中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　化學科

080208

「旋」光世界
～自製旋光儀測量旋光度與抗氧化關係之探討

學校名稱：新北市永和區秀朗國民小學

作者：	指導老師：
小六 邱可菡	朱中梧
小六 張杰暉	邱瑞蓉
小六 徐晳瑋	
小六 盧英華	
小六 張惟安	
小六 李　昀	

關鍵詞：旋光儀、糖度計、抗氧化

摘　要

本研究利用自製旋光儀觀察測量具旋光性物質的過程，發現旋光儀的光源以發光二極體（紅光）及雷射筆紅光當光源、玻璃平底試管長 12 cm的效果最好。砂糖、冰糖、蜂蜜、麥芽糖、代糖、葡萄糖、乳糖溶液的旋光性皆為右旋，而果糖的旋光性為左旋。本研究再進一步利用旋光儀測量比較不同濃度的茶類及糖類之旋光度及抗氧化性，發現茶類的旋光度及抗氧化性與濃度均呈正向相關；而糖類除果糖為左旋外，右旋的糖類旋光度與濃度亦呈正向相關；但抗氧化性與濃度卻呈負向相關，果糖亦同。

壹、研究動機

在資優班上課時，當我們正討論著獨立研究的主題時，有人剛好看到窗外艷陽高照，便靈機一動，請教老師光有什麼特色，能不能融入實驗？老師告訴我們：光可以幫助太陽能板發電，可以測量濃度……，講到這裡，我們每個人的眼睛都為之一亮，因為沒有人聽說過光能夠測量糖的濃度。這時老師進一步告訴我們，能夠測量糖濃度的是糖度計，它是基於含糖溶液的折光率比例濃度的原理設計而成的，可以用來直接測定含糖溶液的含糖量。這時忽然有人想起，四年級時學過「光的折射與反射」，還學過「糖的溶解」，而這一切都和我們初步認識的糖度計有密切關係，因此，我們決定從糖度計的概念開始著手，進一步探討旋光的世界。

貳、研究目的

一、瞭解光的折射與旋光的原理。

二、比較自製旋光儀與市售糖度計的差異。

三、探討茶水與糖水的旋光性及抗氧化的關係。

參、文獻探討

一、歷屆科展相關作品分析

序號	歷屆組別	科展 得獎名次	作品名稱	研究簡介與特色
1	41 屆	國中應科 第二名	自製簡易 糖濃度測定器	此作品自製了簡易糖濃度測定器，並探討旋光效應。
2	42 屆	國中物理科 佳作	濃不濃 ~ 光知道	自製光度衰減儀讓光來『讀出』有色溶液的濃度。自製偏光儀讓旋光物質的

				濃度在光底下『現形』。自製折射儀改進現有裝置。
3	49 屆	國小物理科佳作	轉吧！轉吧！七彩萬花筒	利用厚度造成旋光性並探討 RGB 的變化，來製造變色萬花筒。
4	51 屆	國小物理科最佳創意獎	暗藏私心的3D偏光視界	針對 3D 眼鏡(偏光片)進行相關探究，進而瞭解各種光穿透偏光片後的變化情形。發現將偏光片疊合成不同角度時，各色光的透光率起伏差異和最大值皆會產生程度不同但有規律的角度位移現象，表示膠帶具有旋光性。若改變透明膠帶黏貼的層數，透光率的起伏差異和最大值的疊合角度也會改變，但是沒有明顯的規律性。
5	53 屆	國小化學科第一名	燈「糖」入視－糖性質的測定	自製了「簡易折光式糖度計」和「旋光儀」，用來檢測糖的濃度，並以燃燒糖的方式，研究糖的熱量釋放，最後比較含糖飲料的糖濃度與熱量的關係。 [評審評語] 自製簡易糖濃度計和旋光儀，並逐項改進其功能使操作方便和精進其準確度，表現出科學探究的精神，唯將碳水化合物的概念，誤以為是水與其他的混合而可被加熱蒸出是概念上的迷失。

二、我們的作品與特色

(一)我們的自製旋光儀，經多次測試，多代改良，最終完成。轉盤及底座皆是**活動旋轉式**，能輕鬆替換光源和更換測試溶液，具實用性。

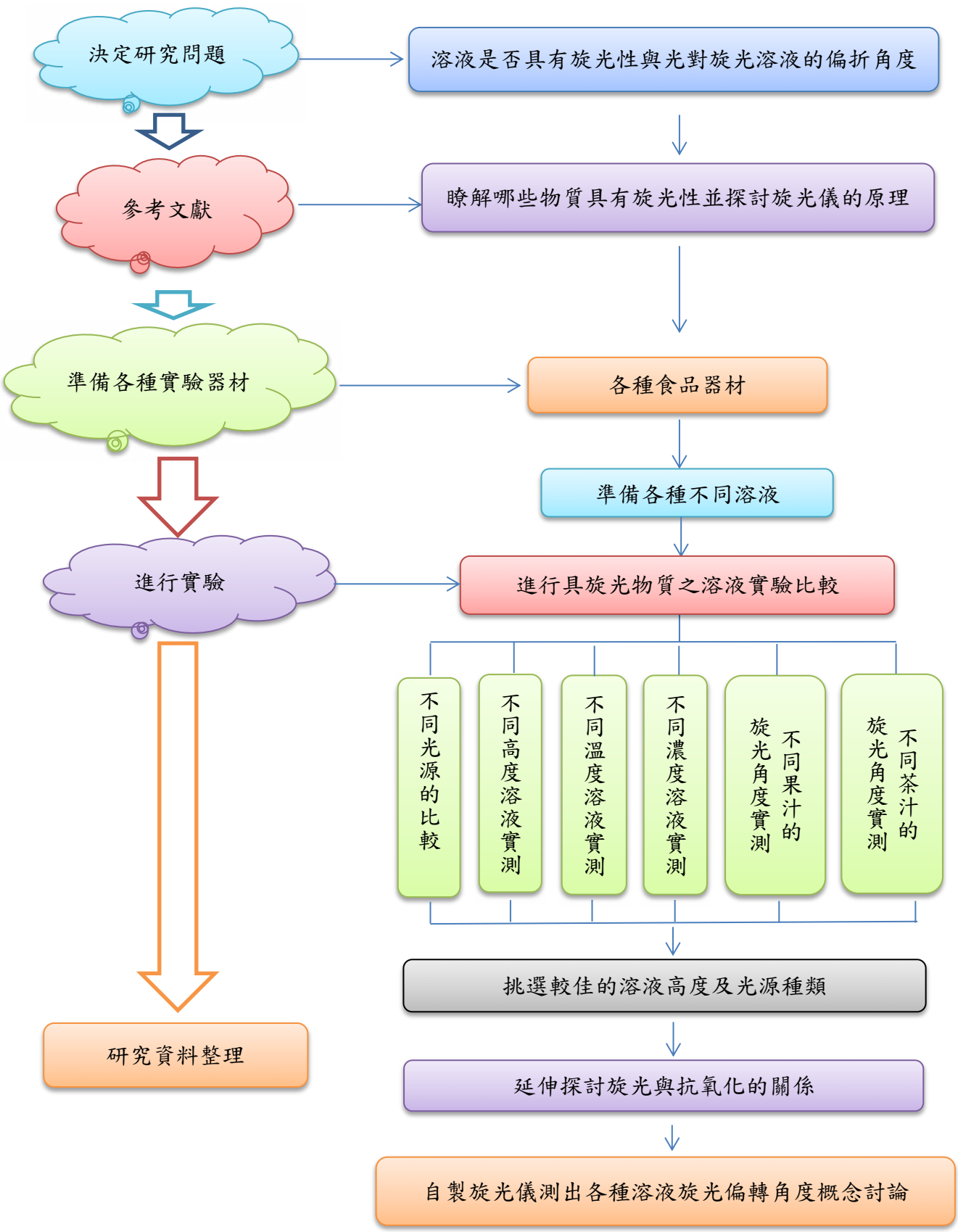
(二)我們的自製旋光儀，**結合了照度計的使用**，可以更精確進行光的明亮度觀察的客觀性；而其他相關作品都是以目測方法觀察亮度，容易產生較大的主觀性觀察誤差。

(三)我們看過多篇作品均建議進行**探討溫度**對糖水溶液旋光性的影響，卻未看到有此相觀的實驗研究。而此次我們的研究即將溫度列入實驗變因之一。

(四)此次研究除了糖水溶液的研究之外，同時我們也根據所蒐集具有旋光物質的文獻，測量了**茶葉濃度與旋光角度**的關係，這也是之前作品曾未曾出現探討過的。

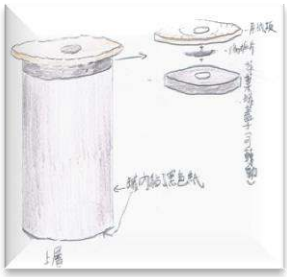
(五)最後，我們還將旋光與抗氧化試著進行結合，比較它們之間的關係，發現**茶類會隨著濃度的增加，旋光度與抗氧化性亦隨著增加，均呈正向相關**；**糖類則會隨著濃度的增加，旋光度亦呈正向相關(果糖為左旋**除外**)，但抗氧化性則不論左旋或右旋，皆與濃度呈負向相關**。因此，我們建議大眾最好盡量避免高糖飲食，以維健康。

肆、研究架構與流程


決定研究問題
溶液是否具有旋光性與光對旋光溶液的偏折角度
參考文獻
瞭解哪些物質具有旋光性並探討旋光儀的原理
準備各種實驗器材
各種食品器材
準備各種不同溶液
進行實驗
進行具旋光物質之溶液實驗比較
不同光源的比較
不同高度溶液實測
不同溫度溶液實測
不同濃度溶液實測
不同果汁的旋光角度實測
不同茶汁的旋光角度實測
挑選較佳的溶液高度及光源種類
延伸探討旋光與抗氧化的關係
自製旋光儀測出各種溶液旋光偏轉角度概念討論
研究資料整理

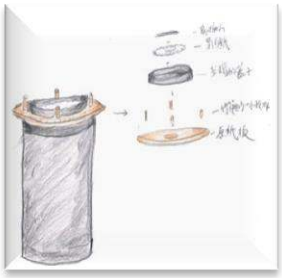
伍、實驗器材設備

實驗器材：
紅、綠雷射筆、照度計、培養皿、博士膜、藍色玻璃紙、滴管、平底試管、偏振片、美工刀、空茶葉罐、波棒、燒杯、量筒、塑膠罐、糖度計、LED 紅、綠、藍、白燈、漏斗、紗布、黑紙、手電筒、鐵、木夾子、酒精燈、三腳架、相機、記錄板、紙、奇異筆、尺、碳鋅電池、電池座、標籤紙、自製旋光儀、熱熔槍、馬桶吸取器。
實驗材料：
砂糖、白糖、冰糖、代糖、果糖、麥芽糖、葡萄糖、乳糖、蜂蜜、可樂、雪碧、番茄汁、芭樂汁、柳橙汁、維他命 C、芬達、紅茶茶葉、綠茶茶葉、烏龍茶茶葉、牛蒡、菊花、普洱茶、阿里山高山茶茶葉、碘液、玉米粉、澱粉指示劑、保麗龍、黏土、米。



第一代自製旋光儀

第二代自製旋光儀



第三代自製旋光儀

第四代自製旋光儀

陸、實驗過程與方法

問題一：**比較不同光源對不同砂糖濃度水溶液旋光反應的影響**

(一)討論：在五年級的觀測太陽單元，我們認識到當光線遇到各種物質時，除了會有反射、還會有穿透、被吸收轉換…等變化，於是給了我們一個靈感，如果我們利用不同光源與改變糖水溶液的不同濃度，對砂糖水溶液旋光角度是否有影響來進行研究。

(二)實驗步驟：

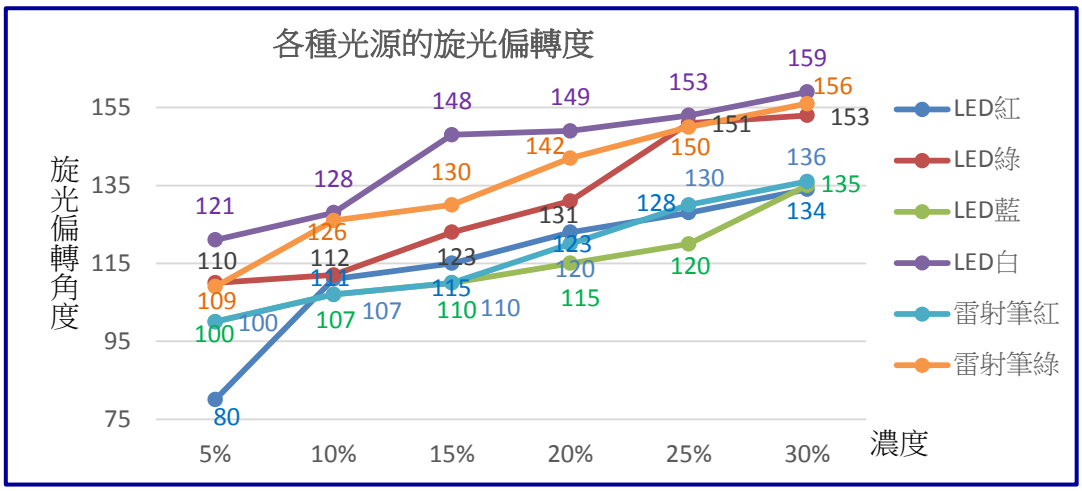
1. 調製 5%～30%濃度的砂糖水。
2. 將糖水裝入訂製的玻璃平底試管，裝至 10cm 的高度。
3. 將試管放入自製儀器內，並在底座放入不同的光源。
4. 旋轉上層的偏光鏡，以照度計測量最亮點時，記下轉盤轉動的角度。

0%到 30%濃度 的砂糖水	自製旋光儀 的上層內部圖	在自製旋光儀 的下層更換光源	轉動自製旋光儀上方 轉盤，觀察偏折情形

（三）實驗結果：

表一比較不同光源對不同砂糖濃度水溶液旋光反應的記錄表

濃度	光源／角度	雷射筆		發光二極體			
		紅光	綠光	藍光	綠光	紅光	白光
5%	1 次	98	109	99	111	80	122
	2 次	100	110	100	110	79	121
	3 次	101	108	100	109	80	119
	平均	100	109	100	110	80	121
10%	1 次	107	127	108	112	111	128
	2 次	107	125	106	113	111	129
	3 次	108	126	107	112	110	127
	平均	107	126	107	112	111	128
15%	1 次	110	131	111	124	115	149
	2 次	110	131	110	123	115	149
	3 次	110	129	109	123	116	147
	平均	110	130	110	123	115	148
20%	1 次	121	142	115	131	123	149
	2 次	120	142	115	130	124	148
	3 次	120	141	116	132	123	150
	平均	120	142	115	131	123	149
25%	1 次	130	150	121	151	128	153
	2 次	130	149	120	152	128	153
	3 次	129	150	119	151	128	152
	平均	130	150	120	151	128	153
30%	1 次	136	155	136	153	134	158
	2 次	137	156	135	152	134	160
	3 次	136	157	134	153	133	159
	平均	136	156	135	153	134	159



圖一 比較不同光源對不同砂糖濃度水溶液的旋光反應比較圖

（四）結果發現：

1. 這六種光源，旋光度實測的結果，都是砂糖水的濃度越高，旋轉的角度便越大；但白色發光二極體(LED)，因變色不規則，因此無法看出確切的最亮點。根據文獻，我們推測可能是因為白光發光二極體並不是單一色光，有較廣的色域，由多種光源組成，因此產生這樣的現象。
2. 光源雖不同，但最亮點大多會在 160˚以下，100˚以上；只有紅光發光二極體低於 100˚。

（五）歸納討論：

1. 因 LED 白光不是單一色光，會變色，所以不考慮；LED 綠光、LED 藍光和雷射筆綠光則是太亮，而沒有辦法使偏振片全黑，因此也不適合；而 LED 紅光、雷射筆紅光亮度適合，觀察顏色變化又最明顯，最適合做為我們問題延續的光源。因此後續我們皆以 LED 紅光、雷射筆紅光，作為延續實驗的光源。

問題二：比較不同高度砂糖水溶液的旋光反應

（一）討論：以前曾做過水的高度不同，視覺上會使筷子彎曲的角度不同的實驗，因此我們有了不同高度的砂糖水溶液，是否也會影響到砂糖水溶液的旋光反應？因此設計了此實驗。

（二）實驗步驟：

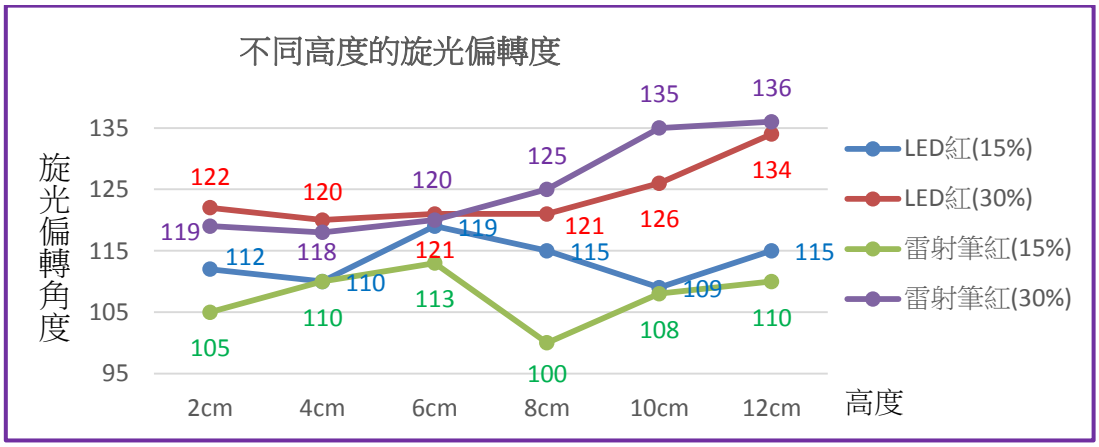
1. 調製 15%、30%濃度的砂糖水，分別倒入 2、4、6、8、10、12 公分溶液於玻璃平底試管。
2. 將試管放進自製旋光儀的上半部的塑膠管中。
3. 將紅光發光二極體及紅光雷射筆，先後放進自製旋光儀的下半部的米桶中測量。
4. 旋轉旋光儀的旋轉盤，記錄每種濃度溶液的最亮點時的角度。
5. 依照上面的步驟，分別完成高度為 2、4、6、8、10、12 公分時，溶液的測量及記錄。

在自製旋光儀的上層 更換不同溶液高度的試管	觀察旋光儀偏振片 紅光的偏轉角度	發光二極體放進 自製旋光儀的下層(米桶)

（三）實驗結果：

表二　比較不同高度砂糖水溶液的旋光反應記錄表

燈源	偏轉角度	糖水高度	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
LED紅	15%	1 次	112	110	118	115	109	116
		2 次	113	110	119	114	108	114
		3 次	111	111	120	115	109	115
		平均	112	110	119	115	109	115
	30%	1 次	122	120	122	121	128	133
		2 次	121	121	120	120	125	134
		3 次	122	120	120	121	125	134
		平均	122	120	121	121	126	134
雷射筆紅	15%	1 次	105	110	113	100	108	110
		2 次	105	111	113	99	110	110
		3 次	104	110	114	101	107	110
		平均	105	110	113	100	108	110
	30%	1 次	119	118	120	125	136	136
		2 次	118	117	120	125	134	135
		3 次	120	118	119	126	135	136
		平均	119	118	120	125	135	136



圖二　比較不同高度砂糖水溶液的旋光反應圖

（四）結果發現：

1. 無論哪一種高度，30%濃度溶液的偏轉角度皆高於 15%的偏轉角度。
2. 高度 12cm 時，二種光源的偏轉角度均較大，區分較明顯。6cm 僅在濃度 15%時，高度大於 12cm，但其區分極不明顯。

（五）歸納討論：

1. 偏轉角度較大，較容易觀察比較，因此可選擇高度 12cm 為後續研究的實驗高度。
2. 雖然最亮點 6cm 時，15%濃度溶液的偏轉角度較 12cm 為高，但其在濃度 15%及 30%時，偏轉角度過於接近，並不容易觀察比較差異，因此 6cm 的高度並不適合考慮。

問題三：比較不同溫度對不同砂糖濃度水溶液旋光反應的影響

（一）討論：之前做實驗時，調配糖水的溶液是利用教室中飲水機溫水 25° C。而有一次，有同學在裝水時，發現水的溫度高達 30 多度，因此我們想到，如果改變糖水的溫度，對旋光度是否會有影響？

（二）實驗步驟：

1. 先調製砂糖糖水，濃度分別為 5%、10%、15%、20%、25%、30%，用酒精燈加熱，達到欲測量溫度(4° C、20° C、40° C、60° C)時，再繼續進行實測。
2. 將不同濃度的糖水，分別裝入 6 支玻璃平底試管，裝至 12cm 高。
3. 將試管放入自製旋光儀上層內，並在底座插入不同的光源(LED 紅光及雷射筆紅)。
4. 旋轉上層的偏光片，直到最亮點時，分別記錄上方轉盤的偏轉角度。
5. 將試管取出，換上其他濃度的糖水試管實測，重複步驟 3 和步驟 4。

大家分工隨時注意糖水溶液的溫度變化	利用酒精燈加熱，達到欲測量溫度時，再進行實測	大家分工進行溫度控制實驗

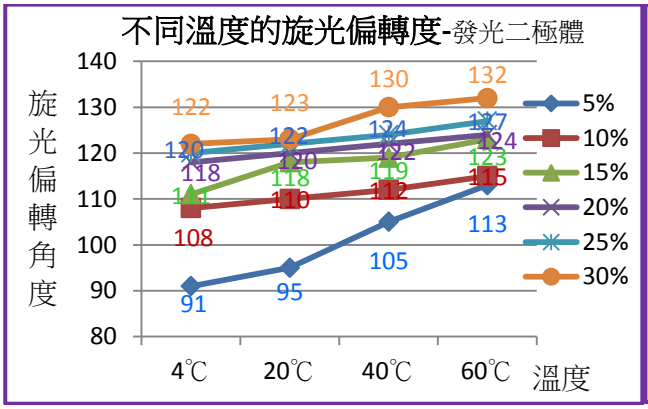
（三）實驗結果：

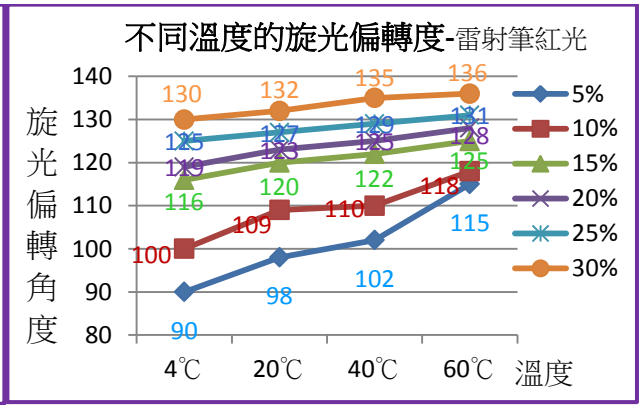
表三-1　比較不同溫度砂糖水溶液的旋光反應記錄表(發光二極體紅光)

濃度 / 旋光 / 溫度 / 角度	4° C				20° C				40° C				60° C			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	91	91	90	91	96	95	94	95	105	105	106	105	113	114	113	113
10%	108	107	109	108	111	110	110	110	112	113	112	112	115	115	115	115
15%	111	111	110	111	118	118	117	118	119	118	120	119	123	124	123	123
20%	118	118	119	118	120	120	121	120	122	121	122	122	124	124	123	124
25%	120	120	120	120	122	120	122	122	124	124	123	124	127	126	127	127
30%	122	121	122	122	123	123	122	123	130	129	130	130	132	132	131	132

表三-2　比較不同溫度砂糖水溶液的旋光反應記錄表(雷射筆紅光)

濃度 旋光 溫度 角度	4° C				20° C				40° C				60° C			
	1次	2次	3次	平均	1次	2次	3次	平均	1次	2次	3次	平均	1次	2次	3次	平均
5%	90	89	90	90	98	98	97	98	102	101	103	102	115	115	114	115
10%	99	100	101	100	109	109	108	109	110	110	111	110	118	118	119	118
15%	115	116	116	116	121	120	120	120	122	122	121	122	125	124	126	125
20%	119	120	119	119	123	123	122	123	125	125	126	125	126	129	129	128
25%	126	124	125	125	127	127	128	127	129	129	128	129	131	130	131	131
30%	129	130	131	130	132	132	131	132	135	134	135	135	136	136	135	136





圖三-1　比較不同溫度砂糖水溶液的旋光反應圖 (左-發光二極體紅光；右-雷射筆紅光)

（四）結果發現：

1. 相同的濃度，溫度遞升，旋光偏轉角度亦有遞升的現象。
2. 相同濃度，4° C 至 60° C，旋光偏轉角度最大可至 25 度。溫度對發光二極體紅光的影響較雷射筆紅光為明顯。

（五）歸納討論：

1. 溫度對旋光偏轉角度有影響，相同的濃度，溫度遞升，旋光偏轉角度亦會隨之遞升，遞昇的幅度不大；僅 4° C 時的旋光偏轉角度影響幅度較大。
2. 若以室溫 25° C 進行旋光偏轉角度的測量比較，雷射筆紅光較發光二極體紅光效果更佳。

問題四：不同糖類水溶液的旋光反應比較

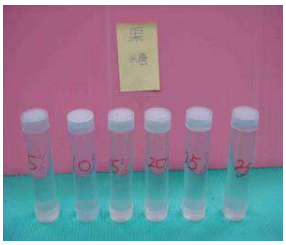
（一）討論：我們生活中有各式各類的糖，而其型態也有不同。如顆粒或大、或小，有些是液態，有些是固態等，也因此我們想到不同類的糖濃度，會不會影響到不同糖類旋光性的偏轉角度，因此藉此實驗來進行比較。

（二）實驗步驟：

1.先調製各種不同類(冰糖、蜂蜜、果糖、麥芽糖、代糖、葡萄糖、乳糖)的糖水，濃度分別

為 5%、10%、15%、20%、25%、30%。

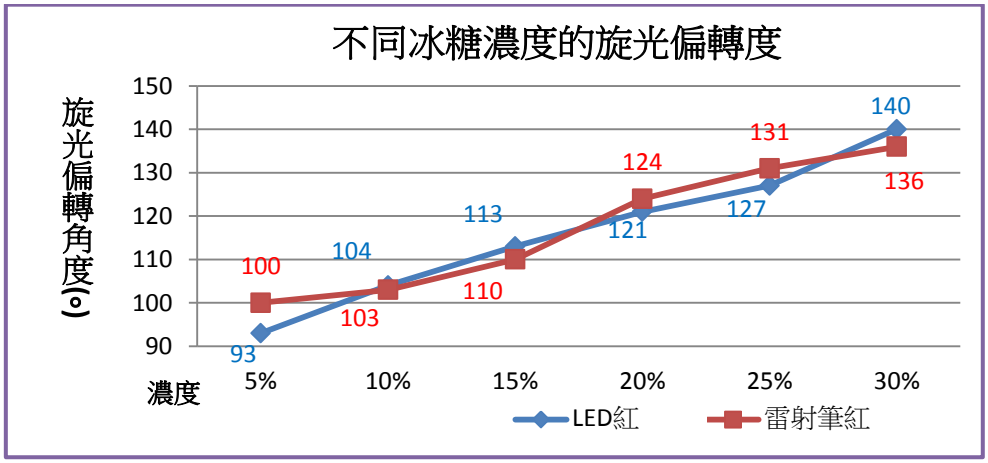
2. 將各類不同濃度的糖水，分別裝入玻璃平底試管，裝至 12cm 高。
3. 將試管放入自製旋光儀上層內，並在底座插入不同的光源(LED 紅光及雷射筆紅光)。
4. 旋轉上層的偏光片，直到最亮點時，分別記錄上方轉盤的偏轉角度。
5. 將試管取出，換上其他濃度的糖水試管實測，重複步驟 3 和步驟 4。
6. 一種糖水完成測量後，再換下一種糖水進行實測。

			
製作裝著濃度 5%-30%的果糖溶液	自製旋光儀的上層內 部圖示-置入試管	自製旋光儀的下層內 部圖示-置入光源	轉動自製旋光儀轉盤 便可測量偏轉角度

（三）實驗結果：

表四-1 不同冰糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

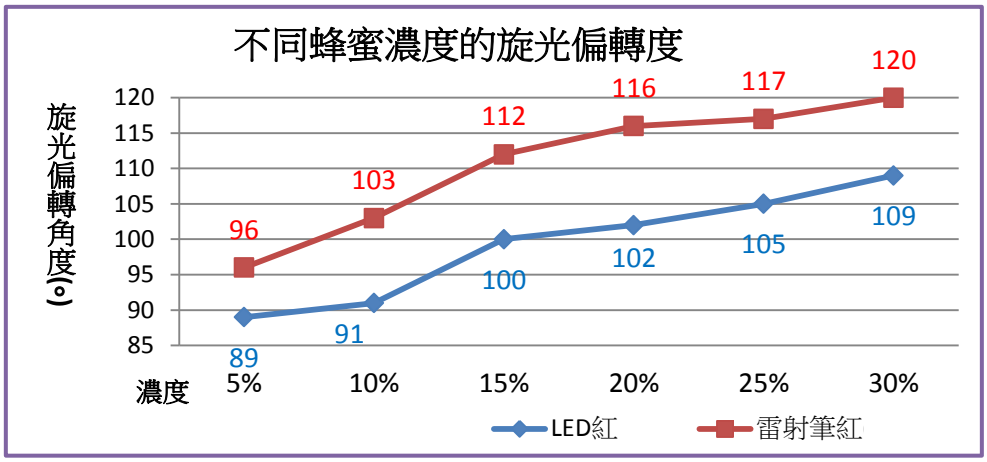
光源 / 偏轉角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	94	93	93	93	101	100	100	100
10%	104	105	103	104	103	102	104	103
15%	114	113	113	113	111	109	110	110
20%	121	122	120	121	123	124	125	124
25%	128	127	127	127	131	131	132	131
30%	140	141	139	140	136	137	135	136



圖四-1 不同冰糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-2 不同蜂蜜濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

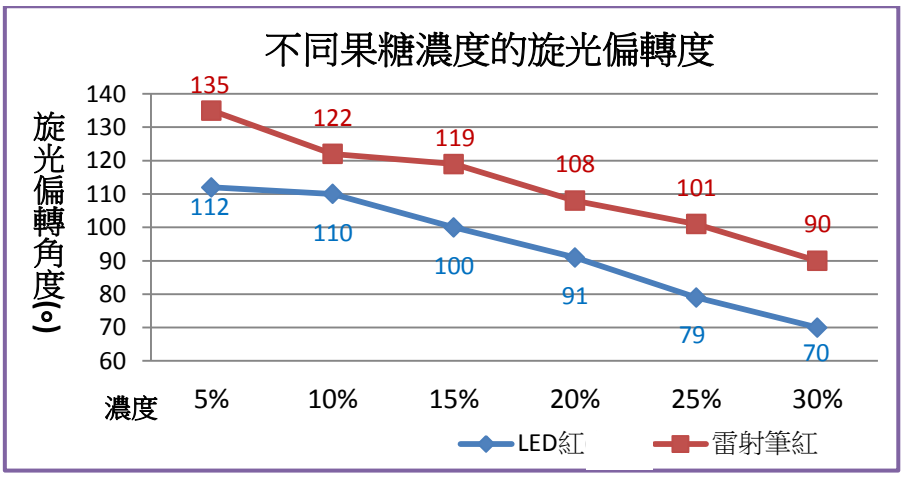
光源偏轉角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	88	89	90	89	97	96	95	96
10%	91	92	90	91	105	102	101	103
15%	100	100	99	100	114	111	111	112
20%	100	101	104	102	117	115	116	116
25%	105	106	104	105	117	117	116	117
30%	109	110	108	109	120	120	119	120



圖四-2 不同蜂蜜濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-3 不同果糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

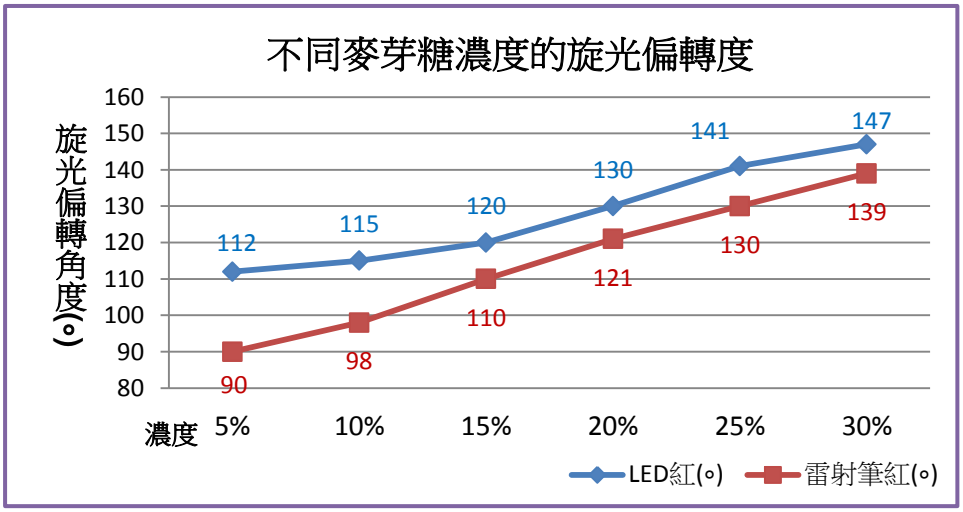
光源偏轉角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	111	113	112	112	136	135	135	135
10%	110	109	111	110	121	124	122	122
15%	100	100	101	100	120	118	119	119
20%	90	92	91	91	107	109	108	108
25%	80	78	80	79	99	102	102	101
30%	70	69	70	70	90	89	90	90



圖四-3 不同果糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-4 不同麥芽糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

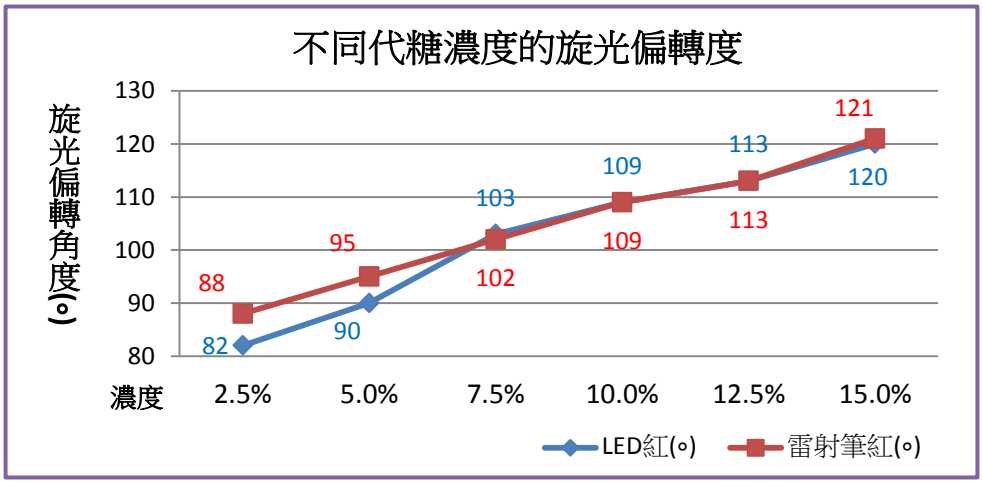
光源 偏轉 角度 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	111	112	112	112	90	90	89	90
10%	117	114	116	115	97	98	98	98
15%	121	120	120	120	111	112	109	110
20%	130	129	130	130	121	122	120	121
25%	140	142	141	141	129	130	131	130
30%	147	146	148	147	138	139	141	139



圖四-4 不同麥芽糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-5 不同代糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

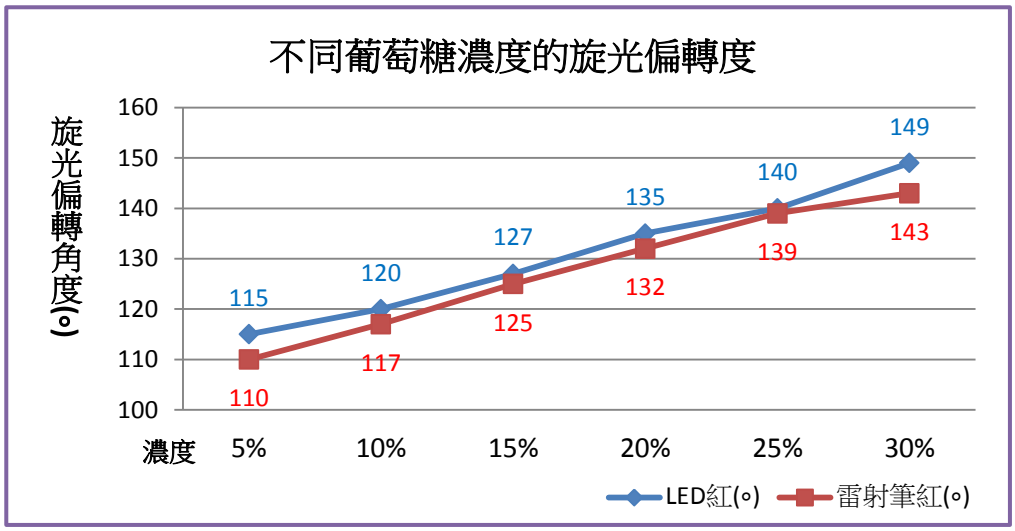
光源 / 偏轉角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2.5%	81	83	82	82	88	87	89	88
5.0%	89	91	91	90	95	95	95	95
7.5%	102	103	104	103	104	101	101	102
10.0%	110	109	108	109	108	108	111	109
12.5%	112	113	113	113	113	114	113	113
15.0%	121	120	120	120	121	120	121	121



圖四-5 不同代糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-6 不同葡萄糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

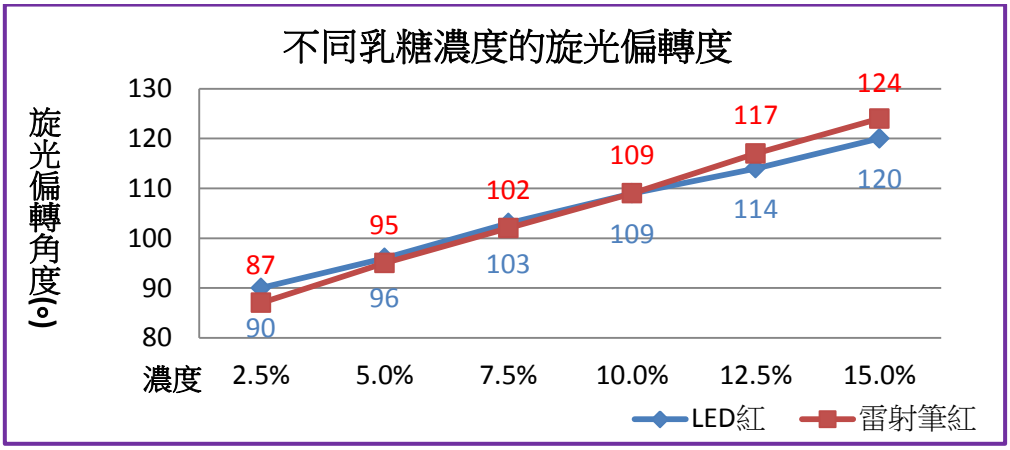
光源 / 偏轉角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	115	116	115	115	111	109	110	110
10%	119	121	120	120	117	117	116	117
15%	127	127	126	127	124	125	126	125
20%	135	135	135	135	132	131	133	132
25%	141	141	139	140	138	140	139	139
30%	149	149	148	149	143	143	142	143



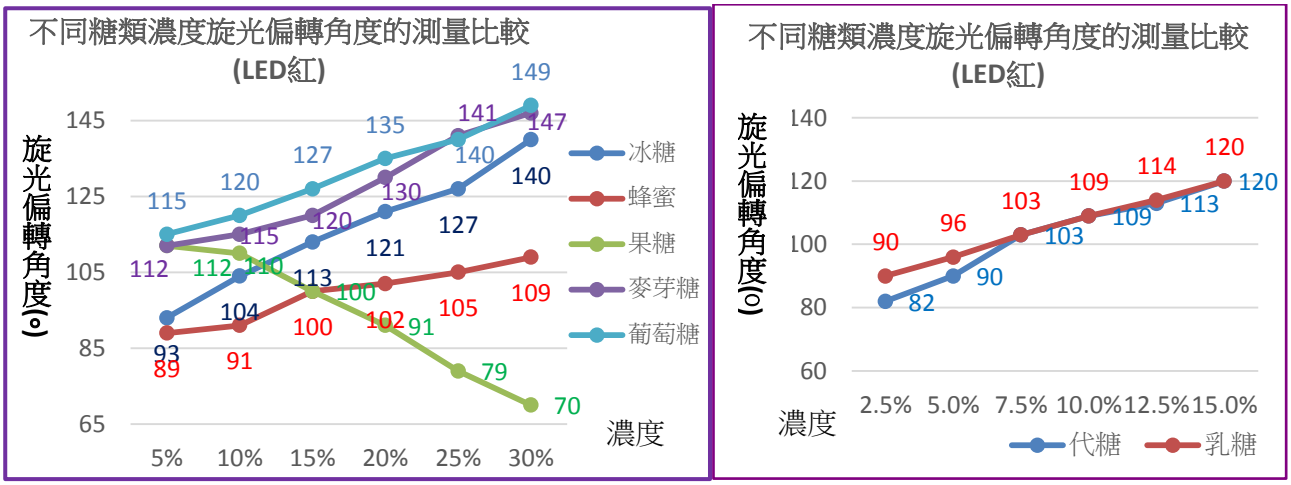
圖四-6 不同葡萄糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖

表四-7 不同乳糖濃度旋光偏轉角度的測量比較記錄表

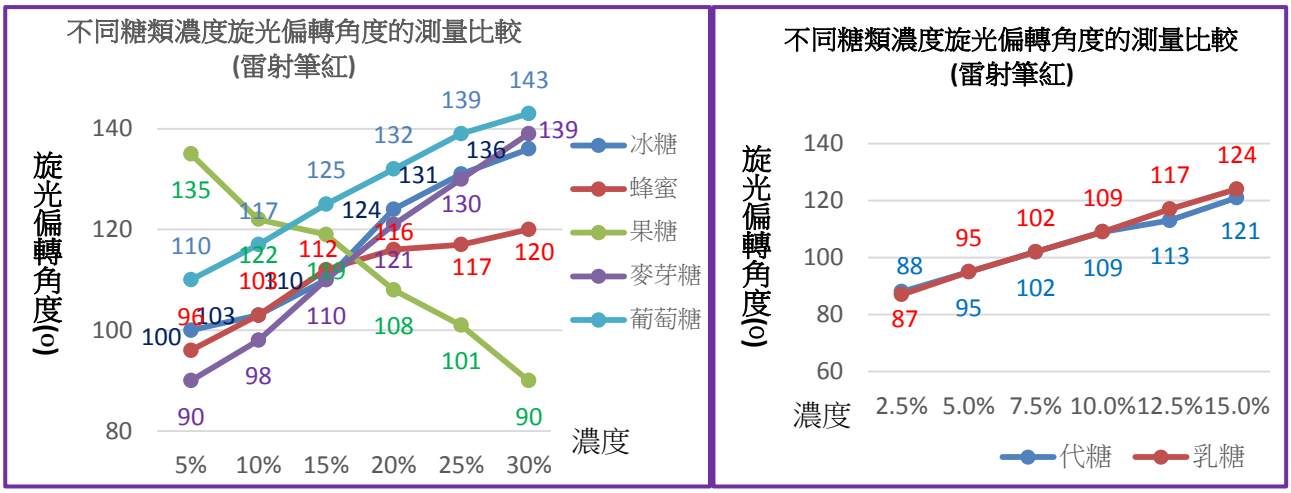
光源 偏轉 角度 / 濃度	LED 紅(。)				雷射筆紅(。)			
	1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2.5%	89	90	90	90	86	87	87	87
5.0%	97	96	95	96	94	95	96	95
7.5%	102	103	104	103	101	103	102	102
10.0%	109	109	109	109	108	109	109	109
12.5%	114	114	114	114	118	117	116	117
15.0%	119	120	121	120	125	124	124	124



圖四-7 不同乳糖濃度旋光偏轉角度的測量比較圖



圖四-8 不同糖類濃度旋光偏轉角度的測量比較圖(LED 紅)



圖四-9 不同糖類濃度旋光偏轉角度的測量比較圖(雷射筆紅)

（四）結果發現：

1. 蜂蜜和果糖因為純度不夠，以糖度計測量濃度時，發現以數學濃度計算，部分濃度誤差頗大，因此必須增減蜂蜜及果糖，再輔以糖度計測量時，濃度才能到達標準的濃度。
2. 所有的糖類溶液偏轉角度，均為濃度愈高，偏轉角度愈大；僅果糖的濃度愈高，旋光偏轉角度反而有逐漸下降的趨勢，推測可能是因為它的旋光性很特別。
3. 實驗過程中發現，糖水溶液濃度每 5%變化時，旋光偏轉度的變化差距夠大，容易測量。
4. 代糖因為濃度極高，在 15%以上就一直無法溶解，且放一陣子就會沉澱，因此我們將濃度減半進行觀察比較實驗，效果仍不錯，數據也很明顯。
5. 葡萄糖的數據增長非常穩定，LED 紅的數據比雷射筆紅的高，但增加的不多。
6. 根據文獻資料，麥芽糖內含糖的純度為 84.1，但因為麥芽糖是黏稠的固狀，在溶解麥芽糖時很費力，因此也較難控制麥芽糖的量。
7. 乳糖兩種燈源的旋光偏轉度都很接近，數據的趨勢也很標準，但乳糖因為較濃稠，濃度在 20%就飽和了，因此乳糖與代糖處理方式相同，用量減半觀察比較，數據仍很明顯。

8. 葡萄糖與乳糖的實驗結果，數據最接近呈一直線，且旋光偏轉角度最明顯，我們推測是因為所使用的葡萄糖與乳糖為試藥級，純度較高，結果最明顯，間接證明我們自製的旋光儀極具實用性及精準性。

（五）**歸納討論：**

1. 經實驗結果發現，以我們自製的旋光儀測量糖水溶液的旋光偏轉度，不論是使用 LED 紅或雷射筆紅為光源，不同濃度糖水溶液都可以使經過偏振片之光產生偏折。且濃度每 5% 變化時，旋光偏轉度的變化差距夠大且大致平均，因此很方便進行實驗測量。
2. 根據文獻資料，我們瞭解了砂糖內含有單糖、雙糖之成份；冰糖是由砂糖高溫提煉，萃取其單糖自然結晶製成，固純度很高；蔗糖原汁的成分超過 99.9%；純度高的冰糖甜度雖較低，但效果仍好。因此，我們推測純度高的糖類，旋光率的增長較明顯。
3. 根據實驗結果及參考文獻資料知道，冰糖為具有「右」旋性的旋光性物質，當冰糖濃度越大時，光經過冰糖水溶液所產生的向右偏折的角度就越大，而且呈正比例關係。
4. 根據文獻資料我們瞭解了蜂蜜是糖的過飽和溶液，純蜂蜜為具有「右」旋性的旋光性物質，攝氏 10~15 度時容易產生結晶，生成結晶的是葡萄糖，不產生結晶的部分主要是果糖。當加熱時結晶又會重新變回液體。蜂蜜的結晶屬於正常現象，而不同的蜂蜜因蜜蜂所採集的花蜜不同，因此結晶情況和條件也不一樣。目前市場上流通的蜂蜜特別是超市專賣店的蜂蜜一般都為人工濃縮蜂蜜，使得葡萄糖含量少或破壞了結晶核，使得其很難結晶。因此，蜂蜜裡含有葡萄糖和果糖，純度並不高，而從圖四-8 左及圖四-9 左中，可明顯看出蜂蜜因純度不高，在旋光偏轉角度的反應亦最小，再次證明我們自製的旋光儀測量結果與理論符合。
5. 根據文獻資料，果糖是甜度最高的天然糖，一般認定是蔗糖的 1.73 倍。在實驗時，我們發現果糖本身的濃度並不是純的，因此要用糖度計先行檢測，調整果糖的濃度。而實驗結果，果糖數據呈現漸降的現象，初始我們懷疑檢測錯誤；後經查閱文獻發現，果糖因具左旋性特質，因此其旋光偏轉角度將隨濃度增高而遞降，顯見實測結果仍是正確的。
6. 葡萄糖不僅是糖類的分解物，更是植物光合作用的產物，用途廣泛，甜度中等，易被人體吸收，具右旋光性，實驗的結果極接近標準值一直線，應和是試藥一級葡萄糖有關係。
7. 乳糖的飽和濃度也很低，牛乳的成分，佔了 2~8%，靜置一段時間後就會沉澱，甜度只有蔗糖的五分之一。與葡萄糖一樣，實驗的結果極接近標準值一直線，應和也是試藥一級乳糖有關係。
8. 當糖水溶液濃度越高時，產生旋光偏折的角度就越大，且幾乎都呈往右上斜直線正比(果

糖除外，因果糖為左旋)現象。因此我們可以得證：糖水溶液使光偏折的旋光度大小與糖的濃度有關。

問題五：不同飲料的旋光反應比較

（一）討論：同學普遍喜歡市面上販售的含糖飲料，因此我們選擇日常生活常用六種飲料來進行實驗，探討飲料裡的糖是否也會影響到旋光偏轉角度。

（二）實驗方法：

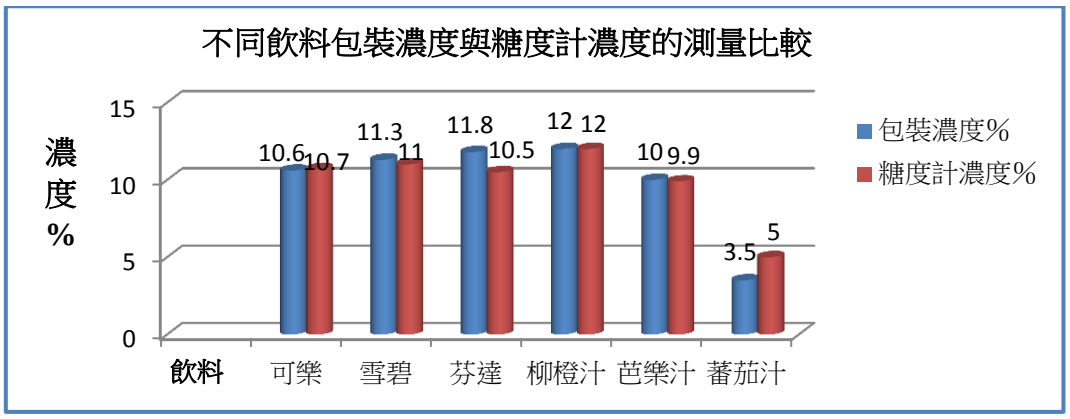
1. 選用六種飲料(可樂、雪碧、芬達、柳橙汁、芭樂汁、番茄汁)，並計算包裝上濃度及實際以糖度計測試濃度，進行檢驗比較。
2. 選用兩種光源-LED 燈(紅)與雷射筆(紅)光放置自製旋光儀下方的米筒內。
3. 將六種飲料分別倒入玻璃平底試管至 12 公分的高度，放入自製旋光儀的上部進行測量。
4. 記下上方轉盤的角度，並詳實記錄。
5. 將試管取出，更換其他種類的飲料試管，重複步驟 3 及步驟 4。

各種不同的市售飲料	以糖度計檢測各種飲料中，糖的濃度	裝了各種不同飲料的平底試管-12cm 高	轉動自製旋光儀的轉盤，測量旋光偏轉度

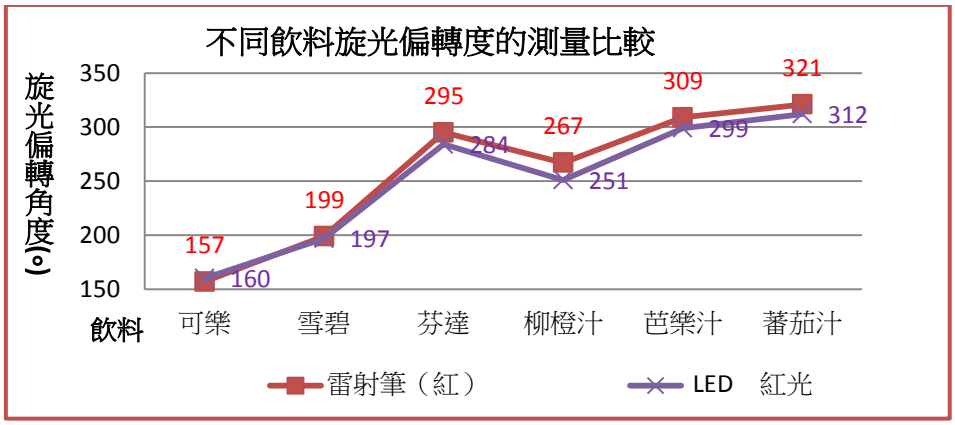
（三）實驗結果：

表五不同飲料的旋光偏轉角度測量比較記錄表

飲料	包裝濃度	糖度計	光源 / 偏轉角度 / 飲料	雷射筆（紅）				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
可樂	10.6%	10.7%	可樂	156	157	157	157	160	160	160	160
雪碧	11.3%	11.0%	雪碧	200	200	197	199	198	195	197	197
芬達	11.8%	10.5%	芬達	295	294	295	295	284	284	284	284
柳橙汁	12.0%	12.0%	柳橙汁	266	267	267	267	252	250	251	251
芭樂汁	10.0%	9.9%	芭樂汁	309	308	310	309	300	299	299	299
番茄汁	3.5%	5.0%	番茄汁	321	321	320	321	311	313	312	312



圖五-1 不同飲料包裝濃度與糖度計濃度的測量比較圖



圖五-2 不同飲料的旋光偏轉角度測量比較圖

（四）結果發現：

1. 經比較測量結果，芬達、柳橙汁、芭樂汁、番茄汁的偏轉角度都高，而可樂和雪碧的偏轉角度較低。
2. 包裝上所寫的糖濃度，與糖度計所測得的濃度均算接近，只有芬達與番茄汁有 1.3%以上的誤差。

（五）歸納討論：

1. 芬達，柳橙汁，芭樂汁，番茄汁的數據都很高，而可樂和雪碧的數據較低，我們推論可能是可樂和雪碧主成分是碳酸和糖，而其他四種飲料則可能是因為含有水果汁，具左旋特質，因此旋光偏轉角度較大。
2. 如果將這六種飲料分二大類來看：碳酸飲料可樂和雪碧，雪碧糖濃度較高，因此旋光偏轉角度較大。另一類芬達，柳橙汁，芭樂汁，番茄汁等四種飲料，因其中均含有果糖成份，其結果若以果糖左旋特性來看，糖濃度愈高偏轉角度愈小，則完全符合四種飲料的糖濃度檢測結果。

問題六：不同茶種的抗氧化性與旋光反應比較

（一）討論：茶葉中有許多物質，其中的茶多酚，又稱兒茶素，具有抗氧化的作用。因此，我們想以自製的旋光儀檢測各種常喝茶品的旋光度，並以直接碘量法進行該茶品的抗氧化實驗，觀察比較不同茶品濃度的抗氧化性與旋光偏轉角度是否具相關性。

（二）實驗方法：

1. 茶飲旋光偏轉度檢測

（1）以濃度計先調製出各種濃度的茶飲(紅茶、綠茶、烏龍茶、普洱茶、菊花茶、阿里山高山茶)溶液，濃度分別為 2%、4%、6%、8%、10%、12%。

（2）將試管放入自製旋光儀內，旋轉上層的偏光鏡，記下上方轉盤的旋轉角度。

（3）將試管取出，換上其他濃度的茶飲試管，重複步驟（2）。

2. 直接碘量法

（1）製作澱粉指示劑：秤 8g 玉米粉放入燒杯，倒入 400ml 的純水，加熱攪拌至沸騰後，靜置使其自然冷卻。

（2）將 10ml 澱粉指示劑以及 10ml 茶品混合倒入培養皿，用碘液滴定直到深藍色(以照度計測量)為止，計算滴入的碘液滴數。

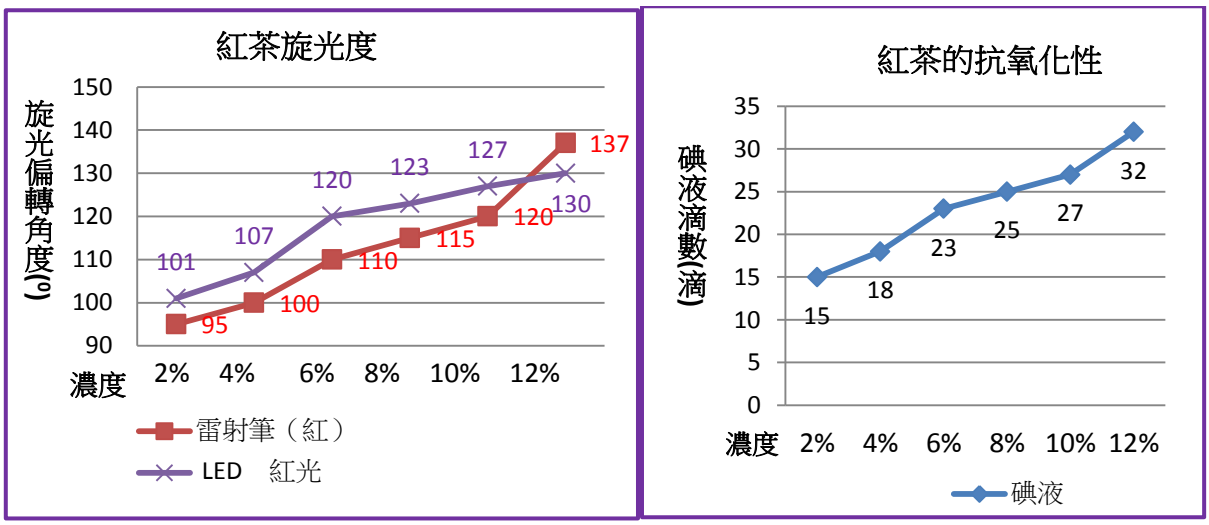
（3）直接碘量法是利用 I_2的氧化性和 I^-的還原性為基礎的一種氧化還原方法。當滴入的碘液數愈多，代表抗氧化性愈強。

製作澱粉指示劑	以電子秤量稱綠茶	將烏龍茶葉以濃度分配	以濃度計檢測茶飲濃度

（三）實驗結果：

表六-1 紅茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

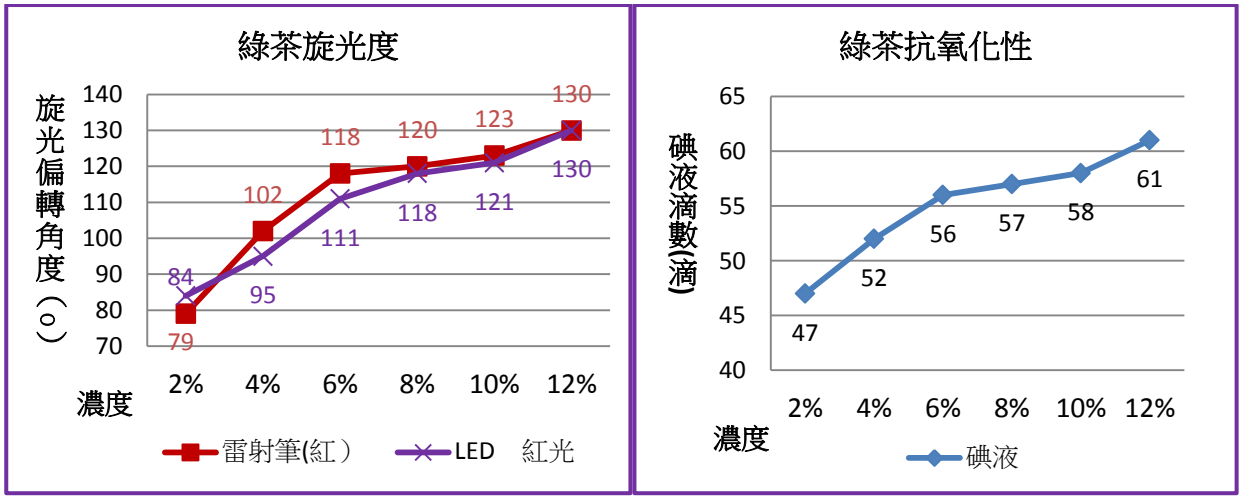
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	0.2	15	2%	95	95	95	95	100	99	103	101
4%	1.0	18	4%	100	101	99	100	106	108	107	107
6%	1.8	23	6%	111	110	109	110	119	120	121	120
8%	2.0	25	8%	114	115	115	115	123	122	123	123
10%	2.3	27	10%	120	119	120	120	125	129	127	127
12%	2.5	32	12%	136	137	137	137	131	129	129	130



圖六-1 紅茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表六-2 綠茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

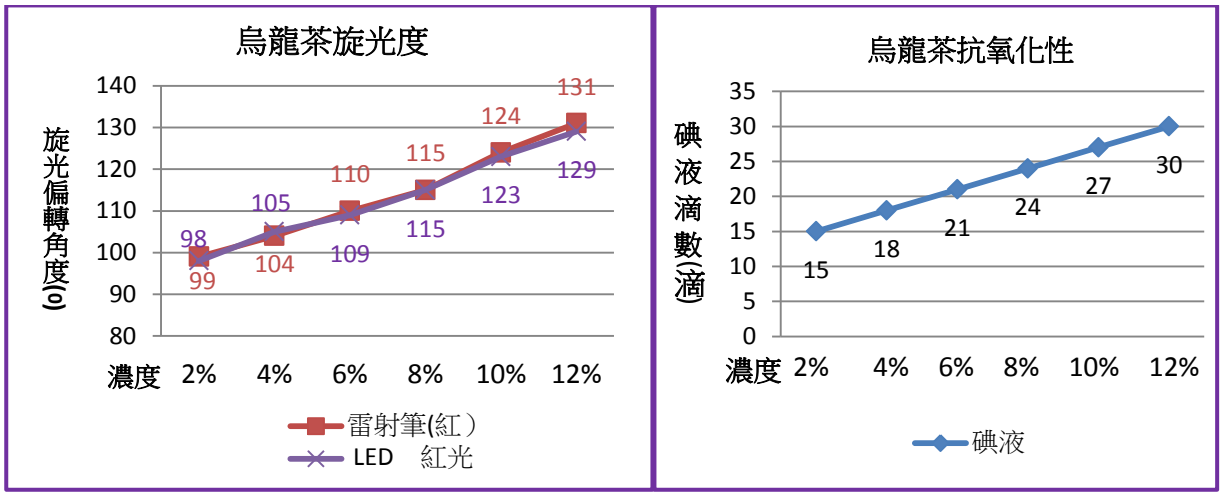
抗氧化性 濃度	濃度計 (%)	碘液 (滴數)	光源 濃度	雷射筆(紅）				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	0.1	47	2%	78	79	79	79	83	85	84	84
4%	0.7	52	4%	102	102	101	102	94	95	96	95
6%	1.2	56	6%	118	119	117	118	111	110	112	111
8%	1.7	57	8%	121	121	118	120	118	118	118	118
10%	2.2	58	10%	124	123	122	123	120	122	121	121
12%	3.7	61	12%	130	129	131	130	131	131	129	130



圖六-2 綠茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表六-3 烏龍茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

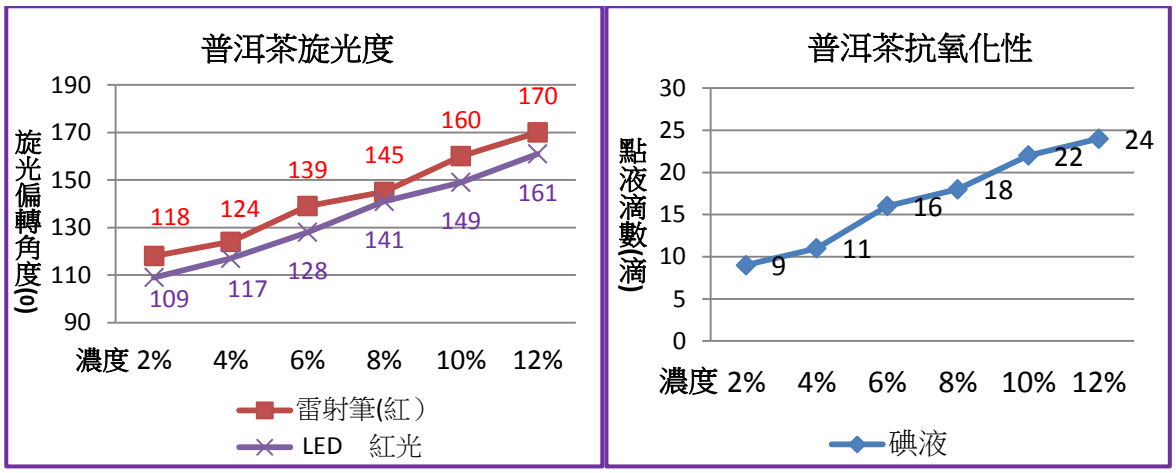
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	0.0	15	2%	98	98	100	99	98	96	100	98
4%	0.1	18	4%	102	106	105	104	104	106	105	105
6%	0.2	21	6%	111	109	110	110	109	111	107	109
8%	0.2	24	8%	114	115	115	115	116	115	115	115
10%	0.4	27	10%	124	125	124	124	125	123	121	123
12%	0.7	30	12%	131	130	133	131	130	129	129	129



圖六-3 烏龍茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表六-4 普洱茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

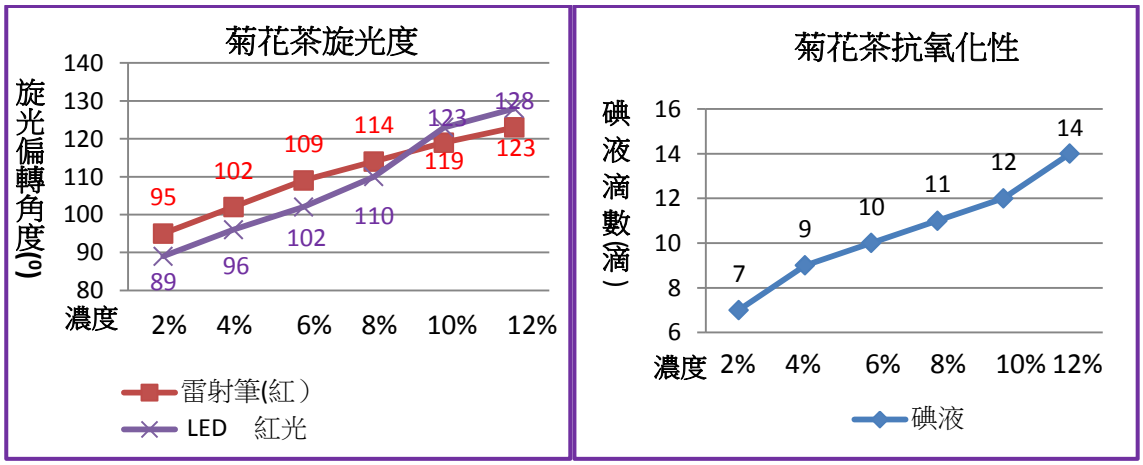
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	0.0	9	2%	117	118	118	118	110	109	109	109
4%	0.0	11	4%	123	124	124	124	117	117	117	117
6%	0.3	16	6%	139	139	140	139	127	128	130	128
8%	0.5	18	8%	145	145	145	145	140	141	141	141
10%	0.8	22	10%	161	160	160	160	148	148	150	149
12%	1.0	24	12%	169	171	171	170	162	160	160	161



圖六-4 普洱茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表六-5 菊花茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

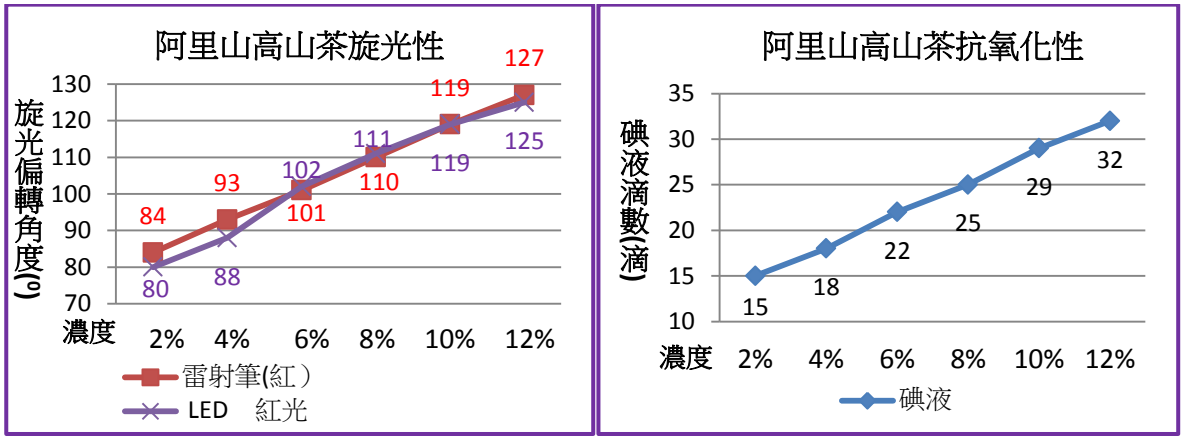
抗氧化性 濃度	濃度計 (%)	碘液 (滴數)	光源 濃度	雷射筆(紅）				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	1.0	7	2%	94	95	96	95	88	89	90	89
4%	1.1	9	4%	103	102	101	102	97	95	96	96
6%	1.4	10	6%	109	110	108	109	101	102	102	102
8%	1.7	11	8%	114	114	115	114	111	111	108	110
10%	1.9	12	10%	119	120	118	119	123	123	123	123
12%	2.3	14	12%	123	123	124	123	129	127	128	128



圖六-5 菊花茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表六-6 阿里山高山茶抗氧化性與旋光度的測量記錄表

抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
2%	0.2	15	2%	84	84	84	84	79	80	81	80
4%	0.4	18	4%	93	94	93	93	87	88	89	88
6%	1.0	22	6%	103	99	100	101	101	103	102	102
8%	1.1	25	8%	109	110	111	110	111	111	111	111
10%	1.6	29	10%	120	119	118	119	119	119	120	119
12%	1.7	32	12%	126	128	127	127	125	125	125	125

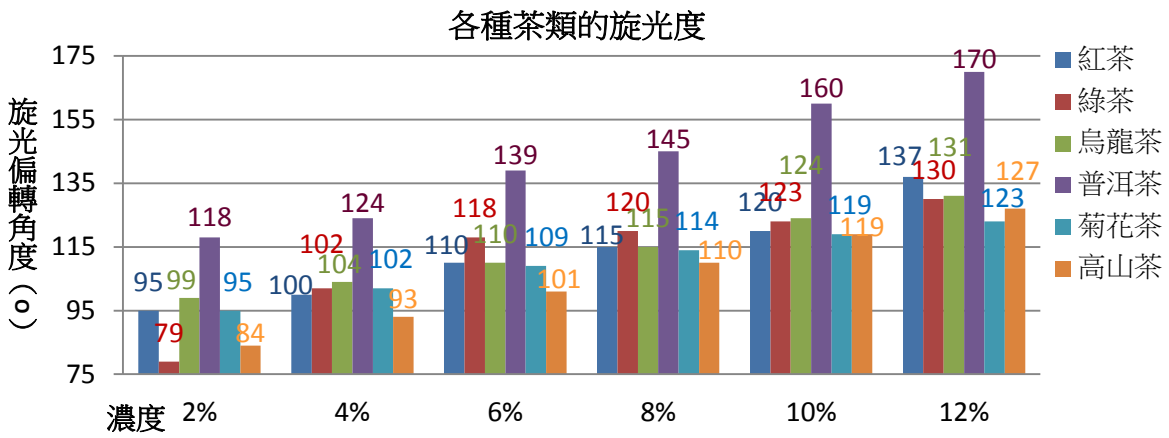


圖六-6 阿里山高山茶旋光度與抗氧化性的測量比較圖

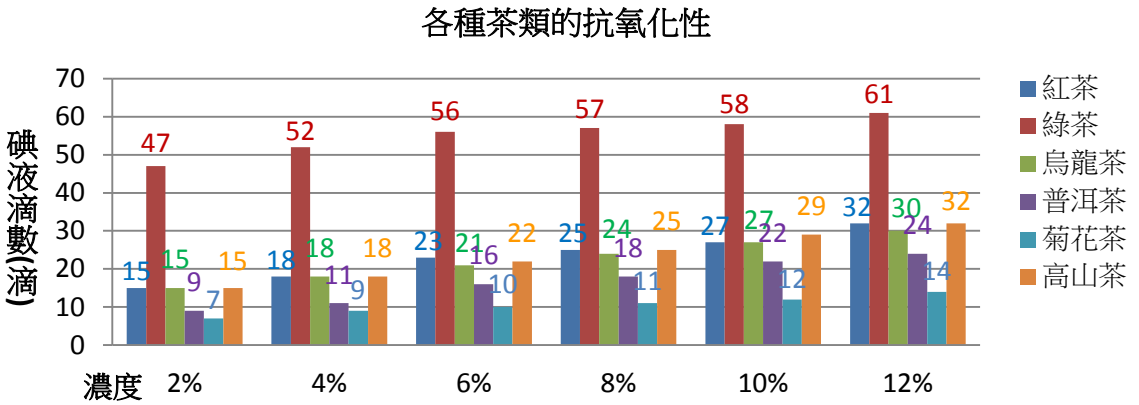
（四）結果發現：

1. 紅茶的旋光偏轉角度穩定的逐步上升，碘液滴數也緩緩上升。綠茶的旋光偏轉度上升的數值較不穩定，但碘液滴數多，抗氧化性非常好。烏龍茶的旋光度較穩定，抗氧化性的數據增長很均勻穩定。普洱茶的旋光偏轉度及抗氧化性，數據增加的速度也很穩定。菊花茶的旋光度有緩緩增加，頗規則，但抗氧化性數據不高。阿里山高山茶的旋光偏轉度及抗氧化性，數據增加的速度二者皆穩定。整體比較碘液滴定數量，菊花茶的滴數偏低，抗氧化性明顯較不理想。
2. 經實驗結果發現，以我們自製的旋光儀測量，各種茶葉只要濃度越濃，不論光源是雷射筆紅光還是 LED 紅光，旋光偏轉角度就會越大；而各種茶葉濃度越濃，抗氧化的效果也越好；旋光偏轉角及抗氧化力均具有隨茶葉濃度增加而增高的趨勢。
3. 一般茶類飲品普遍均有不錯的抗氧化力，茶葉的濃度越高，其抗氧化力也跟著提高，尤其綠茶效果最好。

（五）歸納討論：



圖六-7　各種茶類不同濃度旋光度之比較圖



圖六-8　各種茶類不同濃度抗氧化性之比較圖

1. 當各種茶溶液濃度增高時，旋光偏轉角度都有增加的現象。因此可以推論，各種茶溶液使光偏折的旋光角度大小與茶水的濃度有關。
2. 由直接碘量法實驗的數據發現，當各種茶溶液濃度越高時，溶液顏色變成深藍色所需碘液的滴數也越多。因此可以推論，茶的抗氧化力與茶的濃度有關。
3. 根據文獻資料我們知道，直接碘量法是一種氧化還原滴定的方法，是利用碘分子與抗氧化劑反應後會還原成無色的碘離子，而當抗氧化劑已完全與碘分子反應時，再滴入的碘分子就無法再還原成無色的碘離子，而會與澱粉指示劑反應呈現深藍色的特性，因此，可計算滴入碘液的數量，推論出溶液中抗氧化劑的多寡。從實驗結果發現，我們滴入的碘液數量隨著各種茶溶液濃度增高而增加，代表溶液中的抗氧化劑也隨濃度增高而增加；而以我們自製的旋光儀測得的旋光度也是隨濃度增加而變大。因此我們可以推論：當各種茶溶液濃度增加，相對即增加抗氧化劑，也增加了具有旋光性物質的數量。因此以旋光偏轉角度推論各種茶抗氧化力的多寡，證明也是可以使用的方法。

問題七：不同糖類的抗氧化性與旋光反應比較

（一）討論：藉由自製旋光儀可以瞭解茶類的濃度越高，抗氧化力也越高；那麼糖類溶液隨著濃度增高時，抗氧化力會有什麼現象呢？

（二）實驗方法：

1. 各種糖類旋光偏轉度檢測

（1）以濃度計先調製出各種濃度的糖水(砂糖、冰糖、果糖、蜂蜜、方糖)溶液。

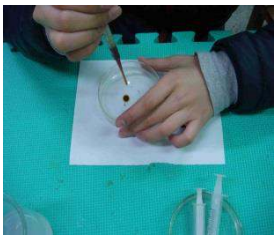
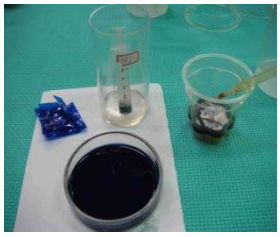
（2）將試管放入自製旋光儀內，旋轉上層的偏光鏡，記下上方轉盤的角度。

（3）將試管取出，換上其他濃度的糖水試管，重複步驟（2）。

2. 直接碘量法

（1）製作澱粉指示劑：秤 8g 玉米粉放入燒杯，倒入 400ml 的純水，加熱攪拌至沸騰後，靜置使其自然冷卻。

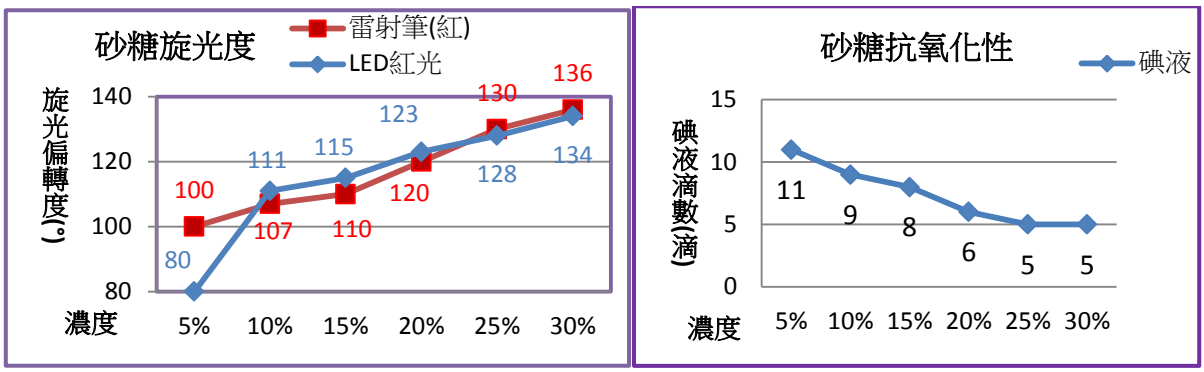
（2）將 10ml 澱粉指示劑以及 10ml 糖水混合倒入培養皿，用碘液滴定直到深藍色為止，計算滴入的碘液滴數。

			
直接碘量法的過程	以電子秤 量稱冰糖的過程	準備各種 不同濃度的糖水	進行砂糖 抗氧化的實驗

（三）實驗結果：

表七-1 砂糖抗氧化性與旋光度的測量記錄表

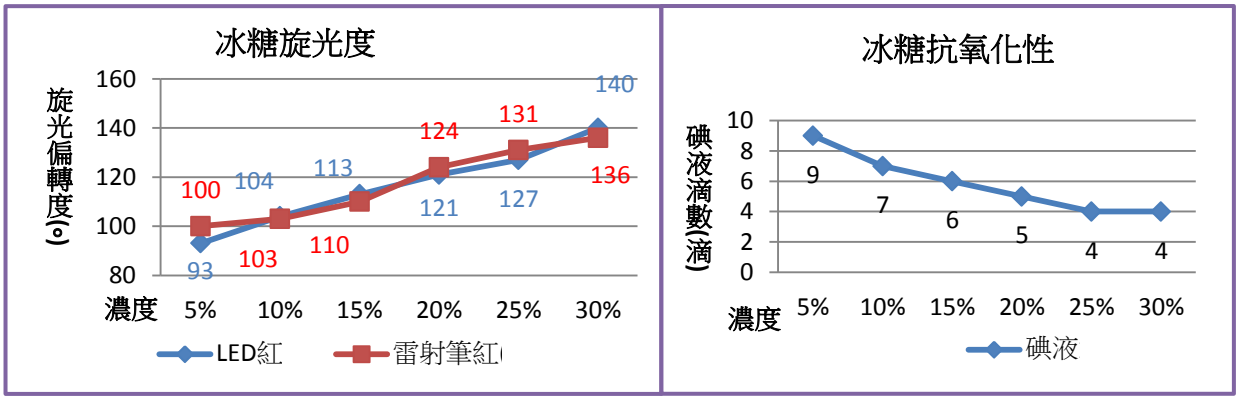
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	5.0	11	5%	100	99	101	100	79	80	80	80
10%	9.7	9	10%	107	106	107	107	111	113	109	111
15%	14.8	8	15%	112	110	108	110	115	115	115	115
20%	19.6	6	20%	119	120	120	120	123	124	122	123
25%	24.7	5	25%	129	130	130	130	127	128	128	128
30%	29.6	5	30%	138	134	135	136	135	134	134	134



圖七-1　砂糖旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表七-2 冰糖抗氧化性與旋光度的測量記錄表

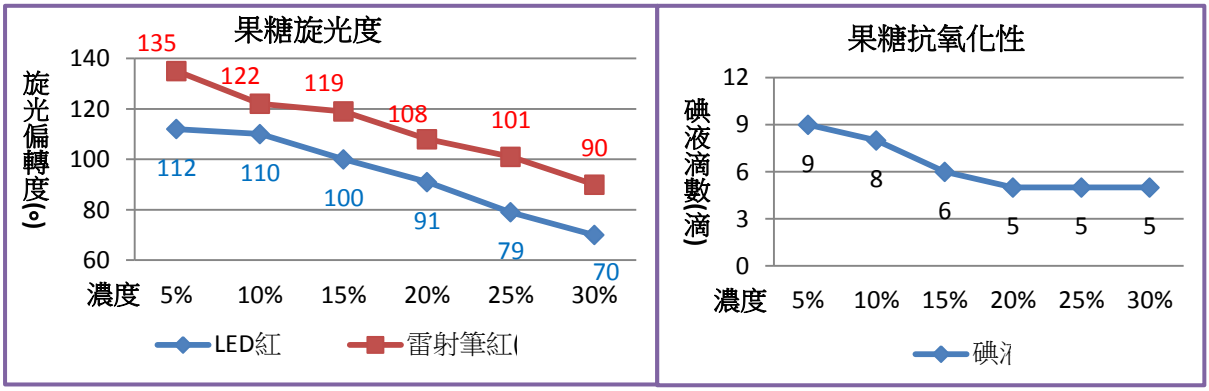
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	5.7	9	5%	99	99	102	100	93	93	93	93
10%	10.9	7	10%	104	102	103	103	104	103	104	104
15%	14.3	6	15%	109	110	110	110	112	114	113	113
20%	19.7	5	20%	125	123	122	124	121	122	120	121
25%	24.7	4	25%	131	131	130	131	126	126	128	127
30%	29.6	4	30%	136	136	135	136	140	140	139	140



圖七-2 冰糖旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表七-3 果糖抗氧化性與旋光度的測量記錄表

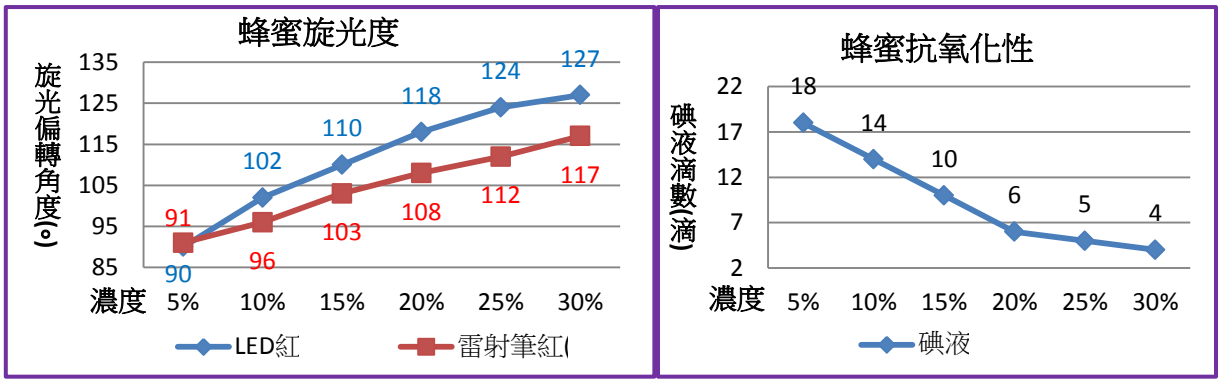
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	6.7	9	5%	135	135	135	135	111	112	112	112
10%	10.3	8	10%	120	123	123	122	110	110	109	110
15%	15.3	6	15%	119	119	118	119	100	100	99	100
20%	19.3	5	20%	107	108	109	108	90	90	93	91
25%	25.4	5	25%	101	103	99	101	80	79	79	79
30%	30.0	5	30%	90	89	90	90	70	70	70	70



圖七-3 果糖旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表七-4 蜂蜜抗氧化性與旋光度的測量記錄表

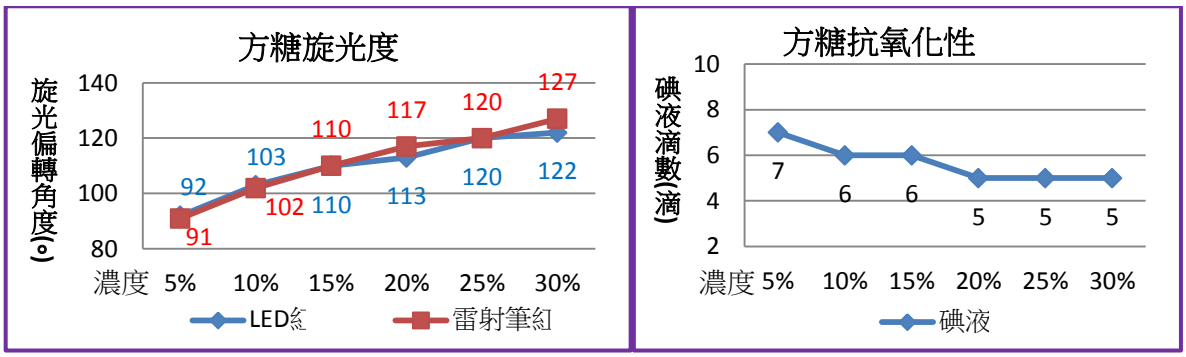
抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	5.8	18	5%	90	91	92	91	90	90	89	90
10%	10.8	14	10%	96	96	95	96	101	102	102	102
15%	14.1	10	15%	103	103	102	103	110	109	110	110
20%	19.7	6	20%	107	108	108	108	117	118	118	118
25%	23.9	5	25%	112	111	112	112	125	123	124	124
30%	28.7	4	30%	116	117	118	117	126	125	129	127



圖七-4 蜂蜜旋光度與抗氧化性的測量比較圖

表七-5 方糖抗氧化性與旋光度的測量記錄表

抗氧化性濃度	濃度計(%)	碘液(滴數)	光源濃度	雷射筆(紅)				LED 紅光			
				1 次	2 次	3 次	平均	1 次	2 次	3 次	平均
5%	6.4	7	5%	90	91	91	91	92	92	91	92
10%	11.9	6	10%	102	102	101	102	102	103	103	103
15%	15.6	6	15%	110	109	111	110	109	110	110	110
20%	20.2	5	20%	117	117	117	117	112	113	113	113
25%	24.8	5	25%	119	120	120	120	120	119	120	120
30%	29.1	5	30%	126	127	128	127	121	124	122	122

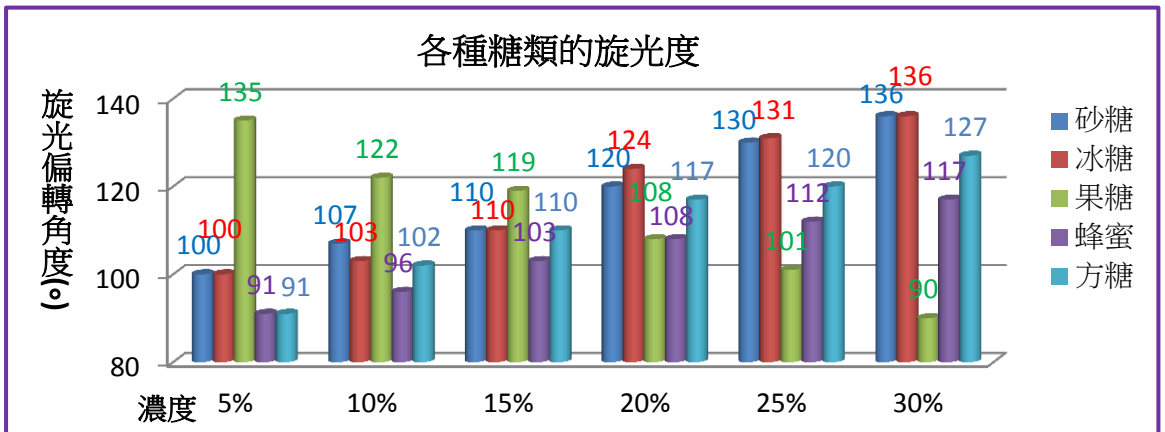


圖七-5 方糖旋光度與抗氧化性的測量比較圖

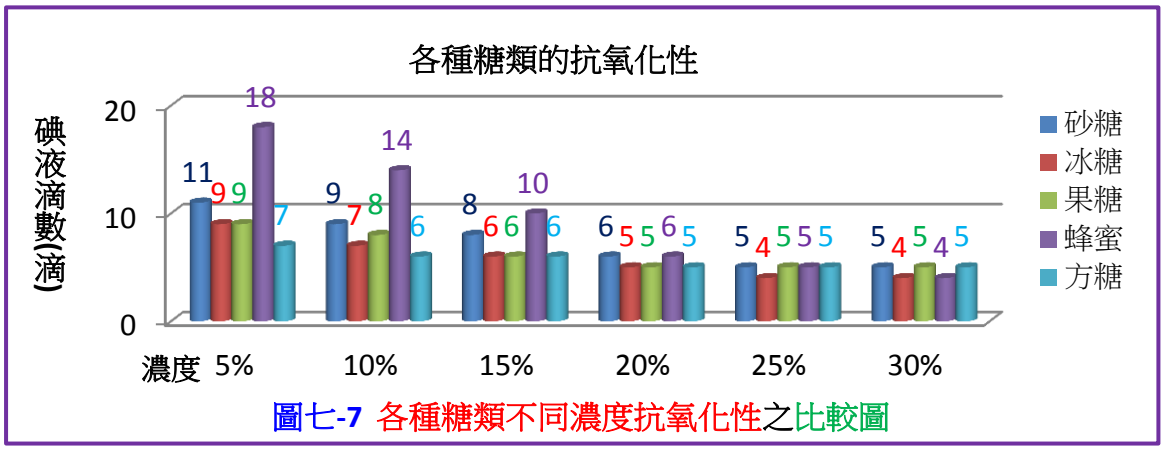
（四）結果發現：

1. 以重量加上計算製成的各類糖溶液濃度，與使用糖度計檢測比對時，數據上仍有誤差。
2. 經實驗結果發現，當砂糖、冰糖、蜂蜜、方糖等四種溶液濃度增高時，旋光偏轉角度亦隨之增大；但使溶液顏色變成深藍色時所需的碘液滴數，卻逐漸減少，表示抗氧化力下降。砂糖和冰糖在濃度 25%之後，碘液滴數相同不再下降；果糖與方糖則在濃度 20%之後，碘液滴數相同不再下降，而且數據很穩定，抗氧化力到達某個濃度後，即維持不變。
3. 果糖溶液濃度增高時，旋光偏轉角度反而遞減；抗氧化性也是隨濃度增高而降低，濃度在 20%以後，抗氧化性相同，並無再下降現象。

（五）歸納討論：



圖七-6 各種糖類不同濃度旋光度之比較圖



圖七-7 各種糖類不同濃度抗氧化性之比較圖

1. 由實驗結果可看出，除了果糖外(果糖為左旋)，各種糖類的旋光度，都是濃度越高，旋光偏轉度亦越高，但抗氧化力卻下降。果糖雖為左旋，其抗氧化性依然是濃度越高，抗氧化力越低。
2. 總體來講，糖的成分愈濃，旋光度越大，抗氧化效果愈不理想；而果糖成分愈濃，旋光度越小，抗氧化效果亦愈不理想。因此建議大眾能盡量減少高糖飲食，以維健康。

柒、討論與建議

一、自製旋光儀時，我們將回收的偏光鏡拿來重疊旋轉，可以很清楚地看到全黑的情況。將回收的偏光鏡片，拿來製作旋光儀，實驗效果非常理想。

二、在濃度的調配方面，我們發現若以數學所學的濃度計算的方式調製，其濃度均有誤差(以濃度計進行檢測)，僅葡萄糖及乳糖誤差較小，且其實驗結果接近成一直線，我們推測有可能是因這二種糖類，使用的是試藥一級的產品而有此現象。為免誤差過大，影響實驗比較結果，因此，我們在以數學所學的濃度計算的方式調製糖水後，會先以濃度計進行測試輔助，然後再次加工調製，以達到濃度計所檢測的濃度後，再進行實驗操作比較。

三、我們在自製的旋光儀細節部分改良了好幾回，包括可以旋轉的蓋子、儀器內黑色環境的製作、底座從無法穩固的保麗龍及需更替不同光源的外型，思考改以借助於摩擦力原理的米桶，最後再加上照度計測量最亮點，改良後的使用效果很棒！

四、代糖及乳糖濃度的調製均無法達到 30%，代糖在 15%之後，糖粉只會沉澱無法溶解，因此我們將代糖的濃度折半進行實驗比較；乳糖溶解情形亦不理想，因此我們亦將乳糖的濃度折半進行實驗比較。

捌、結論

一、瞭解光的折射與旋光的原理。

（一）光在進入不同介質時，在介面會由於光傳播速率的不同，而發生偏折的現象，這種現象就稱為光的折射現象，就如筷子在水中看起來像折斷了的現象。又如雷射光於不同濃度的糖水（蜂蜜）溶液中，可清楚地看到光的折射現象。

（二）光通過某些物質，使偏振光的振動面發生偏轉，這個現象稱為旋光現象。這些物質所具有的這種性質成為旋光效應或旋光性。旋光角度與晶體的旋光率有關，旋光率越大，角度越大。

二、比較自製旋光儀與市售糖度計的差異。

（一）經實驗結果發現，以我們自製的旋光儀測量糖水溶液的旋光偏轉度，不論是使用 LED 紅光或雷射筆紅為光源，不同濃度糖水溶液都可以使經過偏振片之光產生偏折。且濃度每 5%變化時，旋光偏轉度的變化差距夠大且大致平均，可藉由旋光的偏轉角度，推測糖水的濃度，效果很理想。

（二）當糖水溶液濃度越高時，我們自製的旋光儀，產生旋光偏折的角度就越大，且大致呈往右上斜直線形狀(果糖方向相反，因果糖為左旋性)。因此我們可以知道糖水溶液使光偏折的旋光度大小與糖的濃度有關。

三、探討茶水與糖水的旋光性及抗氧化的關係。

（一）當各種茶溶液濃度越高時，以碘直接定量法所需碘液的滴數也越多。因此可以推論，茶的抗氧化力與茶的濃度有關，且茶越濃抗氧化力越好。而以我們自製的旋光儀測得的各類茶水，旋光度會隨濃度增加而變大。因此我們可以推論當各種茶溶液因濃度增加時，相對即增加抗氧化劑，也增加了具有旋光性物質的數量。因此可以我們自製的旋光儀，觀察旋光偏轉角度，推論各種茶抗氧化力的強弱。旋光偏轉角度越大，茶的抗氧化力也越強。

（二）糖水溶液都是濃度越高，旋光偏轉度亦越高，但抗氧化力卻下降。總體來講，糖的成分愈濃，旋光度越大，但抗氧化效果卻愈不理想。因此建議大眾能盡量減少高糖飲食，對健康應較能有幫助。

玖、參考資料及其他

【雜誌】

余樹楨(2010) ・晶體的旋光特性・*科學發展*，449。

【網路資源】

(無作者) 2006-07-15 21:24:59 糖水的飽和濃度。

https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question;_ylt=A8tUwY9GSmhUiDYATgpr1gt.;_ylu=X3oDMTE0NW1jOHVtBHNlYwNzcgRwb3MDMQRjb2xvA3R3MQR2dGlkA1ZJUFRXODJfMQ--?qid=1106071511980

(無作者) 2011-01-25 17:18:00 偏光鏡的原理。

https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1511011508836

麥芽糖 維基百科

http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BA%A5%E8%8A%BD%E7%B3%96

果糖 維基百科 http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9E%9C%E7%B3%96

【評語】080208

本研究是同學自己組裝旋光儀，使用旋光儀檢測茶飲的旋光度，並與其抗氧化性作比較。研究中同學發揮動手製作儀器，並且使用自製儀器檢測糖類的旋光性，與課本的知識結合。製作旋光儀的工作是參考過去科展的作品，稍作改良，原創性略嫌不足。對於茶的抗氧化性與茶中具有旋光性的分子之間的關聯性應該作更深入的探討。