

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第二名

032911

通風報「葷」，「畸」不可失—發展食用菇類之
形態變異栽培技術

學校名稱：高雄市立仁武高級中學

作者： 國二 陳彥勳 國二 周家維 國二 陳劭齊	指導老師： 蘇毓智 林姝君
---	-----------------------------

關鍵詞：旋風孵菇器、畸形菇、形態多樣性
(polymorphism)

摘要

菇類是真菌界的生物，發育受到各種環境因子的影響，市面上許多人工栽培的「畸形菇」，雖形態變異卻更具價值。我們結合颱風的結構，開發「旋風孵菇器」使栽培標準化，將六種食用菇的基質填裝在不同容器中，以扭蛋菇進行後續測試，並測試出最適發菇溫度；以扭蛋殼半開組控制發菇位置，利用無光和密閉環境使菇類形態變異。我們發現：無光使大多數菇種菇蕾增加，發菇提早，但生長緩慢，且蕈傘變白。通氣程度是菇體畸形的關鍵，應是受CO₂濃度的影響，秀珍菇和白雪菇不開傘、藍寶石菇多分枝、玫瑰菇變鹿角狀、柳松菇蕈柄延長，珊瑚菇則是半通風環境下會巨大化；容器形狀不影響形態發育。最後，歸納出多種食用菇盆栽畸形化的栽種方法，供大眾參考。

壹、研究動機

「菇」是大型真菌，主要由菌絲體組成，在菌絲生長期，會儲存大量從基質吸收的營養，等待營養充足時將長出子實體並發散孢子，而影響菇生長的環境因子有很多，例如：光線、溫度、濕度、通風等（Chiu & Moore, 2021）。一般栽培菇類時使用的太空包木屑或段木栽培，是直接將菇類的雙核菌絲植入，菌絲走菌完成，給予適當刺激便可發菇。去年的科展作品「菇菇蛋自強」中，將太空包基質填裝在扭蛋殼中做成「扭蛋菇」，斷裂的菌絲經過修復可以發菇，可使菇類栽培微型化（陳彥勳等，2021）（見表一）。

我們在網路上看過一篇報導，有人將溫室的培養溫度從 16 度調高至 24 度，但杏鮑菇子實體最適宜的生長溫度是 15-21 度，因為溫度改變，導致杏鮑菇蕈傘上冒出大量菇蕾（人民網，2013）。另外，野生與人工栽培的杏鮑菇形狀也極為不同，野生通常蕈傘較寬、蕈柄短且粗，人工栽培的蕈傘小、蕈柄極長（網路資料）（見圖一）。

金針菇是好氧性真菌，對空氣中的 CO₂ 濃度反應很敏感，人工栽培的金針菇是將太空包利用一個高的塑膠筒圍繞起來，使 O₂ 濃度降低（網路資料），但因為是商業機密，只能大略知道是 CO₂ 濃度影響；而鹿角靈芝則是在 CO₂ 濃度高約 11000 ~ 13000ppm 的環境下，使蕈傘不開，蕈柄分岔像鹿角而得名（網路資料）（見圖一）。由此可知，調整環境因子可能使菇類子實體形態變異，有時這種畸形菇可能更具產值。

在去年的科展作品「菇菇『蛋』自強—微型化菇類子實體培養實驗，探討不同逆境條件下的出菇表現」中，我們開發了「扭蛋菇」（見圖二），雖然小巧可愛，但產量不及太空包，教授建議我們往「開發禮品價值」發展；由於去年栽培條件不精確，偶有菇體畸形情況，今年，我們希望找到原因並加入實驗，嘗試證明畸形未必不好，或許可使「療癒系食用菇盆栽」具多種形態變化、提升多元價值，因此設立今年的研究目標：

- 一、 開發簡易環控孵菇裝置
- 二、 探討環境因子對子實體形態變異的影響
- 三、 提出各種不同形態變異食用菇盆栽的栽培方法



圖一、市面上商品化畸形菇（形態變異）例子（網路圖片）



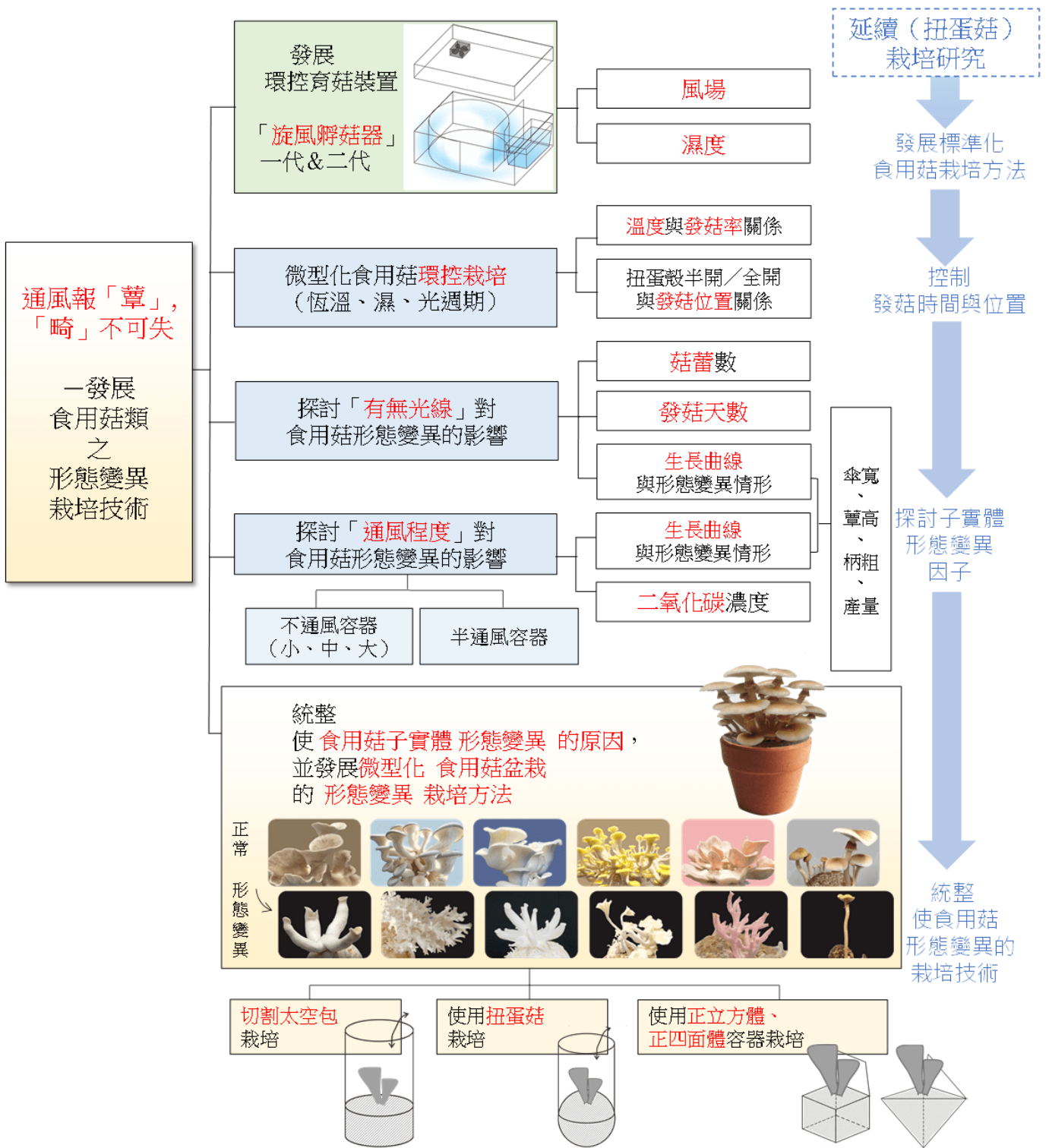
圖二、市售太空包菇菇盆栽（左）
2021 年開發的扭蛋菇（右）

表一、歷屆科展與菇類生長環控因子有關的作品

屆別	標題	發現
54	菇 Go! 非「光」不可	1. 食用菌菇，其生長和發育需要光的誘導，且藍色的 LED 燈會促使子實體產量增加、肉質變厚，但藍光處理對組織分離培養菌絲的生長具有抑制效果。
58	菇 Go! 背地一「站」	1. 蕈菇如同植物具有「向地性」，當完全切除蕈傘，則無法表現「向地性」 2. 向地側細胞生長相較遠地側，大約有 2 倍長度的差異。
61	菇菇「蛋」自強—微型化菇類子實體培養實驗，探討不同逆境條件下的出菇表現	1. 利用扭蛋殼填裝木屑可使菇類培養基質體積縮小做成 扭蛋菇 ，可增加實驗樣本、教育使用、或作為療癒商品。 2. 電擊、溫差、冰凍等刺激，會使秀珍菇發菇率提高但無法增加產量。 3. 不同菇類的栽培溫度都不相同。
本次科展(延續)	通風報「蕈」，「畸」不可失—發展食用菇類之形態變異栽培技術	一、 開發簡易環控育菇裝置「旋風孵菇器」 二、 探討環境因子對子實體形態變異分化的影響。 (一) 限制發菇位置。 (二) 探討黑暗與通風程度對子實體形態變異的影響。 三、 提出各種不同形態食用菇盆栽的栽培方法。

貳、研究目的

- 一、發展小型環控菇類栽植方式「**旋風孵菇器**」並加入扭蛋菇進行實驗
 - (一) 旋風孵菇器風場、濕度
 - (二) 第二代旋風孵菇器
- 二、微型化食用菇環控栽培
 - (一) 不同溫度下的**發菇率**
 - (二) **發菇位置**的探討
- 三、探討**光照**對菇類子實體發育的影響
 - (一) 發菇天數
 - (二) 菇蕾數
 - (三) 生長曲線
- 四、**密閉空間**對菇類子實體發育的影響
 - (一) 密閉容器（大／中／小）的生長曲線
 - (二) 開放式密閉容器的生長曲線
 - (三) CO₂濃度變化
- 五、整理菇類子實體**形態變異**的原因並使**食用菇盆栽**培養商品化
 - (一) **密閉空間+不照光**對子實體發育的影響
 - (二) 利用**切割太空包**培養畸形菇
 - (三) 利用**扭蛋菇圍繞投影片**培養畸形菇
 - (四) 利用各種**不同容器**栽培
 - (五) 統整使食用菇類**形態變異**的栽培方法



圖三、研究架構圖

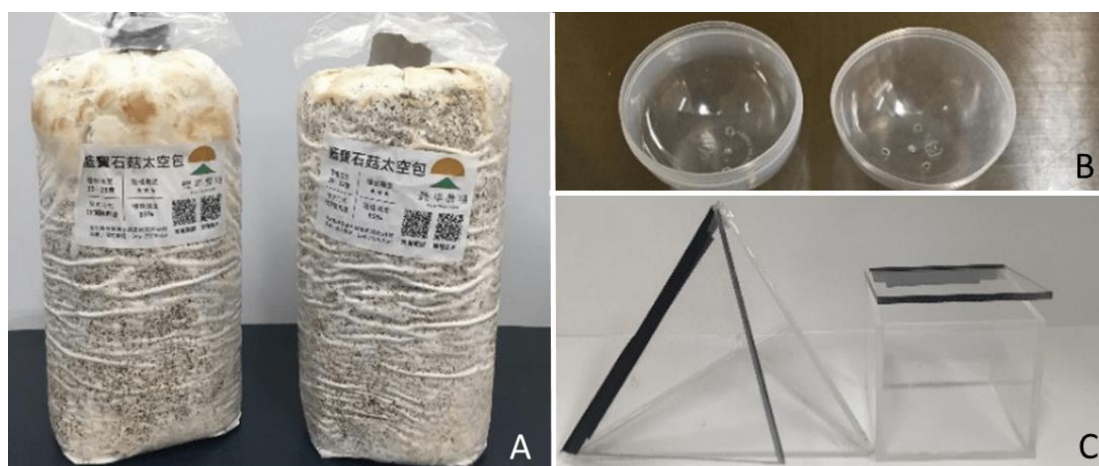
參、研究設備及器材

一、本研究使用的器材

儀器	耗材
無菌操作臺（海天 4HC-24）、植物生長箱（COCONO.LR-509）、恆溫培養箱（YUH CHUEN CHLOU.GRT-815HI）、電子游標測微尺（Mitutoyo）、熱線式風速計（型號 AM-4204）、CO ₂ 偵測器（型號 GC-2028）、電腦風扇（輸入 3.4~4.3W110V）、電子霧化器（型號 HSBA48U2400750）、恆溫加熱棒（AZOO，輸入 200W100V/60Hz）。	太空包（秀珍菇、藍寶石菇、白雪菇、珊瑚菇、玫瑰菇、柳松菇）、扭蛋殼（7.5cm）、正四面體和正立方體容器、壓克力板、壓克力切割刀、網格塑膠片、果凍杯、布丁杯、保鮮膜、鋁箔紙、抽氣罐、瓦楞板、鋁膠帶、塑膠盆（各種尺寸有無網洞）。



圖四、本實驗使用的儀器：A 植物生長箱（大）、B 無菌操作臺、C 恆溫培養箱（小）、D 電子游標測微尺、E 熱線式風速計、F CO₂偵測器、G 電腦風扇、H 電子霧化器、I 恆溫加熱棒。



圖五、本實驗的耗材：A 太空包、B 扭蛋殼、C 正四面體、正立方體容器。

二、本研究選擇的菇種及太空包（購自豐年生態農場，資料來自網路及商品簡介）

秀珍菇	<i>Pleurotus pulmonarius</i> var. <i>sajor-caju</i> （或） <i>P. sajor-caju</i>	
	「秀珍菇」為一商品名，並非學術性命名，是鳳尾菇的幼年子實體（李瑋崧，2009），富含維生素 B1、B2、維生素 C，經冷熱溫差刺激後可提前發菇，是台灣相當重要的經濟作物。	建議栽培 溫度： 22-28°C
藍寶石菇	<i>Pleurotus columbinus</i> （或） <i>Pleurotus ostreatus</i> var. <i>columbinus</i>	
	屬於蠔菇屬，據商家所述，此為韓國品種（韓國蠔菇），在台灣為秋冬季種植採收的菇種，氣溫越高使蕈傘顏色越深藍，但蕈傘張開時顏色會變得較淺。	建議栽培 溫度： 18-24°C
白雪菇	<i>Pleurotus</i> sp.（或） <i>Pleurotus ostreatus</i> var. sp.	
	據廠商所說，這是藍寶石菇的白化品種，但在科博館對秀珍菇的介紹中亦提到，秀珍菇有一個白化變種稱為白雪，因此學名暫時不確定，暫定為 sp。外型雪白，適合尿酸者食用，此菇種只在冬季生產，產期只到冬季結束。	建議栽培 溫度： 14-22°C
珊瑚菇	<i>Pleurotus citrinopileatus</i>	
	也叫金頂側耳、金頂蘑，屬於耐高溫、易栽種的菌種，蕈傘金黃色，且不一樣的是先長原基後才開始發菇，大約長至如指甲大時可採收。	建議栽培 溫度： 22-28°C
玫瑰菇	<i>Pleurotus salmoneostramineus</i> （或） <i>P. djamor</i>	
	也叫鮭色蠔菇、鮭色鮑魚菇、桃紅側耳，是印度引進的新品種，為高溫下發菇的菌種，有淡淡海鮮味（蟹味），因為內含胡蘿蔔素讓它呈現粉紅色，幼年時期顏色較粉紅，成熟後蕈傘顏色會變得較淺。	建議栽培 溫度： 22-28°C
柳松菇	<i>Agrocybe cylindracea</i>	
	屬於田頭菇屬，是高溫、強光下發菇的菌種，一般會在未開傘時採收，為高纖菇種，料理時久炒不爛，是市面上很受歡迎的菇種。	建議栽培 溫度： 24-28°C

肆、研究過程或方法

一、微型化食用菇栽培流程：

填裝基質於容器或切割太空包 → 走菌修復 → 冰箱冷藏 → 環控培養 → 採收

二、「基質」準備流程（在無菌操作臺下操作，將長滿菌絲的太空包木屑填裝於不同容器）

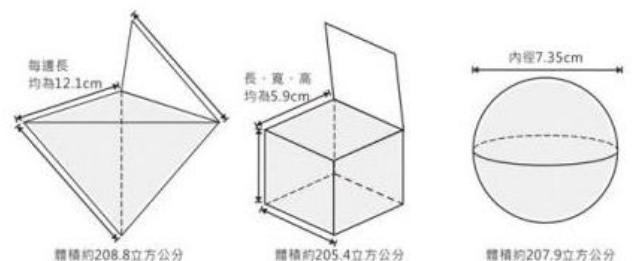
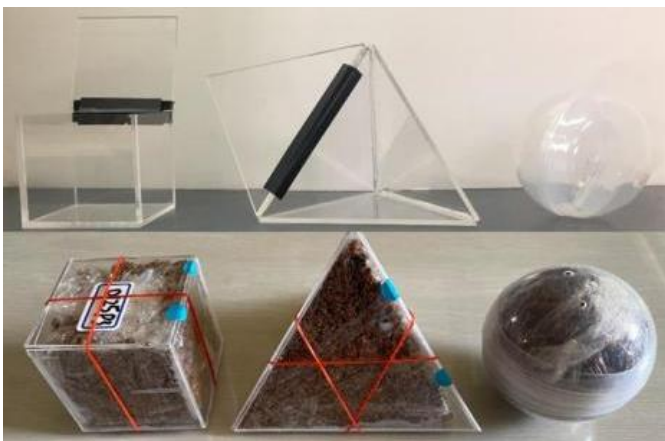
（一）切割太空包：將每個太空包切成三段進行實驗。

（二）填裝**扭蛋菇**的方法（方法參考自陳彥勳等，2021）

1. 在已消毒的塑膠盤中，將太空包基質切成小塊（含菌絲）。
2. 秤 140g 小塊基質並添加 7g 水，置入已鋪上保鮮膜的紙碗。
3. 將保鮮膜連同基質一起放進內徑 7.35cm **扭蛋殼**中，用封口膜把扭蛋殼密合
4. 貼上標籤（格式編號『例如: 0101S01』，S 秀珍菇、B 藍寶石菇、W 白雪菇、C 珊瑚菇、P 玫瑰菇、L 柳松菇，030701 代表 3/7 的第一顆）
5. 在扭蛋殼兩邊孔洞處以牙籤刺穿保鮮膜後，放入 24°C 暗室中走菌修復 4 天
6. 放冰箱冷藏兩週（只有柳松菇例外，放常溫照光）。

（三）正立方體、正四面體容器組裝及填裝方法（見圖六）

1. 正立方體 5.9cm*5.9cm*5.9 cm。
正四面體：邊長 12.1cm 的正三角形四片所組成（體積約 205~208 cm³）
2. 秤 140g 小塊基質並添加 7g 水，置入已鋪上保鮮膜的容器中，注意將角落填滿並壓緊，以牙籤刺穿保鮮膜，蓋緊蓋子並用橡皮筋固定。
3. 貼上標籤，放入 24°C 暗室中走菌修復 4 天，放冰箱冷藏兩週。



圖六、正立方體、正四面體、扭蛋殼說明圖（上排）、實際照片（左上排）及填裝基質木屑後（左下排）

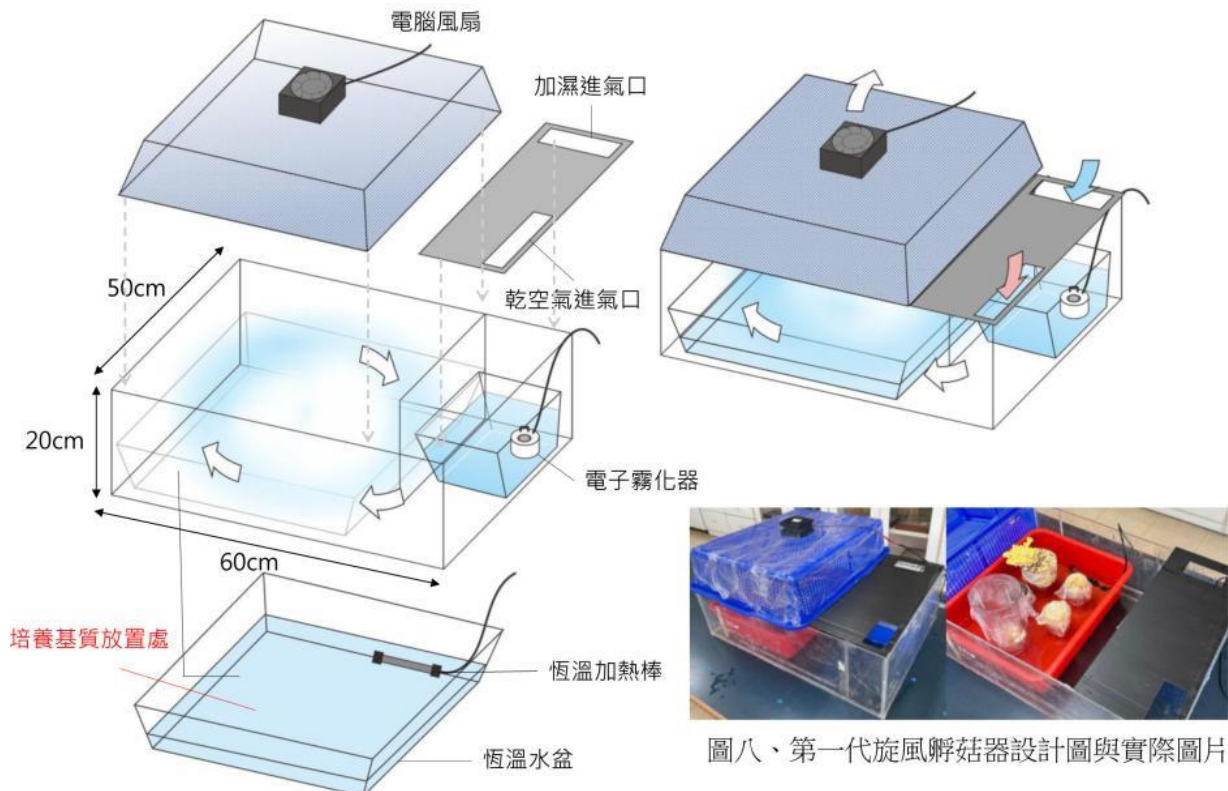
三、環控培養裝置：旋風孵菇器（見圖七、八）

我們希望開發出，能維持濕度、達到控溫並通風的裝置來栽培菇類，從日常生活觀察屋頂抽風裝置、颱風上升氣流中的螺旋型結構作為發想，開發出旋風孵菇器。



圖七、旋風孵菇器設計原理

- (一) 壓克力箱：長 65cm，寬 50cm，高 20cm。
- (二) 造霧水槽：將電子霧化器放入小水盆，大約裝 3/4 的水，利用連通管維持水位。
- (三) 上蓋進氣口
 1. 水槽前方開一個進氣口（俯視圖右下角，乾空氣進氣口）。
 2. 水槽後方開一個進氣口（俯視圖右上角，加溼進氣口）。
 3. 頂端蓋上塑膠網盆（15cm 高），包上保鮮膜，挖一洞在中央，安裝抽風裝置。
- (四) 抽風裝置：安裝電腦風扇，置於塑膠網盆洞口，並向上抽氣。
- (五) 恆溫水盆：在壓克力箱中，放一較小的塑膠盆，裝水及恆溫加熱棒維持溫度。



圖八、第一代旋風孵菇器設計圖與實際圖片

(六) 恆溫控制：由於恆溫加熱棒只能加溫，故孵菇器須配合季節或低溫培養箱使用

1. 如果要低溫培養（18~24℃），將孵菇器直接放在低溫培養箱內。
2. 如果要高溫培養（24~28℃），將恆溫加熱棒放在孵菇器內，隔水加熱。

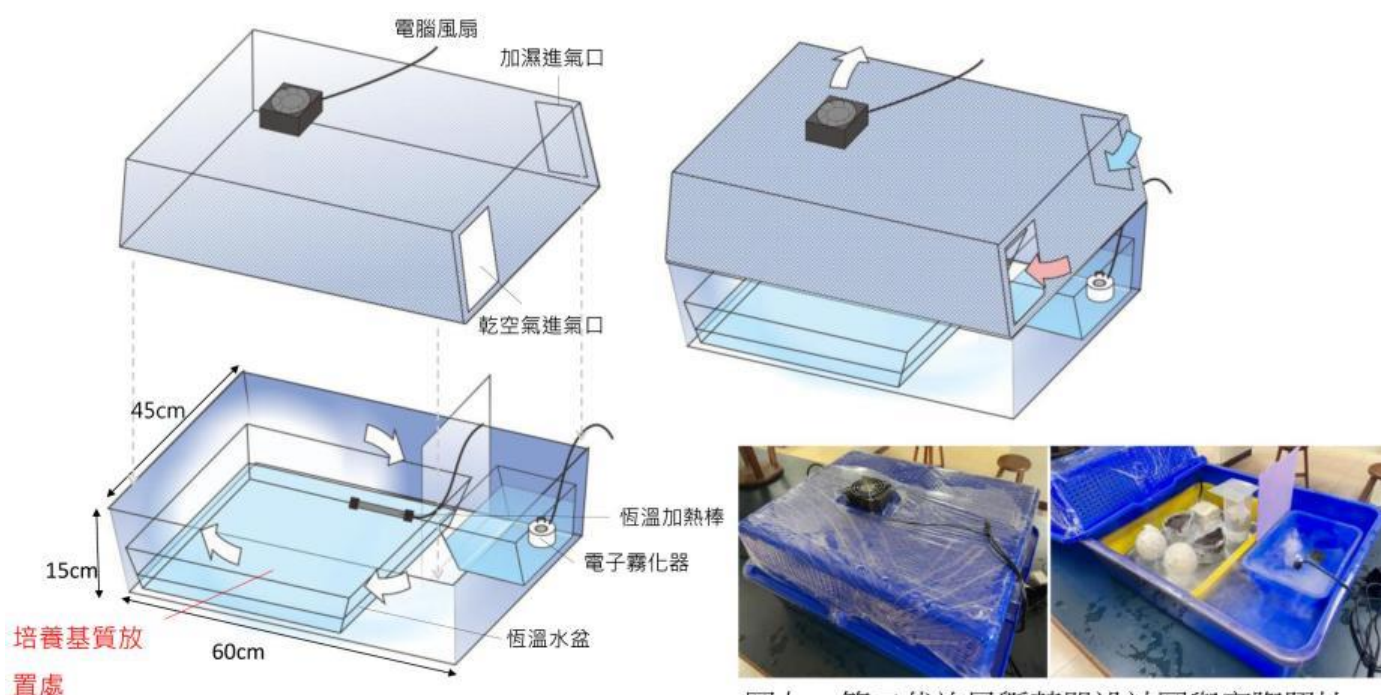
四、 環控培養裝置：旋風孵菇器第二代量產型（選擇更易取得的材料製成）（見圖九）

(一) 利用 2 個塑膠盆製作 60cm*47cm*15cm（下盆為防水塑膠盆，上蓋為塑膠網盆）

(二) 上蓋以保鮮膜封上，側邊開兩洞通風用（加溼&乾空氣進氣口）。

(三) 放上造霧水槽，上蓋上方加裝電腦風扇。

(四) 恆溫控制方法同第一代。



圖九、第二代旋風孵菇器設計圖與實際照片

五、 六種食用菇的栽培標準處理流程

種類	填裝	走菌溫度、條件、時間	靜置溫度、條件、時間	培養條件	光線	採收條件
秀珍菇				24℃		菌傘寬>5cm
藍寶石菇	扭蛋菇、	24℃、黑暗 4天	5℃、黑暗 14天	22℃	日夜交替 12hr± 1hr 亮度<20Lux.	菌傘寬>5cm
白雪菇	正立方體、			18℃		菌傘寬>5cm
珊瑚菇	正四面體			26℃		菌傘寬>3cm
玫瑰菇				26℃		菌傘寬>5cm
柳松菇	體積約 205cm ³ 均填裝 140g			24℃、黑暗 14天		24℃、照光 14天以上

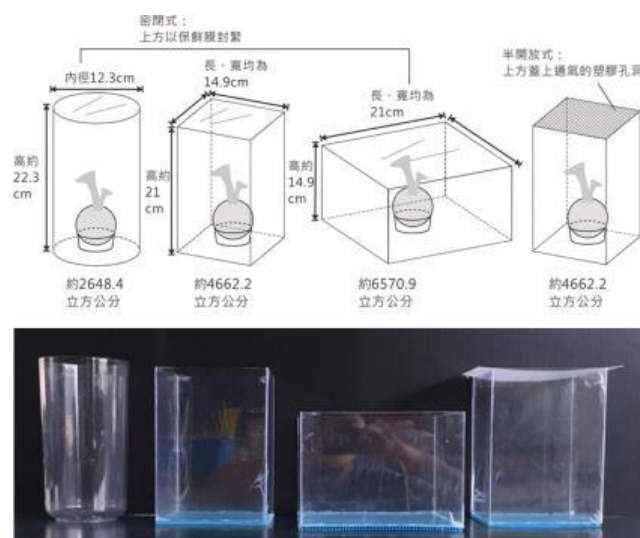
- (一) 自冰箱取出靜置的基質（扭蛋菇或正立方體、正四面體）或切割太空包（見圖十）（只有柳松菇在常溫照光環境靜置到長小顆粒）。
- (二) 將扭蛋菇（扭蛋殼）全開或半開，拉開保鮮膜，將開口朝上。
- (三) 將基質放在果凍杯（避免浸水），放入旋風孵菇器內的恆溫水槽中，調整溫度及濕度。
- (四) 特殊處理
 1. 黑暗處理：將整台孵菇器放到暗室。
 2. 不通風處理：扭蛋菇放入密閉容器，再放入孵菇器，**每天換氣一次**。
 3. 半通風處理：中型容器，上方加透氣網蓋，不開孵菇器風扇。
 4. 黑暗不通風處理：利用中型容器加蓋，外部包鋁箔遮光，將基質放入培養。（柳松菇黑暗不通風時發菇率太低，發菇後再放入黑暗不通風環境）

六、密閉容器製作（見圖十一）

- (一) 大（ 6570.9 cm^3 ）、中（ 4662.2 cm^3 ）、小（ 2648.4 cm^3 ）型容器製作方法。
 1. 將 A4 壓克力板裁切成 A5 大小拼接容器側邊，裁切瓦楞板作為容器底部。
 2. 拼成大容器（瓦楞板 $21\text{cm} \times 21\text{cm}$ ）、中容器（瓦楞板 $14.9\text{cm} \times 14.9\text{cm}$ ）。
- (二) 利用圓筒狀抽氣罐作為小容器。
- (三) 容器頂端以保鮮膜封緊作為密閉容器，放入扭蛋菇栽培。
- (四) 中型容器頂端放塑膠網洞 $9.9\text{cm} \times 9.9\text{cm}$ 做為半通風容器，放入扭蛋菇栽培。



圖十、不同基質填裝容器示意圖（左排）、實際照片（右排）



10 圖十一、不同大小密閉容器示意圖（上排）、實際照片（下排）

七、實驗記錄方式（見圖十二）

（一）發菇位置紀錄方法

1. 我們把扭蛋菇分為上下兩個區塊。
2. 待發菇後，分別記錄菇蕾個數。

（二）子實體大小紀錄方法

1. 生長時期，測量蕈傘寬、蕈高、蕈柄粗。
2. 採收時，測量產量、瓣數、蕈傘寬、蕈高、蕈柄粗、蕈傘厚、蕈柄長。

（三）發菇率的計算（發菇溫度實驗）

1. 實驗重複至少 6 次以上。
2. 一週內只要有發菇就算一次。
3. 將發菇次數/樣本數即為發菇率。

八、扭蛋菇、太空包圍繞投影片培養畸形菇的方法（見圖十三）

- （一）利用 A4 投影片對半切變成 29.7cm*10.5cm（扭蛋菇），41.8cm *26.8cm（太空包）
- （二）投影片圍繞扭蛋菇成圓筒狀。
- （三）上方加透氣的塑膠網洞 9.9cm*9.9cm，放入孵菇器內培養。

九、CO₂測量方式

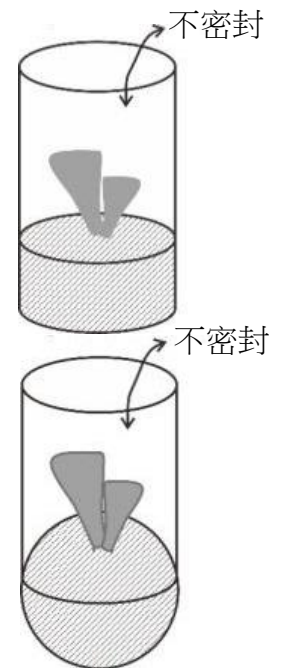
- （一）前一天將新鮮空氣打進去密閉容器，測試 24 小時二氧化碳累積量。
- （二）將 CO₂測定儀開機，等候約 45 秒使背景值穩定。
- （三）測定儀置入待測容器內，測定時間為 2 分鐘。

十、孵菇器風場測量方式

- （一）將熱線式風速計開機，設定風速單位為 km/hr。
- （二）將感應棒放入孵菇器內，以風扇為原點，前後左右每 5、10、15、20cm 處各測量風速三次，紀錄並取平均值。
- （三）利用 Surfer 畫出等值線圖



圖十二、測量位置標示圖



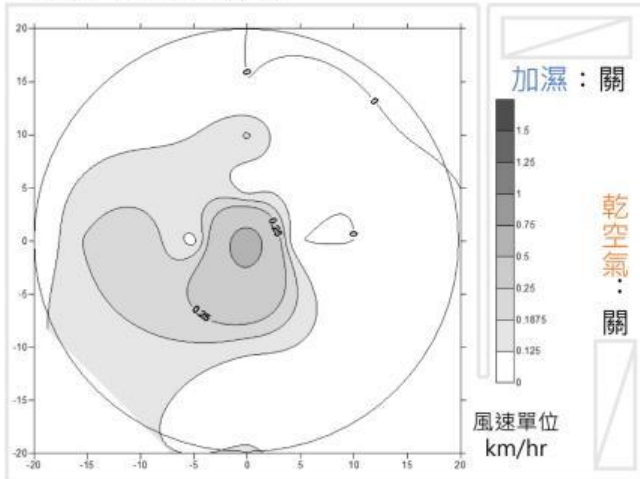
圖十三、太空包、扭蛋菇圍繞投影片

伍、研究結果

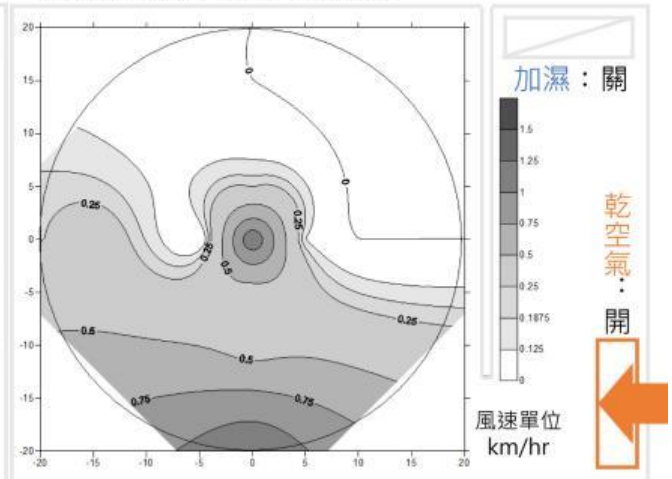
一、發展小型環控菇類栽培裝置「旋風孵菇器」並加入扭蛋菇進行實驗

(一) 旋風孵菇器風場、濕度

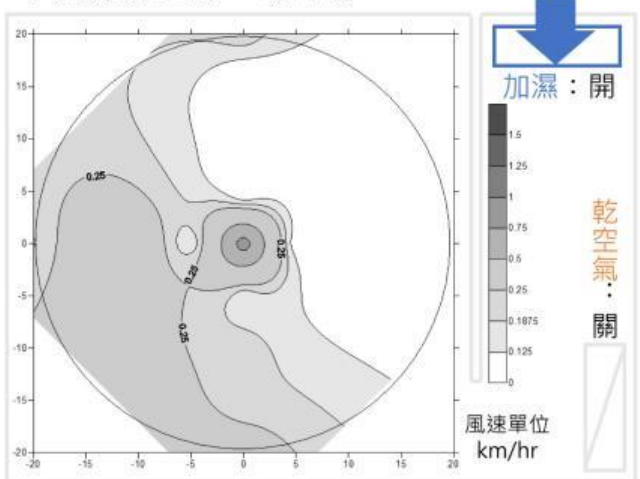
進氣口全關的風場



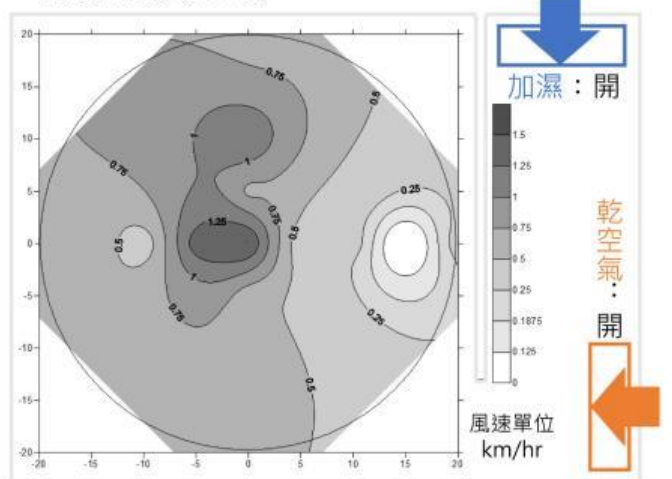
只開乾空氣進氣口的風場



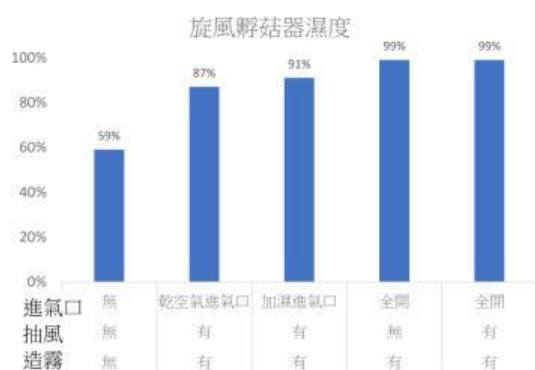
只開加濕進氣口的風場



兩洞全開的風場

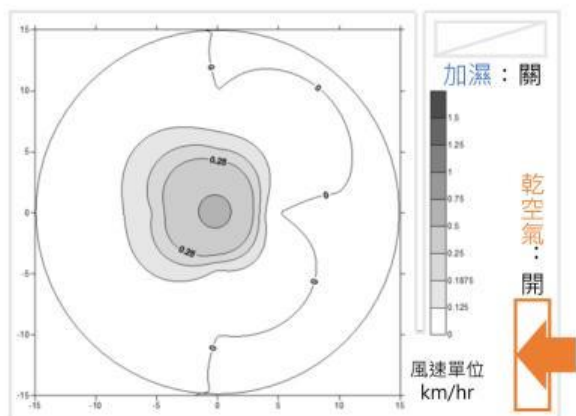


放置太空包或菇菇盆栽培養



我們發現：「旋風孵菇器」裝上抽風裝置及開啟進氣口使風速變強；水槽及電子霧化器可使濕度提高；但菇類生長不需要強風，最適宜濕度為 85-95%，並不是越高越好。因此選擇「造霧、抽風、開乾空氣進氣口」作為對照組，也會視當日天氣控制風口大小調整濕度。

(一) 第二代旋風孵菇器風場



放置太空包或扭蛋菇盆栽培養

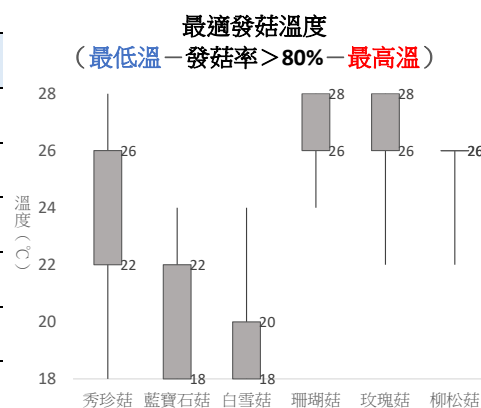


利用相同原理，以兩個塑膠盆製作第二代孵菇器，體積較小，成本也低，可大量製作。

二、微型化食用菇環控栽培

(一) 不同溫度下的發菇率 (一週內發菇率)

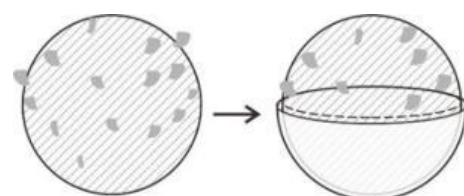
	18°C	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C
秀珍菇	50.00%	50.00%	100.00%	100.00%	100.00%	25.00%
藍寶石菇	66.67%	100.00%	100.00%	53.33%	20.00%	0.00%
白雪菇	92.31%	80.00%	75.00%	50.00%	20.00%	0.00%
珊瑚菇	/	/	0.00%	44.44%	100.00%	100.00%
玫瑰菇	/	0.00%	25.00%	77.78%	100.00%	100.00%
柳松菇	/	0.00%	33.33%	55.56%	85.71%	14.29%



我們發現：秀珍菇的適溫性最廣，藍寶石菇、白雪菇是耐低溫的菌種，珊瑚菇、玫瑰菇、柳松菇，是屬於耐高溫的菌種；我們選擇發菇率最高的溫度作為對照組：秀珍菇 24°C、藍寶石菇 22°C、白雪菇 18°C、珊瑚菇、玫瑰菇、柳松菇均訂為 26°C。

(二) 發菇位置的探討

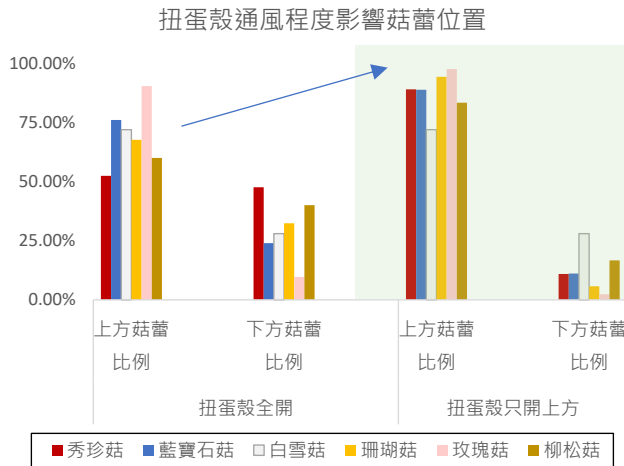
	扭蛋殼全開		扭蛋殼只開上方	
	上方菇蕾比例	下方菇蕾比例	上方菇蕾比例	下方菇蕾比例
秀珍菇	52.44%	47.56%	89.06% (增加)	10.94%
藍寶石菇	76.04%	23.96%	88.89% (增加)	11.11%
白雪菇	71.99%	28.01%	72.00% (增加)	28.00%
珊瑚菇	67.67%	32.33%	94.29% (增加)	5.71%
玫瑰菇	90.39%	9.61%	97.62% (增加)	2.38%
柳松菇	60.00%	40.00%	83.33% (增加)	16.67%



若將基質一側封住
大部分菇蕾會朝通風處生長

我們發現：藉由調整扭蛋殼半開或全開，可使子實體向上生長，控制發菇位置。

六種菇的菇蕾&原基



我們發現：扭蛋殼全開時，上下方都會產生菇蕾；若扭蛋殼只開上方，幾乎都長在上方，可以使用扭蛋殼半開組可控制發菇位置。

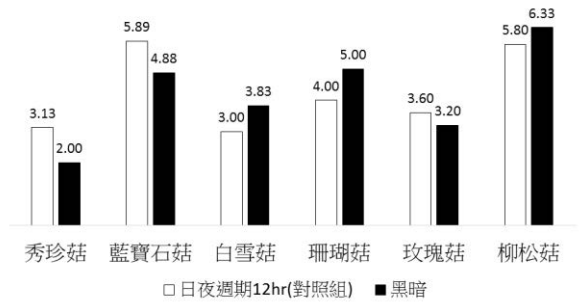
三、探討光照對菇類子實體發育的影響

(一) 發菇天數

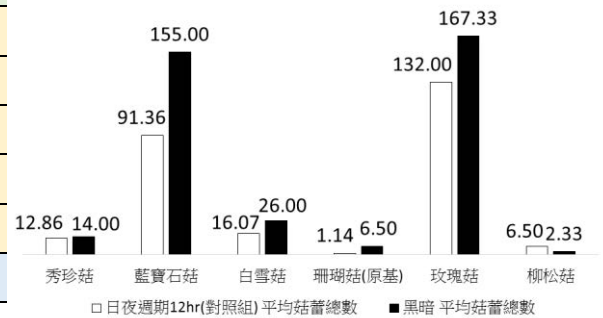
(二) 菇蕾數

	日夜週期 12hr (對照組)		黑暗	
	平均發菇天數	平均菇蕾總數	平均發菇天數	平均菇蕾總數
秀珍菇	3.13	12.86	2.00 (縮短)	14.00(+8.86%)
藍寶石菇	5.89	91.36	4.88 (縮短)	155.00(+69.66%)
白雪菇	3.00	16.07	3.83 (延長)	26.00(+61.79%)
珊瑚菇	4.00	1.14 (原基)	5.00 (延長)	6.50(原基)(+470.18%)
玫瑰菇	3.60	132.00	3.20 (縮短)	167.33(+26.76%)
柳松菇	5.80	6.50	6.33 (延長)	2.33(-64.15%)

光線對發菇天數的影響



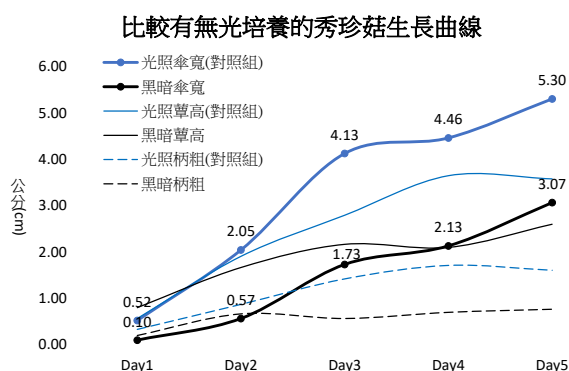
光線影響菇蕾數目



我們發現：黑暗時秀珍菇、藍寶石菇、玫瑰菇發菇略為提早；且黑暗時，除了柳松菇，其餘菇種菇蕾數（或原基數）都有顯著增加。

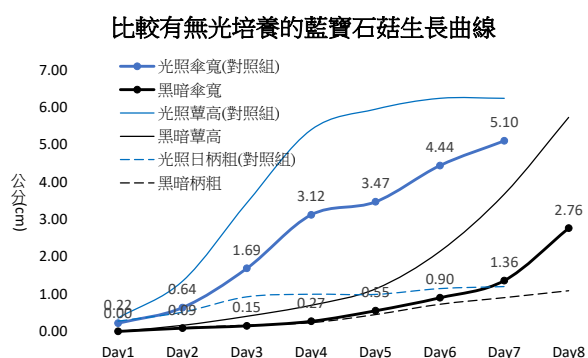
(三) 生長曲線

秀珍菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	平均採收重量
對照組 (正常培養)	寬	0.52	2.05	4.13	4.46	5.30	24.08g
	高	0.57	1.91	2.79	3.65	3.58	
	粗	0.33	0.87	1.42	1.71	1.61	
實驗組 (黑暗培養)	寬	0.10	0.57	1.73	2.13	3.07	16.21g
	高	0.80	1.67	2.17	2.10	2.60	
	粗	0.20	0.67	0.57	0.70	0.77	



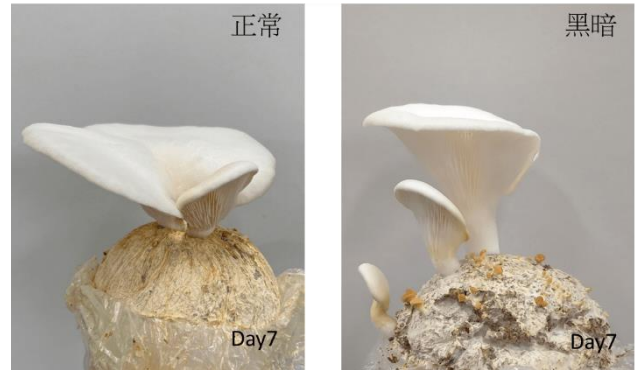
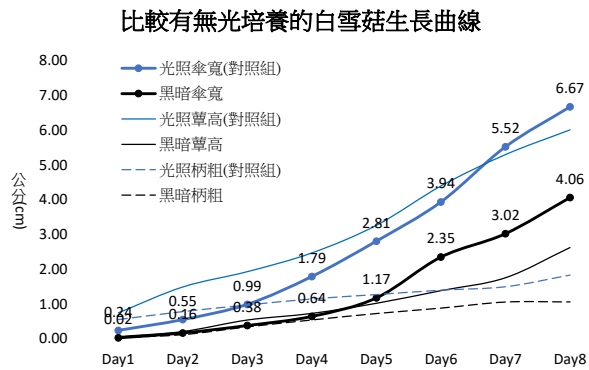
我們發現：秀珍菇在黑暗時，長得較慢，且蕈柄較細，蕈傘顏色較對照組淺。

藍寶石菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	平均採收重量
對照組 (正常培養)	寬	0.22	0.64	1.69	3.12	3.47	4.44	5.10	—	18.78g
	高	0.36	1.34	3.44	5.40	5.95	6.24	6.24	—	
	粗	0.28	0.52	0.93	1.00	0.99	1.15	1.20	—	
實驗組 (黑暗培養)	寬	極小	0.09	0.15	0.27	0.55	0.90	1.36	2.76	19.91g
	高	極小	0.16	0.41	0.70	1.14	2.14	3.68	5.73	
	粗	極小	0.10	0.17	0.23	0.45	0.73	0.90	1.09	



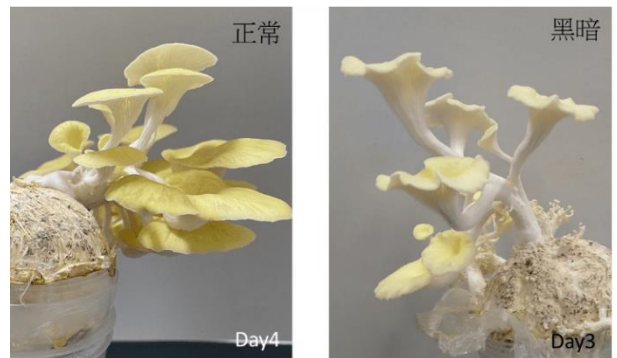
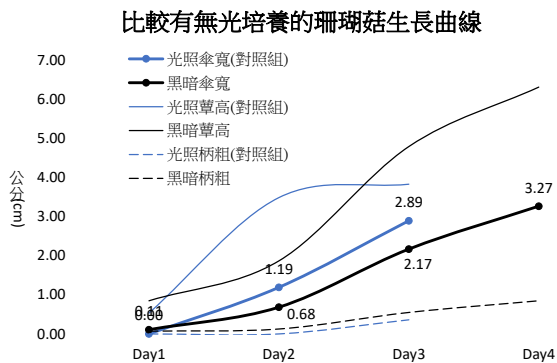
我們發現：藍寶石菇在黑暗時，長得較慢，須等到第 8 天後才能採收（正常為 6-7 天），且蕈柄也較對照組細。

白雪菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	平均採收重量
對照組 (正常 培養)	寬	0.24	0.55	0.99	1.79	2.81	3.94	5.52	6.67	16.74g
	高	0.74	1.49	1.93	2.47	3.26	4.39	5.30	6.01	
	粗	0.55	0.78	0.97	1.14	1.27	1.40	1.50	1.83	
實驗組 (黑暗 培養)	寬	0.02	0.16	0.38	0.64	1.17	2.35	3.02	4.06	7.93g
	高	0.06	0.21	0.54	0.73	1.02	1.38	1.75	2.62	
	粗	0.03	0.12	0.34	0.54	0.73	0.88	1.06	1.06	



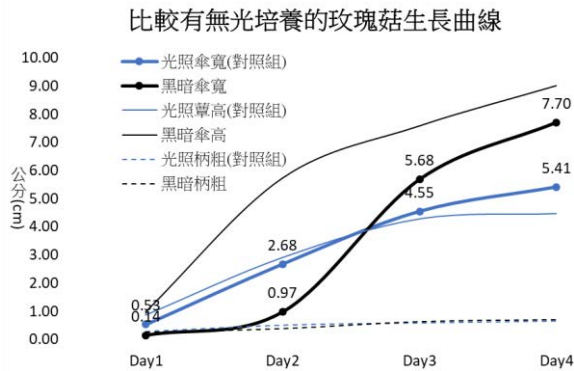
我們發現：白雪菇在黑暗時，長得較慢，也更晚開傘（到約第 5 天才長到 1cm 以上）。

珊瑚菇		Day1	Day2	Day3	Day4	平均採收重量
對照組 (正常 培養)	寬	0.00	1.19	2.89	—	11.29g
	高	0.74	3.49	5.46	—	
	粗	0.00	0.00	0.36	—	
實驗組 (黑暗 培養)	寬	0.11	0.68	2.17	3.27	13.35g
	高	0.85	1.87	4.79	6.31	
	粗	0.07	0.13	0.55	0.85	



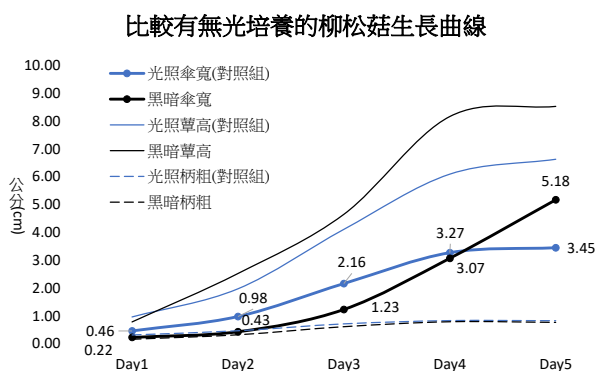
我們發現：珊瑚菇在黑暗時生長速度較慢，傘顏色較淺，子實體更高。

玫瑰菇		Day1	Day2	Day3	Day4	平均採收重量
對照組 (正常 培養)	寬	0.53	2.68	4.55	5.41	24.97g
	高	0.87	2.92	4.29	4.48	
	粗	0.28	0.50	0.58	0.64	
實驗組 (黑暗 培養)	寬	0.14	0.97	5.68	7.70	27.44g
	高	0.98	5.73	7.58	5.98	
	粗	0.27	0.39	0.63	0.64	



我們發現：玫瑰菇在有光培養時，子實體經長簇生，黑暗時，子實體常獨生，菌柄長較長、菌傘形狀不規則且較薄，有時很大。

柳松菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	平均採收重量
對照組 (正常 培養)	寬	0.46	0.98	2.16	3.27	3.45	9.74g
	高	0.96	1.97	4.11	6.10	6.63	
	粗	0.31	0.47	0.71	0.83	0.83	
實驗組 (黑暗 培養)	寬	0.22	0.43	1.23	3.07	5.18	12.22g
	高	0.78	2.52	4.65	8.17	8.53	
	粗	0.16	0.32	0.61	0.79	0.77	



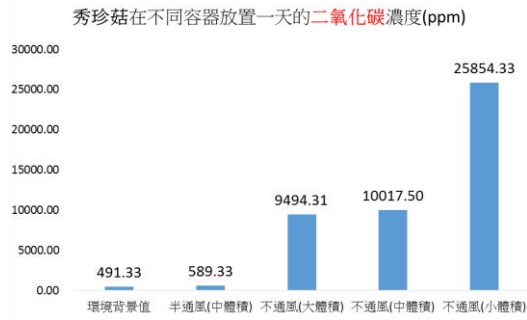
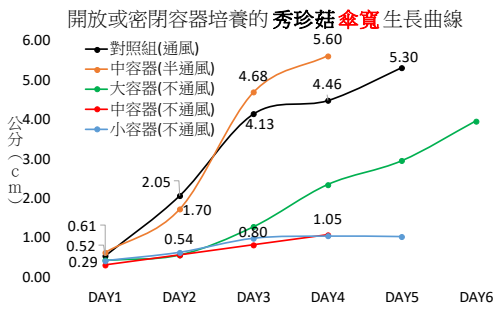
我們發現：黑暗培養的柳松菇，菌柄較長，且在我們的實驗中，黑暗培養柳松菇發菇率較光照低（僅 50%）。

總結黑暗的影響，會使各種菇生長變慢，菌柄更長，產量及瓣數下降；而秀珍菇以及珊瑚菇黑暗時的菌傘比對照組的顏色較淺。

四、密閉空間對菇類子實體發育的影響

(一) 密閉容器的生長曲線 (二) 開放式密閉容器的生長曲線 (三) CO₂ 濃度變化

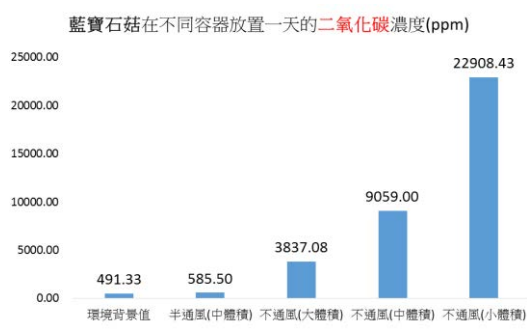
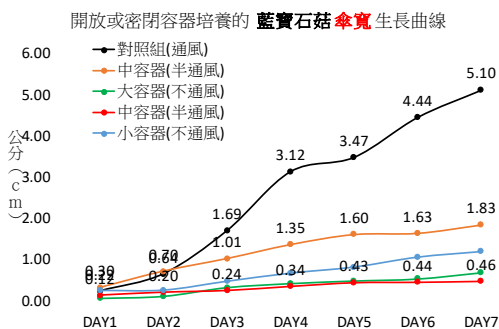
秀珍菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.52	2.05	4.13	4.46	5.30	24.08g
	高	0.57	1.91	2.79	3.65	3.58	
	粗	0.33	0.87	1.42	1.71	1.61	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	0.29	0.54	0.80	1.05	—	7.98g
	高	1.43	3.32	4.43	6.92	—	
	粗	0.49	1.30	1.46	1.49	—	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	0.61	1.70	4.68	5.60	4.75(捲)	12.81g
	高	0.87	3.52	5.99	7.61	8.30	
	粗	0.63	1.21	1.44	1.54	1.56	



我們發現：密閉環境使秀珍菇無法開傘，菌柄變長；且 CO₂ 在不通風容器中濃度均很高。



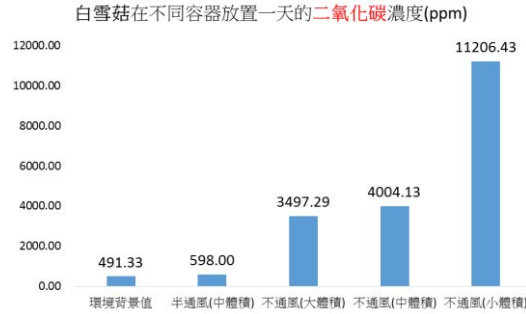
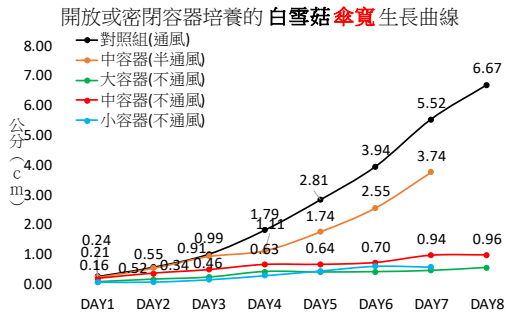
藍寶石菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.22	0.64	1.69	3.12	3.47	4.44	5.10	—	—	—	18.78g
	高	0.36	1.34	3.44	5.40	5.95	6.24	6.24	—	—	—	
	粗	0.28	0.52	0.93	1.00	0.99	1.15	1.20	—	—	—	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	0.12	0.20	0.24	0.34	0.43	0.44	0.46	0.12	0.20	0.24	4.76g
	高	0.53	0.69	1.09	1.69	2.46	2.51	2.78	3.49	4.31	6.10	
	粗	0.13	0.30	0.28	0.52	0.70	0.72	0.81	0.86	0.91	1.29	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	0.30	0.70	1.01	1.35	1.60	1.63	1.83	—	—	—	8.19g
	高	1.00	1.79	2.79	3.63	4.45	4.98	6.77	—	—	—	
	粗	0.55	0.51	0.83	0.86	1.04	1.14	1.35	—	—	—	



我們發現：密閉環境使藍寶石菇變得多分支，且 CO₂ 在不通風容器中濃度均很高。



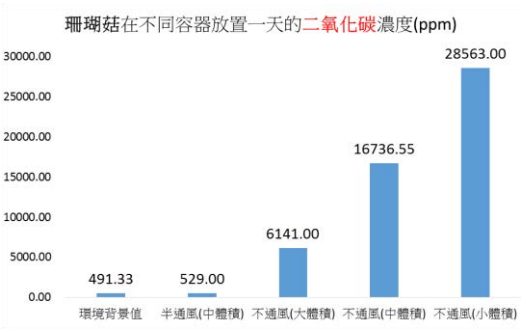
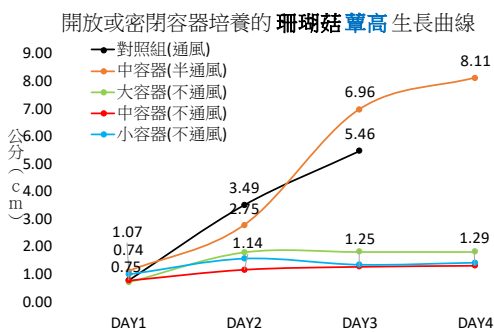
白雪菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.24	0.55	0.99	1.79	2.81	3.94	5.52	6.67	16.74g
	高	0.74	1.49	1.93	2.47	3.26	4.39	5.30	6.01	
	粗	0.55	0.78	0.97	1.14	1.27	1.40	1.50	1.83	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	0.16	0.34	0.46	0.63	0.64	0.70	0.94	0.96	3.84g
	高	1.22	2.16	2.20	2.57	3.00	3.27	2.91	2.76	
	粗	0.24	0.42	0.51	0.64	0.67	0.77	1.07	0.79	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	0.21	0.52	0.91	1.11	1.74	2.55	3.74	—	6.51g
	高	0.30	0.64	1.27	1.88	2.16	2.65	3.55	—	
	粗	0.04	0.28	0.51	0.60	0.59	0.84	1.00	—	



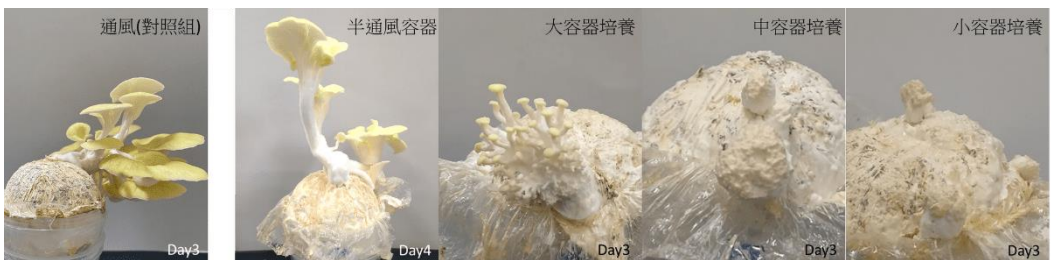
我們發現：
密閉環境使白雪菇多分支無法開傘，形狀就像球棒狀；且 CO₂ 在不通風容器中濃度均很高。



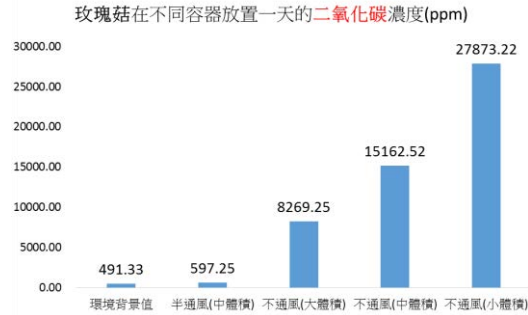
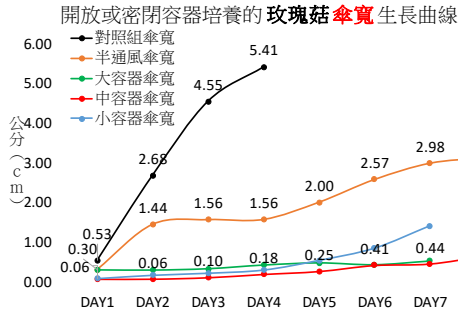
珊瑚菇		Day1	Day2	Day3	Day4	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.00	1.19	2.89	—	11.29g
	高	0.74	3.49	5.46	—	
	粗	0.00	0.00	0.36	—	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	原基	原基	原基	原基	—
	高	0.75	1.14	1.25	1.29	
	粗	原基	原基	原基	原基	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	原基	0.50	2.15	4.23	23.88g
	高	1.07	2.75	6.96	8.11	
	粗	原基	0.23	0.56	0.84	



我們發現：
珊瑚菇在密閉環境下只長原基而無法發菇，半通風環境下會使子實體變得巨大，子實體瓣數較光照少，CO₂ 在不通風容器中濃度很高。



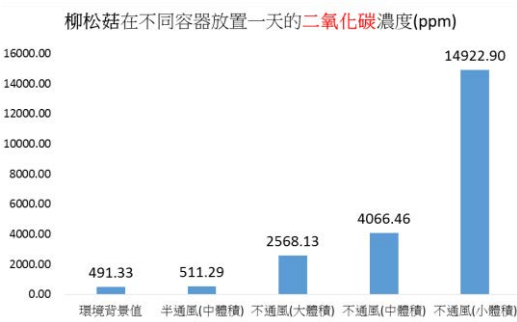
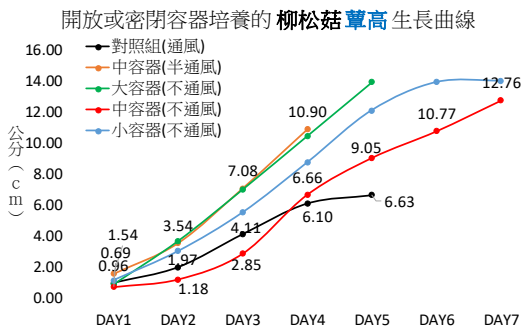
玫瑰菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.53	2.68	4.55	5.41	—	—	—	—	24.97g
	高	0.87	2.92	4.29	4.48	—	—	—	—	
	粗	0.28	0.50	0.58	0.64	—	—	—	—	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	0.06	0.06	0.10	0.18	0.25	0.41	0.44	0.65	4.28g
	高	0.26	0.69	2.12	2.55	2.63	3.25	3.22	2.62	
	粗	0.15	0.23	0.34	0.49	0.54	0.62	0.69	0.54	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	0.30	1.44	1.56	1.56	2.00	2.57	2.98	3.12	4.44g
	高	0.91	1.43	1.55	1.73	2.43	2.70	2.75	2.87	
	粗	0.39	0.54	0.65	0.59	0.67	0.71	0.75	0.51	



我們發現：
玫瑰菇在不通風環境下會使菌柄變得細長，且多分支像鹿角狀；半通風環境菌傘勉強開傘。



柳松菇		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	平均採收重量
對照組(正常培養)	寬	0.46	0.98	2.16	3.27	3.45	—	—	9.74g
	高	0.96	1.97	4.11	6.10	6.63	—	—	
	粗	0.31	0.47	0.71	0.83	0.83	—	—	
實驗組(不通風培養_中型)	寬	0.17	0.32	0.70	1.29	2.11	2.40	3.92	8.44g
	高	0.69	1.18	2.85	6.66	9.05	10.77	12.76	
	粗	0.14	0.24	0.47	0.67	0.84	0.88	0.90	
實驗組(半通風培養_中型)	寬	0.37	0.96	2.44	4.84	—	—	—	11.63g
	高	1.54	3.54	7.08	10.90	—	—	—	
	粗	0.26	0.54	0.72	0.90	—	—	—	



我們發現：
柳松菇在不通風環境下會使菌柄長得特別長，且子實體數量也較對照組少。



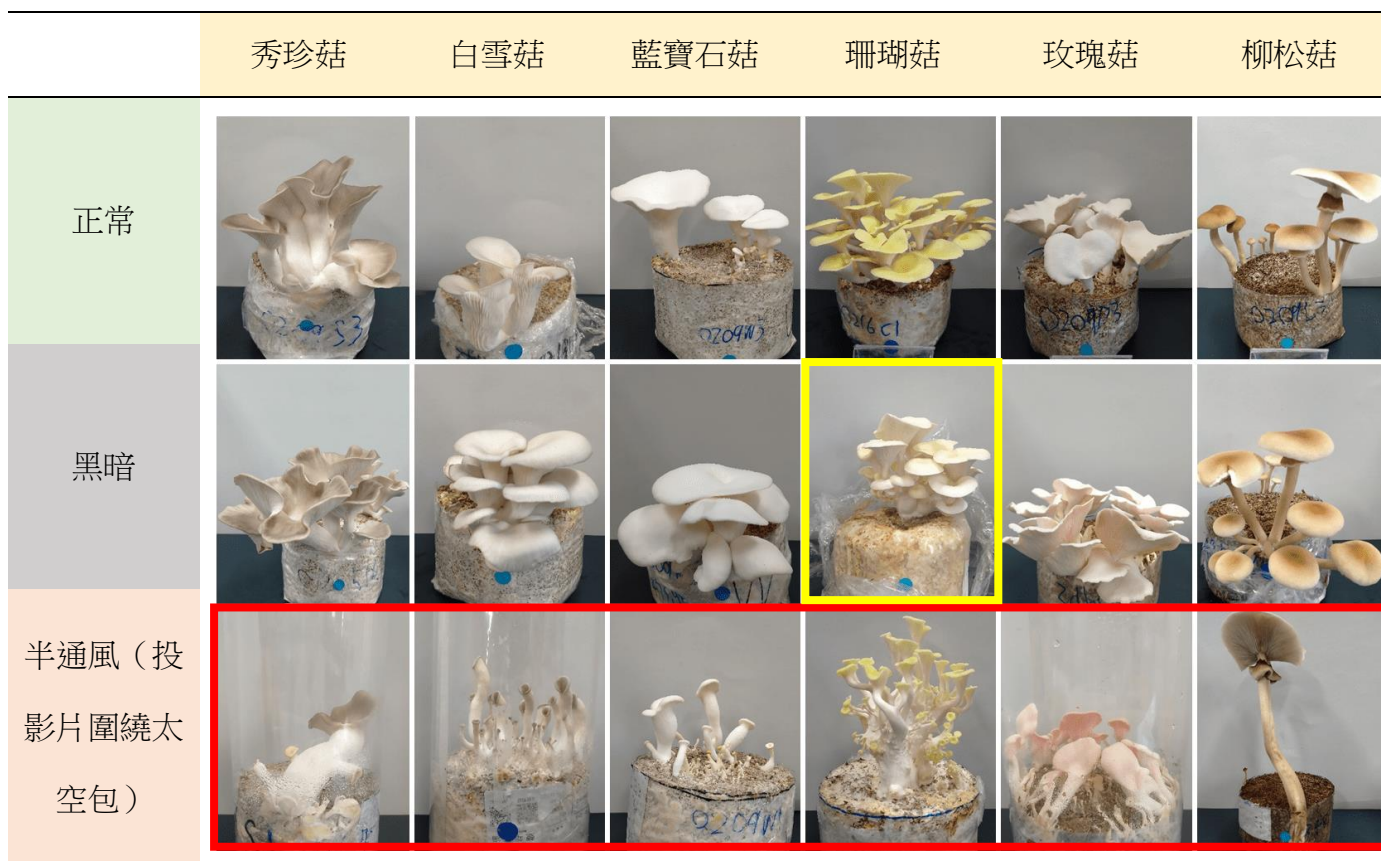
五、整理菇類子實體形態變異的原因並使食用菇盆栽培養商品化

(一) 密閉空間+不照光對子實體發育的影響

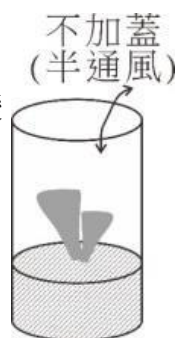


我們發現：黑暗不通風情況下大多數菇種生長速度緩慢，不通風導致蕈傘不開，黑暗則是導致蕈柄變細，也讓黑暗不通風環境下生長的菇長得更特別，有時會在子實體上又長出子實體。柳松菇則是長得細長，像金針菇。

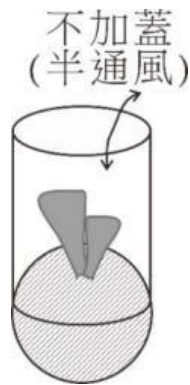
(二) 利用切割太空包培養畸形菇



我們發現：將太空包切割成三段，再利用 A4 投影片環繞太空包一圈，頂端不加蓋，可以達到半通風的效果，會使秀珍菇、白雪菇、藍寶石菇、玫瑰菇蕈柄延長和蕈傘變小；珊瑚菇基部變高，柳松菇蕈柄大幅延長。而黑暗培養的珊瑚菇蕈傘顏色變淺。

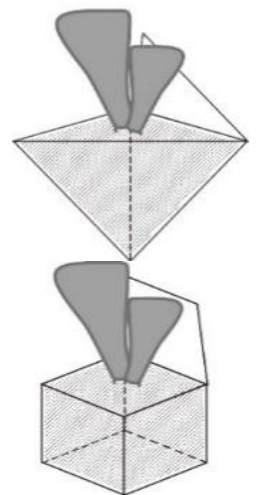
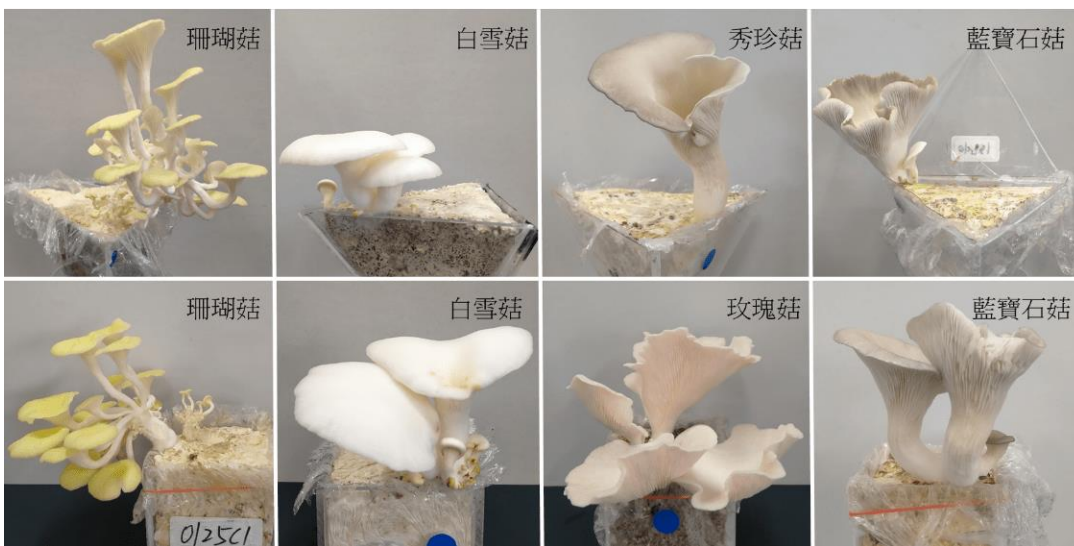


(三) 利用**扭蛋菇**圍繞**投影片**培養畸形菇



我們發現：圍繞投影片培養，可以達到半通風的效果。大多數菇種草柄較細長，白雪菇、玫瑰菇會長出密密麻麻的菇蕾，秀珍菇有時候會在子實體上長出新菇蕾，珊瑚菇的基部會變高，柳松菇草柄則是大幅延長。

(四) 利用各種不同容器栽培



我們發現：以正立方體跟正四面體容器栽培，不會影響菇體形態發育，但子實體大多從邊緣、角落處發菇，這是很特殊的發現，未來希望繼續研究不同形狀容器的發菇位置。

(五) 統整使食用菇類形態變異的栽培方法



陸、討論

「菇」屬於大型真菌中之擔子菌門，主要由菌絲體組成，一般栽培菇類時所使用的太空包木屑或段木栽培，是直接將菇類的雙核菌絲植入，待雙核菌絲走菌完成後，給予適當的刺激便可發菇。在菌絲生長期時，菇類會儲存大量從基質吸收的養分，等待營養充足後的，會長出子實體並發散孢子，稱為出菇繁殖時期，而在菇類生長時，會受到許多環境因子影響，例如：光照、溫度、濕度、通風等，都會導致子實體形態產生改變（Chiu & Moore, 2021）。

在台灣，食用菇類栽培已有百年歷史，雖然「香菇」是我們對菇類食品的通稱，但市面上可見的菇種就有 20 種以上，產品多元且產量品質穩定。在過去，1970 年代洋菇的出口甚至曾經達到世界第一，也曾在 1980 年代成為全東亞最大的金針菇栽培場。即使是現在，台灣的菇類產值仍達百億以上，多為系統化栽培，是台灣非常重要的產業（呂昀陞，2019）。

雖然菇類屬於真菌界的高等生物，但卻需要以無污染的微生物技術進行實驗，這也增加了研究的難度。過去的菇類研究科展作品不多，曾有研究菇類「向性」如：「菇 Go！非「光」不可（吳芯妍等，2014）」、「菇 Go！背地一「站」（陳柏熙等，2018）」等，或研究「低溫冷藏處理對菇類子實體生長發育的影響（簡毓達等，2015）」；而「菇菇蛋白強」（陳彥勳等，2021）則是將太空包基質填裝在扭蛋殼中，縮小了菇類栽培的尺寸，並發現溫差、電擊、冰凍逆境可提高秀珍菇的發菇率，證明環境因子對菇類發育有顯著影響。

為了使培養標準化，我們想設計一個能使維持濕度又適合菇類生長的裝置。在文獻中提到，菇類需要在高濕、通風的環境中培養（陳美杏等，2017），植物生長箱雖然可以恆溫，卻無法維持高達 90% 的濕度，於是我們嘗試了各種方式來維持濕度和通風。

我們發現，颱風結構中有低層環流及上升氣流的特徵，於是我們以此做為發想，開發出**孵菇裝置—「旋風孵菇器」**。加裝水槽及電子霧化器，利用電腦風扇抽風帶動氣流循環，我們將上蓋用保鮮膜遮住，只留兩洞，分別是加濕入風口和乾空氣入風口。如果要維持恆溫的話，須另加一個水盆將恆溫加熱棒放入，達到隔水加熱的效果。另外，為了避免電子霧化器或恆溫加熱棒因缺水而乾燒的狀況，我們利用連通管原理，將細水管兩端分別放在一個大水盆和造霧水槽中，須將細水管內充滿水，來達到相互相補的效果，以維持水位平衡。

金針菇必須經過催蕾與出菇管理，首先催蕾需要將太空包的塑膠膜向上拉成圓筒狀，保持基質的溼度，出菇時栽培室的空氣相對濕度以 90~95% 為宜。接下來是出菇管理，發菇後將溫度調低至 4~5°C，等待菇蕾長齊，將溫度調高至 12~16 度把門窗關緊，並將塑膠膜拉成圓筒狀，並蓋上乾淨報紙，但要注意不高 18°C。如果溫度高於 18°C，則菇柄細並呈黃褐色。(花卉百科園金針菇的種植技術，2021)



圖十四、自花卉百科園金針菇的種植技術

此外，延續去年科展作品「菇菇蛋自強」(陳彥勳等，2021)的方法，將秀珍菇、藍寶石菇、白雪菇、珊瑚菇、玫瑰菇及柳松菇太空包填裝在扭蛋殼中做成扭蛋菇，待走菌完成後，冷藏 2 週才可進行實驗。在實驗前期，我們有進行扭蛋殼全開的實驗，發現上下皆會產生菇蕾，而扭蛋殼半開組，菇蕾多生長在上方，我們懷疑，通風是否會影響發菇位置？因此進行扭蛋殼半開組與扭蛋殼全開組的實驗，發現菇蕾大多生長在通風處，由此可利用扭蛋殼半開組來控制發菇位置。

溫度對菇類生長很重要，文獻提到，側耳屬之菇類之最適發菇溫度約在 24~28°C (李欣樺等，2008)，因此一開始利用不同溫度來測試六種菇的發菇率，找出每種菇最適合的發菇溫度，發現秀珍菇的適溫性很廣，在 22~26°C 的發菇率都皆為 100%，觀察出菇狀況後決定採 24°C 來培養對照組。藍寶石菇適合在較低溫的環境中培養 18°C~22°C，選擇生長較快的 22°C。白雪菇也是耐低溫的菌種，適合在 18°C 培養。珊瑚菇、玫瑰菇、柳松菇，皆是耐高溫的菌種，選擇在 26°C 中培養。

在實驗中發現，影響菇類子實體發育因素有很多，但影響最大的非光照、通風莫屬。在黑暗培養時發現會使大多數菇種生長較為緩慢，蕈傘顏色變淺。秀珍菇黑暗培養時菇蕾較多、生長緩慢蕈柄較細、蕈傘顏色變淺；藍寶石黑暗培養時菇蕾較多、生長緩慢、蕈柄較細、蕈傘顏色變淺；白雪菇在黑暗培養時菇蕾較多、生長緩慢、形態類似正常培養發育；珊瑚菇在黑暗培養時生長緩慢、蕈柄較細長、蕈傘顏色變淺；玫瑰菇在黑暗培養時生長緩慢、分散生長、蕈傘形狀不規則、顏色變淺；柳松菇在黑暗培養時不易發菇且生長較慢。

在之前的實驗中，我們選擇使用不同容器進行不通風的實驗，例：瓦楞版箱、鐵箱等，但發育型態卻有明顯差異，我們懷疑是否是因為容器體積大小不同導致 CO₂ 濃度不同，使菇類發育受到影響。為了驗證我們的想法，我們發展不同體積大小的容器培養進行後續實驗。

我們認為，通風與否是影響菇類子實體發育的關鍵，秀珍菇在不通風的環境培養，蕈柄變長，蕈傘不開；藍寶石菇在不通風的環境培養，蕈傘不開、變得多分支且密集生長，形狀像刺蝟狀，有開發成商品的潛力；白雪菇在不通風的環境培養，變得多分支、蕈傘不開、菇蕾較多，形狀像球棒狀；珊瑚菇在不通風的環境培養，經常只長出原基或是大量菌絲，難以發菇，起初以為是培養方式錯誤，但經過好幾次實驗後，都是相同結果；玫瑰菇在不通風的環境培養，蕈傘不開、子實體多分支像鹿角狀，非常美觀；柳松菇在不通風的環境培養，蕈柄大幅延長，長度甚至可以達到對照組的三倍之多，但瓣數大幅減少。

我們懷疑，可能是因為空間小造成了換氣率不佳，導致 CO₂ 濃度過高造成菇體畸形（形態變異），於是對 CO₂ 濃度進行測量，發現 CO₂ 濃度極高，這些密閉容器內的 CO₂ 濃度大多超過 4000-20000 ppm，很可能 CO₂ 濃度是造成菇體發育畸形的原因，或是因為菇類呼吸產生的 CO₂ 溶在蕈體表面水滴中，導致形成碳酸而影響菇類發育。

實驗中，看到有許多環境因子能影響菇類子實體發育狀況，但為了達到不通風的環境，發展了不同體積大小的容器，然而不通風容器的體積過大，孵菇箱內能放的空間不多，我們聯想到金針菇的栽培方式，將扭蛋菇和切割太空包圍繞投影片上面加有網洞的塑膠片，便可達到類似半通風培養的效果。

接著我們也進行切割太空包（基質較多）以及扭蛋菇圍繞投影片的實驗，發現了許多不同於正常培養的現象。比較特別的像：秀珍扭蛋菇圍繞投影片培養容易長在角落處，蕈柄較細長，有時會發生菇上長菇的現象；藍寶石扭蛋菇圍繞投影片培養蕈柄直直向上生長，蕈傘較小；白雪菇切割太空包圍繞投影片培養，分散生長、子實體較小，白雪扭蛋菇圍繞投影片培養，有時會發生菇上長菇的現象；珊瑚菇切割太空包圍繞投影片培養，子實體巨大，基部長一大截之後才開傘；玫瑰扭蛋菇圍繞投影片培養，子實體較多且密集生長，但子實體較小，且容易萎縮，有時會發生菇上長菇的現象；柳松菇扭蛋菇跟切割太空包圍繞投影片培養，蕈柄皆會延長。

菇類發育受到各種環境因子的影響，容易因此改變原本的樣貌，即使產量減少，但有機會產生更具觀賞價值的「畸形菇」（形態變異菇），我們認為這是菇類「形態多樣性」的一環，不同環境下菇類為了生存，必須改變形態適應，有時更長的柄可以讓孢子散播得更遠。此外，有網路報導指出，形態變異的鹿角靈芝有別於普通靈芝，鹿角靈芝不釋放孢子，所以鹿角靈芝中豐富的藥效成分都保留在子實體內，因此鹿角靈芝中的抗氧化物質是普通靈芝的 7 倍；靈芝三萜是普通靈芝的 15 倍；靈芝多糖含量竟達到了普通靈芝的 20 倍！（2017）

本研究使用的逆境培養的方法，是過去未曾有人使用的，我們反其道而行，將這些方式來栽培菇類觀察畸形菇，並且本研究只是一個起點，不是終點，今年所提出的不同栽種方式，不僅只能套用在本實驗的六種菇上，台灣的食用菇有近百種，或許在形態變異後在食用或是觀賞乃至藥用上，能有不一樣的價值。

柒、結論

- 1、為探究菇類子實體形態變異（畸形菇）的成因，我們選擇了 6 種食用菇進行環控培養，希望找到影響子實體畸形分化的原因，或許可以提高經濟價值。
- 2、為了使培養環境控制標準化，我們設計了旋風孵菇器 I 代及 II 代，希望設計出恆溫、高濕、通風的孵菇器；使用電子霧化器加濕、電腦風扇控制通風、恆溫加熱棒進行控溫，並利用扭蛋菇進行後續實驗。
- 3、為了瞭解通風位置對發菇的影響，我們做了扭蛋殼全開組與半開組與的處理，發現發菇位置大多從通風處發菇，可以使用扭蛋殼半開組控制發菇位置。
- 4、為了瞭解光線是否會影響菇類發育，我們比較有正常日夜光週期與完全黑暗培養，我們發現，黑暗環境下的發菇菇蕾數明顯較多（柳松菇例外），且菇體大多較高、蕈傘顏色較淺也較薄。
- 5、為瞭解通風與否是否影響發菇，我們比較三種不同體積的密閉容器培養，發現密閉容器中珊瑚菇大多無法順利發菇，其他菇種大多很難開傘，藍寶石菇、白雪菇變得多分支，玫瑰菇長成鹿角狀，而柳松菇蕈柄變得非常長。經過 CO₂ 的測量後得知，容器內的濃度皆劇增。
- 6、我們也進行半通風環境的培養，將密閉容器頂端改成網洞，雖然 CO₂ 濃度與背景值差不多，但仍與正常培養有差異，推測可能是因為空氣不流通使 CO₂ 溶於菌體表面的水滴形成碳酸，造成菇體畸形。

- 7、 黑暗加不通風會使大多數的菇種生長速度緩慢，不通風導致蕈傘不開，黑暗則是導致蕈柄變細，兩者同時發生造成菇類子實體生長更大的逆境，秀珍菇、藍寶石菇、白雪菇、玫瑰菇分支得很明顯，而柳松菇、珊瑚菇則很難發菇。
- 8、 我們將太空包切割成三段，再利用 A4 投影片環繞太空包一圈，頂端不加蓋，可以達到半通風的效果，會使秀珍菇、白雪菇、藍寶石菇、玫瑰菇蕈柄延長和蕈傘變小；珊瑚菇基部變高，柳松菇蕈柄大幅延長。
- 9、 將扭蛋菇環繞投影片栽培實驗，頂端不密封，也會導致菇體發生畸形，類似半通風的結果。
- 10、 改變栽培容器為正立方體或正四面體，我們發現不影響形態變異，但發菇時多從邊緣長出，而較少從中央長出，這也許可以是未來的研究方向。
- 11、 六種食用菇不同環境處理的生長情形統整

	側耳屬 (<i>Pleurotus</i>)					田頭菇屬 (<i>Agrocybe</i>)
	秀珍菇	藍寶石菇	白雪菇	珊瑚菇	玫瑰菇	柳松菇
黑暗	菇蕾較多 生長較緩慢 蕈柄較細 蕈傘顏色淺	菇蕾較多 生長較緩慢 蕈柄較細 蕈傘顏色淺	菇蕾較多 生長較緩慢 形態類似正 常培養發育	生長緩慢 蕈柄較細長 蕈傘顏色變 淺	生長緩慢 分散生長 蕈傘形狀不 規則顏色淺	不易發菇， 生長較慢
	側耳屬的菇種在黑暗中培養時，普遍菇蕾數目增加，生長較慢、蕈柄變長、蕈傘較薄、且顏色變淺。					
不通風	蕈傘不開 蕈柄變長	蕈傘不開 變得多分支 密集生長	菇蕾較多 蕈傘不開 變得多分支	無法發菇 只長原基、 菌絲	蕈傘不開 多分支 像鹿角狀	蕈柄大幅延 長，子實體數 量較少
	側耳屬的菇種在不通風環境培養時，普遍會蕈傘不開，多分支，且生長較緩慢。珊瑚菇經常無法順利發菇（只長原基或很快萎縮）。					
半通風	形態介於正 常培養與不 通風培養	形態介於正 常培養與不 通風培養 蕈柄較細長	形態類似正 常培養發育	基部變高 菇體巨大 蕈傘較大 蕈柄較長	難以開傘 子實體較少	蕈柄延長 子實體較少
	側耳屬的菇種在半通風環境培養時，形態大多介於通風與不通風培養之間。珊瑚菇非常特別，會巨大化。					
黑暗不通風	蕈傘不開 蕈柄變長	蕈傘不開 分支變很多 非常密集	蕈傘不開 分支變很多 非常密集 有時菇上長 新菇蕾	未發菇	蕈傘不開 分支變很多 非常密集呈 細樹枝狀末 梢不斷分支	蕈柄細長 蕈傘較小 像黑色金針菇
	側耳屬的菇種在黑暗且不通風環境培養時，生長更加緩慢，且分支更多，有時會在子實體上長出新菇蕾。					

秀珍菇
Pleurotus sajor-caju

黑暗
不通風

黑暗環境下：菌傘顏色變淺菌柄變細。
密閉環境：柄變長變粗，傘不開，像是杏鮑菇。

藍寶石菇
Pleurotus columbinus

不通風
黑暗不通風再照光

密閉環境：多分支。
黑暗+密閉環境：珊瑚狀，若再照光則菌傘開始發育，非常特別。

白雪菇
Pleurotus ostreatus var. sp.

黑暗
半通風
不通風

黑暗環境：與對照組類似，但生長速度緩慢。
密閉環境：多分支，類似藍寶石菇不通風培養，菌傘為白色，且菌柄細長。

珊瑚菇
Pleurotus citrinopileatus

黑暗
半通風
不通風 X 只長菌絲或原基

黑暗環境：菌傘顏色變淺，菌柄較細。
半通風培養：子實體減少且更加巨大。

玫瑰菇
Pleurotus salmoneostramineus

不通風
黑暗不通風

密閉環境：鹿角狀多分支。
黑暗+密閉環境：鹿角狀多分支，菌柄更細。

柳松菇
Agrocybe cylindracea

不通風
黑暗不通風

密閉環境培養：菌柄大幅度延長
黑暗+密閉環境：長的細小且不開傘，像金針菇

捌、參考文獻

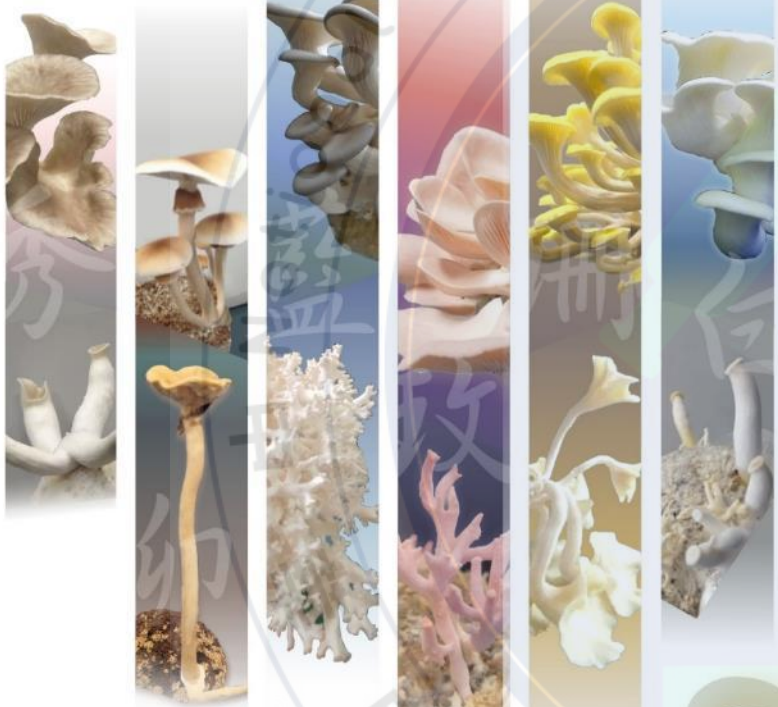
李欣樺、洪進雄、薛智升、甘祥佑、謝易薨（2008）。低溫及 LED 光質處理對阿魏菇 (*Pleurotus eryngii* var. *ferulae*) 原基誘導之影響。Fung. Sci. 23(1-4)1-10。

1. 李瑋崧（2009）。秀珍菇環控栽培技術要點簡介。農業試驗所期刊技術服務 80: 4-7。
2. 莊老達、謝慶昌、林慧玲（2012）。溫度對杏鮑菇子實體發育的影響。興大園藝。37 (1) 31-44。
3. 吳芯妍、金湘雲（2014）。菇 Go！非「光」不可。第 54 屆中小學科學展覽會國中組生物科作品。
4. 簡毓達、林佩霖、黃涵唯（2015）。低溫冷藏處理對菇類子實體生長發育的影響。第 55 屆高職組農業及生物科技科。
5. 陳柏熙、陳柏詠（2018）。菇 Go！背地一「站」。第 58 屆中小學科學展覽會國中組生物科作品。
6. 陳彥勳、蔡長祐（2021）。菇菇「蛋」自強—微型化 菇類 子實體培養實驗，探討不同逆境條件的出菇表現。第 61 屆中小學科學展覽會國中組生物科作品。
7. 陳美杏、李瑋崧、呂昀陞（2017）菇類基本特性與栽培原理(二)。農學報導
https://kmweb.coa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=variety&id=54729
8. Siu-Wai Chiu & David Moore。解讀真菌的形態與發育（2021）。
<http://www.davidmoore.org.uk/Assets/Deciphering%20Fungal%20Morphogenesis/chapters/chapter4.html>
9. [網路新聞]（2013）恨老板不加薪 技術員讓 5 千斤杏鮑菇變怪胎
<http://edu.people.com.cn/BIG5/n/2013/0201/c1053-20402124.html>
10. [網路新聞]（2019）金針菇栽培有什麼技術可以增產？如何操作？教你 5 種方法增加產量 <https://kknews.cc/agriculture/bmelv56.html>
11. [網路新聞]（2017）一种鹿角灵芝的栽培方法
<https://patents.google.com/patent/CN107197692A/zh>
12. [網路新聞]（2020）荒野维生野菜系列——杏鲍菇
https://new.qq.com/omn/20200219/20200219A0PNW600.html?pc&fbclid=IwAR0dAYAoxzRfVGtO8HpK0T79zzHTFZXjqY4ywaeNr6Q_M8EQkHbKxT_Amu0
13. 花卉百科園金針菇的種植技術（2021）
<https://www.hhbky.com/zh-tw/yanghua/zhiwuzhishi/138580.html>
14. 豐年生態農場（2022）<https://www.agaric.com.tw/>
15. 呂昀陞（2019），臺灣菇類產業發展概況
https://theme.coa.gov.tw/theme_list.php?theme=storyboard&id=415

【評語】 032911

1. 以前期作品微型菇為出發點，透過此次延續發展出之旋風孵菇器有利未來菇農菇類產品農作物收成功效。
2. 能使用生活中常見的不同菇類進行各種不同變因的探究，值得鼓勵。
3. 在自製的旋風培養箱中如果能夠針對各種不同菇類的生長特性進行溫度、濕度與黑暗週期的調控，會更具有商業價值。
4. 研究主題立意佳、實驗設計的科學適切性佳、實驗數據展示及寫作表達能力優、成果推廣價值佳。

作品簡報



國中組 生活與應用科學科 (二)

通風報「蕈」，「畸」不可失一

發展食用菇類之形態變異栽培技術

前言—研究問題、前人研究、研究架構



人工栽培使其畸形化 ↓

第61屆
 菇菇「蛋」自強—微型化菇類子實體培養實驗，
 探討不同逆境條件下的出菇表現（2021）

- 開發扭蛋菇
- 電擊、溫差、冰凍等刺激會使秀珍菇發菇率提高
- 不同菇種適合的發菇溫度不同

延續

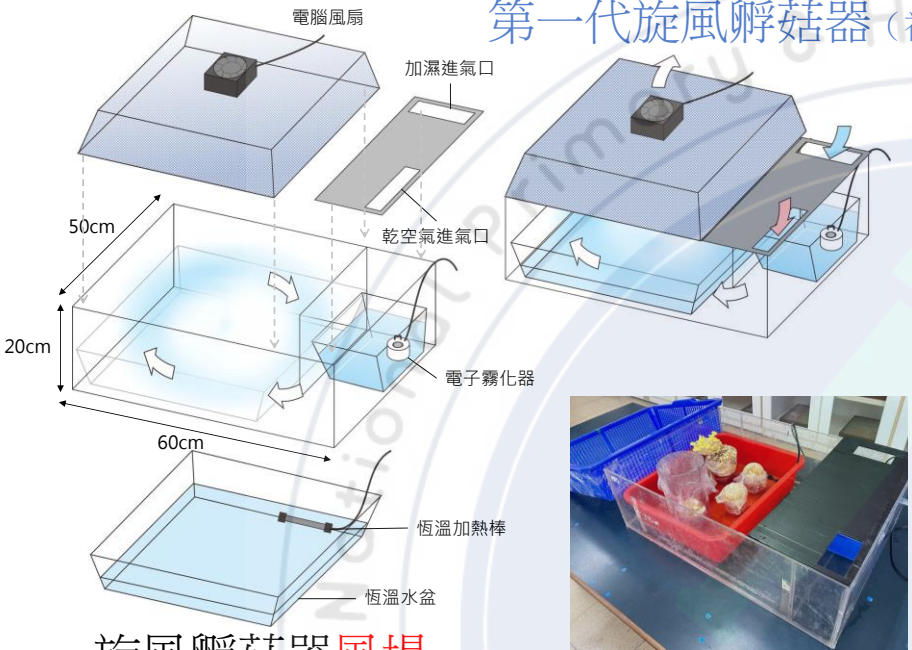
第62屆 本研究
 通風報「葷」，「畸」不可失
 —發展食用菇類之形態變異栽培技術

- 發展菇類栽培裝置，提升發菇率
- 探討環境因子對子實體形態變異的影響
- 統整形態變異食用菇盆栽的栽培方法

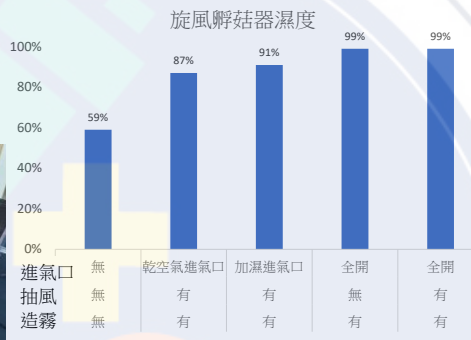


研究方法—菇類栽培裝置「旋風孵菇器」

第一代旋風孵菇器（初號機）

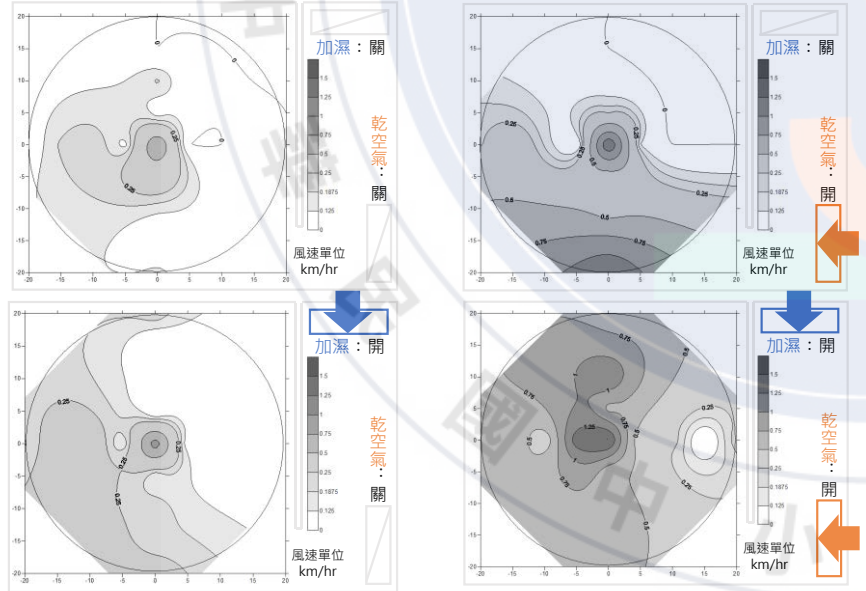


旋風孵菇器濕度



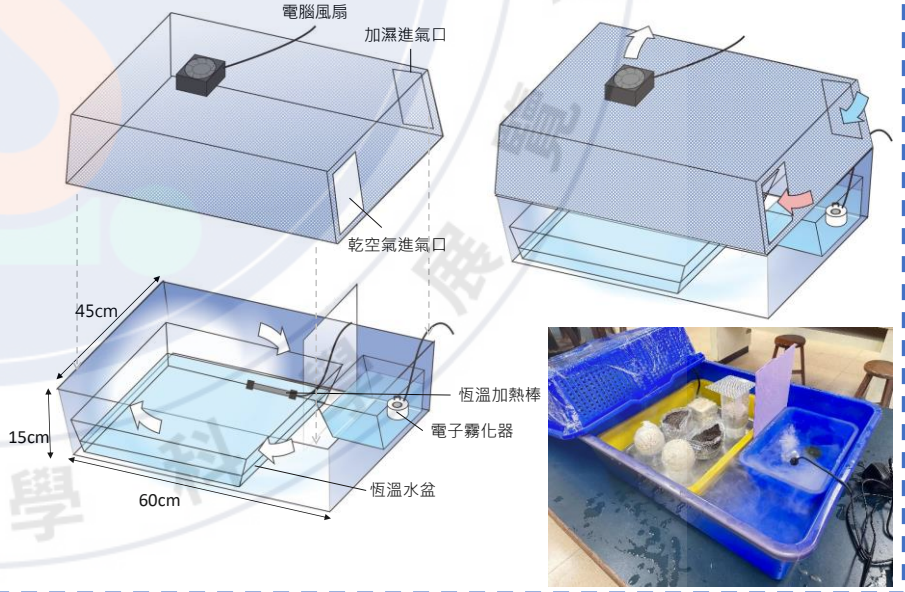
以屋頂抽風裝置與颱風結構作為發想，開發出旋風孵菇器。

旋風孵菇器風場



開一個孔，可以達到菇類生長的最佳條件

第二代旋風孵菇器（量產型）

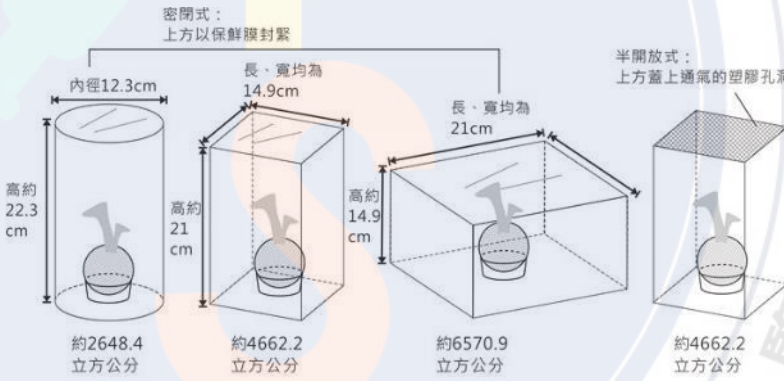
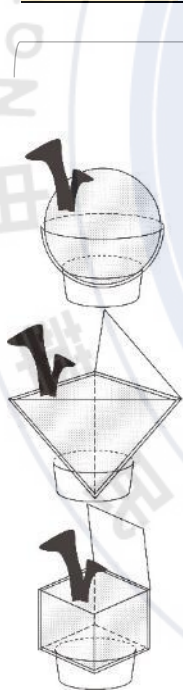


研究方法—標準化菇類培養

六種食用菇的栽培標準處理流程



種類	填裝	走菌溫度、條件、時間	靜置溫度、條件、時間	培養條件	光線	採收條件
秀珍菇	扭蛋菇、 正立方體、 正四面體	24°C、黑暗 4天	5°C、黑暗 14天	24°C	日夜交替 12hr± 1hr 亮度<20Lux.	蕈傘寬>5cm
藍寶石菇				22°C		蕈傘寬>5cm
白雪菇				18°C		蕈傘寬>5cm
珊瑚菇				26°C		蕈傘寬>3cm
玫瑰菇				26°C		蕈傘寬>5cm
柳松菇	體積約 205cm ³ 均填裝 140g	24°C、黑暗 14天	24°C、照光 14天以上	基質出現小顆 粒才開始栽種 26°C		蕈傘寬>3cm



不同基質填裝容器示意圖

不同大小密封容器

測量位置標示圖

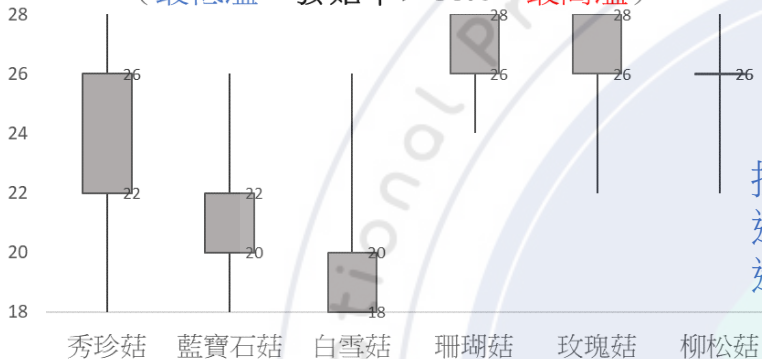
研究結果與分析討論

一、微型化食用菇環控栽培

(一) 不同溫度下的發菇率 (一週內發菇率)

最適發菇溫度

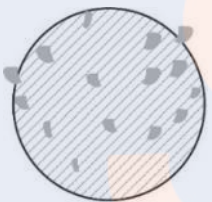
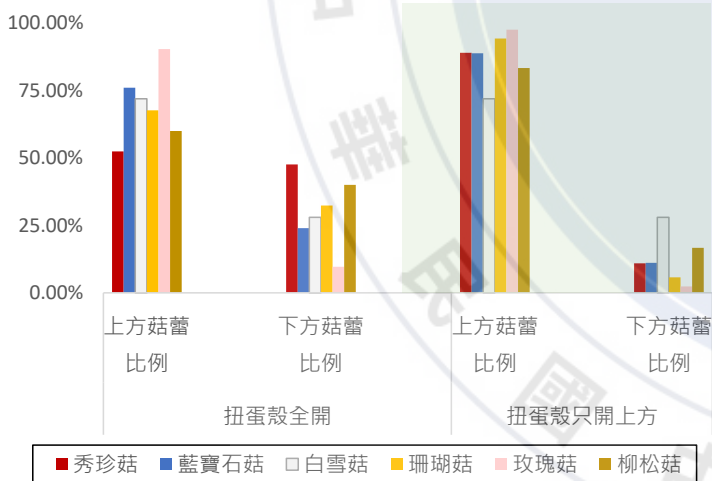
(最低溫 - 發菇率 > 80% - 最高溫)



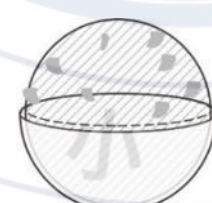
找出各種菇最適發菇溫度進行後續實驗

(二) 發菇位置的探討

扭蛋殼通風程度影響菇蕾位置



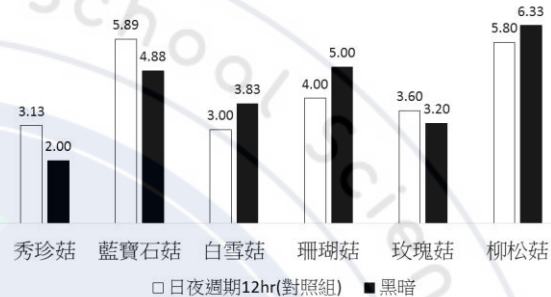
下方包扭蛋殼



測試有無扭蛋殼對發菇位置的影響，發現菇蕾大多長在通風處。

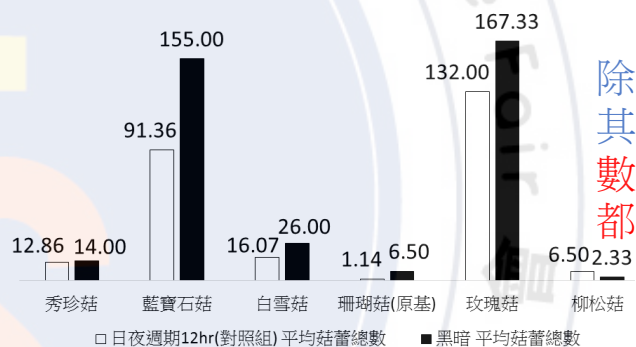
(三) 探討光照對菇類子實體發育的影響

光線對發菇天數的影響



黑暗時秀珍菇、藍寶石菇、玫瑰菇發菇略為提早。

光線影響菇蕾數目



除了柳松菇，其餘菇種菇蕾數(或原基數)都有顯著增加

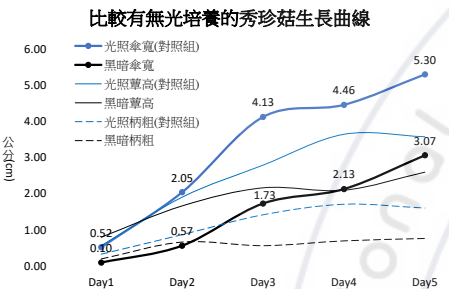


研究結果與分析討論

二、黑暗、不通風環境下的生長曲線

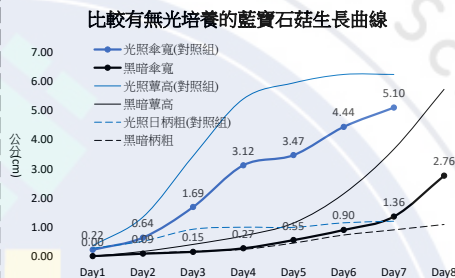
(一) 秀珍菇

有無光線 (光照、黑暗)

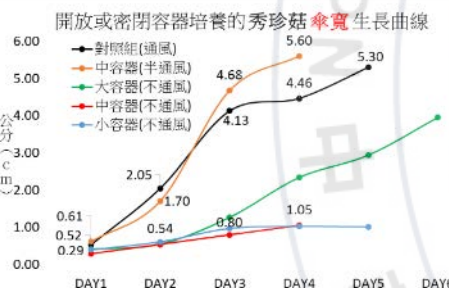


(二) 藍寶石菇

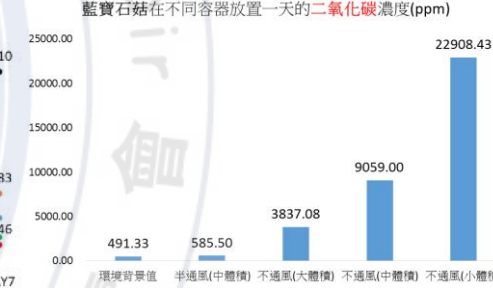
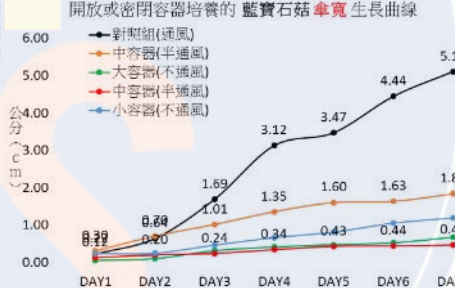
有無光線 (光照、黑暗)



通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)



通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)



- ◎黑暗：長得較慢、蕈柄較細
- ◎半通風：蕈傘較對照組小
- ◎不通風：無法開傘、蕈柄變長



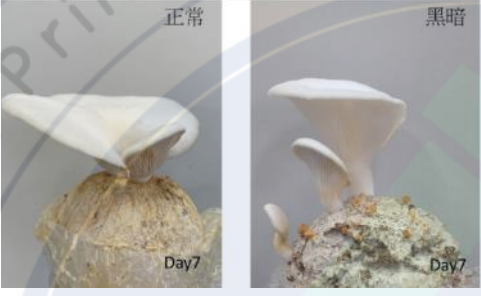
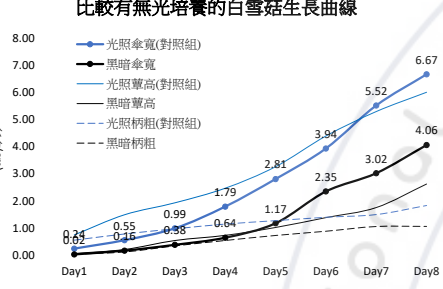
- ◎黑暗：長得較慢、蕈柄較細
- ◎半通風：蕈傘較對照組小
- ◎不通風：無法開傘、多分支



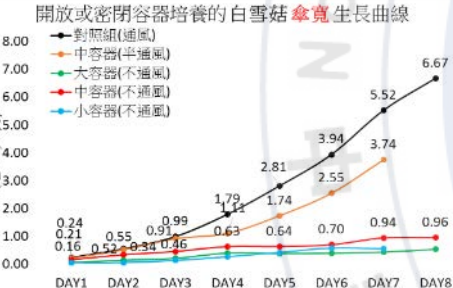
研究結果與分析討論

(三) 白雪菇

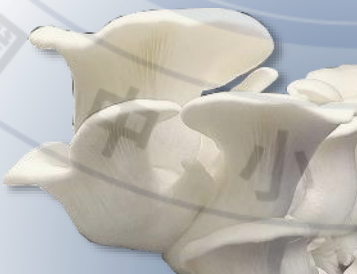
有無光線 (光照、黑暗)



通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)

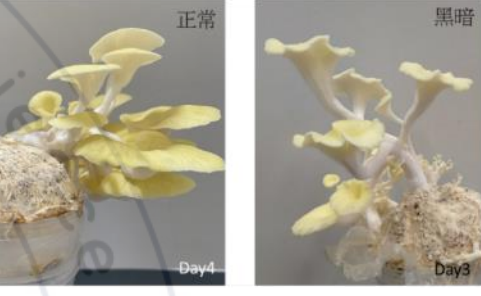
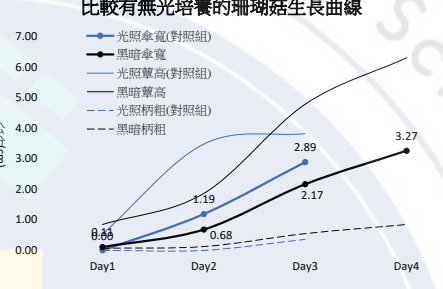


- ◎黑暗：與對照組類似，但生長緩慢
- ◎半通風：與對照組無太大差異
- ◎不通風：多分支，且菌柄細長

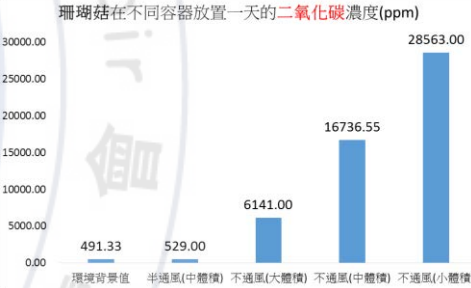
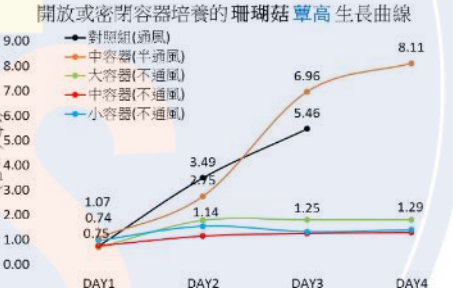


(四) 珊瑚菇

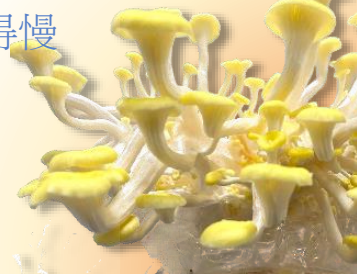
有無光線 (光照、黑暗)



通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)



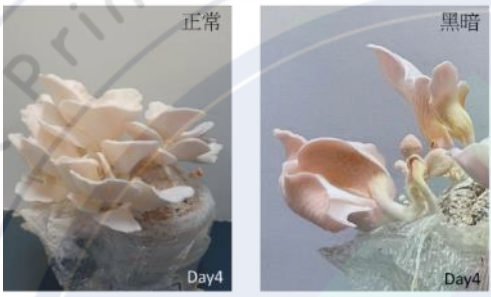
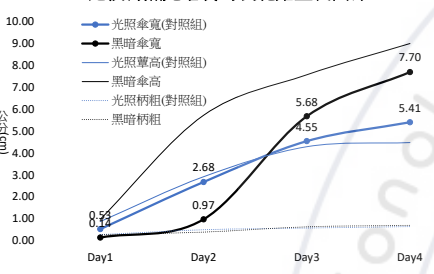
- ◎黑暗：傘較白、柄變長、長得慢
- ◎半通風：菇體巨大、柄變長、傘較大
- ◎不通風：只長原基，難發菇



研究結果與分析討論

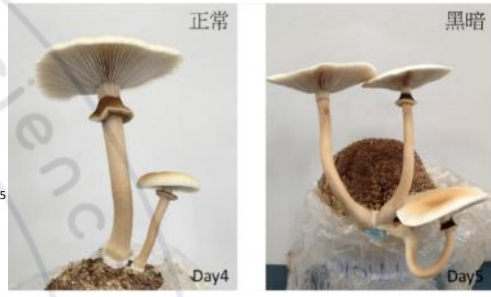
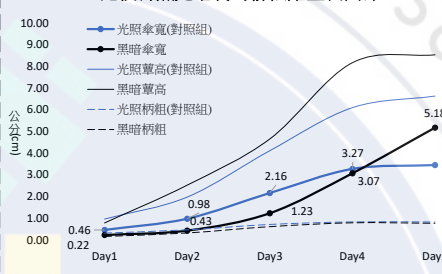
(五) 玫瑰菇

有無光線 (光照、黑暗)
比較有無光培養的玫瑰菇生長曲線



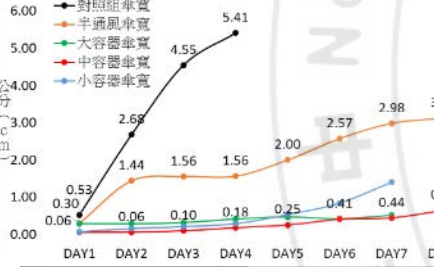
(六) 柳松菇

有無光線 (光照、黑暗)
比較有無光培養的柳松菇生長曲線



通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)

開放或密閉容器培養的玫瑰菇傘寬生長曲線

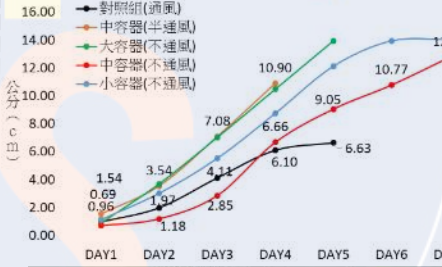


玫瑰菇在不同容器放置一天的二氧化碳濃度(ppm)

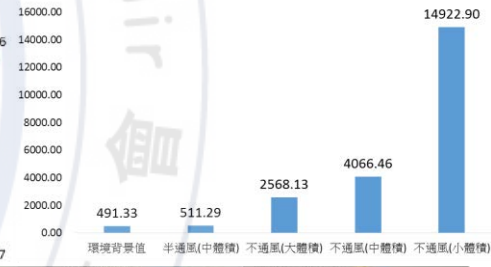


通風程度 (半通風或大、中、小密閉容器)

開放或密閉容器培養的柳松菇傘高生長曲線



柳松菇在不同容器放置一天的二氧化碳濃度(ppm)



- ◎黑暗：子實體分散、傘不規則
- ◎半通風：傘傘勉強開傘
- ◎不通風：柄細長、多分支呈鹿角狀



- ◎黑暗：延長發菇時間、不易發菇
- ◎半通風：柄略微延長
- ◎不通風：柄大幅延長

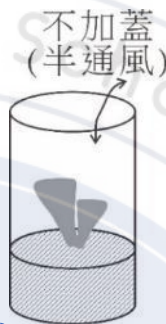


研究結果與分析討論 三、栽培方法統整

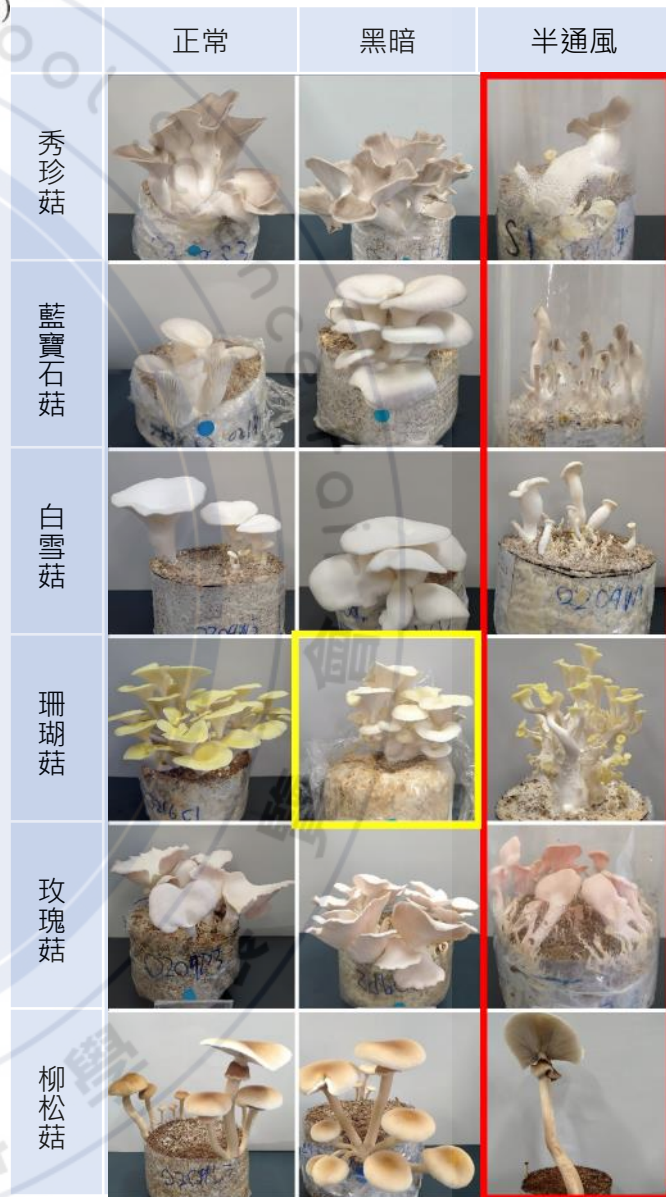
(一) 密閉空間 + 不照光 對子實體發育的影響



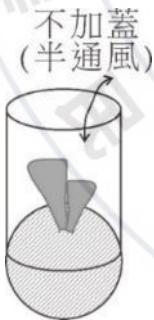
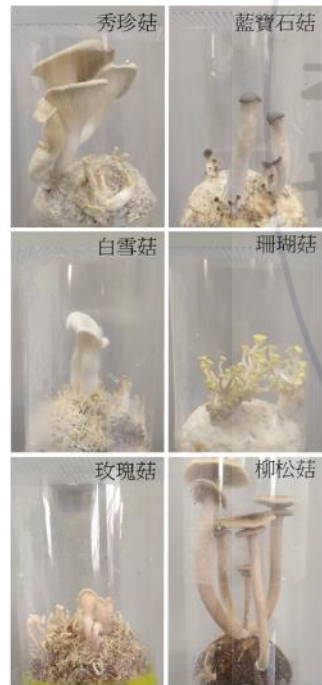
生長更慢、更多分支，大多柄變細且不開傘，易在子實體上長出新菇蕾，柳松菇則是變的細小像黑色金針菇



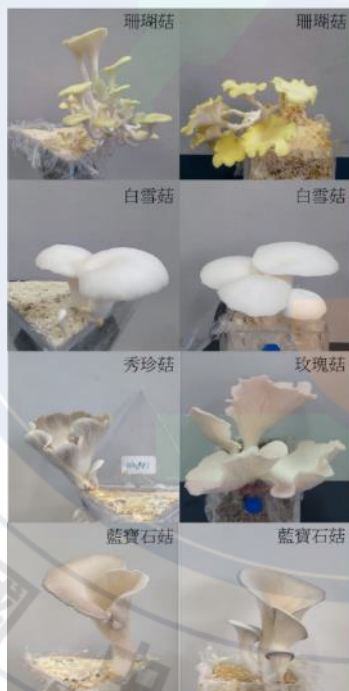
(二) 利用切割太空包 培養畸形菇



(三) 利用扭蛋菇圍繞 投影片 培養畸形菇



(四) 利用不同形狀容器栽培



不會影響菇體形態發育，子實體大多從邊緣、角落處發菇。

在半通風環境培養，使菌柄延長和傘變小，在黑暗環境下，珊瑚菇菌傘變白。

類似「半通風」實驗結果
白雪、玫瑰菇會長大量菇蕾；秀珍菇有時在子實體上長出新菇蕾

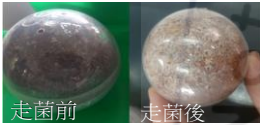
(五)、統整使菇類形態變異的栽培方法

微型食用菇類盆栽

填裝：太空包木屑切碎，在扭蛋殼和不同形狀容器中（體積約205 cm³）填裝140g 基質並加入7c.c.水，將蓋子蓋



走菌：在24度黑暗環境下靜置走菌約4天，直到布滿白色菌絲；柳松菇較久約1週



刺激發菇

- 冷熱溫差3次：秀珍菇
- 常溫照光至長出小圓球再開始種：柳松菇
- 冰箱冷藏2週再開始種：藍寶石菇、白雪菇、玫瑰菇、珊瑚菇

太空包

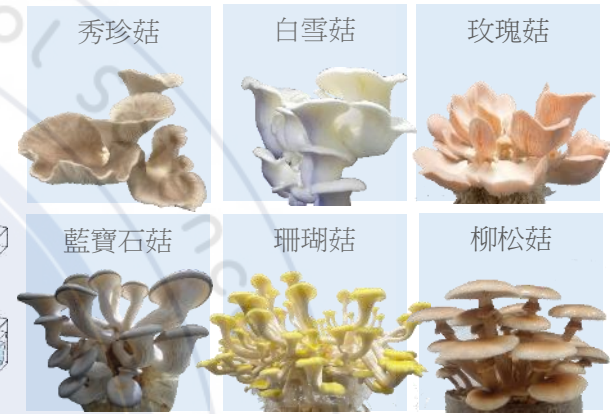
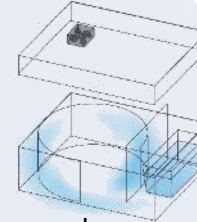
直接栽培：一個約1400克
切割太空包(1/3)：一份約466克



培養方法（正常）

1. 濕度：85-95%（旋風孵菇器 或 室內陰暗潮濕處）
2. 容器只開上方，可使菇向上生長
3. 光線：黑暗中發菇快、菇蕾多（珊瑚、柳松例外）以散射光（20 Lux以下）培養，日夜交替週期
4. 溫度（須配合季節栽種）

菇種	溫度	菇種	溫度
秀珍菇	24 °C	珊瑚菇	26 °C
藍寶石菇	22 °C	玫瑰菇	26 °C
白雪菇	18 °C	柳松菇	26 °C



黑暗（全日黑暗）

黑暗培養可以選擇暗室栽培或發菇後移至暗室中使子實體缺乏光線刺激



白雪、柳松接近正常
整體而言，黑暗培養使生長變慢，菌傘變淺、菌柄變長

不通風（密閉容器培養）

在密閉容器中栽培（約4600 cm³為佳），一天換氣一次



整體而言，不通風培養，生長緩慢，菌傘不開

半通風（容器頂端開，或以塑膠片圍繞）



珊瑚：基部變高、變得巨大

黑暗+不通風

在黑暗且密閉容器（約4600 cm³）中栽培，一天換氣一次

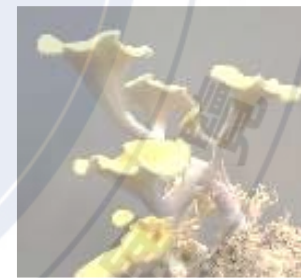


黑暗不通風培養，生長更緩慢，有些菇種會有多分支、大多柄變細且不開傘

研究結果的解釋

- 菇類需要在**高濕**（80~85%以上）、**通風**的環境中培養（陳美杏等，2017）一般植物生長箱雖可恆溫控制，卻很難維持高達80%的濕度，於是我們開發出孵菇裝置—「**旋風孵菇器**」，加裝水槽及造霧器，利用類似颱風結構的上升氣流進行換氣，此裝置也有助於提高發菇率。
- **溫度**對菇類生長很重要，文獻提到，側耳屬之菇類之最適發菇溫度約在24~28°C（李欣樺等，2008）本研究測試六種菇不同溫度下的發菇率，**找出最適發菇溫度**，並利用**扭蛋殼半開限制發菇位置**。
- **光照**對菇類發育很重要，文獻指出，真菌類具有藍光接收器，透過環境光強度的調整**可改變子實體發育形態和多醣體的產量**（吳芯妍等，2014）。本研究也發現，無光會使菇體形態產生改變（菇蕾變多、蕈柄延長、蕈傘變薄、生長較慢）。
- 黑暗、不通風環境對菇類屬於**逆境**，**生長較慢**，也使菇菇盆栽**觀賞期延長**。

處理	歸納形態變化
黑暗	菇蕾增多、發菇提早、生長變慢、柄長、傘薄且白；珊瑚菇變白得很明顯。柳松菇發菇率低。
不通風	無法開傘、多分支、生長變慢、珊瑚菇不長。柳松菇蕈柄則是大幅延長
半通風（不加蓋）	形態大多介於正常與不通風之間。珊瑚菇基部變得巨大。柳松菇蕈柄也會延長。
黑暗且不通風	生長更慢、分支更多、子實體上有時長新菇蕾 柳松菇長得細小像黑色金針菇
用有尖角的容器栽種	多從角落處發菇



- 在「金針菇的種植技術」報導中提到，以食菌柄為主的金針菇，培養過程中可加紙筒遮光，促使菌柄伸長，將塑料膜拉高成圓筒狀，蓋上報紙，則可以催蕾（2022）。本研究選擇六種菇在不通風環境培養，都曾發生過類似狀況，尤以柳松菇最為顯著，推測**黑暗**與**不通風**是造成**菌柄變長**的原因。
- 菇類發育受到各種環境因子的影響，容易改變原本的樣貌，雖使產量減少，但有機會產生更具價值的「**畸形菇**」（形態變異菇），我們認為這是菇類「形態多樣性」的一環，不同環境下菇類為了生存，必須改變形態適應，例如發育出更長的柄，可以讓孢子散播得更遠。



本研究拍攝的秀珍菇射孢情形

未來展望

- 精密調控**氧氣**或**二氧化碳**濃度，觀察不同氣體濃度對不同發育階段的菇類影響。
- 發現更多可能**導致菇類形態變異**的原因，找出菇類菌絲溝通的物質或方式，並**探究其原理**。
- 將**變異條件**施加於不同發育階段、不同菇種，使其價值（觀賞、食用、營養）提高。
- 使本「旋風孵菇器」以微電腦控制，發展成自動化菇類培養箱。

參考文獻

- 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 (*Pleurotus eryngii* var. *ferulae*) 原基誘導之影響。Fung. Sci. 23(1-4)1-10。
- 吳芯妍、金湘雲（2014）。菇Go！非「光」不可。第54屆中小學科學展覽會國中組生物科作品。
- 陳美杏、李瑋崧、呂昀陞（2017）菇類基本特性與栽培原理(二)。農學報導。
- 陳彥勳、蔡長祐（2021）。菇菇「蛋」自強—微型化菇類子實體培養實驗，探討不同逆境條件的出菇表現。第61屆中小學科學展覽會國中組生物科作品。
- 花卉百科園金針菇的種植技術（2022）<https://www.hhbky.com/zh-tw/yanghua/zhiwuzhishi/138580.html>