

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040814

簡易型數位相機在顯微攝影之應用

學校名稱： 國立民雄高級農工職業學校

作者：	指導老師：
高二 鄭佳琪	王俊雄
高二 葉倩芳	郭坤鵬
高二 蕭仔君	
高二 蔡承翰	

關 鍵 詞：數位相機(digital camera)、
顯微鏡(microscope)、
顯微攝影(photomicrograph)

壹、摘要

攝影大師郎靜山曾說：「顯微攝影與天文攝影為科學攝影之一環，需要特殊設備與技術。」⁽¹²⁾，但是本研究的結論，是使顯微攝影變得十分簡易。本研究使用簡易型數位相機，在不需添購任何昂貴的設備或配件下，外加一個自製的紙套筒，結合普通的光學顯微鏡，來達到顯微攝影之目的。

貳、研究動機

希望透過本研究，能有效整合並活用透鏡、相機、顯微鏡、數位攝影、顯微攝影...等相關知識，順利找出更簡易且更經濟的方法，使顯微攝影能以靜態或動態方式呈現，以便有效地應用在教學或研究上。

叁、研究目的

1. 尋求相機鏡頭至顯微鏡目鏡之最佳距離。
2. 尋求相機鏡頭之最佳焦距。
3. 尋求顯微鏡目鏡之最佳旋轉角度。
4. 尋求相機的最佳曝光補償值。
5. 簡易型數位相機與顯微攝影專用器材的靜態相片比較。
6. 簡易型數位相機與顯微攝影專用器材的動態擷取畫面比較。
7. 找出經濟方便、成像良好且確實可行之顯微攝影方法。

肆、研究設備與器材

(一)研究設備

1. 顯微鏡 (Nikon YS-T, Japan)。
2. 數位相機 (Nikon Coolpix 5600, China。簡稱：Nikon 5600)。
3. Nikon 顯微攝影專用器材 (Nikon YS-T 顯微鏡 + Nikon 顯微攝影轉接套件 + Nikon D70 單眼數位相機，簡稱：Nikon D70)。
4. Olympus 顯微攝影專用器材 (Olympus CH-2 顯微鏡 + Olympus U-PMTVC 顯微攝影轉接套件 + Twinco CCD color camera TVC-520 攝影機，簡稱：Olympus TVC)。
5. 數位電視卡 (廣寰 數位電視版，Taiwan)。
6. 個人電腦。
7. 游標卡尺。
8. 量角器。
9. DVB Plus 軟體 (附贈軟體)。
10. Excel 2000 軟體。
11. Nikon capture 4 試用版軟體 (附贈軟體)。
12. Photoshop Elements 2.0 軟體 (附贈軟體)。
13. SigmaPlot 10 試用版軟體。

(二)材料

1. 觀測樣品：
 - (1) 標準樣品：接物測微計。
 - (2) 實測樣品：玉米莖橫切面標本。
2. 西卡紙。

伍、研究過程與方法

一、研究過程



二、研究方法

(一)、相機至顯微鏡的距離之影響

1.相機至顯微鏡的距離與相片成像之關係

- (1) 使用西卡紙製成紙套筒，如圖 1 所示，使相機鏡頭至顯微鏡目鏡的距離分別為：0、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26、28、30mm。
- (2) 以接物測微計做為被觀測樣品，採用 100X 的放大倍率。
- (3) 設定數位相機拍攝條件：近拍模式、關閉閃光燈、自訂白平衡⁽²²⁾（白色影印紙為量測標準），其他條件則採原廠初始設定值。
- (4) 焦距分別在 5.7mm 與 17.1mm，依序在 0、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26、28、30mm 等不同的距離下拍攝。

2.相機至顯微鏡的距離與相片的影像圈大小之關係

- (1) 使用 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 如圖 2 所示，在影像圈上做一內接矩形 ABCD 計算出影像圈直徑 $\overline{AC}$ 的長度（單位：像素）。⁽³⁾



圖 1. 利用紙套筒連接數位相機與顯微鏡

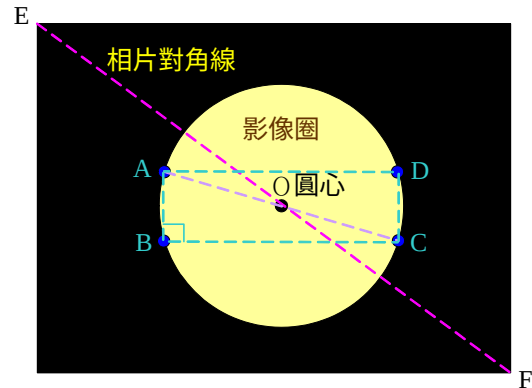


圖 2. 顯微相片中影像圈之示意圖

- (3) 計算出相片對角線的長度（單位：像素）。
- (4) 計算「影像圈直徑／相片對角線」之比值。

3.相機至顯微鏡的距離與相片的刻度大小之關係

- (1) 使用 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 利用游標讀取座標值，並計算出每 10 刻度的大小。

(二)、相機的焦距之影響

1.相機的焦距與相片成像之關係

- (1) 採用實驗(一)得到的最佳距離之紙套筒，此後皆採此條件。
- (4) 相機的焦距由 5.7mm 到 17.1mm 逐漸增加，除了焦距 5.7mm 與 17.1mm 可正確選擇外，其它焦距僅能由變焦按鈕約略選取，共使用七種不同焦距。

2.相機的焦距與相片的影像圈大小之關係

- (1) 使用 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 讀取並計算出影像圈直徑、對角線的長度。
- (3) 計算「影像圈直徑／相片對角線」之比值。

3.相機的焦距與相片的刻度大小之關係

- (1) 以 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 讀取並計算出每 10 刻度的大小。

(三)、顯微鏡的鏡筒長度之影響

1.顯微鏡的鏡筒長度與相片成像之關係

- (1) 以接物測微計為被觀測樣品，採用 100X 的放大倍率。
- (2) 設定數位相機的拍攝條件：同實驗(一)。
- (3) 以顯微鏡目鏡的旋轉角度做為鏡筒長度之指標。
- (4) 分別將鏡頭焦距設定在 5.7mm 與 17.1mm，目鏡依序旋轉-90°、-45°、0°、45°、90°

進行拍攝。

2.顯微鏡的目鏡旋轉角度與相片的影像圈大小之關係

- (1) 使用 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 讀取並計算出影像圈直徑、對角線的長度。
- (3) 計算「影像圈直徑／相片對角線」之比值。

3.顯微鏡的目鏡旋轉角度與相片的刻度大小之關係

- (1) 以 Nikon capture 4 軟體開啓相片檔案。
- (2) 讀取並計算出每 10 刻度的大小。

(四)、相機的曝光補償與相片的明暗差之關係

1.相機的曝光補償與相片成像之關係

- (1) 以接物測微計爲被觀測樣品，採用 100X 的放大倍率。
- (2) 設定數位相機的拍攝條件：同實驗(一)。
- (3) 分別將鏡頭焦距設定在 5.7mm 與 17.1mm，曝光補償值依序設定在-2.0、-1.7、-1.3、-0.7、-0.3、0、+0.3、+0.7、+1.0、+1.3、+1.7、+2.0 進行拍攝。

2.相機的曝光補償與相片的明暗差之關係

- (1) 以 Photoshop Elements 2.0 軟體開啓相片檔案。
- (2) 選取相片的中央部位，明部與暗部各一半。
- (3) 記錄明度的平均值與標準差。⁽⁷⁾
- (4) 明度的平均值當做相片亮度之指標；明度的標準差當做相片明暗差之指標。

(五)、與 Nikon 顯微攝影專用器材靜態相片之比較

1.靜態相片的成像之比較

- (1) 以Nikon 5600與Nikon D70分別拍攝玉米莖橫切面標本及接物測微計。
- (2) 依序拍攝40倍、100倍、400倍、1000倍等不同放大倍率之靜態相片。

2.靜態相片的明暗差之比較

- (1) 以Photoshop Elements 2.0軟體開啓相片檔案。
- (2) 選取相片的中央部位，明部與暗部各一半。
- (3) 讀取矩形範圍明度的標準差。

3.靜態相片的雜訊之比較

- (1) 以Photoshop Elements 2.0軟體開啓相片檔案。
- (2) 選取相片中央的明部。
- (3) 讀取矩形範圍明度的標準差。

(六)、與 Olympus 顯微攝影專用器材動態擷取畫面之比較

1.動態擷取畫面的成像之比較

- (1) 利用AV端子線，分別將Nikon 5600與Olympus TVC連接到電腦的數位電視卡上。

- (2) 依序拍攝40倍、100倍、400倍、1000倍等不同放大倍率之動態畫面。
- (3) 使用 DVB plus 軟體，擷取不同放大倍率之動態畫面。

2.動態擷取畫面的明暗差之比較

- (1) 以Photoshop Elements 2.0軟體開啓動態擷取畫面的檔案。
- (2) 選取相片中央且色澤均一的明部。
- (3) 讀取矩形範圍明度的標準差。此標準差當做相片明暗差之指標。

3.動態擷取畫面的雜訊之比較

- (1) 以Photoshop Elements 2.0軟體開啓動態擷取畫面的檔案。
- (2) 選取擷取畫面中央的明部。
- (3) 讀取矩形範圍明度的標準差。此標準差當做擷取畫面雜訊之指標。

陸、研究結果

(一)、相機至顯微鏡的距離之影響

1.相機至顯微鏡的距離與相片成像之關係

由圖 3 顯示，以 6mm 的色澤均勻，明暗適度，其成像品質最佳。

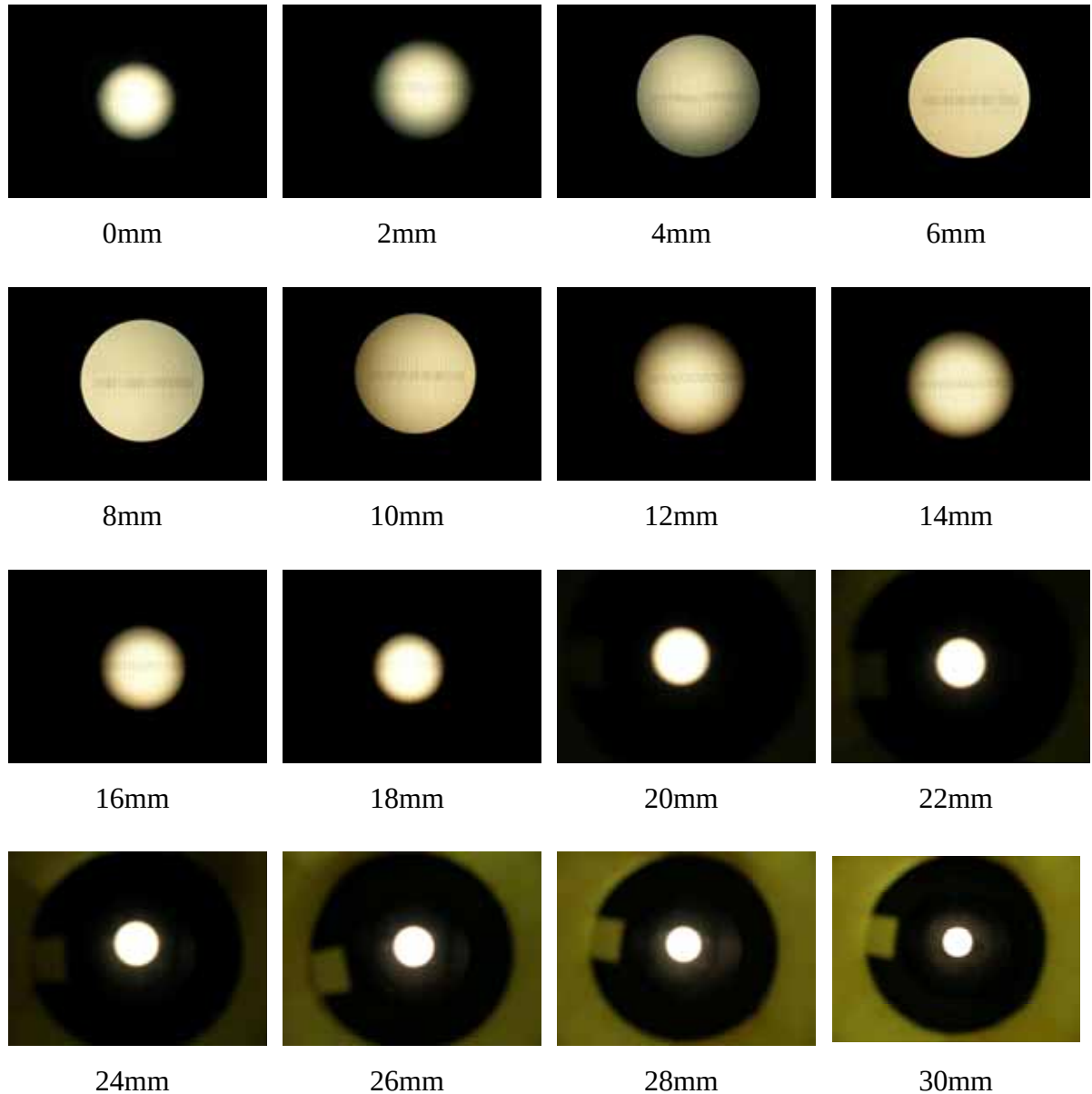


圖 3. 焦距 5.7mm 時相機至顯微鏡的距離與相片成像之關係

由圖 4 顯示，以 6mm 的成像品質最佳，而且暗角最小。

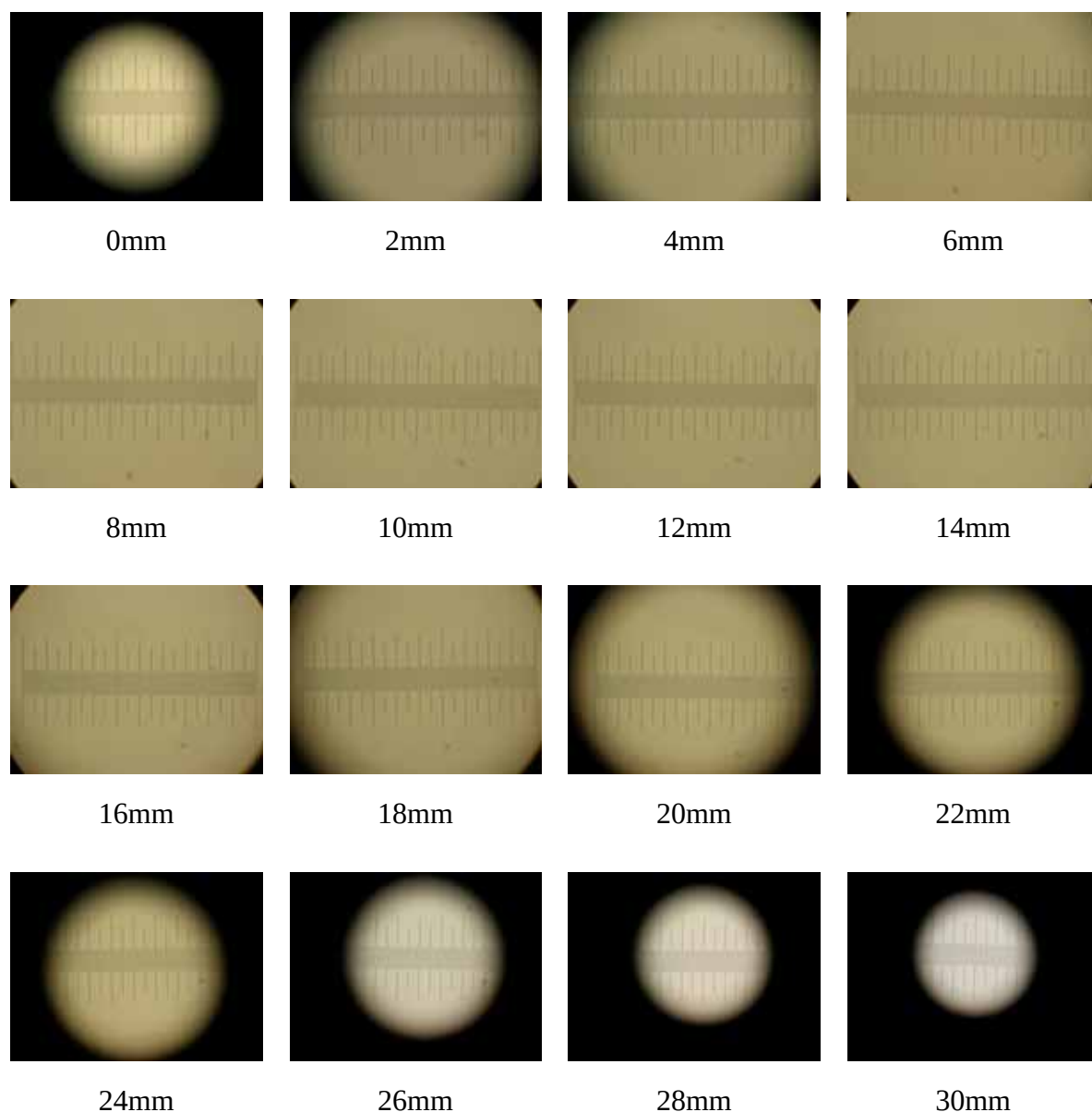


圖 4. 焦距 17.1mm 時相機至顯微鏡的距離與相片成像之關係

2.相機至顯微鏡的距離與相片的影像圈大小之關係

由圖 5 顯示，當焦距在 5.7mm 時，在 4~10mm 區域內，「影像圈直徑／相片對角線」呈現相對較大的比值，而其極大值出現在 6mm 處。當焦距在 17.1mm 時，在 6~14mm 區域內，「影像圈直徑／相片對角線」呈現相對較大的比值，而其極大值亦出現在 6mm 處。

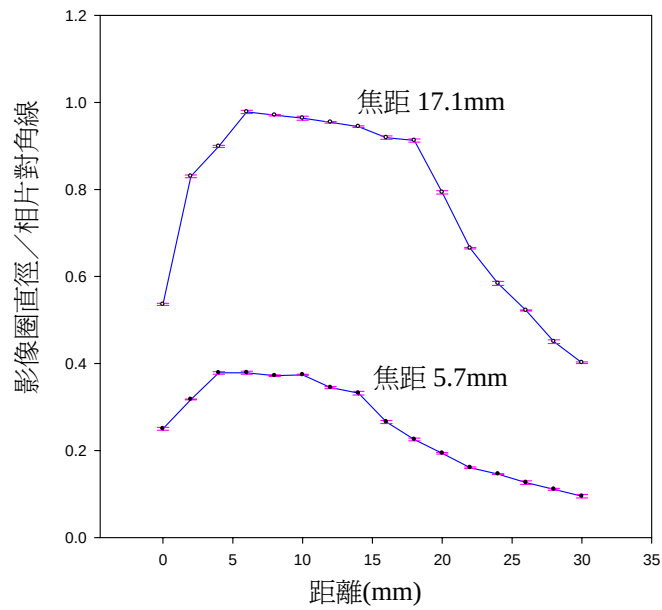


圖 5.相機至顯微鏡的距離與「影像圈直徑／相片對角線」之關係

3.相機至顯微鏡的距離與相片的刻度大小之關係

由圖 6 顯示，焦距在 5.7mm，當相機至顯微鏡的距離遞增時，相片的刻度大小隨之遞減。相機焦距設定在 17.1mm，當相機至顯微鏡的距離遞增時，相片的刻度大小隨之遞減。

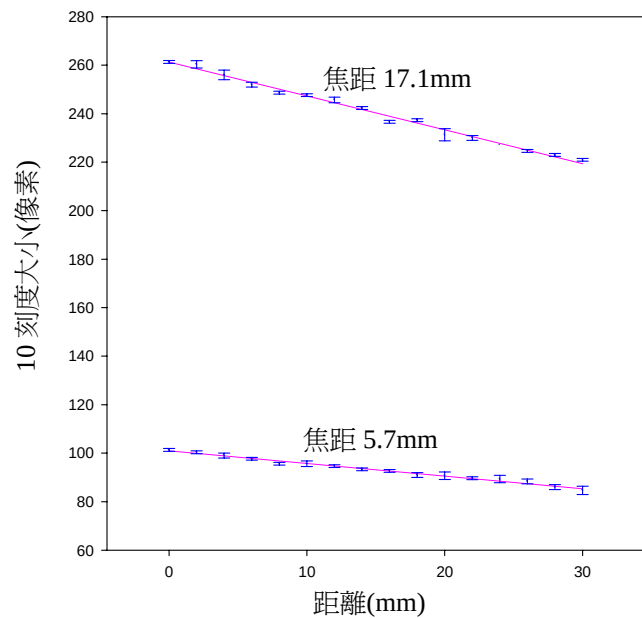


圖 6.相機至顯微鏡的距離與相片的 10 刻度大小之關係

(二)、相機的焦距之影響

1.相機的焦距與相片成像之關係

由圖 7 顯示，焦距在 5.7mm 時，影像圈最小，隨著相機的焦距遞增，相片上影像圈也隨之遞增。焦距在 17.1mm 時，影像圈達成最大值。

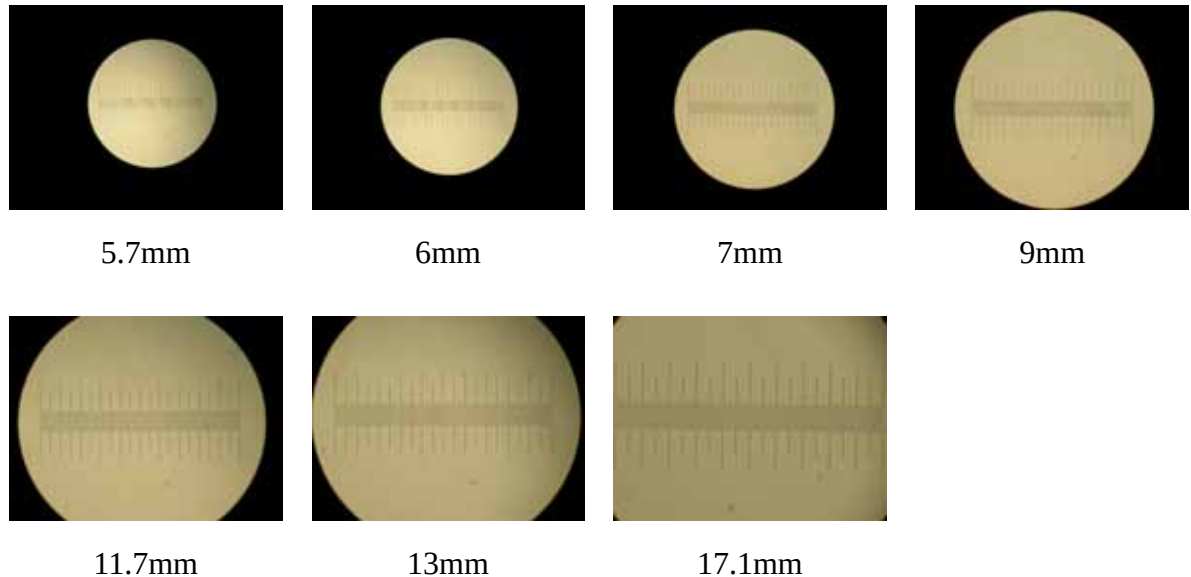


圖 7. 相機的焦距與相片成像之關係

2.相機的焦距與相片的影像圈大小之關係

如圖 8 所示，相機的焦距遞增，相片上「影像圈直徑／相片對角線」的比值隨之遞增。

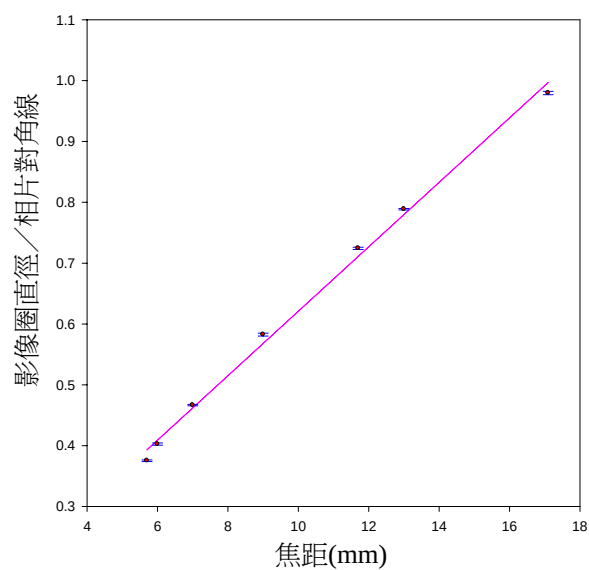


圖 8.相機的焦距與「影像圈直徑／相片對角線」之關係圖

3.相機的焦距與相片的刻度大小之關係

如圖 9 所示，當相機的焦距遞增時，相片 10 刻度大小隨之遞增。

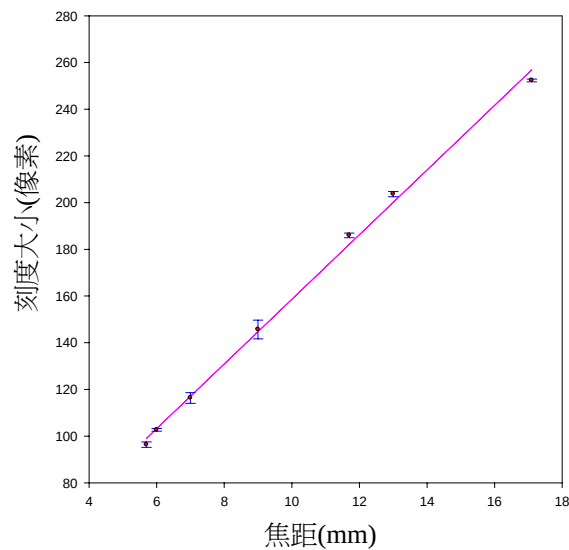


圖 9.相機的焦距與相片 10 刻度大小之關係圖

(三)、顯微鏡的鏡筒長度之影響

1.顯微鏡的鏡筒長度與相片成像之關係

如圖 10 所示，焦距在 5.7mm 時，影像圈的成像並無顯著差異。焦距在 17.1mm 時，目鏡旋轉到+90°時，相片成像品質最佳。

焦距 5.7mm



焦距 17.1mm

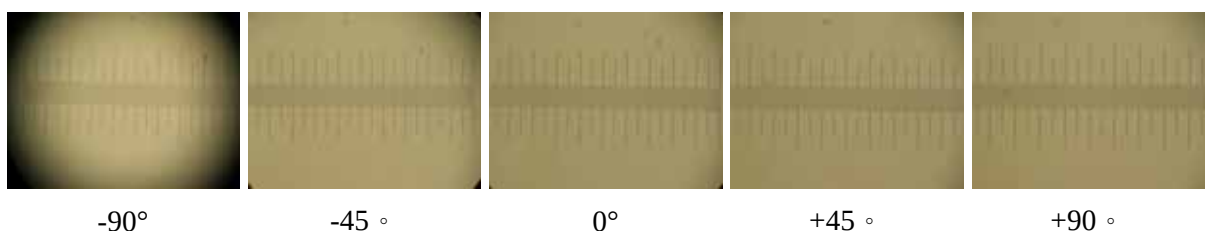


圖 10. 顯微鏡的目鏡旋轉角度與相片成像之關係

2.顯微鏡的鏡筒長度與相片的影像圈大小之關係

如圖 11 所示，焦距在 5.7mm 時，目鏡旋轉角度增加則「影像圈直徑／相片對角線」的比值隨之微幅遞增。焦距在 17.1mm 時，結果相似，但目鏡旋轉+45°、+90°其影像圈之圓弧輪廓未出現在相片上，因「影像圈直徑／相片對角線」的比值均大於 1，在圖 11 中則以 1 代表之。

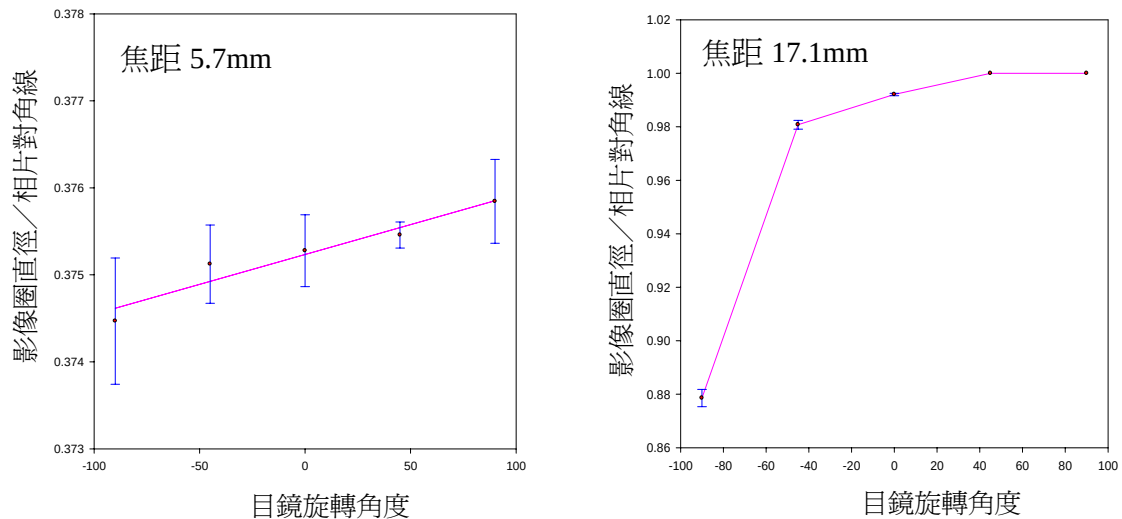


圖 11. 顯微鏡的目鏡旋轉角度與「影像圈直徑／相片對角線」之關係

3.顯微鏡的鏡筒長度與相片的刻度大小之關係

如圖 12 所示，目鏡旋轉角度依序由：-90°、-45°、0°、+45°、+90°改變，相片 10 刻度大小皆隨之遞增。

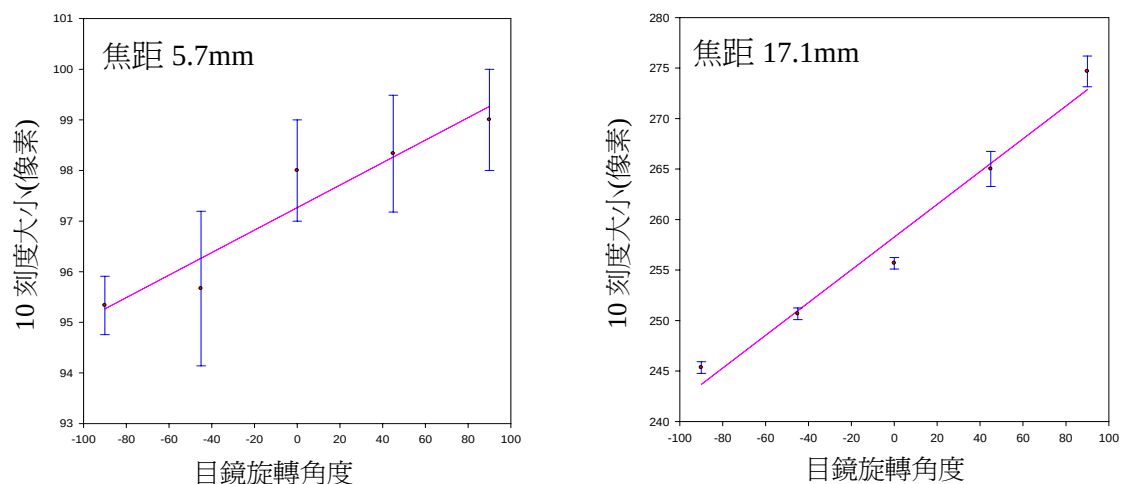


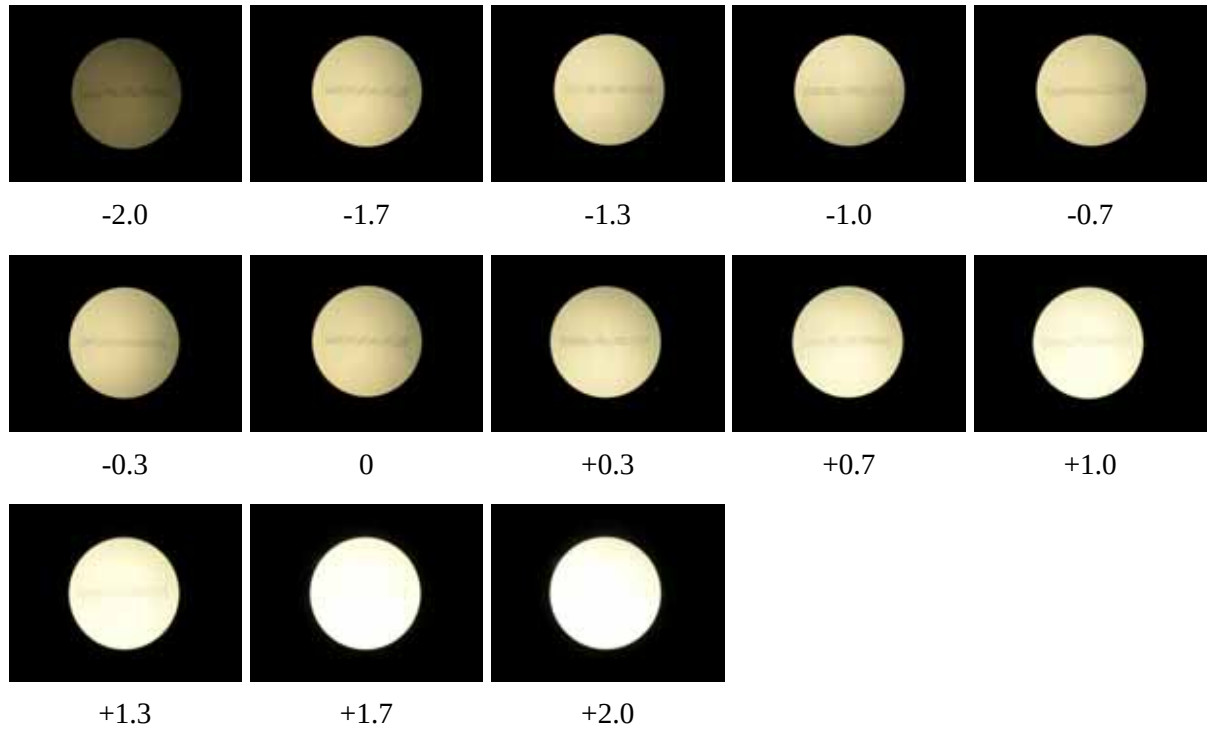
圖 12.顯微鏡的目鏡旋轉角度與相片 10 刻度大小之關係

(四)、相機的曝光補償之影響

1.相機的曝光補償與相片成像」之關係

如圖 13 所示，相片的亮度隨曝光補償值的增加呈現遞增之趨勢。

焦距 5.7mm



焦距 17.1mm

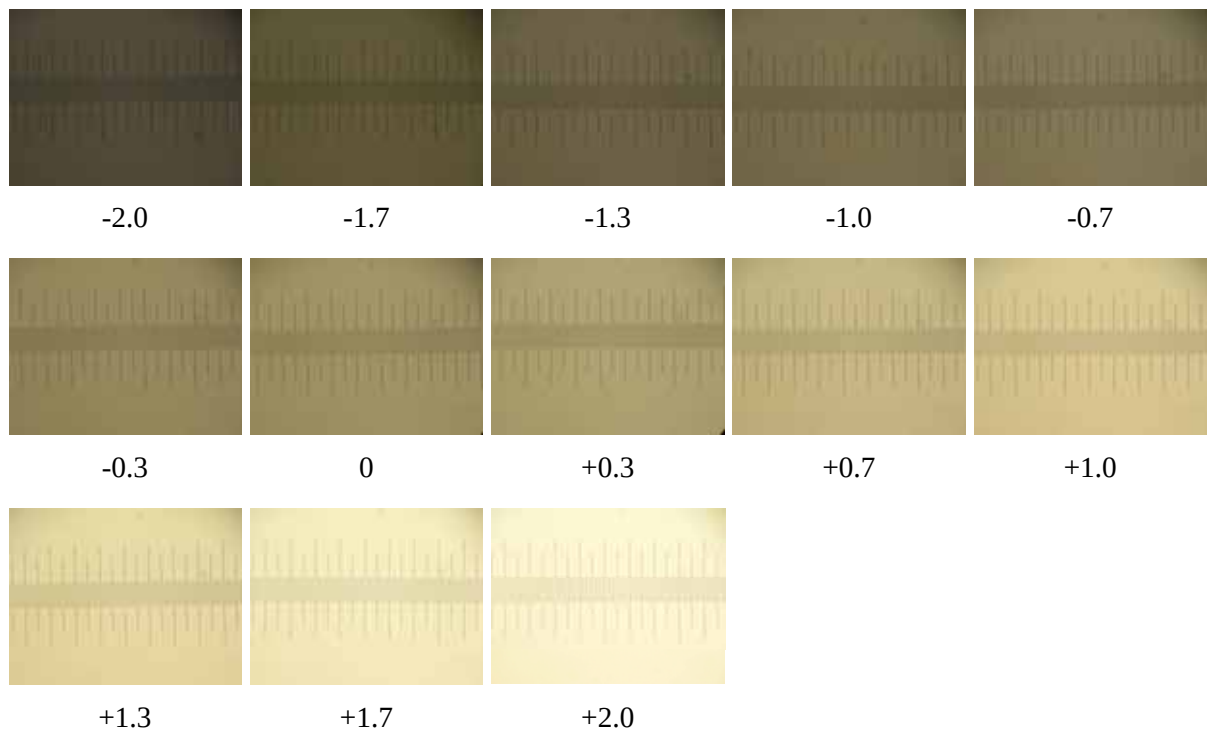


圖 13.相機的曝光補償與相片成像之關係

2.相機的曝光補償與相片的明暗差之關係

如圖 14 所示，焦距 5.7mm 時，曝光補償值為-0.3 時明暗差出現極大值。焦距 17.1mm 時，當曝光補償值為+1.0 時明暗差出現極大值。

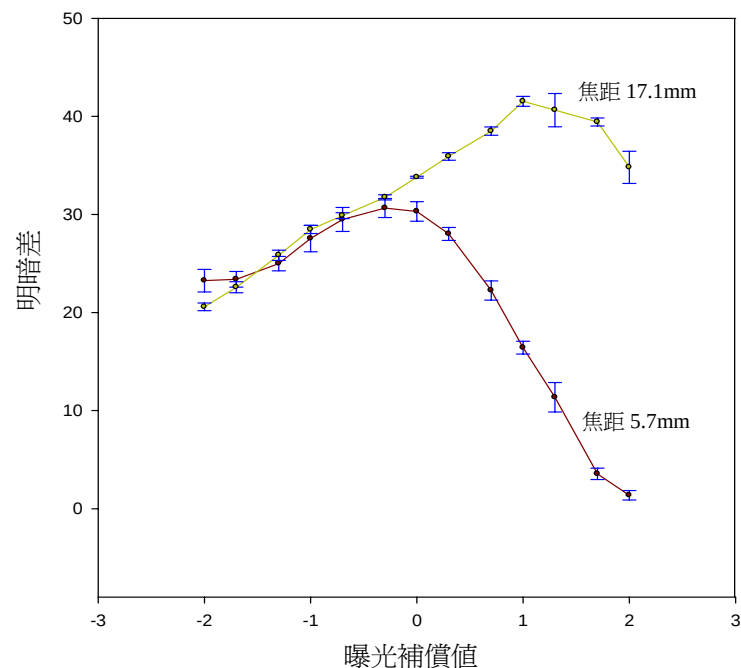


圖 14.相機曝光補償與相片的明暗差之關係

(五)、與 Nikon 顯微攝影專用器材靜態相片之比較

1.靜態相片的成像之比較

- (1) 如圖15、圖16所示，Nikon 5600成像品質稍差一些。
- (2) 在40倍、100倍時，Nikon 5600其靜態相片的週邊光量明顯較低。

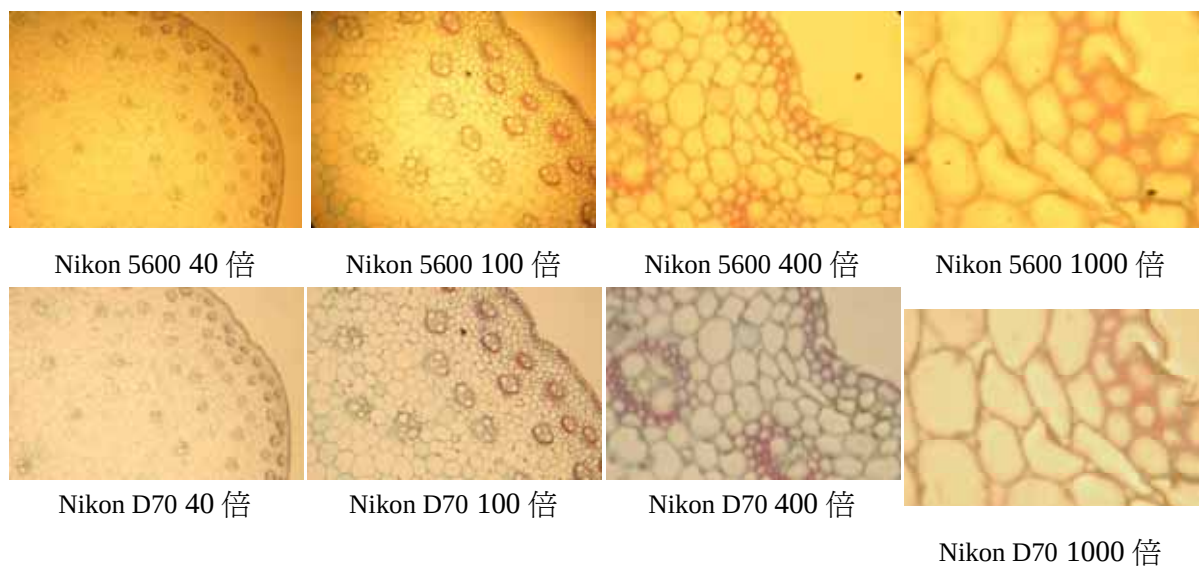


圖 15. 以 Nikon 5600 與 Nikon D70 拍攝玉米莖橫切面標本的靜態相片

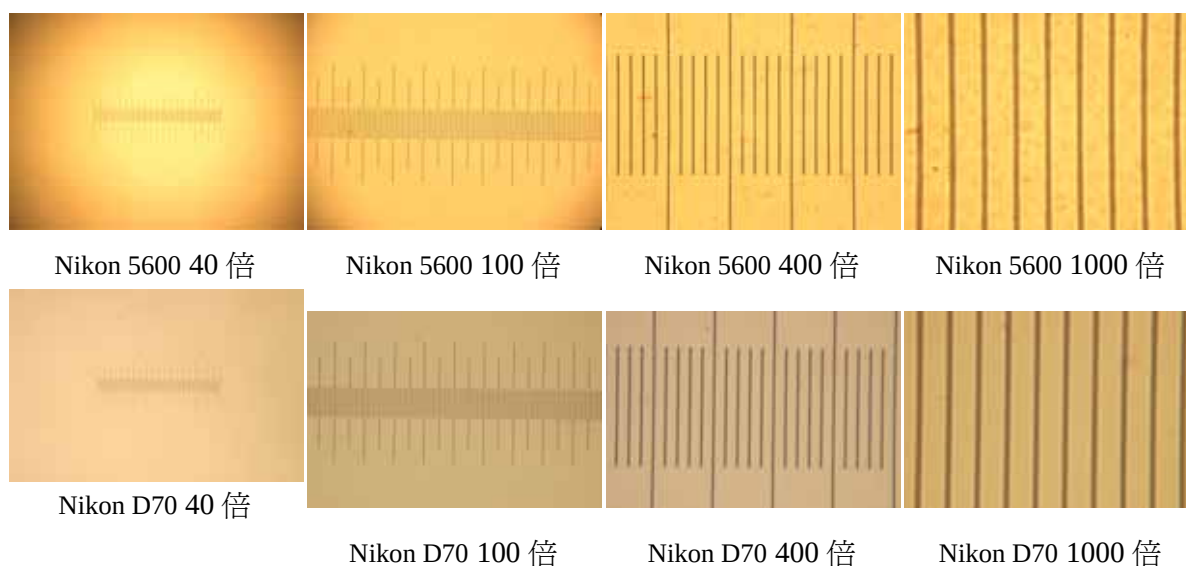


圖 16. 以 Nikon 5600 與 Nikon D70 拍攝接物測微計的靜態相片

2.靜態相片的明暗差之比較

- (1) 如圖17所示，Nikon 5600靜態相片的明暗差皆比Nikon D70大。
- (2) 在40倍、100倍時，Nikon 5600靜態相片的明暗差更是超越Nikon D70甚多。

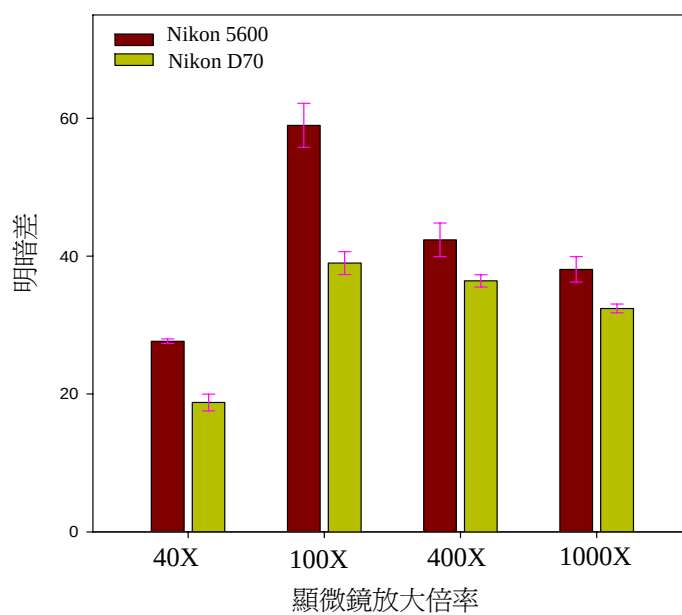


圖 17. 以 Nikon 5600 與 Nikon D70 明暗差之比較

3.靜態相片的雜訊之比較

- (1) 如圖 18 所示，Nikon 5600 靜態相片的雜訊均比 Nikon D70 大。
- (2) 隨著顯微鏡放大倍率之遞增，無論 Nikon 5600 或 Nikon D70 其靜態相片的雜訊皆隨之遞增，但 Nikon 5600 靜態相片的雜訊增加幅度更大。

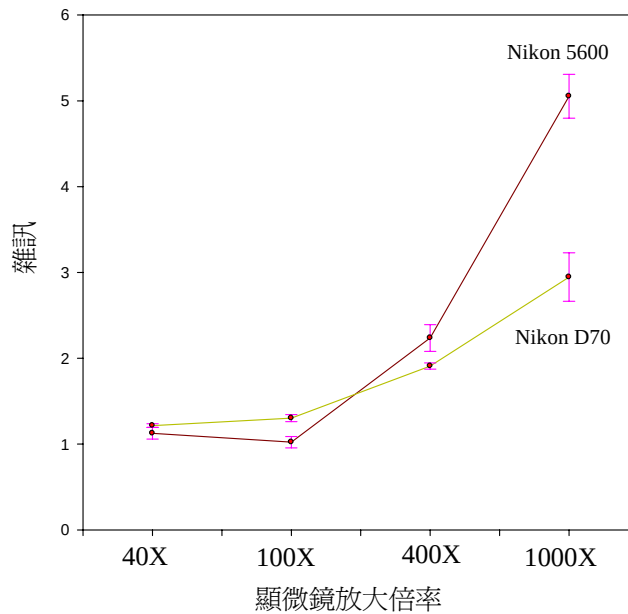


圖 18. 以 Nikon 5600 與 Nikon D70 雜訊之比較

(六)、與 Olympus 顯微攝影專用器材動態擷取畫面之比較

1. 動態擷取畫面的成像之比較

- (1) 如圖19、圖20所示，Nikon 5600在40倍、100倍、400倍的成像品質皆比Olympus TVC稍差；但是在1000倍的成像品質反而比Olympus TVC佳。
- (2) 在40倍、100倍時，Nikon 5600「動態擷取畫面」的週邊光量輕微降低，而Olympus TVC「動態擷取畫面」的光量較均勻一致，無週邊光量下降之現象。

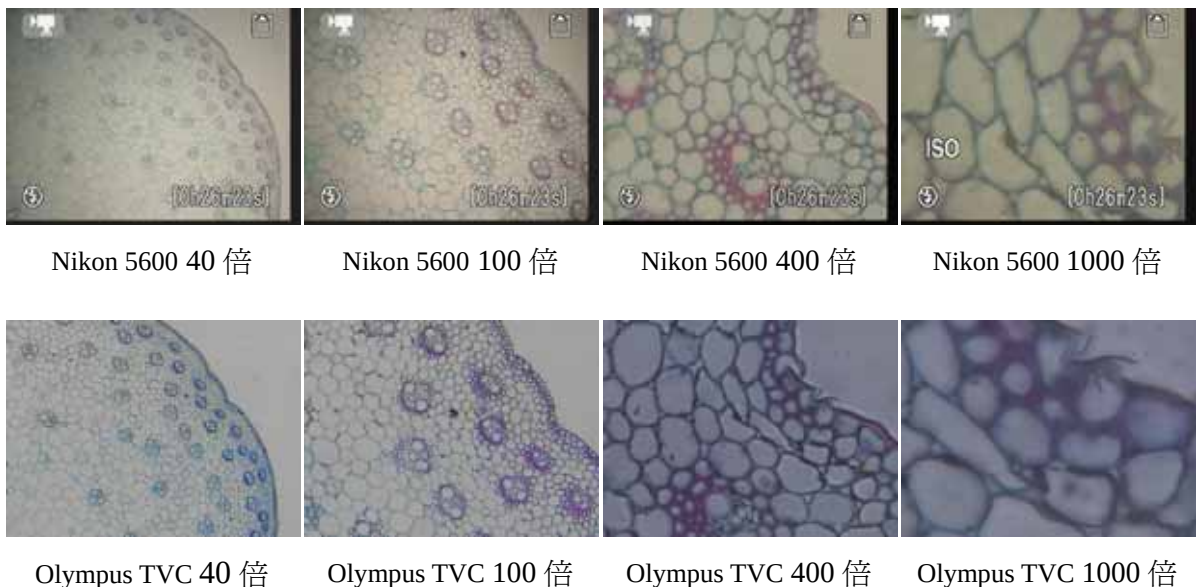


圖 19. 以 Nikon 5600 與 Olympus TVC 拍攝玉米莖橫切面標本的動態擷取畫面

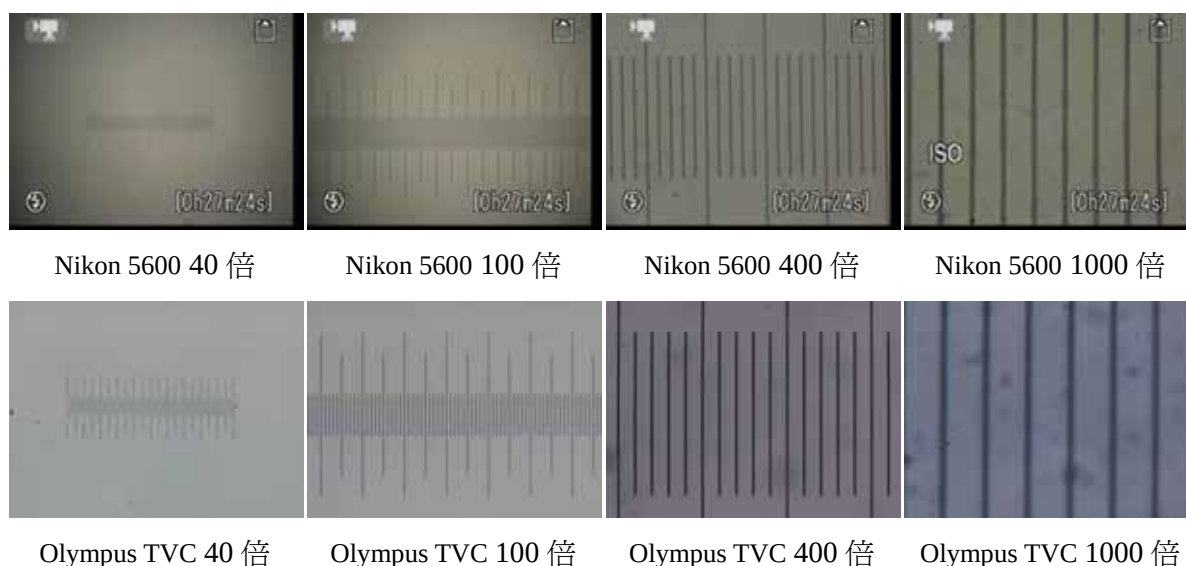


圖 20. 以 Nikon 5600 與 Nikon D70 拍攝接物測微計的動態擷取畫面

2.動態擷取畫面的明暗差之比較

- (1) 如圖21所示。在40倍、100倍、400倍時，Nikon 5600動態擷取畫面的明暗差均明顯比Olympus TVC小。
- (2) 在1000倍時，Olympus TVC動態擷取畫面的明暗差則顯著下降，甚至於比Nikon 5600稍小一些。

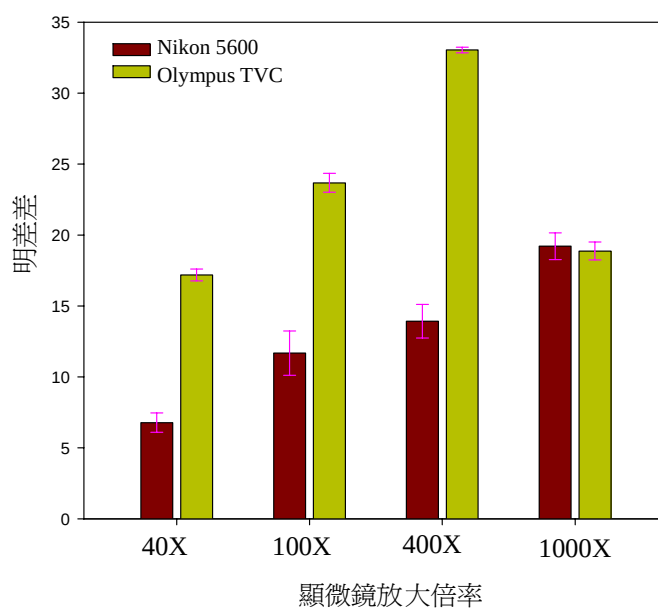


圖 21. 以 Nikon 5600 與 Olympus TVC 明暗差之比較

3.動態擷取畫面的雜訊之比較

- (1) 如圖22所示，Nikon 5600動態擷取畫面的雜訊均比Olympus TVC低。
- (2) 隨著顯微鏡放大倍率之遞增，無論Nikon 5600或Nikon D70其動態擷取畫面的雜訊皆隨之遞增。

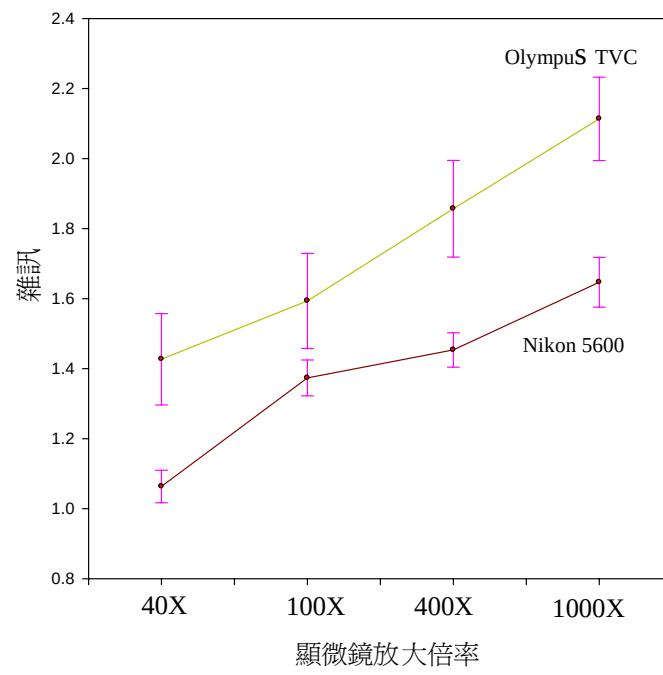


圖 22. 以 Nikon 5600 與 Olympus TVC 雜訊之比較

柒、討論

(一)、相機至顯微鏡的距離之影響

1.相機至顯微鏡的距離與相片成像之關係

- (2) 有些相片中影像圈（如圖 23）的輪廓並不明確，有點絨毛狀的模糊，愈靠近影像圈邊緣，影像品質愈下降，實驗結果此與⁽¹⁵⁾ ⁽²³⁾中的論點符合。
- (3) 如圖 24 中所示，A 是影像圈，B 是顯微鏡的鏡筒內面造成之黑影，C 是目鏡朝上方的外緣（貼白紙標識證明之），D 是連接相機與顯微鏡的紙套筒。

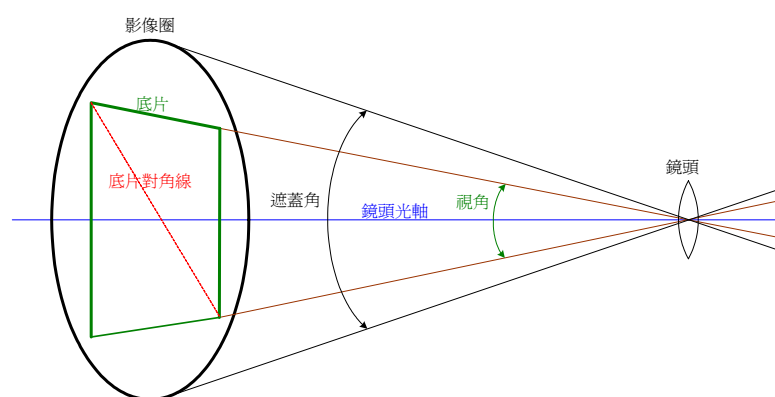


圖 23. 影像圈之形成⁽¹⁵⁾



圖 24. 相機至顯微鏡的距離 28mm 之相片（焦距 5.7mm）

2.相機至顯微鏡的距離與相片的影像圈大小之關係

數位相機若置於最佳距離的範圍內，因鏡筒或紙套筒對影像圈的成像造成之干擾會降低，所以相片中的影像圈較大。

3.相機至顯微鏡的距離與相片的刻度大小之關係

相機成像原理就如同眼睛一樣，如圖 25 所示，距離愈遠的物體，在眼睛上的視角愈小，因此在視網膜上成像愈小。⁽¹⁹⁾

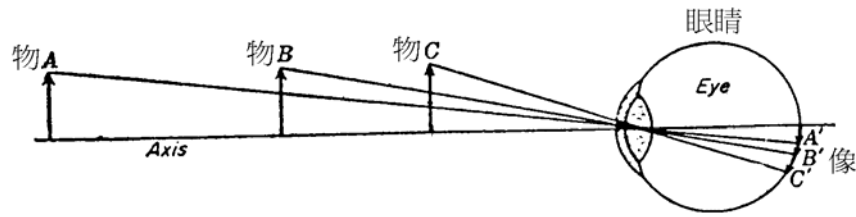


圖 25. 眼睛視角與成像大小之關係⁽¹⁹⁾

(二)、相機的焦距之影響

1.相機的焦距與相片成像之關係

- (1) 由實驗結果可知，若被觀測物的位置不變時，相機的焦距愈大，則在感光元件上呈現的影像愈大。⁽¹⁵⁾
- (2) 根據透鏡成像原理⁽¹⁹⁾，做出圖 26 來解釋焦距影響成像的大小。

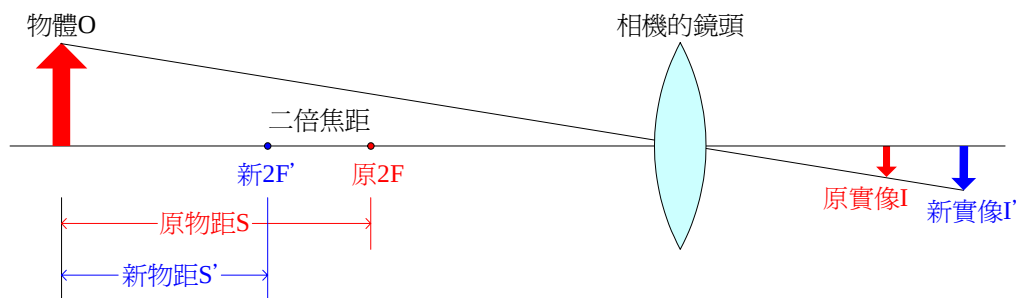


圖 26. 鏡頭的焦距影響成像的大小之原理

2.相機的焦距與相片影像圈大小之關係

雖然各焦距間的差距並無規律性，但是實驗結果「相機的焦距」與「相片影像圈大小」之線性關係十分明顯。

3.相機的焦距與相片的刻度大小之關係

雖然各焦距間的差距並無規律性，但是實驗結果「相機的焦距」與「相片刻度大小」之線性關係十分顯著。

(三)、顯微鏡的鏡筒長度之影響

1.顯微鏡的鏡筒長度與相片成像之關係

根據透鏡之成像原理⁽¹⁹⁾，做出圖 27 可解釋鏡筒長度可影響成像的大小。

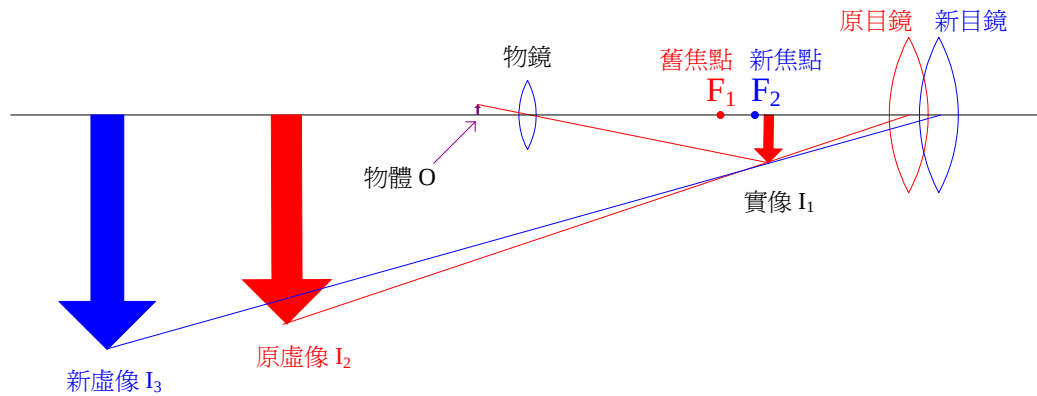


圖 27. 鏡筒長度影響成像的大小之原理

2.顯微鏡的鏡筒長度與相片的影像大小之關係

鏡筒長度增加，則相片上「影像圈直徑／相片對角線」的比值會隨之遞增。

3.顯微鏡的鏡筒長度與相片的刻度大小之關係

鏡筒長度增加，相片上每 10 刻度的大小皆隨之呈現線性遞增趨勢。

(四)、相機的曝光補償之影響

1.相機的曝光補償與相片成像之關係

相機的曝光補償功能，可修改相機建議的曝光值，可使相片更暗或更亮。

2.相機的曝光補償與相片的明暗差之關係

焦距 5.7mm 曝光補償偏向負值，乃因相機的測光系統會考量相片中有大量的黑暗區域；焦距 17.1mm 曝光補償偏向正值，乃因相機的測光系統會考量相片中有大量的明亮區域。⁽⁷⁾

(五)、與 Nikon 顯微攝影專用器材靜態相片之比較

1.靜態相片的成像之比較

畫面週邊的亮度稱為週邊光量，此週邊光量會受到鏡頭口徑的影響，從中心部份逐漸向外降低⁽²³⁾。

2.靜態相片的明暗差之比較

明暗差的取樣範圍在中央部位，因此 Nikon 5600 靜態相片的明暗差有機會勝過 Nikon D70。

3.靜態相片的雜訊之比較

因 Nikon D70 相機具有較大的感光元件，故有較少的雜訊。^{(4) (5) (7) (8)}

(六)、與 Olympus 顯微攝影專用器材動態擷取畫面之比較

1.「動態擷取畫面的成像」之比較

Olympus TVC是直接透過顯微攝影專用配件連接顯微鏡，顯微鏡的影像更能準確的成像在感光元件上，故整體的成像品質較Nikon 5600佳。

2.動態擷取畫面的明暗差之比較

若標準差愈大，則表示取樣範圍各像素的明度數值差異愈大，亦即明暗差愈顯著。

3.動態擷取畫面的雜訊之比較

Nikon 5600靜態相片的雜訊竟然比Olympus TVC低，在本研究中無法提出有效證據解釋，有待進一步的研究。

捌、結論

一、實驗之結論：

(一)、相機至顯微鏡的距離之影響

1. 6mm 時輪廓明確清晰。
2. 6mm 影像圈最大。
3. 距離愈大，刻度的長度愈小。

(二)、相機的焦距之影響

1. 影像圈隨著焦距改變。
2. 焦距愈大，影像圈愈大。
3. 焦距愈大，刻度的長度愈大。

(三)、顯微鏡的鏡筒長度之影響

1. 目鏡逆時針轉 90° ，呈無暗角影像。
2. 鏡筒長度愈大，影像圈愈大。
3. 鏡筒長度愈大，刻度的長度愈大。

(四)、相機的曝光補償之影響

1. 相機曝光補償值設定愈大，拍攝出的相片亮度愈大。
2. 相機焦距 5.7mm 時，則最佳曝光補償值為-0.3。
3. 相機焦距 17.1mm 時，則最佳曝光補償值為+1.0。

(五)、與 Nikon 顯微攝影專用器材靜態相片之比較

1. Nikon 5600靜態相片的成像品質比Nikon D70稍差，但是差異不大。
2. Nikon 5600靜態相片的明暗差比Nikon D70大。
3. Nikon 5600靜態相片的雜訊比Nikon D70多。

(六)、與 Olympus 顯微攝影專用器材動態擷取畫面之比較

1. Nikon 5600動態擷取畫面的成像品質比Olympus TVC稍差；但是差異不大。
2. Nikon 5600動態擷取畫面的明暗差均明顯比Olympus TVC小。
3. Nikon 5600動態擷取畫面的雜訊均比Olympus TVC少。

二、應用與貢獻：

1. 本研究的結果證明，只要以價格低廉的簡易型數位相機，外加一個適當尺寸的紙套筒來連接顯微鏡，即可應用在顯微攝影。
2. 若將本研究成果加以推廣到國內各中小學，相信對於教學或研究上會助益良多。

玖、參考資料

1. Carl Shipman, 徐政夫 譯, Nikon 的世界, 初版, 台北, 眾文圖書股份有限公司, p9 ~15、p37~40、p219, 1985。
2. Francis A. Jenkins、Harvey E. White, 王先鎔 譯, 光學原理, 四版, 台北, 正中書局, p177, 1982。
3. Nikon 株式會社, Nikon Capture 4 使用手冊 中文版, 日本, Nikon 株式會社, p23, 2004。
4. Nikon 株式會社, Nikon Coolpix 5600 使用手冊 繁體中文版, 日本, Nikon 株式會社, p61、p114~115, 2005。
5. Nikon 株式會社, Nikon D70 中文操作手冊, 日本, Nikon 株式會社, p201, 2004。
6. Peter Healey, 徐進夫 譯, 顯微鏡與微生物, 三版, 台北, 幼獅文化事業公司, p4 ~8, 1987。
7. Tom Ang, 施威銘研究室 譯, 數位相機聖經, 初版, p18~21, p26, p34~39, p120 ~121, p242~243, p246~247, 台北, 旗標出版股份有限公司, 2003。
8. 王傳, 2005, 高感光度 (ISO 值) 運用技巧, Photonet 攝影網路雜誌, vol. 89, p52, p79。
9. 伍小儀、鄧福全, 近攝微距攝影術, 二版, 香港, 攝影畫報有限公司, p2~5、p58 ~59, 1989。
10. 江明宏, 特殊攝影的技巧, 初版, 台南, 信宏出版社, p60~61, 1987。
11. 江高舉、江明樵, 數位相機 100%私房書, 初版, 台北, 金禾資訊股份有限公司, p1-7, 2005。
12. 呂應鐘, 顯微攝影, 初版, 台北, 星光出版社, p3、p44~46, 1985。
13. 林良平, 1999, 數位相機在生物影像上之應用, 科儀新知, 第 21 卷 第 3 期, p90~98。
14. 林良平, 微生物顯微鏡學, 初版, 台北, 藝軒圖書出版社, p29、p173~184, 2002。
15. 邱吉雄, 基礎攝影, 初版, 台北, 業強出版社, p36~42、p62~64, 2001。
16. 徐君憲 譯, 實用顯微鏡學, 三版, 台北, 徐氏基金會, p2~4, 1979。
17. 徐明景, 數位攝影的技術, 初版, 台北, 田園城市文化事業有限公司, p3, 2001。
18. 梁光裕, 生物 II, 初版, 台北, 龍騰文化事業股份有限公司, p116~117, 2005。
19. 彭樹楷、陸維承, 應用光學, 初版, 台北, 世界書局, p36~38、p98、p112, 1976。
20. 楊建人 譯, 光學原理, 三版, 台北, 徐氏基金會, p70、p130~133, 1982。
21. 楊建人 譯, 實用工學與光學工程, 三版, 台北, 徐氏基金會, p1~4, 1979。
22. 謝慕郁, 2005, 色溫白平衡運用技巧, Photonet 攝影網路雜誌, vol. 90, p54~55。
23. 攝影家手札出版社, Canon D-SLR 聖經, 初版, 台北, 攝影家手札出版社, p129, 2004。

040814 簡易型數位相機在顯微攝影之應用

本作品是將數位相機以自製紙套筒連接光學顯微鏡，以達到顯微攝影之目的。在此研究過程中，對於相機至顯微鏡距離與相片成像的關係、相機焦距之影響、顯微鏡筒長之影響，以及相機曝光補償等，有一系列的實驗。市面上已有類似的裝置可以作顯微攝影，本研究應該就使用方便性與條件設定等問題作比較。