

# 屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：

## 綠色規劃書

—探討臺灣都市氣溫變化與綠地面積設計之降溫效果—

關 鍵 詞：氣溫變化、綠地面積、都市綠地設計（最多三個）

編號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：由承辦學校統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

## 摘要

本研究以氣象局 2010~2018 年之六都(台北市、新北市、桃園市、台中市、台南市、高雄市)之平均高溫、平均低溫、年溫差進行分析比較，得到除桃園市之外，其 9 年來呈現穩定的現象；另以營建署公告六都之綠地面積(公頃)2010~2017 年等 7 年資料，發現台中市和高雄市的綠地面積增加 2.5 倍~3.5 倍，其他都市約維持不變。以高雄市的綠地面積與年均高溫、年溫差進行線性回歸發現綠地面積越高，其與年高溫呈現無相關、與年溫差呈現低度相關；最後本研究以模擬試驗發現以 40%的綠地面積比例搭配分散條狀設置，可有效降低溫度，建議未來都市綠地設計可參考本研究之結果。

## 壹、 研究動機

溫室效應越來越嚴重，引起各地的平均溫度上升，且各地區綠地面積減少，也增加了溫室效應的狀態。可是事實上臺灣的狀況為此嗎？所以我們想要利用氣象局的資料進行長期的分析；另外各地區的綠地面積變化否也會影響年高溫、年低溫與年溫差呢？這都引起我們的興趣。

## 貳、 文獻探討與分析

在以往歷屆的科展研究中，大都式在密閉式的空間內部注入不同濃度的溫室效應相關氣體(二氧化碳、氣機車廢氣、水氣、甲烷等)，並以具有熱度的光源或是紅外線燈進行照射，觀察某一段時間的升溫狀況與關掉光源後的降溫狀況做為比較，其相關研究結果大都顯示溫室氣體的濃度越高，其越容易升溫也較不易降溫(王親嶸、黎桂如、沈浩、李文正、張志堅、陳輝雄，1999；何涵育、陳佑昇、盧柔芯、何秉璋、陳俊昇、莊皓勛、黃聰敏、陳瓊如，2001；陳柏霖、劉誠量、陳泓伸、陳盈吉、鍾梅英，2004)。

回顧以往科展的相關研究，發現幾乎都是類似的作法，我們該如何去做出與別人不同的研究呢？我們思考很久，發現有研究指出地表的質地會影響整體溫室效應的狀況(何涵育，2001；陳柏霖，2004)，地表質地若為岩石相關材質，則容易升溫也容易降溫，但是若為偏向植物草的的材質，則升溫狀況較為和緩，降溫狀況也較為平和。但是以上研究在地表質地的選擇上都是選擇單一種類進行探究，與實際城市中的水泥與綠地混合分布的狀況不同。這樣的想法刺激了我們去思考若在城市之中的水泥柏油路面與綠地植栽的面積比例上若有不同，甚至是綠地栽種的形狀不同是否有會影響到整個城市的溫室效應呢？

因此，是否會有最佳化的綠地面積與綠地的分布呢？基於以上的好奇，於是我們開始研究綠地面積與分布狀況對於溫室效應的影響。

## 參、 研究目的

- 一、 分析 2010~2018 年臺灣六都(台北市、新北市、桃園市、台中市、台南市、高雄市)之平均年高溫、平均年低溫之狀況。
- 二、 分析 2010~2017 年臺灣六都之綠地面積改變狀況。
- 三、 分析 2010~2017 年臺灣六都之綠地面積改變狀況與其年均高溫、年溫差之關係。
- 四、 探究模擬城市中能降低溫室效應的最佳化綠地比例與分布。

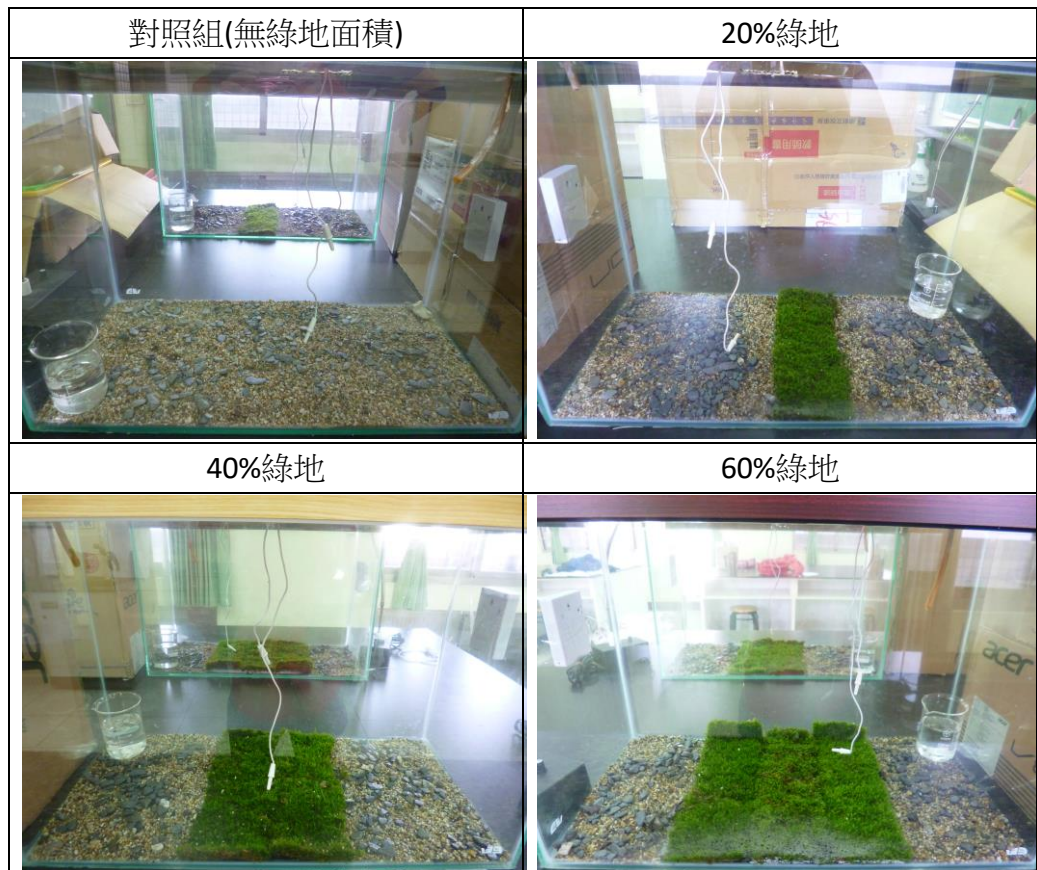
## 肆、 研究設備

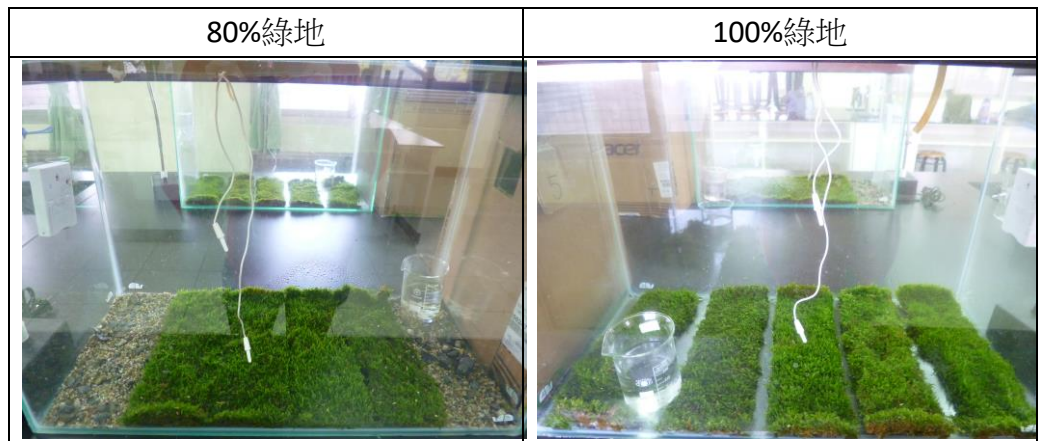
- 一、 公開資料：氣象局之溫度資料、營建署之綠地面積資料。
- 二、 模擬城市綠地實驗：大型魚缸 120cmX25cmX40cm)、電子式溫度計、電子式濕度計、機車廢氣、草地環境(以水苔作為代表)、燒杯、蒸餾水。

## 伍、 研究設計與方法

- 一、 六都 2010~2018 年溫度資料分析，使用氣象局公開資料進行年均高溫、年均低溫、年均溫差等分析。
- 二、 六都 2010~2017 年綠地面積資料分析，使用營建署公開資料進行分析。
- 三、 以綠地面積最高的都市，分析其綠地面積與年均高溫、年均溫差的線性回歸關係。
- 四、 模擬最佳綠地比例實驗
  - (一)此實驗中我們架設了綠地面積分別為 20%、40%、60%、80%與 100% 的比例面積進行探究。
  - (二)此實驗裝置我們先採取由水族箱底面積正中間開始往兩側進行不同比例的綠地面積，如下表 5-1 所示。

表 5-1 綠地面積設計





(三)在各模擬城市箱之中我們各放置了一杯水，目的在於使各箱子中的濕度一致，因為水氣也是重要的溫室效應影響因子。根據本實驗的濕度檢測結果，各箱子之中的濕度約為 60%~70 之間，都相當接近。

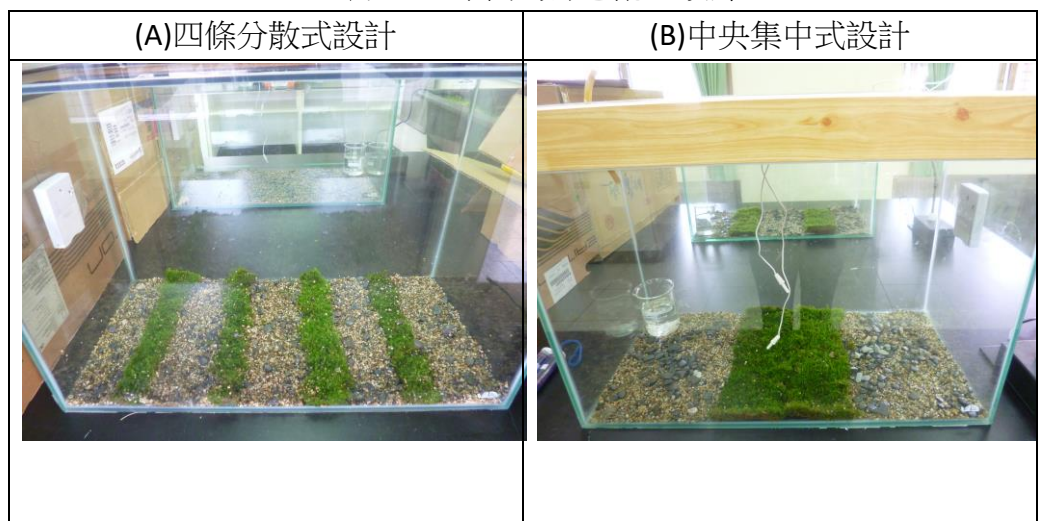
(四)在初始的研究溫度取得上，我們去模擬城市正中間的地面溫度和高空的中央溫度兩者做為分析。

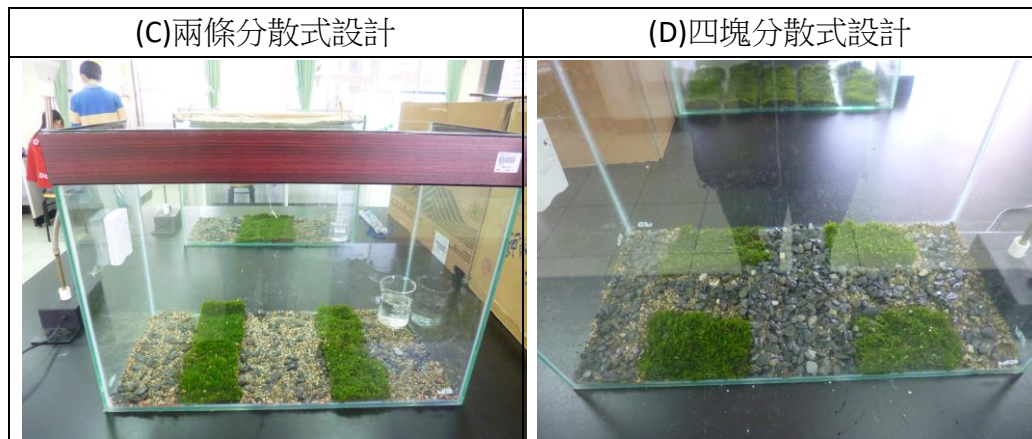
#### 五、 模擬城市內部的綠地面積分布

(一)找出最佳綠地化面積比例之後，再來探究在最佳化綠地面積比例之中，其綠地的不同分布是否會有不同的升降溫狀況、熱散失效率等差異。

(二)其分布狀況如下表 5-2 所示：

表 5-2 不同的綠色配置設計





六、 模擬城市內部的上層、中層與地面溫度、濕度測量(最後最佳化綠地面積的測試才有此溫度測量設計)

(一)在模擬城市之中測量不同地方的溫度，其可能測量溫度區域如下圖所示：

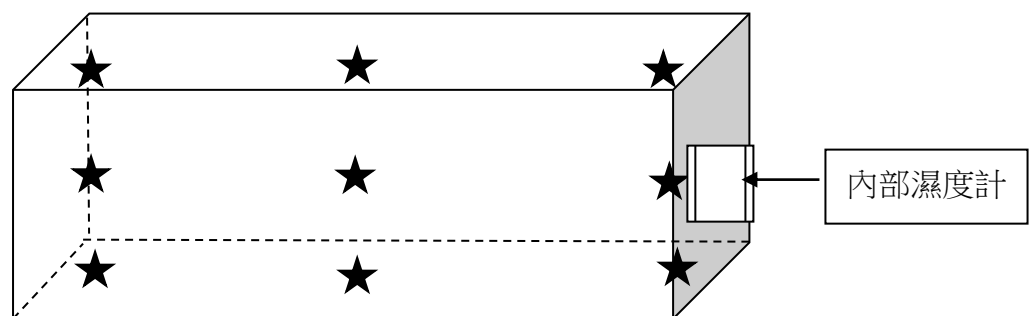


圖 5.1 溫度計分布圖

(二)溼度計的放置(如上圖 5.1 所示)

(三)在水族箱頂部封上一個保鮮膜，並設計一個可以蓋上的紙箱。在水族箱的正上方使用 200W 的鹵素燈照射 30 分鐘(模擬日照)，每隔 5 分鐘紀錄各區的溫度計讀數；之後關閉鹵素燈(模擬黑暗)30 分鐘，每隔 5 分鐘紀錄各區的溫度計讀數。



七、 非綠地面積設計

非綠地面積設計在本實驗中指的是城市中水泥道路的部分，我們採用混合礫石和敲碎後的水泥塊來模擬都市中的水泥環境。

#### 八、 熱散失效率計算

在每一組照光 30 分鐘後紀錄計算溫度上升改變度數( $\Delta X_{升}$ )，再紀錄計算黑暗中 30 分鐘後紀錄溫度下降改變度數( $\Delta X_{降}$ )，將  $\frac{(\Delta X_{降})}{(\Delta X_{升})}$  的比值換換成為百分比，即為本實驗所定義的熱散失效率。

例如某組上升溫度改變溫度為  $2.5^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta X_{升}$ )，下降溫度改變溫度為  $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta X_{降}$ )，則熱散失率則為  $1.5/2.5=0.6 \rightarrow 60\%$ ，也就是說在該環境可以將吸收的熱散失 60%。

## 陸、 研究結果與分析

### 一、 六都 2010-2018 之平均最高溫、平均最低氣溫、平均溫差之狀況

此段分析以台北市、新北市、桃園市、台中市、台南市、高雄市等六都之平均最高溫 and 平均最低溫(2010 年~2018 年)作為統計分析，其結果如下表 6-1~表 6-6 所示。

#### (一)台北市

表 6-1 台北市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

台北	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	33.15	15.96	17.19
2011	32.80	16.97	15.83
2012	32.91	16.53	16.38
2013	32.86	16.25	16.61
2014	32.94	16.91	16.03
2015	33.37	16.95	16.42
2016	33.69	16.95	16.74
2017	33.44	17.35	16.09
2018	33.59	16.48	17.11



- 1.2010~2018 年，台北市的平均最高氣溫約為 32.86~33.69，約維持穩定。
- 2.2010~2018 年，台北市的平均最低氣溫約為 15.96~17.35，約維持穩定。



## (二)新北市

表 6-2 新北市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

新北(板橋)	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	33.15	15.28	17.87
2011	32.72	16.34	16.38
2012	32.67	16.23	16.44
2013	32.53	15.79	16.73
2014	32.58	16.43	16.15
2015	32.88	16.40	16.48
2016	33.18	16.48	16.69
2017	33.00	16.86	16.14
2018	32.75	15.24	17.51

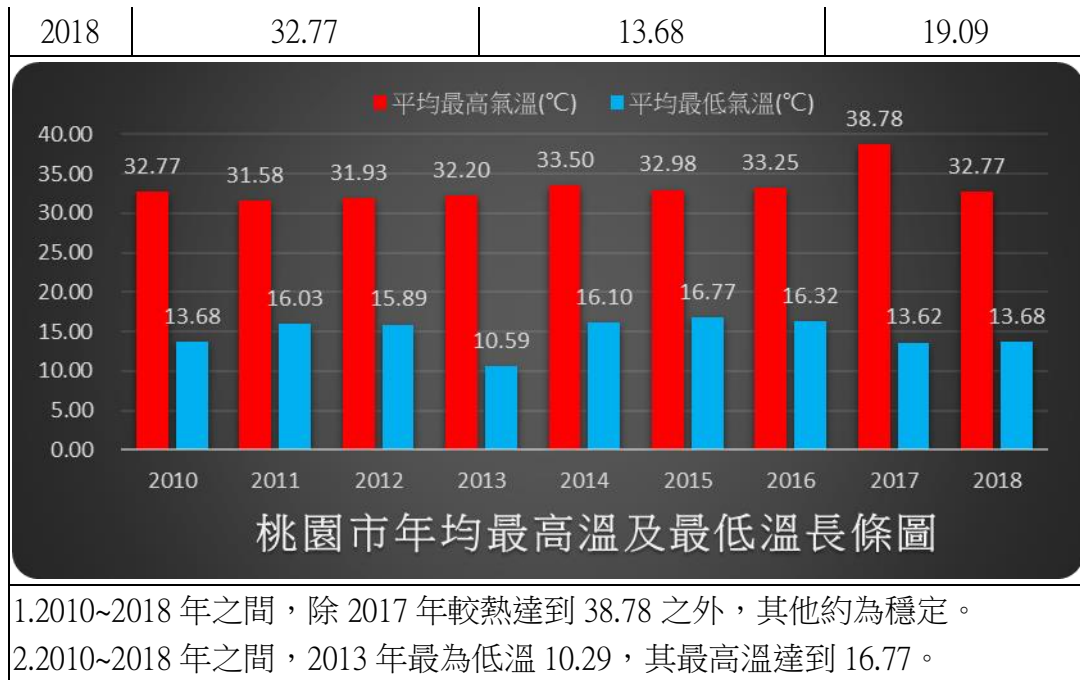


- 1.2010~2018 年之間，平均最高氣溫為 32.53~33.18 之間，約維持穩定。
- 2.2010~2018 年之間，平均最低氣溫為 15.24~16.86 之間，約維持穩定。

## (三)桃園市

表 6-3 桃園市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

桃園	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	32.77	13.68	19.09
2011	31.58	16.03	15.56
2012	31.93	15.89	16.04
2013	32.20	10.59	21.61
2014	33.50	16.10	17.40
2015	32.98	16.77	16.22
2016	33.25	16.32	16.93
2017	38.78	13.62	25.16



#### (四)台中市

表 6-4 台中市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

台中	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	32.31	15.94	16.37
2011	31.96	17.16	14.80
2012	32.13	17.12	15.01
2013	31.98	16.22	15.77
2014	32.33	16.61	15.72
2015	33.11	16.82	16.29
2016	32.98	17.15	15.83
2017	33.03	17.17	15.87
2018	33.07	16.59	16.48



- 1.2010~2018 年之間，平均最高氣溫約為 32.31~33.11 之間，約維持穩定。
- 2.2010~2018 年之間，平均最低氣溫約為 15.94~17.17 之間，約維持穩定。

### (五)台南市

表 6-5 台南市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

台南	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	32.66	16.98	15.68
2011	31.49	17.68	13.82
2012	31.93	17.81	14.13
2013	31.93	17.19	14.73
2014	31.86	18.09	13.77
2015	32.01	18.33	13.68
2016	32.34	18.03	14.32
2017	32.34	18.37	13.98
2018	32.42	17.58	14.83



- 1.2010~2018 年之間，平均最高氣溫約為 31.49~32.66 之間，約維持穩定。
- 2.2010~2018 年之間，平均最低氣溫約為 16.98~18.33 之間，約維持穩定。

## (六)高雄市

表 6-6 高雄市 2010~2018 年平均最高溫與最低溫之狀況

高雄	平均最高氣溫(°C)	平均最低氣溫(°C)	平均溫差(°C)
2010	32.25	18.30	13.95
2011	31.53	19.18	12.36
2012	32.38	19.53	12.85
2013	31.93	17.81	14.13
2014	32.16	19.80	12.36
2015	32.00	20.08	11.93
2016	32.18	19.55	12.63
2017	32.77	20.10	12.67
2018	32.50	19.07	13.43



- 1.2010~2018 年之間，平均最高氣溫約為 31.53~32.77 之間，約維持穩定。
- 2.2010~2018 年之間，平均最低氣溫約為 17.81~20.10 之間，約維持穩定。

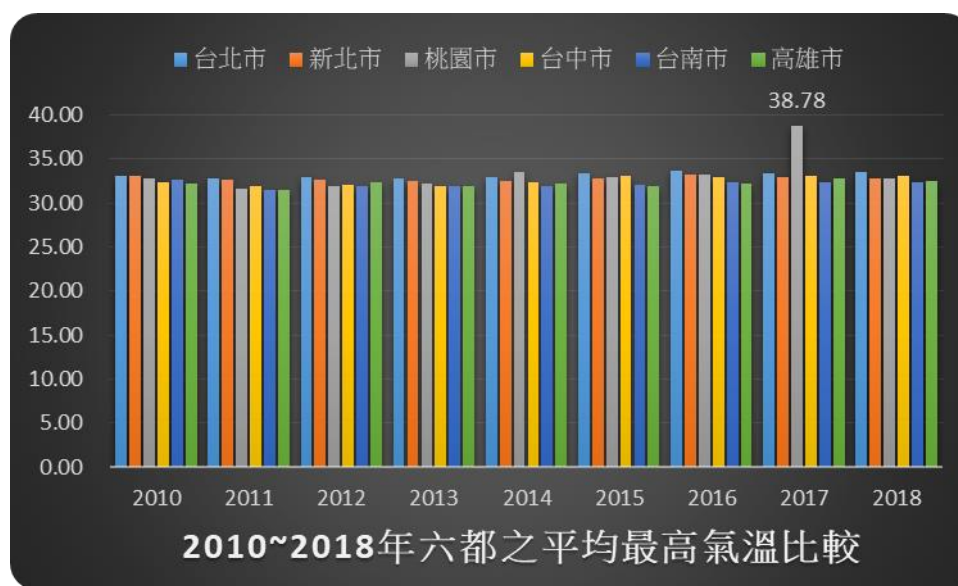
以上分析發現六都除了桃園市之外，其餘五都在年均最高溫與最低溫的 9 年之間，其溫度變化不大，約為穩定值。

## 二、六都之 2010~2018 年之年均最高溫比較

此段分析我們將六都於 2010 年~2018 年之年均最高溫為數據做為統計，其結果如下表 6-7 所示。

表 6-7 六都之 2010~2018 年之年均最高溫比較

平均最高氣溫(°C)	台北市	新北市	桃園市	台中市	台南市	高雄市
2010	33.15	33.15	32.77	32.31	32.66	32.25
2011	32.80	32.72	31.58	31.96	31.49	31.53
2012	32.91	32.67	31.93	32.13	31.93	32.38
2013	32.86	32.53	32.20	31.98	31.93	31.93
2014	32.94	32.58	33.50	32.33	31.86	32.16
2015	33.37	32.88	32.98	33.11	32.01	32.00
2016	33.69	33.18	33.25	32.98	32.34	32.18
2017	33.44	33.00	38.78	33.03	32.34	32.77
2018	33.59	32.75	32.77	33.07	32.42	32.50



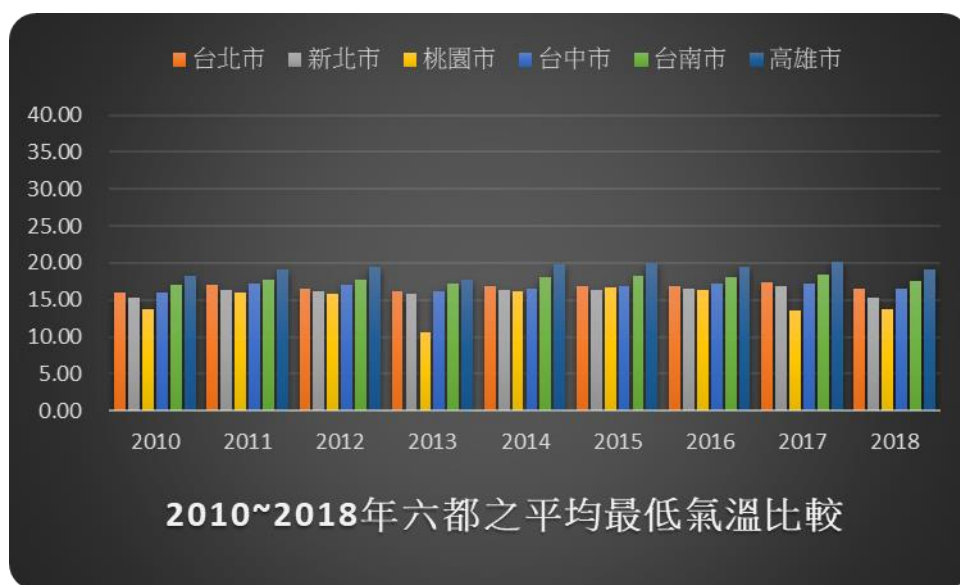
1. 2017 年的桃園市年平均溫度最高，達到 38.78 度，遠大於其他城市。
2. 大致發現中北部之都是在年平均最高溫皆高於南部的台南市、高雄市。這與緯度的關係呈現矛盾，推測是由於中北部都市的熱島效應所導致。

### 三、六都之 2010~2018 年之年均最低溫比較

此段分析我們將六都於 2010 年~2018 年之年均最高溫為數據做為統計，其結果如下表 6-8 所示。

表 6-8 六都之 2010~2018 年之年均最低溫比較

平均最低氣溫(°C)	台北市	新北市	桃園市	台中市	台南市	高雄市
2010	15.96	15.28	13.68	15.94	16.98	18.30
2011	16.97	16.34	16.03	17.16	17.68	19.18
2012	16.53	16.23	15.89	17.12	17.81	19.53
2013	16.25	15.79	10.59	16.22	17.19	17.81
2014	16.91	16.43	16.10	16.61	18.09	19.80
2015	16.95	16.40	16.77	16.82	18.33	20.08
2016	16.95	16.48	16.32	17.15	18.03	19.55
2017	17.35	16.86	13.62	17.17	18.37	20.10
2018	16.48	15.24	13.68	16.59	17.58	19.07



1. 南部的城市在最低溫的狀況較高，符合緯度的關係。
2. 桃園市在六都的平均最低氣溫都出現最低的狀況，不符合緯度關係。至於為何最低溫出現在桃園市，我們目前無法得知原因。

## 四、六都之 2010~2018 年之綠地面積變化比較

此段分析我們在營建署的公開資料上找到六都在 2010~2017 年的綠地面積(公頃)的數據，其整理如下表 6-9 所示。

表 6-9 六都在 2010~2017 年的綠地面積(公頃)

年分 \ 綠地面積(公頃)	台北市	新北市	桃園市	台中市	台南市	高雄市
2010	106.89	139	217.5	171.23	154.25	160.15
2011	94.18	139.45	217.5	216.18	250.22	447.8
2012	94.18	184.47	217.41	216.18	253.56	492.81
2013	94.18	184.47	216.90	282.61	252.22	487.84
2014	94.18	176.98	216.25	377.55	257.56	502.99
2015	94.18	177.32	216.22	323.70	253.77	519.33
2016	94.18	177.53	186.10	455.50	250.55	523.22
2017	94.26	177.39	188.70	454.71	249.39	570.83



此段分析發現：

- (一) 台北市 8 年來的綠地面積變化不大。
- (二) 新北市 8 年來的綠地面積略有增加，2012 後大致維持穩定。
- (三) 桃園市的綠地面積至 2015 年維持穩定，但是 2016 年後略有減少。
- (四) 台中市的綠地面積 8 年來大致上增加約 2.5 倍左右。
- (五) 台南市的綠地面積在 2011 年增加 1.5 倍後，約維持穩定。
- (六) 高雄市的綠地面積八年來增加約 3.5 倍左右。
- (七) 我們發現六都的綠地面積在 2010-2017 年的增加率不同，我們的想法是綠地面積越多，其最高溫應該越低，且高低溫差應該最小，所以接下來我們選擇綠地面積增加最多的高雄市進行以下分析。



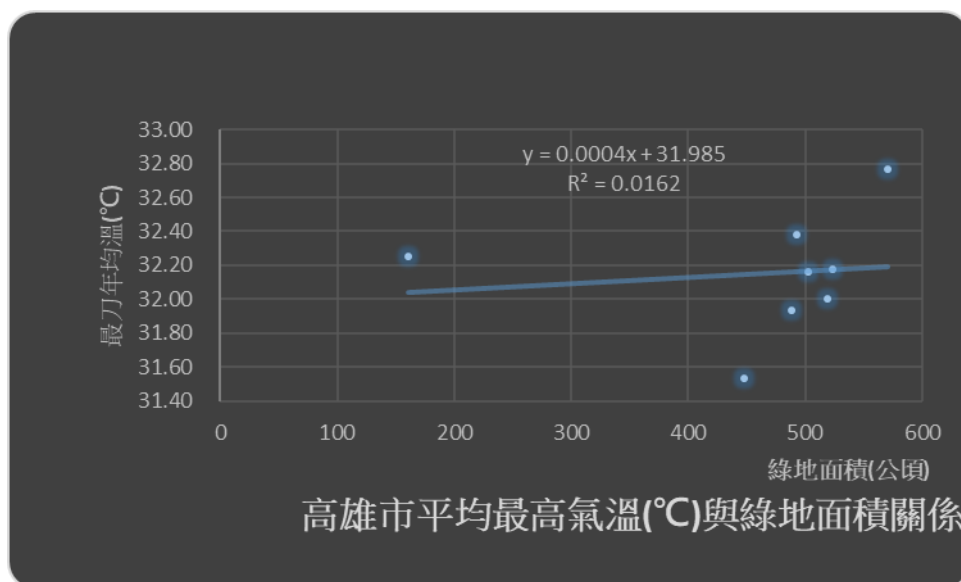
## 五、高雄市之 2010~2017 年之年均最高溫、高低溫差與綠地面積之關係變化

此段分析我們搭配營建署的綠地面積資料和氣象局的氣溫資料重疊的 2010-2017 年進行最高溫與綠地面積、年溫差與綠地面積的線性回歸分析，其結果如下表 6-10 所示。

表 6-10 高雄市氣溫與綠地面積的關係

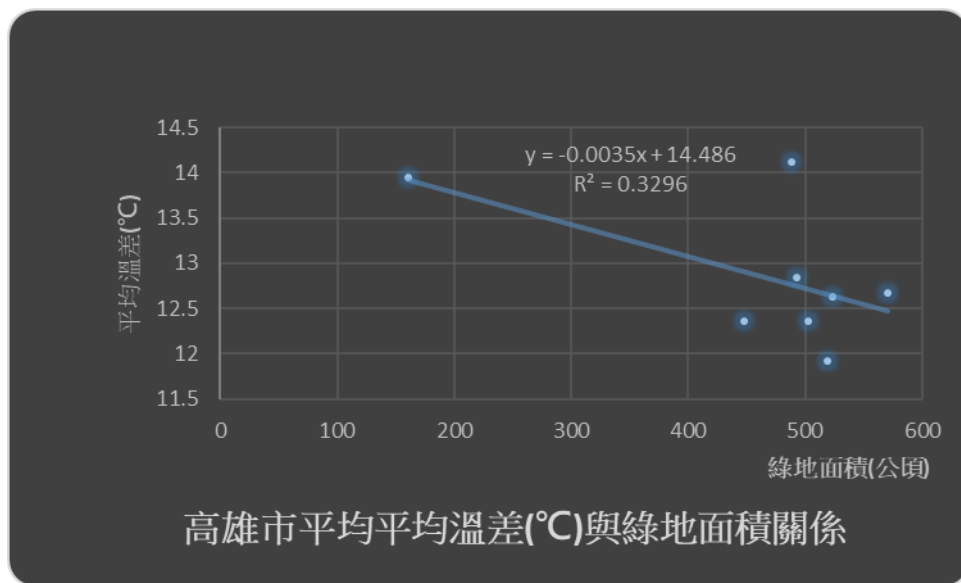
高雄	平均最高氣溫(°C)	平均溫差(°C)	高雄綠地面積(公頃)
2010	32.25	13.95	160.15
2011	31.53	12.36	447.8
2012	32.38	12.85	492.81
2013	31.93	14.13	487.84
2014	32.16	12.36	502.99
2015	32.00	11.93	519.33
2016	32.18	12.63	523.22
2017	32.77	12.67	570.83

最高氣溫與綠地面積關係



- 發現綠地面積越多，其最高溫度越高。其線性關係  $R^2=0.0162$ ，顯示綠地面積與最高溫度無直接的關係。

## 平均溫差與綠地面積關係



- 發現綠地面積越高，其平均溫差有下降的趨勢，其線性關係  $R^2=0.3296$ ，呈現低度相關。

分析至此，我們原本以為綠地面積越多，其平均高溫會下降，可是事實上沒有多大的相關；而原本以為綠地面積越多，其平均溫差會越小，得到結果為低度相關。我們反思，高雄市的綠地面積在 8 年來增加了 3.5 倍之多，卻沒有得到氣溫較為降低的現象，可能與都會綠地面積的設置有關，於是進行以下的模擬實驗。

## 六、綠地面積與溫度變化的關係

因為溫度計數量不夠，我們同時進行六組實驗以減少誤差，故每個模擬城市箱都只安置中心位置的垂直上方中間位置與地面位置的溫度計進行測量，其結果如下表 6-11、表 6-12 和圖 6-1~6-6 所示：

表 6-11 不同環境與空氣之中央位置溫度

30 分鐘升溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
第一組 全礫石環境	21.15	22.18	22.85	23.33	23.53	24.13	24.50
第二組 1 片綠地	21.13	22.70	23.48	24.00	24.43	24.78	25.10
第三組 2 片綠地	21.40	23.10	23.23	23.00	23.33	23.68	23.98
第四組 3 片綠地	21.20	22.60	23.35	23.75	24.15	24.40	24.68
第五組 4 片綠地	21.30	22.45	23.15	23.55	23.88	24.40	24.65
第六組 5 片綠地	21.85	22.95	23.40	23.85	24.20	24.50	24.80
30 分鐘降溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
第一組 全礫石環境	24.50	23.73	23.40	23.15	23.03	22.85	22.73
第二組 1 片綠地	25.10	23.53	23.10	22.93	22.75	22.63	22.53
第三組 2 片綠地	23.98	23.33	22.78	22.78	22.70	22.63	22.50
第四組 3 片綠地	24.68	23.18	22.80	22.58	22.43	22.33	22.20
第五組 4 片綠地	24.65	23.38	23.00	22.75	22.58	22.45	22.35
第六組 5 片綠地	24.80	23.23	22.73	22.65	22.45	22.40	22.35

(數字單位 °C)

表 6-12 不同環境與空氣之地面位置溫度

30 分鐘升溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
第一組 全礫石環境	18.53	19.20	19.53	19.78	19.95	20.15	20.33
第二組 1 片綠地	18.33	18.73	19.08	19.23	19.40	19.75	19.63
第三組 2 片綠地	18.23	18.78	16.48	19.15	19.30	19.43	19.55
第四組 3 片綠地	18.35	18.80	19.05	19.18	19.33	19.50	19.45
第五組 4 片綠地	18.85	19.30	19.48	19.65	19.88	20.00	20.13
第六組 5 片綠地	18.70	19.08	19.20	19.40	19.45	19.78	19.88
30 分鐘降溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
第一組 全礫石環境	23.90	23.25	22.98	22.78	22.68	22.60	22.48
第二組 1 片綠地	23.78	23.03	22.70	22.55	22.40	22.35	22.20
第三組 2 片綠地	23.18	22.75	22.70	22.40	22.28	22.23	21.80
第四組 3 片綠地	23.43	22.63	22.33	22.18	22.03	22.00	21.90
第五組 4 片綠地	23.43	22.63	22.33	22.20	22.08	22.00	21.93
第六組 5 片綠地	23.20	22.60	22.40	22.28	22.10	22.05	22.00

(數字單位 °C)

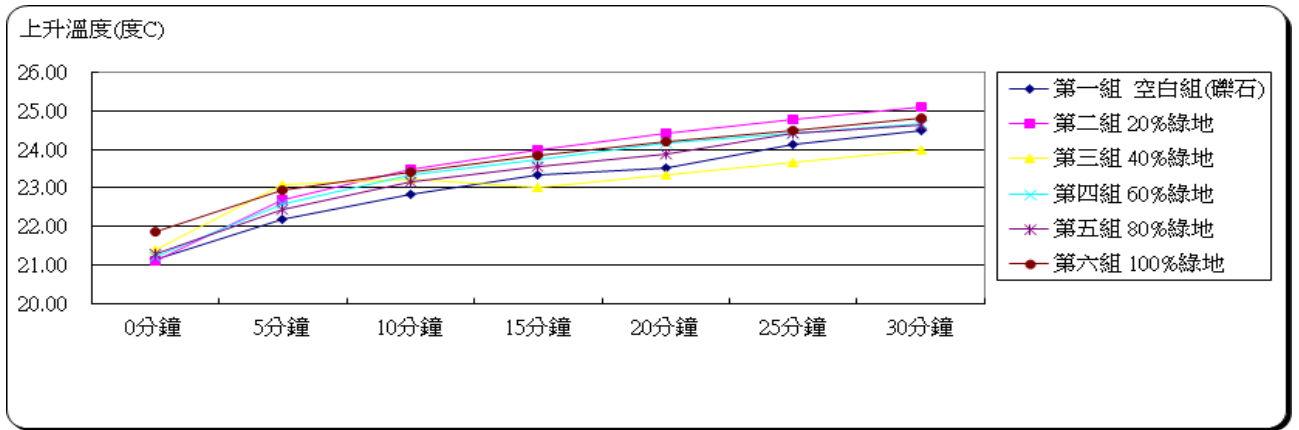


圖 6.1 空氣條件下各組照光升溫情形比較—中心點位置

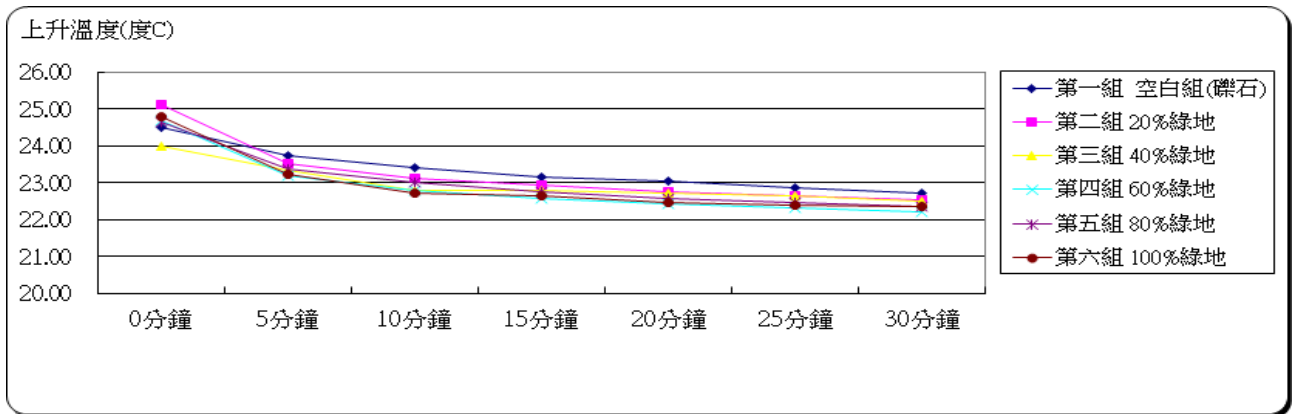


圖 6.2 空氣條件下各組照光降溫情形比較—中心點位置

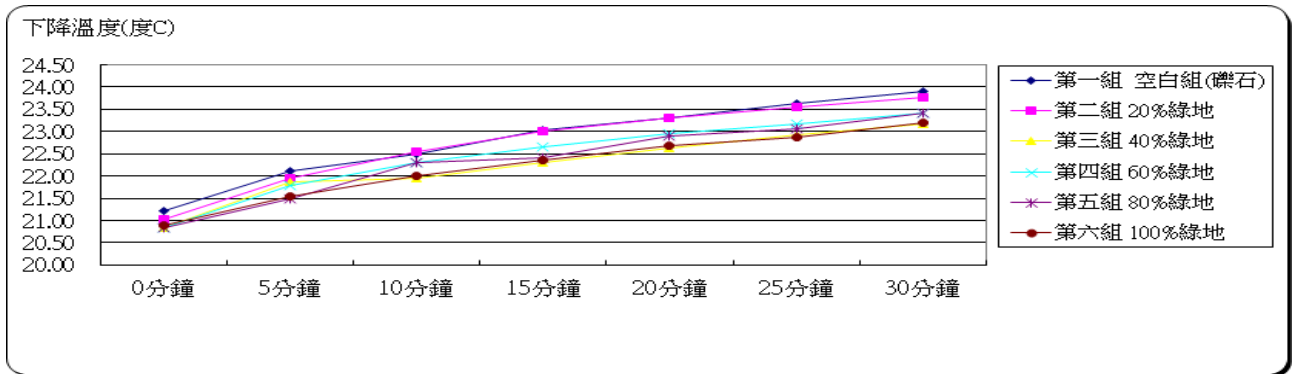


圖 6.3 空氣條件下各組照光升溫情形比較—地面位置

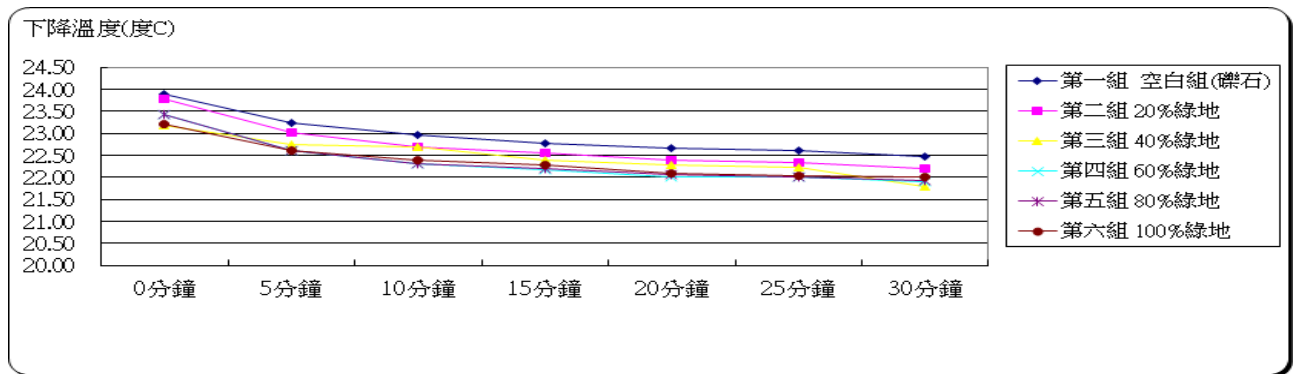


圖 6.4 空氣條件下各組照光降溫情形比較—地面位置

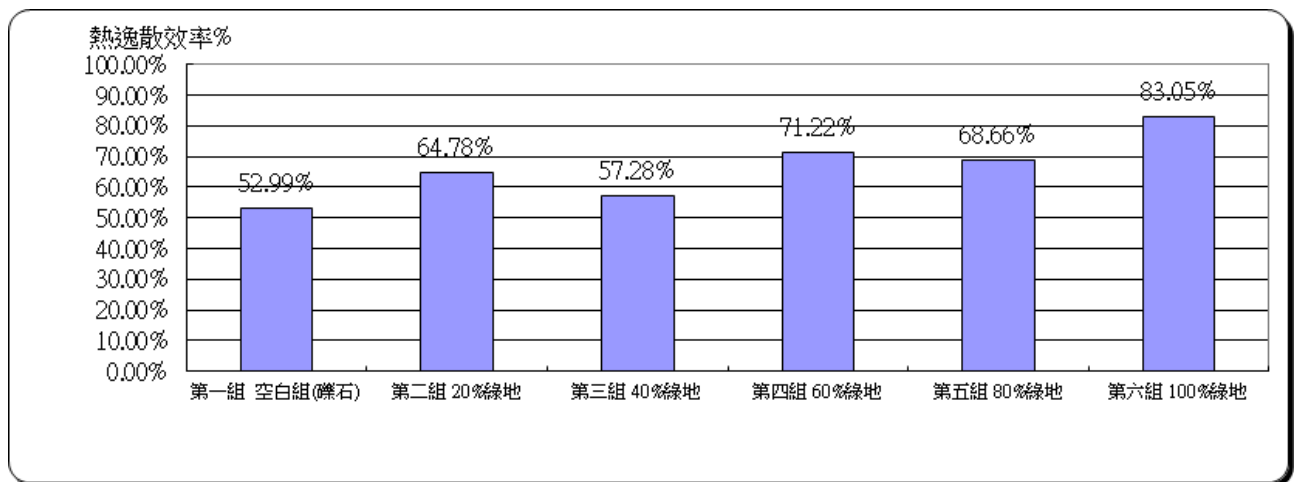


圖 6.5 空氣條件下各組中心位置熱逸散效率比較

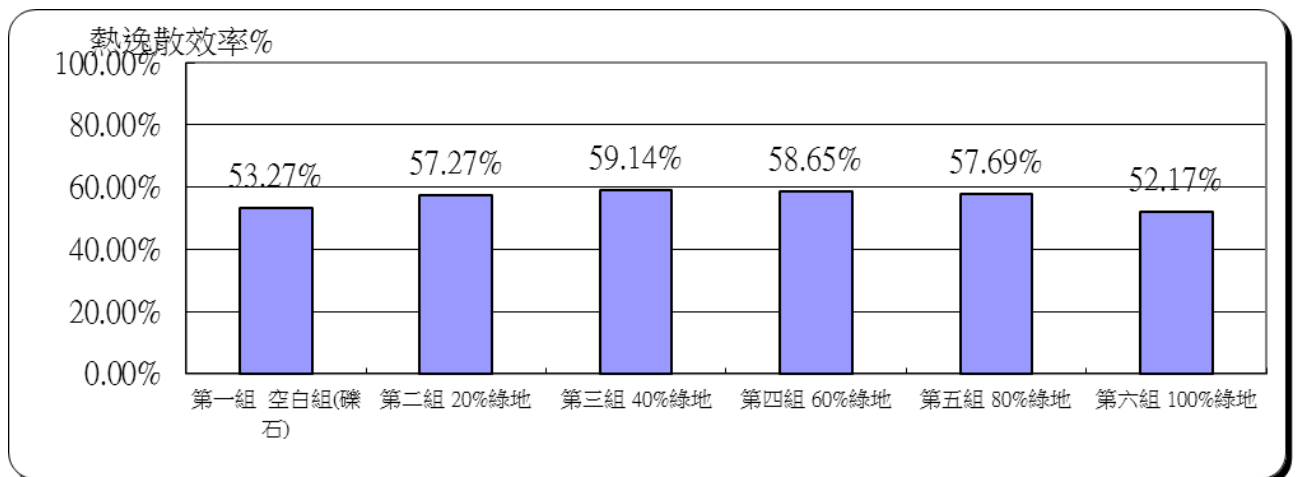


圖 6.6 空氣條件下各組地面位置熱逸散效率比較

由以上的數據中可發現以下數點

- (一) 空白組與各不同綠地面積比例的環境在照光三十分鐘，各組都有溫度上升狀況。
- (二) 空白組與各不同綠地面積比例的環境在黑暗三十分鐘，各組都有溫度下

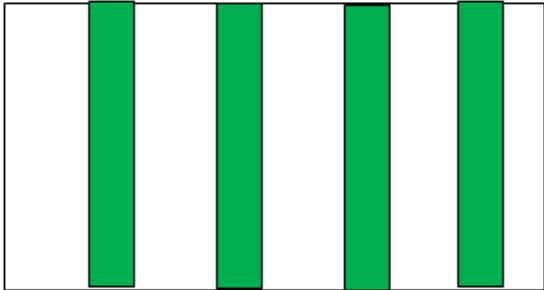
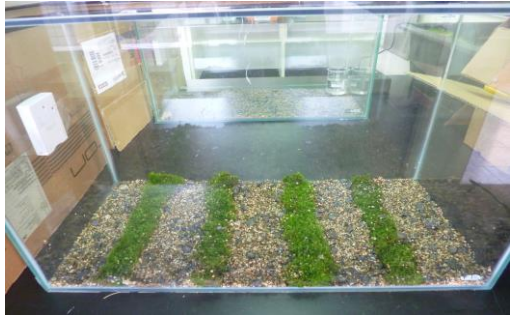
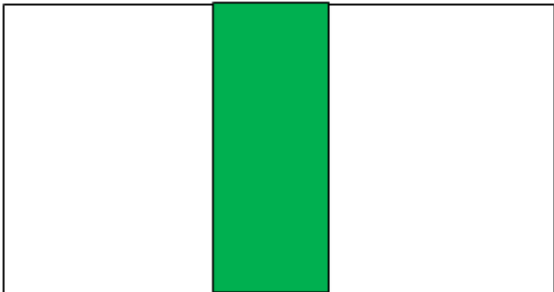

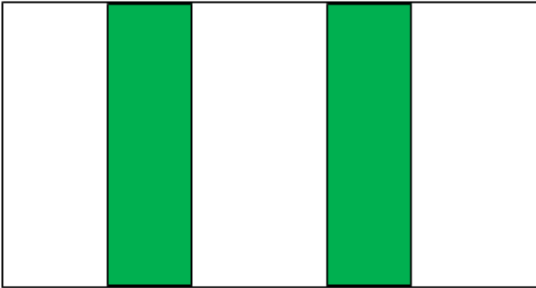

降狀況。

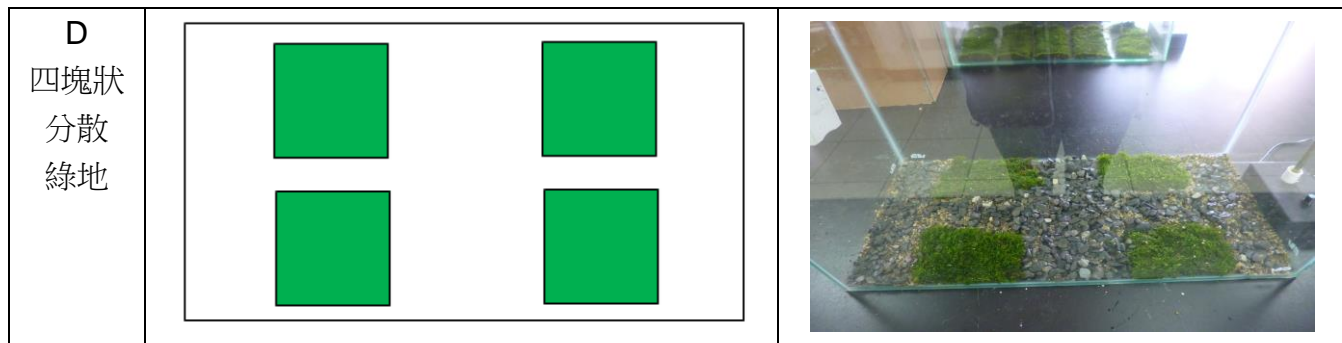
- (三) 空白組與各不同綠地面積比例的環境在照光與黑暗之中，各組的熱散失率不同。
- (四) 若相對於空白組(全為礫石組)，若在中央位置而言，其熱散失率都比空白組好，由其以 60%和 100%的綠地面積較為明顯。但若是比較地面的熱逸散效率，以 40%的綠地面積其熱逸散效率最好，其餘綠地面積比例的結果與空白組相近，並沒有因為綠地面積越高而有所改善。
- (五) 接下來我們為了要有比較高的溫度變化比較，所以我們在水族箱中加入 30CC 的二行程機車廢氣，用來模擬溫室氣體增高的狀況下，以 40%的綠地面積做不同的安置設計，測量其溫度變化的狀況。

## 七、最佳化綠地面積比例狀況下，其不同綠地分布對於其升降溫、熱散失率比較

我們在此段分析中認為模擬城市中應該先行分析地面的熱散失率效果，結果發現在以上實驗結果中以 40%的綠地面積可達到最經濟的熱散失效率。於是我們開始思考，在 40%的綠地面積之下，不同的綠地分布方式是否會有所差異呢(都設置於加入 30C.C 的汽機車廢氣環境下)?我們共設置了四組不同的 40%率地面積分布，如下表所示：

表 6-13 40%綠地面積之不同分布排列情形

組別	圖示	實境照片
A 四條 分散 綠地		
B 中央 集中 綠地		
C 兩條 分散 綠地		



此段研究中，我們一樣設置在水族箱的正中心點和地點的中心點兩處測量溫度，其結果如下表 6-14~6-15 和圖 6-7~6-12 所示：

表 6-14  
最佳化 40%綠地面積之不同排列於 249.99ppm 氣機車廢氣條件下  
正中心位置溫度變化表

30 分鐘升溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
全礫石環境	20.30	20.77	20.97	21.27	21.50	21.70	21.90
A 四條狀綠地	20.50	20.90	21.07	21.33	21.53	21.67	21.87
B 集中綠地	20.40	20.77	20.97	21.20	21.40	21.50	21.67
C 條狀分散	19.97	20.47	20.77	20.97	21.17	21.33	21.47
D 塊狀分散	20.43	20.87	21.17	21.30	21.47	21.67	21.80
30 分鐘降溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
全礫石環境	21.90	21.67	21.50	21.40	21.37	21.33	21.23
A 四條狀綠地	21.87	21.70	21.70	21.63	21.63	21.60	20.93
B 集中綠地	21.67	21.47	21.40	21.17	21.30	21.23	21.23
C 條狀分散	21.47	21.27	21.20	21.17	21.17	21.13	20.03
D 塊狀分散	21.80	21.50	21.37	21.33	21.30	21.27	20.53

(數字單位 ° C)

表 6-15 最佳化 40%綠地面積之不同排列於 249.99ppm 氣機車廢氣條件下  
地面中心位置溫度變化表

30 分鐘升溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
全礫石環境	20.13	20.77	21.03	21.37	21.63	21.80	21.93
A 四條狀綠地	20.33	20.93	21.20	21.40	21.63	21.80	22.00
B 集中綠地	20.10	20.40	20.57	20.73	20.90	21.07	21.17
C 條狀分散	19.87	20.50	20.83	21.00	21.20	21.37	21.50
D 塊狀分散	20.03	20.40	20.67	20.87	21.03	21.23	21.40
30 分鐘降溫	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘



全礫石環境	21.93	21.60	21.40	21.37	21.27	21.23	21.13
A 四條狀綠地	22.00	21.60	21.53	21.43	21.43	21.37	20.37
B 集中綠地	21.17	21.10	21.07	21.00	20.97	20.97	20.56
C 條狀分散	21.50	21.07	20.97	20.87	20.87	20.83	20.33
D 塊狀分散	21.40	21.17	21.10	21.07	21.07	21.00	20.44

(數字單位 ° C)

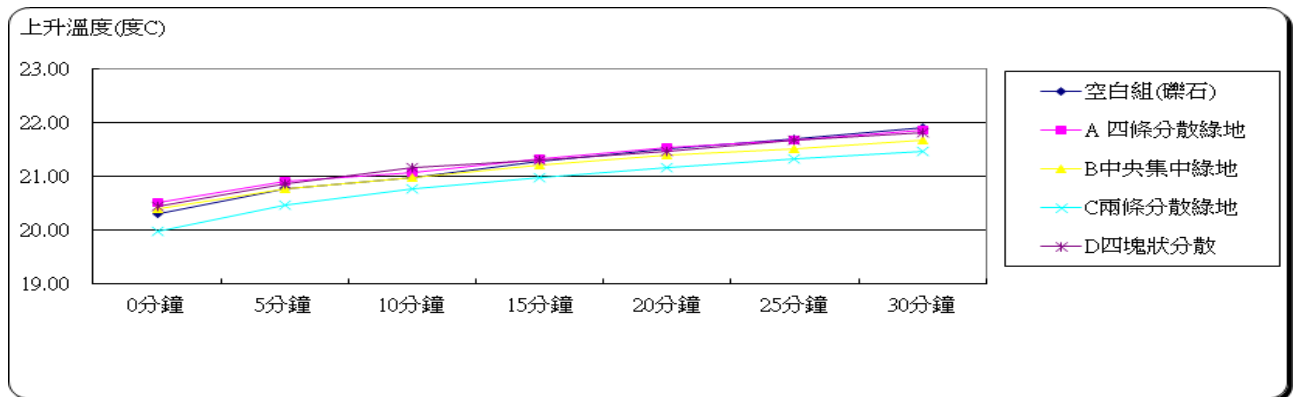


圖 6.7 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組照光升溫情形比較—中心點位置

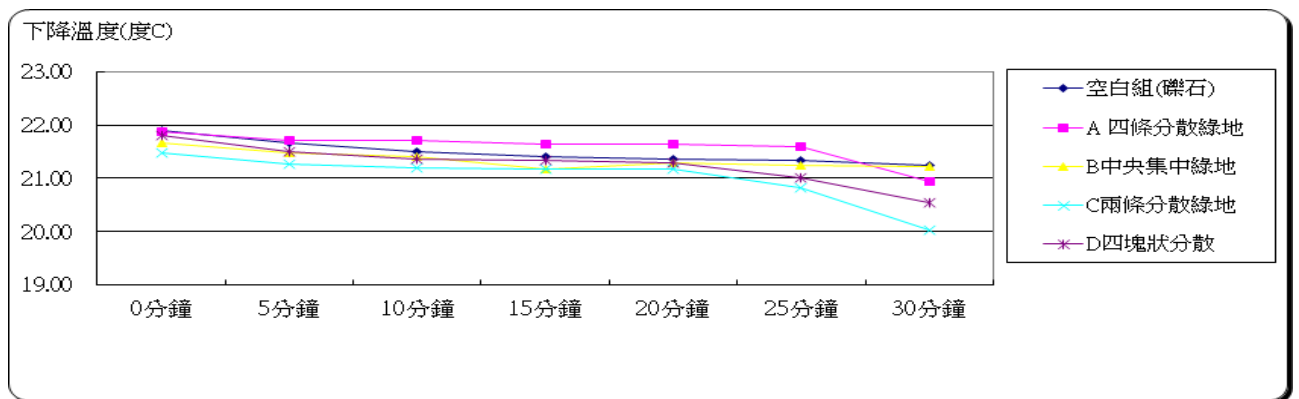


圖 6.8 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組照光降溫情形比較—中心點位置

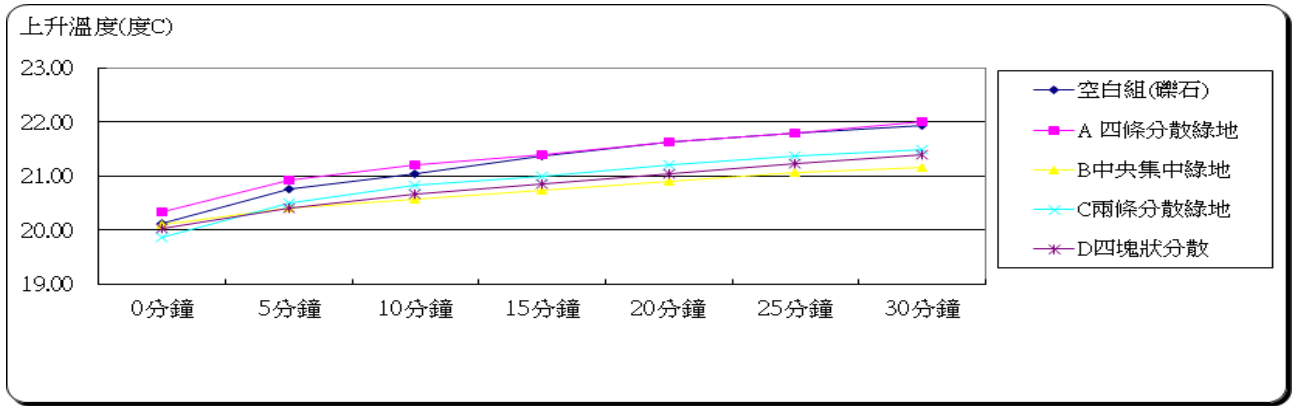


圖 6.9 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組照光升溫情形比較—地面位置

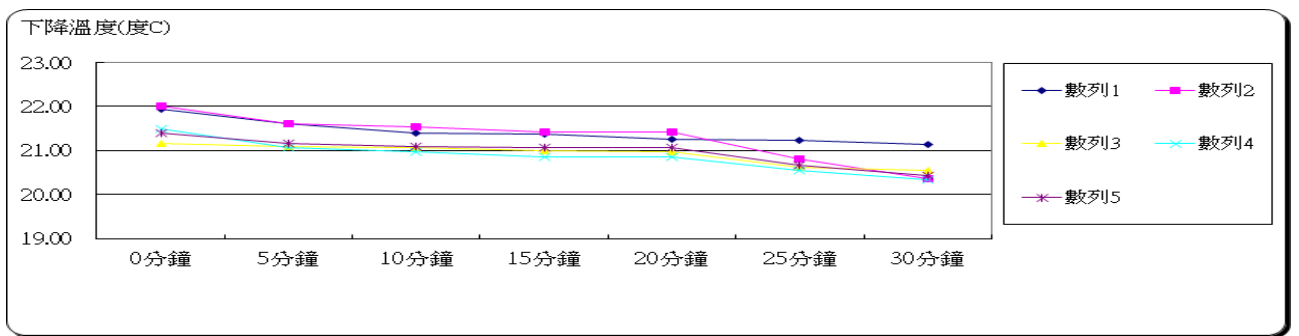


圖 6.10 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組照光降溫情形比較—地面位置

熱逸散效率%

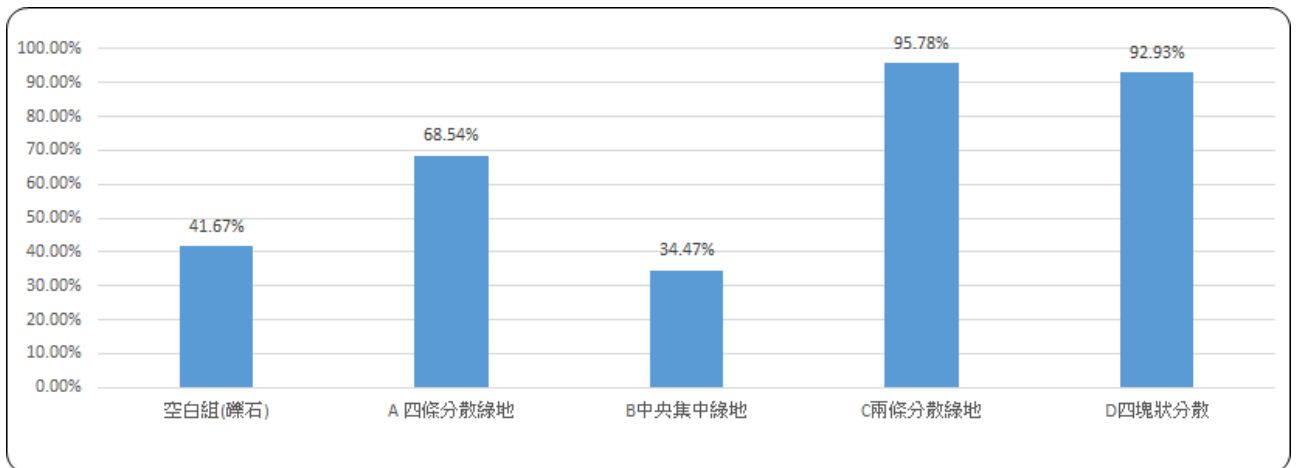


圖 6.11 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組中心位置熱逸散效率比較

熱逸散效率%

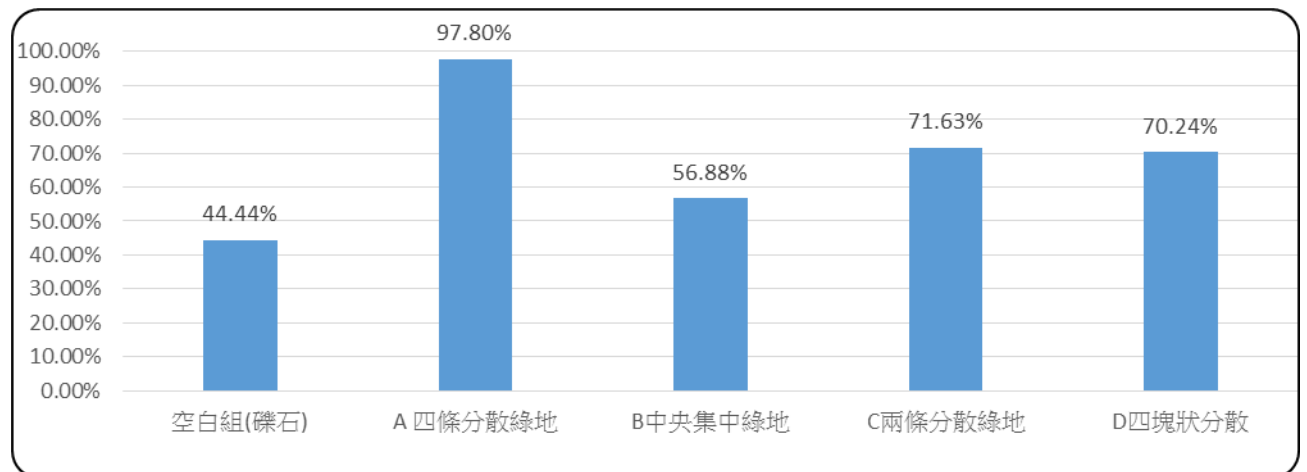


圖 6.12 最佳綠地化 40%面積比例之不同狀況下各組地面位置熱逸散效率比較

由以上數據分析中，我們得知以下訊息：

- (一) 改變 40%綠地面積的不同分布之後，在高空中央位置的除中央集中綠地排列的狀況低於空白組之外，其餘的熱散失率明顯高於空白組，甚至達到九成以上，顯示有很好的散熱效果。
- (二) 改變 40%綠地面積的不同分布之後，在地面位置的熱散失率明顯高於空白組，皆達五成以上，且以 A 四條狀綠地分布狀況更好，達到 97.80% 的熱散失率，顯示有很好的地面散熱效果。

## 柒、綜合討論

### Q1:不同的綠地化面積比例是否在降低地面與高空熱散失率上有所差異呢?

就我們的研究數據看來，不同的綠地面積的確會影響模擬城市內的高空與地面的熱散失效率；以高空的熱散失效率而言，大致上有出現綠地面積比例越高，其高空的熱逸散率越好的趨勢，但是在地面的熱散失率而言，綠地化面積越高的模擬城市地面卻沒有因為綠地的面積比例越高而有越高的熱散失率。得到這樣的數據，我們認為可能是跟地面與高空的水蒸氣含量差異有關。雖然我們當時已經將裝置中的水氣含量考量進去實驗設計中，在每個裝置中置入一杯水，測得每組的水蒸氣含量(濕度)約為60%~70%。但是可能還是會因為有高空鹵素燈直接照射與地面水苔植物的區域性差異造成局部的水蒸氣含量不同而有所影響。

另一個可能為第二部分所做的實驗中所獲得的結果，我們找出約地面40%的綠地化面積可達到最好的地面熱散失率效果，但是不同的40%綠地化分布設計也會有不同的地面熱散失率影響，我們將在接下來的問題中進行討論。

### Q2:水族箱中的濕度是否也會影響到模擬城市的熱散失率?

水族箱內的濕度我們在實驗開始之前就已經考量進入，因為水氣是比二氧化碳更容易保留熱量，所以在實驗設計上我們在每一組的裝置中都放入一杯水，讓內部的水蒸氣含量達到穩定之後才進行下一次的實驗。我們所測得的濕度約都恆定於64%~70%之間，顯示各組的濕度大約穩定，雖然不能排除濕度差異，但是在實驗設計的時候已經儘量減少濕度的影響。

### Q3:綠地化面積越多是否會更降低溫室效應呢?

我們的研究數據顯示，綠地化面積越高的區域，其地面的熱散失率不會更高，最佳的地面熱散失率約為40%的綠地面積比例設計。顯示綠地越多的模擬城市其地面的熱散失率不會更好，有些實驗數據甚至比空白組更低。我們認為綠地化面積比例會有一個最佳的經濟值，這個經濟值約略在40%的綠地化面積比例。另外我們也發現在同樣都是40%的綠地化面積比例下，不同的綠地分布情形會大大影響地面的熱散失效果，其四條分散栽種>兩條分散栽種>四塊分散栽種>中央集中栽種。得到這樣的數據，可做為一個城市進行植栽綠化時的經濟值參考。但是為何不同的綠地栽種方式會有不同的熱逸散效果，我們在後來的實驗數據中發展出”熱流模型”來進行解釋。

#### Q4 在最佳化綠地面積與不同分布的情形下，其空間中的氣體流動可能為何？

為了解決這個疑問，我們設了一組預備實驗，探討 40%集中綠地的狀況(B 設計)，在水族箱中設置了九個不同位置的溫度計，去探究照光 30 分鐘之後，其各地的溫度狀況，其結果如下圖 7-1A、B 所示：

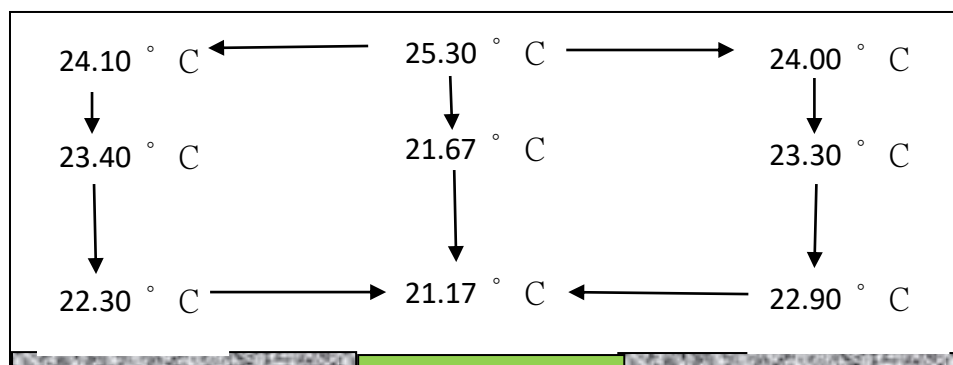


圖 7-1A 照光三十分鐘之後

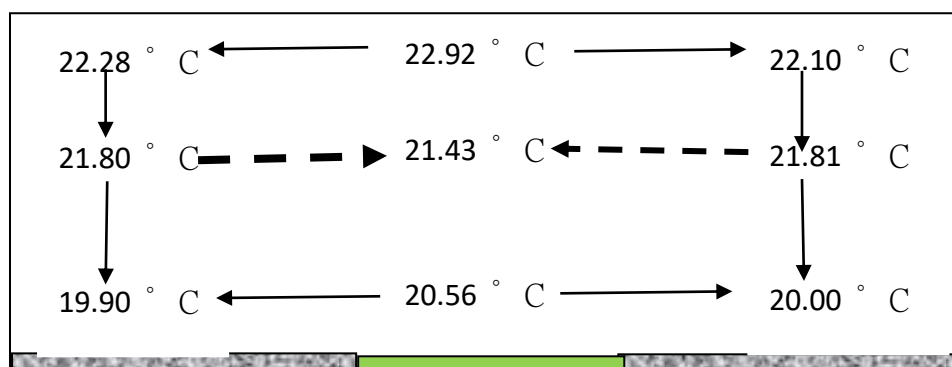


圖 7-2B 黑暗 30 分鐘之後

由上圖 A 和 B 中我們建立了一個可能的解釋方式—熱流模型，如下所示：

- 一、圖 A 中鹵素燈由中央正上方往下照，造成中央上方溫度最高，但是左右地面為礫石環境，容易吸收熱量而溫度提高，但是中央的草地卻不易提高溫度，因此造成了整體環境有溫度差，造成熱量大部分往中央底部的草地集中。
- 二、圖 B 模擬黑暗時期，因為礫石環境比熱較小，故容易放出熱量造成溫度下降，但是草地環境不易放出熱量，所以此時的地面的熱流分布反到是以中央草地往外擴散。而中央高度的位置則是由兩側往中央移動，也可以解釋為何中央位置的熱逸散率較低。
- 三、綜合以上模型，我們認為熱溫差的產生造成熱量可以往地面兩旁逸散，可有效降低地面的溫度而減低城市中的溫室效應。
- 四、此部份為本實驗進行一次的預備實驗，其熱流模型似乎可以提供一個解釋

方向，所以我們繼續進行更多次的實驗，以建立熱流模型的出現，請見下一個問題與討論。

### Q5 熱流模型是否可重複出現呢?

上一個問題的討論中所進行的實驗是較冷的冬天所進行的，當天外界溫度約為 18° C 左右，屬於較冷的天氣。接著我們想要進行更多的實驗，於是我們選擇在同一天內同時進行數組實驗，以減少外界溫度影響的誤差。實驗設計一樣在箱子中放置 18 組溫濕計，選擇中央的位置進行照光三十分鐘與關燈三十分鐘的溫度進行模擬城市鄉中的上排、中排與下排位置的升溫與降溫比較，其結果如表 7-1、圖 7-2A~C、圖 7-3 所示。

表 7-1 熱流模型數據(以 40%綠地比例面積集中排為例-B 排列)

		0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
照 光 30 分 鐘	左上	27.60	27.65	28.00	28.25	28.45	28.65	29.60
	左中	27.70	27.80	28.00	28.25	28.45	28.40	28.60
	左下	27.55	27.95	28.35	28.55	28.75	28.80	29.00
	中上	27.60	28.60	29.20	29.55	29.80	29.95	30.15
	中中	27.60	27.90	28.10	28.25	28.40	28.55	28.65
	中下	27.70	27.95	28.15	28.35	28.40	28.50	28.55
	右上	27.65	27.91	28.15	28.35	28.50	28.70	29.35
	右中	27.60	27.63	27.75	27.85	28.00	28.20	28.20
	右下	27.60	27.95	28.30	28.45	28.65	28.90	29.10
	黑 暗 30 分 鐘			35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘
左上			29.15	28.85	28.55	28.25	28.05	28.00
左中			28.35	28.25	28.25	28.15	28.15	28.10
左下			28.55	28.45	28.35	28.30	28.20	28.10
中上			29.30	28.90	28.65	28.60	28.50	28.35
中中			28.40	28.30	28.20	28.20	28.15	28.10
中下			28.52	28.50	28.45	28.45	28.40	28.40
右上			29.10	28.80	28.35	28.30	28.25	28.15
右中			28.20	28.20	28.15	28.10	28.10	28.05
右下			28.75	28.50	28.45	28.40	28.25	28.10

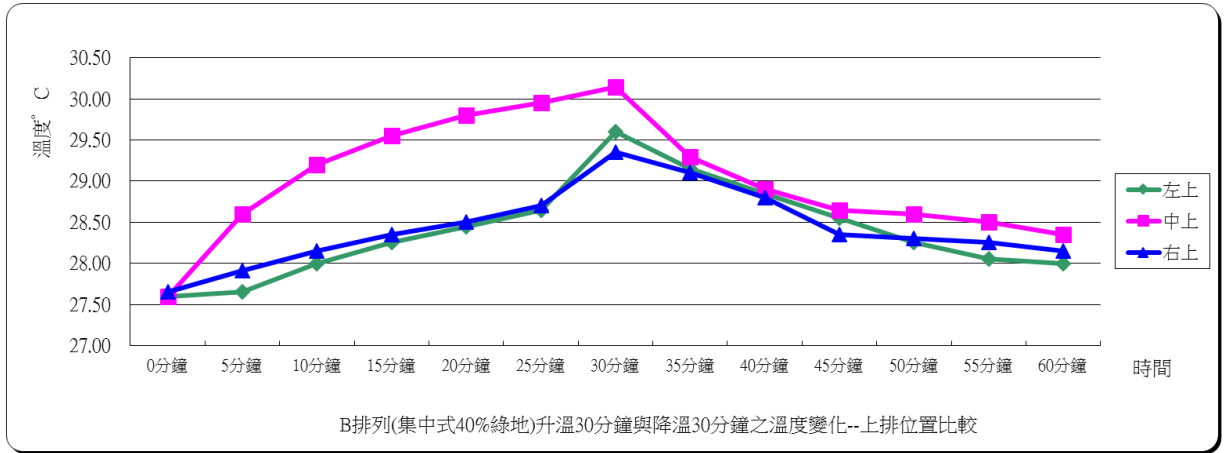


圖 7-2A B 排列上排位置升溫與降溫比較

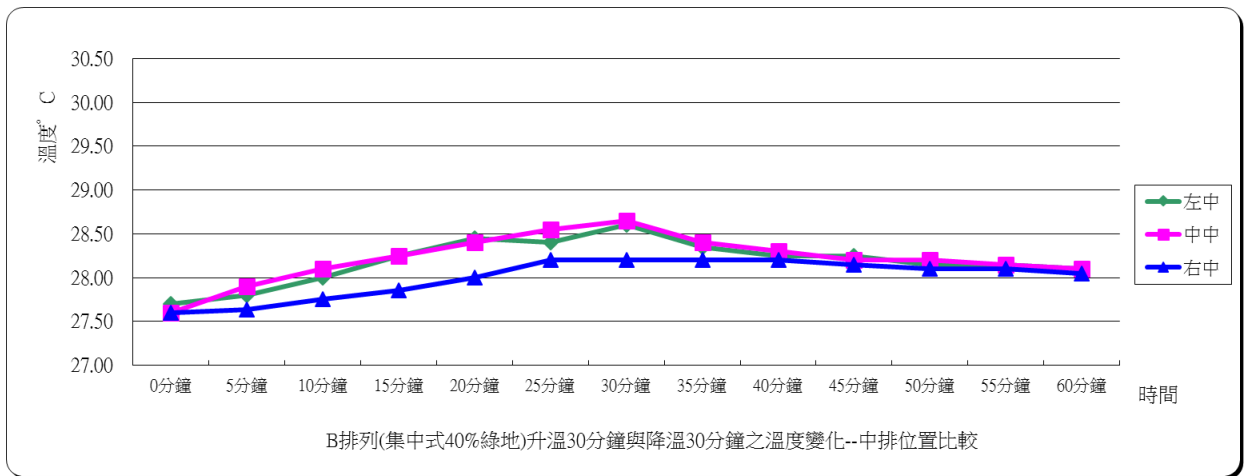


圖 7-2B B 排列中排位置升溫與降溫比較

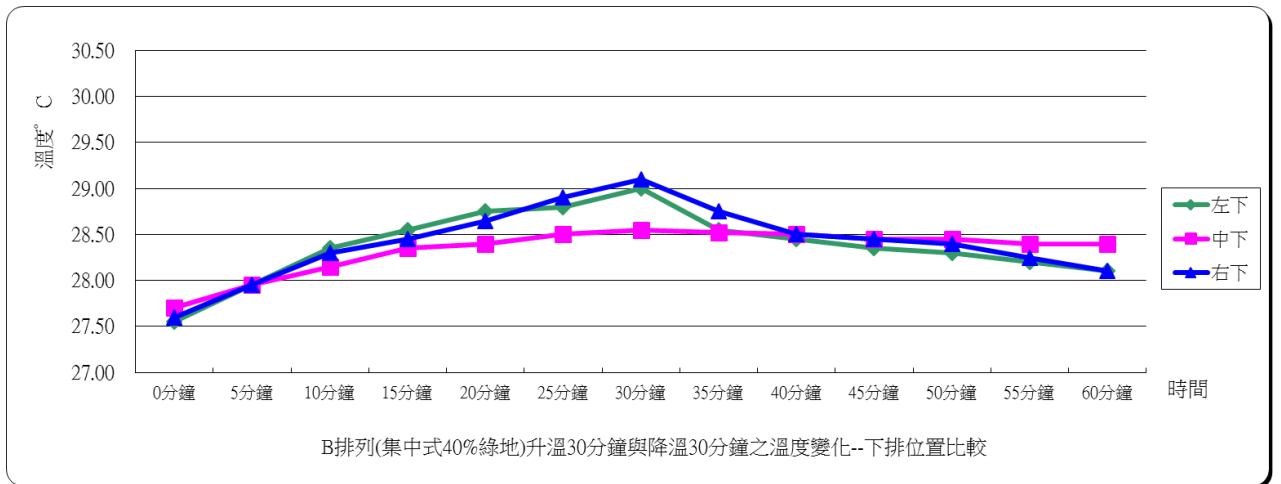


圖 7-2C B 排列下排位置升溫與降溫比較



圖 7-3 40%綠地比例面積中央集中式排列之上、中、下層溫度熱流變化圖

由上面的分析之中，可以清楚看到在預備實驗中所觀察到的熱流模型重現於數據之中，圖 7-3 中我們設計了溫度色差表來表示溫度的變化，將數次數據的平均起始溫度中的最高溫訂為紅色，照光三十分鐘後最高溫度定為最高溫，之間的溫差分給十個溫度色層，因此定義出溫度色差表，再根據不同時間內所記錄到的各區位溫度變化進行著色，得到圖 6-3 的結果。在結果之中我們可以看到以下發生順序：

- (一) 一開始的時候各區位的位置溫度相近。
- (二) 但前 10 分鐘之內，地面的升溫狀況相似，可是約 15 分鐘過後，地面以礫石區的升高溫度開始比中央的草地區域快速。
- (三) 在照光 30 分鐘之後，地面溫度的兩側礫石區溫度明顯高於中央草地區，此時的熱流狀況可能為由礫石區往中央的綠地區集中(推測原因為礫石區的比熱較小，容易吸收熱量而升高溫度所致)。
- (四) 接著模擬黑暗開始，約為降溫 25 分鐘之後，地面發現中央綠地面積的溫度較兩側礫石區為高，最後三十分鐘的時候也是一樣的狀況。推測此時的熱流方向應該為中央綠地區往兩側礫石區逸散，因此使得中央草地區的熱逸散效果提高。
- (五) 在之前的測量之中，中央集中 40%綠地的配置，其正中央環境的熱逸散效果較差，可能可以從溫度色差分析之中得到解釋，因為中間左、中、右位置的



溫度差異相近，所以熱不易往水平逸散。

(六) 得到這樣的數據可建立熱流對流胞的形成，而本研究所試圖建立的熱流模式解釋，可能存在於所設置的模擬環境之中。

## 捌、 研究結論

- 一、 六都於 2010~2018 年的最高溫度除桃園市外，其他都是大都維持穩定；最低溫度六都皆維持穩定。
- 二、 臺北市、新北市、桃園市、台南市於 2010~2017 年的綠地面積(公頃)約相同，而台中市和高雄市則增加 2.5 倍~3.5 倍。
- 三、 以高雄市進行分析，綠地面積越多，其平均最高氣溫並無下降，推測與溫室效應有關；綠地面積越多，其年溫差越小，其呈現低度相關。
- 四、 都市綠地的面積並非比例越高越好，本實驗結果表示在模擬城市之中，40%的綠地面積為最經濟的比例，可有效降低地面環境的溫室效應。
- 五、 在 40%的最經濟綠地面積比例下，我們探究了不同的綠地分布比較(環境設計為 249.99ppm 的汽機車廢氣環境)，發現四條狀分布、中央集中分布、兩條狀分布和四分散區塊分布都能有效提高地面和高空的熱散失效率。其地面熱逸散效果為四條狀分布>兩條狀分布>四塊散狀分布>中央集中式分布。
- 六、 研究團隊以 40%綠地面積的中央集中式設計提出一個熱流模型，可用來解釋為何不同的綠地分布可有效提高地面的熱散失效率。
  - (六)綠地與礫石的在接受光照之後，礫石比較容易升高溫度，綠地較不容易提高溫度，而造成地面不同區域有溫度差異，可能造成熱的流動，使熱從礫石往綠地移動。
  - (七)綠地與礫石的在溫度來源喪失之後，礫石比較容易降低溫度，綠地較不容易降低溫度，而造成地面不同區域有溫度差異，可能造成熱的流動，使熱從綠地往礫石移動，造成綠地地面的熱散失率提高。
- 七、 建議未來的都市設計可以參考本研究，進行最佳化的綠地美化。

## 玖、 參考文獻

- 一、 中央氣象局 <https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 二、 牛頓 (2010)。徹底瞭解 CO2 及其與暖化的關係。量子科學雜誌，33，17-23。
- 三、 溫室效應 (2011)。維基百科。2011 年 2 月 24 日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki>。

- 四、 綠行動(2008)。「Discovery 頻道 綠地球:救地球的五個方法」。台北市：台灣環境資訊協會。2010年11月4日，取自：  
<http://www.earthday.org.tw/node/104>。
- 五、 環境保護署(1999)。「溫室氣體資料庫」。台北市：行政院。2011年3月7日，取自：<http://webgis.sinica.edu.tw/epa/epa.html>。
- 六、 陳柏霖、劉誠量、陳泓伸(2004)。溫溫有理—不同溫室氣體濃度對於溫室效應的影響。屏東縣第五十三屆中小學科展國中組地球科學科第一名。
- 七、 何涵育、陳佑昇、盧柔芯、何秉璋、陳俊昇、莊皓勛、黃聰敏、陳瓊如(2001)。退燒—溫室效應之研究探討。中華民國第51屆全國中小學科展國小組化學科。
- 八、 王親嶸、黎桂如、沈浩、李文正、張志堅、陳輝雄(1999)。發燒中的地球。中華民國第49屆全國中小學科展國中組地球科學科。