

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

080214

吸金大法—果皮改善重金屬污染水之研究

學校名稱：臺北市北投區立農國民小學

作者： 小四 陳敬翰	指導老師： 鄭麗玲 林佩瑩
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：重金屬、果皮、吸附能力

摘 要

家鄉河川受到重金屬污染的消息引發我對於改善重金屬污染水進行研究的興趣。在這個實驗中，利用乾燥的橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼作為吸附水中重金屬的物質，利用綠豆發芽率作為檢測水中重金屬離子是否減少的指標。結果發現受到重金屬污染的水使綠豆發芽率降低。以果皮處理受污染的水一段時間後，發現果皮對於某些重金屬具有吸附的作用。其中，橘子皮對於鈷離子和鎳離子的吸附效果最佳；檸檬皮對於鈷離子、鉛離子和鎳離子的吸附效果較佳。香蕉皮對於鉛離子、鎳離子和鋅離子的吸附效果最好；花生殼對於銅離子的吸附效果最佳。但是，儘管果皮可以吸附重金屬，但大部份以果皮處理過後仍然無法使受污染的水恢復到未污染前的狀況，所以避免人為污染，才是解決污染問題的根本之道。

壹、研究動機

在四年級上學期自然第二單元的主題是「水中生物」，課程中介紹生活在水中的生物。爲了讓我們更了解家鄉，老師帶著我們觀察學校附近的八仙圳。我發現這條早年用來灌溉的水圳，如今不僅污穢骯髒還傳來陣陣臭味。老師的口中那條早年魚蝦優游、清澈見底的水圳已完全看不見。前幾年家鄉北投溪受重金屬污染的新聞，引起我對於重金屬污染問題的關心。去年夏天我看到一則新聞，巴西的研究人員發現，切碎的香蕉皮可有效去除飲用水中有害的銅、鉛等重金屬。用香蕉皮製成的水淨化設備，即使連續使用 11 次，其吸附重金屬污染的特性依然顯著。這更加引起我嘗試以各種果皮吸附水中重金屬進行研究的興趣。

貳、研究目的

一、探討重金屬對綠豆發芽率的影響

- (一)銅離子(Cu^{2+})對綠豆發芽率的影響
- (二)鈷離子(Co^{2+})對綠豆發芽率的影響
- (三)鉛離子(Pb^{2+})對綠豆發芽率的影響
- (四)鎳離子(Ni^{2+})對綠豆發芽率的影響
- (五)鋅離子(Zn^{2+})對綠豆發芽率的影響
- (六)比較五種重金屬對於綠豆發芽率影響的差異

二、利用綠豆發芽率推測橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對重金屬的吸附能力

- (一)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對銅離子(Cu^{2+})的吸附能力
- (二)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鋅離子(Zn^{2+})的吸附能力
- (三)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鈷離子(Co^{2+})的吸附能力
- (四)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鉛離子(Pb^{2+})的吸附能力
- (五)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鎳離子(Ni^{2+})的吸附能力
- (六)比較橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對於五種重金屬吸附能力的差異

參、研究設備與材料

- 一、生物材料：綠豆、橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼。
- 二、化學材料：硫酸銅、氯化亞鈷、硝酸鉛、氯化鎳、硫酸鋅。
- 三、其他：棉花、紙盆、燒杯、量筒、試管、鑷子等。

肆、研究方法

一、探討重金屬對綠豆發芽率的影響

(一)銅離子(Cu^{2+})對綠豆發芽率的影響

配置 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1% 硫酸銅溶液，紙杯鋪上2g 的棉花，將50 ml的銅離子溶液倒入盆中，挑選大小相似20 顆綠豆分散置入盆中，觀察5天綠豆發芽情形，計算綠豆發芽率，每組實驗重複三次，以求得平均發芽率，而以長出0.1公分以上的新芽為發芽判斷基準。



圖一 綠豆培養裝置

(二)鈷離子(Co^{2+})對綠豆發芽率的影響

配置0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%氯化亞鈷溶液，其餘步驟同上(一)。

(三)鉛離子(Pb^{2+})對綠豆發芽率的影響

配置0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%硝酸鉛溶液，其餘步驟同上(一)。

(四)鎳離子(Ni^{2+})對綠豆發芽率的影響

配置0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%氯化鎳溶液，其餘步驟同上(一)。

(五)鋅離子(Zn^{2+})對綠豆發芽率的影響

配置0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%硫酸鋅溶液，其餘步驟同上(一)。

二、利用綠豆發芽率推測橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對重金屬的吸附能力

(一) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對銅離子(Cu^{2+})的吸附能力

將剪碎的橘子皮、檸檬皮和香蕉皮放入烤箱中以 60°C 的溫度烘烤3小時，去除果皮中的水分。分別將100g橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼，置入900 ml 的0.5% 硫酸銅溶液。0 小時、4 小時、8 小時、12小時、24小時後，各量取50 ml橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼處理後的銅離子溶液，倒入鋪有2g 棉花的盆中。挑選大小相似的20顆綠豆分散置入盆中。觀察5天綠豆發芽情形，並計算綠豆發芽率，每組實驗重複三次，以求得平均發芽率。了解處理前後銅離子的變化。



圖二 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼吸附重金屬污染水的裝置

(二) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鈷離子(Co^{2+})的吸附能力

將100g橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼，分別置入900 ml 的0.5%氯化亞鈷溶液，其餘步驟同上(一)。

(三) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鉛離子(Pb^{2+})的吸附能力

將100g橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼，分別置入900 ml 的0.5%硝酸鉛溶液，其餘步驟同上(一)。

(四) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鎳離子(Ni^{2+})的吸附能力

將100g橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼，分別置入900 ml 的0.5%氯化鎳溶液，其餘步同上(一)。

(五) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鋅離子(Zn^{2+})的吸附能力

將100g橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼，分別置入900 ml 的0.5%硫酸鋅溶液，其餘步驟同上(一)。

伍、研究結果

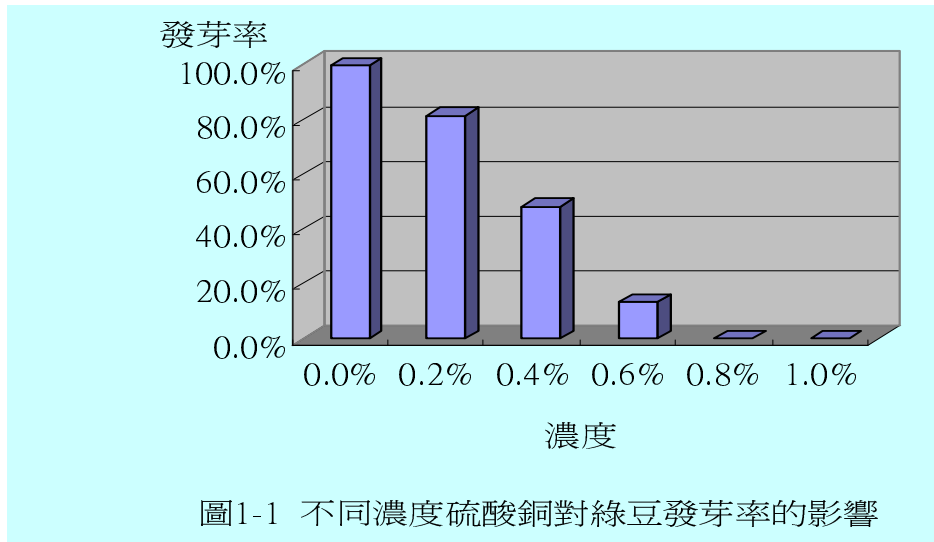
一、探討重金屬對綠豆發芽率的影響

(一)銅離子(Cu^{2+})對綠豆發芽率的影響

1.以硫酸銅溶液處理綠豆，觀察5天內綠豆成長情形並計算5天後綠豆發芽率，其發芽結果如表1-1與圖1-1。

表1-1 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%硫酸銅溶液對綠豆發芽率的影響

	0%		0.2%		0.4%		0.6%		0.8%		1%	
	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)
1	20	100	14	70	10	50	4	20	0	0	0	0
2	20	100	18	90	10	50	2	10	0	0	0	0
3	20	100	17	85	9	45	2	10	0	0	0	0
平均	20	100	16.3	81.7	9.7	48.3	2.7	13.3	0	0	0	0



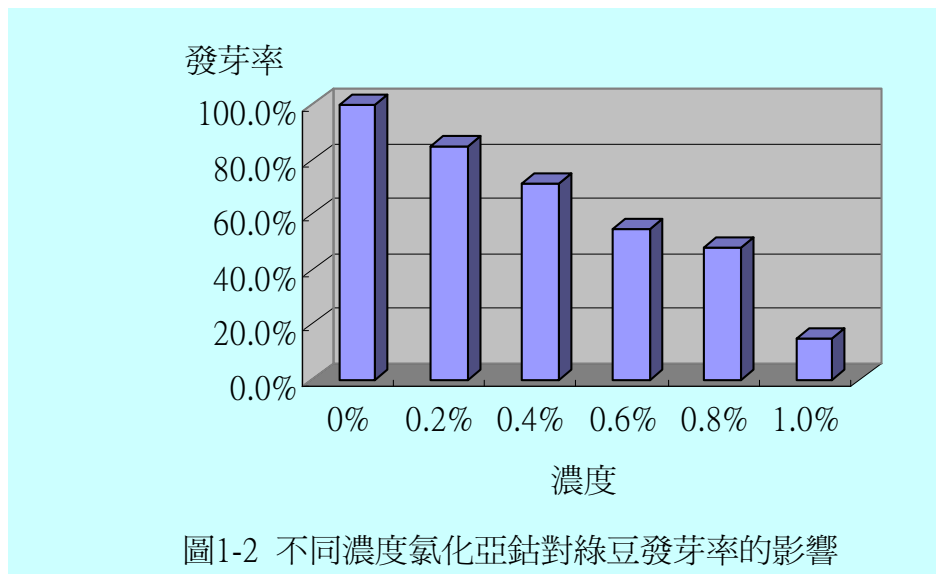
2.由表1-1與圖1-1得知，隨著銅離子濃度的增加，綠豆發芽率有下降的趨勢。當硫酸銅溶液濃度達到0.4%以上，綠豆發芽率已降到不到1/2。濃度0.8%以上綠豆發芽率是0。因此推論銅離子會抑制綠豆的發芽。

(二) 鈷離子(Co^{2+})對綠豆發芽率的影響

1. 以氯化亞鈷溶液處理綠豆，觀察5天內綠豆成長情形並計算5天後綠豆發芽率，其發芽結果如表1-2與圖1-2。

表1-2 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1% 氯化亞鈷溶液對綠豆發芽率的影響

	0%		0.2%		0.4%		0.6%		0.8%		1%	
	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)
1	20	100	18	90	16	80	12	60	11	55	4	20
2	20	100	16	80	14	70	12	60	8	40	0	0
3	20	100	17	85	13	65	9	45	10	50	5	25
平均	20	100	17	85	14.3	71.7	11	55	9.7	48.3	3	15



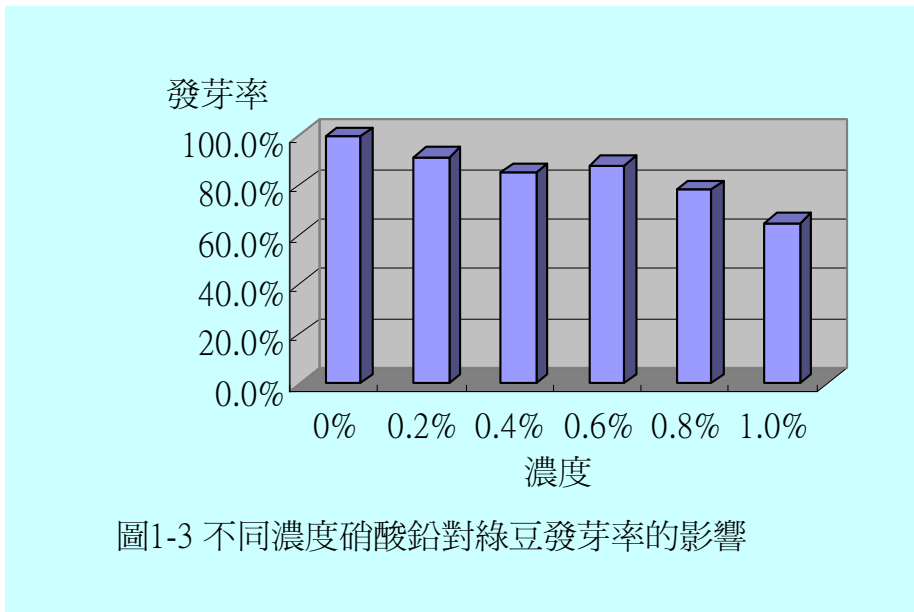
2. 由表1-2與圖1-2得知，隨著鈷離子濃度的增加，綠豆發芽率有下降的趨勢，而且當氯化亞鈷溶液濃度0.8%時，發芽率降到幾乎只有一半；濃度1%時，綠豆發芽率只有15%。由實驗結果推論鈷離子應該會抑制綠豆的發芽。

(三)鉛離子(Pb²⁺)對綠豆發芽率的影響

1.以硝酸鉛溶液處理綠豆，觀察5天內綠豆成長情形並計算5天後綠豆發芽率，其發芽結果如表1-3與圖1-3。

表1-3 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1% 硝酸鉛溶液對綠豆發芽率的影響

	0%		0.2%		0.4%		0.6%		0.8%		1%	
	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)
1	20	100	20	100	17	85	15	75	14	70	16	80
2	20	100	20	100	19	95	19	95	15	75	10	50
3	20	100	15	75	15	75	19	95	18	90	13	65
平均	20	100	18.3	91.7	17	85	17.7	88.3	15.7	78.3	13	65



2.由表1-3與圖1-3得知，隨著鉛離子濃度的增加，綠豆發芽率有下降的趨勢，當硝酸鉛溶液濃度0.8%時，發芽率降到不到八成；當硝酸鉛溶液濃度1%時，發芽率降到65%。由實驗結果推論鉛離子應該會抑制綠豆的發芽。

(四) 鎳離子(Ni²⁺)對綠豆發芽率的影響

1.以氯化鎳溶液處理綠豆，觀察5天內綠豆成長情形並計算5天後綠豆發芽率，其發芽結果如表1-4與圖1-4。

表1-4 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%氯化鎳溶液對綠豆發芽率的影響

	0%		0.2%		0.4%		0.6%		0.8%		1%	
	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)
1	20	100	17	85	11	55	15	75	4	20	2	10
2	20	100	18	90	13	65	9	45	4	20	2	10
3	20	100	17	85	12	60	12	60	4	20	2	10
平均	20	100	17.3	86.7	12	60	12	60	4	20	2	10

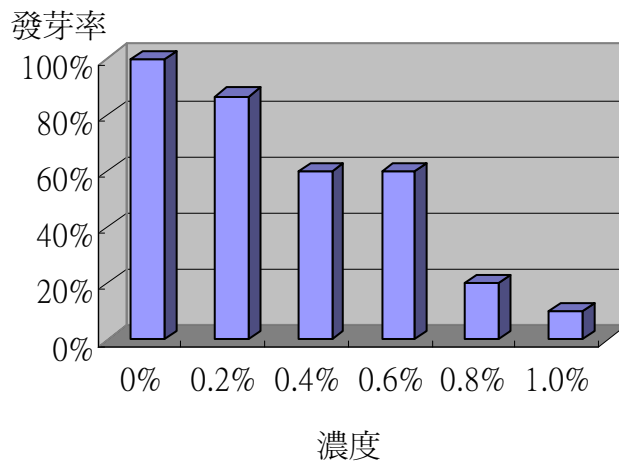


圖1-4 不同濃度氯化鎳對綠豆發芽率的影響

2.由表1-4與圖1-4得知，隨著鎳離子濃度的增加，綠豆發芽率有下降的趨勢，而且當氯化鎳溶液濃度0.4%以上，發芽率降到60%；濃度0.8%時，綠豆的發芽率只剩20%；濃度1%時，綠豆的發芽率只剩10%。由實驗結果推論鎳離子應該會抑制綠豆的發芽。

(五) 鋅離子(Zn^{2+})對綠豆發芽率的影響

1. 以硫酸鋅溶液處理綠豆，觀察5天內綠豆成長情形並計算5天後綠豆發芽率，其發芽結果如表1-5與圖1-5。

表1-5 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和1%硫酸鋅溶液對綠豆發芽率的影響

	0%		2%		4%		6%		8%		10%	
	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)	發芽數 (顆)	發芽率 (%)
1	20	100	17	85	16	80	12	60	10	50	0	0
2	20	100	19	95	15	75	13	65	10	50	4	20
3	20	100	16	80	17	85	15	75	6	30	4	20
平均	20	100	17.3	86.7	16	80	13.3	66.7	8.7	43.3	2.7	13.3

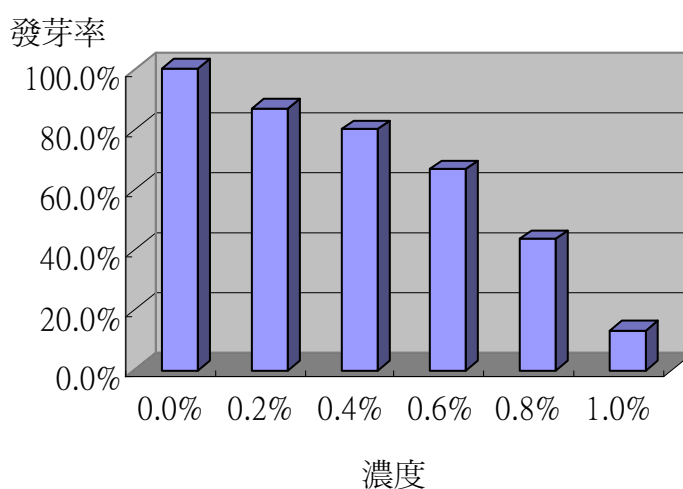


圖1-5 不同濃度硫酸鋅對綠豆發芽率的影響

2. 由表1-5與圖1-5得知，隨著鋅離子濃度的增加，綠豆發芽率有下降的趨勢，而且當硫酸鋅溶液濃度0.6%以上，發芽率降到不到七成；濃度0.8%時，發芽率降到不到五成；濃度1%時，發芽率降到不到二成。由實驗結果推論鋅離子應該會抑制綠豆的發芽。

(六)比較五種重金屬對於綠豆發芽率的影響

- 1.比較不同濃度之間的差異，五種重金屬溶液在濃度0.2%時對於綠豆的發芽率雖有影響但發芽率還能維持在八成以上。但是硫酸銅溶液在濃度0.4%時發芽率已經驟降到五成以下，濃度0.6%時，綠豆發芽率更降到只有13%，濃度0.8%和1%時甚至使綠豆發芽率降到0。相對的，硝酸鉛溶液雖然隨著濃度增加綠豆發芽率也降低，但是濃度高到1%其綠豆發芽率仍有六成五。其他氯化亞鈷、氯化鎳和硫酸鋅在濃度0.6%時綠豆發芽率都還有五成以上，但是濃度0.8%時氯化亞鈷和硫酸鋅已減到五成以下，氯化鎳更減到只有兩成。在1%的重金屬溶液中三者都降到二成以下。
- 2.五種重金屬對於綠豆發芽率都有影響，而且隨著濃度升高，綠豆發芽率越低。五種重金屬中以銅離子對綠豆發芽率影響最大，其次是鎳離子，而鉛離子對綠豆發芽率影響較小。
- 3.實驗組與對照組的綠豆大約在第二天後陸續發芽。對照組的綠豆從發芽後就一直長高，到第四天時高度約在3-5公分，第五天時高度約有5-7公分高，但是實驗組的綠豆除了硝酸鉛和硫酸鋅一部份的綠豆有長高約1公分左右，其餘雖有發芽，卻在發芽後就停止生長。

二、利用綠豆發芽率推測橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對重金屬的吸附能力

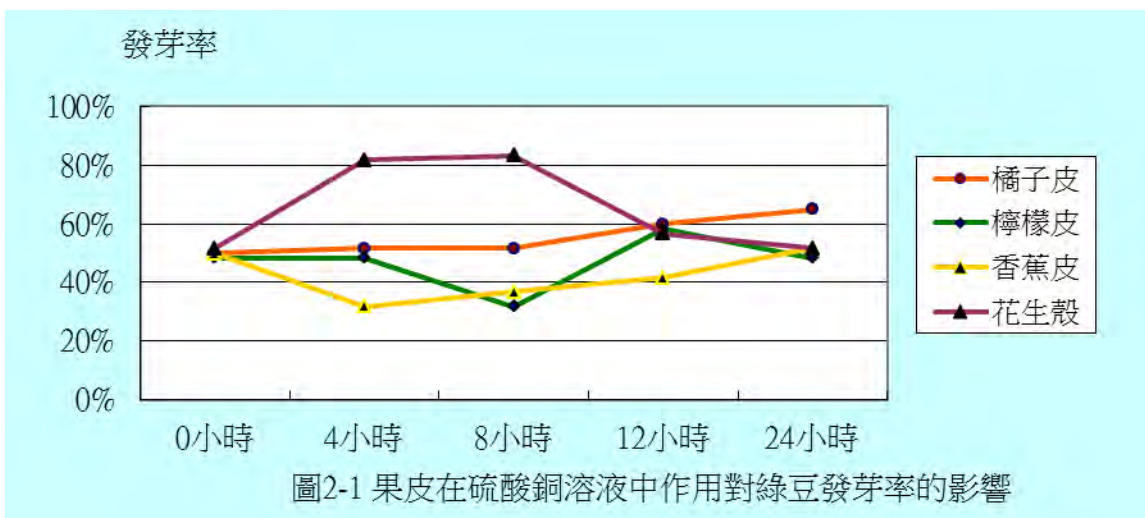
(一) 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對銅離子(Cu^{2+})的吸附能力

將橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼分別置入0.5 % 硫酸銅溶液，浸泡一定的時間後倒入鋪有棉花的盆中並置入綠豆。觀察綠豆發芽情形，於五天後計算綠豆發芽率，其發芽結果如表2-1和圖2-1。

表2-1 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼置入硫酸銅溶液綠豆發芽率

時間	0 小時				4 小時			
	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
1	9	9	11	12	8	7	4	15
2	11	11	10	11	9	9	6	20
3	10	9	9	8	14	13	9	14
平均顆數	10	9.7	10	10.3	10.3	9.7	6.3	16.3
發芽率	50%	48.3%	50%	51.7%	51.7%	48.3%	31.7%	81.7%

8 小時				12 小時				24 小時			
橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
9	4	8	16	11	12	8	10	11	8	10	13
12	8	9	16	13	12	6	12	15	12	10	10
10	7	5	18	12	11	11	12	13	9	11	8
10.3	6.3	7.3	16.7	12	11.7	8.3	11.3	13	9.7	10.3	10.3
51.7%	31.7%	36.7%	83.3%	60%	58.3%	41.7%	56.6%	65%	48.3%	51.7%	51.7%



發現：

- 1.從表2-1和圖2-1來看，將橘子皮處理過的硫酸銅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率與對照組的綠豆發芽率相比較，處理4小時和8小時的綠豆發芽率稍有提升但是不太明顯。處理12小時的綠豆發芽率提升10%，處理24小時的綠豆發芽率提升15%。整體而言，隨著橘子皮處理時間的增加綠豆發芽率也愈高。
- 2.將檸檬皮處理12小時的硫酸銅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理的增加10%。處理8小時的綠豆發芽率不升反降；處理4小時和24小時則和未處理的綠豆發芽率相同。

- 3.將香蕉皮處理4小時、8小時和12小時後的硫酸銅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率不升反降，處理24小時後發芽率和未處理差不多。
- 4.把經過4小時和8小時花生殼處理過後的硫酸銅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比較未處理的綠豆發芽率提升三成，達到80%以上。12小時和24小時則降為和未處理的綠豆發芽率差不多。
- 5.就四種果皮比較，花生殼和橘子皮對於銅離子的吸附有效果，但其中以浸泡8小時花生殼的效果最佳，綠豆發芽率提升31.6%；浸泡4小時的花生殼，綠豆發芽率提升30%；浸泡24小時的橘子皮，綠豆發芽率提升15%。檸檬皮和香蕉皮效果不明顯。其中，香蕉皮的部分與文獻中所看到的資料不符，是否受其他因素影響有待進一步探討。

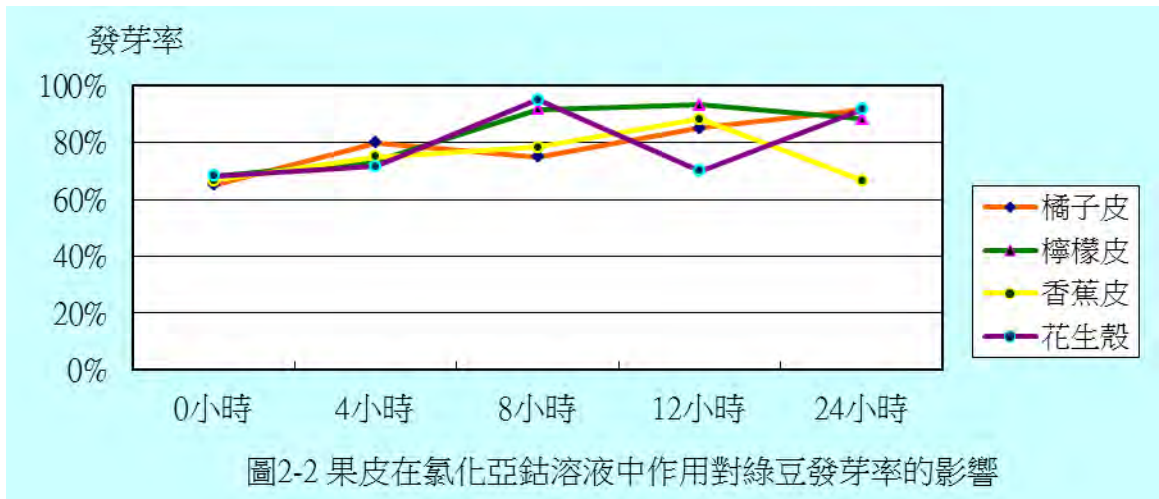
(二)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鈷離子(Co^{2+})的吸附能力

橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼分別置入0.5 % 氯化亞鈷溶液，浸泡一定的時間後倒入盆中並置入綠豆。觀察綠豆發芽情形，並於五天後計算綠豆發芽率，其發芽結果如表2-2和圖2-2。

表2-2 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼置入氯化亞鈷溶液綠豆發芽率

時間	0 小時				4 小時			
	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
1	13	14	12	16	15	15	15	20
2	14	16	13	12	17	14	16	18
3	12	11	15	13	16	15	14	5
平均顆數	13	13.7	13.3	13.7	16	14.7	15	14.3
發芽率	65%	68.3%	66.7%	68.3%	80%	73.3%	75%	71.7%

8 小時				12 小時				24 小時			
橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
16	19	18	19	17	18	16	14	18	19	13	20
16	20	14	19	18	19	18	16	18	15	14	20
13	16	15	19	16	19	19	12	19	19	13	15
15	18.3	15.7	19	17	18.7	17.7	14	18.3	17.7	13.3	18.3
75%	91.7%	78.3%	95%	85%	93.3%	88.3%	70%	91.7%	88.3%	66.7%	91.7%



發現：

- 1.從表2-2和圖2-2來看，將橘子皮處理4小時後的氯化亞鈷溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率提升15%。處理12小時的綠豆發芽率比未處理增加20%；處理24小時的綠豆發芽率比未處理增加26.7%。
- 2.將檸檬皮處理8小時、12小時和24小時後的氯化亞鈷溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理的增加二成以上，發芽率達九成左右。
- 3.將香蕉皮處理4小時和8小時的氯化亞鈷溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率增加一成。處理12小時的綠豆發芽率比未處理增加二成。
- 4.把經過花生殼處理8小時過後的氯化亞鈷溶液澆淋的綠豆有九成五的發芽率，比未處理的增加26.7%；浸泡24小時有九成以上的發芽率，比未處理的增加23.4%。
- 5.就四種果皮比較，橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鈷離子的吸附都有效果，但其中以浸泡8小時的花生殼、12小時的檸檬皮和24小時的橘子皮效果最佳，綠豆發芽率都提升二成五以上，發芽率都在九成以上；浸泡8小時的檸檬皮、12小時的橘子皮和香蕉皮、24小時的檸檬皮、花生殼綠豆發芽率都比未處理提升二成以上，而且發芽率都在八成五以上。

(三)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鉛離子(Pb²⁺)的吸附能力

橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼分別置入0.5 % 硝酸鉛溶液，浸泡一定的時間後倒入紙杯並置入綠豆。觀察綠豆發芽情形，並於五天後計算綠豆發芽率，其發芽結果如表2-3和圖2-3。

表2-3 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼置入硝酸鉛溶液綠豆發芽率

時間	0 小時				4 小時			
硝酸鉛	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
1	16	18	20	17	16	19	19	20
2	14	19	10	16	15	18	20	16
3	19	13	18	17	17	20	20	20
平均顆數	16.3	16.7	16	16.7	16	19	19.7	18.7
發芽率	81.7%	83.3%	80%	83.3%	80%	95%	98.3%	93.3%

8 小時				12 小時				24 小時			
橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
16	20	20	19	20	20	20	18	18	19	20	18
20	20	19	19	18	20	19	19	18	17	17	20
20	20	19	18	20	20	19	16	19	15	18	20
18.7	20	19.3	18.6	19.3	20	19.3	17.7	18.3	17	18.3	19.3
93.3%	100%	96.7%	93.3%	96.7%	100%	96.7%	88.3%	91.7%	85%	91.7%	96.7%

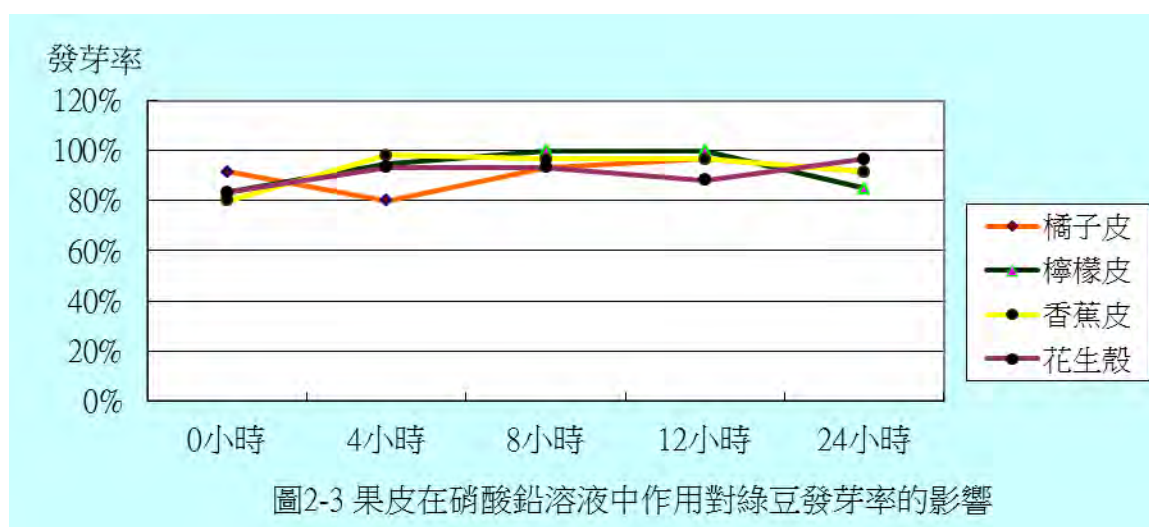


圖2-3 果皮在硝酸鉛溶液中作用對綠豆發芽率的影響

發現：

- 1.從表2-3和圖2-3來看，將橘子皮處理8小時後的硝酸鉛溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理提升13.3%，發芽率達九成三；處理12小時綠豆發芽率提升15%，發芽率達九成六；處理24小時綠豆發芽率提升10%，發芽率有九成一。
- 2.將檸檬皮處理4小時後的硝酸鉛溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理提升11.7%，發芽率達九成五；處理8小時和12小時綠豆發芽率都達到100%。
- 3.將香蕉皮處理過的四個時段的硝酸鉛溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理的提升一到二成，且發芽率都高達九成以上。
- 4.把經過花生殼處理4小時、8小時和24小時過後的硝酸鉛溶液澆淋在綠豆上，五天後其發芽率比未處理提升一成，且發芽率都高達九成以上。
- 5.就四種果皮比較，橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鉛離子的吸附都有效果。四種果皮中以浸泡4小時的香蕉皮效果最佳，發芽率比未處理提升18%；浸泡8小時和12小時檸檬皮的效果也很好，綠豆發芽率提升16.7%，發芽率都達到100%。值得注意的是，將浸泡過香蕉皮、檸檬皮和花生殼的硝酸鉛溶液澆淋在綠豆上，不僅五天後綠豆發芽率提升而且生長高度大部分比未處理的綠豆高1-2公分，還長出葉子。

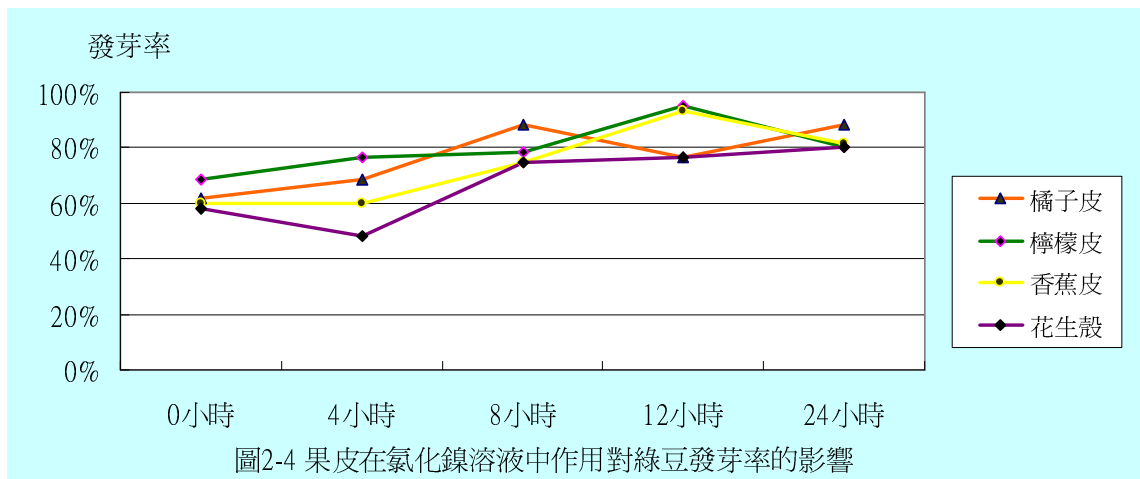
(四)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鎳離子(Ni²⁺)的吸附能力

橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼分別置入0.5 % 氯化鎳溶液，浸泡一定的時間後倒入盆中並置入綠豆。觀察綠豆發芽情形，並於五天後計算綠豆發芽率，其發芽結果如表2-4和圖2-4。

表2-4橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼置入氯化鎳溶液綠豆發芽率

時間	0 小時				4 小時			
	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
1	12	13	12	10	14	14	13	8
2	12	13	10	12	12	18	13	8
3	13	15	14	13	15	14	10	13
平均顆數	12.3	13.7	12	11.7	13.7	15.3	12	9.7
發芽率	61.7%	68.3%	60%	58.3%	68.3%	76.7%	60%	48.3%

8 小時				12 小時				24 小時			
橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
16	15	17	18	15	20	20	17	18	17	15	17
19	16	15	14	15	18	18	12	19	14	18	16
18	16	13	13	16	19	18	17	16	17	16	15
17.7	15.7	15	15	15.3	19	18.7	15.3	17.7	16	16.3	16
88.3%	78.3%	75%	75%	76.7%	95%	93.3%	76.7%	88.3%	80%	81.7%	80%



發現：

- 1.從表2-4和圖2-4來看，將橘子皮處理8小時和24小時後的氯化鎳溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理提升26.6%，發芽率達八成八；處理12小時綠豆發芽率提升15%。
- 2.將檸檬皮處理12小時後的氯化鎳溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理提升26.7%，發芽率達九成五；處理8小時和24小時後的綠豆發芽率提升一成。
- 3.將香蕉皮處理12小時後的氯化鎳溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理提升33.3%，發芽率達九成三；處理24小時後的綠豆發芽率提升21.7%，發芽率達八成；處理8小時後的綠豆發芽率提升15%。
- 4.將花生殼處理4小時後的氯化鎳溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理反而下降，但是隨著浸泡時間增加發芽率也逐漸升高。處理8小時綠豆發芽率增加16.7%；處理12小時綠豆發芽率增加18.4%；處理24小時後的綠豆發芽率提升21.7%，發芽率達八成。
- 5.就四種果皮比較，橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鎳鉛離子的吸附都有效果。四種果皮中以浸泡12小時的香蕉皮效果最佳，發芽率比未處理提升三成；浸泡8小時、24小時橘子皮和12小時檸檬皮的效果也很好，綠豆發芽率提升26.7%，發芽率都在九成左右。其餘只要浸泡8小時以上的實驗組，綠豆發芽率都增加一成到二成的發芽率。

(五)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對鋅離子(Zn^{2+})的吸附能力

橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼分別置入0.5 % 硫酸鋅溶液，浸泡一定的時間後倒入盆中並置入綠豆。觀察綠豆發芽情形，並於五天後計算綠豆發芽率，其發芽結果如表2-5和圖2-5。

表2-5 橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼置入硫酸鋅溶液綠豆發芽率

時間	0 小時				4 小時			
	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
1	15	14	14	17	20	18	20	12
2	16	15	14	13	19	17	19	12
3	13	17	15	13	15	12	18	14
平均顆數	14.6	15.3	14.3	14.3	18	15.7	19	12.7
發芽率	73.3%	76.7%	71.7%	71.7%	90%	78.3%	95%	63.3%

8 小時				12 小時				24 小時			
橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花	橘	檸	蕉	花
15	18	18	14	19	12	20	17	11	15	14	16
20	16	19	18	20	17	15	16	12	15	19	14
17	17	17	18	15	12	19	15	7	15	13	13
17.3	17	18	16.7	18	13.7	18	16	10	15	15.3	14.3
86.7%	85%	90%	83.3%	90%	68.3%	90%	80%	50%	75%	76.7%	71.7%

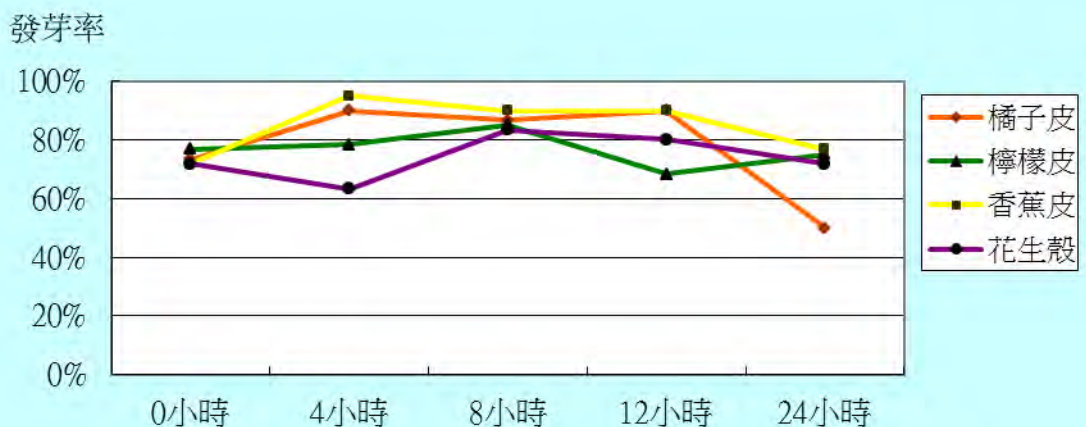


圖2-5 果皮在硫酸鋅溶液中作用對綠豆發芽率的影響

發現：

- 1.從表2-5和圖2-5來看，將橘子皮處理4小時和12小時後的硫酸鋅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率比未處理的提升16.7%，發芽率達90%。處理8小時的綠豆發芽率比未處理增加13.4%，發芽率有86.7%。但是處理24小時的綠豆發芽率卻比未處理減少23.3%。
- 2.以檸檬皮處理8小時後的硫酸鋅溶液澆淋在綠豆上，發芽率比未處理增加8.3%；處理12小時和24小時，綠豆發芽率下降。
- 3.以香蕉皮處理4小時後的硫酸鋅溶液澆淋在綠豆上，其發芽率比未處理增加23.3%發芽率達到95%；處理8小時和12小時，發芽率比未處理增加18.3%，發芽率達到90%。
- 4.將花生殼處理8小時和12小時後的硫酸鋅溶液澆淋在綠豆上，5天後綠豆發芽率提升約一成左右，發芽率有八成以上。
- 5.就四種果皮比較，橘子皮和香蕉皮對於鋅離子的吸附效果較佳，其中香蕉皮處理4小時，發芽率就提升23.3%；處理8小時和12小時，發芽率就提升18.3%；而且這三個實驗的綠豆發芽率都達到九成以上。橘子皮浸泡4小時、8小時和12小時發芽率提升一成五左右。檸檬皮和花生殼在這個實驗中則效果不明顯。

陸、討論

一、重金屬對綠豆發芽率的影響

充足的水分、氧氣、溫度是種子發芽過程中必須具備的條件，不需要給予任何的養分，因為種子內已經儲存種子發芽所需的養分，如澱粉，但是種子發芽前需要將澱粉轉化成可以利用的醣類，這些轉換過程需要一些酵素的幫忙，在胚芽的生長也是需要許多酵素的參與(李,1999)。如果將種子浸泡在重金屬的溶液中，重金屬離子可能會直接或間接地破壞這些轉換的酵素，使種子無法得到可以利用的養分，重金屬離子也可能會破壞種子細胞的構造，如細胞膜，使得種子無法正常地發育，這些都是降低種子發芽率的可能原因。從本次的實驗中也發現當重金屬污染水質時，綠豆的發芽率明顯降低，而且污染濃度越高發芽率越低。

二、果皮對於重金屬的吸附能力

從最近的文獻資料可以發現，近期有許多研究致力於發展低成本、可再利用且不傷害環境的生物技術來移除溶液中有害金屬。其中尤其以生物吸附方面最為積極。目前，已有許多便宜又有效的生物吸附劑像是用生物及農業廢棄物被開發來吸附重金屬（賴怡伶，2008）。如：香蕉皮、橘子皮、檸檬皮、棕櫚葉、木瓜木頭上纖維、椰子殼、米糠、胡蘿蔔殘渣等皆具吸附能力。從這次的實驗結果也發現將香蕉皮、橘子皮、檸檬皮，花生殼置入重金屬溶液中一段時間後，對於提昇綠豆發芽率有一些幫助，只是不同的重金屬必須有某些特定的果皮才有較佳的效果。由於本次研究只採用四種果皮進行實驗，值得擴大對象進一步研究。

三、檢測法

本實驗另一個重要的收穫，是利用重金屬濃度與綠豆發芽率的關係，來初步估測土壤是否含有重金屬。由實驗結果我們可以得知重金屬濃度與綠豆發芽率有明顯的負相關，也就是重金屬濃度愈高，綠豆發芽率愈低。由於檢測重金屬的儀器精密又貴重，在一般小學的實驗室也不可能購置，因此利用綠豆發芽率初步檢測水質是否受到重金屬污染，是一個簡單又經濟的檢測方法。

柒、結論與建議

【結論】

一、重金屬污染的水對綠豆發芽率的影響。

- (一)受到重金屬污染的水使綠豆發芽率降低，且濃度愈高發芽率愈低。
- (二)在五種重金屬污染的水中以銅離子影響綠豆發芽率最多，鉛離子影響綠豆發芽率最小。

二、探討橘子皮、檸檬皮、香蕉皮與花生殼對重金屬的吸附能力。

- (一)花生殼和橘子皮對於銅離子的吸附效果較佳。其中以浸泡4小時和8小時的花生殼效果最佳。檸檬皮和香蕉皮效果不明顯，需要進一步觀察研究。

- (二)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鈷離子的吸附都有效果，其中以浸泡 8 小時的花生殼和檸檬皮、12 小時的檸檬皮和橘子皮、24 小時的橘子皮、檸檬皮和花生殼效果最佳。
- (三)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鉛離子的吸附都有效果。四種果皮中以浸泡4 小時的香蕉皮、浸泡8小時和12小時檸檬皮效果最佳。
- (四)橘子皮、檸檬皮、香蕉皮和花生殼對於鎳離子的吸附都有效果。其中浸泡12小時的香蕉皮效果最佳；浸泡8小時、24小時橘子皮和12小時檸檬皮的效果也很好。
- (五)橘子皮和香蕉皮對於鋅離子的吸附效果較佳，其中以香蕉皮處理 4 小時效果最好；浸泡 8 小時、12 小時的香蕉皮效果也很好。而且這三個實驗組的綠豆發芽率都達到九成以上。檸檬皮和花生殼在這個實驗中則效果不明顯。

【建議】

- (一)本實驗探討各種果皮對於硫酸銅、氯化亞鈷、硝酸鉛、氯化鎳和硫酸鋅污染水中金屬離子的吸附作用，得到正向的效果，可見以果皮改善重金屬污染水的方法，不至於對環境造成二度傷害，似乎頗為環保且具有可行性。然而，在實際生活中，除了這五種重金屬污染之外，鎘和砷污染的情況更為嚴重，可惜學校實驗室及一般化工材料行也很難找到這兩種材料，只能在本次實驗中捨棄，未來或許可以以這兩種污染物再進行研究。
- (二)由於本次實驗僅就在果皮24小時作用的效果進行實驗，並且，在每個盆中只有倒入 50ml的污染水，如此小範圍的實驗或許未能產生更為明顯的成效，對於環境的變因也還有許多需要加以控制，建議可以繼續擴大範圍、更為精密的控制，將可以使本實驗結果更具有應用價值。
- (三)本研究僅初步的判斷果皮是否對於重金屬有吸附作用，建議可以就果皮本身的結構再進一步研究，找出可以吸附重金屬的原理，並加以純化或進行酸鹼改質，應該更能發揮其吸附金屬的功效。
- (四)雖然果皮有吸附重金屬的能力，但是只要是重金屬污染過的水所澆淋過的綠豆發芽率終究比不上未污染的水所種的綠豆發芽率。因此，減少人為污染。才是解決重金屬污染問題的根本之道。

捌、參考資料及其他

- 一、賴怡伶（2008）含纖維素之生物吸附劑對重金屬吸附之研究，碩士論文，國立中央大學，環境工程所。
- 二、吳婉綺、林君徽、林雅婷、蘇琳詒（民93）生物濾水器 ~ 重金屬吸附能力。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會。國中組 生物科。
- 三、陳海寧、蔡昀庭、蔡孟容、謝沁彰（民97）生命中不可承受之「重」--重金屬誘導萌芽的綠豆根部產生氧化傷害之研究。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會。國中組生物及地球科學科。
- 四、新華社（2011.8.17）研究發現香蕉皮能淨化水中重金屬污染。
http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/lady/2011-10/25/c_122192628.htm

【評語】 080214

研究目的明確。研究二數據的不穩定性可以再深入探討。