

## 穴盤種苗移植手端之路徑規劃與分析

### Path Planning and Analysis of an End-effector for Seedling Transplanting

國立台灣大學農業機械工程學研究所碩士

國立台灣大學農業機械工程學研究所教授

錢 中 方

林 達 德

Chung-Fang Chien

Ta-Te Lin

#### 摘要

現行之穴盤種苗生產作業中，育苗箱中缺株之補植作業仍賴人工完成，因而構成了自動化種苗生產之作業瓶頸。發展機械化之移植與補植作業，將有助於種苗生產一貫化與自動化目標之達成。本研究之主要目的為進行移植補植作業之手端工作規劃與分析，發展適用於移植補植作業路徑規劃之演算法，並分析比較演算法的優劣及探討影響移植作業效率之主要因子，作為設計與改良移植機之參考。以「單邊最短路徑法」、「新法則」與「最近相鄰法」三種演算法進行種苗移植作業之路徑規劃，結果顯示三種演算法計算所得之單株平均路徑長度均相當接近，但在演算時間之比較上，則以「最近相鄰法」在計算時間上較為經濟。在移植補植方式的選擇上，「邊丟棄邊移植」之方式在路徑長度上較短，於移植株數超過9株以上之情形下，約為「先丟棄再移植」方式之85%左右。待移植與待補植育苗箱間，水平垂直於輸送帶方向之間距對單株平均路徑長度與單株平均移植時間之影響略成線性關係。平行於輸送帶方向間距對於移植路徑長度與移植時間之影響均甚小。

關鍵詞：種苗移植，手端，直角座標系機器人，路徑規劃。

#### ABSTRACT

The current practice of seedling production in Taiwan still requires manual transplanting for missing seedlings in nursery trays. This has created a bottleneck in the seedling production process. Development of a nursery seedling transplanting machine will help achieving the goal for the automation of seedling production. The objectives of this research were to analyze and plan the transplanting path of the transplanting end-effector, to compare the efficacy of the selected algorithms for path planning, and to determine the major factors affecting the efficiency of transplanting operation. Three algorithms were selected and tested. Among them, the "nearest neighbor" algorithm appeared to be the best in terms of computational time

though the computed path lengths from the three algorithms were similar. Two approaches for transplanting seedlings to a nursery tray with missing seedlings were also investigated. The average path length for the separate-type transplanting operation was about 85 % of the path length of the batch-type transplanting operation. The average path length and transplanting time were found to be linear to the distance between the nursery trays in the direction perpendicular to the belt conveyors. However, the distance in the direction parallel to the belt conveyors was ineffectual to the average path length and transplanting time.

Keywords : Seedling transplanting, End-effector, Cartesian-coordinate robot, Path planning.

## 一、前　　言

在設施環境中使用穴盤育苗箱來培育蔬菜幼苗，等到生長至一定的大小後再移植到田間，除有幼苗容易成活，蔬菜生育較好而不會發病，產量得以提高等優點外，更重要的是採收期可提早七天至十四天左右，而增加了蔬菜之市場競爭力。近年來此種栽培方式逐漸為國內農民所採行，穴盤種苗需求量因而逐年遞增，目前亦已有育苗中心的興起，使穴盤種苗的生產成為專業化的農業生產事業（張，1991；黃，1992）。為使種苗得以大量生產以應市場需求，生產過程之機械化與自動化為必要之手段。在目前的育苗中心之種苗生產作業中，大致已達到各單元作業機械化之階段，並逐漸往各單位作業之一貫化與自動化研究發展（陳等人，1993）。然而在育苗作業中由於種子品質或育苗管理之影響，育苗箱中會有種子不發芽或發育不良的現象，造成育苗箱中缺株或有不良株的情形出現。為解決此問題，目前的作業方式是由人工目視檢測育苗箱中缺株或不良株的苗穴位置，然後進行人工補植，因此在整個機械化生產作業中的成為一大作業瓶頸。故若能發展機械化之移植與補植機械，將有助於種苗生產一貫化與自動化目標之達成。

基本上，發展穴盤育苗自動移植或補植機械所面臨的技術問題可大致區分為三項：(1)種苗穴盤狀態（如缺株與不良株）之自動辨識，(2)移植手端（End-effector）之工作規劃與分析，(3)移植手端挾持具之機構設計。有關育苗箱種苗缺株辨識之問題，已順利發展了機器視覺系統得以解決（賴與林，1992；林與黃，1993）。接下來之問題則為移植補植機之設計與手端之工作規劃及機構設計。本研究

之主要目的為進行移植補植作業之手端工作規劃實驗與分析，發展適用於移植作業路徑規劃之演算法，以不同演算法控制手端挾持具進行育苗穴盤之移植與補植作業，從而分析比較演算法的優劣及探討影響移植作業效率之主要因子，作為設計與改良移植機之參考。至於移植手端之挾持具機構設計與性能分析之研究，則於另文詳述之（黃與林，1995）。

有關穴盤育苗箱之移植作業，由於種苗栽培方式不同而有不同之作業方式，最主要者可概分為以下三類：(1)缺株補植作業：苗盤中遇有缺株則補上新苗、若植株生長不良，則取出丟棄，再由別的育苗箱取苗來補上新苗，(2)假植作業：將穴盤育苗箱之成苗移植至花鉢中繼續栽培，或直接提供給花商販售，(3)疏株作業：為減少溫室育苗空間，種苗開始培育時，種植於密度較高之育苗箱中，等到長成至較大階段，再將密植的種苗移植到其他密度較低之育苗箱中繼續培育。在此三類中移植（補植）作業中，對特定作物之挾持動作是類似的，而最大之不同點則為移植機構手端之移動路徑。

Ferrand 等人 (1990) 在其研究中比較現行之人工移植作業，指出一部適用之移植機器應至少具備每小時移植種苗一萬株以上之能力。要達到這樣高速的表現，除增加機器人或移植機構的速度外，另一可以著力者為儘量減少不必要的移植路徑，使所需移動之路徑為最短。Ting 等人 (1990a；1990b) 則應用多軸機器人進行穴盤育苗箱之種苗移植研究，同時分析手端移植路徑之規劃。在該研究中手端進行移植（疏株）作業之動作被分解為以下的序列動作：(1)移動至育苗箱中的某一苗穴，(2)抓取種苗之根塊，(3)舉升根塊，(4)將根塊搬運到目的育苗

箱，(5)安置根塊，(6)釋放根塊，(7)離開目的育苗箱，(8)返回到原苗箱。對於整體移植作業的效果，可以針對分解動作之分析與調整，以及育苗箱位置之適當佈置而得以改善。

要找出完成整個育苗箱移植(補植)作業之最短路徑，似乎只有從所有可能的移植路徑組合中去選擇才有最正確的答案，可是由於有組合膨脹的問題，即移植手端若需經過N個苗穴以完成作業，則實際上將有 $N!$ 種可能路徑，故當N值太大時，將造成演算上之困難。有關此種最短路徑的問題(The shortest path problem)，除了上述尋找N個點之 $N!$ 種路徑中之最短者外，另外一種方法則是在到達每個點時，進行搜尋找出下一個最接近的點，即所謂之最近相鄰法(The nearest-neighbor method)。除此之外，其他常見解決最短路徑問題或旅行推銷員問題之方法尚有最小花費擴張樹法(The minimum spanning tree problem)、最大流量法(The maximum flow problem)、最小花費流量法(The minimum cost flow problem)、計劃評核術(Program evaluation and review technique)與要徑法(Critical path method)等(Hillier and Lieberman, 1990)。

張(1991)在其有關旅行推銷員問題之研究中，設計了稱為「新法則」(New heuristic)的演算法。該演算法經測試的結果，具有以下幾個優點：(1)解答合理，(2)演算時間短，(3)演算所使用的記憶體少，(4)程式容易撰寫，(5)一般性的旅行推銷員問題均可解，(6)容易了解與分析。由於「新法則」為本研究中所應用於種苗移植路徑分析的一個重要演算法，特以一個旅行推銷員走訪五個城市之最短路徑搜尋為例說明之。圖1所示為旅行推銷員所需走訪的五個城市間之距離標示。圖2則為應用「新法則」進行最短路徑搜尋的推演過程。圖中每個方陣的意義如下：第i列第j行的格子中填的若是一個數字則代表由城市i走向城市j的花費(Cost)。若是為圈著的數字則代表由城市i走向城市j的路徑已被選上。若為x符號則代表由城市i走向城市j的路徑已被淘汰不予考慮。A是已被選上路徑段的花費總和，B則是未被選上也未被淘汰路徑的花費總和。如果現在推銷員已經走過了k個城市，那麼花費期望值就定義為 $C = A + [B/(n - k)]$ 。只要由城市i走向城市j的路徑一

旦被選上，我們就將下列路徑淘汰：(1)由其他城市走向城市j的路徑，(2)由城市i走向其他城市的路徑，(3)由城市j走向起始城市的路徑。依以上所述規則，如圖2所示，推銷員從城市1開始，發覺走到城市3的花費期望值為最低( $C = 140$ )，然後發覺走到城市2的花費期望值為最低( $C = 131$ )，然後發覺走到城市5的花費期望值最低( $C = 127$ )，最後走到城市4，是以其所選擇之路徑即為1—3—2—5—4，而此為應用「新法則」所求得最佳路徑。

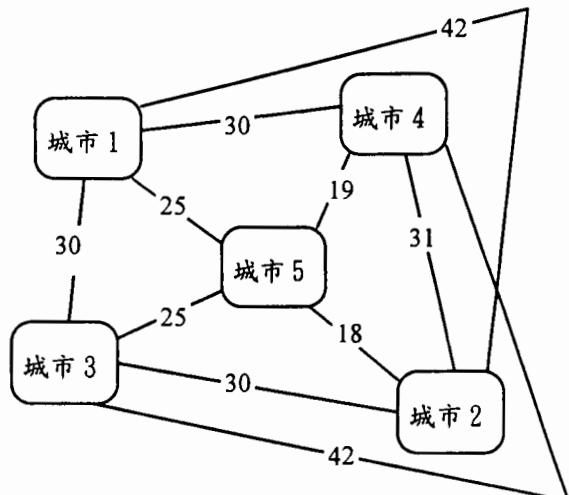


圖 1. 旅行推銷員所需行經之五個城市間距離示意圖

## 二、設備與方法

本研究中所進行之路徑規劃與分析工作，主要是利用以直角座標系機器人(Cartesian-coordinate robot，又稱XY工作台)與機器視覺系統為主體之種苗移植機進行，分別於移植補植機之控制軟體中以不同之路徑搜尋演算法操作移植手端之動作，以測試分析演算法與路徑規劃策略之優略。所探討的路徑規劃演算法共有三種：(1)單邊短路徑法，(SHORT)，(2)最近相鄰法(NN)，(3)新法則(NEW)。

### (一)種苗移植補植機

除機器視覺部份外，種苗移植補植機主要是以直角座標系機器人與供應穴盤育苗箱之兩條輸送帶構成主體，並以軟體透過個人電腦界面控制其動作。控制軟體之主要功能為在任何時刻將移

(1,\*,\*,\*,\*)

X	42	30	30	25
42	X	30	31	18
30	30	X	42	25
30	31	42	X	19
25	18	25	19	X

(1,5,\*,\*,\*)

X	X	X	X	25
42	X	30	31	X
30	30	X	42	X
30	31	42	X	X
X	18	25	19	X

A=25

B=370

C=148

(1,2,\*,\*,\*)

(1,3,\*,\*,\*)

(1,4,\*,\*,\*)

X	42	X	X	X
X	X	30	31	18
30	X	X	42	25
30	X	42	X	19
25	X	25	19	X

A=42  
B=336  
C=154

X	X	30	X	X
42	X	X	31	18
X	30	X	42	25
30	31	X	X	19
25	18	X	19	X

A=30  
B=330  
C=140

X	X	X	30	X
42	X	30	X	18
X	X	X	42	X
X	31	X	X	19
25	18	X	X	X

A=30  
B=335  
C=142

(1,3,2,1,\*,\*)

(1,3,4,\*,\*)

(1,3,5,\*,\*)

X	X	30	X	X
X	X	X	31	18
X	30	X	X	X
30	X	X	X	19
25	X	X	19	X

A=60  
B=142  
C=131

X	X	30	X	X
42	X	X	X	18
X	X	X	42	X
X	31	X	X	19
25	18	X	X	X

A=72  
B=153  
C=149

X	X	30	X	X
42	X	X	31	X
X	X	X	X	25
30	31	X	X	X
X	18	X	19	X

A=55  
B=171  
C=141

(1,3,2,4,\*)

(1,3,2,5,\*)

X	X	30	X	X
X	X	X	31	X
X	30	X	X	X
X	X	X	X	19
25	X	X	X	X

A=91  
B=44  
C=135

X	X	30	X	X
X	X	X	X	18
X	30	X	X	X
30	X	X	X	X
X	X	X	19	X

A=78  
B=49  
C=127

(1,3,2,5,4)為最佳路徑

圖 2. 「新法則」之推演例

植手端送到所要求的定位，協助移植作業的確實執行，同時對輸送帶作流程控制。移植補植機之硬體部份由國內之億立自動化公司製作，其構造如圖 3 所示。

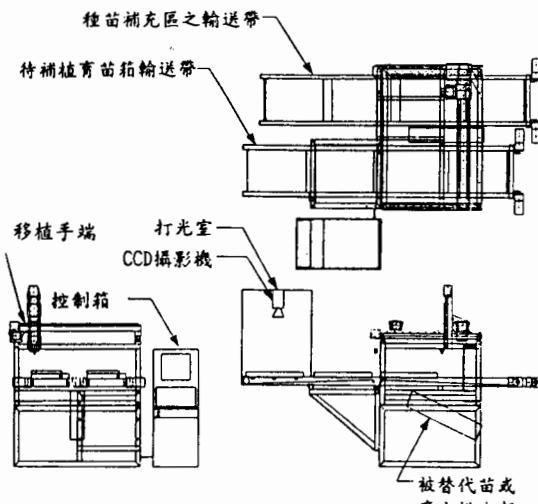


圖 3. 穴盤種苗移植補植機構構造圖

直角座標系機器人之控制乃透過個人電腦之 RS-232 埠對控制器 RC-002 及 RC-207(Rorze Co.)下達控制指令，再由控制器控制步進馬達動作。控制機器人之程式係採用 C 語言(Turbo C V2.0, Borland International, Inc.)撰寫。育苗箱輸送帶同樣透過 RC-002 來作控制，於直角座標系機器人作業範圍下，左邊輸送帶置放的為待移植育苗箱，右邊則置放待補植之育苗箱。兩邊輸送帶間為拋棄不良苗或所取出不要的育苗介質之棄置區，其間隔可調整。移植機作業開始後，首先對系統的輸出入做正確的設定，然後啟動輸送皮帶，將苗盤送至影像處理部識別，處理結束後得到空苗穴位置資訊，一方面控制輸送帶將新的苗箱送入外，另外還要將空苗穴資訊傳至種苗移植部分，經演算法規劃後得一最適路徑，再控制直角座標系機器人按序移植，如此以完成整個移植補植工作(錢，1993)。本文主要所探討者即為移植手端在左右兩邊育苗箱間移動路徑之規劃與分析。

#### (一)移植補植作業之路徑規劃

Yang 等人(1991)在其探討應用於種苗移植的多軸機器人性能之研究中指出，在移植作業過程中，影響工作能量之主要因子，除了所設計出的

手端挾持具進行移植作業要有高的成功率外，移植機構的行進速度與育苗箱之安置和工作流程為另兩項重要因子。移植機構的行進速度主要可以在機械設計上，以驅動元件的改善(如選用高速之伺服馬達)與減低振動影響而得以提升其工作能量。除此之外，移植機構完成作業所需行走的路徑長度也絕對影響到完成移植作業所需的時間長短，而電腦在找尋最佳路徑時進行計算所花費的時間，也將有著重要之影響。

本研究中直角座標系機器人在 X 與 Y 方向的移動分別由兩個不同的步進馬達來驅動，由於機器負荷之不同，兩馬達轉速並不相同，而且它們的轉速也因有加速與減速之關係而不是定值，因此在預估本機器人於移植過程耗費時間時，是取 X 方向速度平均值為 Y 方向速度之 1.4 倍，來做為規劃時計算衡量的依據。在後文所題及之 X-Y 方向平面距離均是依此倍率加權調整以利比較分析。

#### (一)移植補植路徑演算法

##### 1. 單邊最短路徑法(SHORT)

在種苗移植補植作業中，假設有 N 棵種苗要移植，最耗時但也是最實際的方法就是從所有可能的路徑  $(N!) \times (N!)$  種路徑中，比較找尋出最短路徑，雖然耗費時間頗長，但卻保証有最佳解。此種演算法之主要缺點為組合膨脹的問題，在 N 值較小之情況為適用之演算法，但假設有十棵種苗需要進行補植時，在 80286 個人電腦(含 80287)上計算時間則耗費達數十分鐘，無法適用於移植補機的移植路徑之計算，由此亦可發現路徑規劃並不是單純的最短就是最好的。

在本研究中我們修正上述方法，只對目標之補植育苗箱的所有可能路徑最規劃，至於待移植育苗箱之種苗則按其排列的順序來移植，如此若有 N 棵要移植，則有  $N!$  種可能路徑，雖然路徑組合膨脹的問題已大為緩和，但同樣是十分驚人的，不過一般而言，其尋找出的路徑在 N 值較低時，仍能忍受，在本研究之實驗與分析中，其中一項工作即為探討使用此種演算法之極限情形。

##### 2. 最近相鄰法(NN)

本研究中所探討的路徑和時間並不受方向的影響，最近相鄰法的計算基本規則，即為於目前所在位置搜尋最近之未行經點，其方式如圖 4 所

示：假定由苗穴 1 開始，到苗穴 2、苗穴 3、苗穴 4、苗穴 5 的距離分別為 42、30、30、25，所以選擇最近的苗穴 5 為下一站。然後由苗穴 5 出發，分別到苗穴 2、苗穴 3、苗穴 4，距離各為 18、25、19，所以選擇最近的苗穴 2 為下一站。再由苗穴 2 開始，往苗穴 3、苗穴 4，找到距離較近的苗穴 3，此時僅剩下一個苗穴 4 未走到，故為最後一苗穴，而此時也完成了最近相鄰法的搜尋。

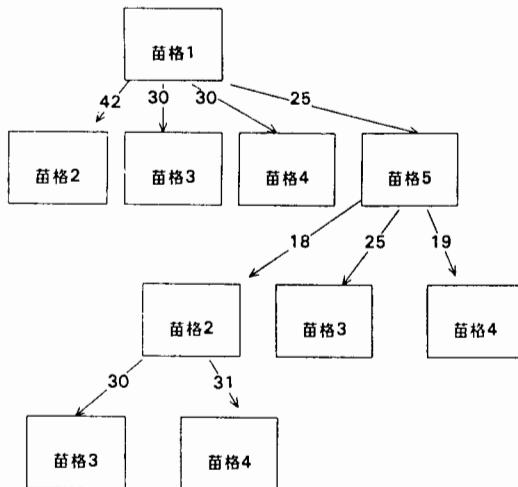


圖 4. 應用最近相鄰法進行移植補植作業之推演例

### 3.新法則(NEW)

本研究中所要面對的種苗移植補植作業，手端挾持具必需分別對於左右輸送帶上之兩個育苗箱進行移植與補植之動作，因此在討論行走路徑時，其移動方式可能為走一次左邊，走一次右邊，然後再依序左右輪流進行移植補植工作。所以必需修改前述之「新法則」演算法使其適用於本研究的移植路徑推演。而在進行種苗移植補植作業時，一定得先將不好的種苗或苗穴中之育苗介質取出棄置，然後再將健康的種苗植入定位，而何時採取、棄置及移植種苗，亦為規劃移植路徑之一重要課題，因此在本研究中我們亦分別對「先丟棄再移植」與「邊丟棄邊移植」兩種處理方式進行比較分析。所謂「先丟棄再移植」之移植方式為先將整個苗盤內的不良苗株按前後順序棄置後，再算出最適路徑做移植。而「邊丟棄邊移植」則為每完成移出與丟棄一株不良種苗的動

作後，即由待移植育苗箱取出健康種苗移入空苗穴中。圖 5 與圖 6 分別為本研究中將新法則修正後應用於此兩種移植補植方式之演算流程。

於圖 5 之「先丟棄再移植」移植流程中，左邊表格所填為左邊育苗箱各點分別至右邊育苗箱各點的距離，而右邊表格所填則為右邊育苗箱各點分別至左邊育苗箱各點的距離。假定由左邊第 1 點作起始點，發現往右邊第 5 點時有最小的花費期望值，所以下一步走到右邊第 5 點。在右邊第 5 點時，發現往左邊第 4 點有最小的花費期望值，所以走到左邊第 4 點，而後又發現接著走到右邊第 3 點、走到左邊第 3 點、走到右邊第 2 點、走到左邊第 5 點、走到右邊第 1 點時，分別都有最小期望值，此時左、右邊各只剩下第 2 及第 4 點為最後選擇，至此即利用「新法則」之原理完成移植補植之路徑規劃。

於圖 6 中使用的移植流程為「邊丟棄邊移植」方式，圖 6a 之矩陣內所填為由原點(機器人之起始座標點)到待補植區苗箱不良種苗處，或是不良種苗相互間之距離，圖 6b 之矩陣內所填為從待補植育苗箱到移植育苗箱各點間相互的距離。而由於移植時是從原點到缺株處，將不良種苗採取棄置(於行經左右兩輸送帶間之棄置區時丟棄)後到移植區採取好的種苗，再到空苗穴補植，然後再到下一個不良種苗處。所以在使用新法則時可先處理好右邊苗箱(待補植區)的順序後，再去考慮左邊苗箱(待移植區)的順序。由圖 6 中可以知道，利用「新法則」可求得由原點至待補植區之最適路徑是依 1-2-3-4 次序進行。於求得此次序後再決定移植區順序時則要受待補植區 1-2-3-4 之順序限制，所以就要分別在第 1、2、3、4 行來找最低花費期望值，結果可得移植區各點之移植順序以 3-1-4-2 為最適當。

### 四實驗方法與樣本數

進行育苗箱移植補植作業路徑規劃與分析之工作，首先是由電腦以亂數隨機依指定缺株數產生一個育苗箱中待補植的位置，再依前述之演算法計算手端挾持具的移植補植路徑，個人電腦即依所求得之路徑指揮直角座標機器人之移植手端進行移植補植動作，同時記錄行走距離與時間，以利後續之分析。由於僅以一箱進行實驗將不具

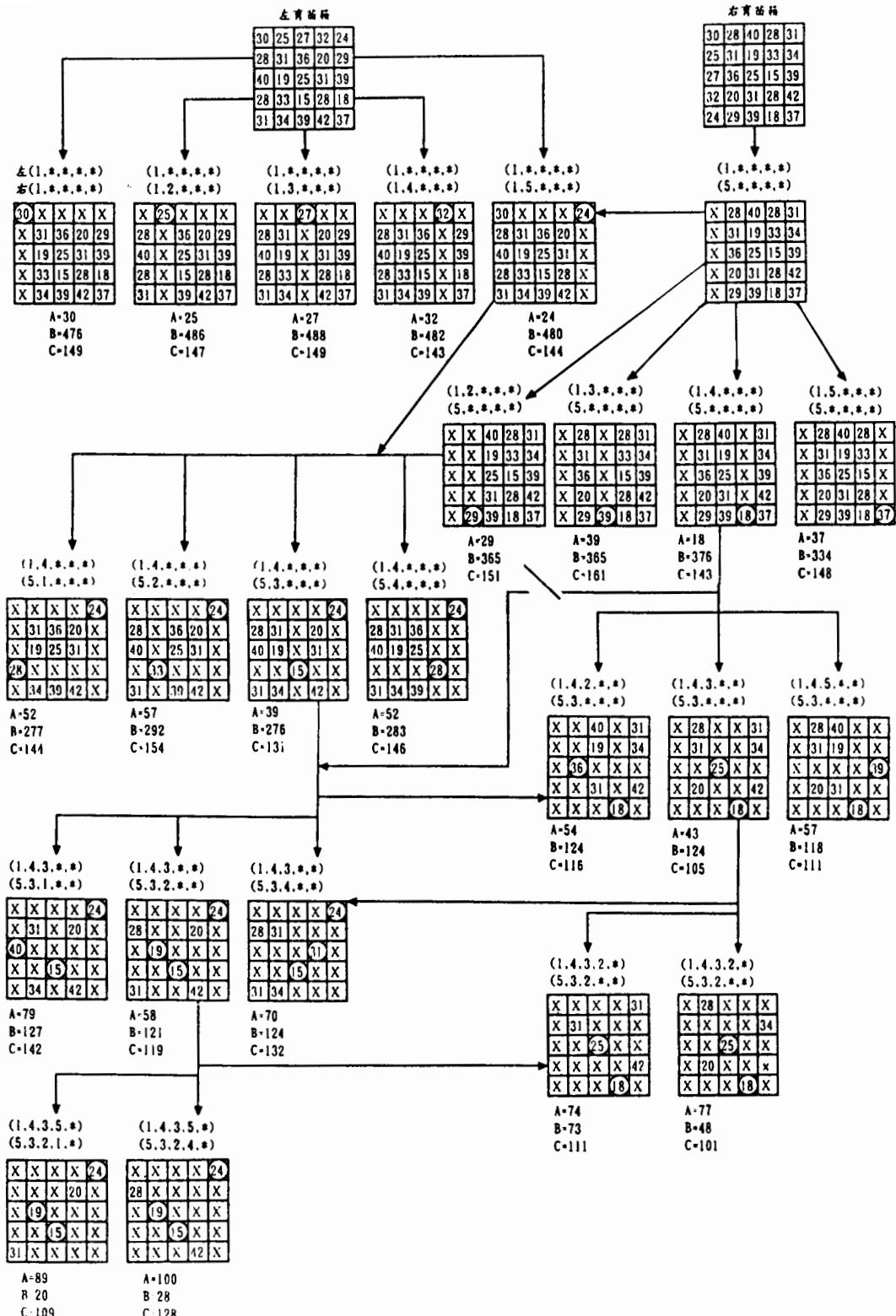
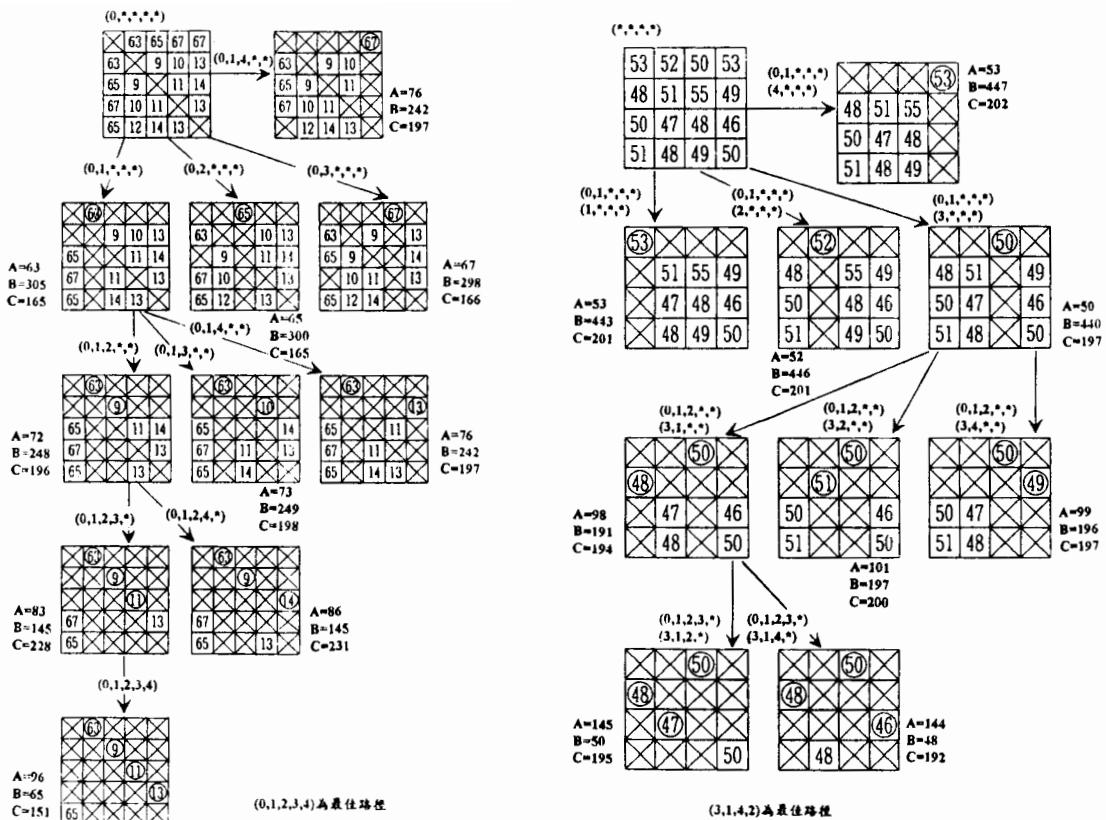


圖 5. 應用「新法則」進行「先丟棄再移植」方式移植補植作業之推演例



(A)

(B)

圖 6. 應用「新法則」進行「邊丟棄邊移植」方式移植補植作業之推演例。(A). 待補植育苗箱之路徑規劃，(B). 待移植育苗箱之路徑規劃

代表性，必須進行多次之實驗方足以表現移植補植路徑之特性，因此在進行實驗前先分別以 10、20、30、50、80、100、200 為實驗樣本數，使用邊丟邊移的流程，檢測各演算法進行實驗時所需要之樣本數。圖 7 為使用最近相鄰法，以不同樣本數計算育苗箱中有不同缺株數時，所得之平均移植補植一株種苗之行經路徑長度。由圖中可知道(其他演算法所得之結果亦類似)樣本數愈大，其平均路徑長度對不同缺株數之曲線圖愈趨平滑，且樣本數少者有向樣本數多者逼近的趨勢，不過在以 100 盤來做為實驗樣本數時，已經有不錯之效果，因此本研究中後面的分析工作均是以 100 盤來做為樣本數。至於所實驗之育苗箱為常用於培育西瓜苗之方形杯育苗箱，育苗箱中盛有三十

個方形育苗杯(高度 7.0cm，邊長 6.0cm)，育苗箱平行於輸送帶方向長度為 30.0cm(5 個育苗杯)，垂直於輸送帶方向長度為 36.0cm(6 個育苗杯)。左右兩條輸送帶之間之寬度除另有說明者外為 61.7cm (錢，1993)。

### 三、結果與分析

#### (一) 演算法之計算時間比較

路徑規劃的所需演算時間與所求得的最短路徑長短，為選擇適用於移植補植機之演算方法的主要考量因子。圖 8 所示為以三種所選擇之演算法計算不同育苗箱缺株數所需時間與路徑長度的比較，圖中的每一點均是實驗移植補植 100 盤育苗箱所得之平均值。對三種演算法而言，規劃路徑所得之平均

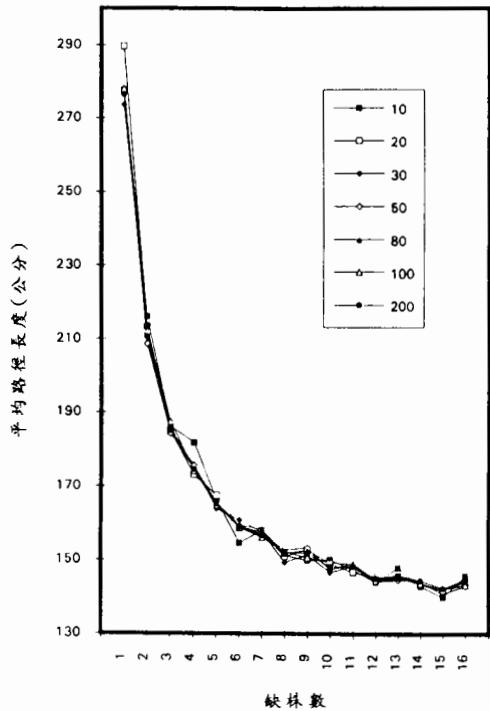


圖 7. 使用最近相鄰法時實驗樣本數對計算平均移植補植路徑長度之影響

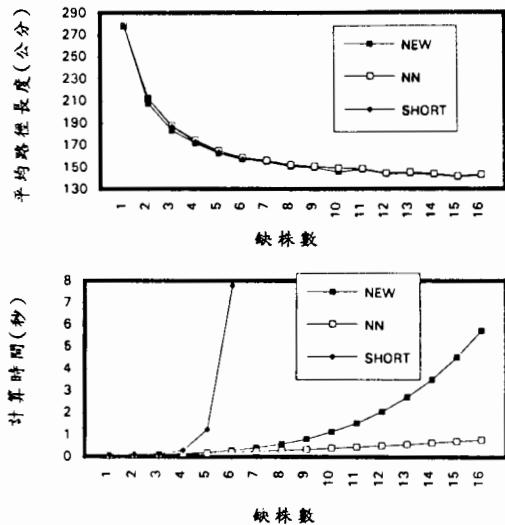


圖 8. 三種演算法在不同缺株數時之平均規劃路徑長度與計算時間比較

長度均相當接近，其平均長度相差僅在數公分之內（ $< 1\%$ ），在移植株數少之情形下，由於受起始由歸零點動作至第一株位置，與結束時歸零之影響，其平均單株移植路徑長度較高，而若移植

株數較多時則趨近於約 150cm 之定值，此長度約略接近於輸送帶間之寬度與育苗箱垂直於輸送帶方向長度之總和。

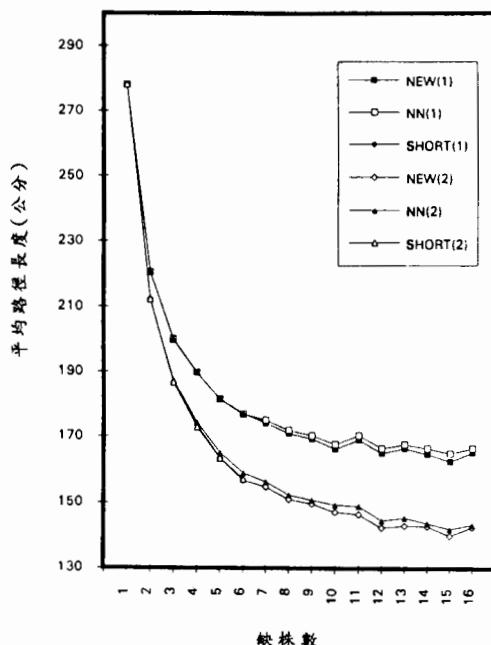


圖 9. 兩種移植補植方式在不同缺株數時之平均規劃路徑長度比較。圖中(1)表示「先丟棄再移植」之移植方式，圖中(2)表示「邊丟棄邊移植」之移植方式

在計算時間上則可發現單邊最短路徑法僅適用於缺株數小於 5 株時之演算，超過此數目則有組合膨脹之問題，演算所需時間大幅增加。新法則演算法在缺株數超過 9 株後，其演算時間也有明顯的增加。相較於前兩種演算法，最近相鄰法之演算時間最經濟，其所需之演算時間在所實驗的範圍內與缺株數約成線性關係。綜合路徑長度與演算時間的比較，最近相鄰法應是較適用於本研究中移植補植作業之路徑規劃演算。

#### (c) 移植補植方式的影響

在補植種苗至指定苗穴前，必需先將原苗穴之不良苗或育苗介質移出與棄置，而究竟是先一次將所有之不良苗移出棄置後再進行所有補植工作（先丟棄再移植方式），或是每一苗穴移出後即進行補植（邊丟棄邊移植方式），何者在行走路徑

表 1. 移植補植作業中各單一動作之耗時與所佔比例(表中各單一動作依邊號對照本文說明)。

	缺株數一	缺株數二	缺株數三	缺株數四				
步驟	耗時 (秒)	佔百分比 (%)	耗時 (秒)	佔百分比 (%)	耗時 (秒)	佔百分比 (%)	耗時 (秒)	佔百分比 (%)
1. 平移	689.450	13.650	890.510	9.985	1058.940	8.383	1219.720	7.432
2. 下降	355.910	7.046	693.400	7.775	1031.620	8.166	1368.420	8.339
3. 挾持	20.840	0.413	42.180	0.473	62.100	0.492	83.840	0.511
4. 上升	337.660	6.685	675.720	7.577	1013.550	8.023	1351.930	8.238
5. 平移	645.470	12.779	1320.110	14.802	1964.100	15.548	2637.730	16.073
6. 下降	488.220	9.666	976.710	10.952	1465.050	11.598	1953.280	11.902
7. 挾持	21.120	0.418	41.970	0.471	62.950	0.498	84.880	0.517
8. 上升	488.340	9.668	976.110	10.945	1464.780	11.595	1953.570	11.904
9. 平移	543.420	10.759	1115.710	12.510	1656.020	13.109	2229.080	13.583
10. 下降	321.530	6.366	644.100	7.222	965.560	7.644	1287.640	7.846
11. 釋放	21.050	0.417	41.790	0.469	62.920	0.498	84.090	0.512
12. 上升	322.160	6.378	644.090	7.222	965.950	7.647	1289.380	7.857
13. 平移	795.710	15.754	856.020	9.598	858.840	6.799	867.150	5.284

與演算時間上較經濟？值得分析探討。圖 9 所示為三種演算法應用於兩種移植方式所計算得之單株平均路徑長度之比較。圖中單邊最短路徑法由於計算時間有組合膨脹之問題，僅計算至六株，此計算結果顯示三種演算法所求得的路徑長度均是相當接近，而比較兩種移植補植方式，可以看出「邊丟棄邊移植」之方式在路徑長度上較短，在移植株數超過 9 株以上之情形約為「先丟棄再移植」方式之 85 % 左右。至於在計算時間上，兩種

移植方式以相同演算法計算所需要之計算時間其差異均極小。

#### (b) 手端挾持具移植補植動作分析

對於手端挾持具移植補植作業之動作加以分解與進行實驗分析，可以了解各單項動作對於整體作業之影響程度，同時可以作為改善驅動三軸之步進馬達的依據。在「邊丟棄邊移植」方式中，將不良苗由苗穴移出，再由待移植育苗箱取出種苗移入空苗穴之動作可以分解為以下數個獨立步驟：

1. 手端挾持具水平移動至苗箱中不良中苗處，
2. 垂直下降接近苗塊，
3. 挾取不良苗塊，
4. 垂直上升舉起苗塊，
5. 水平移動到良好種苗處(待移植育苗箱)，並於中途棄置不良種苗，
6. 垂直下降接近苗塊，
7. 挾取苗塊，
8. 垂直上升舉起苗塊，
9. 將苗塊水平搬運到待補植之苗穴，
10. 垂直下降接近苗穴，
11. 釋放(植入)種苗，
12. 挾持具垂直上升，
13. 返回歸零點。

為記錄與分析各項動作在移植補植過程中所佔之工作比例，我們操作手端挾持具不斷重覆上面1至12之步驟，直到移植作業完成。使用新法則演算移植路徑，同樣以移植補植100個育苗箱之平均值來進行分析。在缺株數1、2、3、4株時，各個步驟所耗時間及所佔之百分比詳如表1所示，四種不同缺株數之各個步驟費時比例如圖10所示。而由圖10中可明顯發現，第3、7及11號動作(挾持具之開闔動作)之耗時比例均趨近於零，第1及13號動作(起始與結束動作)則隨缺株數增多而比例降低，而隨著缺株數增加比例明顯提升的第5、9號動作是屬於手端之跨越左右苗箱的水平移動，至於第6、8號動作則是挾持具在苗箱移植區的垂直升降動作，由於在此之行進高度要較補植區之行進高度長，所以所佔比例較第2、4、10、12為大。若是將前述之動作分類為水平(X-Y)方向的運動、垂直(Z)方向的運動及挾持具的挾取釋放動作三類，則平均所佔時間比重分別為46.6%、52.1%、1.3%，由此可得知Z方向上之步進馬達的轉速對實驗的影響最顯著。這也顯示Z軸驅動馬達之轉數若能加快，將可顯著改善移植補植效率。

#### 四、育苗箱相對位置的影響

在移植補植作業中，育苗箱的擺放位置和輸送帶的行進方向為平行的，育苗箱間之距離愈近，可以理解移植補植路徑應愈短。然而育苗箱間之距離對於移植路徑長度之影響程度如何？是

否線性？則為一有趣之問題。因此本研究中亦分別針對育苗箱在X(與輸送帶水平垂直方向)及Y(平行輸送帶方向)方向上不同相對位置之情形，以「邊丟棄邊移植」方式進行實驗，探討育苗箱相對位置的影響。實驗結果分別如圖11與圖12所示，圖11為X方向間距對於移植路徑長度與移植時間之影響，由圖可見X方向之間距與規劃路徑長度、實際移植所花的時間約略成線性關係。圖12為Y方向間距對於移植路徑長度與移植時間之影響，相對於X方向之影響，Y方向間距對於單株平均路徑長度與平均移植時間之影響均甚小。

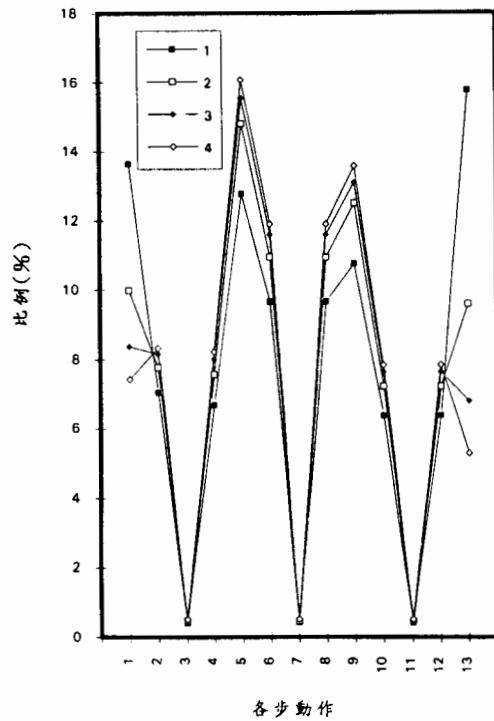


圖 10. 在不同缺株數情形下，移植補植作業中各單一動作所佔時間比例之比較

#### 四、討論

(一)以三種演算法進行種苗移植作業之路徑規劃，結果顯示三種演算法計算所得之單株平均路徑長度均相當接近，但以演算時間比較其優劣時，則以最近相鄰法在計算時間上較為經濟，較適用於本研究之移植補植作業。

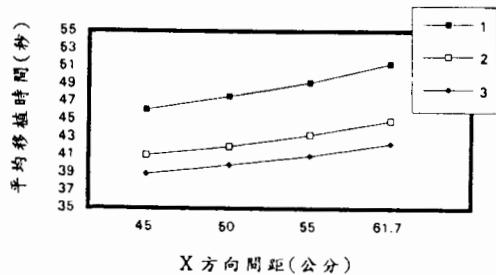
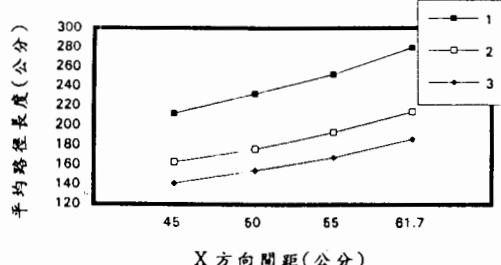


圖 11. X 方向(垂直於輸送帶方向)間距對於移植補植作業之影響，(A). 對單株平均路徑長度之影響，(B). 對單株平均移植時間之影響。圖中標記 1、2、3 分別表示缺株數為 1、2、3 株

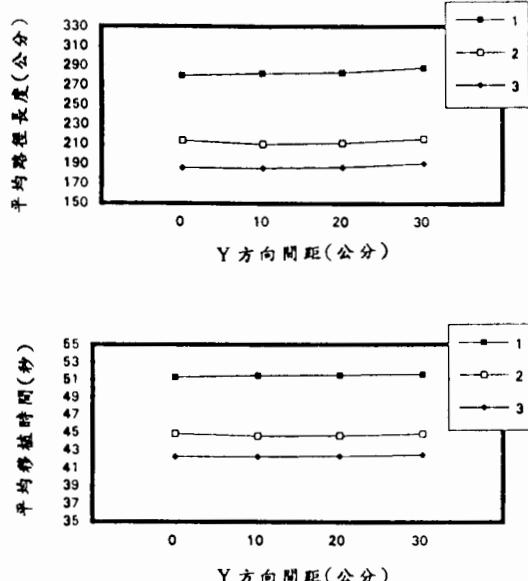


圖 12. Y 方向(垂直於輸送帶方向)間距對於移植補植作業之影響，(A). 對單株平均路徑長度之影響，(B). 對單株平均移植時間之影響。圖中標記 1、2、3 分別表示缺株數為 1、2、3 株

(1) 比較兩種移植補植方式之結果顯示，「邊丟棄邊移植」之方式在路徑長度上較短，在移植株數超過 9 株以上之情形約為「先丟棄再移植」方式之 85 % 左右。而在計算時間上，兩種移植方式之差異極小。

(2) 將移植補植作業之動作分解與分析各項單一動作之工作時間比例，將可作為改善作業之依據。以本研究中之移植補植作業為例，若將各單一動作再分類為水平方向的運動、垂直方向的運動及挾持具的挾取釋放動作三項，則平均所佔作業時間比重分別為 46.6 %、52.1 %、1.3 %。

(3) 水平垂直輸送帶方向之間距對單株平均路徑長度與單株平均移植時間之影響約略成線性關係。平行輸送帶方向間距對於移植路徑長度與移植時間之影響均甚小。

## 五、誌謝

本研究承行政院農業委員會「82 科技—1.6—糧—65」計畫之經費補助，在此特誌謝意。

## 六、參考文獻

- 林達德，黃俊誠。1993。育苗箱種苗影像特性與背景雜訊之去除。農業工程學報，39(2): 65-78。
- 黃泮宮。1992。園藝作物穴盤育苗生產技術。出自「作物生產改進研討會專集」，163-190。臺中：國立中興大學農學院。
- 黃世欣，林達德。1995。種苗移植作業挾持具之設計與性能分析。農業機械學刊(投稿審查中)。
- 陳世銘，張金發，馮丁樹，游俊明，呂昆忠，王大立，田秉才，張文宏。1993。蔬菜育苗作業自動化一穴盤育苗真空播種系統。農業機械學刊(2):56-64。
- 張仁俊。1991。旅行推銷員經驗法則之研究分析。碩士論文。台北：國立台灣大學資訊工程學研究所。
- 張金發。1991。蔬菜育苗機械化作業系統。農業生產自動化特刊第一輯，5-18。台北：農業機械化研究發展中心。

7. 錢中方。1993。種苗移植作業移植機構之設計與工作規劃。碩士論文。台北：國立臺灣大學農業機械工程學研究所。
8. 賴天明、林達德，1992。應用於種苗移植作業之機器視覺系統，農業工程學報，38(4): 91-110。
9. Ferrand, C., Baylou, P. and Grenier, G. 1990. A nondamaging effector for high speed transplanting robots. ASAE paper No.907501. St. Joseph, MI:ASAE.
10. Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. 1990. "Introduction to Operation Research", 5th ed., 331-393. New York: McGraw-Hill.
11. Ting, K. C., Giacomelli, G. A. and Shen, S. J. 1990a. Robot workcell for transplanting of seedlings: part I-Layout and materials flow. Transactions of the ASAE 33(3):1005-1010.
12. Ting, K. C., Giacomelli, G. A., Shen, S. J. and Kabala, W. P. 1990b. Robot workcell for transplanting of seedlings: partII - End-effector development. Transactions of the ASAE 33(3):1013-1017.
13. Yang, Y., Ting, K. C., Giacomelli, G. A. 1991. Factors affecting Performance of sliding-needles gripper during robotic transplanting of seedlings. Applied Engineering in Agriculture 7(4):493-498.

收稿日期：民國 84 年 9 月 5 日

接受日期：民國 84 年 10 月 24 日

(上接第 91 頁)

8. Fujii, N. 1981. Method for peeling shell from boiled eggs. United States Patent, US 4 308 290.
9. Irmiter, T.F., L. E Dawson and J. G. Reagan. 1970. Methods of preparing hard cooked eggs. Poultry Science, 49 (5): 1232-1236.

10. Zweip, T. C., D. G. Newhouse and D. G. Craner. 1978. Process and apparatus for egg shelling. United States Patent, US 4 082 856.

收稿日期：民國 84 年 9 月 11 日

接受日期：民國 84 年 10 月 27 日