

水稻田之生態與環境

Ecology and Environment of Paddy Field

國立台灣大學農業工程研究所國科會博士後研究

吳 富 春
Fu-Chun Wu

國立台灣大學農業工程研究所教授

許 銘 熙
Ming-Hsi Hsu

摘 要

水稻田生態環境為農業生態系統之一部份，然而過去常強調水稻田所具有之生產性功能，而對其生態性與生活性機能卻未加重視。水稻田生態環境具有異於其他耕地生態環境之特性，本文即針對水稻田土壤之物理與化學性質、水稻田之水資源循環利用及水稻田生態之自損作用等四項生態環境性質；以及水稻田與微氣候之關係、水稻田淨化環境之效果、水稻田與暴雨洪水之關係及水稻田對生態環境之影響等四項水稻田與生態環境之關係進行探討，以增進對水稻田生態環境之瞭解。

關鍵詞：水稻田，生態，環境，農業生態系統。

ABSTRACT

The ecological environment of paddy field is a part of the agro-ecosystem, the productivity of paddy field has been emphasized in the past whereas the ecological and environmental functions of paddy field have not been paid much attention. The ecological environment of paddy field owns the properties that are different from those of the ecological environment cultivating other crops. This paper discusses the ecological and environmental properties of paddy field including the physical and chemical properties of paddy soil, the circulation of water supply to paddy field, and the autointoxication of paddy ecosystem; as well as the relationship between paddy field and the ecological environment including the relationship between paddy field and microclimate, the cleaning effect of paddy field, the relationship between paddy field and storm/flood, and the impact of paddy field to ecological environment. The present study aims at a better understanding of the ecology and environment of paddy field.

Keywords : Paddy field, Ecology, Environment, Agro-ecosystem.

一、前言

農業生態系統 (agro-ecosystem) 常與其他生態系統共生而無法單獨孤立存在。農業生態系統在本質上較大多數其他之生態系統更為開放，即使對一個未經現代技術開發而能自給自足之農業系統而言，亦存在透過人力或畜力方式輸入此一系統之能量、被此一系統生產與消耗之糧食以及被此一系統排放於耕地外之廢棄物^[15]。水稻田生態環境雖為農業生態系統之一部份，但過去往往僅強調水稻田灌溉所具有之生產性功能而對其生態性機能與生活性機能未加重視^[2]。水稻田生態環境具有異於其他作物耕種環境之特性，例如水稻田需要滲透性較低之土壤使田面保持湛水狀態；水稻田提供有機生物較理想之棲息環境以維持有利於水稻生長之含氮量；水稻田，尤其是山區梯田，具有減輕山洪沖蝕之功能，避免嚴重之水土流失；水稻田面湛水之水溫及蒸發散具有調節氣溫、地溫及濕度等微氣候之效果。因此在當今水稻田面臨改作或農地釋出之時刻，實有需要從其他角度探討水稻田之各項機能與特性。本文之目的即針對水稻田之生態與環境進行探討，以瞭解水稻田本身之生態環境性質以及水稻田與生態環境之關係。

二、水稻田之生態環境性質

(1) 水稻田土壤之物理性質

水稻田土壤通常被歸類為濕地性土壤，此類土壤之形成與其特性深受上層土壤中暫時或永久性水分飽和之影響^[8,16]。據調查資料顯示，水稻田土壤之粒徑分佈涵蓋細砂土 (fine loam) 至細粘土 (fine clay) 之範圍，其中百分之七十上屬於淤泥及粘土，其低導水性 (hydraulic conductivity)、低滲透性 (permeability) 及淺深處之不透水層 (impervious layer) 有助於維持對水稻生長有利之土壤物理條件。台灣地區之水稻田一般具有高約 20 至 30 公分之田埂，通常之湛水深度約 2 至 6 公分，最高可達 20 公分。根據國際稻米研究所 (IRRI) 之研究指出 2.5 公分深之流動淺水可使土壤及表面水之溫度晝高夜低，加速有機質之分解，促進水稻根部之健

全發育與成長。水稻田湛水亦具有增加水分入滲之效果，並且在上層土壤中（一般在區域性地下水位之上方數米處）製造一 10 至 30 公分厚之水分飽和層。此一飽和層所能達到之深度受土壤入滲 (infiltration) 率、滲漏 (percolation) 率及保水能力之影響，一般較理想之水稻田入滲（滲漏）率為 1 公厘／日，而許多水稻田之入滲（滲漏）率在 5～10 公厘／日之範圍，易使稻作發生水量不足之現象。台灣地區水稻田耕作之特色之一為移植秧苗於本田中。一般而論，水稻田之飽和濕泥對大部份之農作物而言並非理想之耕種環境，然而耕犁碎土及灌水耙平 (puddling) 等整地措施造成土壤聚合體之破壞，從而減低土壤之入滲（滲漏）率、提高土壤保持水分及養分之能力，卻有利水稻之生長。過去整田作業係以水牛耕犁之方式進行，而今已由機械化之農耕機替代。水稻田在經過一段時間之耕作後，通常於距田面 10 至 40 公分深處形成一層 5 至 10 公分厚之硬板層 (hard pan)，即為一般俗稱之牛踏層 (traffic pan 或 plow pan)。根據日本之研究估計，水稻田於耕作 50 年之後始有硬板層之形成，而在耕作 200 年後方才發展完全成為永久性之硬板層。硬板層具有抑止入滲及滲漏之效果，進而使水稻田保持田面湛水，同時硬板層亦可使地下水位較低之高滲透性土壤保有充足之水分而成為親水性濕地。若硬板層遭致破壞，土壤即變為泥濘狀態而無法承受壓力，將對重型曳引機之使用造成限制。

根據中國大陸南京土壤科學研究所對太湖地區及珠江三角洲之水稻田土壤所做之研究^[17,18]，顯示硬板層係由較細且較重之土壤顆粒所組成，而其入滲率、導水性及含氣孔隙率（含氣孔隙率＝總孔隙率－含水孔隙率）均較其鄰近之上下層土壤為低。由其研究結果可發現土壤之入滲率及導水性與含氣孔隙率有密切之相關性；而硬板層之導水性僅為其下層土壤之六分之一。又根據一系列之土壤水壓測試發現，惟有在水壓梯度增加至相當大時，水分方有穿過硬板層之可能性，而在硬板層底邊與地下水位間之水分非飽和層中，其水壓為負壓（表示對水分具吸力），此一非飽和負壓層之厚度常隨地下水位而改變^[18]。

硬板層常使其上方飽和層之水分無法滲漏至更深層土壤中，並使其下方非飽和層之毛細管水常無法爬升至土層土壤中。因此可以說硬板層之存在，具有隔離地表水與地下水之作用。圖 1 所示為水稻田土壤之縱剖面示意圖。

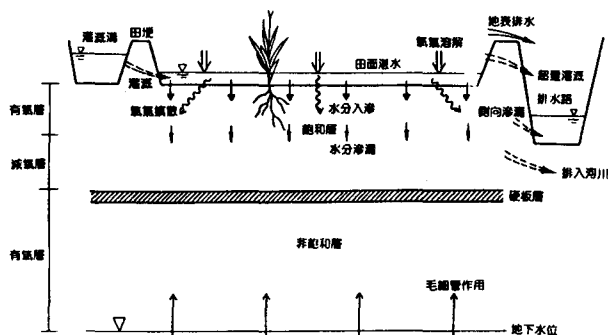


圖 1. 水稻田土壤縱剖面示意圖

(2) 水稻田土壤之化學性質

如前節中所述，水稻田因漫灌而使淺層土壤達到飽和狀態時，飽和層土壤中之氧分子便迅速被好氧性細菌所消耗；惟有在深度 10 公分以內之表層土壤中，因溶解於田面湛水中之氧氣能靠擴散方式進入而得以維持其含氧量（如圖 1 所示之有氣層）。水稻根部之垂直向生長常受到硬板層限制而被方往橫向發展，因此在田面至硬板層間範圍內之養分供應對水稻生長有其重大之意義，可視為有效施肥範圍。雖然大部份之水稻根都在減氧層 (reduced zone) 中，氧氣仍可透過呼吸作用由稻稈與根部之通氣組織及管道擴散而進入根部。

根據研究^[11,12]，在減氧層中可能發生下列化學變化而使水稻之生長受到影響：

- ① 氧化還原潛勢之降低；
- ② 酸性土壤之 pH 值增加；鹼性土壤之 pH 值降低；
- ③ 還原作用： $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ， $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ ， NO_3^- 與 $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$ 與 N_2O ， $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$ ；
- ④ 氮之供應量增加；
- ⑤ 磷、矽及鉬之供應量增加；
- ⑥ 水溶性鋅及銅之濃度降低；
- ⑦ 二氧化碳、甲烷以及還原作用毒性產物如有機酸與硫化氫之產生。

氮為水稻生長所需之重要養分之一，水稻田環境存在許多氮之來源，故能不靠氮肥而維持土壤中之含氮量。Russell (1973) 之研究指出濕地性稻田土壤中之含氮量常較非飽和土壤中為高。此乃因濕地性水稻田中溫熱、清淨且靜滯之湛水及大量日照提供有機生物理想之棲息環境，而部份有機生物對含氮量之固定具有重大貢獻。其中最要者屬棲息於湛水中之藍綠藻 (blue-green algae)，其所能固定之含氮量達 70 公斤／公頃以上^[14]，圖 2 為氮肥在水稻田土壤中轉化之情況。其他之氮源尚包括雨水（1～38 公斤／公頃·年）；灌溉水（6～16 公斤／公頃·期作）；地下水（0.1 公斤／公頃·年）；以及其他微量來自大氣中之氮、有機物質、分解之殘餘農作物及綠肥等^[15]。

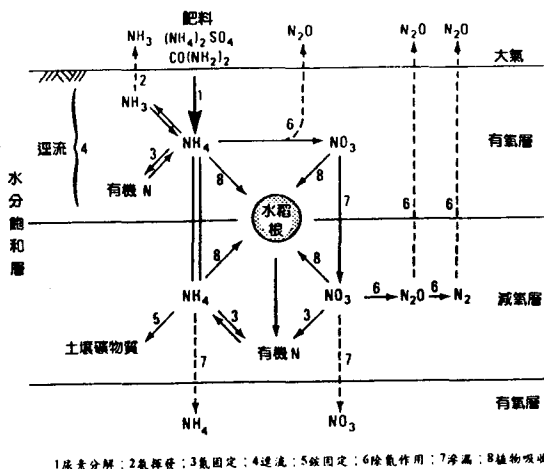


圖 2. 氮肥在水稻田土壤中轉化之情況

(摘自參考文獻 [6])

水稻田土壤肥力亦可經由人為方式加以調節，主要之方法包括種植養地作物、實行水旱間作或分區輪作以及施用有機肥料^[1]。據中國大陸最近之研究報告指出春作花生與晚稻連作，花生收成後土壤中全氮量比早稻稻田增加 22%，有效磷增加 5 倍多，有效鉀增加 4 倍，並且有效改善土壤通透性，減輕病蟲害，促進晚稻增產。稻棉水旱間作可促進水稻田有機質更新，顯著改善土壤生態環境並提高土壤之供肥性能。

(3) 水稻田之水資源循環利用

一般認為水稻田在亞洲地區佔優勢是因熱帶性季節風氣候偶然組合之結果。易言之，豐沛之降雨量、四季分明而且乾旱季節明顯、以及面積廣大之洪水平原及三角洲等因素使得勤奮之亞洲人發展出獨特之水稻田農業文化。Moormann 和 van Breeman (1978) 根據主要之供應水源，將水稻田之水源分為地下水源與地表水源兩大類。要精確估計兩種水源所佔之比例通常並不容易，亞洲地區大部份之水稻田主要係以降雨及地表逕流為其供應水源，Grist (1976) 並指出亞洲地區百分之八十之水稻田直接依賴降雨供水。不同水源往往造成不同之水稻田湛水型態，例如淺湛水型態之水稻田乃以雨水為主要供應水源，並以地下水源及地表水源為補充之水源；而深湛水型態之水稻田則以地表逕流水源為主，其湛水深與時間長短乃因地而異。在排水狀況良好且洪水退卻較快之地區，水稻田湛水較淺且時間較短，通常不超過 50 公分；而在河川下游之洪水平原及三角洲地區，典型之季節性洪泛可使稻田水深超過 1 公尺，對於此一類型之深水水稻（或稱漂浮水稻）而言，以田埂局限水稻田湛水之灌溉方式不適用於其耕種之型態。

水稻田之灌溉常以灌區為單位，灌溉溝渠將灌溉用水分佈至地勢較高之稻田坵塊進行漫灌，而超量之灌溉水即流至地勢較低之坵塊或經排水口排放至排水路，部份入滲土壤之水分亦以側向滲漏之方式排入排水路或河川而成為農業回歸水 (return flow)，若以灌溉用水重覆利用之觀點而言，灌溉水之主要消耗乃為水稻需水量，亦即水稻之蒸發散量。因此水稻田灌溉型態對於區域性水分及養分之保存與涵養功效較其他旱作灌溉型態為顯著，水稻田之灌溉具有水資源循環利用之特色。

(4) 水稻田生態之自損作用

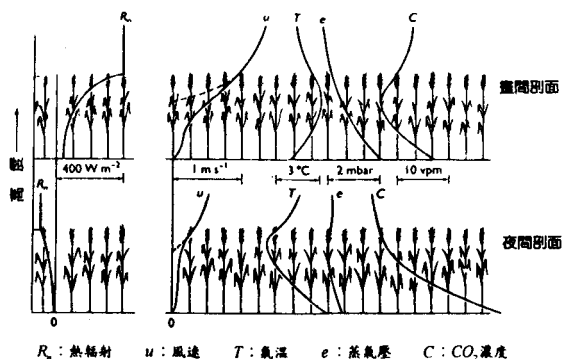
互損作用 (allelopathy) 一詞係 Molisch 於 1937 年首先啓用之植物學名詞，其意義為兩個有機體間相互損害之作用^[4]。文獻上引用此一名詞代表植物與植物間造成損害效果之生化交互作用。而自損作用 (autointoxication) 亦被認為是互損作用之一種，為一有機體釋放毒性化學物質以抑止其自身生長之現象。互損作用被認定為植物間交互作

用之一項生態因素，而互損化合物通常透過揮發、滲漏、殘餘作物之分解以及根部分泌之方式釋放至外在環境。互損作用在水稻田生態中亦扮演了重要角色，台灣地區二期稻作之產量通常比一期稻作之產量低 1,000 公斤/公頃（約 25 %），這種現象在排水不良之地區尤其明顯^[4]。一期（三月至七月）與二期（八月至十二月）間之三週休耕期中，農民往往將收割後之稻稈留於田地中，伴隨殘餘物入土分解。而在分解時所產生之毒性物質 phytotoxin 將抑止水稻生長並減少後期稻作之產量^[5]。尤其在生育分蘗期（插秧後 30 至 45 天）與抽穗期（插秧後 80 至 90 天）時，水稻根部之生長受阻礙並且發生根部細胞膨脹之現象。部分研究者認為根部細胞之膨脹可能是在減氧層中，根部為獲更多氧氣而產生之適應性行為及機制。

三、水稻田與生態環境之關係

(1) 水稻田與微氣候之關係

微氣候 (microclimate) 之定義為農作物周遭環境空氣中各種性質之垂直分佈，微氣候之分佈受葉面與地面之熱能交換所趨使。熱輻射、能量平衡及亂流傳輸行為對農作物周遭之微氣候分佈影響甚鉅。以水稻田而言，水蒸氣與氣溫便為控制微氣候分佈之兩項重要因素^[9]，圖 3 所示為水稻田之晝、夜間微氣候剖面圖。



(摘自參考文獻 [9])

空氣中任一位置所量測到之熱輻射流通量為其向上與向下之平衡流通量，圖 3 中晝間空氣之熱輻射流通量為正值，表示空氣中熱能為釋放狀

態。水稻高度以下之水稻蓬帳 (canopy) 內，上端與空氣接觸之葉片無論在夜間或白晝時均為發生熱能交換最主要之區域，圖3之微氣候剖面中，水稻蓬帳上端附近之空氣中熱輻射及氣溫產生急劇變化之情況即顯示此效果。晝間時，葉面因吸收空氣中熱量進行蒸散作用而成為空氣散熱及冷卻之主要區域；夜間時，農作物所具之熱能較空氣中之熱能為高，空氣中熱輻射之負流通量表示夜間時空氣吸收農作物之熱量；而水稻田湛水之比熱較地表土壤及空氣為高，故可緩和地溫與氣溫之變化。

圖3之水蒸氣剖面顯示水稻田及農作物均為水蒸氣之源 (source)，而乾燥之空氣則為水蒸氣之匯 (sink)。水稻田在生長盛期之蒸發散量約7公厘/日，其中只有5%用以維持原生質之功能及光合作用，其餘95%係以水蒸氣及水珠之形態從葉片氣孔與水孔排出，若水稻田蒸發散一公升水分消耗空氣中539仟卡之熱能，而1噸冷氣機之散熱以3,024仟卡/小時進行換算，則每公頃水稻田之散熱效果約相當於500噸之冷氣機，對涼化炎熱之環境有所助益。白晝時，葉片因光合作用而成為吸收空氣中二氧化碳之主要匯點；淺層土壤則因呼吸作用而成為二氧化碳之源點。水稻之光合作用可吸收二氧化碳、產生氧氣、並具淨化空氣之效果，估計每公頃水稻田每期作約可產生24公噸氧氣，因此水稻田對改善環境品質亦具貢獻^[2]。

(2) 水稻田淨化環境之效果

農業活動對生態環境之諸多影響當中，近年來廣泛受到注意之問題為化學肥料與農藥使用量以及有機廢棄物產量驟增所引起之後果^[15]。農田中未被農作物吸收或未被固定於土壤中過剩之可溶性無機肥料通常以滲漏之方式被釋出農田。被釋出之肥料以氮肥居多，主要係以硝酸鹽或少量以氨之形式排出，其他如磷肥與鉀肥則較易被吸收或固定。

農業生態系統本身亦製造出動物性排泄物及殘餘農作物等有機廢棄物，而這些廢棄物都含有不等量之水分、礦物質、有機物質以及其他化學物質。有機廢棄物係透過地表逕流、農業排水、土壤水分滲漏或入滲地下水等出流途徑排放至農業

生態系統之外。

使用農藥之主要目的在於控制對農作物有害之動植物與微生物，現代化合成農藥較傳統之農藥更能有效控制對農作物有害之動植物，但相對地也會對農地外之野生動植物產生副作用。殘餘農藥將進入空氣、土壤、水及其他非農業生態系統之中，並進行生物性或非生物性之轉變。有機農藥中，以有機氯化物之分佈最廣且最持久。據研究指出，農田土壤中有35種細菌和26種嫌氣性微生物能分解有機農藥之各種異構體，尤其在水稻田漫灌之條件下，嫌氣性細菌之活動力旺盛，對有機農藥之分解較旱地為快；而水稻田土壤對滲流水具有過濾作用，水中浮游質在滲透過程中被土壤過濾，水中污物如磷酸離子亦經土壤交換及吸附固定而去除，農田土壤中微生物之分解能力，相當於一個400立方公尺之活性碳淨化曝氣池之效果^[1,2]。

(3) 水稻田與暴雨洪水之關係

水稻田因周邊田埂之蓄水效應，在暴雨洪水來臨時即成為天然之滯洪池，具有調蓄洪水之功能，可減低下游排水之尖峰流量，並可能延遲洪峰到達之時間。若以5公分之田間湛水及25公分之最大蓄水深度進行估計，即有20公分之蓄洪空間，換言之，每公頃之水稻田約有2,000立方公尺之調蓄洪水容量。

中村好男氏等 (1994) 在針對小貝川下游地區之排水特性研究報告中指出，小貝川上游流域水稻田面積之減少造成小貝川下游岡堰地區與福岡堰地區之抽水量大幅增加；以100公厘之降雨量而言，水稻田面積減少1公頃增加岡堰地區1,300立方公尺及福岡堰7,800立方公尺之抽水量；且因岡堰地區之水稻田灌排系統設有灌溉水循環使用及越田灌溉之設施，故1988年8月之排水實測資料顯示洪水在岡堰地區之滯留時間比福岡堰地區多十個小時，達到緩和稻田逕流流出之效果。又根據日本和田山地區水稻田與旱田之比較研究^[2]，以24小時降雨量超過100公厘之7場降雨事件分析水稻田及旱田之排水尖峰流量，其結果顯示旱田之排水尖峰流量平均而言為水稻田之1.57倍。

另外水稻田亦具有防止土壤沖蝕之功效。尤其是山坡地之梯田對坡地地表逕流具有蓄納及緩衝作用，可以有效減輕暴雨及山洪造成表土沖刷，避免嚴重水土流失。

(4) 水稻田對生態環境之影響

農業之開發及擴展無可避免將造成既有野生生態系統之破壞，並且造成物理環境之劇烈改變。灌溉及排水措施亦會改變原生生態系統，而且影響所及有時甚至超越直接接受此等措施之區域範圍。殘餘農藥及化學廢棄物無疑地已對自然生態環境及水稻田本身造成危害。研究報導指出野生動物、魚類、牲畜及人體內均已證實含有不等量之殘餘農藥及其他碳水化合物，其最主要之來源為附著於農作物上之農藥，而魚類亦可從水中直接吸取這些物質。台灣地區之鎳米問題亦暴露出水稻田環境受污染之嚴重程度已對台灣人民之健康造成威脅。

另一方面，水稻田亦提供水鳥棲息之優良環境。1975年國際性濕地研究將水稻田劃分為22種國際濕地類型之第19種濕地。而在1971年之國際重要濕地公約國宣言中曾明示濕地之基本生態功能為對水系之調節及化育特有動植物群落（特別是水鳥）之場所，同時濕地亦為經濟、文化、科學及遊憩之寶貴資源，因此期盼全世界各國能透過國際間之協調及合作，使濕地及其動植物群落能夠獲得妥善之保育與保存^[2]。

四、結 語

水稻田係由低滲透性之土壤所構成；田面湛水能提供適合有機生物棲息之環境以固定水稻生長所需之含氮量；亞洲地區之水稻田大部份係依賴降雨及其他地表水源；水稻田灌溉具有水資源循環利用之特色，對於區域性之水分及養分具有涵養及保存之功效；水稻田殘餘作物之分解對水稻之生長具有自損作用；水稻田湛水之水溫及蒸發散具有調節微氣候之效果；水稻田土壤可淨化水質而土壤中之微生物並可分解有機農藥；水稻田對暴雨洪水具有蓄納及緩衝作用；水稻田並提供調節水系及化育特有動植物群落之濕地環境。然而，不可諱言農田中所使用之化學肥料、農藥與灌溉排水設施以及農田中所產生之有機廢棄物

對生態環境亦會造成負面之影響。

因此如何善加利用水稻田對生態環境有利之因素，並減輕水稻田對生態環境之負面影響，將是未來永續經營生態環境所面臨之一大課題。

五、參考文獻

1. 何流禧，農業生態學，五洲出版社，民國78年4月。
2. 蔡明華、林永德，「水稻田生態環境維護對策之推行」，1995年中日農業水利生態研討會，民國84年4月。
3. 中村好男、雨澤英治、寺田義久、佐藤俊郎，「小貝川下游排水特性與水田逕流緩和功能」（日文），農土誌，1994年10月。
4. Chou, C.H., "The Role of Allelopathy in Agroecosystems: Studies from Tropical Taiwan", *Agroecology*, S.R. Gliessman ed., Springer-Verlag, N. Y., 1990.
5. Chou, C.H., and Lin, H.J., "Autointoxication Mechanism of *Oryza sativa* I. Phytotoxic Effects of Decomposing Rice Residues in Soil", *J. Chem. Ecol.* 2:353-367, 1976.
6. Craswell, E.T., and Vlek, P.L.G., Fate of Fertilizer Nitrogen Applied to Wetland Rice, *Nitrogen and Rice*, IRRI, Los Baños, Philippines, pp. 175-192, 1979.
7. Grist, D.H., *Rice*, 6th ed., Longman, London, 1986.
8. IRRI (International Rice Research Institute), *Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization*, Los Baños, Philippines, 559 pp., 1985.
9. Loomis, R.S., and Connor, D.J., *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*, Cambridge University Press, 1992.
10. Moorman, F.R., and van Breemen, N. *Rice: Soil, Water, Land*, IRRI, Los Baños, Philippines, 185 pp., 1978.
11. Ponnamperuma, F. N., "The Chemistry of Submerged Soils", *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
12. Ponnamperuma, F.N., Specific Soil Chemical Properties of Submerged Soils in Relation to Fertility, IRRI Paper Series, No. 2, 18 pp., 1976.
13. Russell, E.W., *Soil Conditions and Plant Growth*,

- 10th ed., Longman, 1973.
14. Stewart, W.D.P., Rowell, P., Ladha, J.K., and Sampaio, M.J.A.M., "Blue-Green Algae (Cyanobacteria) - Some Aspects Related to Their Role as Sources of Fixed Nitrogen in Paddy Soils, *Nitrogen and Rice*, IRRI, Los Baños, Philippines, pp. 263-285, 1979.
 15. Tivy, J., *Agricultural Ecology*, Longman Scientific & Technical, Longman, UK, 1990.
 16. USDA (United States Department of Agriculture), Soil Conservation Service, Soil Survey Staff, Soil Taxonomy, Agricultural Handbook 436, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 754 pp., 1975.

(上接第 89 頁)

- machine vision. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence 11(9): 897-915.
3. Baylou, P., B. E. H. Amor, M. Monsion, C. Bouvet and G. Bousseau. 1984. Detection and three-dimensional localization by stereoscopic visual sensor and its application to a robot for picking asparagus. *Pattern Recognition* 17(4):377-384.
 4. Buemi, F., M. Magrassi, A. Mannucci, M. Massa and G. Sandini. 1994 The vision system for the agrobot project. Proc. of the 5th international conference of computer in agriculture, Orlando, Florida, U. S. A.
 5. Chung, J. Y and F. F. Lee. 1993. Using binocular stereo machine vision to position citrus fruit on the tree. *Journal of Chinese Agricultural Engineering* 39(4): 74-89.
 6. Giardina, C. R. and E. R. Dougherty. 1988. Morphological methods in image and signal processing. Prentice-Hall, Inc.
 7. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
 8. Haralick, R. M. and L. G. Shapiro. 1993. Computer and robot vision. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
 9. Harrell, R. C., P. D. Adsit, T. A. Pool and R. Hoffman. 1990. The Florida robotic grove-lab. Trans. of the ASAE 33(2): 391-399.
 10. Jia, J. and G. W. Krutz. 1992. Location of the maize plant with machine vision. *Journal of Agricultural*

17. Yu, De-fen, and Yao, Xian-liang, "Some Physical Properties of Paddy Profiles in Taihu Lake Region", Proceedings of Symposium on Paddy Soil, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Beijing, 1981.
18. Zhang, Bing-gang, and Chen, Zhi-xiong, "Hydrologic Status of Paddy Fields During Rice-Growing Period", Proceedings of Symposium on Paddy Soil, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Beijing, 1981.

收稿日期：民國 84 年 9 月 19 日

接受日期：民國 84 年 10 月 3 日

Engineering Research 52: 169-181.

11. Molto, E., F. Pla and F. Juste. 1992. Vision systems for the location of citrus fruit in a tree canopy. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52: 101-110.
12. Parrish, E. A. Jr., and A. K. Goksel. 1977. Pictorial pattern recognition applied to fruit harvesting. Trans. of the ASAE 20(5): 822-827.
13. Rabatel, G. 1988. A vision system for MAGALI, the fruit picking robot. Agricultural Engineering International Conference, Paris, France. Paper No.88. 293.
14. Sites, P. W. and M. J. Delwiche. 1988. Computer vision to locate fruit on a tree. Trans. of the ASAE 31(1): 257-263.
15. Slaughter, D. C. and R. C. Harrell. 1987. Color vision in robotic fruit harvesting. Trans. of the ASAE 30(4): 1144-1148.
16. Slaughter, D. C. and R. C. Harrell. 1989. Discriminating fruit for robotic harvesting using color in natural outdoor scenes. Trans. of the ASAE 32(2): 757-763.
17. Weckler, P. R. and G. A. Kranzler. 1989. Optical range-finding from image focus. ASAE Paper No. 897060.
18. Whittaker, A. D., G. E. Miles, O. R. Mitchell and L. D. Gaultney. 1987. Fruit location in a partially occluded image. Trans. of the ASAE 30(3):591-596.

收稿日期：民國 84 年 8 月 10 日

修正日期：民國 84 年 9 月 26 日

接受日期：民國 84 年 10 月 3 日