

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 物理科

第一名

030106

黑與白的邂逅

--探討黑條紋與白條紋升溫降溫的變化

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者：  國二 洪宥靖  國二 黃冠霖  國二 鍾芳志	指導老師：  徐敏益  梁敏芳
---	-----------------------------

關鍵詞：黑白條紋、升溫、降溫

## 得獎感言

參加這次的科學展覽會，雖然獲得了縣賽和全國賽的第一名，但是辛苦努力的過程是免不了的，在這過程中，首先，我們要感謝二位指導老師，如果沒有老師們認真、用心的指導，我想我們可能連進全國賽的資格都沒有，更別說要拿第一了，再來，感謝班級導師以及全班同學的支持，班導願意配合我們的時間讓我們請公假來做科展，並給予我們一些建議，然而，班上的同學願意認真的聆聽我們的研究成果，且指點我們做不好的地方，最後，感謝父母的協助與支持，在我們遇到瓶頸時，適時的開導我們，給我們許多的鼓勵，休假時，載我們到學校從事我們的研究。

準備縣賽時印象最深刻的是：比賽的前一個禮拜，重新檢查數據的時候，發現，原來降溫實驗的數據都是錯誤的，我們原本是直接用下降的幅度計算統計結果，後來察覺，各組上升溫度的幅度不一致，下降的多不一定代表下降的速度快；下降的少並不表示下降的速度快，我們趕快找老師討論該如何解決這個問題，經過了一番討論之後，決定要用下降的百分比來呈現各組溫度下降的速度，由於時間緊迫，只能快馬加鞭，用了整整一天半的時間將所有降溫實驗的數據重新計算，讓報告可以再送出前及時修改，而且，在報告要送去初試的前一天晚上，我們跟老師在學校忙到 10 點多還做不完，隔天早上還沒 7 點就到學校趕快處理完畢，最後，總算如期交出。

全國賽則是在比賽時，第三天，我們都沒聽清楚教授問我們的問題，回旅館時，還跟老師討論到底教授問了什麼問題，憑著模糊的記憶，勉強推測出問題大概是什麼，而其中一個問題的解答需要實際操作一次才知道，但是我們的實驗器材有很多都放在學校，於是老師打電話請同學替我們進行「遠端實驗」，而我們從第三天的下午忙到第四天的凌晨三點，為的就是要給教授一個滿意的答案，皇天不負苦心人，讓我們獲得教授的青睞，得到全國賽的第一名，也拿到了參加臺灣國際科展直接進入複審的資格。

這次的科展是我們第一次參加，沒想到，第一次參加就抱了個大獎回家，刚开始要練習口頭報告時，講到連自己都快要聽不下去了，而且還畏畏縮縮的，彷彿好像對這個實驗不了解，經過反反覆覆練習了 50 遍以上，練習的過程中，突破了自己，讓自己變的很有信心，也訓練出三寸不爛之舌，獲益良多。

最後，希望大家可以多參加科學的研究，成就自己，造福別人。



洪宥靖(圖中)正在講解黑白條紋組的白條為何比黑條高溫。



黃冠霖圖(中)分析藍色革命的內容與我們實驗結果的不同。



鍾芳志圖(右)說明黑與白條文並列可以應用在哪些地方。

## 摘要

斑馬的黑白條紋被認為可能會降低溫度，由實驗發現，黑白條紋組的上升速度較黑組與白組慢，白組又比黑組慢，接著測量表面溫度，黑白條紋組外部的白條上升速度比黑條快，內部黑條比白條上升速度快。溫度上升時，大瓶升溫的速度較小瓶快；下降時，大瓶與小瓶的降溫速度無顯著差異。改變黑白條紋的方向、粗細，不會影響上升與下降的溫度變化。另外將白條紋換成銀色，升溫時，銀組速度最慢，銀黑組次之，黑白組最快，降溫時亦相同。最後，觀察煙的對流實驗發現黑白條紋組表面空氣具有對流的存在，並推測造成黑白條紋組升溫較緩慢有四種對流可能性。

## 壹、研究動機

自然課中有提到：黑色易吸光，溫度上升快，白色易反光，溫度較不易升高，這時腦中冒出一個問題，斑馬身上的黑白條紋的溫度變化效果又是如何？就在偶然下，翻閱到《藍色革命》一書，書中提及：斑馬條紋是可以控制表面溫度的，且認為黑白條紋之所以可以降低溫度，是因為白條紋上方的空氣會比黑條紋上方的空氣涼爽，黑條紋的熱氣上升，和白條紋上方的高氣壓形成氣壓差，因此衍生小氣流，進而降低溫度。究竟牠的黑白條紋下有什麼奧秘，來幫助牠適應非洲炎熱的環境，於是，我們做了模擬斑馬紋路的實驗來驗證。

## 貳、研究目的

- 一、探討實驗熱源穩定性的研究。
- 二、探討黑色瓶、白色瓶、黑白條紋瓶升溫及降溫的比較。
- 三、探討黑白瓶內外黑紋及白紋的升溫、降溫情形。
- 四、探討改變瓶子大小，黑白條紋瓶升溫、降溫情形。
- 五、探討改變條紋方向，對升溫、降溫的影響。
- 六、探討改變條紋粗細，對升溫、降溫的影響。
- 七、探討白色條紋改為銀色條紋的結果如何？

## 參、研究設備及器材

### 一、均溫箱材料

- (一)紙箱 1 個(55cm×37cm×48.5cm)
- (二)隔熱墊 2 張
- (三)剪刀 1 支
- (四)透明膠帶 3 捲

### 二、實驗瓶材料

- (一)600 毫升空寶特瓶 9 瓶
- (二)2000 毫升空寶特瓶 3 瓶



(三)1.75 公分、0.875 公分寬黑色膠帶(電火布)各 3 捲

(四)1.75 公分寬白色膠帶(電火布)3 捲

(五)1.75 公分寬銀色膠帶(電火布)1 捲

(六)黏土 3 包

### 三、測量器具

(一)電子溫度計 4 台(圖 1)

(二)固體表面溫度探測器 2 個(圖 2)

(三)液體溫度探測棒 1 根(圖 3)

(四)氣體溫度探測器 4 個(圖 4)

(五)直線型溫度計 6 根(圖 5)

(六)電暖器 2 台(橫條狀加熱管、圓形加熱管)(圖 6、7)

(七)尺 2 把

(八)碼錶一支



圖 1 電子溫度計



圖 2 固體表面溫度探測器



圖 3 液體溫度探測器

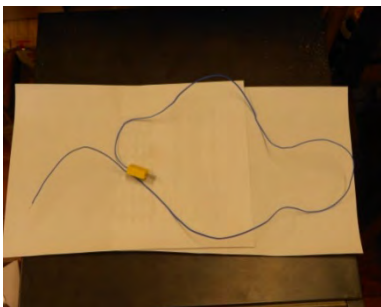


圖 4 氣體溫度探測器

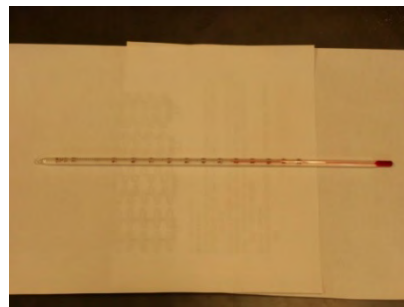


圖 5 酒精溫度計

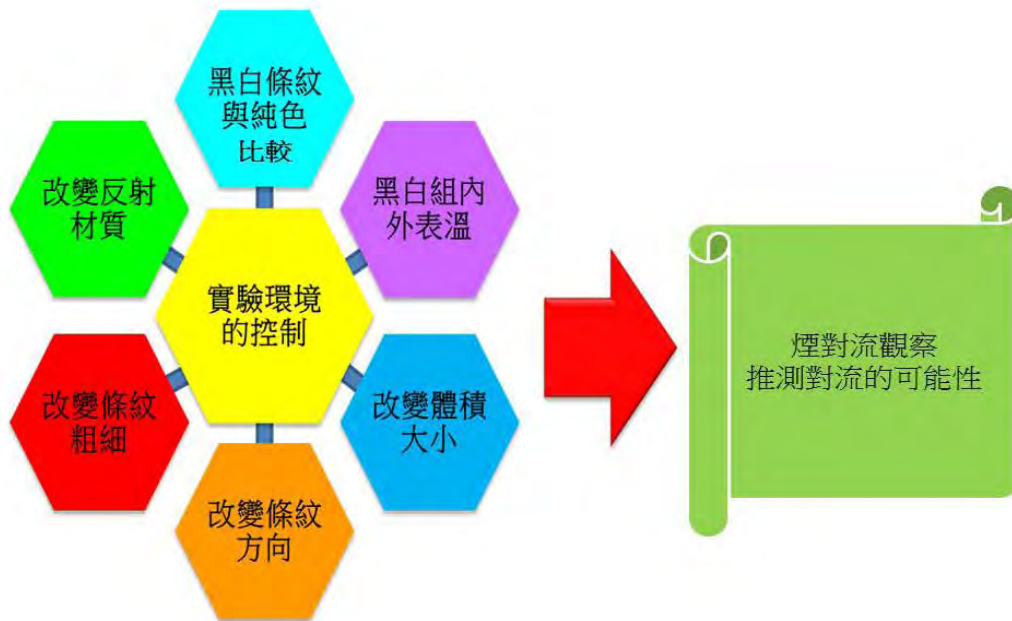


圖 6 橫條狀加熱管電暖器



圖 7 圓形加熱管電暖器

## 肆、研究過程與方法



### 一、實驗環境的控制：

#### (一)熱源的選擇：

分別以圓形加熱管的鹵素燈和橫條加熱管的石英加熱器模擬熱源，測量加熱器前各點的溫度，觀察溫度是否有差異。

#### (二)均溫箱的製作：

- 1.取一個 55cm×37cm×48.5cm 的箱子。
- 2.裁割汽車隔熱墊。
- 3.將裁割好的隔熱墊，用透明膠帶黏貼至箱內表面如圖 8。
- 4.使用溫度計測量加熱時箱內是否均溫。

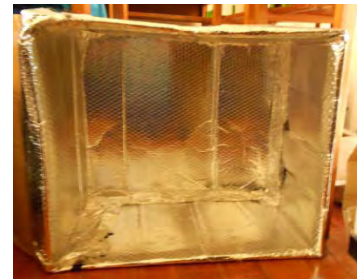


圖 8 均溫箱

#### (三)選擇測量的距離：

以電熱器加熱均溫箱，測量距離電熱器 10 公分、20 公分、30 公分、40 公分、50 公分、60 公分、70 公分、80 公分，每 5 分鐘紀錄一次，探討不同距離，加熱箱內溫度上升的情形，選擇最適當的測量距離。

#### (四)決定測量時間：

進行加熱實驗之前，我們會先將加熱器暖機 3 分鐘後，待加熱管已能穩定加熱，再開始進行測量，但此加熱器有自動溫控設計，會在開機約 20 分鐘後開始調節降溫，因此我們的加熱實驗只測量 15 分鐘內的升溫情形。

### 二、黑白條紋與黑瓶、白瓶比較：

#### (一)測量瓶製作：

將 3 個寶特瓶(600ml)分別做以下三種處理(圖 9)：

黑白組：表面貼上黑白相間的膠帶



圖 9 黑白組、黑組、白組裝置圖

黑色組：表面貼上黑色膠帶

白色組：表面貼上白色的膠帶

並將氣體溫度探測器(圖 4)固定在直線型溫度計(圖 5)上，以避免探測器碰觸到瓶壁，使其懸空探測瓶內氣體溫度，並將瓶口以黏土封住。

## (二)加熱實驗：

將三組測量瓶放在均溫箱中，以電熱器放在瓶子前方 60 公分處持續加熱 15 分鐘，每 5 分鐘紀錄其瓶內氣體溫度及瓶外表面溫度，黑白組分別測量黑色條紋和白色條紋的表面溫度，並加以比較溫度上升的情形，實驗共重複八次，每次隨機調整各組位置。

## (三)降溫實驗：

加熱 15 分鐘後，我們移除熱源，開始降溫，每 5 分鐘測量一次其瓶內氣體溫度及外部表面溫度，並加以比較溫度下降情形，實驗重複八次，每次隨機調整位置。

## 三、探討黑白條紋瓶內、外表溫的比較：

將大黑白條紋瓶(2000ml) 割開一個 6cmx6cm 大小的開口，在瓶內黑條紋的部分和白條紋的部分，分別黏上兩根溫度探測器，外部相對應的兩個位置也黏上兩根，以透明膠帶黏補割開的缺口，再以黑色和白色膠帶黏回原本的黑白條紋(圖 10、11)。我們將這四個測量位置分別稱之為：

內黑組：溫度探測器在瓶子內側黑色條紋區

內白組：溫度探測器在瓶子內側白色條紋區

外黑組：溫度探測器在瓶子外側黑色條紋區

外白組：溫度探測器在瓶子外側白色條紋區

重複實驗二步驟(二)和(三)的升溫降溫實驗，共重複五次。



圖 10 瓶內溫度計放置示意圖



圖 11 將切口復原示意圖



圖 12 大小瓶裝置圖

## 四、探討體積大小對升降溫的影響：

將大、小兩個寶特瓶 (2000ml、600ml)黏上黑白條紋，分別稱為：大黑白瓶和小黑白瓶(圖 12)。

重複實驗二步驟(二)和(三)的升溫降溫實驗，共重複五次。

## 五、改變黑白條紋方向：

將兩個寶特瓶(600ml)分別黏上直向的黑白條紋和橫向的黑白條紋，稱為直組和橫組(圖 13)。

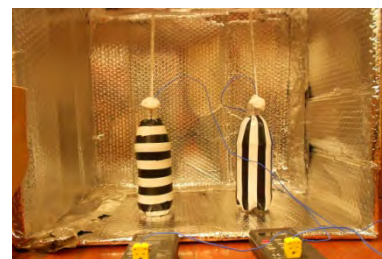


圖 13 橫條紋瓶、直條紋瓶裝置圖



重複實驗二步驟(二)和(三)的升溫降溫實驗，共重複五次。

#### 六、改變條紋粗細：

將 3 瓶寶特瓶做以下 3 種處理(圖 14)：

一般組：表面貼上黑白相間的電火布

細黑組：表面貼上 1/2 倍黑條與一般白條

粗黑組：表面貼上 2 倍黑條與一般白條

重複實驗二步驟(二)和(三)的升溫降溫實驗，共重複五次。



圖 14 不同粗細條紋瓶裝置圖

#### 七、改變反射材質：

把白色條紋換成表面較光滑的銀色膠帶(寬度皆等長)，做出以下三瓶(圖 15)：

黑白組：表面黏上黑白相間的膠帶

銀黑組：表面貼上相間的銀色膠帶及黑色膠帶

銀組：表面全貼上銀色膠帶

重複實驗二步驟(二)和(三)的升溫降溫實驗，共重複五次。



圖 15 不同反射材質條紋瓶裝置圖

### 伍、研究結果

#### 一、實驗環境的控制：

##### (一)加熱器的選擇：

我們將箱內五點分別取名為甲、乙、丙、丁、戊(圖 16)。我們試過圓形加熱管的鹵素燈及橫條加熱管的石英加熱器，但是使用圓形加熱管的鹵素燈加熱，會造成加熱器前方 5 點溫度不一致，導致不均溫的現象，最後我們使用橫條加熱管的石英加熱器，因為它可以均勻並穩定的加熱(表一、二)。

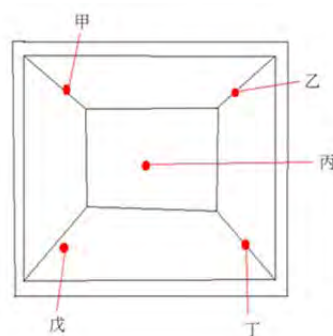


圖 16 均溫箱內任意五點測量位置示意圖

表一：橫條狀石英加熱器加熱情形(°F)

位置	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘
甲	70.2	78	85	86.3
乙	70.2	78	85	86.3
丙	70.2	78	85	86.3
丁	70.2	78	85	86.3
戊	70.2	78	85	86.3

表二：圓形加熱器加熱情形(°F)

位置	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘
甲	70.2	76.7	81	82.6
乙	70.2	77.4	85	86
丙	70.2	80	83.8	85.2
丁	70.2	76.4	82.4	83.6
戊	70.2	79	80	84.4

我們運用隔熱墊和箱子做出的均溫箱，加熱實驗，測量箱內各點的溫度，發現箱內各個點溫度皆相等，是個均溫的環境，可以控制以下實驗的變因。



## (二)決定測量距離：

由於 10 公分的距離太近，溫度會急遽上升，看不出溫度上升的變化差異，而 80 公分的距離又太遠，上升溫度不明顯，比不出上升溫度的差異，最後我們選擇 60 公分，因為距離適中，又方便我們測量(圖 17)。

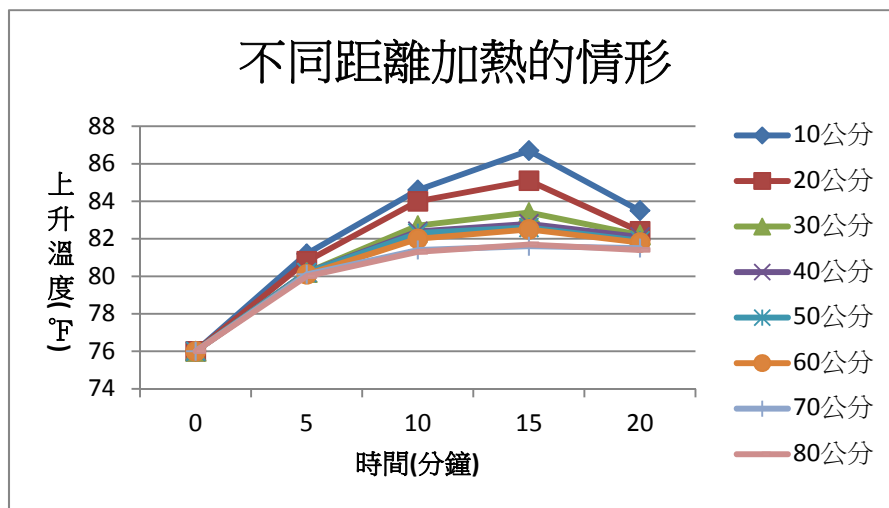


圖 17 在不同距離(10~80 公分)加熱溫度上升的情形 (N=1)

## (三)決定測量時間：

進行加熱實驗之前，我們會先將加熱器暖機 3 分鐘，待加熱管已能穩定加熱，再開始進行測量，但此加熱器有自動溫控設計，會在開機約 20 分鐘後開始調節降溫，因此我們的加熱實驗只測量 15 分鐘內的升溫情形(圖 17)。

### 二、黑白條紋瓶與黑、白瓶瓶內氣體升溫、降溫情形的比較：

#### (一)黑白條紋瓶與黑、白瓶瓶內氣體溫度上升變化的比較：

黑白條紋組(以下簡稱為黑白組)，黑瓶組(以下簡稱為黑組)，白瓶組(以下簡稱為白組)。我們測量各組內部氣體溫度上升的情形(圖 18)，因為每次測量的起始溫度都不一致，所以，我們用每五分鐘溫度上升的幅度來表示各組間的變化。結果顯示黑白組溫度上升的最慢，黑組最快，白組次之。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(表三)。在加熱 5 分鐘時，黑白組和黑組已有顯著差異( $p < 0.05$ )，加熱至 15 分鐘時，黑組和白組皆與黑白組有顯著差異( $p < 0.05$ )。因此，我們認為黑白組在升溫的過程中溫度的上升確實比單一顏色更緩慢，而且超越了白組。

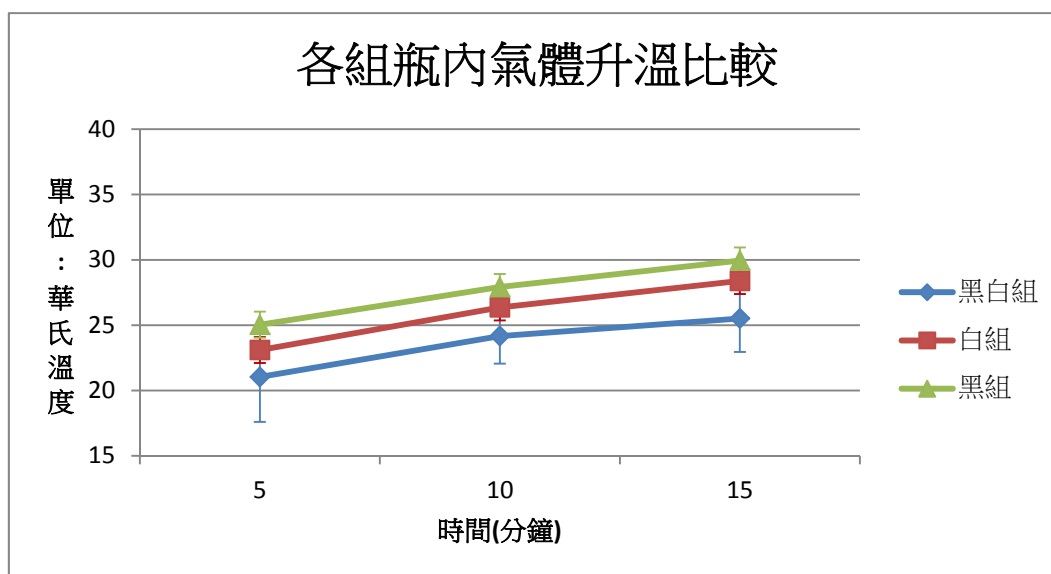


圖 18 黑白組、黑組、白組瓶內氣體升溫比較 (N=8)

表三： 黑白組、黑組、白組加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
黑白組&白組	-1.04296	-3.10995*
黑白組&黑組	-1.97216*	-4.16644*
黑組&白組	-0.89783	-1.46769

N=8 \*表示  $p < 0.05$

(二) 黑白條紋瓶與黑、白瓶瓶內氣體溫度下降變化的比較：

加熱十五分鐘後，進行降溫的實驗，由於升溫十五分鐘時各組的溫度不一，導致降溫實驗的起始點不同，所以，我們使用下降的百分比呈現各組的降溫變化。我們將各組每五分鐘溫度下降的量除以加熱十五分鐘時上升的溫度總量，求出來的值再乘以 100%，即為下降的百分比。各組溫度下降的情形如圖 19 所示。黑白組下降的速度最慢，白組次之，黑組下降的最快，但是相當接近。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果，發現各組間並無顯著差異(表四)。

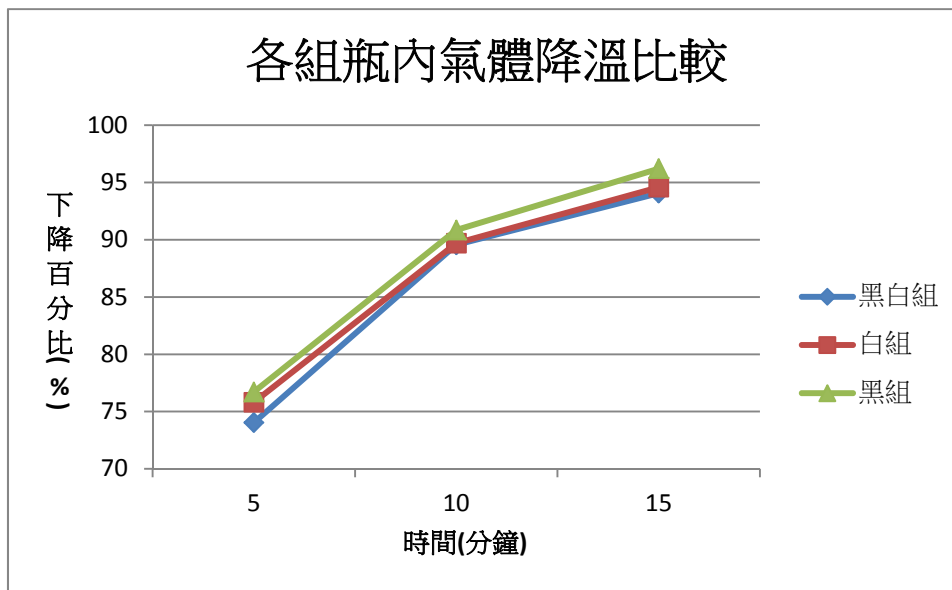


圖 19 黑白組、黑組、白組瓶內溫度下降百分比的比較 (N=8)

表四： 黑白組、黑組、白組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
黑白組&白組	-0.2987	-0.2142
黑白組&黑組	-0.4044	-0.6399
黑組&白組	0.1326	0.30609

N=8 \*表示  $p < 0.05$

(三)黑白組與黑組、白組的表面溫度上升變化的比較：

黑白組的黑條【以下簡稱為(黑)白】，黑白組的白條【以下簡稱為黑(白)】，黑瓶(以下簡稱為黑組)，白瓶(以下簡稱為白組)。各組表面溫度上升情形(如圖 20)，可以看出黑組上升最快，(黑)白、黑(白)、白組幾乎重疊在一起。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，實驗的比較結果(表五)，在加熱 5 分鐘時，黑組與白組有顯著差異( $p < 0.05$ )，黑白組的黑條部分與黑組也有顯著差異( $p < 0.05$ )，加熱 15 分鐘時，各組則皆無顯著差異。

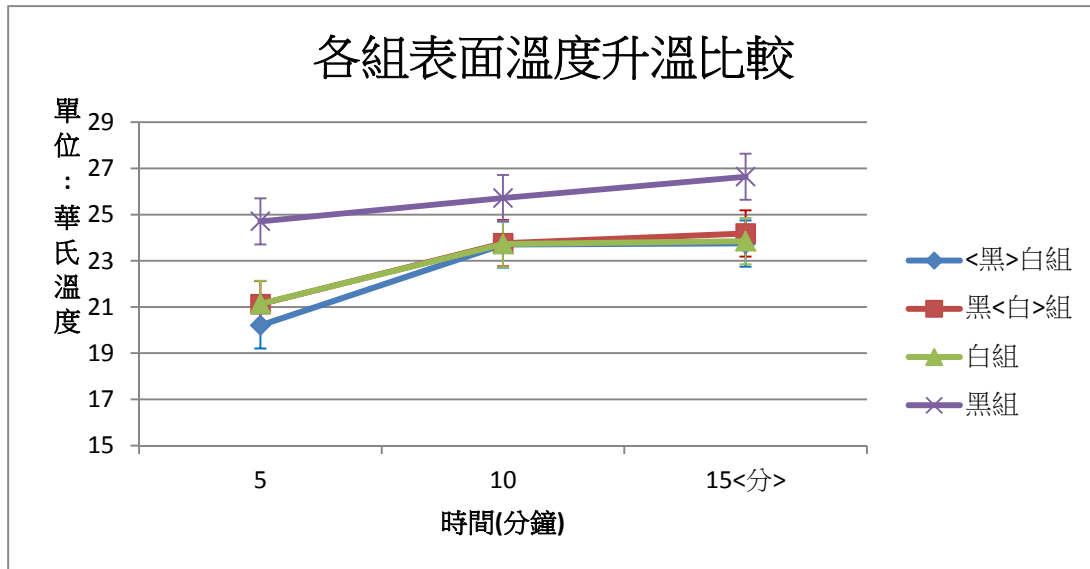


圖 20 黑白條紋瓶的黑條、白條，黑組，白組外部的表面溫度上升比較 (N=8)

表五：黑白條紋瓶的黑條、白條，黑組，白組加熱 5、15 分鐘溫度 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
(黑)白&黑(白)組	-0.4093	-0.2070
(黑)白&黑組	-2.4315*	-1.0261
黑(白)&白組	-0.0066	0.1408
黑組&白組	1.9252*	0.9246

N=8 \*表示  $p < 0.05$

(四) 黑白組的表面溫度與黑、白組表面溫度下降變化的比較：

表面溫度下降最快的是黑組，黑(白)次之，接著是白組，而(黑)白組則是溫度下降最緩慢的(圖 21)。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組表面溫度的實驗結果，發現各組間並無顯著差異。(表六)

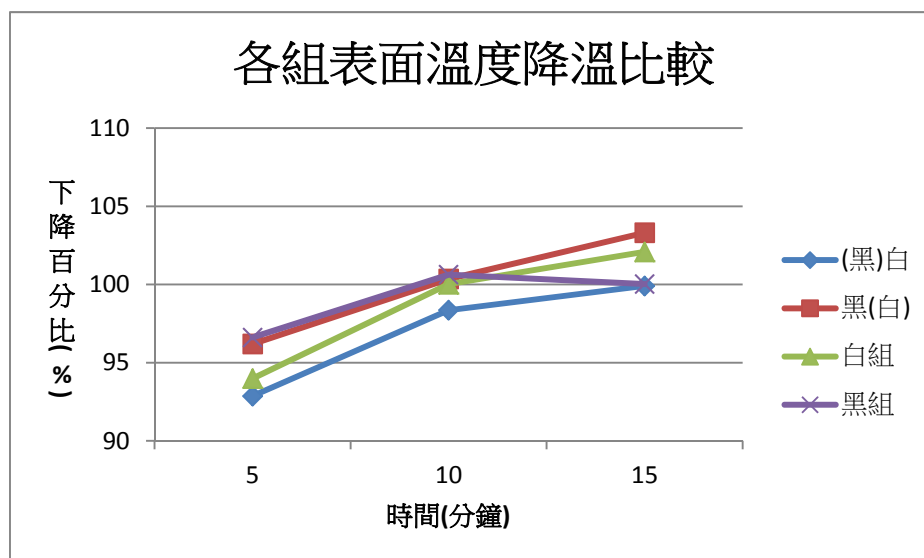


圖 21 黑白條紋瓶的黑條、白條，黑組，白組外部表面溫度下降百分比的比較 (N=8)



表六：黑白條紋瓶的黑條、白條、黑組、白組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
(黑)白&黑(白)組	-1.1586	-0.7547
(黑)白&黑組	1.2516	-0.6291
黑(白)&白組	0.4652	0.1746
黑組&白組	0.81303	0.2417

N=8 \*表示  $p < 0.05$

### 三、大黑白條紋瓶內部表面溫度與外部表面溫度變化的比較：

(一)內、外條紋表面溫度上升的情形：

大瓶外部黑條紋(以下簡稱為外黑)，大瓶外部白條紋(以下簡稱為外白)，大瓶內部黑條紋(以下簡稱為內黑)，大瓶內部白條紋(以下簡稱為內白)。我們測量大瓶組的內、外表面溫度上升的情形(圖 22、23)。可以看出外白比外黑溫度高，但是，內白比內黑低，在加熱 5 分鐘與 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，各組的比較實驗結果(表七)，加熱 5 及 15 分鐘時，外部的黑與內部的黑有顯著差異( $p < 0.05$ )，其餘各組皆無顯著差異。

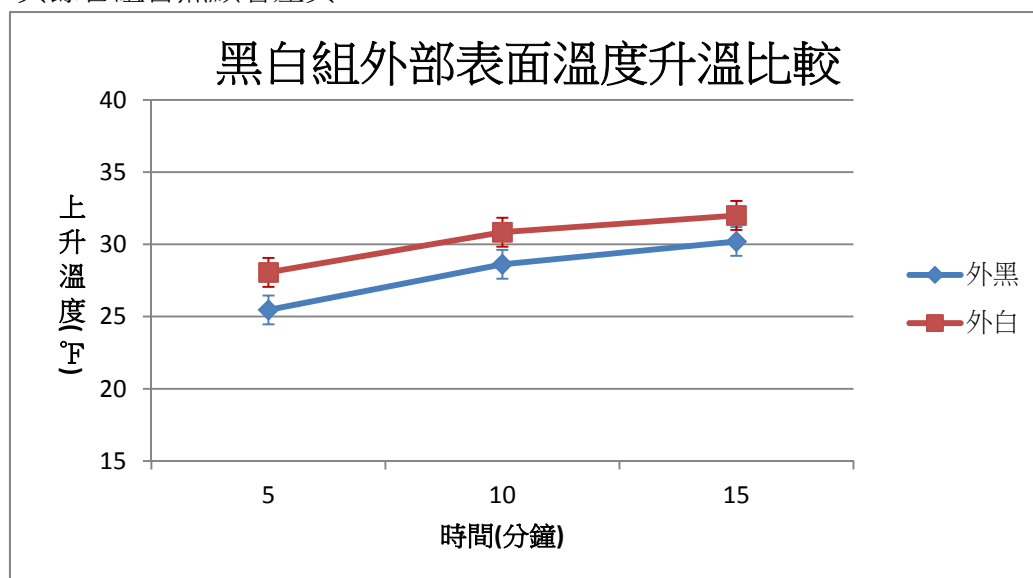


圖 22 黑白條紋瓶外部的黑條、白條表面溫度升溫的比較 (N=8)

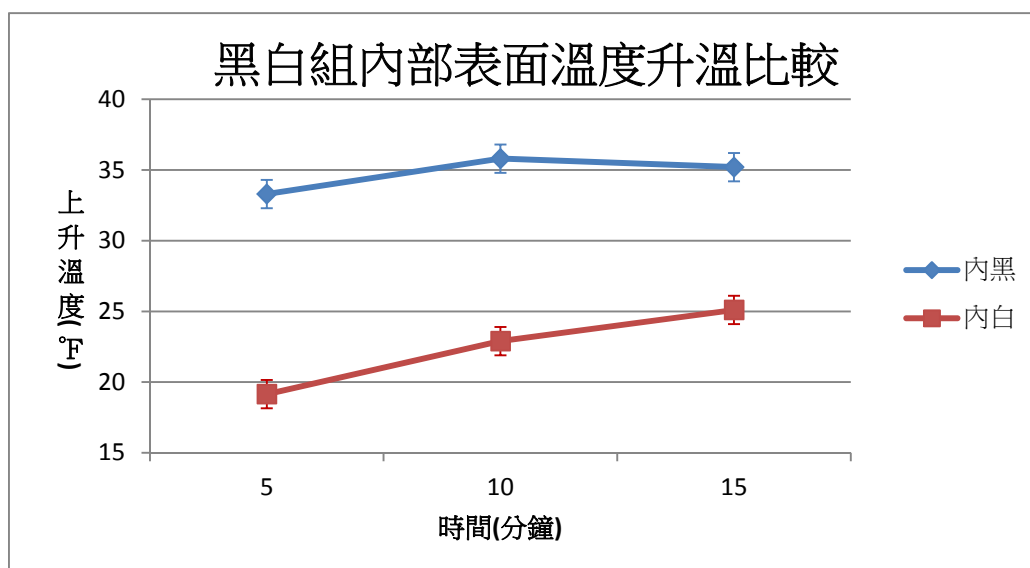


圖 23 黑白條紋瓶內部的黑條、白條表面溫度升溫的比較 (N=8)

表七： 黑白條紋瓶外黑、外白、內黑、內白加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
外黑&外白	-0.7277	-1.3671
外黑&內黑	-2.2826*	-2.9928*
外白&內白	-1.3339	-0.7028
內黑&內白	0.06308	0.5203

N=8 \*表示  $p < 0.05$

(二)比較內、外條紋表面溫度下降的情形：

外白比外黑降的快，內白與內黑卻沒有差異(圖 24、25)。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組表面溫度的實驗結果，發現各組間並無顯著差異(表八)。

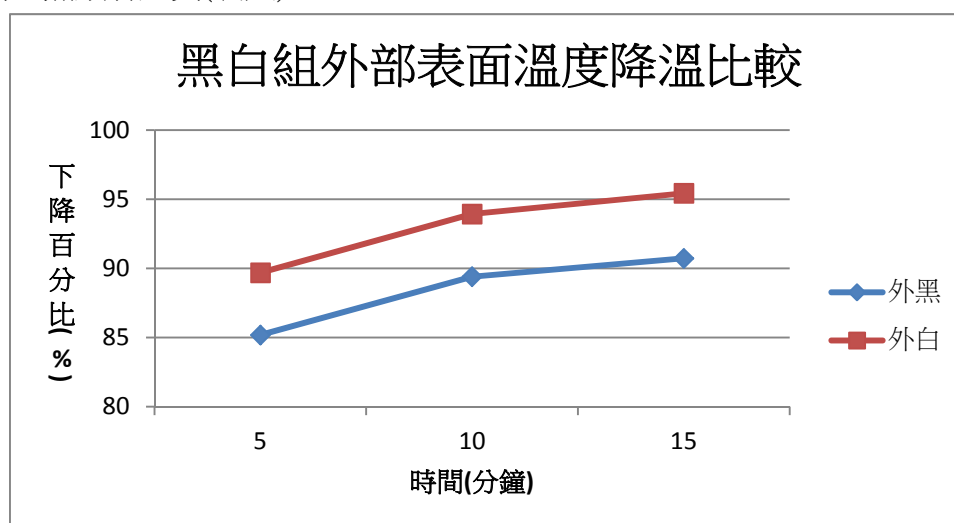


圖 24 黑白條紋瓶外部的黑條、白條表面溫度下降百分比的比較 (N=8)

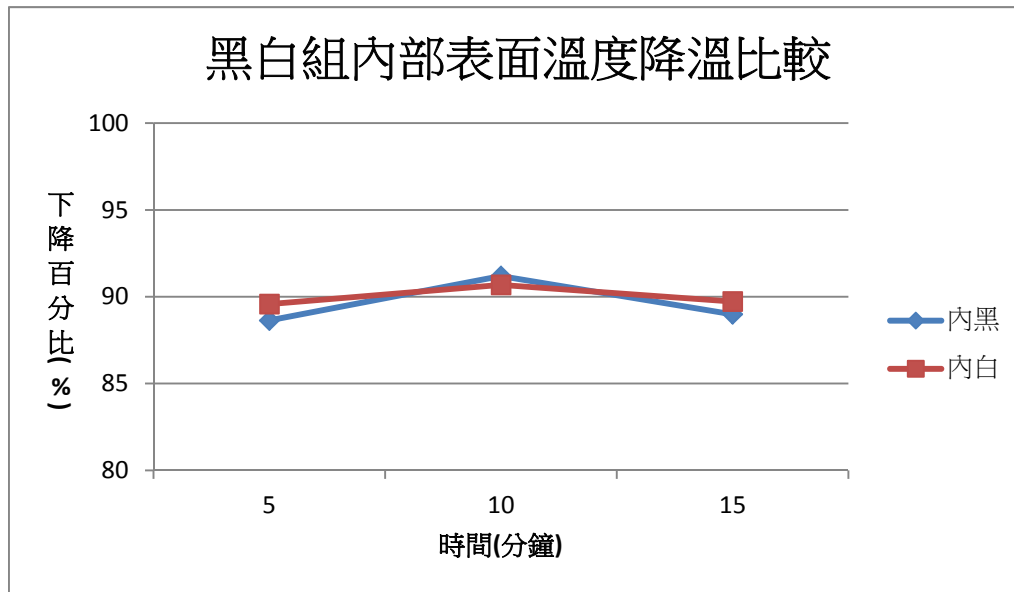


圖 25 黑白條紋瓶內部的黑條、白條表面溫度下降百分比的比較 (N=8)

表八： 黑白條紋瓶外黑、外白、內黑、內白降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
外黑&外白	0.9967	1.63605
外黑&內黑	0.1662	1.364241
外白&內白	-1.1076	-0.33261
內黑&內白	-0.2414	-0.23295

N=8 \*表示  $p < 0.05$

#### 四、大小黑白條紋瓶瓶內溫度與表面溫度變化的比較：

##### (一)大小黑白條紋瓶瓶內上升溫度情形：

大黑白條紋瓶(以下簡稱為大瓶)，小黑白條紋瓶(以下簡稱為小瓶)。我們測量各組內部氣體溫度得上升情形(圖 26)，可以看出大瓶升溫速度比小瓶快，分別在加熱 5 分鐘和 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(如表九)，在加熱 5 分鐘時，有顯著差異( $p < 0.05$ )，加熱 15 分鐘時，兩組也有顯著差異( $p < 0.05$ )。因此，我們認為是因為大瓶的吸熱面積比小瓶多，才會造成有顯著差異。

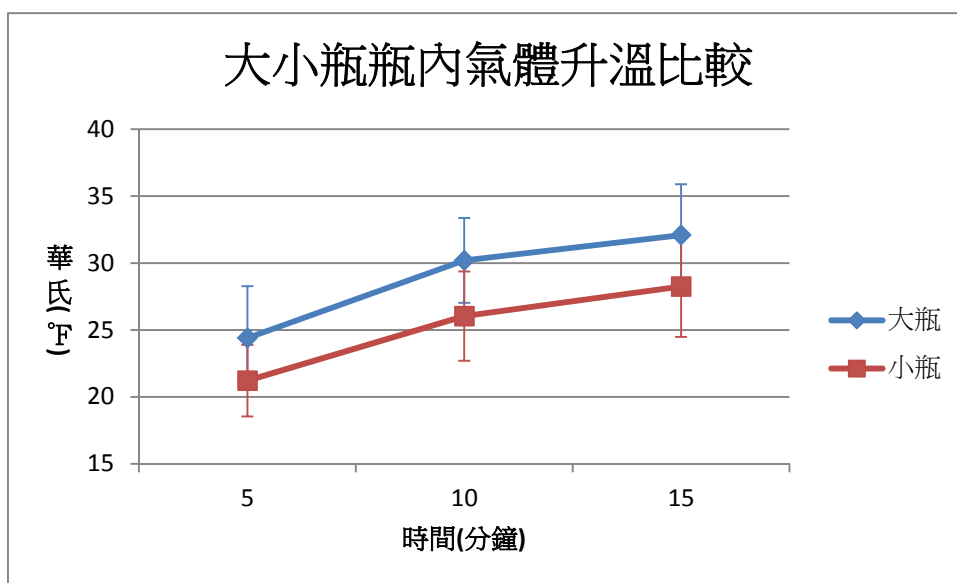


圖 26 體積不同，大瓶和小瓶的瓶內氣體溫度升溫的比較 (N=8)

表九：體積不同，大瓶、小瓶加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
大瓶&小瓶	1.79404*	1.90203*

N=8 \*表示  $p < 0.05$

(二)大小黑白條紋瓶瓶內溫度下降情形：

大瓶和小瓶降溫的速度是幾乎重疊的 (圖 27)。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組瓶內溫度的實驗結果，發現各組間並無顯著差異(表十)。

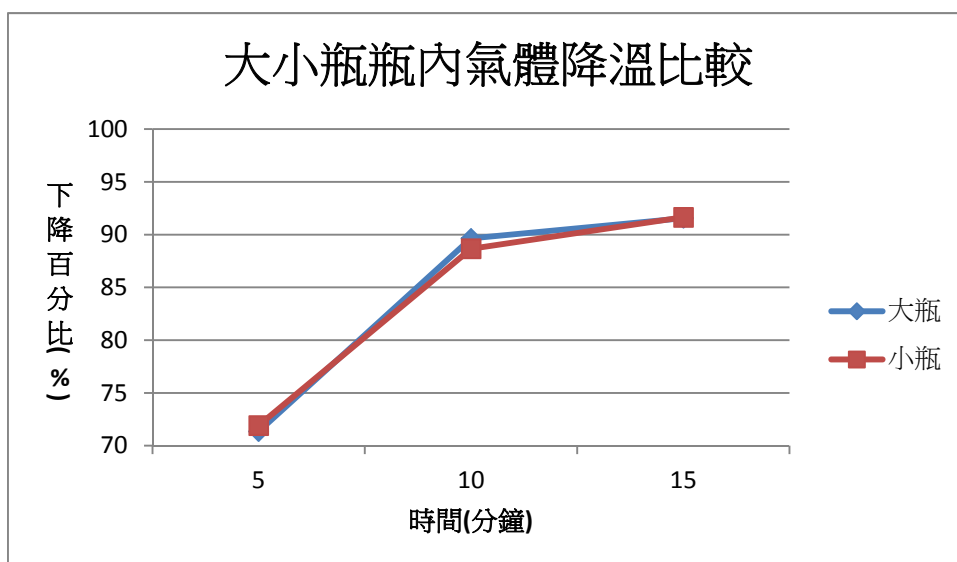


圖 27 體積不同，大瓶和小瓶的瓶內溫度下降百分比的比較 (N=8)



表十：體積不同，大瓶、小瓶降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
大瓶&小瓶	-0.1086	-0.13206
N=8      *表示 $p<0.05$		

(三)大小黑白瓶外部表面溫度上升情形：

大黑白條紋瓶的黑條紋(以下簡稱為大黑)，大黑白條紋瓶的白條紋(以下簡稱為大白)，小黑白條紋瓶的黑條紋(以下簡稱為小黑)，小黑白條紋瓶的白條紋(以下簡稱為小白)。我們測量各組瓶外表面溫度的情形(圖 28)，可以看出大白上升最快，大黑次之，再來是小白，最後則是小黑。分別加熱 5 分鐘和 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，各組實驗比較結果(表十一)，在加熱 5 分鐘時，大黑與小黑、大白與小白、小黑與小白都有顯著差異( $p<0.05$ )，加熱 15 分鐘時，大黑與小黑、大白與小白都有顯著差異( $p<0.05$ )。

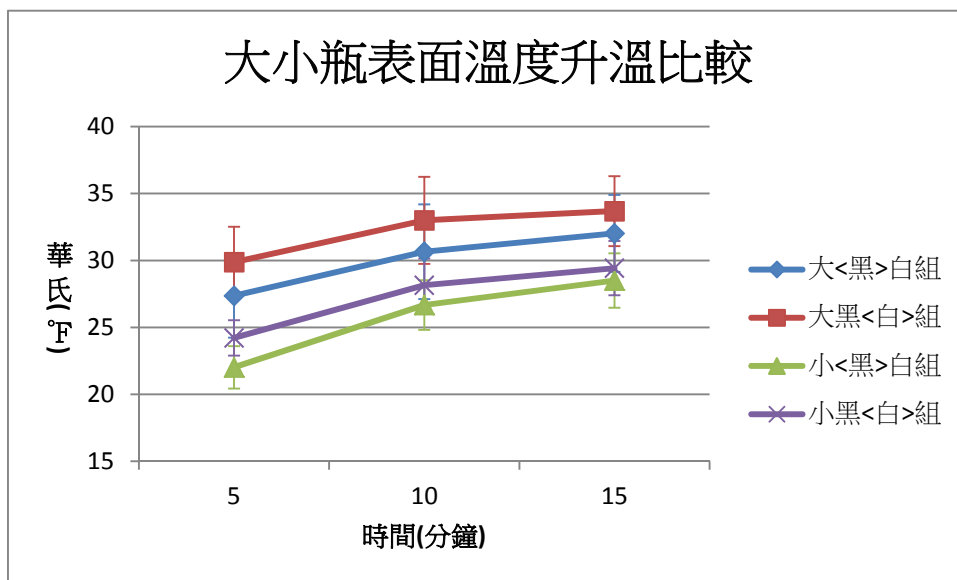


圖 28 體積不同，大瓶和小瓶的外部表面溫度升溫的比較 (N=8)

表十一：體積不同，大瓶黑條、大瓶白條、小瓶黑條、小瓶白條加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
大白&大黑	-1.6219	-1.1311
大黑&小黑	4.0387*	2.6466*
大白&小白	5.0573*	3.4064*
小黑&小白	-2.8193*	-0.8516
N=8      *表示 $p<0.05$		

(四)大小黑白瓶外部表面溫度下降情形：

各組表面溫度下降情形(圖 29)，可以看得出大白下降的最快，大黑次之，接著是小白，小黑是下降的最慢的一個，但是相當接近。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組瓶內溫度的實驗結果，發現各組間並無顯著差異(表十二)。

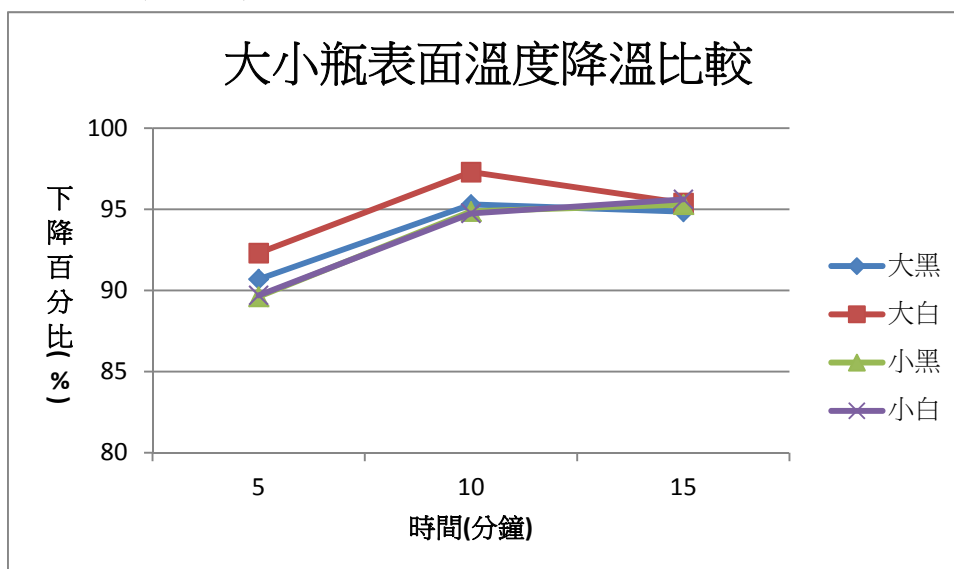


圖 29 體積不同，大瓶和小瓶的外部表面溫度下降百分比的比較 (N=8)

表十二： 大黑、大白、小黑、小白降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
大白&大黑	-0.5294	-0.2248
大黑&小黑	0.3862	-0.1379
大白&小白	0.89008	-0.0723
小黑&小白	-0.03109	-0.0867

N=8 \*表示  $p < 0.05$

## 五、改變黑白條紋方向：

(一)橫向與直向黑白條紋瓶瓶內上升溫度變化的比較：

橫條紋瓶(以下簡稱為橫組)，直條紋瓶(以下簡稱為直組)。我們測量各組內部氣體溫度上升情形(圖 30)，可以看出橫組與直組上升溫度幾乎重疊在一起，分別在加熱 5 分鐘和 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組實驗結果如表十三所示，兩組無顯著差異，顯示條紋的排列並不影響溫度的上升。

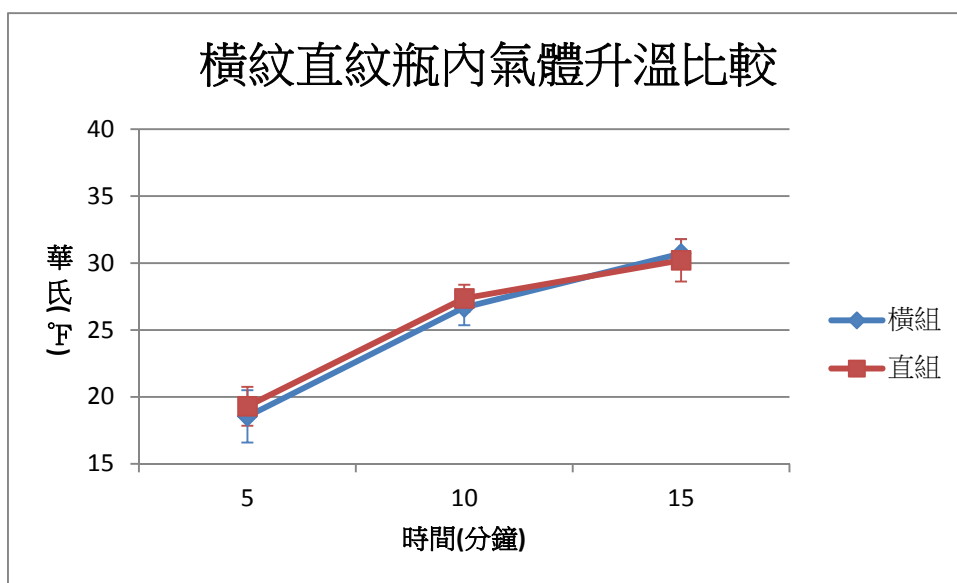


圖 30 橫向條紋和直向條紋瓶內氣體溫度升溫的比較 (N=5)

表十三： 橫向條紋組、直向條紋組加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
橫組&直組	-0.62101	0.5254

N=5      \*表示  $p < 0.05$

(二)橫向與直向黑白條紋瓶瓶內下降溫度變化的比較：

橫組、直組的降溫的線條幾乎重疊在一起(圖 31)。經由 t-test 檢驗，比較結果(表十四)。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時，各組間並無差異。

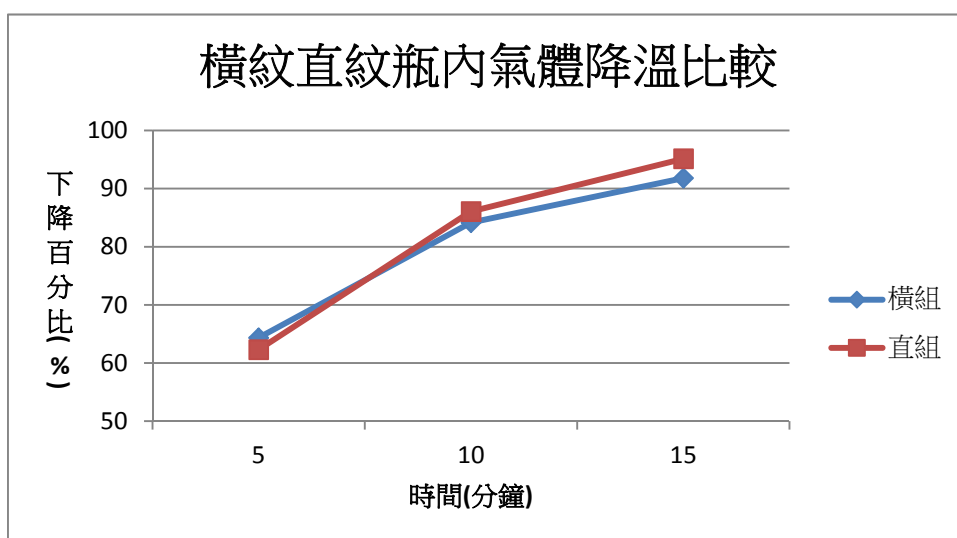


圖 31 橫向條紋和直向條紋瓶內溫度下降百分比的比較 (N=5)

表十四：橫向條紋組、直向條紋組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
橫組&直組	0.7012	-0.5058

N=5 \*表示  $p<0.05$

(三)橫向、直向的黑白條紋表面溫度上升變化情形：

橫條紋瓶的黑條紋(以下簡稱為橫黑)，橫條紋瓶的白條紋(以下簡稱為橫白)，直條紋瓶的黑條紋(以下簡稱為直黑)，直條紋瓶的白條紋(以下簡稱為直白)。我們測量各組外部表面溫度上升情形(圖 32)，直白上升最快，橫白次之，再來是直黑，最後是橫黑。在加熱 5 分鐘和 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，各組實驗比較結果如表十五所示，各組間皆無顯著差異。

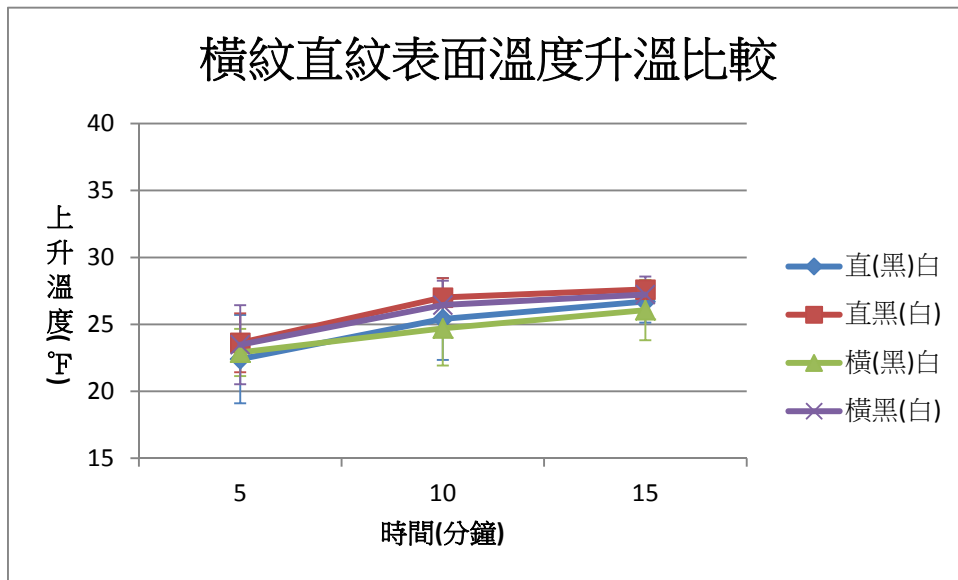


圖 32 橫向條紋和直向條紋外部表面溫度升溫的比較 (N=5)

表十五：橫向黑條、橫向白條、直向黑條、直向白條加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
橫黑&橫白	-0.3371	-0.8819
橫黑&直黑	0.2669	-0.4655
橫白&直白	-0.07603	-0.5222
直黑&直白	-0.6146	-1.0842

N=5 \*表示  $p<0.05$

(四)橫向、直向的黑白條紋表面溫度下降變化情形：

下降速度最快的是直黑，直白次之，接著是橫黑，橫白下降的最慢(圖 33)。經由 t-test 檢驗，比較結果如下。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組瓶內溫度的實驗結果，發現各組間並無差異(表十六)



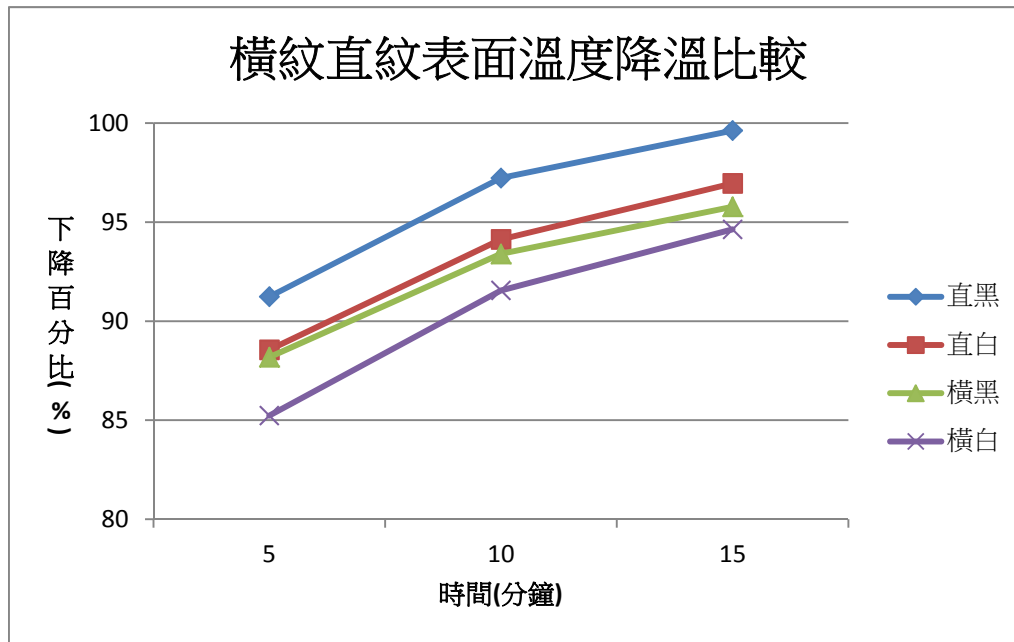


圖 33 橫向條紋和直向條紋外部表面溫度下降百分比的比較(N=5)

表十六：橫向黑條、橫向白條、直向黑條、直向白條降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
橫黑&橫白	0.5797	0.27006
橫黑&直黑	-0.5633	-0.6048
橫白&直白	-0.6961	-0.4823
直黑&直白	0.6234	0.5502

N=5 \*表示  $p < 0.05$

## 六、改變黑條紋粗細：

### (一)不同粗細的黑條紋瓶內溫度上升變化：

粗黑條紋瓶(以下簡稱為粗黑)，細黑條紋組(以下簡稱為細黑)，普通黑白條紋組(以下簡稱為黑白)。我們測量各組內部氣體溫度上升的情形(圖 34)，可以看出不論黑條紋的粗細如何，升溫的速度是相同的。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，各組的實驗結果(表十七)。加熱 5 分鐘時，各組沒有差異，加熱 15 分鐘時，各組也沒有差異。因此，我們認為不論黑條紋的粗細，只要有黑白條紋相間，都可以達到緩慢升溫的效果。

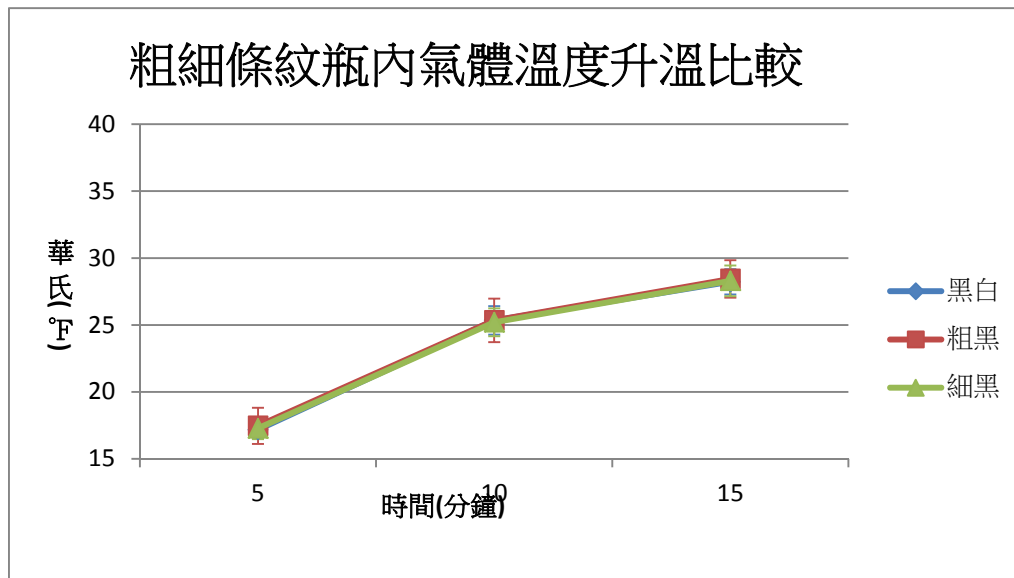


圖 34 黑白條紋不同的粗細瓶內氣體溫度升溫的比較 (N=5)

表十七： 條紋粗細不同，黑白組、粗黑組、細黑組 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
黑白&粗黑	-0.3818	-0.2556
黑白&細黑	-0.2038	-0.0965
粗黑&細黑	0.2288	0.1589

N=5 \*表示  $p < 0.05$

(二)不同粗細的黑條紋瓶內溫度下降變化：

粗黑、細黑、黑白的下降速度幾乎完全一樣(圖 35)。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組瓶內溫度的實驗結果(表十八)，發現各組間並無差異。

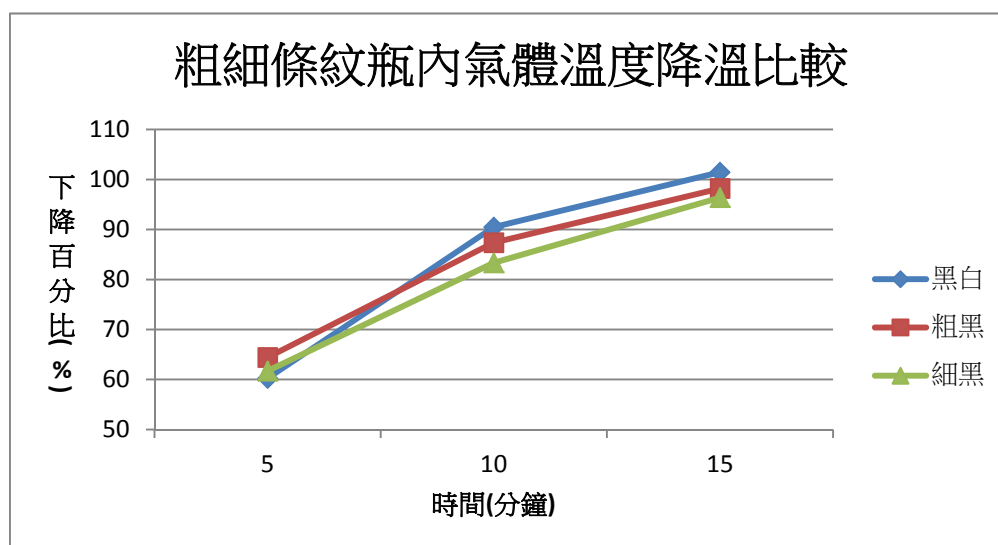


圖 35 黑白條紋不同粗細的瓶內溫度下降百分比的比較 (N=5)

表十八：條紋粗細不同，黑白組、粗黑組、細黑組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
黑白&粗黑	-0.8511	0.5473
黑白&細黑	-0.1731	0.7577
粗黑&細黑	0.57709	0.2083

N=5 \*表示  $p < 0.05$

(三)粗細表面溫度上升變化情形：

黑白瓶的黑條紋【以下簡稱為(黑)白】，黑白瓶的白條紋【以下簡稱為黑(白)】，粗黑條瓶的黑條紋【以下簡稱為(粗黑)白】，粗黑條瓶的白條紋【以下簡稱為粗黑(白)】，細黑條瓶的黑條紋【以下簡稱為(細黑)白】，細黑條瓶的白條紋【以下簡稱為細黑(白)】。我們測量各瓶表面溫度上升的情形(如圖 36)，可以看出，當有黑白條紋相間時，白條紋的上升速度都會比黑條紋高。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(表十九)。加熱 5 分鐘時，各組無顯著差異，加熱 15 分鐘時，各組無顯著差異。

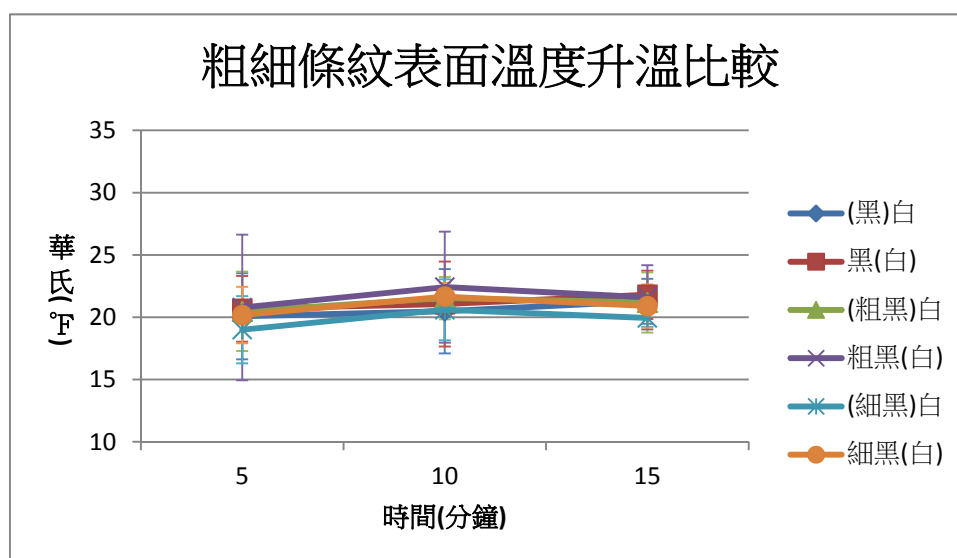


圖 36 黑白條紋不同粗細的表面溫度升溫的比較 (N=5)

表十九： (粗黑)白、粗黑(白)、(細黑)白、細黑(白)、(黑)白、黑(白)加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
(粗黑)白、粗黑(白)	-0.1533	-0.3047
粗黑(白)、(細黑)白	0.7083	0.9842
(粗黑)白、(黑)白	0.1701	-0.0676
粗黑(白)、細黑(白)	0.37406	0.6353
粗黑(白)、黑(白)	0.0574	-0.1689
(細黑)白、粗白	-0.6691	-1.0241
(細黑)白、(黑)白	-0.4923	-1.3806
(細黑)白、黑(白)	-0.2873	-0.6912
(黑)白、黑(白)	-0.2758	-0.3921

N=5 \*表示  $p<0.05$

(四)不同條紋粗細表面溫度下降變化情形：

下降速度是粗黑(白)最快，(粗黑)白第二，細黑(白)第三，(細黑)白第四，黑(白)第五，(黑)白下降的最快，但是相當接近(圖 37)分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組表面溫度的實驗結果(表二十)，各組間無顯著差異，降溫 15 分鐘時，粗黑(白)與黑(白)、(細黑)白與(黑)白、(細黑)白與黑(白)都有顯著差異( $p<0.05$ )。

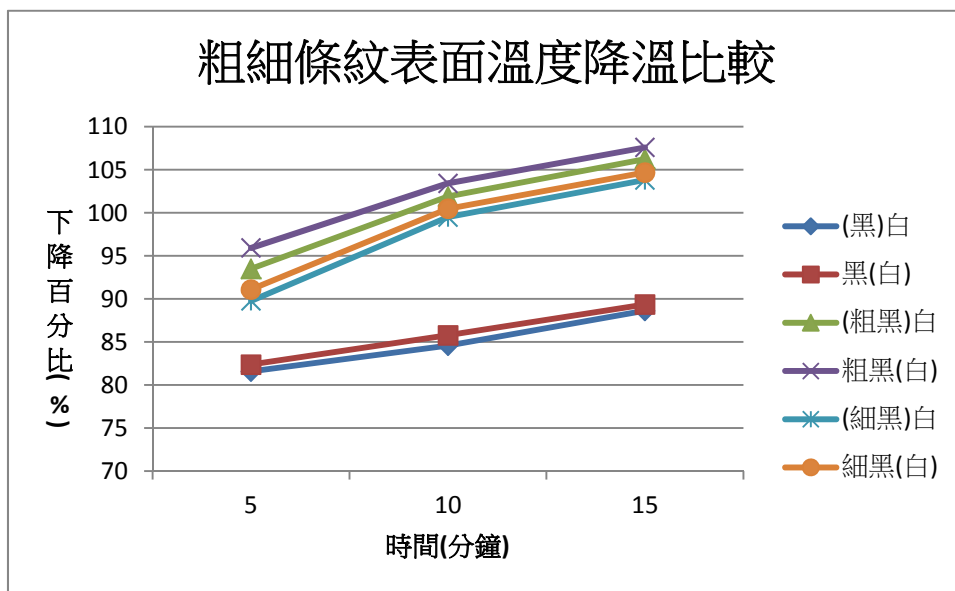


圖 37 黑白條紋不同粗細的表面溫度下降百分比的比較 (N=5)



表二十：(粗黑)白、粗黑(白)、(細黑)白、細黑(白)、(黑)白、黑(白)降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
(粗黑)白、粗黑(白)	-0.0523	0.0421
粗黑(白)、(細黑)白	0.49409	0.3592
(粗黑)白、(黑)白	1.1259	1.5219
粗黑(白)、細黑(白)	0.5977	0.3096
粗黑(白)、黑(白)	1.6105	2.29805*
(細黑)白、粗白	-0.32803	-0.1883
(細黑)白、(黑)白	1.2005	1.9614*
(細黑)白、黑(白)	1.48309	2.1142*
(黑)白、黑(白)	-0.1344	-0.1083

N=5 \*表示  $p < 0.05$

#### 八、改變反射材質：

(一)黑白條紋瓶、銀黑條紋瓶與銀瓶瓶內上升溫度的比較：

銀黑條紋瓶(以下簡稱為銀黑)，黑白條紋瓶(以下簡稱為黑白)，銀瓶(以下簡稱為銀組)。我們測量各組內部氣體溫度上升的情形(圖 38)，可以看出黑白瓶上升的最快，銀瓶上升的最慢，銀黑瓶次之。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(表二十一)。加熱 5 分鐘時，銀黑組與黑白組、銀黑與銀組、黑白與銀組皆有顯著差異( $p < 0.05$ )，加熱 15 分鐘時，銀黑組與黑白組、銀黑與銀組、黑白與銀組皆有顯著差異( $p < 0.05$ )。我們為銀黑組效果沒有銀組好，是因為銀組將熱幾乎反射掉，所以溫度較低，而銀黑組有一半面積是黑色，熱會由黑色處進入瓶內，故溫度會較銀組高溫。

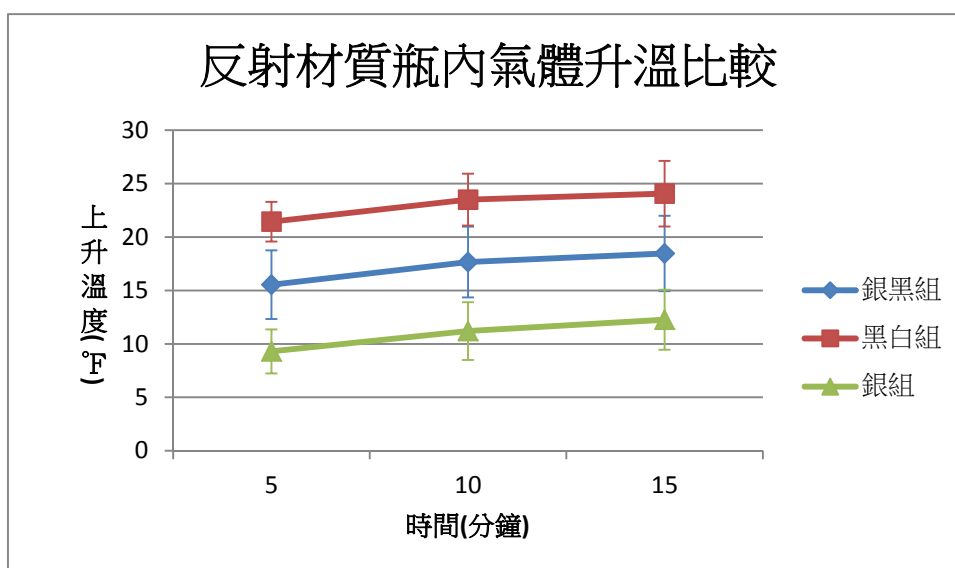


圖 38 改變材質，各瓶瓶內氣體溫度升溫的比較 (N=5)

表二十一：改變材質，銀黑、黑白、銀組加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
銀黑&黑白	-3.1805*	-2.3941*
銀黑&銀組	3.2717*	2.75102*
黑白&銀組	8.7667*	5.6686*

N=5 \*表示  $p<0.05$

(二)黑白條紋瓶、銀黑條紋瓶與銀瓶瓶內下降溫度的比較：

各瓶內部氣體溫度下降情形(圖 39)，可以看出銀黑組下降的速度最快，黑白組次之，銀組下降的最慢。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(表二十二)，5 分鐘時，銀黑與黑白、銀黑與銀組、黑白與銀組都有顯著差異( $p<0.05$ )，降溫 15 分鐘時，銀黑與黑白、銀黑與銀組皆無顯著差異，黑白與銀組有顯著差異( $p<0.05$ )。

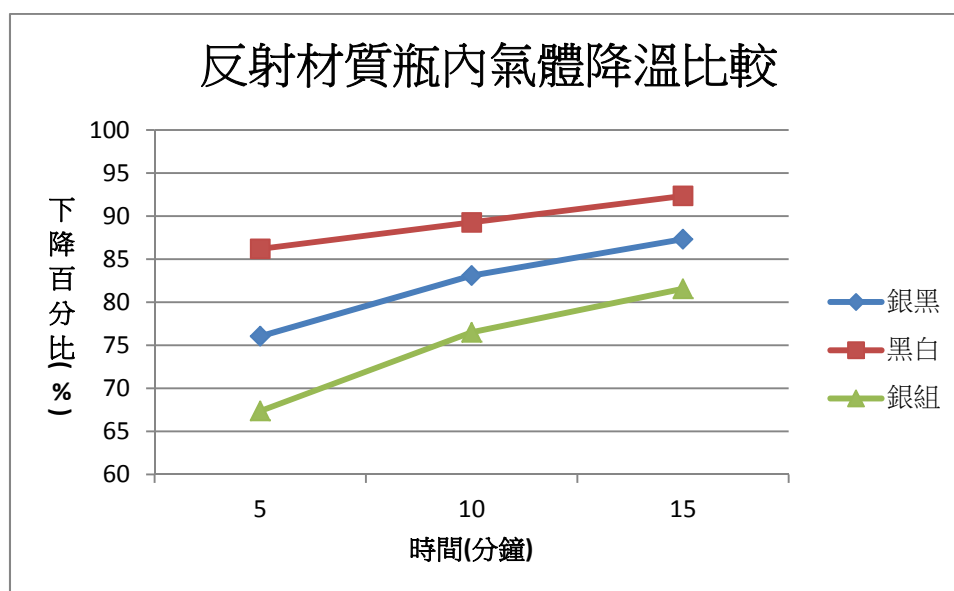


圖 39 改變材質，各瓶瓶內氣體溫度下降百分比的比較 (N=5)

表二十二：改變材質，銀黑、黑白、銀組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
銀黑&黑白	-3.8895*	-1.8432
銀黑&銀組	2.2544*	1.3254
黑白&銀組	5.5273*	2.6506*

N=5 \*表示  $p<0.05$

(三)黑白條紋瓶、銀黑條紋瓶與銀瓶表面上升溫度的比較：

銀黑條紋瓶的銀條【以下簡稱為(銀)黑】，銀黑條紋瓶的黑條【以下簡稱為銀(黑)】，黑白條紋瓶的黑條【以下簡稱為(黑)白】，黑白條紋瓶的白條【以下簡稱為黑(白)】，銀瓶【以下簡稱為銀組】。我們測量各組表面溫度上升的

情形(圖 40)，可以看得出黑(白)上升的最快，(黑)白和銀(黑)次之，接著是(銀)黑，銀上升的最為緩慢。分別在加熱 5 分鐘與加熱 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，比較各組的實驗結果(表二十三)。加熱 5 分鐘時，(銀)黑與銀(黑)有顯著差異，(銀)黑與黑(白)有顯著差異，(銀)黑與銀有顯著差異，銀(黑)與(黑)白無顯著差異，(黑)白與黑(白)無顯著差異，黑(白)與銀有顯著差異，15 分鐘的情形與 5 分鐘時相同。

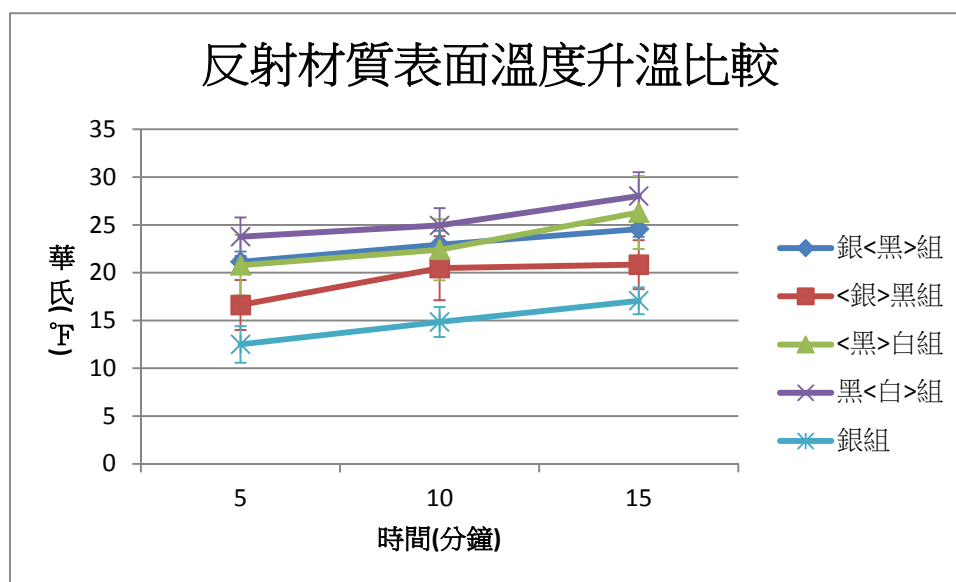


圖 40 改變材質，各瓶外部表面溫度升溫的比較 (N=5)

表二十三：改變材質，(銀)黑、銀(黑)、(黑)白、黑(白)、銀組加熱 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
(銀)黑&銀(黑)	-3.2009*	-2.7772*
(銀)黑&黑(白)	-4.326*	-4.0131*
(銀)黑&銀組	2.5432*	2.5911*
銀(黑)&(黑)白	0.21533	-0.8931
(黑)白&黑(白)	-1.5872	-0.7541
黑(白)&銀組	8.0808*	7.6324*

N=5 \*表示  $p < 0.05$

(四)黑白條紋瓶、銀黑條紋瓶與銀瓶表面下降溫度的比較：

各瓶外部表面溫度下降情形(圖 41)，可以看出(黑)白下降的速度最快，黑(白)次之，再來是銀組，然後是銀(黑)，(銀)黑下降的最為緩慢，但相當接近。分別在降溫 5 分鐘與降溫 15 分鐘時經由 t-test 檢驗，發現各組間並無顯著差異(表二十四)。

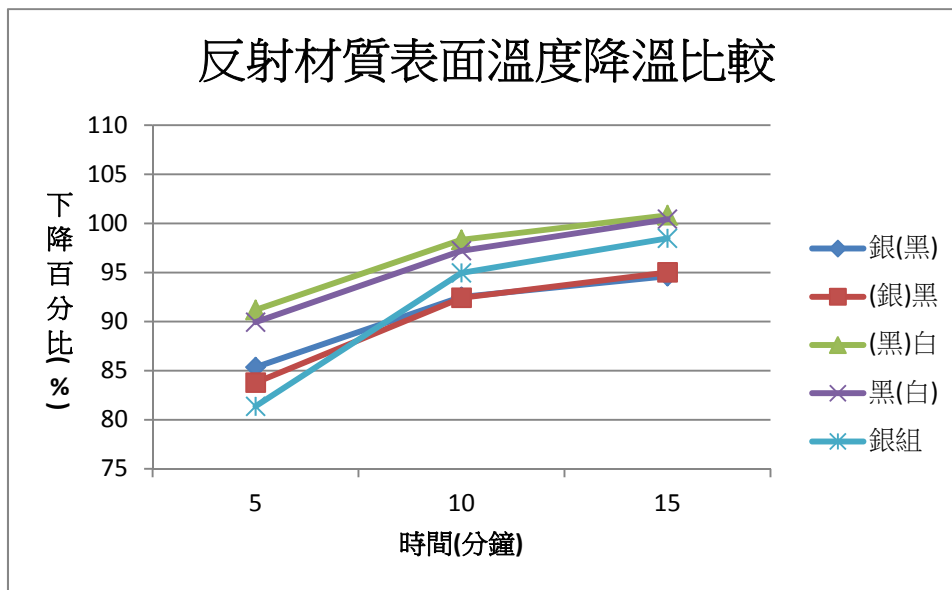


圖 41 改變材質，各瓶外部表面溫度下降百分比的比較(N=5)

表二十四：改變材質，(銀)黑、銀(黑)、(黑)白、黑(白)、銀組降溫 5、15 分鐘 t-test 結果

組別	降溫 5 分鐘	降溫 15 分鐘
	t 值	t 值
(銀)黑&銀(黑)	0.1179	0.1676
(銀)黑&黑(白)	-0.7548	-0.7357
(銀)黑&銀組	0.22608	-0.4055
銀(黑)&(黑)白	-0.9986	-1.1195
(黑)白&黑(白)	0.2325	0.12905
黑(白)& 銀組	0.8345	0.2164

N=5 \*表示  $p < 0.05$

## 陸、討論

### 一、實驗環境的控制：

探討黑白條紋是否有降溫效果的這個主題，若選擇以太陽光為熱源，受限於每天天氣的變化及陽光照射角度的變異，不容易控制實驗條件，因此我們選擇了兩種電熱器，圓形加熱管和橫條型加熱管。經由比較後，發現橫條型的效果較佳，而在開放的環境中，熱容易散失，因此我們設計了均溫箱，確保在加熱過程中，每個實驗組的受熱均勻。

加熱距離的選定，考量到溫度的變化及操作的便利性，我們選定 60cm 為理想距離。而條紋材質的選擇，由於膠帶(電火布)的黏著性極高，可以完全緊密的黏在寶特瓶的表面，減少條紋與瓶子表面中的空氣層，加上膠帶便宜，又有黑、白兩色，所以我們選擇膠帶當條紋的材質。

## 二、黑白條紋瓶的升降溫與純色組的比較：

在實驗二中，我們發現黑白組的升溫的情形最為緩慢(如圖 18、表三)，甚至低於白組，這與我們所熟悉的輻射模式有所出入，一般我們普遍認為，黑色物體容易吸收輻射熱，白色物體會反射可見光，而吸熱較少，但當黑與白並列的時候，卻產生了神奇的效果，升溫與降溫的情形，都比白組更慢。有一種說法認為，黑條紋與白條紋其上方空氣的溫度差異，形成許多的小對流，而有助於散熱(維基百科)。

## 三、黑白條紋的外部與內部表面溫度升降溫的比較：

<<藍色革命>>一書中提到，斑馬條紋之所以可以降溫，是因為白色會反光，黑色吸光，所以白條紋上方的空氣會比黑條紋上方的空氣涼爽，黑條紋熱氣上升與白線的高氣壓形成壓差，在表面衍生小氣流(鮑利，2010)。但我們的實驗結果是瓶外表面溫度以白條紋的溫度較黑條紋高，內部表面溫度則是黑條紋的溫度比白條紋高(圖 22、圖 23、表七)。這與一般人的概念：黑就是會比白高溫的想法不同，我們認為，黑條紋把熱帶入瓶內，蓄積在密閉的瓶內空氣，因此瓶子內部的表面溫度以黑紋高於白紋。而外部的白條紋反射部分的熱而造成表面溫度高於黑條紋，若黑紋與白紋表面有一定的溫度差，就有對流形成的可能，進而將熱散出。

## 四、體積大小對升降溫的影響：

我們算出大小兩瓶的表面積，分別為 943.84 與 496.29 平方公分，若將表面積除以容積(2000、600ml)，分別為 0.472 和 0.827 cm<sup>2</sup>/ml。若黑白紋的表面具有散熱的能力，則小瓶瓶內氣體每毫升分得的表面積約有大瓶的 2 倍，因此小瓶升溫的速度較大瓶慢。

## 五、條紋方向和粗細對升降溫的影響：

不同條紋方向對升降溫沒有影響，由於瓶上黏上等面積的黑條紋及白條紋，對流的面積也相對相等，雖然對流的方向不同，不過效果是相同的；不同黑條紋的粗細對升降溫並沒有明顯的影響，所以只要身上有黑白條紋，升溫時，白條紋就會比黑條紋高溫，就可以在表面產生對流，進而降低瓶內溫度。

## 六、反光材質的升降溫：

$$\text{輻射功率 } H = Ae \delta T^4$$

A 為表面積

T 為絕對溫度

$\delta$  稱為史特凡·波茲曼常數，其值=5.67x10<sup>-8</sup>W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>

其中 e 稱為發射率，其值與表面的材質有關，例如：光亮的金屬表面大約等於 0.1；黑色表面大約等於 0.95(Coletta, 2007)。因此，黑色的表面較容易吸收輻射熱，而黏上銀色膠帶的銀組吸收到的輻射熱將最少，瓶內溫度也會較低。黏有黑條和銀條的銀黑瓶，相較之下，就較為高溫(圖 38、表二十一)。

雖然反光材質最不易升溫(不容易吸收輻射熱)，但其反光的特性不適用在大型的戶外建築物或運輸工具上。而銀黑並沒有顯現出更好的緩升溫效果，這與其黑條紋部分會持續吸收輻射熱，而銀條紋部分會反射輻射熱，不易將熱帶入也不易將瓶內的熱帶出。



## 七、應用：

黑白組緩升溫的速度雖然沒有比反射材質更好，但若是建築物表面處理為反射材質，光線將會被大量反射，影響大家的視線、交通的秩序甚至引起熱島效應，並且反射材質在冬天時不易吸熱，可能會過於低溫。相反的，升溫緩慢的黑白條紋較可以維持溫度，運用這點，做出許多冬暖夏涼的應用，例如：身上的衣著，避諱高溫的儲油槽，或是汽車的烤漆等，在這個面臨能源枯竭的時代，適當的應用黑白相間的緩升溫特性，可能有助於節能減碳的效果，減緩地球暖化的速度。

## 八、四種對流可能：

由實驗結果我們發現，黑白條紋組外部的白條紋溫度比黑條紋高，內部的黑條比白條高；熱力學第二定律說到，熱會由高溫流向低溫處，所以我們用煙的流動來觀察氣流的運動方向，煙原本是直線的上升(圖 42)，當熱源一靠近時，煙有環形擾動的現象(圖 43)，而且，我們以雷射光局部照射，可以更明顯的看出有流動的情形(圖 44)，所以我們推測有四種對流可能，造成黑白條紋組溫度不易上升，第一種為外部白條流向上方的黑條，內部黑條流向下方的白條，形成一個小對流(圖 45)，第二種為外部白條流向上方的黑條，內部的黑條流向上方的白條(圖 46)，第三種為外部的白條流向下方的黑條，同一組的黑條因熱空氣上升流向原本的白條(圖 47)，第四種為外部的白條與黑條有溫差，因此往上下方黑條紋流動，內部黑條與白條也有溫差，往上下方的白條流動(圖 48)。



圖 42 煙原本是直線上升



圖 43 熱源靠近，煙有環形擾動的現象

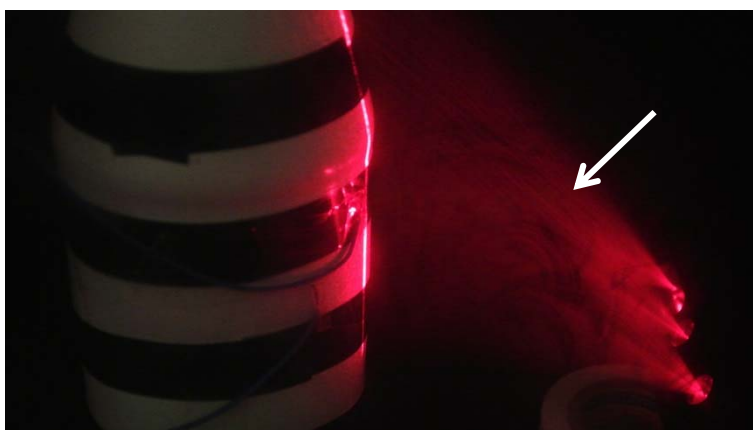


圖 45 以雷射光局部照射

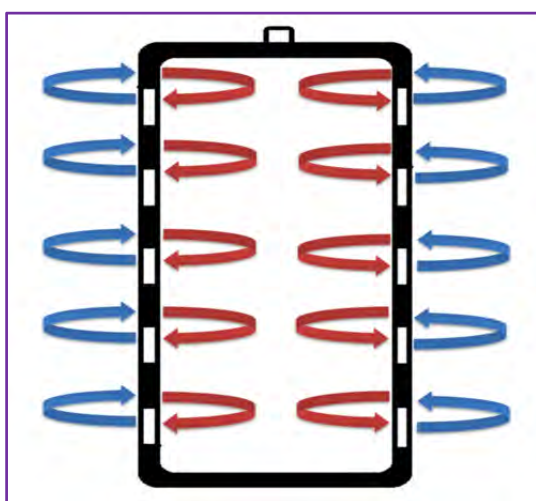


圖 46 外白向上方黑、內黑向下方白流

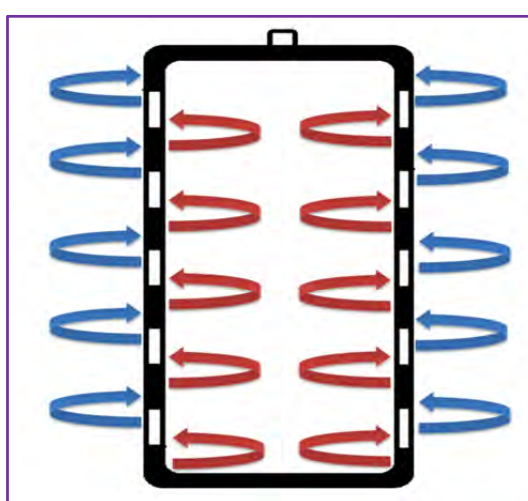


圖 47 外白向上方黑、內黑向上方白流

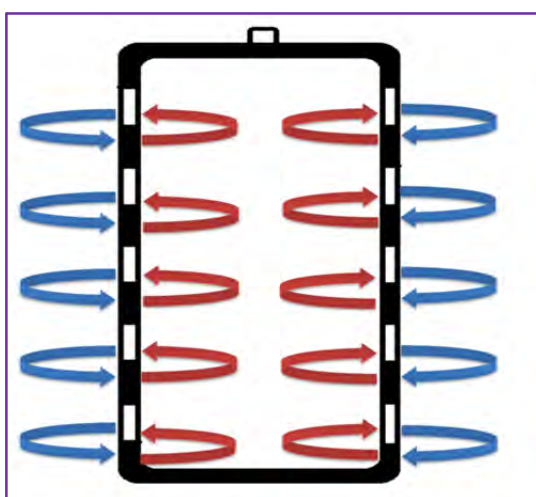


圖 48 外白向下方黑、內黑向上方白流

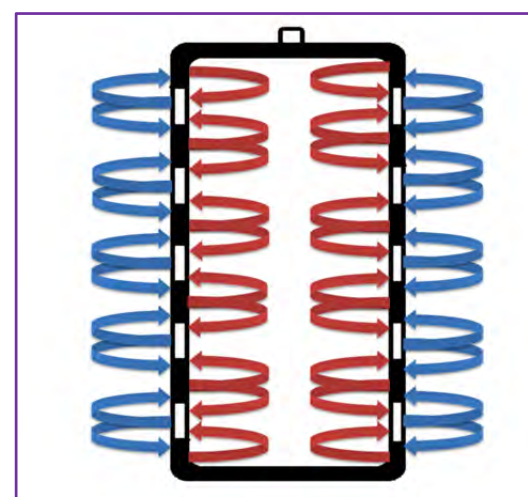


圖 49 外白向上下方黑、內黑向上下方白流

## 柒、結論

- 一、黑白條紋組的上升溫度較黑組與白組慢，白組又比黑組慢。
- 二、黑白條紋組外部的白條紋上升速度比黑條紋快，內部黑條紋比白條紋上升速度快。
- 三、體積不同時，大瓶溫度上升的速度較小瓶快，而在降溫時，大瓶與小瓶的降溫速度並無顯著差異。
- 四、改變條紋方向，橫條紋與直條紋升溫與降溫都無顯著差異。
- 五、改變條紋粗細，黑白組與粗黑組與細黑組，升溫與降溫時都無顯著差異。
- 六、改變材質時，將白條紋換成銀色，升溫時，銀組速度最慢，銀黑組次之，黑白組最快，降溫時亦相同。
- 七、觀察煙的對流實驗發現黑白條紋組具有對流的存在，並推測造成黑白條紋組升溫較緩慢有四種對流可能性。

## 捌、參考文獻

- (一)鮑利，剛特。2010。-藍色革命(第一版)。-台北市，-天下雜誌股份有限公司。- p.57、p.58、p.59、p.262
- (二) Coletta , V.P.(原著)。1998。-李瑞真等人編譯。-普通物理-(初版)。台北市。-高立圖書有限公司。-p.190
- (三)范恩。2009。-熱力學練功寶典：熱的簡史(第一版)。-台北市。-天下遠見出版有限公司。
- (四)國小科學促進會著。2009。-我的第一堂有趣的物理常識課(初版)。-台北市。-台灣廣廈出版集團，-美藝學院出版。
- (五)維基百科。(無)-斑馬\_條紋。2013 年 05 月 21 日引自  
<http://zh.wikipedia.org/zh/%E6%96%91%E9%A6%AC>

## 【評語】 030106

本件作品從事黑與白條紋升降溫度變化影響之探討，實驗現象具有異趣性，實驗方法採系統化，設計實驗控制變因從事分析探討，並得到與習常概念認知不同新穎結果，並可進一步作為節能應用參考，建議本件作品應對基礎物理機制做更精緻分析討論，並系統化歸納更多幾何組合，討論最佳設計建議。