

因應氣候變遷之菇類育種與栽培管理

石信德*、陳美杏、李瑋崧、呂昀陞、陳錦桐、吳寬澤

農委會農業試驗所植物病理組

*聯絡作者：電子郵件信箱：tedshih@tari.gov.tw

摘要

氣候變遷必然會導致增加氣候的可變性、極端的事件及衝擊。這種氣候的變異及極端所帶來的衝擊即使連較為堅固的全球菇類族群也會受到影響。致力育成地區性的菇類適應品種將可提升吾人對於氣候變遷的準備。為因應全球氣候變遷及未來菇類產業發展，菇類育種目標也必需有所調整，歸納起來主要分成下列三個面向：一、選拔生長溫度適應廣之品種，以減少能源消耗及降低生產成本。二、選育可以快速分解大量農業廢棄物的品種，縮短走菌培養的時間。三、選育適合環控栽培之菇類品種，穩定菇類生產。菇類育種的策略包括雜交育種法(cross-breeding)、誘變育種法(mutation breeding)和原生質體融合法(protoplast fusion)等。另一方面，掌握栽培菇種的生物學特性是栽培管理最主要的關鍵，生物學特性包含所需營養和各階段生長條件，生長條件包含環境溫度、溼度、光照及二氧化碳濃度等因子。一旦確實掌握了生物學特性，即能以自己擁有(既有)的菇舍進行必要的改善措施，或設計適當的環控栽培設施進而降低菇類栽培時因氣候變遷所帶來的不利影響。面對氣候變遷此等難題時，各種農作物所遭遇的病蟲害(pest)及逆境(stress)都和以往不同，糧食穩定度面臨挑戰，菇類是相當良好的素食蛋白質來源，其設施化程度遠高於其他農作物。菇類相較於他種作物而言，在面臨氣候變化的衝擊時，或許可成為最穩定的糧食。為了維持糧食安全以因應人口成長及全球暖化，包括逆境容忍的種原、永續性的作物、天然資源的管理及妥善的政策介入在內的整體性研究是必要的。菇類在於不可預測的環境中得以永續生產是基本的課題，其討論的項目包括適應生物性與非生物性的逆境、永續性的生產、資源保存的技術及新的育種工具以增加菇類的適應性。這是研究人員和決策者規劃基本概念需求，以因應氣候變遷下菇類栽培環境的根本對策。

前言

菇類為我國重要之食藥兩用資源，台灣自 1918 年有栽培椴木香菇之紀錄起，其間曾歷經洋菇外銷之興盛時期，並讓我國擁有洋菇王國之美名，菇類栽培迄今已有近百

年之歷史。目前國內主要生產之生鮮菇類包含香菇、金針菇、木耳、杏鮑菇等數十種，每年生產之太空包約 4 億包，年產值約為 88 億新台幣，為精緻農業中相當重要的一環。過去菇類栽培仰賴天然氣候，其主要產期為秋冬兩季，而產地也以海拔較高的新社、埔里、魚池與中埔等地為主。近年來由於環控技術之進步，菇類栽培雖較不受天然氣候之影響，然而如香菇、木耳等傳統型菇類，目前仍以傳統菇舍栽培為主，產量受氣候變遷影響較大。環控栽培菇類包含金針菇、杏鮑菇、秀珍菇和鴻喜菇等，雖然不會直接受到外界氣候變化之影響，由於多數業者環控設備較為簡陋，當培養的菇類需要大量新鮮空氣進入栽培庫房內進行換氣時，即會影響到菇類品質，並可導致細菌病害之發生與冷氣用電量增加。以香菇與木耳兩種傳統菇類為例，2009 年秋季平均溫度提升 1.1℃，九月份溫度達 29.3℃；冬季平均氣溫較往年提昇 1.4℃，且翌年二月份平均溫達到 21.3℃，使得許多香菇太空包在走菌階段，即因遇到高溫(包溫達 32℃ 以上)而產生菌絲死亡之現象，嚴重影響香菇太空包之成數，進而降低產量。今年度(2011 年)雖然冬季氣均溫僅下降 0.6℃，但由於數波寒流在新社地區皆產生 5℃ 以下之低溫，使得香菇子實體生長受到抑制，也使得香菇產量下降 30%。此外，木耳亦有類似之現象，由於氣溫下降，因而使得今年度木耳生長勢減緩，業者為了保持栽培室溫度，因而減少通氣量，因此造成許多木耳發生無法順利展耳情形，也導致產量與品質之下滑。為減少氣候變遷對於菇類產業之衝擊，除積極進行菇類品種之選育以因應極端氣候環境外，亦可藉由適當之栽培管理技術，來減少環境變異對於菇類之影響，期以增加菇類對於環境之耐受性，並減少能源之使用，藉以達到菇類產業永續發展之目的。

因應氣候變遷菇類育種之目標

為因應全球氣候變遷及未來菇類產業發展，育種目標也必需有所調整，歸納起來主要分成下列三個面向：

一、選拔生長溫度適應廣之品種，以減少能源消耗及降低生產成本為目標

利用傳統菇舍栽培之菇類，最容易受到氣候變遷的影響，例如香菇、木耳和草菇等。以木耳為例，國內主要栽培的木耳品種為毛木耳，其菌絲生長溫度以 22~32℃ 最適宜，低於 15℃ 以下生長緩慢，高於 35℃ 生長受到抑制，至於子實體發育則以 20~25℃ 最為適宜，15℃ 以下受到抑制，超過 30℃ 則停止生長或產生自溶分解⁽¹⁶⁾。目前夏天要生產高品質的木耳必須在菇舍內設置水牆以協助降低溫度，否則就得由平地移到較高海拔的山區才能種植。冬天遇到寒流來襲，溫度低於 15℃ 時，農民為維持菇舍內的溫度因而減少外氣的引進，造成二氧化碳累積太高使得木耳無法順利展耳並有畸型菇體

產生情形。同樣的問題也發生在香菇和草菇之栽培上，使得產量和菇體品質急劇下降，香菇價格因而高居不下。當務之急，應該開發溫度適應較廣之傳統菇舍栽培菇類品種。較廣溫度適應範圍包括兩個面向，其一是菌絲生長可以忍受較高或較低的溫度範圍，通常是指 32°C 以上或較低的溫度(如 10°C 以下)；使得在養菌的過程中，菌絲生長不會因為溫度的驟升或驟降而降低活性甚至死亡。其二則是菇體發育的溫度，如開發可在 32°C 出菇的香菇品種。其他以空調菇舍栽培之菇類如杏鮑菇、金針菇等菇類如能提高培養或出菇溫度，也有助於節省能源，降低生產成本。

二、選育可以快速分解大量農業廢棄物的品種，縮短走菌培養的時間

多種菇類在菌絲長滿栽培介質之後，還須經一段後熟的培養時間，讓養份完全轉化後才能順利出菇，這類菇種包括香菇、鴻喜菇、巴西蘑菇和白靈菇等。以香菇太空包栽培為例，菌絲培養到包體外層菌膜轉成褐色，依據當令之氣候，短則 3 個月，長則需 5 個月⁽³⁾；有些香菇品種的木質素利用率只有 23%，半纖維素的利用率只有 16%⁽⁴¹⁾。另外，鴻喜菇也要經歷至少 70 天的培養時間。選育可以快速分解栽培基質的菌種，例如透過育種方式提高優良菌株對於木質素或半纖維素利用率⁽³⁸⁾，便可以有效縮短走菌培養的時間，在太熱或太冷的極端氣候發生之前，即可完成整個生產週期，避開氣候變異太大的時節，穩定菇類之生產，同時也可以降低生產成本。

三、選育適合環控栽培之菇類品種，穩定菇類生產

以往香菇栽培過程中，出菇時必須依靠天然氣候的溫差才能讓菇體發育成高品質的產品。隨著氣候的變遷，選育適合環控設施栽培之菇類品種，以降低菇類生產中因氣候變化造成的不確定因素，方能穩定菇類之生產。

育種之策略

面對快速變化的全球氣候，育種的策略也得和時間賽跑，一般常用的菇類育種方法包括雜交育種法(cross-breeding)、誘變育種法(mutation breeding)和原生質體融合法(protooplast fusion)等。傳統雜交育種方法以單胞雜交法(monokaryon matting)為主，所需時間較久，少則 5-7 年，多則達 10 年以上。目前國內「植物種苗法」並未將菇類納入，其新品種需以申請微生物專利方能受到保護。專利申請從送件到核可的時間至少需要兩年，這樣的速度往往趕不上市場上新品種的汰換需求。利用單雙核雜交(monokaryon-dikaryon matting)之方法，分離欲導入性狀的後代單胞菌株和原有性狀良好之親本(雙核菌株)進行雜交，透過細胞核之交換產生新的菌株，這樣的方法類似於植物

上的回交方法，可以有效縮短育種時間^(34,46)。此外，利用誘變育種法和原生質體融合法可以在短時間內產生大量的變異菌株，較能因應氣候變遷所需求。近年來在微生物和植物上發展非常快速的基因體重排技術(genome shuffling)^(19,45)和基因轉殖技術(gene transformation)也都可以應用在菇類品種改良⁽⁴¹⁾。

誘變育種法

菇類的菌絲在有絲分裂的複製過程中會產生變異之率不高，大概只有百萬分之一⁽³⁶⁾。有自然的變異無法以肉眼觀察，有些則非常明顯，如白色變種的斤耳(又稱為雪耳)、舞菇和柳松菇等。爲了提高突變發生的機率，需利用人工的方法處理，如使用誘變劑造成染色體上核苷酸之鹼基產生變異，進而影響其外表的表現性狀，甚至創造原來沒有的性狀或突破原有部分性狀表現之極限。誘變劑的使用方法簡單、處理時間短，且一次就可以獲得大量的突變菌株，然而其最大的困難在於如何從大量各式各樣的變異菌株中篩選符合育種目標需要的變異個體。由於菇類菌絲爲多細胞構造，有時菌絲互相重疊，再加上單一細胞內具有兩個或以上分開之細胞核，在未進行核融合之前，可能只有一個細胞或單一核產生突變，爲了確保在多次移植後仍不會喪失其新的性狀，菌絲體並不是一個作爲誘變的最佳材料，若要使得突變體穩定，許多學者發現改以菌絲片斷、原生質體、分生孢子或擔孢子作爲誘變的材料較爲適合^(8,45)，惟使用擔孢子必須再經過雜交的過程才能產生子實體，在手續上較爲複雜，但仍被採用⁽¹⁰⁾。另外，銀耳有酵母態和菌絲態兩型，並且可以互相轉換，因此酵母態非常適合作爲誘變育種的材料，經過誘變劑之處理後再生爲菌絲態，可以直接和香灰菌一起製作成菌種生產銀耳子實體，提高單位面積之產量。

誘變方法可分成物理性和化學性兩種，物理方法以紫外線、鈷 60、X 射線、離子束、鐳射等爲主^(10,15,20,47,51)，化學誘變劑則以亞硝酸、氰化鋰、疊氮化鈉和 N-甲基-N-硝基-N-亞硝基脲 (N-methyl-N-nitro-N-nitrosoguanidine, NTG) 等爲主^(14, 45)。付氏等人⁽¹⁾認爲利用輻射誘變要產生高產量的食用菇菌株成功的案例並不多，主要是造成對菇類有益變異的機率小，選育工作量卻相當大，但對於菇類非有益的變異如產生少量孢子甚至是無孢的變異菌株恰可以作爲商業栽培，降低人類對於菇類孢子的過敏反應或累積在肺部的不良影響，這部份應用在杏鮑菇、秀珍菇、蠔菇上非常成功^(47,51)。

原生質體融合技術應用於菇類品種改良

在菇類相關研究之中，原生質體除可被應用於菇類菌種去病毒感染之技術上外⁽³⁹⁾，

還可被應用於菇類之品種選育上，特別是不同菇種融合菌株的產生，包括同屬不同種之菌株融合^(13,37,55)，甚至不同屬間的菌株也可進行融合，進而產生新的物種^(2,4,17,35,40)。近年來更被應用於轉殖粒線體 DNA 或是特定功能之 DNA^(41,42)等。原生質體主要係利用酵素將菌絲之細胞壁去除，並利用醣類或鹽類控制其滲透壓，使原生質體能維持其細胞形態，而不會死亡，而在此形態下之細胞，具有極佳之通透性，因此藉由化學或物理之方式，即可促進原生質體進行融合，而細胞的融合則可使基因部分或全部重組，進而獲得新的重組子，為菇類提供了一種新的育種策略。

原生質體技術已廣泛應用於多種菇類育種中，如香菇、草菇、鮑魚菇、鴻喜菇、冬蟲夏草、桑黃等^(6,7,9,11,18,52)。原生質體技術雖然看似較傳統雜交育種技術更為簡便與快速，但對許多因素皆會影響原生質體融合之效率，如：培養基成分、菌齡、酵素種類、酵素濃度、酵素作用時間、酵素作用溫度、pH 值與滲透壓等，因此在進行原生質體融合前須對這些影響因子進行最適化測試。此外，原生質體技術一次可獲得多個變異株，因此若缺乏有效且快速之檢定技術，篩選這些變異菌株即會變成一個耗時費力之工作，因此若希望以原生質體相關技術作為菇類品種快速選育之策略，可在育種初始時，即訂定明確之育種目標，並針對此一目標設定直接且快速之檢定與篩選方式，如此方可使原生質體技術獲得最大之效力。

目前利用原生質體融合技術應用在菇類品種改良上還有一些關鍵技術有待突破，例如融合子的遺傳不穩定、種間融合子難以形成子實體以及融合體難以產生優良性狀等⁽⁵⁾。由於經由原生質體再生之菌絲體本身即存在有許多變異，因此亦可直接作為品種篩選之用。此外，將原生質體融合技術搭配誘變劑的使用，更可以提高誘變的效果，所以目前原生質體融合技術主要獲得原生質體再生，作為誘變或配合生物技術以成為基因轉殖的材料之用⁽¹⁾。

基因體重排技術之應用

基因體重排技術源自於原生質體融合技術，但不同的地方是基因組改組技術使用多個親本而不是兩個親本，藉由 DNA 重組的隨機性，進行多輪的原生質體融合，產生各式各樣的突變組合，最後產生遺傳距離高於兩親本之間的新菌株，因而提高子代的遺傳多樣性，同時也提高了獲得優良性狀菌株之機率，提供豐富的菌種改良資源⁽¹⁹⁾。基因組改組技術應用在育種上是由 Zhang 等人於 2002 年所提出⁽⁵⁹⁾，以弗氏鏈黴菌 (*Streptomyces fradiae*) 營養缺陷型菌株作為親本，經過 4 次的原生質體融合，得到產生大量泰樂黴素 (tylosin) 之菌株。基因體重排技術目前在食用菇類上之應用尚無相關的文獻報導，最主要的限制和誘變育種和原生質體融合一樣，在每一次的基因體重排都可

以產生大量的突變菌株之後，如何運用快速、簡單且有效的方法大規模篩選目標菌株。未來在菇類上應可利用此一技術可以選擇一至多個原始親本，經由突變獲得多個表現型提高之正向突變株，構建突變株候選基因庫，以這些突變株進行第一次多親本融合，獲得第一代融合株，再以其中表現型獲得提高的菌株做第二次的融合，以此類推經過多次多親本的融合之後，最後獲得性狀被提升的目的菌株⁽¹⁹⁾。

應用基因轉殖技術於菇類新品種之開發

基因轉殖技術已經大量被應用在植物、動物和微生物上，其導入新的基因比起傳統育種方式具有更強之方向性與目的性⁽⁵⁾，徹底打破自然規律中不同種不能雜交的限制。儘管國內對於基因轉殖作物上的安全性還在評估，基改微生物於直接食用或添加於食品之安全爭議性仍高，因此並不鼓勵利用基因轉殖方式改良食用菇類。基因工程改造酵素/蛋白質等技術已普遍應用於工業界或食品工業上，將菇類作為平台以大量生產有效的保健成分具有其發展潛力⁽⁵⁸⁾。選殖優良性狀表現的基因是基因轉殖的成功要件之一，許多和菇類木質素分解有關的酵素如漆酶(laccase)等基因已被選殖出來⁽²⁷⁾，未來可以藉助這些基因提高食用菇對於介質之利用率，進而提高產量或是作為分子農場生產有用的菇類二次代謝物。

任何一種育種方法都需找到有效的篩選方法，才能縮短育種的時間，在出菇試驗之前，發展生物學檢定、生化檢定與分子生物學檢定等方法，淘汰不良的品系，以減少人力和財力之損耗。應用分子標記輔助選拔法(marker-assisted selection, MAS)，尋找與優良性狀緊密連鎖的分子標記，例如洋菇抗細菌性褐枯病菌(由 *Pseudomonas tolaasii* 所引起)之基因和菇傘顏色控制基因連鎖⁽⁴⁴⁾，以減少雜交育種過程中盲目的篩選過程，提高育種效率⁽⁴⁸⁾。分子標記技術近年來應用在菇類品種的鑑別上或遺傳性狀之控制^(50,57)，但應用在輔助育種上還非常少，其限制的因素包括缺乏操作簡單、經濟實用且適合於大規模分析的分子標記技術⁽¹²⁾，以及缺乏完整的菇類遺傳圖譜，許多與特定性狀分離或緊密連鎖的分子標記正積極建構中，未來應可運用於菇類育種。

栽培管理技術之改進

栽培管理技術是門藝術，憑藉知識和經驗的積累以面臨不同菇種、各式場房設備與四時變化之挑戰，進而調和天時地利以克服各類問題。早期台灣四季分明，春夏秋冬依時令運行，無論洋菇、香菇、草菇、靈芝或鮑魚菇均可在適當的時節開始製作堆肥或太空包，再於簡易菇舍內栽培，僅需拿捏補水、通風時間點和管控污染原即可順

利出菇。近年來，全球暖化造成年均溫上升或是極端氣候出現頻度增加，都使得傳統的簡易菇舍所栽種的菇類面臨了極大的威脅與挑戰。

掌握栽培菇種的生物學特性是栽培管理最主要的關鍵因素，生物學特性包含菇類所需要的營養和各階段的生長條件，如包含環境溫度、溼度、光照及二氧化碳濃度等因子，一旦確實掌握了生物學特性，即能以自己擁有的菇舍進行必要的改善，或設計適當的環控栽培設施進而因應氣候變遷之影響。以秀珍菇為例，要出菇整齊需要有 6~8 °C 以上的溫度差並刺激 10~12 小時，出菇後維持常溫的環境。多年前無環控設施的本地菇農為克服溫差刺激的困境，在出菇前將太空包在冰庫中冰存一晚再上架出菇，使得簡易菇舍在冬季以外也能夠生產秀珍菇。此法在中國大陸的福建⁽²¹⁾和浙江⁽²²⁾⁽²³⁾等地也被以「反季節栽培技術」作推廣。在台灣金針菇和洋菇利用空調設施進行全年環控生產已有許多年，不受氣候影響。此後，杏鮑菇等各式菇類亦利用環控栽培方式以跳脫氣候的束縛。近年來中國大陸也持續推廣以環控方式栽培洋菇⁽²⁴⁾、金針菇⁽²⁵⁾、秀珍菇⁽²⁶⁾、茶樹菇⁽²⁷⁾、白靈菇⁽²⁸⁾等以達周年生產之目標。

菇類栽培除了需要設備以外，材料選用亦是重要的考量因素。一般常用木腐性菇類的栽培原料有木屑(或其他富含纖維素、半纖維素和木質素的材料)及米糠、粉頭、碳酸鈣等輔料。在製作太空包或者自動化栽培瓶時，必須選用新鮮無霉的原料⁽²⁹⁾；而使用堆肥栽培之菇類如洋菇及高溫菇等，在多變的氣候狀態下要特別注意堆肥製作時，堆肥內部的溫度和通氣性，應該適時加以整堆，以免堆肥品質不佳影響菇類生長。不良的堆肥常遭受污染導致菇類產量與品質大幅下降，尤其是木黴菌(*Trichoderma* spp.) 的汙染會使下種後的堆肥形成綠黴病(green mould disease)，其分泌之抗生物質能抑制菇類菌絲生長⁽³⁰⁾並抑制洋菇子實體生成。1980 年代中葉與 1990 年代初期，英國和北美就分別曾因 2 種木黴菌(*T. harzianum* 和 *T. aggressivum*) 污染了洋菇堆肥而嚴重減少了洋菇產量⁽⁴⁹⁾。

相較於一般農業操作，菇類是一種在控管的環境下栽培的產業。其栽培基質在栽培前都需經過某種程度的消毒，如巴斯德滅菌(Pasteurisation)、高溫高壓殺菌、堆積發酵等。雖然消毒後之基質在接種大量菌種後，降低了可能遭遇的弱病原菌競爭力。然而，栽培時會因生物性和非生物性因子造成其他微生物的污染⁽⁵⁶⁾。最易引起菇類大規模病害發生的木黴菌，平時即存在於機械、庭院、地板、牆壁、樓梯等環境；雙翅目昆蟲(Sciarid flies, *Lycoriella* spp.)、蟎(Mites, *Pygmephorus* spp.)及鼠(Mice, *Mus musculus*) 亦是其載體(vector)^(53,54)。平時維持菇舍內外清潔衛生已屬不易，在地球暖化加劇下，原本菇舍四周不存在的病原菌、蚊、蠅、蟲、鼠可能因暖化導致活動範圍擴展而出現。因此在菇類栽培室之整潔維護與週遭可能入侵的病媒之隔離防範措施架設都是必要的管理工作。

在土壤、空氣、糞便及稻草堆等有機物中大量存在著鏈格黴菌(*Alternaria spp.*)、黃麴菌(*Aspergillus spp.*)、鬼傘(*Coprinus spp.*)、紅色麵包黴菌(*Neurospora spp.*)、毛黴菌(*Mucor spp.*)、青黴菌(*Penicillium spp.*)、木黴菌、單端孢黴(*Trichothecium spp.*)及根黴菌(*Rhizopus spp.*)等菇草類病原真菌⁽³¹⁾，這些病原菌也極有可能隨著昆蟲或蟻、鼠進入接種室、培養室或出菇室。接種室若受到污染，在接種時稍有風動，飛散的病原菌孢子落入介質後即會產生汙染。培養室與出菇室也很容易受到生長快速的病原菌如紅色麵包黴菌及木黴菌汙染而造成危害。

在清潔管理部分，菇類栽培之機械設備經清水洗淨清潔後，以 10 % 漂白水噴灑消毒。在若干次栽培後，菇舍可密閉部分可參照植物保護手冊進行燻蒸處理⁽³²⁾。此外，菇舍的通氣孔要加紗窗或濾網防杜昆蟲進入，排水孔要能堵住以防蟑螂、老鼠、蝸牛或蛞蝓進入，必要時以殺蟲劑噴灑設施外圍防止蟑螂和螞蟻進入，設捕鼠器或投擲餌劑誘殺老鼠，施佈聚乙醛餌劑防杜蝸牛或蛞蝓⁽³²⁾，並吊掛黏蟲板搭配捕蚊燈使用以減少昆蟲進入菇舍，如此，菇舍內外保持清潔，再將可能攜帶病原菌的生物性因子隔絕於菇舍外，配合上良善和完整的菇類生物學特性相關知識再輔以調節環境因子的技術，即使在育種上遭遇了瓶頸，仍會有辦法克服氣候變遷所帶來的種種挑戰。

結論與未來之展望

氣候變遷是 21 世紀全人類所共同面臨的問題，時令節氣不再如農民曆進行。現今全球暖化加劇，針對高溫或低溫的菇類耐性品系篩選與育種是必要且不容忽視的工作。耐高溫之菇類品系不但有益於簡易菇舍的栽培，即便栽種於空調環控菇舍中也可大為減少能源利用程度，對節能減碳具有相當助益。面對氣候變遷所帶來的難題時，各種農作物所遭遇的病蟲害及逆境都和以往不同，糧食穩定度也面臨挑戰。菇類是相當良好的素食蛋白質來源，其設施化程度遠高於其他各種農作物(包含花卉)，相較於他種作物而言，菇類在面臨氣候變化的衝擊時，或許可成為最穩定的糧食。

引用文獻

- 付立忠、吳學謙、魏海龍、吳慶其、李海波、張新華、賈亞妮。2005。食用菌學報 12(3):63-68。
- 江力、黃健威、慈凌坤、盧雲峰。2011。茶樹菇與雞腿菇原生質體融合及再生。食品科學 32：141-144。
- 呂昫陞。2011。香菇太空包黑木耳有機栽培技術。台灣有機農業技術要覽策劃委員會編著。台北。901-906 頁。

- 肖在勤、譚偉、彭衛紅、鄭林用、龍章富、周俊初、繆禮鴻、陳雯莉、郭文潔。1998。金針菇與鳳尾菇科間原生質體融合研究。食用菌學報 5:6-12。
- 林芾。2010。我國食用菌育種現狀與展望。農技服務 2010(8):1076-1079。
- 朱蘊蘭、陳安徽、王陶、陳宏偉。2010。冬蟲夏草原生質體誘變育種研究。食品科學 31：256-260。
- 宋春豔、尚曉冬、譚琦、劉德雲、鄭巧平、項壽南。2008。香菇原生質體單核體雜交後代性狀變異初探。食用菌學報 15: 1- 6。
- 李蕤、虞磊、闕勁松。2005。金針菇菌絲斷片單細胞誘變育種的研究。合肥學院學報 15(1):16-18。
- 邱文娜、王秋穎、曾念開、王秋雯、陳磊。2010。桑黃原生質體融合菌株及其親本生物學特性的比較研究。中國農學通報 26:58-61。
- 況丹、葉亞建、王飛。2010。杏鮑菇高產菌株的紫外線誘變選育。安徽農業科學 38(16):8404-8405。
- 胡開輝、劉建忠、孫淑靜、饒榆平、陳明祥、張俊蘭、肖雅敏、熊芳。2010。斑玉蕈育種中漆酶轉化體系建立的初步研究。菌物學報 29:528-835。
- 張瑞穎、胡丹丹、左雪梅、張金霞、胡清秀。2011。分子標記技術在食用菌遺傳育種中的應用。中國食用菌 30(1):3-7。
- 郭成金、趙潤、朱文碧。2010。冬蟲夏草與蛹蟲草原生質體融合初探。食品科學 31:165-171。
- 董玉瑋、曹澤虹、苗敬芝、呂兆啓、周衛東、李文、王乃馨。2011。氯化鋰誘變赤靈芝原生質體選育高鍍菌株的研究。食品科技 36:18-22。
- 陳恒雷、武寶山、石偉娜、曾憲賢。2010。阿魏菇多糖高產菌的離子束和激光復合誘變育種。生物技術 20(1):30-33。
- 陳啓楨。2011。黑木耳有機栽培技術。台灣有機農業技術要覽(下)。台北。912-926 頁。
- 彭衛紅、甘炳成、鄭林用、王勇、劉本洪、譚偉、黃忠乾、唐家蓉、肖在勤。2005。茯苓與鳳尾菇目間原生質體融合研究初報。菌物學報 24:42-47。
- 趙風雲、林俊芳、葉澤波、王藝紅、楊博、郭麗瓊。2009。草菇高產新菌種的選育。食用菌學報 16：23-26
- 劉芳、謝寶貴。2010。基因組改組技術及其在食用菌育種上的應用前景。福建農業學報 25:526-530。
- 顏麗君、鄭煥春。2008。姬松茸 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射線輻射誘變育種試驗初報。中國食用菌 27(5):19-21。
- 陳君琛、沈恒勝、湯葆莎、楊菁、劉韜、楊嘉金。2003。秀珍菇反季節高效栽培技術研究。中國食用菌 22(4)：21-23。

- 周春滿。2006。秀珍菇高溫反季節栽培技術。食用菌 4: 48。
- 周新偉、俞慧玲、趙麗萍。2006。秀珍菇反季節栽培技術。食用菌, 增刊: 86。
- 周保亞、魏鋒。2008。利用閒置冷庫反季節栽培雙孢蘑菇技術。中國果菜 1: 11-12。
- 王紅霞。2009。冷庫金針菇反季節栽培技術。北京農業 11 月上旬刊: 23-24。
- 張德云、潘祖華、徐向進。2008。秀珍菇設施化反季節栽培技術。浙江食用菌 16(1): 32-34。
- 程端春、周修趙。2008。泡沫房反季節栽培茶樹菇技術。浙江食用菌 16(2): 35-36。
- 趙美華、張云川、李永軍、李明、吳晗。2008。濕冷技術改造民房低溫蘑菇反季節出菇試驗。中國食用菌 27(2): 21-22。
- 張樹庭、P. G. Miles. 1992。食用菌蕈及其栽培。河北大學出版社。
- 羅朝村。2006。木黴菌之簡介與應用。農業生技產業季刊。第八期: p.17-19。
- 潘崇環、陳成基。1992。食用菌栽培技術圖解。農業出版社。p.162-210。
- 費雯綺、王喻其。2007。植物保護手冊糧食作物及其他篇。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。
- Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S. M., Mikosch, T. S. P., and van Griensven, L. J. L. D. 2000. Development of a sporeless strain of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. Proceedings of the 15th International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi, Maastricht, Netherlands. pp. 317-323.
- Callac, P., Spataro, C., Caille, A., and Imbernon, M. 2006. Evidence for outcrossing via the Buller phenomenon in a substrate simultaneously inoculated with spores and mycelium of *Agaricus bisporus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 72:2366-2372.
- Chakraborty, U., and Sikdar, S. R. 2008. Production and characterization of somatic hybrids raised through protoplast fusion between edible mushroom strains *Volvariella volvacea* and *Pleurotus florida*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 24:1481-1492.
- Drake, J. W., Charlesworth, B., Charlesworth, D., and Crow, J. F. 1998. Rates of Spontaneous Mutation. *Genetics* 148: 1667-1686.
- Dhitaphichit, P., and Pornsuriya, C. 2005. Protoplast fusion between *Pleurotus ostreatus* and *P. djamor*. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27: 975-982.
- Giardina, P., Cannio, R., Martirani, L., Marzullo, L., Palmieri G., and San, G. 1995. Cloning and sequencing of a laccase gene from the lignin-degrading basidiomycete *Pleurotus ostreatus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:2408-2413.
- Guan, Y. Y., Zhou, S. J., Wang, Z., Ma, B. J., Gao, Y. Q., Qiu, L.Y., Qi, Y. C., and Shen, J. W. 2011. Effect of protoplast regeneration technology on the virus elimination of *Pleurotus ostreatus*. *Mycosyst.* 30: 108-115.

- Kim, C. K., Choi, E. C., and Kim, B. K. 2000. Generation of nuclear hybrids overcoming the natural barrier of incompatibility: transfer of nuclei from *Lentinula edodes* into protoplasts of *Coriolus versicolor*. *Arch. Pharm. Res.* 23: 79-86.
- Kuo, C. Y., Chou, S. Y., Hseu, R. S., and Huang, C. T. 2010. Heterologous expression of EGFP in enoki mushroom *Flammulina velutipes*. *Botanical Studies* 51: 303-309.
- Masaki, F., Masayoshi, W., Masayuki, U., Yukitaka, F. N., and Teruyuki, M. 2007. Introduction of mitochondrial DNA from *Pleurotus ostreatus* into *Pleurotus pulmonarius* by interspecific protoplast fusion. *J. Wood. Sci.* 53:339-343.
- Miyazaki, K., Maeda, H., Sunagawa, M., Tamai, Y., and Shiraishi, S. 2000. Screening of heterozygous DNA markers in shiitake (*Lentinula edodes*) using de-dikaryotization via preparation of protoplasts and isolation of four meiotic monokaryons from one basidium. *J. Wood Sci.* 46:395-400.
- Moquet, F., Desmerger, C., Mamoun, M., Ramos-Guedes-Lafargue, M., and Olivier, J.-M. 1999. A quantitative trait locus of *Agaricus bisporus* resistance to *Pseudomonas tolaasii* is closely linked to nature cap color. *Fungal Genetics and Biology* 28:34-42.
- Mukherjee, M., and Sengupta, S. 1986. Mutagenesis of protoplasts and regeneration of mycelium in the mushroom *Volvariella volvacea*. *Appl. Environ. Microbiol.* 52(6):1412-1414.
- Nogami, T., Kamemoto, Y., Ohga, S., and Kitamoto, Y. 2002. The Buller phenomenon in a bipolar basidiomycetous mushroom, *Pholiota nameko*. *Micrologia Aplicada International* 14:11-18.
- Obatake, Y., Murakami, S., Matsumoto T., and Fukumasa-Nakai, Y. 2003. Isolation and characterization of a sporeless mutant in *Pleurotus eryngii*. *Mycoscience* 44:33-40.
- Okuda, Y., Murakami, S., and Matsumoto, T. 2009. Development of STS markers suitable for marker-assisted selection of sporeless trait in oyster mushroom, *Pleurotus pulmonarius*. *Breeding Sci.* 59:315-319.
- Oliver Albert Krupke, Alan J. Castle and Danny Lee Rinker. 2003. The north American mushroom competitor, *Trichoderma aggressivum* f. *aggressivum*, produces antifungal compounds in mushroom compost that inhibit mycelial growth of the commercial mushroom *Agaricus bisporus*. *Mycol. Res.* 107(12) : 1467-1475.
- Qin, L.-H., Tan, Q., Chen, M.-J., and Pan, Y.-J. 2006. Use of inter-simple sequence repeats markers to develop strain-specific SCAR for *Lentinula edodes*. *FEMS Microbiol. Lett.* 257:112-126.

- Ravishankar, S., Pandey, M., Tewari, R. P., and Krishna, V. 2006. Development of sporeless/low sporing strains of *Pleurotus* through mutation. *World J. Microbiol. & Biotechnol.* 22:1021-1025.
- Ren, P. F., Li, J., Qu, L., Ren, H. X., and Gong, Z. Y. 2008. Fine xianggu mushroom (*Lentinula edodes*) strain breeding using protoplast monokaryonization technique. *J. Microbiol.* 28:45-48.
- Royse, D. J., Boomer, K. Du., Y., Handcock, M., Coles, P. S., and Romaine, C. P. 1999. Spatial distribution of green mold foci in 30 commercial mushroom crops. *Plant Dis.* 83:71-76.
- Seaby, D. A. 1996. Investigation of the epidemiology of green mould of mushroom (*Agaricus bisporus*) compost caused by *Trichoderma harzianum*. *Plant Pathology.* 45 : 913-923.
- Singh, R. I., Aarti, K., and Singh, S. S. 2007. Formation of interspecies fusants of *Agaricus bisporus* and *Agaricus bitorquis* mushroom by protoplast fusion. *Indian J. Microbiol.* 47:369-372.
- Singh, S. K., Sharma V. P., Sharma, S. R., Kumar, S., Tiwari, M. 2006. Molecular characterization of *Trichoderma* taxa causing green mould disease in edible mushrooms. *Curr. Sci.* 90: 427-431.
- Su, H., Wang, L., Ge, Y., Feng, E., Sun, J., and Liu, L. 2008. Development of strain-specific SCAR markers for authentication of *Ganoderma lucidum*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 24:1223-1226.
- Yeh, C. M., Yeh, C. K., Hsu, X. Y., Luo, Q. M., and Lin, M. Y. 2008. Extracellular expression of functional recombinant *Ganoderma lucidum* immunomodulatory protein by *Bacillus subtilis* and *Lactococcus lactis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:1039-1049.
- Zhang, Y.-X., Perry, K., Vinci, V. A., Powell, K., Stemmer, W. P. C., and del Cardayré, S. B. 2002. Genome shuffling leads to rapid phenotypic improvement in bacteria. *Nature* 415:644-646.

Breeding and Cultivation Management of Mushroom for Mitigation and Adaptation to Climate Change

Hsin-Der Shih*, Mei-Hsing Chen, Wei-Sung Li, Yun-Sheng Leu, Jin-Tong Chen,
Kaun-Tzer Wu

Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture (COA), Executive Yuan, Taiwan ROC

*Corresponding author. E-mail: tedshih@tari.gov.tw

Climate change entails an increase in climatic variability, extreme events and shocks. The impacts of climate variability and extremes are felt even more strongly as the global population mushrooms. Efforts in breeding locally adaptive mushroom varieties will increase our ability to be ready for the climate change. In response to the global climate change and the future development of the mushroom industry, the goals of mushroom cultivation need to be readjusted to focus on three parts: (1) the selection of broad temperature range mushroom species that yield low energy consumption and production cost, (2) the breeding of mushroom species that possess the ability to rapidly decompose mass agricultural wastes, which shortens the mycelia cultivation time, and (3) the cultivation of mushroom species that are suited for environmental controlled houses for stable productions. The strategies on mushroom breeding include cross-breeding method, mutation breeding method and protoplast fusion method. On the other hand, understanding the biological characteristics is the key to mushroom cultivation and production. Biological characteristics refer to aspects such as nutrition and cultivation condition of various stages, which also include environment temperature, humidity, light exposure, and carbon dioxide concentration. Once biological characteristics are understood, the existing cultivation houses may be modified and suitable environmental control facilities installed to curtail the harmful impacts on mushroom cultivation brought on by global climate change. Confronted by the predicament of global climate change, the pest and stress problems faced by various crops are different from those in the past, and stability of the world food supply is challenged. Mushroom is a wonderful source of vegetarian protein and its level of facility standardization is far greater than other crops, perhaps making it the most stable food source under the adverse impact of global climate change. In order to maintain food security in the face of challenges of population growth and global warming, a holistic approach that includes stress-tolerant germplasm, sustainable crop and natural resource management, and sound policy

interventions will be needed. The essential disciplines required for sustainable mushroom production in unpredictable environments include discussions on adaptation of biotic and abiotic stresses, sustainable and resource-conserving technologies, and new breeding tools for enhancing mushroom adaptation. It is essential for researchers and policy makers to layout the basic concepts needed to adapt to and mitigate changes in mushroom cultivation environments.