

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040212

MRI 傳奇~鐵、綠茶、顯影劑

學校名稱：國立大里高級中學

作者： 高二 蔡承諭 高二 魏 駿	指導老師： 莊釗賢
---------------------------------	------------------

關鍵詞：MRI、鞣酸亞鐵、顯影劑

摘要

在過去，人們對於「鞣酸亞鐵」的使用，僅止於墨水的製作。對於服用鐵劑來補充亞鐵離子的病人而言，茶類飲料更是一大禁忌；因為茶類飲品中的鞣酸會與亞鐵離子結合成「鞣酸亞鐵」的沉澱，使得人體無法獲得亞鐵離子的補充。而如今，因為使用在 MRI 顯影劑的釷離子(Gd^{3+})，會造成病人腎因性全身纖維病變，於是我們試著將「鞣酸亞鐵」變身成為新一代的 MRI 顯影劑。我們利用亞鐵離子與釷離子同樣因具有多個未成對電子(價電子組態 $Fe^{2+} : 3d^6$, $Gd^{3+} : 4d^7$)，而有強順磁性的特性，再加上日常生活中常見的綠茶，來製作新的 MRI 顯影劑。這個想法不僅符合現代「綠色化學」的環保概念要求，而我們所得到的成果，更是在 MRI 的顯影上有著意想不到的絕妙效果。

壹、研究動機

在學習電子組態時，我們認識了『釷離子(Gd^{3+})』，知道它是因有許多未成對電子而具有強順磁性的粒子(價電子組態： $4f^7$)，其相關的錯合物在醫學上被用來作為 MRI(核磁共振造影)的顯影劑。然而在 1997 年時發現，使用含釷離子顯影劑進行核磁共振造影的病患，會產生腎因性全身纖維病變，甚至造成少數病患死亡。既然釷離子有毒且昂貴，所以我們想找出一個製造簡便、效果佳、對人體無害的顯影劑，以符合綠色化學基本原則之「設計更有效，而且低毒或無毒的化合物」。於是我們使用同樣具有多個未成對電子且有強順磁性的亞鐵離子(Fe^{2+} ，價電子組態： $3d^6$)，與生活中常見的茶，來製作顯影劑。

貳、研究目的

製作出方便操作、低成本、無毒害、效果佳、穩定性高，且符合綠色化學的顯影劑。

參、研究器材與藥品

一、器材：

量筒、燒杯、pH meter、離心機、抽濾裝置、滴管、加熱攪拌器、磁石、離心管、溫度計、秤量紙、電子天平、刮勺、容量瓶、碼錶、超音波

二、藥品：

$FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 、 $FeCl_3$ 、 $Fe(NO_3)_3$ 、 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 、NaOH、草酸鉀、乙二醇、檸檬酸鈉、碳酸鈉、鞣酸

肆、研究過程與方法

一、茶種類的選擇與泡茶方式：

(一) 老茶、紅茶、烏龍茶、綠茶何者與 Fe^{2+} 反應，效果較好？

1. 各取 30g 的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶，分別置於 500mL 熱水(100°C 沸騰的蒸餾水)沖泡，並靜置 1 小時。
2. 將上述各種茶液，分別過濾後，留下濾液。
3. 配製 0.1M FeCl_2 溶液 250mL 及 1M NaOH 溶液 250mL。
4. 分別取步驟 1.所泡製的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶各 30mL，加入 $\text{FeCl}_{2(\text{aq})}$ 20mL。
5. 逐滴加入 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，使各混合液的 pH 值達到 6，並持續攪拌 1hr。
6. 離心，可得沈澱，再以水回溶，取溶液送測 MRI。

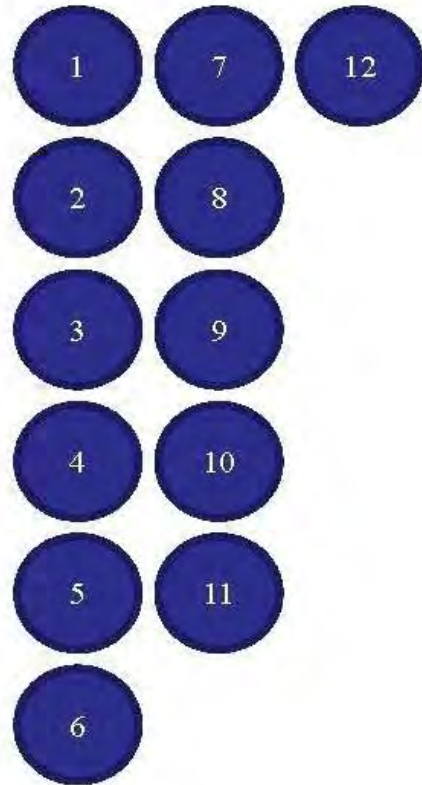
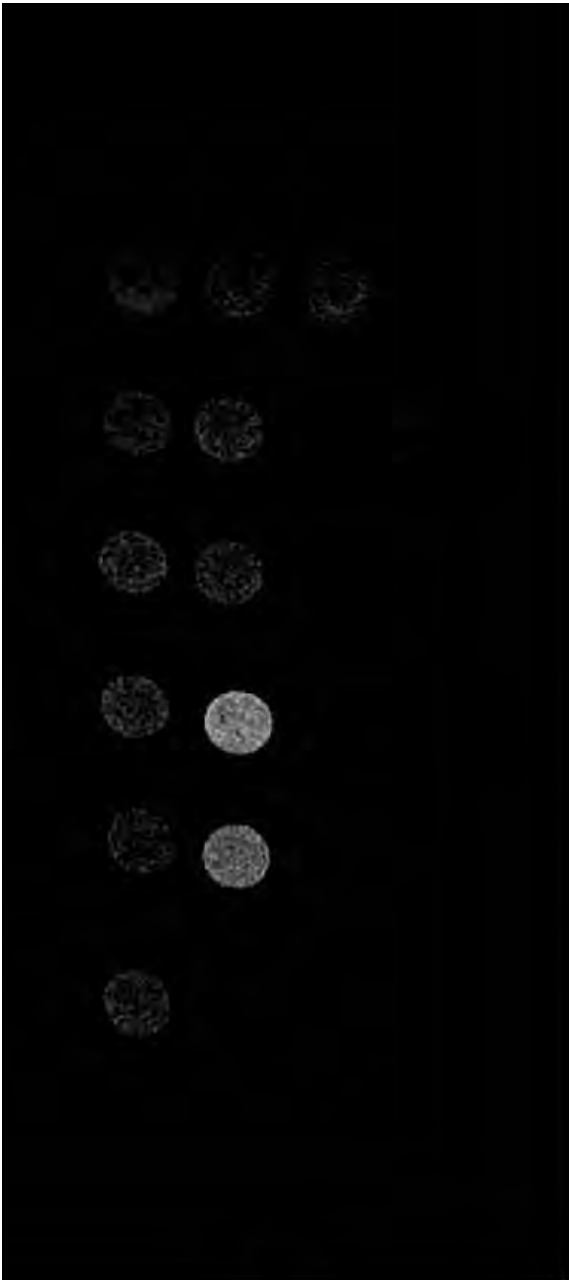
(二) 熱泡、冷泡，何種泡茶方式，效果較好？

1. 各取 30g 的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶，分別置於 500mL 冷水(25°C 蒸餾水)沖泡，並放置冰箱冷藏 1 天。
2. 將上述各種茶液，分別過濾後，留下濾液。
3. 配製 0.1M FeCl_2 溶液 250mL 及 1M NaOH 溶液 250mL。
4. 分別取步驟 1.所泡製的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶各 30mL，加入 $\text{FeCl}_{2(\text{aq})}$ 20mL。
5. 逐滴加入 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，使各混合液的 pH 值達到 6，並持續攪拌 1hr。
6. 離心，可得沈澱，再以水回溶，取溶液送測 MRI。

(三) 濃茶、淡茶，茶液的濃度是否影響 MRI 的效果？

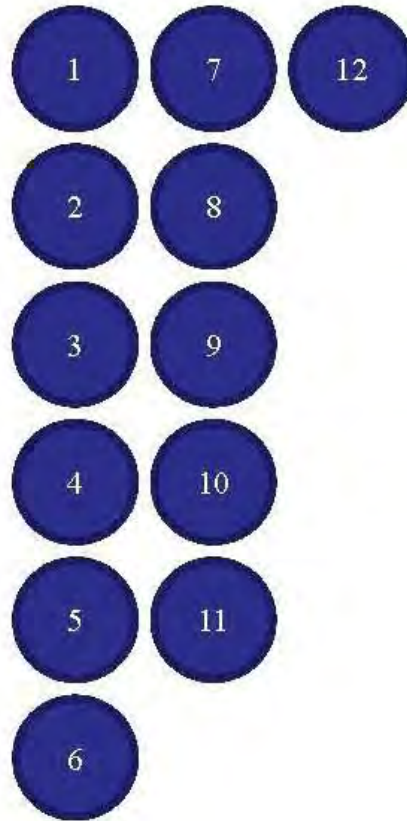
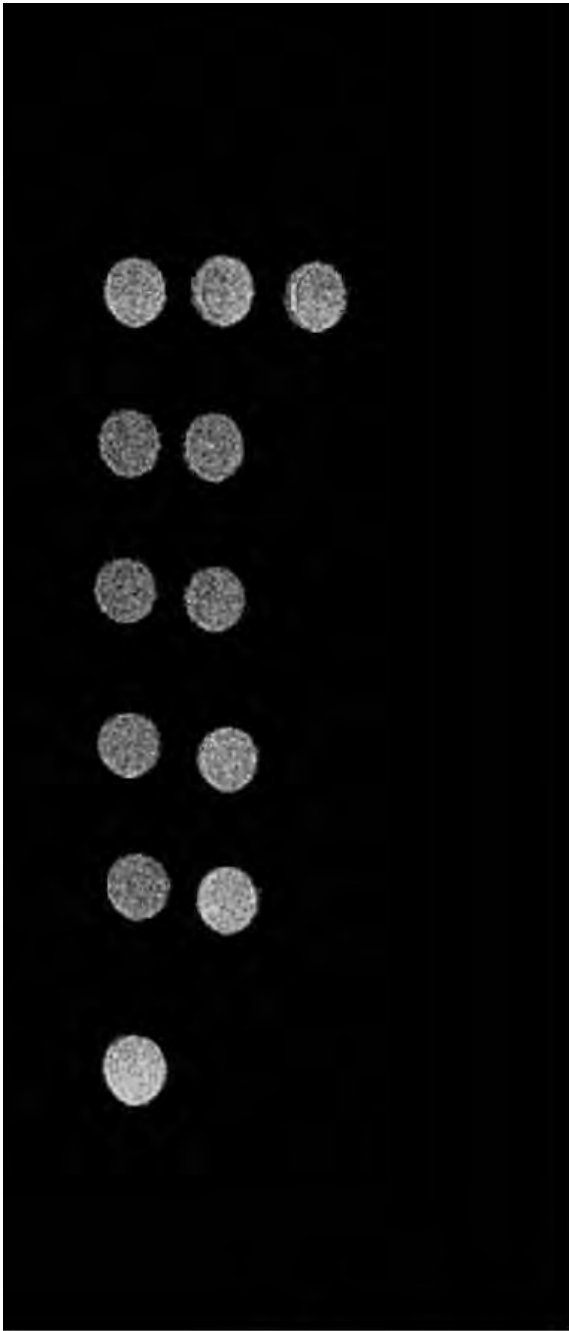
1. 各取 30g 的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶，分別置於 100mL 熱水(100°C 沸騰的蒸餾水) 沖泡，並靜置 1 小時。
2. 將上述各種茶液，分別過濾後，留下濾液。
3. 配製 0.1M FeCl_2 溶液 250mL 及 1M NaOH 溶液 250mL。
4. 分別取步驟 1.所泡製的綠茶、紅茶、烏龍茶、老茶各 30mL，加入 $\text{FeCl}_{2(\text{aq})}$ 20mL。
5. 逐滴加入 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，使各混合液的 pH 值達到 6，並持續攪拌 1hr。
6. 離心，可得沈澱，再以水回溶，取溶液送測 MRI。

附圖(一) 送測 MRI(T₁)結果



T1

附圖(二) 送測 MRI(T₂)結果



T2

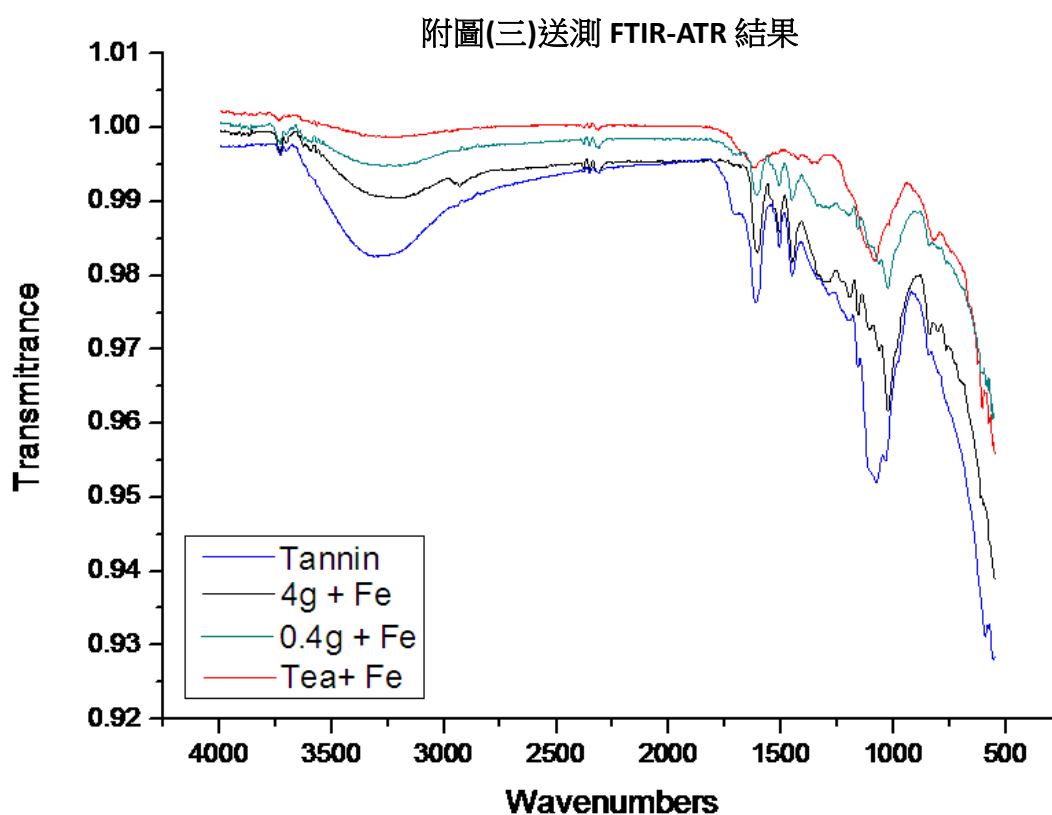
附表(一) 各種茶類在不同沖泡方式與不同濃度下，送測 MRI 結果一覽表

編號	茶葉種類	沖泡方式	濃度(30g 茶葉/mL 水)	T ₁	T ₂
1	老茶	熱泡	30g 茶葉/100mL 水	0~44	0~191
2	老茶	熱泡	30g 茶葉/500mL 水	0~42	0~158
3	老茶	冷泡	30g 茶葉/500mL 水	0~67	0~177
4	紅茶	熱泡	30g 茶葉/100mL 水	0~69	0~183
5	紅茶	熱泡	30g 茶葉/500mL 水	0~64	0~173
6	紅茶	冷泡	30g 茶葉/500mL 水	0~66	0~211
7	烏龍茶	熱泡	30g 茶葉/100mL 水	0~47	0~207
8	烏龍茶	熱泡	30g 茶葉/500mL 水	0~82	0~173
9	烏龍茶	冷泡	30g 茶葉/500mL 水	0~60	0~167
10	綠茶	熱泡	30g 茶葉/100mL 水	0~186	0~193
11	綠茶	熱泡	30g 茶葉/500mL 水	0~132	0~206
12	綠茶	冷泡	30g 茶葉/500mL 水	0~50	0~203

註：透過圖像分析軟體 Image J 來分析 MRI 送測結果。其中，數值越低代表在圖像中的顯現越暗；數值越高則顯現出越亮的圖像。T₁ 影像表現出顯影劑在 MRI 檢測的顯亮結果，影像越亮表示顯影劑的顯影效果越好；而 T₂ 影像則表示顯暗結果，影像越暗表示顯影效果越佳。由上表的結果我們發現：只有熱泡的綠茶與亞鐵離子反應所得的結果，在 T₁ 有較好的顯影效果。但是在 T₂ 的部分，則全部的結果都不理想，推測應該與反應生成的沉澱物有關。

二、利用紅外線光譜(FTIR-ATR)來測定綠茶與亞鐵離子反應的沉澱物：

由於綠茶溶液中含有鞣酸(Tannic acid)，而鞣酸與亞鐵離子反應，結合生成鞣酸亞鐵的傾向極大(K 值為 $10^{13} \sim 10^{14}$ ，參考資料 2)。因此，我們推測管內的沉澱物應為鞣酸亞鐵。為了證實我們的推測，我們將鞣酸，鞣酸與亞鐵離子反應的鞣酸亞鐵沉澱(4g 鞣酸 + Fe^{2+} 、0.4g 鞣酸 + Fe^{2+})，還有綠茶與亞鐵離子反應的沉澱，一起送測紅外線光譜(FTIR-ATR)，結果如下圖所示。由下圖結果，我們可以看出，綠茶與亞鐵離子反應所形成的沉澱，和鞣酸以及鞣酸亞鐵有著極相似的光譜吸收，證明綠茶與亞鐵離子的沉澱物應該也是鞣酸亞鐵。

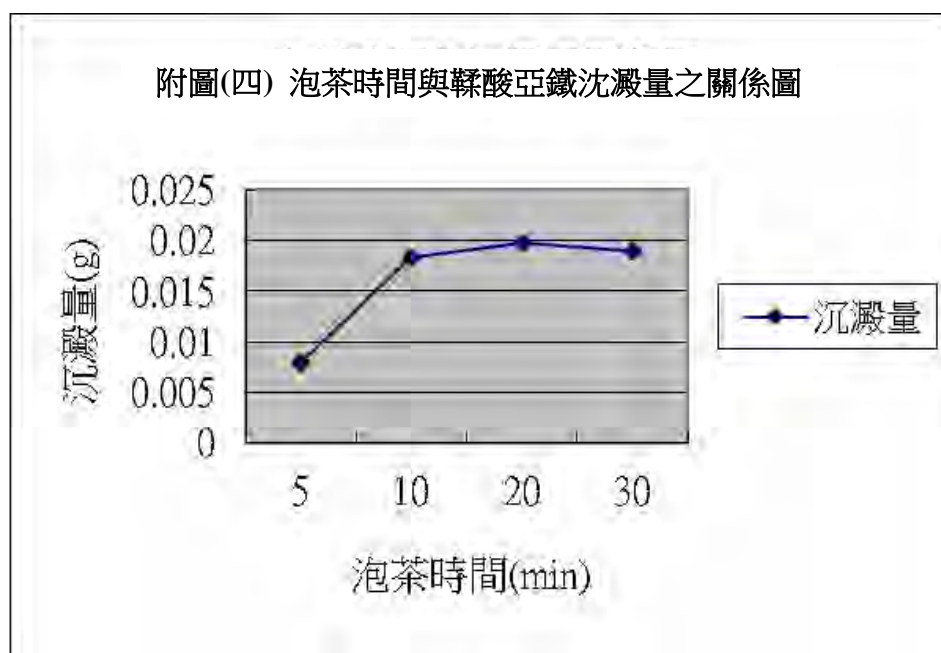


我們嘗試尋找有關鞣酸與亞鐵離子反應的相關文獻，結果發現早在 1960 年，化學家就發現鞣酸與亞鐵離子的強結合性。然而多年來，卻沒有任何有關鞣酸亞鐵的結構證明。原因就在於鞣酸與亞鐵離子極易形成鞣酸亞鐵的錯合物，但該錯合物的結構龐大複雜，無法形成晶體，所以一直沒有 X-ray 的結構證明。因此，我們便藉由紅外線光譜，看出綠茶與亞鐵離子反應所得的沉澱，和鞣酸與亞鐵離子反應所得的沉澱(鞣酸亞鐵)有極相似的光譜吸收，證明兩者有相同的官能基，有相同的鍵結，間接證明兩者應屬於相同的化合物。

三、鞣酸亞鐵的沈澱造成 MRI 結果不佳，如何防止鞣酸亞鐵沈澱？

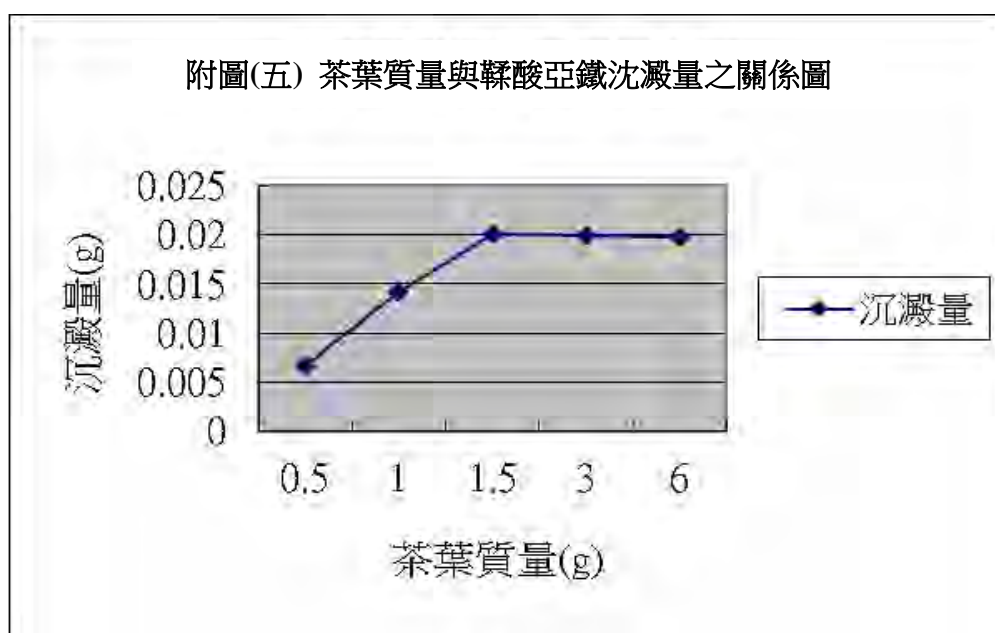
(一) 改變泡茶時間的長短，控制鞣酸的濃度，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

100mL 沸水，6g 綠茶茶葉，藥品 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.1M，pH 值 2.77)				
泡茶時間	30 分	20 分	10 分	5 分
pH 值(茶液)	5.27	5.34	5.32	5.35
pH 值(茶+ Fe^{2+})	3.60	3.58	3.50	3.51
Fe^{2+} ：茶(體積比)	10mL：30mL	10mL：30mL	10mL：30mL	10mL：30mL
溫度(茶液)	35°C	31.5°C	35°C	34°C
沉澱收集	離心 2 次，5 分鐘/次，烘乾，隔夜後秤重			
沉澱量(克)	0.0190	0.0198	0.0184	0.0080









(二) 改變茶葉的質量，控制鞣酸的濃度，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

100mL 沸水，藥品 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.1M，pH 值 2.76)，泡茶時間：20 分					
茶葉質量	6g	3g	1.5g	1.0g	0.5g
pH 值(茶液)	5.44	5.49	5.48	5.45	5.50
pH 值(茶+ Fe^{2+})	3.58	3.56	3.55	3.59	3.53
Fe^{2+} ：茶(體積比)	10mL：30mL	10mL：30mL	10mL：30mL	10mL：30mL	10mL：30mL
溫度(茶液)	35°C	35°C	35°C	35°C	35°C
沉澱收集	離心 2 次，5 分鐘/次，烘乾，隔夜後秤重				
沉澱量(克)	0.0198	0.0200	0.0201	0.0142	0.0066









(三) 以草酸鉀作為配基，並嘗試不同的比例和反應順序，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

100mL 沸水，1.5g 綠茶茶葉，藥品： $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.1M)，配基： $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (0.1M)					
$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_2\text{O}_4^{2-} : \text{茶}$ =1 : 1 : 3(體積比)		$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_2\text{O}_4^{2-} : \text{茶}$ =1 : 2 : 3(體積比)		$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_2\text{O}_4^{2-} : \text{茶}$ =2 : 1 : 3(體積比)	
反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) + 茶	反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{茶}$) + $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) + 茶	反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{茶}$) + $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) + 茶	反應順序： ($\text{Fe}^{2+} + \text{茶}$) + $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
					

(四) 以檸檬酸鈉作為配基，並嘗試不同的比例和反應順序，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

100mL 沸水，1.5g 綠茶茶葉，藥品： $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.1M)，配基： $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (0.1M)

$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-} : \text{茶}$ = 1 : 1 : 3(體積比)		$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-} : \text{茶}$ = 1 : 2 : 3(體積比)		$\text{Fe}^{2+} : \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-} : \text{茶}$ = 2 : 1 : 3(體積比)	
反應順序： (Fe^{2+} + 茶) + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$	反應順序： (Fe^{2+} + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$) + 茶	反應順序： (Fe^{2+} + 茶) + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$	反應順序： (Fe^{2+} + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$) + 茶	反應順序： (Fe^{2+} + 茶) + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$	反應順序： (Fe^{2+} + $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$) + 茶
					

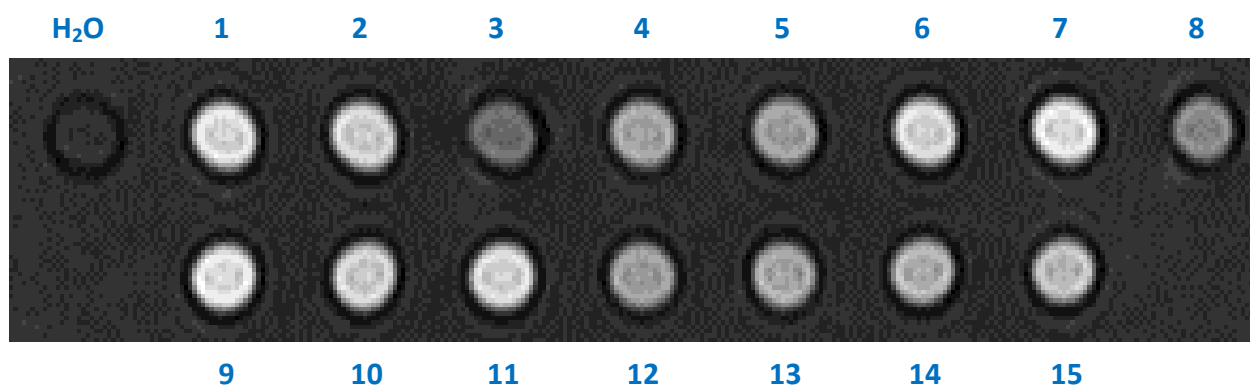
(五) 將視觀效果較佳的溶液，送測 MRI：

附表(二) 各種配基、反應順序與各反應物比例與 MRI 結果一覽表

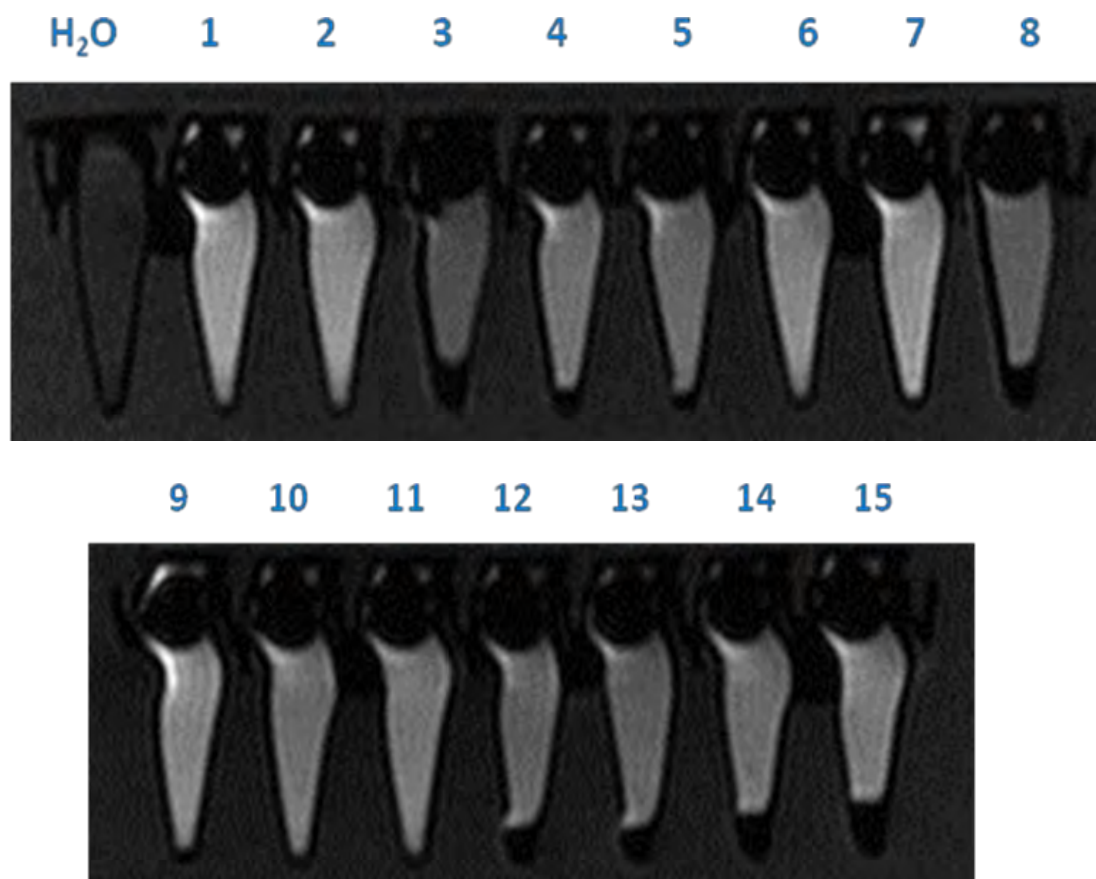
編號	配基種類	順序	Fe ²⁺ ：配基： 茶(體積比)	是否有 沉澱	T1 影像 分析(註)	T2 影像 分析(註)
1	草酸鉀 (K ₂ C ₂ O ₄)	(Fe ²⁺ + 茶) + 草酸鉀	1：2：3	有	182~247	43~103
2		(Fe ²⁺ + 草酸鉀) + 茶	1：2：3	有	173~228	32~99
3	乙二醇	(Fe ²⁺ + 茶) + 乙二醇	2：1：3	有	85~132	14~43
4	檸檬酸鈉 (Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇)	(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉	1：1：3	有	134~188	15~53
5		(Fe ²⁺ + 檸檬酸鈉) + 茶	1：1：3	有	130~184	6~51
6		(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉	1：2：3	沒有	175~243	38~135
7		(Fe ²⁺ + 檸檬酸鈉) + 茶	1：2：3	沒有	181~255	38~110
8		(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉	2：1：3	有	105~157	4~46
9		(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉(pH7.03)	1：2：3	沒有	181~255	68~149
10		(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉 + 碳酸鈉	1：2：3	沒有	165~239	45~122
11		(Fe ²⁺ + 茶) + 檸檬酸鈉(pH6.50)	1：2：3	沒有	180~245	79~163
12	未加其他配基 (作為對照組)	Fe ²⁺ + 茶(0.5g/100mL 水)	1：3(Fe ²⁺ ：茶)	有	131~188	117~192
13		Fe ²⁺ + 茶(1.0g/100mL 水)	1：3(Fe ²⁺ ：茶)	有	124~196	62~154
14		Fe ²⁺ + 茶(1.5g/100mL 水)	1：3(Fe ²⁺ ：茶)	有	138~207	45~102
15		Fe ²⁺ + 茶(3.0g/100mL 水)	1：3(Fe ²⁺ ：茶)	有	152~221	15~85

註：人體中的組織與器官，絕大部分是水，所以我們以水作為對照組，測量出水的 T₁ 數值為 8~64，而 T₂ 數值為 93~219。由上表的結果我們發現：第 7 號樣本的效果最佳，在 T₁ 的部分最高可達 255，而 T₂ 的最低值也比水的最低值還低。也就是說以檸檬酸鈉作為配基，在 Fe²⁺：檸檬酸鈉=1：2 的時候，不僅沒有鞣酸亞鐵的沉澱生成，同時所得的溶液送測 MRI 的結果，在 T₁ 與 T₂ 的顯影有著絕佳的效果。

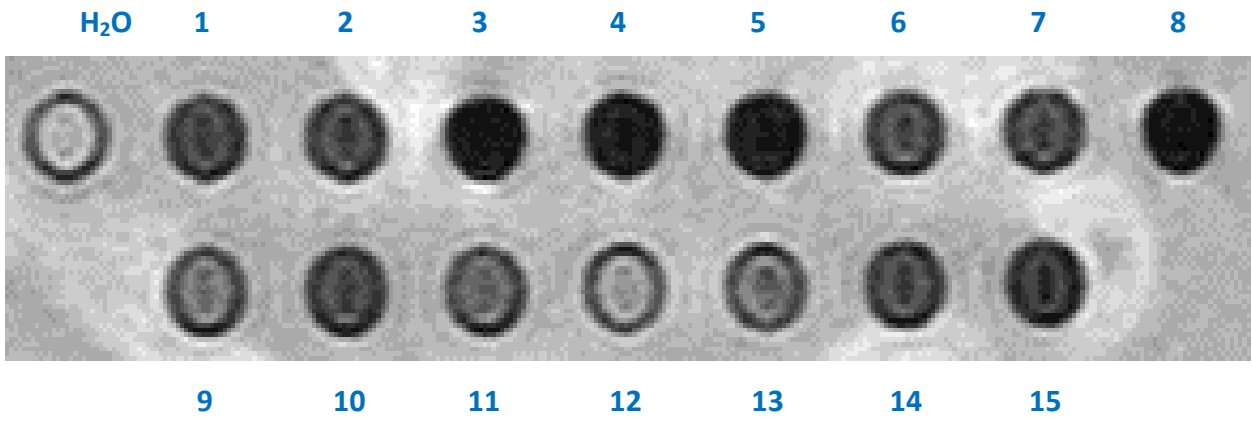
附圖(六) 送測 MRI(T₁ image)俯瞰圖



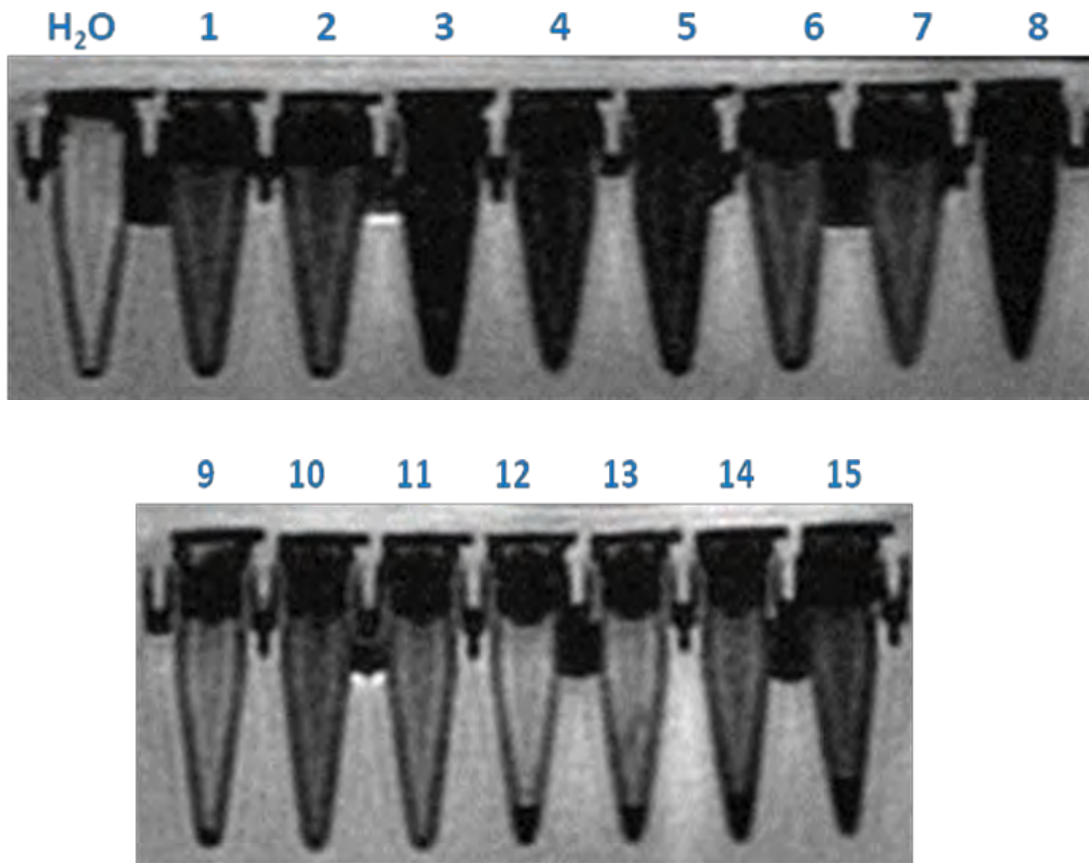
附圖(七) 送測 MRI(T₁ image)剖面圖



附圖(八) 送測 MRI(T_2 image)俯瞰圖



附圖(九) 送測 MRI(T_2 image)剖面圖



伍、研究結果

一、茶種類的選擇、泡茶方式與茶液的濃度：

(一) 由附圖(一)送測 MRI(T_1)結果可以發現：

以熱泡的綠茶效果最好、最明顯。我們發現熱泡比冷泡所溶出的鞣酸更多，其中又以綠茶溶出的鞣酸最多；這是因為綠茶為未發酵茶，製茶過程中未經發酵處理，所以鞣酸比較沒有受到破壞而變質。

(二) 由附表(一)及附圖(一)、(二)結果可以發現：

茶液的濃度對於 MRI 結果的影響並不明顯；在附圖(一)中，10 號管與 11 號管，兩者濃度比為 5：1，但在 MRI 的結果中卻相差不大。

二、測定綠茶與亞鐵離子反應的沉澱物：

因為茶溶液為一混合物，裡面有許多物質，為了證明綠茶與亞鐵離子反應的生成物是鞣酸亞鐵，我們藉由紅外線光譜(FTIR-ATR)來測定鞣酸、鞣酸與亞鐵的沉澱物以及綠茶與亞鐵離子的沉澱物。從光譜結果可以看出，綠茶與亞鐵的沉澱物和鞣酸，還有鞣酸與亞鐵的沉澱物，三者有極相似的光譜吸收，證明綠茶與亞鐵離子的沉澱應為鞣酸亞鐵。

三、鞣酸亞鐵的沈澱造成 MRI 結果不佳，如何防止鞣酸亞鐵沈澱？

(一) 改變泡茶時間的長短，控制鞣酸的濃度，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

由附圖(四)結果可以發現：

當泡茶時間達一定的時間(10 分鐘)後，同質量的茶葉所能溶解出的鞣酸達一定量，此時泡茶時間的長短不影響鞣酸亞鐵的沈澱量。

(二) 改變茶葉的質量，控制鞣酸的濃度，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

由附圖(五)、(七)、(九)結果可以發現：

當茶葉的質量達一定量(1.5g)之後，即使茶葉的質量再多，所溶解出的鞣酸雖然也多，但由於 Fe^{2+} 為限量試劑，所以得到的沈澱也趨於定值。然而，當我們採用低濃度的茶液做反應時，雖然沈澱量減少，但由肉眼觀察仍可清楚看見沈澱顆粒，(見附圖(七)與附圖(九)，MRI 的剖面圖)不僅粒徑過大，而且粒徑範圍分散很廣。對於用作 MRI 的顯影劑而言，仍屬不佳的品質。

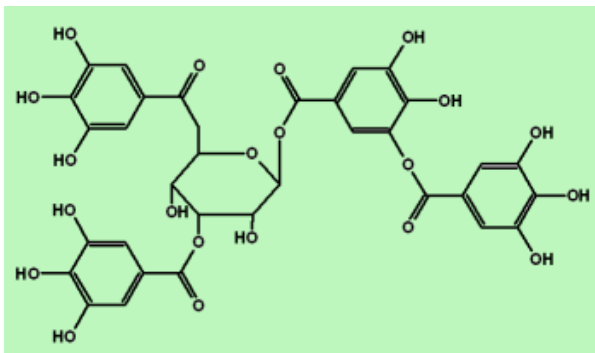
(三) 利用其他配基，並嘗試不同的比例和反應順序，以防止鞣酸亞鐵沈澱生成：

由附圖(六)~(九)的 MRI 結果可以發現：

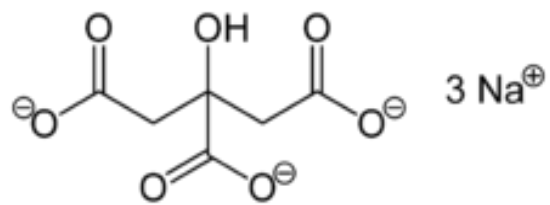
利用草酸根($C_2O_4^{2-}$)或檸檬酸根($C_6H_5O_7^{3-}$)等其他配基，可有效防止鞣酸亞鐵沈澱，但又不妨礙亞鐵和鞣酸的反應；其中，又以檸檬酸根的效果遠比草酸根的效果佳。因為部分草酸根會與 Fe^{2+} 形成黃色的草酸亞鐵沈澱，而影響 MRI 的測定結果；再者草酸根亦容易造成人體結石的形成，所以，檸檬酸根成為本研究的最佳選擇。另外，當 Fe^{2+} ：配基的莫耳數比為 1：2 時，均能有效防止鞣酸亞鐵沈澱。最後，由 MRI 結果可發現：反應順序並不影響最後產物生成，這是因為產物的生成主要還是取決於配基的螯合力大小所致。

陸、結論

鞣酸(tannic acid，又稱單寧酸，鞣質)具有多個經基，屬於多牙基的配基(結構式見下圖一)，不僅可與亞鐵離子形成螯合物，亦有機會可與多個亞鐵離子結合；因此在鞣酸與亞鐵離子之間相互錯合之下，容易形成巨大且複雜的錯合物而發生沉澱。然而為了製備合用的顯影劑，我們需要亞鐵離子與鞣酸結合但又不能產生沉澱，所以我們想到利用其它配基(如：乙二胺、草酸根和檸檬酸根)先與亞鐵離子螯合，再與鞣酸進行結合，如此以避免亞鐵離子與鞣酸相互錯合而發生沉澱。經過多次實驗，我們發現檸檬酸鈉(結構式，見下圖二)為一個很好的配基；不僅無毒性、具有 pH 調節性能及良好的穩定性，而且是日常生活中極為常見的食品添加物。在實驗進行中，我們僅加入綠茶的茶液、亞鐵離子以及檸檬酸鈉，完全符合綠色化學的基本原則：「設計更有效，而且低毒或無毒的化合物」。最令人興奮的是，我們做出的顯影劑在 MRI 的測量下有極佳的顯影效果。目前使用含鐵的顯影劑(例： $[FeEDTA]$)，只在 T_2 顯影，在 T_1 顯影對比效果差；而我們所製備的顯影劑，不但在 T_2 顯影效果佳(亮度顯暗)，甚至在 T_1 顯影(亮度顯亮)也具有極佳的效果，可以同時進行 T_1 與 T_2 的測量，節省時間，減少成本。



圖(一)鞣酸結構式(摘自網路資料，
百度百科：<http://baike.baidu.com/view/457462.htm>)



圖(二)檸檬酸鈉結構式(摘自網路資料，
維基百科：

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%9E%B8%E6%A9%BC%E9%85%B8%E9%92%A0>)

柒、參考資料

1. 四氧化三鐵奈米粒子在核磁共振造影顯影劑的應用/黃韋翔/國立成功大學化學研究所/碩士論文
2. J.D.HEM. Complexes of Ferrous Iron With Tannic Acid. *GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1459-D*, 1960
3. Carl J. Miles and Patrick L. Brezonik. Oxygen Consumption in Humic-Colored Waters By a Photochemical Ferrous-Ferric Catalytic Cycle. *Environmental Science & Technology Volume 15, Number 9, September* ,1981
4. Horace D. Graham. Stabilization of the Prussian Blue Color in the Determination of Polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 1992, 40, 801-805
5. Yunan Zhou, Xin-Hui Xing, Zehua Liu, Liwen Cui, Anfeng Yu, Qusn Feng, Haijun Vang. Enhanced coagulation of ferric chloride aided by tannic acid for phosphorus removal from wastewater. *Chemosphere 72 (2008) 290–298*
6. Jan-Ving Veh, Li-Hui Hsieh, Kaun-Tzer Wu, Cheng-Fang Tsai. Antioxidant Properties and Antioxidant Compounds of Various Extracts from the Edible Basidiomycete *Grifola Frondosa*(Maitake) *Molecules* **2011**, 16, 3197-3211

【評語】 040212

作品研究以茶和 Fe^{2+} 形成單寧酸亞鐵來製造 MRI 之顯影劑，以代替現行含 Gd^{3+} 的顯影劑，甚至以 Fe^{2+} 、茶、檸檬酸鈉來進一步改善顯影劑的性質。然而，缺乏與現行 MRI 顯影劑的數據比較，且顯影效果來自茶葉的何種成份亦難定論，值得再進一步研究。