

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

040714

異營性綠藻無光下與葉綠體內共生之探討

學校名稱：國立臺中第一高級中學

作者： 高二 詹承諺 高二 溫彥哲 高二 黃威致	指導老師： 呂宗信
---	------------------

關鍵詞：異營性、球藻、衣藻

摘要

植物的根為異營性的角色，所以本實驗挑選異營性衣藻與綠球藻作為實驗材料，探討並比較在光暗環境下，兩種藻類葉綠體濃度(OD 值)以及葉綠體內共生關係的改變。實驗結果顯示，綠球藻在全亮的培養下，OD 值大約可達 2.0，黑暗培養下，OD 值可達 1.7；透過光暗交替實驗發現，有光轉暗後光密度值下降、暗轉亮光密度值上升的現象。衣藻在黑暗中培養後，其外觀顏色和光照培養有顯著差異；而綠球藻在黑暗中培養與在光照中培養的外觀顏色差異不大。最後我們藉由顯微鏡觀察，推測綠球藻和衣藻的葉綠體內共生機制不太相同。綠球藻分解其體內葉綠體較不需要的廢物排出體外，以度過黑暗；衣藻則是和一般植物較相近，在黑暗中將葉綠體轉換為白色體。

壹、研究動機

在高中的生物課堂上，我們學到如果植物生長在缺乏光線的暗室中，其葉綠體及葉綠體的前導物原質粒體(proplastids)，會因為缺乏活化的色素，而呈現淡黃色而非綠色，而就是廣義的白色體或黃化葉綠體(Etioplast)，然而在數分鐘的光線照射後，黃化葉綠體會因色素的活化，而逐漸轉化為正常的綠色葉綠體。但是在查詢文獻之後，我們發現某種蕨類的根部在尚未照光之前依然可以形成綠色的葉綠體，與課本上所學的不同，因此我們想要了解其中的原因。但是由於蕨類的構造過於複雜，又因為根部在整株植物中扮演異營角色，因此我們挑選異營性的兩種藻類進行研究。

貳、研究目的

了解兩種異營性的藻類在光暗環境下對於葉綠體內共生關係的改變

參、研究設備與器材

一、異營性綠藻

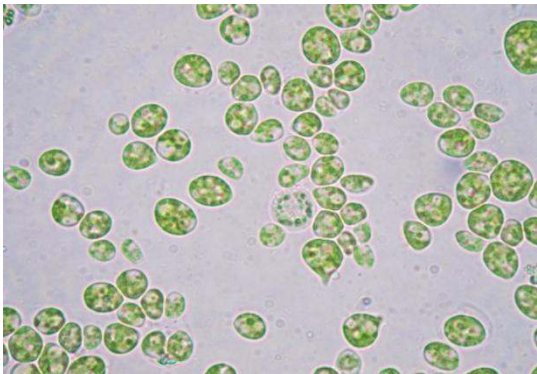


圖 1:綠球藻

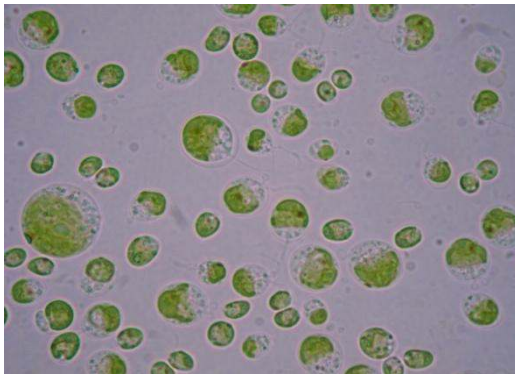


圖 2:衣藻

學名	<i>Chlorella.sp.DT</i>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>
科名	小球藻科	衣藻科

二、培養液

(一) 綠球藻培養液成分(表 1)

Stock No.	Chemical	Stock concentration			Make-up	
1	KNO₃	1 M	101.11 g/L		10 mL/L	
	MgSO₄ · 7H₂O	0.1 M	24.64 g/L			
2	Na₂HPO₄	0.05 M	7.10 g	In 1 L (pH=6.4~6.6)	10 mL/L	
	NaH₂PO₄ · H₂O	0.45 M	62.10g			
3	CaCl₂ · 2H₂O	0.01 M	0.30 g /200 mL		2 mL/L	
4	FeSO₄ · 7H₂O	0.05 M	1.39 g	In 100 mL (100°C,10 min)	1 mL/L	
	EDTA · Na₂ · 2H₂O	0.05 M	1.86 g			
5	H₃BO₃	0.1 M	0.6183 g	In 100 mL (5a)	1-mL(5a) + 0.25 mL H ₂ SO ₄ ↓ 100- mL(5b)	1 mL(5b)/L
	MnSO₄ · H₂O	0.1 M	1.6902 g			
	ZnSO₄ · 7H₂O	0.1 M	2.8754 g			
	CuSO₄ · 5H₂O	0.001 M	0.0250 g			
	(NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O	0.001 M	0.1236 g			
*Add glucose = 1.0 g *Final pH ≈ 6.8 (check) (add ~200 μL NaOH)						

(二)衣藻培養液成分(表 2)

Stock No.	Chemicals	Stock concentration		Make up	
1	NH ₄ Cl	0.28M	15.0 g/ L	25mL/ L	
	MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.1623M	4.0 g/ L		
	CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.136M	2.0 g/ L		
2	K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	0.8266 M	18.865g/ 100mL	0.75mL/ L	
	KH ₂ PO ₄	0.53M	7.2g/ 100mL		
3	EDTA disodium salt	0.1343M	10g/ 200mL	1mL/ L	
	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0.0765M	4.4g/ 200mL		
	H ₃ BO ₃	0.1843M	2.28g/ 200mL		
	MnCl ₂ · 4 H ₂ O	0.2256M	1.012g/ 200mL		
	Co(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	0.0068M	0.3936g/ 200mL		
	CuSO ₄ · 5 H ₂ O	0.0063M	0.314g/ 200mL		
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O	0.0009M	0.22g/ 200mL		
	FeSO ₄ · 7 H ₂ O	0.0179M	0.998g/ 200mL		
	TRIS				2.42g/L
	Acetate		100%		1mL/ L

三、材料與器材

微量吸管、錐形瓶、酒精燈、垂直式無菌操作台、數位相機、紫外可視光譜儀、震盪式培養箱、高速離心機、顯微鏡、封口蠟膜、電子天秤、拭鏡紙

肆、研究過程與方法

一、綠球藻分別在光照與無光下的生長實驗

(一)、培養 2 瓶綠球藻，使其 OD_{700nm} 為 0.3。

(二)、將 1 瓶綠球藻包上鋁箔紙，並將兩瓶綠球藻置於震盪式培養箱中進行培養。

(三)、經過 3 天的前置培養後，每天開始測量其 OD 值，並將結果紀錄下來。

二、綠球藻在接受不同光照時間下的生長實驗

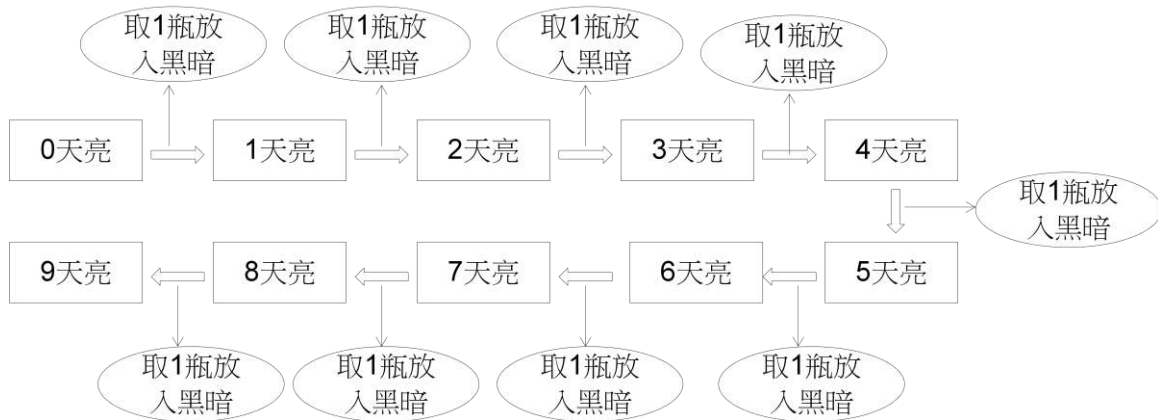


圖 3:實驗二流程

- (一)、培養 10 瓶 10mL 的綠球藻，將此 10 瓶皆置於震盪式培養箱中進行培養。
- (二)、每天選擇其中一瓶包上鋁箔紙，並放入黑暗中。
- (三)、培養九天後分別有 9 天亮、9 天暗、1 亮 8 暗、2 亮 7 暗、3 亮 6 暗、4 亮 5 暗、5 亮 4 暗、6 亮 3 暗、7 亮 2 暗、8 亮 1 暗，並取樣測 OD700nm 值並進行顯微觀察。

三、綠球藻在不同濃度下光暗交替實驗

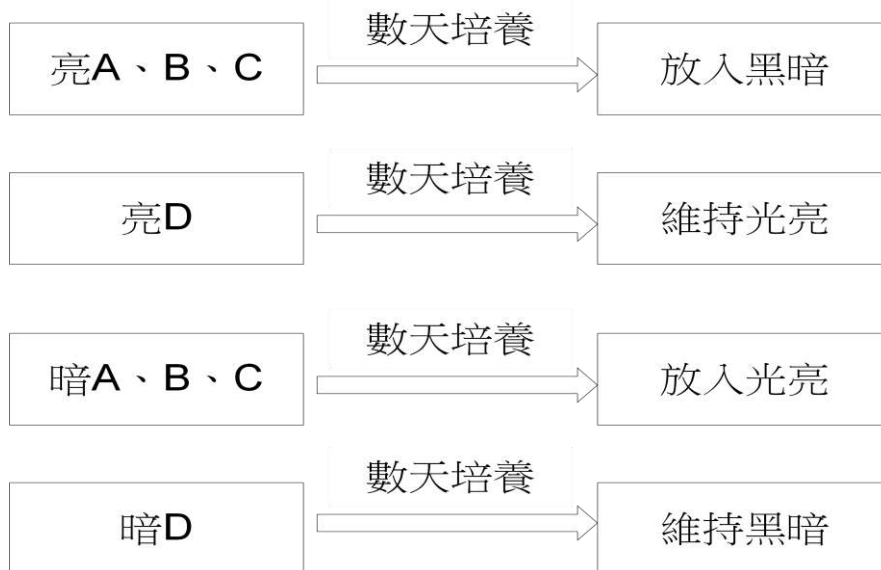


圖 4:實驗三流程

- (一)、培養 8 瓶 100mL 的綠球藻，每瓶起始 OD700nm 控制在 0.3。
- (二)、將 4 瓶置於震盪式培養箱中，編號為 0.3 亮 A、0.3 亮 B、0.3 亮 C、0.3 亮 D；另外 4 瓶則以鋁箔紙包覆並置於培養箱，編號為 0.3 暗 A、0.3 暗 B、0.3 暗 C、0.3 暗 D。
- (三)、經過三天的前置培養之後，開始每天測量其 OD700nm 的值，並記錄下來。
- (四)、再經過數天的培養之後，使其 OD 值達到該光度下的臨界值(OD 值大致維持穩定)，從原本照光的 4 瓶綠球藻中，選擇編號為 0.3 亮 A、0.3 亮 B、0.3 亮 C 包上鋁箔紙並置於黑暗的震盪式培養箱中，編號 0.3 亮 D 繼續置於光亮中；再從 4 瓶原本置於黑暗

的綠球藻中，選擇編號為 0.3 暗 A、0.3 暗 B、0.3 暗 C，拆去鋁箔紙置於光亮的震盪式培養箱中，0.3D 則繼續置於黑暗中。

- (五)、繼續每天測量其 OD 值並繪製成圖表，並於 OD 值再次維持穩定後取樣進行顯微觀察。
- (六)、以相同步驟同時培養起始 OD700nm 為 0.7 的綠球藻，並記錄且進行顯微觀察。

四、衣藻分別在光照與無光下的生長實驗

- (一)、培養 2 瓶 10mL 的衣藻，將 1 瓶包上鋁箔紙，並將 2 瓶同時置於震盪式培養箱中。
- (二)、經過 6 天的培養，取樣並進行外觀和顯微觀察。

五、衣藻在接受不同光照時間下生長實驗

- (一)、培養 5 瓶 10mL 的衣藻，並取其中 1 瓶包上鋁箔紙，並將 5 瓶同時置於震盪式培養箱中。
- (二)、每天選擇其中一瓶包上鋁箔紙，最後留下 1 瓶不包上鋁箔紙。
- (三)、經過 5 天的培養，分別有 4 天亮、4 天暗、1 亮 3 暗、2 亮 2 暗、3 亮 1 暗，取樣並進行外觀和顯微觀察。

伍、研究結果

一、綠球藻分別在光照與無光下的生長實驗

研究結果顯示，綠球藻在光照下與無光下起始 OD 為 0.3，在 3 天的培養日後，濃度大概維持穩定，亮室的濃度大致維持 2.0；暗室的濃度大致維持 1.7 左右。

OD700nm	Light	Dark
第 1 天	1.982	1.858
第 2 天	1.963	1.835
第 3 天	1.971	1.802
第 4 天	2.010	1.842
第 5 天	1.963	1.676
第 6 天	2.038	1.801
第 7 天	2.039	1.757
第 8 天	2.038	1.762
第 9 天	2.048	1.775
第 10 天	2.046	1.759

表 3: 綠球藻分別在光照與無光下的 OD 值

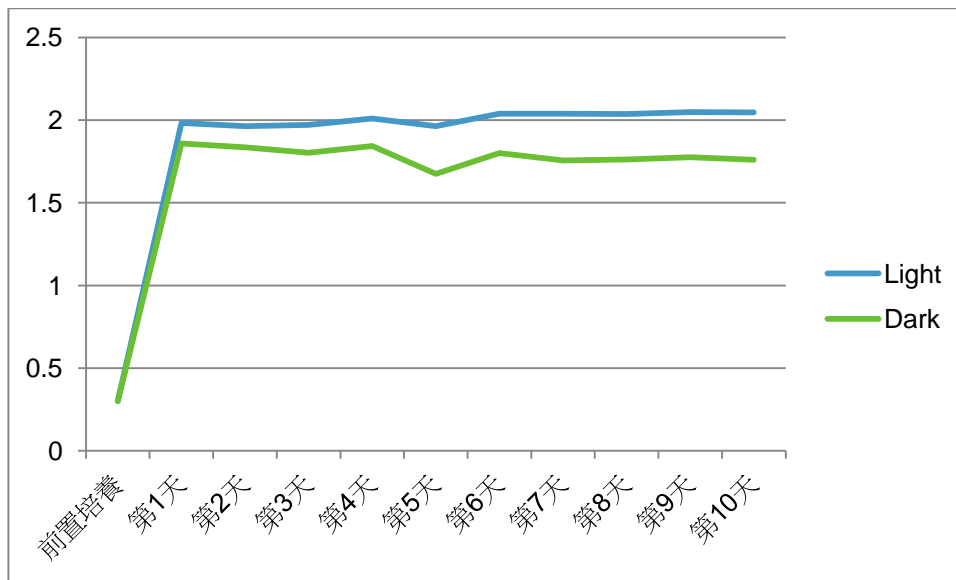


圖 5: 綠球藻分別在光照與無光下的生長曲線

二、綠球藻在接受不同光照時間下的生長實驗

實驗結果顯示，不同光照時間下，經過 9 天的培養後，分別以不同波長的光密度進行測量，並利用 665nm 和 650nm 的光密度算出總葉綠素含量，結果如表 4。

	OD 值	665nm	650nm	700nm	Total Chl
9 天亮	2.59	1.522	2.217	49.171	
9 天暗	2.199	1.245	1.744	40.544	
1 亮 8 暗	2.681	1.711	2.233	54.355	
2 亮 7 暗	2.631	1.589	2.162	51.044	
3 亮 6 暗	1.687	0.864	2.214	28.780	
4 亮 5 暗	2.738	1.876	2.257	58.790	
5 亮 4 暗	2.655	1.691	2.183	53.741	
6 亮 3 暗	2.438	1.323	2.222	43.489	
7 亮 2 暗	2.586	1.494	2.263	48.441	
8 亮 1 暗	2.497	1.36	2.196	44.668	

表 4: 綠球藻在接受不同光照時間下的 OD 值及總葉綠素含量 $= (4.0 \times A_{665nm}) + (25.5 \times A_{650nm})$

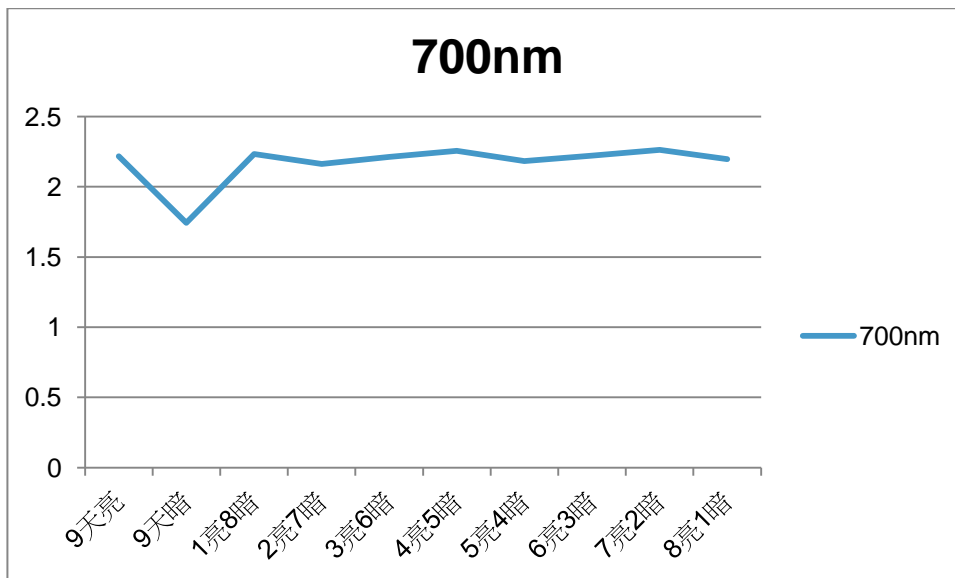


圖 6: 綠球藻在接受不同光照時間下的 OD 值

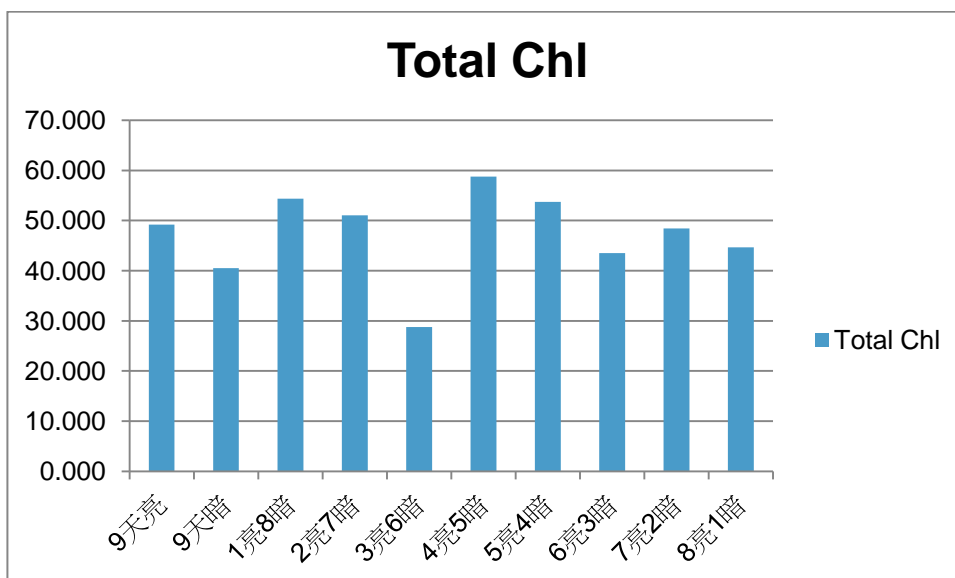


圖 7: 綠球藻在接受不同光照時間下葉綠素的總量
備註: 總葉綠素含量 = (4.0 * A665nm) + (25.5 * A650nm)



圖 8:外觀

(由左到右：9 天亮、9 天暗、1 亮 8 暗、2 亮 7 暗)



圖 9:外觀

(由左到右：9 天亮、3 亮 6 暗、4 亮 5 暗、5 亮 4 暗)



圖 10:外觀

(由左而右：9 天亮、6 亮 3 暗、7 亮 2 暗、8 亮 1 暗)

三、綠球藻在不同濃度下光暗交替實驗

分成 OD 值 0.3 和 0.7 的兩組，並於第 11 天紀錄後將各組的 A、B、C 三瓶亮暗交換，D 瓶維持原本的亮室(或暗室)，經整理後結果如下：

(A、B、C 的數值取平均列於下表)

	0.3 亮 ABC	0.3 亮 D	0.3 暗 ABC	0.3 暗 D	0.7 亮 ABC	0.7 亮 D	0.7 暗 ABC	0.7 暗 D
第 0 天	0.300	0.300	0.300	0.300	0.700	0.700	0.700	0.700
第 1 天	1.132	0.999	0.777	0.673	1.949	1.924	1.589	1.546
第 2 天	1.985	1.957	1.561	1.359	2.097	2.089	1.906	1.920
第 3 天	2.030	2.017	1.838	1.828	2.115	2.118	1.969	1.971
第 4 天	1.977	1.974	1.836	1.780	2.070	2.073	1.909	1.890
第 5 天	1.928	1.950	1.730	1.723	1.990	2.042	1.845	1.905
第 6 天	1.992	1.947	1.806	1.730	2.114	2.117	1.938	1.889
第 7 天	2.026	2.022	1.788	1.743	2.110	2.120	1.944	1.910
第 8 天	2.019	1.966	1.750	1.698	2.090	2.078	1.895	1.848
第 9 天	2.073	2.049	1.823	1.753	2.148	2.165	1.961	1.915
第 10 天	2.009	1.978	1.783	1.701	2.139	2.134	1.920	1.748
第 11 天	2.076	2.078	1.784	1.672	2.157	2.167	1.933	1.869
第 12 天	2.043	2.046	1.786	1.737	2.162	2.199	1.920	1.885
第 13 天	2.071	2.062	1.863	1.779	2.166	2.201	1.980	1.882
第 14 天	2.042	2.019	1.821	1.686	2.070	2.138	1.935	1.846
第 15 天	1.875	2.044	1.842	1.701	2.139	2.176	1.927	1.811
第 16 天	2.082	2.122	1.860	1.746	2.171	2.219	1.993	1.899
第 17 天	2.069	2.133	1.912	1.694	2.171	2.239	1.998	1.866
第 18 天	2.026	2.079	2.028	1.839	2.117	2.107	1.847	2.027
第 19 天	2.064	2.142	1.937	1.712	2.158	2.235	2.021	1.854
第 20 天	2.052	2.087	1.885	1.668	1.803	2.194	1.978	1.807
第 21 天	2.064	2.130	1.928	1.679	2.154	2.264	2.052	1.829
第 22 天	2.011	2.127	1.928	1.641	2.084	2.268	2.079	1.763
第 23 天	2.038	2.226	1.991	1.673	2.107	2.285	2.116	1.808
第 24 天	1.996	2.224	1.917	1.636	2.073	2.229	2.052	1.732
第 25 天	2.028	2.266	2.038	1.661	2.134	2.312	2.125	1.772
第 26 天	2.049	2.268	2.014	1.672	2.133	2.276	2.117	1.805
第 27 天	2.040	2.295	2.001	1.683	2.145	2.306	2.115	1.798
第 28 天	2.001	2.189	2.024	1.621	2.085	2.264	2.163	1.752
第 29 天	2.007	2.220	2.005	1.646	2.075	2.288	2.135	1.750
第 30 天	2.045	2.295	2.095	1.683	2.106	2.376	2.196	1.770
第 31 天	2.023	2.305	2.097	1.648	2.115	2.340	2.193	1.767
第 32 天	2.021	2.298	2.115	1.654	2.103	2.338	2.194	1.779
第 33 天	2.021	2.323	2.122	1.602	2.100	2.375	2.192	1.735

表 5: 綠球藻在不同濃度下光暗交替 OD 值結果

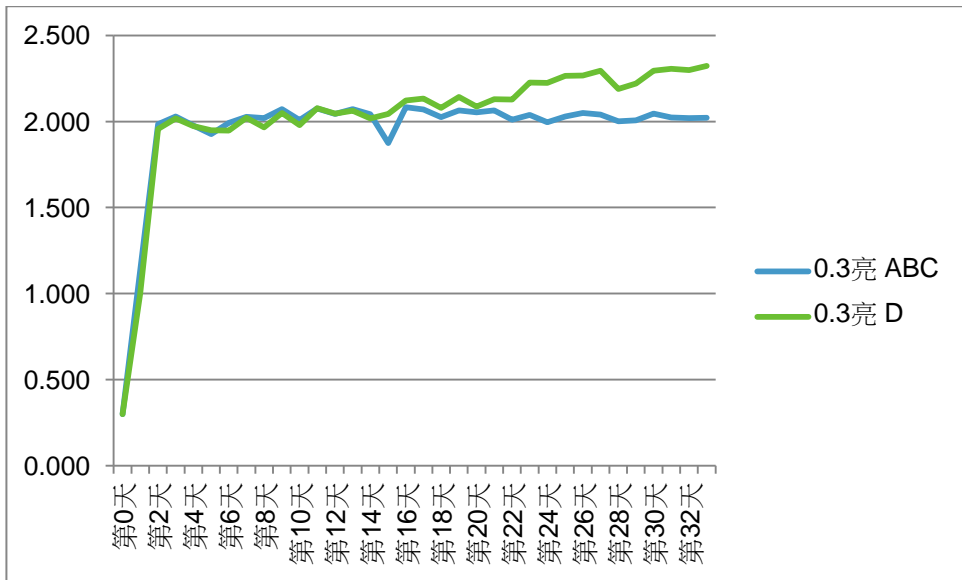


圖 11: 編號 0.3 亮的生長曲線

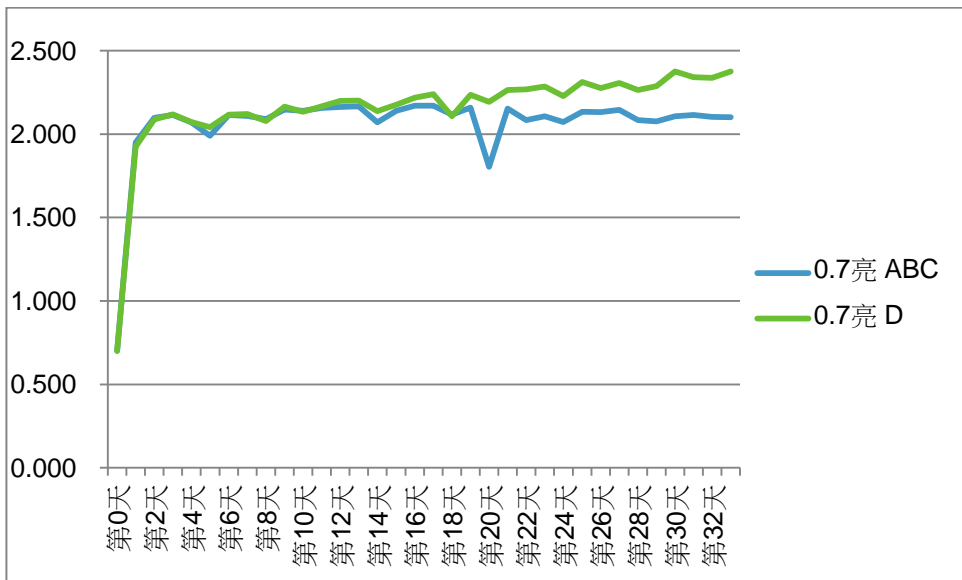


圖 12: 編號 0.7 亮的生長曲線

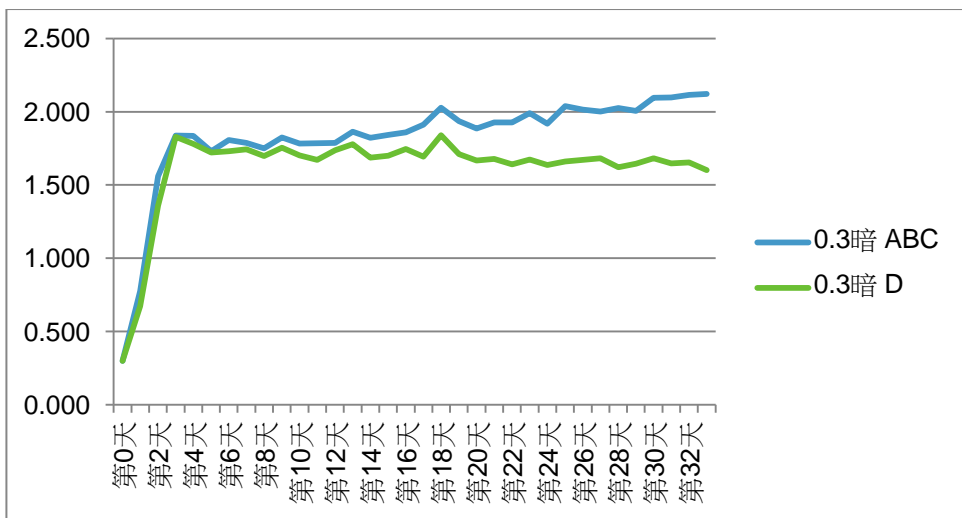


圖 13: 編號 0.3 暗的生長曲線

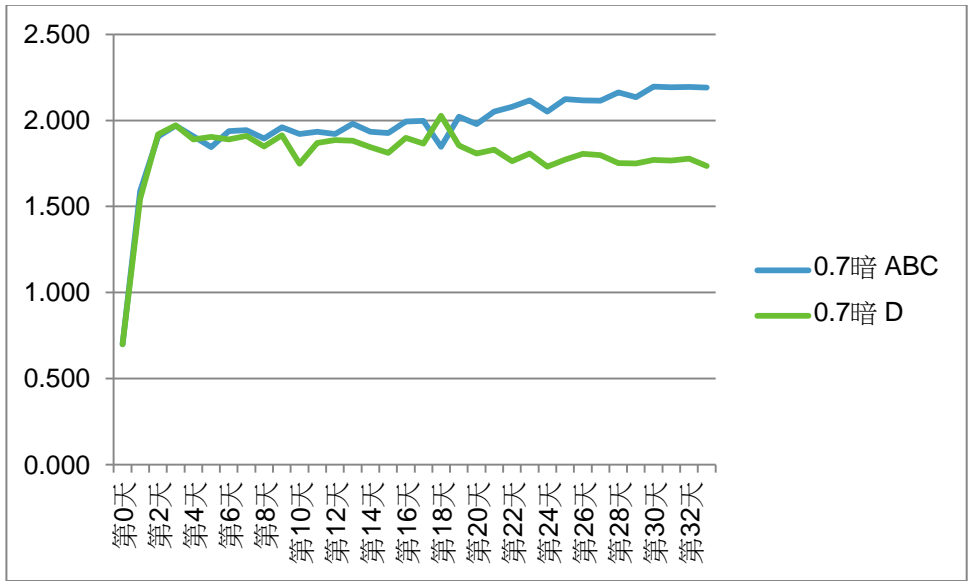


圖 14:編號 0.7 暗的生長曲線

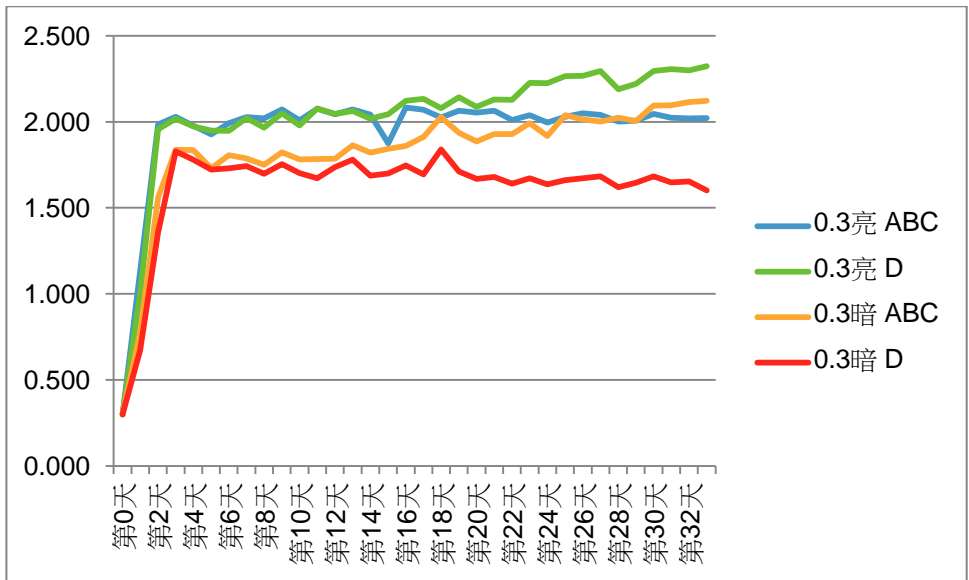


圖 15:起始 OD 值 0.3 的生長曲線

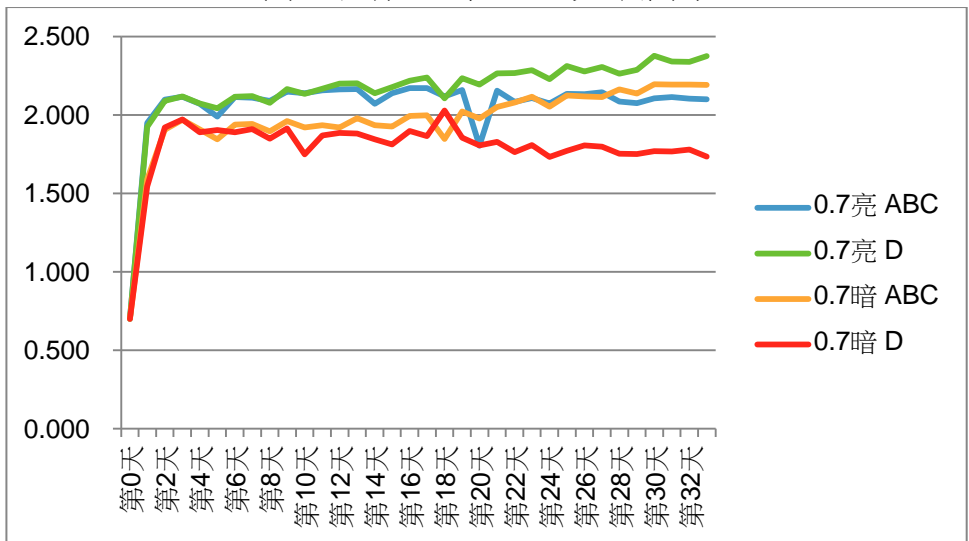


圖 16:起始 OD 值 0.7 的生長曲線



圖 17: 0.3 亮 A

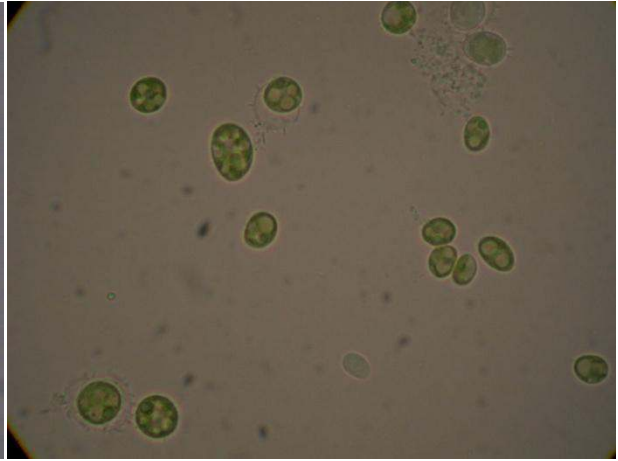


圖 21: 0.3 暗 A

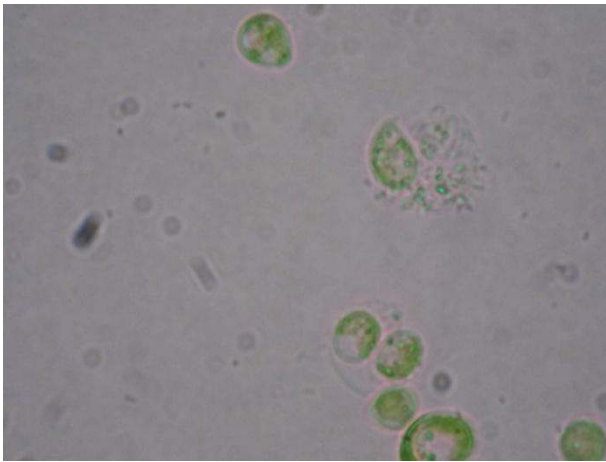


圖 18: : 0.3 亮 B



圖 22: 0.3 暗 B

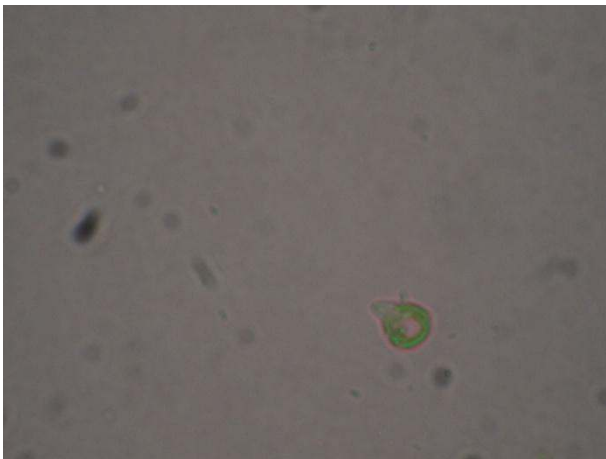


圖 19: 0.3 亮 C



圖 23: 0.3 暗 C

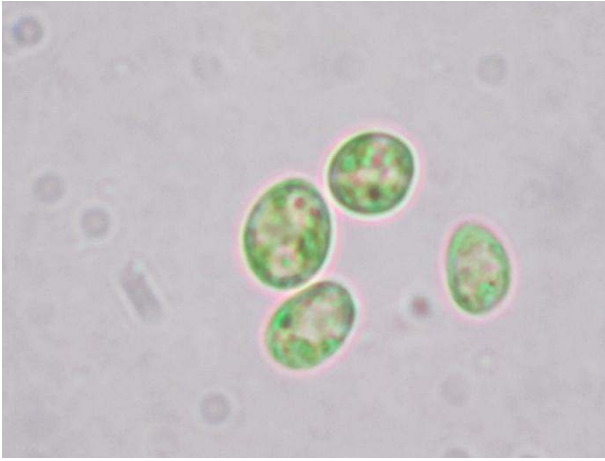


圖 20: 0.3 亮 D

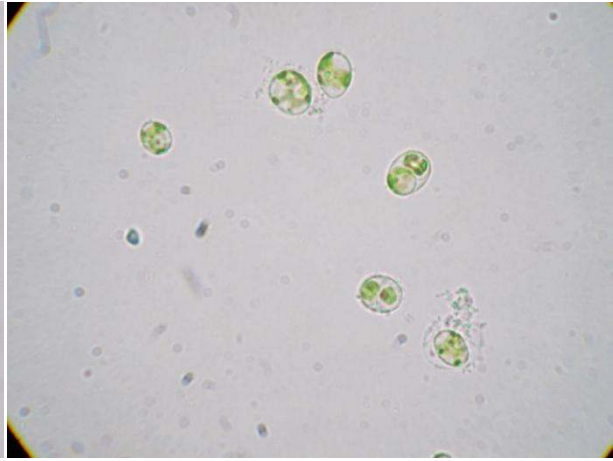


圖 24: 0.3 暗 D

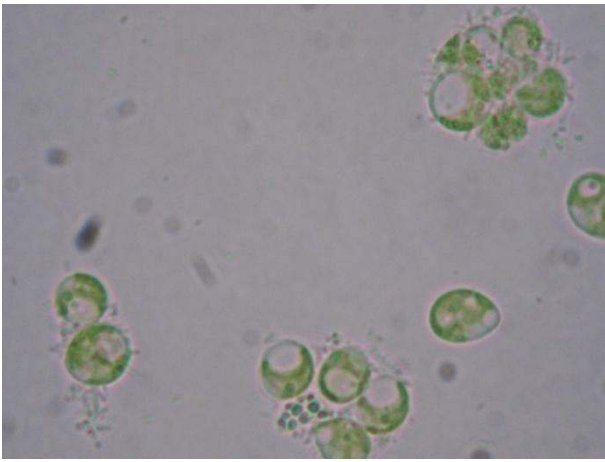


圖 25: 0.7 亮 A

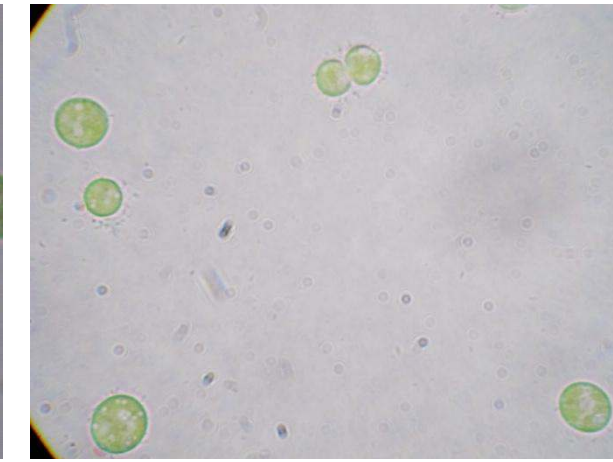


圖 29: 0.7 暗 A



圖 26: 0.7 亮 B



圖 30: 0.7 暗 B

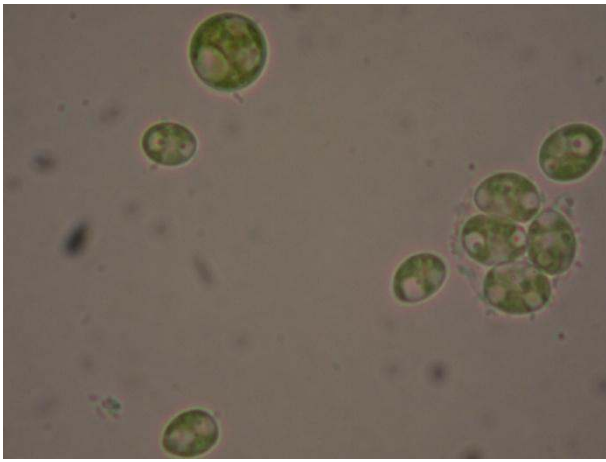


圖 27: 0.7 亮 C

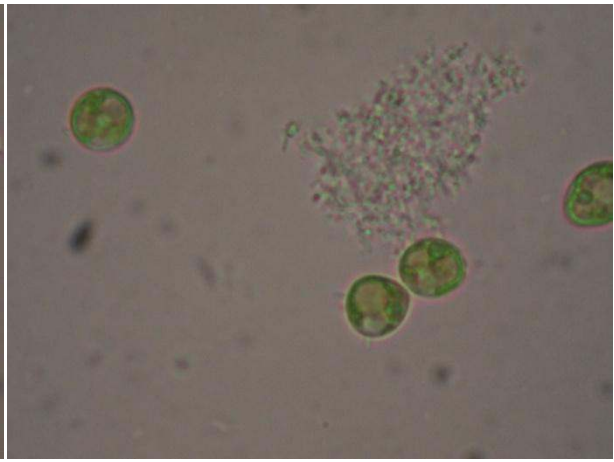


圖 31: 0.7 暗 C

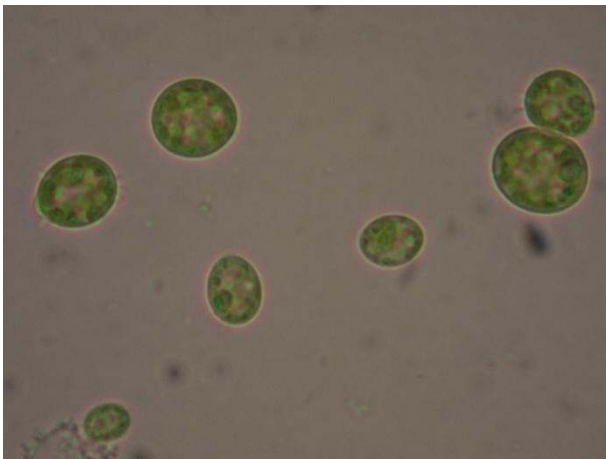


圖 28: 0.7 亮 D

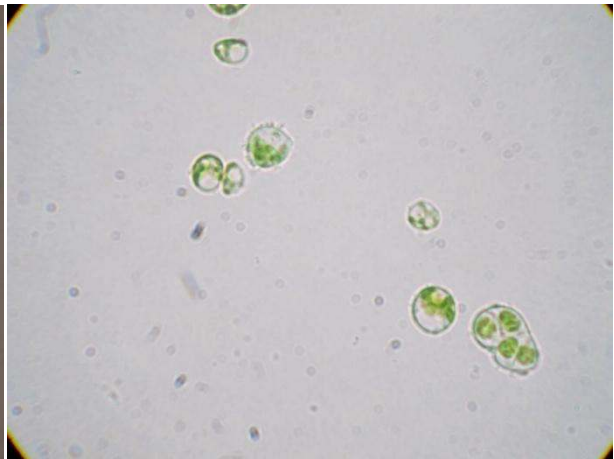

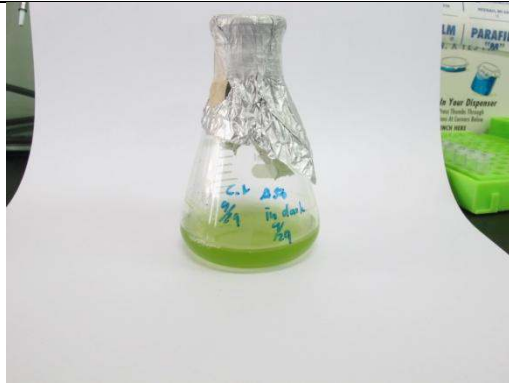
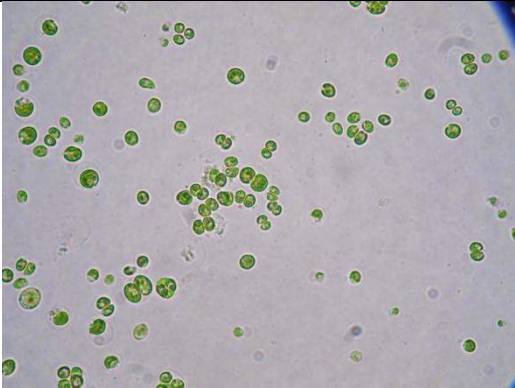
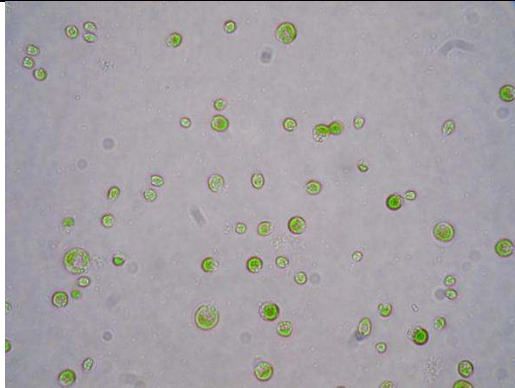
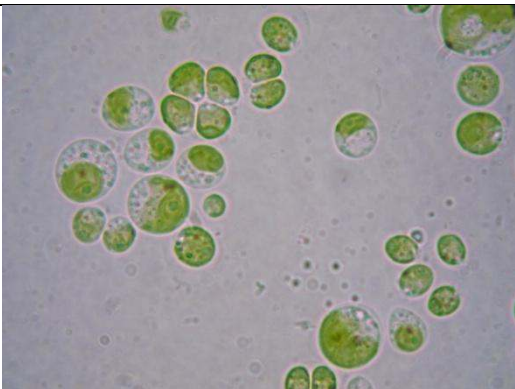
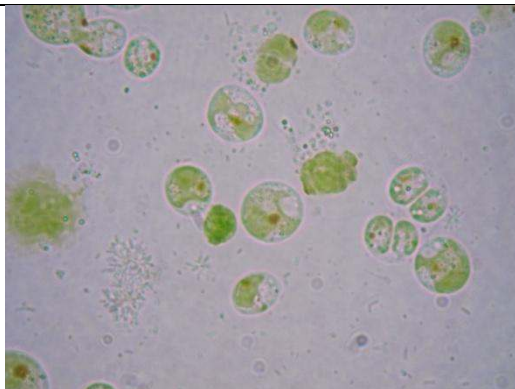


圖 32: 0.7 暗 D

四、衣藻分別在光照與無光下的生長情形

利用顯微鏡觀察，光照與無光培養下，衣藻葉綠體在型態跟顏色上皆有不同：

光照培養	無光照培養
整顆葉綠體都是綠色，且顏色較深	葉綠體多有部分區域轉化成無色
 <p data-bbox="296 730 636 772">圖 33:衣藻光照培養外觀</p>	 <p data-bbox="951 730 1323 772">圖 37:衣藻無光照培養外觀</p>
 <p data-bbox="296 1158 632 1196">圖 34:顯微鏡(400x 視野)</p>	 <p data-bbox="967 1158 1302 1196">圖 38:顯微鏡(400x 視野)</p>
 <p data-bbox="331 1583 596 1626">圖 35:顯微鏡(油鏡)</p>	 <p data-bbox="999 1583 1264 1626">圖 39: 顯微鏡(油鏡)</p>

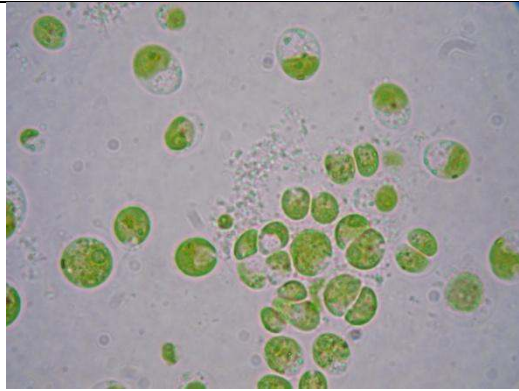


圖 36: 顯微鏡(油鏡)

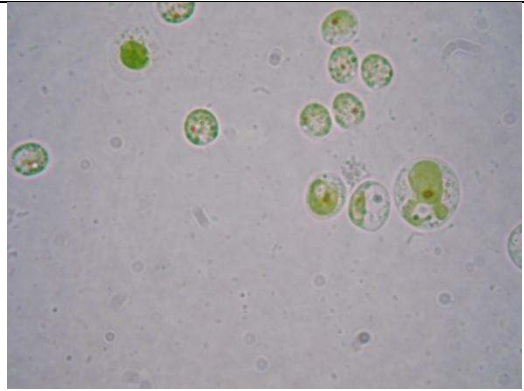


圖 40: 顯微鏡(油鏡)

五、衣藻在接受不同時間光照下生長情形探討

利用顯微鏡觀察，照光天數由 4 到 1 天，葉綠體型態與顏色與照光天數有關，照光天數愈少，葉綠體顏色愈淡，且有部分區域轉化成無色。



圖 41: 4 天亮外觀

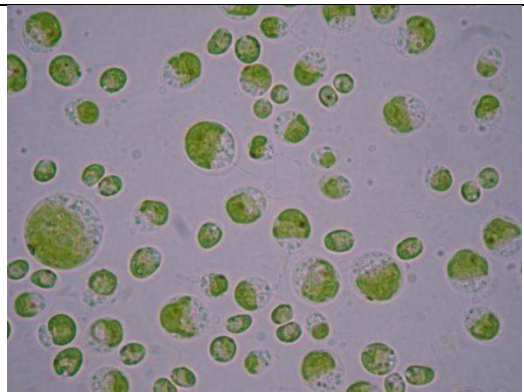


圖 42: 4 天亮顯微鏡觀察(油鏡)



圖 43: 3 亮 1 暗外觀

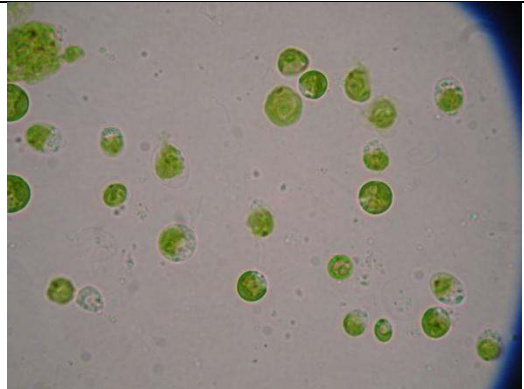


圖 44: 3 亮 1 暗顯微鏡觀察(油鏡)

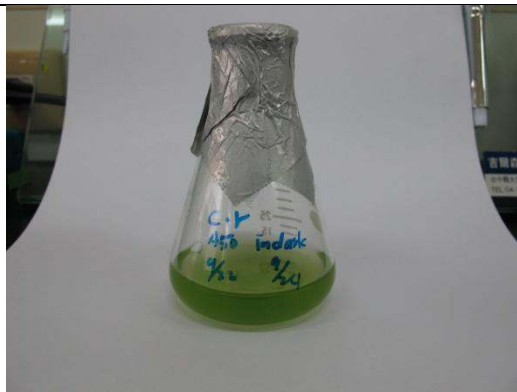


圖 45：2 亮 2 暗外觀



圖 46: 2 亮 2 暗顯微鏡觀察(油鏡)

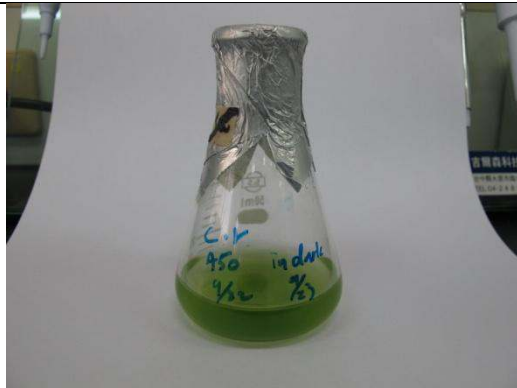


圖 47：1 亮 3 暗外觀

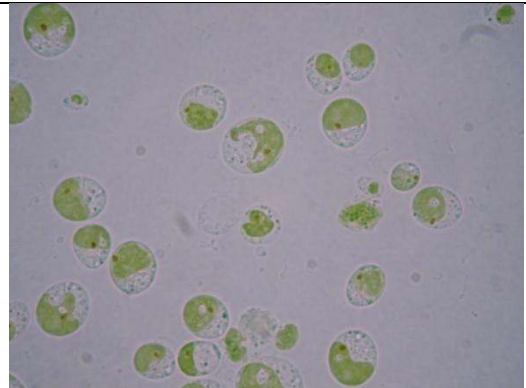


圖 48: 1 亮 3 暗顯微鏡觀察(油鏡)

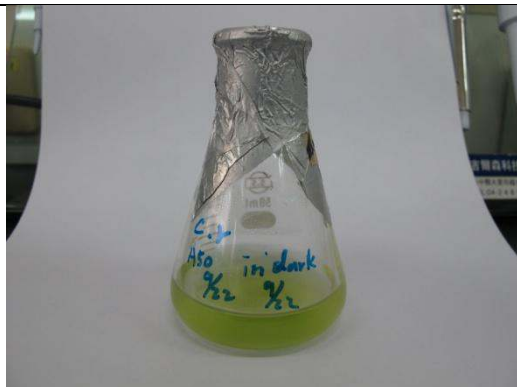


圖 49：4 天暗外觀



圖 50: 4 天暗顯微鏡觀察(油鏡)

陸、討論

由於綠球藻及衣藻均為異營性藻類，與高等植物根部相同皆為養分接受者，而且具有容易觀察的特性，因此本實驗選擇將其作為研究樣本，觀察兩種藻類在光照的有無、長短及順序的影響下葉綠體的不同變化，以期找出兩者葉綠體內共生關係之差異。

以下將分別藉由光照的有無、光照的長短、光照的順序、顯微鏡下的差異、無光下內共生關係之變化來進行討論：

(一)光照的有無

在實驗一中，全部光照和全部黑暗的綠球藻在經過三天的培養之後其 OD 值大致都可維持穩定(如表 3，光照下=2.0 黑暗中=1.7)，因此我們推測兩種藻類在經過數日全亮或全暗的培養之後，其 OD 值可到達該光度下的極值，也就是說這兩種藻類的葉綠體會達到該光度下的穩定狀態。

我們分別觀察實驗一、實驗四中藻類的外觀顏色，我們發現實驗一中綠球藻在全部光照、全暗黑暗下在經過數日培養之後，兩瓶的外觀顏色沒有顯著差異(如圖 51)，顏色均維持翠綠；然而實驗四中全部光照和全部黑暗下的衣藻在經過數日培養之後，兩瓶的外觀顏色有顯著的不同(如圖 52)，全部光亮下的顏色維持翠綠，全部黑暗下則變為淺綠，因此我們推測衣藻的葉綠體在暗室中轉換成白色體或分解的效率較綠球藻來得高。



圖 51:綠球藻光照和黑暗培養外觀比較

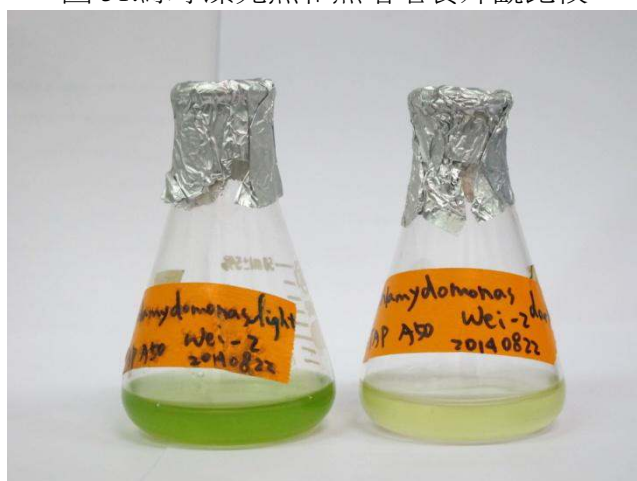


圖 52:衣藻光照和黑暗培養外觀比較

(二)光照的長短

在實驗二中我們發現綠球藻 9 天全亮、8 亮 1 暗、7 亮 2 暗、6 亮 3 暗、5 亮 4 暗、4 亮 5 暗、3 亮 6 暗、2 亮 7 暗、1 亮 9 暗這八瓶(均為先經光照後，再放入暗室)，其 OD 值及葉綠素的總量並沒有顯著差異，而這些值全部高於 9 天全暗甚多(如表 4)；且其外觀上幾乎都維持翠綠色(如圖 8/9/10)。實驗四中我們也看到衣藻從 4 天全亮、3 亮 1 暗、2 亮 1 暗、1 亮 4 暗這四瓶(均為先經光照後，再放入暗室)，其外觀顏色均維持翠綠，而與 4 天全暗的淺綠色有顯著不同(如圖 33/35/37/39/41)。

我們可以看到只要先經過光照階段，其後就算均置於黑暗中其 OD 值的下降量也頗為有限，因此我們推測光照長短並不是主要影響因素，光照、黑暗的順序對其結果的影響可能比較大，因此我們接這進行了實驗三(控制光照、黑暗的順序)。

(三)光照的順序

在實驗三中我們可以看到先在光照下培養至穩定狀態後再放入黑暗中的綠球藻，其 OD 值會下降至介於全部光亮和全部黑暗之間，也就是說其 OD 值無法下降至黑暗中的最低值，而先在黑暗中培養至穩定狀態後再放入光照下的綠球藻，其 OD 值會上升至介於全部光亮和全部黑暗之間，也就是說其 OD 值無法上升至光照中的最高值(如圖 15/16)，因此放入光照、黑暗的順序確會對其 OD 值造成影響，我們推測其原因是綠球藻的葉綠體雖有回復的能力，但其能力不足以使其回復至原來的值。

(四)顯微鏡下的差異

我們分別觀察實驗三、實驗四中藻類在顯微鏡下的差異，我們發現實驗三中綠球藻在全部黑暗下，其細胞會出現尖端，尖端周圍則會有顆粒狀的物質(如圖 53)，而細胞內則會形成幾近完全透明的空腔(如圖 54)，查詢過文獻之後我們發現這個空腔稱為偽空胞，是一種氣泡，其內沒有物質。因此我們推測綠球藻在黑暗中會分解其葉綠體，並把無用的廢棄物質排出，而在全部光亮下則無此現象，綠球藻保持原本完整的狀態。

然而實驗四中衣藻在全部黑暗下，雖然也會出現透明的空腔，但其中會有膠狀的物質(如圖 55)，在查詢過文獻之後，我們發現這些空腔是所謂的白色體，由葉綠體在無光下轉換而來，而在全部光亮下則無此現象，衣藻保持原本完整的狀態。因此我們推測，在無光下衣藻和綠球藻度過黑暗的方式並不相同，綠球藻會分解其體內的葉綠體並將不要的廢棄物質排出，以減少能量的消耗；而衣藻主要則是將葉綠體轉換為白色體。



圖 53:綠球藻排出廢物的過程

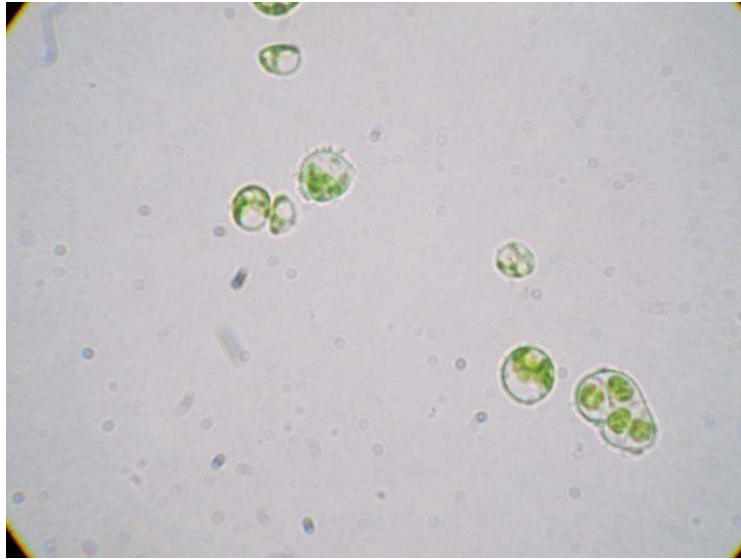


圖 54:綠球藻的空胞



圖 55:衣藻的空胞

(五)無光下內共生關係之變化

從上述種種實驗，我們推測綠球藻與其葉綠體是一種較鬆散的內共生關係，這種關係類似地衣與藍綠菌的互利共生，在無光逆境下，地衣會攝食其共生藻以獲得能量，造成互利共生關係的消失，而綠球藻在無光逆境下也會攝食並分解其葉綠體，以維持在無光下生長所需的能量，造成內共生關係的崩解，我們推測這種內共生關係較為原始及鬆散，使得綠球藻雖然有將葉綠體轉成造油體的機制，卻無法執行完整的過程而將葉綠體轉化為白色體，只能以攝食並分解的方式獲得能量；衣藻則較接近高等植物，擁有較緊密且完整的內共生關係，其每個細胞都含有前質粒體，照光分化為葉綠體、不照光則分化為白色體，並能在不同的質體中進行角色的轉換(如圖 56)，因此衣藻在無光逆境下，會將其葉綠體轉換成白色體，降低維持內共生關係所需的能量，以幫助其度過無光下的逆境。又在查詢過文獻之後，我們發現裸藻門物種(著名者如眼蟲)，在無光下也會產生類似現象，但其差異在於裸藻門生物在無光下短短數個小時之後其全部葉綠體就會完全被分解，而本實驗所研究的綠藻在經過長達數十日的培養之後，依然會有部分葉綠體維持本來的樣貌，因此我們推測可能原因是裸藻門的內共生模式又更為原始及鬆散，所以葉綠體在無光下比起綠藻更容易被分解。



圖 56:內共生關係的轉變

柒、結論

- 一、綠球藻在光亮、黑暗中其 OD 值可達到的穩定值。
- 二、全天候黑暗中綠球藻與衣藻外觀顏色有顯著差異，綠球藻依然可維持與全天候光照下一樣的翠綠，而衣藻則變為淺綠，因此衣藻的葉綠體質體間轉換效率較高。
- 三、綠球藻的葉綠體在亮暗交替下無法完全的轉換，我們發現不管從光亮轉黑暗或黑暗轉光亮，綠球藻的 OD 值只能介在兩個穩定值之間。
- 四、綠球藻與衣藻內共生模式之差異：綠球藻在無光下會分解其葉綠體，並排出廢棄的物質顆粒，形成所謂的偽空胞；衣藻則會將其葉綠體轉換成白色體。

捌、參考資料

- 一、J. Reiner. 2013. Results and Problems in Cell Differentiation Volume 10, Chloroplast. 6-10.
- 二、Hörtensteiner S1, Chinner J, Matile P, Thomas H, Donnison IS. 2000. Chlorophyll breakdown in *Chlorella protothecoides*: characterization of degreening and cloning of degreening-related genes.
- 三、André Lwoff . 2014. Biochemistry and Physiology of Protozoa. 23-26.
- 四、Plastid. http://plantcellbiology.masters.grkraj.org/html/Plant_Cellular_Structures10-Plastids.htm
- 五、謝傳曉、韓偉、餘增亮(2003)。模式生物衣藻及其研究進展。中國科學院等離子體物理研究所中國科學院離子束生物工程學重點實驗室。
- 六、葉綠體。 <http://baike.baidu.com/view/28826.htm>
- 七、白色體。 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BD%E8%89%B2%E9%AB%94>
- 八、朱明庫、胡宗利、周爽、李亞麗、陳國平(2012)。植物葉色白化研究進展。重慶大學生物工程學院。
- 九、李大朋、張敏、高潛、胡勇、何奕昆(2009)。高等植物質體的分裂。北京師範大學生命科學學院。

附錄

一、實驗一原始數據

OD 值	Light	Dark
第 1 天	1.972	1.828
	1.992	1.888
第 2 天	1.949	1.838
	1.978	1.832
第 3 天	1.955	1.818
	1.987	1.786
第 4 天	2.008	1.878
	2.013	1.807
第 5 天	1.971	1.695
	1.955	1.656
第 6 天	2.024	1.792
	2.052	1.811
第 7 天	2.034	1.754
	2.045	1.759
第 8 天	2.038	1.758
	2.037	1.765
第 9 天	2.055	1.774
	2.041	1.777
第 10 天	2.046	1.764
	2.045	1.754

二、實驗三原始數據

		第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天
.3L	A	0.300	1.152	1.996	2.044	1.973	2.021	1.977
	B	0.300	1.090	1.974	2.008	1.970	1.896	1.986
	C	0.300	1.154	1.985	2.038	1.987	1.865	2.014
	D	0.300	0.999	1.957	2.017	1.974	1.950	1.947
0.7L	A	0.700	1.965	2.108	2.139	2.088	1.958	2.151
	B	0.700	2.000	2.095	2.110	2.059	2.025	2.105
	C	0.700	1.882	2.089	2.097	2.064	1.988	2.086
	D	0.700	1.924	2.089	2.118	2.073	2.042	2.117
0.3D	A	0.300	0.820	1.610	1.822	1.822	1.755	1.799
	B	0.300	0.847	1.682	1.864	1.878	1.721	1.841
	C	0.300	0.663	1.390	1.828	1.807	1.713	1.778
	D	0.300	0.673	1.359	1.828	1.780	1.723	1.730
0.7D	A	0.700	1.582	1.928	1.953	1.893	1.810	1.924
	B	0.700	1.558	1.892	1.943	1.899	1.803	1.916
	C	0.700	1.629	1.898	2.012	1.934	1.922	1.974

D 0.700 1.546 1.920 1.971 1.890 1.905 1.889

		第 8 天	第 9 天	第 10 天	第 11 天	第 12 天	第 13 天	第 14 天	第 15 天
0.3L	A	2.005	2.056	1.955	2.071	2.034	2.079	2.041	1.620
	B	2.020	2.075	2.025	2.097	2.067	2.045	2.040	1.977
	C	2.033	2.086	2.046	2.061	2.028	2.089	2.044	2.027
	D	1.966	2.049	1.978	2.078	2.046	2.062	2.019	2.044
0.7L	A	2.101	2.158	2.135	2.172	2.189	2.177	2.107	2.127
	B	2.089	2.123	2.157	2.125	2.158	2.177	2.062	2.160
	C	2.078	2.163	2.126	2.173	2.140	2.143	2.042	2.130
	D	2.078	2.165	2.134	2.167	2.199	2.201	2.138	2.176
0.3D	A	1.772	1.828	1.813	1.812	1.817	1.854	1.790	1.823
	B	1.778	1.871	1.837	1.823	1.763	1.944	1.895	1.915
	C	1.701	1.771	1.698	1.717	1.779	1.791	1.780	1.788
	D	1.698	1.753	1.701	1.672	1.737	1.779	1.686	1.701
0.7D	A	1.841	1.938	1.868	1.857	1.883	1.948	1.894	1.894
	B	1.865	1.906	1.815	1.931	1.876	1.909	1.874	1.875
	C	1.979	2.039	2.078	2.012	2.003	2.083	2.035	2.011
	D	1.848	1.915	1.748	1.869	1.885	1.882	1.846	1.811

		第 17 天	第 18 天	第 19 天	第 20 天	第 21 天	第 22 天	第 23 天	第 24 天
0.3L	A	2.078	2.049	2.099	2.075	2.051	2.018	2.055	2.044
	B	2.065	2.021	2.061	2.045	2.091	2.010	2.031	1.994
	C	2.065	2.008	2.030	2.037	2.051	2.006	2.029	1.949
	D	2.133	2.079	2.142	2.087	2.130	2.127	2.226	2.224
0.7L	A	2.161	2.119	2.162	2.148	2.168	2.079	2.066	2.062
	B	2.191	2.126	2.176	1.133	2.176	2.109	2.147	2.123
	C	2.161	2.107	2.136	2.128	2.118	2.063	2.109	2.035
	D	2.239	2.107	2.235	2.194	2.264	2.268	2.285	2.229
0.3D	A	1.925	2.194	1.956	1.910	1.937	1.942	1.995	1.906
	B	1.940	1.930	1.971	1.926	1.985	1.951	2.022	1.957
	C	1.871	1.960	1.883	1.819	1.862	1.890	1.956	1.889
	D	1.694	1.839	1.712	1.668	1.679	1.641	1.673	1.636
0.7D	A	1.951	1.680	1.990	1.937	2.022	2.062	2.081	2.026
	B	1.936	1.935	1.969	1.905	2.035	2.024	2.070	2.020
	C	2.105	1.926	2.105	2.091	2.098	2.151	2.198	2.109
	D	1.866	2.027	1.854	1.807	1.829	1.763	1.808	1.732

		第 25 天	第 26 天	第 27 天	第 28 天	第 29 天	第 30 天	第 31 天	第 32 天	第 33 天
0.3L	A	2.042	2.050	2.012	1.972	2.021	2.034	2.016	2.026	1.994
	B	2.038	2.040	2.047	2.003	2.005	2.040	2.004	2.014	2.020
	C	2.005	2.056	2.063	2.026	1.994	2.061	2.050	2.021	2.049
	D	2.266	2.268	2.295	2.189	2.220	2.295	2.305	2.298	2.323
0.7L	A	2.115	2.082	2.124	2.086	2.101	2.069	2.094	2.087	2.064
	B	2.194	2.193	2.192	2.083	2.047	2.168	2.148	2.136	2.156
	C	2.092	2.123	2.120	2.085	2.078	2.082	2.102	2.087	2.081
	D	2.312	2.276	2.306	2.264	2.288	2.376	2.340	2.338	2.375
0.3D	A	2.038	2.043	1.967	2.014	2.012	2.106	2.103	2.095	2.118
	B	2.084	2.064	2.082	2.070	2.004	2.132	2.137	2.174	2.172
	C	1.993	1.935	1.953	1.989	2.000	2.047	2.049	2.077	2.076
	D	1.661	1.672	1.683	1.621	1.646	1.683	1.648	1.654	1.602
0.7D	A	2.094	2.104	2.073	2.133	2.080	2.188	2.174	2.184	2.170
	B	2.070	2.068	2.038	2.124	2.141	2.139	2.135	2.149	2.157
	C	2.210	2.180	2.233	2.231	2.186	2.262	2.270	2.249	2.248
	D	1.772	1.805	1.798	1.752	1.750	1.770	1.767	1.779	1.735

【評語】 040714

1. 顯微照片要有尺標。
2. 藻類的生長曲線基本上在前二天就達高峰，後續極可能因藻體死亡而出現微生物消長，時間單位應重新考慮。
3. 無光下內共生現象的變化，最好以一系列影像佐證，值得繼續深究後再下結論。