

草履蟲的滲透奧秘

林獻升 潘志祥 王國娟 林志奇 劉賢遠

臺北市立松山高級中學

壹、前言

草履蟲(Paramecium)屬於原生生物界，為單細胞生物，是國小、國中與高中生物實驗教材中廣泛使用的生物，生活於各種環境中。高中「生命科學」新課程提到不同生物生活在不同滲透壓的環境下，各有其特殊的構造，以保持體內水分的恆定性(homeostasis)。生活在淡水環境中的草履蟲，因體內所含物質的濃度比外界環境高，而處於低滲透壓溶液或低張溶液(hypotonic solution)中，水分不斷地通過細胞膜而滲入，使體內水分不斷地增加，而草履蟲具有伸縮泡(contractile vacuoles)，像唧筒(pump)一樣可將多餘的水分往體外打出去，以維持體內水分的恆定性，避免細胞漲破而死亡。

現今的高中實驗課程中，大部分利用紫背萬年青之葉下表皮細胞，處於不同濃度的蔗糖溶液中，觀察細胞與液胞形狀之改變，極少觀察動物細胞的滲透作用。此外，高中新課程並沒有觀察體液恆定性維持的實驗，因此想要用易於採集的水中小生物—草履蟲，作為實驗材料，觀察動物細胞在不同滲透壓環境下，細胞形狀變化情形與如何調節細胞內水分平衡，維持體液的恆定性，我們設計一個簡單、易操作之生物教學實驗，可與課本上的實驗互補，使高中生更能了解滲透作用對於細胞水分平衡的重要性，並將「滲透作用」與「體液恆定性的維持」這兩個科學概念結合與統整。

貳、實驗之設計

探討活動一

「細胞的滲透作用與體液恆定性的維持」

一、目的

- 1.觀察草履蟲在不同濃度溶液中所產生的滲透現象。
- 2.觀察草履蟲在不同濃度的溶液中，其伸縮泡之伸縮運動改變情形，以了解生物體液恆定性的維持。

二、說明

- 1.當動物細胞處於低張溶液時，由於水分的滲透作用，細胞外的水分向細胞內滲透，使得細胞吸水膨脹。當細胞處於高張溶液時，細胞內水分會向外流出，使得細胞失水萎縮。當細胞處於等張溶液時，細胞內外水分進出達平衡，細胞維持正常形狀。
- 2.草履蟲是單細胞原生生物，生活於淡水水域，處於低張溶液中，水分會不斷滲入細胞內，細胞內的伸縮泡，可將過多的水分排出細胞外，以維持細胞內體液的恆定性。

三、器材

- 1.草履蟲水樣：取有草履蟲之溝水，置入採集瓶中帶回
- 2.配製不同莫耳濃度蔗糖溶液：0M(蒸餾水)、

0.01M、0.05M、0.1M、0.2M、0.3M 各 20ml

3.培養皿：8 個

4.棉花：一團

5.量筒：10ml 及 5ml 各一個

6.滴管：數支

7.解剖針：1 支

8.載玻片：數片

9.蓋玻片：數片

10.碼錶：1 個

11.複式顯微鏡：1 台

12.解剖顯微鏡：1 台

四、步驟

(一)觀察草履蟲之外部形態與行為

1.從採集瓶中取 10ml 溝水，置入培養皿中，用解剖顯微鏡觀察草履蟲之外部形態與行為，記錄之。

(二)觀察草履蟲之內部構造

- 1.用滴管吸取含有草履蟲之水樣，滴一小滴於載玻片上。
- 2.取少許棉花纖維平放置於水樣中，並用解剖針將棉花纖維均勻攤開。
- 3.以 45 度角蓋上蓋玻片，之後用解剖針將氣泡趕出，並用吸水紙吸取多餘的水份。
- 4.用複式微鏡觀察，先低倍鏡顯尋找被棉花纖維困住之草履蟲。
- 5.找到草履蟲之後，觀察草履蟲之形態與纖毛運動，並繪出其形態。
- 6.再用高倍鏡觀察草履蟲之內部構造，如大核、小核、食泡、伸縮泡與輻射管等構造，並在記錄簿上繪出所觀察到的構造。

7.計數伸縮泡之數量，並觀察伸縮泡之伸縮運動。

8.計數每個伸縮泡的伸縮速率(次/分鐘)。

(三)觀察草履蟲在不同濃度的蔗糖溶液中，細胞形態與伸縮速率之變化

- 1.用量筒取 0M(蒸餾水)、0.01M、0.05M、0.1M、0.15M、0.2M、0.3M 蔗糖水各 10ml，分別置入 7 個培養皿中。
 - 2.分別用量筒取 0.5ml 含有草履蟲之溝水，加入每個培養皿中，並用滴管攪拌數次後，靜止 10 分鐘。
 - 3.取不同蔗糖濃度之草履蟲水樣一滴，滴在載玻片上，並取少許棉花纖維平放置水樣中，製作草履蟲玻片標本(同前之步驟)。
 - 4.將製好的草履蟲玻片標本，置入顯微鏡載物台上觀察。
 - 5.觀察每一種濃度的蔗糖溶液中，草履蟲外觀變化，並記錄之。
 - 6.計數每一種濃度的蔗糖溶液中，一個伸縮泡的伸縮速率(次/分鐘)，每一濃度測量 5 隻草履蟲。
 - 7.統計在不同濃度的蔗糖溶液下，伸縮泡伸縮速率的變化。
- #### 五、實驗報告
- 1.解剖顯微鏡下，草履蟲之行為描述。
 - 2.複式顯微鏡低倍鏡下，草履蟲之細胞形態簡圖。
 - 3.複式顯微鏡高倍鏡下，草履蟲之細胞內部構造簡圖。
 - 4.溝水中草履蟲每個伸縮泡之伸縮速率(次/分鐘)?

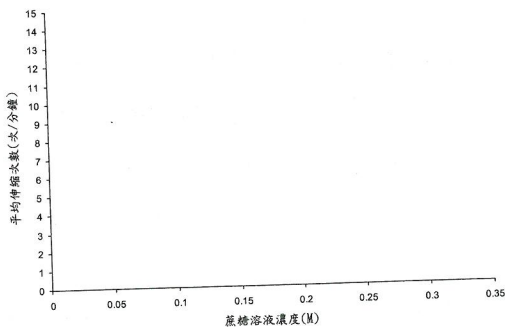
5. 在不同濃度的蔗糖溶液中，草履蟲外觀形態之變化簡圖。

蔗糖濃度	0M	0.01M	0.05M	0.1M	0.15M	0.2M	0.3M
細胞形態簡圖							
外觀描述							

6. 在不同濃度的蔗糖溶液中，5隻草履蟲伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之平均值？

蔗糖濃度	0M	0.01M	0.05M	0.1M	0.15M	0.2M	0.3M
伸縮速率							
草履蟲 I							
草履蟲 II							
草履蟲 III							
草履蟲 IV							
草履蟲 V							
平均							

7. 將上述的平均值作圖表示其變化。



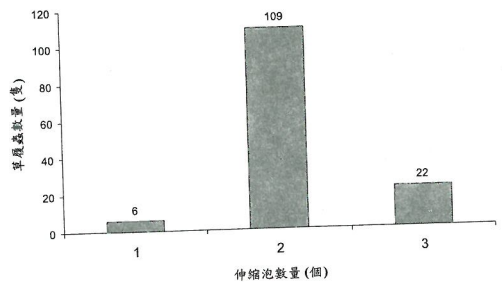
六、問題與討論

1. 使用棉花纖維困住草履蟲的方法是否有效？還有沒有其他方法可以利用？
2. 每隻草履蟲伸縮泡的大小一樣嗎？伸縮泡的伸縮速率相同嗎？
3. 在不同濃度的蔗糖溶液中，草履蟲伸縮泡的伸縮速率不同的原因為何？試討論之。
4. 草履蟲的等滲透壓(等張)溶液介於何種濃度的蔗糖溶液間？如何判斷之？
5. 設計一個實驗，判斷草履蟲生活的溝水滲透壓相當於多少濃度的蔗糖溶液？
6. 在蒸餾水中(0M)的草履蟲細胞會破裂嗎？如果不會，原因為何？若是將草履蟲換成紅血球及紫背萬年青的葉下表皮細胞，情形將會如何？三者之間的差異原因何在？

參、實驗之參考結果

(一)伸縮泡數量

1. 本次觀察計數 137 隻草履蟲之伸縮泡，結果如圖一所示。一隻草履蟲之伸縮泡數量以「2個」為最常見，109隻(80%)，其次為「3個」，22隻(16%)，最少見為「1個」，6隻(4%)。



圖一、草履蟲伸縮泡數量分布圖(n=137)。

(二)伸縮泡伸縮速率

1. 計數 2 隻草履蟲一分鐘之內，伸縮泡伸縮次數，每 1 隻共重複 3 次，其結果如表一所示。

表一、草履蟲伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之測量結果(每一隻共重複三次)。

編號	次數	伸縮泡大小		
		最大	中間	最小
16	1	8	4	10
	2	8	4	10
	3	8	4	10
40	1	10	12	11
	2	10	12	11
	3	10	12	11

註：實驗時的室溫約 25-28°C。

(三)伸縮泡數量與伸縮速率之關係

1. 計數 5 隻具有 2 個伸縮泡之草履蟲，伸縮泡伸縮速率，以及 4 隻具有 3 個伸縮泡之草履蟲，伸縮泡伸縮速率，結果如表二與表三所

示。

2.具有2個伸縮泡的草履蟲，伸縮泡大小大約相同。在生活的水樣環境下，其伸縮泡伸縮速率約為7-10次/分鐘，且2個伸縮泡伸縮速率一致(表二)。

3.具有3個伸縮泡的草履蟲，伸縮泡通常有2個較大，1個較小。在生活的水樣環境下，3個伸縮泡的伸縮速率有差異(表三)，如編號64號的草履蟲，其3個伸縮泡伸縮速率一致，均為9次/分鐘；但是編號58號的草履蟲，最大的伸縮泡伸縮速率最慢，為2次/分鐘，另2個伸縮泡則為9次/分鐘；編號16號的草履蟲反而是大小介於中間的伸縮速率最慢，為4次/分鐘，其餘最大為8次/分鐘，最小為10次/分鐘。由此結果可知伸縮速率與伸縮泡的大小沒相關。

表二、具2個伸縮泡之草履蟲，其伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之測量結果。

草履蟲編號	41	42	57	62	63
伸縮泡 I	10	8	10	8	7
伸縮泡 II	10	8	10	8	7

註：實驗時的室溫約 25-28°C。

表三、具3個伸縮泡之草履蟲，其伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之測量結果。

草履蟲編號	16	40	58	64
最大	8	10	2	9
中間	4	12	9	9
最小	10	11	9	9

註：實驗時的室溫約 25-28°C。

(四)不同的滲透壓溶液下，伸縮泡伸縮速率之改變

1.測量草履蟲在不同濃度的蔗糖溶液下，伸縮泡伸縮速率之改變，其結果在 0M 的濃度

下，即在蒸餾水的溶液下，細胞處於膨脹的形態，但細胞未漲破死亡，且伸縮泡明顯可見伸縮運動，其伸縮泡直徑也比較大。增加濃度之後，細胞形態慢慢回復至正常形態，伸縮泡伸縮速率也變慢，伸縮泡直徑也漸縮小。濃度增加至 0.15M 時，伸縮泡伸縮現象停止。再增加至 0.2M 後，細胞處於萎縮狀態，濃度增加至 0.3M 後，草履蟲萎縮而死亡。

2.在不同濃度下伸縮泡伸縮速率之改變結果如表四與圖二所示，草履蟲在 0M-0.07M 蔗糖溶液中，伸縮泡平均伸縮速率變慢，在 0.07M 後平均伸縮速率明顯變慢。至 0.1M 時，有 1 隻草履蟲的伸縮泡已停止伸縮。0.15M，伸縮泡全部停止伸縮。

3.草履蟲在 0.15M 蔗糖溶液時，伸縮泡全部停止伸縮，但未見細胞萎縮，0.2M 時，細胞已有萎縮現象，0.3M 時，細胞明顯萎縮而死亡。由此結果推測草履蟲細胞的等滲透壓溶液濃度大約介於 0.15 至 0.2M 之間，小於 0.1M 為低張溶液或低滲透壓溶液，而大於 0.2M 為高張或高滲透壓溶液。

表四、在不同濃度的蔗糖溶液下，具有2個伸縮泡之草履蟲，伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之測量結果(每個濃度測量 6 隻)。

濃度 (M)	0	0.0001	0.005	0.001	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1	0.15	0.2
I	7	7	6	6	5	5	4	4	3	0	0
II	7	6	5	6	5	6	4	4	2	0	0
III	7	6	6	6	6	4	5	5	0	0	0
IV	7	7	7	6	6	6	5	5	2	0	0
V	6	6	6	5	6	5	4	4	1	0	0
VI	7	7	6	6	5	5	5	4	1	0	0
平均	6.8	6.5	6.0	5.8	5.5	5.2	4.5	4.3	1.5	0	0
標準差	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.8	0.6	0.5	1.1	0	0

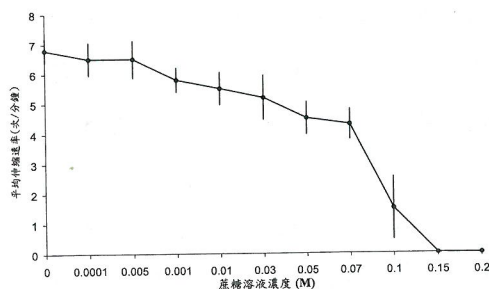
註：

a.有2個伸縮泡之草履蟲，其2個伸縮泡伸縮

速率一樣，此數據只顯示其中 1 個伸縮泡伸縮速率。

b. 實驗時室溫約 17-20°C。

c. 0.15M 時，細胞未萎縮；0.2M 時，已有萎縮現象，但細胞存活。



圖二、在不同濃度的蔗糖溶液下，其伸縮泡伸縮速率(次/分鐘)之比較(數據為平均值 ± 1 標準差)。

肆、操作結果之討論

(一)伸縮泡數量

以往我們以為草履蟲只具 2 個伸縮泡，但是我們的觀察結果證明草履蟲的伸縮泡數量以 2 個居多，但是也有 1 個伸縮泡，甚至有 3 個伸縮泡存在的草履蟲。

(二)伸縮泡伸縮速率

們的觀察結果中發現伸縮泡伸縮運動很有規律，同一隻的草履蟲每分鐘伸縮次數一致，不會忽快忽慢，相當穩定，可以讓我們往後實驗計數伸縮泡伸縮速率時，不用考慮在那一個時間測才是正確，一般在計數伸縮泡伸縮速率時，需要計數多次，統計求平均，才會得到較準確的結果。

伸縮泡伸縮運動有規律的原因，可能是水分滲透進入細胞內的速率也很穩定，單位時間內進入的水量一定，因此單位時間內排出的水

量也一定即可維持體內水分平衡，所以伸縮泡伸縮速率才會在不同時間內都一致。

(三)伸縮泡數量與伸縮速率

在我們的實驗觀察中，發現具有 2 個伸縮泡的草履蟲，其體內 2 個伸縮泡大小相近，而且一個在前端，一個在後端，兩個伸縮泡的伸縮速率一致。

具有 3 個伸縮泡的草履蟲，其 3 個伸縮泡大小不一致，通常是 2 個較大且大小相近，而 1 個較小。本實驗觀察結果發現伸縮泡與伸縮速率沒有相關性，可能是其他因子控制。

(四)不同的滲透壓溶液下，伸縮泡伸縮速率之改變

由表二、三得知具有 2 個伸縮泡的草履蟲，其 2 個伸縮泡伸縮速率相等，具有 3 個伸縮泡的草履蟲，其 3 個伸縮泡伸縮速率不相等，為求得較公平準確的比較不同濃度下伸縮泡伸縮速率改變情形，此實驗所測量之草履蟲體型大小約相同，且都只有 2 個伸縮泡。在我們的實驗中，增加蔗糖濃度，由低濃度至高濃度，用意在增加草履蟲生活環境中的滲透壓，蔗糖濃度越高，環境中的滲透壓越大。

高中生物課本曾提到動物細胞處於低滲透壓環境下，細胞會吸水膨脹，因動物細胞無細胞壁，細胞會漲破而死亡，但是植物細胞有細胞壁，會產生膨壓，阻止水分進一步滲透，細胞不會死亡。因此當我們用 0M 進行實驗時，草履蟲處於滲透壓最低張的環境(環境與細胞滲透壓差最大)，實驗時只有觀察到草履蟲因過多的水滲透進入體內而膨脹，但未見細胞漲破死亡。由此結果推測草履蟲體內的伸縮泡可以有有效的排除細胞內過多的水分，即使細胞是

處在非常低張的環境中，也不容易漲破死亡。

此外，當我們增加蔗糖濃度時，即是降低環境與細胞之間的滲透壓差，使得水分進入細胞的速率降低，草履蟲也調整其伸縮泡伸縮速率，降低伸縮速率，以維持細胞內水分平衡。在等滲透壓濃度時，因細胞內外水分進入速率相等，伸縮泡不用將水分排出體外，因此伸縮泡停止伸縮，所以可以用此判斷草履蟲細胞的等滲透壓濃度大約是多少，我們實驗的結果顯示在 0.15M 時，伸縮泡全部停止收縮，細胞未見萎縮；而 0.2M 時，細胞已有萎縮現象；在 0.3M 時，細胞萎縮。由此結果可推測草履蟲的等滲透壓介於 0.15-0.2M 蔗糖水溶液間。

伍、結論

由我們的實際操作結果得知，我們設計的這個實驗可以很清楚地觀察到草履蟲在不同滲透壓環境下，其細胞形狀變化情形，並且可以算出伸縮泡伸縮速率之變化，瞭解細胞如何維持體液的恆定性，並應用伸縮速率變化曲線求得細胞的等滲透壓濃度與原來生活水溶液的滲透壓濃度，很符合我們的實驗目的，是一個良好的補充教材。唯在製作草履蟲玻片標本時需耗費較久時間，是本實驗設計較需改進的地方。

請在右圖○內填入 1~19 的數，使得各條直線上的數之和都相等。

