

菇類智慧生產 4.0

石信德、呂昫陞、李瑋崧、陳錦桐、陳美杏、吳寬澤

行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
電子郵件：tedshih@tari.gov.tw；傳真：04-23302308

摘 要

我國菇類產業之總體產值目前已逾 130 億新台幣，為台灣農業相當重要之一環。國內菇類產業市場多屬於內銷，屬於淺碟型市場，菇類產業常有明顯淡旺季之別。近年來由於部分菇類菌種因老化或退化導致活力不足，全球氣候變遷之因素導致產能下降，加上缺乏基層勞力，使得產業面臨轉型壓力。目前外銷菇類以金針菇為主，杏鮑菇次之，鴻喜菇、美白菇、秀珍菇、香菇、木耳及柳松菇佔少數，外銷至東南亞地區及美國，但近年因生產成本高漲，在品質與規格化管理上較為不足，連帶使得產業停滯不前，出口價格較中國及韓國為高，在國際市場上較難有競爭力。產業生產設備自動化升級與系統整合，是當前產業再造的利基點。智慧農業生產力 4.0 將導入菇類全環控與自動化採收智慧化生產技術以作為未來產業再造的發展趨勢，經由開發菇類生產設施、相關機械之軟硬體與整合及導入節能設備的相關研究，希冀串接生產端、供應面與消費端等面向之需求，以提升我國菇類整體產業競爭力。

關鍵詞：菇類產業、智慧生產 4.0

緒 言

菇類營養美味也含有豐富之蛋白質、纖維素及維生素，且具有低脂肪及低卡路里之優點，是國人平日餐桌上少不了的好食材。現今菇類不再是傳統產業，而是具有綠金價值的農業生技產業(陳等, 2010)。台灣菇類產業發展自 1909 年起，即有香菇椴木人工栽培之紀錄，至今已有百年以上之歷史，而在 1950 年代起台灣政府因推展農產品加工外銷，因此當時有蘆筍、鳳梨與洋菇三大罐頭產業，其中洋菇產業由於政府的推動，使得當時農村冬天時家家戶戶種洋菇，並使台灣在 1970 年代成為世界洋菇罐頭出口之大國，使台灣有「洋菇王國」之美譽，但隨著 1980 年代起，政府將產業重心由農業轉移到工業，並大量成立加工出口區，使得農村勞力下降，加上大陸地區與東南亞等國利用廉價之資源與人力投入洋菇之生產，也使得洋菇產業逐漸沒落，但洋菇產業當時墊下之基礎，也使得後續金針菇產業與香菇產業得以發展，至今仍是台灣最重要之兩大菇類品項，此外在 1990~2000 年由於農業試驗所杏鮑菇之推廣，開啟了台灣環控菇類栽培的新頁，而隨著杏鮑菇等環控菇類產業之發展，使得台灣民眾能在一年四季皆可吃到不同品項之菇類，如國人日常生活中常見的香菇、洋菇、木耳、金針菇、杏鮑菇、鴻喜菇、美白菇等(呂等, 2014)。我國目前新鮮菇類年產量約 14 萬公噸，產值逾 133 億元，佔蔬菜總產值 733 億元之 18.1%，顯示菇類蓬勃發展，已是國內極為重要的產業(石, 2015)。然而近年來，由於部分菇類菌種因老化或退化問題，加上全球氣候變遷因素，導致產能下降並且價格居高不下。臺灣目前面臨農業就業人口減縮及老化壓力、產業受國際競爭前後夾擊之雙重挑戰，在接踵而來的第四次工業革命，如何促使國內產業創新轉型、掌握關鍵技術自主能力、維持國際競爭力及提供就業機會是未來產業發展之重要課題，因此行政院於 104 年 9 月 17 日核定「行政院生產力 4.0 發展方案 (Taiwan Productivity 4.0 Initiative)」，其中農業結構優化之方向為「強化產業結構調整與科技研發創新」以提升農業生產力。

我國菇類產業面臨問題

根據農委會 104 年度雄才大略計畫所召開菇類研發團隊與業者討論會議，蒐集我國菇類產業主要研究團隊與相關業者之意見，其中科技部分主要呈現之問題可分為三大部分，其一為菌種相關之問題，包括對品種鑑別技術、安定化菌種相關技術之需求；其次為栽培生產相關之技術，包括生產設備研發與汰換、栽培技術開發與引進、菇類栽培節能技術、降低生產成本或提高單位產量之栽培技術、菇類生產管理相關資料庫等；其他則與行銷和應用面相關，包括採收後處理與長途運輸保存技術、加工應用產品/技術開發和電子商務系統建構等(劉等, 2016)。

表一、菇類生產面 SWOT 分析表

SWOT 分析	
優勢 (Strength)	劣勢 (Weakness)
1.我國菇類產業鏈完整。 2.相關輕工業發達。 3.從業人員具專業訓練。 4.業者操作靈活，轉型速度快。	1.勞動力缺乏。 2.菇類生產與採收作業依賴人工程度高。 3.欠缺設備整合系統與自動化升級。
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
1.國內已有菇類自動化生產工廠及相關自動化設備產業。 2.國人每日菇食攝取量尚有相當大成長空間。 3.自動化系統建置及相關組件生產公司林立。 4.有機安全認證公司眾多，互相競爭，具一定公信力。	1.原物料及油電價上漲，生產成本增加，業者獲利空間壓縮，不利外銷。 2.韓國、中國大陸及東南亞國家均積極投入菇類產業，產業競爭加劇。

生鮮菇類的生產至運銷分為四個階段，第一個階段是將菇類菌種接種至滅菌過的栽培瓶或太空包進行走菌，第二個階段是將長滿菌絲的栽培瓶或太空包移至環境控制的出菇室進行出菇管理工作，第三個階段是進行菇體(子實體)的採收及包裝，第四個階段則是利用物流方式進行菇類產品的運銷與販售。目前國內菇類業者從栽培瓶或太空包的基質組成、滅菌及植菌之流程、走菌及出菇之環控條件、乃至採收等，是根據自有的經驗去做調整控制，雖然現有機器及設備可以進行相關生產操作，但目前仍欠缺整

合或還有缺口，這些問題分析如下：1.生產面仍無法全面自動化，如專業製包場或一貫式金針菇或杏鮑菇等環控生產場的太空包製作的流程仍屬半自動化，每條生產線需要 5-6 人方能操作。出菇室囿於空間限制，栽培瓶或太空包的上架及下架仍仰賴人員爬上爬下，除需人力搬運外，且有公安的風險。2.雖然部分菇場已開始應用液態菌種，然僅限於栽培瓶方能進行自動接種，大部分菇場仍使用固態菌種。此外，以太空包方式生產場尚無液態菌種的全自動化接菌機械。3.菇類生產過程中的栽培環境深受外界氣候影響，縱使全環控的栽培室其空氣仍須與外氣進行不同程度的交換，目前多數菇類栽培場的環控設備老舊仍有整合的空間，如引進空氣預冷室、節能變頻裝置等設備。4.出菇所需的環控參數應包括溫度、濕度、二氧化碳及光線，多數菇場僅利用人工方式紀錄溫度及濕度，或其控制面盤仍停留在單純的機械開關，尚無法連線進入電腦化的資訊蒐集，更遑論提供數據管理。5.出菇後的菇體(子實體)採收及分級包裝，耗費大量人力，無法提升工作效率。6.目前菇類生產面仍欠缺可作為產業應用之標準化生產流程。7.國內食安問題迭有發生，消費者對於農產品的安全性要求越來越高，溯源管理亦是菇類生產業者所必須強化的工作，如能結合菇類產業上下游端形成智農聯盟，是創造產業面的新利基。整體而言，台灣菇類產業除需提升各個環節的自動化外，目前仍缺乏智慧化管理技術的導入與利用，如生產流程各個單元資訊面的蒐集、整合與加值利用而發展成產業可利用之專家系統或決策支援系統等。

他山之石可以攻錯

日本由於工資高漲及一般年輕人較無意願投入菇場工作，使得勞動力缺乏等現象，因此日方在機械設備使用率較台灣國內菇類栽培業者更高，雖然機械設備在初期投入成本較高，但可以省卻掉許多勞動成本與人事管理成本，更可以使產品之規格化程度更高。筆者參訪日本菇類產業，看到九州菇廠之香菇生產由前端木屑製作起形成一貫化的栽培模式，由於可掌握前端木屑品質，因此每包為 2 公斤之香菇太空包可生產約 800 公克之鮮香菇，其生物效率較國內太空包為高。此外，該場由於利用環控栽培因此可以層架式生產香菇，此方式較國內現行平面式生產之土地利用率高，且

其香菇品質更容易控制，因此認為相當值得國內研究借鏡(石等, 2014)。在北海道看到菇場內利用機械化製作磚型的菌床(太空包)，僅需二個人力即可完成。該廠並利用栽培框的覆蓋搭配，可相當迅速完成培養料床製備，該廠之機械化程度良好，在庫間內運送可以簡易堆高機由一女工獨立完成，搬運載有菇包之層架至菌包培養室，顯示出其規劃提昇運轉效率。舞菇在環控菇舍內栽培，菌包與菌包間的擺放空間距離較大，使得舞菇的生長相當良好；每包菌床可生產出 500 公克的鮮菇，在採收後以托盤秤重分裝，每盤秤重 100 公克，經機械保鮮包裝後裝箱上市。滑菇的栽培則採用瓶栽方式，採用自動化製瓶、滅菌與機械接種，栽培的庫房設計門為開放式，可讓堆高機直接運送整床架之菌瓶入內，再用透明冷凍式的拉門。此二種菇類的栽培並不在同一區，以避免相互干擾。該廠的自動化機械採收滑菇作業，利用輸送帶由機械採收、清洗、分級、秤重分裝、包裝入箱。該廠高度機械化可減少人力之使用，且可使農產品直接升格成商品(石等, 2014)。

我國菇類產業面臨與日本相同之問題，因此如以日本為借鏡，國內應積極加強菇類相關機械設備之研發；如日本除將滑菇的生產自動化外，也可自動化採收，並且清洗後直接機械包裝封袋上市，所需人力大幅下降。而國內目前在此方面之研究較少，因此未來我國應加強不同領域專長之結合，並以日本為借鏡，以建立適合國內菇類產業之安定化生產技術。

菇類智慧生產 4.0 的願景

農業生產力 4.0 在技術研發面須佈建農用智慧生理感測元件、智能化作業機械與人機輔具、生產場域物聯網整合系統、應用巨資支援產銷決策、溯源管理與推播介面等五大類。且需藉由基礎環境面以及專業應用面的關鍵技術跨域研發與投入，包括物聯網應用開發平台、環境感測元件開發與應用、人機協同自動化智慧採收輔具技術、監測及結合場域資訊與 IoT 整合系統、雲端產銷決策 與風險控管整合平台、溯源安全履歷智動化推播介面等，讓產業得以補足經營缺口和升級(行政院, 2015)。

一、近年來發展的亮點技術與未來 4.0 整合

為因應菇類產業朝向自動化、規模化與國際化，近年來農業試驗所積極發展菇類栽培及整合應用技術，以下介紹液體菌種及移動式植物工廠(場)二個亮點技術，是未來橋接生產力 4.0 的關鍵轉折點 (Tipping point)。

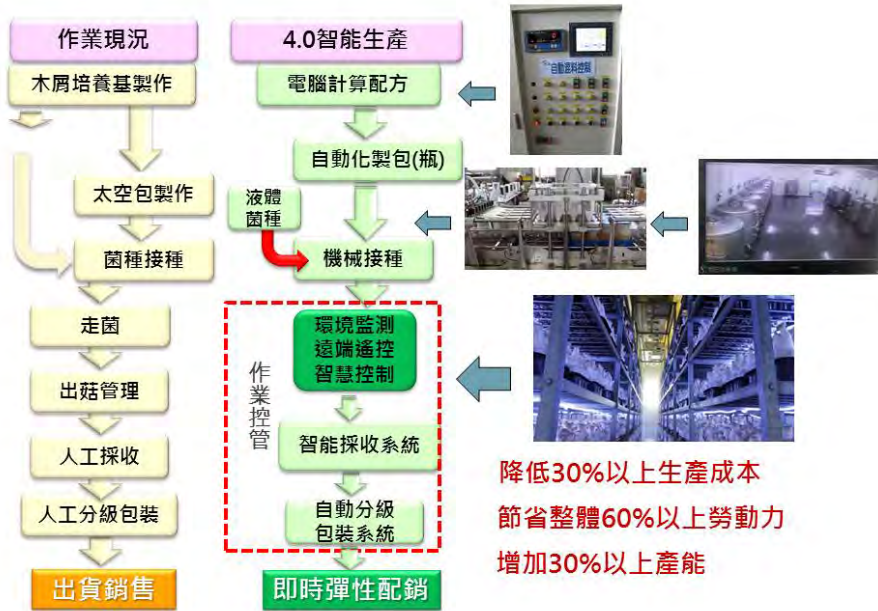
(一) 液體菌種

傳統的食用菇類生產過程中，使用的菌種大多是固態 (體)菌種。固體菌種一般生產模式為試管母種繁殖至生產原種，再由原種擴增培養生產栽培種 (塑膠瓶或袋)。這樣的傳統菌種生產模式，一般要經過 60-90天的時間才能進行栽培生產，生產週期較長，其培養成本也較高，生產受季節和氣候影響較大，而且菌種品質仍有很大需改善之處。相較於固體菌種，應用液體菌種於菇類，除可縮短培養時間、菌絲生長快速、菌齡整齊及增加庫房設施使用效率等優點外，還有利於食用菇類生產的規模化及工廠化，又具有降低栽培成本而提高收益(石, 2010)。農業試驗所利用液體菌種方式生產杏鮑菇，發現可節省其菌種之製備時間、接種後菌絲培養及出菇採收所需時間，較傳統固體菌種栽培方式縮短30-32天，並可降低培養基之成本及提高栽培庫房的年利用率4-5次(石, 2016)。未來應用液體菌種生產技術串接太空包製作自動化技術 (Chen, *et. al.*, 2010)，是菇類生產力4.0的重要工作。

(二) 菇類移動式植物工廠(場)

讓菇類在人為的環境控制下，達到有效率的生長，是利用「菇類栽培工場」生產菇類的目地。當中的環境控制包括溫度、濕度、二氧化碳及光照。金針菇是台灣最早利用環控植物工廠模式操作的案例，目前環控菇類尚包括杏鮑菇、秀珍菇鴻喜菇及美白菇等。農業試驗所建置菇類移動式植物工場，是菇類生產力 4.0 的示範模組，在外觀結構部分 (庫體) 主要採用模組化、可快拆、移動及鋼架結構，以雙層版式的庫版，內充 PU 材質做為隔間，達到保溫及保濕的目的；庫體內設有吸、排風設備，並可在外區加裝太陽能板，利用太陽能板轉換來的電，提供植物工場內的簡單照明。在軟體設備配置可程式控制器 (PLC 系統)，可以根據不同菇類量身訂做一套適合的溫、溼度監控系統，以北蟲草生產為例，其生長溫溼度監控尤其重要，採用微霧加濕可達到

剛好的水份供應量。此外，透過網路監控遠端電腦，隨時掌控植物工場內的菇類生長動態。



圖一、菇類生產現狀與投入智慧生產預期效能

二、具體作為

菇類智慧生產 4.0 之具體研發需求重點為開發菇類全環控與自動採收智慧化生產應用技術，以掌握(1)菇類環控人機自動控制系統相關技術及(2)菇類自動採收關鍵技術等自主能力。經由 turn-key 方案佈局創新菇類生產設施(備)事業營運模式，催生(1)環控節能設備整合業者(2)菇類自動採收設備生產業者。促進國內業者開發(1)菇類環控降提溫系統相關設備。(2)菇類環控換氣系統相關設備。(3)菇類環控人機自動控制系統相關設備。(4)菇類雲端系統。(5)環境因子自動化感測之相關設備。(6)菇廠節能評估設備。此外，研發平台亦將培育菇類全環控、自動採收智慧化生產與行銷應用人才。

三、未來應用情境

菇類產業現況面臨生產成本高漲、欠缺自動化與整合升級、非安

定化生產，品質規格待提升等。未來導入生產力 4.0 相關配套應用，期待發展全環控智慧生產、提供消費者安心的溯源產品、建構智農聯盟，批次接單量產，競逐亞洲市場。

■ 菇類產業-(菇場案例)

PRODUCTIVITY
行政院生產力4.0發展方案

■ 菇類產業現況與困難

- 生產成本高漲、欠缺自動化與整合升級。
- 非安定化生產，品質規格待提升。

■ 導入生產力4.0應用情境

- 降低菇類生產成本並提高生產技術及品質。
- 提升整體菇類產業競爭力，拓展未來全球市場。



圖二、菇類智慧生產 4.0 未來產業應用情境

(一) 情境一

安全又有鮮味的即食調理杏鮑菇從真空包裝袋取出，經由掃瞄 QR Code，「台灣一號」的消費者坐在樓高 100 層的摩天住宅輕鬆看到位在第 20 層植物工場所栽種的杏鮑菇是如何在潔淨的自動化環控廠房所生產及採收。

(二) 情境二

澳洲的通路商一方面藉由農業雲端供應鏈系統將彰化菇類物流公司所外銷的台灣金針菇迅速在澳洲最大的 Woolworths 超市鋪貨，另一方面經由雲端下單訂購 7 個月後的鮮香菇，台灣菇類菌種產發研究中心的工作人員則藉由 RFID 系統正在準備這批要外銷的香菇菌種。

結 語

菇類為我國農業生產力 4.0 領航產業的重要區塊，未來將透過產業服務團及 SIG 小組的運作，結合產官學研的力量，協助菇類生產業者及行銷業者打造智慧供應鏈滿足食農二端需求，經由降低菇類生產成本，提高生產技術及品質，透過「整合分工」、「產權連結」及「品牌建立」提升整體菇類產業競爭力，拓展未來全球市場。

引用文獻

1. 劉育姍、康瑋帆、呂昀陞、石信德。2016。我國菇類產業現況與技術發展策略分析。農政與農情 285: 64-69。
2. 陳錦桐、鄭吉助、黃健覃、石信德。2016。杏鮑菇液體菌種開發之研究。台灣農業研究 65(2):136-145。
3. 行政院生產力4.0發展方案核定本。2015。行政院科技會報辦公室，188頁。
4. 石信德、謝廷芳。2015。菇類新品項、新技術與多元化產品，以及訓練、技轉與輔導成果。技術服務 26(3)：38。
5. 呂昀陞、石信德、林宗俊、陳宗明。2014。台湾のきのこ産業の歴史と最新動向。2014年度版きのこ年鑑。P.32-40。株式會社特産情報。
6. 石信德、呂昀陞、林宗俊。2014。日本九州地區菇類發展現況(上)。農業世界 373:81-85。
7. 石信德、呂昀陞、林宗俊。2014。日本九州地區菇類發展現況(下)。農業世界 374:85-89。
8. 石信德、陳錦桐、林宗俊。2014。日本北海道地區菇類發展現況(上)。農業世界 375:27-32。
9. 石信德、陳錦桐、林宗俊。2014。日本北海道地區菇類發展現況(下)。農業世界 376:71-91。
10. 石信德。食藥用菇類液體菌種栽培技術之潛力。2010。農業生技產業季刊 23:26-31。

11. 陳美杏、呂昫陞、石信德。2010。新興菇類的栽培與發展。科學發展 446 : 8 -15 。
12. Chen, J. T., W. S. Li, and H. D. Shih, Practical training for substrate preparation techniques for mushrooms. Pages 78-86 *in* : International Training Course on Edible Mushroom Production for Asian Farmers and Entrepreneurs. M. H. Chen, T. Y. Ku, and H. D. Shih. ed. 100pp. Special Publication of TARI No. 148. Taichung, Taiwan.