

# 犁起迴轉式入土農具效率之研究

## A Study on the Efficiency of Combined Lister and Rotary Tiller for Soil-scattering

臺灣大學農業工程學系講師

盧 福 明

Fu-ming Lu

### 摘 要

蔗田入土作業之要求於推行機械化甘蔗採收後更趨重要，惟人工日益缺乏，極需一套高效率之入土農具以代替人工入土方式。本文探討犁起迴轉式入土農具之作業效果並與其他迴轉式和螺轉式入土法作一比較。犁起迴轉式入土農具係聯合中分犁和迴轉撥土板而成，於土壟條沿犁鏵上升之中途，由高速迴轉撥土板橫向將犁鏵上之土壟再次碎細後撥入蔗株間空隙，以達入土壓實株間空隙之目的。該入土方式可減低馬力負荷故可提高田間作業速率。與其他入土方式比較，在作業速率，入土高度，土粒碎細程度及生育影響等方面，使用犁起迴轉式入土農具可獲較多效益。

### 一、引 言

甘蔗植後或宿根處理後五個月左右之分蘗後期得施行入土作業，將畦土移入蔗行用以填壓株間空隙，以擴展蔗莖間距，增加日照與空氣暢通，使蔗株生長旺盛，增加蔗莖強度，而有減少蔗株倒伏之功效。

目前在已積極推廣之蔗園機械採收作業中，所要求之田間環境之一為株間入土務求飽實，如此於機採時，採收機基部切蔗刀才可將蔗頭切得平整，避免撕裂蔗莖且可減低弄鬆蔗頭根系之程度，而有利於宿根甘蔗之成長。

入土作業未機械化前，大都以鋤頭或鏟子挖取畦土，填充入蔗株間，再以腳力鎮壓，以擴張蔗莖間距。由於農村勞力日益短缺，使得此種人工入土方式日趨困難，勢必需推廣一套高效率之入土機械來代替人工入土，以爭取農時，減低生產成本。

臺糖公司自營農場現行使用之入土農具有碟犁中耕入土農具，迴轉式及螺轉式入土農具。前者利用碟犁本身的作用將畦土切移到蔗行上，後兩者係利用曳引機 PTO 動力來帶動迴轉切土刀，或螺旋曲面，以切移畦土撥入蔗行上，因該方式切移之土粒具有較大

衝擊力，落入株間孔隙之土粒較細，入土效果較前法為佳。入土後，自蔗苗起至土面之高度約 15-20 公分。蔗株間凹陷空隙所填充入之土壤愈細碎愈能充分填實其空隙，愈可達成入土作業之目的。

利用曳引機 PTO 軸帶動迴轉式入土農具之切土刀，經由迴轉動力（約 200 RPM 轉速）一次切移畦土後再橫向（垂直於蔗行）將土壤粒塊撥入蔗行上，工作效率每公頃約需 2.8 小時。在較粘重土地蔗園利用迴轉切土刀快速迴轉進行入土時，因迴轉力矩消耗曳引機動力較大，間有曳引機（PTO 60 hp）馬力負荷過重之情形發生，導至切土量之減少與土粒之不夠細碎等缺點。螺轉式入土農具，係利用一螺旋曲面一次切移畦土橫向撥入蔗行（迴轉速約 276 RPM），也因需要較大之迴轉動力，於入土操作時，農具本身產生顯著振動現象，農具機件之磨損較為嚴重，雖可從增強農具材質方面改進使耐磨，惟如此將增加農具成本甚多。以上兩種入土農具在基本上有不易解決的缺點，故研究其他入土方式仍具有其必要性。例如使用兩段式迴轉葉片入土農具<sup>(1)</sup>，將由一次切移的土量分由兩次或多次切移土層，如此可節省動力之消耗。分層切移土壤，可增加土壤細碎程度，且較一次犁耕相同土層深度所需能量可減少約 25-30%<sup>(2)</sup>。

另一減少動力需要量之可行入土方式，為同時利用犁起土層與迴轉切土撥土等作用，以進行入土工作。亦即先使用中分犁犁畦土，於犁起之土壟（Soil slice）沿犁鏵上升往後移之過程中，由迴轉刀具將犁起之土壟快速的再擊碎並橫向撥於蔗行上。用此法撥入之土粒可以一高於蔗莖基部之位置，拋落入蔗株間空隙。

本文即探討利用犁起與迴轉切土撥土之聯合作用進行入土作業之效率，亦即研究犁起迴轉式入土農具之效率，並與其他入土農具比較，以衡量效率之高低。

### 二、理論根據及入土農具構造

為設計一種以土壤為對象之農具，通常需考慮之因子為所需力量及作業後土壤之狀況，即如下二式所示<sup>(2)</sup>。

$$F = f(T_s, T_m, S_1) \dots\dots\dots (1)$$

$$S_r = g(T_s, T_m, S_1) \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2)式中

F : 促使農具前進或移動之力量

S<sub>r</sub> : 作業後土壤狀況

T<sub>s</sub> : 農具型式

T<sub>m</sub> : 農具運動方式

S<sub>1</sub> : 原先土壤條件

裝配兩種或兩種以上之不同型式農具於同一機架上相隣近之位置同時作業時，各個農具之作用即不再被視為各自獨立之作業，而是於各個農具之作用間具有相互之影響 (interaction)。若配合適當，這相互間之影響經常可減少拖帶整套農具所需要之力量。農具間之影響作用使得公式 (1)，(2) 中增多另一獨立變數。若將聯合各種農具後之型式視為一種新的型式，則相互間之影響作用即可納入農具型式因子 T<sub>s</sub>。

本文中討論之犁起迴轉式入土農具由中分犁及迴轉撥土板等兩個單獨農具組合而成。兩個農具間之配合情況如何將會影響整套農具移動所需力量及作業後土壤狀況。

以耕犁田地為目的而聯合犁地與迴轉動力切移土壤等作用之農具有碎土兼用犁 (combined plow and pulverizer)，即在板犁犁鏵上方另裝配一迴轉犁，其迴轉軸垂直於農機前進方向，僅將沿犁鏵上升之土壟條，使用迴轉刀快速的碎細化，但並無將犁起土壟擊碎後橫向撥入農具兩旁的作用。這種組合板犁與迴轉犁之農具，其迴轉部份所需能量與農機前進速度無關，但與板犁犁地深度成直線比例關係。迴轉犁 (rotary tiller) 之迴轉力矩在此聯合農具中並不受到切土間距 (tilling pitch) 和迴轉速之影響。唐垣與山本<sup>(3)</sup> 指出碎土兼用犁適宜之動力分配如下：

$$p_r : p_p : p_s = 1 : 2 : 3 \sim 2.5 \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式中

p<sub>r</sub> : 農機前進所需馬力

p<sub>p</sub> : 板犁耕起土壤所需馬力

p<sub>s</sub> : 耕犁刀碎土所需馬力

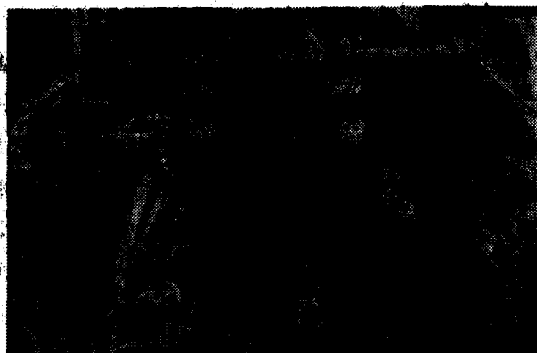
另有聯合潛耕犁 (subsoiler) 和迴轉犁在一起之農具，進行深耕作業。板犁或潛耕犁上所附加之迴轉犁，主要為增加碎土程度與減低馬力消耗，並沒考慮入土作業之需要性，亦即沒有橫向將土粒撥入作物植行上之作用。專為碎細土壤為目的之迴轉式農具曾經由 Fischer-Schlemm 和 Moser<sup>(4)</sup> 深入討論其不同之型式。至於聯合中分犁與迴轉犁之作用以進行蔗園入土工作之農具仍未見之於文獻。

犁起迴轉式入土農具裝有兩個中分犁，於各個中分犁犁鏵後上方裝配有迴轉撥土板，於中分犁左右犁鏵上方各裝有一迴轉部。迴轉撥土板之轉動軸向前傾斜於水平面 20 度角度，其迴轉速為 280 RPM，迴轉動力靠曳引機 PTO 軸。迴轉撥土板之轉動軸前段具有一極短之螺旋曲面，用以導引沿犁鏵上升之土壟後移到轉軸後段，經由後段之撥土板打擊後並撥入犁鏵側方，如此可使土粒從一較高位置撥向蔗行株間。於每一作業行程中，各個中分犁犁鏵之靠內側部份將土粒撥入同一蔗行上，外側犁鏵將土粒撥入不同蔗行上，即在每一作業行程可入土兩蔗行。此種入土農具於南靖糖廠裝配後移現場試驗。

犁起迴轉式入土農具係在類似於迴轉式入土農具之迴轉部份下端增設一中分犁，亦即聯合兩個獨立作業之農具，利用各農具相互間之影響 (interaction) 來達到降低農機前進所需之馬力，即公式(1)中之 F 項，並增加作業後土壤碎細程度，即公式(2)中之 S<sub>r</sub> 項。各部份之構造及作業情形如圖 1，圖 2，圖 3 所示。



圖 1. 犁起迴轉式入土農具 (箭頭表示入土方向)



a. 後 視 圖



b. 側 視 圖

圖 2. 中分犁與迴轉撥土板之組合情形  
(1. 中分犁 2. 迴轉撥土板)



圖 3. 入土作業操作情形

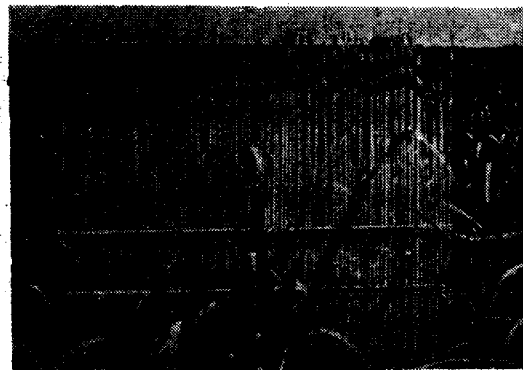
### 三、田間試驗及結果

試驗區為新營糖廠太康農場 6 號地，粘土蔗園，秋新植 F 160 甘蔗品種，行距 1.25 公尺。入土時之平均蔗莖長度為 33 cm，平均分蘗數為每公尺行長 15 支。入土作業前已經使用碟犁中耕器作第一次中耕。入土時土壤水分含量為表土 (0~5 cm) 7.2%；5~10 cm 深為 15.4%；10~15 cm 深為 15.8%。表土下 8 cm 深土層硬度為 2.74 kg/cm<sup>2</sup> (使用儀器為 Pocket Penetrometer CL-700, Soil Test

Inc. Chicago)。蔗園行長 500 公尺，僅取中間一段 20 公尺長為試驗行長，供量測效率之用。使用 Ford 5000 型曳引機 (55 DHP) 帶動入土農具。

因畦溝土壤係先經中分犁犁耕 (耕深 15 公分) 於土壟條沿犁鏵上升時，再由迴轉撥土板同時碎細土壟並將土粒塊撥入蔗行，而不是僅靠一單獨農具之作業即將畦土撥入蔗行，曳引機可以較高速度 (慢速三檔) 進行作業而仍可獲得較佳之作業後土壤狀況，足見使用此方式入土可減低馬力消耗。田間效率為每小時入土 0.8 公頃。株間覆土高度為 12.2 cm，撥入蔗行之土粒粒徑小於 1.1 cm 者佔 51%，因入土前已先行中耕一次，畦間留有部份較大土塊，入土時部份土塊經中分犁推向植行而未沿犁鏵上升，故未經迴轉撥土板擊碎，故入土後，於蔗行上仍可找到小部份較大粒徑之土塊。一般而言，經過迴轉撥土板之打擊再撥入蔗行之土粒徑大都小於 1 cm。

入土後之畦型平整，畦高 20 cm，入土前後之畦型如圖 4。入土後之畦頂呈扁圓型。迴轉撥土板之轉速為 280 RPM，比之一般迴轉犁之轉速為高，因土壟經中分犁鬆後再經迴轉撥土板擊碎撥入蔗行，故落入株間之土粒徑都很細。入土作業後畦溝平整，有利於兩後畦溝灌溉。曳引機耗油量為每公頃 6.8 公升柴油。



(a) 入 土 前



(b) 入 土 後

圖 4. 使用犁起迴轉式入土農具入土後之畦型

#### 四、不同入土方式之農具效率比較

爲求與其他型式之入土農具效率作一比較，在同一試驗區同時進行犁起廻轉式，廻轉式和螺轉式等三種入土農具之田間作業。

廻轉式農具由四組廻轉撥土葉片組合成，曳引機 PTO 軸帶動四根轉軸，經由快速廻轉 (200 RPM)，由轉軸上之撥土葉片將畦土橫向一次切移撥入蔗行株間，構造如圖 5。該農具每一作業行程可入土兩蔗行。



圖 5. 廻轉式入土農具 (①號轉軸向左方撥土②號轉軸向右方撥土；另有兩根轉軸位於①號轉軸左邊；箭頭表示撥土方向)

螺轉式入土農具係利用兩套螺旋曲面的快速廻轉 (276RPM) 將畦土橫向撥入蔗行上。每套螺旋面各有左向與右向撥土之兩種曲面，構造如圖 6。



圖 6. 螺轉式入土農具 (該部份爲整套入土農具右端左右向螺旋曲面；箭頭表示撥土方向)

入土農具之比較試驗處理，採隨機區集排列設計，三種農具處理，四重複，每一試驗單位爲 4 蔗行，每行僅取 20 公尺行長一段爲計量效率之用。參予比較之因子有入土作業時間，株間覆土高度，株間覆土土粒徑及生育調查資料。

現場量計入土作業時間之結果及變方分析如表 1、表 2。由表 2 顯示各機種間之入土時間，也即入土時之農機速率間有極顯著差異存在。由 Duncan's Multiple Range Test 之結果指出各機種間之作業速率都有極顯著的差異。三種不同方式之入土農具中，以廻轉式之速率最高，其次爲犁起廻轉式，最低者爲螺轉式。但仍需從其他因子來比較各式入土農具之優劣。

表 1. 入土作業時間 (秒/20 公尺行長)

| 區 集 | 入 土 農 具 |       |       |
|-----|---------|-------|-------|
|     | 廻 轉 式   | 螺 轉 式 | 犁起廻轉式 |
| I   | 13.2    | 26.0  | 23.1  |
|     | 14.2    | 25.8  | 21.4  |
|     | 13.0    | 27.5  | 19.4  |
|     | 24.0    | 27.3  | 21.4  |
| II  | 13.7    | 26.0  | 23.3  |
|     | 22.8    | 26.3  | 21.1  |
|     | 13.0    | 27.1  | 21.4  |
|     | 23.4    | 26.8  | 21.3  |
| III | 13.0    | 27.3  | 24.3  |
|     | 13.2    | 27.5  | 21.6  |
|     | 13.0    | 27.3  | 21.8  |
|     | 23.3    | 27.5  | 22.3  |
| IV  | 13.4    | 27.6  | 25.3  |
|     | 13.2    | 27.6  | 24.0  |
|     | 12.8    | 27.3  | 24.2  |
|     | 13.6    | 27.8  | 24.0  |
| 平 均 | 15.8    | 27.0  | 22.5  |

表 2. 入土作業時間變方分析

| 變 因                      | 自由度 | 平方和     | 均 方    | 實測 F 值  | 理論 F 值 |       |
|--------------------------|-----|---------|--------|---------|--------|-------|
|                          |     |         |        |         | .05    | .01   |
| 總 計                      | 47  | 1375.96 |        |         |        |       |
| 區 集                      | 3   | 4.15    | 1.38   | 0.11    | 4.76   | 9.78  |
| 農具處理                     | 2   | 1023.66 | 511.83 | 43.44** | 5.14   | 10.92 |
| 機 差                      | 6   | 70.73   | 11.78  | 1.52    | 2.36   | 3.35  |
| 樣品機差<br>(Sampling error) | 36  | 277.39  | 7.70   |         |        |       |

由入土高度，即將畦土撥入蔗株間的高度來衡量入土效率如表 3，表 4 所示。變方分析結果指出各機種間有顯著差異存在。由 Duncan's Multiple Range Test 之結果指出，僅迴轉式和螺轉式間有顯著差異存在；犁起迴轉式與迴轉式之間在統計上接近顯著差異；但螺轉式和犁起迴轉式之間沒顯著差異存在。

表 3. 入土後株間覆土高度 (cm)

| 區 集 | 入 土 農 具 |       |       |
|-----|---------|-------|-------|
|     | 迴 轉 式   | 螺 轉 式 | 犁起迴轉式 |
| I   | 11.4    | 13.6  | 13.6  |
| II  | 10.5    | 12.8  | 9.3   |
| III | 9.1     | 14.2  | 12.2  |
| IV  | 9.1     | 12.8  | 13.8  |
| 平 均 | 10.0    | 13.3  | 12.2  |

表 4. 入土後株間覆土高度變方分析

| 變 因  | 自由度 | 平方和   | 均 方   | 實 測<br>F 值 | 理 論 F 值 |       |
|------|-----|-------|-------|------------|---------|-------|
|      |     |       |       |            | .05     | .01   |
| 總 計  | 11  | 41.02 |       |            |         |       |
| 區 集  | 3   | 6.00  | 2.00  | 0.99       | 4.76    | 9.78  |
| 農具處理 | 2   | 22.88 | 11.44 | 5.66*      | 5.14    | 10.92 |
| 機 差  | 6   | 12.13 | 2.02  |            |         |       |

入土作業時，增加畦土弄碎程度則撥入蔗行之土粒填實株間空隙的機會較大，易達到入土飽實的目的。作業後株間覆土土粒徑如表 5。該表顯示迴轉式和犁起迴轉式之碎土效果較螺轉式為佳。因犁起迴轉式入土法係先行犁起畦土再擊碎並撥入蔗行，亦即利用分段碎細土層的方法，大於 1.5cm 之土粒較迴轉式者為少，該方式分段碎土破壞土層的程度最大。入土作業前後之甘蔗生育調查資料列如表 6。

表 5. 株間覆土土粒徑分佈情形 (%)

| 土 粒 徑<br>入 土 農 具 | >1.5 cm | 1.2-1.4 cm | 0.5-1.1 cm | <0.5 cm |
|------------------|---------|------------|------------|---------|
| 迴 轉 式            | 43      | 7          | 18         | 32      |
| 螺 轉 式            | 53      | 8          | 14         | 25      |
| 犁起迴轉式            | 40      | 9          | 19         | 32      |

表 6. 甘蔗生育調查資料

| 調查<br>項 目            | 迴 轉 式          |             | 螺 轉 式          |             | 犁起迴轉式          |             |
|----------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|                      | 分蘗數<br>(支)     | 莖 長<br>(cm) | 分蘗數<br>(支)     | 莖 長<br>(cm) | 分蘗數<br>(支)     | 莖 長<br>(cm) |
| 入 土 作 業 前<br>63/11/6 | 4727<br>(14.7) | 34.5        | 4761<br>(14.8) | 32.5        | 4850<br>(15.1) | 32.5        |
| 入 土 作 業 後<br>63/12/6 | 5335<br>(16.6) | 45.8        | 4880<br>(15.2) | 42.2        | 5267<br>(16.4) | 44.4        |
| 增 加 量                | 608<br>(1.9)   | 11.3        | 119<br>(0.4)   | 9.7         | 417<br>(1.3)   | 11.9        |
| 增 加 率                | 12.8%          | 32.7%       | 2.5%           | 29.8%       | 8.5%           | 36.6%       |

〔註〕 1. 入土作業日期 63/11/11

2. 分蘗數之計算係採 4 行，每行 20 公尺，四個重複之總分蘗數。

3. 括弧中數字係平均每公尺行長之分蘗數。

使用螺轉式入土農具作業後一個月調查之甘蔗分蘗數增加率最低，使用其他二農具者之分蘗數增加率較高。蔗莖伸長率以使用犁起迴轉式農具者最高。由表 6，於入土作業後約一個月所做之生育調查結果指出使用犁起迴轉式入土農具之蔗區其分蘗數增加率較使用迴轉式入土農具之蔗區者為低，但有效莖長增加率却以使用犁起迴轉式農具之蔗區者為最高。由表 5 知入土後之蔗行上土粒徑以使用螺轉式入土農具之蔗區為最粗，但使用迴轉式和犁起迴轉式入土農具之蔗區間土粒之差異很小，因此使用迴轉式和犁起迴轉式入土農具之蔗區在分蘗數方面之差異，似乎受到使用各別農具入土後株間覆土高度之影響。使用犁起迴轉式入土後之覆土高度為 12.2cm，而使用迴轉式入土後之覆土高度僅只 10cm，入土高度之差別原因或為迴轉式入土農具之作業速率太高而降低入土效果，即形成撥土不充分之結果。迴轉式入土農具之作業速率為 4.5km/hr，螺轉式為 2.0km/hr，犁起迴轉式為 3.2km/hr。迴轉軸轉速於迴轉式為 200RPM，犁起迴轉式為 280RPM，因土壘條沿中分犁犁鏵上升時已經中分犁弄鬆，故犁起迴轉式入土農具之撥土板可以較高速度再次擊碎土壘或土塊，並使碎細的土粒獲得較大衝擊力量。因使用犁起迴轉式入土時，土粒係從比原畦底為高之位置落入株間空隙，故使用犁起迴轉式入土後壓實株間空隙之效果最好。

犁起迴轉式入土農具仍屬離型機械，雖然於本試驗中其效率最佳，但設計上仍有待改良之處，其改進方向，例如加裝防塵蓋保護傳動齒輪，鏈條；迴轉撥

土板轉動軸之傾斜角度改爲可調整性，不同型式撥土板之互換性等以使在各種不同的土壤條件下作業時都可達到最佳效果。

## 五、結 論

犁起迴轉式入土農具係聯合中分犁與迴轉撥土板以進行入土作業，因可減低馬力負荷，故曳引機可以較高速率作業，增高田間效率。畦土經由中分犁和迴轉撥土板之分段兩次細碎化，故入土後株間土粒徑細小，填實空隙之效果良好。入土後畦溝平順有利於爾後之畦溝灌溉作業。

與其他入土方式比較，犁起迴轉式入土農具具有較多優點。螺轉式入土農具之田間效率低，且作業後之土粒仍嫌粗大。迴轉式入土農具之作業速率高，但入土高度低，且入土後畦溝不平順，因螺轉式和迴轉式入土農具係經由單一農具一次作用即將畦土撥入蔗行上，需耗馬力較大，於重粘土地作業時，曳引機恐有負荷過重之弊，犁起迴轉式入土農具之入土方式則可減少這弊端。

## 六、誌 謝

本研究曾蒙南靖、新營、和烏樹林糖廠等各廠機耕股提供農具協助；本研究曾獲國家科學委員會之補助；文稿承農復會技正兼臺大農工系教授彭添松先生之悉心斧正，謹此一併誌謝。

## 七、參 考 文 獻

1. Fischer-Schlemm W. E. and E. Moser. 1958. Investigations on an axially-cutting, rotating worm disc plough. Landtechnische Forschung 8H4:95-101.
2. Gill, W. R. and Glen E. Vanden Berg. 1967. Soil Dynamics in Tillage and Traction. Agricultural Handbook No. 316, U. S. Department of Agriculture.
3. 居垣千尋，山本博昭。1968. 碎土兼用犁の所要動力に關する研究。兵庫農科大學研究報告 8 卷 2 號。p. 117-122.
4. 盧福明。1974. 迴轉動力型蔗田入土農具效率之研究。科學發展 2 卷 12 期 p. 15-19 國科會發行。

## Summary

The optimum time to perform soil-scattering or earthing-in in cane field is about five months after cane planting or ratooning. Since the possibility to remain enough labor in the rural areas is becoming more serious than the past, it is deemed necessary to develop a machine of high efficiency to scatter soil from furrow into the ridge of cane-row.

The purpose of this paper is to try to define the efficiency of a combined lister and rotary tiller for soil-scattering in the cane field. This tillage implement consists of two listers and four rotary tillers with their rotating shafts being inclined 20 degrees from the horizontal. The soil slice moving up on the moldboard is quickly pulverized and scattered along the cane rows by the rotary tillers which are set above the moldboards. A comparison of efficiency among soil-scattering tillage of the screw type, rotary type, and the combined lister and rotary tiller was also studied. The combined lister and rotary tiller can reduce the total power required and obtain a finer soil particle than that performed by the other types, therefore it performed the best result.

歡迎本會會員踴躍惠賜佳作