

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

040715

微在蛋隙——探討蛋殼奈米孔隙的通透性質

國立新竹女子高級中學

作者姓名：

高二 鄭涵 高二 陳可萱 高二 朱婉君

指導老師：

張淳琤 何家齊

壹、摘要

我們觀察到茶葉蛋的蛋殼為褐色，但其蛋白為白色；相反的，茶焗蛋蛋殼為淺色，但蛋白呈現褐色。這種現象使我們對物質通透蛋殼的情形產生了種種疑問，促使我們更深入的研究。

我們參考茶葉蛋與茶焗蛋的製作情形設計實驗後，發現即使同為茶分子，但由於氣態及液態分子間的距離不同，仍會造成不同之通透情形。液態物質不易通過，但氣態分子可輕易通過。蛋殼為卵生動物胚胎時期的保護構造，其表面有許多微小孔隙可使 H_2O 、 CO_2 及 O_2 等維持生命所需之氣態物質輕易地通過。經過實驗發現，蛋殼孔隙易使蛋殼外部的氣體分子通透至內部，但氣體分子不易由蛋殼之內部到達外部。

另一方面，同一顆蛋其蛋殼的不同部位通透情形並不相同，以氣室部分通透最快，而蛋殼尖端之通透最慢。不同蛋殼之間通透情形也不相同，因其不同種類蛋殼間之孔隙大小與孔隙數目都有差異，實驗結果也顯現蛋殼的厚度亦會影響通透度的大小，蛋殼較薄的鵪鶉蛋殼較其他種類的蛋殼更易使物質通過；反之，蛋殼較厚的土雞蛋的蛋殼最不容易讓物質通過。皮蛋由於已經過人工處理過，因而破壞蛋殼表面影響其通透情形，使得蛋殼通透情形呈現不穩定的狀態。

因為工業的發達，環境充斥著污染，空氣中之污染物也會通透至蛋殼內部，空氣污染物溶於水之後形成酸性物質會與蛋殼反應，有些甚至會破壞蛋殼結構、或是腐蝕蛋殼，而間接地影響到生物行呼吸作用必須之氣體交換，故污染物也會影響蛋殼之通透性。

貳、研究動機

我喜歡吃蛋，舉凡市售的皮蛋、茶葉蛋和茶焗蛋都是我的最愛。當我在吃蛋時，發現茶葉蛋的蛋殼顏色很深，剝開後蛋白卻呈白色；而茶焗蛋的蛋殼是白色，裡頭的蛋白卻是褐色的。我覺得很好奇，究竟物質是如何透過蛋殼進入到蛋的內部？而茶分子對於茶葉蛋及茶焗蛋為何會有不同的通透情形呢？在經過查詢資料之後得知，蛋殼是卵生動物胚胎時期的保護構造，而蛋殼表面具有許多微小孔隙，當胚胎在發育時，就利用這些孔隙進行呼吸作用，吸收 O_2 ，放出 CO_2 ，而這些氣體通過蛋殼的情形是如何呢？它是否能防水？不同種類的蛋殼通透度不同嗎？新聞報導曾提到 DDT 會使蛋殼變薄，是否空氣污染物等外在環境因子也會影響蛋殼？這一連串的問題在我腦中盤旋著。因此，我們想探討胚胎發育呼吸作用最基本的 O_2 、 CO_2 及 H_2O 分子對不同種類蛋殼通透度的差別，以及空氣污染物例如 SO_2 、 CO_2 及 NO_2 是否會通過蛋殼？我們便自行設計了一連串的裝置，利用實驗室唾手可得的器具，來解答我們心中的疑惑！

參、研究目的

(一)研究蛋殼的孔隙性質及物質通透的關係。

研究雞蛋蛋殼的氣室對於氣態茶分子及液態茶分子通透度的差異。

(二)研究蛋殼對於 H_2O 的通透情形。

- 1.研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於氣態 H_2O 通透度的差異。
- 2.研究雞蛋蛋殼的不同部位對於氣態 H_2O 通透度的差異。
- 3.研究不同種類蛋殼的氣室對於氣態 H_2O 通透度的差異。

(三)研究蛋殼對於 CO_2 的通透情形。

- 1.研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 CO_2 通透度的差異。
- 2.研究不同種類蛋殼的氣室對於 CO_2 通透度的差異。

(四)研究蛋殼對於 O_2 的通透情形。

- 1.研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 O_2 通透度的差異。
- 2.研究不同種類蛋殼的氣室對於 O_2 通透度的差異。

(五)研究蛋殼對於污染氣體的通透情形

- 1.研究蛋殼氣室對於 NO_2 的通透情形
- 2.研究蛋殼氣室對於 SO_2 的通透情形
- 3.研究蛋殼氣室對於 CO_2 的通透情形

肆、研究器材與裝置

一、蛋殼

雞蛋蛋殼-----	90 個
鴨蛋蛋殼-----	30 個
鳥蛋蛋殼-----	30 個

皮蛋蛋殼-----	30 個
土雞蛋蛋殼-----	30 個

二、器材與工具

裝水的容器-----	1 個
塑膠板-----	1 個
烤肉架-----	1 個
溫度計-----	1 個
溼度計-----	1 個
碼表-----	3 個
塑膠袋-----	60 個
三腳架-----	2 支
滴定管夾-----	2 個
方格紙-----	1 張
毛細管-----	20 根

氯化亞鈷試紙-----	1 個
吹風機-----	1 盒
投影片-----	61 片
熱熔膠-----	1 個
錐形瓶-----	2 個
分液漏斗-----	1 個
塑膠杯-----	20 個
塑膠軟管-----	1 條
試管夾-----	2 個
烤箱-----	1 台
電磁爐-----	1 台

三、藥品

6M HCl-----	2 升
0.1M NaOH-----	1 升
MnO ₂ -----	0.5 克
HNO ₃ -----	1 升
Na ₂ SO ₃ -----	500 克

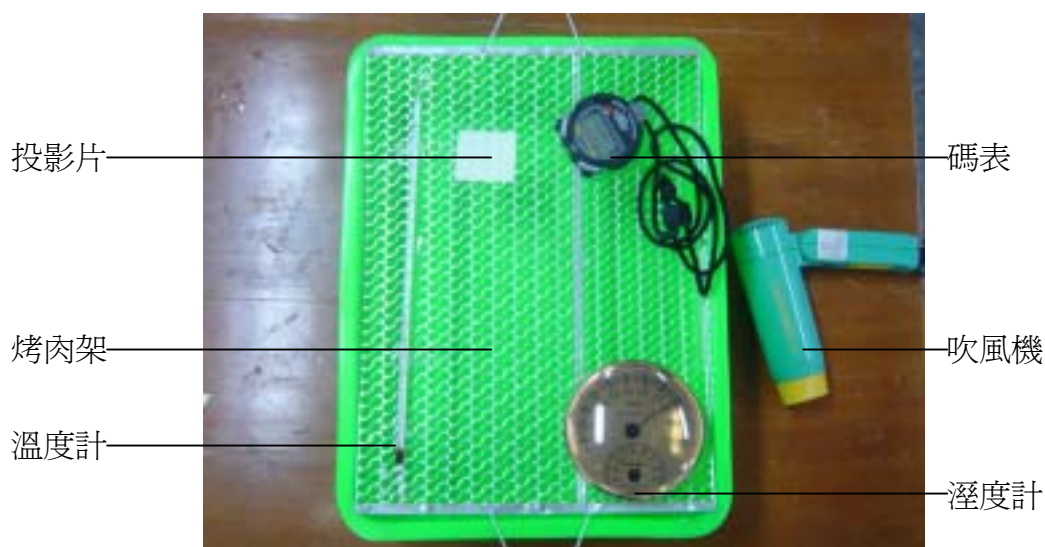
CaCO ₃ -----	1000 克
酚酞-----	0.05 升
H ₂ O ₂ -----	1 升
銅片-----	30 克

四、其他

茶葉-----	15 克
---------	------

沙拉油-----	0.38 升
----------	--------

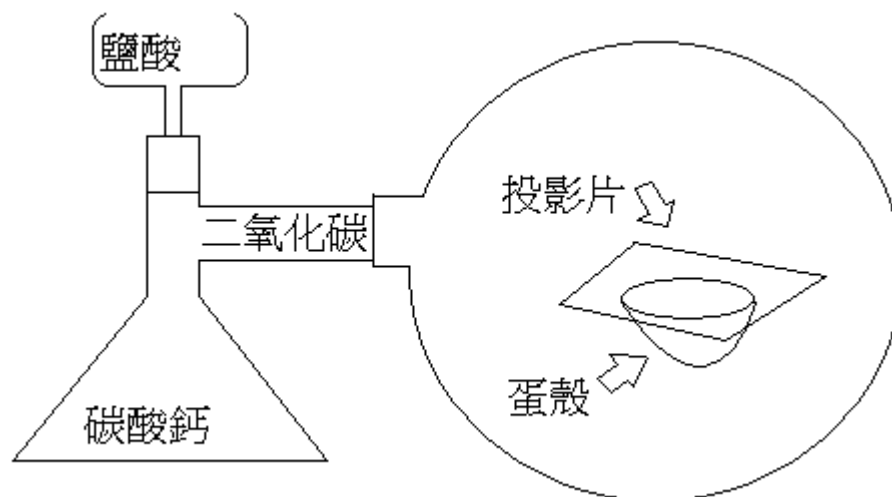
五、裝置



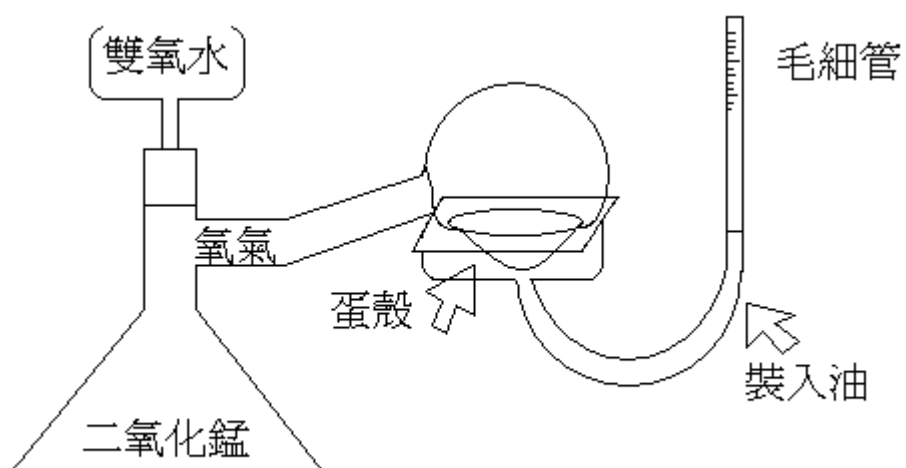
(圖一) 實驗 2-1-1、2-2 及 2-3 裝置圖



(圖二)實驗 2-1-2 裝置圖



(圖三) 實驗 2-1、2-2 裝置



(圖四) 實驗 3-1、3-2 裝置圖

伍、研究過程及方法

(一)前置作業：

- (1) 挑選出鈍端完整且大小相同的蛋殼。
- (2) 先將蛋殼最外層的蛋膜用手工大致剝除(圖五)。
- (3) 在蛋殼內置入少許的水。
- (4) 用手指輕輕摩擦蛋殼內壁，仔細將蛋膜剝除。
- (5) 將蛋殼用拭鏡紙擦乾。



(圖五) 剝除最外層蛋膜

(二)研究雞蛋蛋殼的氣室對於氣態茶分子及液態茶分子通透度的差異。

實驗 1-1：研究雞蛋蛋殼的氣室對於氣態茶分子的通透情形

- (1) 選取已去膜的雞蛋蛋殼五個。
- (2) 將茶葉置入水中，再將蛋殼置入同一容器中浸泡在茶汁內。
- (3) 慢慢以穩定之溫度加熱。
- (4) 30 分鐘後，觀察液態茶分子通透蛋殼的情形。



(圖六) 將蛋殼進泡在茶汁內

實驗 1-2：研究雞蛋蛋殼的氣室對於氣態茶分子的通透情形

- (1) 選取已去膜的雞蛋蛋殼五個。
- (2) 將茶葉平鋪於烤箱內把蛋殼平穩的放在茶葉上。
- (3) 慢慢以穩定之溫度加熱。
- (4) 約 30 分鐘後，觀察氣態茶分子通透蛋殼的情形。



(圖七) 將蛋殼置於茶葉上加熱

(三)研究蛋殼對於氣態 H_2O 的通透情形。

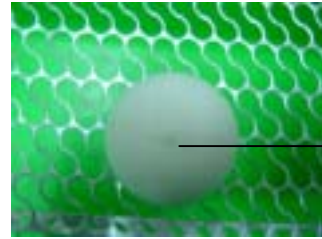
實驗 2-1：研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於氣態 H_2O 通透度的差異。

實驗 2-1-1： H_2O 由雞蛋蛋殼內部通透到外部的情形

- (1) 取一盛水的容器，並用膠帶將烤肉架固定於容器上(圖一)。
- (2) 選取大小相等且已經去膜的雞蛋蛋殼二十個，倒扣於烤肉架上。
- (3) 將溫度計與溼度計固定於烤肉架上，並紀錄溫度與溼度。

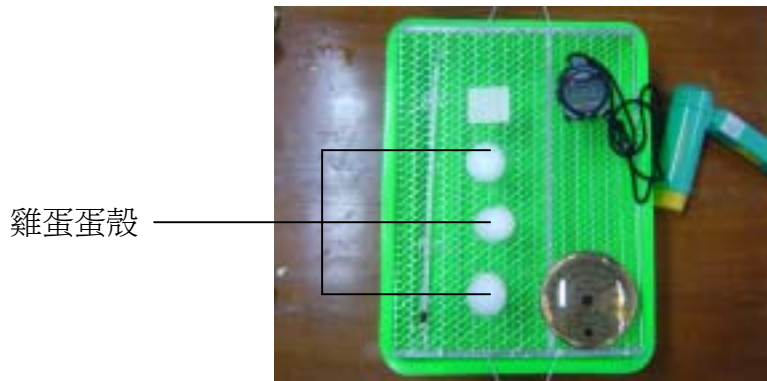
(4) 取一不透氣之投影片以白色雙面膠固定於烤肉架上，作為實驗的對照組。

(5) 先將氯化亞鈷試紙剪成 1.5mm X 1.5mm 的大小，使用吹風機將氯化亞鈷試紙吹乾，以透明膠帶固定於蛋殼氣室部分的外側(圖八)。



(6) 同時將另一片氯化亞鈷試紙固定於投影片上。(圖八) 試紙固定於氣室外側

(7) 以碼表紀錄氯化亞鈷試紙變色的時間。



(圖九) 放上雞蛋蛋殼

實驗 2-1-2：H₂O 由雞蛋蛋殼外部通透到內部的情形

(1) 取一塑膠板，在其上割下一放溼度計的大圓洞與六個放蛋殼的小圓洞(圖二)。

(2) 取一盛水的容器，並用膠帶將已挖洞完成的塑膠板固定於容器上。

(3) 將溫度計以膠帶固定於塑膠板上，將溼度計置於塑膠板上挖好的大圓洞內，並紀錄溫度與溼度。

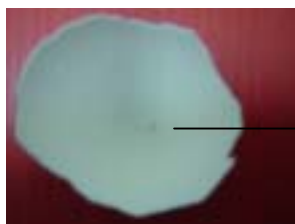
(4) 選取大小約略相等且已經去膜的雞蛋蛋殼二十個，置於塑膠板上的小圓洞中。

(5) 取一不透氣之投影片以白色雙面膠固定於塑膠板上其中一小圓洞中，作為對照組。

(6) 先將氯化亞鈷試紙剪成 1.5mm X 1.5mm 的大小，再用吹風機把氯化亞鈷試紙吹乾，以透明膠帶固定於蛋殼氣室部分的內側(圖十)。

(7) 同時將另一片氯化亞鈷試紙固定於投影片上。

(8) 以碼表紀錄氯化亞鈷試紙變色的時間。



(圖十) 試紙固定於氣室

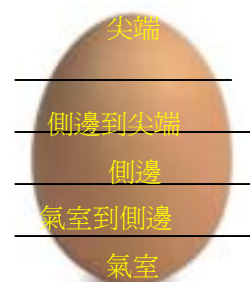
雞蛋蛋殼



(圖十一) 放上雞蛋蛋殼

實驗 2-2：研究雞蛋蛋殼不同部位對於氣態 H_2O 通透度的差異。

- (1) 同實驗 2-1-1 步驟(1)~(8)。
- (2) 分別取雞蛋的氣室、氣室到側邊、側邊、側邊到尖端及尖端等五個部位作實驗。(圖十二)



(圖十二)實驗 2-2 的五個部位

實驗 2-3：研究不同種類蛋殼的氣室對於氣態 H_2O 通透度的差異。

- (1) 同實驗 2-1-1 步驟(1)~(8)。
- (2) 將雞蛋蛋殼改為鴨蛋殼、皮蛋殼、土雞蛋殼及鵪鶉蛋殼。

(四)研究蛋殼對於 CO_2 的通透情形。

實驗 3-1：研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 CO_2 通透度的差異。

實驗 3-1-1： CO_2 由雞蛋蛋殼外部通透到內部的情形

- (1) 選取大小相等且已去膜的雞蛋蛋殼十個。
- (2) 在蛋殼內滴 1 滴酚酞及 0.1M 之 NaOH 1mL 並加入 H_2O 至滿，使蛋殼內之水溶液成粉紅色，再以投影片將蛋殼完全密封(圖十三)。



(圖十三)投影片

- (3) 製備 CO_2 ，再用一塑膠袋搜集之(圖三)。將蛋殼迅速置入充滿 CO_2 的塑膠袋，將袋子封口，輕輕搖晃，紀錄酚酞完全變色的時間。
- (4) 以投影片製作一完全密封之容器，在裝置內滴 1 滴酚酞及 0.1M 之 NaOH 1mL 並加入 H_2O 至滿，使其內之水溶液成粉紅色，作為對照組(圖十四)。



(圖十四) 對照組

實驗 3-1-2： CO_2 由雞蛋蛋殼內部通透到外部的情形

- (1) 選取大小相等且已去膜的雞蛋蛋殼十個。
- (2) 將不透水之投影片作成一碗狀容器，在裝置內滴 1 滴酚酞及 0.1M，1 mL 之 NaOH 並加入 H_2O 至滿，使其內之水溶液成粉紅色，再將蛋殼完全密封(圖十五)。
- (3) 同實驗 3-1-1 步驟(3)。



(圖十五) 固定好的蛋殼

實驗 3-2：研究不同種類蛋殼的氣室對於 CO_2 通透度的差異。

- (1) 同實驗 3-1-1 步驟(1)~(3)。
- (2) 將雞蛋蛋殼改為鴨蛋殼、皮蛋殼、土雞蛋殼及鵪鶉蛋殼。

(五)研究蛋殼對於 O_2 的通透情形

實驗 4-1：研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 O_2 通透度的差異。

實驗 4-1-1：研究雞蛋蛋殼對 O_2 由氣室外部到內部通透的情形

- (1) 選取大小相等之雞蛋蛋殼十五個。
- (2) 取一塑膠杯，並取距底部 2 公分處，將一大小適中投影片固定其上。
- (3) 於投影片上割一適當的圓，以熱熔膠將蛋殼固定於圓內。
- (4) 在杯子底部刺一小洞插入一 35 公分之塑膠細管並固定之，並將塑膠細管注滿沙拉油。



(圖十六) 將蛋殼固定於塑膠杯上

- (5) 準備一三腳架並鎖上一滴定管夾，將其調至適當高度，將步驟(4)裝置之杯子底座固定在滴定管夾一端。
- (6) 準備一毛細管，裁一和毛細管等長之單位公厘方格紙，將方格紙用透明膠帶固定在毛細管上作為刻度。將處理完畢的毛細管插入步驟(4)裝置之塑膠細管內。調整液面至最低刻度後，將毛細管固定。
- (7) 再取另一塑膠杯覆於蛋殼上，並以熱熔膠密封(圖四)。
- (8) 準備一點滴瓶內裝 H_2O_2 ，將點滴管針頭插入一孔已塞有塑膠軟管的雙孔橡皮塞中，再將橡皮塞塞入一內裝 1 克 MnO_2 的錐形瓶，完成製 O_2 的裝置。
- (9) 以塑膠軟管連接將 O_2 導入步驟(7)的塑膠杯內。
- (10) 為了固定 H_2O_2 的量，每次固定打開點滴開關 40 秒。觀察沙拉油液面上升高度，直到液面停止上升後，紀錄刻度。
- (11) 重新調整液面到最低刻度，重複步驟(10)。如此重複實驗十五次。

實驗 4-1-2：研究雞蛋蛋殼對 O_2 由氣室內部到外部通透的情形

- (1) 蛋殼改用倒扣於投影片的方式，其餘如實驗 4-1-1 步驟(1)~(11)。

實驗 4-2：研究不同種類蛋殼對 O_2 由氣室內部到外部通透度的差異。

- (1) 同實驗 4-1-1 步驟 (1)~(11)。
- (2) 將雞蛋蛋殼改為鴨蛋殼、皮蛋殼、土雞蛋殼及鵪鶉蛋殼。

(六) 研究蛋殼對於污染氣體的通透情形

實驗 5-1：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 SO_2 通透度的情形。

- (1) 同實驗 3-1 步驟(1)~(3)。
- (2) 採用製備 CO_2 的相同裝置(圖三)，改以 Na_2SO_3 滴加 HCl 製備 SO_2 ，用一塑膠袋蒐集之。

實驗 5-2：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 NO_2 通透度的情形。

(1) 步驟改爲以銅片滴加 HNO_3 製備 NO_2 ，其餘步驟皆同實驗 3-1。

實驗 5-3：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 CO_2 通透度的情形。

(1) 步驟皆同實驗 3-1。

陸、研究結果

(一)研究蛋殼對於氣體分子及液體分子的通透性。

實驗 1-1：研究雞蛋蛋殼的氣室對於氣態 H_2O 及液態 H_2O 通透度的差異。



(圖十七) 實驗 1-1 蛋殼內側，左邊爲和茶汁共煮之蛋殼，右邊爲以茶葉烘烤之蛋殼。



(圖十八) 實驗 1-1 蛋殼外側，左邊爲和茶汁共煮之蛋殼，右邊爲以茶葉烘烤之蛋殼。

1. 由實驗可發現與液態茶分子共煮之蛋殼內部呈現原本的白色，而與茶葉一同加熱之蛋殼內部則呈褐色，可知氣態茶分子確實透過蛋殼到達蛋殼內部，但液態茶分子並沒有透過蛋殼到達蛋殼內部。
2. 由此可知蛋殼上之孔隙大小可使氣態分子通過，而不能使液態分子通過。

(二)研究蛋殼對於 H₂O 的通透情形。

實驗 2-1：研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於氣態 H₂O 通透度的差異。

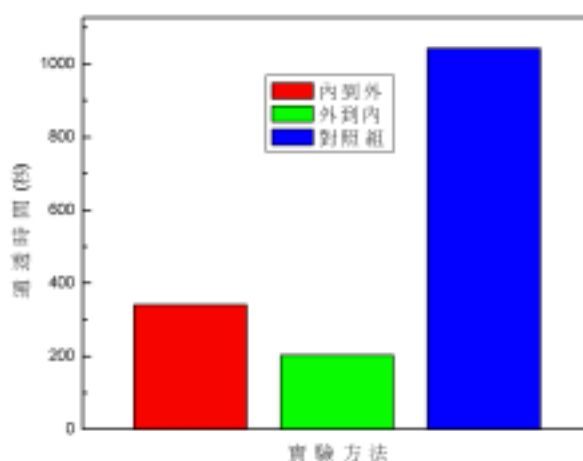
2-1-1.氣態 H₂O 由雞蛋蛋殼內部通透到外部的情形

2-1-2.氣態 H₂O 由雞蛋蛋殼外部通透到內部的情形

(表一)實驗 2-1-1 及實驗 2-1-2.氯化亞鈷試紙變色時間之比較

溼度 81.3% 溫度 17°C

	次數	實驗 2-1-1	實驗 2-1-2	對照組
通 透 情 形 (秒)	1	339	234	900
	2	336	92	
	3	363	217	
	4	346	230	
	5	366	199	
	6	332	282	
	7	329	219	
	8	337	73	
	9	331	185	
	10	344	303	
	平均	342	203	
	標準差	12.24	75.01	



(圖十九) 實驗 2-1-1 及實驗 2-1-2.氯化亞鈷試紙變色時間之比較

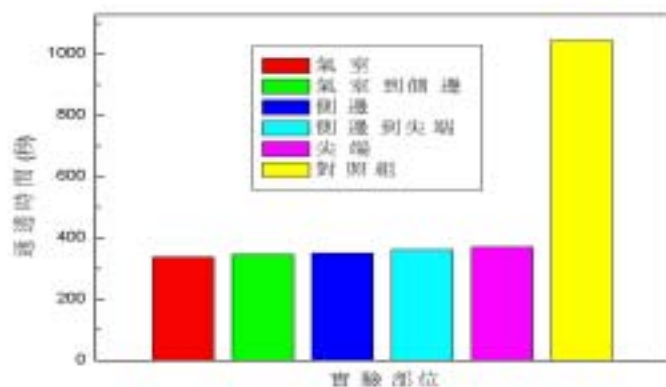
- 1.由 (圖十九) 知，實驗 2-1-2 的試紙變色時間較實驗 2-1-1 短，由此推得，氣態 H₂O 較易由蛋殼外部通透到內部。
- 2.實驗 2-1-2 的數據標準差較大，則可推論，各個蛋殼外部構造的差異較蛋殼內部來的大。

實驗 2-2：研究雞蛋蛋殼不同部位對於氣態 H₂O 通透度的差異

(表二)實驗 2-2 氯化亞鈷試紙變色時間之比較

溼度 79.6% 溫度 17°C

	次數	尖端	側邊到尖端	側邊	氣室到側邊	氣室	對照組
通透情形 (秒)	1	366	363	359	358	344	1004
	2	363	350	348	346	346	
	3	377	369	352	344	339	
	4	370	368	340	351	333	
	5	369	369	355	350	349	
	6	343	352	350	339	327	
	7	376	365	347	347	340	
	8	368	352	345	341	336	
	9	370	368	352	346	332	
	10	365	349	344	338	330	
	11	376	360	347	340	336	
	12	379	354	352	347	339	
	13	362	360	258	344	341	
	14	364	357	344	341	329	
	15	375	351	346	339	331	
	16	370	366	350	342	338	
	17	368	354	357	358	330	
	18	361	357	255	341	346	
	19	370	367	349	354	335	
	20	374	360	355	349	331	
	平均	368	359	349	346	337	
	標準差	8.09	7.00	5.85	6.03	6.37	



(圖二十) 實驗 2-2 氯化亞鈷試紙變色時間之比較

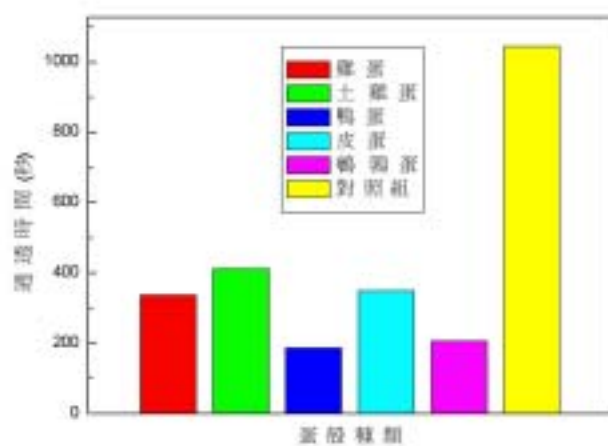
1. 由 (圖二十) 知，蛋殼的通透速率，由氣室到尖端呈現逐漸遞減的趨勢。

實驗 2-3：研究不同種類蛋殼的氣室對於氣態 H₂O 通透度的差異。

(表三) 實驗 2-3 氯化亞鈷試紙變色時間之比較

溼度 79.9% 溫度 16.5°C

通透情形 (秒)	次數	雞蛋	土雞蛋	鴨蛋	皮蛋	鵪鶉蛋	對照組
	1	366	410	178	358	211	1044
	2	363	397	197	346	188	
	3	377	427	182	388	194	
	4	370	388	190	260	210	
	5	369	429	188	305	204	
	6	343	390	192	344	187	
	7	376	421	183	467	209	
	8	368	406	177	321	223	
	9	370	417	195	311	196	
	10	365	415	182	347	189	
	11	376	395	18/0	340	220	
	12	379	420	174	322	215	
	13	362	393	190	450	233	
	14	364	413	172	329	212	
	15	375	423	166	325	190	
	16	370	419	197	342	201	
	17	368	422	190	358	227	
	18	361	429	191	333	198	
	19	370	390	195	361	213	
	20	374	405	189	349	187	
	平均	368	410	186	348	205	
	標準差	6.37	13.63	8.67	44.80	13.77	



(圖二十一) 實驗 2-3 氯化亞鈷試紙變色時間之比較

1. 所有蛋殼的通透時間與對照組皆有一段差異，可知蛋殼的孔隙皆有讓 H₂O 通過的性質。
2. 雞蛋、鴨蛋、土雞蛋及鵪鶉蛋之通透速率明顯不同，可推得不同的蛋殼，其通透 H₂O 情形不同。
3. 由 (圖二十一)與表三知，H₂O 通透的快慢，依次是鴨蛋組>鵪鶉蛋組>皮蛋組>雞蛋組>土雞蛋組，可推知不同種類的蛋，通透情形最好的是鴨蛋，其平均通透時間為 186 秒；其次是鵪鶉蛋，其平均通透時間為 205 秒，最後則是土雞蛋，其平均通透時間為 410 秒。
4. 鴨蛋蛋殼較薄，其通透速率快；但由鴨蛋製造的皮蛋因經過化學方法處理，其孔隙被阻塞，以致通透速率下降。
5. 由標準差 44.80 可看出，各種蛋之間，個別差異最大的是皮蛋。因皮蛋做過人工處理，處理過程可能因為經過化學物質，例如碳酸鈉、生石灰、氫氧化鈉或碳酸鉀，而導致其孔隙大小被破壞或是被阻塞，故與未經過處理的鴨蛋有所差異，所以 H₂O 通透的時間最快為 260 秒最慢為 467 秒。

(三)研究蛋殼對於 CO₂ 的通透情形。

實 研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 CO₂ 通透度的差異。

3-1-1.CO₂ 由雞蛋蛋殼外部通透到內部的情形

3-1-2.CO₂ 由雞蛋蛋殼內部通透到外部的情形

(表四) 實驗 3-1-1 及實驗 3-1-2 酚酞變色時間的比較

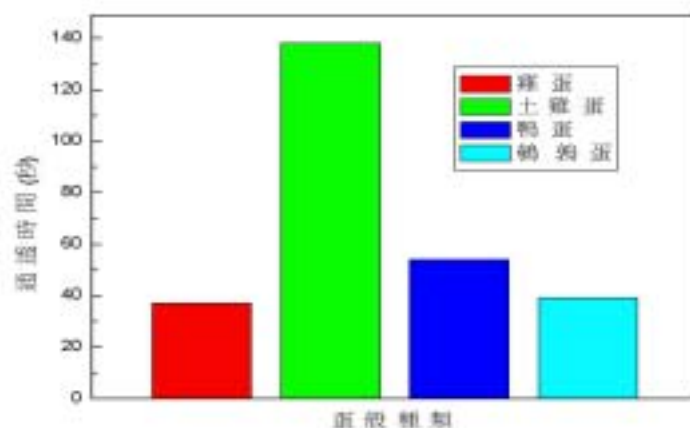
	次數	實驗 3-1-1	實驗 3-1-2	對照組
通透情形 (秒)	1	22	沒 有 變 色	沒 有 變 色
	2	26		
	3	23		
	4	37		
	5	55		
	6	47		
	7	47		
	8	23		
	9	30		
	10	55		
	平均	37		

1. 實驗 3-1-1 的酚酞有變色，顯示 CO₂ 是可以由蛋殼外部通透到內部的。
2. 實驗 3-1-2 的酚酞沒有變色，顯示出 CO₂ 無法由蛋殼內部通透至外部或通透的量非常少，以致於 2 天後仍無法測出。

實驗 3-2：研究不同種類蛋殼的氣室對於 CO₂ 通透度的差異。

(表五)實驗 3-2 酚酞變色時間的比較

	次數	雞蛋	土雞蛋	鴨蛋	鵪鶉蛋	皮蛋	對照組
通透情形 (秒)	1	22	74	39	35	沒有變色	沒有變色
	2	26	102	46	32		
	3	23	75	28	70		
	4	37	158	52	43		
	5	55	146	171	24		
	6	47	77	77	46		
	7	47	289	65	34		
	8	23	107	44	36		
	9	30	63	78	12		
	10	55	59	59	55		
	平均	37	138	54	39		



(圖二十二) 實驗 3-2 酚酞變色時間的比較

1. 除皮蛋之外，其餘實驗皆能讓酚酞變色，由此可知，蛋殼是可讓 CO₂ 通過。
2. 各組實驗的酚酞變色時間明顯不同，由此可知，**各種蛋殼對於 CO₂ 的通透情形不同**。
3. 由酚酞變色時間可知，通透 CO₂ 的速率，雞蛋>鵪鶉蛋>鴨蛋>土雞蛋。
4. 皮蛋組之所以不會變色，乃因皮蛋是經由鹼性物質處理過，而實驗所用 CO₂ 量不多，不足以完全中和這些鹼性物質，故酚酞不會變色。

(四)研究蛋殼對於 O₂ 的通透情形。

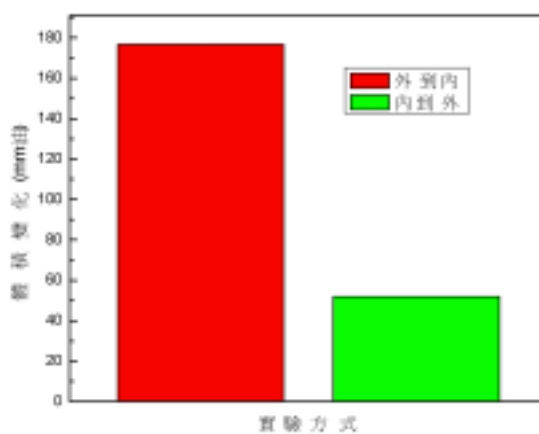
實驗 4-1：研究雞蛋蛋殼的氣室內外不同方向對於 O₂ 通透度的差異。

4-1-1.O₂ 由雞蛋蛋殼外部通透到內部的情形

4-1-2.O₂ 由雞蛋蛋殼內部通透到外部的情形

(表六) 實驗 4-1-1 及實驗 4-1-2 壓力變化之比較

通 透 情 形 (mm 油)	次數	實驗 4-1-1	實驗 4-1-2	對照組
	1	165	62	沒 有 改 變
	2	142	35	
	3	201	52	
	4	153	65	
	5	201	36	
	6	130	41	
	7	150	55	
	8	109	50	
	9	95	65	
	10	112	63	
	平均	177	52	



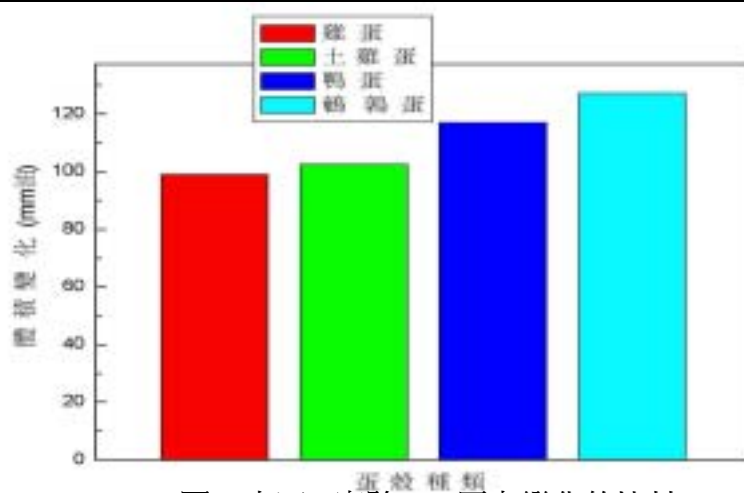
(圖二十三) 實驗 3-1-1 及實驗 3-1-2 壓力變化之比較

- 實驗 4-1-1 的 O₂ 壓力變化明顯比實驗 4-1-2 大很多，由此知 O₂ 是易由蛋殼外部透到內部，且通透的程度差距很大，由表六可知兩者差距為 125mm 油。

實驗 4-2：研究不同種類蛋殼的氣室對於 O₂ 通透度的差異。

(表七) 實驗 4-2 壓力變化的比較

通 透 情 形 (mm 油)	次數	雞蛋	土雞蛋	鴨蛋	皮蛋	鵪鶉蛋	對照組
沒有變化	1	99	98	124	19	120	
	2	96	100	133	44	119	
	3	102	96	135	20	159	
	4	75	92	137	62	121	
	5	102	108	105	73	100	
	6	83	106	95	12	154	
	7	140	110	110	45	145	
	8	82	98	115	76	135	
	9	68	95	145	10	98	
	10	98	115	121	75	102	
	11	90	65	119	14	120	
	12	108	97	95	15	145	
	13	130	91	103	11	133	
	14	75	113	105	13	121	
	15	104	116	113	19	136	
	平均	99	103	117	34	127	
	標準差	19.85	12.85	15.34	24.15	18.35	



(圖二十四) 實驗 4-2 壓力變化的比較

1. 由(圖二十四)得各種蛋殼對於 O₂ 皆能通透但通透程度不一。
2. 各種蛋殼對 O₂ 的通透程度，**鵪鶉蛋>鴨蛋>土雞蛋>雞蛋**。
3. O₂ 通透鴨蛋、皮蛋及鵪鶉蛋通透明顯比雞蛋及土雞蛋大很多，推測原因可能是因為鴨蛋及鵪鶉蛋的孔隙比一般的雞蛋大或是孔隙數目較多，足以讓較大量的 O₂ 通過。
4. 皮蛋組的數據差異最大，推測原因是皮蛋的蛋殼已人工處理過，孔隙大小被改變的程度不同，再加上個別差異性所以皮蛋的標準差最大，達 24.15。

(五)研究蛋殼對於污染氣體的通透情形

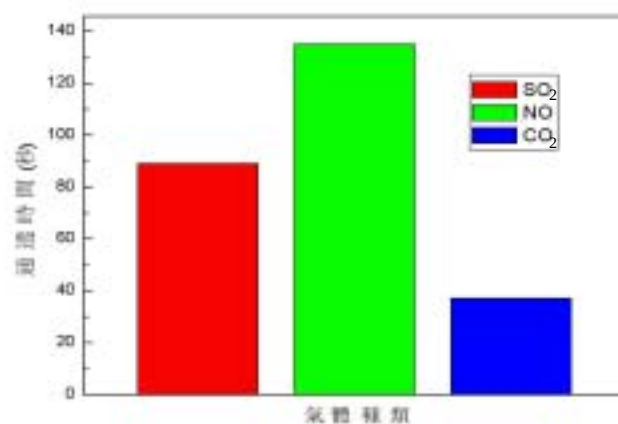
實驗 5-1：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 SO_2 通透度的情形。

實驗 5-2：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 NO_2 通透度的情形。

實驗 5-3：研究雞蛋蛋殼由氣室外部到內部對於 CO_2 通透度的情形。

(表八)實驗 5-1 到 5-3 的比較

通透情形 (秒)	次數	空氣污染物		
		SO_2	NO_2	CO_2
1	107	261	22	
2	67	156	26	
3	37	233	23	
4	44	103	37	
5	45	84	55	
6	75	152	47	
7	191	55	47	
8	164	200	23	
9	125	50	30	
10	34	53	55	
平均	89	135	37	



(圖二十五) 實驗 5-1 到 5-3 的比較

1. 由(圖二十五)可知，蛋殼通透污染物的情形， $\text{CO}_2 > \text{SO}_2 > \text{NO}_2$ 。
2. 由表八可知 NO_2 差異較大，顯示出 NO_2 容易對蛋殼孔隙產生影響。

柒、討論

- 1、 蛋殼為生物分泌出為保護胚胎的物質，其組成為非細胞構造。由(圖十七)與(圖十八)觀察得知茶葉烘烤才能使茶分子通過蛋殼，推測原因為茶分子溶於水中並且與水分子彼此藉由凡德瓦力或氫鍵互相吸引，形成一穩定之水合分子，使得此水合分子比單一分子大很多，故將蛋殼浸泡於茶水中煮時，此水合分子比蛋殼孔隙大，因此無法輕易通過蛋殼，使蛋殼外表雖呈現褐色但內部卻沒有茶的顏色，但若茶分子蒸發成氣體時，分子之間吸引力變小，因此氣態茶分子會比茶之水合分子更易通過蛋殼。故我們在烹煮茶葉蛋時，常將蛋殼打破，使蛋殼有裂縫，液態茶分子能輕易到達蛋殼內部。相反的，茶葉產生的蒸氣可輕易通過蛋殼，使其內部呈褐色而外表只呈現淺黃色。
- 2、 由實驗 1-1 結果知道，液態分子很難通過蛋殼，而蛋殼的孔隙可使氣體分子輕易的通過。蛋殼外部有一層厚度僅 $10\sim 30\ \mu\text{m}$ 的表層膜，為蛋白質構成不溶於水的保護膜(參考資料 3)，使蛋殼有防水的功能，更可以支持我們的實驗結果是液態的分子較難通過蛋殼。但是蛋殼為卵生動物為適應環境而演化出的一種特殊構造，而卵生動物於蛋殼內發育時，需以呼吸作用維持生命，故蛋殼孔隙必定能使呼吸作用所需物質通過。
- 3、 根據實驗 3-1-2 發現， CO_2 由蛋殼內部通透至外部的情形，酚酞是不會變色的，顯示其通透的量極微量，以致無法使酚酞變色。我們推測由於蛋殼的構造利於氣體分子由外通透至內部，如此可防止水分散失太迅速，以致生物脫水而死，且也不致使殼內生物缺氧。但對於呼吸作用所排出之廢物 CO_2 卻難以排除，有資料指出不新鮮的蛋氣室會變大，於是我們認為氣室為蛋殼 CO_2 暫時安置之場所， CO_2 就可暫存於氣室中以較慢的速度慢慢排出。
- 4、 根據實驗 2-2 結果推測，蛋殼之氣室較其他部分易使氣體通過。一顆普通大小的蛋大約有 $7000\sim 17000$ 個孔隙，孔隙從蛋殼表層膜直通蛋殼內膜，但其分布並不平均，一般是由尖端至鈍端逐漸增多(參考資料 9)。氣室為殼內生物呼吸作用進行氣體交換之主要場所，故氣室較尖端和側邊更易使氣體分子通過，目的是使生物能代謝 CO_2 和進行呼吸作用。
- 5、 根據實驗 2-3、4-2 數據可發現：皮蛋之個別差異大。皮蛋為人工處理過的蛋殼，觀察皮蛋蛋殼內側，肉眼可見許多密布的黑色小斑點，而這些斑點是來自於皮蛋加工時其所添加之銅、鉛等重金屬，意即皮蛋蛋殼外側所具有的斑點顏色愈深，添加金屬愈多(參考資料 6)。而這些添加的金屬可能會

破壞蛋殼原本排列精密的碳酸鈣結晶，而造成孔隙阻塞而成不連續性地改變孔隙數目及大小，因此實驗 2-3、4-2 皮蛋數據差異性大。在剝蛋膜的過程中，我們發現不同種的蛋殼厚度差異很大，我們假設蛋殼的厚度會影響氣體的通透速率，蛋殼較厚者通透速率應較慢，反之則較快。實驗 2-3、3-2 結果顯示，蛋殼較厚的土雞蛋，在實驗中都為通透性較差者；相反的，蛋殼較薄的如鵪鶉蛋，通透性較佳，和假設相符合，證明了蛋殼的厚度會影響通透速率。

- 6、由數據可知，置入 CO_2 的裝置其酚酞變色時間最短， SO_2 次之， NO_2 的時間最長。但依據格銳目擴散定律可知三種氣體的擴散速率為 $\text{CO}_2 > \text{NO}_2 > \text{SO}_2$ ，實驗結果似乎與推測不合。 CO_2 、 NO_2 及 SO_2 的溶解度不同， SO_2 的溶解度為 8.5 mL/100mL H_2O ， NO_2 的溶解度為 0.1 mL/100mL H_2O ，而 CO_2 的溶解度雖然只有 0.027~0.036mL/100mL H_2O ，因為實驗中通透的氣體僅微量，故擴散速率對變色時間的影響較大。經過詢問老師之後得知： SO_2 、 NO_2 溶到水中形成 H_2SO_3 及 HNO_3 ，皆為較強的酸性溶液，會和蛋殼產生反應，破壞蛋殼的孔隙或產生沉澱物堆積在蛋殼上，使其通透速率減慢，我們觀察到又以 HNO_3 破壞程度最強。故氣體的溶解度和特性也會影響通透速率，故我們測得的變色時間 CO_2 最快， SO_2 次之， NO_2 最慢。
- 7、經過實驗 5 可知空氣污染之成分可以通過蛋殼到達內部蛋殼，並不能保護發育中之胚胎遠離有毒的污染物。由於蛋殼之成分主要為碳酸鈣，會和酸性物質反應而降低蛋殼強度。當進行實驗時，實驗 5-2 的蛋殼甚至會因和污染物 NO_2 反應而被腐蝕，由此可知我們平常食用的蛋可能受有毒物質污染。雖然污染物的確會通過蛋殼到達內部，但蛋殼對胚胎仍是不可或缺的。蛋殼質地堅硬，可阻隔外力對胚胎的直接傷害；蛋殼表面具有的孔隙，也利於生物進行呼吸作用，故蛋殼對胚胎而言無疑是一層極佳的保護。
- 8、整體而言，不同種類的蛋殼通透性不同，推測是因不同種類之蛋殼其厚度與強韌度不同，或者與欲通過蛋殼之物質狀態亦有關。
 - ☐ 不同種生物為適應不同之生活環境進而演化出各種適應環境的機制，例如：生活在高山地區之鳥類蛋殼沒有孔隙、蛋雞之蛋殼厚度很大等皆與此有關。另外，亞種之間亦有差異性，例如『雞蛋』蛋殼與『土雞蛋』蛋殼之間就存在著顯著的差異，一般來說，棕殼蛋的蛋膜是普通雞蛋蛋膜的 2~3 倍厚(參考資料 9)，且在實驗中我們也發現：無論是氣態 H_2O 、 CO_2 或 O_2 ，通透度最差者皆為土雞蛋。如此便能解釋為何土雞蛋做出來的數據和雞蛋差異甚大。
 - ☐ 物質之狀態也會影響其通過蛋殼，液態不易通過，而氣態因分子相較液態而言分子較小，所以可以輕易通過蛋殼。但雖同為氣體的 SO_2 、 NO_2 、

CO₂ 具有不同通透能力，除了與其酸鹼性有關之外還與其溶解度有關。

捌、結論

蛋殼的孔隙具有通透性，但不具有選擇性，物質是否通過只與其分子大小有關，故液體分子相較氣體分子不容易通過。蛋殼孔隙可使 H₂O、CO₂、O₂ 等生命現象必須物質通過，且於氣室部分最容易通過，不同種類的蛋殼之間通透的情形也不相同。同樣的，蛋殼也能使空氣中的污染物質通過，但不易通過，顯示蛋殼對於發育中的胚胎具有一定的保護作用。

玖、未來展望

一路走來大家辛苦了，感謝所有無條件陪伴我們的老師，以及班上所有一起度過這段艱難時光的同學們，同時，也謝謝身旁的兩位夥伴，在這段酸甜苦辣交錯的日子裡，有你們的努力，才有我的堅持。

關於我們的實驗，尚有一些未探討的事情，像是污染物方面，可以更深入去研究各種有毒氣體的通透性，如此便可知道，處於哪種狀況下的蛋容易受到污染，不能食用。或是研究各種蛋殼對於污染物的通透情形，進而了解哪種蛋較具有防污染物的功能，在育種時，就可以培養這一類的蛋。而各種蛋之間的差異，並不止於我們所實驗的物質之通透，在大自然各種不同的環境中，生物會發展出適應環境的構造，不同生活條件下的生物所生出的蛋，其蛋殼勢必會有某種結構或功能的不同，研究這些不同點，有助於我們了解生物的演化及環境的變遷。關於這個卵生動物保護胚胎的構造，上述都是很值得研究的地方

拾、參考資料

- 1.陳溫柔，1993，家禽類蛋殼氣孔數初探，科學教育月刊 157 期，66~71 頁
- 2.劉月梅、張淳琤、李宏孝，K-12 奈米科技教案
- 3.<http://www.miobuffer.com.tw/fnm/198809/8089.htm>
- 4.<http://www.csas.org.tw/fullcsas/2002313/189.htm>
- 5.<http://www.isu.edu.tw/new/doc/class/88252/news6.htm>
- 6.<http://www.csas.org.tw/fullcsas/2004331/8.htm>
- 7.<http://mail.gwjh.hc.edu.tw/~tea11/science2/108/>
- 8.<http://www.csas.org.tw/fullcsas/1999282/10.htm>
- 9.<http://www.miobuffer.com.tw/fnm/198809/8089.htm>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 生物(生命科學)科

040715

微在蛋隙——探討蛋殼奈米孔隙的通透性質

國立新竹女子高級中學

評語：

1. 本計畫研究蛋殼奈米孔隙的通透性，其研究具本土性
2. 其氣體通過蛋殼用酚酞變色及氧化鈷試紙測水氣之透過率時有些標準差較大，尤其土雞蛋差異大，需有適當之實驗材料之控制。