

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030323

就是“納”道光-光與環境對 *Bacillus natto*
Sawamura 的生長影響與應用

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國二 趙道元 國二 溫又樺 國二 黃鈺凌	指導老師： 丁崇祺 黃韋瑜
---	-----------------------------

關鍵詞：*Bacillus natto* Sawamura、吸收度、光波長

摘要：

自製培養箱，針對 *Bacillus natto* Sawamura 進行液態培養，發現在溫度 40°C 生長效果最佳。文獻得知納豆菌有光接受器，會對光照產生反應，進行實驗發現白光照射培養時比無光照，生長效能有所提升，證實雖非光合菌，但光照對生長有正面影響。針對不同波長進行實驗，發現波長介於 520-625nm 的光對菌生長效果最佳。最後探討光強，發現照度影響不明顯，在 6000lux 左右下納豆菌生長較佳。

應用上發現其他穀物也可培養納豆菌，主要是所含蛋白質影響生長。以市售品牌比較，發現台灣產納豆菌數優於日本產納豆，另外在良好冷凍情況下保存，其保存期限不影響納豆菌數。最後自製保鮮盒，以 1W 紅光當光源，對保存有延長效果。

壹、研究動機

家裡面的長輩常說：納豆對人體有很大的幫助，能夠預防心血管等慢性疾病。因此也曾經購買納豆回來食用，然而新聞中有提到，納豆如果放久了會使效果變差，難道納豆一買就要立即使用才有效果嗎？但市面上的納豆產品一次就得要買三盒，在納豆不是那麼容易入口的情形下，總是留下許多納豆未食用。

為此，我們要探討環境變因以及利用不同強度與波長的光對納豆生長的影響，最後利用這些結果來試著拉長納豆食用時間，作為此次科展的討論主題。

貳、研究目的

環境對 *Bacillus natto* Sawamura 生長影響探討：

- 1、探討溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 2、探討光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。

Bacillus natto Sawamura 延伸研究與應用：

- 3、探討穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 4、探討市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 5、試著利用自製保鮮盒來增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長。

參、研究器材

器材：

自製培養箱 	自製無菌操作台 	熱對偶溫度計 	電子秤 	無菌塑膠手套 
250ml 錐形瓶 	分光光度計 	比色皿 	不同波長的 LED 	烘箱 
無菌錐形瓶 	離心機 	果汁機 	酒精燈 	自製保鮮盒 

材料：

<i>Bacillus natto</i> Sawamura 	液態培養基 PCA 	75%酒精 	各種品牌納豆 	不同品種穀物 
--	--	--	---	---

肆、研究過程或方法

研究架構圖：

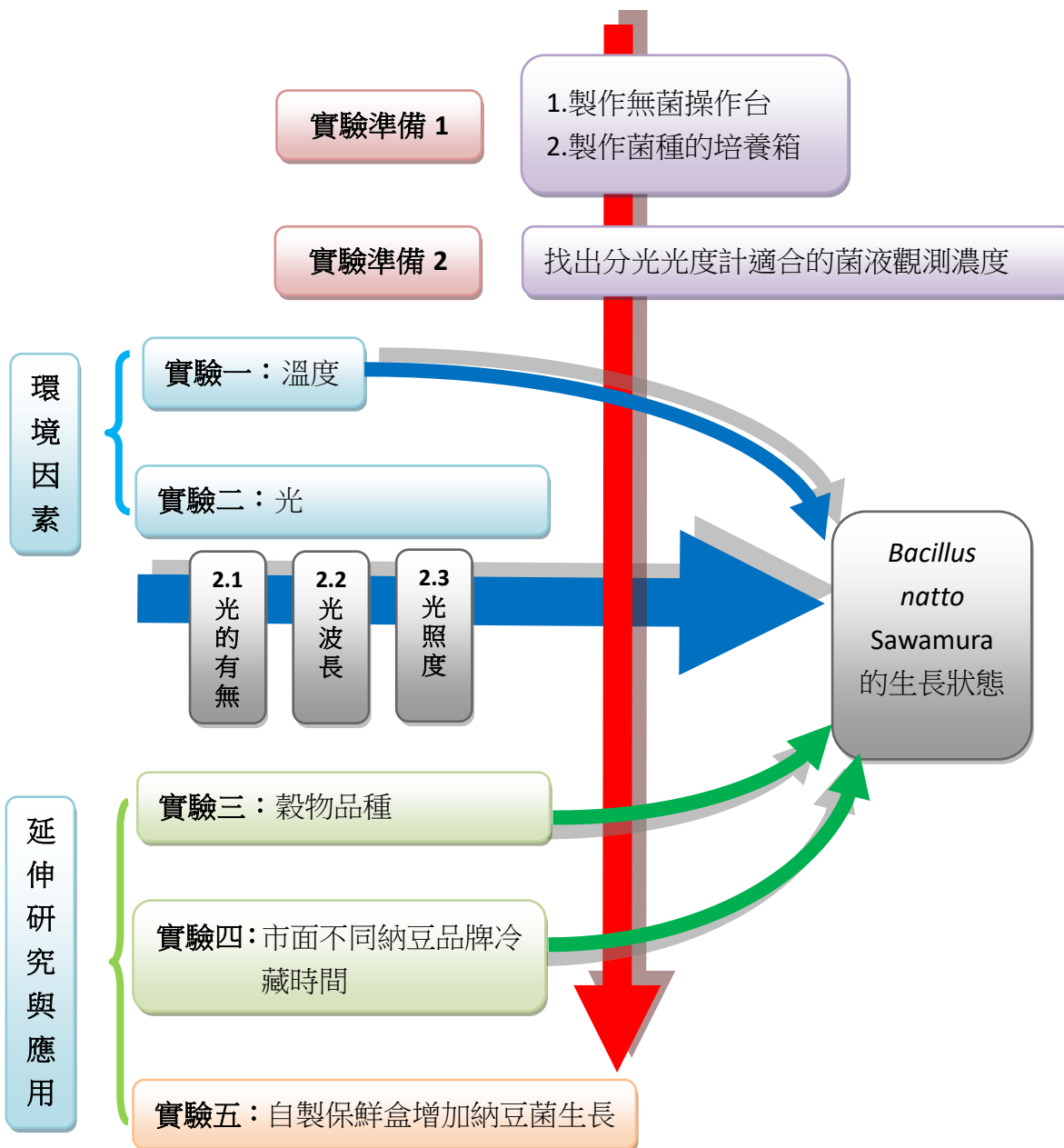


圖 1 研究架構圖

實驗前學習：

由於我們想了解 *Bacillus natto* Sawamura 的培養方式，於是來到了虎尾科技大學與教授討論，了解幾件事：

- 1、在菌種的培養中，容易產生污染。
- 2、*Bacillus natto* Sawamura 雖然古代是以黃豆與稻草來培養，但其他穀物似乎也可以培養 *Bacillus natto* Sawamura。



圖 2 於虎科大學習菌種培養

- 3、本來實驗方向朝向能檢測 *Bacillus natto* Sawamura 的酵素活性為重，但 *Bacillus natto* Sawamura 活性檢測不易，除了需要以微量滴管以及紫外光分光光度計等特殊器材來做檢測，還需要價格不菲的血纖維蛋白試劑，對國中階段的我們可能很難做到，所以我們改對 *Bacillus natto* Sawamura 的菌數來作探討，在文獻中都可以發現 *Bacillus natto* Sawamura 數量的測量主要使用OD 600nm檢測，因為600nm是大部分近似球形的細菌最大的吸收波長。
(邱繼正, 2005)

雖然很難測到 *Bacillus natto* Sawamura 的活性，但我們在這裡學到了分光光度計的使用方法以及養菌簡易操作的方向(圖2)。

文獻探討：

納豆菌 (*Bacillus natto* Sawamura) 的簡介

日本人長壽原因最重要的精髓是，日本人長期攝取了許多微生物發酵釀造食品，如：納豆、味噌、酒釀等醃漬類食品，其中納豆一直被認為日本人深具民族特色且讓人健康長壽的飲食。納豆菌於1906年由農學博士澤村所發現，並將其命名為 *Bacillus natto* Sawamura，1946年，美國 Smith等人的研究，認為納豆菌應屬於枯草桿菌的類緣菌(亞種)，因此在分類上便將納豆菌歸屬於枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)中。但由於納豆菌的維生素要求性或以 γ -PGA 為主要成分的粘質物生產特性，以及噬菌體的感染特異性顯然與枯草桿菌不同，故在日本還是與枯草桿菌區別，使用納豆菌的名稱。

而納豆是黃豆經過枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)的近緣菌

Bacillus natto Sawamura 「納豆芽胞桿菌」，俗稱「納豆菌」(圖3)

發酵轉化後所形成的食品。而納豆中含有大量人體所需且有利於消化吸收的蛋白質、異黃酮、卵磷脂、亞麻油酸、葉酸、食用纖維

、維生素 B1、B2、E、K2等健康營養成分，以及鈣、鋅、鎂、鉀

、鐵等重要元素，因此在醫學上被認為是高附加機能的營養食品。納豆外觀上具有獨特的胺基風味和拉絲黏性物質，這與中國傳統食品中的豆豉非常相似，但不同的是經科學化研製的納豆是由特定菌種發酵而成。



圖3 電子顯微鏡下的納豆菌芽孢

納豆最早的起源：根據日本民間流傳，繩文時代末期（距今約2300年前）日本自中國大陸引進黃豆，將黃豆蒸煮之後，再以稻草包裹使其維持一定的溫度，因稻草上固有的 *Bacillus natto* Sawamura 發生作用，經發酵後成為黃豆發酵產物的納豆。（許元勳, 2005）

光照對枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)的影響

光對地球上的植物而言，是不可或缺的能量來源，以進行光合作用之外，此外植物體內鑑定出含有不同類型的光接受器（photoreceptors），植物會藉由這些光接受器來偵測環境中光源存在的與否、光源的波長特性、光照時間持續的長短、方向性以及強度。而在真菌、細菌與藻類也有被證實出具有類似的photoreceptors，且證實光強度的不同對於藻類有很大的影響，細菌也有所謂的光合菌（photosynthetic bacteria）會受到光源的影響（Shinji et al. 2002）；而研究真菌中也有所謂的光反應器；而 *Bacillus subtilis* 雖非光合菌但有文獻證實，其具有感光性的蛋白質與ATP（腺嘌呤核苷三磷酸）的合成有相關性；且發現 *Bacillus subtilis* 內部也有蛋白質基因會有光接受器，會對光源產生反應。

文獻也指出探討光源強度從0 LUX到3500 LUX對於納豆菌以及納豆激酶產生的影響，由結果可以發現照度為0 LUX的時候，納豆激酶的活性只有4.22(FU/ml)，其Y p/x為702.50(FU/g)，其照度在1000 LUX有最大活性為18.29（FU/ml），Y p/x為3425.72(FU/g)，所以可以證實 *Bacillus subtilis* 菌，雖然其屬於非光合菌，但是從參考文獻中證實菌中有光接收器進而會對於光產生反應，故對於產生納豆激酶有正面的影響。（彭一凡,2007）

實驗準備1：

無菌操作台的製作

因為在菌種的培養過程中，容易受到外在菌種的汙染，所以我們想試著做一個簡單的操作台，讓汙染降到最低，故先利用3D列印的程式繪製出圖形(圖4)，再以設計圖為參考，利用壓克力板製作出實體(圖5)。左右兩側圓形開孔為雙手操作伸入處，我們以透明塑膠布貼上三層並將中心切割處交錯黏貼，使雙手伸入操作能貼合塑膠布，以避免外界菌落造成汙染。前方則以大型透明布用魔鬼氈半封閉，做法是以75%的酒精噴灑之後，再將要調配的物品先放入。

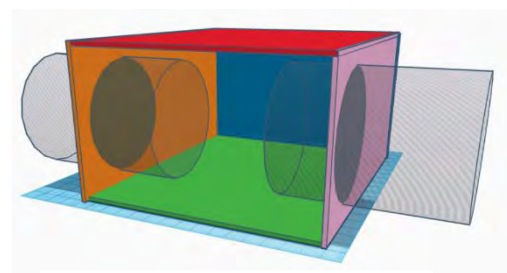


圖 4 無菌操作台設計圖

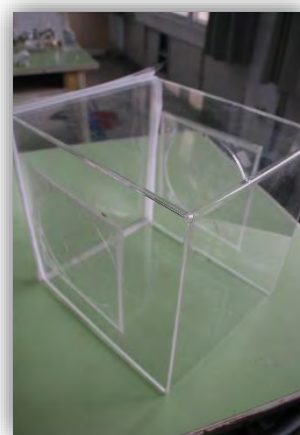


圖 5 無菌操作台實體

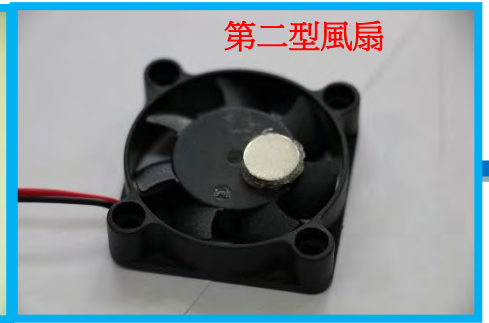
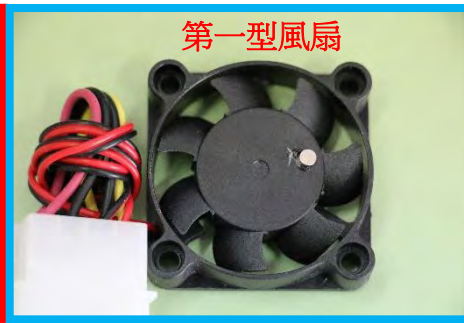
恆溫培養箱的製作流程：



利用上圖所購買的攜帶箱當培養箱的基礎。

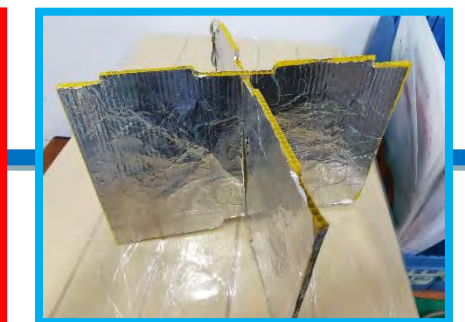
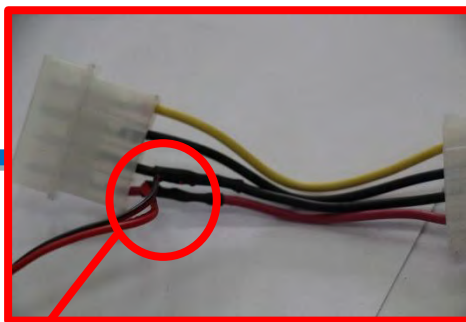
為了讓培養箱有負壓裝置，於正下方以焊槍熔出一個洞，再配合剪刀與焊槍挖出一個約四吋大小正方形的洞。

以風向朝向外面的方式將電腦風扇嵌入洞中，也就是以由內往外抽出的方式當負壓狀態，風扇四周再以熱熔膠固定。



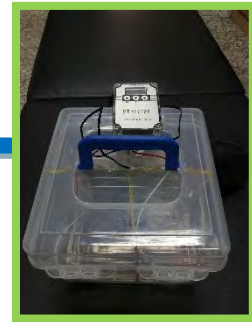
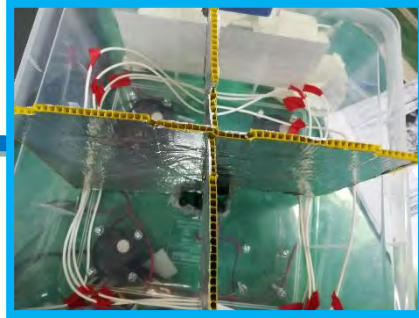
希望能在培養箱切分成四個部分放入錐形瓶來培養納豆菌，因此在四角分別設計放入四個風扇，並各自鎖上四根螺絲釘。

風扇上黏上強力磁鐵於風扇中間的部位，目的是做成簡易攪拌機，讓磁鐵吸引磁石旋轉，而第一型的風扇因磁鐵磁力太弱以及轉速太快，會造成磁石會因慣性而跑掉，因此改良方式就是將小磁鐵改成大磁鐵，以及將磁鐵黏貼靠近軸心，讓磁鐵降低轉速而使磁石順利吸住在原地旋轉震動而為第二型風扇。



但我們發現錐形瓶放入後，瓶中的磁石仍然旋轉過快，導致磁力無法吸住磁石旋轉而使其因慣性而飛出，所以討論改良的方向是希望轉速能夠降低，於是我們就使電源由12V轉成5V，也就是將電源線作跳線的方式，並接上學校報廢電腦的電源供應器來驅動。

為了能讓培養箱有效的利用空間，將兩個PP瓦楞板用卡榫接合，並以鋁箔紙包覆，使其隔成四個實驗空間。



<p>因需控制溫度，故將加熱線放置底部做配線，並控制一定的長度讓溫度不要超過45°C。</p>	<p>將十字隔板放入，讓四個區域都可放入錐形瓶，使培養箱可以一次做四個實驗。</p>	<p>將控溫表放在培養箱上方，可隨時改變溫度。共自製出兩個簡易培養箱A與B。</p>
---	--	--

因控溫表的溫度與實際納豆菌的位置所探測的溫度有些差距，因此兩個培養箱分別用熱對偶溫度計測量並校正溫度，讓上面控溫表設定的溫度對實際錐形瓶溫度能與實驗相符。

表1 培養箱內控溫表與實驗環境溫度表

培養箱型號	培養箱A					培養箱B				
控溫表溫度(°C)	25.0	28.0	31.0	34.0	37.0	25.0	28.0	31.0	34.0	37.0
錐形瓶溫度(°C)	29.3	31.2	35.4	38.6	42.3	28.4	31.6	34.4	37.2	40.3

校正曲線如下：

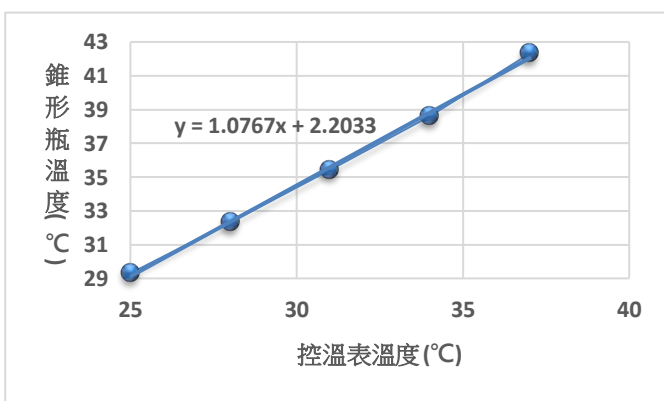


圖 7 A 培養箱控溫表與錐形瓶溫度對照圖

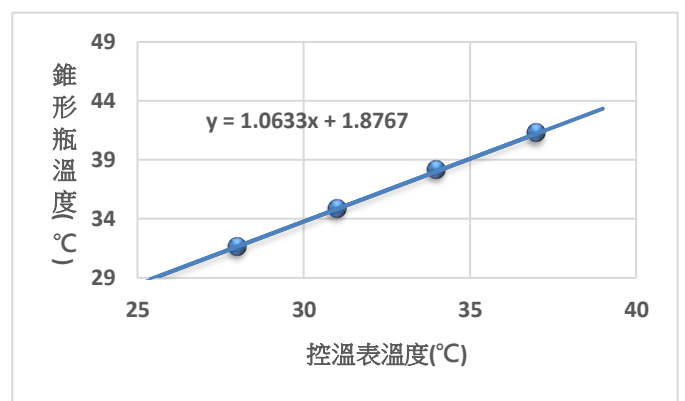


圖 8 B 培養箱控溫表與錐形瓶溫度對照圖

A培養箱校正方程式： $y = 1.0767x + 2.2033$

B培養箱校正方程式： $y = 1.0633x + 1.8767$

所以針對實驗一所設定的溫度，依校正方式，分別在培養箱A與B的設定溫度修正如下頁表格：

表2 校正後實驗設計控溫表溫度設定

培養箱型號	培養箱A				培養箱B			
錐形瓶溫度(°C)	25.0	30.0	37.0	40.0	25.0	30.0	37.0	40.0
控溫表溫度(°C)	21.8	25.8	32.3	35.1	21.7	26.4	33.0	35.9

實驗步驟：

實驗準備2：菌液濃度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影响

1、取市面上85%的生理食鹽水225g，加蒸餾水至255g成為重量百分率75%的食鹽水。

2、因 *Bacillus natto* Sawamura 粉末為300億 *Bacillus natto* Sawamura /g，所以取1g的孢子型的 *Bacillus natto* Sawamura 粉末加入9g的75%食鹽水稀釋，成為有30億納豆菌數的菌液，此時為了避免不必要的菌落汙染，所以在操作的過程，四周放置三個點燃的酒精燈(圖9)。



圖 9 防止菌落的方式

3、將步驟二的菌液加食鹽水依連續稀釋法，以每次十倍稀釋至實驗所需要的菌液濃度，分別為溶液 *Bacillus natto* Sawamura 菌數30萬、3萬、3000與300個。

4、以75%的酒精噴灑並擦拭自製無菌操作台來殺菌，並將雙手噴灑75%酒精並進行操作(圖10)。



圖 10 於自製無菌操作台操作

5、在操作台內分別取四種不同菌數的菌液1g加入無菌錐形瓶內(由大學實驗室協助殺菌)，加入19g液態培養基PCA與磁石，再以鋁箔紙包覆開口。

6、將錐形瓶移至自製的培養箱，並開啟旋轉磁石裝置。

7、靜置24小時後，取出培養的菌液10ml於離心管中，再以離心機300rpm的速度旋轉5分鐘。

8、取19g的培養基加入1g的75%的生理食鹽水當作分光光度計標準液。

9、取出離心後上層液約5ml放入比色皿，再以分光光度計配合標準液在600nm下測量吸收度。

實驗一：溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

- 1、依實驗準備2的結果，選擇以溶液 *Bacillus natto* Sawamura 菌數30000株當菌液。
- 2、將樣本放入已改良過可控溫的培養箱，分別設定25、30、37、40°C四種溫度，並以厚的黑布覆蓋避光。
(因自製培養箱有兩組，所以每次以兩種溫度實驗，培養箱內可同時四個樣本實驗)
- 3、以磁石持續攪拌，並分別在培養4hr、8hr、12hr、24hr、32hr時取出樣本10ml放入離心管內，再以離心機300rpm低速旋轉5分鐘。
- 4、取19g的培養基加入1g的75%的生理食鹽水當作分光光度計標準液。
- 5、取出上層液5ml放入比色皿，再以分光光度計配合標準液在600nm下測量吸收度。

實驗二：光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

2-1 光照對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

- 1、一組以白光(6000K)六種皆為3W的LED當光源的實驗組(樣本數n=4)，另一組為沒有照光的對照組(n=4)，分別放入兩個培養箱內。
- 2、設定在實驗一效果最好的溫度下(40°C)，重複實驗一步驟3到5並分析結果。

2-2 LED光波長對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

- 1、以粉紅光(660nm)、紅光(620-625nm)、綠光(520-525nm)、藍光(460-465nm)、紫光(395nm)、白光(6000K)六種皆為3W的LED當光源，分別放入兩個培養箱內(每種樣本數n=4)，並讓光源與錐形瓶距離一致。
- 2、設定在實驗一效果最佳溫度下(40°C)，重複實驗一步驟3到5並分析結果。

2-3 紅光照度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

- 1、根據實驗2-2最佳波長，故以紅光做實驗，分別以功率為1w、3w、5w的紅光(620-625nm)LED燈做光源(樣本數n=4)，分別固定在分隔板上，與培養瓶固定距離，並記錄其光度(LUX)。
- 2、設定在實驗一效果最好的溫度下，重複實驗一步驟3到5並分析結果。

實驗三：穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

- 1、將紅豆浸泡水一天後，再以電鍋蒸煮8個小時到軟。
- 2、將紅豆取出並放入電鍋的鍋蓋內。
- 3、取1g納豆菌孢子加水40ml當菌液，淋上紅豆後，再以鋁箔紙包覆並以筆戳足量的小洞。
- 4、將電鍋鍋蓋反放在電鍋上，以保溫模式加熱24小時。
- 5、將長出菌絲的紅豆取100g於果汁機內，加水200ml後以果汁機攪拌至無顆粒。
- 6、重複實驗一步驟3到5並分析結果。
- 7、依次對綠豆、花豆、米豆、黃豆、花生、小米、燕麥(樣本數n=4)重複步驟1到6。

實驗四：市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

於斗六市購買所有納豆的品牌共四種，分別為元氣小粒納豆、北海道小粒納豆、高野小粒納豆與高野極小粒納豆四種，並在實驗前，先行將其在冷凍室保存。

- 1、實驗前一天把冷凍的納豆移置冷藏室，並分別在冷藏第1天、第2天、第3天、4天及5天取出檢驗。
- 2、檢驗方式是取20g納豆並加水60ml，再經果汁機攪拌至無顆粒狀，取上層液放入數個離心管內。
- 3、放入離心機300rpm低速旋轉5分鐘，取數個離心管的上層液以濾紙過濾。
- 4、重複實驗一步驟3到5並分析結果(每次樣本數n=4)。

實驗五：自製保鮮盒增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長

- 1、從實驗二、三結果選出適當光的強度與波長當光源。
- 2、量取納豆的保麗龍盒大小，再利用3D列印機製作出納豆保鮮盒。
- 3、以OKAME小粒納豆當納豆本體，放入自製保鮮盒(樣本數n=4)後重複實驗五步驟1到4。

伍、研究結果

實驗準備2：菌液濃度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

在相同體積下，分別加入不同數量的 *Bacillus natto* Sawamura：

表3 不同濃度的納豆菌液所對照的吸收度

濃度	30 萬菌株/g	3 萬菌株/g	3000 菌株/g	300 菌株/g
吸收度 A	NA	1.4500	0.0120	0.0010
透射率 T	NA	3.6	97.4	99.8

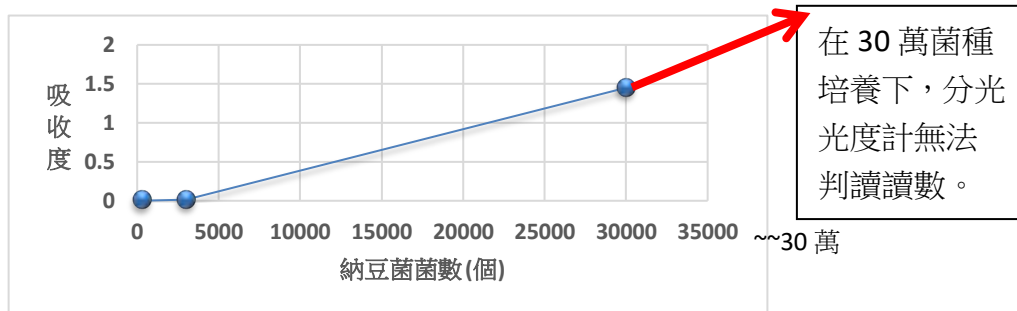
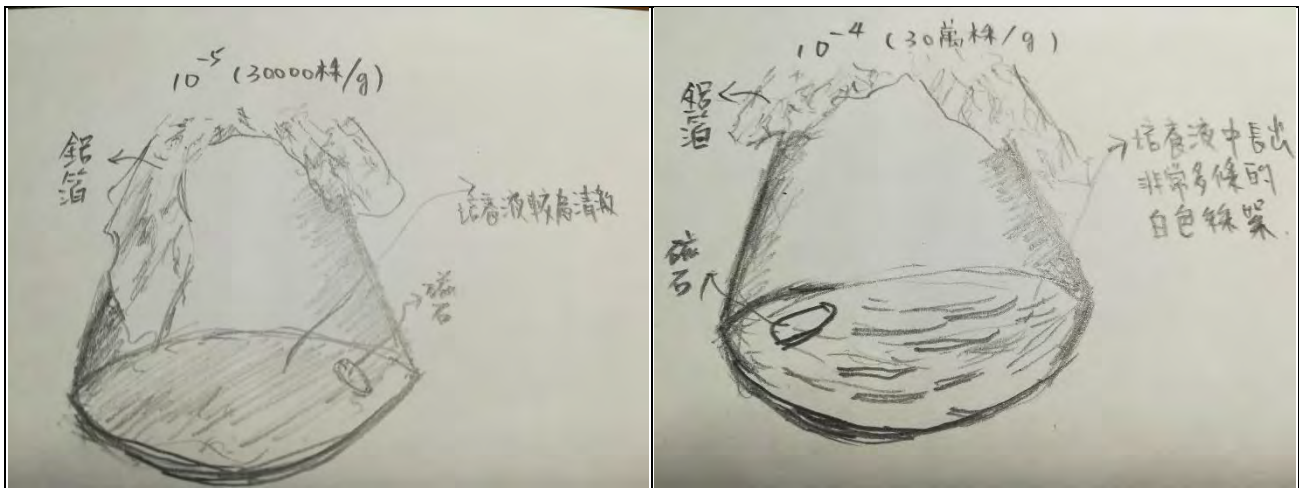


圖 11 菌液濃度對納豆菌生長圖

圖 11 可以發現，在常溫下，3 萬 *Bacillus natto* Sawamura /g 的濃度在分光光度計吸收度介於 0~3 之間較易觀察，另外經過一天的培養後，發現如下所繪製：

<p>300 菌株/g 的培養液中發現有直徑大約 2~3mm，長度最長到 3~4cm 的菌絲，懷疑因為納豆菌因量太少不夠強勢，而導致有其他雜菌出現。</p>	<p>3000 菌株/g 的培養液中則是發現大量的氣泡，推測 <i>Bacillus natto</i> Sawamura 量太少，加上有其他微生物對培養基的分解造成氣體的產生。</p>



<p>30000 菌株/g 的培養液呈現較為清澈，推測納豆菌的量已足夠抑制雜菌，且 <i>Bacillus natto</i> Sawamura 沒長太多影響分光光度計觀察。</p>	<p>30 萬菌株/g 的培養液中則是發現許多短直的白色絲絮，推測為 <i>Bacillus natto</i> Sawamura 孳生太多導致。</p>
---	---

綜合起始分光光度計觀察容易，以及未利用無菌裝置培養一天，在 3 萬菌株/g 培養 *Bacillus natto* Sawamura 較穩定，所以後續實驗皆以起始菌株為 3 萬 *Bacillus natto* Sawamura 的濃度下培養菌株。

實驗一：溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影响

表 4 不同溫度與時間下 *Bacillus natto* Sawamura 的吸收度

光譜	時間		溫度			
			25°C	30°C	37°C	40°C
600nm	4 小時	吸收度 A 平均值	0.0012	0.1410	0.5040	0.6970
		標準差	0.0005	0.0421	0.1677	0.1206
	8 小時	吸收度 A 平均值	0.0025	0.3570	0.7360	0.8380
		標準差	0.0023	0.0764	0.0890	0.0846
	12 小時	吸收度 A 平均值	0.0030	0.7160	1.3020	0.9730
		標準差	0.0029	0.0579	0.1366	0.1073
	24 小時	吸收度 A 平均值	1.4360	1.3670	1.3180	1.8600
		標準差	0.2560	0.0717	0.1323	0.2669
	32 小時	吸收度 A 平均值	0.7880	1.2370	1.3000	1.4860
		標準差	0.0995	0.0667	0.0844	0.2551

從各個溫度對照時間來觀察：

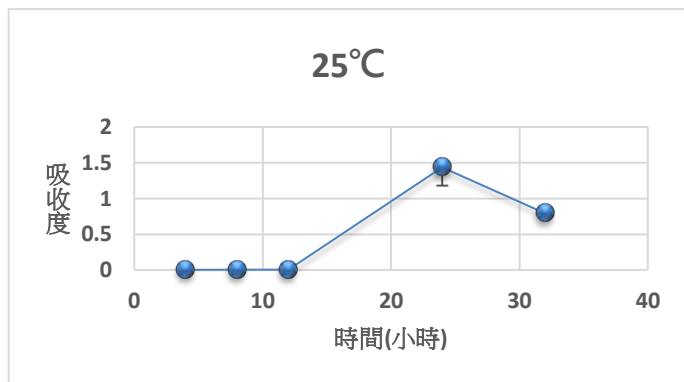


圖 12 25°C 納豆菌生長情形

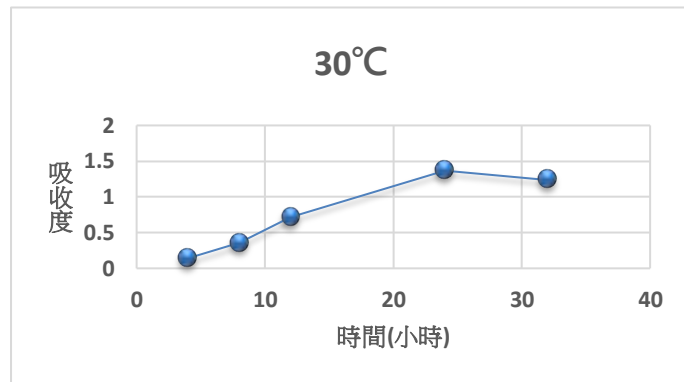


圖 13 30°C 納豆菌生長情形

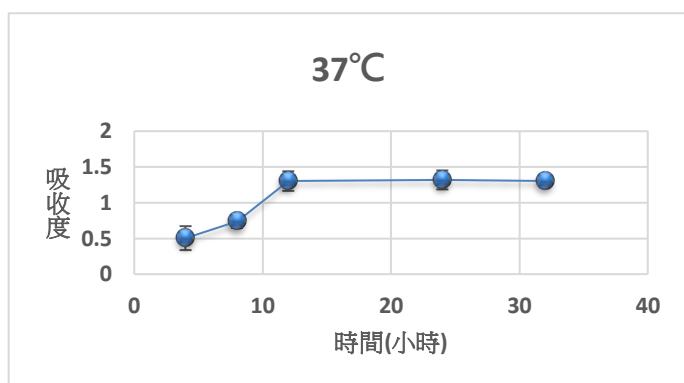


圖 14 37°C 納豆菌生長情形

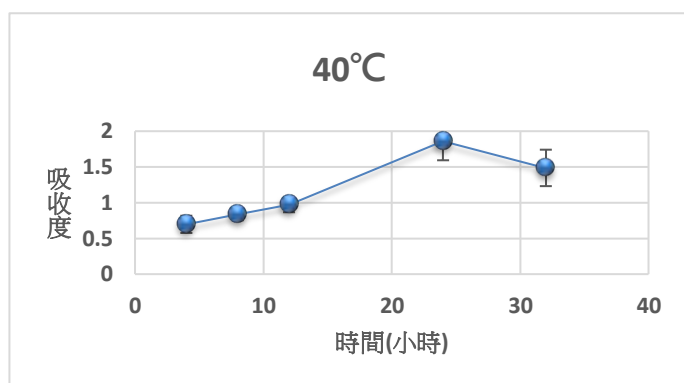


圖 15 40°C 納豆菌生長情形

就個別的圖來觀察，可以發現溫度越低，生長越緩慢，並且發現在四種溫度中，只有 25°C 在培養 12 小時後才開始有效的生長，而 37°C 的溫度下則是前期生長較快，但可以發現在 40°C 時，*Bacillus natto* Sawamura 生長較理想，菌數最大值大於 37°C 生長情形，而文獻中利用液態發酵培養方式進行其納豆激酶粗酵素活性等培養條件。其結果顯示在 300 rpm 轉速與 2 vvm 通氣量調控下，溫度與酸鹼值分別控制在 37°C 與 pH 6.5，培養 48 hrs 後，其醱酵液中的 NK 粗酵素活性最佳（蘇偉迪，2005）。而我們是針對 *Bacillus natto* Sawamura 數來作探討，我們認為菌數的量應該會與納豆活性有相關，在四種溫度下，我們發現 40°C 在 32 小時以及一開始皆優於 37°C，可以了解 *Bacillus natto* Sawamura 在 37 度~40 度效果不差，所以後續在實驗二及實驗三皆以溫度 40°C 來當環境溫度。

另外就實驗一 20 個數據(透射率紀錄於實驗紀錄簿)可以觀察到，透射率與吸收度以對數來做函數發現呈現負相關，透射越少，吸收度越高。

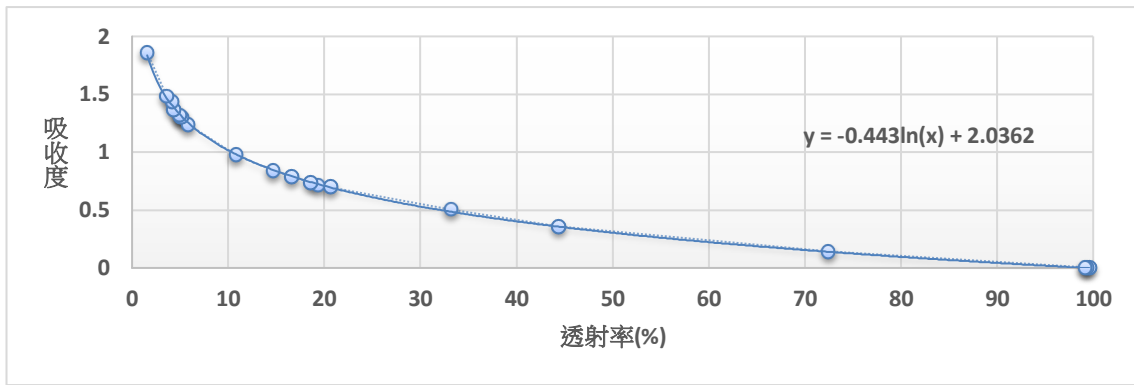


圖 16 吸收度與透射率相關圖

實驗二 光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

2-1 光照對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

表 5 照光與否 *Bacillus natto* Sawamura 在不同時間的吸收度

光譜	時間		不照光	照光
600nm	4 小時	吸收度 A 平均值	0.6970	0.8740
		標準差	0.1206	0.0561
	8 小時	吸收度 A 平均值	0.8380	1.2740
		標準差	0.0846	0.1298
	12 小時	吸收度 A 平均值	0.9730	1.9640
		標準差	0.1073	0.2882
	24 小時	吸收度 A 平均值	1.860	1.6360
		標準差	0.2669	0.1679
	32 小時	吸收度 A 平均值	1.4860	1.6280
		標準差	0.2551	0.1646

本次實驗發現培養時間 4 小時後，照光組吸收度 0.874 明顯大於不照光組的 0.697，8 小時之後照光組(1.274)遠比不照光組別(0.838)差異為最大。而 12 小時後，照光組(1.964)亦比不照光組(0.973)來得好；但來到 24 小時後不照光組(1.860)比照光組(1.636)好，但 32 小時後照光組(1.628)又比不照光組(1.486)來得好。4 到 12 小時這區段，照光組納豆菌生長效果明顯比不照光組好；而 12 小時後到 24 小時，照光組產生衰敗現象，吸收度 1.964 降至 1.636，但不照光組吸光度由 0.973 升至 1.860；32 小時後不照光組吸光度由 1.860 衰敗至 1.486，而照光組則 1.636 至 1.628 沒有明顯衰敗。由以上數據得知有照光組別的確在培養初期（4 到 12 小時）使菌種生長效率提升，且在後期（12 到 32 小時）延緩衰敗的部分亦比不照光組來得好。

2-2 LED 光波長對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

表 6 不同波長的光照下 *Bacillus natto* Sawamura 在不同時間的吸收度

光譜	時間		紫光 395nm	藍光 460-465nm	綠光 520-525nm	紅光 620-625nm	粉紅光 660nm
600nm	4 小時	吸收度 A 平均值	1.1350	0.7290	1.1350	0.7020	0.8540
		標準差	0.1313	0.0806	0.1620	0.0634	0.0622
	8 小時	吸收度 A 平均值	1.4170	1.0660	1.4690	1.4770	1.2570
		標準差	0.0905	0.1428	0.0578	0.0720	0.1099
	12 小時	吸收度 A 平均值	1.9100	1.6550	2.2470	1.9600	1.7400
		標準差	0.1599	0.0532	0.1638	0.1362	0.1453
	24 小時	吸收度 A 平均值	1.8120	1.5380	1.9000	2.0140	1.7450
		標準差	0.0780	0.0457	0.0877	0.0229	0.1466
	32 小時	吸收度 A 平均值	1.6720	1.6200	2.0380	2.1960	1.8480
		標準差	0.0852	0.0135	0.1466	0.1422	0.0573

觀察各種不同波長的光源對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響：

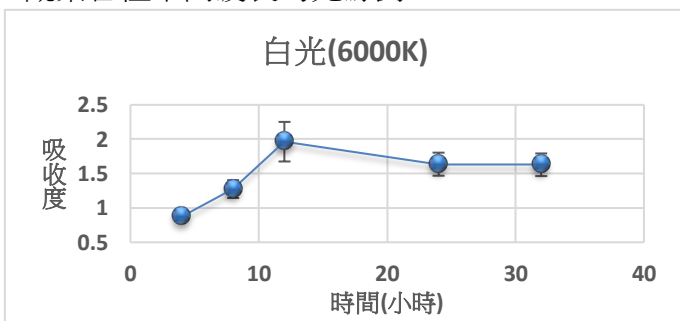


圖 17 白光(6000K)照射下納豆菌生長情形

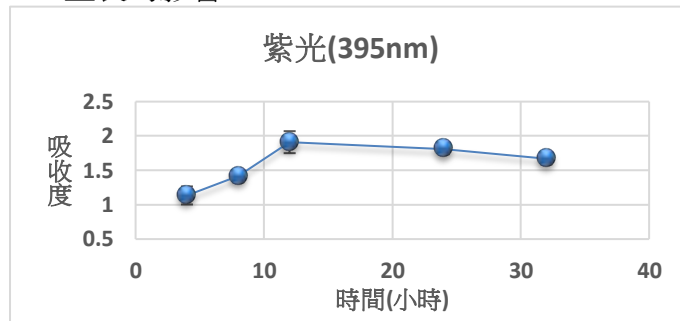


圖 18 紫光(395nm)照射下納豆菌生長情形



圖 19 藍光(460-465nm)照射下納豆菌生長情形



圖 20 綠光(520-525nm)照射下納豆菌生長情形

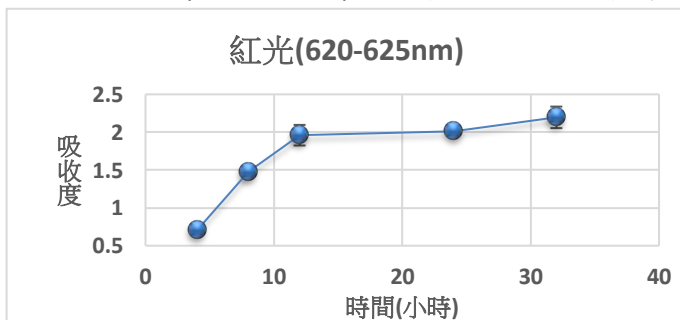


圖 21 紅光(620-625nm)照射下納豆菌生長情形

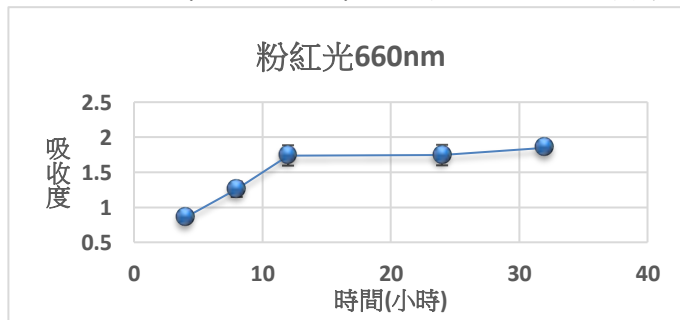
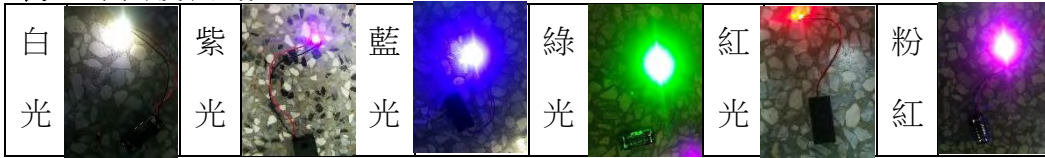


圖 22 粉紅光(660nm)照射下納豆菌生長情形

表 7 不同波長的光



從文獻來看照光強度在不同的時候，對於納豆激酶的活性影響很大，適當的光源可能幫助納豆菌及氮原產生納豆激酶。由 2-1 結果發現照光對生長速度有一定的效果。(彭一凡, 2007)

從上頁圖 17~圖 22 可觀察到：

對於時間，除了綠光與藍光菌數是緩慢增加外，其餘波長的光皆是在 12 小時到 24 小時間開始衰敗，24 小時到 32 小時又開始增加菌數。

表 8 不同波長光照下 *Bacillus natto* Sawamura 菌數於不同時間的排序變化

時間 \ 排序	←—————→					
	最佳					最弱
4 小時	綠光		白光	粉紅光	藍光	紅光
	紫光					
8 小時	紅光	綠光	紫光	白光	粉紅光	藍光
12 小時	綠光	白光	紅光	紫光	粉紅光	藍光
24 小時	紅光	綠光	紫光	粉紅光	白光	藍光
32 小時	紅光	綠光	粉紅光	紫光	白光	藍光

2-3 紅光照度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

表 9 不同紅光照度下 *Bacillus natto* Sawamura 在不同時間的吸收度

光譜	時間		照度		
			1W (1526 LUX)	3W (2316 LUX)	5W (4157 LUX)
600nm	4 小時	吸收度 A 平均值	0.6280	0.7020	0.5380
		標準差	0.1595	0.0421	0.3800
	8 小時	吸收度 A 平均值	1.6310	1.4770	1.5560
		標準差	0.0991	0.0949	0.1921
	12 小時	吸收度 A 平均值	2.1860	1.9600	1.9880
		標準差	0.1666	0.1511	0.1739
	24 小時	吸收度 A 平均值	1.7180	2.0140	2.0260
		標準差	0.1308	0.1476	0.1605
	32 小時	吸收度 A 平均值	1.8180	2.1960	2.1050
		標準差	0.1638	0.1238	0.1314

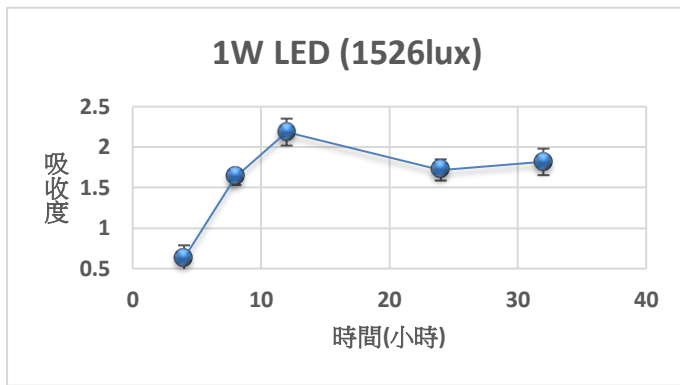


圖 23 照度 1526 lux 照射下納豆菌生長情形

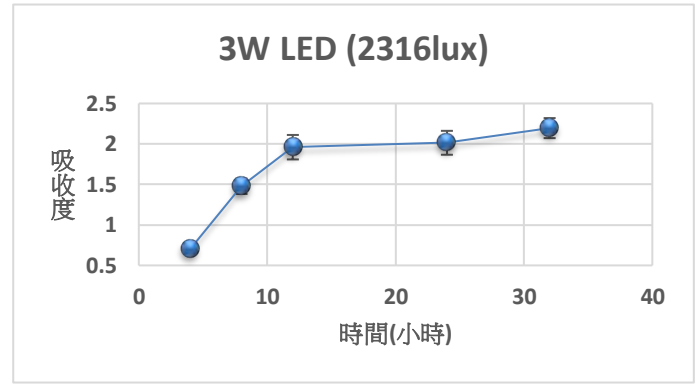


圖 24 照度 2316 lux 照射下納豆菌生長情形

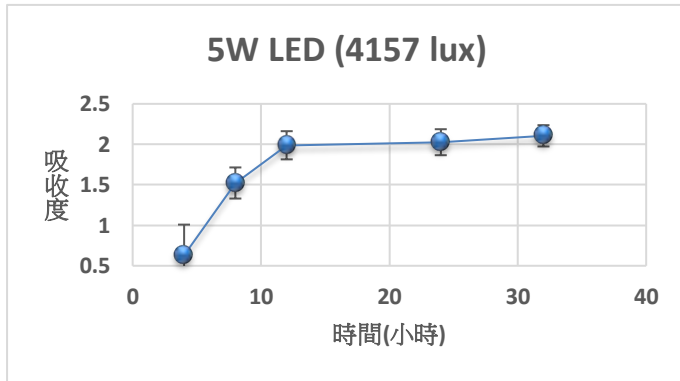


圖 25 照度 4157 lux 照射下納豆菌生長情形

若是比較實驗一 40°C 的實驗，可以發現照光後在 12 小時內生長速度比不照光來得高，同時也發現最低照度產生的納豆菌數可以達到最高，但照度為 2316 lux 以上的光源，菌種衰敗得比較緩慢一點。









實驗三：穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

一開始的做法以培養皿來做為培養的容器，先將穀物泡水一天後，蒸煮 8 個小時後取 20g 穀物放入培養皿，再淋上菌液，以保鮮膜封住並戳洞，再放入烘箱，以 40°C 的溫度培養。

表 10-1 穀物利用烘箱培養下 *Bacillus natto* Sawamura 的狀態

穀物品種	紅豆	花豆	黃豆	綠豆
淋上菌液				
一天後觀察				

表 10-2 穀物利用烘箱培養下 *Bacillus natto* Sawamura 的狀態

穀物品種	米豆	花生	小米	燕麥
淋上菌液				
一天後觀察				

可以發現一開始納豆會發出本身具有的濃濃惡臭，但時間持續大約一天左右，臭味開始有漸漸減弱的現象，於是打開烘箱觀察，發現豆類有乾掉的情形而導致 *Bacillus natto* Sawamura 死亡的狀態，判斷原因可能是因為以烘箱的方式(右圖 26)造成濕度變低，而讓菌種因缺水而死亡，因此我們改用不同的方式來培養，將穀物花八個小時煮過後，放入鍋蓋內如下圖 27 與圖 28。



圖 26 利用烘箱培養納豆菌



圖 27 穀物放入鍋蓋並淋上菌液



圖 28 鋁箔紙覆蓋鍋蓋並戳洞

表 11-1 穀物利用電鍋培養下 *Bacillus natto* Sawamura 的狀態





穀物品種	紅豆	花豆	黃豆	綠豆
培養一天觀察				

表 11-2 穀物利用電鍋培養下 *Bacillus natto* Sawamura 的狀態

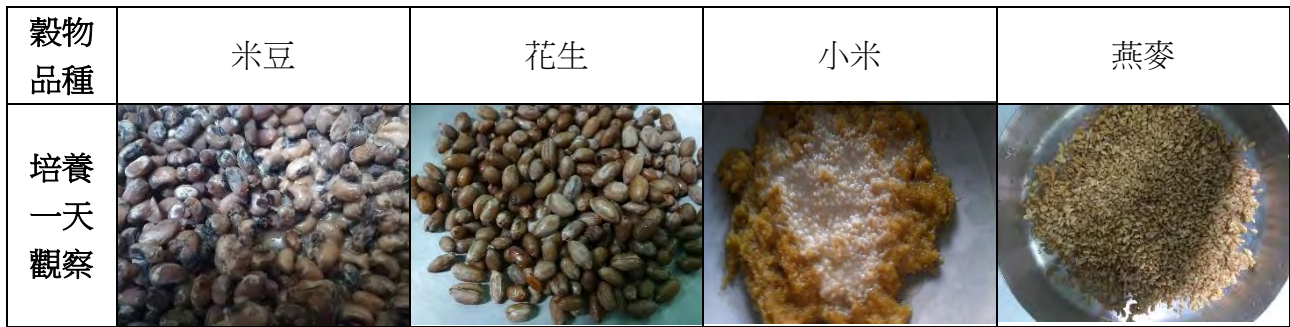


表 12 不同穀物培養 *Bacillus natto* Sawamura 24 小時後的吸收度

光譜	時間		穀物品種							
			紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
600nm	24 小時	吸收度 A 平均值	1.9160	1.5490	1.4710	0.7950	0.5950	0.7920	0.4610	0.5910
		標準差	0.2730	0.0534	0.0341	0.0541	0.0662	0.1262	0.0998	0.0447

就結果得知，紅豆 > 花豆 > 黃豆 > 綠豆 > 花生 > 米豆 > 燕麥 > 小米，同時可以發現紅豆與花豆效果甚至比黃豆效果好。而紅豆相較於其他穀物，紅豆具有較高蛋白、低脂肪與高膳食纖維的特性。或許是因為紅豆醣類比例較高導致，後續討論再來針對成分與價格來做探討。

實驗四：市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏放置時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

表13 市面上不同品牌納豆冷藏後*Bacillus natto* Sawamura在不同時間的吸收度

光譜	時間		納豆品牌			
			OKAME 超極小粒 2018.10.18	OKAME 小粒納豆 2018.11.27	北海道 小粒納豆 2018.11.12	圓金釀造 元氣 2019.01.17
600nm	24 小時	吸收度 A 平均值	2.0710	1.9260	1.9390	2.3570
		標準差	0.1015	0.1077	0.0496	0.0824
	48 小時	吸收度 A 平均值	2.4420	2.3140	2.1470	2.3930
		標準差	0.0845	0.1585	0.1832	0.0764
	72 小時	吸收度 A 平均值	2.1980	2.1450	1.9180	2.2150
		標準差	0.2443	0.0964	0.0094	0.0966
	96 小時	吸收度 A 平均值	1.9730	1.8260	1.7690	1.7040
		標準差	0.3852	0.0914	0.0206	0.0573

可以發現市面上的納豆製品，雖然不確定活性是否變少，但可以了解納豆在離開冷凍放入冷藏 48 小時後，菌數的確有開始變少的趨勢。

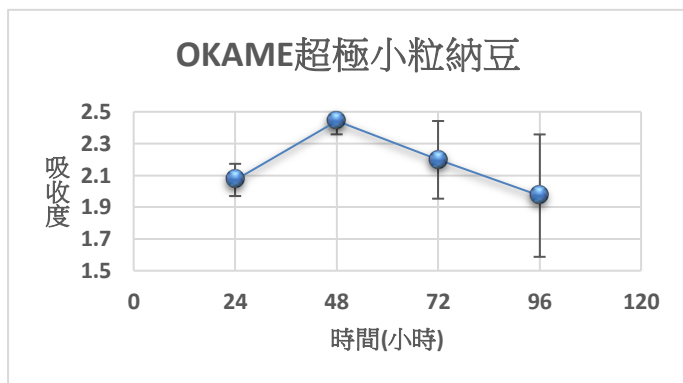


圖 29 OKAME 超級小粒納豆冷藏時菌生長情形

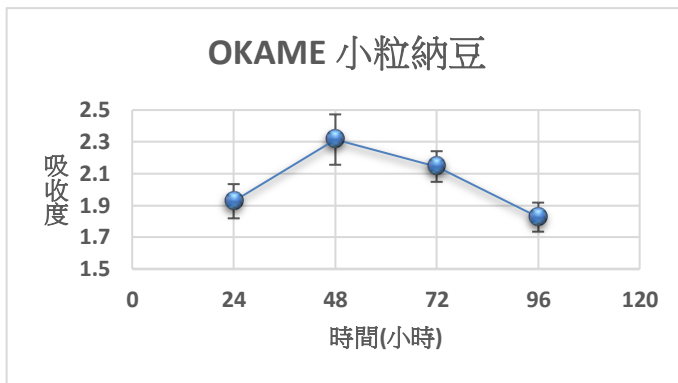


圖 30 OKAME 小粒納豆冷藏時菌生長情形

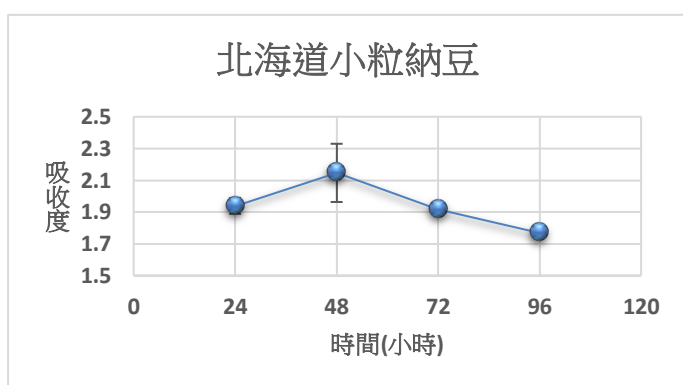


圖 31 北海道小粒納豆冷藏時菌生長情形

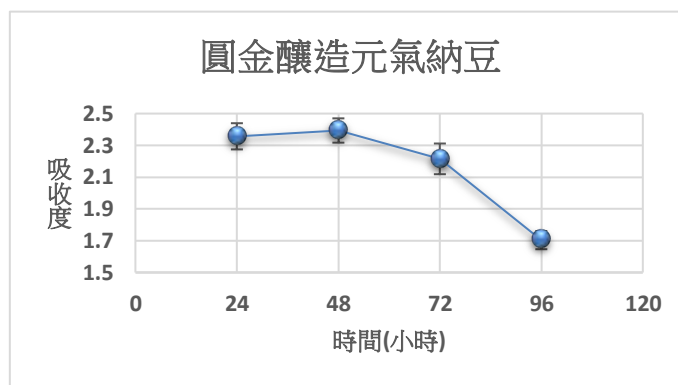


圖 32 圓金釀造元氣納豆冷藏時菌生長情形

實驗五：自製保鮮盒增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長

因為自製保鮮盒與納豆距離較近，根據相同光源下，照度與距離平方成反比，保鮮盒距離納豆本體假設 d 公分，而培養箱設定距離為 6cm ，所以 $d^2 : 6^2 = \text{照度}_{\text{培養箱}} : \text{照度}_{\text{保鮮盒}}$

(如圖 33)，以 3W 照度為 2316LUX 來看，如果越靠近到 $d\text{cm}$ ，照度會增加成

$2316 \times \frac{6^2}{d^2}$ 倍。這樣的話，使用 3W 的燈源，其照度就會過高，所以可以以

1w 的 LED 來當光源，設為 3W 的照度 2316LUX 來看， $d = \sqrt{\frac{1526}{2316} \times 6^2} \cong$

4.87 cm ，所以應該將自製保鮮盒 LED 放置位置距離納豆本體約 4.8cm 就可以接近 3w 的照度。

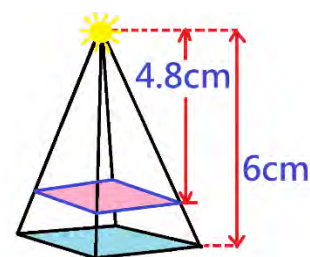


圖 33 照度距離比較圖

從實驗二及實驗三結果，需要的是以 3W 的紅光照射，於是我們利用 3D 列印網頁 Tinkercad 製作出保鮮盒的本體(如圖 34)，本體大小以市面上的納豆保麗龍盒為參考大小，設計以滑軌方式來設計蓋子(如圖 35)，並把 3W LED 紅燈配合電池盒置入蓋子內部。

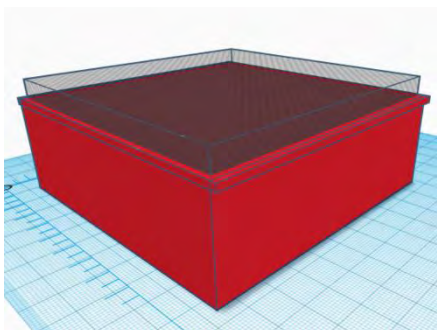


圖 34 自製保鮮盒本體設計圖

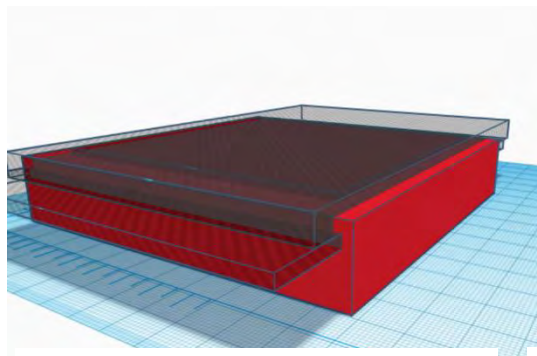


圖 35 自製保鮮盒蓋子設計圖



圖 36 放入市面納豆盒示意圖

將 OKAME 小粒納豆放入保鮮盒並照紅光冷藏，實驗結果如下表 14：

表 14 納豆放入保鮮盒冷藏不同時間 *Bacillus natto* Sawamura 的吸收度

時間	24 小時	48 小時	72 小時	96 小時
吸收度 A 平均值	2.2350	2.4620	2.3540	2.1440
標準差	0.0816	0.0053	0.0515	0.0801

陸、討論

實驗一：溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

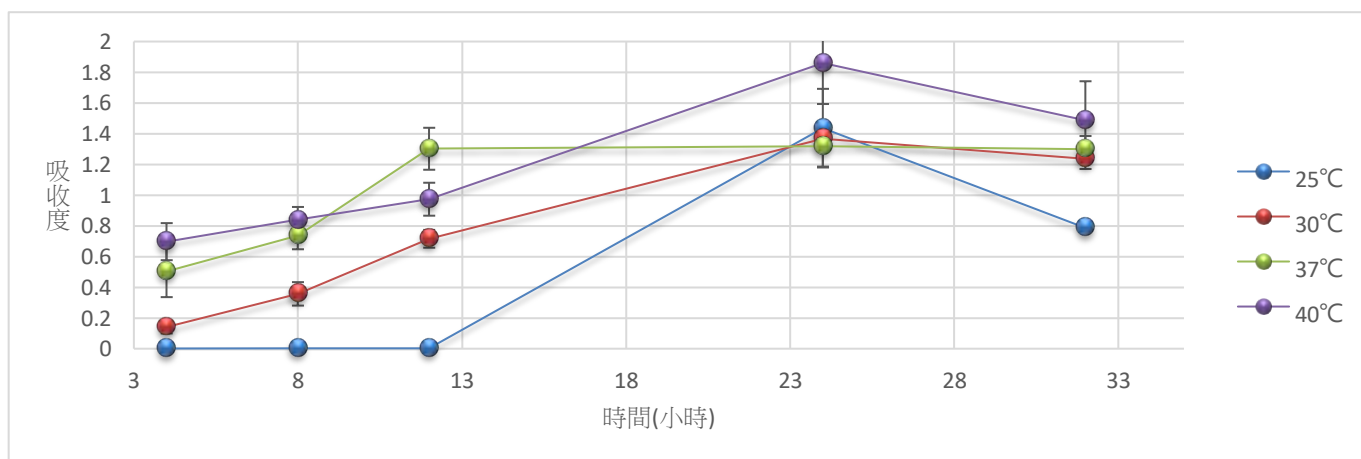


圖 37 不同溫度對納豆菌生長比較圖

綜合實驗一不同的溫度結果來看，可以發現以下幾個結論：

整個過程從12小時當邊界，將其分成兩段來判斷：

- 1、前12小時來看，可以看到37°C在12小時內發展最快速。且溫度於25°C下，生長緩慢。
- 2、12小時後，大致上隨著溫度越高，其吸收度越高，也就是菌株數越多。
- 3、可發現 *Bacillus natto* Sawamura 在12小時開始發展，一直到24小時才生長停滯甚至衰敗。
- 4、40°C在12小時後急速生長，衰敗也比較少，故為本實驗培養的最佳溫度。

實驗二 光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

2-1 光照對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

我們可以從實驗一探討照光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響，因為從文獻中知道，*Bacillus natto* Sawamura 並不是光合菌，照光會對活性產生正面影響，所以我們針對 *Bacillus natto* Sawamura 的生長速度，從實驗一 40°C 不照光組與照白光(6000K)組來比較。

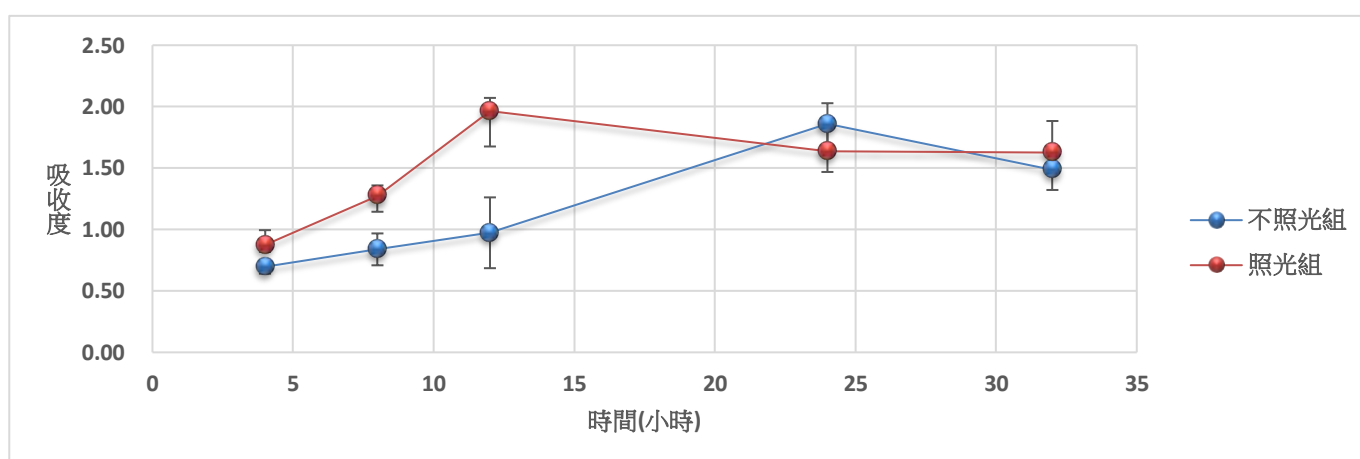


圖 38 光照對納豆菌生長比較圖

細菌的生長繁殖可分為四期，有遲緩期、對數期、穩定期與衰亡期，可以發現照光後，除了會讓納豆菌的對數期提早，也讓對數期時的納豆生長曲線更高，與文獻 (彭一凡, 2007) 照光增加活性可以互相驗證。

2-2 LED光波長對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

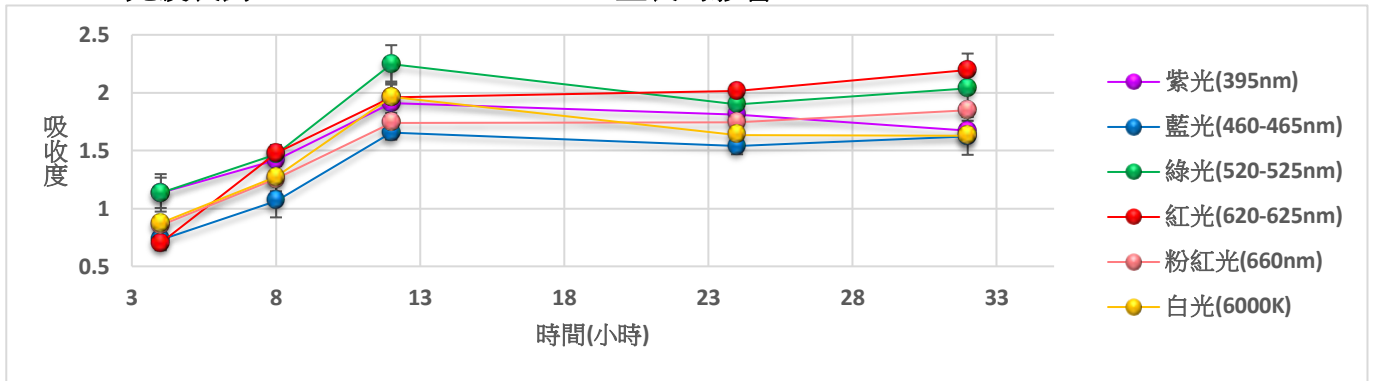


圖 39 不同波長的光對納豆菌生長比較圖

根據不同波長的光照影響，從圖39可以發現下列一些有趣的結果：

- 1、比較不照光的圖形可以發現，照光後會提早生長。
- 2、可以發現紫光的效果一開始很不錯，推測是因為紫光的能量較高，進而抑制了其他雜菌，而讓一開始 *Bacillus natto* Sawamura 的生長較好，但等到8小時後，高能量的藍光與紫光反而會抑制生長。
- 3、培養一天之後，可發現波長在綠光與紅光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的效果較佳，也就是建議波長520~625nm之間。

2-3 紅光照度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

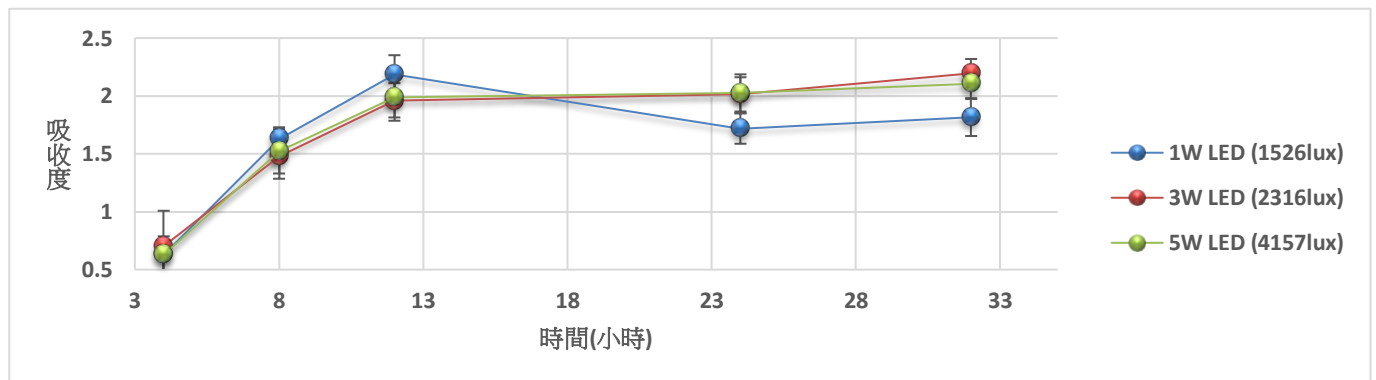


圖 40 不同照度對納豆菌生長比較圖

從圖 40 可以發現：

- 1、光的照度多寡，其實對照度超過 2316LUX 的 *Bacillus natto* Sawamura 生長差異不太大，但對低照度 1526LUX 就有很明顯的增加，尤以 3w 的 LED 光源效果較佳。
- 2、不照光的情形下，大約 24 小時後生長停滯，而照光的情形下，時間會提早在 12 小時發生。
- 3、足量照度下，可以觀察到兩天內生長有緩步增加的情況。

實驗三：穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

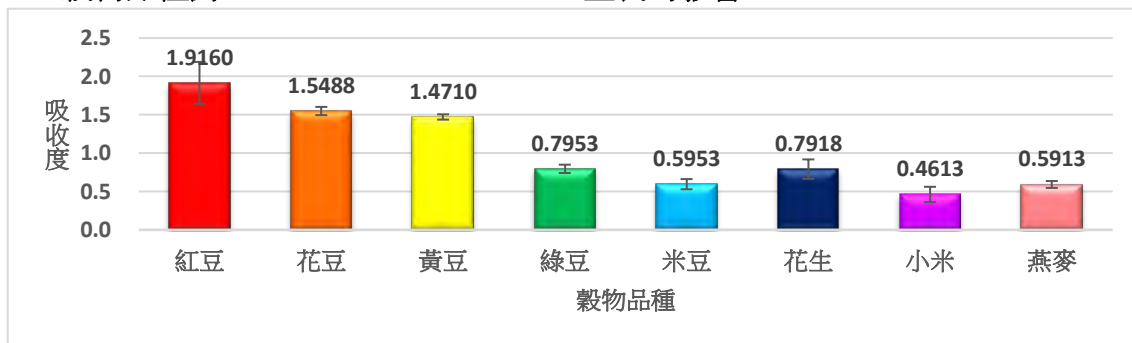


圖 41 不同品種穀物對納豆菌生長比較圖

可以發現所有的穀物，只要有基本的營養素，還是能夠讓 *Bacillus natto* Sawamura 生長，又發現甚至有兩種豆類效果比黃豆好，也就是紅豆與花豆，所以我們針對價格來判斷 *Bacillus natto* Sawamura 是否可以使用其他品種穀類培養，另外效果最好的紅豆，納豆本身具有的臭味比較沒那麼重，外表比較不完整一些。

表15 市面上穀物市價與性價比表

穀類品種	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
市價(100g價格)	90/6	60/6	35/6	60/6	60/6	120/6	60/6	40/6
CP值判斷 吸收度/100g價格	0.128	0.155	0.252	0.080	0.060	0.040	0.046	0.089

可以發現黃豆性價比最高，所以雖然含有基本營養的穀物都可以培養納豆，但黃豆價格低，所以市面上的納豆都是以黃豆製成，因為蛋白質含量最多，導致缺點是相對其他穀物較臭一些，而CP值高的紅豆與花豆代表著可以有另外一種選擇培養 *Bacillus natto* Sawamura，而紅豆我們一致認為口味較容易讓人接受，而且有淡淡的紅豆味，臭味相對來說較淡。再來針對穀物中所含的水分、醣類以及蛋白質比例來做比較，看內部營養素的比例是否有影響生長。

表16 市面上穀物脂肪、蛋白質、醣類與熱量表

品種	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
脂肪所佔比例(%)	1.5	1.3	17.8	1.2	2.57	44.3	3.1	6.9
蛋白質所佔比例(%)	22.2	19.1	36.2	23.1	20.8	24.8	9.0	16.9
醣類所佔比例(%)	62.0	62.7	30.7	62.6	64.9	16.2	73.5	66.3
熱量(kcal)	335	317	400	345	358	563	358	389

(衛生福利部食品藥物管理署, 2014)

從穀物的成分當中可以發現，生長前三名 (紅豆、花豆、黃豆) 都有一個共同的條件就是其蛋白質含量較高且煮起來會偏軟，對照後兩名 (小米、燕麥) 來看也的確是蛋白質含量較低之故，這樣看來其碳水化合物與脂肪含量多寡影響不太大，最主要還是蛋白質所影響。然而綠豆、米豆以及花生蛋白質含量也算高，又為何效果比紅豆低，可能主要是綠豆、米豆、花生顆粒較小與煮後硬度較高所造成的影響。

實驗四：市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

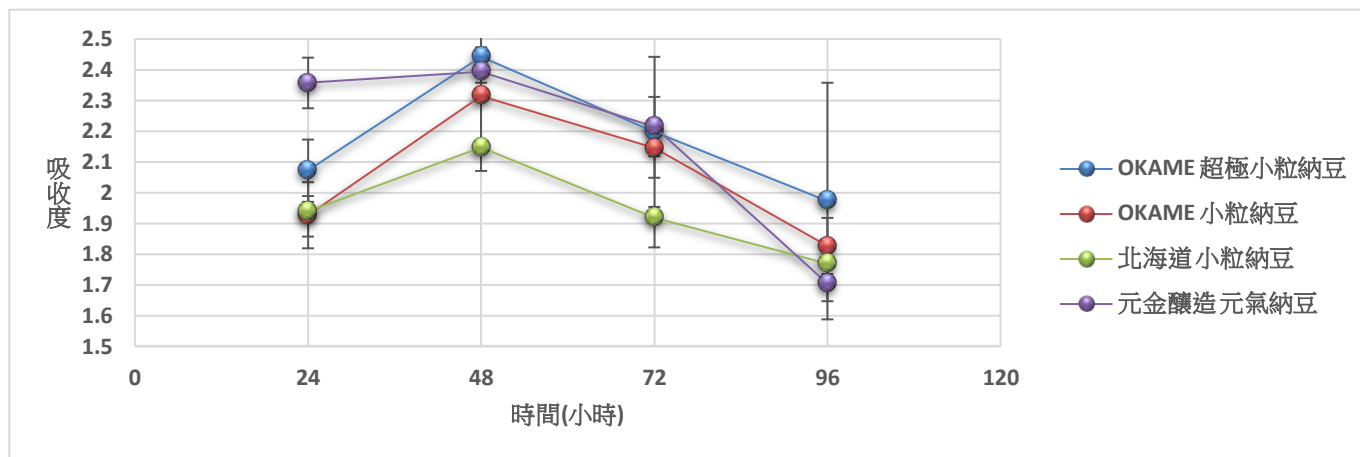


圖 42 不同品牌的納豆冷藏時間對納豆菌生長比較圖

表17 市面納豆保存期限與產地表

品牌	OKAME 超級小粒納豆	OKAME小粒納豆	北海道小粒納豆	圓金釀造 元氣納豆
購買地	全 χ			里 χ
產地	日本			台灣
保存期限	2018.10.18	2018.11.27	2018.11.12	2019.01.17

從 OKAME 以及北海道三種納豆來看，保存期限雖然是北海道最長，但效果卻是保存期限最短的超級小粒最好，故從此判斷是顆粒大小影響到 *Bacillus natto* Sawamura 生長。也可以發現納豆在冷凍的過程中，生長幾乎完全停滯。

另外，可以發現一開始的菌數是台灣製造的圓金釀造元氣納豆最佳，比較兩者之間關係，推測在運送過程中，對納豆也有一定的影響，然而之後日本產的 *Bacillus natto* Sawamura 生長狀況比台灣的好，或許是日本菌種的健康度較佳之故。

實驗五：自製保鮮盒增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長

可以發現使用保鮮盒第二天時，效果開始變差，但沒有跟未使用光源保鮮盒的OKAME小粒納豆比較，無法知道效果是否有變好，於是在下圖43與未使用保鮮盒來做比較。

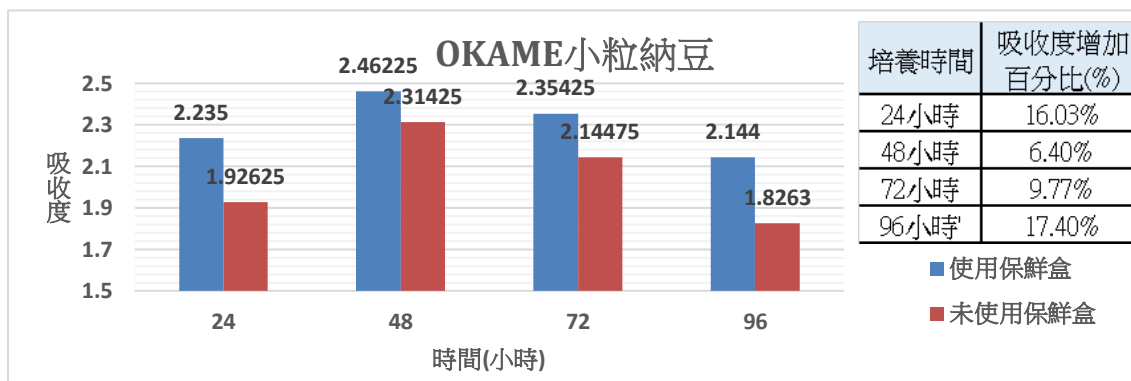


圖 43 使用保鮮盒有無針對 OKAME 小粒納豆冷藏時間納豆菌生長比較圖

可以發現保鮮盒對OKAME小粒納豆的生長有一定的影響，但光源同時也會產生熱源，所以只能說保鮮盒的確是有一定的效果，可以延後 *Bacillus natto* Sawamura 衰敗的時間。

柒、結論

簡易培養箱針對納豆菌培養後，我們可以發現：

環境對納豆菌生長影響探討：

- 1、納豆菌在環境溫度 40°C 培養效果較文獻中 37°C 佳，效果也比其他溫度好。
- 2、可發現納豆菌光源培養效果中，以不同的光波長來看，一開始是藍紫光效果較好，可能是高能量光一開始抑制雜菌之故，但發現穩定期後，紅光與綠光(波長介於 520-625nm)的刺激生長效果最佳，這是在文獻中所找不到的新發現。
- 3、發現照光會提早對數期與增加產量，但照度在 2300lux 以上後對納豆菌刺激產量差異不大。

納豆菌延伸研究與應用：

- 1、可發現使用其他穀物也可以培養納豆菌，就成分推測，主要是穀物所含蛋白質多寡影響。
- 2、就市面上的品牌來看，台灣生產的納豆其納豆數因運送過程較短而優於日本納豆，另外只要能在良好冷凍的情況下保存，其保存期限不影響納豆菌數。
- 3、以 1W 的紅光於自製保鮮盒，與無照光組比較，發現對保存有延長期限(增加 6%~17%菌數)。

捌、未來展望

從實驗結果知道 *Bacillus natto* Sawamura 的生長條件後，發現其實 *Bacillus natto* Sawamura 的培養不一定要由黃豆所製造出來，也可以藉由富含蛋白質、胺基酸的其他食物培養。而 *Bacillus natto* Sawamura 之所以難以入口的原因就是其臭味，既然如此，我們可以用其他食物來培養納豆，讓納豆獨有的臭味變少，也會更讓人容易入口。再來市面上的納豆一次必須購買三盒，則利用一定範圍波長的光照射來延長使用期限，讓難以入口的納豆得以晚點吃完，也不致造成浪費。

而本次實驗因為昂貴的實驗藥品以及器材的取得困難，所以沒辦法實際去測得我們一開始想探討的 *Bacillus natto* Sawamura 活性，也就是納豆激酶，很難說納豆菌數量與活性有強烈的正相關，但我們推測，菌數越多激酶也會越多；不過還是希望未來能與大學端合作，真正去探討 *Bacillus natto* Sawamura 活性的變化。

玖、參考資料

- 1、邱繼正. (2005). 影響納豆激酶生產之液態發酵及熱穩定性之條件探討. 南台科技大學, 生物科技研究所碩士論文.
- 2、許元勳. (2005). *Bacillus natto* Sawamura 發酵製品介紹及國內研發現況. 農業生技產業季刊 (3), 頁 50-52.
- 3、彭一凡. (2007). 探討照光強度對納豆菌生長與納豆激酶生產之影響. 中央大學, 化學工程與材料工程研究所.
- 4、蘇偉迪. (2005). 利用 *Bacillus natto* Sawamura 生產納豆激酶之研究. 大業大學生物產業, 科技學系碩士論文.
- 5、納豆. (2018 年 1 月 1 日). 2018 年 3 月 12 日 擷取自 維基百科:
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%8D%E8%B1%86>
- 6、衛生福利部食品藥物管理署. (2014 年 8 月 12 日). 食品營養成分資料集.
2018 年 3 月 24 日 擷取自 政府資料開放平台: <https://data.gov.tw/dataset/8543#r0>

附錄

實驗一 溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

25°C		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.0018	0.0006	0.0014	0.0010	0.0012	0.0005
	透射率T	99.5	99.8	99.6	99.7	99.6	0.1
8小時	吸收度A	0.0059	0.0008	0.0023	0.0011	0.0025	0.0023
	透射率T	98.6	99.7	99.4	99.7	99.3	0.5
12小時	吸收度A	0.0070	0.0010	0.0040	0.0010	0.0033	0.0029
	透射率T	98.3	99.7	99.0	99.7	99.2	0.7
24小時	吸收度A	1.7510	1.1280	1.4680	1.3980	1.4363	0.2560
	透射率T	1.8	7.4	3.4	4.0	4.1	2.4
32小時	吸收度A	0.9040	0.6610	0.7980	0.7890	0.7880	0.0995
	透射率T	12.4	21.8	15.9	16.2	16.6	3.9

37°C		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.2790	0.4870	0.6720	0.5760	0.5035	0.1677
	透射率T	52.5	32.5	21.2	26.5	33.2	13.7
8小時	吸收度A	0.6170	0.7210	0.8150	0.7920	0.7363	0.0890
	透射率T	24.1	19.0	15.3	16.1	18.6	4.0
12小時	吸收度A	1.1880	1.2240	1.4940	1.3010	1.3018	0.1366
	透射率T	6.5	6.0	3.2	5.0	5.2	1.4
24小時	吸收度A	1.1960	1.2540	1.5010	1.3220	1.3183	0.1323
	透射率T	6.4	5.6	3.1	4.8	5.0	1.4
32小時	吸收度A	1.2010	1.2890	1.4070	1.3040	1.3003	0.0844
	透射率T	6.3	5.1	3.9	5.0	5.1	1.0

30°C		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.1920	0.1170	0.1580	0.0980	0.1413	0.0421
	透射率T	64.2	76.3	69.4	79.7	72.4	7.0
8小時	吸收度A	0.4620	0.3250	0.3590	0.2830	0.3573	0.0764
	透射率T	34.5	47.3	43.7	52.1	44.4	7.4
12小時	吸收度A	0.7620	0.7150	0.7510	0.6340	0.7155	0.0579
	透射率T	17.3	19.2	17.7	23.2	19.3	2.7
24小時	吸收度A	1.4470	1.3070	1.4080	1.3060	1.3670	0.0717
	透射率T	3.6	4.9	3.9	4.9	4.3	0.7
32小時	吸收度A	1.3010	1.1930	1.2860	1.1670	1.2368	0.0667
	透射率T	5.0	6.4	5.2	6.8	5.8	0.9

40°C		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.6380	0.7530	0.5620	0.8340	0.6968	0.1206
	透射率T	23.0	17.6	27.4	14.6	20.6	5.7
8小時	吸收度A	0.8410	0.8610	0.7240	0.9270	0.8383	0.0846
	透射率T	14.4	13.7	18.8	11.8	14.7	3.0
12小時	吸收度A	0.9290	0.9710	0.8710	1.1220	0.9733	0.1073
	透射率T	11.7	10.7	13.4	7.5	10.8	2.5
24小時	吸收度A	1.6430	1.9970	1.6310	2.1690	1.8600	0.2669
	透射率T	2.3	1.0	2.3	0.7	1.6	0.9
32小時	吸收度A	1.3620	1.3890	1.3270	1.8670	1.4863	0.2551
	透射率T	4.3	4.1	4.7	1.4	3.6	1.5

實驗二 光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

2-1 光照對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

不照光		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.6380	0.7530	0.5620	0.8340	0.6968	0.1206
	透射率T	23.0	17.6	27.4	14.6	20.6	5.7
8小時	吸收度A	0.8410	0.8610	0.7240	0.9270	0.8383	0.0846
	透射率T	14.4	13.7	18.8	11.8	14.7	3.0
12小時	吸收度A	0.9290	0.9710	0.8710	1.1220	0.9733	0.1073
	透射率T	11.7	10.7	13.4	7.5	10.8	2.5
24小時	吸收度A	1.6430	1.9970	1.6310	2.1690	1.8600	0.2669
	透射率T	2.3	1.0	2.3	0.7	1.6	0.9
32小時	吸收度A	1.3620	1.3890	1.3270	1.8670	1.4863	0.2551
	透射率T	4.3	4.1	4.7	1.4	3.6	1.5

照光		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.83	0.84	0.88	0.95	0.87	0.06
	透射率T	14.83	14.39	13.31	11.12	13.41	1.66
8小時	吸收度A	1.10	1.25	1.36	1.39	1.27	0.13
	透射率T	7.89	5.63	4.40	4.05	5.49	1.73
12小時	吸收度A	1.71	1.79	2.00	2.36	1.96	0.29
	透射率T	1.93	1.62	1.01	0.44	1.25	0.66
24小時	吸收度A	1.43	1.63	1.64	1.84	1.64	0.17
	透射率T	3.68	2.36	2.27	1.43	2.43	0.93
32小時	吸收度A	1.43	1.62	1.64	1.83	1.63	0.16
	透射率T	3.74	2.38	2.31	1.48	2.48	0.94

2-2 LED光波長對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

紫光(395nm)		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.9760	1.2780	1.1970	1.0890	1.1350	0.1313
	透射率T	10.5	5.3	6.3	8.1	7.6	2.3
8小時	吸收度A	1.3320	1.5440	1.4090	1.3830	1.4170	0.0905
	透射率T	4.6	2.8	3.9	4.1	3.9	0.8
12小時	吸收度A	1.7910	2.1220	1.9450	1.7820	1.9100	0.1599
	透射率T	1.6	0.8	1.1	1.6	1.3	0.4
24小時	吸收度A	1.7280	1.9160	1.8130	1.7920	1.8123	0.0780
	透射率T	1.9	1.2	1.5	1.6	1.6	0.3
32小時	吸收度A	1.5720	1.7620	1.7190	1.6340	1.6718	0.0852
	透射率T	2.7	1.7	1.9	2.3	2.2	0.4

藍光(460-465nm)		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.6200	0.7480	0.7330	0.8140	0.7288	0.0806
	透射率T	23.9	17.8	18.5	15.3	18.9	3.6
8小時	吸收度A	0.9450	1.0920	0.9690	1.2570	1.0658	0.1428
	透射率T	11.3	8.1	10.7	5.5	8.9	2.0
12小時	吸收度A	1.6140	1.6620	1.6170	1.7280	1.6553	0.0532
	透射率T	2.4	2.2	2.4	1.9	2.2	0.3
24小時	吸收度A	1.5030	1.5240	1.5190	1.6050	1.5378	0.0457
	透射率T	3.1	3.0	3.0	2.5	2.9	0.3
32小時	吸收度A	1.6070	1.6170	1.6170	1.6390	1.6200	0.0135
	透射率T	2.5	2.4	2.4	2.3	2.4	0.1

綠光(520-525nm)		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	1.02	1.34	0.99	1.19	1.13	0.16
	透射率T	9.44	4.57	10.28	6.45	7.69	2.65
8小時	吸收度A	1.46	1.53	1.39	1.49	1.47	0.06
	透射率T	3.46	2.94	4.02	3.22	3.41	0.46
12小時	吸收度A	2.22	2.42	2.03	2.32	2.25	0.16
	透射率T	0.60	0.38	0.93	0.48	0.60	0.24
24小時	吸收度A	1.85	2.01	1.82	1.92	1.90	0.09
	透射率T	1.42	0.96	1.52	1.19	1.27	0.25
32小時	吸收度A	1.93	2.21	1.91	2.11	2.04	0.15
	透射率T	1.18	0.61	1.23	0.78	0.95	0.30

紅光(620-625nm)		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.6340	0.7820	0.7180	0.6740	0.7020	0.0634
	透射率T	23.2	16.5	19.1	21.1	20.0	2.9
8小時	吸收度A	1.4190	1.5710	1.4950	1.4220	1.4768	0.0720
	透射率T	3.8	2.7	3.2	3.8	3.4	0.5
12小時	吸收度A	1.8470	2.1570	1.9360	1.9010	1.9603	0.1362
	透射率T	1.4	0.7	1.2	1.3	1.1	0.3
24小時	吸收度A	1.9810	2.0330	2.0240	2.0190	2.0143	0.0229
	透射率T	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.1
32小時	吸收度A	2.0070	2.3420	2.2540	2.1810	2.1960	0.1422
	透射率T	1.0	0.5	0.6	0.7	0.7	0.2

2-3 紅光照度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

粉紅光(660nm)		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.7780	0.8420	0.8690	0.9280	0.8543	0.0622
	透射率T	16.6	14.4	13.5	11.8	14.1	2.0
8小時	吸收度A	1.1240	1.2140	1.3230	1.3680	1.2573	0.1099
	透射率T	7.5	6.1	4.7	4.3	5.7	1.5
12小時	吸收度A	1.6280	1.6280	1.7710	1.9330	1.7400	0.1453
	透射率T	2.3	2.3	1.7	1.2	1.9	0.6
24小時	吸收度A	1.6270	1.6350	1.7800	1.9380	1.7450	0.1466
	透射率T	2.4	2.3	1.7	1.1	1.9	0.6
32小時	吸收度A	1.7790	1.8360	1.8610	1.9170	1.8483	0.0573
	透射率T	1.7	1.5	1.4	1.2	1.4	0.2

2316lux		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.6410	0.7250	0.7090	0.7340	0.7023	0.0421
	透射率T	22.8	18.8	19.5	18.4	19.9	2.0
8小時	吸收度A	1.3910	1.5370	1.4020	1.5790	1.4773	0.0949
	透射率T	4.1	2.9	4.0	2.6	3.4	0.7
12小時	吸收度A	1.7820	2.0170	1.9060	2.1350	1.9600	0.1511
	透射率T	1.6	1.0	1.2	0.7	1.1	0.4
24小時	吸收度A	1.8130	2.0880	2.0030	2.1530	2.0143	0.1476
	透射率T	1.5	0.8	1.0	0.7	1.0	0.4
32小時	吸收度A	2.0540	2.2650	2.1360	2.3280	2.1958	0.1238
	透射率T	0.9	0.5	0.7	0.5	0.7	0.2

實驗三 穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
紅豆	吸收度A	1.5640	2.2300	1.9230	1.9470	1.9160	0.2730
	透射率T	2.7	0.6	1.2	1.1	1.4	0.9
花豆	吸收度A	1.5380	1.6270	1.5110	1.5190	1.5488	0.0534
	透射率T	2.9	2.4	3.1	3.0	2.8	0.3
黃豆	吸收度A	1.5150	1.4610	1.4330	1.4750	1.4710	0.0341
	透射率T	3.0	3.4	3.7	3.3	3.4	0.3
綠豆	吸收度A	0.7370	0.8520	0.7630	0.8290	0.7953	0.0541
	透射率T	18.3	14.0	17.2	14.8	16.1	2.0
米豆	吸收度A	0.5140	0.6560	0.5690	0.6420	0.5953	0.0662
	透射率T	30.6	22.0	26.9	22.8	25.6	4.0
花生	吸收度A	0.8430	0.7850	0.6210	0.9180	0.7918	0.1262
	透射率T	14.3	16.4	23.9	12.1	16.7	5.1
小米	吸收度A	0.3140	0.5230	0.4850	0.5230	0.4613	0.0998
	透射率T	48.5	29.9	32.7	29.9	35.3	8.9
燕麥	吸收度A	0.5300	0.5920	0.6070	0.6360	0.5913	0.0447
	透射率T	29.5	25.5	24.7	23.1	25.7	2.7

實驗五 自製保鮮盒增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長

使用保鮮盒		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
24小時	吸收度A	2.1280	2.3030	2.2150	2.2940	2.2350	0.0816
	透射率T	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	0.1
48小時	吸收度A	2.4560	2.4690	2.4620	2.4620	2.4623	0.0053
	透射率T	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
72小時	吸收度A	2.2860	2.4080	2.3490	2.3740	2.3543	0.0515
	透射率T	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1
96小時	吸收度A	2.0470	2.2430	2.1380	2.1480	2.1440	0.0801
	透射率T	0.9	0.6	0.7	0.7	0.7	0.1

1526lux		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.4110	0.7940	0.6390	0.6680	0.6280	0.1595
	透射率T	38.8	16.0	22.9	21.4	24.8	9.8
8小時	吸收度A	1.4920	1.7240	1.6370	1.6690	1.6305	0.0991
	透射率T	3.2	1.9	2.3	2.1	2.4	0.6
12小時	吸收度A	1.9850	2.3410	2.1140	2.3030	2.1858	0.1666
	透射率T	1.0	0.5	0.8	0.5	0.7	0.3
24小時	吸收度A	1.6150	1.9010	1.6330	1.7240	1.7183	0.1308
	透射率T	2.4	1.3	2.3	1.9	2.0	0.5
32小時	吸收度A	1.6460	2.0370	1.7640	1.8240	1.8178	0.1638
	透射率T	2.3	0.9	1.7	1.5	1.6	0.6

4157lux		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
4小時	吸收度A	0.0617	0.8260	0.8620	0.7640	0.6284	0.3800
	透射率T	86.7	14.9	13.7	17.2	33.1	35.7
8小時	吸收度A	1.2370	1.6340	1.6390	1.5790	1.5223	0.1921
	透射率T	5.8	2.3	2.3	2.6	3.3	1.7
12小時	吸收度A	1.8210	2.0230	2.2170	1.8920	1.9883	0.1739
	透射率T	1.5	0.9	0.6	1.3	1.1	0.4
24小時	吸收度A	1.8830	2.0590	2.2390	1.9240	2.0263	0.1605
	透射率T	1.3	0.9	0.6	1.2	1.0	0.3
32小時	吸收度A	1.9520	2.1180	2.2710	2.0800	2.1053	0.1314
	透射率T	1.1	0.8	0.5	0.8	0.8	0.2

實驗四 市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

OKAME 超極小粒		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
24小時	吸收度A	1.9340	2.0850	2.1790	2.0870	2.0713	0.1015
	透射率T	1.2	0.8	0.7	0.8	0.9	0.2
48小時	吸收度A	2.3590	2.3810	2.5290	2.4990	2.4420	0.0845
	透射率T	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.1
72小時	吸收度A	1.9190	2.1130	2.4980	2.2610	2.1978	0.2443
	透射率T	1.2	0.8	0.3	0.5	0.7	0.4
96小時	吸收度A	1.4510	1.9410	2.3470	2.1510	1.9725	0.3852
	透射率T	3.5	1.1	0.4	0.7	1.5	1.4

OKAME 小粒		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
24小時	吸收度A	1.8110	1.8580	2.0170	2.0190	1.9263	0.1077
	透射率T	1.5	1.4	1.0	1.0	1.2	0.3
48小時	吸收度A	2.1650	2.2020	2.3890	2.5010	2.3143	0.1585
	透射率T	0.7	0.6	0.4	0.3	0.5	0.2
72小時	吸收度A	2.0150	2.1410	2.1790	2.2440	2.1448	0.0964
	透射率T	1.0	0.7	0.7	0.6	0.7	0.2
96小時	吸收度A	1.7130	1.8140	1.8430	1.9350	1.8263	0.0914
	透射率T	1.9	1.5	1.4	1.2	1.5	0.3

北海道小粒		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
24小時	吸收度A	1.8740	1.9340	1.9570	1.9920	1.9393	0.0496
	透射率T	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	0.1
48小時	吸收度A	1.9640	2.0270	2.2400	2.3570	2.1470	0.1832
	透射率T	1.1	0.9	0.6	0.4	0.8	0.3
72小時	吸收度A	1.9070	1.9140	1.9250	1.9270	1.9183	0.0094
	透射率T	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0
96小時	吸收度A	1.7430	1.7640	1.7760	1.7920	1.7688	0.0206
	透射率T	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	0.1

元氣小粒		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	平均值	標準差
24小時	吸收度A	2.3230	2.3850	2.4560	2.2640	2.3570	0.0824
	透射率T	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.1
48小時	吸收度A	2.3620	2.4020	2.4950	2.3150	2.3935	0.0764
	透射率T	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.1
72小時	吸收度A	2.1880	2.2470	2.3270	2.0980	2.2150	0.0966
	透射率T	0.6	0.6	0.5	0.8	0.6	0.1
96小時	吸收度A	1.6620	1.7250	1.7750	1.6530	1.7038	0.0573
	透射率T	2.2	1.9	1.7	2.2	2.0	0.3

【評語】 030323

1. 能自製培養箱及無菌操作箱，雖然頗為粗糙，但有動手做的精神，仍值得嘉許。
2. 實驗資料顯示有雜菌生長(p.12)，故分析資料的正確性會造成疑慮。
3. 此作品的研究目的清楚但不聚焦，對相關研究領域的貢獻度不高。
4. 探討光照強度、溫度及培養基對納豆菌生長的影響，已有些發表或報告，故此研究的新穎性稍嫌不足。
5. 穀物+菌易造成雜菌或汙染造成分光光度計判讀錯誤，可以建議再改進。

摘要

自製培養箱，針對 *Bacillus natto* Sawamura 進行液態培養，發現在溫度40°C生長效果最佳。文獻得知納豆菌有光接受器，會對光照產生反應，進行實驗發現白光照射培養時比無光照，生長效能有所提升，證實雖非光合菌，但光照對生長有正面影響。針對不同波長進行實驗，發現波長介於520-625nm的光對菌生長效果最佳。最後探討光強，發現照度影響不明顯，在2300lux以上納豆菌生長較佳。

應用上發現其他穀物也可培養納豆菌，主要是所含蛋白質影響生長。以市售品牌比較，發現台灣生產納豆菌數優於日本納豆，另外在良好冷凍情況下保存，其保存期限不影響納豆菌數。最後自製保鮮盒，以1W紅光當光源，對保存有延長效果。

研究動機

家裡面的長輩常說：納豆對人體有很大的幫助，能夠預防心血管等慢性疾病。因此也曾經購買納豆回來食用，然而新聞中有提到，納豆如果放久了會使效果變差，難道納豆一買就要立即使用才有效果嗎？但市面上的納豆產品一次就得要買三盒，在納豆不是那麼容易入口的情形下，總是留下許多納豆未食用。

為此，我們要探討環境變因以及利用不同強度與波長的光對納豆生長的影響，最後利用這些結果來試著拉長納豆食用時間，作為此次科展的討論主題。

研究目的

環境對 *Bacillus natto* Sawamura 生長影響探討：

- 1、探討溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 2、探討光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。

Bacillus natto Sawamura 延伸研究與應用：

- 3、探討穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 4、探討市面上不同納豆品牌在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響。
- 5、試著利用自製保鮮盒來增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長。

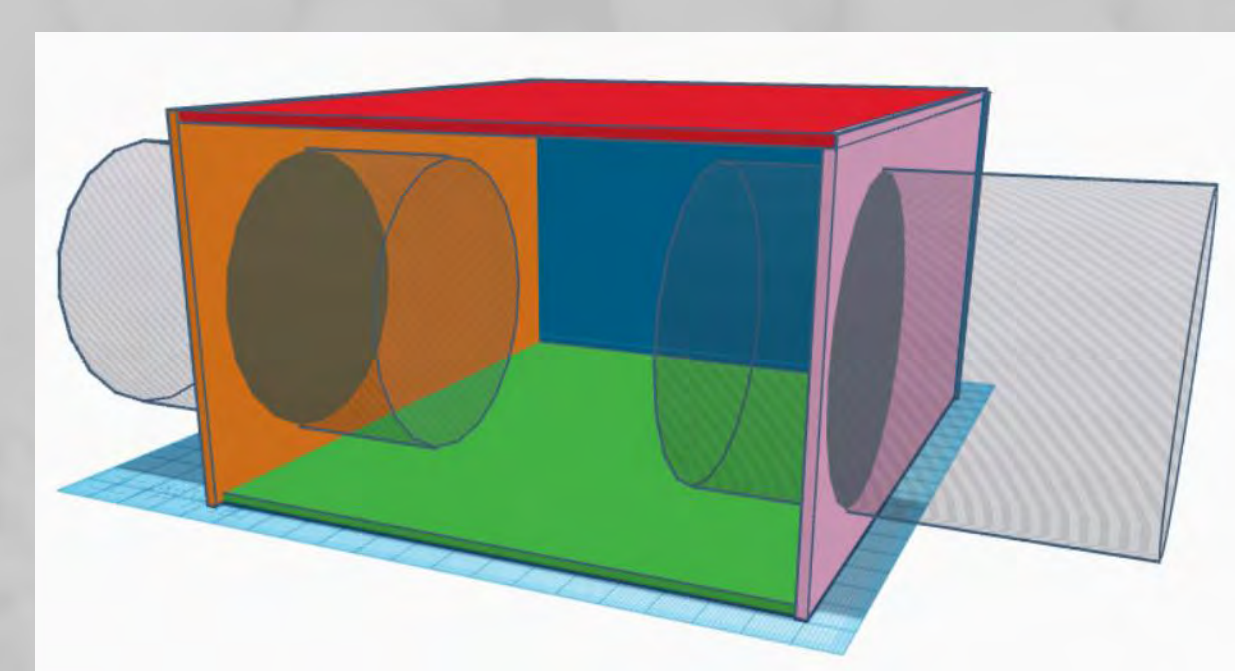


圖2 自製操作台設計圖

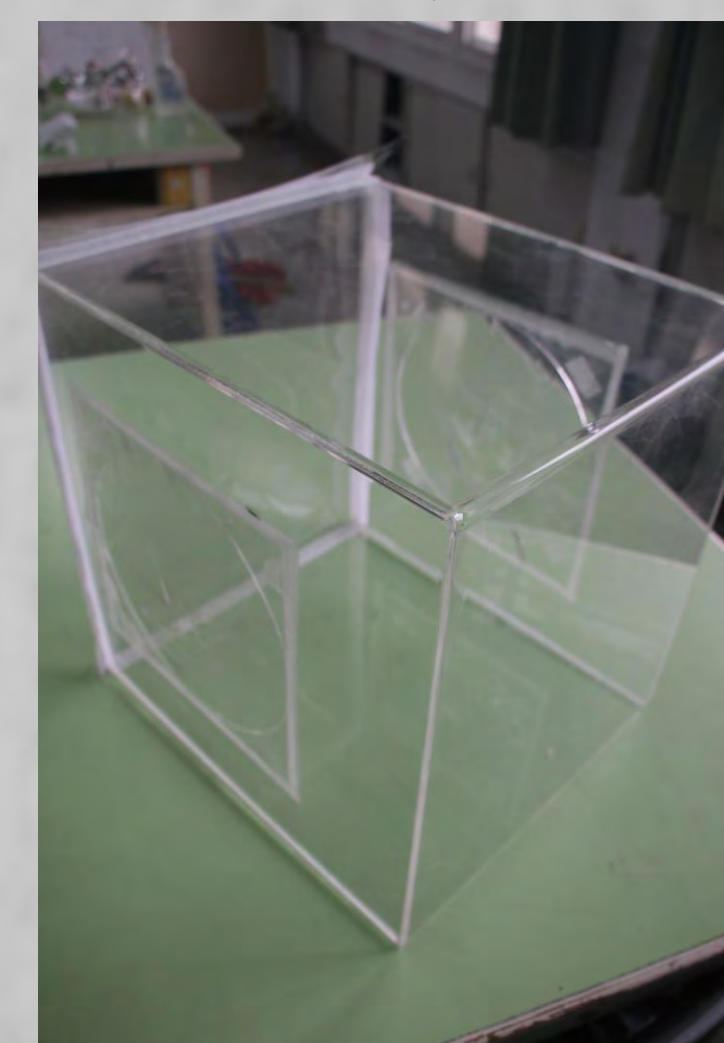


圖3 自製操作台實體



圖4 防止菌落



圖5 於自製操作台操作

研究器材與材料

自製培養箱	自製操作台	熱對偶溫度計	電子秤	無菌塑膠手套
250ml錐形瓶	分光光度計	比色皿	不同波長的LED	烘箱
無菌錐形瓶	離心機	果汁機	酒精燈	自製保鮮盒
<i>Bacillus natto</i> Sawamura菌種	液態培養基PCA	75%酒精	各式品牌納豆	不同種類穀物

自製操作台的製作

實驗準備一

製作自製操作台
製作菌種的培養箱

實驗準備二

找出分光光度計適合的菌液觀測濃度

環境因素

實驗一：溫度

實驗二：光

2.1 光的有無

2.2 光波長

2.3 光照度

研究延伸

實驗三：穀物品種

實驗四：市面不同納豆品牌
冷藏時間

Bacillus natto Sawamura 的生長狀態

應用

實驗五：自製保鮮盒增加納豆菌成長

圖1 研究架構圖

可控溫培養箱的製作



培養箱的校正

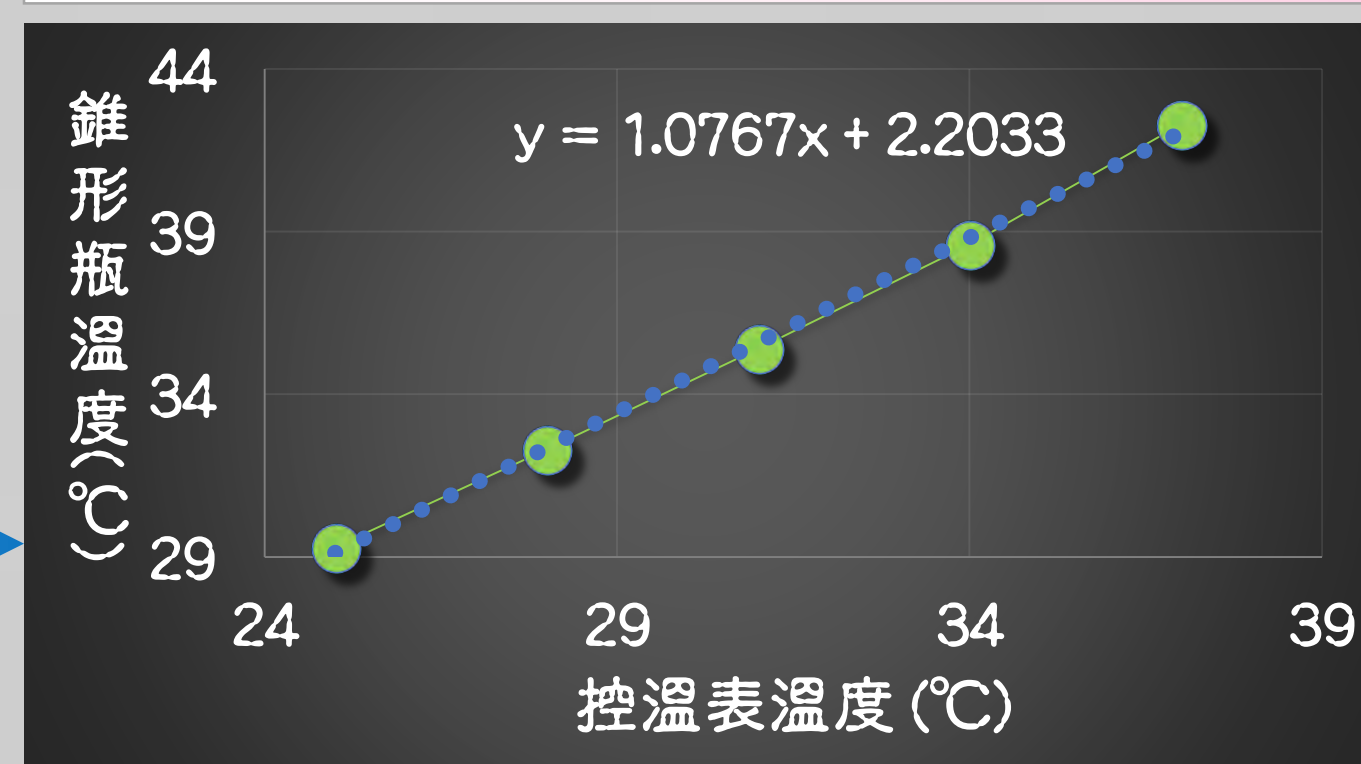


圖6 培養箱A的校正

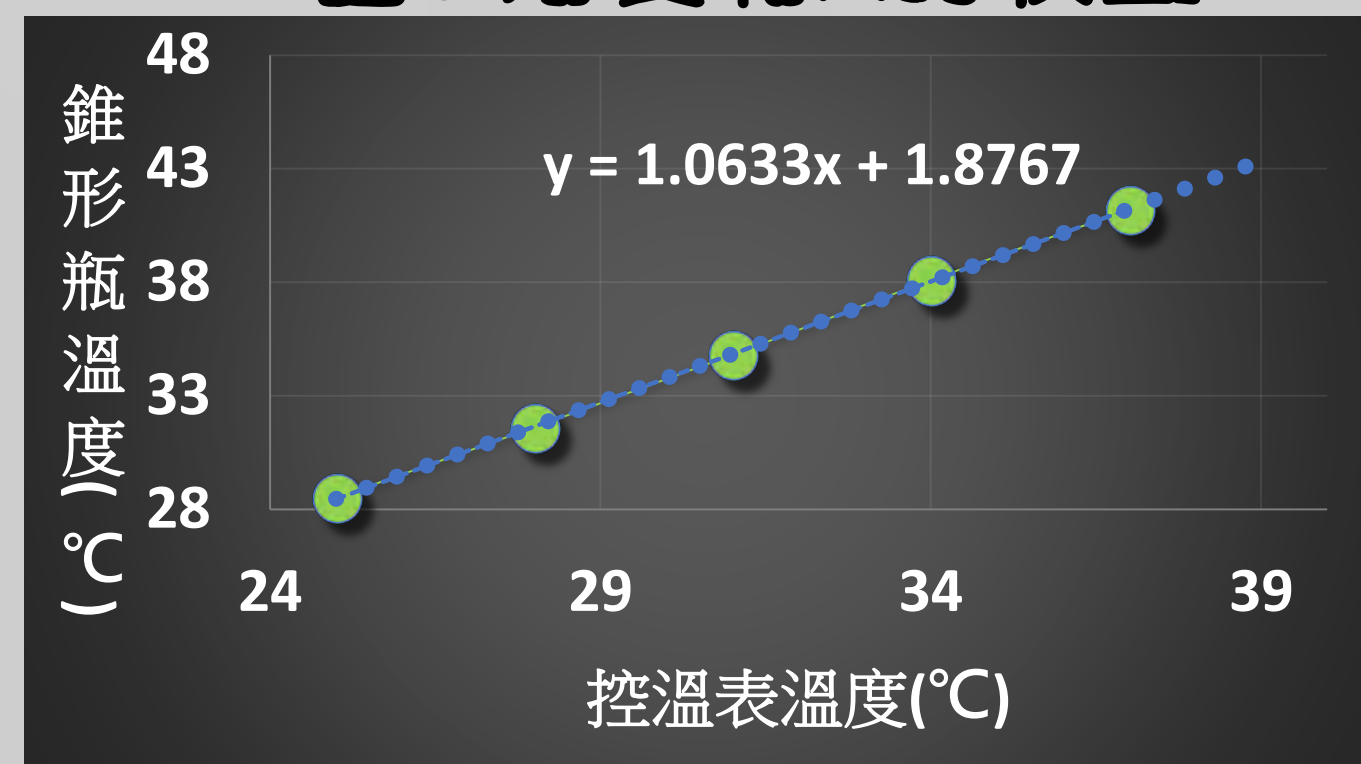


圖7 培養箱B的校正

實驗結論

壹 溫度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

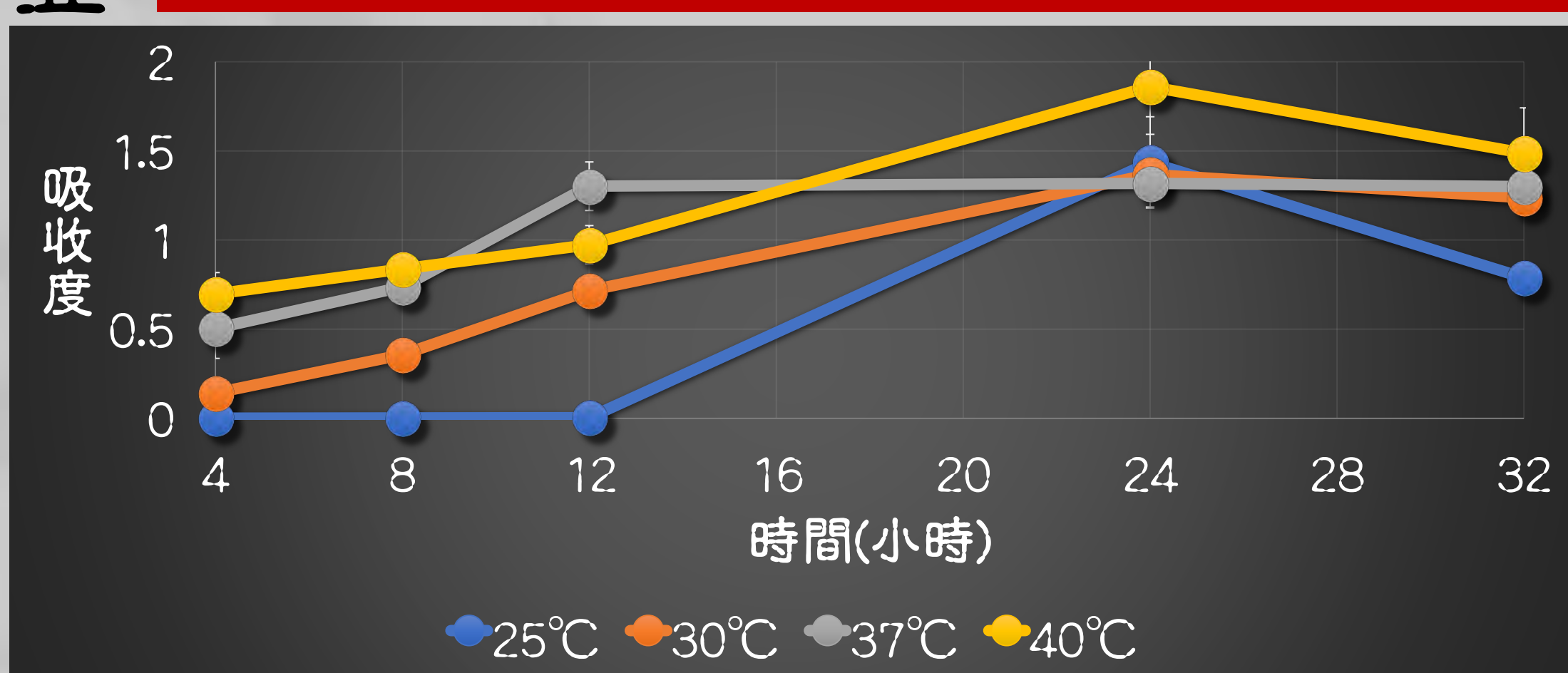


圖10 溫度對納豆生長影響圖

綜合實驗一不同的溫度結果來看，可以發現以下幾個結論：

整個過程從12小時當邊界，將其分成兩段來判斷：

- 1、前12小時可看到37°C在12小時內發展最快速；且溫度於25°C下，生長緩慢。
- 2、12小時後，大致上隨著溫度越高，其吸收度越高，也就是菌株數越多。
- 3、*Bacillus natto* Sawamura 12小時開始發展，一直到24小時生長停滯甚至衰敗。
- 4、40°C在12小時後急速生長，衰敗也比較少，故為本實驗培養的最佳溫度。

參 穀物品種對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

穀物種類	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
未改良 淋上菌液								
未改良 一天後觀察								
改良後 穀物種類	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
改良後 一天後觀察								



圖14 穀物放入鍋蓋並淋上菌液



圖15 鋁箔紙覆蓋鍋蓋並戳洞

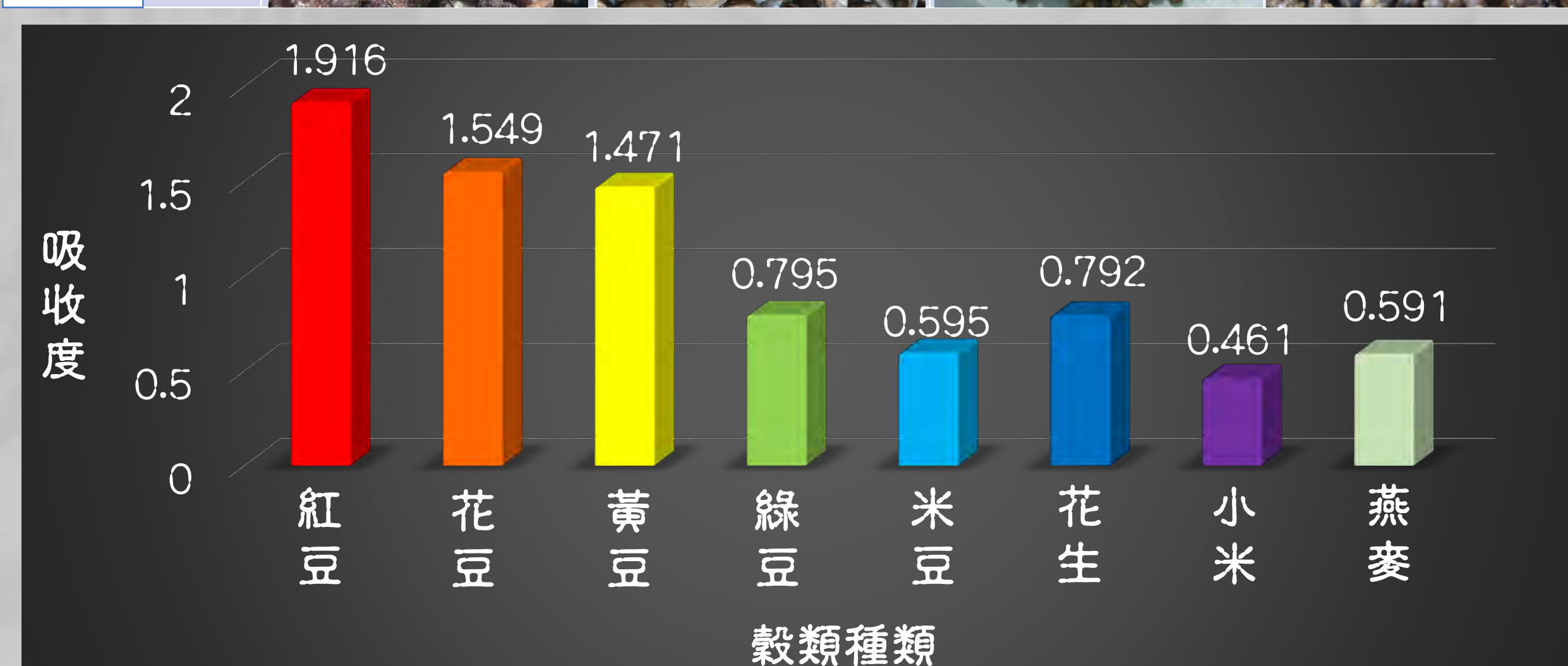


圖16 不同品種穀物種類對納豆菌生長比較圖

表1 市面上穀物市價與性價比表

穀類種類	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
市價(100g價格)	90/6 =15.0	60/6 =10.0	35/6 =5.8	60/6 =10.0	60/6 =10.0	120/6 =20.0	60/6 =10.0	40/6 =6.7
CP值判斷 吸收度/100g價格	0.128	0.155	0.252	0.080	0.060	0.040	0.046	0.089

表2 市面上穀物脂肪、蛋白質、醣類與熱量表

種類	紅豆	花豆	黃豆	綠豆	米豆	花生	小米	燕麥
脂肪所占比例(%)	1.5	1.3	17.8	1.2	2.57	44.3	3.1	6.9
蛋白質所占比例(%)	22.2	19.1	36.2	23.1	20.8	24.8	9.0	16.9
醣類所占比例(%)	62.0	62.7	30.7	62.6	64.9	16.2	73.5	66.3
熱量(kcal)	335	317	400	345	358	563	358	389

發現所有的穀物，只要有基本營養素，還是能夠讓 *Bacillus natto* Sawamura 生長，又發現紅豆與花豆效果比黃豆好，所以我們再針對價格來判斷 *Bacillus natto* Sawamura 是否可使用其他穀類培養。

從表1可以發現黃豆性價比最高，雖然含有基本營養的穀物都可以培養納豆，但黃豆價格低，所以市面上納豆都是以黃豆製成，但因蛋白質含量最多，導致是相對較臭一些，而CP值高的紅豆與花豆代表著培養 *Bacillus natto* Sawamura 可以有另外一種選擇，而紅豆我們一致認為口味較容易讓人接受，而且有淡淡的紅豆味，臭味相對來說較淡。再針對穀物中所含水分、醣類以及蛋白質比例來比較，看內部營養素的比例是否有影響生長。

從穀物成分可以發現，生長前三名(紅豆、花豆、黃豆)有共同的條件就是蛋白質含量較高且煮起來偏軟，對照後兩名(小米、燕麥)來看也是因蛋白質含量較低，所以其碳水化合物與脂肪含量多寡影響不太大，最主要還是蛋白質影響。但綠豆、米豆及花生蛋白質含量也算高，為何效果比紅豆低，可能是綠豆、米豆、花生顆粒較小與煮後硬度較高所造成的影響。

肆 市面上不同品牌的納豆在冰箱冷藏時間對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

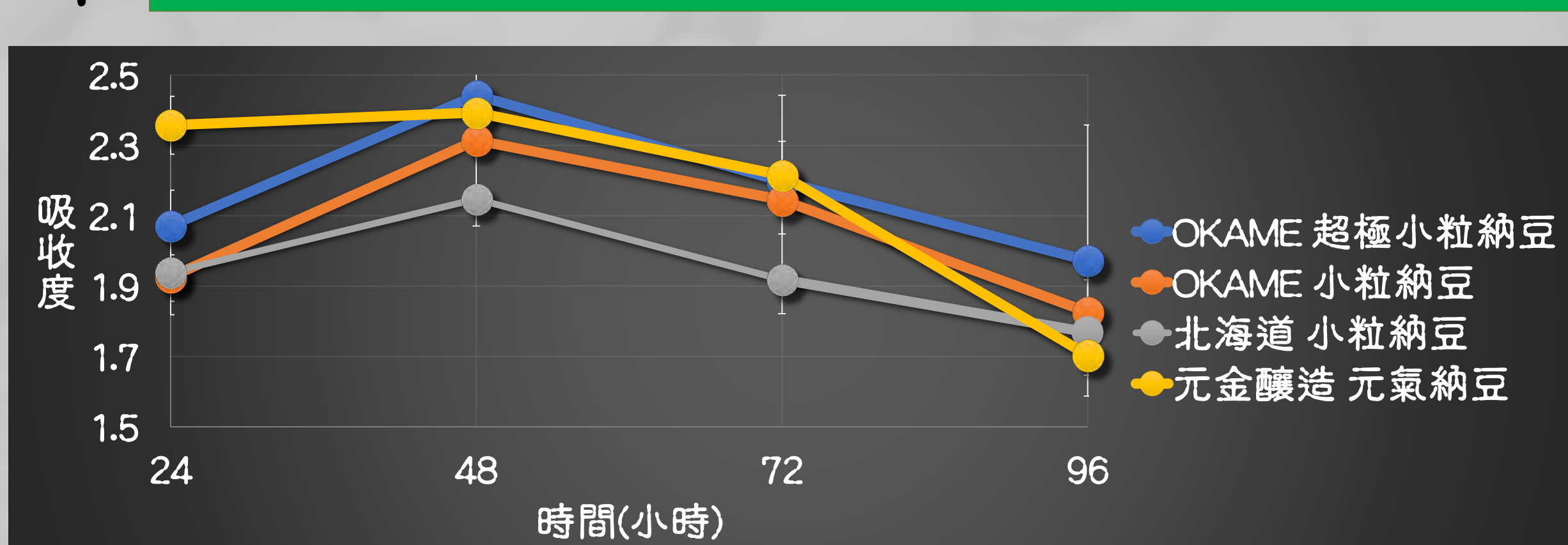


圖17 納豆品牌冷藏時間對納豆菌生長圖

從OKAME以及北海道三種納豆來看，保存期限日雖是北海道最晚，效果卻是快到保存期限日的超級小粒最好，判斷是顆粒大小影響到 *Bacillus natto* Sawamura 生長。也可發現納豆在冷凍的過程中，生長幾乎完全停滯。

另外發現一開始菌數是台灣製造的元氣納豆最佳，推測在運送中，對納豆有一定的影響，然而之後日本產生長狀況比台灣的好，或許是日本菌種的健康度較佳之故。

表3 OKAME小粒納豆冷凍時間的影響

冷凍時間(小時)	0	24	48	72	96
吸收度	1.6427	1.6892	1.6325	1.6379	1.6254
透射率	2.3	2.0	2.3	2.3	2.4

實驗準備：菌液濃度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

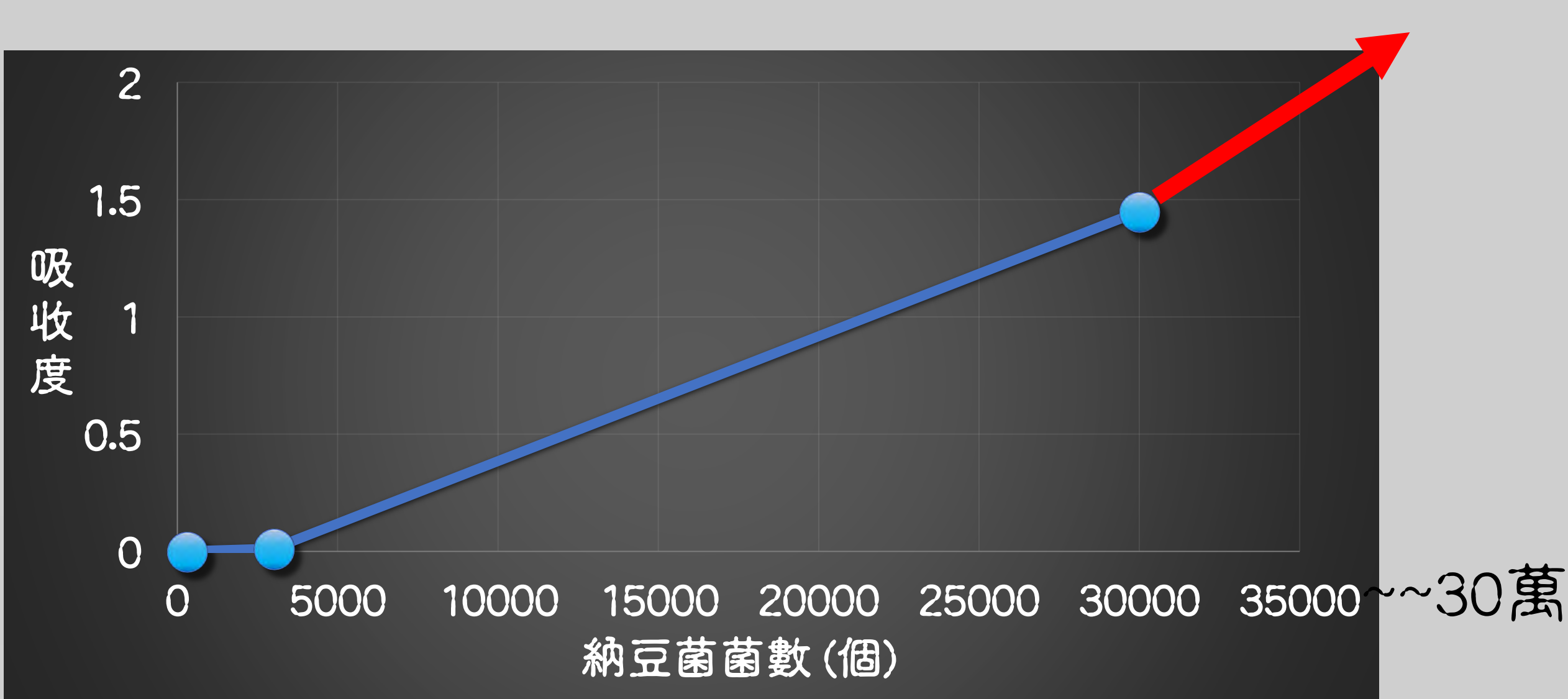


圖8 菌液濃度對納豆菌生長圖

從圖8可以發現，在常溫下，3萬 *Bacillus natto* Sawamura / 20g菌液 的濃度在分光光度計吸收度介於0~3之間，為了分析時較易觀察，所以後續實驗以起始菌株為3萬 *Bacillus natto* Sawamura / 20g菌液濃度下培養菌株。

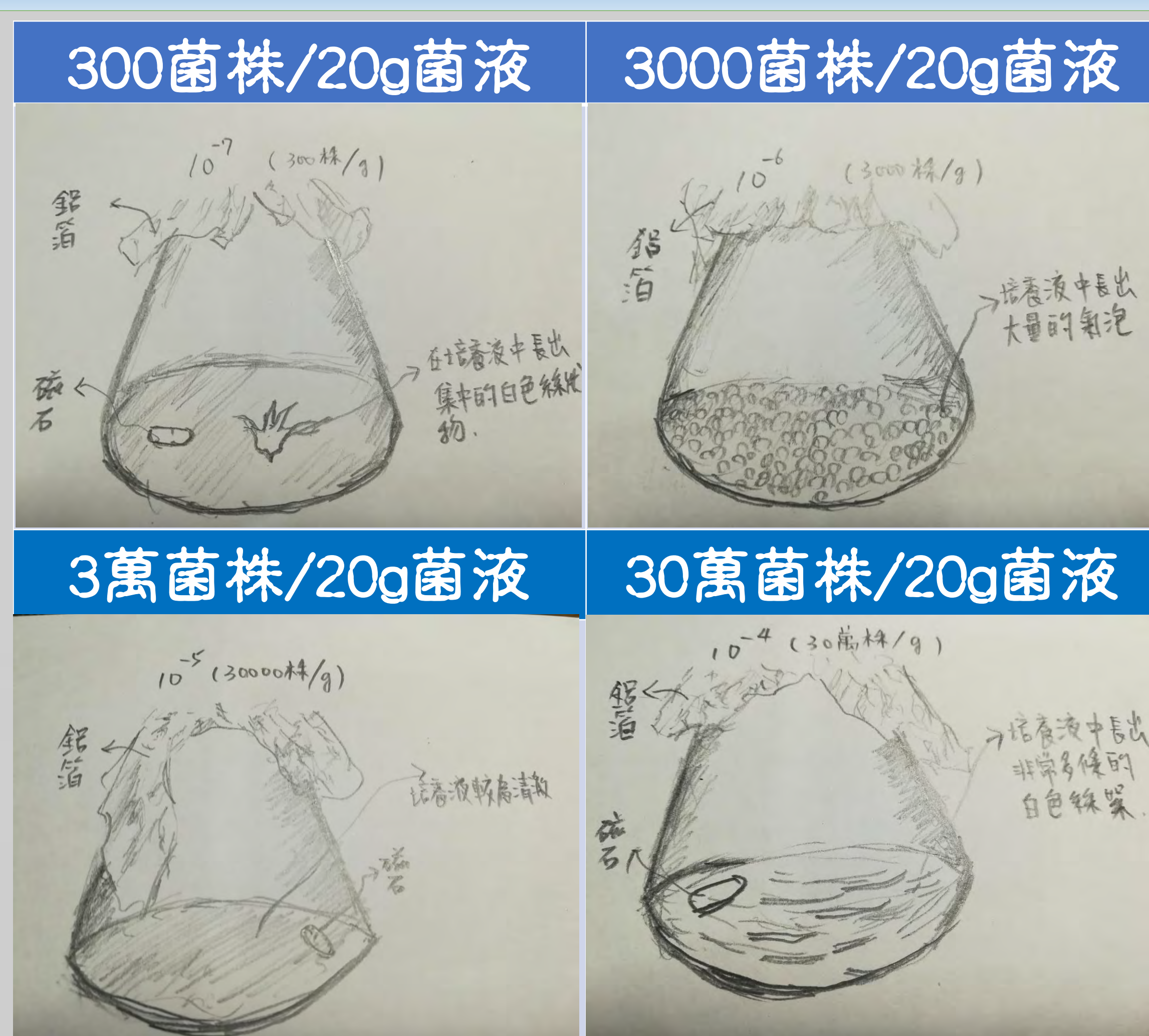


圖9 菌液濃度對納豆菌生長觀察圖

貳 光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

2-1 光照對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

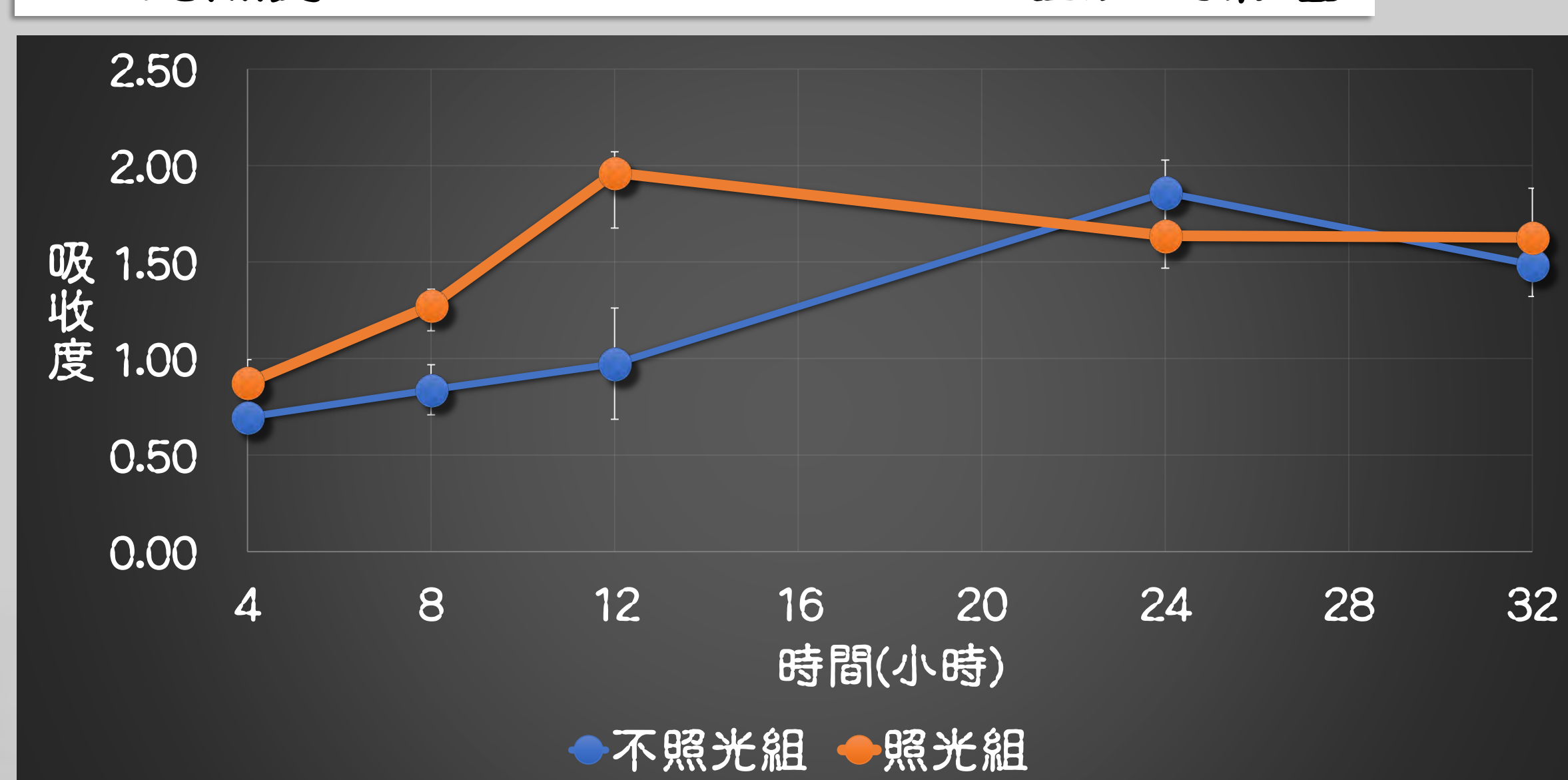


圖11 光照對納豆菌生長比較圖

細菌的生長繁殖可分為四期，有遲緩期、對數期、穩定期與衰亡期，可以發現照光後，除了會讓納豆菌的對數期提早，也讓對數期時的納豆生長曲線更高，與文獻(彭一凡, 2007)照光增加活性可以互相驗證。

2-2 LED光波長對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

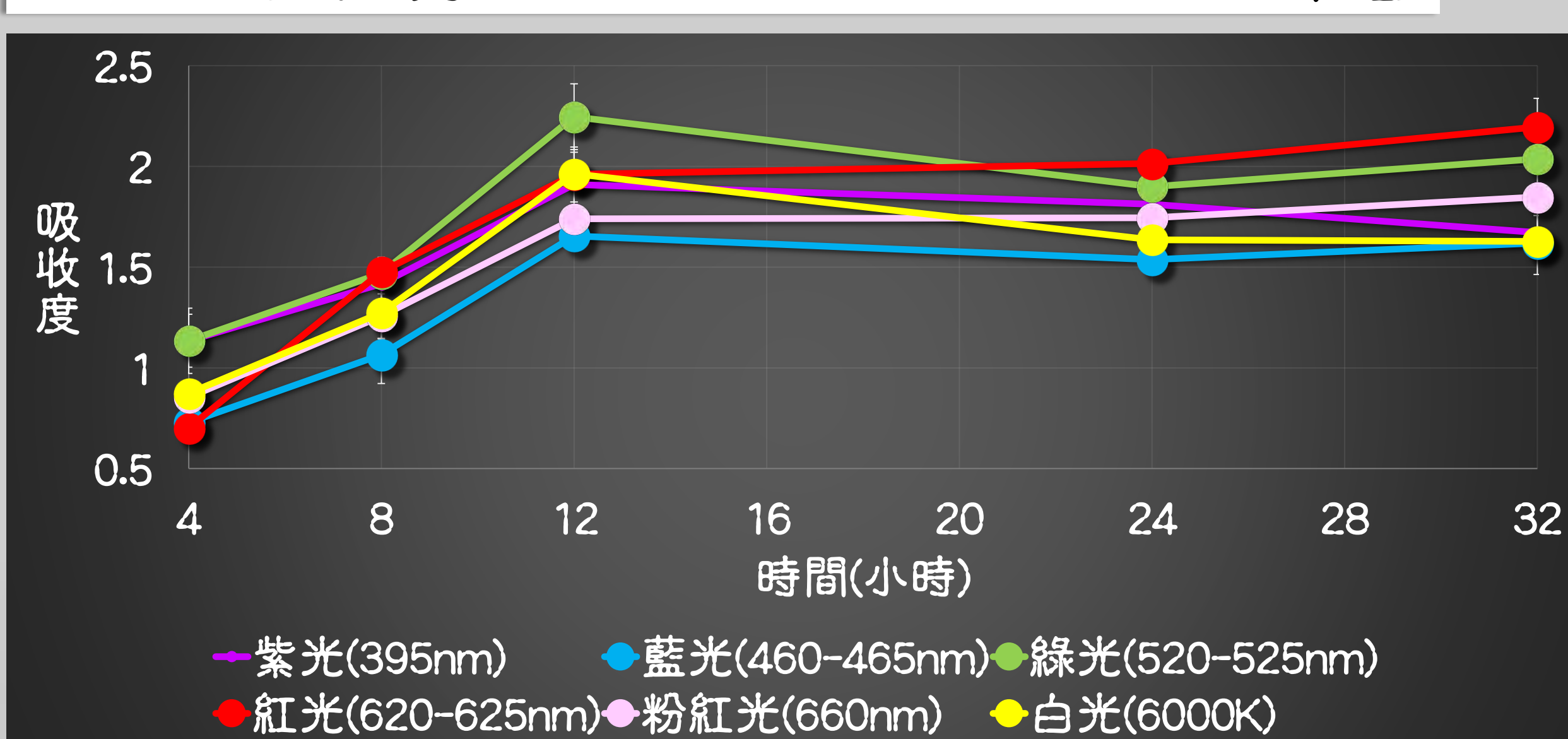


圖12 不同波長的光對納豆菌生長比較圖

根據光照有無及使用不同波長的光源，從圖11、12發現：

- 1、不照光下，大約24小時後生長停滯，而照光下，時間會提早在12小時發生，所以照光後會提早生長。
- 2、發現紫光的效果一開始不錯，推測是因紫光的能量較高，而抑制其他雜菌，而讓一開始 *Bacillus natto* Sawamura 的生長較好，但8小時後，高能量的藍光與紫光反而抑制生長。
- 3、培養一天之後，可發現波長在綠光與紅光對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的效果較佳，也就是波長在520~625nm之間。

2-3 紅光照度對 *Bacillus natto* Sawamura 生長的影響

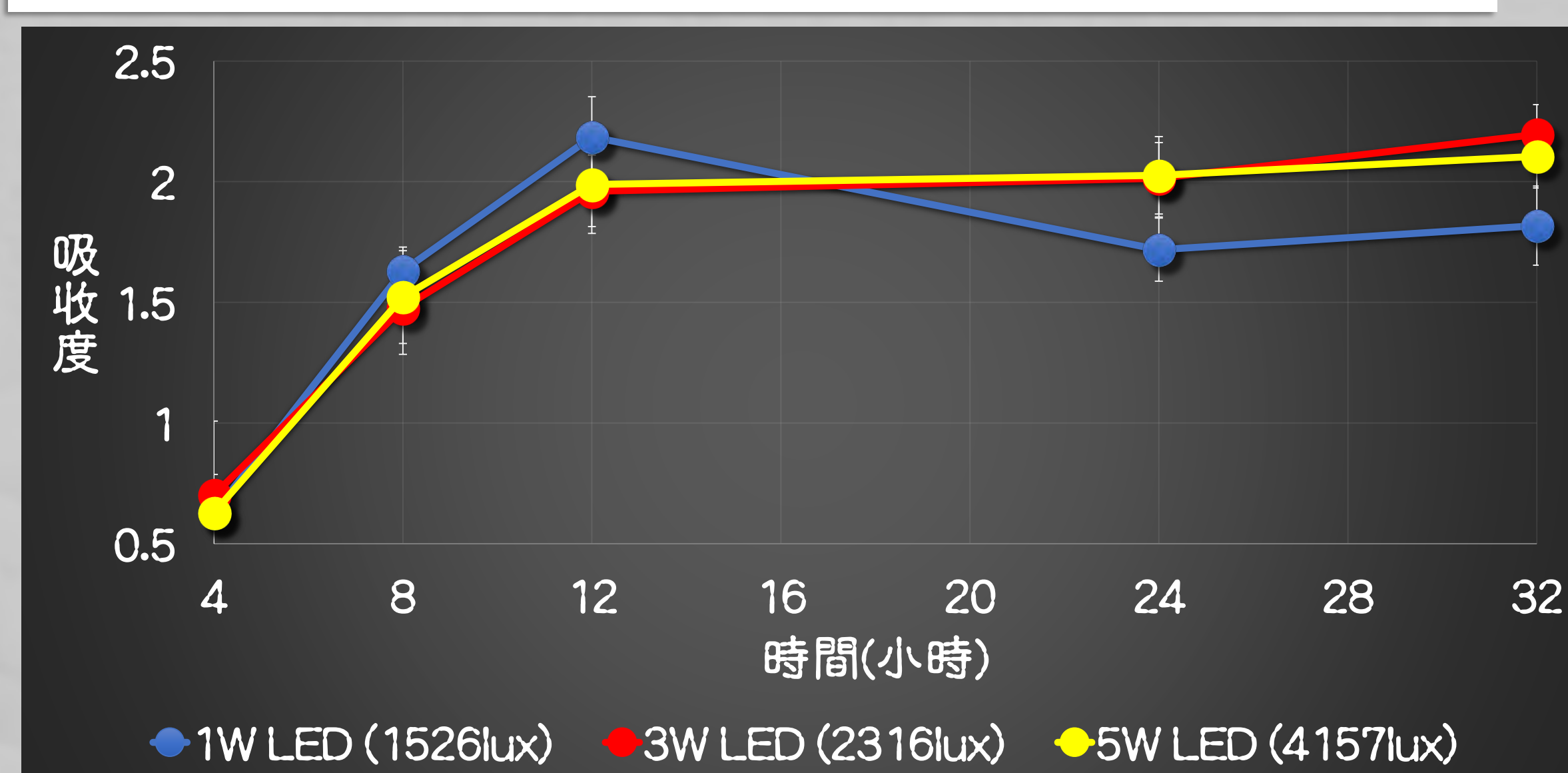


圖13 不同照度對納豆菌生長比較圖

從圖13可以發現：

- 1.光的照度多寡，其實對照度超過2316LUX的 *Bacillus natto* Sawamura 生長差異不太大，但對低照度1526LUX有很明顯的增加，尤以3w的LED光源效果較佳。
- 2.足量照度下，可以觀察到兩天內生長有緩步增加的情況。

伍 自製保鮮盒增加 *Bacillus natto* Sawamura 生長

可以發現保鮮盒對OKAME小粒納豆的生長有一定的影響，但光源照光同時也會產生熱源，故只能說保鮮盒的確有效果，可以延後 *Bacillus natto* Sawamura 衰敗的時間。

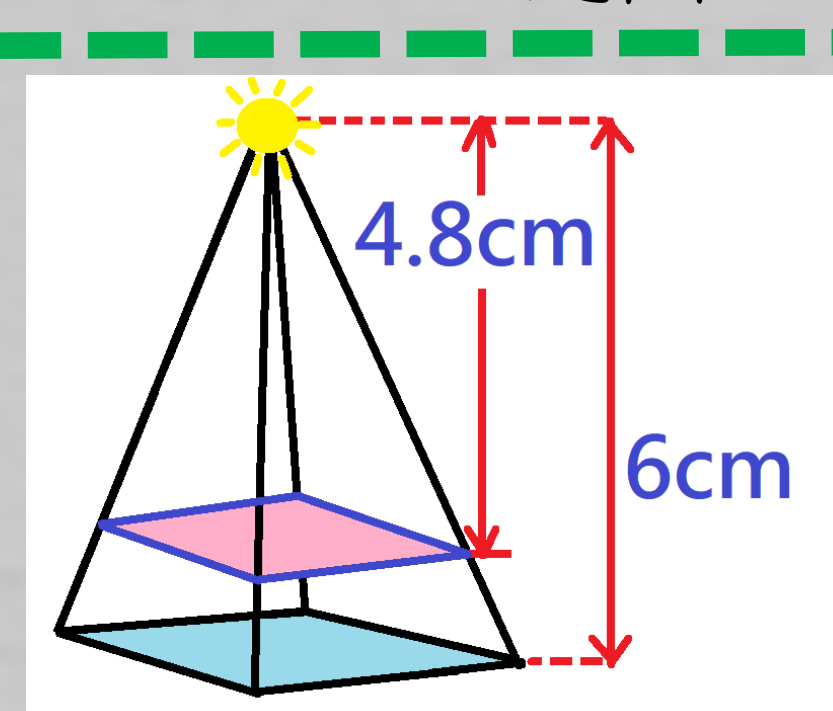


圖18 照度距離比較圖

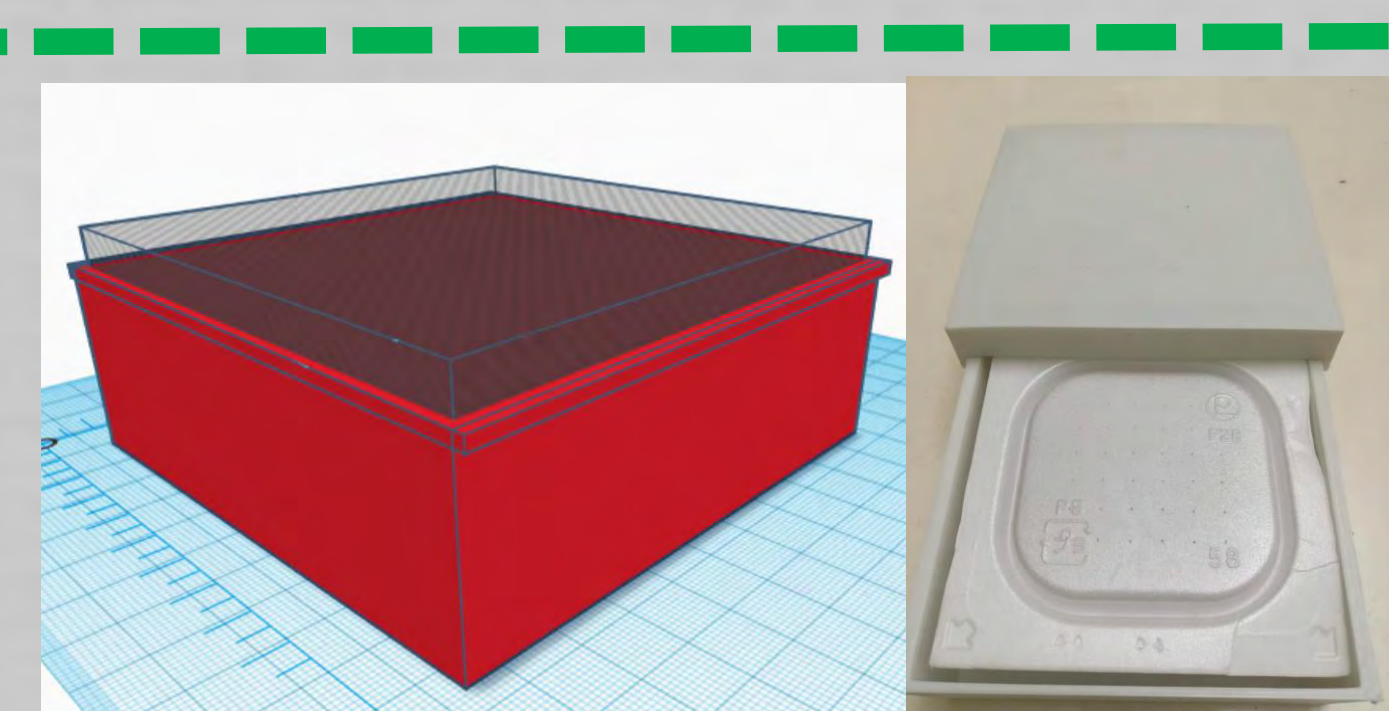


圖19 納豆保鮮盒設計圖與實體

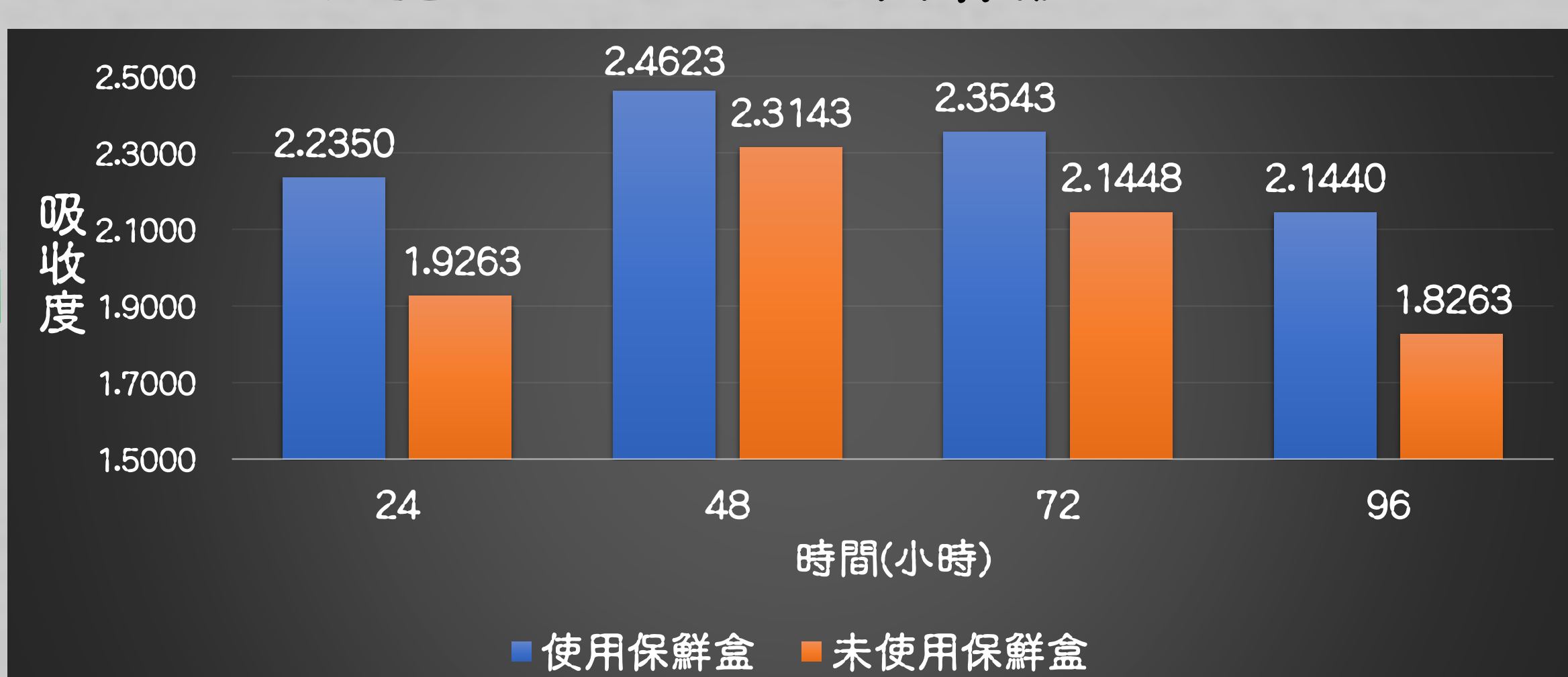


圖20 使用保鮮盒有無對納豆菌生長比較圖

參考資料

- 1、許元勳.(2005). *Bacillus natto* Sawamura發酵製品介紹及國內研發現況.農業生技產業季刊(3), 頁 50-52
- 2、邱繼正.(2005). 影響納豆激酶生產之液態發酵及熱穩定性之條件探討. 南台科技大學, 生物科技研究所碩士論文.
- 3、蘇偉迪.(2005).利用*Bacillus natto* Sawamura 生產納豆激酶之研究. 大業大學生物產業, 科技學系碩士論文
- 4、衛生福利部食品藥物管理署.(2014年8月12日). 食品營養成分資料集. 2018年3月24日擷取自 政府資料開放平台:
<https://data.gov.tw/dataset/8543#r0>
- 5、納豆.(2018年1月1日). 2018年3月12日 擷取自 維基百科:<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%8D%E8%B1%86>
- 6、彭一凡.(2007). 探討照光強度對納豆菌生長與納豆激酶生產之影響. 中央大學, 化學工程與材料工程研究所.