

熱帶農業機械化與自動化之研究發展

盛中德

國立中興大學農業機械系

摘要

台灣中南部屬於熱帶型氣候，相當適合熱帶農產品的生產，包括熱帶稻作、旱作、蔬菜、果樹、花卉及觀賞植物等。其中熱帶之花卉及水果在我國加入 WTO 後，屬於可與外國進口農產品互相競爭之優勢農產品。近年來熱帶花卉及水果的生產，國內在面對人力老化與不足日趨嚴重，農業生態保育與資源利用的要求，及國外進口等多重壓力下，經由多方面努力在機械與自動化上已有了相當的成果。

開發果園用的施肥機械，目前已有柱狀肥料的製作機械與施用機械及開溝施肥機，不但可開直溝及繞著果樹的環形溝且可同時進行施肥。施液肥作業，目前農試所正著手研究開發養液精準供給系統，可根據作物之生理需求進行養液供給，除草作業以往常用化學藥劑處理，對環境造成很大的危害，目前已有可在樹冠下作業之割草機。灌溉作業針對根部在目前有省水滴灌系統、微噴灌系統，另有管路系統可進行全面式的果樹噴灑作業，效果非常的好，惟用水量較大，滴灌系統及管路系統亦常使用於平地田園及設施栽培。施藥作業在規畫完善之果園，可使用動力鼓風噴藥車進行作業；若已有管路噴灑系統之果園，可以管路噴灑系統進行全自動化作業，效能相當高。設施內施藥作業常利用設施結構作為機械的運行導引，懸吊式的有台中場發展之自走式噴桿可應用，在多棟溫室的情形下，可使用較低成本之多棟溫室自動換棟型桿式噴霧裝置。地軌式導引噴霧機械則有無人化施藥車可供採用。國內冬季常有寒流侵襲，寒害的預防亦相當重要，於設施中常以原有的環控或噴霧設備進行，在果園中則可採用農試所發展之果園多功能自動防災系統，防寒效果相當好。近年來國內在水果內部品質檢測技術的發展亦有長足的進步，屏東枋寮農會之「光波蓮霧」為引進 NIR 技術於水果內部品質檢測的成功範例。

我國已正式成為 WTO 的會員國，國內農產業所面臨的衝擊甚鉅，如何進一步降低作業成本，提升產品品質為未來農產業永續生存的重要發展方向。除此之外，如何減低作業對環境生態的不利衝擊，亦是未來刻不容緩的工作。利用自動化技術一方面減少農藥的施用，以割草代替殺草劑的使用另一方面增加有機肥的施用，減少化學產品對環境的傷害，這些努力對農產業的

生存必將有所貢獻，配合國內中南部絕佳的熱帶農產品生長環境，未來熱帶農業仍有光明前景。

關鍵字：熱帶農業、機械化、自動化、施肥、灌溉、施藥

前言

台灣位於歐亞大陸板塊東南方，北迴歸線通過台灣嘉義市南方 23 度 27 分 4 秒處，正好將台灣劃分為北迴歸線以北的亞熱帶及以南的熱帶兩大氣候類型，台灣中南部屬於熱帶型氣候，相當適合熱帶農產品的生產，包括熱帶稻作、旱作、蔬菜、果樹、花卉及觀賞植物等。其中熱帶之花卉、水果在我國加入 WTO 後，屬於可與外國進口農產品互相競爭之優勢農產品，在水果方面以香蕉、鳳梨、檬果、木瓜、楊桃、番石榴、蓮霧、番荔枝、百香果、印度棗等農產品為大宗，在熱帶花卉方面則有蝴蝶蘭、文心蘭、棕櫚科植物、鳳梨花、薑荷花、薑花、野牡丹…等。近幾年來相關單位無不大力發展花卉及水果之生產技術，而生產技術之改進又與生產力及品質的提升有密不可分的關係，在熱帶作物的栽培生產過程中，生產技術改進成功的關鍵點在於省工機械化及自動化技術的發展，以達降低成本、減少人力及提高品質增強競爭力。

果樹大都為多年生作物，必須時時給以妥善的照顧，一時的疏忽常會造成無法彌補的傷害損失。其管理作業主要有施肥、灌溉、除草、病蟲害防治及寒害預防等，有些作業非常的耗費人力，尤其是種在坡地上的果樹，更增加了作業的困難與危險程度。綜觀目前國內的農業生產環境，果樹的管理作業有迫切的機械化與自動化需要，這種需要並不只是單純的在解決人力不足和老化的問題，同時也在減少果樹栽培對生態與環境的衝擊，如滴灌與微噴灌的使用可增加了水資源的使用效率，有機肥的使用除提升了產品的品質外，同時減少了對環境的污染；以割草代替化學藥劑殺草，增加了水土保持功能；超音波及靜電技術的利用減少了施藥作業的用藥量，這些都是國內近年來在果樹管理作業中研發的方向與成果。我國加入 WTO 後市場開放勢必帶來農漁產品進口競爭，在相關單位的輔導下，本土水果業者正積極的朝自我品牌建立的方向努力。水果於採收後需經選別分級的步驟，才能在市場上販賣，而分級上又以大小、色澤等外觀特性作為標準，因此品牌水果的建立首要考量的便是水果品質的檢定與分級。以往中南部盛產的水果主要是根據經驗法則來進行選別，如此則缺乏客觀且一致的分級標準，為因應品牌水果的推動，以及農產品交易電子商務化的發展，國內正朝引進及開發非破壞性水果內部品質檢定技術的方向發展，以水果光波與音波品質分析的技術較具代表

性，例如利用 NIR 技術於蓮霧分級上，應用音波於鳳梨的分級上，可達到節省時間人力且又客觀的目的。

本省南部地區氣候，在花卉的栽培生產上雖極適合朝向熱帶花卉發展，然而花卉發展較進步的國家多處於溫帶地區⁽⁶⁾，相關的花卉生產技術是否適於熱帶花卉生產應用不無疑慮，例如目前花卉自動化分級設備應用主要針對玫瑰花來發展，長期下來，造成栽培上許多困擾。近年來，隨著國際市場的開放，尋找適合本省南部的熱帶花卉種類，降低生產成本；發展栽培機械化及自動化技術，提高競爭能力，是目前花卉界積極努力的目標。如今熱帶花卉由原來的小面積試種，漸漸的出現較集約栽培蹤跡，切花產品也開始問世，甚至也有少量種球外銷的記錄⁽⁶⁾。目前花卉的栽培，使用設施的情形非常普遍，設施的利用可根據生產地區的氣候條件，以最經濟的資材、最省工的方式，製造較佳的生產栽培條件，如此才能生產符合市場需求的高品質花卉⁽¹³⁾。花卉無論是採露地栽培或設施栽培，在花卉生產栽培過程中，利用機械設備從事生產也相當普遍，從苗木的繁殖、扦插、設施環控、水分管理、栽培介質及肥培管理、病蟲害防治、分級包裝、天然災害因應等皆有機械設備可茲應用，其中水分管理、肥培管理及病蟲害防治等作業自動化程度已相當高。

肥培管理

有機肥的施用一直是果樹經營中一項極為重要的管理作業，果樹所施的肥料種類很多，主要有化學固肥、液肥與有機肥，近年來隨著果樹栽培技術的進步，及對環境生態保護意識的覺醒，有機肥的使用越來越普遍也受到重視。有機肥的使用主要步驟有撒施、翻埋、混合，為了進一步增進肥效期，現已有粒狀與柱狀的有機肥可供使用；果樹為多年生之作物且體積龐大，因此需要有強大的根系深入至廣大的土壤範圍內吸收養分與水分，而果樹施肥，在幼樹期，一般多行條狀施肥或放射狀施肥，在成樹時，常用井字狀掘溝施肥，但由於農村勞力不足，人力老化及工資昂貴，以往果樹多採人工表面撒施，如此果樹會變成淺根性，對旱害及寒害的抵抗性變弱，每次降雨因土壤侵蝕而肥料的流失甚大，易造成河川或水庫污染，肥料施用效率低。根有向肥料之處伸長之特性（向肥性），故欲誘導根深入地中並增加施肥效率，須採肥料深施方式⁽⁵⁾。目前國內已開發的深施方式有兩種，一為鑽孔深施肥料，另一為開溝深施，鑽孔深施肥料機械又稱為立體施肥機，由花蓮區農業改良場於 80 年度開始進行研製，立體施肥機使用於果園時又可分為曳引機承載及小型挖土機承載(圖 1)兩種型式。利用果樹立體施肥機施肥可誘導根群深入地中，並具有深耕及深翻的作用，提高肥料施用效率，但施用之肥料必需為粒狀及粉狀肥料而不能使用液體肥料或堆肥。在開溝施肥時，開溝工作可用一

般的挖掘怪手進行(圖 2)，但此方式無法將後續的施肥作業連成一氣，作業效能不佳為其缺點，由台中區農業改良場及中興大學農機系開發的果園開溝施肥機(圖 3)，屬於自走式挖溝施肥機，作業時兼具挖環溝或直溝(圖 4)、施放有機肥、覆土等一貫化作業⁽²¹⁾⁽²²⁾。



圖 1 小型挖土機承載之果樹立體施肥機



圖 2 利用小型挖土機進行開溝作業



圖 3 果園開溝施肥機



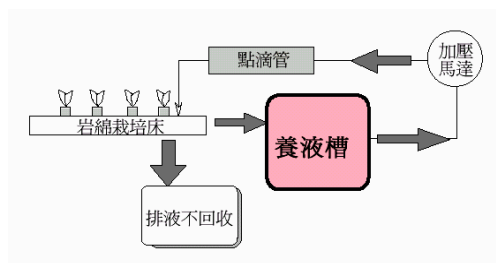
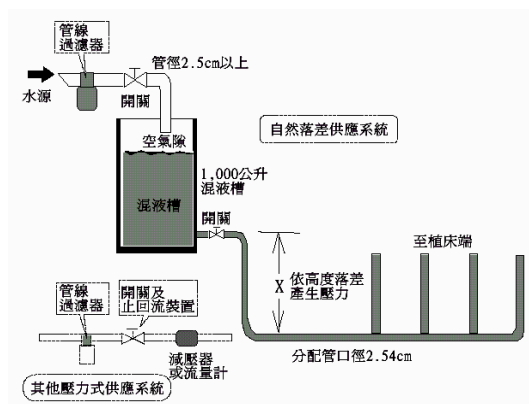
圖 4 直線開溝後的情況

施肥作業中另一瓶頸為搬運工作，國內農友習慣使用袋包裝肥料(30~40 公斤裝)，搬運拆袋裝倒肥料等作業所花時間即佔全程作業時間之 $2/5 \sim 3/5$ ，由於有機肥一般密度很小體積很大，作業的施用量亦很大，一公頃果園約需施八至十二噸肥料，如此大的用肥量如何搬運已成為作業者體力的一大負擔，目前常採用搬運車運送至田區，再以人力於田內扛搬，非常的吃力；一般的施肥機也常為作業運載量不夠而困擾，如何增加施肥機之搬運量與減少肥料的體積均為未來工作的重點方向；目前粒肥與柱肥的製造已可減少 $1/2$ 體積，不過生產粒肥與柱肥也同時增加了肥料的生產成本⁽⁹⁾。

在設施栽培中，施用緩效性顆粒或棒狀等固體肥料時，常利用人工施用，施用速效性的液體肥料，將肥料稀勢成所需倍數，即可利用灑水或噴藥設備噴施於葉面，讓植株直接由葉面吸收養分，或利用滴灌系統施用，因此施液肥的方法沒有一個特定標準，常受灌溉方法、介質種類及栽培品種之影響⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

在設施施液肥方面目前國內正朝精緻精準農業方向發展，應用變異式施用技術的養液精準供給系統，目前以火鶴花為對象，持續由農試所進行研究開發中。變異式施用技術除了施液肥以外，尚可應用於施藥及灌溉等方面，例如針對發生病蟲害或有雜草的局部區域與其他正常區域的差異性分別給予不同的噴藥處理，即可較傳統方式採全部區域均勻施藥的方式減少施藥量，因之可降低施藥所造成的環境衝擊⁽¹¹⁾。國內目前採用肥灌(fertigation)主要類型包括大量桶系統(bulk tank system)(圖 5)及噴注系統(injector system)等，而噴注系統有三個主要設備:Venturi 定比噴注器(Venturi Bypass Injector or Proportioner Injector)(圖 6)、正向位移計量幫浦(Metering Pumps)(圖 7)、及液壓驅動定比噴注器(Hydraulic proportional injector)(圖 8)，並以此為基礎發展養液精準供給系統(圖 9)。

低壓式養液供應系統



不回收養液的岩綿栽培

圖 5 大量桶系統

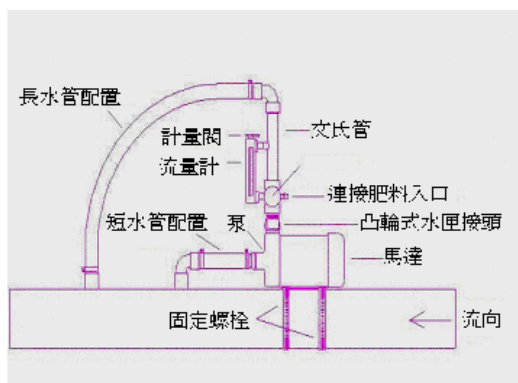
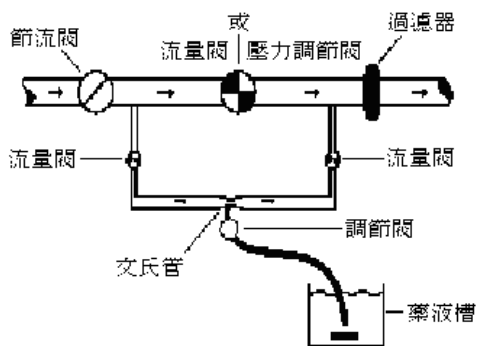


圖 6 文氏(Venturi)定比噴注器

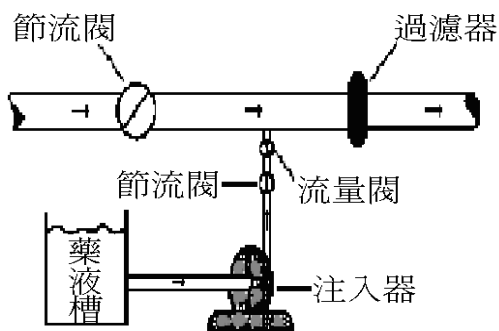


圖 7 正向位移計量幫浦

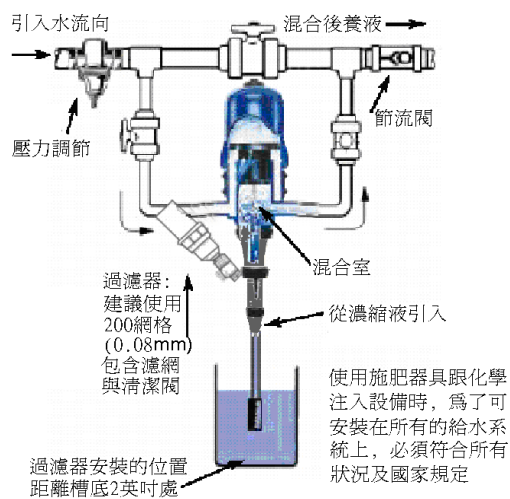
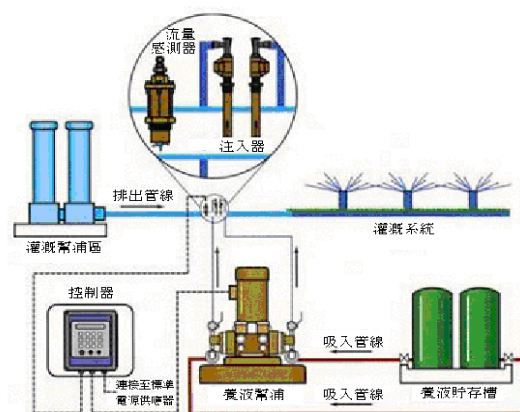


圖 8 液壓驅動定比噴注器

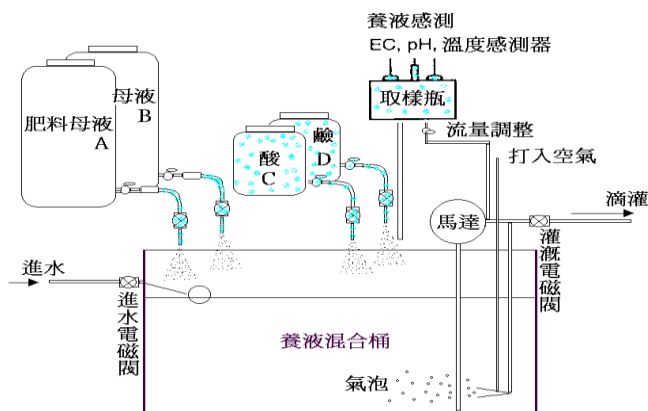


圖 9 養液精準供給系統

水分管理

水分管理作業對作物產量及農產品品質影響很大。例如果樹需水量會隨生育期的不同而異，開花及著果期，必須有充足的水份，否則會有落花及果實結成量低等問題，果實後期應減少水份供應，大雨會造成甜度降低影響品質，生長停止期或休眠期應停止供水，否則會造成徒長，影響次年之收成；

因此，如何控制果樹水分之供給為影響產量及品質重要因素。

國內果樹對水分的需求由於受作物特性與氣候季節的影響，除自然下雨外，仍需以人工方式進行，但有許多果樹均栽種在坡地，缺乏水源，如何能有有效的灌溉即成為栽種成功的決定因素；為生產高品質及多元化水果，良好水份管理的要求將使無灌溉設施之果園逐漸被淘汰。

灌溉作業有許多現成的設備與技術可資應用，國內並不需特別開發，但為使灌溉能確實發揮其效能，目前熱帶農產品的管理作業必須利用現代科技以自動化方式進行。國內主要有三種較具自動化的灌溉方式包括：噴灌、微噴灌及滴灌等，自動灌溉可由定時器定時控制或利用感測器控制如濕度計(圖 10)及電葉(electric leaf)感測控制，節省了澆水工作所需的人力成本⁽¹³⁾。



圖 10 水分感測器



圖 11 鳳梨園管路噴灌系統

現今最常用的果園灌溉為在澆水的同時，亦可增加空氣中的濕度。利用管路系統可於需水時進行全園噴灑灌溉，作業自動化程度高，作業品質佳，較傳統方法省工、省水，可同時進行藥物或施肥作業，此系統亦可用於施藥作業中(圖 11)。噴灑灌溉涵蓋整個作物區，作業效率高效能大，但不可否認它也常造成水資源的浪費，為減少水資源浪費增加使用效率，可利用微噴灌方式進行灌溉。此系統為一種低壓的灌溉系統，於根部架設噴頭進行作業(圖 12)，配合果樹生長對水分要求特性針對根部進行灌溉⁽²⁰⁾。此系統可利用自動化控制設備針對作物生長特性進行全面自動化灌溉作業。在本省坡地，有許多果樹園採用重力式滴灌系統。本系統主要利用地心引力作用，在田間之水平最高處設置水池，利用泵將水送至水池，當需水灌溉時，即開啟管路，由於重力的作用將水引流至作物，非常方便，此系統之最大優點為節省水資源，且只灌溉果樹生長區域，無雜草叢生的問題。滴灌系統在一些平地田園及設施內番茄、洋香瓜等果園亦見使用，利用泵輸送低壓的灌溉水至微小滴頭給水，配合土壤張力計之使用，可進行自動化作業。滴灌系統亦可使用於施液肥作業，但必需有相關的感測器配合⁽¹²⁾。台東區農業改良場所研製之

果園等低壓滴水灌溉系統亦是採用落差水壓來從事灌水動作，目前已進入商品化階段。滴水灌溉系統之滴嘴是用細管連結，所以能將滴嘴依需求置放，例如在高處栽培盆上。滴水灌溉系統有不易堵塞，故障易清除及故障容易檢查等優點⁽⁸⁾。

目前設施栽培之供水方法較常使用者為噴霧法、滴灌法、底面灌溉及地下灌溉法。噴霧法主要應用於花木扦插及實生苗之培育(圖 13)。滴灌法則使用於木本觀賞植物、觀葉植物、盆栽類及盆花類之養成期，滴灌系統在一些平地田園及設施內果園亦見使用，利用泵輸送低壓的灌溉水至微小滴頭給水，配合土壤張力計之使用，可進行自動化作業。滴灌系統亦可使用於施液肥作業，但必需有相關的感測器配合(圖 14)。底面灌溉法乃是在栽培植床上設置吸水良好之底墊如吸水媒介物或不織布等資材，藉毛細管作用吸取水分。此法可降低鹽害避免葉部病害。地下灌溉法乃經由埋設之給水管由根群區域內直接給水，給水管道通常為打洞之塑膠管⁽²⁾。



圖 12 微噴灌用噴頭



圖 13 噴霧法應用於花卉幼苗加濕作業

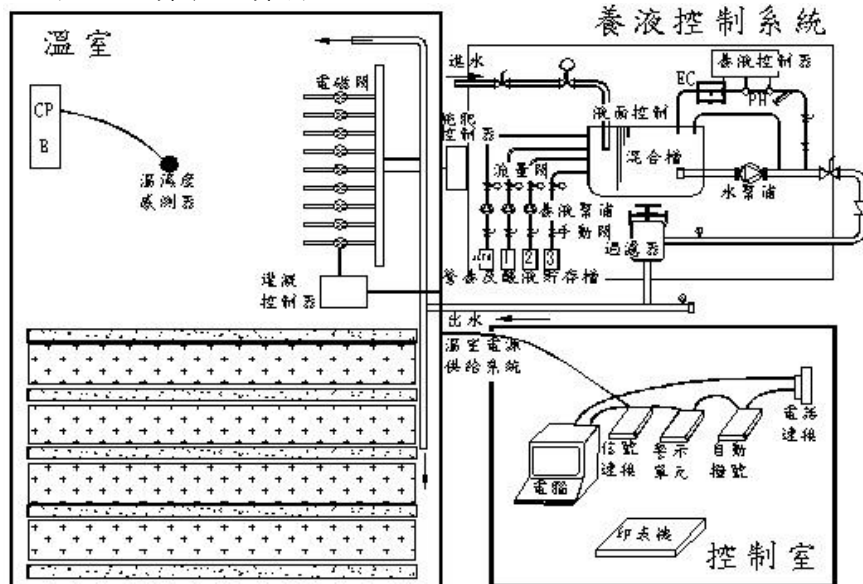


圖 14 設施栽培時自動化滴灌系統配置圖

病蟲害防治

病蟲害防治工作為農業生產過程中不可或缺的一環，為確保農業之生產與產業利潤，世界各國對農作物之保護莫不竭盡所能地開發各種新的應用技術。近年來國內在農藥施噴機械上的發展，包括國內自行研發或國外引進者，其中尤其以高效率施藥技術與機械發展的成果最為豐碩。國產鼓風式施藥機主要機種有佳農 CN-2400 型自走式鼓風噴霧車及永三源 YSY-BOI 型自走式鼓風噴霧車。只要選定的果園無機械行走問題，農民即可採用，在平地果園中亦廣受歡迎。而這些機械之所以受到重視，最大的原因皆在其效率高，節省工時，如此不但減輕農民作業的辛勞程度，同時經由提升效率，對農民的保護亦相對提高。當果園中有機械行走問題時，管路式施藥設備不失為可行的方式。以近年來普受坡地果園農民所喜愛的管路式施藥作業系統為例，由於其作業自動化程度高，其接受性已經由坡地果園逐漸朝平地果園擴散。往後在坡地果園的經營，將隨著農民年齡的增長，致體力日衰，管路式自動化施藥系統將更為重要。在農業生產中，對施藥作業的無人化需求甚為迫切，細觀今日農業施藥作業環境，許多時候農民施藥工作不但辛苦且危險，也因此造成農民對施藥作業的無人化需求極為迫切，這幾年來國內在此方面的成果也甚為突顯，如開發設施內自動化施藥系統及無人自動噴霧車等。

一、鼓風式動力噴藥車

適合在多年生果樹園內使用，高壓液體經噴頭霧化後，利用強風輸送藥液，如此加強藥液與作物間之相對速度與不穩定性，提高了噴霧作業效果，同時也強化藥液的霧化效果。

為便於在果樹間操縱，及於困難地形內行走，目前已有四輪駕駛與四輪傳動的噴藥車(圖 15)。自國外引進之噴藥車具有流量及壓力自動監控功能，另國外已使用利用超音波測作物存在並控制作業進行之動力噴藥車，國內台東場於 82 年亦利用超音波之偵測作物功能著手開發點噴式施藥車。

台東場為提升鼓風式噴藥車作業性能，增加對作業者的保護功能，從事相關的噴藥車研發工作，於駕駛座上加裝保護罩之裝置(圖 16)，使操作者能得到充分的保護，經田間實地測試作業效能優異，已將技術轉移給廠商製造樣品機示範。本機之主要特色如下：

- (一) 作業效率高，運轉富機動性，噴霧車適用之作業面積廣，即使栽植之果園分散，亦可方便使用。
- (二) 自走乘坐式，駕駛座有保護罩，操作者能輕鬆、安全的從事噴藥作業。
- (三) 本機及鼓風機分離獨立驅動，性能穩定，不受地形變化之影響。

(四) 大風量使附著在果樹葉片上之霧粒更為細化，可節省施藥量，葉面及葉背附著性佳，寬幅撒佈，噴撒有效半徑可達五公尺。

(五) 本噴霧裝置可自由向左或向右調整，噴頭亦可迴轉調整，因此在平地、坡面或山邊溝上噴藥，均能配合果樹之樹型及地形作準確的雙方向或單方向噴藥⁽⁴⁾。



圖 15 適於坡地行走之四輪驅動四輪轉向鼓風式施藥車



圖 16 具保護罩自走式鼓風噴霧車之外貌

二、管路式噴藥

坡地一般栽植多年生植物，其中又以種植果樹最為普遍。為克服地形不適合機械行走的特性，可採用整體管路系統，或利用懸空高架索道方式施藥。坡地噴藥在自動化的要求上較平地為高，除可解決行走問題外，噴藥監控亦可自動化。果樹之管理作業，最基本之要求為噴藥及灌溉 (Spraying and Irrigation)，為符合實際需要，坡地噴灌系統之發展必須兼具此二項功能，但此二項作業的需求條件有很大的不同。

噴藥作業要求全面性，但不可過度，過度不只增加成本，且會造成作物藥害與環境污染；灑水對全面性的要求不高，但對量的要求高，必須足夠，過量為浪費，但不致造成負面效果，不足會影響收成。在此兩項作業要求條件不同的情況下，是否適合由一套設施擔任兩項工作，值得進一步商榷。在坡地架設一套噴藥設備之費用已相當可觀，農民實不願亦不能為噴藥及灑水，分別投資兩套設施，因此坡地噴灑系統都為多功能系統，兼具有噴藥及灌溉功能。為能用最低投資、最少設備進行有效的作業，常以加大作業液體壓力方式進行，如此可增加霧粒衝量，擴大有效作業範圍。管路式噴藥採用定置式管路系統，於果園內規劃並設置整套輸送管路，依分區分段方式設計整套作業控制系統。管路式噴藥系統主要可分為作物園區與主控機房兩大部分，在作物園區內，依管路之輸送能力，田區形狀、大小與作業噴嘴種類，加以細分成小作業區。各小作業區內所裝設噴嘴之數量與位置，需確保在作業時覆蓋面能完整且均勻，各分區將依所設定之作業程式與控制策略依序進行

噴藥作業，為兼顧管內藥液之回收，作業採由上而下，由遠而近方式設計。依所栽植果樹病蟲害防治作業特性之不同，所使用之噴頭有下列二種不同型式，以灑水方式進行作業之單噴嘴型，及採用交叉方式進行作業之上下雙層噴嘴型。系統之作業機械與控制設備主要在主控機房內，主控機房內有藥液貯存槽，藥液加壓輸送設備，控制系統中包括有壓力、流量感測器及作業監控系統，其功能包括：利用電腦進行分區自動噴藥作業管制、分區作業狀況指示、各噴頭作業狀態監控、及藥液量與液壓的監控。噴藥後管內殘留之藥量相當可觀，可配合重力式回流系統，分區自動強制回收殘藥。此管路噴藥系統目前已廣泛應用於許多果樹，如坡地蓮霧園等，圖 17 為管路噴藥作業情形。由於此系統同時兼具有灑水功能，因此又可稱為噴灌系統。管路噴藥系統並非只限於坡地使用。

三、設施無人化施藥系統

利用設施的農業栽培對施藥仍有其強烈需求，由於設施本身即提供適合無人化作業發展的環境，這幾年來國內在此方面的成果也甚為突顯，以台中改良場開發的設施內自動化施藥系統為例(圖 18)，其不但解決了農民對施藥作業的困難，由於此系統的效率，施藥作業品質好，不但減少了作業對人力的需求，更進一步提升了作業與產品的品質⁽¹⁾。在較為平坦果園及花卉園區內施藥作業時，可利用無人自動噴霧車進行，除了自動化程度高外，因作業人員不需進入園區內，同時可節省勞力及避免作業人員遭受藥害。本噴藥車由於機體小，故亦適合於植行間距較小的田區中使用。此型噴藥車於七十九年由中興大學配合美村公司由日本引進，原應用於地面平整的溫室內，如改在田園使用時，可在田頭以台車配合軌道進行換畦作業。此型噴藥車經改良後目前已可於簡易設施中使用，惟需依賴畦溝進行導引，但長期未使用時行走畦溝須特別維護。八十六年由日本引進以撐起方式進行換畦的噴藥車，此型噴霧車在頭地換畦時以撐起機構取代帶軌道與台車，又進一步簡化了換畦作業的困難度，目前已見採用⁽¹⁰⁾。



圖 17 管路施藥作業情形



圖 18 設施內自走式噴桿噴藥作業情形

除草作業

在果園經營上，地表的管理是維繫果實品質與產量的重要作業，本省中南部為熱帶型氣候，雨量充沛，使得雜草容易滋長，尤其在春季更為嚴重，而雜草會與果樹競爭養分，因此必須進行除草作業。在以往果園最方便除草作業方式為施用殺草劑，此種施藥方式在今天已變的非常不合適，它不但污染土壤與水資源，同時也影響到了水土保持工作，因此近年來果園的雜草管理工作已由以往的化學藥劑處理逐漸改成機械式除草作業，此不但可做良好的水土保持工作，同時割下來的草仍可做有機肥使用。以往使用背負式割草機割草，工作辛苦。果園的除草工作，主要為行間與樹冠下除草，行間並沒有太大問題，一般的除草機均可進行作業。如圖 19 所示為自走乘坐圓盤式割草機，此機型由台東場開發完成，乃為圓盤式割草機改良而成，前置式割草部設計，在作業中可清晰的看到作業狀況，並利用油壓系統，控制割草部離地高度，迅速適應凹凸不平地形，作業者以乘坐方式操作割草機，能大大地減輕勞力上的負擔⁽³⁾。

樹冠下的除草與中耕作業，如採用一般中耕機時，由於果樹枝條障礙而無法進入中耕，目前在樹冠下的除草作業，台東場已開發完成適用的除草機，如圖 20 的示意圖所示，該除草機之除草部位於機體後方，除草機行走於行間，利用油壓操作令中耕部進入樹冠下進行中耕除草作業，而於轉彎時再將中耕部收回。但國內有許多果園並不適合機械作業，此種果園仍須仰賴化學藥劑或以輕便的割草機進行作業。



圖 19 乘坐式割草機



圖 20 樹冠下割草機

(資料來源:<http://www.ttdais.gov.tw/>) (資料來源:<http://www.ttdais.gov.tw/>)

剪枝及碎枝

國內主要熱帶果樹之栽培作業，大多沿用傳統粗放之管理方式，自然形成圓弧、冠狀、高大的樹型，造成通風不良、易滋生病蟲害、管理不便、日照不良、影響產品品質、產量與採收不便等缺點。果樹修剪方式主要有兩種：一是整株幾何修剪，一是單枝選擇修剪。兩者係以採用單枝選擇修剪佔多數。果樹之修剪作業必須考慮樹種配合品種的特性與根據當地的自然條件等特點，按一定原則進行單枝修剪。這是一件技術性很強的作業，且作業條件也比較複雜，因此目前大多由人工完成，一般皆採用人力或鋏剪等輔助工具進行修剪作業，由於果樹之樹種繁多且樹型較高大，故修剪與採收作業均不易進行，費時且具危險性，因此輔助工具的需求度高，如利用氣動鋏剪機、鏈鋸(圖 21)、氣壓式修剪鋸等輔助工具⁽¹⁶⁾。

部分採用矮化密植栽培技術的果園，多採用整株幾何修剪，就是利用動力修剪機械對樹冠按一定的幾何形狀進行修剪。這種方式作業速度快，但是修剪品質比較粗糙。由於幾何修剪時，可以除掉阻礙機械通行的枝條，因此修剪後的樹形有利於後續作業機械的運行。農試所於 85 年時即著手研發果樹樹型整修機(圖 22)，此機乃利用永三源牌 YSY-301 型自走式噴霧車之底盤為本機之基本承載架構，設計、配製截頂角錐式之樹型整修機構，經數度田間試驗與改良後，機械已定型並輔導農機廠商完成果樹樹型整修商品機之製造。整修機構之刀具為往復切割式三角鋸齒刀，修剪時可配合田間行距之變化，選擇單側修剪或行間兩側同時修剪之作業方式，每公頃機械修剪作業約 8 小時即可完成，可有效紓解農村勞力缺乏及工資高漲等問題。荔枝經機械修剪後平均樹高為 180 公分，生長至採收時平均樹高則為 235 公分，除可獲得矮化樹型之預期目標外，配合相關之栽培管理技術無礙荔枝之生長、開花及結果，對荔枝之機械化栽培與管理作業提供正面之效益⁽¹⁴⁾。



圖 21 利用鏈鋸進行果樹之修剪



圖 22 荔枝樹型修剪用機械

近年來因果樹栽培技術的改進，大多採用強剪、疏剪及矮化等整枝修剪

的重要栽培管理作業。修剪後果園餘留之殘枝量甚為可觀⁽¹⁵⁾，修剪下來的樹枝若任意堆置於地面，不加以處理而任其自然腐化，不但佔據空間嚴重影響果園管理及收穫作業，且易滋生害蟲，影響水果產量及品質，故需妥為處理。處理方式若加以焚燒則會危及果樹、造成空氣污染甚至引起火災，如以人工搬運或碎枝則浪費人力，例如台灣南部盛產的印度棗，其殘枝枝條直徑大、枝條分叉或帶刺，造成果農處理上的困擾。為了解決果樹於修剪作業後餘留的龐大數量殘枝，開發符合國內栽培環境使用之碎枝機械，高雄區農改場與昶維農機公司合作，針對一般果園田間的環境條件及殘枝狀況，目前已開

完成的「四輪自走式果樹殘枝粉碎機」，具工作效率高、適用殘枝直徑大及殘枝細碎後粒徑小等優點，深受農民歡迎，並於90年8月通過農機性能測定，推出商品機供農民使用(15)。圖23即為自走式果樹殘枝粉碎機於果園中的示範推廣作業情形，樹枝經切碎為碎渣後可加速粉碎物之腐化，改善土壤理化性質及維護果園清潔，並可作為其他用途（如製成堆肥等）加以回收利用。



圖23 自走式果樹殘枝粉碎機田間操作示範(資料來源:<http://kdais.iyard.org/23.htm>)

分級作業

南部盛產之熱帶水果，產季時需要許多工作人員進行水果外部品質的分級工作，此多半是根據經驗法則，缺乏客觀且無一致的分級標準及公信力。分級、選別是農產品採收後至運銷過程中相當重要的工作，分級後品質的均一性，更是提高商品之價格及市場形象與交易進行的必要條件。農產品分級選別作業中，常以農產品的外形尺寸(長寬厚)、體積、重量、表面特性之色澤等做為分級指標。國內發展推廣應用在蔬果外型尺寸分級選別方式包含圓盤型、滾筒型、帶型、板型、滾軸型、鏈桿型等多種機型。由於印度棗果實之重量均隨外型大小而改變成正相關，利用此原理，由高雄區農業改良場與昶維農機公司合作研發的「高改型重量式印度棗分級機」，乃以重量為分級指標，利用天平槓桿原理，以機械式天平秤重量差之感應方式傾承果盤上水果，進行分級。該機可達成單粒化連續自動供果與分級功能為其特點，目前已商品化並推廣普及用於印度棗、檸檬、青蘋果等分級，圖24即為重量式印度棗分級機分級作業情形。

水果品質自動選別系統利用科學方法量測果粒大小、形狀、顏色及水果的糖度含量之後再進行品質分級，以確認農產品的品質，可增加銷售價格。

利用水果品質檢測是建立水果品牌的首要步驟，然而國內目前尚未建立此項技術，需仰賴從國外引進整套水果品質分類設備。全世界多家公司可以提供水果甜度分級設備，包括日本、澳洲、紐西蘭、義大利、荷蘭、韓國及美國等地，其檢測的水果種類與國產品牌水果相同的有梨、葡萄、芒果、洋香瓜、碰柑、蓮霧、甜柿等。國內廠商雖尚無水果顏色自動分級設備的提供，但影像技術在國內早已建立，國內若要發展水果顏色自動分級設備應無技術上的問題。民國 89 年國內首度引進近紅外線內部品質檢測系統於蓮霧的分級上，非破壞性量測蓮霧果肉的糖度(圖 25，圖 26)。這套系統在日本已經非常成功的應用在蜜柑、水梨、蕃茄、蘋果等水果品質的分級上，從進料到出料電子化管理，不僅節省水果分級的時間、人力，更能確認市面上農產品品質。該系統尚包括有水果外部品質選別，利用彩色 CCD 攝影機檢測蓮霧的形狀、體積及除了蓮霧基部(果漥/臍)外，蓮霧所有表面的顏色均能測得，並進行蓮霧的顏色分析，解析度可達 0.4 mm/pixel，重量或體積判別，量測誤差約 $\pm 2\%$ 。



圖 24 高改型重量式印度棗分級機外觀及作業情形(資料來源:高雄區農改場研究彙報游，1997)

國 89 年國內首度引進近紅外線內部品質

質檢測系統於蓮霧的分級上，非破壞性量測蓮霧果肉的糖度(圖 25，圖 26)。這套系統在日本已經非常成功的應用在蜜柑、水梨、蕃茄、蘋果等水果品質的分級上，從進料到出料電子化管理，不僅節省水果分級的時間、人力，更能確認市面上農產品品質。該系統尚包括有水果外部品質選別，利用彩色 CCD 攝影機檢測蓮霧的形狀、體積及除了蓮霧基部(果漥/臍)外，蓮霧所有表面的顏色均能測得，並進行蓮霧的顏色分析，解析度可達 0.4 mm/pixel，重量或體積判別，量測誤差約 $\pm 2\%$ 。



圖 25 近紅外線蓮霧內部品質檢測系統(上料區)



圖 26 近紅外線蓮霧內部品質檢測系統(儀器檢測區)

紅外光譜分析技術應用在水果內部品質檢測上限制，來自近紅外光的穿透能力，由於近紅外光對水果的穿透度僅為數幾厘米至 1 公分左右，因此其他皮厚的熱帶水果如鳳梨和番荔枝可能有技術上的困難，皮薄如印度棗、番石榴、木瓜等技術上則可行。在鳳梨選別方面，為了提昇高品質鳳梨市場價值，同時滿足消費者對品質的要求，目前由國人自行研究開發之脈衝式音波鳳梨品質檢測電腦數位化自動分級系統(圖 27)，已正式上線運作，其產品

以「音波鳳梨」名稱開始供應批發市場銷售。「音波鳳梨」主要在收集與數位分析敲擊鳳梨所產生的脈衝音波共振頻率，經過比對可判斷出鳳梨內部品質，如依緊密大小程度，可以區分為「柱聲果」、「肉聲果」、「鼓聲果」及病果等四種等級，而以「肉聲果」之鳳梨品質最佳(19)。



圖 27 鳳梨音波分級機

天然災害因應

熱帶農作物於栽培環境溫度發生變化時，即有不同的生長反應。台灣冬季常有寒流侵襲，而於遭受低溫逆境時，短期間內花卉即會產生生理異常情形，例如光合作用受抑制、活力降低、生長率降低等，尤其熱帶花卉種類不耐低溫，易有根部吸水功能減低，氣孔調節失常等問題，導致植株產生脫水現象，如低溫持續較久則產生寒害。

本省從十月上旬致翌年三月下旬因受大陸冷氣團之影響，常導致季節風與寒流來襲，造成作物遭受寒害，輕者生育受到阻礙，嚴重者莖葉被凍壞，使產量下降，品質亦劣變，為避免熱帶作物遭受寒害，常用措施包括：果樹栽植地選擇避開容易滯霜地點。藉修剪、催芽技術或延後嫁接時期，以調整果樹的開花著果期。實行適當的肥培管理、整枝修剪，塑造強健樹勢及合理的葉果比。利用套袋或覆蓋以保護花穗、果實或嫩枝梢避免直接受到寒害。搭設防風網可防止寒風直接吹襲，以延緩落葉之發生。剪短雜草或清園以增加土壤蓄熱量。寒流來襲時整夜噴水或灌水於葉面可降低結霜可能性，或果園灌水可防止地溫急降而傷害根部。在氣溫驟降前，燃燒鋸木屑、木炭、稻穀、雜草等造成熱氣流動，以防滯霜。在距離地面約十公尺高度處裝設大型風扇，將上空暖空氣吹送到地面以產生對流(圖 28)。

近年來由農試所開發成功的「果園多功能自動防災系統」，目前已分別裝置在高雄六龜、屏東鹽埔、台東太麻里、苗栗大湖及台中東勢等地區的蓮霧、枇杷、梨子及桃子等果園使用。該系統係由溫濕度感應器、時間控制器、電磁閥、馬達、噴霧管路系統及自動監控元件等組成。當寒流來襲時，溫度感應器會自動啟動馬達，噴灑水霧於果樹樹冠，利用水之物理性緩和氣溫驟降，形成保護樹冠之緩衝空間，避免低溫傷害果實(圖 29)；另於夏季若有焚風來襲時，噴灑水霧亦能防止因焚風吹襲而造成落果、燒傷及皺縮等損傷⁽¹⁸⁾。

設施內栽培作物時可藉由溫度之控制管理來避免寒害，冬季的熱帶花卉栽培常受寒流低溫的威脅，為求穩定生產及維持高品質產品，保溫及加溫設施是必要的。加溫的方法，根部層加溫可使用電熱加溫或熱水管加溫。整個溫室之加溫則可使用熱風加溫、熱水管加溫及蒸氣加溫等。於嚴寒時期或夜間防寒亦可使用遮幕，以縮小空間節約能源進行保溫⁽²⁾。



圖 28 利用風扇防霜



圖 29 果園多功能自動防災系統作業情形。(資料來源:農漁牧產業自動化資訊網成果影片下載區)

結論

本省中南部為熱帶型氣候，極適合熱帶農產品之生產，其中以熱帶水果及熱帶花卉為我國加入 WTO 後受衝擊較小的產業，雖然國內農業人力越來越不足且老化，但如果能將生產技術提升，生產高品質的產品，深信國內的熱帶農業產業仍將有光明的未來。

為確保作物生長健康，在栽培過程中的管理作業為關鍵性的工作，在管理作業中主要有：施肥、灌溉、病蟲害防治、除草等，對果樹而言尚需進行修剪工作。這些作業皆需視作物的生長特性與成長環境的不同而變。近年來國內生態保育及資源利用效率的要求，及農產品大量自國外進口等多重壓力下，熱帶農產品栽培中各項作業迫切需要機械化甚至自動化。

果園適用的施肥機械，尤其是與有機肥有關的機械，目前有花蓮場的柱狀肥料製作機械及施用機械，及中興大學與台中場合力開發的開溝施肥機，均已達商品化階段。除草作業以往常用殺草劑，對環境造成很大的危害，目前已有可在樹冠下作業之割草機。灌溉作業在目前有針對果樹根部進行的省水滴灌系統及微噴灌系統，另有可進行全面性噴灑作業的管路噴灑系統，為配合目前推動農業自動化工作，灌溉正朝全面自動化的境界發展。施藥目前已有二項商品化技術可供採用，作業道規劃完善之果園可使用鼓風噴藥車進行作業，若已有管路噴灑系統之果園，可以系統進行全自動化施藥作業，作

業效能相當高。

在設施栽培中，變異式施用技術已逐漸受到重視，變異式施用技術乃根據作物的生理需求決定施用液體的質與量。利用設施栽培熱帶花卉，施液肥作業可利用原有之自動化灌溉及噴藥設備進行，目前農試所正著手研究開發養液精準供給系統。灌溉作業目前有應用於花木扦插及實生苗培育之噴霧設備，另有使用於木本觀賞植物、觀葉植物、盆栽類及盆花類養成期之滴灌系統，兩者皆已達自動化階段。設施內施藥機械常採用懸軌及地軌作為導引，懸軌方式有台中場發展之自走式噴桿可應用，但單棟式自走式噴桿於多連動裝設時，裝設成本仍過高，在多棟溫室下可使用較低成本之多棟溫室自動換棟型桿式噴霧裝置。地軌式導引噴霧機械則有無人化施藥可供採用，無人化施藥車目前已朝自動循跡系統方向發展。

本省冬季常有季節風與寒流來襲，造成作物遭受寒害，目前有農試所的果園多功能自動防災系統可應用，該系統使用於果樹之防寒效率相當高。設施栽培熱帶花卉時則可使用溫控系統來避免寒害的發生。非破壞性水果內部品質檢測技術的應用，可確保國產水果的品質，建立國產水果自我品牌以提高競爭力，屏東枋寮之光波蓮霧為引進 NIR 技術的成功範例。

國內水果及花卉產業正面臨越來越大的衝擊，如何進一步降低作業成本，提升產品品質對未來產業生存有絕對的影響。經由自動化技術的應用，如何減少各項作業對環境生態的不利影響，亦是刻不容緩的工作。隨著整體環境的變化與科技的進步，國內在熱帶農產品生產作業上必將採用機械化與自動化，而各項作業機械化與自動化發展，未來需能同時兼顧經濟、人力與技術三方面的效益。

參考文獻

1. 何榮祥、龍國維、田雲生. 1999. 近年來台中場噴藥機械研發成果. 台中區農業技術專刊 154.
2. 林瑞松. 2002. 花卉設施栽培與生長環境. 設施農業專輯 33. 興大農業推廣中心編印.
3. 林永順、曾得洲. 2000. 乘坐式果園割草機. 農業世界 219:76-79.
4. 林永順、曾德州. 1995. 自走式鼓風噴霧車之開發及示範推廣. P.27-32. 施藥技術服務. 農機中心編印.
5. 林慶喜、陸應政、邱澄文. 1992. 果樹立體施肥機介紹. 花蓮區農業專訊 1:14-17.
6. 周明燕. 1994. 熱帶花卉-薑荷花. 台南區農業專訊 9:12-13.
7. 洪明治. 果園管路自動化噴藥控制系統示範推廣. P.21-26. 施藥技術服務. 農機中心編印.
8. 郭嘉樹. 2001. 果園等壓滴水灌溉系統之結構及應用. 臺東區農業專訊 38.
9. 盛中德. 2001. 農業機械自動化. P.417-421. 中華永續農業協會.
10. 盛中德. 1995. 施藥自動化介紹. P.8-11. 施藥技術服務. 農機中心編印.
11. 盛中德. 1994. 噴藥自動化. P.7-24. 農漁牧自動化用語. 國立編譯館編印.
12. 盛中德. 1994. 滴灌自動化. P.26-29. 農漁牧自動化用語. 國立編譯館編印.
13. 張錦興. 1997. 天南星科盆栽植物之生產技術. 台南區農業專訊 21:10-17.
14. 梁連勝、陸龍虎、鄧永興. 1996. 果樹樹型整修機械田試驗及改良. 農試所農工系研究成果報告.
15. 游景昌. 2001. 自走式果樹殘枝粉碎機之簡介. 高雄區農業專訊 36:20-21.
16. 劉銘峰. 1993. 芒果整枝修剪. 台南區農業專訊 4:14-16.
17. 廖健次. 1987. 果園機械. 五洲出版社.
18. 楊嘉凌、曾勝雄、張林仁. 2000. 台中區農業改良場轄區重要作物-低溫寒害預防及災後復育措施. 台中區農情月刊 4.
19. 編輯室. 內部品質檢測鳳梨問市-音波科技品質把關. 台南區農業專訊 36:19.
20. 謝俊夫. 1995. 果園灌溉自動化介紹. P.12-13. 施藥技術服務. 農機中心編印.
21. 樂家敏. 1995. 堆肥開溝施肥機械之研究與改良. 農林學報 44 (3):1-15.
22. 樂家敏、翁郁凱、阮助明. 1994. 掘溝式堆肥深層施肥機械之開發與試驗. 農教學報 41:60-72.

The Development of Mechanization and Automation for Tropical Agriculture

Chung-Teh Sheng

National Chung-Hsing University

ABSTRACT

Since the climate of central and southern part of Taiwan is a typical tropical type, it is suitable to grow tropical agricultural products, which include rice, draught enduring plants, vegetables, fruits, flowers, and scenic plants, etc. Since Taiwan has entered WTO in 2002, the local high quality tropical fruits and flowers are considered to be competitive to foreign products. Recently, the production of tropical fruits and flowers faces the problems of aging and shortage of labor, the conservation demand on ecology and natural resources, and the competition of abroad products, Taiwan solves the problems to keep the life of local tropical agriculture through the efforts of every aspect. The mechanization and automation are developed and employed highly in local agriculture production.

In regard to developing fertilizer application machines for orchard, the production and application machines for pillar type organic fertilizer and the ditch digging and fertilizer spreading machine are developed and available commercially. The ditch digging and fertilizer spreading machine can dig straight ditch and circle ditch along the tree canopy. The machine can not only put the fertilizer into the ditch but also mix the fertilizer with soil and put them back to the ditch. A team effort in TARI is to develop a precision system to manage the liquid fertilizer supply according to the physical demand of plant. The old way to weed control with the chemical application to jeopardize the environment has been criticized a lot. The new machine can mow the weed under the tree canopy has been developed. For water conservation, the available irrigation system can just apply the water to the root of tree are the automatic drip irrigation system and micro-irrigation system. The pipe-type irrigation system with self-propelled circling nozzle is a powerful irrigation and spraying system. It can irrigate an orchard thoroughly and fully automatically. But it will consume lots of water. The drip irrigation system and pipe-type irrigation system are also utilized in flat field and facility agriculture. The spraying work in a well-planned orchard can applied with a blast power sprayer. If the orchard is equipped with the pipe-type irrigation

system, it can also use the irrigation system to spray the chemical automatically. It is very efficient. In facility agriculture, the structure frame is often adopted to be the machine travel path or guide. TADI has developed a suspended spraying system to work in greenhouse, which can be transported and shifted automatically in different units. In other words, the developed spraying system can be applied in multiple units of greenhouse, which can significantly reduce the cost. The ground rail is also applied to develop an automatic sprayer for vineyard. The severe problem to run tropical agriculture in Taiwan is the cold current problem in winter. The facilities usually can provide the function to protect the plant from the cold current with shelter, heater, or spraying heating system. In open orchard, TARI has developed an automatic disaster prediction and protection system for occasional cold current and burning wind. The system performs quite well so far. Recently, the work of fruit internal quality inspection and grading has been improved a lot. Fong-Lian Farm Association has imported a fruit internal quality inspection system with NIR from Japan to grade wax apple. It is operated commercially. A local research team is working on the development of internal quality inspection system with NIR for mango.

Now Taiwan is an official member of WTO, and agricultural sector in Taiwan faces tremendous impact from foreign competition. How to further reduce the production cost, and improve the quality of product will be the crucial works for local agriculture to survive eternal. At the same time, the future agriculture in Taiwan also has the imminent responsibility to make its effort to conserve ecology and natural resources. The application of automatic technology or machine decreases the application of chemicals. The weed mower can be used to substitute the application of weedcide. The organic fertilizer can be further used to replace the chemical fertilizer to slow down the environmental damage. Those efforts will positively contribute to the existence of agriculture in Taiwan. According to the excellent characteristics of tropical climate in the central and southern part of Taiwan, the brilliant future of tropical agriculture in Taiwan is highly expected.

Key words: Tropical agriculture, Mechanization, Automation, Fertilizer application, Irrigation, Spraying.