

中學生物 實驗對照組之設立

國立台灣師範大學生物研究所 吳京一

當我們做實驗，將所得之資料加以整理、討論，這時最重要的問題，就是這項實驗有無設置對照實驗。凡是科學實驗如果沒有適當的對照實驗，無論其研究論文名稱如何的堂皇，有多大篇幅，收集多少寶貴資料，或花費多少實驗時間、材料費及人力，可以說都完全是白費功夫，很可能需要從頭再做過，由此可見對照實驗在實驗上之重要性。

在一般情形下，影響自然現象之條件因素為數甚多。以最簡單之化學實驗來說，可能影響某種物質之溶解作用的因素即有：溶質之種類、溶質之數量、物質（結晶體）之大小、溶媒之種類及溫度等。以生物實驗而言，實驗室之明暗度、溫度（氣溫）、濕度、氣壓、實驗生物之健康狀態、生物之種類、大小，甚至於實驗時之季節、時間、晝夜之別等，可以想得到之影響因素特別多，而且這些因素之間又會互相干擾、互相促進或抑制，使更加複雜化。

若欲研究這些條件因素對生物之影響，多半只容許改變欲解明之條件因素，而切實控制一切其他因素使之一定（固定），如此才能探討該條件因素對實驗之影響。如果有二種以上之條件因素同時可以改變時，雖然得到甚好之資料（data），却無法獲知究竟是那一種因素所引起的，根本就無法加以討論。

如上述，會影響實驗成果之因素甚多，雖然我們儘量把這些因素放在實驗者控制之下，但實際上，不易控制的條件因素甚多。在這時候所謂「對照實驗」就可以發揮其作用，以解決這些困難。可見對照組之設立在實驗之過程上，事實上佔了很重要的地位。舉一例來說，若欲探究種子發芽與溫度間之關係時，選擇大小差不多一樣之種子若干粒，分做二群（對照組與實驗組）而這二群播種於同一地方採取之土壤、同一大小之同種容器內（如燒杯、花盆等），而只許改變溫度而比較。如果不是這樣做，我們不能斷定溫度會影響發芽。在此，只許改變溫度這一因素，而其他條件〔很嚴格地說，如每一種子之活力（vital activity）不同，或萌芽後，因其屈曲角度之不同，受日光照射角度之稍有不同等〕稍有不同或變化，亦因對照組與實驗組在同一實驗條件下產生，使這些會影響種子發芽前後之因素可以互相抵消。因而可討論一個可改變之因素（溫度）對種子萌芽之影響。

對國中生物之實驗而言，每種實驗因其內容較簡單，又容易做，稍微聰明的學生大概都可以推想實驗結果，因此往往忽視了設定對照組。更重要的問題，還是學生不能體驗到對照實驗之重要性。

下面以最簡單的生物育成實驗為例，說明實

施對照實驗時應該考慮之幾點。

1. 陽光對植物成長之影響 (馬鈴薯)

也許各位老師做過陽光對於植物的影響的實驗，結果發現放在樹蔭裏的觀賞植物比充分陽光中的同樣觀賞植物更茂盛、花卉更大更鮮艷，顯示樹蔭中之植物發育較好。為什麼有這種看來違背常理，違反所學到的植物生理之現象呢？這很可能歸於水分供給量之不足而引起的。因為花盆有一定之容量，花盆中之土壤本來就很少，置於日照地的花盆，因為土壤少容易乾，所以常缺水。反之放置在陰濕、光照較少地方的花盆，往往因為澆水過多時容易使根腐朽，這時只好減少澆水次數。但為了保持條件之統一，只有犧牲日照地花盆之澆水次數，而引起在日照地方花盆中常缺水之現象，結果使植物成長不良。如果我們忽略這點，我們也許會導出“陰濕地方之植物比日照地方之植物，成長較良好”等錯誤的結論。這都是實驗設計不當所引出的問題。

再以馬鈴薯之成長與日照為例。有人⁽¹⁾測定「馬鈴薯之光合作用與光能關係」，發現在15K lux處就已達到飽和點(圖1)。如在夏季，在陰暗處就有15 K lux之照明度。若以此事實來推理，馬鈴薯在夏天即不分日照地與陰暗處皆應該可以成長。但是我們還要考慮的是(一)兩種地方

在上、下午時的光照量之不同。(二)光照量會影響地溫。以上這兩問題都可影響植物體之成長。

再詳細討論這成長問題。由圖1，我們知道補償點^{*}在1 K lux附近，而且溫度低者，其補償點亦低。另外又知光線之飽和點在15 K lux附近。若溫度由20°C上升至30°C時，其光合作用之合成量即增加大約1.5倍。若以此數字適用於自然太陽光環境之下，按理可得光合作用下所合成的量。以夏至之日，測定日照地與陰暗兩地方的照光度，即如下圖(圖2)。

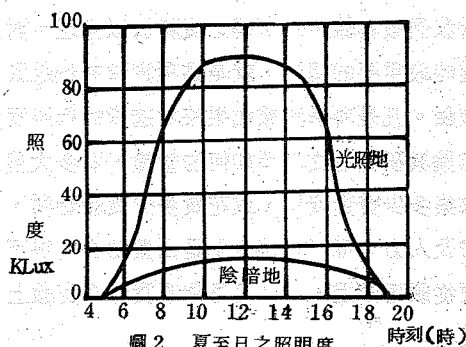


圖2 夏至日之照明度 (原口，理科教育Vol.29 1980)

※補償點 (Compensation point)：在綠色植物中，呼吸及光合作用所引起之氣體，完全被交換，而沒有任何氧氣或二氧化碳之吸收或放出時之光強度稱為補償點。補償點愈低之植物，表示愈可利用微光，而這補償點之高低即可以測出植物體之光合作用。

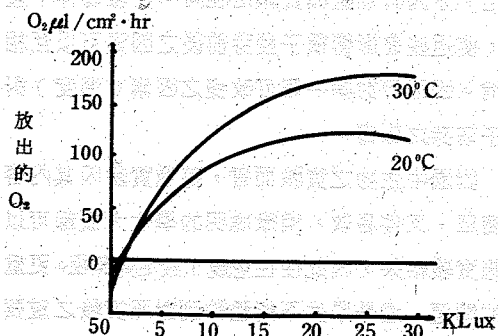


圖1 照明度與光合作用 (馬鈴薯)

我們在一定氣溫 (20°C) 之下，可由圖1、圖2求得光合作用之合成量。即天剛亮 (上午5點) 後至6點鐘時，由圖2可知道日照地已有10 K lux。這時候，每1 cm²葉片中的合成量由圖(1)可以測出90 μl/cm²/hr的氧氣。這將相當於0.12 mg澱粉之合成⁽¹⁾，圖3表示一日日照時間與澱粉合成量間的關係。由圖3可知，有日照地與陰影地之間，所產生的澱粉量並沒有很大的區別。

於圖3，時間軸與曲線所包圍的面積，可表示一天內澱粉之產量，而由作圖法可測出葉面積 1cm^2 中能產生 1.7mg / 天之澱粉⁽¹⁾，惟應該考慮植物（馬鈴薯）在夜間之呼吸量。

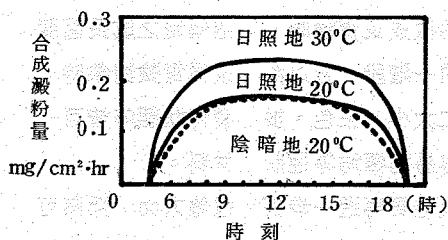


圖3 在夏至日能產生的澱粉量（如同前）

2. 陽光對稻米發育之影響

稻米對我們中國人來說是最重要的主要食物之一。因此稻米栽培及改良品種，常受吾人之重視與關心。惟稻米之成長時間較長，而現行國中生物實驗因受授課時間之限制，未能做適當的實驗，是為一大遺憾！如以稻米為實驗材料，欲研究日光對它成長的影響時，吾人應考慮下列幾項問題。

①栽培方法

到附近之農家購買秧苗，插秧於若干個直徑 25cm 的花盆中。每一花盆大約插三支，然後置於有水的小水池中或大塑膠盆中。水深為秧苗根先端上至 $2-3\text{cm}$ 為宜，如圖4，插秧時儘量插淺，不使秧苗倒下來為度，不然秧苗根之上節就會生新根。

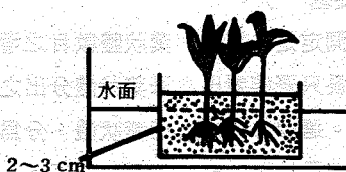


圖4 秧苗的栽培方法

插秧後等 $2-3$ 日俟根固定在土壤後，分二組，一組為遮光組，另一組即為無處理組，比較二組之發育狀態。觀察稻之發育狀態是需要較長期之時間，因此也可利用這實驗養成學生之興趣與耐心。

②遮光

在校園裏做實驗，可利用竹片或其他能遮光者。遮光並不需要完全黑暗。若利用竹片，即將竹片橫置於 1.2 公尺高的木格子上，再用鐵絲、鋅絲等固定，不使被風吹開就可。每一竹片間間隙及木格子之高度皆會影響遮光率。因此一切弄妥後，再用Lux meter 測定照光度。有時也需要考慮四周來的光線。

③遮光之時期

稻米依種類之不同，其成育時期所需要的日照時間、溫度、水分等環境條件都不同。觀察稻之成長快慢，一般以嫩芽法^{*}來判斷，稻米正在分出嫩芽之時期是最容易受到遮光之影響，惟在實驗上只遮光 10 日左右就可得到甚好的結果。至於選擇那一時期最好？應預先查閱有關資料為宜。

^{*}嫩芽法 (Tillering Shooting)；指稻桿基部節分出腋芽 (axillary bud) 所需時間。

④水溫

有遮光的部分，除日照量減少外，水溫亦會降低，若沒有考慮水溫之高低，即使實驗後討論資料時，所得結果究竟由于遮光或者水溫所影響？無法肯定。因此需要事先考慮遮光部分與沒有遮光部分的水溫是否相同。

欲使全水池內之水溫要保持同溫，就要使池水常常流動或循環。最簡單的方法，就是要不斷注入及排出一定量之水。至於保持遮光部與無遮光部之氣溫之恒定，則還沒有發現適當而經濟之方法。

3. 陽光對浮萍發育之影響

在台灣各地河川到處都可以看到浮萍。有三屬五個種⁽²⁾。對國中學生來說，這浮萍之大小適宜，一年四季皆可供實驗，可以說是相當好的實驗材料。浮萍在自然條件下，它是隨着水流而浮動，因此在室內做實驗時，我們可利用廚房用的塑膠盆（盆有網狀之孔目），放入適宜數目之浮萍，再把這盆置於流動之水池內，不使浮萍流出去就可。

浮萍成長量之測定，可根據葉狀體^{*}的數目、葉狀體面積大小、葉狀體之濕重量或乾重量等皆可。

^{*}葉狀體（thallus）；植物體制上之術語。多細胞體；外表沒有莖葉之分別，內部維管束未分化。

總之，以浮萍做成長實驗，有下列各項優點：

①浮萍之成長率比一般高等植物快，因此在短期內可以完成實驗。在一般情況下，只需2～3週就可得到某單項結果。這樣，能誘起並維持國中學生之研究興趣。又因成長率快，所以在短時間內可以重覆實驗多次。

②如前述，浮萍成長特別迅速，幾乎於每1～2日內就可增加一倍之數目，且因體積小，可用燒杯、培養皿在實驗室內實驗，易以統一各項條件因素。

③葉狀體全面浮在水面上，而隨著葉狀體之成長，隨時調整容器之大小時，可以充分吸收陽光以進行光合作用。

浮萍之葉狀體不像馬鈴薯葉或稻葉等作立體型式，因此容易消去葉片密度效果（葉片之重疊所產生的光合作用之干擾作用）之因素。相反地，若欲研究密度效果，即把培養皿重疊就可。

④以高等植物做為研究對象時，水分之適宜供給量是很重要的成長因素之一，但這又是很難控制的變因。如果以浮萍或其他水生植物為研究材料時，這水分供給量的問題就自然消失，連濕度的問題亦可同時解決。

⑤開始做成長實驗時，每個個體之成長程度應該是在同一階段。若以浮萍做為實驗對象時，因葉狀體之大小、葉色、根部發育狀態等皆可一目了然，容易選擇均等性狀之材料。

⑥如果還要再進一步研究遺傳方面，浮萍可以無性生殖，且同一體所分出的營養系（clone）沒有遺傳變異，因此利用自一葉狀體成長繁殖的材料，都可適合遺傳上的研究。

由以上六項優點來看，浮萍對國中生物，可以說是一種甚好的實驗材料。

下面是日人原口利用浮萍所做的實驗結果，也許可做我們做實驗時的參考⁽¹⁾。

方法：本實驗均在大型的恆溫恆濕箱內實施，溫度為30°C，濕度為80%，箱內用40W日光燈10支並排，並用dionet（市販之觀賞植物用遮光板，材料是黑色薄尼龍布）。以改變照明度（照明度以改變浮萍至光源間之距離而得之）。照明度分為五種，即0.5K，1K，2K，4K，8K lux。

照射時間之設定是利用市販之定時鐘，定為12小時之照明及12小時之黑暗。培養器則利用直徑9cm之大型培養皿，內放培養液200c.c.及浮萍。（可用modified Hoagland氏培養基或Hutner氏培養基⁽²⁾）。

成長率之測定是計算浮萍葉狀體數目之增加為依據。用肉眼只要能看出自母葉狀體分出之小葉體就可算數。選擇45枚之健康葉狀體，分為五組（每組9枚）置於上述五種照明度之下。

結果及討論

各種照明度與個體數增加之速度示表一，由表可知浮萍數目之增加，大約在12日以前成直線狀的增加，如圖5。由以上之實驗結果浮萍很可能對國中生物植物發育實驗相當好的材料之一。

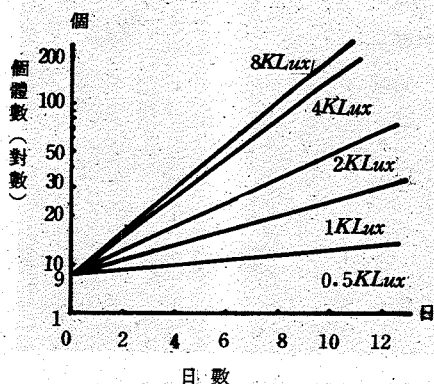


圖5 照明度與浮萍葉狀體增加數目

月	日	6/4	6/6	6/8	6/10	6/13	6/15
日	數	0	2	4	6	9	11
照 度 KLux	0.5	9	10	10	12	12	13
	1	9	11	13	15	23	28
	2	9	14	18	27	40	58
	4	9	16	32	53	126	194
	8	9	18	32	57	141	265

表1 在各種照明度下的浮萍數增加數目

文獻

1. 原口和夫：理科の教育（日）29卷37～41頁。（1980）
2. 潘素美：生物科學，11卷32～37頁。（1977）

更正啓事

黃長司

在第35期第75頁刊出本人解答讀者所提出之問題：「 mv （動量） $= 4.2 \times 10^{-25} \times \frac{T}{v}$ 是否合理？」。解答中本人誤將式中 mv 及 v 分別稱為平均動量及平均速度。多謝吳大猷先生來信指正！特提出更正並重新解答。

學生由理想氣體公式

$$PV = nRT \quad \dots\dots\dots(1)$$

與氣體運動論中

$$PV = \frac{1}{3} Nmv^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{得 } mv = 3 \frac{R}{N} \times \frac{T}{v} \quad \dots\dots\dots(3)$$

將 $R = 0.082$ ， $N = 6.02 \times 10^{23}$ 代入(3)式，

$$\text{得 } mv(\text{動量}) = 4.2 \times 10^{-25} \times \frac{T}{v} \quad \dots\dots\dots(4)$$

依氣體運動論，(2)式中之 mv^2 實為平均動能

的兩倍，應寫為 $m\bar{v}^2$ 。而(3)式中左右兩邊之 v 應為均方根速度， $\sqrt{\bar{v}^2}$ ，故(4)式應寫成

$$m \times \sqrt{\bar{v}^2} = 4.2 \times 10^{-25} \times \frac{T}{\sqrt{\bar{v}^2}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5)式的意義是：氣體分子中速度為 $\sqrt{\bar{v}^2}$ 的分子，其動量可由絕對溫度 T 與其速度的比值乘以一常數算出。此式導出過程雖合邏輯，但是沒有實用價值。原因之一是常數 4.2×10^{-25} 的單位因次不適當；另一原因是 $\sqrt{\bar{v}^2}$ 必須由

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{Nm}} \text{ 算出，則用 } m \times \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RTm}{N}}$$

要比用(5)式省事多了。

如果(4)式左邊指的是平均動量， $m\bar{v}$ ，那麼(4)式就不能成立，因為 $\sqrt{\bar{v}^2} \neq v$ 。氣體運動

論求平均動量的公式是 $m\bar{v} = \sqrt{\frac{8RTm}{\pi N}}$ 。□