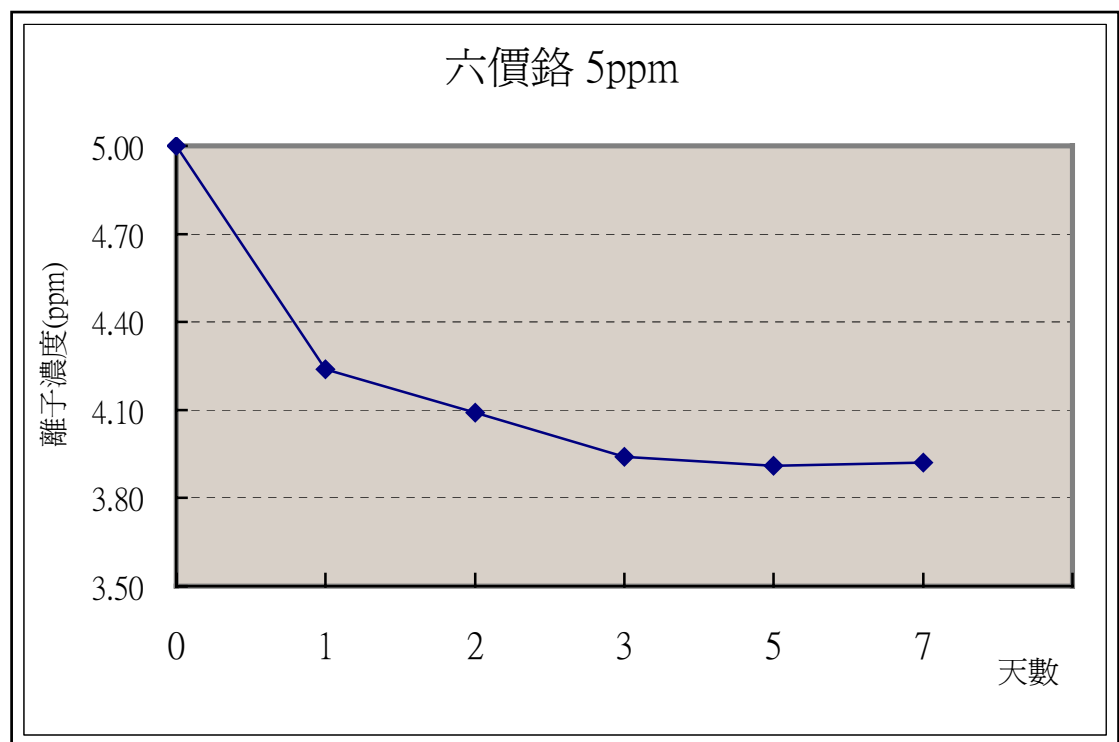
五、 數據結果：

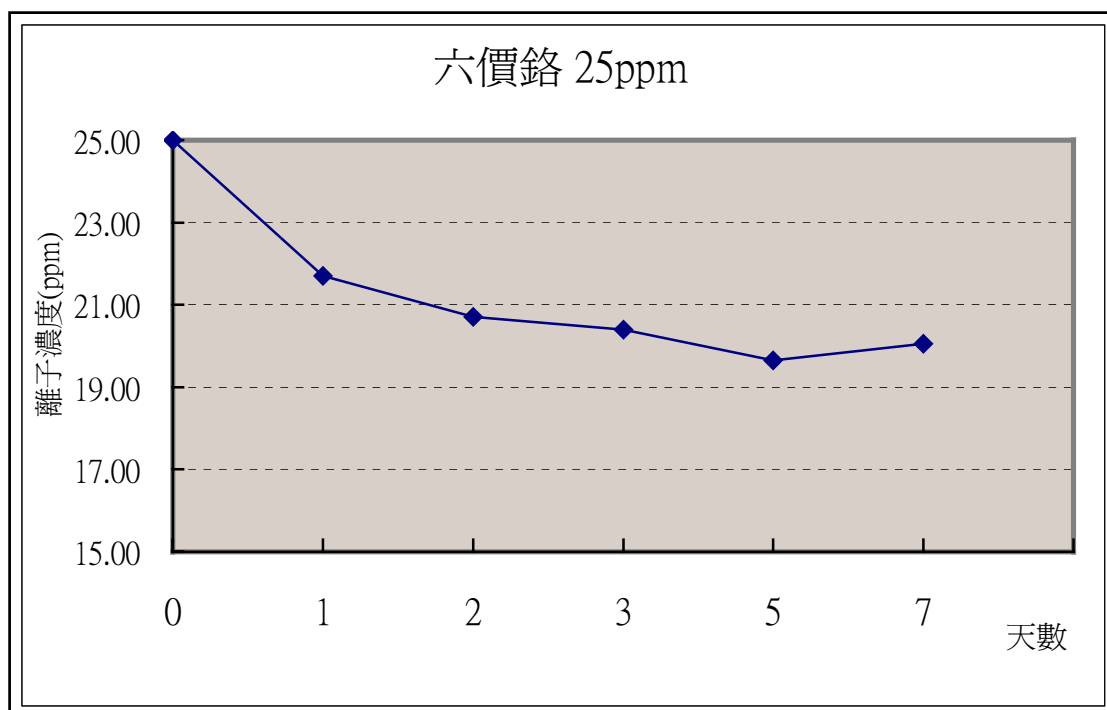
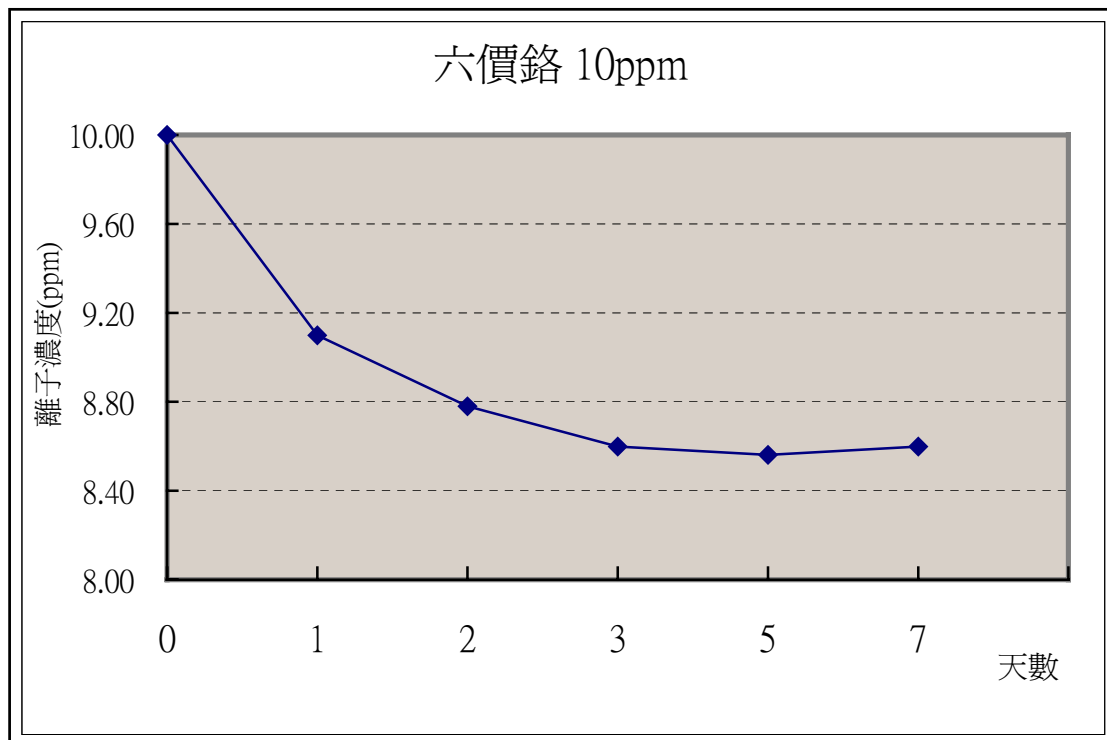
實驗 4-1.1

布袋蓮在不同濃度之鉻離子 Cr^{6+} 下培養所得濃度變化表

天 數 濃 度	0	1	2	3	5	7
25ppm	25.00	21.70	20.70	20.40	19.65	20.05
10ppm	10.00	9.10	8.78	8.60	8.56	8.60
5ppm	5.00	4.24	4.09	3.94	3.91	3.92

平均氣溫：20 ° C、平均水溫：18 ° C



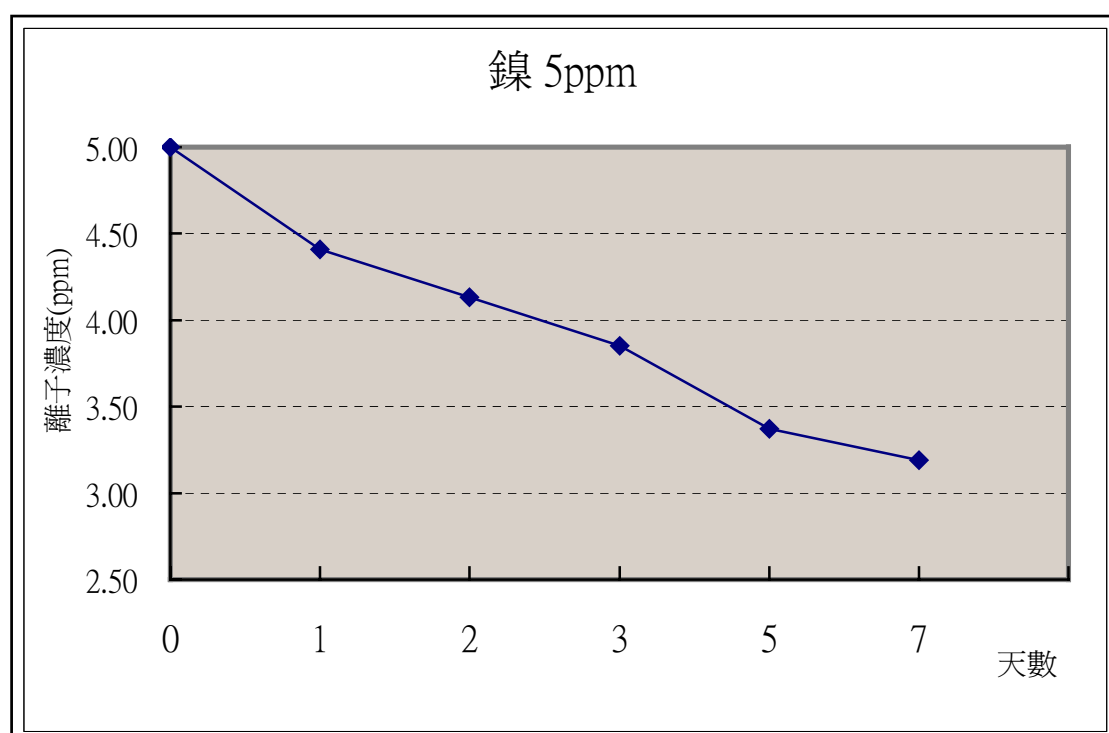


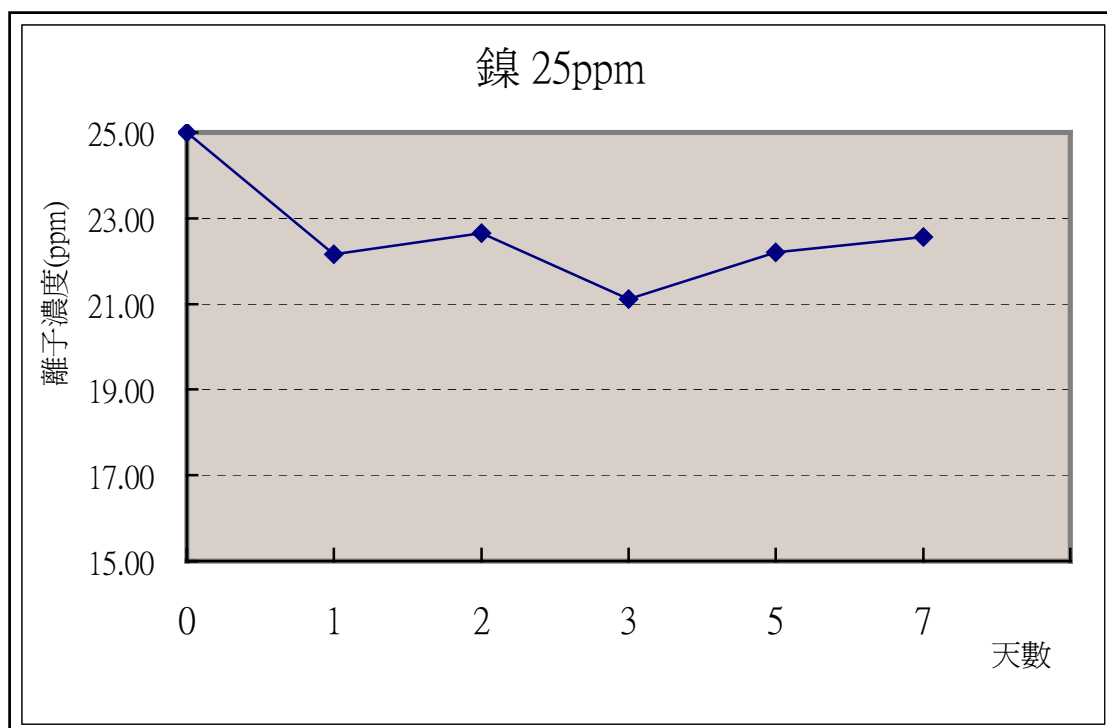
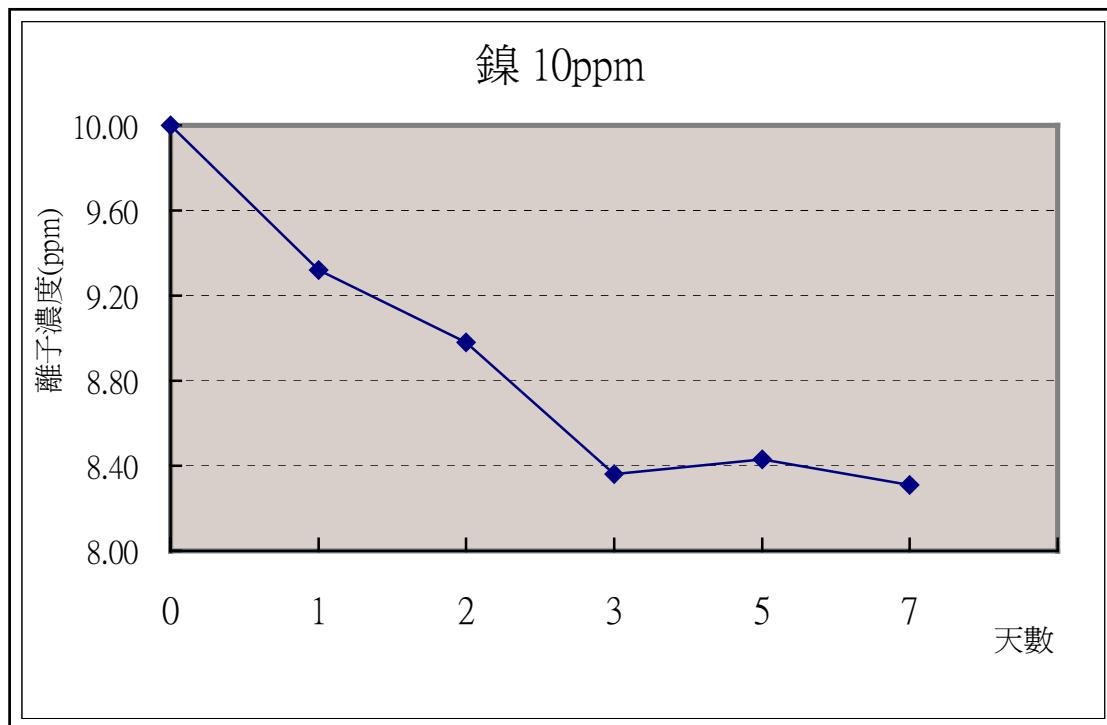
實驗 4-1.2

布袋蓮在不同濃度之鎳離子下培養所得濃度變化表

天 數 濃 度	0	1	2	3	5	7
25ppm	25.00	22.16	22.65	21.12	22.21	22.56
10ppm	10.00	9.32	8.98	8.36	8.43	8.31
5ppm	5.00	4.41	4.13	3.85	3.37	3.19

平均氣溫：20° C、平均水溫：18° C



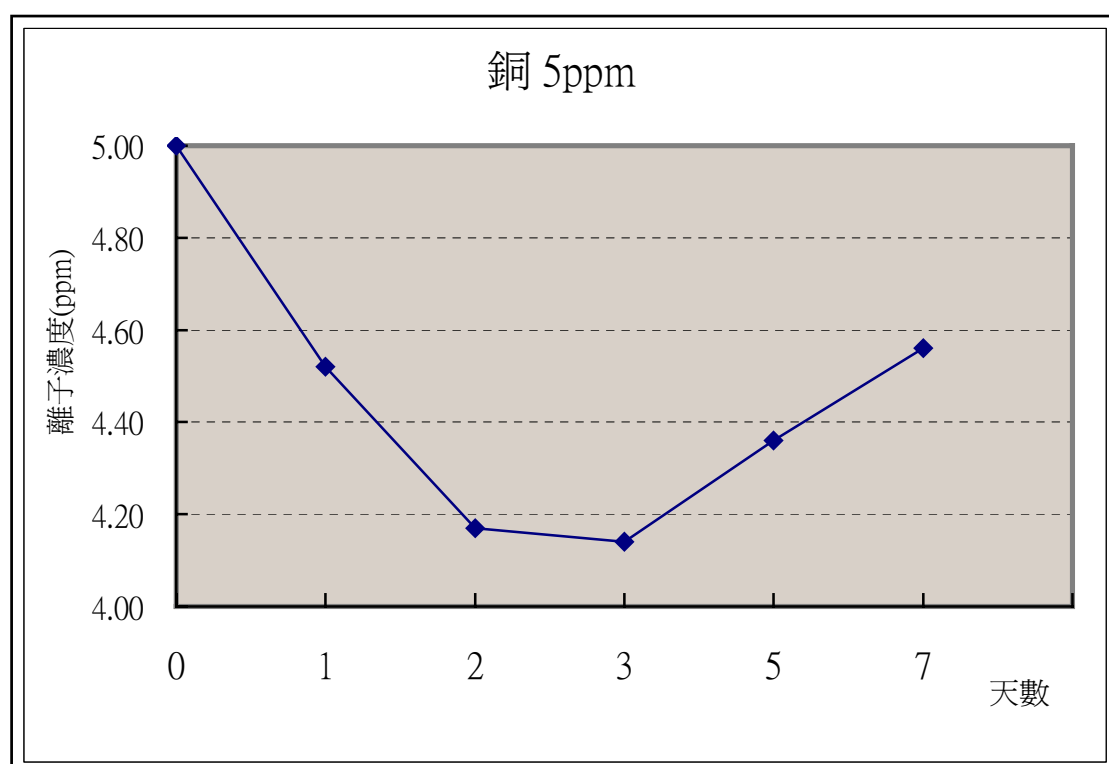


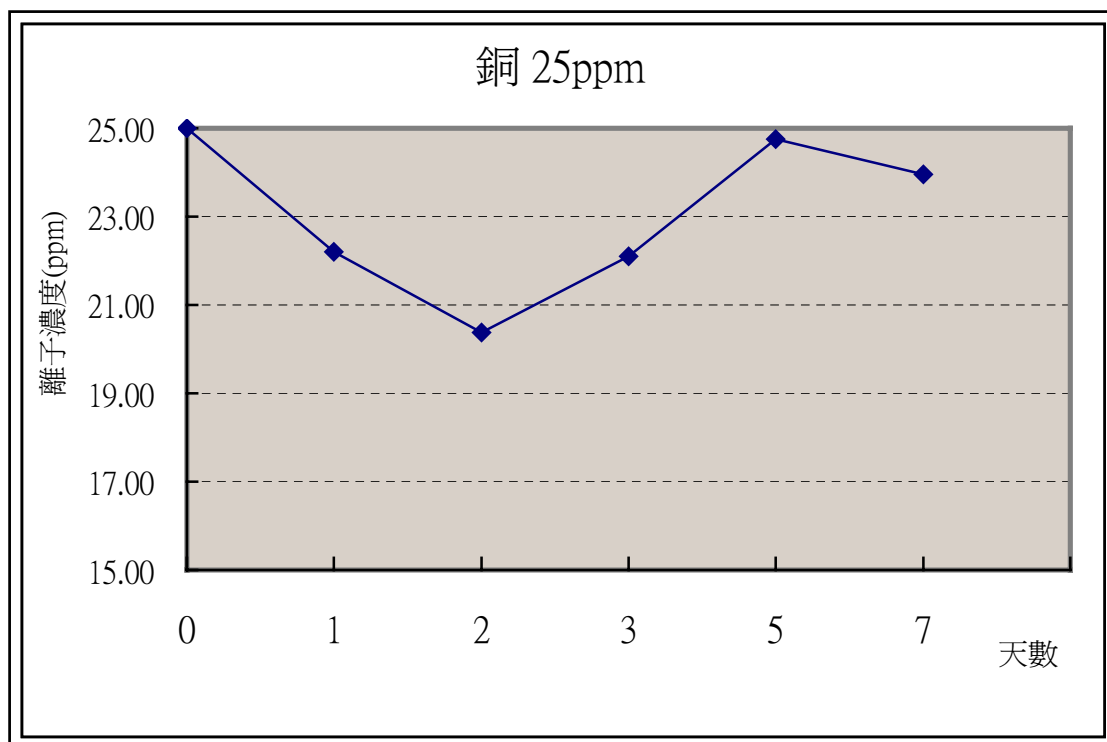
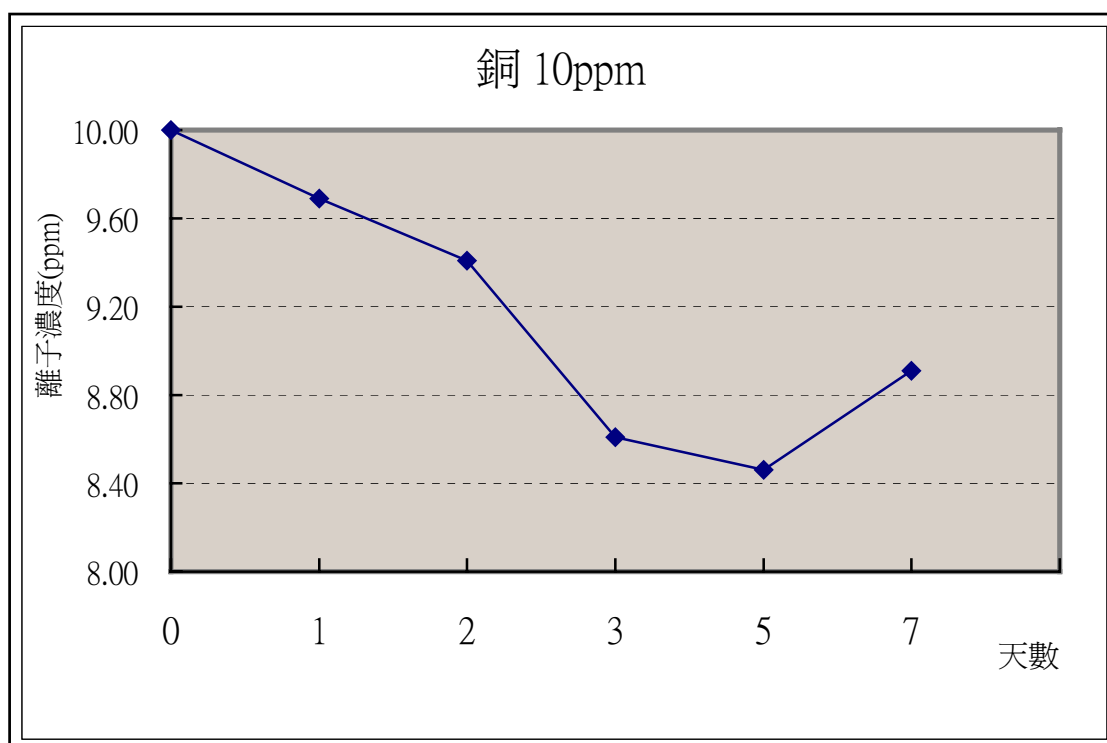
實驗 4-1.3

布袋蓮在不同濃度之銅離子下培養所得濃度變化表

天 數 濃 度	0	1	2	3	5	7
25ppm	25.00	22.21	20.37	22.10	24.75	23.96
10ppm	10.00	9.69	9.41	8.61	8.46	8.91
5ppm	5.00	4.52	4.17	4.14	4.36	4.56

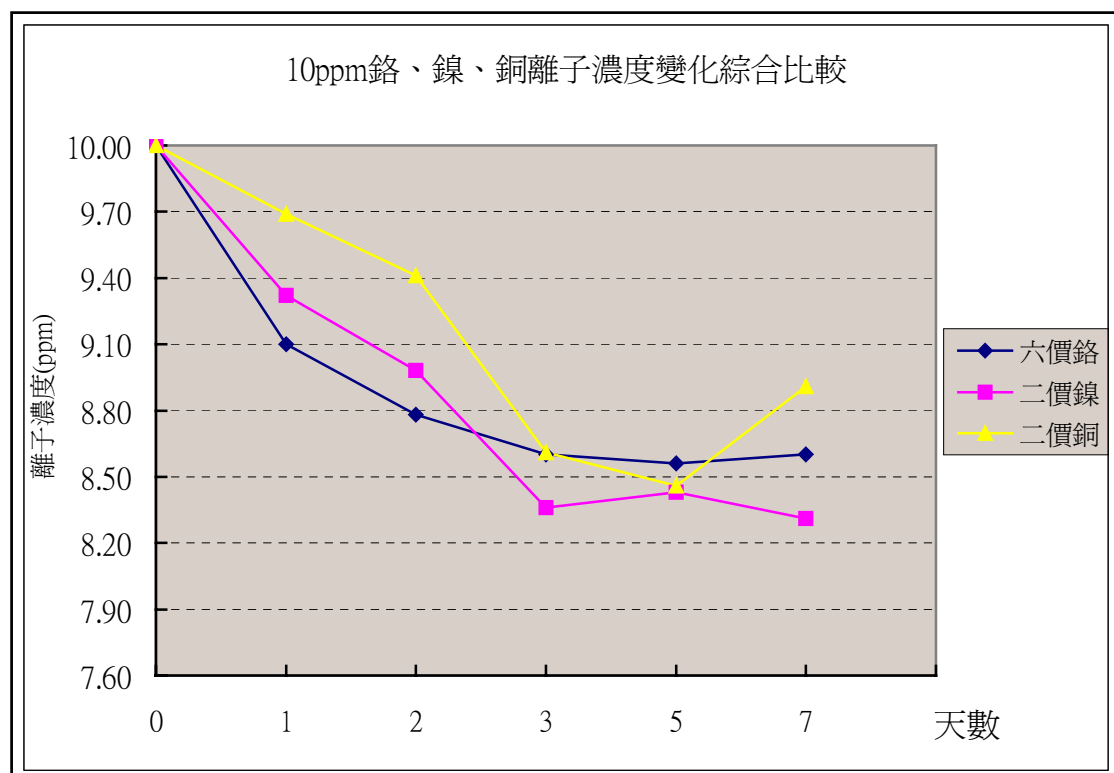
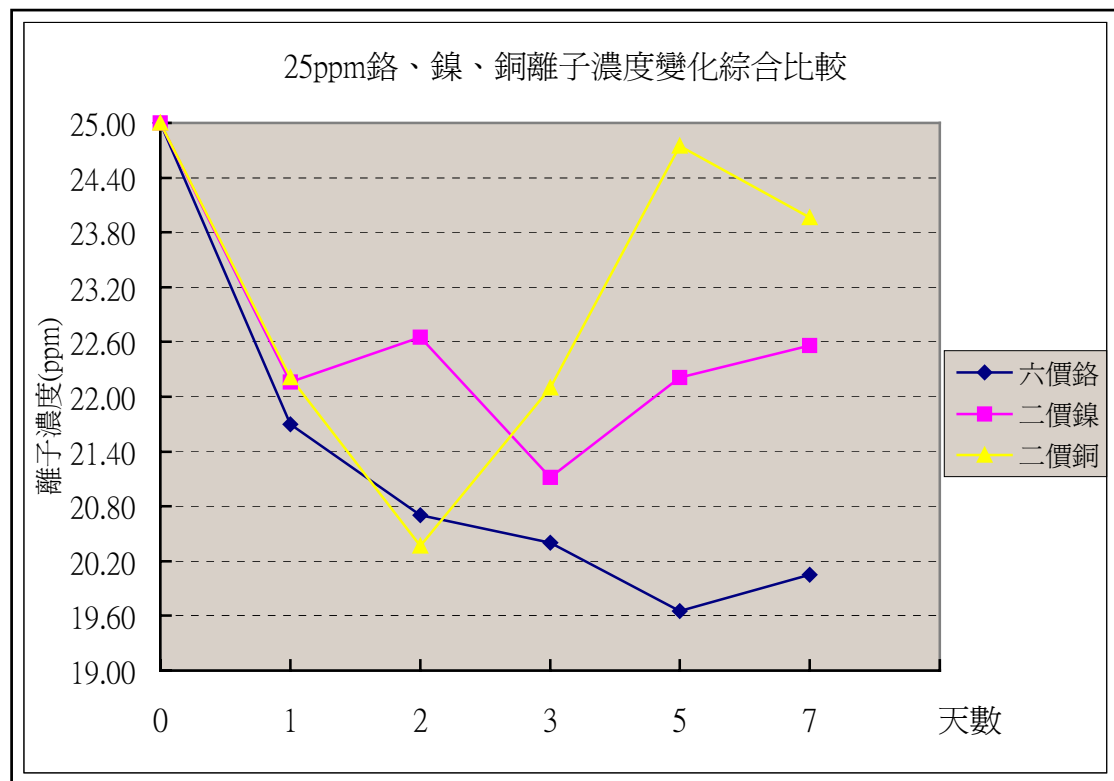
平均氣溫：20° C、平均水溫：18° C

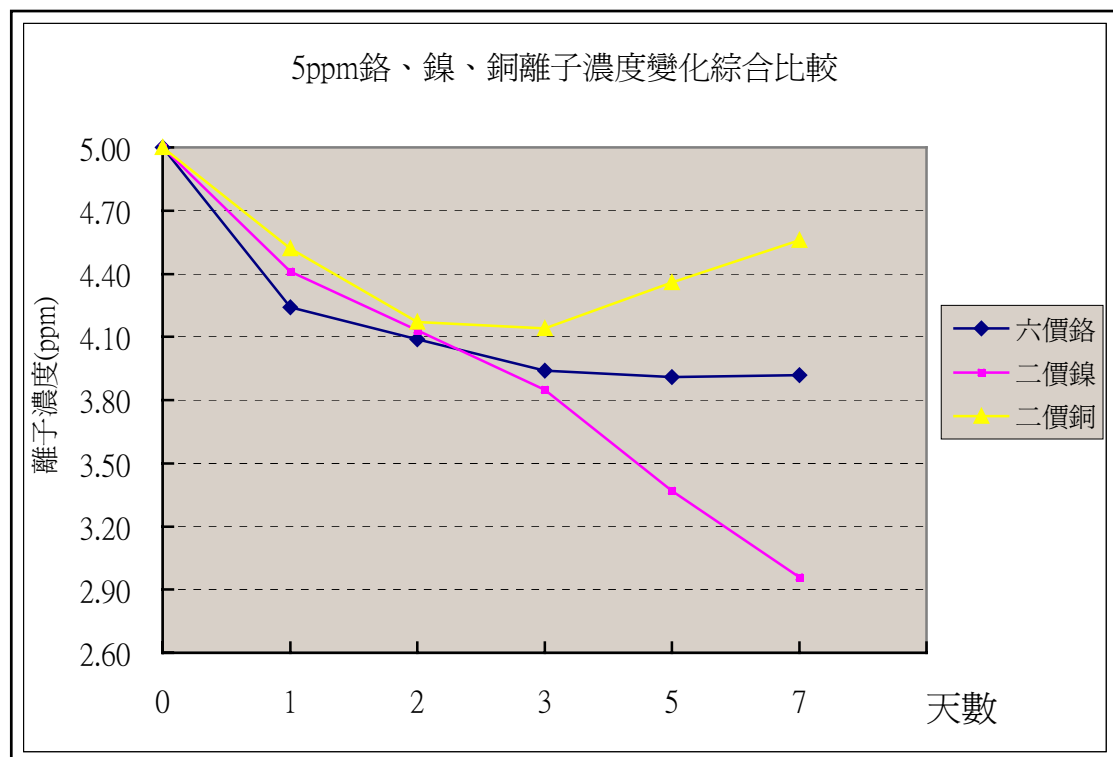




實驗 4-1.1~4-1.3

布袋蓮在不同濃度、離子下培養所得濃度變化綜合比較圖表





實驗 4-2.1

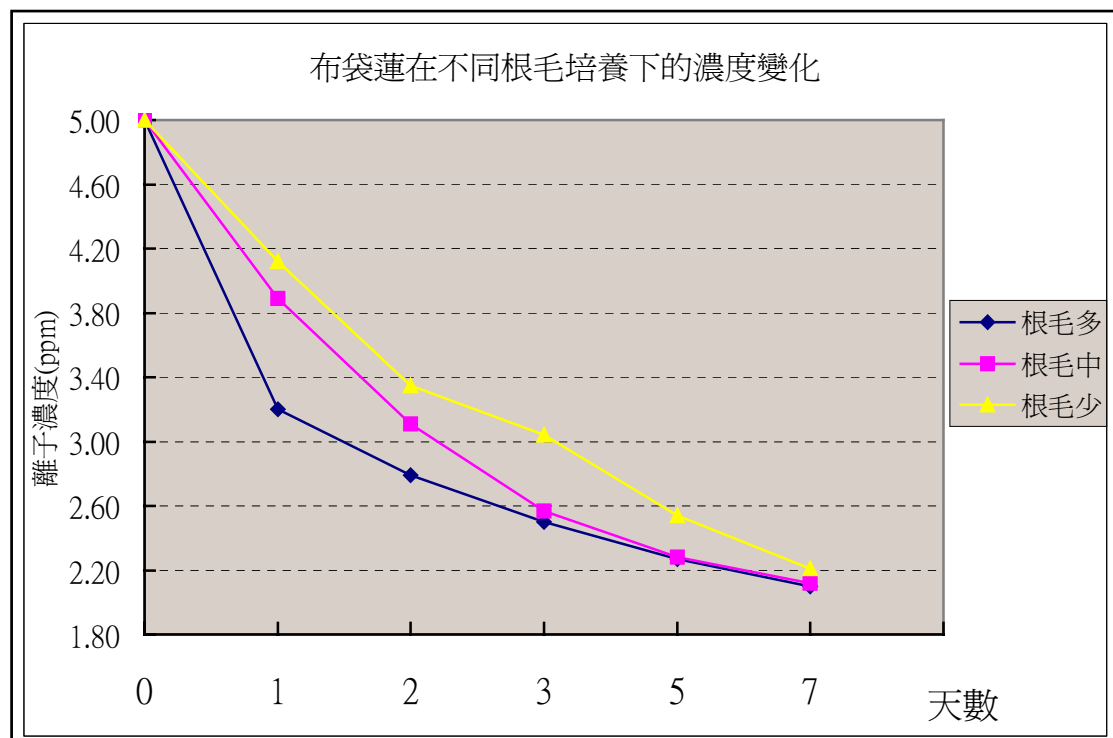
布袋蓮在根毛多寡不同下培養所得濃度變化表

(多、中、少根毛平均根重分別為：15.47、9.58、3.17 克)

(葉片平均面積為 17 平方公分)

天 數 根 毛	0	1	2	3	5	7
多	5.00	3.20	2.79	2.50	2.27	2.10
中	5.00	3.89	3.11	2.57	2.28	2.12
少	5.00	4.12	3.35	3.04	2.54	2.21

平均氣溫：23 ° C、平均水溫：21 ° C



實驗 4-2.2

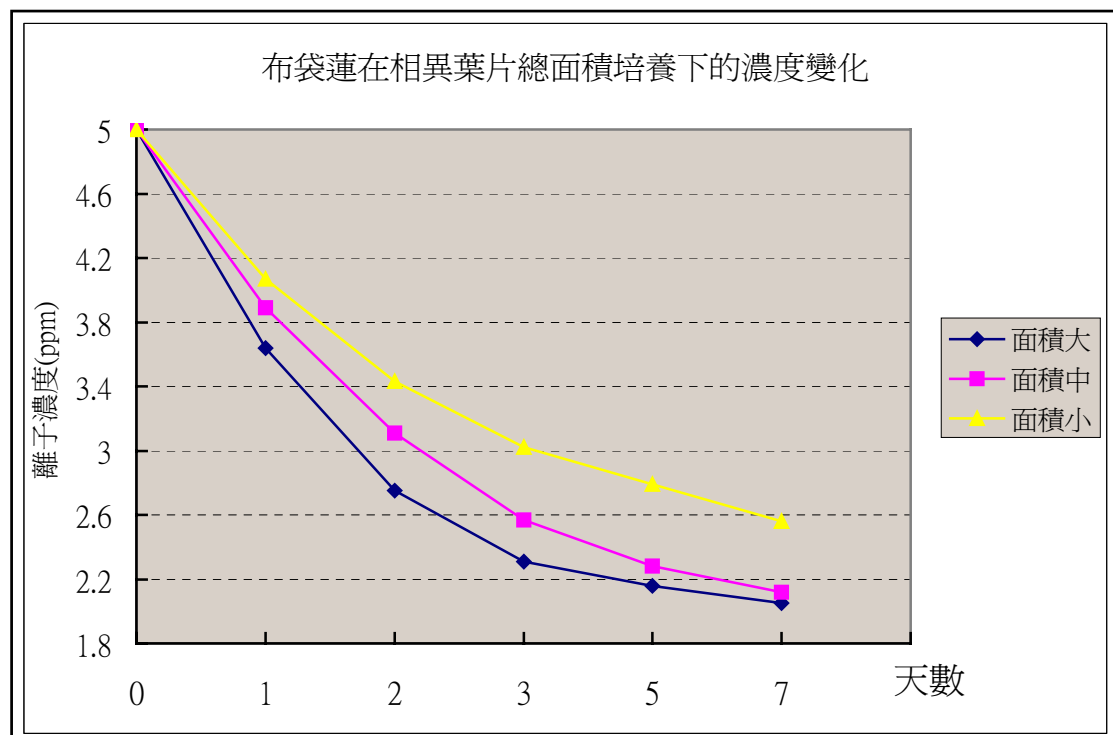
布袋蓮在葉片總面積大小不同下培養所得濃度變化表

(大、中、小葉片平均面積分別為：25、17、9 平方公分)

(平均根重為 9.58 克)

天數 面積	0	1	2	3	5	7
大	5	3.64	2.75	2.31	2.16	2.05
中	5	3.89	3.11	2.57	2.28	2.12
小	5	4.07	3.43	3.02	2.79	2.56

平均氣溫：23 ° C、平均水溫：21 ° C

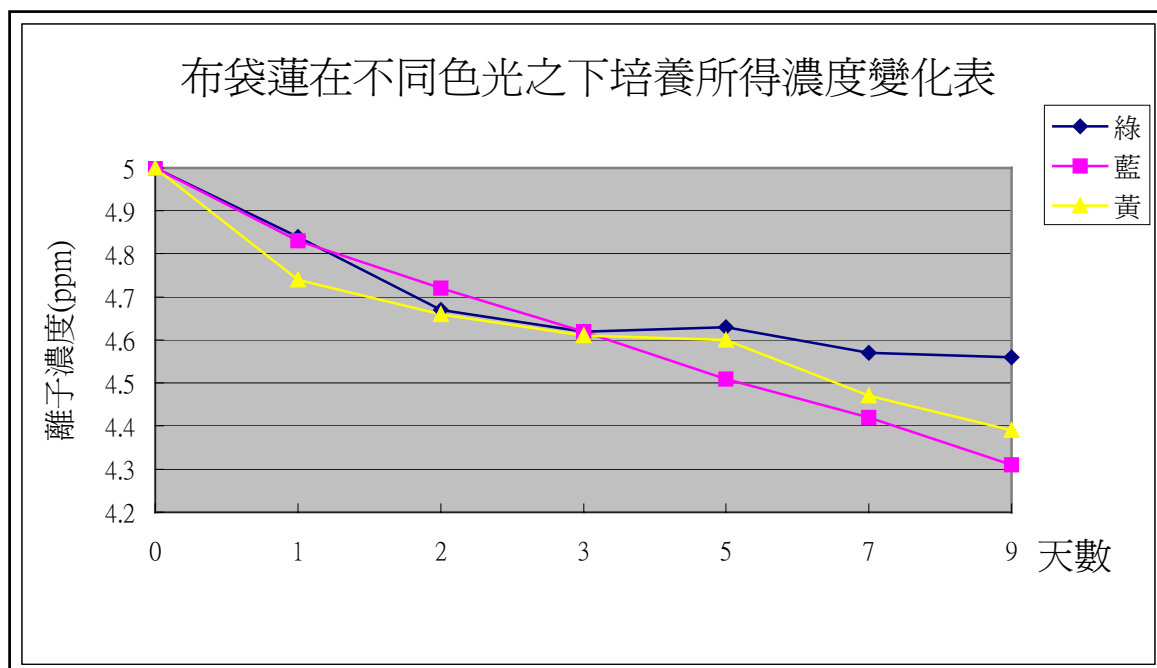


實驗 4-3.1

布袋蓮在不同色光之下培養所得濃度變化表

天 數 色 光	0	1	2	3	5	7	9
綠	5.00	4.84	4.67	4.62	4.63	4.57	4.60
藍	5.00	4.83	4.72	4.62	4.51	4.42	4.31
黃	5.00	4.74	4.66	4.61	4.60	4.47	4.39

平均氣溫：24 ° C、平均水溫：21 ° C

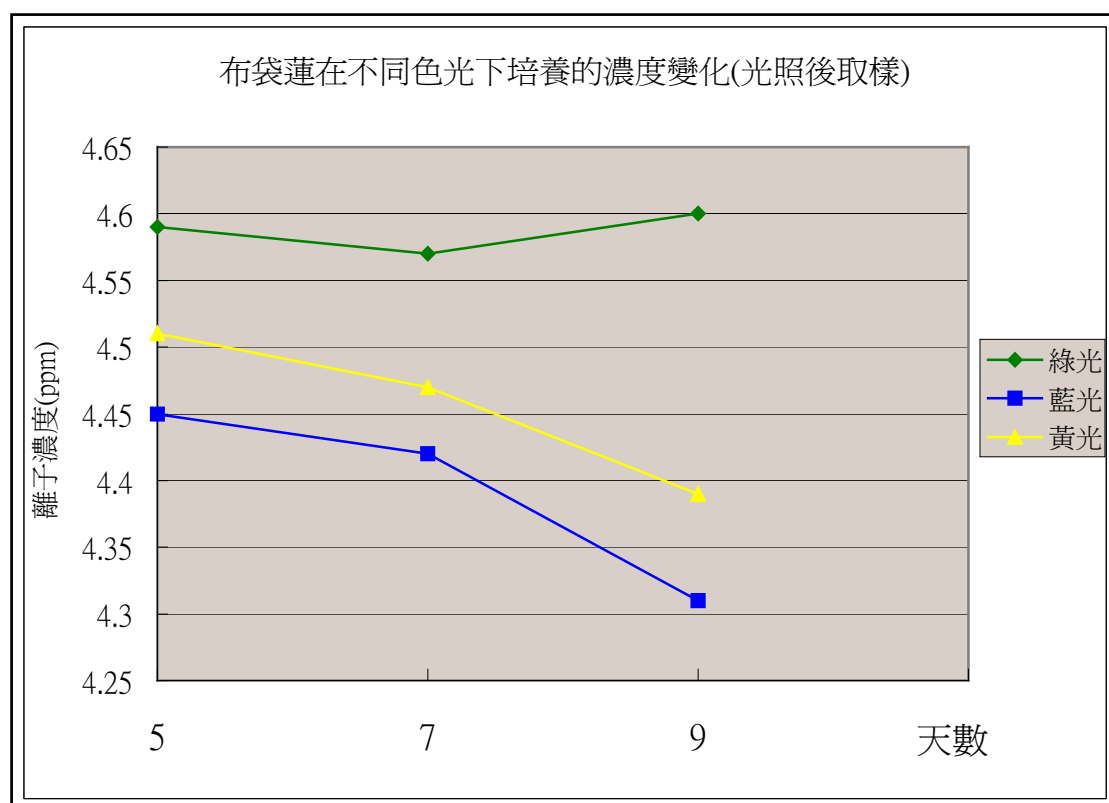


實驗 4-3.2

布袋蓮在不同色光之下培養所得濃度變化表(光照結束後取樣)

天 數 色 光	5	7	9
綠	4.59	4.60	4.63
藍	4.45	4.31	4.20
黃	4.51	4.39	4.28

平均氣溫：24 ° C、平均水溫：21 ° C



實驗 4-4

蒸散關鍵點實驗濃度變化表

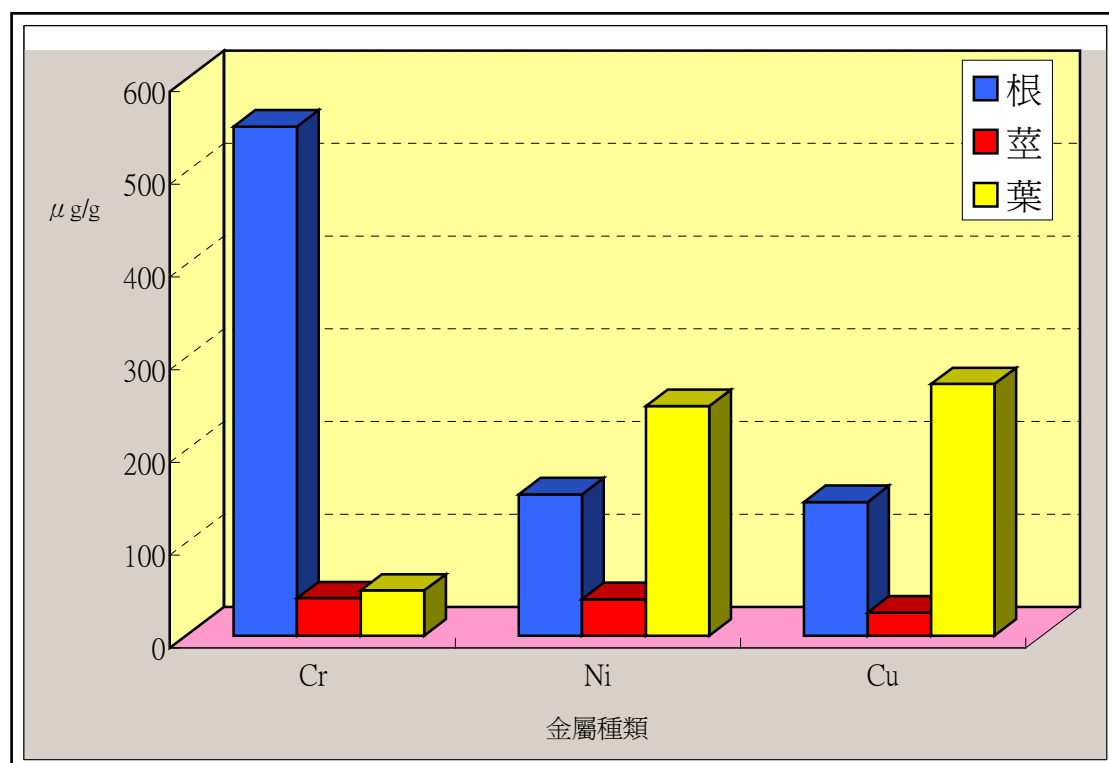
天 蓋 數 子	1	2	3
有蓋	9.28	8.42	7.86
無蓋	9.02	8.53	8.01

平均氣溫：26 ° C、平均水溫：24 ° C

實驗 4-5

5ppm 重金屬在植物體內各部位含量之分析($\mu\text{g/g}$)

部 位 金 屬	根	莖	葉
鉻 Cr	549.2	40.2	48.57
鎳 Ni	152.45	39.22	247.35
銅 Cu	143.9	24.7	271.36

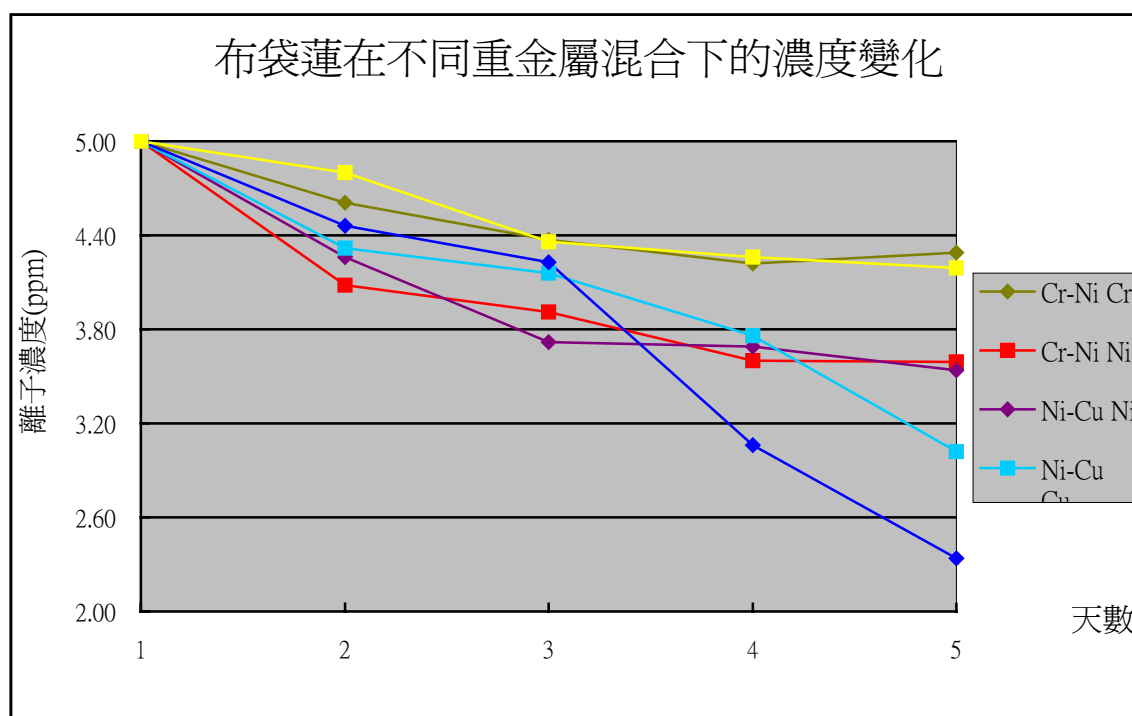


實驗 4-6.1~4-6.3

布袋蓮在不同重金屬混合下的濃度變化

		1	2	3	5	7
Cr-Ni	Cr	5.00	4.61	4.37	4.22	4.29
	Ni	5.00	4.08	3.91	3.60	3.59
Ni-Cu	Ni	5.00	4.26	3.72	3.69	3.54
	Cu	5.00	4.32	4.16	3.76	3.02
Cu-Cr	Cu	5.00	4.46	4.23	3.06	2.34
	Cr	5.00	4.80	4.36	4.26	4.19

平均氣溫：26 ° C、平均水溫：23 ° C



五、 結論：

1. 布袋蓮在不同濃度中，都有一個低限濃度，其吸收的量幾乎不可能低於此值，且有時到達低限濃度之後，濃度還會出現回升的情形。
2. 過量的重金屬會對布袋蓮的生長產生阻礙，甚者會使布袋蓮死亡。布袋蓮對六價鉻的忍受度大約為 25ppm、二價鎳 < 25ppm、二價銅 < 5ppm。
3. 本實驗結果，重金屬對布袋蓮的毒性強度為：銅 > 鎳 > 鉻。其毒性強度與重金屬所存放的位置有相當大的關係。
4. 布袋蓮吸收重金屬後，會出現吐出重金屬的情形，可能的原因有二：重金屬從根毛中被釋放、或是因為某種特殊通道蛋白的影響。
5. 實驗結果顯示，布袋蓮吸收重金屬的能力依次為：二價鎳 > 六價鉻 > 二價銅。
6. 布袋蓮吸收重金屬與否的重要關鍵為強烈的光合作用，影響吸收量的則是以根毛重量的多寡為主要的因素。
7. 重金屬混合時，鉻對鎳、鉻對銅、鎳對銅產生單向正效應；銅對鉻、鎳對鉻產生單向負效應；銅對鎳的影響則不明顯。

六、 討論：

1. 由實驗 4-1.1~4-1.3 的結果知，鉻、銅、鎳前 2 天的下降量明顯比後來下降的還多。因此我們推測應該是因為布袋蓮和重金屬溶液之間之濃度梯度所造成的擴散作用，而在第 2~3 天之後的下降濃度，應該就是布袋蓮本身的吸收能力所造成之濃度變化。
2. 從實驗 4-1.1~4-1.3 的結果圖表中，不難發現布袋蓮吸收的重金屬量，有隨著天數增加而逐漸減少的情形。依據我們的推測，這可能是因為布袋蓮所吸收的重金屬量已經接近其本身所能負荷的最大量值，所以才會出現吸收減少的現象。我們將此時的溶液濃度稱為布袋蓮在這個濃度實驗中的「低限濃度」，如六價鉻 5ppm 實驗組中的低限濃度為 3.90~3.95ppm。而 10ppm 二價鎳在到達低限濃度時，甚至還出現了稍微吐出重金屬的現象。
3. 實驗 4-1.1~4-1.3 中，在 5ppm、10ppm、25ppm 的六價鉻溶液中的布袋

蓮都有繼續生長的情形。在 5ppm、10ppm 二價鎳容易中的布袋蓮依然繼續生長，但 25ppm 二價鎳容易中的布袋蓮卻出現部分葉片枯萎的現象。而 5ppm 二價銅溶液中的布袋蓮在第 6~7 天開始有葉尖變枯黃的現象；10ppm 二價銅溶液中的則是在第 4~6 天出現顏色變黑的葉子，且亦有部份的分枝死亡；25ppm 二價銅溶液中的布袋蓮則是在第 3~4 天就出現相當明顯的萎縮現象，在第 4~5 天則大部分的布袋蓮幾乎都已死亡。

4. 某些微量的金屬元素是植物營養上不可或缺的元素，其在植物體中甚至可作為酵素之構成分子（即起催化的分子）。而部份重金屬元素不為植物所必需，其為植物所吸收，乃植物根在吸收水分及營養時，無選擇地將其帶入植物體內。這些金屬元素在濃度極低的情況下，對植物能產生如賀爾蒙之刺激作用，能使植物生長狀況改善，但是濃度稍高，便呈毒害。
5. 照常理判斷，鉻的毒性應該是在這三個重金屬中最強的，不過布袋蓮在這三個重金屬溶液中，可忍受的毒性濃度卻為：六價鉻 25ppm、二價鎳 < 25ppm、二價銅 < 5ppm，也就是說這三種重金屬對布袋蓮的毒性大小為：銅 > 鎳 > 鉻。至於其可能原因，將放到後面與其他的因素一起討論。
6. 實驗 4-1.3 中，銅的濃度皆隨著銅的萎縮及死亡而上升。其有可能的原因之一是因為隨著布袋蓮的死亡，布袋蓮的蒸散作用會逐漸地下降，因此原本藉著蒸散作用而吸附在根部的重金屬，會因而脫離布袋蓮的束縛，重新回到重金屬溶液中。第二種論點則是有關於通道蛋白的假設。假設現在布袋蓮的根毛細胞膜上存在著一種特殊的通道蛋白，當重金屬離子隨著水分子不斷滲透進入細胞內，布袋蓮內的某種機制偵測到大量的金屬離子後，會開啓此通道蛋白，將不必要的重金屬離子排出體外。所以當布袋蓮體內重金屬濃度過高時，會使的此通道蛋白加速活動，急速排出體內的多餘重金屬。但由於重金屬在布袋蓮中的累積，已經破壞了大部分的生理機能，因此蒸散作用減少，相對根毛吸收水的數量也減少(也就是吸入較少的重金屬)，因此兩方向一比較，會發現放出的數量較多，也因此出現重金屬溶液濃度往回升的情形。如果將此種論點套用在「低限濃度」的

理論上，也就是當溶液的濃度到達低限濃度，就表示體內儲存的重金屬量已達到最大負荷量的危險警訊，因此會出現大量排出重金屬的情形，如此一來，10ppm 二價鎳溶液和 5ppm 二價銅溶液濃度出現回升的狀況應該就可解釋的通了。

7. 實驗 4-1.3 中，在布袋蓮死掉之後，因為失去了布袋蓮的生理因素影響，所以重金屬濃度的吸收就變成了非生物跟非生物之間的濃度平衡。也因此最後一個數據會往下降，可能是因為為了要達到平衡而進行之擴散作用所造成的。
8. 將實驗 4-1.1~4-1.3 的數據作綜合比較，發現 25ppm 的三種重金屬溶液在前 2 天的吸收量幾乎差不多，如前所說，這可能是因為擴散作用的關係。但是 10ppm 和 5ppm 的擴散作用就較不明顯，可能是因為內外重金屬離子濃度差較小的關係。除此之外，由圖表可以得知各種重金屬在 25ppm 的吸收量差異極大。
9. 在 10ppm 時，各種重金屬的吸收量在前 3 天有些許差異，但整體上大致相同。表示布袋蓮在 10ppm 時，對三種重金屬離子吸收能力大約相同。5ppm 時，布袋蓮在前 3 日之吸收能力大約相同，之後則約是二價鎳 > 六價鉻 > 二價銅。在後來會有明顯分歧的原因可能是因其低限濃度不同的關係。
10. 在 4-2.1 和 4-2.2 的實驗中，我們可以發現根毛和葉片的蒸散的確都對布袋蓮吸收重金屬造成不小的影響。不過從兩個數據圖互相比較之下，可以看的出來，根毛對布袋蓮在實際吸收量有較大的影響。雖然根毛會吸收水有一部分的原因是因為蒸散作用，可是在實驗 4-2.1 中，根毛多的布袋蓮吸收速率明顯快於另外兩組，雖然後來因為低限濃度的影響而減慢其吸收速率，但在第 1~2 天中的速率卻是最快的。而在 4-2.2 的實驗中，雖然葉片面積大的有吸收較多隻重金屬量，但其吸收的速率卻沒有什麼明顯的差異。其原因可能是因為根毛被限定在相同的重量之下，所以在吸收的速度上，才沒有哪一個特別的突出的現象。
11. 在進行實驗 4-3.1 的取樣(黑暗結束後取樣)時，因為連續三天所取的數值都相當接近，所以原本以為布袋蓮會在進行光合作用時，把重金屬吸入體內，然後在夜晚時，將重金屬吐出來，等到白日再將其

吸收回去。不過在結束實驗 4-3.2（光照結束後取樣）後，我們發現並不會有這種情形發生。因為不論是什麼時候取樣，其值都相當接近，布袋蓮都沒有出現明顯吸收重金屬的現象。因此我們大膽的推測，蒸散作用是決定是否吸收重金屬的關鍵點。因為在 4-3.1 和 4-3.2 的實驗中，實驗必須在有燈光的室內進行，且又由於布袋蓮皆放置在紙箱之中，其蒸散作用必不明顯，而這正好跟我們的數據相符(重金屬吸收不明顯)。因此我們綜合之前的實驗 4-2.1 和 4-2.2，作出了下面的推論：蒸散作用是開啓布袋蓮吸收重金屬之門的鑰匙，開啓之後就以根毛的量為主，來決定吸收的速率及量的多寡。至於其他如不同色光等因素，只造成較微小的影響。

12. 根據實驗 4-3.2 作出的推論，我們又增加了實驗 4-4 以驗證理論的正確性。但是我們在實驗 4-4 中卻發現，蒸散作用較小的布袋蓮（也就是有蓋上玻璃蓋的布袋蓮）其吸收量並不比蒸散作用較大的布袋蓮吸收的較少。而最大的差別是這個實驗是在日光的照射下所進行的，不同於實驗 4-3 在日光燈管的照射下進行。因此，我們推論真正促使布袋蓮開始吸收的關鍵點，應該是強烈的光合作用。由於日光燈管所能提供的光能遠遠不足日光的能量，因此在光合作用不明顯下，布袋蓮吸收重金屬的孔道幾乎都沒有打開，也因此吸收的量比起平常的狀況會大幅的減少。這也是為什麼在實驗 4-4 中，蒸散作用並不明顯，但重金屬量卻會出現明顯的被吸收。
13. 由實驗 4-4，我們得到了一個新的推論：強烈的光合作用是開啓布袋蓮吸收重金屬之門的鑰匙，開啓之後就以根毛的量為主，來決定吸收的速率及量的多寡。至於其他如不同色光及蒸散速率之大小等因素，只造成較不明顯的影響。至於為何會以根毛為主要決定吸收的部分，將放至後面再討論。
14. 不同色光確實對布袋蓮吸收重金屬的量有影響，只不過其影響力並未如根毛來的如此重要。至於照綠光會使濃度上升的原因則仍有待研究。
15. 實驗 4-5 對布袋蓮做了各部位的分析，發現鉻大部分都儲存在根部，鎳和銅則大部分儲存在葉。之前曾有提到銅對布袋蓮的毒性最強之問題，我們從實驗 4-5 中可以推測出置放在二價銅溶液和二價鎳溶液

的布袋蓮，應該會出現較嚴重的重金屬中毒現象。因為布袋蓮會將銅和鎳儲存在葉部，也因此銅和鎳對布袋蓮所造成的傷害將會比儲存在根部的鉻更為嚴重。同時由於銅是屬於布袋蓮所需的金屬元素，所以其對銅的抵禦和警戒機制也會較弱，當其發現體內的銅過量時，早已因大量的堆積而造成無可修補的嚴重傷害。至於鎳，因為鎳和植物的關係還尚不明確，所以其結果還有待研究。

16. 在實驗 4-5 中，由於重金屬堆積在根的含量之比例遠大於堆積在其他的部位（根的含量不是第一就是第二），也因此說明了為什麼根對布袋蓮吸收的量會有如此大的影響。
17. 實驗 4-6 中，我們由數據中不難發現重金屬間的確會產生抑制或加成的反應。由此實驗比較之前的 4-1 實驗，可以得知，鉻和鎳放在一起時，鉻會對鎳產生單向正效應，而鉻、鎳也會對銅產生單向正效應。然而銅對鉻、鎳對鉻會產生單向負效應，銅對鎳的負效應就沒有像鉻這麼地強烈。

七、 未來展望：

1. 事實上我們在結束這個實驗後，一直有一個非常大的疑問，為什麼布袋蓮能夠生長在這種對植物相當不利的逆境環境中。同樣是身為水生植物的荷花或是浮萍，為何就無法生長在這種有受到重金屬污染的水域之中。是否是因為布袋蓮具有某種特殊的構造，或是一些其他水生植物所沒有的機轉(也許是如前面所提到的特殊通道蛋白機轉)，可以幫助布袋蓮在這種不良的環境下生存。這也是我們將來研究的重點之一。
2. 我們在光合作用的實驗中，的確發現色光的不同對布袋蓮所吸收之重金屬量有造成影響。將來我們可能藉由顯微鏡的幫助，觀察在不同色光照射之下，其氣孔的形狀會有如何的變化。而這些氣孔的變化，又會對布袋蓮吸收重金屬量造成什麼樣的影響。
3. 在這次實驗中，我們發現到了一些我們平常並不會去注意到的情形，也做了一些關於這些實驗的推論。尤其是以通道蛋白的推論，最令我們感到好奇。我們希望在接下來的實驗裡，能夠再深入研究

關於通道蛋白的實驗，希望能找到更多的證據，來佐證我們的通道蛋白理論。

八、 特別感謝：

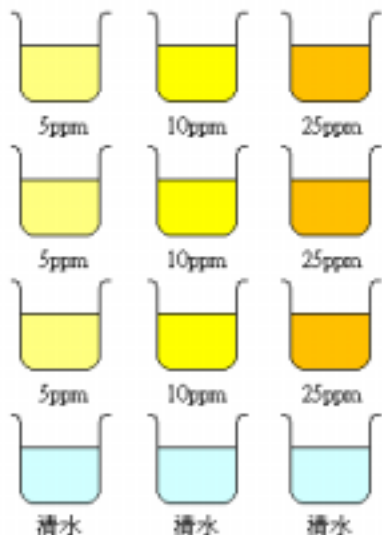
這次實驗能夠順利的完成，最首先要感謝的是全程給予我們指導的老師----蔡靜宜老師。除了花時間與我們討論實驗的方向及內容外，更感謝老師不惜犧牲自己的睡眠時間替我們的科展報告順稿，以求盡善盡美。另外還要感謝的是跟我們討論出這個題目的許根火老師，如果沒有許根火老師的討論，今天這份報告也難以誕生。還有要感謝土城工業區污水處理廠提供實驗室讓我們進行重金屬的測量，還有幫我們進行廢液的回收。感謝污水廠化驗員李道文先生、技術員許丙欣先生、組長賴漢民先生以及其他污水廠的相關人員們的幫助，如果沒有他們給予我技術上的協助，今天這個實驗還真不知要怎麼完成呢！當然也要感謝科教館的叔叔、阿姨們，總是在我們需要實驗室或器材時，提供我們最多的資源。我們還要向班上曾經在這個實驗上給予過我們幫助的人，鄭重的說一聲，謝謝！

九、 參考文獻：

1. 徐玉標（1967）：工業廢水之污染值對灌溉水品質之影響。科學發展 3 卷 12 期 P.5~32
2. 張文亮（1978）：台灣布袋蓮生態調查及對水質影響研究
3. 曹以松、張占傑等（1978）：渠道內雜草之研究－布袋蓮之清除
4. 溫永福等（1989）：生物學實驗修訂版。藝軒圖書
5. 易希道（1992）：普通植物學。藝軒圖書
6. 王月雲等（1993）：植物生理學實驗增訂版。藝軒圖書
7. Penfound, W.T. and T.T. Earle（1948）：The Biology do the Water-hycinth, Ecolohical Mongr., Vol. 18, P.448-472
8. —（1976）：Don't Waste Waterseeds, New scientist, Vol. 12, P.318-320

十、 附錄：

一、 流程圖



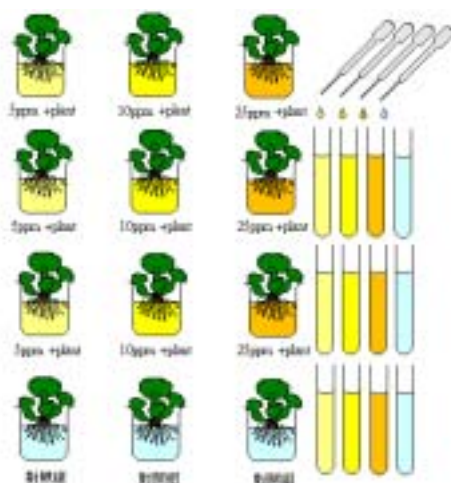
1.初步實驗(實驗 4-1.1、4-1.2、4-1.3)：

I.將 10ml 的鉻標準液滴入 1990ml 的清水中；20ml 的鉻標準液滴入 1980ml 的清水中；50ml



的鉻標準液滴入 1950ml 的清水中，可配出 5ppm、10ppm、25ppm 的 2 升六價鉻溶液。

II.每種濃度作三重複，每一杯都同時放入



同樣重量及高度的實驗用布袋蓮各一株。另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。

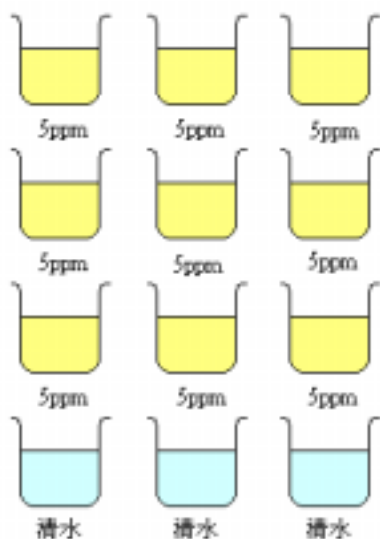
III.自放入布袋蓮後隔天，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗。再由測量結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

IV.每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的濃度數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此此誤差仍可被我們所省略。

V.其餘如二價銅和二價鎳溶液吸收的測定，重複類似 I ~ III 的步驟，並紀錄之。

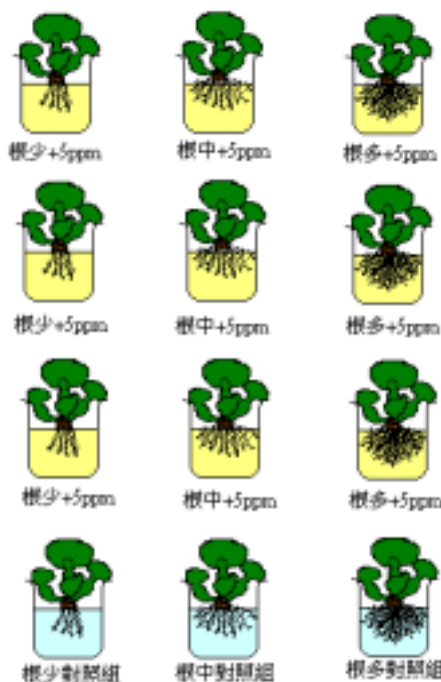
2.蒸散實驗一 4-2.1：

I.先利用鎳標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆(配法同實驗 4-1.2 之步驟 I)。



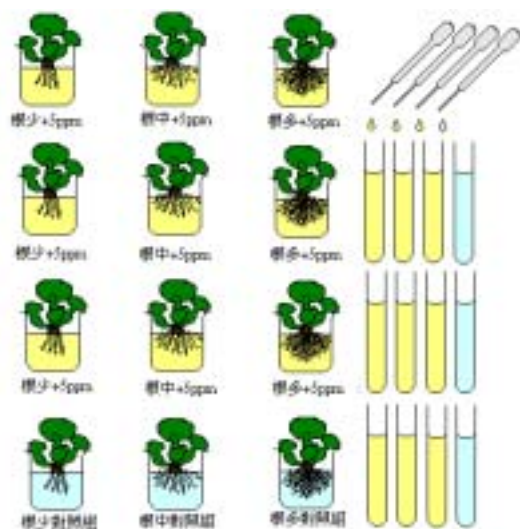
II.取出九個預先處理過的實驗用布袋蓮，將

其分為三組：根毛多、根毛中、根毛少，每組各三個布袋蓮。並紀錄



各組的根毛平均重量。將每一個布袋蓮的葉片面積修剪至相同的大小，並記錄其面積。

III.將所有的布袋蓮分別置入 5ppm 的二價鎳溶液中，並將其分為三組(根毛多、根毛中、根毛少，同步驟 I 的分法)，另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。



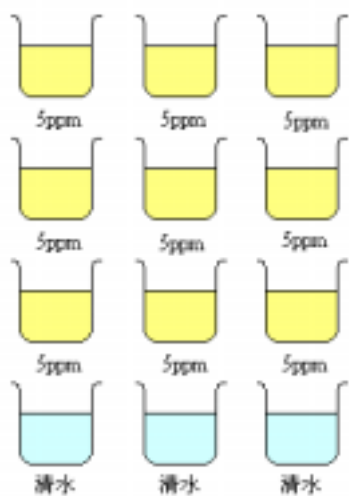
IV.從隔天開始，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

V.每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗

雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。

2.蒸散實驗二 4-2.2：

I.先利用鉻標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆(配法同實驗

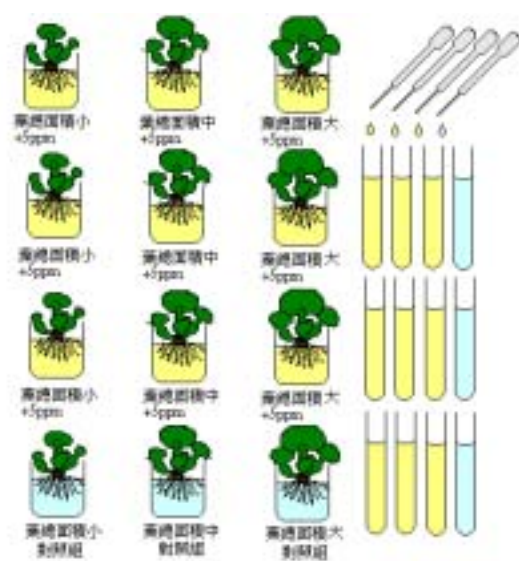


4-1.3 之步驟 I)。

II.取出九個預先處理過的實驗用布袋蓮，將其分為三組：葉片總面積大、葉片總面積中、葉片總面積小，每組各三個布袋蓮。並紀錄各組的總面積平均數。將每一個布袋蓮

的根毛修剪至相同的重量，並記錄之。

III.將所有的布袋蓮分別置入 5ppm 的六價鉻溶液中，並其分為三組(總面積大、總面積中、總面積小，同步驟 I 的分法)。另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。



IV.從隔天開始，每逢第 1、2、3、5、7 天，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

V.每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。

3.光合作用實驗一 4-3.1：

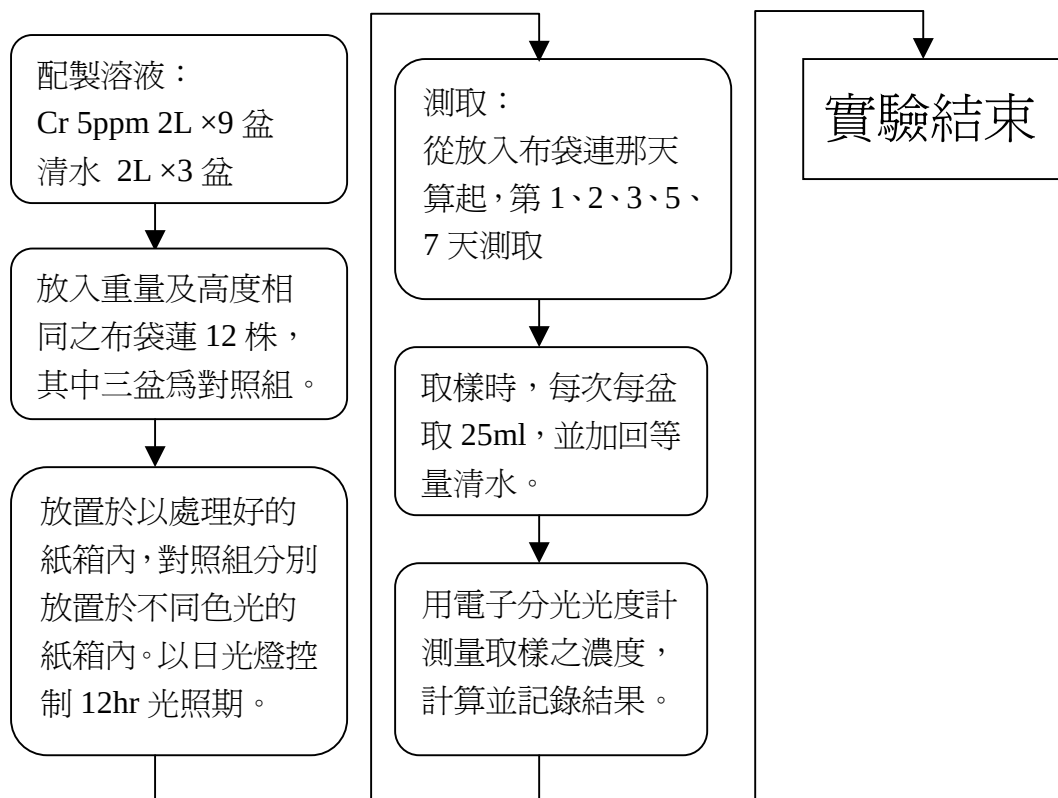
I.先利用鉻標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆(配法同實驗 4-1.3 之步驟 I)。

II.取出九個預先處理過的實驗用布袋蓮，每一杯都同時放入同樣重量及高度的實驗用布袋蓮各一株。另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。

III.將每 3 個盆子分為一組，分別蓋上黃紙箱、綠紙箱、藍紙箱，同時每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。每天給予實驗組 12 小時光照和 12 小時的黑暗。

IV.從隔天開始，每逢第 1、2、3、5、7 天黑暗結束、光照之前的時間，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

V.每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。



3.光合作用實驗二 4-3.2：

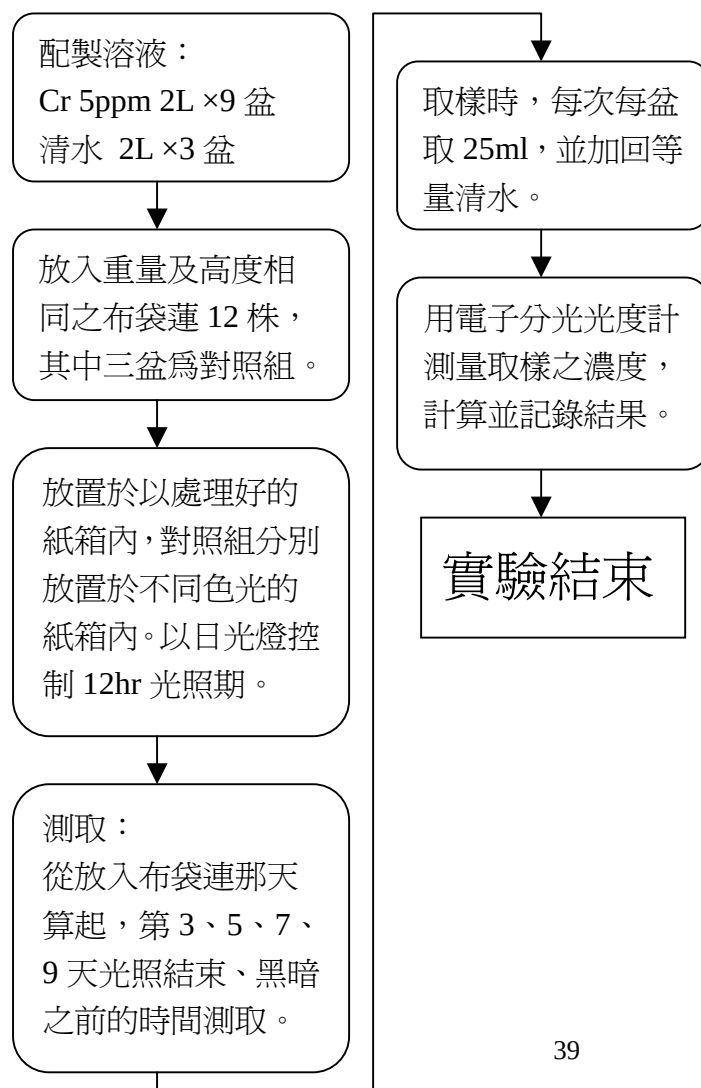
I.實驗延長至 9 天

II.利用鉻標準液配出 5ppm 濃度的 2 公升重金屬溶液 9 盆(配法同實驗 4-1.3 之步驟 I)。

III.取出九個預先處理過的實驗用布袋蓮，每一杯都同時放入同樣重量及高度的實驗用布袋蓮各一株。另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。

IV.從隔天開始，每逢第 5、7、9 天光照結束、黑暗之前的時間，每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

V.每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5%的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。



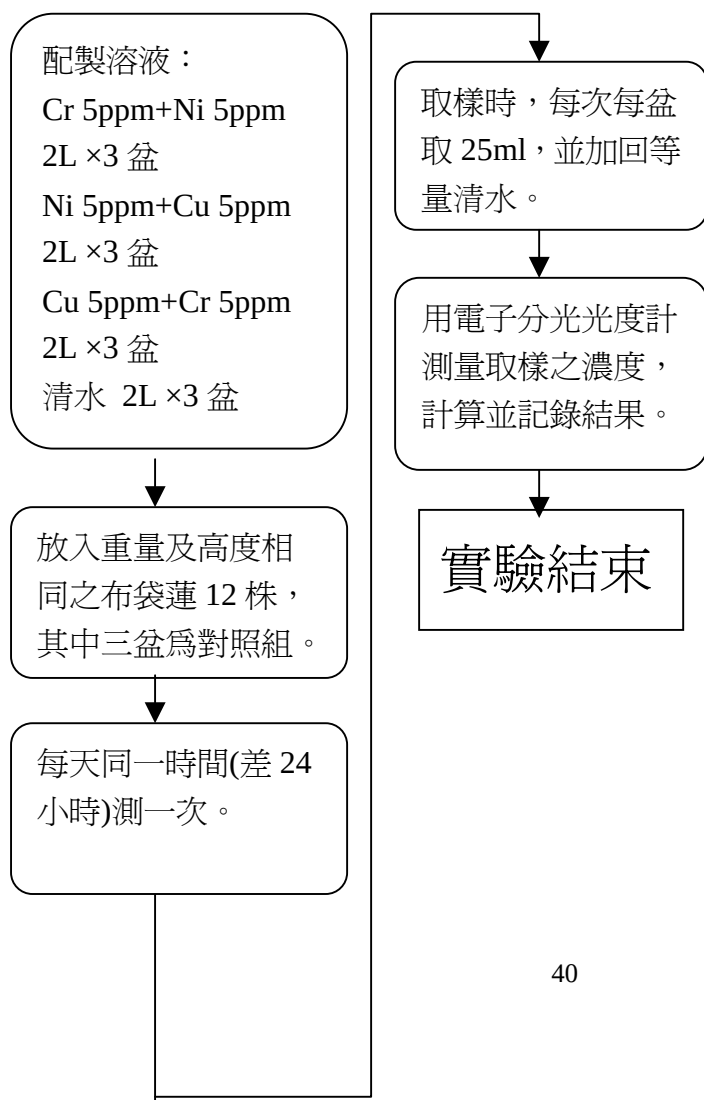
4.重金屬混合實驗 4-6.1~4-6.3：

I. 將 10ml 的鉻標準液及 10ml 的鎳標準液滴入 1980ml 的清水中，可配出 5ppm 的六價鉻 Cr^{6+} 和 5ppm 的鎳離子 Ni^{2+} 混合溶液。另配出 5ppm 的銅離子 Cu^{2+} 和 5ppm 的鎳離子 Ni^{2+} 混合溶液和配出 5ppm 的六價鉻 Cr^{6+} 和 5ppm 的銅離子 Cu^{2+} 混合溶液。

II. 取出九個預先處理過的實驗用布袋蓮，每一杯都同時放入同樣重量及高度的實驗用布袋蓮各一株。另外各放置布袋蓮至 3 盆 2 公升清水中，作為對照組，而每一組皆作 1 盆只有布袋蓮和清水的對照組。

III. 每天每杯各取 10ml 溶液利用電子分光光度儀進行濃度化驗，並由測試結果計算出溶液中殘餘的重金屬含量，並紀錄之。

IV. 每次在取溶液前，須加入自來水使溶液恢復 2 升的狀態，以求得正確的數據。還有取出部分溶液進行化驗雖然會造成原溶液的濃度誤差，不過由於取出的溶液量總和比上總溶液重量仍小於 5% 的比例(誤差可接受的範圍)，因此我們可以省略此誤差。



使用分光光度儀的步驟：

電子分光光度儀的原理是利用藥劑和重金屬產生化學反應，使重金屬能夠放出某個波長的光。然後將其放出光的強度與原來的背景值相比，即可得知在瓶中有多少個重金屬原子可以放出光，以測出瓶中的金屬原子數量。

1. 先自要檢測的溶液中取出定量的待測液

EX:如果我現在要測 10ppm 鉻被布袋蓮吸收後的濃度，那我可以依需要取出任意容量的待測液。需注意的是，每次進行取樣時，取出的量必須一定。

2. 參考操作手冊上的濃度檢測範圍，將待測液稀釋到濃度檢測範圍（如果待測液的濃度超過檢測範圍，會測出錯誤的數據）

EX:如果我現在要測 10ppm 鉻被布袋蓮吸收後的濃度，在操作手冊上所標示的檢測範圍為 0~1ppm，那麼我就要把取出的 5ml 稀釋到 50ml，才能確保待測液的濃度會在檢測範圍內。也可取不同容量大小的待測液，但是必須將濃度稀釋到檢測範圍內。

3. 將稀釋好的溶液倒入 2 個比色瓶中，一瓶加入測試的藥劑，並將其均勻搖混，另一瓶則不做任何處理。

EX:將稀釋過後的鉻溶液分別倒入兩個 25ml 大小的特殊方形瓶子中（專門的名稱為比色瓶，且溶液必須要倒滿比色瓶，也就是要剛好倒入 25ml 的溶液）。其一加入藥劑，另一個則當作等一下檢測的背景值。

4. 按下分光光度儀的 Timer 鍵，等待重金屬和藥劑反應完成

EX:分光光度儀上的 Timer 可以自動幫你計時，等到計時完成，就是化學反應完成的時候。

5. 將用來當作背景值的比色瓶先放入分光光度儀中歸零，然後取出比色瓶。再將已稀釋待測液的比色瓶放入電子分光光度儀中，觀察其面板上所顯示的數據，即是其待測液的重金屬濃度（注意：在將比色瓶放入分光光度儀測試前，全部須先用實驗室專用的擦拭紙將其外部擦拭乾淨，且不可留下任何指紋，以免影響測試的結果）。

EX:先將未放藥劑的比色瓶放入分光光度儀中，按下歸零鍵，再將其取出。然後再把加過化學藥劑的比色瓶放入分光光度儀中，假使面板出現 0.89mg/L 的字樣，即表示 0.89ppm 是這瓶比色瓶（也就是已稀釋待測液）中的重金屬濃度。

6. 將所得到的數據，再換算成原來的濃度，即可得知原待測液的濃度。
EX:將先前得到的 $0.89\text{ppm} \times 10(\text{倍}) = 8.9\text{ppm}$ ，即為我們稀釋前的原始濃度。
(換算所乘的倍率，會因先前稀釋的倍率不同而有所改變)
7. 如果要求得更精準的數據，可將背景值比色瓶再放入歸零一次，然後再將已稀釋待測液放入再測一次，以防因人為疏失造成的時間誤差，影響到光波放出的時間（因為光波放出的時間和強度會成一拋物線，所以如果時間有誤差，可能會測不到最大值）

重金屬標準液



實驗 4-1.1~4-1.3、實驗 4-2.1~4-2.2 裝置圖



25ppm 銅
布袋蓮枯萎、死亡的情形



實驗 4-3.1~4-3.2 裝置圖



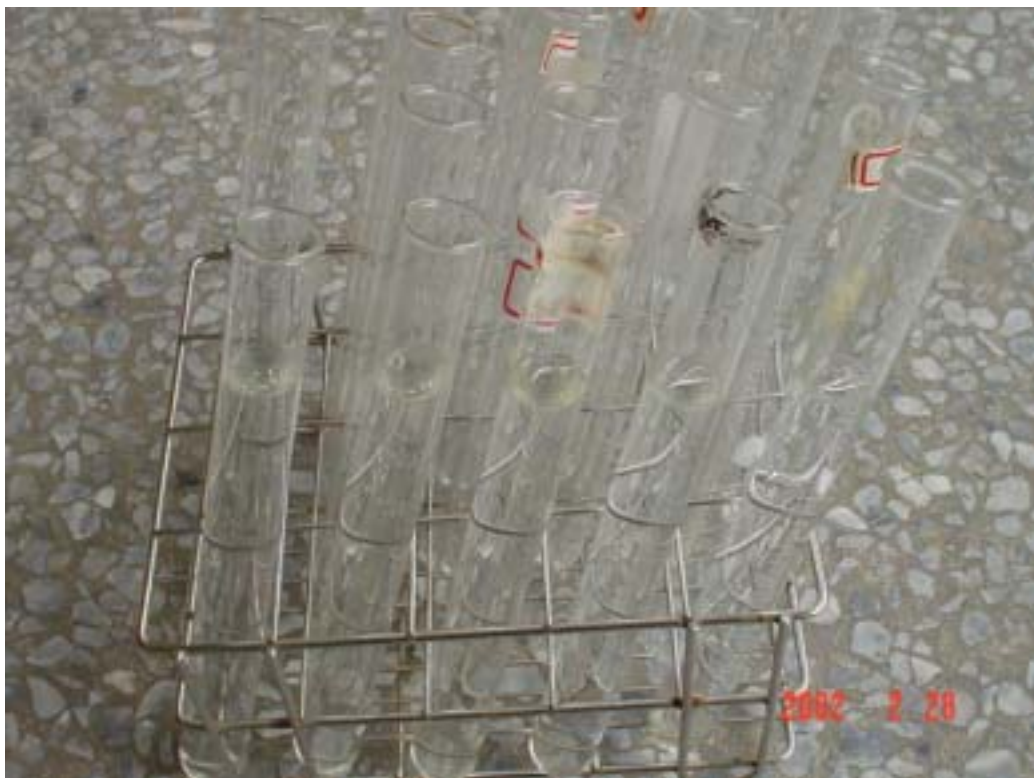
由上往下看的裝置內部

側看的裝置內部





吸取重金屬溶液至試管中待測



待測的樣品



測量葉片總面積



電子分光光度儀