

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第三名

031719

環境對小豆苗生長的影響

學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國一 陳穎劭	指導老師： 陳富堅 李正媚
---------------	---------------------

關鍵詞：綠豆苗 氣孔 二氧化碳

環境對小豆苗生長的影響

摘要：

偶然發現綠豆苗生長受到風吹而歪斜，使我好奇是否環境會改變其生長速率？嘗試以溫室栽培、風吹時間、加入自製二氧化碳 等觀察豆苗生長。成長初期，莖成長速率大於葉、子葉上軸成長速率大於子葉下軸。

葉片氣孔的生理時鐘：8:00~10:00 開張率最大；13:00~15:00 氣孔關閉避免水分過度蒸散；傍晚進行另一次氣體交換。17~28 日，莖以 0.782cm/日成長、葉以 0.4811cm/日成長。

溫室的豆苗生長最快，氣孔密度大且開張率高，可能因高濕度使氣孔持續張開進行氣體交換；不加二氧化碳實驗，葉片大而捲，乃植株徒長。長時間受風吹的豆苗生長最遲緩。

研究發現較大濃度的二氧化碳雖可加速植物生長；但是，二氧化碳濃度過高反使植物生長遲滯。希望藉由本研究內容能喚起大家對全球暖化危機的重視。

壹、研究動機：

有一天，將一盤即將發芽的綠豆苗放在窗台上任其自然生長，一段時間之後，發現它長出來的莖都偏向某個方向。翻開生物課本，書中提到了植物有向光和背地的特性，但是否真的只有這二個因素造成它歪斜呢？不同環境是否會影響植物的生長速率呢？除了外形上的改變，葉片氣孔是否也會有不同的開張變化呢？近年來，全球暖化議題是全世界關注的焦點，過多的二氧化碳已成為溫室效應的元兇之一，植物是否能吸收過多的二氧化碳來降低大氣中的二氧化碳氣體呢？

貳、研究目的：

- 一、連續 48 小時觀察並測量豆苗的生長情形，進一步觀察葉片氣孔的生理時鐘
- 二、探討豆苗每日的生長情形及測量其生長速率
- 三、探討不同環境對豆苗生長的影響
- 四、探討環境改變對豆苗生長的影響
- 五、探討二氧化碳濃度對豆苗生長的影響

參、研究設備及器材：

照相顯微鏡(圖 1.)、天平(圖 2.)、溫濕度風速計(圖 3.)、PVC 透明塑膠桌墊、數位攝影機、自製透明壓克力箱(上有開口並加蓋)、花槽、培養土、綠豆、指甲油、玻片、透明膠帶、游標尺、注射筒、鉢及杵、蛋殼、醋、方格紙、秤量紙、強力膠布、溫濕度計、廣用指示劑、廣用試紙、氫氧化鈉、鹽酸、量瓶、量筒、滴管、燒杯、注射筒、1ml 注射筒(滴定用)。



圖 2. 天平



圖 3. 溫濕度風速計



圖 1. 照相顯微鏡

肆、研究過程：

一、連續 48hr 觀察並測量豆苗的生長情形，進一步觀察葉片氣孔的生理時鐘。

1. 將已發芽豆苗 60 株，種於花槽中，放在有採光罩的陽台下種植。
2. 待豆苗開始長出新葉後第 5 天起，連續 48hr 內，每隔 1hr 隨機取出 2 株豆苗，以游標尺分別測量葉片(圖 4.)、莖(圖 5.)、豆苗子葉至葉柄的莖(子葉上軸(epicotyl))、子葉至根部的莖(子葉下軸(hypcotyl))等部位的長度，取平均值。
3. 製作葉下表皮拓膜玻片標本，在葉片下表皮塗抹指甲油(圖 6.)，待其乾燥後以膠帶貼住(圖 7.)並按壓(圖 8.)，將膠帶撕下(圖 9.)後貼在玻片上(圖 10.,11.)，在顯微鏡下觀察氣孔並拍照。
4. 隨機移動玻片，找出顯微鏡的鏡頭下均佈滿氣孔的視野後觀察，計算總氣孔數、氣孔開張數、氣孔閉合數。再隨機移動玻片共 3 次，記錄同一葉片上總氣孔數、氣孔開張數、氣孔閉合數取平均值。
5. 重覆步驟 2.~5.，共連續測量 0~48hr 內，豆苗的生長變化。

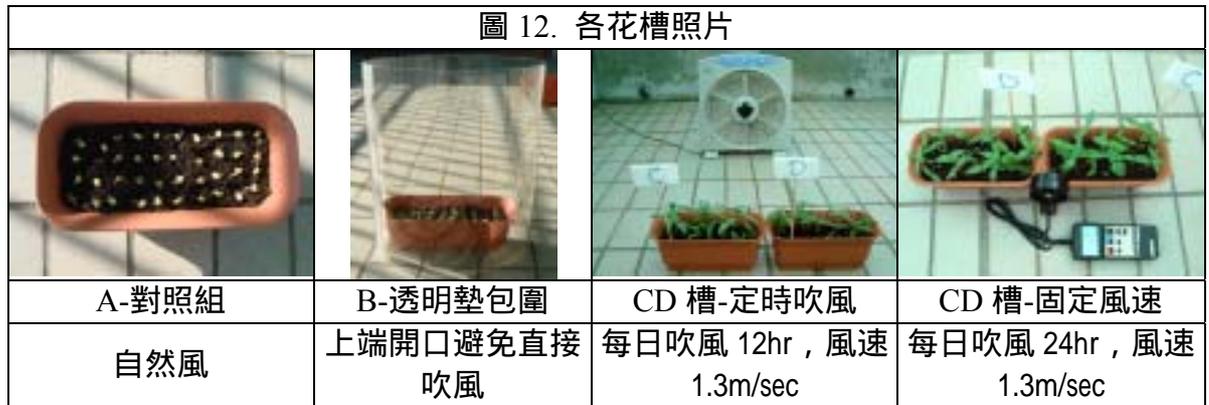


二、探討豆苗每日的生長情形及測量其生長速率

1. 將已發芽豆苗 40 株，種於花槽中，放在有採光罩的陽台下種植。
2. 植入土中 3 天後，待豆苗開始長出葉子，固定於每日 10:00 隨機取出 2 株豆苗觀察並拍照。以游標尺測量葉片、莖、子葉上軸、子葉下軸的長度。
3. 製作葉下表皮拓膜玻片標本。
4. 重覆研究一之步驟 3.~5.。
5. 連續 8 天測量。重覆以上實驗過程，取平均值。

三、探討不同環境對豆苗生長的影響

1. 4 個花槽(標示 A、B、C、D)中分別種植已發芽豆苗 40 株，放在有採光罩的陽台下種植。觀察並記錄豆苗生長情形，圖 12.。



2. 製作葉下表皮拓膜玻片標本，重覆研究一之步驟 3.~5.。

四、探討環境改變對豆苗生長的影響

1. 將各 40 株已發芽豆苗種於花槽中，一組為實驗組(A)，另一組為對照組(B)

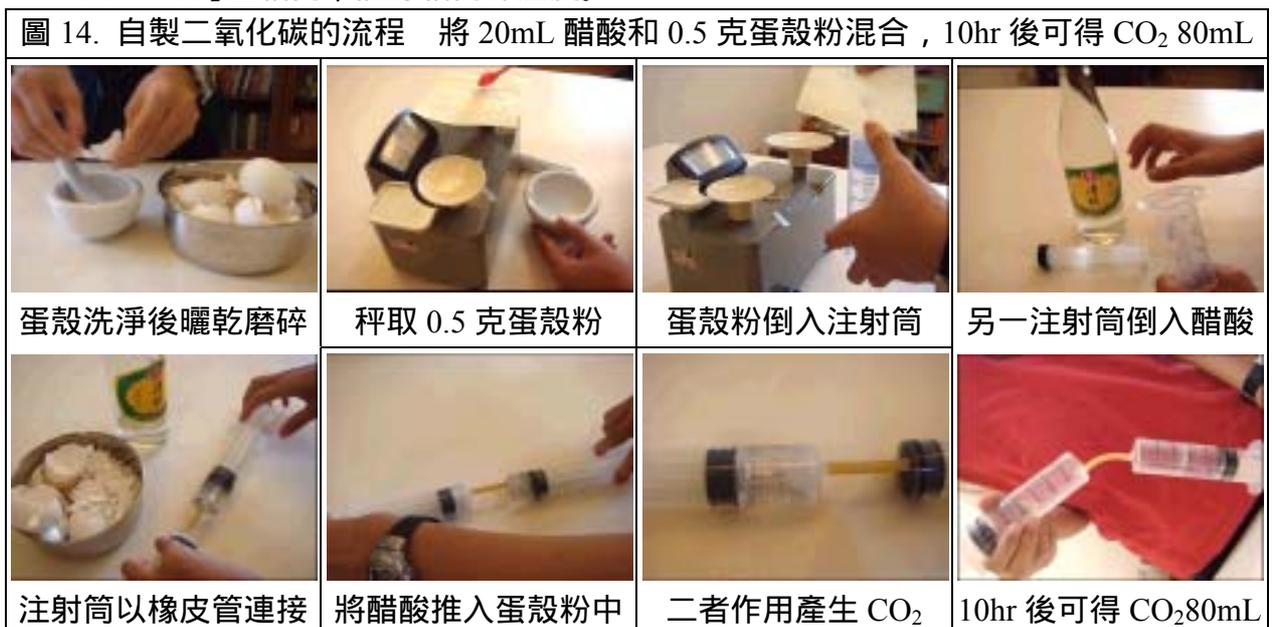
實驗組(A)：花槽置於自製透明壓克力箱內(圖 13。
30×30×40cm，上有開口，底部以膠帶密封)，每日 10:00 在箱內加入 30mL 自製二氧化碳

對照組(B)：花槽置於室外，作為比較



圖 13.自製壓克力箱

2. 自製二氧化碳： $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (圖 14.)。每日 10:00 加入 30mL CO_2 至箱內，記錄箱內外溫度。



3. 重覆研究一之步驟 2.~5.。

五、探討二氧化碳濃度對豆苗生長的影響

1. 4 個花槽(標示 A、B、C、D)中分別種植已發芽豆苗 40 株，放在有採光罩的陽台下種植。觀察並記錄豆苗生長情形，圖 15。

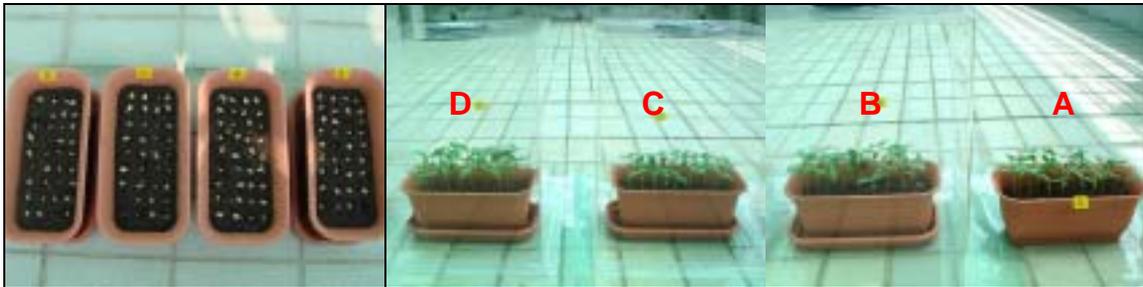
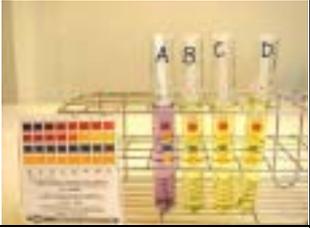
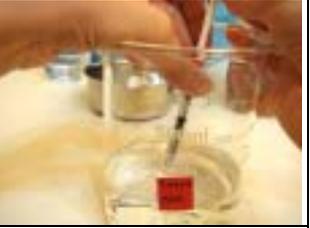
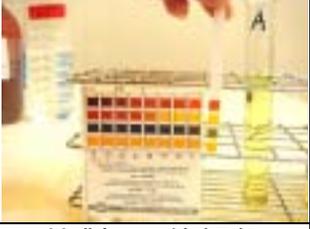


圖 15. 四個花槽分別置於 A-室外(對照組)、B-壓克力箱內、C-壓克力箱內，每日定時加入 30mL CO₂、D-壓克力箱內，每日定時加入 60mL CO₂

2. 每日於豆苗周圍抽取 50mL 氣體，和 10mL 的 10⁻⁴M NaOH 溶液充分混合後靜置，以廣用試紙測試 NaOH 溶液的 pH 值，再以 10⁻³M HCl 溶液反滴定(圖 16.)，估算豆苗周圍的二氧化碳濃度。

圖 16. 簡易估算豆苗周圍的二氧化碳濃度的方法

			
抽取豆苗周圍氣體	取 NaOH 溶液 10mL	二者充分反應後靜置	加入廣用指示劑
			
溶液與指示劑混合	比對溶液顏色	以試紙測試	抽取 HCl
			
以 HCl 反滴定至中和	滴定終了以試紙檢測	比對 pH 值顏色	以滴定體積估算 CO ₂

3. 固定於每日 10:00 隨機取出 2 株豆苗觀察並拍照。以游標尺測量葉片、莖、子葉上軸、子葉下軸的長度。

伍、研究結果與討論：

一、連續 48 小時觀察並測量豆苗的生長情形，進一步觀察葉片氣孔的生理時鐘。

1. 連續 48 小時測量豆苗的外觀變化，如表(1)

表(1) 豆苗的外觀變化

豆苗種植	長出葉子後第 5 天		長出葉子後第 6 天	
	莖的長度(cm)	葉的長度(cm)	莖的長度(cm)	葉的長度(cm)
10:00	9.16	4.53	8.64	4.02
11:00	10.05	5.10	10.65	4.58
12:00	10.47	4.51	12.73	5.34
13:00	11.09	4.31	10.3	4.54
14:00	10.14	5.09	11.29	4.49
15:00	9.86	4.36	12.76	5.33
16:00	10.92	4.49	11.17	5.42
17:00	11.61	4.88	9.67	3.94
18:00	11.00	4.25	7.02	3.93
19:00	10.90	4.72	14.08	4.43
20:00	10.74	4.55	10.44	5.06
21:00	12.40	4.31	11.26	4.88
22:00	11.51	4.73	11.97	4.83
23:00	9.94	5.60	11.94	6.20
00:00	12.56	5.10	12.23	4.72
01:00	12.78	5.44	12.68	5.50
02:00	12.38	5.26	11.48	4.70
03:00	11.89	3.89	12.46	4.79
04:00	11.56	4.88	14.22	5.48
05:00	10.52	4.2	14.14	5.33
06:00	11.94	5.22	11.32	4.75
07:00	10.58	4.85	11.55	5.33
08:00	9.81	5.54	13.05	5.13
09:00	11.56	3.83	11.69	5.08
平均長度	11.06	4.74	11.61	4.91

2. 從 48hr 內每隔 1 小時的測量與觀察，得知莖與葉的生長速率分別為 5.04%、3.66%(圖 17)。因此，在充足陽光與水分下，豆苗初期生長以莖的速率大於葉。原有綠豆的子葉逐漸消失，在頂端長出新葉。

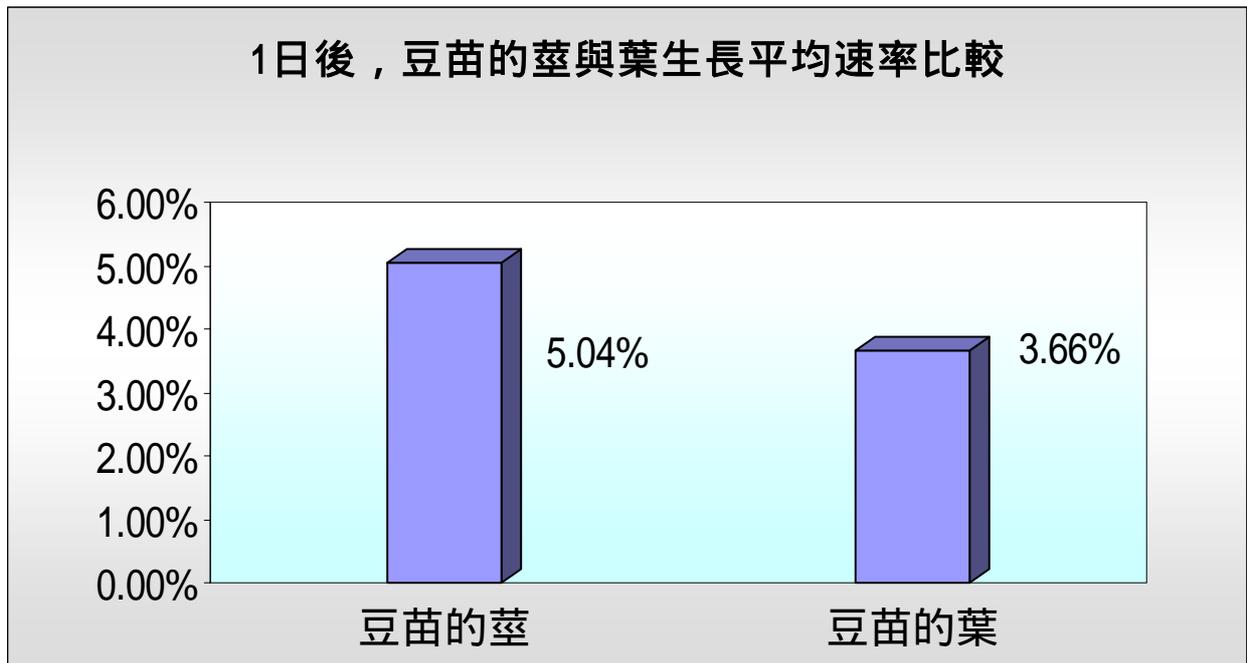


圖 17.在充足陽光與水分下，豆苗開始長出葉子 1 日後，莖的速率大於葉。

3. 豆苗長出新葉後 1~4 天，葉片氣孔多數尚未分化，氣孔小且多，不易觀察。第 5 天後，運用葉片表皮拓膜法在顯微鏡下觀測，每隔 1hr 統計氣孔開張數與氣孔總數。測量期間，為使數據更客觀，隨機移動玻片的葉片樣本，計算葉片上任 3 處的氣孔數及開啟率。
4. 從圖 18.及 19.中可觀察到，8:00~10:00 豆苗氣孔開張率達到最大，光合作用率最高；13:00~15:00 葉片會調節氣孔開啟以減少因溫度升高所造成的水分蒸散。推論，葉片選擇減少光合作用的速率以避免水分大量流失。

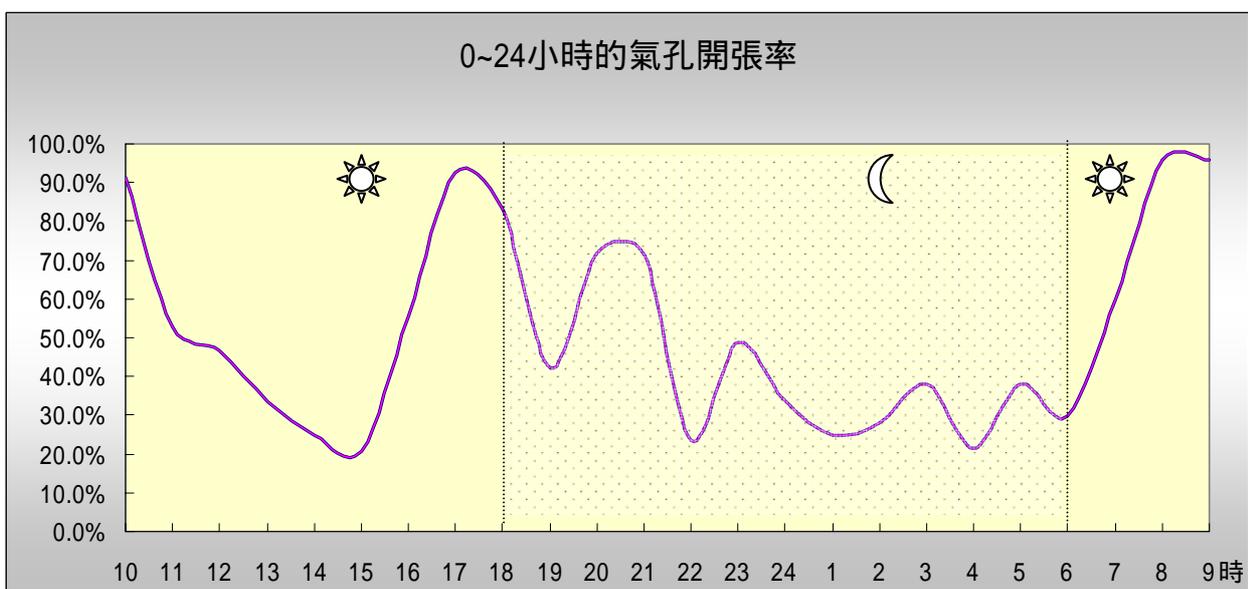


圖 18.豆苗長出新葉後第 5 天起，0~24hr 內的氣孔開張數在 8:00 時達到最高，14:00 最少，表示葉片為了調節水分，會以氣孔的開張數來控制水分的蒸散

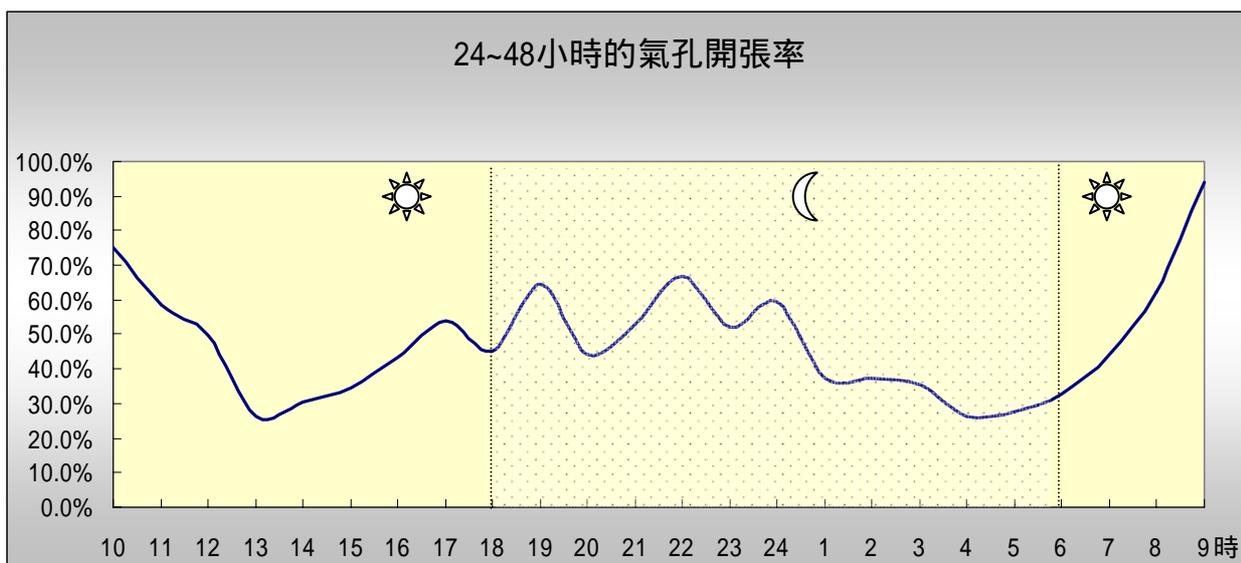


圖 19.豆苗長出新葉後第 6 天起，24hr 內的氣孔開張數在 9:00 時達到最高，13:00 最少，與前 24h 相似

5. 經過連續 48hr 不眠不休的測量及數據處理後，得知葉片上氣孔(圖 21.)在正常情形下，每 24hr 的開張情形頗相似，因此，豆苗葉片上氣孔的生理時鐘大致可繪成如圖 20。從圖中，發現氣孔在 8:00~10:00 的開張率最大，表示此時氣體交換活動最旺盛；13:00 氣孔大多閉合，以避免因高溫造成蒸散作用而使水分大量流失；18:00 起，氣孔再度張開進行另一次氣體交換；1:00~4:00 的氣體交換活動最緩慢。曾有文獻提到「光照」也是影響氣孔開閉的主要環境因素之一，植物的氣孔早晨隨光照增強而張開，黃昏時隨光照減弱而關閉，與本實驗的結果相符。

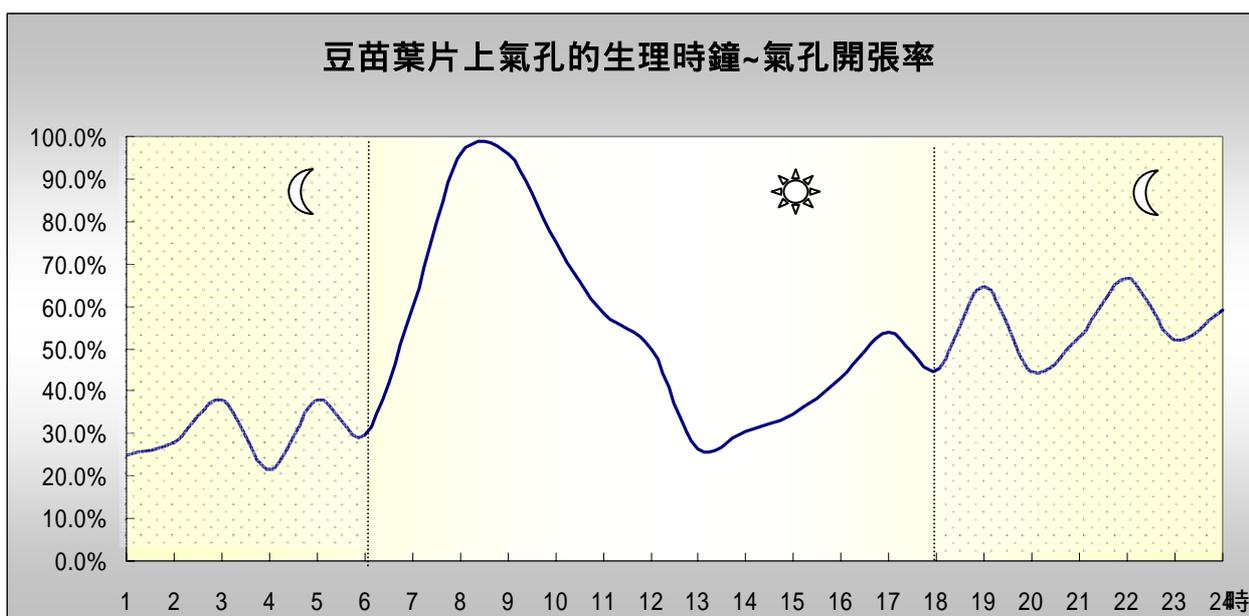
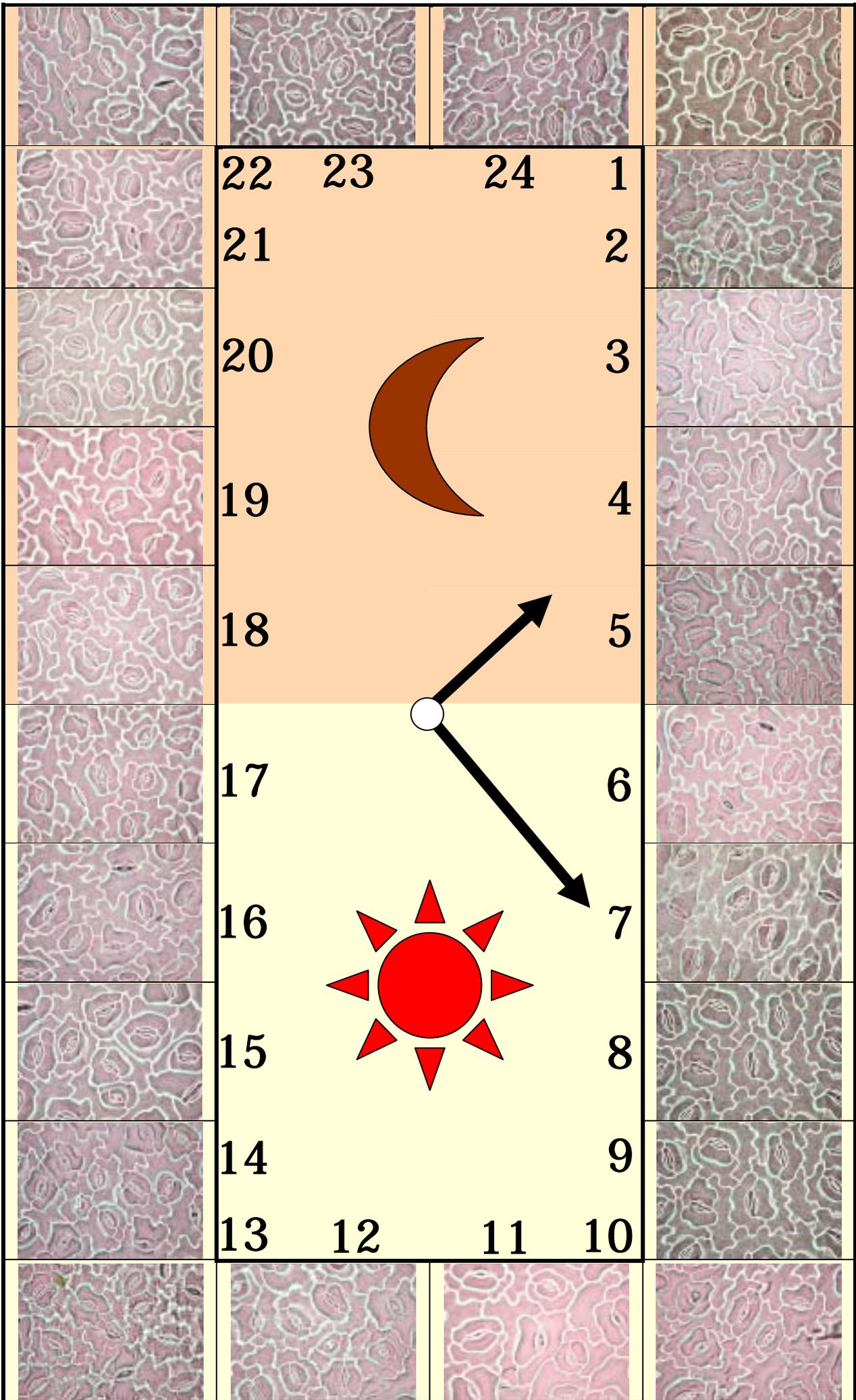


圖 20.豆苗葉片上的氣孔生理時鐘，8:00~10:00 的開張率最大，表示氣體交換的活動最旺盛；13:00 氣孔大多閉合，以避免因高溫造成蒸散作用而使水分大量流失

圖 21.豆苗葉片氣孔的生理時鐘照片



二、探討豆苗每日的生長情形及測量其生長速率

1. 剛長出的新葉既小且薄，製作玻片標本時，常因不易完整撕下表皮拓膜的困擾而失敗。在顯微鏡下觀察，發現氣孔密度高且細胞較小，很多尚未分化完整，但已有氣孔雛形。比較 8 天內氣孔的分化情形(圖 22.)，推論氣孔開始長出新葉後的前 3 天快速分化，至第 4 天幾乎完全分化。

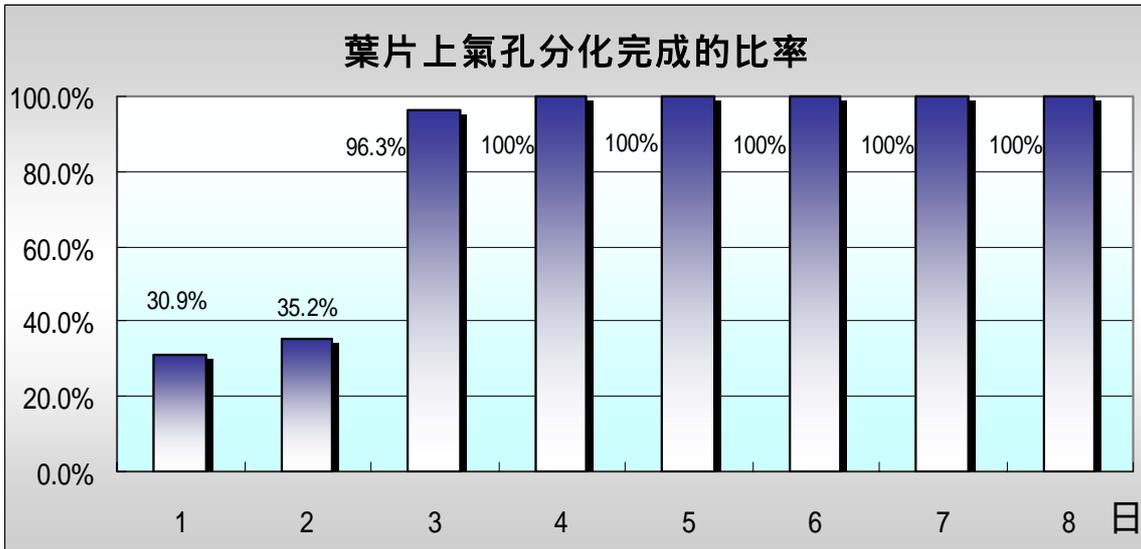


圖 22. 豆苗葉片上氣孔在開始長出新葉後 1~3 天快速分化，至第 4 天幾乎已完全分化

2. 豆苗長出葉子後第 3 天，氣孔及保衛細胞均變大，氣孔形狀由圓形轉變為狹長的半月形。
3. 從圖 23. 中推測，開始長出新葉第 1~8 天，氣孔開張受到氣溫因素的影響甚少，一般認為植物在 10~30 之間，氣孔均可正常運動。查閱文獻得知，植物在適溫下，氣孔的保衛細胞受水分的影響較大，當保衛細胞吸收水分使膨壓增大造成氣孔張開；膨壓一旦降低，氣孔隨即關閉。

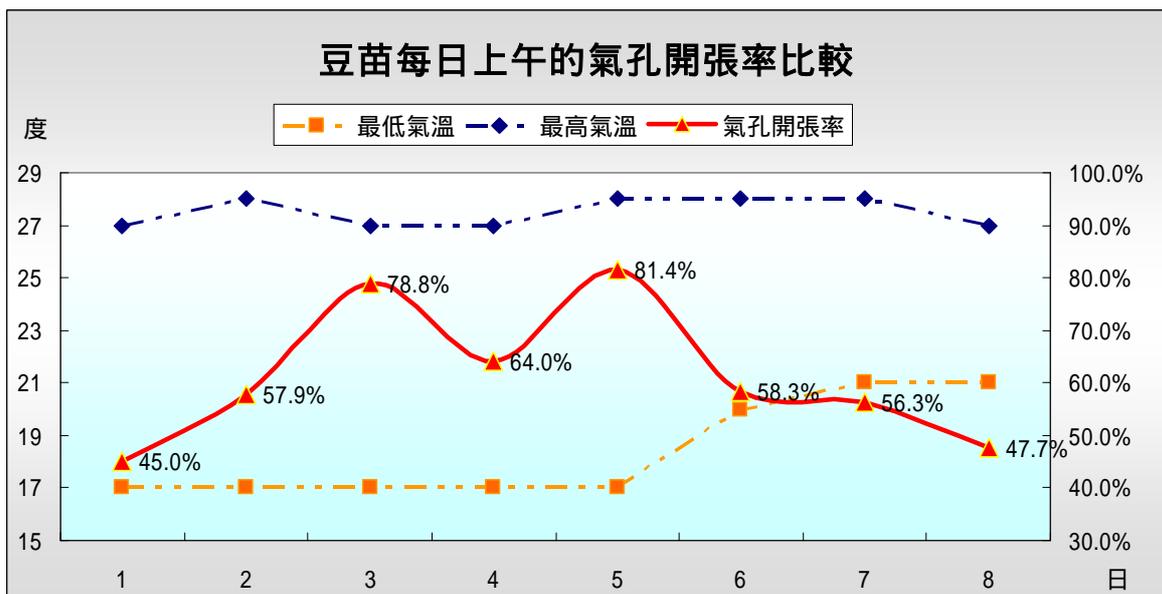


圖 23. 第 1~8 天，氣孔開張受氣溫的影響甚少，在 10~30 之間，氣孔均可正常運動。

4. 從圖 24.的趨勢推知，豆苗長出葉子後的第 1~8 天，子葉上軸成長速率比子葉下軸快。

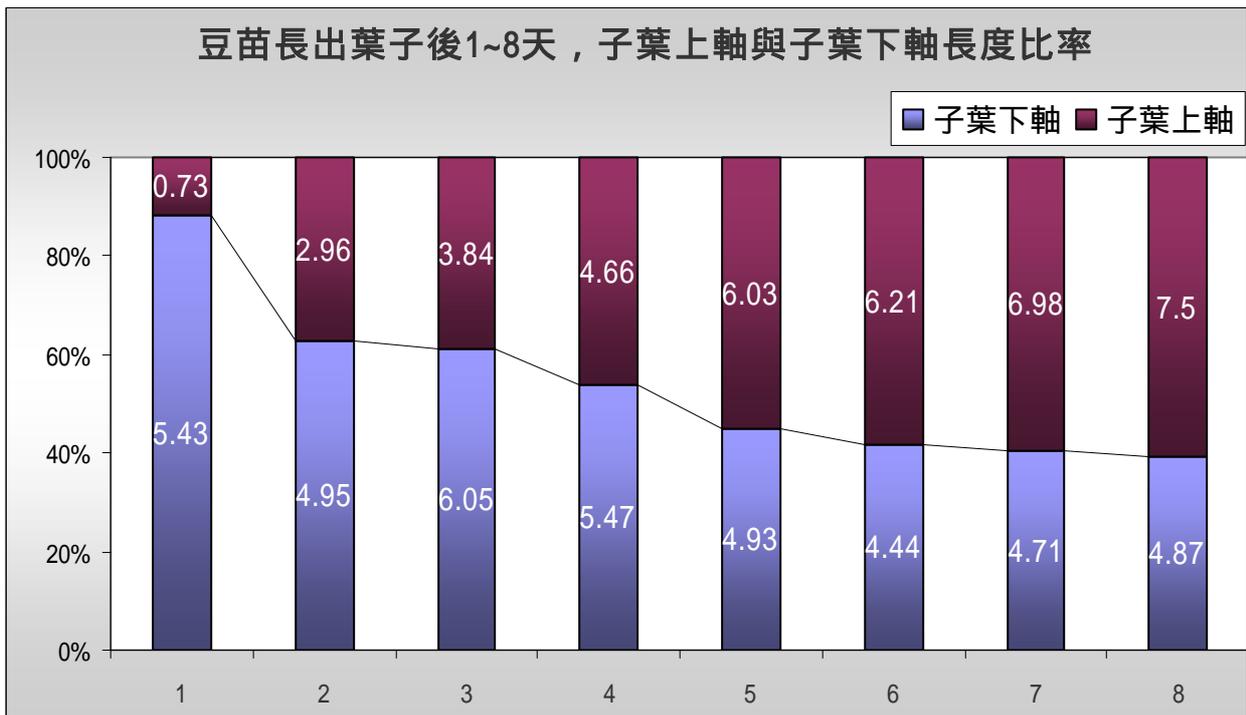


圖 24.豆苗開始長出葉子後的第 1~8 天，子葉上軸的成長速率比子葉下軸快很多

5. 從圖 25.推知，在 17~28 穩定的氣溫，豆苗開始長出子葉後的第 1~8 天，莖每日以 0.782cm 的高度呈線性趨勢成長；相對於葉，每日則以 0.4811cm 的線性趨勢成長。豆苗成長初期，莖的成長比葉快。

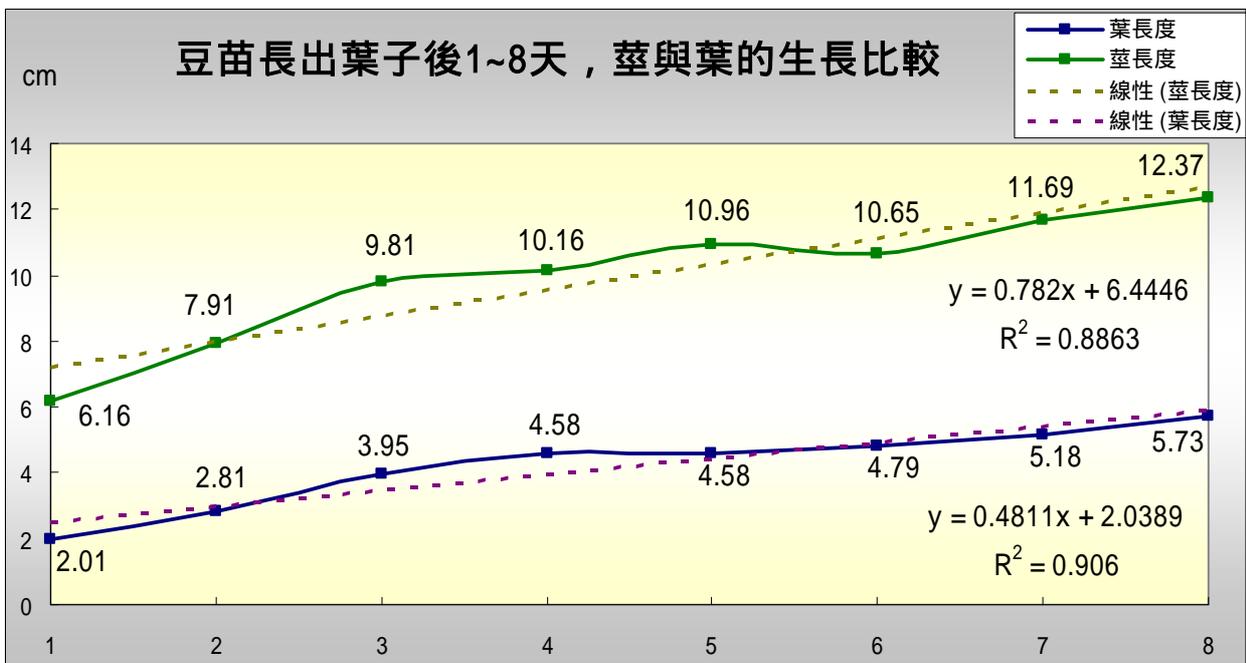
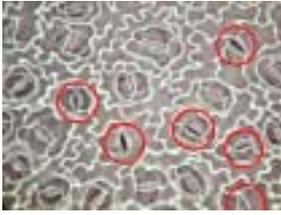
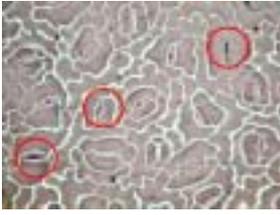


圖 25.在 17~28 穩定氣溫下，莖每日以 0.782cm 的高度呈現線性趨勢成長；相對於葉，每日則以 0.4811cm 的線性趨勢成長。

三、探討不同環境對豆苗生長的影響

1. 各花槽豆苗生長外形的觀察與比較，如表 2。

表 2.	A 花槽	B 花槽	C 花槽	D 花槽
風速大小	自然風	0	1.3m/sec	1.3m/sec
風吹時間	24hr	0hr	12hr	24hr
豆苗開始長葉子後第 6 天	各株生長良好，葉片脈絡明顯，摸起來較強壯堅挺	各株生長良好且生長速率較快，葉片較大，葉脈不明顯，摸起來較軟嫩	生長速率明顯減緩，生長方向最凌亂，莖往各方向歪斜，沒有固定方向	生長速率明顯減緩，葉片小且葉面皺縮，莖多順著風吹方向傾斜，摸起來乾燥
照片				
莖高度比較				
莖平均長	7.1 cm	9.8 cm	6.3 cm	6.9 cm
葉平均長	4.5cm	5.4cm	4.3cm	4.1cm
葉片氣孔(紅圈內氣孔張開)				
氣孔開張率	5%	28.6%	17.6%	4.8%

2. 比較 4 個花槽的豆苗外形(圖 26.)，以 B 槽豆苗的生長最快速，葉片大、薄且顏色較淡、脈絡不明顯、觸感柔嫩，莖長且柔軟，與植株徒長的現象相似。由此推測，在透明塑膠罩內生長的豆苗，與溫室栽培植物相似，塑膠罩內氣體對流差易造成花槽周圍溫度升高、濕度高、夜晚呼吸作用產生的二氧化碳不易擴散而濃度升高，使豆苗徒長。

3. 以手觸摸葉片，葉片的濕潤程度：B > A > C > D(最乾燥)

葉片平均大小：B > A > C > D

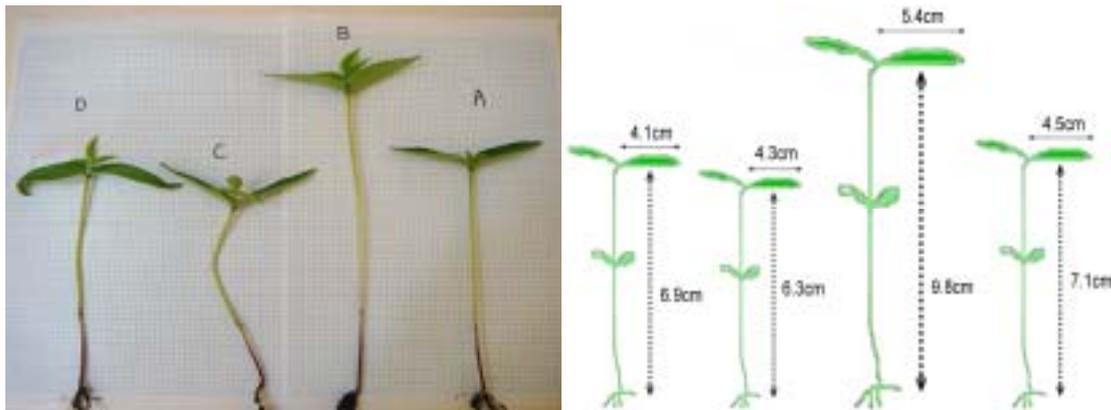
氣孔開啟率：B > C > A > D

各花槽內莖的平均長度：B > A > D > C

土壤的乾燥程度：D > C > A > B

4. C、D 槽豆苗受風吹的影響，使葉片蒸散作用增強，然而水分過度散失的結果，逼迫葉片氣孔必須關閉，進一步使葉綠體所需的二氧化碳缺乏，因此降低植物的光合作用率，影響植物生長。
5. 由以上實驗推論，豆苗的生長確實會受到外在環境所影響，例如在塑膠罩內、間歇性風吹與長時間風吹 等環境，均與正常情形下生長的豆苗不同。

圖 26. 豆苗長出葉子後第 6 天平均長度的比較



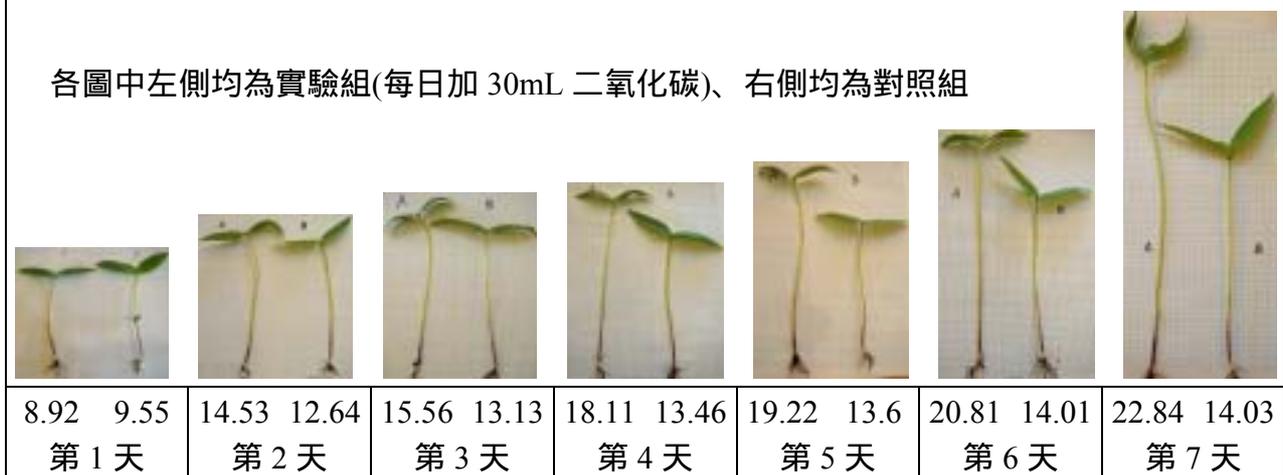
四、探討環境改變對豆苗生長的影響

1. 最初實驗，期望在壓克力箱內慢慢製造二氧化碳，於是將醋酸放入箱內，每日 10:00 倒入 0.5 克蛋殼粉 (圖 27)。1 天後，發現豆苗的葉片顏色開始變黑變暗，甚至萎凋。推測箱內的醋酸使空間呈現酸性水汽，造成葉片枯死。於是改用自製二氧化碳後再每日定時加入箱內。
2. 從圖 28 測量得知，每日在箱內加入二氧化碳的豆苗，莖的成長優於對照組。另外，箱內不加二氧化碳的豆苗，也有相同的結果。



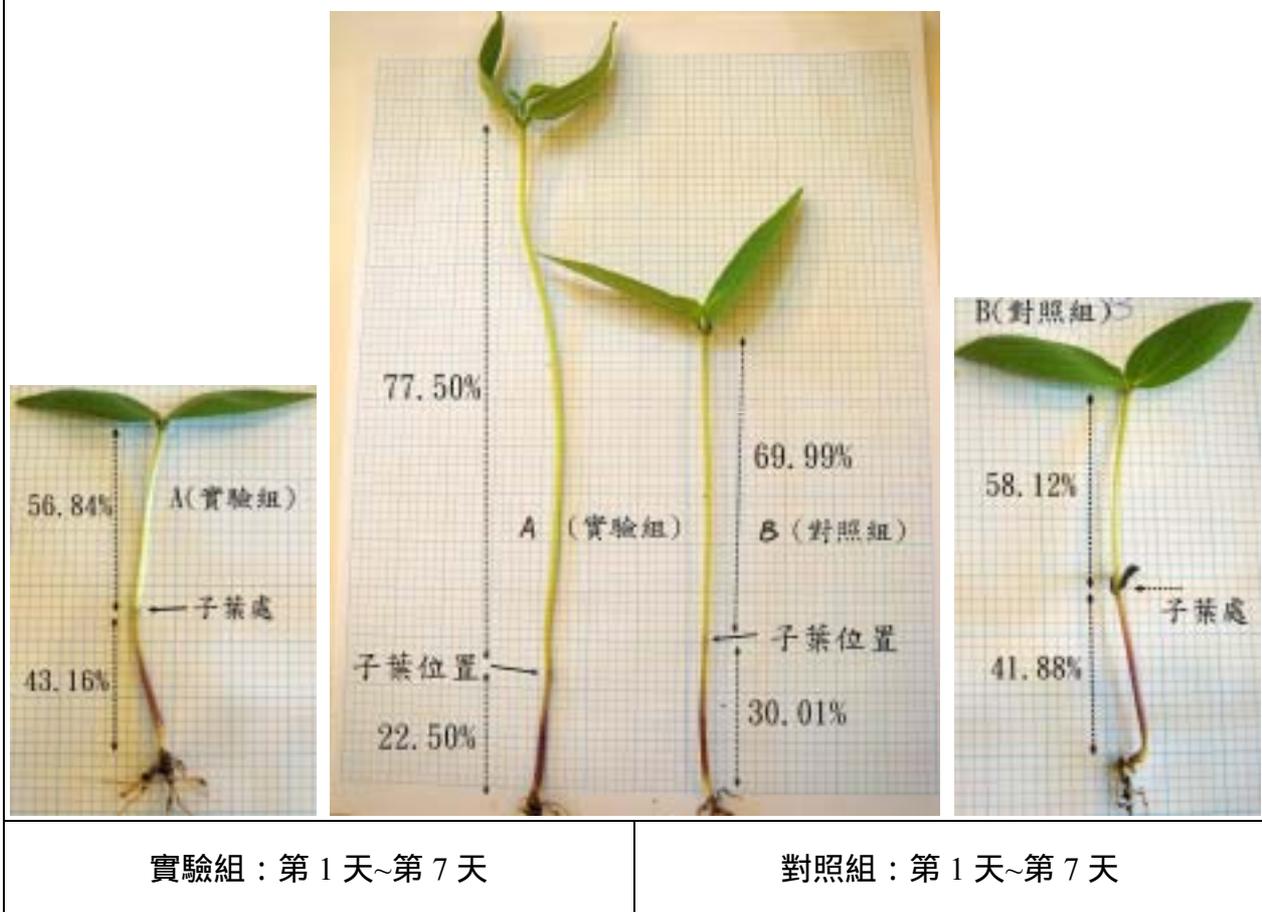
圖 28. (單位：公分)

各圖中左側均為實驗組(每日加 30mL 二氧化碳)、右側均為對照組



3. 仔細測量子葉上軸與子葉下軸的長度，發現在箱內的豆苗，子葉上軸成長非常快速，超越正常栽種的豆苗(圖 29.)。對水分充足的豆苗而言，光合作用的速率比二氧化碳的吸收更加重要。部份學者認為全球暖化將使全球熱量上升，使得農作物的播種範圍擴大，再加上空氣中二氧化碳濃度增高、水汽增加，有利於降水，所有這些因素，反而有利於農業發展。實驗過程中第 6 天起，箱內溫度高於箱外 4℃、第 7 天則高於箱外 5℃，濕度也居高不下。莖長度的快速生長有可能是高二氧化碳濃度、高濕度、高溫等因素同時存在所促進。

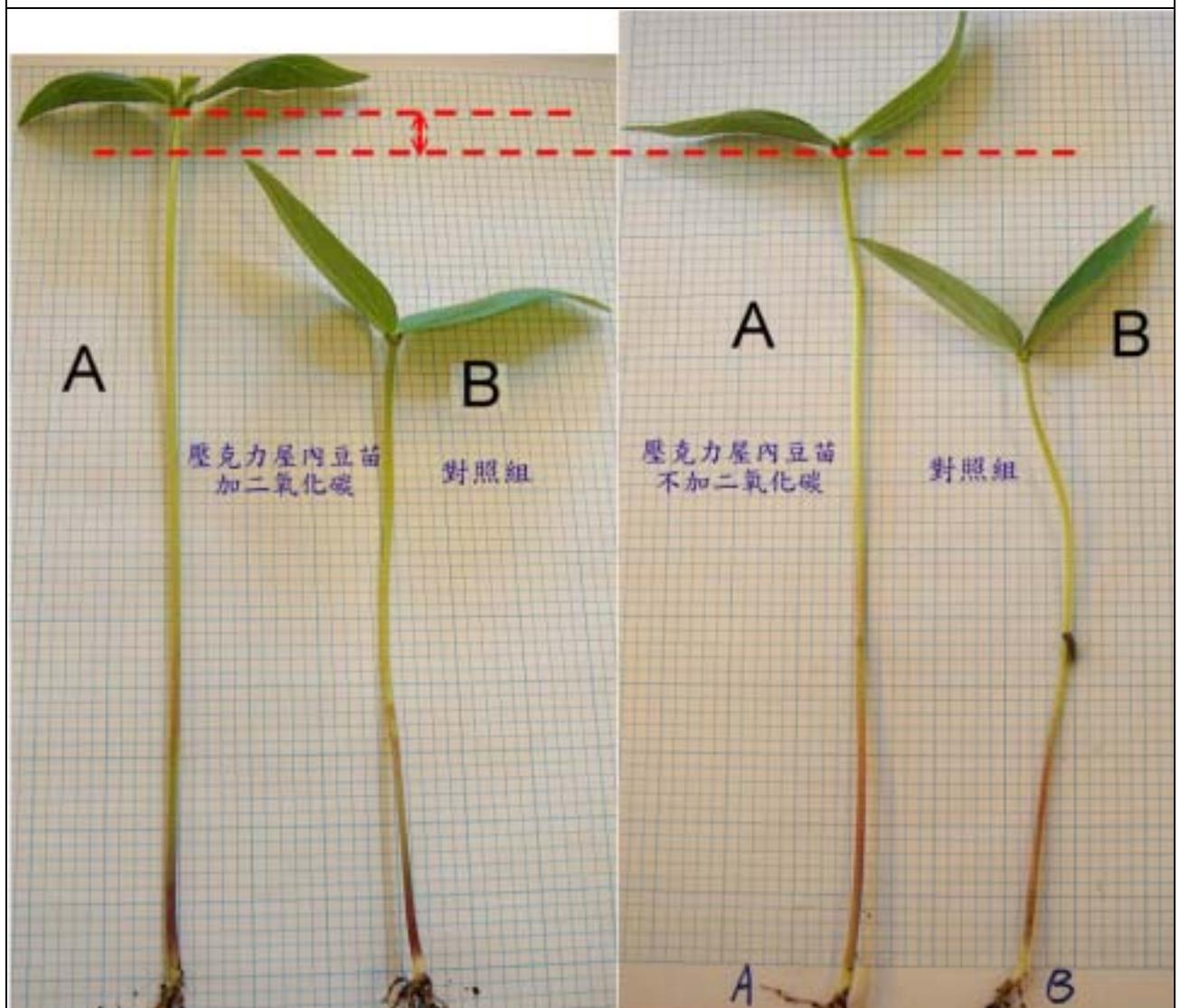
圖 29. 子葉上軸與子葉下軸比例的變化
箱內每日加入 30mL 二氧化碳，箱內豆苗的莖生長迅速



4. 比較壓克力箱內外豆苗的三種狀況(表 3.)，以箱內不加入二氧化碳的豆苗，生長情形最符合文獻中的徒長現象，葉片長度比正常生長的葉片大，應與箱內高濕度有關(圖 30.)。

表 3. 壓克力箱內豆苗生長的比較			
比較項目	每日加入 30mL 二氧化碳	不加入二氧化碳	對照組
濕度	75%~95%	75%~95%	50%
豆苗的莖平均長度	最長		最短
豆苗的葉平均長度	最短	最長	
葉片形狀	捲曲、小、薄、柔軟	捲曲、大、薄、柔軟	平整
葉片顏色	較深	較淺	
葉片氣孔開張率		最高	最低
葉片氣孔形狀	圓形	圓形	狹長
保衛細胞的膨壓	比對照組大	比對照組大	
葉片上有否泌液	有	有	無

圖 30. 壓克力箱內外植株比較



壓克力箱內的豆苗(加二氧化碳)

與對照組：莖長度最長、葉片較小且捲曲、
葉的顏色較深，葉片上有泌液

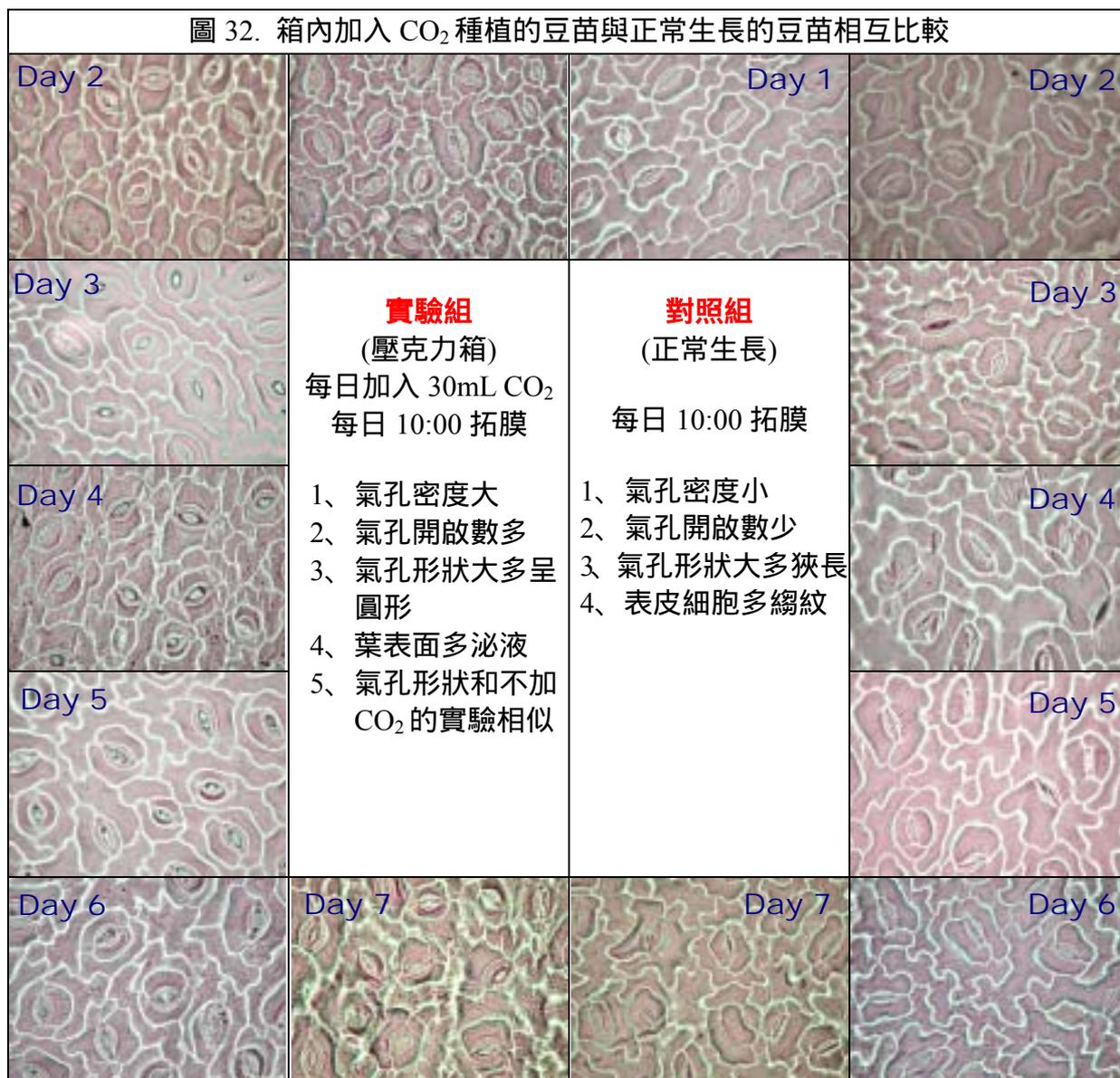
壓克力箱內的豆苗(不加二氧化碳)

與對照組：莖長度次長、葉片較大且捲曲、
葉的顏色較淺、葉脈不明顯，葉片
上有泌液，與徒長現象相似

5. 除了莖以外，葉也有微妙的差異(圖 31.)。豆苗在箱內的時間愈久，葉片捲曲的數量也愈多。與正常栽培豆苗比較，箱內不論是否加入二氧化碳，豆苗的葉都比正常葉片薄且柔軟。但是，豆苗在含有大量二氧化碳中生長，葉片比正常葉片小(長度約為正常葉片的 90%)，而且葉片顏色比正常葉片深，這二個現象較不符合徒長的特徵。

圖 31. 標示 A 為實驗組、B 為對照組		
壓克力箱內加入二氧化碳的豆苗葉片捲曲、薄且柔軟、顏色較深		
第 5 天	第 6 天	第 7 天
 <p>葉的長度比=0.90 : 1</p>	 <p>葉的長度比=0.91 : 1</p>	 <p>葉的長度比=0.88 : 1</p>
壓克力箱內不加入二氧化碳的豆苗葉片捲曲、薄且柔軟		
 <p>葉的長度比=1.03 : 1</p>	 <p>葉的長度比=1.15 : 1</p>	 <p>葉的長度比=1.14 : 1</p>

6. 箱內加入二氧化碳種植的豆苗與正常生長的豆苗相互比較，從圖 32.中可看出實驗組的豆苗葉片氣孔密度高、開張率大、形狀大都呈圓形。此實驗結果與壓克力箱內不加入二氧化碳的豆苗生長實驗結果相似，唯氣孔開放率略大於前者。曾有文獻提到高濃度二氧化碳反而會使氣孔關閉，是否因而使葉片生長速率比不加二氧化碳的豆苗慢，有待進一步證實。



7. 從圖 33. 可看出，兩組在第 1~3 天的氣孔開張率相距不大，自第 4 天開始，二者的氣孔開張率差距愈來愈大，進而增加實驗組豆苗的生長速率。實驗結果發現溫室中的二氧化碳與水汽均能使植物加快生長速率。

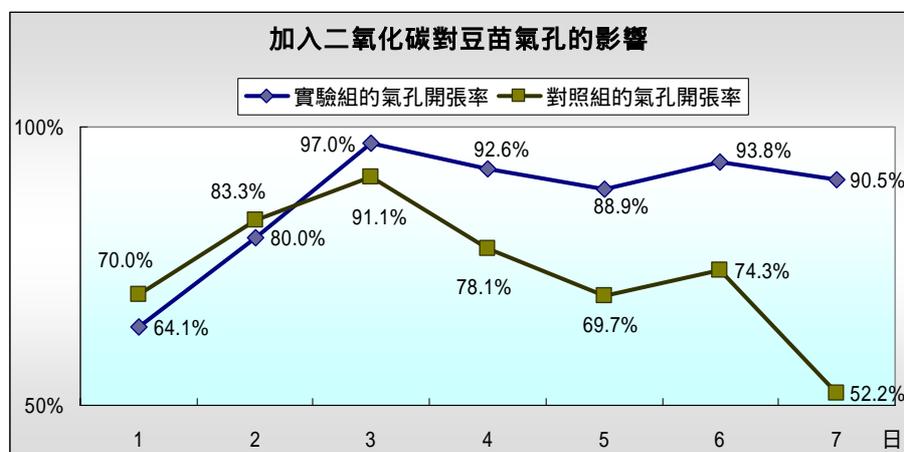


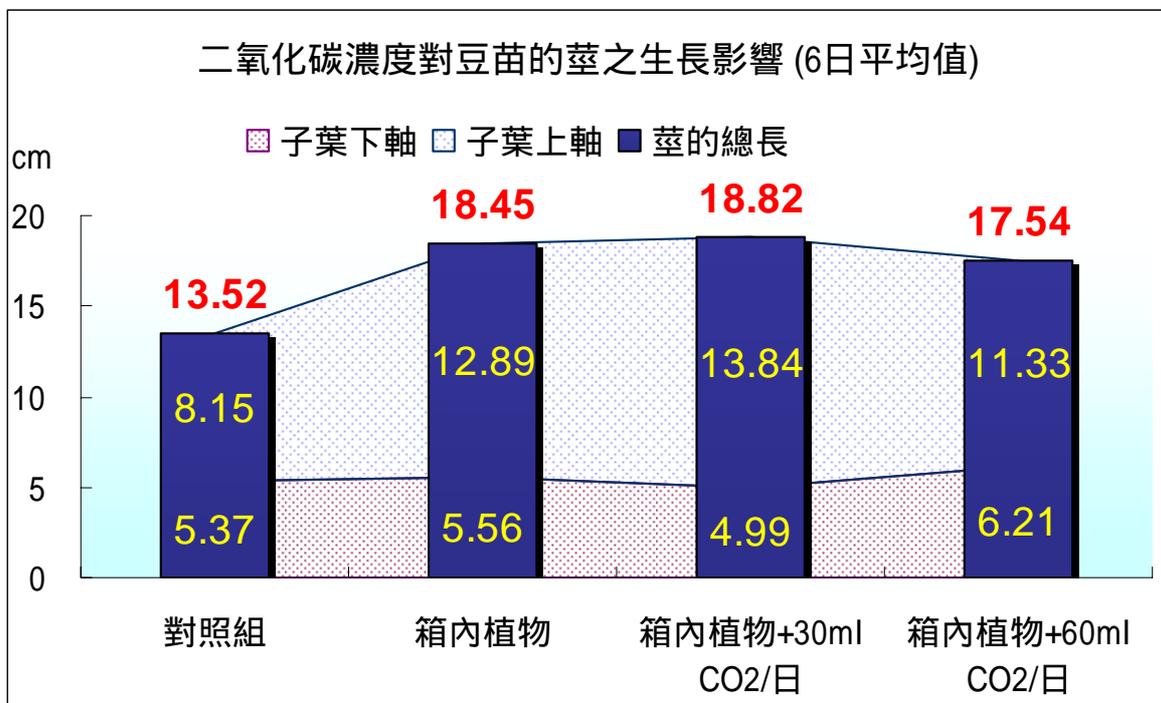
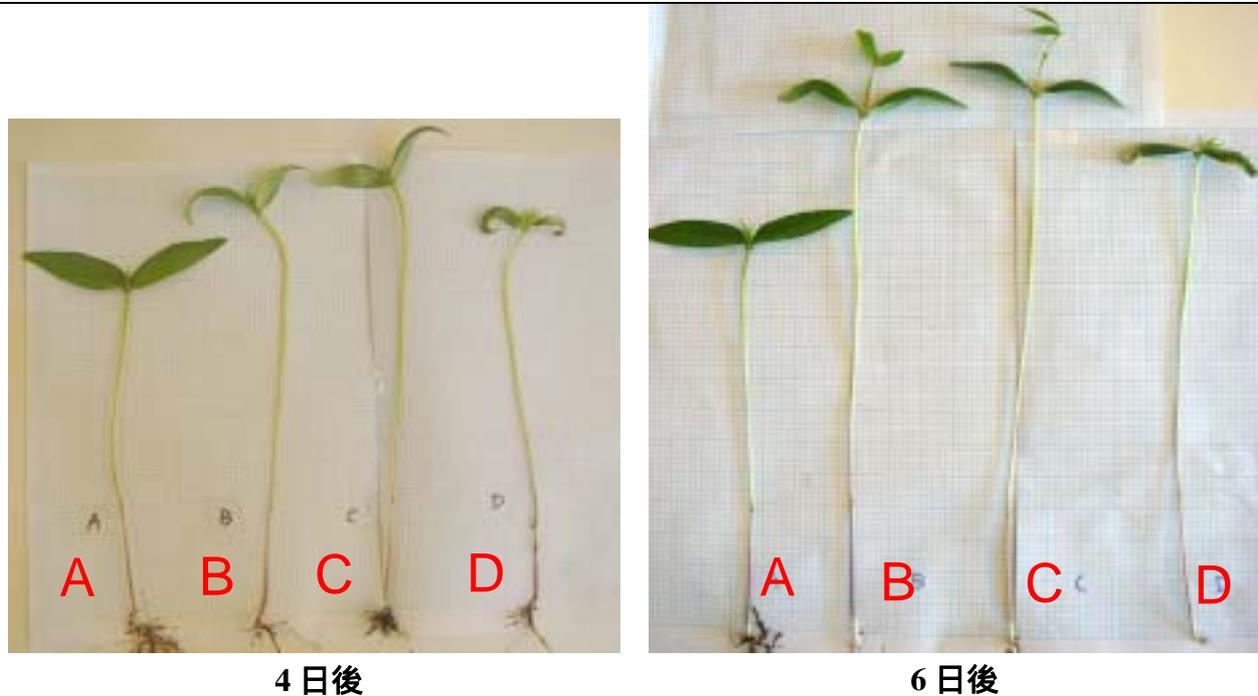
圖 33. 加入二氧化碳能使植物增加氣孔開張率，進而增加豆苗的生長速率

五、探討二氧化碳濃度對豆苗生長的影響

1. 從圖 34.推知，箱內成長的豆苗，其莖的生長速率均比對照組快，經過 6 天的栽培，以 C 花槽(加 30mL CO₂/日)的生長長度最大。



2. 同樣的實驗重覆 3 次，得到的結果都相似：在箱內加入 30mL 二氧化碳/日的豆苗，莖的生長最快，而加 60mL 二氧化碳/日的豆苗反而生長遲緩(圖 35)。根據國內學者專家研究，若大氣中二氧化碳濃度增加 1 倍，會對黃瓜、稻米等作物的生長造成影響。因此，二氧化碳雖為光合作用的必須物質，但濃度過高反而會使植物生長減緩，在實驗中可觀察到此現象。另外，二氧化碳除了影響莖的生長，也改變子葉上下軸的比例。



比例	對照組	箱內植物	箱內+30ml CO ₂ /日	箱內+60ml CO ₂ /日
子葉上軸	60.3%	69.9%	73.5%	64.6%
子葉下軸	39.7%	30.1%	26.5%	35.4%

圖 35. 二氧化碳濃度對豆苗的莖生長影響，以加 30mL 二氧化碳/日的豆苗生長最快

3. 在不同環境下，6日平均生長長度比較，二氧化碳濃度愈高，葉的生長速度愈慢，葉片愈易綳縮捲曲；二氧化碳濃度過高使葉片枯萎(圖 36)。

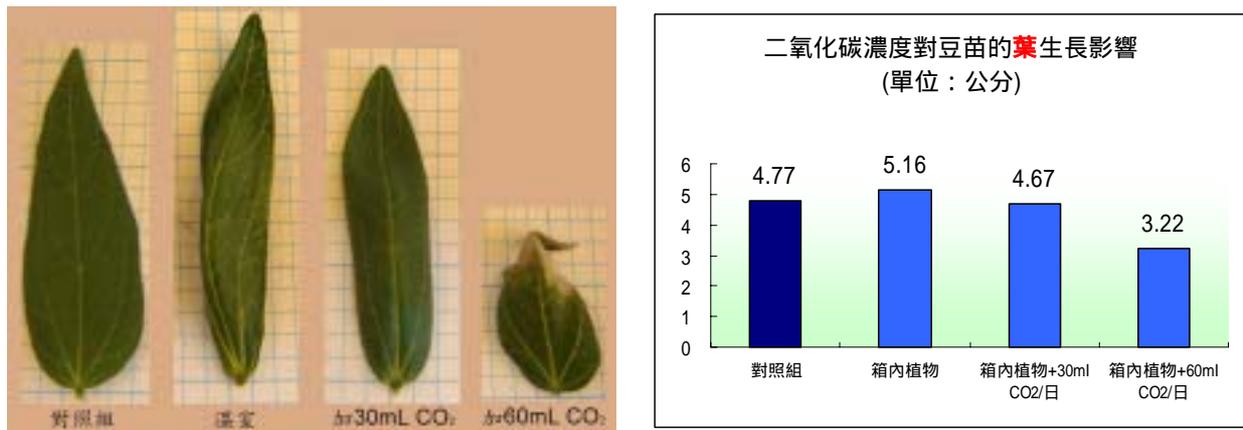
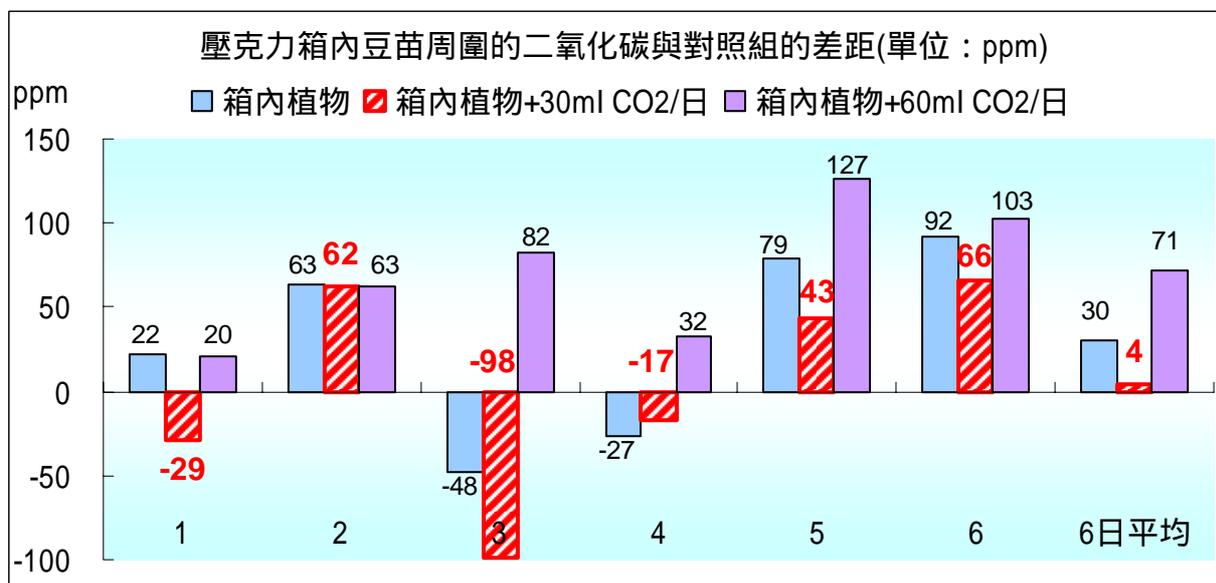


圖 36. 豆苗的葉子在不同環境下，6日內的平均生長長度比較，二氧化碳的濃度愈高，葉子的生長速度愈慢，而且葉片愈易綳縮捲曲；過高濃度的二氧化碳甚至使葉片枯萎

4. 實驗過程中，從豆苗附近抽取 50mL 氣體充分與 NaOH 溶液混合後，將未反應完的 NaOH 與 HCl 滴定，依 $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 估算箱內 50mL 氣體中含有的二氧化碳濃度(圖 37)。C 組豆苗周圍剩餘的二氧化碳與對照組相差不多，推測 C 組透過光合作用把二氧化碳轉化成葉、莖等生物質料(biomass)，是二氧化碳的再利用機制之一，使莖生長最快。



組別	名稱	1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	6日平均值
A	對照組	229	192	201	222	127	125	183 ppm
B	箱內植物	251	255	153	195	206	217	213 ppm
C	箱內植物+30mL CO ₂ /日	200	254	102	205	170	191	187 ppm
D	箱內植物+60mL CO ₂ /日	250	255	283	254	254	228	254 ppm

圖 37. 加 30mL CO₂/日豆苗周圍剩餘的 CO₂ 與對照組相差不多，推測 C 組透過光合作用把 CO₂ 轉化成葉、莖等生物質料，使得莖生長最快

5. 人類大量使用化石燃料增加溫室氣體，造成全球暖化、氣溫上升。自 1975 年至今，大氣中二氧化碳濃度增加了 30%(圖 38.)。近年來，全球暖化的議題已成為世界關注的焦點，各國紛紛簽訂「京都議定書」來努力降低二氧化碳的產生。本研究中發現較大濃度二氧化碳雖可增加植物生長，但是濃度過高反使植物生長遲滯，若不加以控管大氣二氧化碳的產出量，未來則將因溫度上升導致降雨減少，使農作物減產。希望本研究內容能喚起大家重視全球暖化的危機。

年代	工業革命前 (1750 年)	2004 年	今日 2007 年	國際公約 建議值	未管控下， 至 2100 年
空氣中的 CO ₂ 濃度	280 ppm	370 ppm	373 ppm	450 ppm	490~1200 ppm

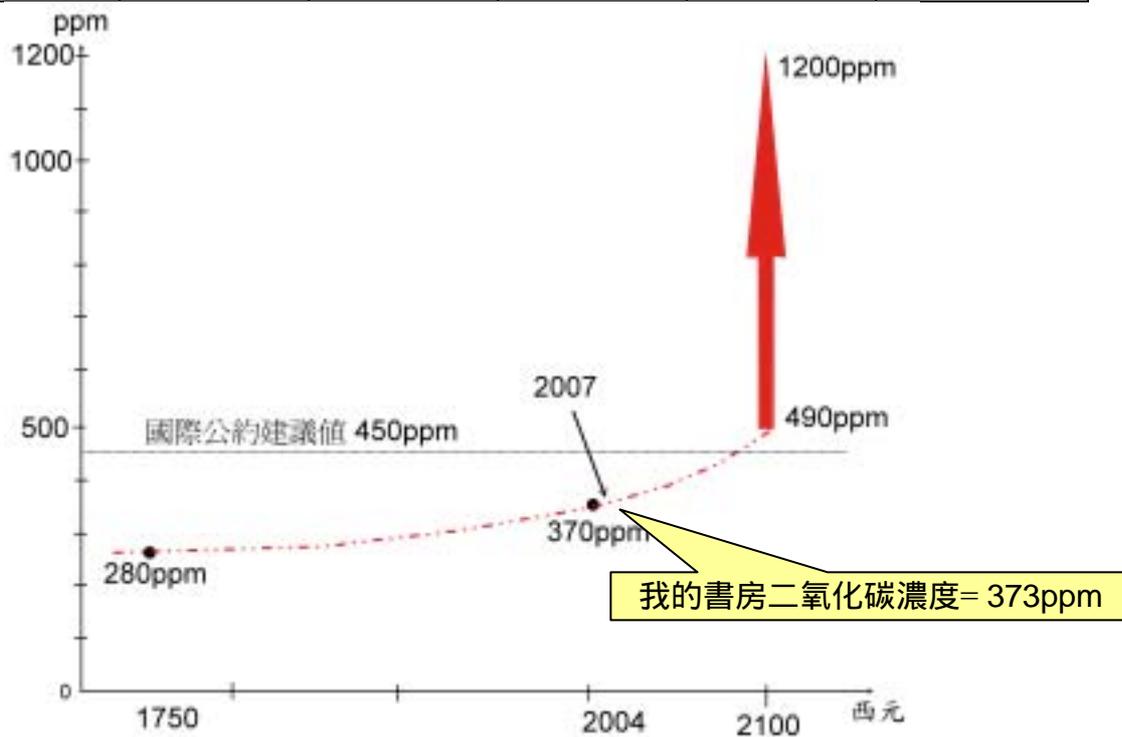


圖 38. 歷年來大氣中二氧化碳濃度的趨勢圖

陸、結論：

- 一、綠豆苗在子葉成長初期(第 1~2 天)，莖的成長速率大於葉的成長。
- 二、經過 48 小時的觀察與記錄，發現豆苗葉片上的氣孔有規律性的開啟與閉合，以進行氣體交換。歸納其氣孔的生理時鐘為：8:00~10:00 達到最大的開張率；13:00~15:00 氣孔關閉以避免水分的過度蒸散；傍晚再度逐漸張開進行另一次的氣體交換。
- 三、測量豆苗開始長出新葉後第 1~3 天，葉片上的氣孔尚未完全分化完成，至第 4 天才分化完成。在此期間，子葉上軸(epicotyl)的成長速率大於子葉下軸(hypcotyl)。
- 四、在 17~28 的穩定氣溫下，豆苗的莖每日以 0.782cm 成長；葉則以每日 0.4811cm 成長。
- 五、豆苗在不同環境中的生長快慢也不同，在溫室中的豆苗生長速率最快，因環境中高濕度使葉片氣孔持續張開進行氣體交換；長時間受風吹的豆苗生長最遲緩，可能是由於氣孔為了避免水分蒸散而減少開啟時間。
- 六、溫室中加入二氧化碳的實驗，發現莖生長快速、葉片形狀窄短且捲曲、氣孔密度較正常生長大且開張率高；溫室中不加入二氧化碳，莖生長快速、葉片形狀較大且捲曲、氣孔密度較正常生長大，開張率高，生長情形與徒長的現象最相似。
- 七、箱內加 30mL 二氧化碳/日之豆苗周圍剩餘的二氧化碳與對照組相差不多，推測箱內豆苗透過光合作用把二氧化碳轉化成葉、莖等生物質料，因此莖生長最快；而加入 60mL 二氧化碳/日之豆苗生長卻減緩。推論二氧化碳雖為光合作用的必須物質，濃度過高卻會適得其反。
- 八、減少溫室氣體的排放，實為當務之急，期待全民共同努力，使地球不致繼續暖化而威脅到人類的生活與安全。

柒、參考資料：

- 一、柯勇編著 植物生理學 藝軒圖書出版社
- 二、高景輝編著 植物荷爾蒙生理 華香園出版社
- 三、葉之生長之生理 443~448 高景輝著 植物生長與分化 國立編譯館主編 茂昌圖書有限公司發行
- 四、植物體內物質的運輸 翰林版 自然與生活科技 第一冊 第四章 第一節
- 五、行為與感應 第一冊 第五章 第四節 翰林版 自然與生活科技
- 六、二氧化碳專題報導 科學發展，413 期，p4~39
- 七、氣孔和保衛細胞 http://content.edu.tw/junior/bio/tc_wc/textbook/ch04/supply4-2-0.htm
- 八、氣孔—進與出的矛盾 三思科學電子雜誌 20030117
<http://www.oursci.org/magazine/200301/030106.htm>
- 九、氣孔的大小及分布之研究 <http://sujudy.1001.com.tw/judy/judy/science/22-1.htm>
- 十、植物界，國中線上生物教室 東吳大學微生物系。
<http://vschool.scu.edu.tw/happy1/project1/course/chapter4/section5.htm>
- 十一、植物的葉子，苗栗縣頭箱國小。 <http://www2.touwues.mlc.edu.tw/seed/web3/2-3.html>
- 十二、溫室效應的是與非 <http://www.oursci.org/magazine/200301/030129.htm>
- 十三、中國大百科智慧藏 <http://163.24.155.45/newlib/cpedia/Content.asp?ID=20190>
- 十四、氣孔，維基百科。 <http://zh.wikipedia.org/wiki>
- 十五、生物學教學，牛明功(200502)，氣孔開關的時間調控。
<http://scholar.ilib.cn/Abstract.aspx?A=swxjx200502003>
- 十六、生態台灣季刊第八期(20050724)，碳排放減量與京都議定書
<http://ecology.org.tw/publication/kyoto2.htm>

【評語】

031719 環境對小豆苗生長的影響

研究主題富創意。勇於嘗試試驗工作，但研究方法仍待加強，且對於結果的解釋能力亦需加強。