

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第三名

030312

菇 Go！非「光」不可

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學(附設國中)

作者： 國一 吳芯妍 國一 金湘雲	指導老師： 陳俐蓉
---------------------------------	------------------

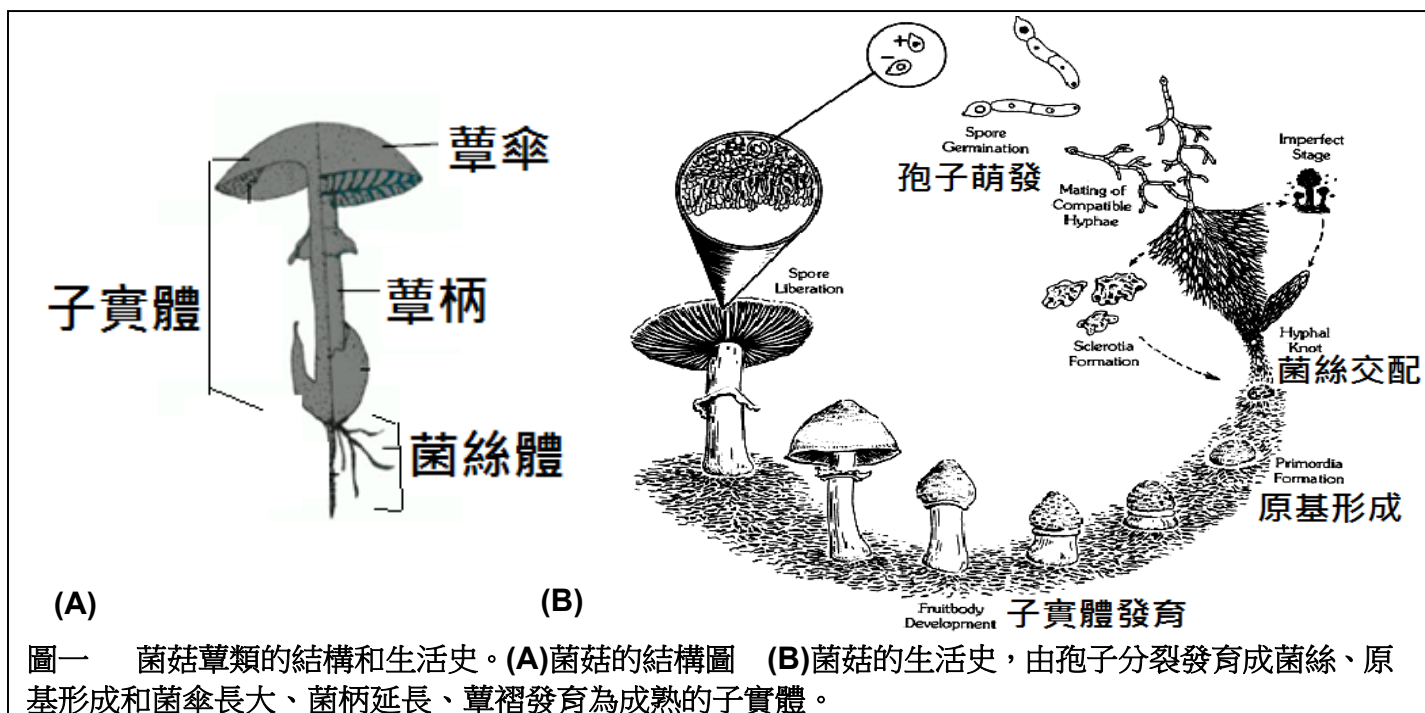
關鍵詞：發光二極體、子實體、菌菇

摘 要

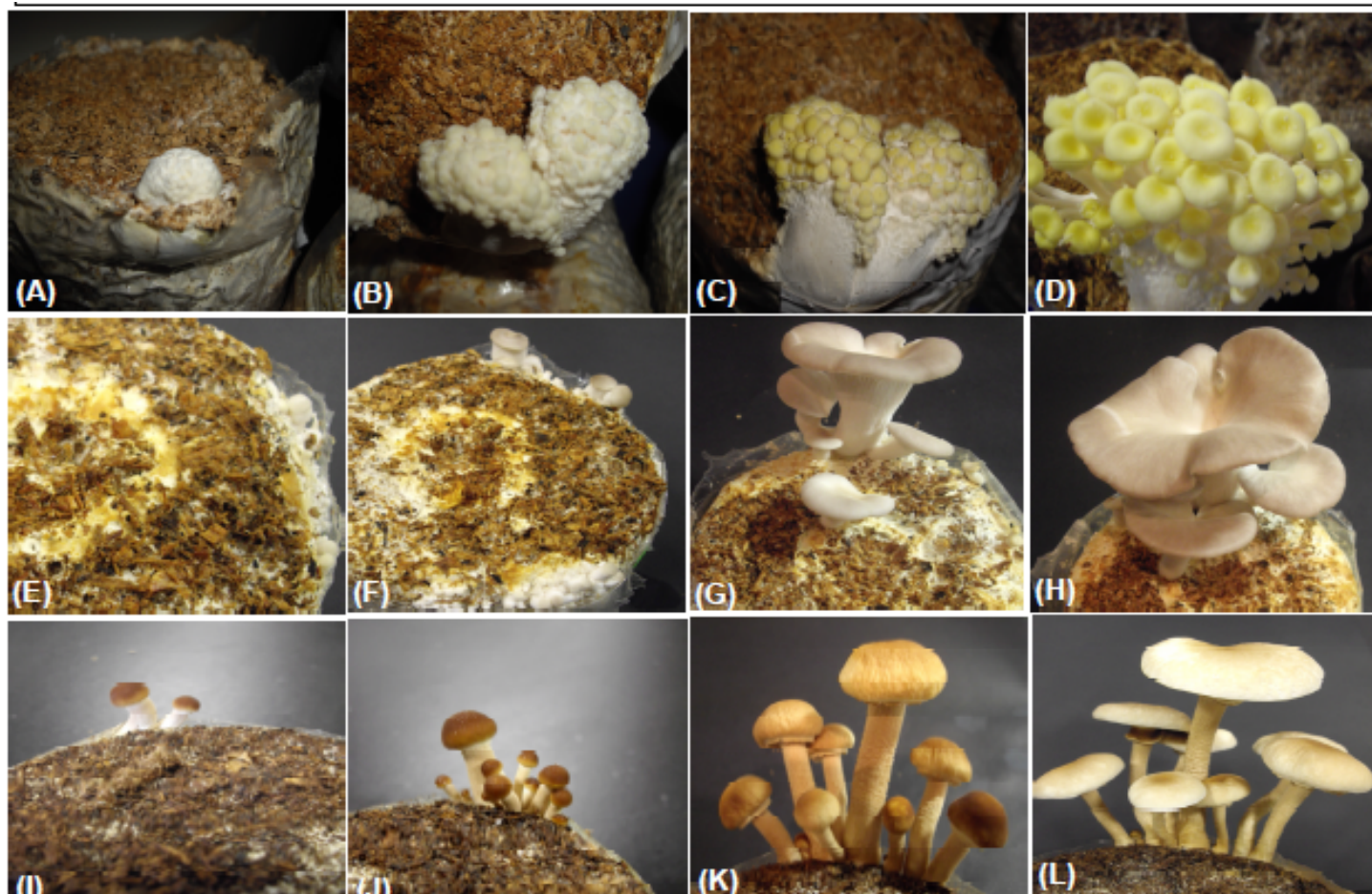
本實驗我們發現所選擇的食用菌菇，其生長和發育需要光的誘導。利用具有省電和強度集中效果的LED照射菌菇和組織分離培養，在不同光質和光強度處理菌菇，結果發現透過藍光LED照射食用菌菇，會促進子實體產量增加5~20%，藍光強度提高也會使珊瑚菇的菌蓋增大，秀珍菇肉質變厚、蕈傘顏色變深，柳松菇蕈柄莖部變粗等。但是對於藍光處理組織分離培養蕈類菌絲的生長具有抑制效果，光線強度愈強菌絲生長愈慢；且菌絲生長早期處理藍光會誘發珊瑚菇出現大量原基，但導致柳松菇子實體產量減少。綜合以上結果藍光LED在不同菌菇生長階段給予處理，且透過光環境強度的調整可以改變子實體發育型態和多醣體的產量，我們希望尋找不同菌菇的最佳生長光源條件來提高子實體的產量和品質。

壹、 研究動機

在國中生物實驗課和同學以太空包培植菌菇觀察生長過程，我們意外地發現菌菇也會朝光源移動，蕈類似乎存在一種具有“眼睛”作用的物質，可以感光使菌菇朝光源移動。另外我們參加香菇農場時，菇農也說食用菌菇需要光線刺激才會出菇。我們好奇「光」對於菌菇的生長到底扮演什麼角色，查閱文獻得知食用菌生長發育所需的環境條件主要包括溫度、濕度、二氧化碳濃度等方面的研究較多，另外我們也發現光照是食用菌菇生長發育過程中一個不可忽略的因素，在許多培養菌菇原基形成過程中需要光的刺激，只有少數菌菇在連續黑暗環境原基可以形成，不同品種食用菌菇對不同波長可見光的反應不一，不同生長發育階段對光照強度、光質要求均有差異(趙春巧，2014；Myong-Jun Jang，2013)，同時光會誘導子實體的發育包括蕈柄延長和蕈帽的發育，例如紅平菇出菇時需要光的照射，若光線太弱，紅平菇的子實體顏色會變淡，甚至完全白化(Yasumasa，2011)；Gary發現光線的刺激有利於香菇成熟的菌絲扭結成原基和進一步子實體的型態分化(趙春巧，2014)，這些報導都顯示了可見光質會影響蕈類的生長和發育！我們選擇市場受歡迎的幾種食用菌菇進行光質測試，我們好奇光照波長和劑量對菌菇的生長發育是否會產生差異，而且不同生長階段都需要光源供應嗎？我們企圖找出不同食用菌菇個別適合的最佳光源環境！



圖一 菌菇蕈類的結構和生活史。(A)菌菇的結構圖 (B)菌菇的生活史，由孢子分裂發育成菌絲、原基形成和菌傘長大、菌柄延長、菌褶發育為成熟的子實體。



圖二 菌菇子實體的生長發育歷程。(A)~(D)珊瑚菇的生長發育，(E)~(H)秀珍菇的生長發育，(I)~(L)柳松菇的生長發育，(A)、(E)、(I)原基出現，(B)、(F)、(J)、原基繼續發育形成菇蕾(幼子實體)，(C)、(G)、(K)菌傘、菌柄漸漸發育，(D)、(H)、(L)成熟的子實體，菌褶散播出孢子。

貳、 研究目的

- 一、利用太空包栽培菌菇在不同環境因子下，找出最適宜出菇和子實體生長條件。
- 二、以組織分離培養在PDA和PDB在不同環境因子中，觀察菌絲生長的差異。
- 三、探討發光二極體(LED)光源對原基(premordium)形成和子實體(fruit body)發育的影響。
- 四、提出最適合菌菇之原基形成與子實體發育的光源環境條件。

參、研究設備與器材

一、儀器設備：

控溫震盪培養箱 (ORBITAL)	高壓蒸氣滅菌釜鍋(TOMIN)	精密電子分析天秤(RO)
烘箱(KM)	電磁攪拌器 (JS-HA)	數位式光照計 (TES 1330A)
pH 計 (JENCO)	電磁爐	自製木架



圖三 實驗儀器設備 (A) 控溫震盪培養箱 (B)高壓蒸氣滅菌釜鍋 (C)四位數精密電子分析天秤 (D)烘箱 (E)電磁攪拌器 (F)數位光照計 (G)pH 計 (H)自製木製 LED 燈架。

二、研究器材、藥品和生物材料

(一)LED：白光(億光)、紅光(655-665nm)、綠光(520-530nm)、藍光(445-460nm)、LED專用空抬

(二)馬鈴薯洋菜培養基 (PDA,Potato Dextrose Agar)：馬鈴薯、蔗糖、洋菜粉

(三)藥品：精製酒精(購自台糖公司)、碳酸氫鈉、檸檬酸

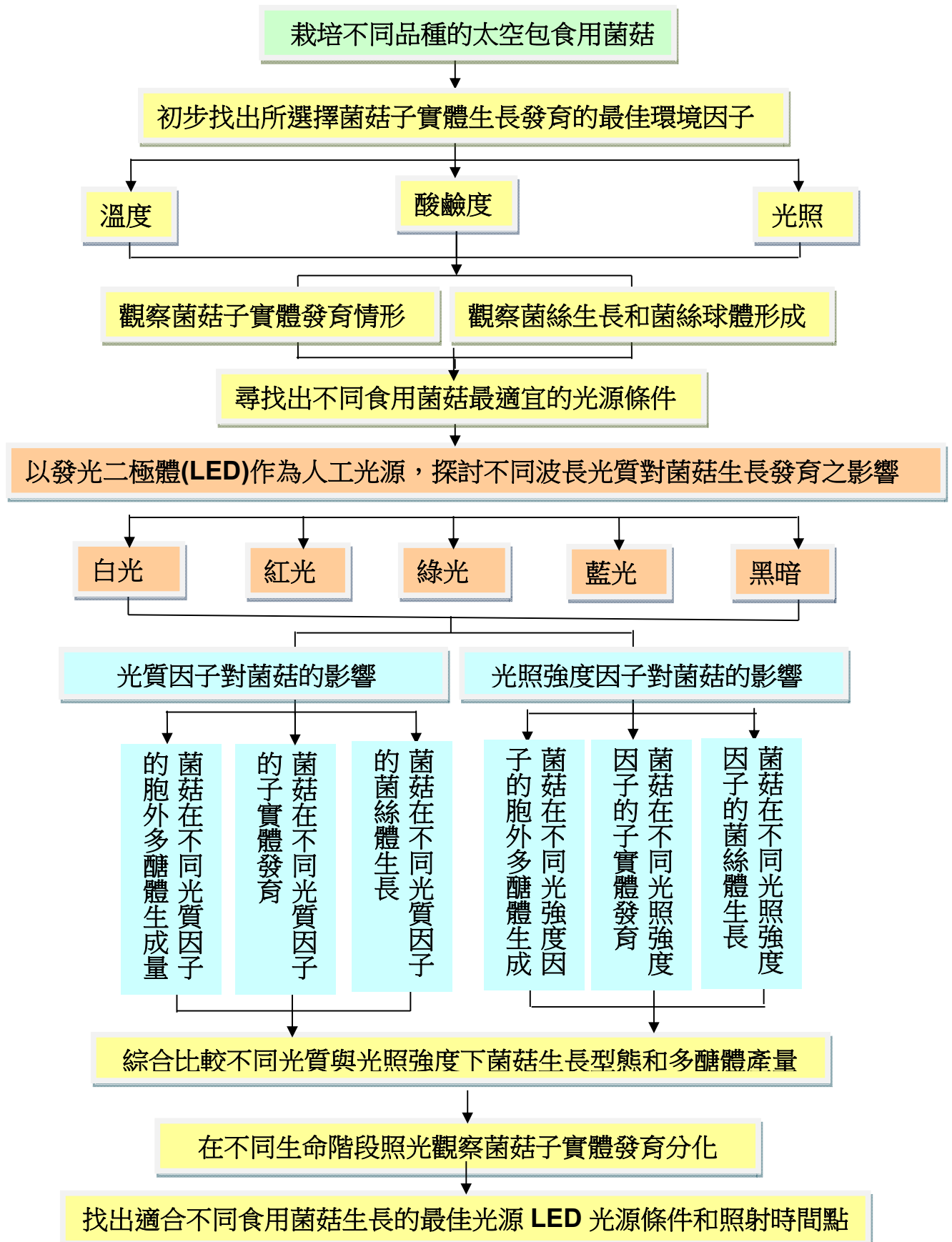
(三)其他：酒精燈、解剖刀、鋁箔紙、鑷子、接種器、燒杯、量筒、培養皿、錐形瓶、廣口瓶、玻璃棒、自製接種環、滅菌指示帶、解剖鐵盤、抽氣過濾裝置(過濾錐形瓶、瓷漏斗、過濾紙)

(四)珊瑚菇(*Pleurotus citrinopileatus*)、秀珍菇(*Pleurotus ostreatus*)、柳松菇 (*Agrocybe cylindracea*)



圖四 實驗器材 (A)LED 及專用 T8 空抬 (B)過濾裝置 (C)培養基配置用 (D)消毒滅菌及種菌用

肆、研究過程與方法



一、不同環境因子對太空包栽培和組織分離培養不同菌菇生長之研究：

(一)環境因子對太空包栽培不同菌菇之出菇影響

1. 太空包於低溫狀態走菌完成後，一太空包分割切成五等分，分別以不同條件處理。

菌菇種類 環境因子	珊瑚菇(A組別)	秀珍菇(B組別)	柳松菇(C組別)
溫 度	操作變因： 20±2℃；30±2℃ 控制變因：白光黑暗 12h交替、澆灌液pH=7	操作變因： 20±2℃；30±2℃ 控制變因：白光黑暗 12h交替、澆灌液pH=7	操作變因： 20±2℃；30±2℃ 控制變因：白光黑暗 12h交替、澆灌液pH=7
澆灌液 酸鹼度	操作變因：澆灌液 pH=6；pH=7；pH=8 控制變因： 白光黑暗交替、 20±2℃	操作變因：澆灌液 pH=6；pH=7；pH=8 控制變因： 白光黑暗交替、 20±2℃	操作變因：澆灌液 pH=6；pH=7；pH=8 控制變因： 白光黑暗交替、 20±2℃
光 線	操作變因：完全黑暗； 遮光(3μmol m⁻²s⁻¹)； 強光(3μmol m⁻²s⁻¹) 控制變因：環境因子 20±2℃、澆灌液pH7	操作變因：完全黑暗； 遮光(3μmol m⁻²s⁻¹)； 強光(3μmol m⁻²s⁻¹) 控制變因：環境因子 20±2℃、澆灌液pH7	操作變因：完全黑暗； 遮光(3μmol m⁻²s⁻¹)； 強光(3μmol m⁻²s⁻¹) 控制變因：環境因子 20±2℃、澆灌液pH7

2. 每日觀察不同組別的菌菇之原基形成及子實體的生長情形，並紀錄之。



圖五 太空包栽培菌菇實驗 (A)太空包(購自豐年農場) (B)切割太空包 (C)不同變因處理

(二)環境因子對菌菇組織分離培養之菌絲生長影響

1. 配置馬鈴薯洋菜培養基 (potato dextrose agar, PDA) 和馬鈴薯液體培養基(potato dextrose broth, PDB)。

(1)將馬鈴薯削皮切丁，取**200** 克置於鍋中，加入**800ml** 的水，以電磁爐煮沸再沸騰約**30**分鐘。

(2)利用濾網過濾出汁液，加入**30** 克蔗糖及**20** 克洋菜，加熱將洋菜溶解，加水定量成**1**公升之比例配置完成 (依需求情況調整之)。利用pH 計以碳酸氫鈉、檸檬酸配製不同酸鹼度**pH6**、**pH7**、**pH8**的PDA。

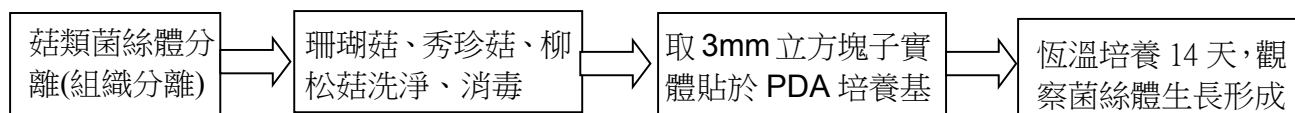
(3)將培養基置於高溫高壓殺菌釜進行殺菌 (**121℃** , **1.2kg / cm²**) **20** 分鐘，再分裝置培養皿中完成PDA。

(4)以(1)~(2)步驟的配方(不加洋菜)分裝至廣口瓶及錐形瓶中，置於高溫高壓殺菌釜，殺菌 (**121℃**) **20** 分鐘，完成PDB。



圖六 配置 PDA 和 PDB 實驗 (A)切丁的馬鈴薯秤重 (B)將馬鈴薯煮沸 30 分鐘 (C)將蔗糖和洋菜粉加入過濾後的馬鈴薯濾液中,再分裝至培養皿或廣口瓶 (D)分裝後培養基以高壓殺菌釜滅菌

2.環境因子測試菌菇之組織分離培養菌絲的生長



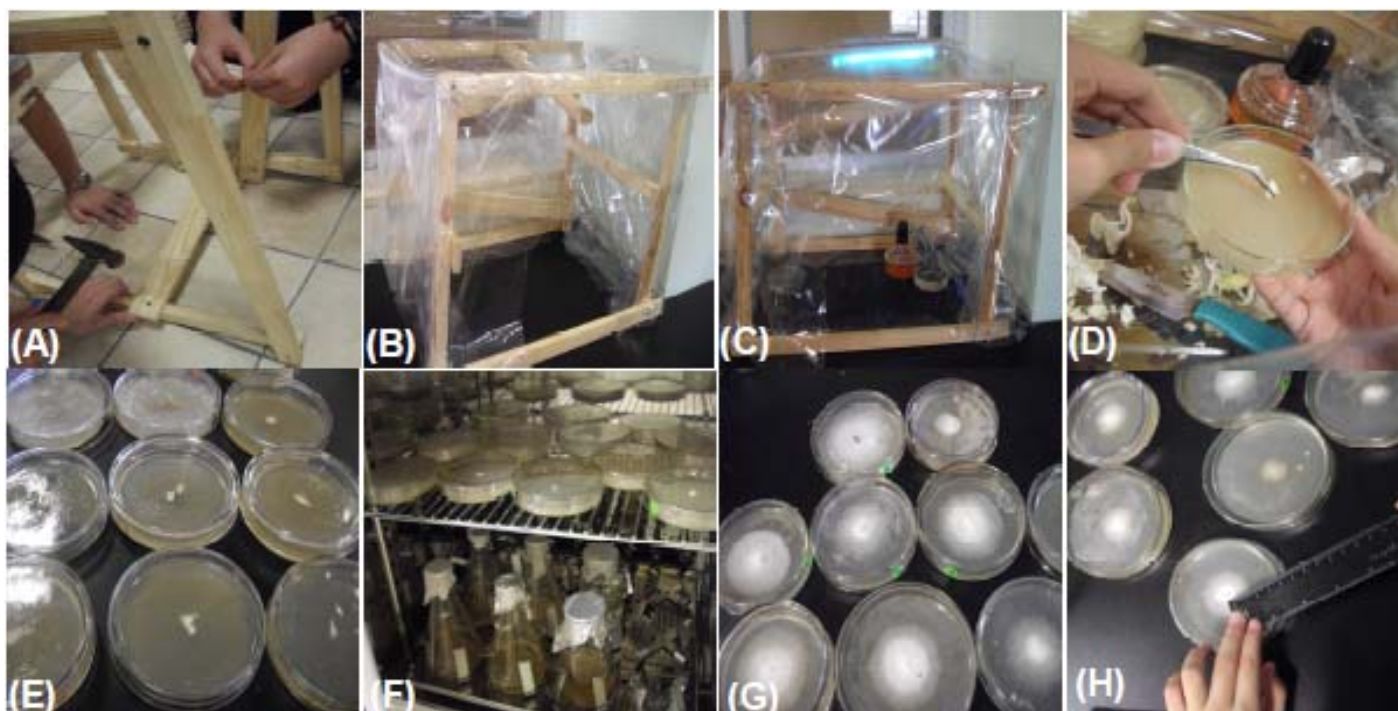
(1)操作台以紫外燈殺菌一小時。

(2)解剖用具和器皿置於高溫高壓殺菌釜進行殺菌 (121°C , $1.2\text{kg} / \text{cm}^3$) , 實驗過程中所有器具, 如鑷子、解剖刀等用75%酒精消毒, 再用酒精燈烤過。

(3)在自製無菌檯內(圖七C), 以滅菌解剖刀將珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇的子實體撕開進行組織分離, 先去除頭尾, 浸泡95%酒精約三十秒, 切九宮格取中間一段, 再切九宮格, 以滅菌鑷子夾取內部乾淨無菌之菇肉約3mm立方塊, 接種於PDA 培養基上。

菌菇種類 環境因子	珊瑚菇(A組別)	秀珍菇(B組別)	柳松菇(C組別)
溫度	操作變因： $20\pm 2^{\circ}\text{C}$; $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、PH=7	操作變因： $20\pm 2^{\circ}\text{C}$; $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、PH=7	操作變因： $20\pm 2^{\circ}\text{C}$; $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、PH=7
酸鹼度	操作變因： pH=6 ; pH=7 ; pH=8 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$	操作變因： pH=6 ; pH=7 ; pH=8 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$	操作變因： pH=6 ; pH=7 ; pH=8 控制變因：白光黑暗 12hrs交替、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$
光線	操作變因：完全黑暗； 遮光12hrs；強光12hrs 控制變因： 環境因子 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、pH7	操作變因：完全黑暗； 遮光12hrs；強光12hrs 控制變因： 環境因子 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、pH7	操作變因：完全黑暗； 遮光12hrs；強光12hrs 控制變因： 環境因子 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、pH7

(4)同時做三重覆, 於不同條件下培養, 每日觀察其菌絲生長情形, 並以量尺量取菌絲生長長度而拍照紀錄之。

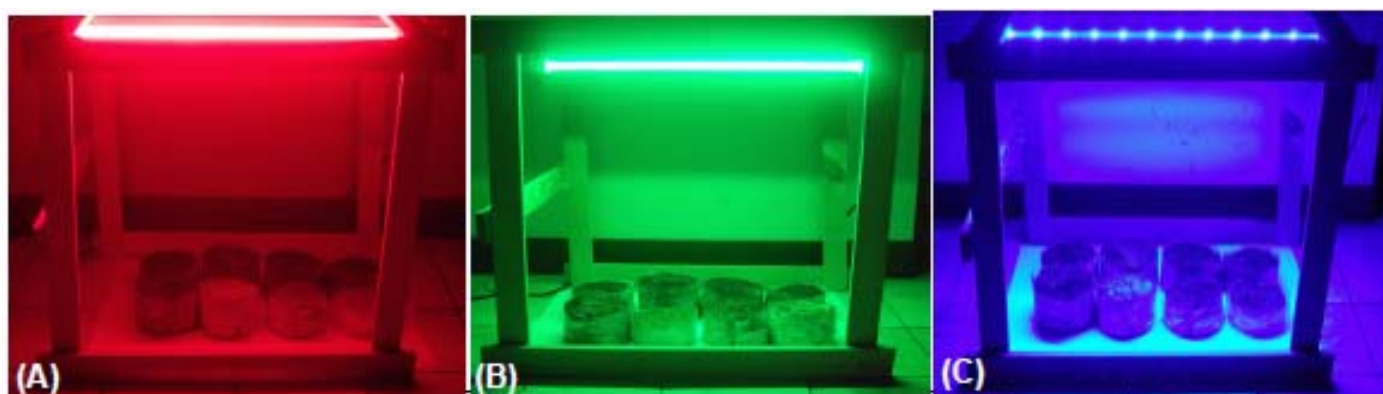


圖七 無菌培養 PDA 和 PDB 菌絲體生長實驗 (A)自製木架 (B)自製完成的無菌操作台 (C)實驗前 60 分鐘以紫外燈進行操作台滅菌 (D)在無菌操作台以組織分離菌肉進行種菌 (E)種菌完後的 PDA 培養基 (F)恆溫振盪培養箱培養菌絲體 (G)PDA 中生長的菌絲 (H)觀察菌絲生長進行量化

二、不同 LED 光質因子對食用菌菇生長發育之研究：

(一) LED 燈照明設備製作與架設

1.LED 燈架的製作



圖八不同 LED 光質條件的培養環境(A)紅光(655~665nm) (B)綠光(520~530nm) (C)藍光 (445~460nm)

(二) 不同LED光波長對太空包栽培珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇的出菇影響

1. 太空包於低溫狀態走菌完成後，一太空包分割切成五等分，分別以不同光質處理(晝夜各12hrs)

菌菇種類 條件	珊瑚菇(A組別)	秀珍菇(B組別)	柳松菇(C組別)
操作變因： 不同光質 (照光12hrs，黑 夜12hrs交替)	組別(A1)白光 →3個 組別(A2)紅光 →3個 組別(A3)綠光 →3個 組別(A4)藍光 →3個 組別(A5)完全黑暗→3個	組別(B1)白光 →3個 組別(B2)紅光 →3個 組別(B3)綠光 →3個 組別(B4)藍光 →3個 組別(B5)完全黑暗→3個	組別(C1)白光 →3個 組別(C2)紅光 →3個 組別(C3)綠光 →3個 組別(C4)藍光 →3個 組別(C5)完全黑暗→3個
控制變因：溫度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，澆灌液 pH7			

2. 每日觀察不同組別的菌菇之出菇及子實體的生長情形，並紀錄各組原基形成的數目、成熟子實體莖柄長度、圍長和菌傘直徑大小以及子實體的重量。

3. 同時做三重覆，於不同條件下恆溫培養，並每日觀察紀錄之。整理數據繪製統計圖。

(三) 不同LED光波長對太空栽培珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇的組織分離純培養影響



(1) 操作台以紫外燈殺菌一小時。

(2) 解剖用具和器皿置於高溫高壓殺菌釜進行殺菌 (121°C , $1.2\text{kg} / \text{cm}^2$)，實驗過程中所有器具，如鑷子、解剖刀等用75%酒精消毒，再用酒精燈烤過。

(3) 在自製無菌檯內，將珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇的子實體撕開，用滅菌解剖刀進行組織分離，先去除頭尾，浸泡95%酒精約三十秒，切九宮格取中間一段，再切九宮格，以滅菌鑷子夾取內部乾淨無菌之菇肉約3mm立方塊，接種於PDA 培養基上。

3. 於不同光質條件(晝夜交替12hrs)下恆溫培養，觀察兩週內菌絲生長的情形，並每日以量尺量取菌絲生長的長度而紀錄之，整理數據繪製統計圖。進行三重覆。

(四) 不同 LED 光質因子對活化菌絲體生長之研究：

1. 活化菇類菌絲體



在自製無菌檯內，以活化的珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇的菌絲體，利用自製接種環刮取一完整無污染分離菌絲體3mm正方塊入100mlPDB液體培養基錐形瓶中，恆溫振盪培養 (150r.p.m. , 20°C /7天)，每日觀察菌絲球體生長情形，進行拍攝記錄之。

(附註：「將培養基裝入培養瓶中，於其中接入發育洋菜培養基上的菌絲(約3mm方塊，連同洋菜

塊一起挖取)，注意不要使菌絲體浮出液面」，以免菌絲體於液面生長成菌絲球，停止生長產生其它菌絲體，最後在20℃進行靜置或震盪培養，靜置培養需較長時間，震盪培養則約為6~8天。)

菌菇種類 條件	珊瑚菇(A組別)	秀珍菇(B組別)	柳松菇(C組別)
操作變因： 不同光質 (照光12hrs，黑 夜12hrs交替)	組別(A1)白光 →2個 組別(A2)紅光 →2個 組別(A3)綠光 →2個 組別(A4)藍光 →2個 組別(A5)完全黑暗→2個	組別(B1)白光 →2個 組別(B2)紅光 →2個 組別(B3)綠光 →2個 組別(B4)藍光 →2個 組別(B5)完全黑暗→2個	組別(C1)白光 →2個 組別(C2)紅光 →2個 組別(C3)綠光 →2個 組別(C4)藍光 →2個 組別(C5)完全黑暗→2個
控制變因：溫度20±2℃，pH7			

2. 菌絲球體乾重之測定

- (1)以過濾瓶組裝過濾裝置，利用抽氣過濾將PDB培養基進行過濾，濾得其菌絲體。
- (2)用鋁箔紙摺出小盒子，將過濾後濕的菌絲體用藥勺刮入已標記的鋁箔紙盒，精秤總重、記錄，鋁箔紙盒放入乾燥箱105~110℃乾燥。
- (3)將過濾物質乾燥完成後，並精秤乾重即可換算出乾菌絲體質量。進行三重覆。



3. 胞外多醣體產量測定 (乙醇沉澱法)

- (1) 取(PDB)濾液至試管中，再加入4倍體積的95%乙醇，於4℃下靜置12hrs。
- (2) 觀察沉澱量，以比較不同組別沉澱量多寡，進行胞外多醣體產量定性。

三、LED 藍色光質因子的強度對不同菌菇生長發育之研究：

(一) 不同強度的LED藍光光質對太空栽培不同菌菇的出菇影響

- 1.我們設計以下實驗：以黑網包裹LED藍光燈台，藉此改變菌菇受光的強度，並以光照計求出其光量子通量密度，產生三種不同的光照強度：H強光組(20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、M弱光組(10 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、L微光組(5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)和白光 (3 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)進行處理。
- 2.每日觀察不同組別的菌菇之出菇及子實體的生長情形，並紀錄各組原基形成的數目、子實體菌柄長度、菌長和菌傘大小和子實體的重量；整理數據製作統計圖。進行三重複。

(二) 不同強度的LED藍光光質對組織分離培養菌絲生長和活化菌絲體的影響

- 1.以PDA無菌進行組織分離培養菌絲實驗，以不同的光照強度：H強光組($20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、M弱光組($10\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、L微光組($5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)和白光 ($3\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)進行處理。
- 2.同時做三重覆，於不同條件下恆溫培養，觀察兩週菌絲生長情形，並以量尺量取菌絲生長長度而拍照紀錄之。整理數據繪製統計圖。
- 3.以PDB無菌進行活化菌絲球體實驗，依下列條件處理之。
- 4.於不同條件下恆溫振盪培養($150\text{ r.p.m. } 20^{\circ}\text{C}/7\text{天}$)，並觀察其菌絲球體生長情形拍攝紀錄，並於七天後進形菌絲球體乾重之測定。進行三重覆。
- 5.胞外多醣體產量測定 (乙醇沉澱法)
 - (1) 取(PDB)濾液至試管中，再加入4倍體積的95%乙醇，於 4°C 下靜置12hrs。
 - (2) 觀察沉澱量，以比較不同組別沉澱量多寡，進行胞外多醣體產量定性。



圖藍光不同強度測試菌菇生長的實驗 (A)黑色紗布 (B)以紗布裹燈台控制光強度 (C)弱光圖藍光

四、LED 藍色光質因子在菌菇不同的生命週期生長發育之研究：

- 1.以黑網包裹LED燈台，藍光LED光照強度依不同菌菇最佳照度($15\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 $20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以及白光 ($3\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)進行照射。
2. 太空包於低溫狀態走菌完成後，一太空包分割切成五等分，分別在不同生命階段處理。

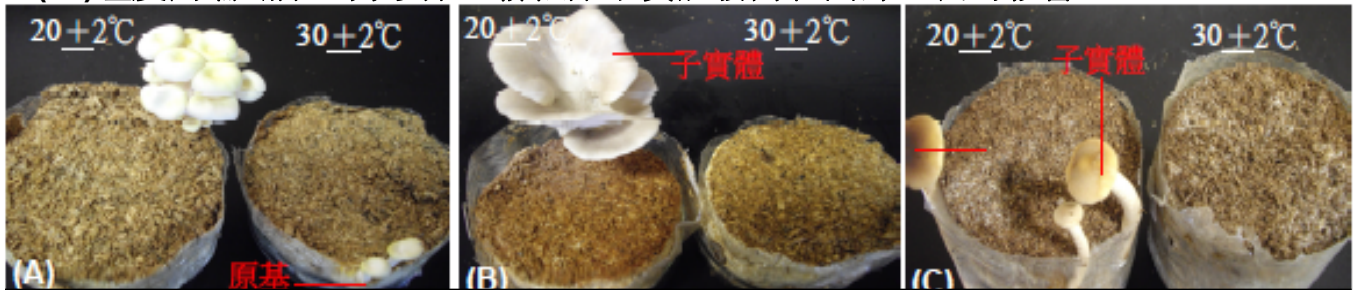
菌菇種類 條件	珊瑚菇 (每組三個)	秀珍菇 (每組三個)	柳松菇 (每組三個)
操作變因： 藍光照射 不同時間點 (照光12hrs，黑 夜12hrs交替)	<div><div>菌絲生長 (走菌)</div><div>→</div><div>原基出現</div><div>→</div><div>幼子實體 形成(出菇)</div><div>→</div><div>成熟子實 體發育</div></div>		
	(A) <div><div></div><div></div></div>		
	(B) <div><div></div><div></div></div>		
	(C) <div><div></div><div></div></div>		
	(D) <div><div></div></div>		
	(E) <div><div></div></div>		
控制變因：溫度20±2℃，澆灌液 pH7			

- 3.每日觀察不同組別的菌菇之出菇及子實體的生長情形，並紀錄各組原基形成的數目、子實體莖柄長度、圍長和蕈傘大小和子實體的重量。進行三重覆。整理數據繪製統計圖。

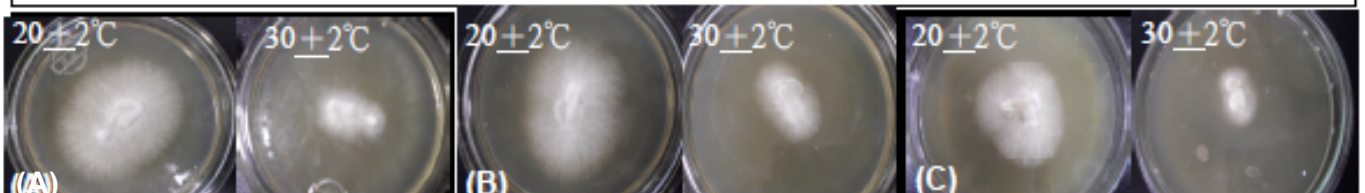
伍、實驗結果

一、環境因子對太空包栽培和組織分離培養不同菌菇生長之研究：

(一)溫度對珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇子實體發育和菌絲生長的影響

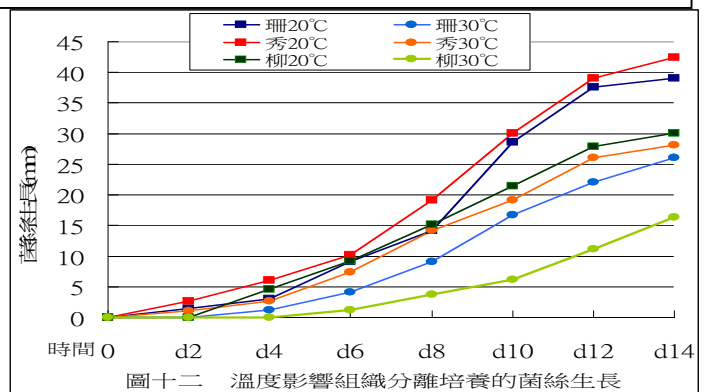


圖十、溫度(20°C、30°C)影響太空包菌菇栽培第五天出菇影響：(A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇。



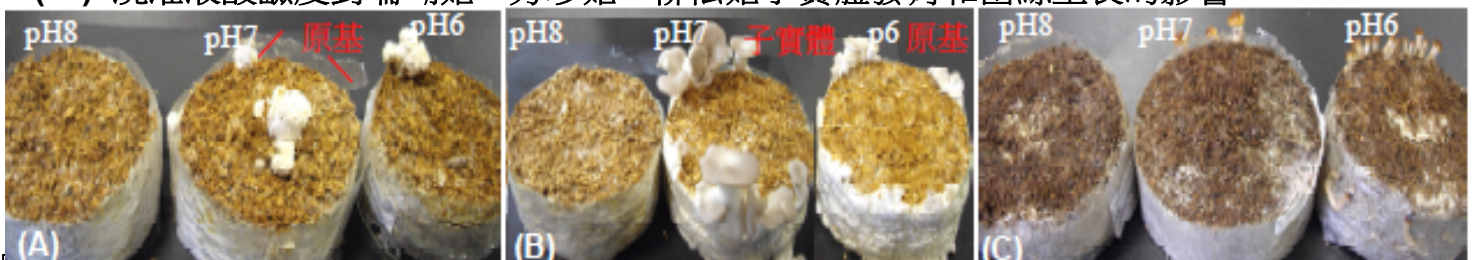
圖十一、不同溫度影響組織分離培養第十天菌絲生長影響：(A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇。

20°C的環境珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇的原基形成和子實體發育最快速，而高溫 30°C 以上環境的菌菇原基形成數目少且出菇較慢。20°C的環境相較 30°C 更適合菌絲的生長速度，大約有 20%以上生長率的提高，顯示菌菇的酵素活性約在 20°C 發揮最適宜的作用條件。

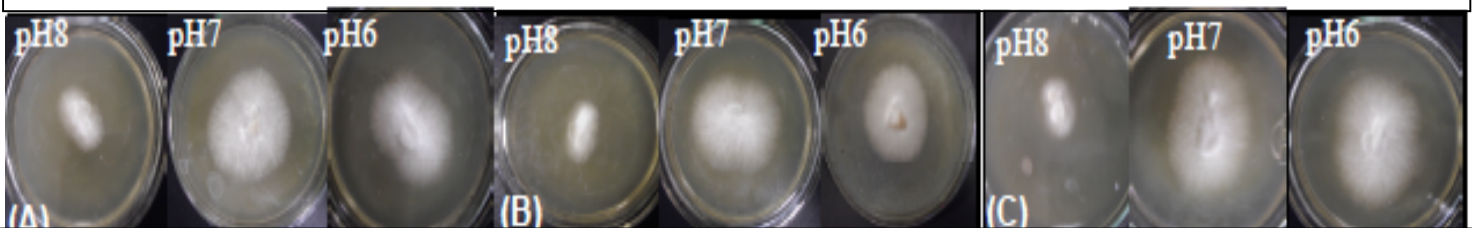


圖十二 溫度影響組織分離培養的菌絲生長

(二)澆灌液酸鹼度對珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇子實體發育和菌絲生長的影響

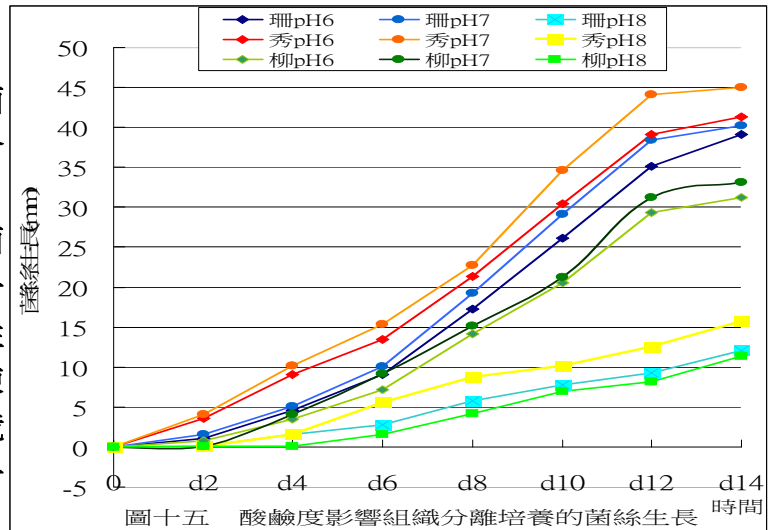


圖十三 澆灌液酸鹼度(pH6、7、8)影響太空包菌菇栽培第三天出菇影響：(A)珊瑚菇，(B)秀珍菇，(C)柳松菇



圖十四 不同酸鹼度影響組織分離培養第十天的菌絲生長的影響：(A)珊瑚菇，(B)秀珍菇，(C)柳松菇。

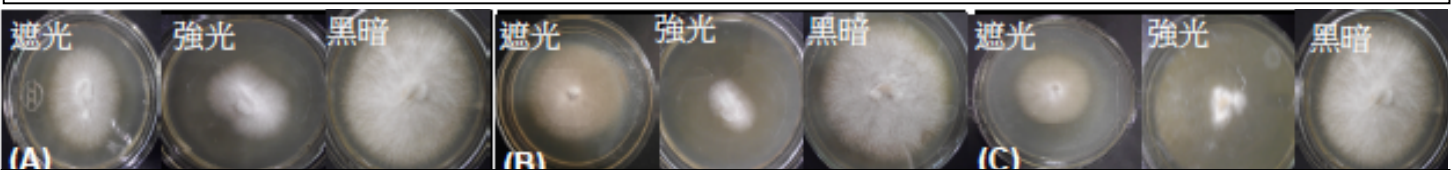
以不同酸鹼度實驗菌菇生長發育的影響，由結果顯示珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇的菌絲和子實體在中性及偏酸的环境下均適合生長，可能因為酵素在酸性和中性環境，酵素可以發揮最佳活性，但在鹼性環境菌絲的生長受到抑制，且第十天仍未出現子實體發育，顯示菌菇的酵素可能受到鹼性因子破壞結構無法發揮作用，細胞內新陳代謝受阻，所以菌菇在中性和偏酸的环境下生長較快，且出菇的所需天數較短，子實體發育分化快速。



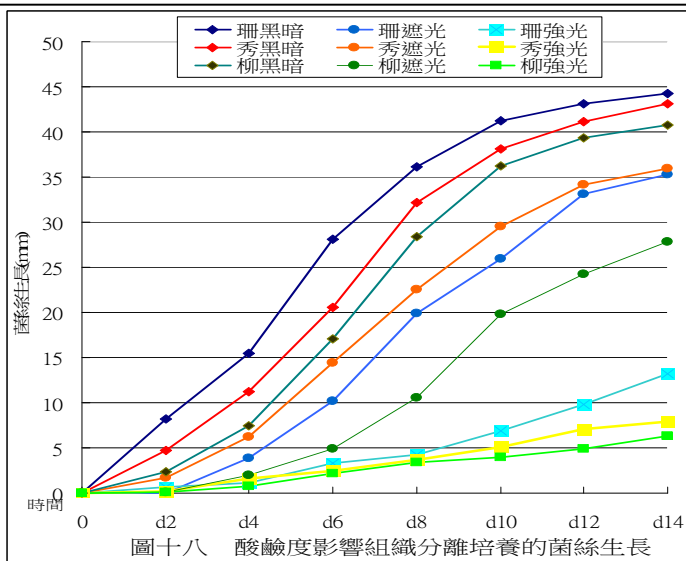
(三) 光線對珊瑚菇、秀珍菇、柳松菇子實體發育和菌絲生長的影響



圖十六 光線(遮光、強光、黑暗)影響太空包菌菇栽培第五天出菇影響(A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇。



圖十七 光線(遮光、強光、黑暗)影響組織分離培養第十天菌絲生長影響(A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇



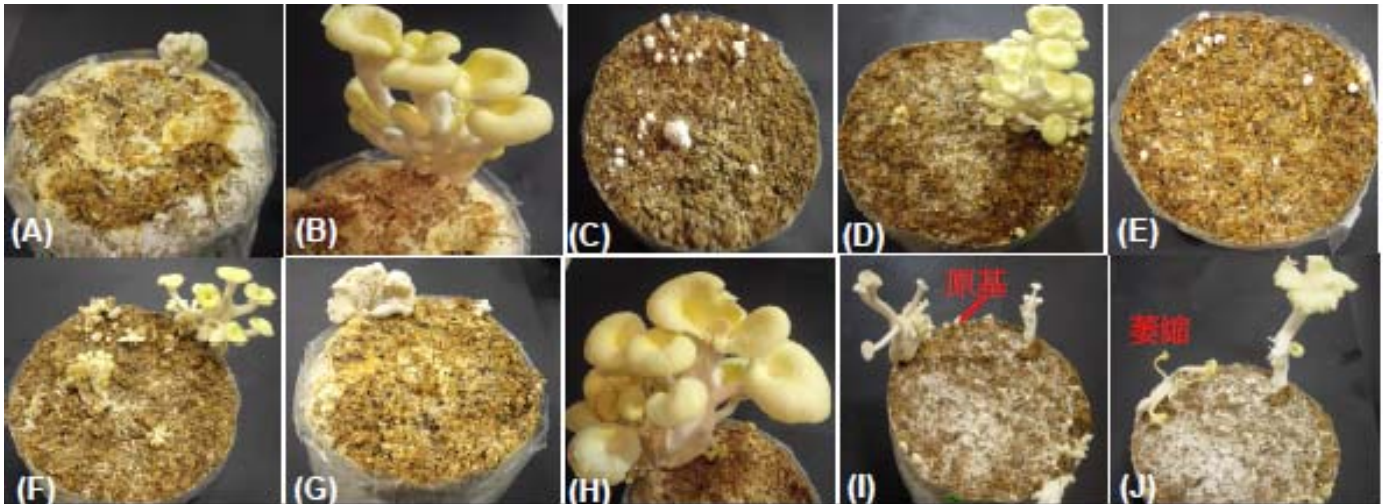
圖十八 酸鹼度影響組織分離培養的菌絲生長

以太空包栽培菌菇實驗中發現子實體的分化發育需要光的刺激，遮光時原基的形成最多，子實體生長最快，而黑暗處理組別，雖有原基形成，但罕有出菇發生，除此之外強光 ($61.78\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 處理相較遮光 ($12.46\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 組別，其子實體產量較少，可能和光線太強導致水分蒸散或其他因素導致。然而，在組織分離培養實驗結果觀察菌絲的生長，黑暗時的菌絲長的最快，而照光卻會抑制菌絲的生長，光線愈強菌絲生長愈慢，尤以珊瑚菇最明顯。實驗顯示光線是影響菌菇發育的重要因素，在黑暗環境中，雖然有原基形成，但只有少數有明顯出菇現象，這些原基無法發育成正常的子實體，這些子實體成畸形樣子。綜合以上結果，菌絲生長和子實體發育的最佳環境因子是在溫度 20°C 、中性或微酸性環境中，但光線似乎是子實體發育的必要條件，而照光卻會抑制菌絲的生長，我們猜測在菌菇的不同的生長生活史階段中，光線對菌菇的菌絲生長、原基形成和子實體的發育的影響力不同。因此我們進一步以 LED 做人工光源，探討不同光質因子對不同的菌菇的菌絲體生長和子實體發育分化的影響。

二、不同 LED 光質因子對食用菌菇生長發育之研究：

(一) 光質因子對太空包栽培菌菇子實體發育分化之影響

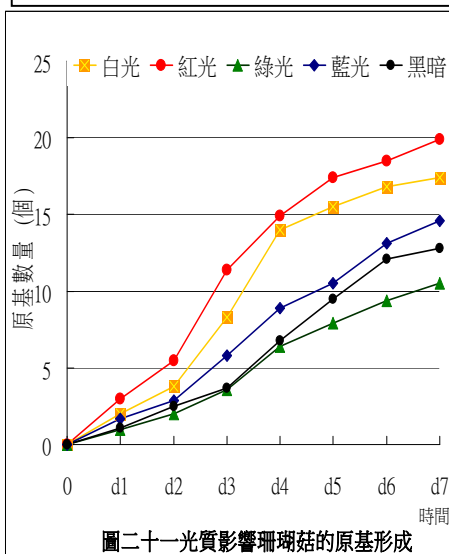
1. 不同 LED 光波長對太空包栽培珊瑚菇子實體生長的影響



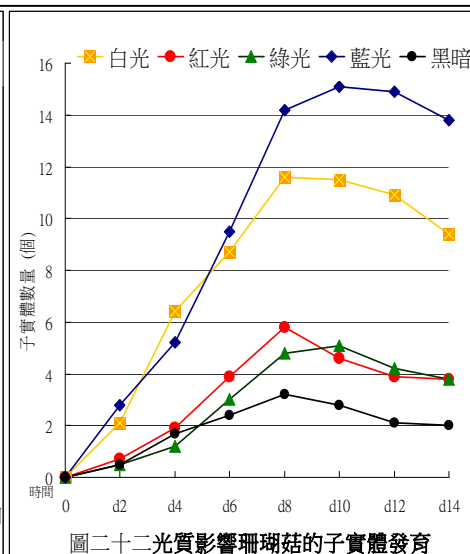
圖十九、光質因子影響太空包栽培珊瑚菇原基形成和子實體發育的影響 (A)白光：第三天 (B)白光：第五天 (C)紅光：第三天 (D)紅光：第五天 (E)綠光：第三天 (F)綠光：第五天 (G)藍光：第三天 (H)藍光：第五天 (I)黑暗：第五天 (J)黑暗：第八天。



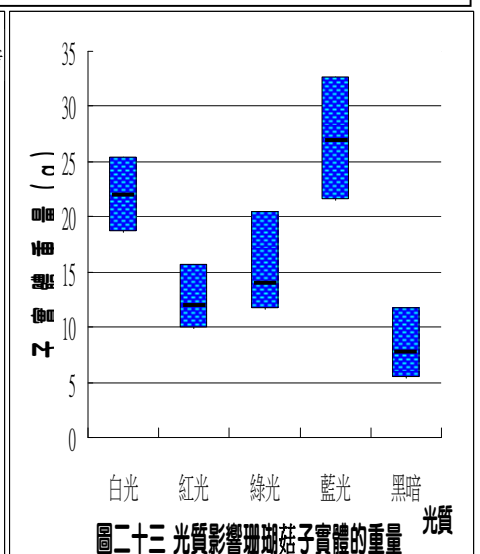
圖二十 珊瑚菇經各種波長處理為成熟子實體 (A)白光：第七天 (B)紅光：第七天 (C)綠光：第七天 (D)藍光：第七天 (E)黑暗：第十天。



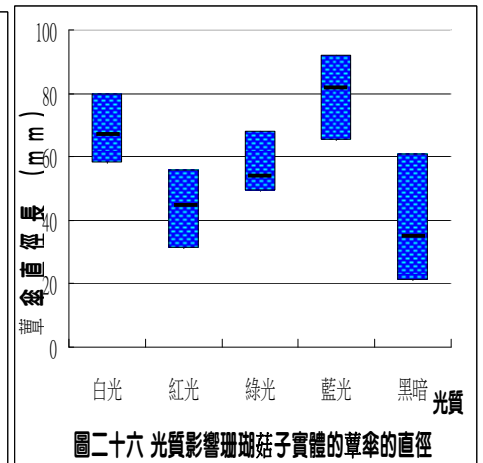
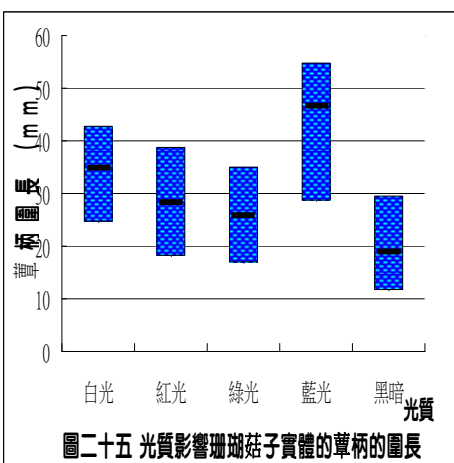
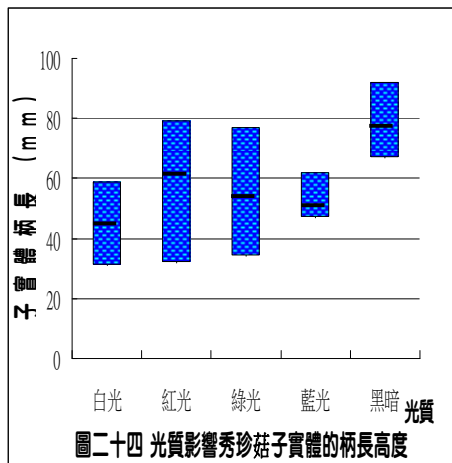
圖二十一光質影響珊瑚菇的原基形成



圖二十二光質影響珊瑚菇的子實體發育

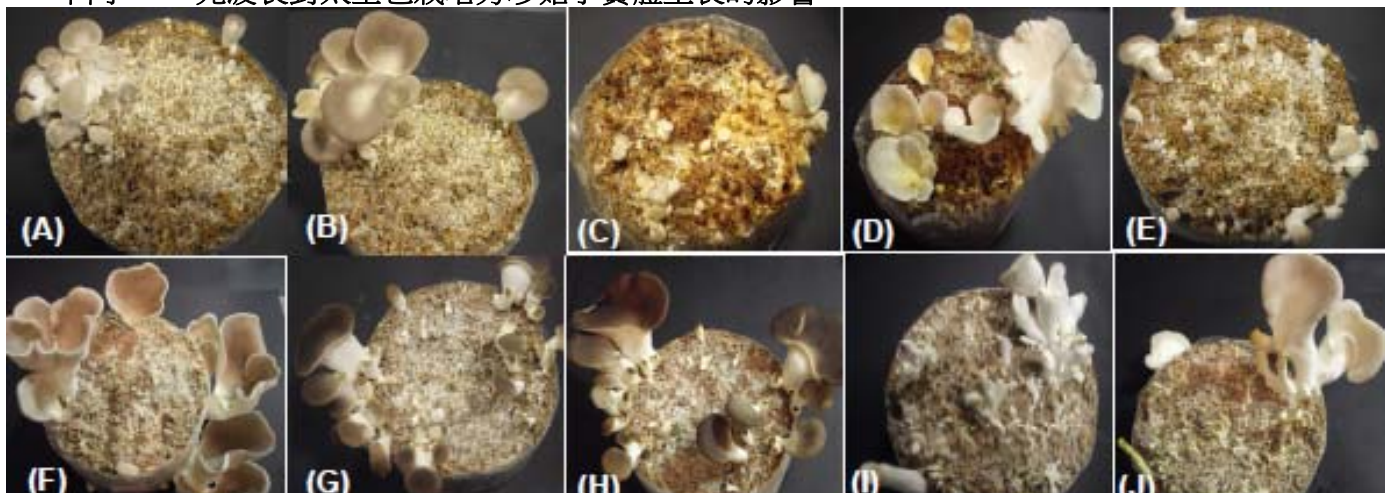


圖二十三 光質影響珊瑚菇子實體的重量



白光處理珊瑚菌菇第二天就有原基出現，第三天菇蕾長大，第五天子實體最成熟開始散出孢子。紅光組別在第三天雖有大量原基出現，但是多數原基無法成子實體即枯萎，且草傘邊緣皺褶非圓滑，草柄細長，長度多出 20%。綠光處理組別的子實體產量少，第八天發育的子實體其草傘較小，草傘直徑相較白光組約減少 20%。然而藍光處理組別，原基數量雖不及紅光，但發育的子實體草傘較大且顏色深，草柄也較粗，子實體產量有增加情形，比白光處理多出 30% 以上。珊瑚菇經連續黑暗處理後原基形成的數量雖多，但出菇所需天數長，且不及十分之一比例的原基發育為成熟子實體，其呈畸形，子實體草帽極小、色淡，草柄過度延長有徒長現象。

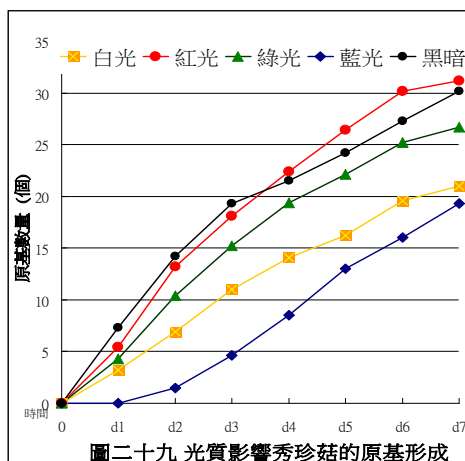
2. 不同 LED 光波長對太空包栽培秀珍菇子實體生長的影響



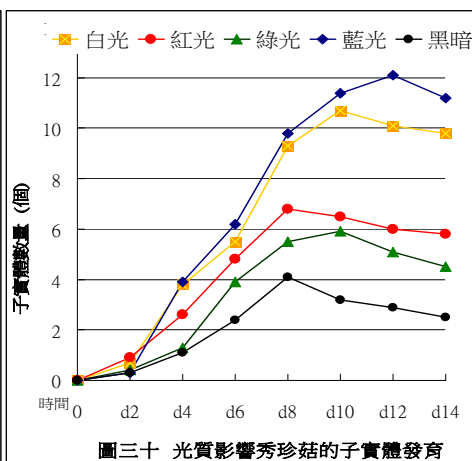
圖二十七、光質因子影響太空包栽培秀珍菇原基形成和子實體發育的影響 (A)白光：第三天 (B)白光：第五天 (C)紅光：第三天 (D)紅光：第五天 (E)綠光：第三天 (F)綠光：第五天 (G)藍光：第三天 (H)藍光：第五天 (I)黑暗：第五天 (J)黑暗：第八天。



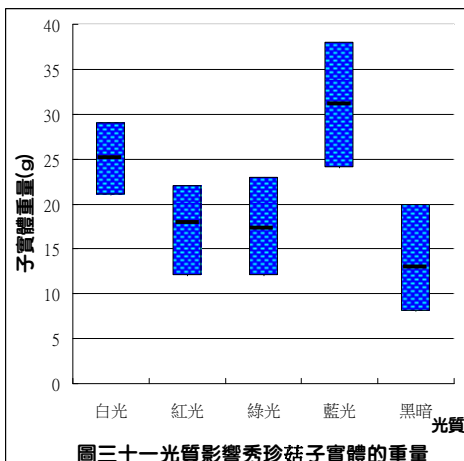
圖二十八 秀珍菇經各種波長處理為成熟子實體 (A)白光：第七天 (B)紅光：第七天 (C)綠光：第七天 (D)藍光：第七天 (E)黑暗：第十天。



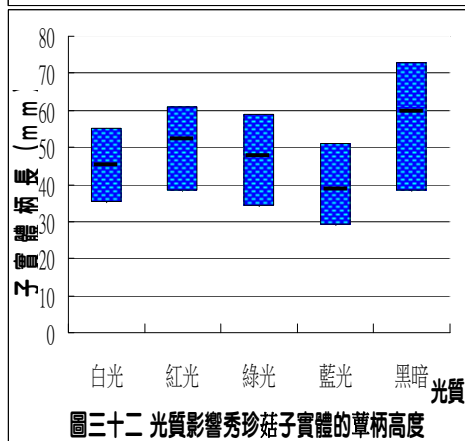
圖二十九 光質影響秀珍菇的原基形成



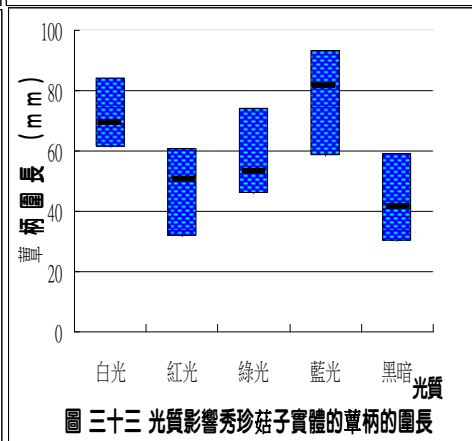
圖三十 光質影響秀珍菇的子實體發育



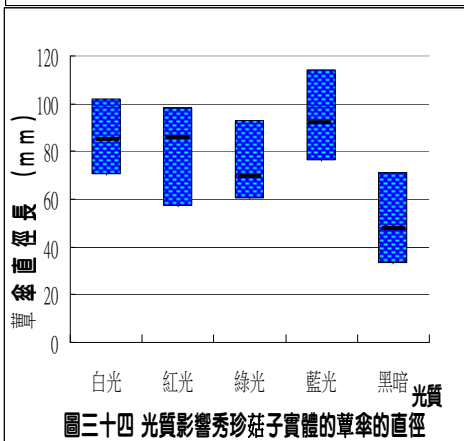
圖三十一 光質影響秀珍菇子實體的重量



圖三十二 光質影響秀珍菇子實體的草柄高度



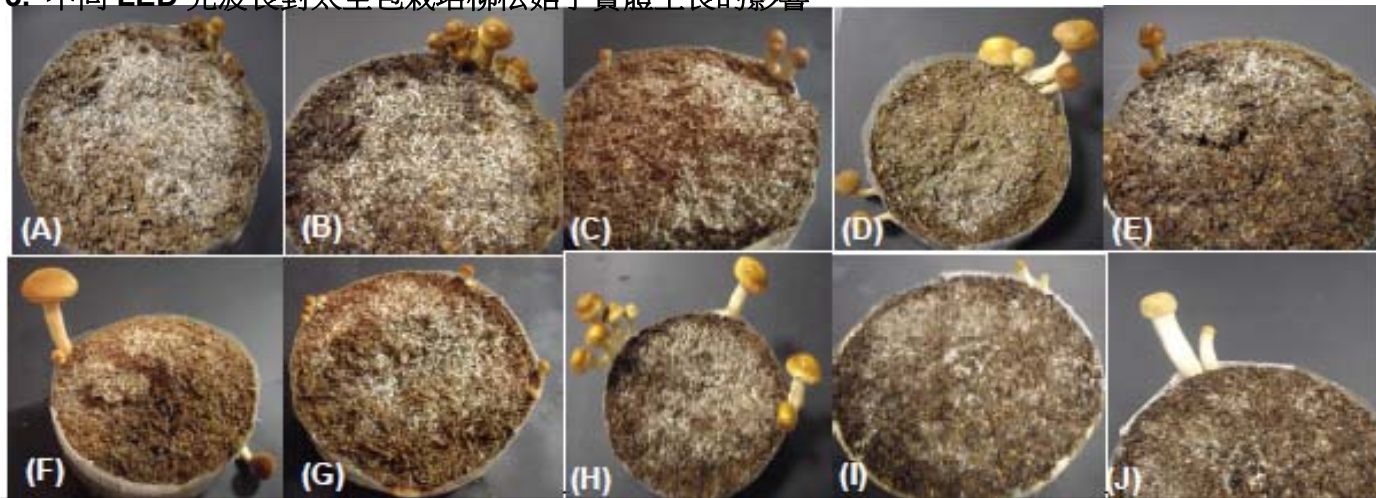
圖三十三 光質影響秀珍菇子實體的草柄的直徑



圖三十四 光質影響秀珍菇子實體的草傘的直徑

秀珍菇以白光處理第三天原基陸續出現，在第六至七天子實體發育成熟；紅光和綠光處理組別第五天出現大量原基，但發育成成熟的子實體約不及四分之一的機率，大多數的原基即使發育成菇蕾，之後漸漸也呈現枯萎樣子，沒有進一步發育分化出成熟的草傘和直立草柄，且紅光處理草傘面積大向外放射狀，而綠光處理的草傘卻呈現內縮樣子。但是藍光處理秀珍菇草傘厚、直徑增加60%且顏色深，草柄又粗，子實體產量大，相較白光組別多了35%產量。同樣黑暗組別，原基形成雖多，但發育為成熟子實體稀少呈畸形樣子，子實體草帽極小、白化，無色素分化形成，且草柄徒長，相較照光組多出30%長度。

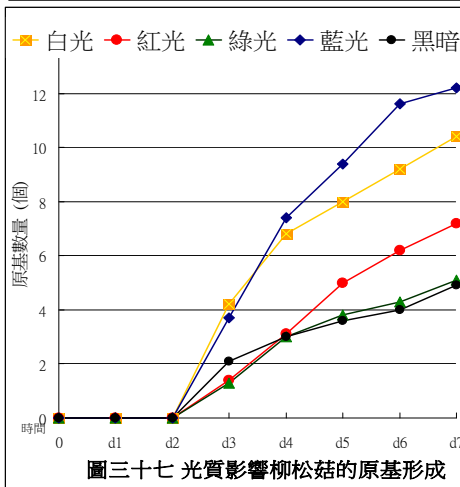
3. 不同 LED 光波長對太空包栽培柳松菇子實體生長的影響



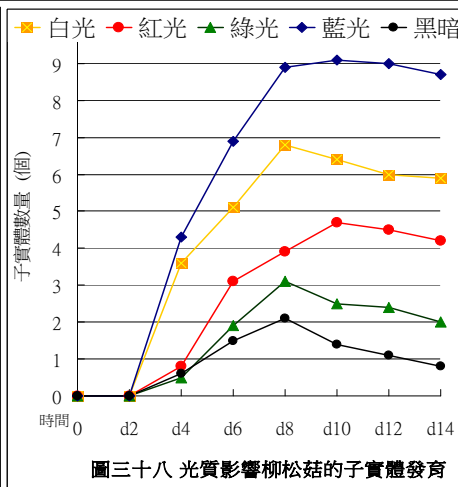
圖三十五、光質因子影響太空包柳松菇栽培原基形成和子實體發育的影響 (A)白光：第三天 (B)白光：第五天 (C)紅光：第三天 (D)紅光：第五天 (E)綠光：第三天 (F)綠光：第五天 (G)藍光：第三天 (H)藍光：第五天 (I)黑暗：第五天 (J)黑暗：第八天。



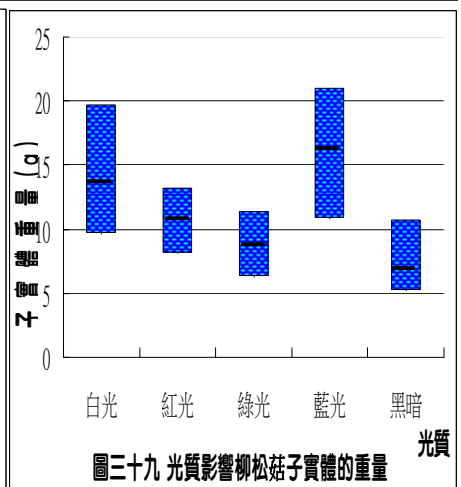
圖三十六 柳松菇經各種波長處理為成熟子實體 (A)白光：第七天 (B)紅光：第七天 (C)綠光：第七天 (D)藍光：第七天 (E)黑暗：第十天。



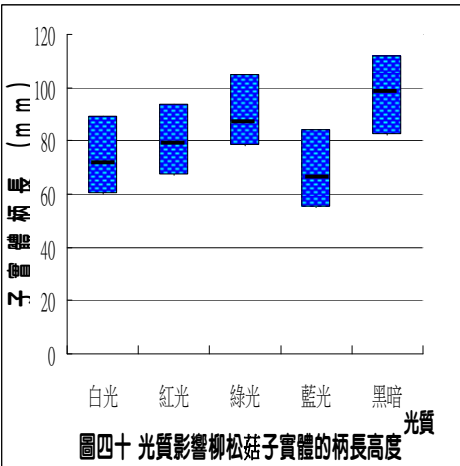
圖三十七 光質影響柳松菇的原基形成



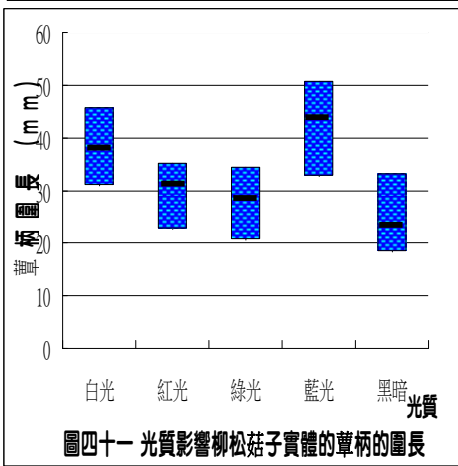
圖三十八 光質影響柳松菇的子實體發育



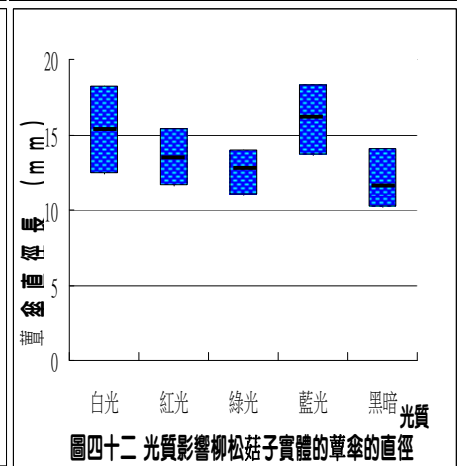
圖三十九 光質影響柳松菇子實體的重量



圖四十 光質影響柳松菇子實體的柄長高度



圖四十一 光質影響柳松菇子實體的草柄的直徑



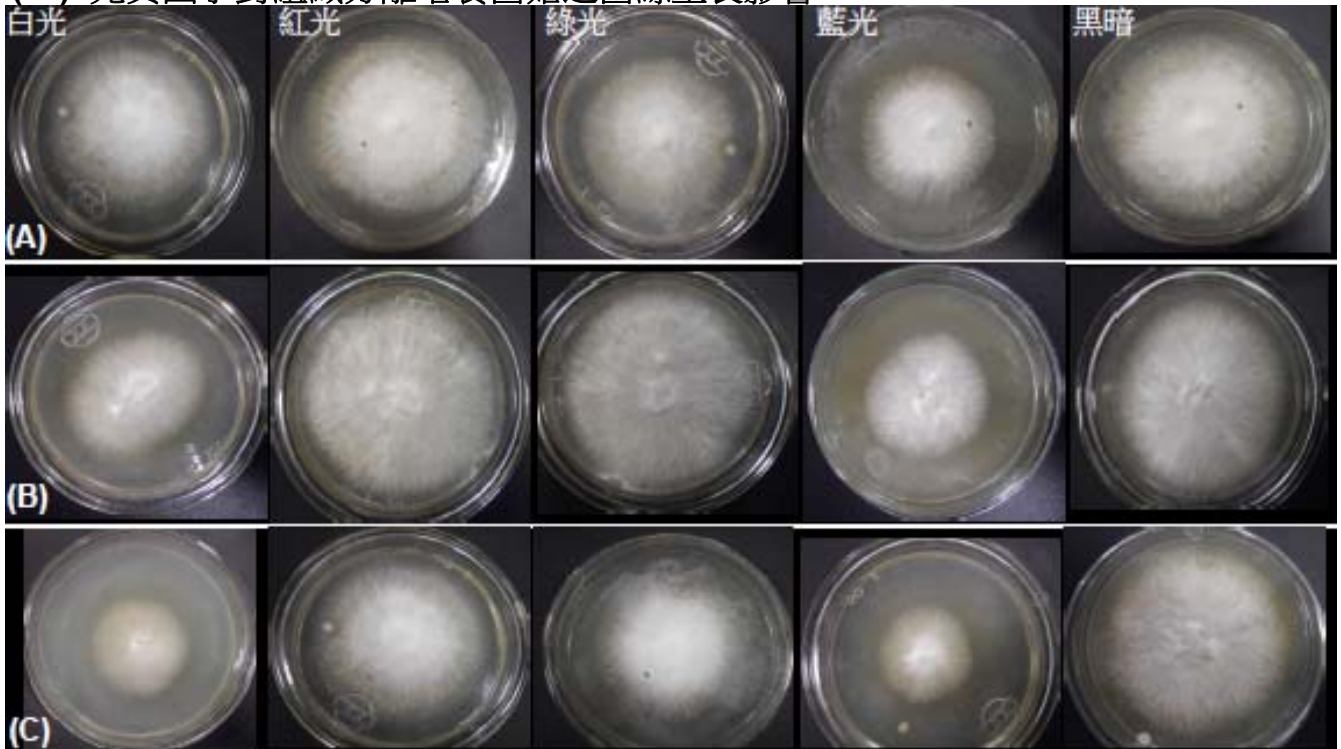
圖四十二 光質影響柳松菇子實體的草傘的直徑

柳松菇的子實體生成與環境光線有充分的關係，柳松菇在連續黑暗處理之下菌柄過度延長，且草柄細、草帽小，色略淡。但白光照射第三天原基出現，第六至七天子實體成熟；紅光和綠光處理組別，原基形成少，子實體的產量也低，相較白光照射產量減少 30%，草傘小，而草柄增長 60%。相反地，藍光對於柳松菇的草傘發育有促進作用，且草柄直徑粗，長度較短，子實體產量大。

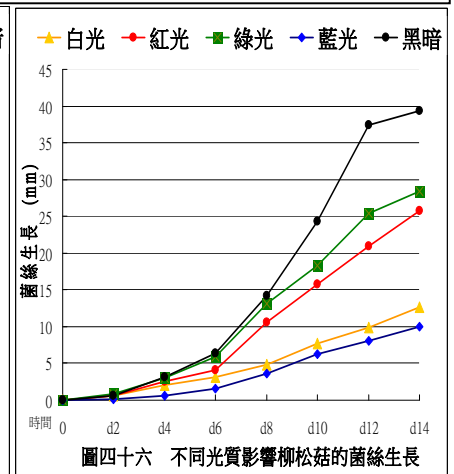
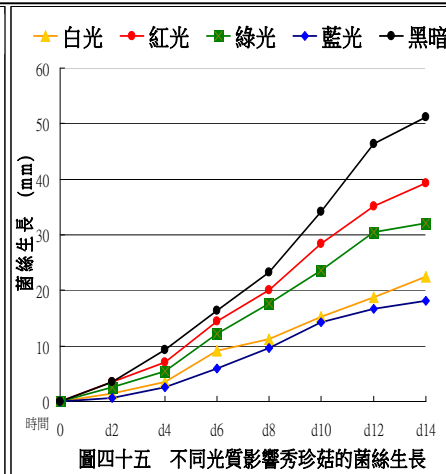
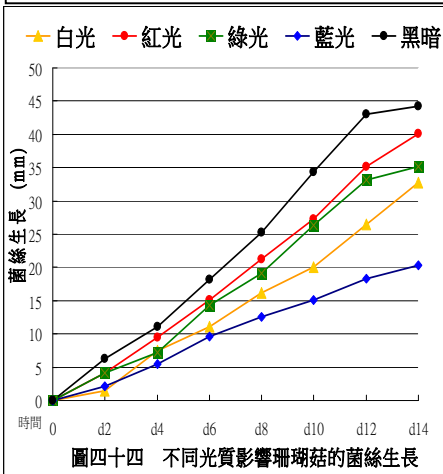
綜合以上實驗，我們得知子實體形成過程中，光波長是影響子實體生長和型態分化的關鍵因素，這三者菌菇若以連續黑暗處理會造成草柄過長和抑制草帽發育受阻，但是透過光線的照射，光會誘導草柄、草帽的正常發育，尤其藍光的處理會促進草柄加粗和草帽直徑變大和加速草帽色

素的加深，以及縮短子實體發育的時間。

(二) 光質因子對組織分離培養菌菇之菌絲生長影響



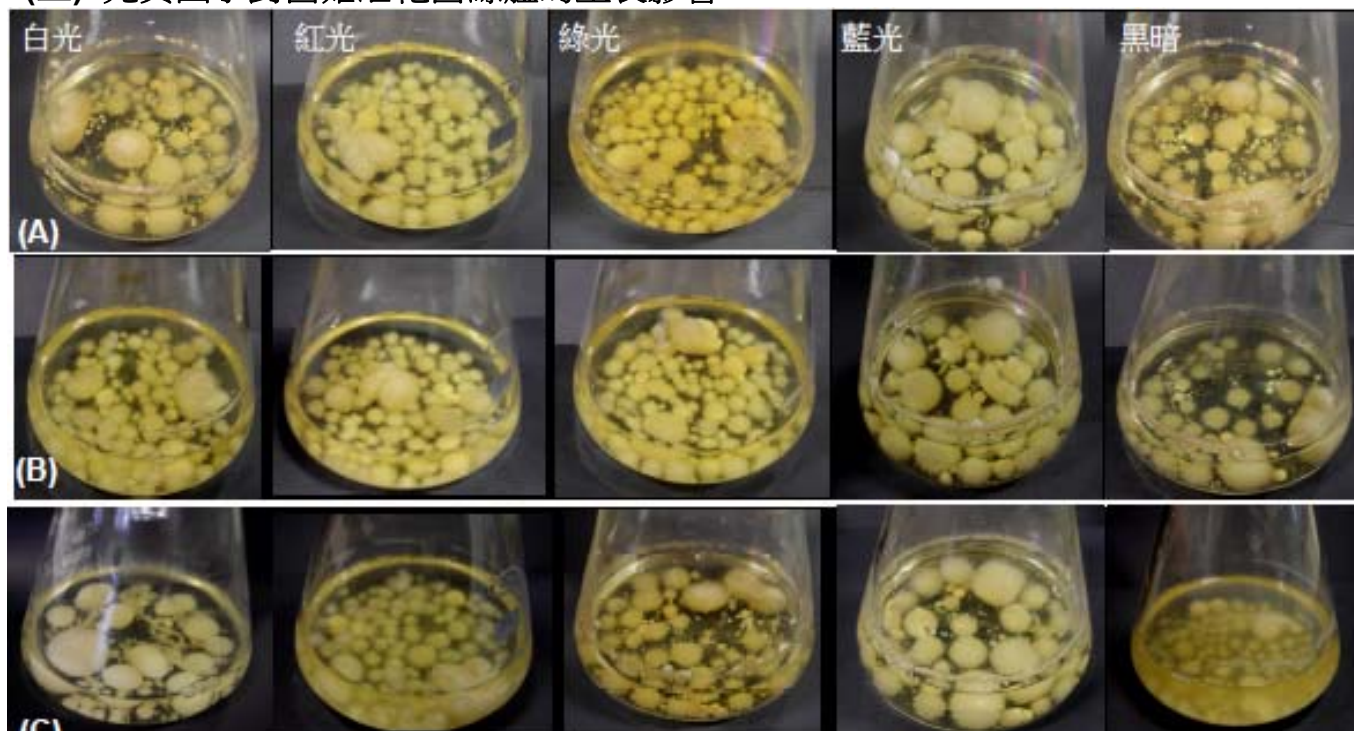
圖四十三、光質因子影響菌菇組織分離培養第十天之菌絲生長(A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇



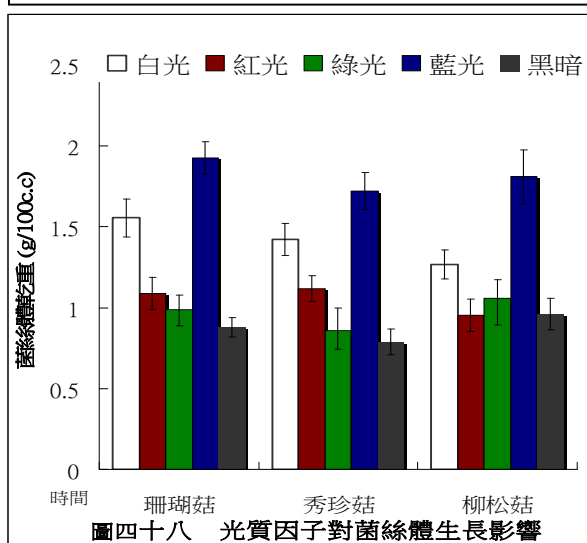
切割分離的不同食用菌菇塊在不同光質條件中，這三者菌菇的菌絲生長以黑暗組別最快，第三天培養時菌絲已明顯向外放射生長，至培養第八天，菌絲散布已覆蓋超過培養基一半以上，第十二天已完全散落於整片 PDA 培養基；相較紅光和綠光的處理，白光的組別菌絲生長緩慢，約有 20~30% 抑制效果，而且以藍光處理的菌絲又比白光組別，其菌絲生長更慢，相較黑暗環境下有 50% 抑制效果，以柳松菇、秀珍菇最明顯抑制情形，但有部分菌絲體大量聚集生長以致有似棉花堆積的絨毛出現，由此實驗結果得知菌絲生長階段中，連續黑暗的處理會促進菌絲的生長，但是培養基的菌絲生長會因為照光而受到抑制，尤其以藍光具有明顯抑制組織分離培養菌絲的生

長。

(三) 光質因子對菌菇活化菌絲體的生長影響



圖四十七、不同光質因子影響菌菇組織分離培養之菌絲生長 (A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇。



圖四十八 光質因子對菌絲體生長影響

活化菌菇菌絲體的第一天，依然維持接入 PDB 狀態培養基的一小方塊，且瓶中沒有其他菌落出現，到活化第三天，白光和藍光組別的菌絲體已完全包覆形成球狀體，瓶中同時有一點一點的小菌絲球體形成，而紅光和綠光組別在活化第五天才會有類似反應出現，但黑暗組別的小菌絲球體明顯稀少。活化第七天，小菌絲球體已明顯增長為清楚的菌絲球，而且藍光組別的菌絲球體的體積相較其他組別特別大，紅光和綠光組別的菌絲球體數量多但體積不大。我們進一步以抽氣過濾烘乾後得到菌絲球體的乾重，發現不論是珊瑚菇、秀珍菇或柳松菇以藍光處理均能促進菌絲球體的總產量增加，紅光、綠光相較黑暗組別，子實體的產量無顯著增加。

(四) 光質因子對菌菇胞外多醣體生成量的影響



圖四十九、不同光質因子影響菌菇胞外多醣體的產量 (A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇。

菌菇生長時會產生醣類，理論上生長菌絲球體愈多，胞外多醣體的含量會隨之提高，而我們進一步檢測發酵液中胞外多醣體含量。由實驗結果顯示試管中發酵液內多醣體的沉澱量，以藍光處理的組別相較其他光質處理，胞外多醣體的沉澱量最多，表示藍光處理這些食用菌菇不僅促進菌絲球體生成，同時促進發酵液的活性達到最佳程度可以產生較多的多醣體。

三、LED 藍色光質的強度因子對不同菌菇生長發育之研究：

(一) 不同強度的 LED 藍光對太空包栽培菌菇的子實體發育分化的影響

1. LED藍光強度對太空包栽培珊瑚菇子實體生長的影響



圖五十、不同強度的藍光因子影響太空包珊瑚菇栽培原基形成和子實體發育的影響 (A1)微光：第五天 (A2)弱光：第五天 (A3)強光：第五天 (A4)白光：第五天 (A5)黑暗：第八天。

透過藍光處理會誘導菌傘發育加快且顏色加深，菌柄也較粗，子實體產量有增加情形。以微光組別菌傘的寬徑最大，但色素顏色稍淺，而隨著藍光光線的增強，菌傘縮小但顏色加深，強光組別 ($20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 的菌傘邊緣多皺褶，由原基生長發育至成熟的子實體比例不及弱光組，由結果得知藍光促進子實體的發育分化和產量，以弱光組 ($10\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 達最佳。

2. LED藍光強度對太空包栽培秀珍菇子實體生長的影響



圖五十一、不同強度的藍光因子影響太空包秀珍菇栽培原基形成和子實體發育的影響 (B1)微光：第五天 (B2)弱光：第五天 (B3)強光：第五天 (B4)白光：第五天 (B5)黑暗：第八天。

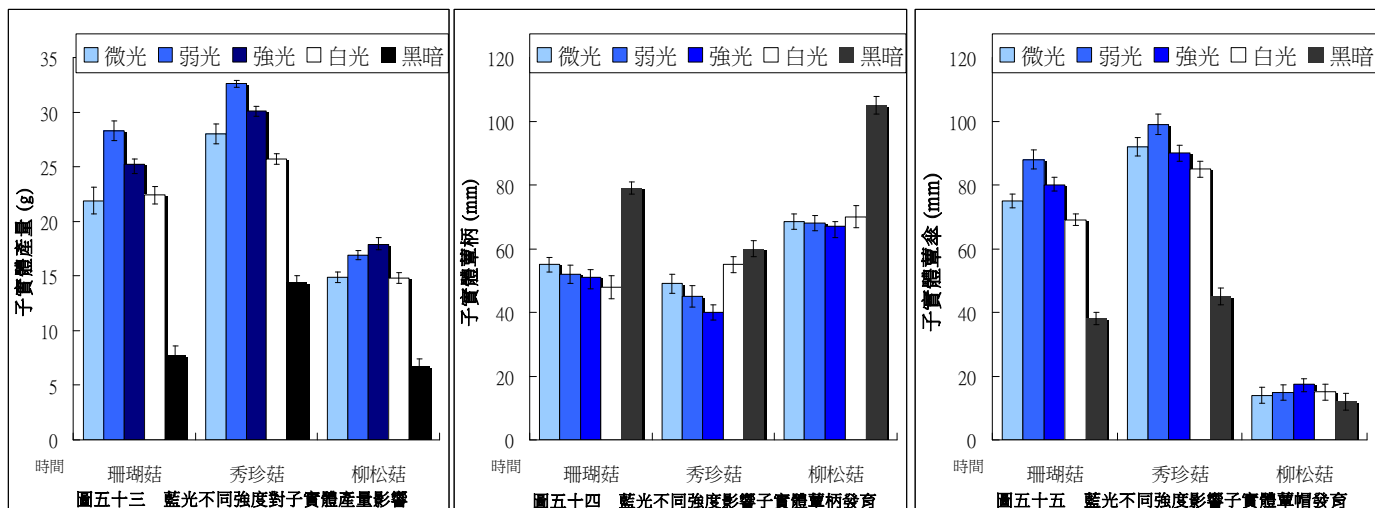
藍光處理的菌菇，其子實體菌傘顏色相較白光組明顯深色，且菌傘厚度大，菌柄直徑大。隨著處理藍光的強度增加，菌傘的色素也隨之加深，子實體產量也有增加情形；以強光組別最為明顯，藍光的強度有助於菌傘的發育和色素形成，子實體的發育分化以強光組 ($20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 的菌傘大而厚，且菌柄較粗。

3. LED光照強度對太空包栽培柳松菇子實體生長的影響



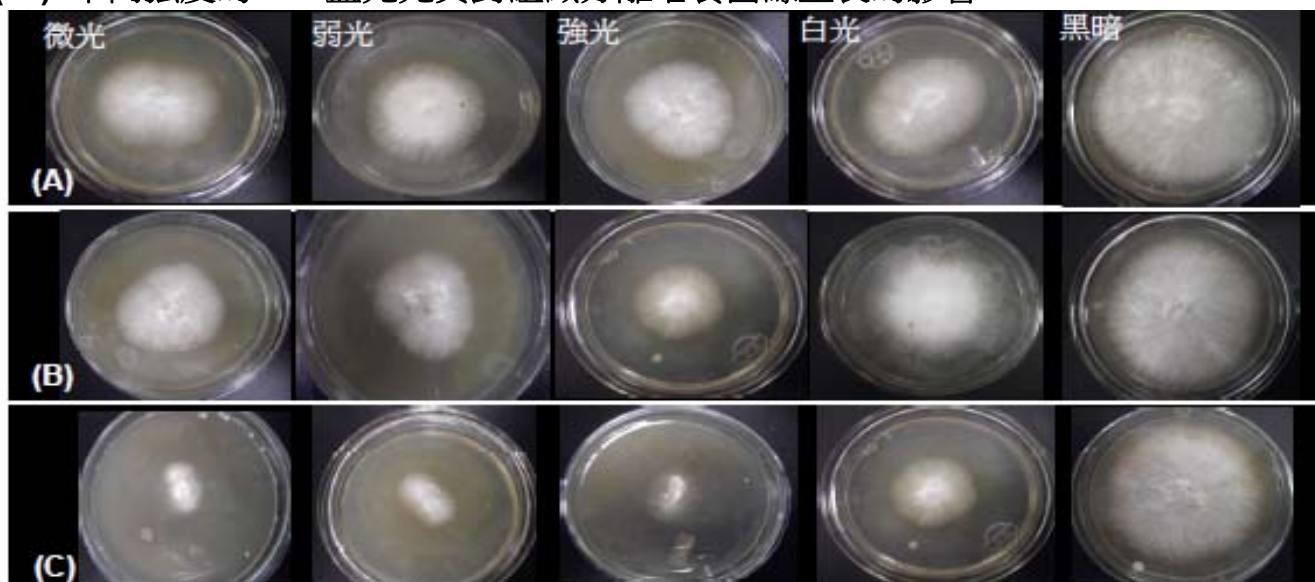
圖五十二、不同強度的藍光因子影響太空包柳松菇栽培原基形成和子實體發育的影響 (A)微光：第五天 (B)弱光：第五天 (C)強光：第五天 (D)白光：第五天 (E)黑暗：第八天。

藍光處理柳松菇有促進原基形成作用，子實體的菌傘較大色深，菌柄直徑大，且子實體產量提高，然而微光 ($5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 雖然可以刺激柳松菇原基形成，但是以強光組別 ($20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 的子實體產量達最高，藍光強度的提高對柳松菇的菌柄和菌傘發育有促進作用。

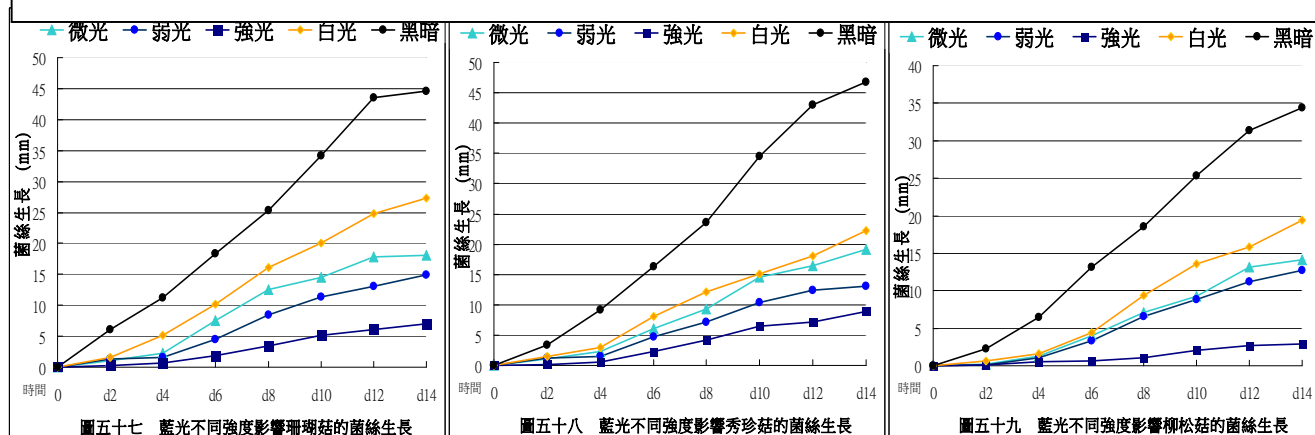


藍光對珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇的子實體發育有促進作用，包括菌帽直徑大小和菌柄長度的型態發育，尤以珊瑚菇的菌傘大小和秀珍菇的菌傘顏色最明顯表現；不同菌菇對藍光的強度需求不同，珊瑚菇以弱光照射表現最佳，而秀珍菇和柳松菇對藍光強度的需求則較高。

(二) 不同強度的LED藍光光質對組織分離培養菌絲生長的影响

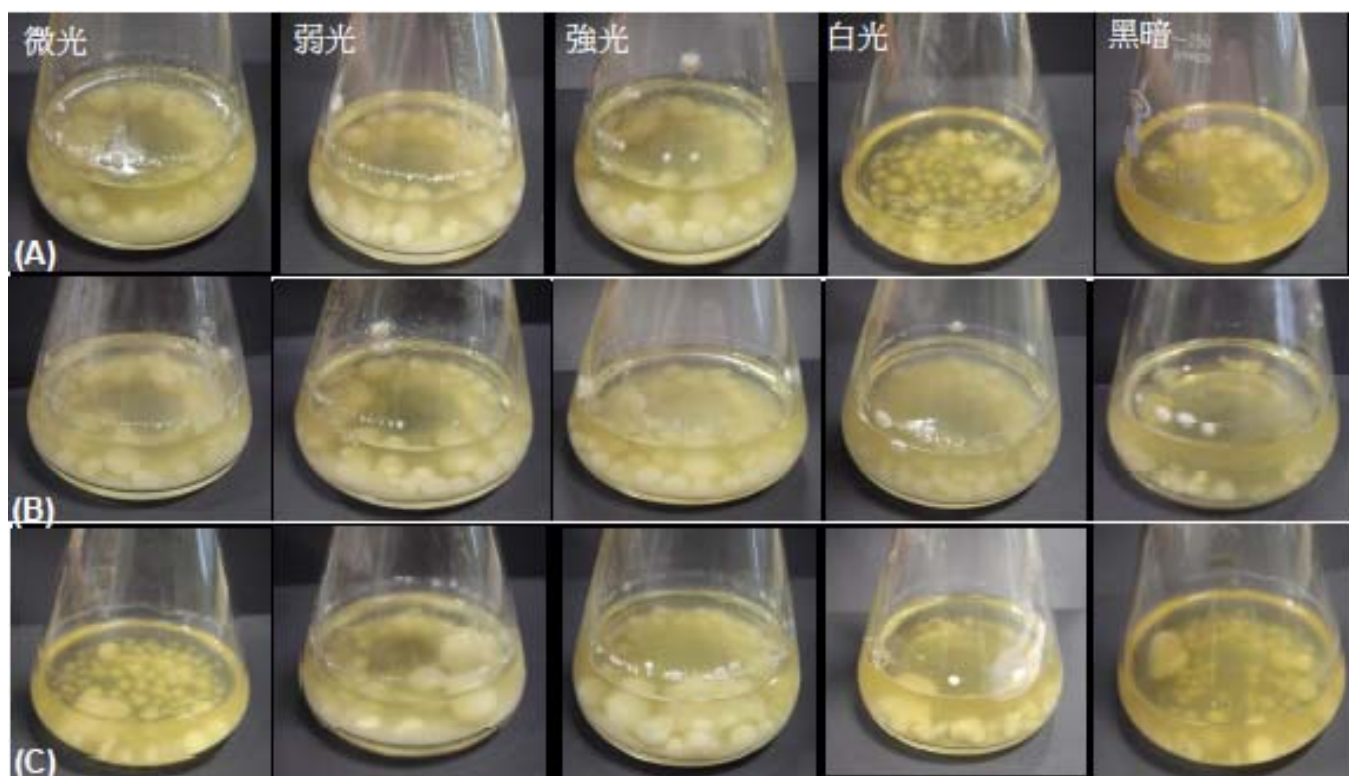


圖五十六、不同強度藍光影響組織分離培養菌絲生長 (A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇

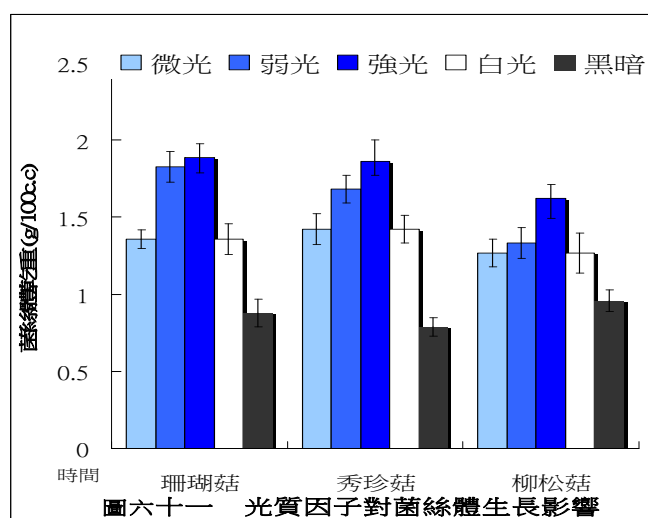


藍光對珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇的菌絲生長有抑制作用；藍光強度愈強，抑制菌絲生長的表現愈明顯，尤以柳松菇最明顯。

(三) 不同強度的 LED 藍光光質對活化菌絲體的影響



圖六十、不同強度藍光影響組織分離培養菌絲體的成長 (A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇



圖六十一 光質因子對菌絲體生長影響

黑暗處理的組別，到活化第三天依然維持接入 PDB 狀態培養基的小方塊，瓶中沒有其他菌落出現，直到活化第七天，才有少許的菌絲球體形成。而藍光處理的組別在第三天菌絲聚集明顯，菌絲體已完全包覆形成球狀體，而且有很多小菌絲球體形成，到活化第七天，小菌絲球體已增大為清楚的菌絲球，而且隨著光線強度的增加，菌絲球體的數目和體積也隨之增加。再以抽氣過濾烘乾後得到菌絲球體的乾重，發現藍光處理的組別其菌絲球體總產量，均高於白光或黑暗組別，且因為光強度的差異而影響菌絲球體產量，強光組別顯著較微光組別高。

(四) 不同強度的 LED 藍光光質對胞外多醣體生成的影響



圖六十二、不同強度藍光影響胞外多醣體產量的影響 (A)珊瑚菇 (B)秀珍菇 (C)柳松菇

實驗結果顯示，胞外多醣體沉澱量會隨著各組間強度的提高而增加，強光處理食用菌菇的沉澱量最多，表示藍光的強度會改變發酵液中胞外多醣體的生成量。

四、LED 藍色光質因子在菌菇不同的生命週期生長發育之研究：

(一) 藍光對菌菇在不同生活史階段中處理對子實體發育分化的影響

1. 藍光對太空包栽培珊瑚菇不同生命階段的子實體生長影響



圖六十三、LED 藍色光質因子在珊瑚菇不同的生命週期生長發育之研究。(A)原基出現之前 (B)原基出現之後 (C)出菇之後 (D)全程藍光 (E)全程黑暗處理。

藍光在不同生活史階段中介入處理，對菌菇生長分化產生不同情形。在原基出現之前以藍光處理，一旦原基出現立即中斷藍光，繼續黑暗處理對子實體的生長和分化和全程以黑暗組別相似，分化的子實體數目罕少，型態呈畸形狀，色白、柄細、傘小等徵狀，然而原基出現之後才以藍光處理，出菇又中斷藍光，菌傘出現顏色的分化但菌傘形狀小，且子實體產量少，出菇後才以藍光處理的組別其生長分化的子實體，菌柄粗、菌傘大且顏色深，子實體產量高。珊瑚菇在菌絲生長階段照射藍光會促使原基大量形成，但是這些原基在黑暗中無法發育成正常的子實體，意味照光的時間點會影響子實體的發育特徵。

2. 藍光對太空包栽培秀珍菇不同生命階段的子實體生長影響



圖六十四、LED 藍色光質因子在秀珍菇不同的生命週期生長發育之研究。(A)原基出現之前 (B)原基出現之後 (C)出菇之後 (D)全程藍光 (E)全程黑暗處理。

秀珍菇在不同生活史階段以藍光介入處理，在原基出現之前以藍光處理，再繼續黑暗處理對子實體的生長和分化具有抑制的影響力，原基分化成幼子實體，其形狀畸形，且成熟的子實體數量少，且色白、柄細、菌傘小等徵狀，所以菌絲生長時期照射藍光無助於子實體型態的發育和分化，然而原基出現之後才以藍光處理，出菇又中斷藍光，菌傘的色素出現如正常子實體一般，似乎細胞具有「記憶」功能，因為出菇前藍光的刺激仍可促進子實體發育分化；但出菇後才以藍光處理的組別其生長分化的子實體，原本菌傘色白，藍光照射 12h 後色素即產生，菌傘顏色深且厚，菌柄粗，子實體產量也高，而且相較全程藍光處理組別，子實體發育所需天數短。

3. 藍光對太空包栽培柳松菇不同生命階段的子實體生長影響



圖六十五、LED 藍色光質因子在柳松菇不同的生命週期生長發育之研究。(A)原基出現之前 (B)原基出現之後 (C)出菇之後 (D)全程藍光 (E)全程黑暗處理。

柳松菇在原基出現之前以藍光照射，之後連續黑暗對子實體的發育產生抑制，相較於全程藍光處理的子實體菌傘小且色略淺等徵狀，而菌絲生長早期處理藍光連續照射相較原基出現之後才以藍光處理，其生長分化的子實體產量些微減少，且菌柄較細。結果顯示原基發育時期要避免照射藍光，才有助於子實體的發育。

陸、實驗討論

一、光在菌菇生長發育扮演的重要角色：

光，是個重要的能量來源，提供生命能量，眾多生物依賴或對光具有反應，直接影響生長，或間接改變發育過程，是一切生命要素。尤其是植物而言，光是很重要的環境因子，不僅啟動植物的光合作用，亦可以調節植物生長及生理上的機制，如種子發芽、幼苗生長到成熟開花都受光照影響(許謙信，2012)。本研究發現這三者食用菌菇需要光誘發子實體發育分化，由國內、外文獻報導也得到印證。但我們思索著「光」對於非光合性的蕈類在演化上的意義為何？菌菇生活史可分為兩大階段：營養菌絲生長時期和子實體分化時期。前者菌絲源自於隨風落地而萌發的孢子，這些孢子在暗無天地土壤中進行延伸生長，佈下天羅地網的不同基因型菌絲彼此交配形成雙核菌絲，這些營養菌絲終究對於擴大地盤範圍仍有所侷限，其需藉由遽大的型態分化發育為子實體，以孢子傳播來散布後代達到基因的延續。我們常看到雨過天晴之後草地上森林底層上的「仙女環」，這些如雨後春筍的子實體主要目的要產生大量孢子，而蕈類之所以能讓孢子飄起來，使用的是蒸發冷卻原理，孢子即將散布之前，蕈類上面的小水滴會蒸發產生夠多的水蒸氣，使孢子升高、彈出去，故雨過天晴通常是蕈類出菇的最佳時機，而光線可能就是「通知」菌絲要進一步分化轉變型態為子實體，沒有雨滴的阻擾才能盡其所能散播孢子(Rachel, 2014)！近年來許多報導陸續發現光照對於蕈類生長發育的確扮演重要的調控因子，光線波長和強度在食用菌菇生產中對菌絲生長、原基形成及子實體發育分化具有關鍵的影響。

本實驗結果指出光照對於蕈類的生長發育是重要的調控因子，白光照射下會抑制珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇菌絲的生長延伸，此結果和李欣樺報導指出光線對於阿魏菇的菌絲生長具有抑制作用相符(李欣樺，2008)，趙春巧(2014)文獻指出在金針菇子實體生長階段缺乏光照會使菌柄纖細、直徑變小；黑木耳在室外栽培，接受陽光照射的一面黑木耳色澤深，背光的一面卻色澤淺。以上說明光照是食用菌菇生長發育過程中一個不可忽略的因素，光照雖然抑制食用菌菇的菌絲生長但能促進原基形成和子實體正常發育。

光線波長是光線影響食用菌菇菌絲及子實體生長發育非常關鍵的因素，據報導，光譜中的藍色區域對菌絲生長有一定的影響，對靈芝、平菇、鳳尾菇菌絲生長均有抑制作用，而對香菇、木耳等反應不靈敏，另外紅色波段的光線相對於其他波段光線對食用菌菇菌絲生長阻礙作用較弱(林標聲，2013)。我們在太空包栽培食用菌菇實驗中發現，藍光照射下的珊瑚菇和秀珍菇原基數量雖不及白光組別多，但發育子實體蕈傘較大且厚，色素明顯加深，蕈柄也較粗，子實體產量有增加情形，此現象與前人的研究藍光可以刺激阿魏菇原基時期色素的生成(Jang, 2013)和有利於誘導菇蕾形成和發育(周玲玲，2014)相符。黃再財的研究報導指出紅光與遠紅光 LED 處理下子實體的產量比白光處理高(黃再財，2010)，對菌絲生長有阻礙作用的藍色波段區可以誘導一些食用菌菇形成原基，光譜中過量紫外光與藍色光對香菇、平菇、鳳尾菇、金針菇等食用菌菇的原基形成有促進作用，光照強度對食用菌菇菌絲生長、出菇、產量、菇型態特徵及色澤等方面也有影響，並且不同的光照強度可以改變蕈柄長度和蕈傘寬度間的比例關係。我們實驗結果指出藍光強度提高會促進秀珍菇蕈傘色澤加深且厚度大，蕈柄直徑大，子實體產量也有增加情形；藍色波長微光強度雖然可以刺激柳松菇原基形成，但藍光強度的提高對柳松菇的蕈柄、蕈傘發育和子實體產量有促進作用，以及縮短出菇的天數。此結果和報導金針菇栽培中，隨著光照強度增加，菇

體色澤逐漸加深，且蕈傘變大，褐斑增多，蕈柄變粗變短，但會造成商品價值變低；鮑魚菇原基分化時，**100lx** 散射光較好，原基分化速度快、子實體型態粗壯、數量也多(趙春巧，2014)。以上說明不同菇種對光質強度的條件需求不盡相同。

除此之外，香菇在菌絲生長階段以藍光 **LED** 連續暴露之下相較白光日光燈照射，會提高子實體的產量和品質，平菇和杏鮑菇在子實體形成過程中以藍光處理，也會促進蕈類型態發育，舞菇在原基階段以強光處理會提高子實體產量(Yasumasa，2011)。蕈類對光照具有「記憶」功能，即使接受的光照時間極短，也會影響隨後在黑暗環境中的發育。我們在秀珍菇原基形成照射藍光但出菇時立即中止，其發育分化出來的子實體呈正常樣子。目前普遍認為食用菌菇營養菌絲生長階段不需要光線誘導，但轉變至生殖時期不同生長階段時則需要適量的光誘導，文獻發現黑暗的條件下不能形成原基，但若給予光照，就能產生大量的子實體；仍有少數蕈類例如蘑菇和大肥菇可以在完全黑暗的條件下正常發育為子實體(林標聲，2013)。

二、光線影響蕈類生長發育之機轉調控：

據文獻報告指出食用菌菇中存在類似植物光合色素的物質，即光波接受器(感光系統)，光接受器目前已知有三大類對真菌具重要性的光接收器 (Alfredo, 2007)。

光接收器種類	發色團	吸收光	脫輔基酶
綠光接收器	Retinal	綠光	Opsin
紅光接收器	Phytochromo/bilin	紅光、遠紅外光	Phytochrome
藍光接收器	Flavins	藍光、UV-A	Phtolase/Cryptochrome

文獻指出真菌類亦具有藍光接收器中的發色團 (**Chromophores**)，經實驗發現在藍光 **430~490 nm**的照射下會促進分生孢子的產生，以及藍光會促進阿魏菇原基形成，原基發育階段色素的發生和真姬菇子實體產量提高(Jang，2013)。當菌菇的藍光接收器**White Collar (WC-1)**及**VIVID**抑制表現，則會干擾子實體的正常發育。目前報導有關光對食用菌菇生長發育的結果表明，除藍光接受器(受體)之外，**VeA**基因和 **dst2**基因也是食用菌菇感受藍光的重要調控基因 (Alfredo, 2007)。蕈類細胞內光接受器接受特定光波照射，如何藉由細胞內轉錄和後轉譯的基因調控，關於光控制蕈類在不同生活史階段的生理代謝途徑和發育分化表現的複雜過程之研究還有很長的路要走。

本研究發現不同光波長對食用菌菇發育分化會造成有不同的影響，但是對於不同光波長如何影響蕈類的生長和代謝調控的機制仍不明朗，若能進一步探討其機制和代謝途徑，例如胞外多醣體代謝產物的定量分析等，則能更有效調控光質和光強度條件達成高產量的利用價值。

柒、結論

我們以食用菌菇為研究材料，利用具綠色環保、壽命長、低熱能和提供精確度極高的特定波長優點 **LED** 光源，研究各光質對蕈類菌絲與子實體分化發育在調節生長及生理上的機制，在不同光質和光強度處理菌菇之下，結果發現經過藍光 **LED** 照射珊瑚菇、秀珍菇和柳松菇的會誘導了原基的形成和子實體的發育，包括蕈柄的高度和蕈帽色素的形成。藍光處理菌絲時期，會誘發原基大量形成，而且子實體產量增加，藍光強度提高照射還使珊瑚菇的菌蓋增大，蕈傘顏色變深，秀珍菇的肉質變厚；柳松菇的蕈柄莖部變粗，藍光的強度有效地影響子實體發育的型態。但是對於在培養基秀珍菇菌絲的生長具有抑制效果，光線強度愈強菌絲生長愈慢；或柳松菇菌絲生長早期處理藍光會造成子實體不正常發育及產量減少，而處理珊瑚菇則出現大量原基。綜合以上結果藍光 **LED** 在不同菌菇生長階段給予處理會影響子實體發育特徵，且透過光環境強度的調整可以改變子實體的型態和產量，藉此實驗尋找不同菌菇的最佳生長光源條件以提高子實體的產量和品質。對於不同光波長如何影響蕈類的生長代謝上的機制仍不明朗，若能找到光對其影響的機制或途徑，便可了解光在菌菇中所扮演的角色，更有效調控光這個環境因子達成高產量的目的。

捌、參考文獻

- 一、李欣樺、洪進雄、薛智升、甘祥佑、謝易薨(2008)。低溫及 **LED** 光質處理對阿魏菇原基誘導之影響，*Fung. Sci.*23(1-4)：p1-10。
- 二、林佳儀(2010)。探討光照對樟芝生產三萜類及胞外多醣之影響。國立中央大學化學工程與材料工程所碩士論文，未出版，桃園縣。
- 三、林標聲(2013)。紅平菇生產栽培中光質、光照條件研究，*東北農業大學學報*：44(5)。
- 四、周玲玲(2014)。光質對工業化栽培杏鮑菇產量和品質的影響。*江蘇農業學報* 30(1)：p25-p26。
- 五、許謙信(2012)。**LED**照明對植物生長及發育之影響，*台中區農業改良場一〇一年專題討論專集*：p243-246
- 六、康志傑(2013)。點亮未來，**LED**照明，*科學發展*483期：40-46。
- 七、黃再財(2010)。金頂側耳菌絲體生長與出菇條件之研究。屏東科技大學農園生展系所碩士論文，未出版，屏東縣。
- 八、趙春巧、謝放、吳萍民(2014) 環境因素對食用菌有性發育影響的研究發展。*中國農學通報* 30(13)：p87-92。
- 九、影響菇類菌絲多醣體生成的培養條件研究，第48屆科學展覽高職組農業及生物科技科。
- 十、Rachel Nuwer (2014) 蘑菇自力更「升」。科學人雜誌 145：p24。
- 十一、Afredo, H. E., Benjamin, A. H. (2007), **Looking through the eyes of fungi : molecular genetics of photoreception**. *Molecular Microbiology*, 64：5-15.
- 十二、Myong-Jun Jang, Yun-Hae Lee, Young-Cheol Ju, Seong-Min Kim and Han-Mo Koo (2013), **Effect of Color of Light Emitting Diode on Development of Fruit Body in *Hypsizygus marmoreus***, *Mycobiology* 41(1)：63-66.
- 十三、Yasumasa, M., Kazuhiko, M.(2011), **Light-Stimulative Effects on the Cultivation of Edible Mushrooms by Using Blue LED**. *ICMBMP7*：58-67.

【評語】 030312

1. 此作品欲探討不同的 LED 光質及光強度，對食用菇類之子實體及菌絲體生長與發育的影響。
2. 實驗的構想很好，對相關產業可能具有應用價值。
3. 該作品內容豐富，觀察細微且記錄詳實。
4. 實驗設計已具三重複的作法，建議折線圖仍應顯示其標準偏差；若能對這些數據進行統計測試分析，則更具科學化數據的概念。