

植物之窗—氣孔 (氣孔啓閉變因之探討)

高中組生物科第二名

台灣省立豐原高級中學

作 者：陳美光、呂明芬

王關成、陳鴻照

指導教師：梁光裕、林文瑞

一、研究動機

在高中生物第一冊中，我們發覺課本所述有關氣孔啓閉作用之變因部分，僅僅是寥寥數語帶過，並無更詳細之介紹。我們反覆找尋了許多資料，但又發現資料之間有些疑點，更引起我們研究的興趣，因此我們設計了此一實驗，以茲解答心中的疑惑，並求更明確的知識。

二、研究目的

擬探討 CO_2 濃度、pH 值、鉀離子、滲透壓、葡萄糖濃度與 ATP 等對氣孔啓閉之影響，又因乙醯膽鹼可影響細胞膜而傳導神經衝動，是以也一併探討其對氣孔啓閉之作用，希望能進一步了解氣孔啓閉原理與影響因子之作用。

三、研究設備器材

儀器：顯微鏡、暗室、測微儀、標本瓶、廣口瓶、燒杯、錐形瓶、量筒、天平。

藥品：ATP 試劑、蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)、乙醯膽鹼試劑、葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)、氫氧化鈉 (NaOH)、塩酸 (HCl)、氯化鉀 (KCl)、蒸餾水、凡士林、廣用試紙、大理石。

四、研究過程

(一)研究前準備：

- 等張溶液之尋求——0.17M 蔗糖溶液。

2. 顯微測微儀之校正：

900 倍 目鏡測微器每格 2μ

$$\frac{0.01\text{ mm}}{5} = 0.002\text{ mm} = 2\mu$$

3. 萬年青從暗室中移到光下，平均約 25 ~ 50 秒氣孔打開。

(二) CO_2 研究步驟：

1. 剪下六株健康的萬年青，置於裝水之錐形瓶中，備用。

2. 準備六個標本瓶（9升），將上述六瓶分別置入標本瓶，另取六個廣口瓶，一瓶裝入氫氧化鈉，其餘五瓶則是空瓶，分別置入六標本瓶中，貼上標籤，以資識別。

3. 見圖：

情 形 編 號	一	二	三	四	五	六
通 (置) 入 物	氯 氧 化 鈉	通 入 空 氣	通 入 1.8ℓ	通 入 4.5ℓ	通 入 6.3ℓ	通 入 9ℓ
CO_2 含量	0 %	0.03 %	20 %	50 %	70 %	100 %

並於罩緣塗抹凡士林密封之，且置於燈下約一小時。

4. 分別取出一小片萬年青之下表皮，置於顯微鏡下觀察其氣孔啓閉情形並記錄之。

(三) pH 值研究步驟：

1. 用 HCl 和 NaOH 分別調製出 pH 值為 1、3、5、7、9、11、13 之溶液，分別傾入燒杯中，並貼上標籤，以資識別。

2. 撕下數片萬年青之下表皮，分置於各燒杯的溶液中，靜待十分鐘，取出觀察，記錄結果並繪製曲線圖。

(四) 鉀離子 (K^+) 濃度之研究步驟：

1. 調製 300 毫升之等張溶液，另調製 0.1M 、 0.3M 、 0.5M 、

0.7M、0.9M及1M之KCl溶液各50毫升。

2. 分取50毫升等張溶液於六個燒杯中，再各倒入不同濃度的KCl溶液，並貼上標籤以資識別。
3. 撕下萬年青之下表皮數片，分置於各燒杯中，靜置二十分鐘後，取出分別觀察其氣孔啓閉情形，並記錄其大小。
4. 將上列置有0.9M溶液燒杯中的溶液均分為二，各加入4毫升ATP試劑，並另外撕取數小片萬年青之下表皮，分別置入二溶液中，並將一燒杯置入暗箱中，另一燒杯則置於光下(20°C)，靜置一小時。
5. 各提取一片下表皮，置於顯微鏡下，分別觀察其氣孔啓閉情形，並記錄其大小。

(五)葡萄糖($C_6H_{12}O_6$)研究步驟：

1. 調配0.1M、0.3M、0.5M、0.7M、0.9M及1M之葡萄糖溶液，分置於燒杯中，並貼上標籤，以資識別。
2. 撕取萬年青之下表皮，分別浸入各燒杯的溶液中約十分鐘後，取出觀察氣孔啓閉情形並記錄之。

(六)乙醯膽鹼研究步驟：

1. 取七個100毫升的燒杯，分別注入50毫升的等張溶液，並於第二杯加入4毫升的乙醯膽鹼，第三杯加入0.9M的 K^+ ，第四杯加入4毫升的ATP溶液，第五杯加入0.9M的 K^+ 和4毫升乙醯膽鹼，第六杯加入0.9M的 K^+ 和4毫升ATP溶液，第七杯加入4毫升乙醯膽鹼和ATP溶液及0.9M的 K^+ ，並各貼上標籤以資識別。
2. 撕取數片萬年青下表皮，分別置入各燒杯的溶液中，十分鐘後，取出觀察其氣孔啓閉情形，記錄之。

(七)滲透壓研究步驟：

1. 調製0.1M、0.3M、0.5M、0.7M、0.9M及1M之蔗糖水溶液，分置於燒杯。
2. 撕取萬年青下表皮，分置於各溶液與蒸餾水中，靜待十分鐘後，取出觀察其氣孔啓閉情形，記錄之。

五、實驗結果

(+)CO₂ :

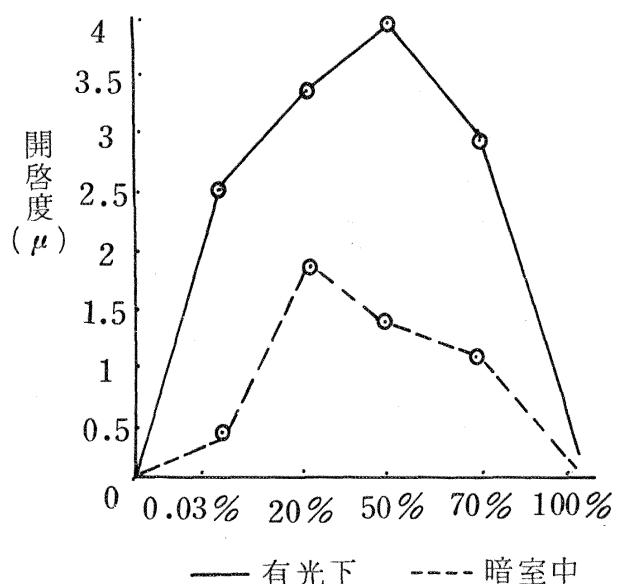
1. 有光下：

CO ₂ 濃度	次 開 啟 數								平 均 值
	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	7 次	8 次	
0 %	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ	0 μ
0.03 %	2.3 μ	3.0 μ	2.2 μ	2.7 μ	2.4 μ	2.6 μ	2.3 μ	2.5 μ	2.5 μ
20 %	3.0 μ	3.2 μ	4.0 μ	3.5 μ	3.0 μ	3.2 μ	3.8 μ	3.5 μ	3.4 μ
50 %	4.5 μ	4.2 μ	3.5 μ	3.7 μ	4.0 μ	3.2 μ	4.1 μ	4.0 μ	3.9 μ
70 %	2.5 μ	2.7 μ	2.8 μ	3.4 μ	3.0 μ	3.5 μ	2.5 μ	2.7 μ	2.9 μ
100 %	0.3 μ	0.2 μ	0 μ	0.1 μ	0.2 μ	0.1 μ	0 μ	0.3 μ	0.15 μ

2. 暗室中：

CO ₂ 濃度	次 數								平均 值
	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	7 次	8 次	
0 %	0 μ								
0.03 %	0.6 μ	0.4 μ	0.2 μ	0.8 μ	0.4 μ	0.6 μ	0.2 μ	0.4 μ	0.45 μ
20 %	1.8 μ	2.0 μ	1.8 μ	1.4 μ	2.4 μ	2.0 μ	1.8 μ	1.6 μ	1.85 μ
50 %	1.2 μ	1.6 μ	1.4 μ	1.8 μ	1.0 μ	1.2 μ	1.6 μ	1.8 μ	1.45 μ
70 %	1.0 μ	0.8 μ	1.2 μ	1.0 μ	1.4 μ	1.2 μ	1.0 μ	0.8 μ	1.05 μ
100 %	0.2 μ	0 μ	0 μ	0.1 μ	0.1 μ	0 μ	0 μ	0.2 μ	0.075 μ

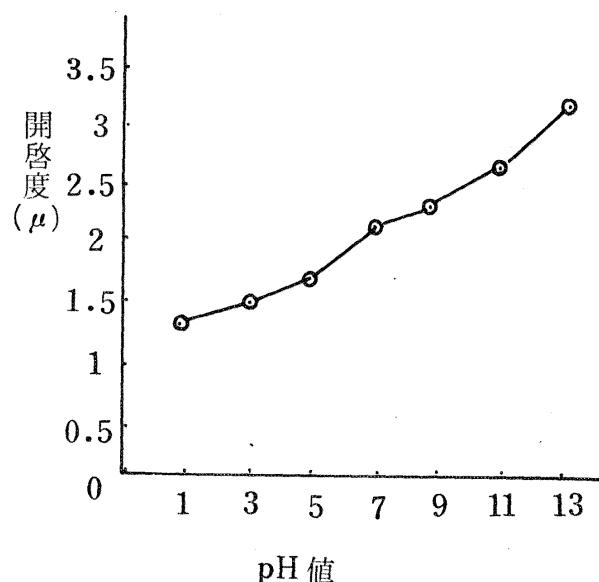
3. CO₂ 曲線圖：



(二) pH 值：

pH 開 啟 度 值 次 數	1	3	5	7	9	11	13
1	1.4 μ	1.4 μ	1.6 μ	2.2 μ	2.4 μ	3 μ	3.2 μ
2	1 μ	1.5 μ	1.7 μ	2 μ	2.2 μ	2.5 μ	3.5 μ
3	1.4 μ	1.6 μ	1.9 μ	2.1 μ	2.4 μ	2.8 μ	3.0 μ
平均 值	1.3 μ	1.5 μ	1.7 μ	2.1 μ	2.3 μ	2.7 μ	3.2 μ

pH 值曲線圖：



(三) 鉀離子 (K^+) :

1. K^+ (於等張溶液中)

次 數 \\ 位 置	暗 箱 中	燈 光 下
1	1.6 μ	2.2 μ
2	2 μ	2 μ
3	1.4 μ	2 μ
4	1.2 μ	1.8 μ
5	1.8 μ	1.6 μ
6	1.5 μ	2.4 μ
7	0.8 μ	2 μ
平均 值	1.47 μ	2 μ
有無氣體產生	無	有

2. $K^+ + ATP$ (於等張溶液中)

次 數 \\ 位 置	暗 箱 中	燈 光 下
1	2.4 μ	4.3 μ
2	1.8 μ	6.2 μ
3	1.8 μ	4.5 μ
平均 值	2 μ	5 μ
有無氣體產生	無	有

(四)葡萄糖(C₆H₁₂O₆)

濃度 開啓度 次數	0.1 M	0.3 M	0.5 M	0.7 M	0.9 M	1 M
1	0.9 μ	0.5 μ	0.6 μ	1.0 μ	0.9 μ	1.2 μ
2	0.3 μ	1 μ	0.8 μ	1.0 μ	0.9 μ	1.1 μ
平均值	0.6 μ	0.75 μ	0.7 μ	1.0 μ	0.9 μ	1.15 μ

(五)乙醯胆鹼：

1. 光照下：

情況 開啓度 次數 (μ)	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
等張液液	1	1.4	1.6	1.5	1.8	2	1.6	1.4	1.5
等張溶液+乙醯胆鹼	2.2	1.4	1.6	2.0	1.8	1.6	1.6	1.4	1.7
等張溶液+K ⁺	2.2	2	2	1.8	1.6	2.4	2	2	2
等張溶液+ATP	1.4	1.6	2	2	2.2	2	1.6	1.8	1.8
等張溶液+K ⁺ +乙醯胆鹼	4.2	3.0	3.2	3.8	3.8	3.6	3.4	3.0	3.5
等張溶液+K ⁺ +ATP	4.2	4.1	3.6	3.4	4	3.8	3.8	3.6	3.8
等張溶液+K ⁺ +ATP+乙醯胆鹼	5.6	5.0	6.2	6	4.8	5.4	5.2	5.2	5.4

2. 暗室中：

情 況 次 數 開 啓 度 (μ)									平 均
	1	2	3	4	5	6	7	8	
等 張 溶 液	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K^+	1.4	1	2.4	1.5	1	1.3	1.2	2	1.5
$K^+ + \text{乙 鹽 胆 鹼}$	2	2.4	2.4	2.8	2	2.5	2.6	2.5	2.4

(六) 渗透壓：

1. 結果：

濃 度 次 數	1	2	3	平均 值
0.1 M	2 μ	2 μ	2.2 μ	2.1 μ
0.3 M	1.8 μ	2 μ	1.3 μ	1.7 μ
0.5 M	1.7 μ	1.5 μ	1.5 μ	1.6 μ
0.7 M	1.0 μ	1.6 μ	1.6 μ	1.4 μ
0.9 M	0.8 μ	1.2 μ	1.6 μ	1.2 μ
1 M	0.3 μ	0.4 μ	0.8 μ	0.5 μ

2. 滲透壓曲線圖

六、討 論

(一) CO_2 :

1. 有光下：此實驗結果顯示在燈光下，在正常空氣下氣孔有開啓的情況，在無 CO_2

之情況下，即使有日光氣孔也不會啓開，此實驗證明 CO_2 對氣孔啓閉作用有顯著作用，又由數據得知 CO_2 的濃度，如果太大氣孔反而會閉起來，由此可知氣孔開啓對 CO_2 之需求量並不是隨濃度增加而增大，而是在某一濃度範圍內（0.03~50%）中，可促進氣孔開啓，如果再增加 CO_2 之濃度反而會產生抑制作用而使之關閉。

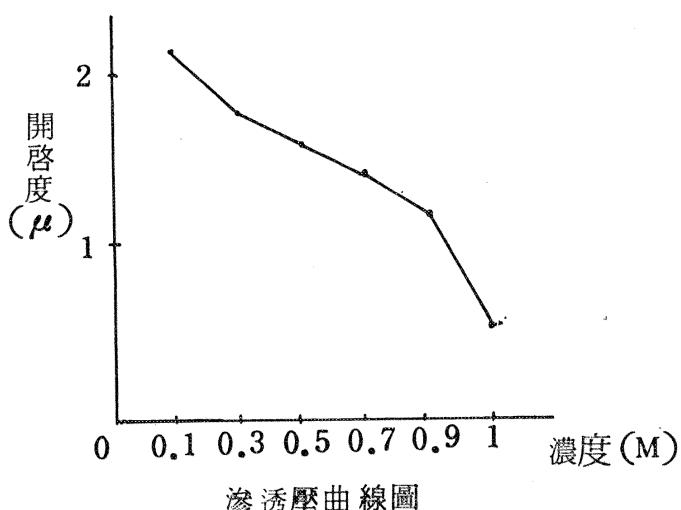
2. 無光下：由結果中之數據我們可很清楚得知，植物之氣孔在黑暗下，亦有類似照光下之啓閉情形，呈一曲線狀態。而由圖上我們可看出，氣孔之開啓程度遠小於在光下之開啓程度，亦可見光亦有很大影響。在所學課本中都是說光合作用在缺少任一項要件下（ CO_2 、水、日光）皆不能完成，而我們在實驗中，亦可開啓。

(二) pH 值：

於此實驗中，由所得之結果顯示，在一定範圍內（pH 1~13），氣孔的開啓度隨著 pH 值的增加而增大。

(三) 鉀離子 (K^+) :

此實驗之結果顯示，在加入 K^+ 時，氣孔有開啓的情形，由在暗箱中的全閉情形至 $1.47\ \mu$ ，而於燈下張至 $2\ \mu$ ，由此可知 K^+ 的影響和理論所言甚相符合，而後我們更加入 ATP 試劑，觀察得知，其在暗箱中開啓約 $2\ \mu$ ，而燈光下更至 $5\ \mu$ ，加入 ATP 試劑為增加其能量而促使主動運輸，由此可推想若給予適當能量，可助其開啓，所以



ATP 和 K^+ 皆為其啓閉之變因。

(四) 葡萄糖 ($C_6H_{12}O_6$) :

於此實驗中，是為了證明葡萄糖在保衛細胞中濃度愈大時，改變其膨壓，即增加保衛細胞的滲透壓，而使氣孔張開，但依以上之實驗數據顯示，在 ($0.3M \sim 0.9M$) 之氣孔張開度與理論不合 (① $0.75\mu \rightarrow 0.7\mu$, ② $1.0\mu \rightarrow 0.9\mu$) 探討其原因，我們推想加入葡萄糖溶液，雖然會使其濃度增加，亦使其鄰近細胞含些許葡萄糖，而影響結果之精確，若能改進此缺點，定能有更好之結果。

(五) 乙醯胆鹼：

乙醯胆鹼是動物傳導神經衝動的物質，而傳導感應時，對細胞膜的關係甚為密切，在 K^+ 的實驗中，我們知道保衛細胞中 K^+ 的聚集是由相鄰的輔助細胞傳遞，細胞膜有一種鈉鉀離子幫浦 (Na^+K^+pump) 的作用，故設計此實驗，以乙醯胆鹼試劑加入含 K^+ 的等張溶液中，觀看乙醯胆鹼對植物的細胞膜亦有影響，在實驗後，我們得知乙醯胆鹼對植物之細胞膜亦有影響，能刺激細胞膜上的鈉鉀離子腺核甘三磷酸酶，促使其行主動運輸，將 K^+ 由細胞外吸入細胞內，而把 Na^+ 趕到細胞外促使氣孔打開。

(六) 滲透壓：

於此實驗中，以蔗糖溶液改變保衛細胞中水分的濃度，由結果得知，濃度愈低，水分由輔助細胞流入。保衛細胞中，滲透壓負值亦隨之增大，而使氣孔張開，濃度漸大後，滲透壓逐漸變小，氣孔便因而關閉。

七、結論

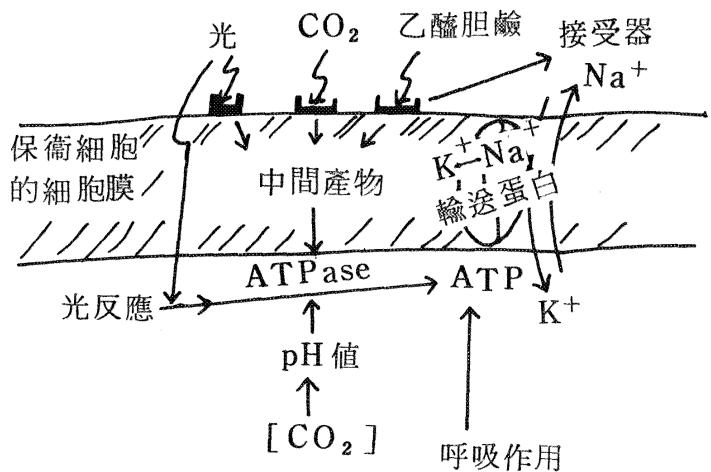
(一) 氣孔啓閉是保衛細胞吸水膨脹而向外彎曲，但何以引起保衛細胞膨壓增大？1968年R.A.Fisher證明氣孔之啓閉與 K^+ 之堆積有關。已知保衛細胞對 K^+ 是藉著細胞膜上 Na^+K^+ 輸送蛋白 (Carrier) 行主動運輸完成。

(二) 本實驗發現只有 K^+ 或 ATP 時氣孔的開度在 2.4μ 以下，但若加上乙醯胆鹼則開度可達 $5 \sim 5.4\mu$ ，顯示乙醯胆鹼對植物細胞有

絕對的影響，因而我們推測植物細胞膜上亦有乙醯胆鹼的接受器（Receptor）。

(三) CO_3 在無光下仍可使氣孔打開（光是氣孔打開的最重要因素），可能 CO_2 影響到 pH 值，也可能細胞膜上有 CO_2 接受器（動物細胞有之）。

(四) 我們綜合上述影響因子，並嘗試用接受器的觀點，推出下列模式來解釋氣孔啓閉的原因。



(五) 已知動物細胞有乙醯胆鹼、 CO_2 的接受器，若能確知植物細胞上也有這類接受器，則對生物演化認定動植物同源，可提供一個新的證據。

八、參考資料

- (一) 植物生理學：易希道，環球書局。
- (二) 植物生理學實驗法：易希道、趙立本，正中書局。
- (三) 植物學：亞當斯著，林瓊妃、祝遵嚴譯。
- (四) 光合作用——植物生產力的生理基礎：葉育林。
- (五) 光合作用淺說：鄭湧涇，幼獅書局。
- (六) 細胞：牛頓 34 期。
- (七) 藥理學（下）：陳岱金、洪玉霖，合記圖書公司。
- (八) 如何觀察植物氣孔：潘素美，生物科學 12 期。

評 語

利用二氣化碳、pH值、鉀離子、滲透壓、葡萄糖濃度、乙醯胆鹼、及ATP來研究植物氣孔之運動，其思考程序周詳，實驗結果之完整性、生動性亦很傑出，惟使用化學物質之濃度偏高，以致所獲結果之精確性較差。