

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

第二名

080506

「熱島」往藍海之路

學校名稱：高雄市立翠屏國民中小學(國小部)

作者： 小六 張愷庭 小六 林若晴 小六 林浩宇	指導老師： 黃秋敏 張福峰
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：熱島效應、冷卻、綠化

摘要

研究了解熱島效應因素，並實地調查校園不同場域的溫度變化，提出冷卻熱島效應策略。

結果如下：

- 一、都市熱島效應是全球暖化重要一環，冷卻策略包含反照表面、綠化、透水鋪面等。
- 二、白色、淺色及光滑表面具有較高的反照率，有助於減少陽光輻射熱吸收。
- 三、綠化屋頂的草皮與濕潤裸土都有冷卻「都市熱島效應」的效果，草皮的效果能維持較長的時間。
- 四、人工草皮的塑膠材質在陽光下會助長溫度上升。屋頂水池有助於減少溫度升高，應考量額外供水供電。
- 五、陽光下，學校露天平面溫度上升最少的是操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚；紅色的 PU 跑道與黑色橡膠地墊溫度上升最多。
- 六、高雄市的溫度分布圖所呈現的熱島情形，綠化及水仍是改善熱島效應關鍵。

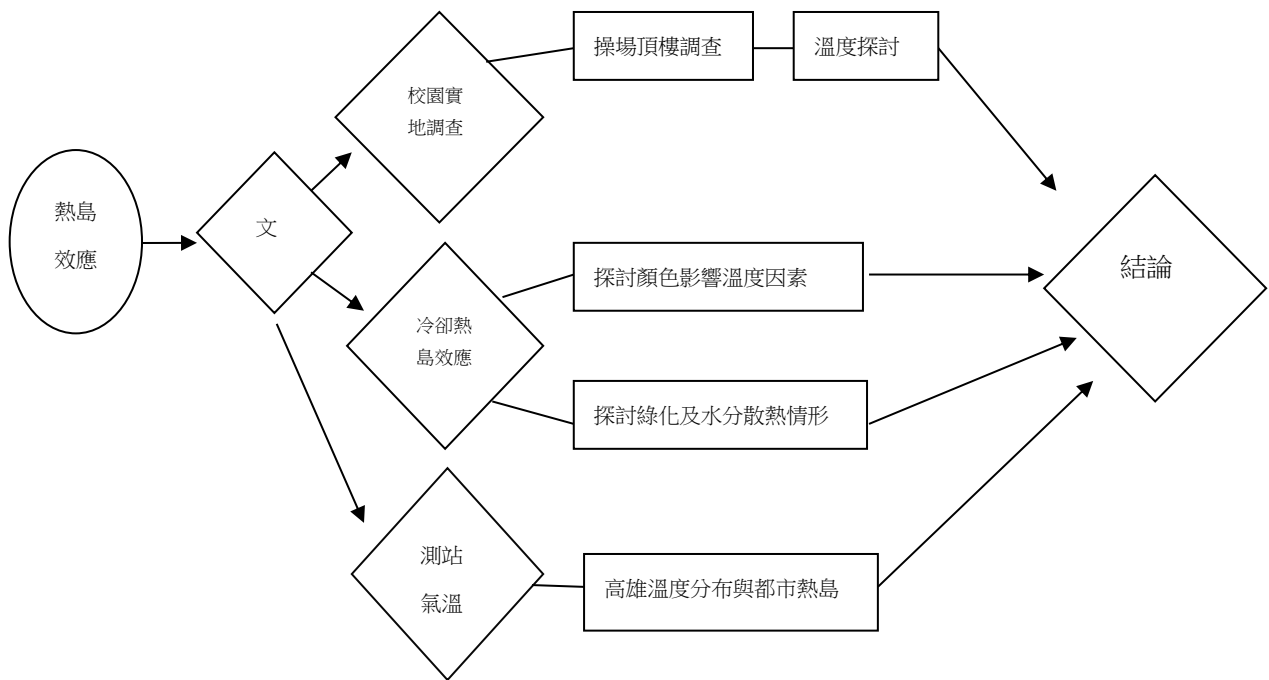
壹、研究動機

每到夏季就會感到異常的熱……尤其是在操場上運動更是讓我滿身大汗。想一想，一樣都是戶外空間，在花圃中散步跟在運動場上走動，為什麼在運動場上感覺比較熱呢？再者，在都市生活比在鄉村活動，在鄉村可以明顯感受到涼爽舒適許多，這又是什麼原因呢？一連串的疑問引起我的興趣，因此，上網閱讀許多資料，發現「都市熱島效應」一詞。都市熱島效應泛指高溫化的都市區域在周圍低溫郊區襯托下，猶如發熱島嶼而稱為「都市熱島效應」。為什麼都市溫度會比郊區高呢？有沒有改善、降低熱島效應的溫度上升呢？這跟我們在校園運動場活動感到悶熱有關嗎？我們試著來了解熱島效應情形再調查校園不同場域的溫度變化，以了解相關性。

貳、研究目的

熱島效應造成城市異常溫度上升的主要原因，來自大樓、柏油對陽光蓄熱及大樓空調排出熱氣、樹木和裸地減少進而蒸散量減少，使得城市溫度高於鄰近。本研究選擇先了解建材顏色對陽光蓄熱，再觀察綠化、蓄水的溫度變化情形，接著調查校園操場不同場域及頂樓建材的溫度變化，最後由高雄市溫度分布探討高雄地區熱島效應情形。

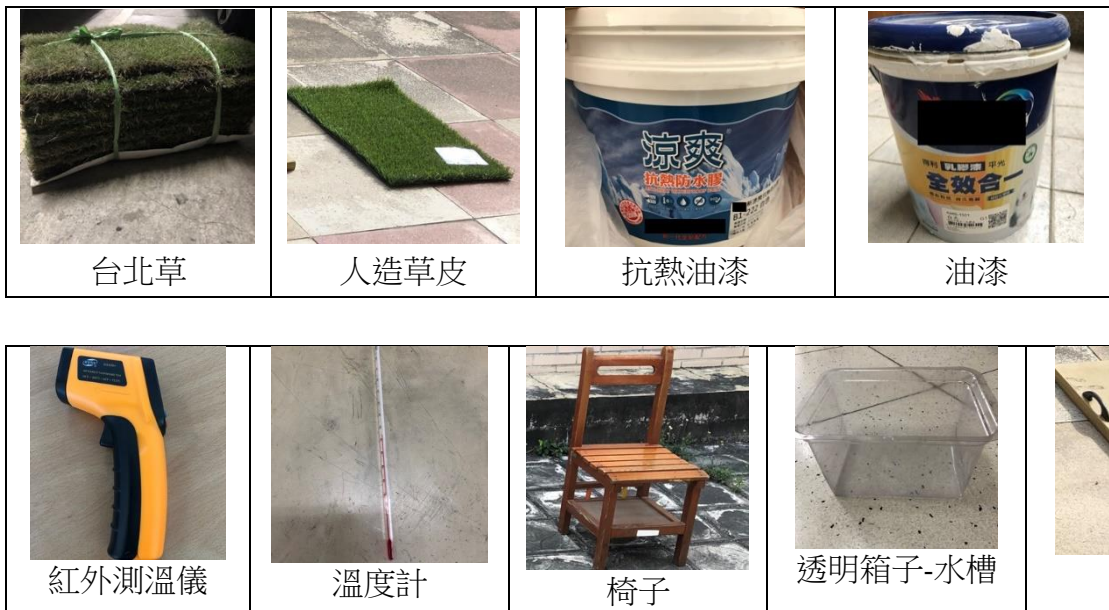
以下為研究流程圖：



圖一：研究流程圖

- 一、由文獻資料來瞭解熱島效應的相關資訊與對策。
- 二、探討陽光下，不同顏色的表面、塗料及抗熱塗料的溫度變化情形。
- 三、探討陽光下，屋頂綠化及裸土的溫度變化情形。
- 四、觀察陽光下，其他屋頂設置的溫度變化，以人工草皮及水池為例。
- 五、實地調查陽光下，學校露天平面及頂樓平面在陽光照射下的溫度變化情形。
- 六、繪製高雄溫度分布圖，探討高雄市熱島效應情形。

參、研究設備及器材



肆、研究過程或方法

一、文獻資料

「Urban Heat Island」一詞早見於 1958 年 Gordon Manley 在英國皇家氣象學會出版學報中所提出，無統一定義，泛指都市地區氣溫較週遭為高的現象。這個現象的發現，是由於人造衛星的出現，使人類得以利用人造衛星從高空以紅外線拍攝地球。這種拍攝的最初目的，是作氣象觀測用途，用以分析雨雲的構成。可是，後來人類從紅外線影像中發現城市與週邊地區的溫度有著很明顯的差異，看起來城市就好像在週邊地區中間的一個浮島。

而可能導致都市熱島效應的原因有來自於樹木和裸地的減少，降雨滲透地面減少，進而蒸發或蒸散量的減少；來自於工業的空氣污染，大氣吸收太陽熱的增加；來自於被低反照率的柏油和玻璃幕牆和混凝土覆蓋，地表面吸收太陽熱的增加以及汽機車、空調設備人工廢熱等。

台灣地狹人稠，人口和產業朝向都市集中的趨勢更為明顯，都市化程度已高達 70%，學者林炯明提出熱島效應對都市氣候的影響包括：

1. 能源供給壓力增加：熱島效應提高了都市氣溫，造成冷氣使用量增大，而冷

氣排放的廢熱又再次提高都市氣溫，導致冷氣使用量又再增加。

2. 日照時數減少：中央氣象局的研究報告曾指出，台灣空氣品質的惡化與懸浮微粒的增加是導致日照時數減少的主要原因，而伴隨熱島效應之都市地區風速下降使得懸浮微粒更不易擴散，進而直接造成太陽入射輻射量減少，造成植物生產量降低、太陽能開發負面作用。
3. 相對溼度減少：當整片的稻田被水泥、柏油取代，水的蒸發量遠小於過去，造成霧氣或水汽減少，對於脆弱性較高微生物生態甚至農產品產量都會造成影響，這對冬季為旱季的臺灣南部影響更大，霧氣是許多動植物的生存要件。
4. 降水型態改變，都市水患機率增加：原本氣流吹向陸地時，熱空氣遇到山區會向高空上升，降水就容易聚集在迎風面。但都市熱島效應使其氣流經過都市時提前上升，造成都市地區及其下風處容易降雨，使得原來的集水區降雨減少，而水泥化的都市遇強降雨反而滲水、排水不及而形成水患。
5. 熱島效應伴隨溫室效應，高溫機率增加：臺灣 108 年均溫為攝氏 24.56 度，創下 1947 年有紀錄以來最高溫，再加上熱島效應都市氣溫再高於非都市區，都市地區夏季動輒攝氏近 40 度的高溫所對人體的危害，不可不慎。
6. 影響空氣品質監測，危害人體健康：都市地區由於風速較弱，污染物不易擴散至高度較高的儀器，造成未偵測到應有的懸浮微粒濃度。另外高溫容易使工廠、汽機車廢氣形成臭氧，危害人體健康。
7. 混淆全球暖化訊號，影響全球暖化之評估：溫室氣體排放及熱島效應是地表溫度上升的兩個主因，不同地區兩者貢獻溫度上升比例也有差異，有必要對區域熱島效應了解，才能有效評估全球暖化的情況。

因此各國也提出相關作法來減緩都市熱島效應，學者羅良慧在「冷卻(cooling)」都市熱島參採美國環保署網站所建置的熱島社區行動資料庫(Heat Island Community Actions Database)，綜整歸納以社區行動為主的五大類都市熱島冷卻策略內容：

1. 增加樹木和植物覆蓋率：種植樹木和植物來調節氣候。

- 2.安裝綠色屋頂：在屋頂上栽種植物，透過植物蒸散作用並提供遮蔭，去除生活環境中的熱量。
- 3.安裝反射性材質為主的冷卻屋頂：在屋頂上搭建由反射性材料或塗料製成的遮蔽式建物，藉由反射陽光和建築物的熱量以降低屋頂溫度。
- 4.使用涼鋪面：在人行道、停車場使用具反射性或可滲透性的鋪路材料，使其反射太陽能及增加水分蒸發。
- 5.實踐智慧成長：推動社區居民的共同參與。

日本環境省公布的「熱島對策指引(2012年)」之內容，在因應作為上分為六大類，包含：

- 1.風的應用對策，如引入海風、山谷風以及從河川來的風。
- 2.綠化的應用對策，如公園、綠地、街道樹、停車場、建築工地、屋頂及牆壁等各種綠化方案。
- 3.水的應用對策，如噴水、水景設施、路面灑水、建築物建材、排水設備等。
- 4.日照反射與遮蔽的應用，如涼鋪面、冷卻屋頂、人造遮蔭等。
- 5.人為減緩排熱效應：區域性冷暖房系統的應用、減少建築物與汽車的排熱。
- 6.宣導教育，如預防熱中暑等預防性宣導。

綜合以上，可以找出主要冷卻都市熱島的策略包含綠化、反射日照、採用可滲透鋪面、水蒸發(如噴、灑水)等，另外我們想試著觀察某些降溫產品及某些屋頂設置對溫度的影響，接下來我們擬透過以下操作，探討「冷卻都市熱島」各項策略的效果。

二、實驗一-(1)：探討在陽光照射下不同顏色地磚的表面溫度變化

談到反射日照，在自然課熱傳導的單元中，我們比較過白色與黑色兩者在陽光照射之下的差異，但實際生活中並不容易發現如此極端的顏色，所以要探討不同顏色表面在陽光照射下的溫度變化，我們先以走廊上可以照到陽光的三色地磚為標的進行觀測。

(一) 實驗目的：了解陽光照射不同顏色相同材質的表面溫度變化。


(二) 實驗設計與過程：

走廊上把握可以完全照得到陽光的時段，選擇紅色、黃色及白色磨石子地磚為觀察

標的，以紅外測溫儀器來檢測表面溫度，每隔一小時檢測溫度，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。

另外也選擇完全照不到陽光的紅、黃及白色磨石子地磚，以紅外測溫儀器來檢測表面溫度，每隔一小時檢測溫度，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。

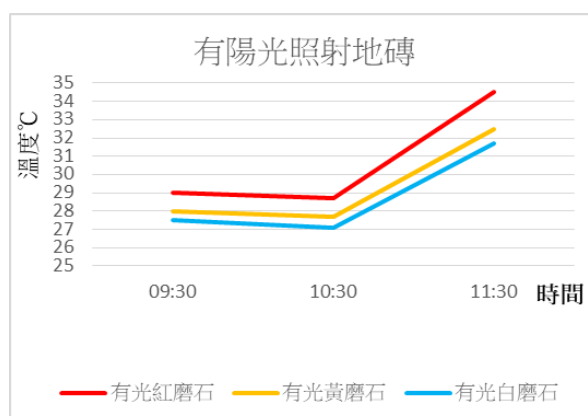
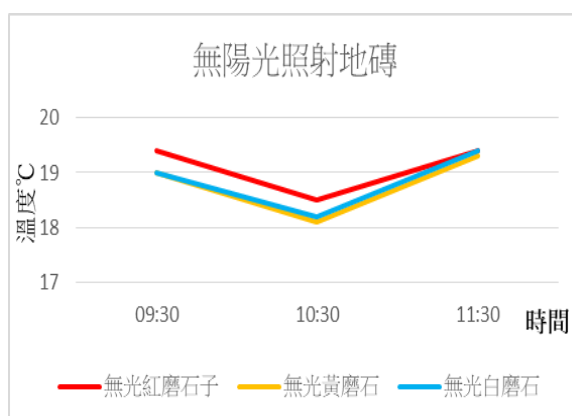
結果如下：

			
走廊的地磚	檢測無陽光地磚	記錄溫度變化	檢測有陽光地磚

表一：不同顏色磨石子磚的溫度變化(°C)

2月7日	有光照紅磨石子磚	有光照黃磨石子磚	有光照白磨石子磚	無光照紅磨石子磚	無光照黃磨石子磚	無光照白磨石子磚
9:30	29.0	28.0	27.5	19.1	19.0	19.0
10:30	28.7	27.7	27.1	18.2	18.2	18.1
11:30	34.5	32.5	31.7	19.4	19.3	19.3

說明：走廊因陽光照射角度及方位變化，僅部分時段可照射到陽光，故僅記錄9:30-11:30的溫度



(三) 實驗討論：

1.在陽光照射下，紅、黃、白三種磨石子磚的溫度皆升高，我們發現溫度高到低為紅色

磨石子磚 > 黃色磨石子磚 > 白色磨石子磚，可以推斷紅色磨石子磚吸收最多陽光。

2.另外，物體表面可以吸收與反射陽光輻射熱，反射熱與入射熱的比稱為反照率，反照率越高則表示物體較易反射陽光熱而吸收陽光熱較少，溫度也較低，不同顏色有不同反照率，以白色反照率最高，因此以反照率來說，紅色磨石子磚 < 黃色磨石子磚 < 白色磨石子磚，

3.而在無陽光照射下，不同顏色的磨石子磚溫度則無明顯差異，約與氣溫相同。



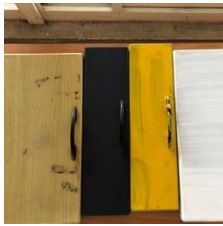

三、實驗一-(2)：探討在陽光照射下不同顏色塗料的木板表面溫度變化

我們另外選擇木板材質來做測試，塗上不同顏色的漆後，進行以下操作。

(一) 實驗目的：了解陽光照射不同顏色塗料的相同材質的表面溫度變化。

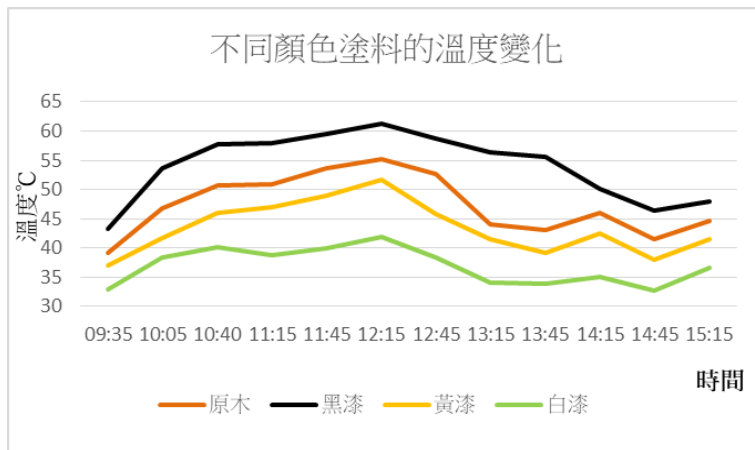
(二) 實驗設計與過程：

選擇一樣材質、厚度的木板，分別塗上：黑色、黃色、白色及原木，待油漆乾後移至操場上進行溫度檢測，每隔 30 分鐘記錄一次，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。結果如下：

				
塗白漆的木板	塗黃漆、黑漆	待檢測的木板	放置操場	檢測木板的溫度

表二：不同顏色塗料的木板溫度變化(°C)

2/12	9:40	10:10	10:40	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	平均
原木	39.2	46.9	50.7	50.9	53.7	55.2	52.6	44.1	43.1	46	41.5	44.7	47.4
白漆木板	33	38.4	40.2	38.8	40	42	38.5	34.1	34	35	32.7	36.6	36.9
黃漆木板	37.1	41.8	46	47.1	49	51.7	45.9	41.5	39.2	42.5	38	41.6	43.5
黑漆木板	43.2	53.6	57.8	58	59.5	61.2	58.7	56.4	55.7	50.2	46.5	47.9	54.1



(三) 實驗結果與討論：

1.結果說明，表面顏色不同其吸收陽光的量也不同，表面溫度高到低為黑色漆 > 原木 > 黃色漆 > 白色漆。以反照率來說，明顯是黑色 < 黃色 < 白色。

2.木板原色在陽光照射下，溫度上升僅次於黑色，若塗上黃漆、白漆淺色系油漆，可以減少陽光吸收而造成溫度上升。所以在緯度或高度較高而溫度偏低的地區，小木屋的原色屋頂就可以吸收更多陽光輻射熱，反之如果是在臺灣，木頭做為建材是需要好好考慮的，不然至少應該要漆上反照率高的顏色如白色或黃色。

四、實驗一-(3)：探討在陽光照射下塗有亮光漆與否的木椅表面溫度變化

在走廊上陽光下擺了新舊兩把椅子，玩累了想坐下來歇息，大家不約而同都想坐新的木頭椅，如果只以喜新厭舊來說明這個現象就太武斷了，我們做了以下實驗。

(一) 實驗目的：了解陽光照射塗有亮光漆與否的椅子表面的溫度變化。

(二) 實驗設計與過程：將原本就具有完好亮光漆的椅子及亮光漆剝落的椅子一起拿至頂樓無遮蔽處曬，在陽光下以紅外測溫儀測量椅面的溫度，每隔半小時記錄溫度，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。



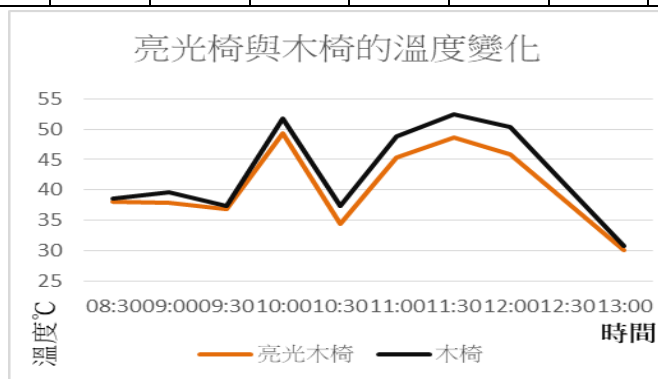
在頂樓擺放 2 把椅子



左邊無亮光漆；右邊有亮光漆

表三：塗有亮光漆椅子在陽光下的溫度變化(°C)

3/9	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	平均
亮光漆椅子	38	37.8	36.9	49.3	34.4	45.4	48.6	45.9	38.1	30.1	40.45
無亮光漆椅子	38.6	39.6	37.3	51.8	37.4	48.8	52.4	50.3	40.6	30.8	42.76



(三) 實驗結果與討論：

- 1.在陽光下塗有亮光漆的椅面溫度普遍低於無亮光漆的椅面溫度。
- 2.我們判斷塗有透明亮光漆的椅面因表面光滑可以反照陽光，較不易吸收陽光熱而溫度上升較少。因此，除了白色、淺色外，光滑表面也是可以提高反照率的選擇。
- 3.然而木頭桌椅表面的亮光漆隨著時間或擺放位置(日曬、雨淋)，有可能剝落失去作用，所以增加反照率表面塗料是有使用壽命限制的。

五、實驗一-(4)：探討在陽光照射下塗有抗熱塗料木板的溫度變化

近來為了降低溫度，出現一種防輻射熱的效能塗料產品，擬觀測塗有抗熱塗料物體表面在陽光照射下表面溫度的變化。

(一) 實驗目的：瞭解抗熱塗料在陽光照射下減少溫度上升的效果。

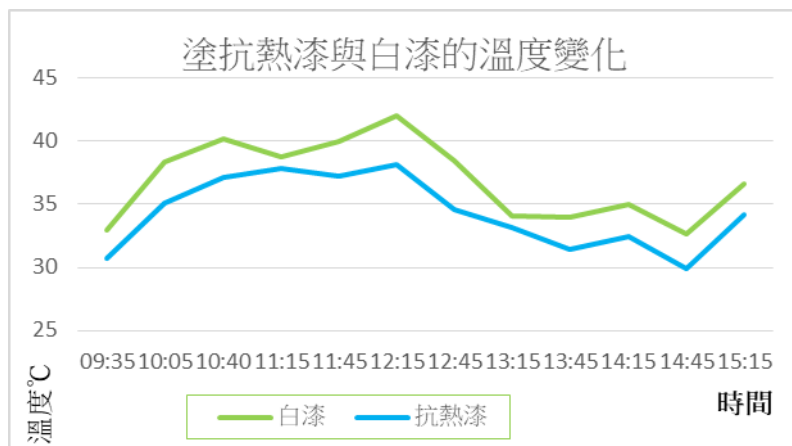
(二) 實驗設計與過程：

準備一片大木板均勻塗上白漆，待白漆乾後，將木板的其中一半再塗上抗熱塗料待乾後將木板拿至操場上進行溫度檢測，每隔 30 分鐘記錄一次，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。



表四：塗抗熱漆與一般漆的木頭溫度變化(°C)

2/12	9:40	10:10	10:40	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	平均
塗抗熱漆	30.7	35.1	37.1	37.9	37.2	38.2	34.6	33.2	31.4	32.5	29.9	34.2	34.3
塗白漆	33	38.4	40.2	38.8	40	42	38.5	34.1	34	35	32.7	36.6	36.9



(三) 實驗結果與討論：

- 1.我們發現白漆對於減少溫度上升已經有很好效果，而塗上抗熱塗料後，效果比單純白漆還好，可以再降低 2 至 4°C。
- 2.使用抗熱塗料雖然可以有再減少溫度上升的效果，但產品價格是需要考量的成本，另外塗料也是有使用壽命的。

六、實驗二-(1)：觀察屋頂綠化草皮在陽光下的溫度變化

增加綠地、建築物綠化是冷卻「都市熱島效應」普遍使用的策略。我們學校頂樓原本只有地磚的鋪設，因此我們用一盆土養了一塊草皮，養護的過程中土壤是濕潤的，因冷卻「都市熱島效應」的策略中有一項是灑水，因此我們也一併觀測濕潤裸土的溫度變化，實驗操作如下：

- (一) 實驗目的：觀察陽光下綠化屋頂的溫度上升情形。

(二) 實驗設計與過程：

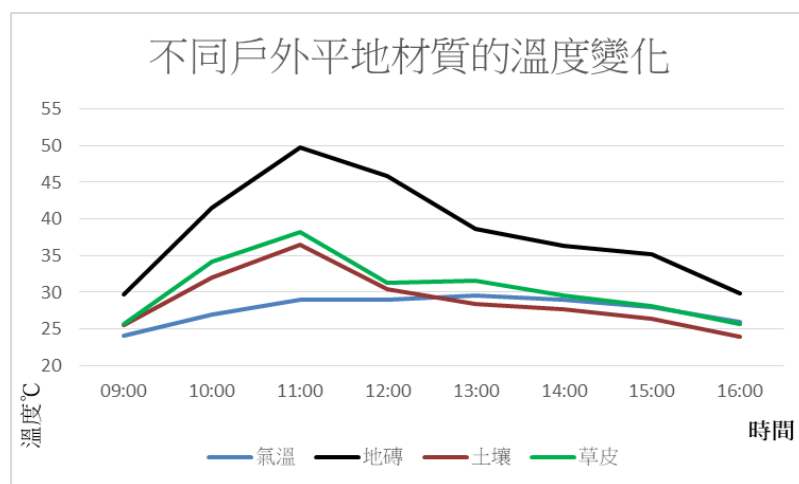
1. 盆子鋪滿土，均勻灑水保持土壤濕潤，將一半的土鋪上一層草皮。
2. 將盆子放置學校頂樓無遮蔽處，在陽光下進行草皮、裸土、地磚的溫度檢測，每隔 60 分鐘記錄一次。另外我們在頂樓遮陰處，離地面 1.2 公尺的位置繫一支溫度計，作為頂樓氣溫的參考。



結果如下：

表五：綠化屋頂的溫度變化(°C)

3/4	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	平均
氣溫	24	27	29	29	29.5	29	28	26	27.7
草皮	25.6	34.2	38.2	31.3	31.6	29.5	28.1	25.6	30.5
裸土	25.5	32	36.4	30.4	28.4	27.6	26.4	23.9	28.8
地磚	29.7	41.5	49.8	45.9	38.6	36.3	35.1	29.9	38.4



(三)實驗結果與推論：

- 1.測量結果發現，隨著陽光變強，草皮、裸土的溫度與地磚溫度可以相差到約 15°C，可見建築物綠化對於冷卻「都市熱島效應」是有效的策略。
- 2.其中我們發現濕潤裸土溫度一直低於草地溫度，因此我們判斷灑水所造成的水分蒸發比起草皮，是有更立即冷卻的效果，是不是代表只要屋頂鋪設一層濕潤的土壤，就可以取代綠化屋頂的效果？

七、實驗二-(2)：觀察屋頂綠化草皮與裸土在陽光下的溫度變化

前項實驗操作的草皮與裸土放置幾天後，我們發現原本裸土的表面變得乾燥，而草皮並無異樣，我們決定再觀察陽光下草皮與裸土的溫度上升情形。

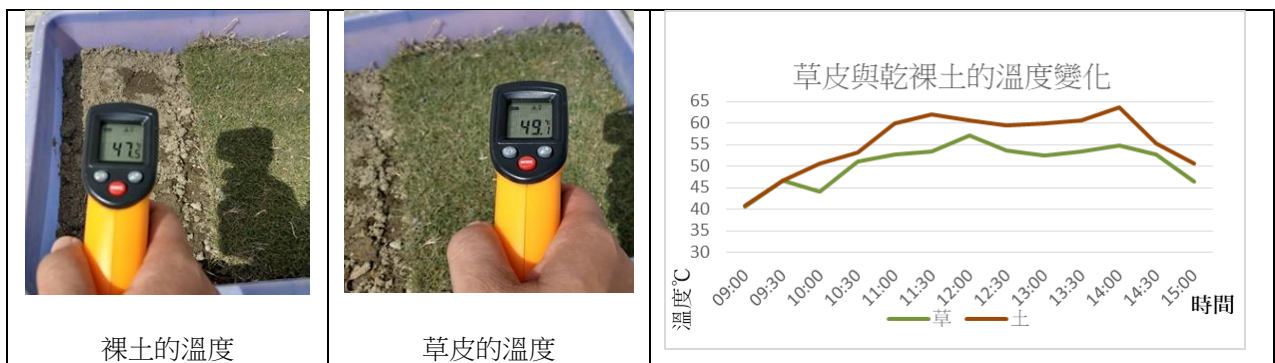
(一) 實驗目的：觀察綠化草皮與乾燥裸土在陽光下的溫度變化。

(二) 實驗設計與過程：

- 1.停止養護(未澆水)的草皮與裸土(表面乾燥)放置頂樓無遮蔽處，進行草皮、裸土在陽光下的溫度檢測，每隔 30 分鐘記錄一次，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。結果如下：

表六：綠化屋頂與裸土的溫度變化(°C)

3/8	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
草皮	40.7	46.6	44.1	51	52.6	53.4	57.2	53.6	52.4	53.4	54.8	52.7	46.5
裸土	40.8	46.6	50.6	53.2	59.8	62	60.6	59.4	59.9	60.7	63.7	55.2	50.7



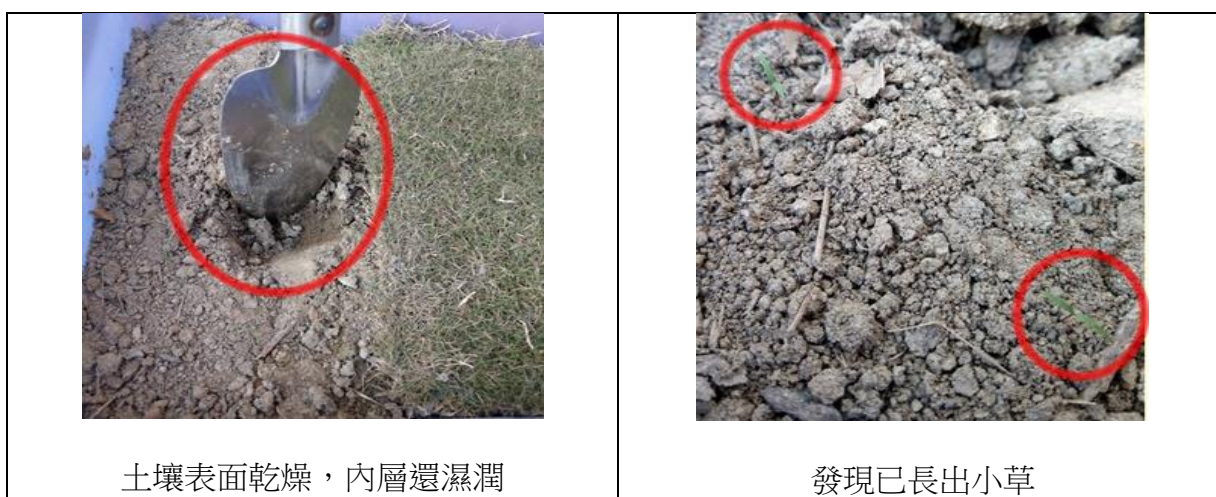
(三)實驗結果與推論：

- 1.結果發現，原本濕潤裸土有很好的冷卻效果，但在無灑水的狀況下，表土很快就乾燥了，一旦乾燥後，裸土即無冷卻效果。

2.未持續澆水的草皮仍然維持原來的翠綠，在裸土處挖開土壤發現，即使表土乾燥了，底層的土仍然保持濕潤，草皮仍可以持續行光合作用與蒸散作用，達到冷卻「都市熱島效應」的效果。

3.綠化屋頂作為冷卻「都市熱島效應」的策略，有些建議是不應額外供水供電的(維基百科)。在都市建築物屋頂上或不常下雨的天氣型態下的區域種植草皮，少量灑水或不額外供水(底層土可以維持濕潤一段時間)，一方面可以減緩熱島效應，另一方面也能淨化空氣。

4.其實在實驗二過程中，雖然才間隔四天，我們發現即使表面已乾燥的裸土竟冒出小草了，可見只要有土壤，草地是自然演替會出現的過程。因此，建築物頂樓實施綠化是相當值得鼓勵的策略。



八、實驗三-(1)：其他屋頂設置-人工草皮陽光下的溫度變化

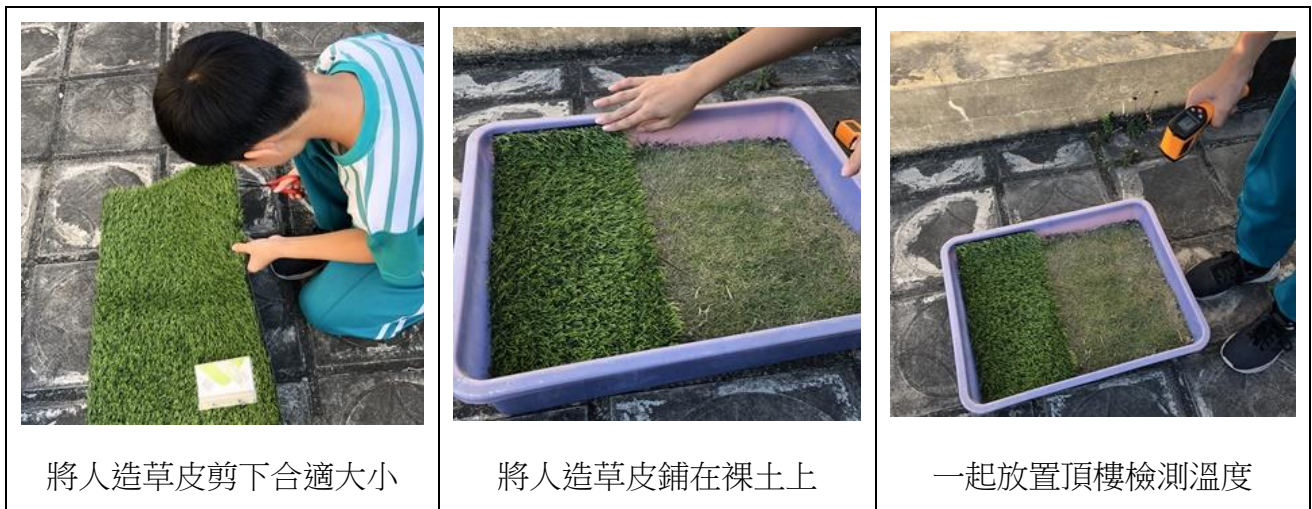
為了免除草皮養護的程序，有些商家或單位會以人工草皮來取代真實草皮，也許看起來視覺效果好，也方便設置(不須土壤)，因此我們想了解同樣綠色的人造草皮與真實草皮在陽光下的溫度變化，因而進行以下觀察。



(一) 實驗目的：觀察人工草皮與真實草皮在陽光下的溫度變化情形。

(二) 實驗設計與過程：

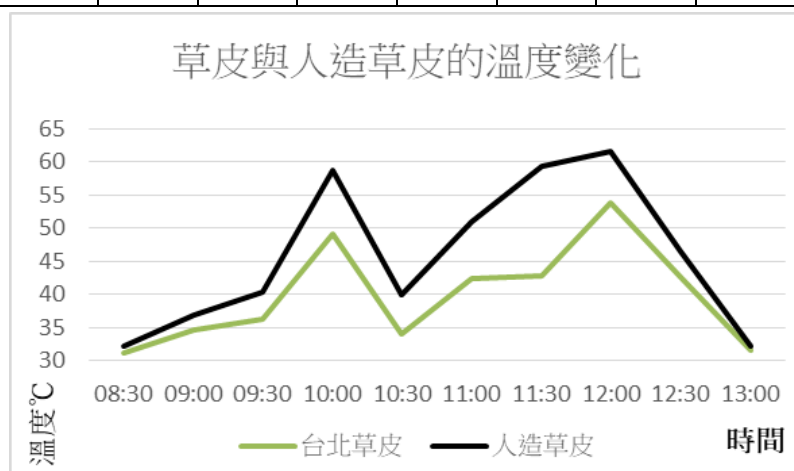
- 1.在盆子內鋪土，在土上的一邊放置台北草的草皮，另一邊放置人造草皮。
- 2.將此盆子放置頂樓無遮蔽處，觀察草皮與人工草皮在陽光下的溫度並以紅外測溫儀器進行溫度檢測，每隔 30 分鐘記錄一次，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。



結果如下：

表七：台北草皮與人工草皮在陽光下的溫度變化(°C)

3/9	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	平均
台北草皮	31.1	34.6	36.2	49.1	34	42.3	42.9	53.7	42.6	31.6	39.81
人工草皮	32.3	36.8	40.3	58.7	39.9	50.9	59.4	61.6	46.5	32.3	45.87



(三) 實驗結果與推論：

結果發現，人工草皮不但沒有冷卻的效果，甚至在強烈陽光照射下，與真實草皮的溫差可以超過 15°C，人工草皮只有視覺美化並無綠化屋頂的效果。

九、實驗三-(2)：其他屋頂設置-水槽(游泳池)在陽光下的溫度變化

有些建築物頂樓會有游泳池或水池的設置，由實驗二可知，濕潤的土可以有很好的冷卻效果，所以我們在屋頂上擺放水槽，想了解陽光下水溫的變化。

(一) 實驗目的：在屋頂水槽裝水，觀察陽光下，水的溫度變化情形。

(二) 實驗設計與過程：

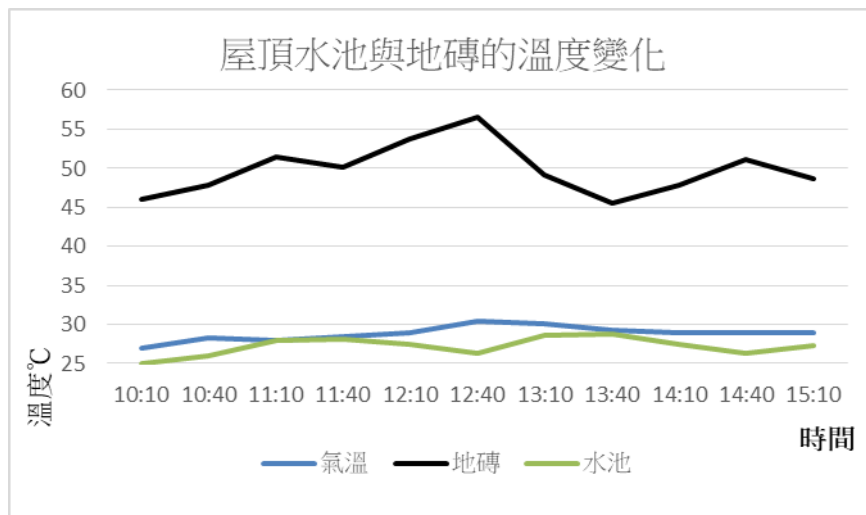
1. 選擇合適的水槽，並在水槽內裝水，放置頂樓空曠處。
2. 在頂樓屋簷下懸吊溫度計，觀察建築物氣溫、並以紅外測溫儀器測量水池、地磚的溫度，每隔 30 分鐘記錄溫度，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。



結果如下：

表八：屋頂水池在陽光下的溫度變化(°C)

2/12	10:10	10:40	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	平均
氣溫	27	28.2	28	28.5	29	30.4	30	29.2	29	28.9	29	28.8
水池	25	26	27.9	28.1	27.5	26.3	28.6	28.8	27.4	26.3	27.2	27.2
地磚	46	47.8	51.5	50.1	53.8	56.5	49.2	45.6	47.9	51.1	48.6	49.8



(三) 實驗結果與推論：

- 1.結果發現，在陽光下，水溫度呈現小幅度上升改變，且溫度遠低於地磚，比屋簷下建築物的氣溫還低，冷卻效果佳。也能說明一般認為海水水溫變化少，能夠冷卻鄰近地區的空气，內陸城市的熱島現象比海岸城市更顯著(維基百科)。
- 2.然而設置在建築物屋頂的游泳池或水池，是需要額外供水供電的，發揮冷卻效果之餘卻無法節能減碳，利害仍須評估。

十、實驗四：調查學校露天的平面及頂樓設施在陽光照射下的溫度變化情形

一般會認為學校、公園都是綠地及透水區域比例高的環境，我們選擇陽光普照的日子，以紅外線測溫儀來測量學校露天平面及頂樓設施在陽光照射下，一天溫度變化。

(一) 實驗目的：實地調查學校露天平面(含建築物頂樓及平面空間)在陽光照射下一天的溫度變化。

(二) 實驗設計與過程：

- 1.考量陽光照射角度一致，我們選擇學校地面及頂樓所有的平面，包含草地、透水磚、耐重橡膠地墊、pu 跑道、籃球場地綠漆、籃球場地紅漆，以及頂樓的地磚、表面磁磚、太陽能板等位置，在陽光照射下的溫度變化。
- 2.我們以紅外線測溫儀來測量各種鋪面的表面溫度，每隔半小時記錄一次，每次皆進行三次檢測，並將三次的平均後溫度記錄下來。
- 3.另外在太陽能板下繫一支溫度計(遮陰處且離地 1.2 公尺)，每隔半小時記錄一次溫

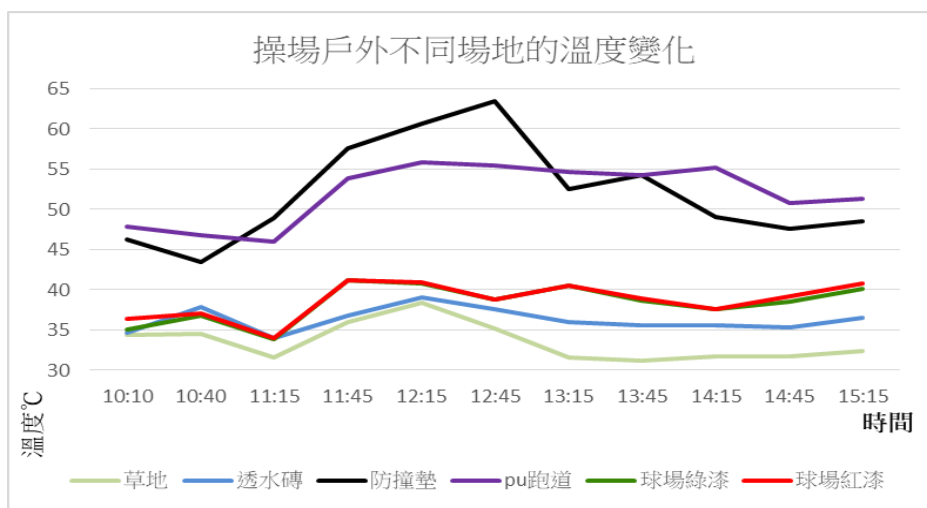
度。



(三) 實驗結果如下:

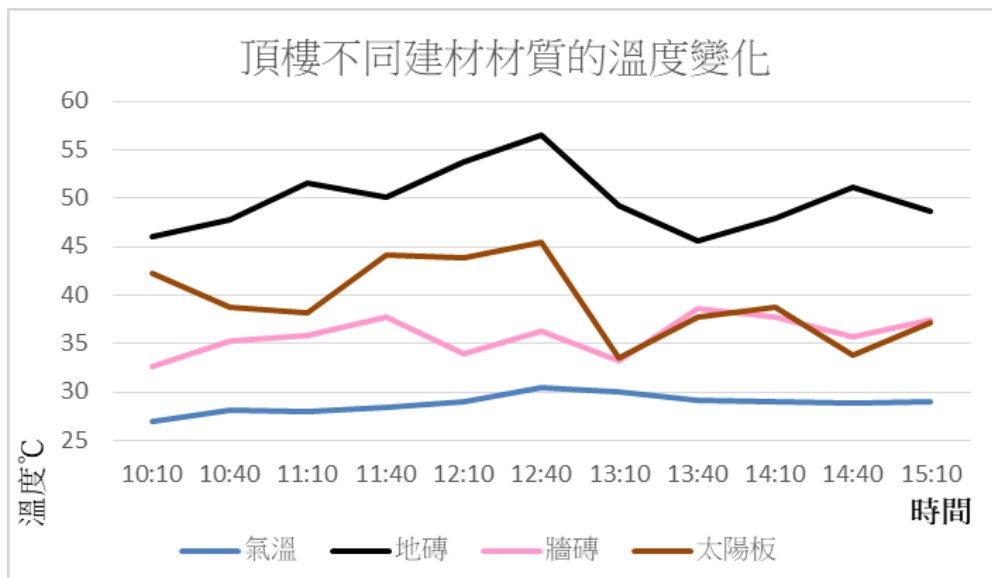
表九：操場上不同場地一天的溫度變化(°C)

2月12日	草地	透水磚	橡膠地墊	pu 跑道	籃球場綠	籃球場紅
10:10	34.4	34.6	46.2	47.8	35.0	36.3
10:40	34.5	37.8	43.4	46.8	36.8	37
11:15	31.5	33.9	48.9	45.9	33.8	33.9
11:45	35.9	36.7	57.6	53.9	41.1	41.2
12:15	38.3	39.0	60.7	55.8	40.7	40.9
12:45	35.2	37.6	63.4	55.5	38.7	38.8
13:15	31.5	35.9	52.5	54.7	40.5	40.5
13:45	31.2	35.6	54.3	54.3	38.6	38.9
14:15	31.7	35.5	49.0	55.2	37.5	37.6
14:45	31.7	35.3	47.6	50.7	38.5	39.1
15:15	32.3	36.5	48.5	51.3	40.1	40.8
平均	33.47	36.22	52.00	51.99	38.3	38.64



表十：教學大樓頂樓上不同建材材質一天的溫度變化(°C)

2月12日	建築物氣溫	水泥地磚	牆磚	太陽能板
10:10	27.0	46.0	32.6	42.2
10:40	28.2	47.8	35.2	38.8
11:15	28.0	51.5	35.8	38.2
11:45	28.5	50.1	37.7	44.2
12:15	29.0	53.8	33.9	43.8
12:45	30.4	56.5	36.3	45.4
13:15	30.0	49.2	33.3	33.5
13:45	29.2	45.6	38.6	37.8
14:15	29.0	47.9	37.7	38.8
14:45	28.9	51.1	35.7	33.8
15:15	29.0	48.6	37.4	37.1
平均	28.84	49.83	35.84	39.42



(四) 實驗討論：

- 1.以溫度走勢來說，無陽光直射的溫度計自上午過中午到下午的過程中，是穩穩地由低到高再降下來；而各陽光照射的鋪面來說，很明顯溫度起伏受陽光強弱影響，例如在下午 1 左右時有較厚雲層飄過，溫度即明顯下降。
- 2.在陽光的照射下，操場上的草地溫度上升最少，符合實驗二的結果，綠化有助於冷卻都市熱島；牆磚則是其次，因牆磚表面顏色淺且光滑，判斷符合實驗一，淺色且光化可以增加陽光反射；接著是透水磚，研判是使用可滲透性的鋪路材料，可以增加水分蒸發。
- 3.最高溫的表現是黑色橡膠地墊及紅色 PU 跑道，除顏色均非淺色系，反照率不高，不利於冷卻都市熱島。而橡膠地墊為黑色，我們發現在 11:15-12:45 陽光較強期間，橡膠地墊溫度是高於 PU 跑道的。
- 4.目前學校頂樓架滿了太陽能板，僅有少部分原來的水泥地磚能持續被陽光照射。我們觀察到太陽能板的溫度表現是優於原來頂樓的水泥地磚，平均溫度溫差可以達到 10.41°C，但是陽光越強，太陽能板的溫度也隨之升高，是否有助於冷卻都市熱島仍需要保留。

(五) 綜合整理：將實驗的探討結果與學校不同場域的材質表面溫度檢測結果做一總整理，以了解各項材質性質與熱島效應之關係，整理如下表：

表十一：不同材質性質與熱島效應之關係

實驗一-三		減緩熱島效應	加速熱島效應
反射性質	顏色	淺色反照率高，減緩輻射熱吸收	深色，反照率低，易吸收輻射熱
		例：頂樓光滑淺色牆磚溫度低	例：操場黑色橡膠地墊、頂樓黑色地磚
	表面	光滑、亮面，易反射輻射熱	粗糙，易吸收輻射熱
		例：頂樓光滑淺色牆磚溫度低	例：操場粗糙黑色橡膠地墊及粗糙pu 跑道
	外加塗料	防輻射熱的塗料產品可以降低表面溫度	
	綠色表面	材質	綠色植物行光合、蒸散作用，減緩輻射熱吸收
例：操場草地			
水的應用	含水量	水池、濕裸土，含水量高易散熱	缺水的乾裸土，無滲透功能的地磚，無法降溫
		例：操場透水磚	例：頂樓地磚

十一、收集高雄市中心氣象局各測站氣溫資料，繪製高雄溫度分布圖，探討高雄市熱島情形
都市熱島如所知的，「城市與週邊地區的溫度有著很明顯的差異，看起來城市就好像
在週邊地區中間的一個浮島。」因此我們試著完成高雄市的氣溫分布圖，呈現高雄市的
「熱島」狀況。

(一) 目的：利用高雄市各測站的氣溫資料，製作高雄市氣溫分布圖，以了解高雄市的
「熱島」情形。

(二) 設計與過程

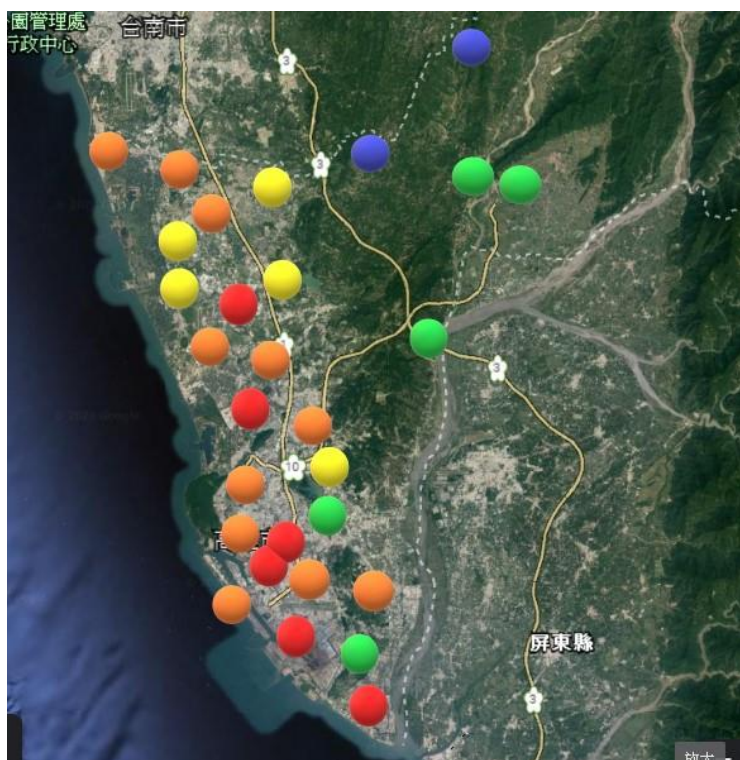
1.我們在中央氣象局觀測資料查詢中，收集高雄市海拔 100 公尺以下各測站 108 年 7
月的月均溫度，將測站最高溫度與最低溫之間平均分成 5 個梯度，由高至低分別以
紅、橙、黃、綠、藍 5 個顏色代表，收集的資料整理如下表：

表十二：高雄市測站 108 年 7 月均溫表

測站	10807 均溫	地點	海拔	備註
內門	27.081	高雄市内門區木柵里木柵 3 號 (木柵國民小學)	94	二仁溪、綠帶包圍
田寮古亭坑	27.287	高雄市田寮區古亭里	74	綠地，幾無人工建築
小港鳳森	27.848	高雄市小港區水庫段 96-1 地號 (鳳山給水廠內)	51	鄰近鳳山濕地
大樹溪埔	27.861	高雄市大樹區溪埔里之台 29 線近 83K 處	36	農業區鄰近高屏溪
旗山	27.884	高雄市旗山區延平一路 499 號(旗山區公所)	60	建築物有太陽能板，鄰近楠梓仙溪、旗山溪
美濃	27.920	高雄市美濃區福安里中山路二段 204 巷 65 號 (美濃區福安國小後方)	46	綠地、水圳包圍
鳳山	28.081	高雄市鳳山區文山路園藝巷 4 號 (鳳山熱帶園藝試驗分所)	27	綠地，近小貝湖及多處埤塘
燕巢阿公店	28.187	高雄市燕巢區西燕里工程路 1 號 (阿公店水庫內)	56	阿公店水庫旁
彌陀	28.352	高雄市彌陀區中正北路 7 號(彌陀消防分隊)	28	建築物有太陽能板
阿蓮	28.435	高雄市阿蓮區公所樓頂	34	建築物有太陽能板
永安	28.500	高雄市永安區永安路 32 號(永安消防分隊)	18	建築物有太陽能板，鄰近魚塢
仁武	28.584	高雄市仁武區中正路 133 號(仁武區公所)	40	建築物有太陽能板
鼓山	28.613	高雄市鼓山區臨海一路 61-1 號(鼓山消防分隊)	30	鄰近壽山，港區
大社	28.629	高雄市大社區自強街 1 號(大社區公所)	26	建築物無太陽能板
左營	28.642	高雄市左營區左營大路 1 號(高雄市立海青高級工商職業學校資訊大樓樓頂)	32	建築物有太陽能板，鄰近軍區綠地
梓官	28.648	高雄市梓官區梓官路 258 號(梓官區公所)	22	建築物有太陽能板
茄萣	28.665	高雄市茄萣區濱海路四段 27 號(茄萣區公所)	19	旁有綠地、魚塢圍繞
旗津	28.787	高雄市旗津區中洲二路 207 號(旗津國中校園內)	6	旗津島上，建築物有太陽能板，雙面近海
大寮	28.790	高雄市大寮區鳳林三路 492 號(大寮區公所)	33	建築物有太陽能板
苓雅	28.955	高雄市苓雅區三多一路 162 號(苓雅消防分隊)	34	建築物有太陽能板
橋頭	28.955	高雄市橋頭區隆豐路 1 號(橋頭區公所)	30	建築物有太陽能板
湖內	28.994	高雄市湖內區中山路一段 290 之 1 號(湖街派出所)	35	建築物無太陽能板
路竹	29.026	高雄市路竹區國昌路 76 號(路竹區公所)	50	建築物有太陽能板
新興	29.129	高雄市新興區大同一路 231 號(大同國小內 5)	20	建築物有太陽能板

		樓頂)		
高雄前鎮	29.287	高雄市前鎮區明孝里 26 鄰漁港南二路 2 號	2.3	港區，冷凍工廠旁
楠梓	29.294	高雄市楠梓區德民路 1010 號(國昌國民中學)	20	建築物有太陽能板，近楠梓加工區
林園	29.310	高雄市林園區林園北路 179 號(林園區公所)	15	建築物無太陽能板，近林園工業區
岡山	29.600	高雄市岡山區岡山路 341 號(岡山地政事務所)	25	建築物無太陽能板
三民	29.604	高雄市三民區十全一路 88 號(十全消防分隊)	24	建築物有太陽能板

2.由以上資料，將顏色標示在 google earth el 高雄市各個測站位置，如下圖：



(三) 結果與討論如下:

- 1.狹長的高雄地圖上，由溫度顏色可以發現，人口稠密處、相關工業區的溫度顏色即浮現出來；相對的濕地、農業區及少開發的區域明顯溫度較低。
- 2.溫度表現較好的狀況仍是綠色植被區域(如內門、古亭坑)或濕地水源區(如鳳山、鳳森)，符合實驗二、實驗三的操作結果。
- 3.即使在人口稠密區域，若是鄰近綠地或溼地、魚塢，也有降溫效果，例如鼓山、左營、彌陀等測站。
- 4.改善都市熱島效應除考慮表面反照率、綠化等，在人口稠密人為活動頻繁區域的交通、空調不容忽視(新興、三民、岡山等測站)，也需考量相關產業活動，例如林園工業區、楠梓加工區、港區的冷凍廠(林園、楠梓、高雄等測站)。

5.測站多設於公家機關，大多數機關建築物均裝設太陽能板，但在整個區域來說覆蓋比例很小，尚無法推論對熱島現象的影響。

伍、研究結果

由以上觀察及實驗操作可得到以下結果：

- 一、依據文獻資料，都市熱島效應是全球暖化的重要因素，造成的影響包含能源供給壓力增加、日照時數減少、相對溼度減少、都市水患機率增加、高溫機率增加、影響空品監測及影響全球暖化評估。由相關資料也能了解冷卻「都市熱島效應」的對策，包含綠化、反射日照、採用可滲透鋪面、水蒸發(如噴、灑水)等。
- 二、白色、淺色及光滑表面具有較高的反照率，有助於減少陽光輻射熱吸收。
- 三、綠化屋頂的草皮與濕潤裸土都有冷卻「都市熱島效應」的效果，但無額外供水的情形下，草皮的效果才能維持較長的時間。
- 四、人工草皮的塑膠材質在陽光下會助長溫度上升。屋頂水池有助於減少溫度升高，但額外供水供電並無助於節能減碳，仍需評估。
- 五、陽光下，學校露天平面溫度上升最少的是操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚；紅色的 PU 跑道與黑色橡膠地墊溫度上升最多。
- 六、由氣溫分布圖可以發現人口稠密處、相關工業區熱島效應明顯，濕地及綠帶(包含綠地及農業區)熱島效應較緩和。

陸、討論

由以上結果可知：

- 一、全球暖化若單純以溫室效應來解釋，而忽略都市熱島效應造成的影響，可能會錯失許多挽救及改善的機會。
- 二、白色、淺色及光滑表面雖可以減少太陽輻射熱吸收，但相關塗料仍有使用成本及使用壽命的限制。
- 三、土壤在無草皮覆蓋的狀況下，表土很快就乾燥而失去冷卻效果，但土壤底層仍可維持潮濕較久的時間，也有助於草皮持續行光合作用及蒸散作用，達到冷卻都市熱島的效果。

- 四、綠色比起白色、黃色來說，陽光反照率應是偏低，無助於反射冷卻。屋頂游泳池或水池通常需要額外供水供電並無助於節能減碳，仍需評估其利弊。
- 五、陽光下，操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚上升溫度較少，我們可以判斷綠化、日光反照及透水鋪面均有助於冷卻都市熱島效應。而紅色的 PU 跑道與黑色橡膠地墊的顏色均非淺色反照率較低，加上不透水，不利冷卻都市熱島效應。
- 六、綠地、濕地及水源區熱島效應較不明顯，而由 google earth 高雄市區域看起來，人口稠密處或相關工業區若缺乏綠地或水源區，熱島即明顯浮現，可見綠地、濕地及水源區有助於減緩都市熱島效應。然而造成都市熱島效應的成因多元，仍應綜合空調、交通工具及其他產業訊息，再做進一步推論。

柒、結論

綜合以上，冷卻都市熱島效應的對策可以整理出以下幾項：

- 一、使用反照率高的塗料或鋪面：在陽光照射下，利用反照率高的白、淺色塗料或光滑表面反射越多輻射熱，冷卻都市熱島的效果就越好。就如同兩極冰冠可以反射太陽輻射熱來維持兩極低溫與冰層的穩定。高反照的人工鋪面及建築物表面，甚至是消極的限制深色人工表面設置，對於冷卻都市熱島效應均有很大的助益。
- 二、增加城市綠化及透水鋪面比例：綠地、濕地及水源區熱島效應較不明顯，然而人口稠密區或相關工業區開發的結果，人工建物自然取代綠地、濕地及水源區的位置，如果能及早規劃改善，增加綠化及透水鋪面範圍，畢竟水的蒸發可吸收大量的熱能，盡量將城市降雨保存在城市範圍底層，持續的植物生長或水分蒸發來為城市降溫，而不是因城市不透水而迅速排走。
- 三、相關人為活動檢討：工業發展需大量耗能伴隨產生大量的熱；依賴空調散熱造成惡性循環；大量交通工具使用也產生大量廢熱，以上都與城市人口聚集有關。因此思考相關產業結構的發展、習慣搭乘公共交通工具，進而減少依賴空調的惡性循環，都值得我們持續反思。

以上策略如果能透過政策來推行，並推廣相關訊息實踐居民智慧成長，形成共識，期待

未來我們城市的溫度分布圖不再是呈現紅紅的「熱島」，取而代之的是與城市外圍合而成一片「藍海」。

捌、參考資料

羅良慧(2018年3月12日)。都市熱島效應影響與因應作為之初探。科技政策觀點。取自
<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10381>

蘇建翰(2019年8月26日)。熱島效應的解方。CASE報科學。取自
<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=34327>

林炯明(2010)。都市熱島效應之影響及其環境意涵，國立台南大學環境與生態學報 3(1)，
p.1-15。

【評語】 080506

研究主題清楚聚焦，鄉土相關性高，對社會有產生影響之潛力。有系統收集數據及分析。表達能力清楚簡潔，思考縝密。

該作品選擇了生活中感受最明顯的炎熱題材，針對都市熱島效應做了探討，在校園裡利用簡單的設置，觀察不同的場地、材質對於陽光輻射吸收的差異，並提出可以改善熱島效應的最佳策略。探討不同地表狀況在陽光照射下的表面溫度變化情形，亦配搭中央氣象局的測站氣溫資料來了解城市熱島效應的情形，並依據研究發現提出改善城市熱島效應的可能措施。研究呈現高雄市氣溫的分布，並實際量度多種物體表面對溫度影響，量度有多次進行與平均，值得肯定。未來可以進一步探討高雄過去溫度變遷與環境變遷關連。研究團隊在實作中有許多的學習及領受，是探求科學的最好收穫。

摘要

研究了解熱島效應因素，實地調查校園不同場域的溫度變化，提出冷卻熱島效應策略。結果如下：

- 一、都市熱島效應是全球暖化重要一環，冷卻策略包含反照表面、綠化、透水鋪面等。
- 二、白色、淺色及光滑表面具有較高的反照率，有助於減少陽光輻射熱吸收。
- 三、綠化屋頂的草皮與濕潤裸土都有冷卻「都市熱島效應」的效果，草皮的效果能維持較長的時間。
- 四、人工草皮的塑膠材質在陽光下會助長溫度上升。屋頂水池有助於減少溫度升高，應考量額外供水供電。
- 五、陽光下，學校露天平面溫度上升最少的是操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚；紅色PU跑道與黑色橡膠地墊溫度上升最多。
- 六、高雄市的溫度分布圖所呈現的熱島情形，綠化及水仍是改善熱島效應關鍵。

壹、研究動機

每到夏季就會感到異常的熱……尤其是在操場上運動更是讓我滿身大汗。而在花圃中散步跟在運動場上走動，為什麼在運動場上感覺比較熱呢？上網閱讀許多資料，發現「都市熱島效應」一詞。都市熱島效應泛指高溫化的都市區域在周圍低溫郊區襯托下，猶如發熱島嶼而稱為「都市熱島效應」。試著來了解熱島效應情形再調查校園不同場域的溫度變化，以了解相關性。

貳、研究目的

- 一、由文獻資料來瞭解熱島效應的相關資訊與對策。
- 二、探討陽光下，不同顏色的表面、塗料及抗熱塗料的溫度變化情形。
- 三、探討陽光下，屋頂綠化及裸土的溫度變化情形。
- 四、觀察陽光下，其他屋頂設置的溫度變化，以人工草皮及水池為例。
- 五、實地調查陽光下，學校露天平面及頂樓平面在陽光照射下的溫度變化情形。
- 六、繪製高雄溫度分布圖，探討高雄市熱島效應情形。

參、研究設備及器材

台北草、人造草皮、抗熱油漆、一般油漆、紅外測溫儀、溫度計、椅子、透明箱、木板。

肆、研究過程

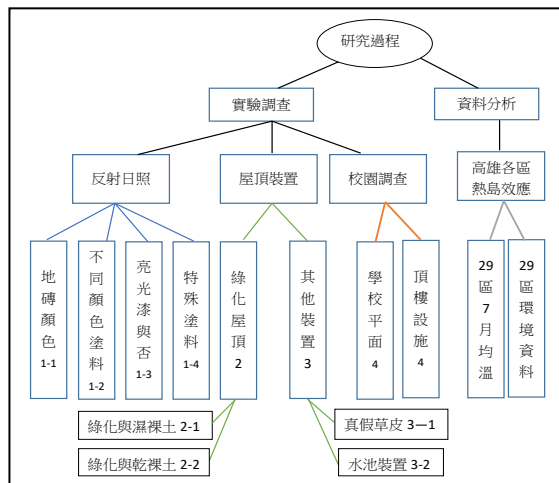
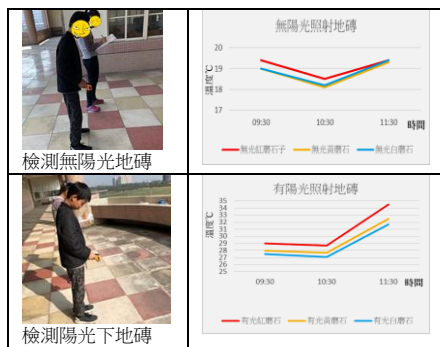
減緩熱島效應以冷卻策略為主，包含反射日照、綠化、採用可滲透鋪面、水蒸發(如噴、灑水)等，另外我們想試著觀察某些降溫產品及某些屋頂設置對溫度的影響，接下來我們擬透過以下操作，探討「冷卻熱島效應」各項策略的效果。

一、實驗一-(1)：探討在陽光照射下不同顏色地磚的表面溫度變化

(一) 實驗目的：了解陽光照射不同顏色相同材質的表面溫度變化。

(二) 實驗設計與過程：以走廊的紅、黃及白色磨石子地磚為觀察標的，以紅外測溫儀器來檢測表面溫度。

(三) 實驗結果與討論：陽光下，溫度為紅色 > 黃色 > 白色。以反照率來說，紅色 < 黃色 < 白色。



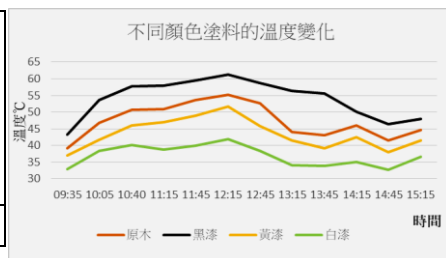
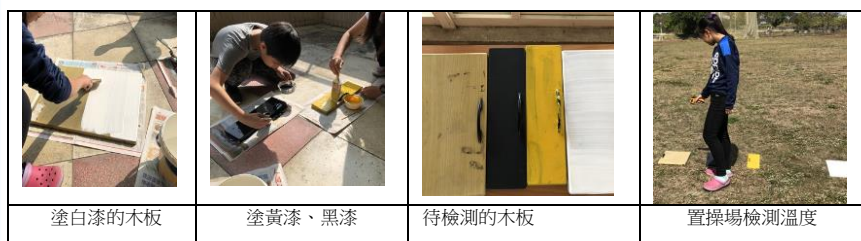
二、實驗一-(2)：探討在陽光照射下不同顏色塗料的木板表面溫度變化

(一) 實驗目的：了解陽光照射不同顏色塗料的相同材質表面溫度變化

(二) 實驗設計與過程：一樣的木板，分別塗上：黑色、黃色、白色油漆及原木拿至操場上進行溫度檢測。

(三) 實驗結果與討論：1. 陽光下，溫度為黑漆 > 原木 > 黃漆 > 白漆，以反照率來說，明顯是黑色 < 黃色 < 白色。

2. 在溫度偏低的地區，小木屋的原色就可以吸收更多陽光輻射熱，如在臺灣則建議要漆上反照率高的淺色系。

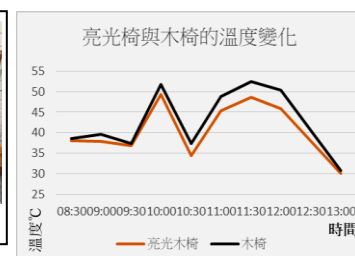


三、實驗一-(3)：探討在陽光照射下塗有亮光漆與否的木椅表面溫度變化

(一) 實驗目的：了解陽光照射塗有亮光漆與否椅子表面溫度變化。

(二) 實驗設計與過程：完好亮光漆及亮光漆剝落的椅子一起拿至頂樓無遮蔽以紅外測溫儀測量椅面溫度。

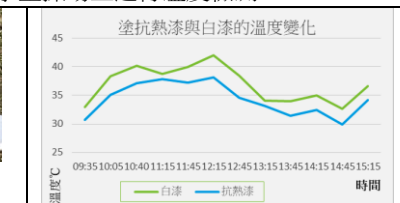
(三) 實驗結果與討論：陽光下，塗有亮光漆的椅面溫度普遍低於無亮光漆的椅面溫度。亮光漆可反照陽光，提高反照率。



四、實驗一-(4)：探討在陽光照射下塗有抗熱塗料木板的溫度變化

(一) 實驗目的：瞭解抗熱塗料在陽光照射下減少溫度上升的效果。

(二) 實驗設計與過程：大木板均勻塗上白漆，白漆乾後，木板一半再塗上抗熱塗料，拿至操場上進行溫度檢測。

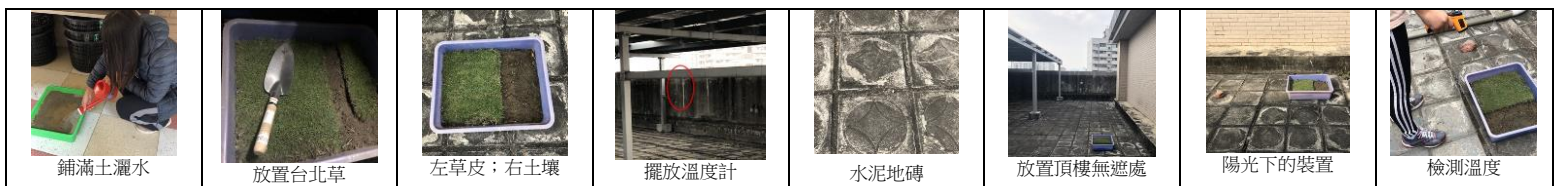


(三) 實驗結果與討論：塗抗熱塗料後，效果比白漆還好但抗熱塗料價格是需要考量的成本，且有年限的。

五、實驗二-(1)：觀察屋頂綠化草皮在陽光下的溫度變化

(一) 實驗目的：觀察陽光下綠化屋頂的溫度上升情形。

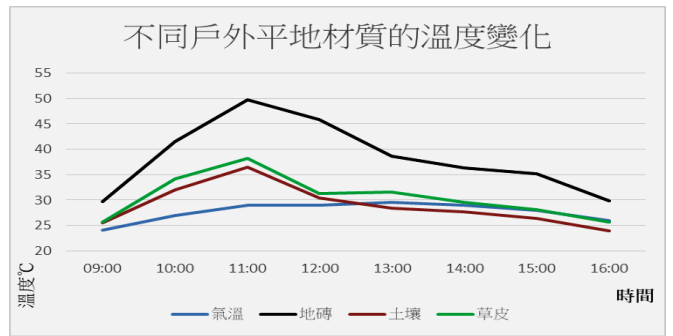
(二) 實驗設計與過程：盆子鋪滿土灑水保持濕潤，將一半的土鋪上台北草，放置學校頂樓，進行草皮、裸土、地磚溫度檢測。



(三) 實驗結果與討論：1.建築物綠化對於冷卻「都市熱島效應」是有效的策略。2.濕潤裸土溫度一直低於草地溫度，判斷灑水所造成的水分蒸發比起草皮，是有更立即冷卻的效果，是不是代表只要屋頂鋪設一層濕潤的土壤，就可以取代綠化屋頂的效果？

說明書表五：綠化屋頂的溫度變化(°C)

3/4	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	平均
氣溫	24.0	27.0	29.0	29.0	29.5	29.0	28.0	26.0	27.7
草皮	25.6	34.2	38.2	31.3	31.6	29.5	28.1	25.6	30.5
裸土	25.5	32.0	36.4	30.4	28.4	27.6	26.4	23.9	28.8
地磚	29.7	41.5	49.8	45.9	38.6	36.3	35.1	29.9	38.4

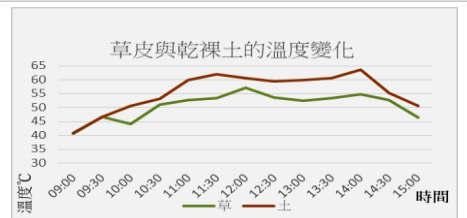


六、實驗二-(2)：觀察屋頂綠化草皮與裸土在陽光下的溫度變化

- (一) 實驗目的：觀察綠化草皮與乾燥裸土在陽光下的溫度變化。
 (二) 實驗設計與過程：停止養護(未澆水)的草皮與裸土(表面乾燥)放置頂樓進行溫度檢測。

說明書表六：綠化屋頂與裸土的溫度變化(°C)

3/8	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
草皮	40.7	46.6	44.1	51.0	52.6	53.4	57.2	53.6	52.4	53.4	54.8	52.7	46.5
裸土	40.8	46.6	50.6	53.2	59.8	62.0	60.6	59.4	59.9	60.7	63.7	55.2	50.7



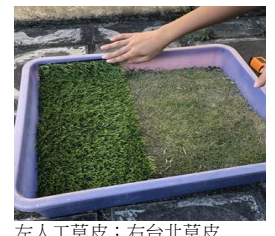
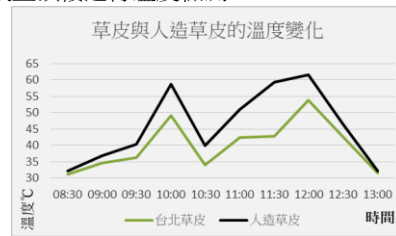
- (三) 實驗結果與推論：
 1.濕潤裸土有很好的冷卻，無灑水則裸土即無冷卻效果。2.未澆水的草皮維持原來的翠綠，且底層的土仍保持濕潤，草皮可持續行光合作用與蒸散作用，達到冷卻「都市熱島效應」的效果。3.在屋頂或不常下雨的天氣型態下的區域種植草皮既可以減緩熱島效應，也能淨化空氣。
 4.表面已乾燥的裸土冒出小草了，可見草地是自然演替會出現的過程。因此，建築物頂樓實施綠化是值得鼓勵的策略。

七、實驗三-(1)：其他屋頂設置-人工草皮陽光下的溫度變化

- 商家或單位會以人工草皮來取代真實草皮，視覺效果好，也方便。想了解同樣綠色的人工草皮與真實草皮在陽光下的溫度變化。
 (一) 實驗目的：觀察人工草皮與真實草皮在陽光下的溫度變化情形。
 (二) 實驗設計與過程：盆子鋪土，土的一邊放台北草，另一邊放人工草皮，放置頂樓進行溫度檢測。

說明書表七：台北草皮與人工草皮在陽光下的溫度變化(°C)

3/9	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	平均
台北草	31.1	34.6	36.2	49.1	34.0	42.3	42.9	53.7	42.6	31.6	39.8
人工草	32.3	36.8	40.3	58.7	39.9	50.9	59.4	61.6	46.5	32.3	45.9



左人工草皮；右台北草皮

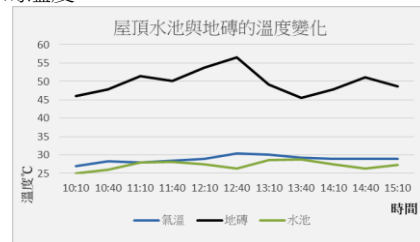
- (三) 實驗結果與推論：人工草皮沒有冷卻效果，只有視覺美化無綠化屋頂。

八、實驗三-(2)：其他屋頂設置-水槽(游泳池)在陽光下的溫度變化

- 有些建築物頂樓會有游泳池或水池的設置，想了解陽光下水溫的變化。
 (一) 實驗目的：在水槽裝水，觀察陽光下，水的溫度變化。
 (二) 實驗設計與過程：水槽內裝水，放置頂樓以紅外測溫儀器測量水池、地磚的溫度。

說明書表八：屋頂水池在陽光下的溫度變化(°C)

2/12	10:10	10:40	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	平均
氣溫	27.0	28.2	28.0	28.5	29.0	30.4	30.0	29.2	29.0	28.9	29.0	28.8
水池	25.0	26.0	27.9	28.1	27.5	26.3	28.6	28.8	27.4	26.3	27.2	27.2
地磚	46.0	47.8	51.5	50.1	53.8	56.5	49.2	45.6	47.9	51.1	48.6	49.8



檢測水槽的溫度

- (三) 結果與推論：水溫遠低於地磚，比氣溫還低，冷卻效果佳。說明海水水溫變化少，能夠冷卻鄰近地區的空氣，內陸城市的熱島現象比海岸城市更顯著。

九、實驗四：調查學校露天的平面及頂樓設施在陽光照射下的溫度變化情形

- (一) 實驗目的：實地調查學校露天平面(含建築物頂樓及平面空間)在陽光照射下一天的溫度變化。
 (二) 實驗設計與過程：考量照射角度一致，選擇學校地面及頂樓所有的平面，包含草地、透水磚、耐重橡膠地墊、PU 跑道、籃球場地綠漆、籃球場地紅漆，以及頂樓的地磚、表面磁磚、太陽能板等在陽光照射下的溫度變化。以紅外線測溫儀來測量各種鋪面的表面溫度。



- (三) 實驗結果與討論：

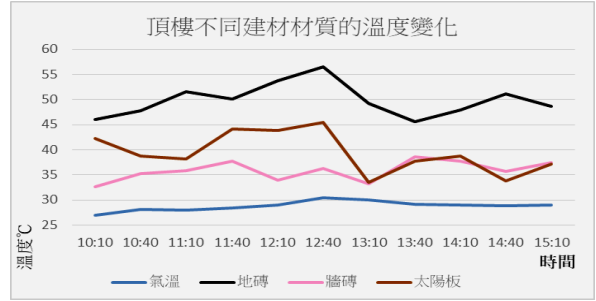
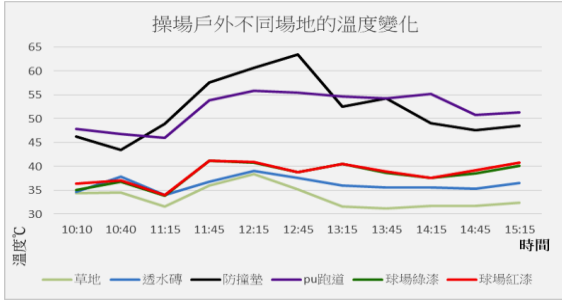
表九：操場上不同場地的溫度變化(°C)

2/12	草地	透水磚	橡膠地墊	PU 跑道	球場綠漆	球場紅漆
10:10	34.4	34.6	46.2	47.8	35.0	36.3
10:40	34.5	37.8	43.4	46.8	36.8	37.0
11:15	31.5	33.9	49.0	45.9	33.8	33.9
11:45	35.9	36.7	57.6	53.9	41.1	41.2
12:15	38.3	39.0	60.7	55.8	40.7	40.9
12:45	35.2	37.6	63.4	55.5	38.7	38.8
13:15	31.5	35.9	52.5	54.7	40.5	40.5
13:45	31.2	35.6	54.3	54.3	38.6	38.9
14:15	31.7	35.5	49.0	55.2	37.5	37.6
14:45	31.7	35.3	47.6	50.7	38.5	39.1
15:15	32.3	36.5	48.5	51.3	40.1	40.8
平均	33.5	36.2	52.0	52.0	38.3	38.6

表十：教學大樓頂樓不同建材材質的溫度變化(°C)

2/12	氣溫	水泥磚	牆磚	太陽能板
10:10	27.0	46.0	32.6	42.2
10:40	28.2	47.8	35.2	38.8
11:15	28.0	51.5	35.8	38.2
11:45	28.5	50.1	37.7	44.2
12:15	29.0	53.8	33.9	43.8
12:45	30.4	56.5	36.3	45.4
13:15	30.0	49.2	33.3	33.5
13:45	29.2	45.6	38.6	37.8
14:15	29.0	47.9	37.7	38.8
14:45	28.9	51.1	35.7	33.8
15:15	29.0	48.6	37.4	37.1
平均	28.8	49.8	35.8	39.4

- 1.溫度上午過中午到下午的過程，是穩穩地由低到高再降下來；溫度起伏受陽光強弱影響。
- 2.操場的草地溫度上升最少，綠化有助於冷卻都市熱島；牆磚則是其次，因牆磚表面顏色淺且光滑，增加陽光反射；接著透水磚，為可滲透性的鋪路材料，增加水分蒸發。
- 3.最高溫的是黑色橡膠地墊及紅色PU跑道，其反照率不高，不利於冷卻都市熱島。而橡膠地墊為黑色，在 11:15-12:45 陽光較強期間，溫度是高於PU跑道的。
- 4.頂樓太陽板的溫度表現優於水泥地磚，應該是太陽能板將部分光能轉換為電能，原來的熱就減少了，但是陽光越強，太陽板的溫度也隨之升高，是否有助於冷卻都市熱島仍需要保留。



十、收集高雄市中央氣象局各測站氣溫資料，繪製高雄溫度分布圖，探討高雄市熱島情形

(一)目的：利用高雄市各測站的氣溫資料，製作高雄市氣溫分布圖，以了解高雄市的「熱島」情形。

(二)設計與過程

收集高雄市海拔低於 100M 各測站

108 年 7 月的均溫，將最高溫至最低

溫依序以紅、橙、黃、綠、藍代表。

將顏色標示在 google earth。

(三)結果與討論如下:

1.人口稠密處、工業區的溫度顏色即浮現出來；相對的濕地、農業區及少開發的區域明顯溫度較低。

2.溫度表現較好的狀況仍是綠色植被區域(如內門、古亭坑)或濕地水源區(如鳳山、鳳森)，符合實驗二、實驗三的操作結果。

3.即使在人口稠密區域，若是鄰近綠地或溼地、魚塢，也有降溫效果，例如鼓山、左營、彌陀等測站。

4.改善都市熱島效應除考慮表面反照率、綠化等，在人口稠密人為活動頻繁區域的交通、空調不容忽視(新興、三民、岡山等測站)，也需考量相關產業活動，例如林園工業區、楠梓加工區、港區的冷凍廠(林園、楠梓、高雄等測站)。

伍、研究結果

一、都市熱島效應是全球暖化重要因素，造成影響含能源供給壓力增加、日照時數減少、相對溼度減少、都市水患機率增加、高溫機率增加、影響空品監測及影響全球暖化評估。冷卻對策，含綠化、反射日照、採用可滲透鋪面、水蒸發等。

二、白色、淺色及光滑表面具有較高的反照率，有助於減少陽光輻射熱吸收。

三、綠化屋頂的草皮與濕潤裸土都有冷卻「都市熱島效應」的效果，但無額外供水的情形下，草皮的效果才能維持較長的時間。

四、人工草皮塑膠材質在陽光下會助長溫度上升。屋頂水池有助減少溫度升高，但額外供水供電並無助於節能減碳，仍需評估。

五、陽光下，學校露天平面溫度上升最少是操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚；紅色的PU跑道與黑色橡膠地墊溫度上升最多。

六、由氣溫分布圖可以發現人口稠密處、相關工業區熱島效應明顯，濕地及綠帶(包含綠地及農業區)熱島效應較緩和。

陸、討論

一、全球暖化若單純以溫室效應來解釋，而忽略都市熱島效應造成的影響，可能會錯失許多挽救及改善的機會。

二、白色、淺色及光滑表面雖可以減少太陽輻射熱吸收，但相關塗料仍有使用成本及使用壽命的限制。

三、土壤在無草皮覆蓋的狀況下，表土很快就乾燥而失去冷卻效果，但土壤底層仍可維持潮濕較久的時間，也有助於草皮持續行光合作用及蒸散作用，達到冷卻都市熱島的效果。

四、綠色比起白色、黃色來說，陽光反照率應是偏低，無助於反射冷卻。屋頂游泳池或水池通常需要額外供水供電並無助於節能減碳，仍需評估其利弊。

五、陽光下，操場草皮、光滑淺色牆磚及透水磚上升溫度較少，可以判斷綠化、日光反照及透水鋪面均有助於冷卻都市熱島效應。紅色PU跑道與黑色橡膠地墊均非淺色反照率較低，加上不透水，不利冷卻都市熱島效應。

六、以高雄市區域來看，人口稠密處或相關工業區若缺乏綠地或水源區，熱島即明顯浮現，可見綠地、濕地及水源區有助於減緩都市熱島效應。然而造成都市熱島效應的成因多元，仍應綜合空調、交通工具及其他產業訊息，再做進一步推論。

柒、結論

一、使用反照率高的塗料或鋪面：反照率高的白、淺色塗料或光滑表面冷卻都市熱島的效果就越好。

二、增加城市綠化及透水鋪面比例：綠地、濕地及水源區熱島效應較不明顯，如能及早規劃增加綠化及透水鋪面範圍，盡量將城市降雨保存在城市範圍底層，持續的植物生長或水分蒸發來為城市降溫，而不是因城市不透水而迅速排走。

三、相關人為活動檢討：工業發展需大量耗能伴隨產生大量的熱；依賴空調散熱造成惡性循環；交通工具也產生大量廢熱。因此思考相關產業結構的發展、習慣搭乘公共交通工具，進而減少依賴空調的惡性循環，都值得我們持續反思。

期待未來我們城市的溫度分布圖不再是呈現紅紅的「熱島」，取而代之的是與城市外圍合而成一片「藍海」。

測站	均溫	測站	均溫
內門	27.081	梓官	28.648
田寮古亭坑	27.287	茄萣	28.665
小港鳳森	27.848	旗津	28.787
大樹溪埔	27.861	大寮	28.790
旗山	27.884	苓雅	28.955
美濃	27.920	橋頭	28.955
鳳山	28.081	湖內	28.994
燕巢阿公店	28.187	路竹	29.026
彌陀	28.352	新興	29.129
阿蓮	28.435	高雄前鎮	29.287
永安	28.500	楠梓	29.294
仁武	28.584	林園	29.310
鼓山	28.613	岡山	29.600
大社	28.629	三民	29.604
左營	28.642		

