

Design and Analysis of Experiment

Final project Report

How to get the most O₂ through photosynthesis

指導教授：郭瑞祥老師

工管企三 吳承翰

工管企三 沈致中

工管企三 陳 明

工管工三 楊明洲

Contents

Problem Statement

Choice of Factors & Level

Selection of Response Variable

Experiment Design

Statistical Analysis of Data

Experimental Constraints

Conclusions & Recommendation

Problem Statement

「魚兒魚兒水中游，游來游去真自由，倦了臥水草.....」從以往養魚的經驗可知，水中是否有足夠的氧氣是維持魚兒生命的關鍵，但我們並不希望建立一個完全由人工供氧的水族箱，只希望單純地藉由飼養箱中的水草行光合作用來提供氧氣；所以我們挑選這個實驗，期望能找出最佳的組合，使人們能真正得到養魚的自然樂趣。

Choice of Factors & Level

由於本實驗是期望由水中植物行光合作用產生氧氣，我們至水族館詢問適合的水草及養殖方法，許多水族館的老闆建議水蘊草是不錯的選擇，但其他種類的水草製氧效果如何則不太清楚；而在水族館的水草養殖箱中，有特製的養殖燈提供光合作用所需的光源，故此我們也對光源的種類是否影響光合作用產生疑問；此外，水族館的老闆亦建議以自來水養殖即可，所以我們也認為水的不同也會影響到光合作用；以下是我們選擇的因子：

		High	Low
Factor 1	水草的種類	水蘊草	菊花草
Factor 2	光照的差異	太陽燈	日光燈
Factor 3	水的差異	自來水	經沸騰過的水
Factor 4	光照時數	16hr	8 hr

Selection of Response Variable

我們以氧氣產生的量為 response variable；本實驗採用排水集氣法(如下圖)以觀測氣體量，所得的結果為氣體產生之高度(單位：公分)



Experiment Design

我們採用 2^4 Experiment Design without replicates

Statistical Analysis of Data

Std	Run	Block 1	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	Oxygen
1	15	Block 1	A1	B1	C1	D1	0.6
2	4	Block 1	A2	B1	C1	D1	0.1
3	6	Block 1	A1	B2	C1	D1	0.4
4	10	Block 1	A2	B2	C1	D1	0.1
5	5	Block 1	A1	B1	C2	D1	0.3
6	3	Block 1	A2	B1	C2	D1	0.1
7	8	Block 1	A1	B2	C2	D1	0.15
8	12	Block 1	A2	B2	C2	D1	0.1
9	2	Block 1	A1	B1	C1	D2	0.6
10	1	Block 1	A2	B1	C1	D2	0.1
11	9	Block 1	A1	B2	C1	D2	0.1
12	13	Block 1	A2	B2	C1	D2	0
13	16	Block 1	A1	B1	C2	D2	0.2
14	11	Block 1	A2	B1	C2	D2	0.2
15	7	Block 1	A1	B2	C2	D2	0.1
16	14	Block 1	A2	B2	C2	D2	0

Design Summary

Study Type	Factorial	Experiments	16				
Initial Design	2 Level Factorial	Blocks	No Blocks				
Center Points	0						
Design Model	4FI						
Response	Name	Units	Obs	Minimum	Maximum	Trans	Model
Y1	Oxygen		16	0	0.6	None	model chosen
Factor	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual		
A	Grass		Categorical	A1	A2	Levels:	2
B	Light		Categorical	B1	B2	Levels:	2
C	Water		Categorical	C1	C2	Levels:	2
D	Time		Categorical	D1	D2	Levels:	2

4 Factors: A, B, C, D

Design Matrix Evaluation for Factorial 2FI Model

No aliases found for 2FI Model

Degrees of Freedom for Evaluation

Model	10
Residuals	5
Lack Of Fit	5
Pure Error	0
Corr Total	15

由於我們的實驗並沒有 replicates，所以我們以高次項來估計 error

DESIGN-EXPERT Plot

StdErr of Design

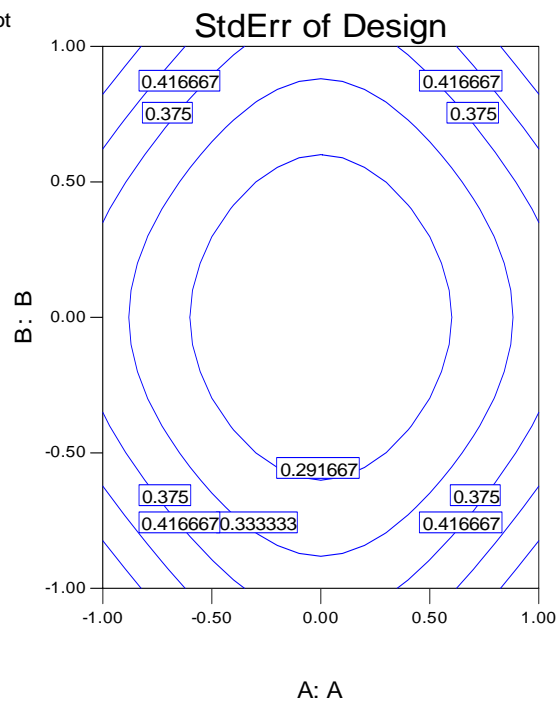
X = A: A

Y = B: B

Actual Factors

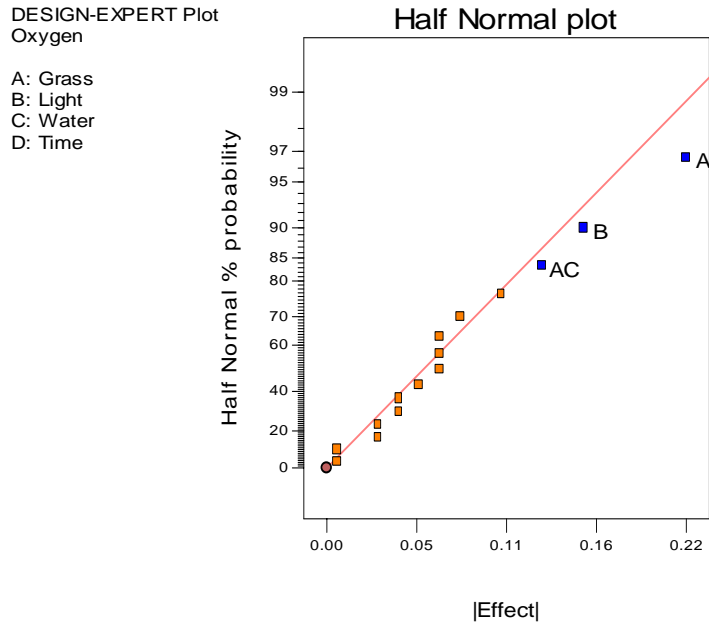
C: C = 0.00

D: D = 0.00



First run

我們使用 Design Expert 分析原始資料，得到以下的初步結果：



A(水草種類)、B(光照差異)、AC(水草與水的交互項)是顯著的變數

ANOVA for Selected Factorial Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares]						
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0.35796875	3	0.11932	8.71102662	0.0024	significant
A	0.19140625	1	0.19141	13.973384	0.0028	
B	0.09765625	1	0.09766	7.12927757	0.0204	
AC	0.06890625	1	0.06891	5.03041825	0.0446	
Residual	0.164375	12	0.0137			
Cor Total	0.52234375	15				

此模式的效果為顯著的

Std. Dev.	0.117038099	R-Squared	0.685312593
Mean	0.196875	Adj R-Squared	0.606640742
C.V.	59.44792341	Pred R-Squared	0.440555722
PRESS	0.292222222	Adeq Precision	8.651029082

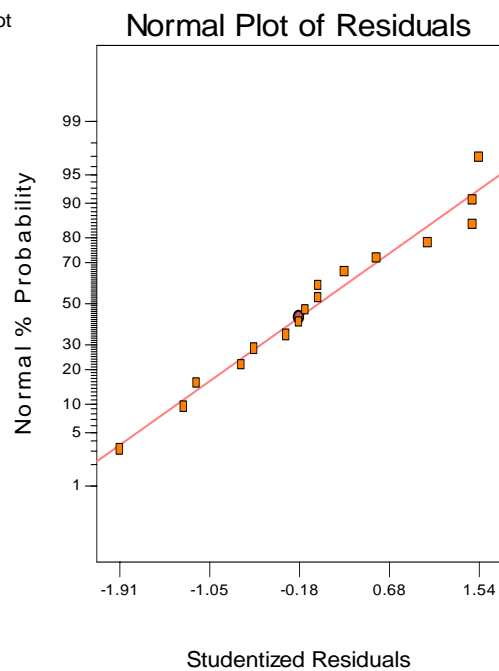
此模式的解釋能力不強，僅有 60.66%

Regression Model :

$$\text{Oxygen} = 0.1969 - 0.10938 * A - 0.07813 * B + 0.065625 * A * C$$

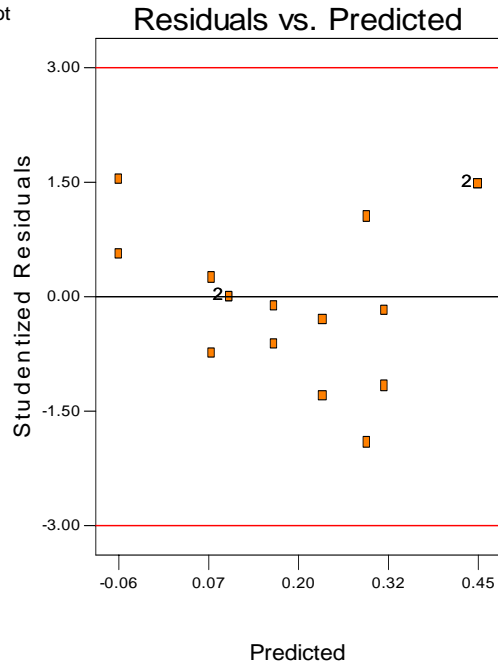
Residuals Checking

DESIGN-EXPERT Plot
Oxygen



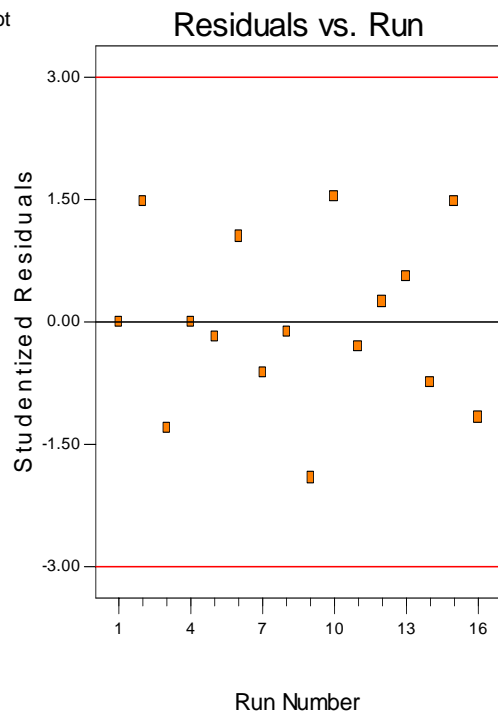
The residuals seem to be normally distributed.

DESIGN-EXPERT Plot
Oxygen



There is an increasing trend of residuals.

DESIGN-EXPERT Plot
Oxygen



There is no unusual pattern.

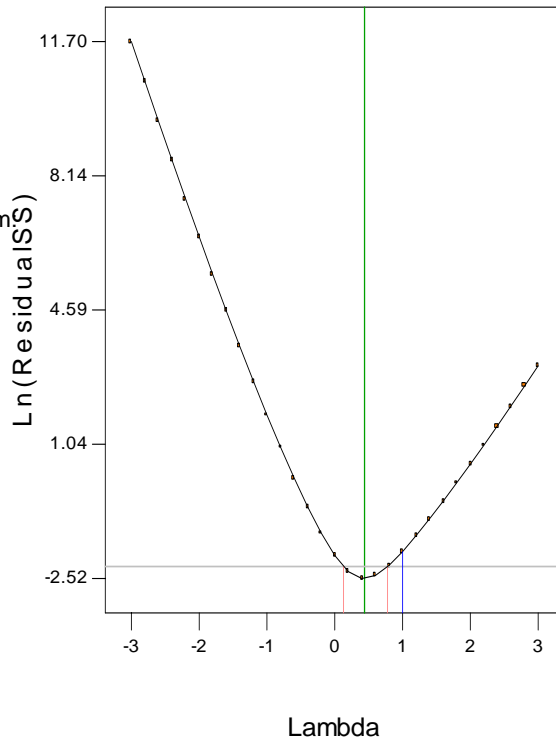
DESIGN-EXPERT Plot
Oxygen

Box-Cox Plot for Power Transforms

Lambda
Current = 1
Best = 0.44
Low C.I. = 0.13
High C.I. = 0.78

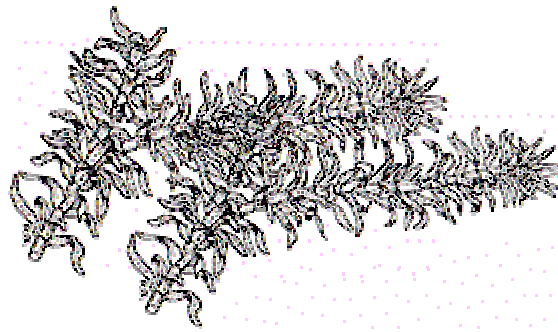
Recommend transform
Square Root
(Lambda = 0.5)

k = 0.006
(used to make
response values
positive)

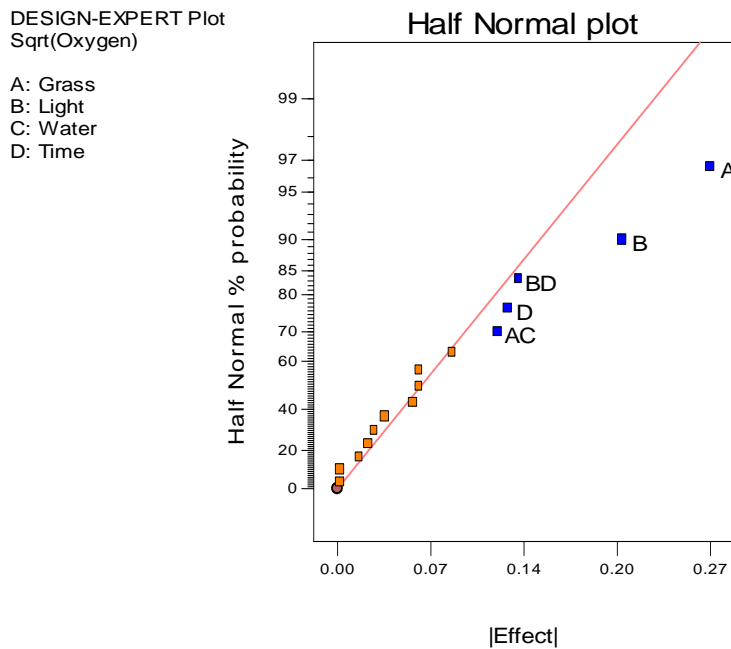


The Box-Cox recommends a transformation, using **Square Root**.

Thus, we rerun those data with transformation of Square Root.



Second run (with transformation : Square Root)



A、 B、 D、 AC、 BD are significant terms.

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0.649230312	5	0.129846062	16.4163	0.0002	significant
A	0.293760332	1	0.293760332	37.1398073	0.0001	
B	0.171263847	1	0.171263847	21.6527065	0.0009	
D	0.061166811	1	0.061166811	7.7332551	0.0194	
AC	0.054102785	1	0.054102785	6.8401577	0.0258	
BD	0.068936537	1	0.068936537	8.7155733	0.0145	
Residual	0.079095815	10	0.007909581			
Cor Total	0.728326126	15				

此模式是顯著的

Std. Dev.	0.088935828	R-Squared	0.89140055
Mean	0.389043207	Adj R-Squared	0.83710083
C.V.	22.86014156	Pred R-Squared	0.72198541
PRESS	0.202485286	Adeq Precision	13.3212031

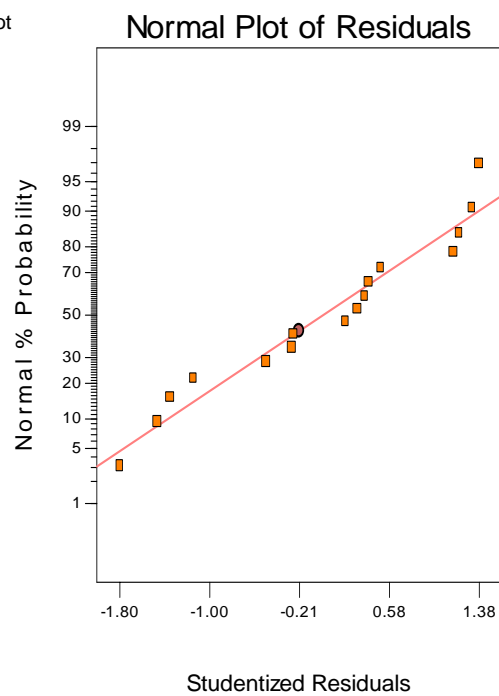
此模式的解釋能力較第一個模式為佳，有 83.71%

Regression Model :

$$\text{Sqrt(Oxygen)} = 0.38904321 - 0.135492 * A - 0.10346 * B - 0.0618 * D + 0.0582 * A * C - 0.0656 * B * C$$

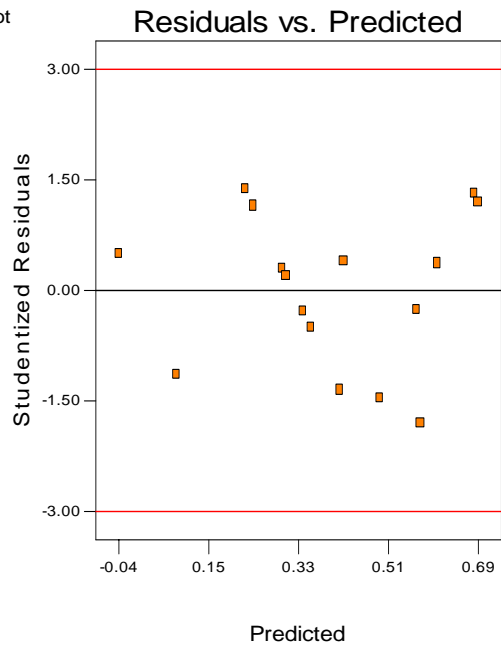
Residuals Checking

DESIGN-EXPERT Plot
Sqrt(Oxygen)



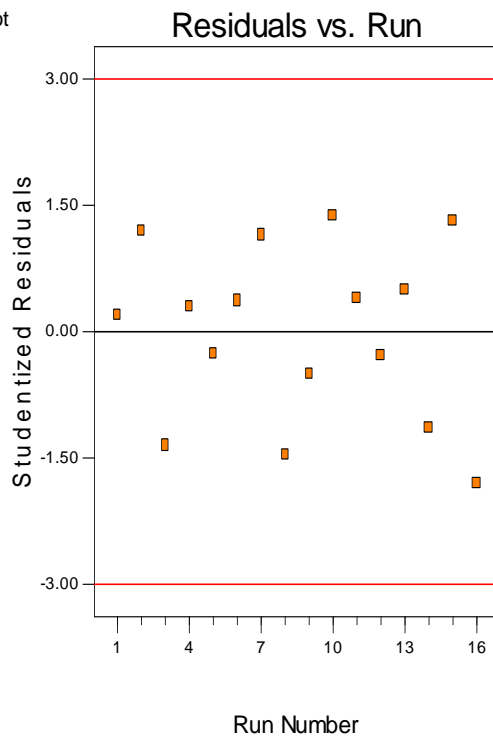
The data seem to be normally distributed.

DESIGN-EXPERT Plot
Sqrt(Oxygen)



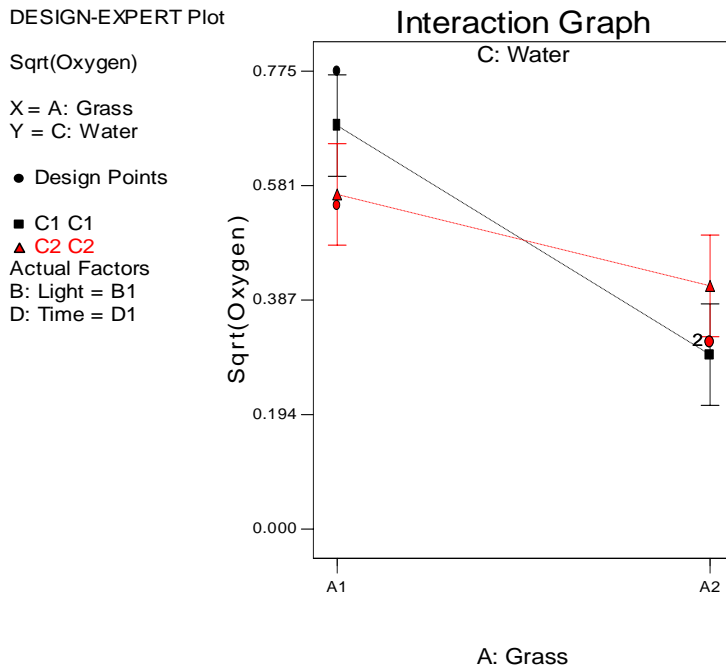
The pattern of residuals is better than the previous model.

DESIGN-EXPERT Plot
Sqrt(Oxygen)



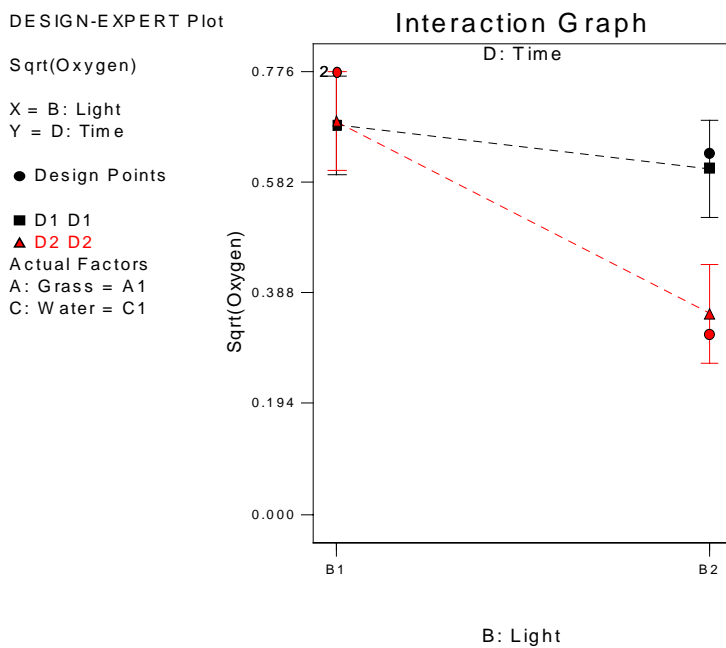
There is no unusual pattern.

AC interaction (水草種類與水的種類之交互項)



條件固定在：
光源-太陽光
光照時間-16hr
之下，以
A1-水蘊草與
C1-自來水
有顯著的效果

BD interaction (光源種類與光照時間的交互項)



條件固定在：
水草-水蘊草
水-自來水
之下，以
B1-太陽光
D1(D2 同)
有顯著效果

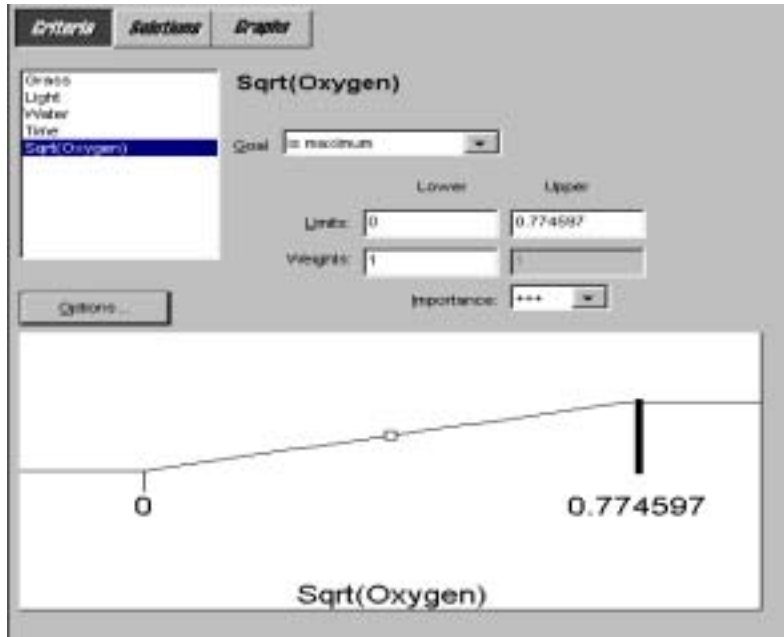
Experimental Constraints

經過一連串的分析發現，水草光合作用需要光源種類(太陽光)、水草選擇(水蘊草)、以及照光時間的配合，才能生成最多的氧氣。除此之外，我們也發現這個實驗可能的 noise factors：

- 1- 陽光的強弱：由於這並不是我們所能控制的，然而的確會影響實驗結果，可考慮用穩定的光源如太陽燈代替。
- 2- 測量時的誤差：浮到試管上端的氣泡並不會破，再加上水有表面張力，對於測量的高度會有一點點的影響，可用較精密的儀器以避免誤差。
- 3- 水草的品質：將水草彎曲放入試管中時，可能會傷害到水草影響到實驗效果。
- 4- 實驗時的溫度：光合作用在溫度較高時較為活躍亦可能影響實驗。



Conclusions & Recommendation

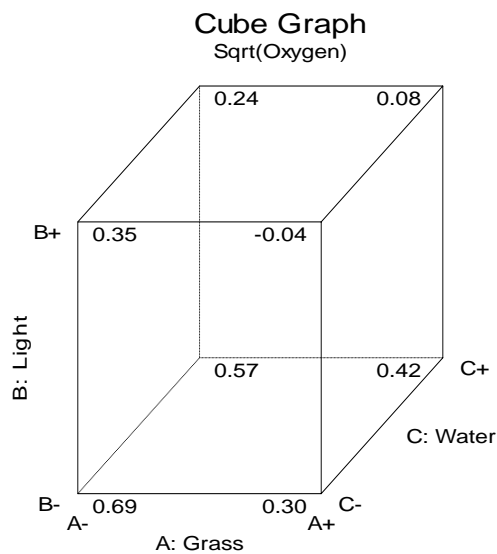


Solutions							
Number	Grass	Light	Water	Time	Sqrt(Oxygen)	Desirability	
1	A1	B1	C1	D2	0.690	0.89073683	Selected
2	A1	B1	C1	D1	0.682	0.88090046	

DESIGN-EXPERT Plot

Sqrt(Oxygen)
 X = A: Grass
 Y = B: Light
 Z = C: Water

Actual Factor
 D: Time = D2



經由本實驗結果，我們建議以的因子是：

水蘊草
太陽光
自來水
8hr

關於光源種類，根據研究顯示，光合作用需要可見光中的「紅色光」與「藍色光」。葉綠素 a 及 b 能夠吸收可見光(紅、橙、黃、綠、藍、紫)中的紅色及藍色光，紅光下光合作用最旺盛，而藍光下次之，日光燈無法提供有色光，故對氧氣的生成有很大的影響。因此，純粹以水草提供氧氣的水族箱必須放在陽光下，較能產生氧氣。

而水草的選擇之所以青睞水蘊草，推測是因為水蘊草的片狀葉片較菊花草的針狀葉片行光合作用的面積更大，因此對實驗目的較有幫助。

礦物質是水草生長所不可欠缺的，可以防止水草根部分發生腐爛或枯萎，進而影響光合作用。

由於經沸騰的水礦物質含量遠較自來水少，所以也造成影響。

由此可知，若要由水草提供水族箱氧氣，最好能使用水蘊草與自來水(或含有礦物質的硬水)，使之曝曬於陽光下，並持續較長的時間，才可能達成自然供氧的目的。

