

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082927

“輝”比尋常

~~探討黑板顏色對光源亮度表現的影響

學校名稱：新北市永和區永和國民小學

作者： 小六 林湘芸 小六 羅士桓 小六 施禹安 小五 林肯宏	指導老師： 張 虹 羅琪季
---	---------------------

關鍵詞：照度、輝度

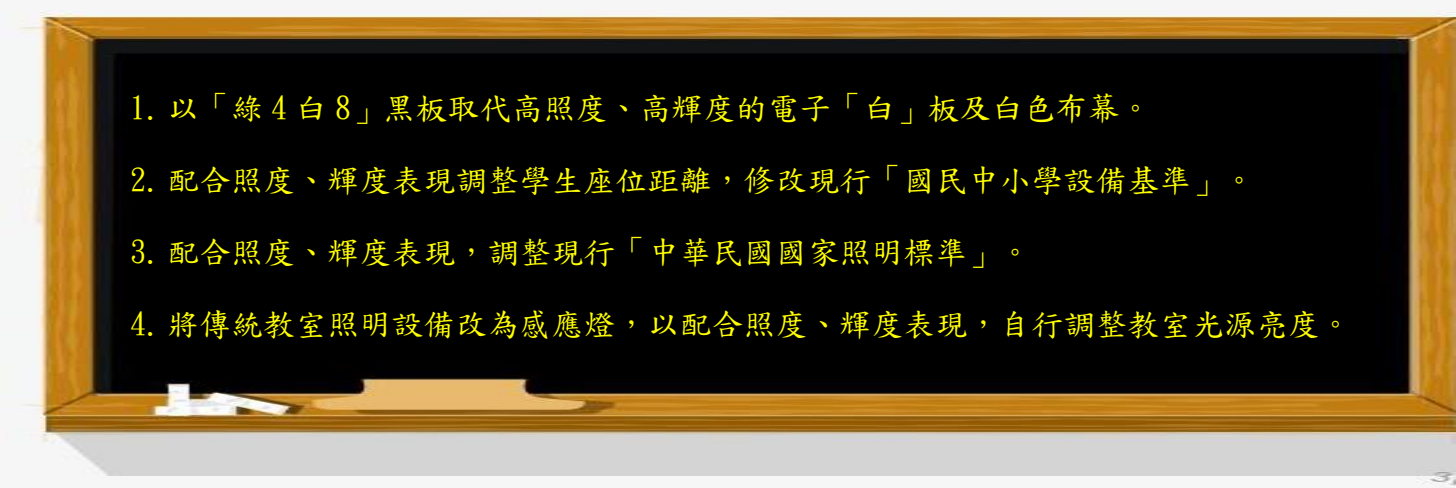
摘要

現行“黑”板已不是黑的，因此，我們準備數種顏色“黑”板，希望了解各色“黑”板對應光源亮度的表現，先以實驗箱測試照度及輝度，再以自然教室實測及問卷驗證。

★由實驗結果顯示：

1. 平均**照度**表現為黃、白色居高，黑、綠 4 白 0、洋紅偏低。
2. 平均**輝度**表現為黃、白色居高，黑、綠 4 白 0 偏低。
3. 綠 4 白 8 不論在照度、輝度的表現上都相當穩定。

★依結果提出建議：

- 
1. 以「綠 4 白 8」黑板取代高照度、高輝度的電子「白」板及白色布幕。
 2. 配合照度、輝度表現調整學生座位距離，修改現行「國民中小學設備基準」。
 3. 配合照度、輝度表現，調整現行「中華民國國家照明標準」。
 4. 將傳統教室照明設備改為感應燈，以配合照度、輝度表現，自行調整教室光源亮度。

壹、研究動機

“為甚麼以前的黑板是黑的？”而“現在的黑板又為甚麼要用綠的？”難道只是因為綠色對眼睛比較好嗎？加以我們學校學生的視力檢測結果不盡理想，校方一再要求老師減少單槍的使用頻率，這是因為使用白色布幕投影照度、輝度過高嗎？那麼可以使用其他顏色取代白色布幕嗎？種種的疑問促使我們展開相關的研究，希望不但可以解答我們的疑惑，找出使用“綠”板的緣由，並整理出相關數據所代表的實質意義，以提供教學現場使用。

★與課程相關單元：自然與生活科技領域四下第四單元「光的世界」（翰林版）

貳、研究目的

- 一、以實驗箱探討同一種顏色“黑”板各點的**照度**表現
- 二、以實驗箱探討不同顏色“黑”板各相同點的**照度**差異表現
- 三、以實驗箱探討同一種顏色“黑”板對應不同位置學生的**輝度**表現
- 四、以實驗箱探討不同顏色“黑”板對應不同位置學生的**輝度**差異表現
- 五、以自然教室探討同一種顏色“黑”板各點的**照度**表現
- 六、以自然教室探討不同顏色“黑”板各相同點的**照度**差異表現
- 七、以自然教室探討同一種顏色“黑”板對應不同位置學生的**輝度**表現
- 八、以自然教室探討不同顏色“黑”板對應不同位置學生的**輝度**差異表現

參、研究設備與器材

一、基本材料：

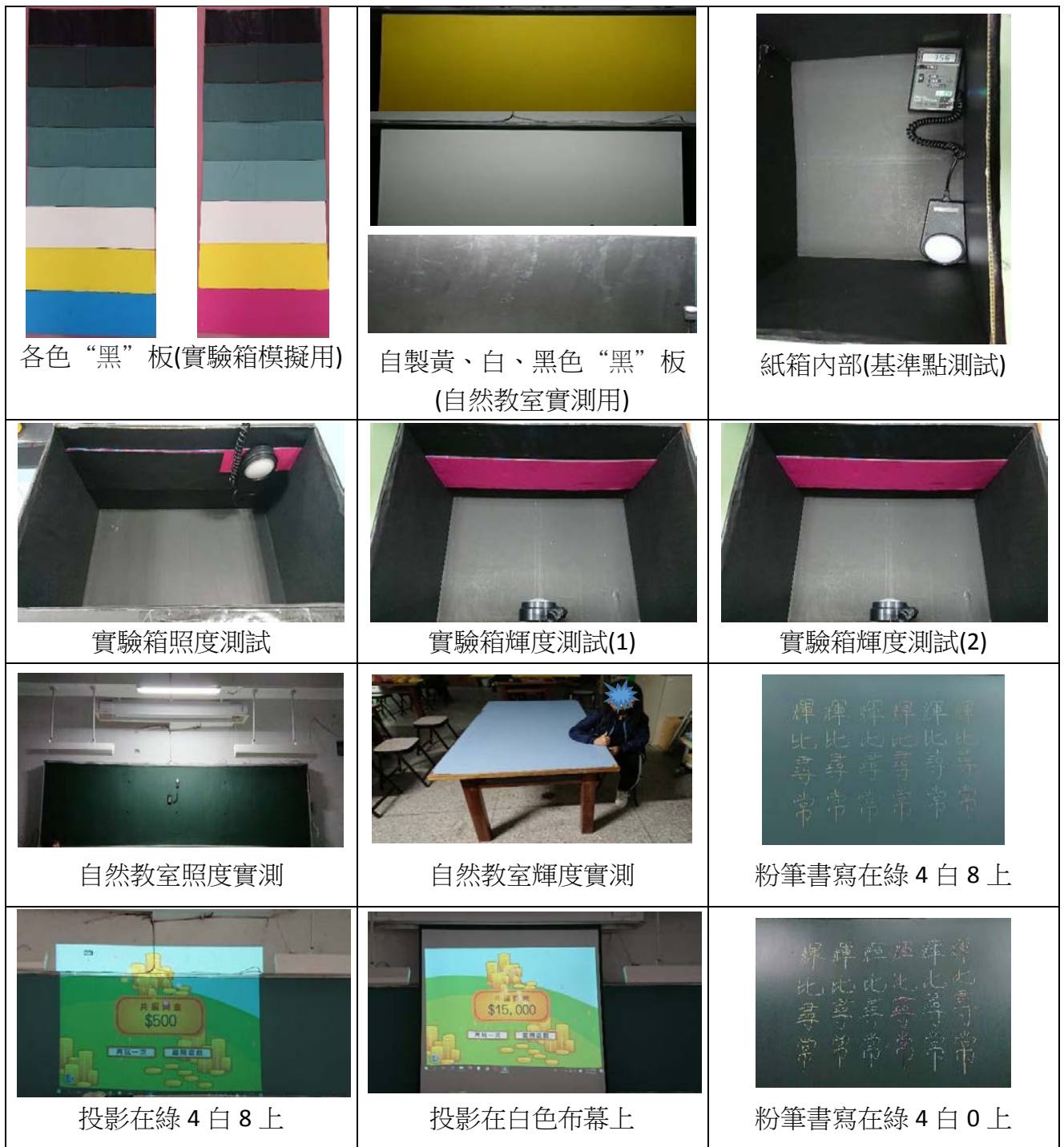
1. 紙箱
2. 各色黑板漆【各色黑板塗料】(台灣：永記造漆)
3. 測量工具、量杯、油漆刷、瓦楞板、海報紙



圖一 各種材料照片

二、器具：

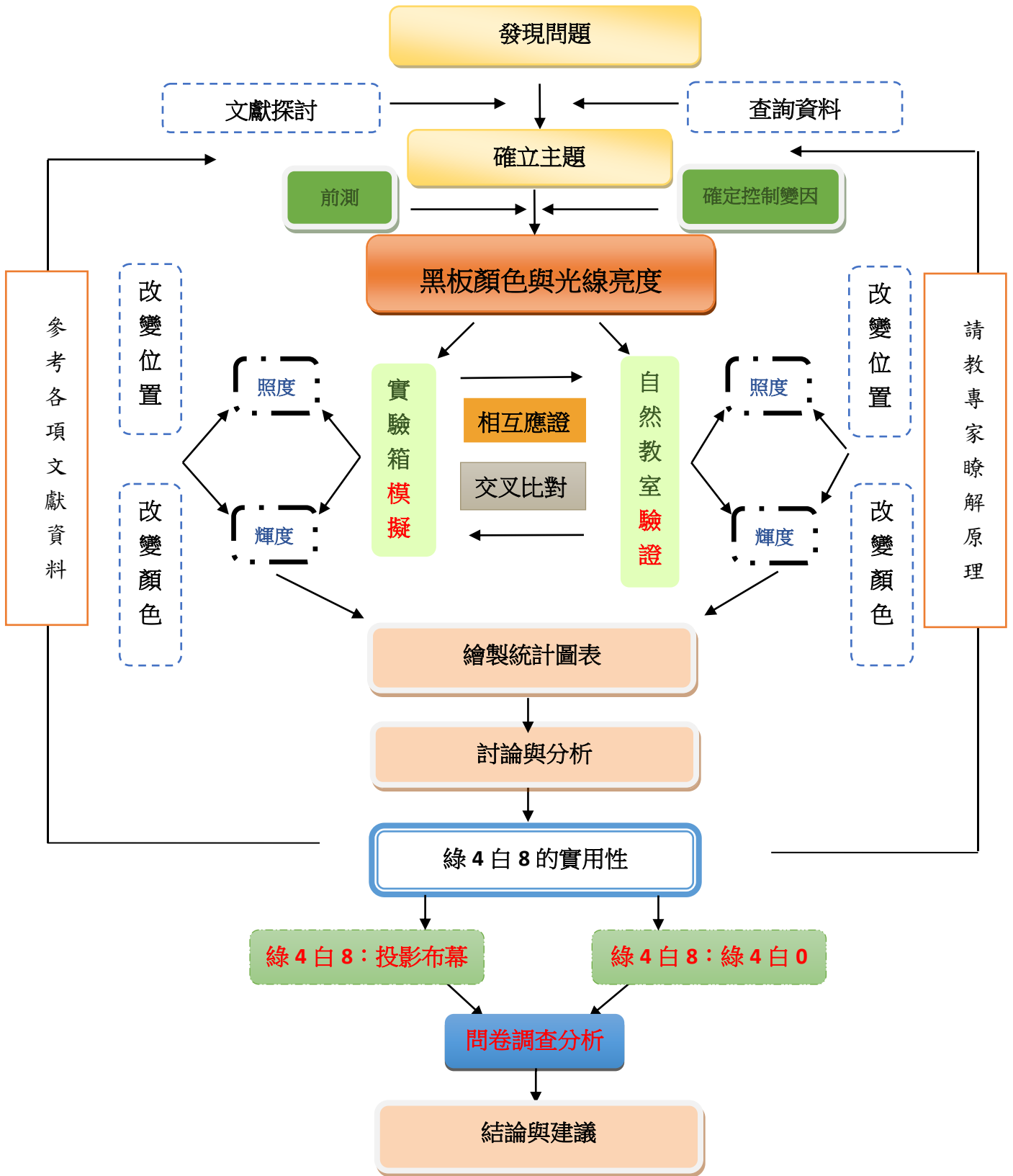
1. 照度計【測量照度及輝度】(台灣：YFE)
2. LED 燈【提供光源】(台灣：新照明)
3. 自製測量箱具
4. 自製小黑板、不同顏色的“黑”板



圖二 實驗過程照片

肆、研究過程與方法

一、研究架構圖：



圖三 研究架構圖

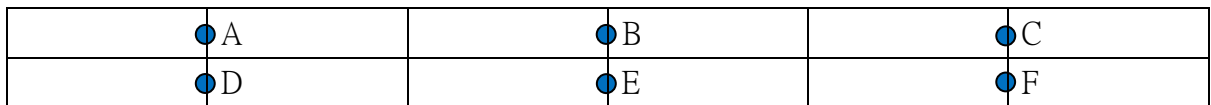
二、 測定方法：

(一) 實驗箱照度測試：

1. 確認實驗箱在沒有提供光源時照度維持在 $0\sim 2\text{ Lux}$ 之間。
2. 將施測的黑板黏貼在實驗箱中固定位置，再將照度計黏貼至黑板對應位置。
3. 依照「燈源開啟五分鐘→每隔 10 秒鐘報讀該點照度一次共 6 次→不關燈一分鐘準備換至下一點→每隔 10 秒鐘報讀該點照度一次共 6 次…」依次測完「A、B、C，B、C、A，C、A、B」，重複三次求各點照度平均值。
4. 關燈休息五分鐘，再依照上述方式測量 D、E、F 三點求各點照度平均值。

(二) 自然教室照度測試：

1. 拉上窗簾，隔絕所有自然光，確認在沒有提供光源時照度維持在 $0\sim 2\text{ Lux}$ 之間。
2. 施測的光源為黑板前中間的黑板燈。
3. 將黑板中間部分均分成六等分，並依序將照度計放置在相對位置，如圖四。

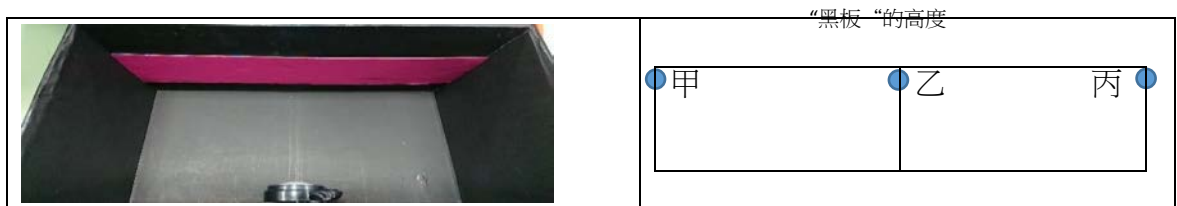


圖四 測量黑板照度的六個點位置

4. 測試過程如同實驗箱。

(三) 實驗箱輝度測試

1. 確認實驗箱在沒有提供光源時照度維持在 $0\sim 2\text{ Lux}$ 之間。
2. 將施測的黑板黏貼在實驗箱中固定位置，再將照度計黏貼至對面模擬學生的對應位置（甲、乙、丙），如圖五。
3. 依照「燈源開啟五分鐘→每隔 10 秒鐘報讀該位置輝度一次共 6 次→不關燈一分鐘準備換至下一個位置→每隔 10 秒鐘報讀該位置輝度一次共 6 次…」依次測完「甲、乙、丙，乙、丙、甲，丙、甲、乙」，重複三次求各位置輝度平均值。



圖五 依學生位置不同測量黑板的輝度表現

(四) 自然教室輝度測試

1. 拉上窗簾，隔絕所有自然光，確認在沒有提供光源時照度維持在 0~2 Lux 之間。
2. 將施測黑板放置在教室前方中心位置，再請學生手持照度計坐在對應位置測量。
3. 測試過程如實驗箱。



圖六 依學生位置不同測量黑板的輝度表現

三、 文獻探討

(一) 照度

1. 定義

光源發出光的量稱為光通量，而在某方向上光的分佈密度稱為發光強度。照度為光落在物體表面的密度，也就是所呈現的光亮程度。為比較照度的大小，常用被照面上單位面積內所接受到由光源投射來的有效光通量來定義。1 平方公尺面積上的總光通量有 1 流明時，稱為該面積上照度為 1 勒克斯(Lux)。

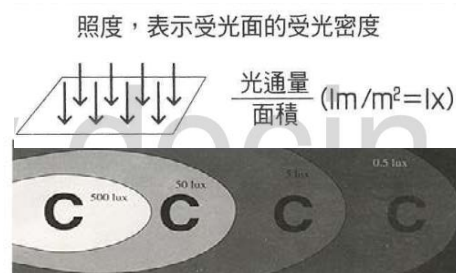
$$E \text{ (勒克斯 Lux)} = \frac{F \text{ (流明 Lumen)}}{A \text{ (平方公尺 m}^2\text{)}}$$

當閱讀環境照度太低時，容易導致眼睛疲勞造成近視，照度太高則過分明亮刺眼，並形成電力的浪費。為了測量被照面上的光亮程度，常採用照度計配合

不同的使用場所及時機，能適當達成保護眼力及節能電力的效果。

2. 照度標準

經濟部中央標準局參考先進國家之照度標準，在民國 76 年 9 月 17 日訂定照度標準，明定教室應有 200~750 Lux，黑板照度 300~1500 Lux 如表一。中華民國照明學會在民國 80 年 6 月建議中小學校教室之照明應加以提升，黑板應在 750 Lux 以上。內政部建築研究所 87 年 6 月出版「學校教室照明推廣手冊」學校教室照度標準之建議如表二，而教育部在民國 89 年 5 月 5 日修正學校一般教室照明標準為桌面照度不低於



350 Lux，黑板照度不低於 500 Lux 為原則。

表一 中華民國國家照明標準(CNS)學校標準照度表(室內)(編號 S1831)

標準照度(Lux)	場所(室內)		作業種類
1500		製圖教室	精密製圖、精密實驗、縫紉、打字工作、圖書閱讀、精密工作
1000			
750		電腦教室	
500			
300		大教室、禮堂、儲櫃室、休息室、樓梯間、走廊、電梯走道、廁所、值班室、工友室、天橋(75~300Lux)	
200			
150			
100			
75			
50			
30	倉庫、車庫、安全梯(30~75Lux)		

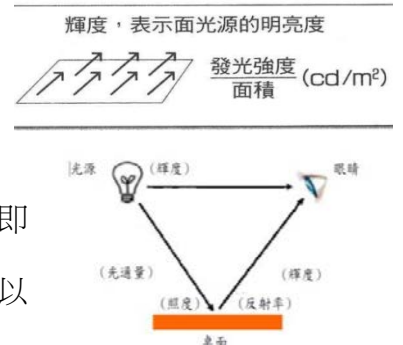
表二 學校教室建議照度標準

作業種類	教室名稱	桌面照度(Lux)	地板照度(Lux)	黑板面照度(Lux)
極精細作業	製圖教室、縫紉教室	750	---	500
精細作業	普通教室、實驗教室、電腦教室、自然教室、社會教室、美術教室、工藝教室、家事教室、會計教室、英打教室、視聽教室、語言教室、攝影教室、餐飲教室、音樂教室	500	---	500
普通作業	舞蹈教室	---	300	

(二) 輝度定義

當我們看著某物時，可以有兩種方式表達：一用於較高發光值者如光源或燈具，直接以發光強度來表示；另一則用於本身不發光只反射光線者如室內表面或一般物體，以亮度表示。亮度即被照物每單位面積在某一方向上所發出或反射的發光強度，用以顯示被照物的明暗差異，單位為燭光/平方公尺。

因此，我們所見的物體亮度並非照度，而是該物體所反射的亮度，是人眼所感知光源或被照面之明亮程度。輝度取決於被照面面積的大小以及被照面反射到肉眼的光強度，通常輝度是被用來評估光源或發光點之光亮與刺眼程度。



(三) 綠色系列黑板的定義

綠 4 白 0	四份黑綠色黑板漆 + 零份白色黑板漆 (現行黑板顏色)
綠 4 白 1	四份黑綠色黑板漆 + 一份白色黑板漆
綠 4 白 4	四份黑綠色黑板漆 + 四份白色黑板漆
綠 4 白 8	四份黑綠色黑板漆 + 八份白色黑板漆

伍、結果

研究一、利用實驗箱模擬探討黑板顏色對光源亮度表現的影響

【實驗一】正式實驗前的前置作業

一、正式實驗前的施測

表三 黑、白、黃、綠色海報紙的照度表現 (12/12PM1:00~ PM1:30)

外在環境因素 \ 照度(Lux)	黑	白	黃	綠
全關燈打開窗簾	178	170	148	137
全關燈拉上窗簾	7	6	5	6
只開黑板燈打開窗簾	851	878	796	783
只開黑板燈拉上窗簾	678	709	656	662
只關黑板燈打開窗簾	363	355	326	326
只關黑板燈拉上窗簾	194	199	198	196
全開燈打開窗簾	1038	1069	961	983
全開燈拉上窗簾	863	912	842	844

表四 不同時段黑、白色海報紙的照度表現

外在環境因素 \ 施測條件	(12/12PM1:00~ PM1:30)		(12/12PM15:30~ PM16:00)	
	黑	白	黑	白
全關燈打開窗簾	178	170	53	75
全關燈拉上窗簾	7	6	2	2
只開黑板燈打開窗簾	851	878	712	791
只開黑板燈拉上窗簾	678	709	685	718
只關黑板燈打開窗簾	363	355	230	254
只關黑板燈拉上窗簾	194	199	187	185
全開燈打開窗簾	1038	1069	895	972
全開燈拉上窗簾	863	912	872	921

實驗前，我們先在自然教室以各色海報紙貼在黑板中央進行照度測試，發現下

列問題：

- (一) 同一段時間裡，不同顏色海報的照度表現不一致。
- (二) 同一段時間裡，同種顏色海報在不同外在環境因素下的照度表現不一致。
- (三) 同一天中，同種顏色海報在不同時段測量的照度表現不一致。

因此在實驗過程中，我們嚴格控制相關實驗變因以確保實驗數據精準。

二、 設計實驗箱

(一) 依照自然教室與黑板的原比例縮小

為了驗證實驗想法，我們先以自製實驗箱模擬自然教室情形，除了確認實驗箱環境照度的穩定，更嚴格控制實驗箱的環境跟自然教室的黑板、燈源與學生的距離比例是相等的，我們測量了黑板的長、寬、高，黑板與中間燈源的水平距離、垂直距離，黑板與地面距離以及黑板與第一位學生的距離，再等比例縮小製作。

在幾次施測後發現第一代實驗箱的材質不夠堅硬，會越來越軟塌而影響測量數據，我們找到更為堅固的紙箱，並針對第一代實驗箱在施測過程中出現的問題加以修正，完成第二代實驗箱，進行正式施測。



圖七 實驗箱

- (二) 確認光源位置完全置中
- (三) 確認實驗箱環境照度值維持在 0~2 Lux 之間
- (四) 確認光源穩定所需時間

在研讀相關資料時我們發現傳統燈源自啟動燈源開關後，照度約 80 秒後才會趨於穩定，但在以後一個小時的測試中還是有不同幅度的上升或下降。為此我們針對實驗所採用的 LED 燈進行燈源穩定度測試。我們將放置在實驗箱內的小黑板分隔成六等分做測試，如圖八。



圖八 將小黑板分隔成六等分

1. 測試方法

將照度計先後放置 B 點及 C 點，持續開啟燈源 14 分鐘，每隔 5 秒鐘記錄一次照度計上所顯現的數值。

2. 結果發現

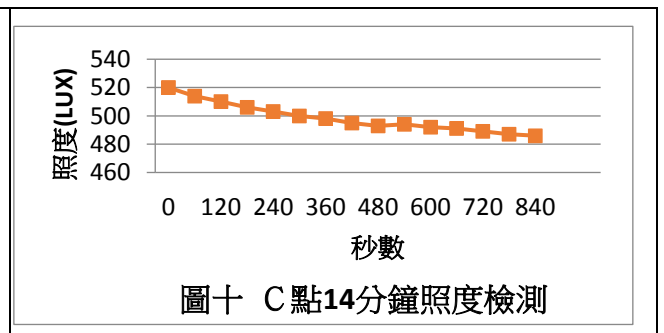
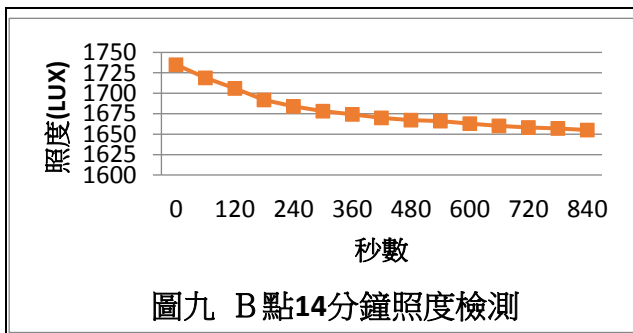
由數據中發現，LED 燈的燈源穩定度比傳統燈源高，在 14 分鐘內照度並沒有太大的改變。剛開啟的瞬間照度較高，隨後開始逐漸降低，0 秒至 180 秒降幅最大，300 秒起，照度沒有大幅度的變化。(如圖九、圖十)。

3. 確認使用光源進行實驗的順序

我們決定燈源開啟五分鐘後開始施測，同時為了避免照度會因燈源開啟時間越久而數值略為下降，我們的測量順序為「A、B、C，B、C、A，C、A、B」如此重複三次求照度平均值，爾後關燈五分鐘，再開燈五分鐘如上述方法測量「D、E、F」各點。

4. 確認實際測量環境照度值為穩定的

為了避免各種不確定因素的影響，我們遮蔽所有外在光源，在不開燈的情況下，必須保證實際測量照度值為 0~2 Lux 之間。



(五) 確認施測黑板的顏色選擇

人眼所見的各種色彩是因光線的不同波長所造成，由實驗發現，人類肉眼對光的三原色(RGB)，紅(red)，綠(green)，藍(blue)三種波長的感受特別強烈，只要適當調整這三種光線的強度，就可以讓人類感受到『幾乎』所有的顏色。而顏料則是吸收光線，因此顏料的三原色必須是紅綠藍的補色：青、洋紅與黃色(CMY)。因此我們在黑板的顏色上選擇了常見的黑、白、綠，還有青(藍)、黃、洋紅，以及深淺不同的綠：「綠 4 白 1」、「綠 4 白 4」、「綠 4 白 8」，共九種顏色。

【實驗二】探討同一種顏色“黑”板各點的照度表現

一、實驗結果：

依測試方法測出各點照度數值，再求出各照度平均值，並彙整如表五所示：

表五 不同顏色“黑”板各點平均照度表現（實驗箱 單位：Lux）

顏色/位置	A	B	C	D	E	F
黑	445	1425	434	358	827	358
白	458	1500	453	386	938	385
綠 4 白 0	434	1393	435	357	827	352
綠 4 白 1	439	1382	444	356	842	355
綠 4 白 4	448	1429	443	362	837	357
綠 4 白 8	456	1,439	455	364	851	359
黃	457	1481	454	385	959	373
藍	440	1377	429	348	820	347
洋紅	425	1355	421	345	817	338

二、實驗分析：

在表五中我們發現：

- (一)位於上層兩端的 A、C，彼此間照度值差異不大，但低於 B（約 1000 Lux）和 E（約 500 Lux），但高於下層同一位置的 D、F 兩點約 80 Lux。
- (二)位於下層兩端的 D、F 兩點彼此間照度值差異不大，低於 E 點約 500 Lux 左右，用式子可以表示為： $A \approx C$ ， $D \approx F$ ， $B - A \approx 2 * (E - D)$ 。

依據表五結果，將上下兩點的照度值加以比較，彙整如表六所示，我們觀察到：

表六 同一種顏色黑板各點照度的差異表現（實驗箱 單位：LUX）

對應各點比較 黑板顏色	A-D	A-D 變化程度	B-E	B-E 變化程度	C-F	C-F 變化程度
黑	87	24%	598	72%	76	21%
白	71	18%	562	60%	69	18%
綠 4 白 0	77	21%	567	69%	83	24%
綠 4 白 1	83	23%	540	64%	89	25%
綠 4 白 4	86	24%	592	71%	86	24%
綠 4 白 8	92	25%	587	69%	96	27%
黃	72	19%	522	54%	81	22%
藍	92	27%	557	68%	82	24%
洋紅	80	23%	539	66%	83	24%

- (三)在數值上，左右兩端（A-D）與（C-F）的差距大致相等，幾乎在 10 Lux 之內。
- (四)中間近光源的兩點差距較大，各色黑板上下兩點均相差約 500 Lux 以上。

(五)在變化程度上，兩側因離燈源較遠照度下降約 25%，但中間近光源的上下兩點就有約 70%的差距，可見近光源的中間位置照度變化程度較為明顯。

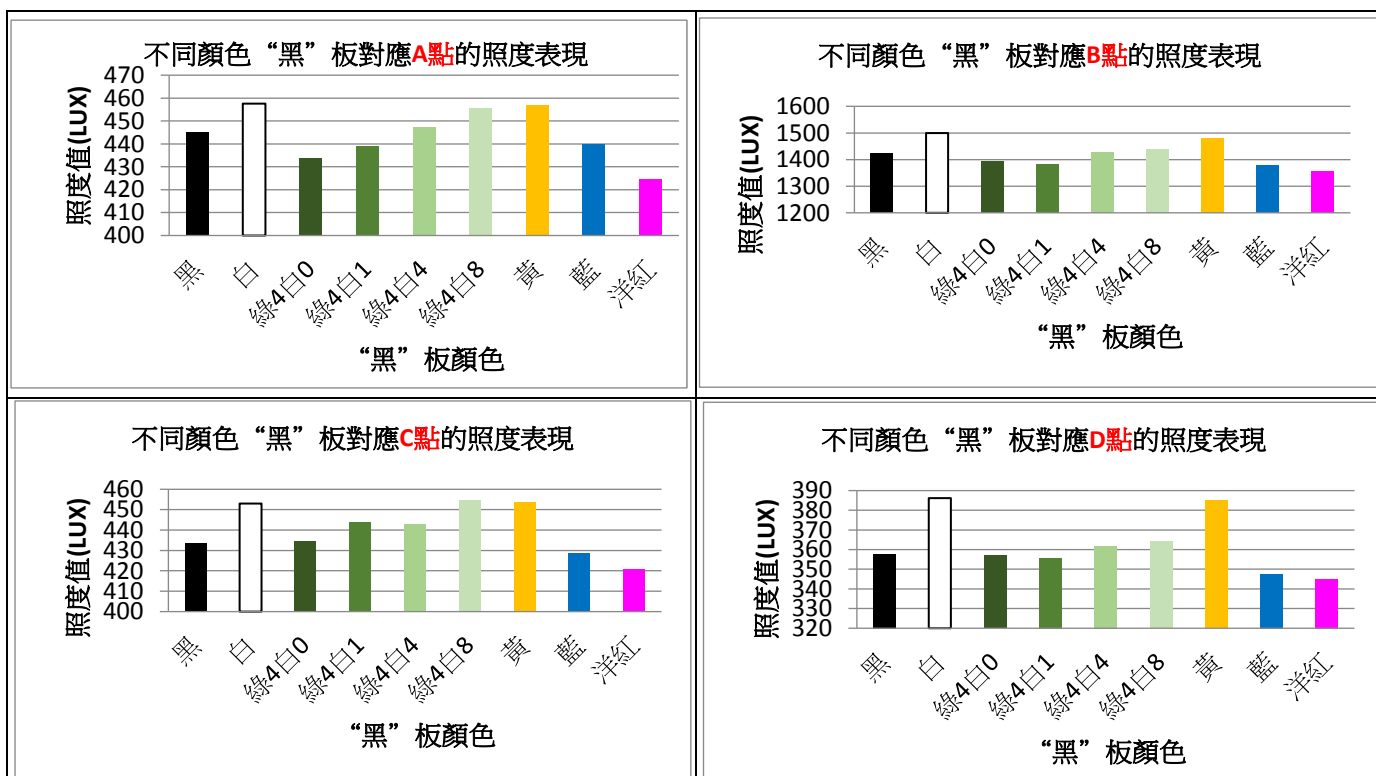
結論

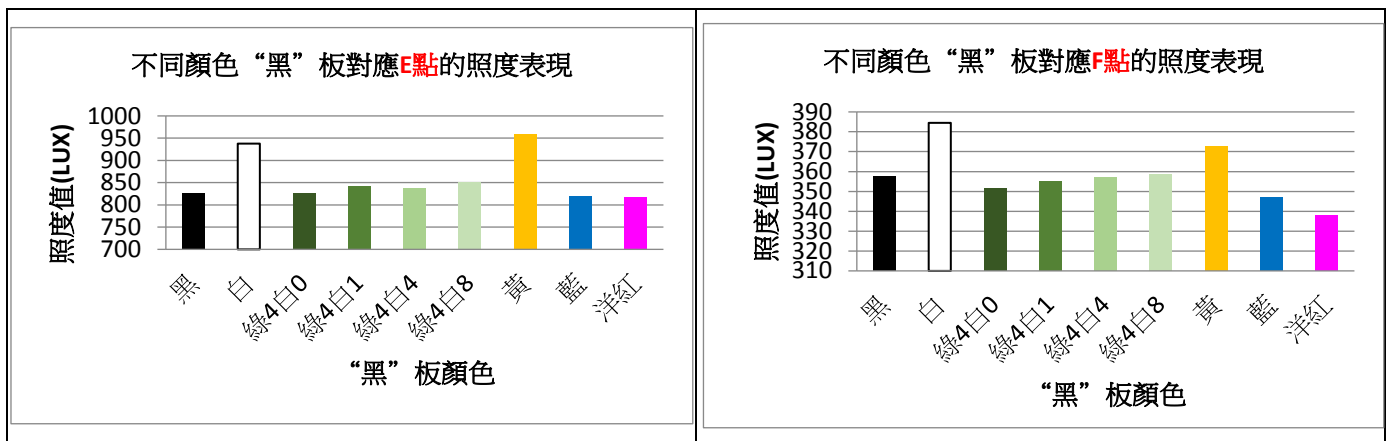
1. 在實驗箱狹隘的空間裡只提供一盞燈源，光線集中而產生中間照度過高，兩端偏低的現象。不建議在讀書寫字時只留部分光源，這樣對靠近光源的學生來說，照度值過高，容易出現眩光不舒服的現象，也會對視力有所影響。
2. “黑”板照度最高的位置是在接近光源的垂直方向上，越往兩側，離光源越遠照度值越低。且最接近燈源的 B 點光照值相當不穩定，照度變化大，不符用眼安全，可見與強光保持適合距離是相當重要的。
3. 照度確實會因為物體表面顏色不同而呈現不同的表現值。

【實驗三】探討不同顏色“黑”板各相同點的照度差異表現

一、實驗結果：

依據表五實驗數據，整理如圖十一，並將各色“黑”板相同點的照度表現值以“洋紅”為基準點加以比較排序如表七。





圖十一 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度表現

表七 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度差異表現排序

以"洋紅"為基準(平均照度最低)各種顏色黑板之比較：

顏色 各點	黑	白	綠4白0	綠4白1	綠4白4	綠4白8	黃	藍	洋紅
A	20	31	9	14	23	31	32	15	0
排序	5	3	8	7	4	2	1	6	9
B	70	144	38	27	74	83	126	21	0
排序	5	1	6	7	4	3	2	8	9
C	13	32	14	23	22	34	33	8	0
排序	7	3	6	4	5	1	2	8	9
D	13	41	12	11	20	19	40	2	0
排序	5	1	6	7	3	4	2	8	9
E	10	121	10	25	20	35	142	3	0
排序	6	2	7	4	5	3	1	8	9
F	19	46	13	17	19	20	35	9	0
排序	4	1	7	6	5	3	2	8	9

二、實驗分析：

分析各色“黑”板對應各相同點的平均照度表現，如表七及圖十一，可以發現：

- (一) 中間兩點 B、E 變化程度最為明顯的是“黑”，可見“黑”色的照度表現值受燈源亮度影響大，上下兩點受光不均勻。
- (二) “白”及“黃”黑板對應六點位置的照度值最高，特別在最接近燈源的 B、E 兩點比其他顏色黑板的相同點高出許多。可見在近光源處，兩色照度表現相當顯著，若要在教學現場使用需慎選燈源的亮度與高度。特別的是其上下各點間變化程度最小，推論是因本身高照度而削弱其變化幅度。
- (三) “綠4白8”、“綠4白4”分別排名第三、第四，推估原因是因添加較多比例白色黑板漆的緣故，但在近光源兩點的照度值不如白、黃兩色提升那麼多，且下上

兩層的照度變化幅度都較明顯，在使用上要注意燈源亮度的選擇。

(四) “綠 4 白 0” 及 “綠 4 白 1” 的照度表現差異不大，推論添加少量的“白”不足以影響照度。

結論

1. 不同顏色黑板各點在照度的表現上具有一致性。
2. “白”及“黃”在高亮度燈源的照射下表現出高照度值，推論與輝度表現有關。
3. 各色黑板的“B、E”兩點照度表現都偏高，表示越近光源，照度值越高，為避免用眼不舒服需慎選燈源的亮度及位置。
4. “綠 4 白 0”在各點間的照度變化程度皆表現適中，可做為選擇黑板顏色的參考指標。

【實驗四】探討同一種顏色“黑”板對應不同位置學生的輝度表現

一、實驗結果：

以「甲、乙、丙，乙、丙、甲，丙、甲、乙」的順序，重複三次測量不同位置學生的輝度表現，並求出各點輝度平均值，彙整如表八所示：

表八 各種顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現（實驗箱 單位：Lux）

學生位置 黑板顏色	甲（左側）	乙（中間）	丙（右側）
黑	253	795	244
白	337	923	321
綠4白0	255	787	251
綠4白1	260	801	255
綠4白4	274	801	262
綠4白8	282	813	262
黃	322	893	290
藍	275	823	263
洋紅	272	823	262

再依據表八，將兩側（甲、丙）與中間位置（乙）的輝度表現加以比較，並將左側（甲）與右側（丙）的輝度表現也加以比較，結果彙整如表九所示。

二、實驗分析：

依據表八及表九之實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 比較左右兩側學生（甲、丙）與中間位置學生（乙）的輝度差異，各色黑板對應中間位置的輝度值都較高，左右兩側的輝度值則較中間位置低，且差異

幅度將近 70%。推論原因是燈源居中，左右兩側偏離燈源，以致中間位置的輝度表現較高，而左右兩側相較之下則較低。

(二) 比較左側學生（甲）與右側學生（丙）的輝度差異，各色黑板的輝度差異都不大，差異幅度幾乎都低於 10%，「綠 4 白 0」和「綠 4 白 1」甚至只有 2% 左右，唯有「黃」對應兩側學生的輝度差異稍大，差異幅度為 11%。

表九 同一種顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現(實驗箱 單位:Lux)

不同位置比較 黑板顏色	甲(左側) -乙(中間)	甲 - 乙 差異幅度	丙(右側) -乙(中間)	丙 - 乙 差異幅度	甲(左側) -丙(右側)	甲 - 丙 差異幅度
黑	-542	-68%	-551	-69%	9	3%
白	-586	-63%	-603	-65%	17	5%
綠4白0	-532	-68%	-537	-68%	5	2%
綠4白1	-541	-68%	-546	-68%	6	2%
綠4白4	-527	-66%	-539	-67%	11	4%
綠4白8	-531	-65%	-551	-68%	20	8%
黃	-571	-64%	-603	-68%	32	11%
藍	-548	-67%	-560	-68%	13	5%
洋紅	-551	-67%	-560	-68%	9	3%

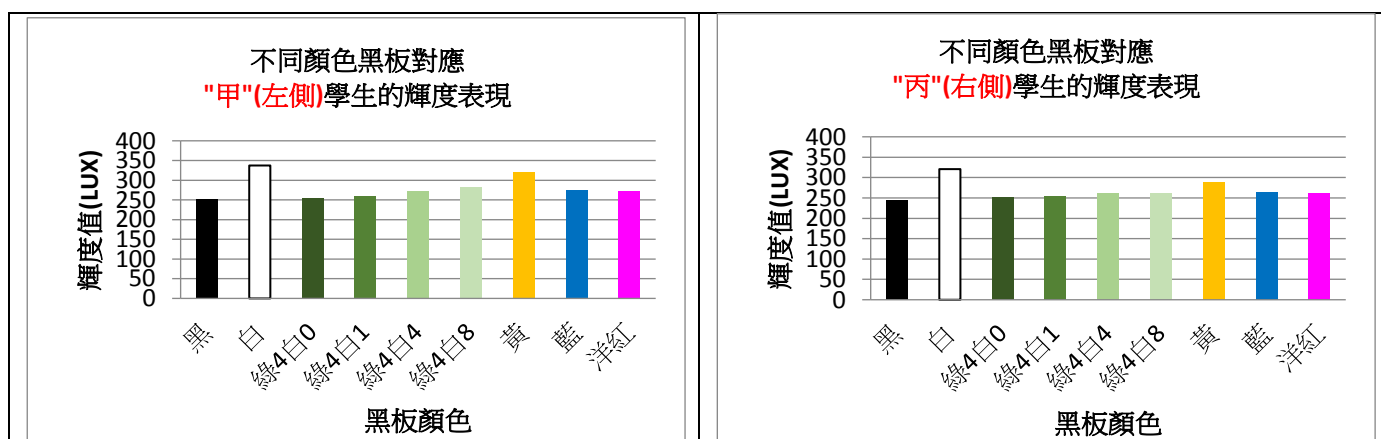
結論

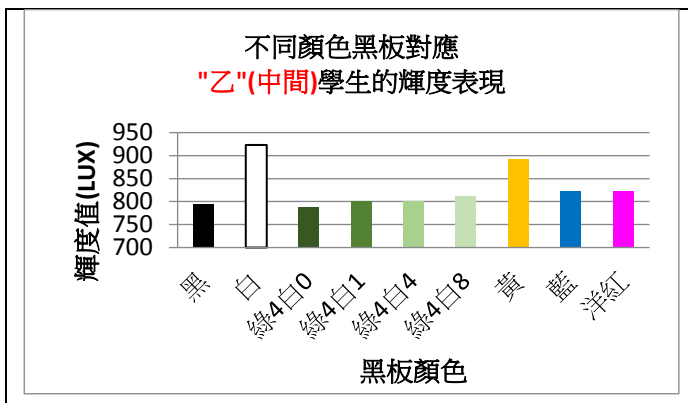
1. 燈源對應不同位置學生的輝度表現有所差異，越接近燈源的位置，輝度表現也越高，容易產生反射眩光現象，使視覺無法辨識或不舒服。
2. 面對各色黑板，除了「黃」之外，輝度表現差異都不大，也就是左右兩側學生的眼睛所感知的光源或黑板被照面之明亮程度是差不多的。

【實驗五】 探討不同顏色「黑」板對應不同位置學生的輝度差異表現

一、實驗結果：

依據表八將各色黑板對應不同位置學生的輝度表現彙整如圖十二，並以輝度值最低的「黑」為基準，將其他顏色黑板的輝度值與其比較排序如表十所示：





圖十二 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現（實驗箱）

二、實驗分析：

依據圖十二及表十之實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 將各色黑板對應不同位置學生的輝度值與“黑”比較，左側（甲）及右側學生（丙）的輝度增加幅度都大於中間位置（乙），也就是接近燈源的學生面對各色黑板所感受到的輝度值都較高，但變化程度卻較兩側小。
- (二) “白”及“黃”黑板不論對應任何位置學生（甲、乙、丙）的輝度值都偏高。其次為“藍”、“洋紅”、“綠4白8”。“白”對應左右兩側的輝度值甚至比“黑”高出30%以上，中間位置也比“黑”高出16%。
- (三) “黑”及“綠4白0”黑板不論對應任何位置學生（甲、乙、丙）的輝度值都最低，“綠4白0”對應中間位置的輝度值比“黑”還要低1%。
- (四) 綠色系列黑板隨著白色黑板漆調入比例增加，輝度值大致會隨之提高，但是，並未隨白色黑板漆增加的比例而等比例提高，直到“綠4白4”才比“黑”略高，中間位置的輝度值則到“綠4白8”才有明顯變化，比“黑”高出2%。
再參照表十，探討不同位置學生的輝度差異表現，我們又發現下列事項：
- (五) 由各種顏色黑板對應左右兩側學生（甲、丙）與中間位置學生（乙）的輝度「差」來看，“白”及“黃”輝度差最高，其次為“洋紅”、“藍”及“黑”，“綠4白0”、“綠4白1”、“綠4白4”及“綠4白8”都較低。
- (六) 由各種顏色黑板對應左側學生（甲）及右側學生（丙）的輝度「差」來看，“白”、“綠4白8”及“黃”的輝度差最高，其次為“藍”、“綠4白4”及“洋紅”，“黑”及“綠4白1”都較低。

表十 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現（實驗箱 單位：Lux）
以“黑”為基準（輝度表現最低）各種顏色黑板之輝度比較

學生位置 黑板顏色	甲 (左側)	甲 差異幅度	乙 (中間)	乙 差異幅度	丙 (右側)	丙 差異幅度	甲 排序	乙 排序	丙 排序
黑(基準)	0	0%	0	0%	0	0%	9	8	9
白	85	34%	128	16%	77	31%	1	1	1
綠4白0	3	1%	-8	-1%	7	2%	8	9	8
綠4白1	8	3%	6	1%	12	4%	7	6	7
綠4白4	21	8%	6	1%	18	7%	5	7	5
綠4白8	30	12%	18	2%	18	7%	3	5	6
黃	69	27%	98	12%	45	19%	2	2	2
藍	23	9%	28	4%	19	8%	4	3	3
洋紅	19	7%	28	3%	18	7%	6	4	4

結論

1. 輝度會因黑板顏色不同、學生位置不同而產生差異。
2. 選擇不同顏色黑板時，不能只考慮中間位置學生（接近燈源）的輝度增加幅度，尤其在空間較小的環境，還需考量兩側學生（偏離燈源）的輝度提昇幅度。
3. “白”及“黃”的輝度表現偏高，對學生而言可能較為刺眼，容易造成眼睛疲勞，尤其坐在燈源正前方的學生不舒服的感受更為明顯。
4. “黑”及“綠4白0”的輝度表現較低，對學生而言較不刺眼，適合長時間注視。
5. 雖然“黑”及“綠4白0”的輝度值都很低，但再比較左右兩側與中間學生的輝度差異，及左側與右側學生的輝度差異，“綠4白0”都表現得比“黑”更低。
6. 綠色系列黑板的輝度提昇幅度大致是居中偏低，“綠4白8”和“綠4白4”因白色黑板漆調入的比例較高，輝度提昇稍微高些，但是，幅度遠低於白色黑板漆增加的比例。

研究二、利用自然教室驗證探討黑板顏色對光源亮度表現的影響

【實驗一】探討同一種顏色“黑”板各點的照度表現

一、實驗結果：

根據研究一的實驗結果，我們選擇照度、輝度數值偏高的“白”、“黃”，綠色系列中具代表性的“綠4白0”及“綠4白8”，照度、輝度表現並不一致的“洋紅”，以及照度、輝度數值偏低的“黑”，作為我們實測的黑板顏色。在實驗箱設計時考量以黑板中間燈為測量燈源，我們以實際黑板的三分之一大小為測量範圍。依照實驗箱施測方法測得照度、輝度表現值，彙整如表十一。

表十一 各顏色“黑”板各點的平均照度表現（自然教室 單位：Lux）

各點位置 黑板顏色	A	B	C	D	E	F
黑	161	292	173	127	182	132
白	187	322	191	134	206	144
綠 4 白 0	159	282	163	125	181	122.5
綠 4 白 8	171	296	170	126	183	128
黃	173	317	175	130	200	138
洋紅	158	292	164	123	178	129

二、實驗分析：

從表十一的數據分析我們可以發現：

(一)觀察以上“黑”板與實驗箱所測得的表現是一致的，B、E 兩點照度數值略高於兩側數值，推論是只開中間燈源，以致中間的照度值較高，而左右兩側的照度值較低。

(二)相較於實驗箱中的高照度表現，自然教室因為空間空曠，光線不易集中，即便是接近燈源的中間位置也沒有出現過高的照度值。

(三)位於下層兩端的 D、F 兩點照度值差異也不大，這與實驗箱中所測的結論相符。

依據表十一，將上下兩點的照度表現加以比較，彙整如表十二所示，我們觀察到：

(四)在數值表現上，A、D 間的差距大小與 C、F 間的差距大小都在 10 Lux 之內。

(五)跟實驗箱的測試結果一樣，中間近光源的兩點間差距較大。

(六)在變化程度上，各點間的照度變化百分率也跟實驗箱結果分析雷同。

表十二 各顏色黑板各點照度的差異表現（自然教室 單位：Lux）

對應各點比較 黑板顏色	A-D	A-D 的變 化程度	B-E	B-E 的變 化程度	C-F	C-F 的變 化程度
黑	34	26%	110	60%	41	32%
白	53	40%	117	56%	47	33%
綠 4 白 0	34	27%	102	56%	41	33%
綠 4 白 8	44	34%	113	62%	42	33%
黃	43	33%	118	59%	37	27%
洋紅	35	28%	113	64%	35	27%

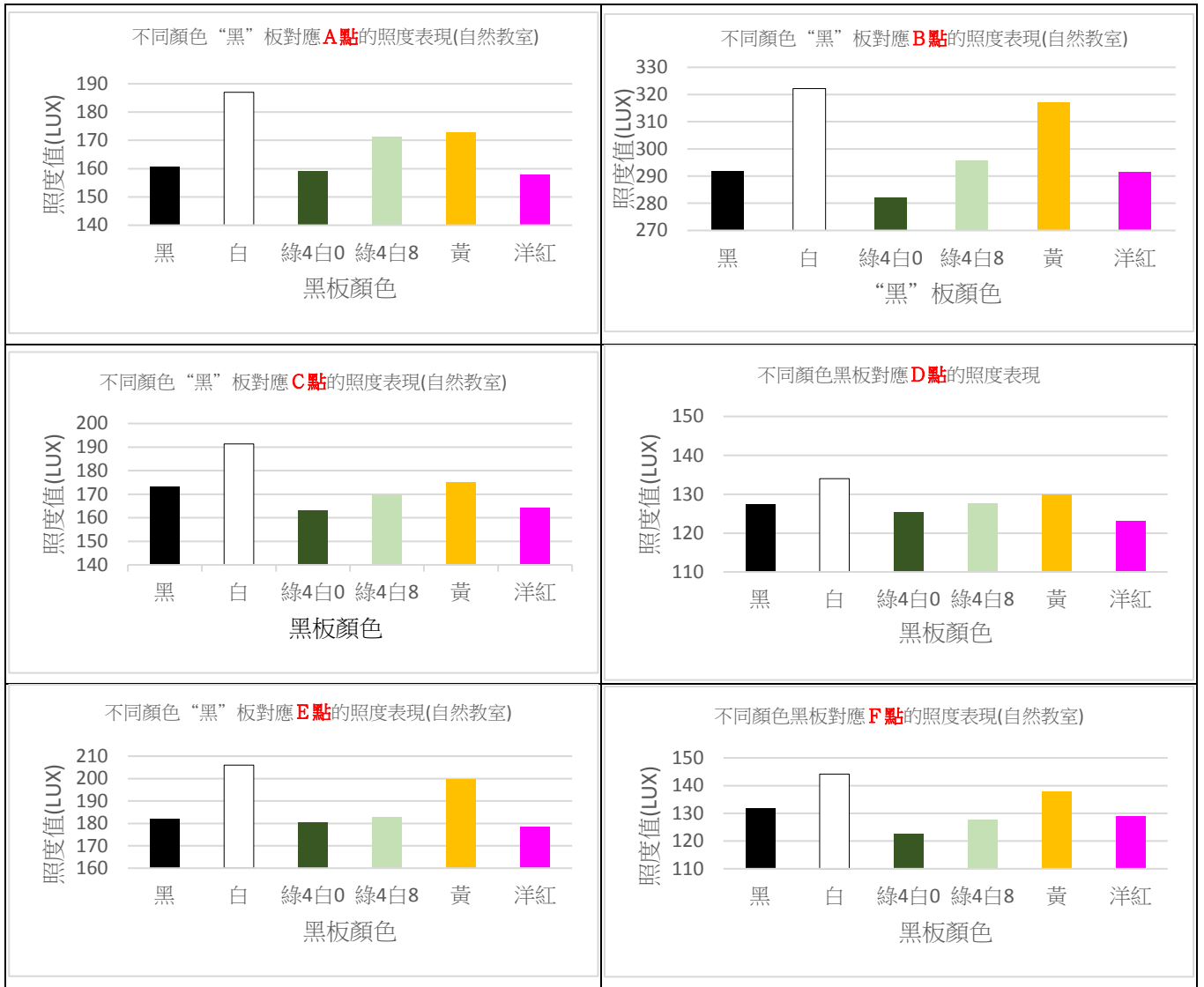
結論

1. 不論實驗箱或自然教室，都顯示“黑”板會因位置不同而有不同的照度表現，也就是越接近燈源位置照度數值越大，越偏離燈源位置照度數值則越小。
2. 實測各點的數值不如實驗箱各點間有顯著差異，但變化程度的模式是雷同的。可見無論空間大小、使用何種顏色的黑板，光線充足、亮度平均都是首要條件。

【實驗二】探討不同顏色“黑”板各相同點的照度差異表現

一、實驗結果：

依據表十二的實驗數據，繪製各色黑板對應各點的照度表現如圖十三，並將各色“黑”板對應各相同點的照度值以“洋紅”黑板為基準點加以比較排序。



圖十三 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度表現（自然教室）

表十三 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度差異表現(自然教室 單位:Lux)

各點位置 黑板顏色	A	B	C	D	E	F
黑	3	0	9	4	4	3
白	29	31	27	11	28	15
綠4白0	1	-10	-0	2	2	-6
綠4白8	13	4	6	5	4	-1
黃	15	25	11	7	21	9
洋紅	0	0	0	0	0	0

二、實驗分析：

我們將“洋紅”黑板作為基準點，如表十三及圖十三所示，我們發現下列事項：

- (一) “白”、“黃”對應六點位置的照度值最高，這與實驗箱的結果是一致的。
- (二) “綠4白8”的照度值只比“黑”略高，近光源的兩點也只是小幅度增加。
- (三) “黑”與“洋紅”對應六點位置的照度值最低，幾乎沒有變化。
- (四) “黑”、“綠4白0”及“洋紅”的中間兩點照度表現不如實驗箱有顯著差異，推估原因，一是實測時以中間一盞燈作為燈源，照度數值不高；二是教室空曠，聚光效果不如實驗箱明顯。

結論

1. 各色黑板在照度表現上與實驗箱施測具有一致性。
2. 由“綠4白8”黑板可以發現，若是大面積的“黑”板，隨著白色黑板漆的添加，黑板照度數值略為提昇，但並沒有急遽上升直至逼近白色照度。
3. 空間大小也會影響“黑”板的照度表現。

【實驗三】探討同一種顏色“黑”板對應不同位置學生的輝度表現

一、實驗結果：

我們依自然教室的座位分佈，以第一排學生為施測對象，區分「甲、乙、丙、丁、戊、己」六個位置，並考量坐在左側學生（甲）與右側學生（己）朝向黑板的坐姿，加入“甲側”和“己側”，“甲側”、“己側”分別為坐在左右側的學生45度面向黑板，也就是共施測了「甲、甲側、乙、丙、丁、戊、己、己側」八個位置學生的輝度表現。結果發現“甲”和“己”面向正前方根本看不到黑板，因此，只採計“甲側”和“己側”的數值；而相鄰位置學生的輝度表現非常接近，於是，決定採計左側學生（甲側）、中間位置學生（丁）、右側學生（己側）三個位置的數值來做分析，結果彙整如表十四所示：

表十四 各種顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現（自然教室 單位：Lux）

學生位置 黑板顏色	甲側（左側）	丁（中間）	己側（右側）
黑	33	54	32
白	45	80	41
綠4白0	39	63	40
綠4白8	40	65	40
黃	46	77	44
洋紅	35	59	33

再依據表十四所測得的輝度值，將甲側、己側與丁的輝度表現加以比較，並將甲側與己側的輝度表現加以比較，結果彙整如表十五所示：

表十五 同一種顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現（自然教室 單位：Lux）

不同位置比較 黑板顏色	甲側(左側) -丁(中間)	甲側-丁 差異幅度	己側(右側) -丁(中間)	己側-丁 差異幅度	甲側(左側) -己側(右側)	甲側-己側 差異幅度
黑	-21	-39%	-23	-42%	2	5%
白	-35	-44%	-39	-49%	4	10%
綠4白0	-24	-38%	-23	-36%	-1	-3%
綠4白8	-25	-38%	-25	-38%	0	0%
黃	-31	-40%	-33	-43%	2	5%
洋紅	-25	-42%	-26	-44%	2	5%

二、實驗分析：

依據表十四及表十五的實驗結果，我們發現自然教室實測和實驗箱施測的結果一致，只不過自然教室的空間比實驗箱大了許多，輝度表現值相對就比實驗箱小。將我們的發現彙整如下：

- (一) 比較左右兩側學生（甲側、己側）與中間位置學生（丁）的輝度差異，各色黑板對應中間位置學生的輝度值都較高，左右兩側的輝度值則較低，且差異頗大，差異幅度約在 40% ~ 50%，推論原因是我們只將三盞黑板燈的中間燈源打開，以致中間位置的輝度值較高，而左右兩側的輝度值相較之下則較低。
- (二) 比較左側學生（甲側）與右側學生（己側）的輝度差異，差異表現都不大，除了“白”差異幅度約 10%，其他顏色黑板對應左右兩側的輝度差異幅度約為 5%，“綠 4 白 8”左右兩側的輝度則完全一樣。

結論

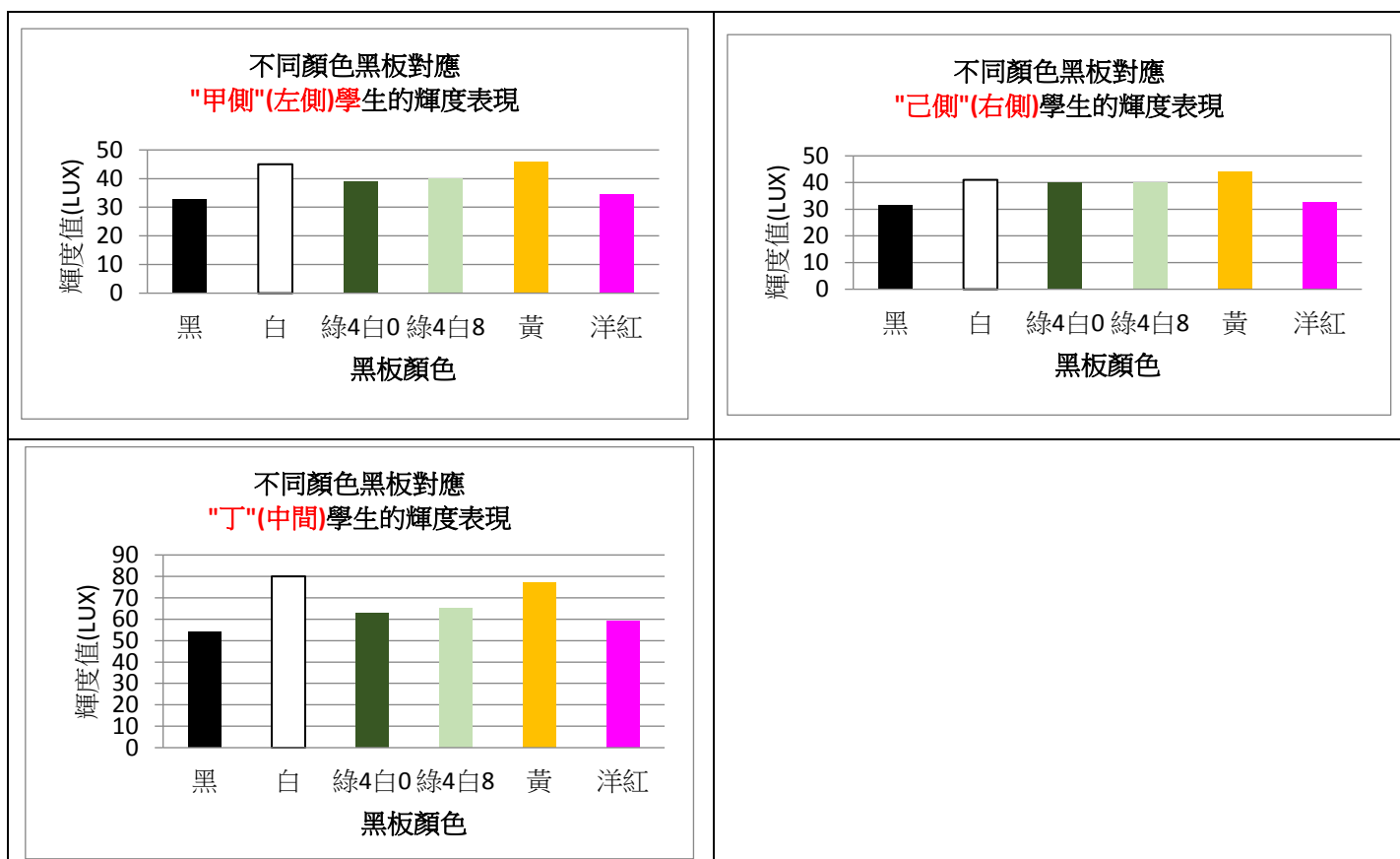
1. 不論實驗箱施測或自然教室實測，都顯示同一燈源會因學生位置不同而令輝度表現不同，也就是越接近燈源的位置輝度表現越大。
2. 面對各種顏色黑板，除了“白”之外，學生不論坐在教室左側或右側，輝度表現差異都不大，也就是左右兩側學生的眼睛所感知的光源或黑板被照面之明亮程度是差不多的。

【實驗四】探討不同顏色“黑”板對應不同位置學生的輝度差異表現

一、實驗結果：

依據表十四，將各色“黑”板對應不同位置學生的輝度表現彙整如圖十四，並以輝

度值最低的“黑”為基準，將各色黑板的輝度值與其比較排序如表十六所示：



圖十四 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現（自然教室）

表十六 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現（自然教室 單位：Lux）

以“黑”為基準（輝度表現最低）各種顏色黑板之輝度比較

學生位置 黑板顏色	甲側 (左側)	甲側 差異幅度	丁 (中間)	丁 差異幅度	己側 (右側)	己側 差異幅度	甲側 排序	丁 排序	己側 排序
黑(基準)	0	0%	0	0%	0	0%	6	6	6
白	12	36%	26	48%	10	30%	2	1	2
綠4白0	6	18%	9	16%	9	27%	4	4	3
綠4白8	7	21%	11	20%	9	27%	3	3	3
黃	13	39%	23	43%	13	40%	1	2	1
洋紅	2	5%	5	9%	1	4%	5	5	5

二、實驗分析：

依據圖十四及表十六之實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 將各種顏色黑板對應不同位置學生的輝度值與“黑”比較，自然教室左側（甲側）和右側學生（己側）的輝度增加幅度未必大於中間位置（丁）。這和實驗箱的施測結果不同，推論原因是自然教室空間大，較不容易聚光，即使接近燈源的中間位置輝度表現也不像實驗箱那麼強烈。

- (二) 自然教室實測和實驗箱施測結果都顯示“白”及“黃”不論對應任何位置的輝度表現都偏高。
- (三) 在實驗箱施測中，“黑”及“綠4白0”不論對應任何位置學生的輝度表現都是最低的，但是，在自然教室實測中，“黑”的輝度表現仍然最低，“綠4白0”卻居中而沒有那麼低，究其原因，和自然教室“洋紅”的輝度表現偏低有關。
- (四) 在自然教室實測中，“洋紅”的輝度表現只略高於“黑”，然而在實驗箱施測中，“洋紅”的輝度表現卻居中，比“綠4白4”和“綠4白8”都高，參照表十四，推論原因是“洋紅”格外容易受燈源位置影響，偏離燈源（兩側）的輝度降幅更大。
- (五) 在自然教室實測中，“綠4白0”的輝度值相當接近“綠4白8”。推論原因仍然和自然教室空間大有關，增加白色黑板漆的效果就被稀釋了，可以試著在綠色系列的黑板中調入更高比例的白色黑板漆，觀察輝度表現是否有明顯差異。

結論

1. 不論自然教室或空間較小的實驗箱，輝度都會因黑板顏色不同、學生位置不同而產生差異
2. “白”及“黃”的輝度表現偏高，容易產生不舒服的感覺，尤其坐在燈源正前方的學生刺眼的感覺更為明顯。因此，對於這兩種顏色的黑板，應選擇亮度較低的燈源，以減低輝度及不舒服的感覺。
3. “黑”的輝度表現最低，對學生而言比較不刺眼，若長時間注視，相對來說是比較舒服的。
4. 在同一燈源條件下，室內空間大小對於輝度表現是有影響的，如在較空曠的自然教室中，綠色系列輝度提昇的幅度遠低於白色黑板漆增加的幅度，這在自然教室實測中表現更為明顯。
5. 目前的教學現場多採用“綠4白0”黑板，但其色彩較為暗沉，“綠4白8”黑板色彩較為明亮，輝度表現又和“綠4白0”極為接近，應可將“綠4白8”黑板列入教學現場使用考量。

研究三、“綠4白8”實用性的探討

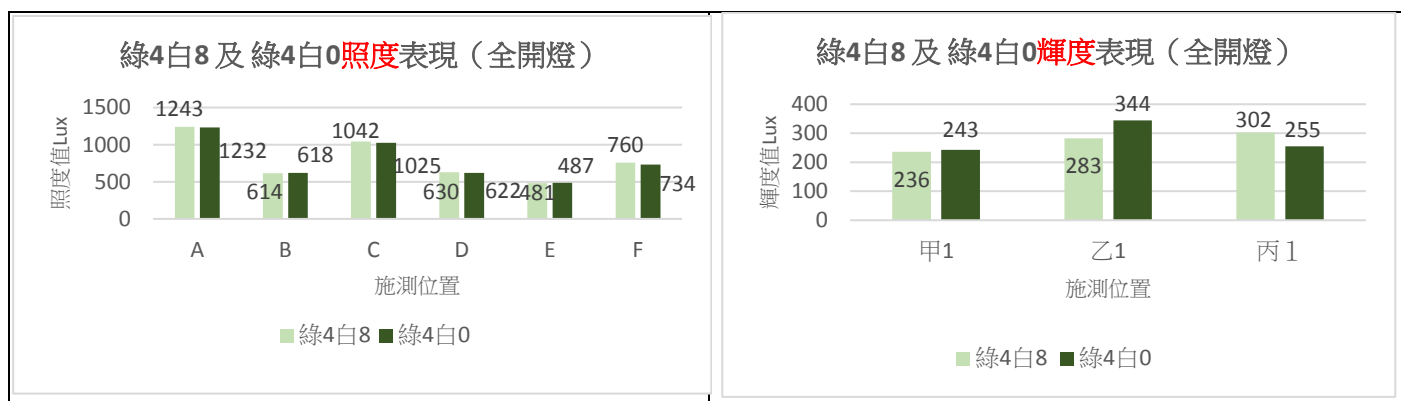
【實驗一】探討“綠4白8”與“綠4白0”對光源亮度表現的差異性

在前述各項實驗中，我們發現“綠4白8”黑板值得推薦在教學現場使用，為了進一步確認其實用性，我們分別將整面黑板刷成“綠4白8”與“綠4白0”進行補測，比較兩者的照度及輝度表現。不同的是，我們模擬學生上課情形將教室燈源全開，但為了避免環境因素干擾，實驗中將窗簾拉上，嚴格控制環境照度維持在0~2 Lux之間。並且在輝度的測試上，我們設計了左側（甲）、中間（乙）、右側（丙）三排共18個位置，由

測試結果發現，同一側六點的輝度表現主要受位置上方燈源的影響，所以最後的數據分析僅呈現第一列（甲₁、乙₁、丙₁）之間的比較。最後以問卷隨機抽樣調查高年級學生及部分老師對使用“綠4白8”與“綠4白0”教學的看法。（見附錄）

一、實驗結果：

依測試方法測得數據分析整理如圖十五所示：



圖十五 綠4白8及綠4白0對應不同位置的照度、輝度表現圖

二、實驗分析：

依據圖十五，我們發現下列事項：

- (一) 在照度表現方面，這兩色黑板並沒有明顯差異，這與研究二的實驗結果是一致的。值得注意的是在黑板中間B、E兩點上，“綠4白0”反而比“綠4白8”略高一些。
- (二) 在輝度表現方面，“綠4白0”在甲₁及乙₁兩個位置皆比“綠4白8”略高，且以粉筆書寫時，我們也發現“綠4白0”有明顯的反光情形。可見推廣“綠4白8”是可行且有其必要性的。
- (三) 將問卷調查後的數據以「李克特四點量表」分析發現以『紅、黃、白』粉筆分別書寫於兩種黑板上時，“老師”認為均介於【非常清楚】與【清楚】之間，也有少部分學生認為以『紅、白』粉筆書寫於“綠4白8”是介於【清楚】與【不清楚】之間。可見只要選擇適合的粉筆顏色，“綠4白8”黑板不僅可以一樣清晰呈現上課內容，還可以避免因照度、輝度所引發的視力隱憂。

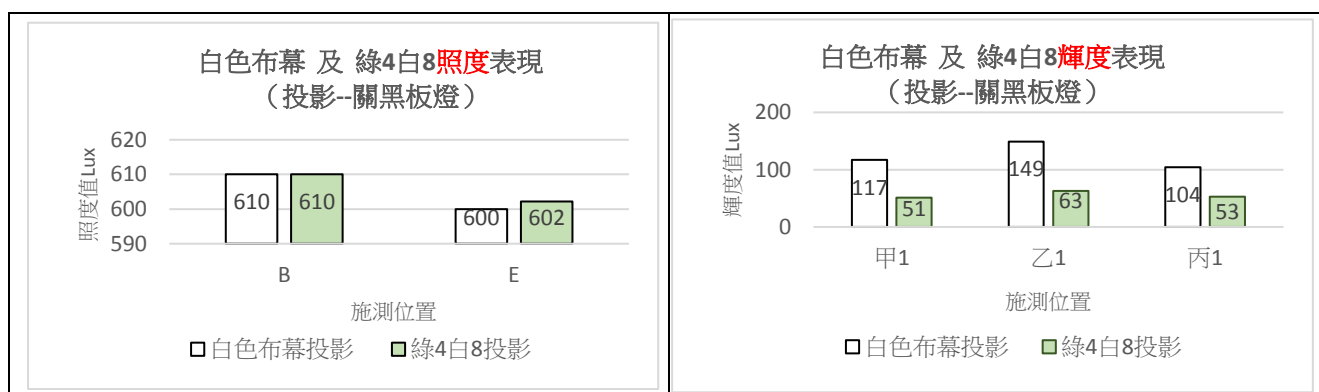
【實驗二】探討“綠4白8”與“白色布幕”對光源亮度表現的差異性

現今許多學校均以“白色布幕”投影，甚至大力推行電子白板，然而依據我們的實驗，白色對視力保健有負面影響，為了進一步確認“綠4白8”的替代性，我們補測“綠

4 白 8”與“白色布幕”的照度及輝度表現。不同的是，我們模擬學生上課使用投影機情形將教室前排黑板燈關上，但為了避免環境因素干擾，實驗中將窗簾拉上，嚴格控制環境照度維持在 0~2 Lux 之間。並考量投影僅在黑板的中間位置，因此照度的測量點只取中間 B、E 兩點，而數據分析方法如實驗一，最後以問卷隨機抽樣調查高年級學生及部分老師對使用“綠 4 白 8”與“白色布幕”投影的看法。

一、實驗結果：

依測試方法測得數據分析整理如圖十六所示：



二、實驗分析：

依據圖十六，我們發現下列事項：

- (一) 在照度表現方面，兩者間並沒有明顯差異。
- (二) 在輝度表現方面，兩者則有明顯差異，“白色布幕”高出許多，推論“白色布幕”反射現象明顯，而“綠 4 白 8”則可以吸收較多光線。若考量學生的用眼舒適性，建議以“綠 4 白 8”取代白色布幕作為投影所用。
- (三) 將問卷調查後的數據以「李克特四點量表」分析發現所有受訪者均認為以“白色布幕”投影是【非常清楚】，而“綠 4 白 8”則是傾向於【清楚】。究其原因是認為“白色布幕”較亮（這可由輝度數值得以證明）。但較為明亮就是清楚嗎？我們往往在追求明亮的當下傷害眼睛而不自知，如何在兩者之間取得平衡，也正是我們推薦“綠 4 白 8”的原因所在。

結論

1. “綠 4 白 8”不論與“綠 4 白 0”或白色布幕比較，照度表現均無明顯差異，反而在輝度表現上較低，不易出現眩光現象，對視力保健有正面作用。
2. “綠 4 白 8”可兼顧投影與粉筆書寫，對老師教學有其方便性，只要選擇適合的粉筆顏色，“綠 4 白 8”一樣可以清晰呈現上課內容。

陸、討論

一、有關綠色系列“黑”板各表現值的討論

(一) 白色黑板漆對綠色系列黑板的照度與輝度影響

在實驗中，我們發現調入白色黑板漆最多的“綠 4 白 8”，各點照度、輝度表現排序居中，只略高於“黑”、“綠 4 白 0”，但在視覺效果上較為明亮。再與“綠 4 白 1”、“綠 4 白 4”比較，照度、輝度差異也不大。甚至在實測中“綠 4 白 8”的輝度表現與“綠 4 白 0”幾乎沒有差別。可見“白”漆的添加拉高了“綠”漆的照、輝度表現數值，但也因為與“綠”漆相互制衡，提昇幅度就沒有那麼明顯了。

(二) “綠 4 白 8”黑板的實用性

既然白色黑板漆的添加沒有令“綠 4 白 8”輝度表現大幅提昇，那麼，是否可以在教室中直接使用較為明亮的“綠 4 白 8”？在實測後，我們發現“綠 4 白 8”黑板適合以較亮色的粉筆書寫，不覺得刺眼，也有一定的清晰度。甚至還可以充當投影機螢幕或取代電子白板，不但投影內容清晰，更方便老師、學生直接在上面書寫。

二、照度與輝度表現的關聯性

(一) 燈源亮度、照度、輝度的關聯性

在實驗箱施測與自然教室實測中，我們發現無論是何種顏色的黑板，只要在燈源亮度較強的位置都有較高的照度及輝度表現，這與我們所知的事實是相符合的。

(二) 照度與輝度表現的一致性

在各色黑板中，照度值越高的“黑”板在輝度值上也偏高，可見“顏色”確實會影響其照度及輝度表現，且有一致性。唯一例外的是“洋紅”，其在高燈源亮度下（實驗箱中），照度表現不如其他施測的黑板，但輝度表現卻有所提升（高於“綠 4 白 8”）。若在低燈源亮度下（自然教室中），照度、輝度表現均偏低。我們推論“洋紅”對光的反射反應較為靈敏。

三、自然教室實測環境的限制

(一) 克服環境照度的影響

在實測中我們遇到許多困難，首先，我們動用所有可利用的遮蔽物遮擋教室中的光源，

以確保在測試過程中環境照度值維持在 0~2 Lux。

(二) 實測黑板取得不易

我們無法找到如教室黑板一般大小的木板，所以再三考量下決定配合現成木板的大小，只留下中間一盞黑板燈模擬教室三盞燈全開整面黑板的照度與輝度表現。但我們發現照度越強，某些顏色“黑板”的輝度表現越強，但在光線充足的條件下所表現出來的輝度曲線會是如何，這是我們所好奇的。

四、“黑”板顏色的選擇

針對這些數值，我們的疑問是「甚麼樣的數值表現才是『好』的選擇」？難道參考照度與輝度的數值就能決定黑板的優劣嗎？在分析數據時，我們看到在相同燈源的環境下，“白”、“黃”呈現高表現值，但其變化幅度卻不最大；“藍”、“洋紅”呈現低表現值，但其變化幅度居中且各點變化相對穩定；綠色系列則隨著白色黑板漆比重的增加變化幅度略有差異；而“黑”的中間位置受光源影響大。或許在教學現場或是相關場域，我們要先了解其不同特性，給予合適的光源及空間環境，才可以讓各色“黑”板發揮最好的效果。然而受限於實驗條件，我們只能從現有的黑板漆中去選擇可以觀察的顏色。在實驗後也只能依表現值高低順序及參考現行使用的黑板數據做初步的推斷。希望將來有機會可以藉助更為專業的知識來歸納各色“黑”板適用的條件因素。

柒、結論

一、在實驗中我們發現

- (一) 在實驗箱中施測得到平均照度表現為：白、黃偏高，綠 4 白 8、綠 4 白 4 居中，黑、綠 4 白 1、綠 4 白 0、藍及洋紅偏低。
- (二) 在自然教室實測得到平均照度表現為：白、黃偏高，綠 4 白 8 居中，黑、洋紅、綠 4 白 0 偏低。
- (三) 在實驗箱中施測得到平均輝度表現為：白、黃偏高，藍、洋紅、綠 4 白 8、綠 4 白 4 居中，綠 4 白 1、綠 4 白 0 及黑偏低。

(四) 在自然教室實測得到平均輝度表現為：白、黃偏高，綠 4 白 8、綠 4 白 0 居中，洋紅、黑偏低。

(五) 綜上所述，我們發現以下三點：

- 1.物體表面顏色會影響照度、輝度的表現。
- 2.同一種顏色物體的照度、輝度表現會受光源亮度強弱（光源位置不同）影響。
- 3.“洋紅”對光反射反應較為靈敏，在高燈源亮度下，照度表現不如其他顏色黑板，但輝度表現卻有所提升（高於綠 4 白 8）。若在低亮度下，照度、輝度表現均偏低。

二、由實驗中我們獲得

(一) 以「綠4白8」取代高照度、高輝度的電子「白」板及白色布幕

我們利用問卷了解部分老師和學生使用“綠 4 白 8”書寫及投影教學的優缺點，發現受訪者多因“習慣”而認為“綠 4 白 0”較適合書寫，白色布幕較適合單槍投影。然而根據本實驗，“白色布幕”對應的照度及輝度皆偏高，不建議長時間注視。而“綠 4 白 8”不僅照度及輝度適中，適合長時間注視，且可供教學者書寫，相當方便。建議以「綠 4 白 8」取代高照度、高輝度的電子「白」板及白色布幕。

(二) 配合黑板照度、輝度表現調整學生座位距離，修改現行「國民中小學設備基準」

由本實驗發現照度及輝度會因“黑”板顏色而異，考量學生視力，建議修改現行「國民中小學設備基準」，依不同顏色黑板調整學生座位與黑板距離。

(三) 配合黑板照度、輝度表現調整教室照度標準，修改現行「中華民國國家照明標準(CNS)學校標準照度表(室內)」

由本實驗發現照度及輝度會因“黑”板顏色而異，考量學生視力，不宜訂定單一標準，建議修改現行「中華民國國家照明標準(CNS)學校標準照度表(室內)」，依黑板顏色調整教室內照度標準。

(四) 將傳統教室照明設備改為感應燈

為考量天候、時間等環境因素之影響，並配合不同顏色黑板之照度、輝度表現，建議將傳統教室照明設備改為感應方式，以自行調整光源亮度。

三、展望與建議：

- (一) 在本次實驗中受限於經費，希望將來可以進而探討整面“黑”板的照度及輝度表現有何差異，並推廣至大面積的文宣海報中。像市面上常見的警示標語或反光條紋等就是考量到“白”、“黃”高照度、高輝度的特性。而我們也可考慮在轉角處等光照度不足的地方利用“白”、“黃”高輝度的特性達到警醒效果。
- (二) 透過這次實驗我們發現“黑”板不一定要採用制式的黑或綠，可以因地制宜，光源亮度較高的環境適合選擇照度、輝度較低的顏色，避免眼睛不舒服；而光源亮度較不足的環境則可以考慮照度及輝度表現較佳的顏色，以達到最好的效果。
- (三) “洋紅”值得我們繼續深入探討，找出其照度、輝度間的關聯性與特性，在後續實驗中找到光源亮度與空間大小之適合比例，則可善用“洋紅”低照度、低輝度的特性增加使用環境的色彩多樣性。
- (四) 為考量天候、時間等環境因素之影響，可以將傳統道路指示標誌改為感應燈，配合天候及時段自行調整標誌顏色，以增加辨識度，提高用路人的交通安全。

捌、參考資料及其他

一、參考資料

- (一)「就是這個『光』--探討影響閱讀照明的因素」
- (二)照度,輝度或亮度 - 崑山科技大學 -- 學習.成長.知識匯集.成果展現
<https://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~T093000081/blog?node=000000154>
- (三)照明相關名詞及定義 - Homewell-鴻偉檢測
<https://www.homewell.tw/classroom/evn-class/e05-03.htm>
- (四)101 年-學校照明節能改善參考手冊_final_pdf
- (五)各種場所照度標準(包含 CNS 國家標準) - TMC LED 網
<https://www.tmc.com/ninshow.asp?RecordNo=37>
- (六)CNS 國家標準照度標準(包含各種場所照度標準) CNS 編號 S1831
<https://www.led-maps.com/main/tw/file/?f=70CX191NewsFiles.html>
- (七)LED 照明產業現況與機會偉訓科技總經理王駿東演講稿
- (八)國立虎尾科技大學光電與材料科技研究所碩士論文--教室照明環境評估與自製照度計輔助警示之研究

二、附錄

“綠4白8”、“綠4白0”及“白色布幕”使用問卷調查表(老師和學生)

淺綠色(綠4白8)與深綠色(綠4白0)黑板 使用問卷調查表--老師										
若是讓你選擇黑板顏色，你會選擇淺綠色還是深綠色？為什麼呢？										
顏色	請勾選		原因							
	人數	百分率								
淺綠色	5	31%	(1) 舒服 (2) 新奇有趣 (3) 顏色美觀活潑							
深綠色	11	69%	(1) 清楚 (2) 對比性強 (3) 刻板印象							
總計	16	100.00%								
以不同顏色粉筆書寫於黑板上，請依你所看到的字體判斷其清楚程度，並勾選在下列表格中。										
顏色	紅色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	6	38%	7	43%	3	19%	0	0%	3.19	
深綠色	7	44%	9	56%	0	0%	0	0%	3.44	
顏色	黃色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	3	19%	13	81%	0	0%	0	0%	3.19	
深綠色	14	87%	2	13%	0	0%	0	0%	3.88	
顏色	白色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	1	6%	15	94%	0	0%	0	0%	3.06	
深綠色	12	75%	3	19%	1	6%	0	0%	3.69	
當黑板配上不同顏色的粉筆字時，你會推薦哪種顏色的黑板？為什麼？										
顏色	請勾選		原因							
	人數	百分率								
淺綠色	2	13%	(1) 舒服 (2) 清楚							
深綠色	14	87%	(1) 穩定性高 (2) 對比性強 (3) 清楚不反光							
總計	16	100%								
以單槍分別投影在白色布幕及淺綠色黑板上時，你覺得哪一個比較清楚？										
清晰度	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚		李克特 四點量 表分析	
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
白色布幕	16	100%	0	0%	0	0%	0	0%	4.00	
淺綠色黑板	0	0%	13	81%	3	19%	0	0%	2.81	

淺綠色(綠4白8)與深綠色(綠4白0)黑板 使用問卷調查表--學生										
若是讓你選擇黑板顏色，你會選擇淺綠色還是深綠色？為什麼呢？										
顏色	請勾選		原因							
	人數	百分率								
淺綠色	30	37%	(1) 舒服 (2) 較明顯 (3) 好看美觀							
深綠色	51	63%	(1) 清楚 (2) 不會因反光而不清楚 (3) 刻板印象							
總計	81	100%								
以不同顏色粉筆書寫於黑板上，請依你所看到的字體判斷其清楚程度，並勾選在下列表格中。										
顏色	紅色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	9	11%	14	17%	50	62%	8	10%	2.30	
深綠色	32	40%	44	54%	4	5%	1	1%	3.32	
顏色	黃色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	30	37%	35	43%	10	12%	6	8%	3.10	
深綠色	35	43%	42	52%	3	4%	1	1%	3.37	
顏色	白色								李克特 四點量 表分析	
	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚			
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
淺綠色	17	21%	34	42%	26	32%	4	5%	2.79	
深綠色	56	69%	22	27%	1	1%	2	2%	3.63	
當黑板配上不同顏色的粉筆字時，你會推薦哪種顏色的黑板？為什麼？										
顏色	請勾選		原因							
	人數	百分率								
淺綠色	20	25%	(1) 舒服 (2) 字體清楚 (3) 較亮、好看 (4) 和黑板對比色 (5) 喜歡上							
深綠色	61	75%	(1) 字體清楚 (2) 和黑板成對比色 (3) 刻板印象							
總計	81	100.00%								
以單槍分別投影在白色布幕及淺綠色黑板上時，你覺得哪一個比較清楚？										
清晰度	非常清楚		清楚		不清楚		非常不清楚		李克特 四點量 表分析	
	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率	人數	百分率		
白色布幕	62	77%	16	20%	2	2%	1	1%	3.72	
淺綠色黑板	9	11%	44	54%	23	28%	5	7%	2.70	

【評語】 082927

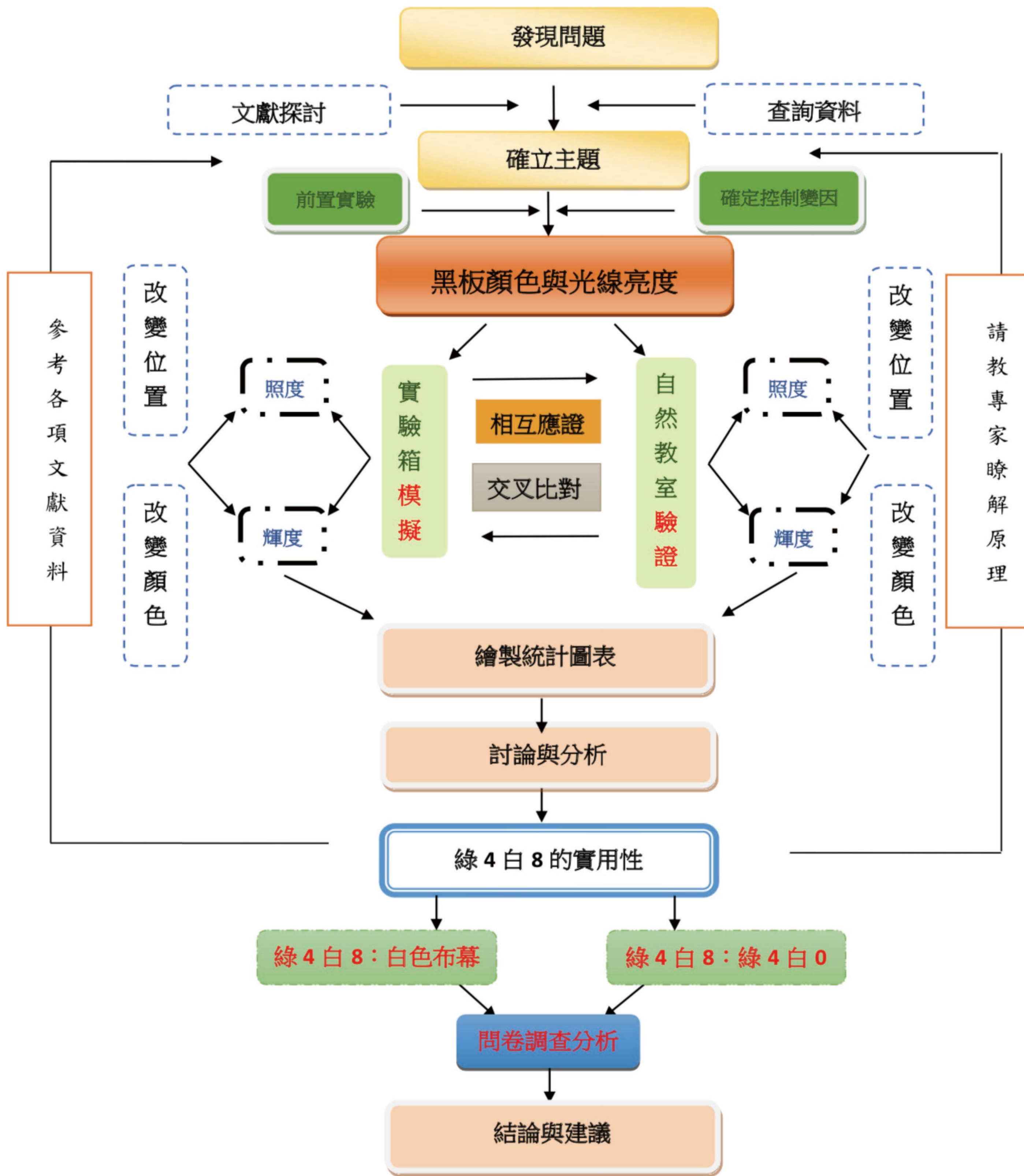
本作品探討不同黑板顏色對光源亮度表現的影響，作者先以實驗箱測試照度及輝度，再以自然教室實測及問卷驗證，方法合理，思慮周詳，探討的參數完整，且提出之黑板顏色具粉筆與投影雙用之實用性，為一完整之作品，故推薦為佳作。

黑板為什麼不是“黑”的？

摘要與動機

現行黑板已不是“黑”的，因此，我們選擇數種顏色的“黑”板，希望了解各色“黑”板對應光源亮度的表現，先以實驗室測試照度與輝度，再以自然教室及問卷驗證。

研究架構圖



圖三 研究架構圖

設備與器材

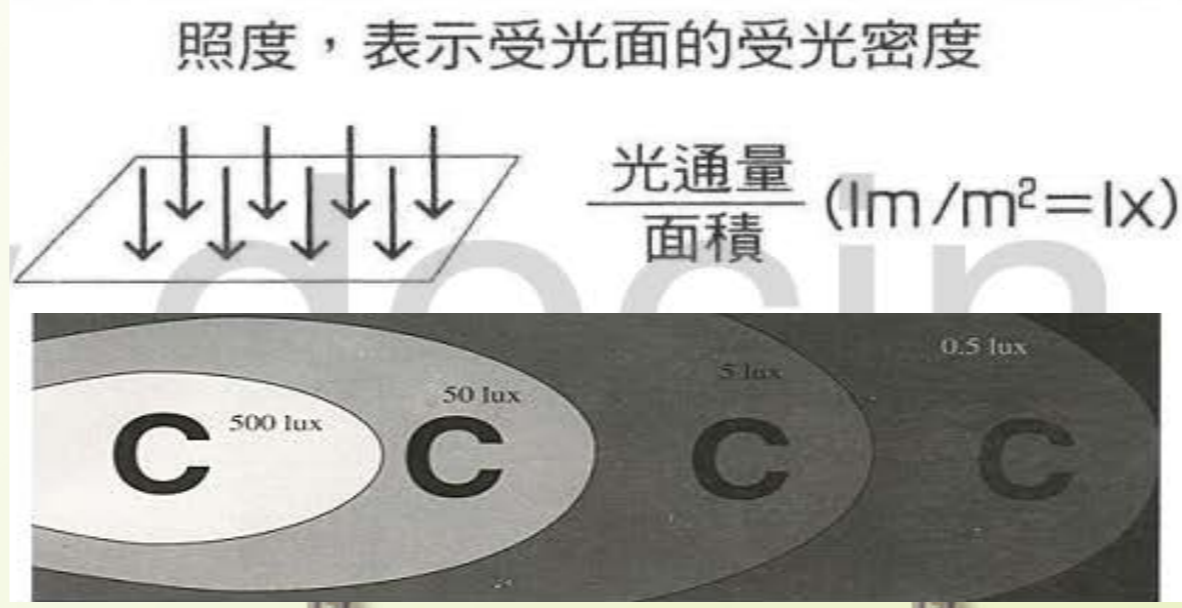


綠4白0	四份黑綠色黑板漆 + 零份白色黑板漆 (現行黑板顏色)
綠4白1	四份黑綠色黑板漆 + 一份白色黑板漆
綠4白4	四份黑綠色黑板漆 + 四份白色黑板漆
綠4白8	四份黑綠色黑板漆 + 八份白色黑板漆

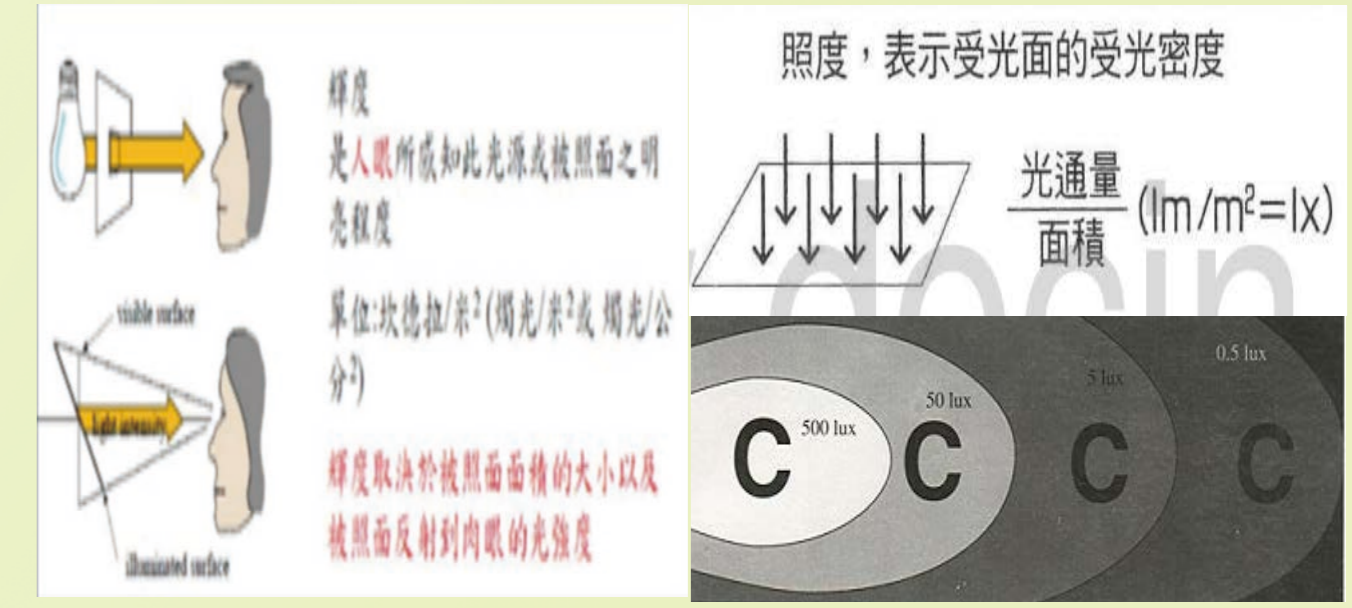
文獻探討

照度：

$$E \text{ (勒克斯Lux)} = \frac{F \text{ (流明Lumen)}}{A \text{ (平方公尺m}^2\text{)}}$$



輝度：

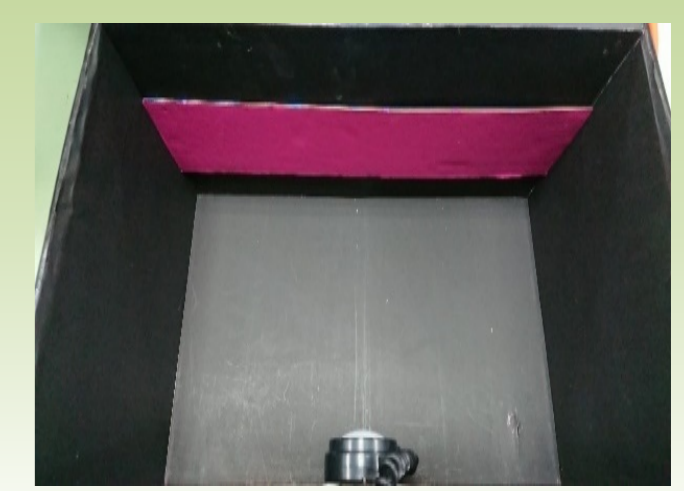


測定方法

照度：「燈源開啟五分鐘→每隔10秒鐘報讀該點照度一次共6次→不關燈一分鐘準備換至下一點→每隔10秒鐘報讀該點照度一次共6次…」



輝度：「燈源開啟五分鐘→每隔10秒鐘報讀該位置輝度一次共6次→不關燈一分鐘準備換至下一個位置→每隔10秒鐘報讀該位置輝度一次共6次…」



展望

- 希望將來可以進而探討整面“黑”板的照度及輝度表現有何差異，並推廣至大面積的海報宣傳等文宣海報中。
- 透過這次實驗我們發現“黑”板不一定要採用制式的黑或綠。
- “洋紅”值得我們繼續深入探討，希冀找出其照度、輝度間的關聯性與特性。

燈源亮度表現

【實驗一】正式實驗前的前導實驗

- ♥比較在同一段時間裡，不同顏色的海報的照度表現及不同外在環境因素下的照度表現
- ♥比較在同一天中，在不同時段測量的照度表現

- 1.設計實驗箱
- 2.確認實驗箱環境照度值為0 Lux
- 3.確認光源穩定所需時間
- 4.確認施測黑板的顏色選擇

表三 黑、白、黃、綠色海報的照度表現 (12/12PM1:00~PM1:30)

外在環境因素	黑	白	黃	綠
全開燈打開窗簾	178	170	148	137
全開燈拉上窗簾	7	6	5	6
只開黑板燈打開窗簾	851	878	796	783
只開黑板燈拉上窗簾	678	709	656	662
只開黑板燈打開窗簾	363	355	326	326
只開黑板燈拉上窗簾	194	199	198	196
全開燈打開窗簾	1038	1069	961	983
全開燈拉上窗簾	863	912	842	844

表四 不同時段黑、白色海報紙的照度表現

外在環境因素	施測條件 (12/12PM1:00~PM1:30)		施測條件 (12/12PM15:30~PM16:00)	
	黑	白	黑	白
全開燈打開窗簾	178	170	53	75
全開燈拉上窗簾	7	6	2	2
只開黑板燈打開窗簾	851	878	712	791
只開黑板燈拉上窗簾	678	709	685	718
只開黑板燈打開窗簾	363	355	230	254
只開黑板燈拉上窗簾	194	199	187	185
全開燈打開窗簾	1038	1069	895	972
全開燈拉上窗簾	863	912	872	921

“黑”板照度表現—實驗箱

【實驗二】探討同一種顏色“黑”板各點照度的表現

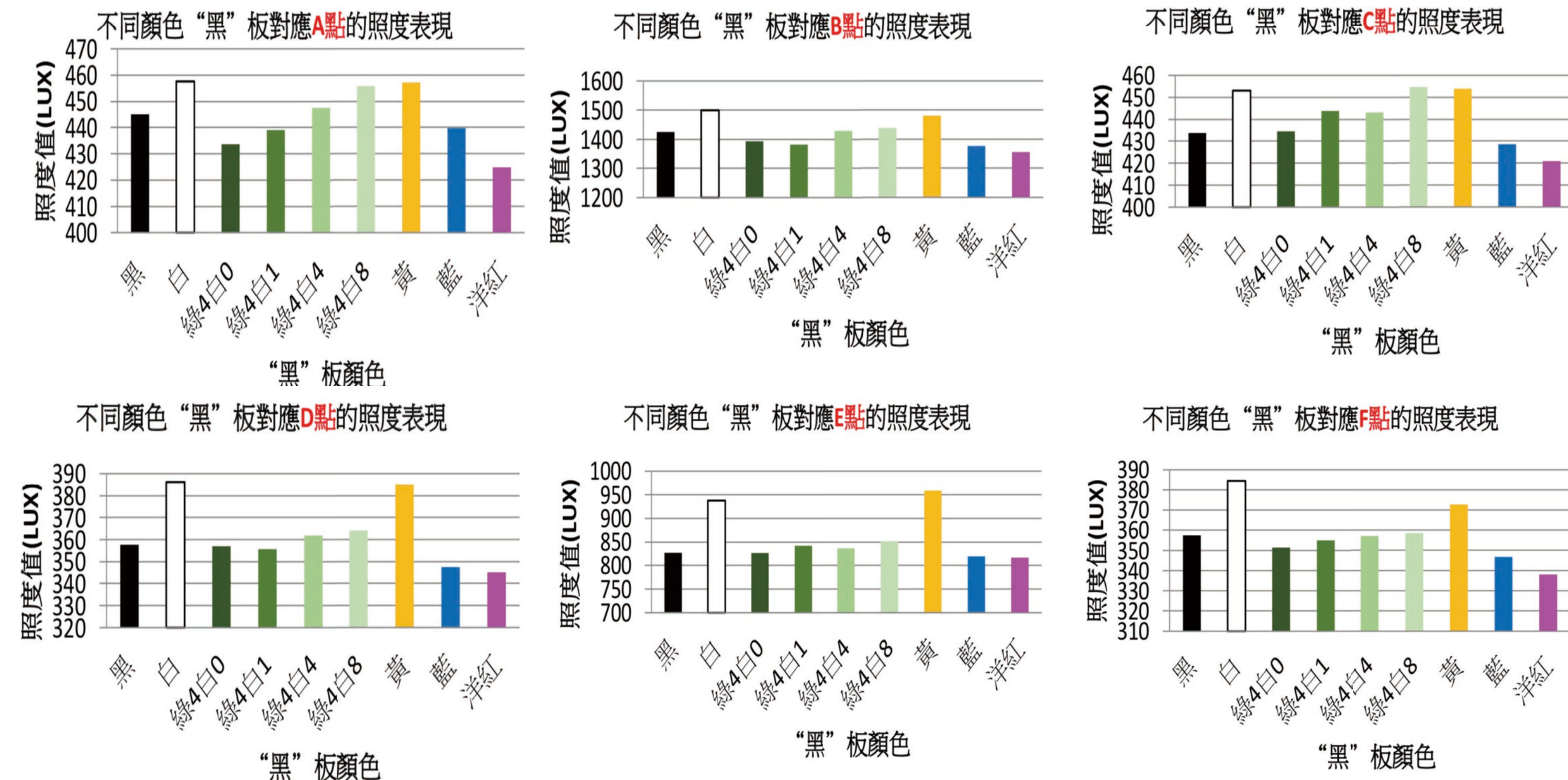
表五 不同顏色“黑”板各點平均照度表現 (實驗箱 單位: Lux)

顏色/位置	A	B	C	D	E	F
黑	445	1425	434	358	827	358
白	458	1500	453	386	938	385
綠4白0	434	1393	435	357	827	352
綠4白1	439	1382	444	356	842	355
綠4白4	448	1429	443	362	837	357
綠4白8	456	1,439	455	364	851	359
黃	457	1481	454	385	959	373
藍	440	1377	429	348	820	347
洋紅	425	1355	421	345	817	338

表六 同一種顏色黑板各點照度的差異表現 (實驗箱 單位: LUX)

顏色/位置	A-D		B-E		C-F	
	A-D	變化程度	B-E	變化程度	C-F	變化程度
黑	87	24%	598	72%	76	21%
白	71	18%	562	60%	69	18%
綠4白0	77	21%	567	69%	83	24%
綠4白1	83	23%	540	64%	89	25%
綠4白4	86	24%	592	71%	86	24%
綠4白8	92	25%	587	69%	96	27%
黃	72	19%	522	54%	81	22%
藍	92	27%	557	68%	82	24%
洋紅	80	23%	539	66%	83	24%

【實驗三】探討不同顏色“黑”板各相同點的照度差異表現



圖十一 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度表現

表七 不同顏色“黑”板對應各相同點的平均照度差異表現排序

以“洋紅”為基準 (平均照度最低) 各種顏色黑板之比較:

各點	黑	白	綠4白0	綠4白1	綠4白4	綠4白8	黃	藍	洋紅
A	20	31	9	14	23	31	32	15	0
排序	5	3	8	7	4	2	1	6	9
B	70	144	38	27	74	83	126	21	0
排序	5	1	6	7	4	3	2	8	9
C	13	32	14	23	22	34	33	8	0
排序	7	3	6	4	5	1	2	8	9
D	13	41	12	11	20	19	40	2	0
排序	5	1	6	7	3	4	2	8	9
E	10	121	10	25	20	35	142	3	0
排序	6	2	7	4	5	3	1	8	9
F	19	46	13	17	19	20	35	9	0
排序	4	1	7	6	5	3	2	8	9

“黑”板輝度表現—實驗箱

【實驗四】探討同一種顏色“黑”板對應不同位置學生的輝度表現

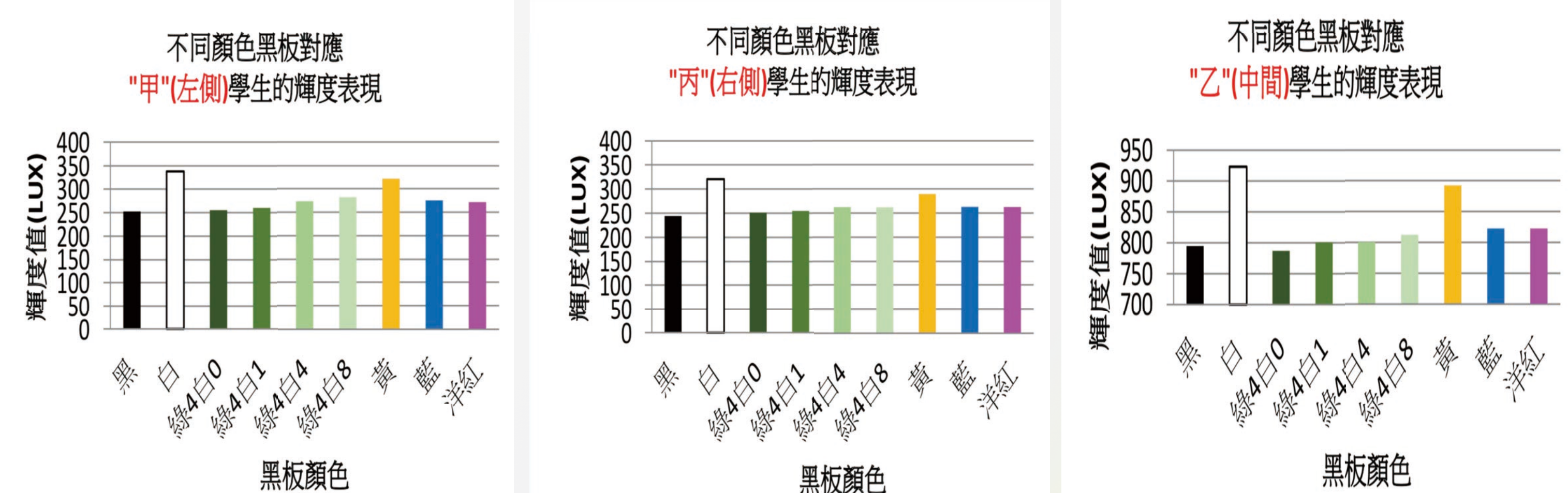
表八 各種顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現 (實驗箱 單位: Lux)

學生位置	甲 (左側)	乙 (中間)	丙 (右側)
黑板顏色			
黑	253	795	244
白	337	923	321
綠4白0	255	787	251
綠4白1	260	801	255
綠4白4	274	801	262
綠4白8	282	813	262
黃	322	893	290
藍	275	823	263
洋紅	272	823	262

表九 同一種顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現 (實驗箱 單位: Lux)

不同位置比較	甲(左側)	甲 - 乙	丙(右側)	丙 - 乙	甲(左側)	甲 - 丙
黑板顏色	-乙(中間)	差異幅度	-乙(中間)	差異幅度	-丙(右側)	差異幅度
黑	-542	-68%	-551	-69%	9	3%
白	-586	-63%	-603	-65%	17	5%
綠4白0	-532	-68%	-537	-68%	5	2%
綠4白1	-541	-68%	-546	-68%	6	2%
綠4白4	-527	-66%	-539	-67%	11	4%
綠4白8	-531	-65%	-551	-68%	20	8%
黃	-571	-64%	-603	-68%	32	11%
藍	-548	-67%	-560	-68%	13	5%
洋紅	-551	-67%	-560	-68%	9	3%

【實驗五】探討不同顏色“黑”板對應不同位置學生的輝度差異表現



圖十二 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現 (實驗箱)

表十 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現 (實驗箱 單位: Lux)

以“黑”為基準 (輝度表現最低) 各種顏色黑板之輝度比較

學生位置	甲 (左側)	甲	乙 (中間)	乙	丙 (右側)	丙	甲	乙	丙
黑板顏色	(左側)	差異幅度	(中間)	差異幅度	(右側)	差異幅度	排序	排序	排序
黑(基準)	0	0%	0	0%	0	0%	9	8	9
白	85	34%	128	16%	77	31%	1	1	1
綠4白0	3	1%	-8	-1%	7	2%	8	9	8
綠4白1	8	3%	6	1%	12	4%	7	6	7
綠4白4	21	8%	6	1%	18	7%	5	7	5
綠4白8	30	12%	18	2%	18	7%	3	5	6
黃	69	27%	98	12%	45	19%	2	2	2
藍	23	9%	28	4%	19	8%	4	3	3
洋紅	19	7%	28	3%	18	7%	6	4	4

實驗結果

- 一、物體表面顏色會影響照度、輝度的表現。
- 二、同一種顏色物體的照度、輝度表現會受光源亮度強弱 (光源位置不同) 影響。
- 三、“洋紅”對光反射反應較為靈敏，在高燈源亮度下，照度表現不如其他顏色黑板，但輝度表現卻有所提升。若在低亮度下，照度、輝度表現均偏低。

討論

- 一、綠色系列“黑”板各表現值的討論
 - (一) 白色黑板漆對綠色系列黑板的照度與輝度影響
 - (二) “綠4白8”黑板的實用性
- 二、照度與輝度表現的關聯性
 - (一) 燈源亮度、照度、輝度的關聯性
 - (二) 照度與輝度表現的一致性
- 三、自然教室實測環境的限制
 - (一) 克服環境照度的影響
 - (二) 實測黑板取得不易
- 四、“黑”板顏色的選擇

「甚麼樣的數值表現才是『好』的選擇」?

「黑」板照度表現—自然教室

【實驗一】探討同一種顏色「黑」板各點照度的表現

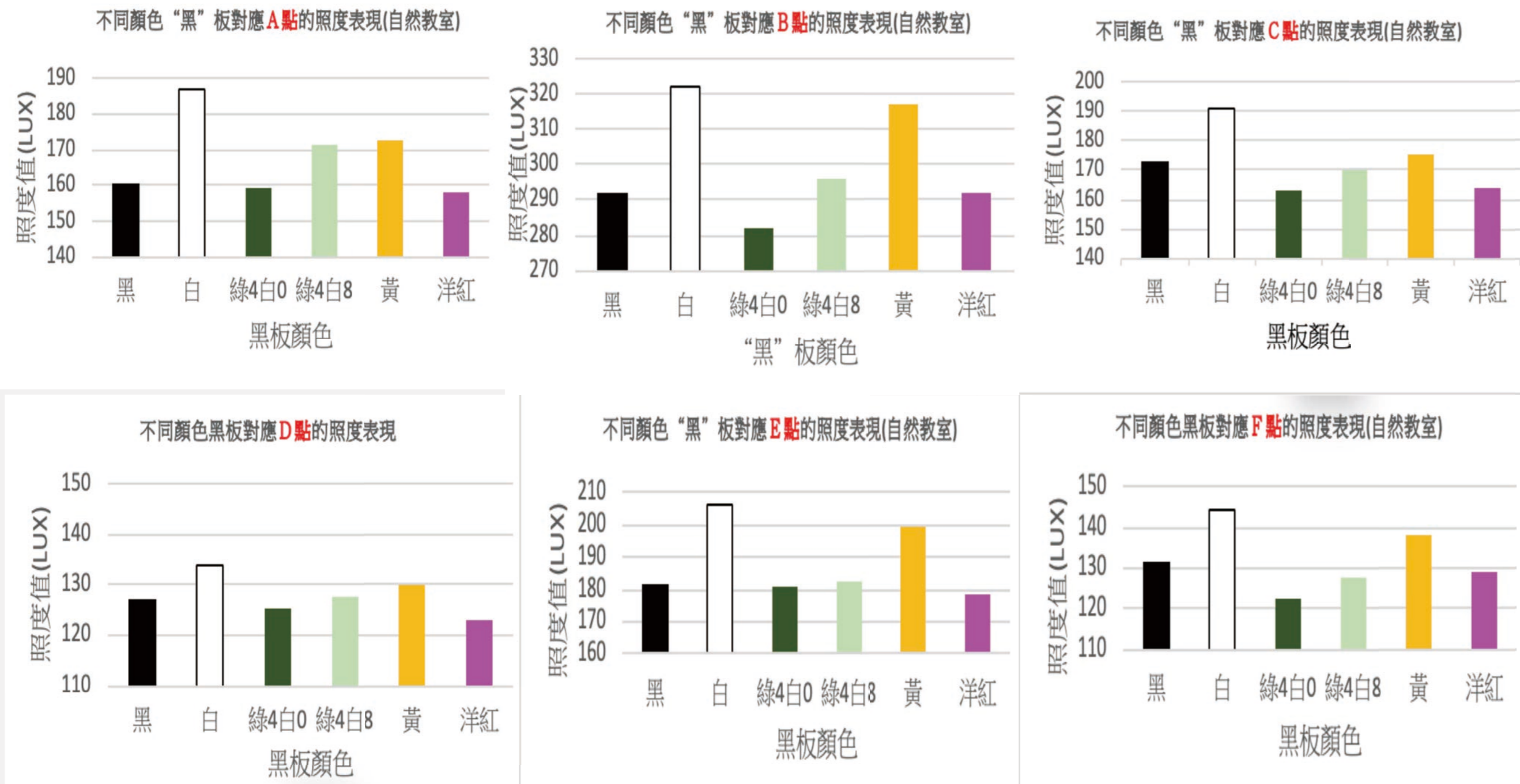
表十一 各顏色「黑」板各點的平均照度表現 (自然教室 單位: Lux)

各點位置 黑板顏色	A	B	C	D	E	F
黑	161	292	173	127	182	132
白	187	322	191	134	206	144
綠4白0	159	282	163	125	181	123
綠4白8	171	296	170	126	183	128
黃	173	317	175	130	200	138
洋紅	158	292	164	123	178	129

表十二 各顏色黑板各點照度的差異表現 (自然教室 單位: Lux)

對應各點比較 黑板顏色	A-D	A-D的變化程度	B-E	B-E的變化程度	C-F	C-F的變化程度
黑	34	26%	110	60%	41	32%
白	53	40%	117	56%	47	33%
綠4白0	34	27%	102	56%	41	33%
綠4白8	44	34%	113	62%	42	33%
黃	43	33%	118	59%	37	27%
洋紅	35	28%	113	64%	35	27%

【實驗二】探討不同顏色「黑」板各相同點的照度差異表現



圖十三 不同顏色「黑」板對應各相同點的平均照度表現 (自然教室)

表十三 不同顏色「黑」板對應各相同點的平均照度差異表現 (自然教室 單位: Lux)

各點位置 黑板顏色	A	B	C	D	E	F
黑	3	0	9	4	4	3
白	29	31	27	11	28	15
綠4白0	1	-10	-1	2	2	-6
綠4白8	13	4	6	5	4	-1
黃	15	25	11	7	21	9
洋紅	0	0	0	0	0	0

「黑」板輝度表現—自然教室

【實驗三】探討同一種顏色「黑」板對應不同位置學生的輝度表現

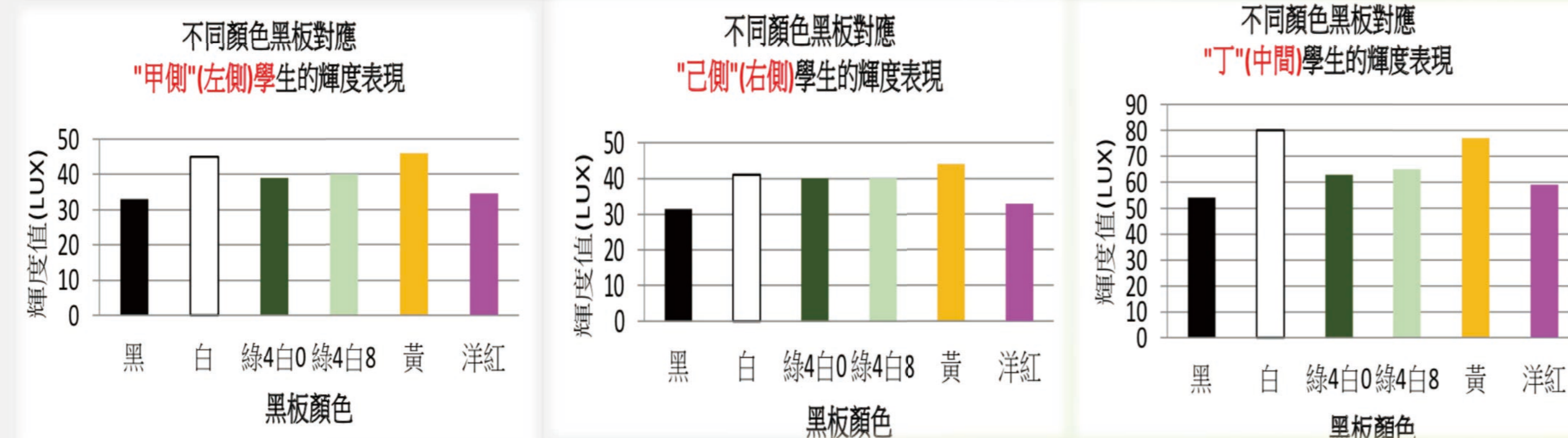
表十四 各種顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現 (自然教室 單位: Lux)

學生位置 黑板顏色	甲側(左側)	丁(中間)	己側(右側)
黑	33	54	32
白	45	80	41
綠4白0	39	63	40
綠4白8	40	65	40
黃	46	77	44
洋紅	35	59	33

表十五 同一種顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現 (自然教室 單位: Lux)

不同位置比較 黑板顏色	甲側(左側) -丁(中間)	甲側-丁 差異幅度	己側(右側) -丁(中間)	己側-丁 差異幅度	甲側(左側) -己側(右側)	甲側-己側 差異幅度
黑	-21	-39%	-23	-42%	2	5%
白	-35	-44%	-39	-49%	4	10%
綠4白0	-24	-38%	-23	-36%	-1	-3%
綠4白8	-25	-38%	-25	-38%	0	0%
黃	-31	-40%	-33	-43%	2	5%
洋紅	-25	-42%	-26	-44%	2	5%

【實驗四】探討不同顏色「黑」板對應不同位置學生的輝度差異表現



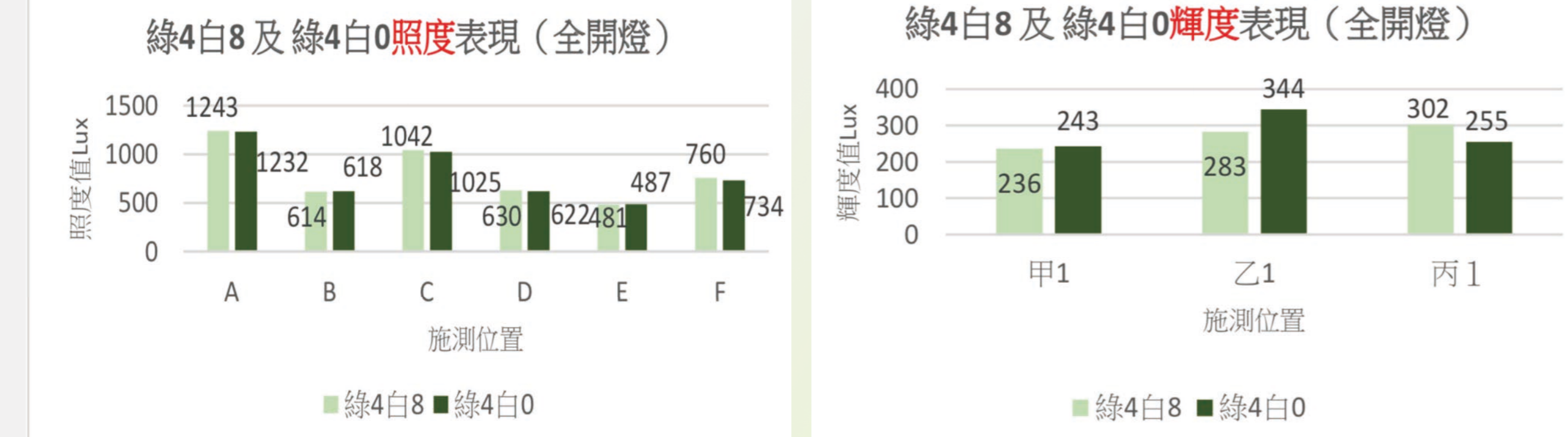
圖十四 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度表現 (自然教室)

表十六 不同顏色黑板對應不同位置學生的輝度差異表現 (自然教室 單位: Lux)

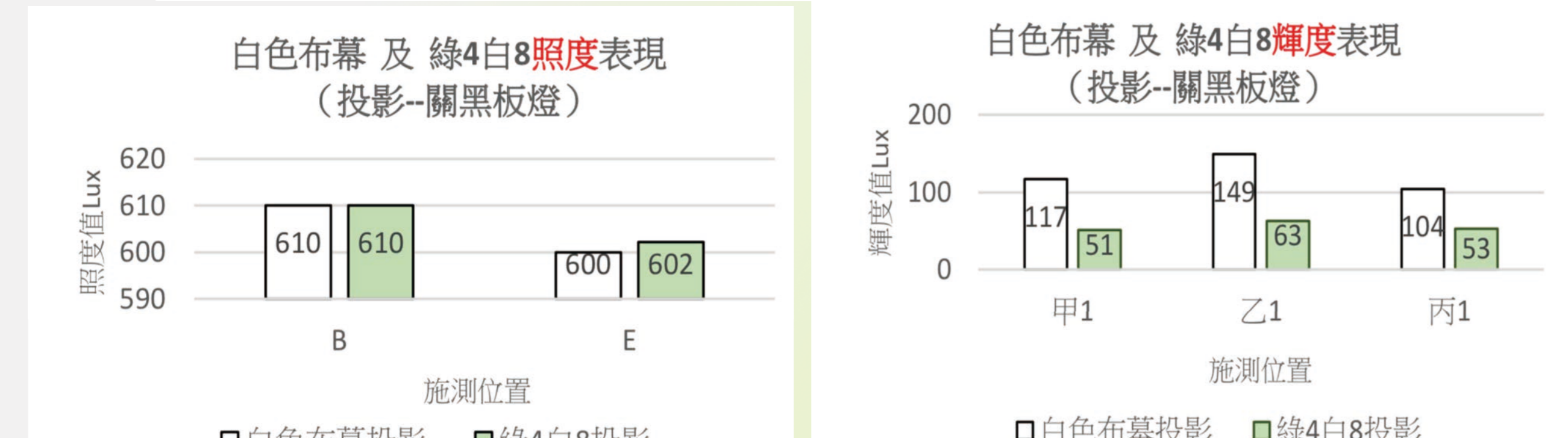
以「黑」為基準(輝度表現最低)各種顏色黑板之輝度比較

學生位置 黑板顏色	甲側(左側)	甲側-丁 差異幅度	丁(中間)	丁-己側(右側)	己側-丁 差異幅度	己側(右側)	甲側-己側 差異幅度	甲側 排序	丁 排序	己側 排序
黑(基準)	0	0%	0	0	0%	0	0	6	6	6
白	12	36%	26	48%	10	30%	2	1	2	
綠4白0	6	18%	9	16%	9	27%	4	4	3	
綠4白8	7	21%	11	20%	9	27%	3	3	3	
黃	13	39%	23	43%	13	40%	1	2	1	
洋紅	2	5%	5	9%	1	4%	5	5	5	

「綠4白8」實用性的探討



圖十五 綠4白8及綠4白0對應不同位置的照度、輝度表現圖



圖十六 綠4白8及白色布幕對應不同位置的照度、輝度表現圖

「綠4白8」、「綠4白0」及「白色布幕」使用問卷調查表(老師和學生)

Teacher and Student Survey Results for Board Colors: Green 4 White 8, Green 4 White 0, and White Screen.

Teacher Survey: Green 4 White 8 vs Green 4 White 0

顏色	適合	原因
淺綠色	2	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
深綠色	14	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
總計	16	100%

Teacher Survey: White Screen vs Green 4 White 8

顏色	適合	原因
淺綠色	3	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
深綠色	14	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
總計	17	100%

Student Survey: Green 4 White 8 vs Green 4 White 0

顏色	適合	原因
淺綠色	39	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
深綠色	31	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
總計	70	100%

Student Survey: White Screen vs Green 4 White 8

顏色	適合	原因
淺綠色	17	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
深綠色	35	(1) 舒適 (2) 顏色溫和 (3) 顏色易辨識
總計	52	100%

結論及建議

- 一、以「綠4白8」黑板取代高照度、高輝度的電子「白板」及白色布幕。
- 二、配合照度、輝度表現調整學生座位距離，修改現行「國民中小學設備基準」。
- 三、配合照度、輝度表現，調整現行「中華民國國家照明標準」。
- 四、將傳統教室照明設備改為感應燈，以配合照度、輝度表現，自行調整教室光源亮度。