

手扶自走式施肥機之研製¹

田雲生²、張金元²

摘 要

本研究設計並開發1台手扶自走式施肥機，可供果園樹冠下及植株周邊撒施肥料應用。本機以單缸汽油引擎為動力源，行走底盤為三輪式，前單輪驅動、後雙輪支撐，行走速度可無段變速調整；配置容量80 L之肥料斗，藉由斗底雙閘門開關調節施肥量；採離心轉盤撒施肥料，撒施方向可選擇單側、雙側或三側同時作業，達連續、均勻、彈性施肥的效果。經測試結果顯示，施肥機作業效率約1.26 ha/hr，較現行以獨輪車載肥、人工撒肥方式快2倍，足解決一部分田間施肥管理的辛勞與負荷，並加速推動省工機械化的目標。

關鍵詞：施肥機、手扶自走式、離心轉盤、果園

前 言

臺灣地處亞熱帶，氣候溫暖、雨水豐沛，適合農作物生長，但由於自然環境限制，農戶平均耕地規模僅1.02 ha，屬於小農經營形態，其中果樹種植面積約186,000 ha⁽¹⁾，且種類多樣化，包括多年生的葡萄、番石榴、梨、紅龍果、柑桔、荔枝等作物，其生育期之整枝修剪、疏果、施肥、灌溉、病蟲害及雜草防除等工作極為繁複，農友亟需政府協助解決缺工與高齡化等勞動力不足問題⁽⁵⁾。近年來，臺中區農業改良場(以下簡稱本場)同仁致力於中部地區主要果樹育種與栽培技術之試驗研究，也配合進行果園田間管理機械之開發應用，以期減輕農事作業之辛苦與負荷，諸如草生栽培所需要的乘坐式前置雙刀頭割草機、肥料穴施應用之乘坐式油壓鑽孔機，以及乘坐式旁置挖溝施肥機、離心式施肥機等；其他試驗改良場所亦針對果園噴霧、施肥、剪枝等省工機械化加以研究與推廣^(2,4,5,7,8,9,10)。惟果園生產應妥善規劃與配置，如植株種植尤重較寬敞的行株間距，除可提升日照、通風效果外，對於各類機械操作更能發揮最大的功效，進而節省管理工時及提升產業競爭力⁽²⁾。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0943號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員、助理研究員。

在管理作業中的施肥，其目的在於補充土壤中作物所需要的養分，並為提高產量與品質的有效方法，但過與不及都不好，所以政府積極推動合理化施肥及推廣有機質肥料，輔導農民正確、合理、有效施用肥料，以提升肥料利用效率、維護生產環境，並促進農業永續發展⁽⁶⁾。其中瓜果、豆科、蔬菜及牧草等作物，已有許多研究報告發表，皆顯示合理化施肥具提高產量或品質的效果^(11,12,13,14,15,16)。果園施肥依作物種類或農友栽培習慣而不同，有表面撒施、挖溝條施、鑽孔穴施等方式；肥料通常區分為固態與液態肥料，固態肥料又分為粒狀及粉狀肥料，粒肥密度較大，粉肥則膨鬆、體積大，現階段仰賴人力負載施用居多，故極為耗工費時。而表面撒施多用於生育期之追肥管理，以番石榴為例，修枝強剪到採收前，共計施肥4~6次(大約每月1次，期間可能追加2次)，每分地施用化學肥料約40 kg，果農以獨輪車輔助載運肥料，並移行於作物之行列間，每隔一段距離暫停，再以手持勺子舀取肥料，撒散於果樹冠下或植株周邊，此雖可解決一部分人工負重的辛勞，但對於作業連續性與撒肥均勻性則稍嫌不足。

鑑於此，本場於104年辦理行政院農業委員會第2階段科技計畫－果園乘坐式挖溝施肥機試驗改良(104農科-6.2.1-中-D1)，除成功研發並技術移轉果園乘坐式施肥機，推廣應用於較大面積果園施肥作業外，亦考量小面積農地使用需求，遂繼續試驗研發手扶步行操作之三輪自走式施肥機，同樣於果樹樹冠下或行間進行肥料撒施應用。本文針對該施肥機組成架構、性能規格與作業效能等試驗結果說明如後，並提供給果樹栽培農友參考。

材料與方法

一、機械設計原則

- (一)設定以臺灣農戶平均耕地規模1 ha (實際1.02 ha取整數)以下，提供給小面積果園撒施肥料應用。
- (二)針對施肥作業方便、靈活且使用具廣泛性，機械設計為三輪式，前單輪為驅動輪，後二輪為輔助支撐輪。
- (三)考量機械之動力負荷與製作成本，其動力源不宜太大；行走應具備調速功能，但得減少變速齒輪箱所佔空間，可採用主被動皮帶輪自動變換輪徑方式來達成。
- (四)配合農友栽培習慣與單位施肥量的多寡，施肥機之肥料配出量須能調節，使機械操作富彈性。
- (五)評估機械主要應用於果樹冠下與植株行間之追肥撒施，規劃以圓形轉盤採離心方式作業，撒肥位置、方向可選擇之。

二、施肥機組裝型式

本機依照前述設計原則，於機體後方配置單缸汽油引擎，為前大、後小之三輪式底盤，且後輪輪距可調；行走底盤上方為肥料斗，藉由斗底雙開閘門裝置調節肥料配出量，再落於圓形轉盤上，並以離心方式撒出肥料，撒施出口具前側、左側、右側三個方向，可選擇單側或多側同時作業；施肥機由側面觀之，肥料斗、離心轉盤及前驅動輪呈現垂直排列；另行走速度為可調整，採用主被動皮帶輪變換直徑比的方式作動，可達到加油即加速的目的。

三、試驗設備與材料

(一)供試設備：研製完成之手扶自走式施肥機。

(二)供試材料：

- 1.肥料A：市售有機質複合肥料，固態圓粒狀，材料名稱包括氯化鉀、磷礦、氧化鎂、泥炭、液氨、硝酸、磷酸、硫酸，成分則為15-15-15-4-8.5-50，每包重40 kg。
- 2.肥料B：市售有機質肥料，擠壓切斷成圓柱體，外徑5 mm，平均長度15.2 mm、分布範圍為10.3~23.3 mm，每包重20 kg。

(三)量測器材：碼表(電子式，精度0.01 sec)、電子吊秤(最大秤量600 kg、精度0.1 kg)、角度規、皮尺、捲尺及塑膠承盤(長45×寬30 cm)等。

四、測試及調查項目

(一)調查記錄手扶自走式施肥機性能、效率，包含：機體全長、全寬、全高、全重，輪軸距、後輪輪距、施肥寬度、肥料斗容積與載重量等。

(二)機械空車與載重之行走速度測試：於水泥柏油路面擇取10 m距離，油門撥到最大位置，量測主動皮帶輪迴轉速度；肥料斗以空車及滿載2種供試肥料，量測機械行走時間，重複5次，計算平均線速度(m/sec或km/hr)。

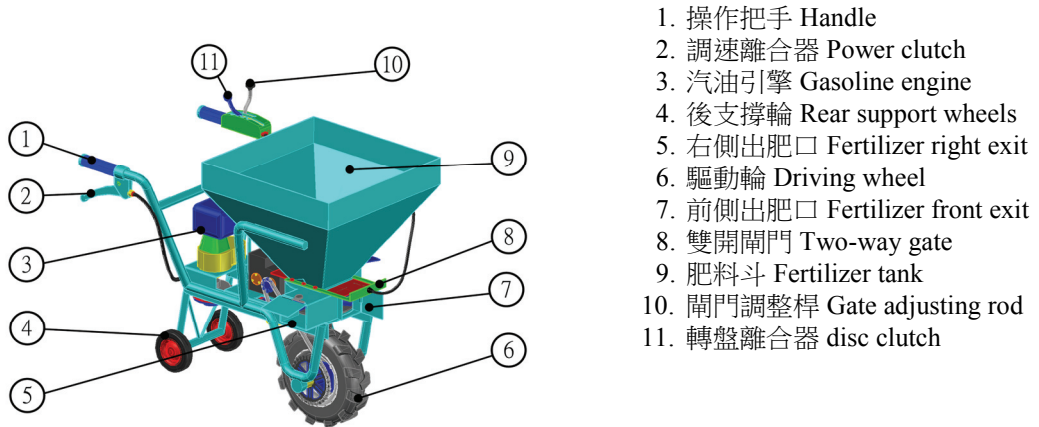
(三)雙開閘門不同開度之施肥量測試：量測雙開閘門不同寬度，初始肥料斗滿載2種供試肥料，並以正常速度操作，量測作業行走時間與距離，重複5次，並換算單位時間或單位長度之施肥量(kg/sec或kg/m)。

(四)機械與人工作業效率測試：以慣行方法之獨輪車載肥、人工舀肥撒肥，與手扶自走式施肥機在相同面積下之田間進行施肥作業，比較作業時間、施肥量等效率之差異。

(五)機械撒佈均勻性測試：施肥機配合施肥量測試時，於1、1.5及2 m不同施肥寬度的位置，隨機置放長45×寬30 cm塑膠承盤各3個，量測不同承盤之肥料收集量，並比較其撒佈均勻性。

結果與討論

一、試驗研製完成1臺手扶自走式施肥機，可輔助應用於小面積果園之樹冠下或植株行間追肥或表面撒肥應用，其外觀型式如圖一所示，主要組成構造分為三大部分：

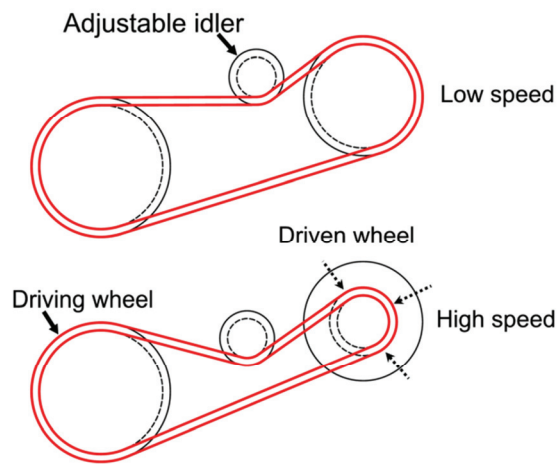


圖一、手扶自走式施肥機示意圖

Fig. 1. The schematic diagram of the self-propelled fertilizer applicator

(一)行走底盤及傳動機構

本機依照前述作業需求與設計原則，研製組裝為三輪式底盤，前驅動輪採用用之人字輪胎，兼具支撐肥料斗相關負重與行走功能。後二輪專供為行進或靜止間之支撐輔助用途。輪距調整的目的係因應平坦地面或畦溝內行走之選擇應用，其中前者調寬輪距，可避免發生側邊傾倒；後者則使三輪皆能平穩地行走於畦溝內操作。動力源目前採用52 c.c.二行程汽油引擎，商品化時擬改用等效之四行程汽油引擎，以符合國家環保政策。引擎配置在機體後側，且位於操作把手與後支撐輪之間，其經下方減速齒輪箱、主動皮帶輪之後，以三角皮帶將動力傳遞至可調直徑之從動皮帶輪，再由鏈條帶動前驅動輪迴轉，以及機體之前進或後退。而機械行走速度之調節控制，係採用離合器惰輪壓縮皮帶使從動輪直徑由大而縮小，意即藉由主動及從動皮帶輪變換直徑比的方式來達成，如圖二所示。

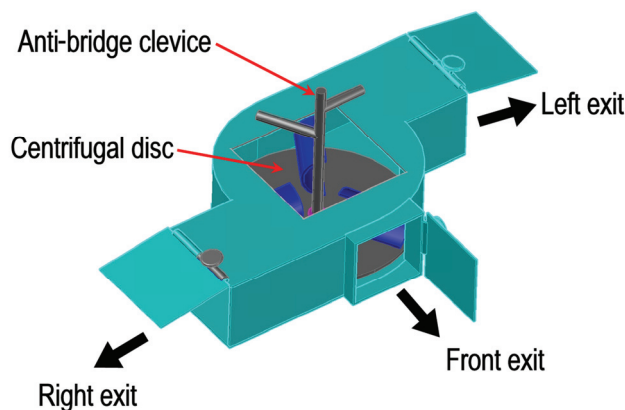


圖二、行走速度之調節控制示意圖

Fig. 2. The diagram of adjustment control about working speed

(二)肥料斗及撒佈機構

肥料斗設計為四角錐體，配置於前驅動輪上方，總容量為80 L，兼顧肥料裝載量與操作機動性。其斗內中間位置裝設有迴轉撥桿，可避免發生架橋現象；底部則為雙開閘門裝置，以鋼索拉動開度大小來調節施肥量，再藉由重力落到撒佈機構之圓形轉盤中，轉盤上具有3組舀肥撥片，可將肥料往離心方向撒散出去；撒佈機構設有前側、左側、右側等三處掀蓋式出口，操作者可依撒肥作物種類、位置而選擇掀蓋之開啟或關閉，以及調整開啟的角度等，如圖三所示。



圖三、施肥方向具三側開口之示意圖

Fig. 3. The diagram of fertilization direction with three-way exit

(三)操作及控制機構

操作把手左右各1支，除供操作者行走攙扶機械外，右側把手連結手動油門旋鈕及行走速度調節之調速離合器握桿，可依需求而撥動旋鈕、拉緊或放鬆握桿，以增減作業速度；左側把手則連結轉盤離合器、閘門調整桿，供為撒佈轉盤迴轉與否選擇，以及落肥量調節控制之應用。

二、手扶自走式施肥機測試結果與討論

(一)手扶自走式施肥機經各項操作測試，可達成所設計之目標動作，在確定機體外觀尺寸及各機構性能後，將測試結果綜合彙整為表一所列之性能規格。

表一、手扶自走式施肥機性能規格

Table 1. Specification of the self-propelled fertilizer applicator

Items	Specification
Power unit	52 c.c., 2-stroke gasoline engine
Wheel drive	Front wheel driving
Gross weights	68 kg
Dimension (L×W×H)	1,100×750×1,100 mm
Wheel base	610 mm
Tread	360~420 mm (rear wheel, adjustable)
Volume of fertilizer tank	80 L
Load of fertilizer tank	55~100 kg (depending on species, moisture content of fertilizer)
Operating width	2.5 m (single side)

(二)機械空車與載重之行走速度測試結果：

施肥機於水泥或柏油路面上，隨機擇取10 m距離，將油門撥到最大位置，主動皮帶輪之迴轉速度經量測為245 rpm；肥料斗滿載肥料A、肥料B之重量分別為100 kg及55 kg，可知肥料A的容積重1.25 kg/L，大於肥料B的0.69 kg/L。當空車及滿載2種供試肥料進行行走測試，由測試結果顯示，空車及裝載肥料A之前進平均作業時間分別是14.5、17.4 sec，換算線速度為0.69、0.57 m/sec；後退時間則為33.8、39.7 sec，線速度0.30、0.25 m/sec。另針對肥料B之試驗結果，其負載前進及負載後退之行走時間各為15.7、34.4 sec，計算作業速度為0.64、0.29 m/sec (或2.30、1.04 km/hr)。本施肥機相關行走速度彙整資料如表三所示，並知自空車至負載，無論前進或後退，其平均作業速度皆呈負相關，即載重愈多，行走速度愈慢；反之亦然。另於番石榴園以肥料A為供試材料，其前進速度介於0.51至0.60 m/sec之間，平均值為0.56 m/sec，標準差0.03 m/sec；後退速度則介於0.20~0.25 m/sec，平均值0.23 m/sec，標準差0.02 m/sec。可知，同一操作者於實際田區之平均行走速度較水泥柏油路面稍低，但並無明顯差異；分析其原因，主要是番石榴園植株行間不若水泥或柏油路面平整堅硬之故。

表三、不同載重之行走速度測試結果

Table 3. The results of ground speed testing by various loadings

Loadings type	Operating speed (m/sec)	
	Forward	Backward
Non-load	0.69	0.30
Fertilizer A (loading 100 kg)	0.57	0.25
Fertilizer B (loading 55 kg)	0.64	0.29

(三)雙開閘門不同開度之施肥量測試結果：

肥料斗底雙開閘門分為3段開度，其中第1段開度為15 mm，第2段約為45 mm，第3段則為70 mm；肥料A及肥料B皆自滿載開始至肥料撒盡為止，量測不同開度之作業時間與行走距離。經測試結果顯示，第1段開度撒施100 kg肥料A花費90.4 sec行走撒施59.4 m，換算單位時間及單位長度之施肥量，分別為1.11 kg/sec及1.68 kg/m；第2段為39.9 sec撒施27.8 m，單位施肥量各為2.51 kg/sec及3.59 kg/m；第3段則為25.9 sec撒施14.8 m，單位施肥量為3.86 kg/sec及6.76 kg/m。另肥料B第1、2、3段之作業時間與行走距離為94.0 sec、60.2 m；29.7 sec、19.0 m；18.9 sec、12.1 m，其單位時間、單位距離的施肥量與肥料A之彙整結果如表四所示。惟果園採表面撒施肥料多為追肥管理之應用，由表四試驗結果觀之，無論肥料A或肥料B的單位施肥量皆嫌過多，顯見雙開閘門的開度尺寸應予以縮小較為恰當，以符合施肥現況及推薦量所需，尤其以外觀呈圓粒狀、容

積重1.25 kg/L的肥料A更甚之。另本機單側撒肥之有效距離為2.5 m，雙側總撒幅略大於5 m (包括撒佈機構寬度)，顯見植株行距5 m以下之果園皆屬適合。

表四、雙開閘門不同開度施肥量之測試結果

Table 4. The results of fertilization testing by various openings of two-way gate

Fertilizer	Fertilizer application (kg/sec, kg/m)					
	Opening of adjuster / adjustable gate					
	15 mm (Narrow)		45 mm (Medium)		70 mm (Wide)	
A	1.11	1.68	2.51	3.59	3.86	6.76
B	0.59	0.91	1.85	2.89	2.91	4.55

(四)機械與人工作業效率測試結果：

擇取面積0.2 ha (長50×寬40 m)之番石榴園為試驗區，植株行株距為5×4 m，扣除田頭、田尾各4 m，則4行間之總長度約336 m；以肥料A為試驗材料，每包40 kg，不計算肥料裝載時間，比較傳統人工施肥及手扶自走式施肥機作業之差異。其中人工作業以獨輪車輔助載運肥料，每次裝載肥料約2包，農友推行獨輪車行走3~4 m後暫停，再以勺子舀取肥料與撒散於果樹冠下或植株周邊；手扶自走式施肥機之裝載量與獨輪車類同，二者進行作業時間與效率比較。經試驗結果顯示，人工施肥時間約花費19.41 min，手扶式施肥機則僅為9.50 min (包括頭地轉彎時間)，可知本施肥機之作業效率為1.26 ha/hr，約為人工施肥的2倍，並可達到連續、均勻撒肥的目的。

綜合上述試驗結果可知，本施肥機相關設計研製具有新穎、進步與產業利用性，符合專利申請要件，遂以「手扶自走式施肥機結構」名稱申請並取得我國新型專利認證，其專利性如下：一種手扶自走式施肥機結構，採前單輪驅動、後雙輪支撐且輪距可調；行走速度採惰輪壓縮傳動皮帶，改變從動皮帶輪直徑而調節控制；機體前方配置肥料斗，出肥量可由斗底雙開閘門裝置調整，並藉離心轉盤撒施肥料，肥料出口分為前、左、右三側，可依作業需求開啟或關閉任一側出口，使達省工、連續、均勻、彈性載肥與施肥之作業應用。

(五)機械撒佈均勻性測試：

手扶自走式施肥機配合施肥量測試時，於左右兩側出口之1、1.5及2 m等不同施肥寬度的位置，隨機各置放3個塑膠盤，並以肥料B為試驗材料。經調查結果發現，施肥寬度1 m的左側承盤內，肥料收集量介於74.8~77.6 g之間，右側承盤則為30.5~36.0 g；施肥寬度1.5 m之左、右承盤肥料量各介於39.4~39.9 g與18.5~22.5 g，以及施肥寬度2 m左右承盤分別為20.1~20.6 g與9.7~10.2 g。由試驗可知，相同寬度、同側出口之撒肥均勻性尚稱理想，惟左側收集量較右側高出倍餘，探究原因應是機械操作時未呈現水平，前高後低，致較多肥料

落至撒佈機構的偏後方，離心轉盤將較多的肥料自左側出口撒出之故。因此，本施肥機之水平操作與否，足影響左右側施肥量之均一性。

結論與建議

- 一、試驗研製1臺手扶自走式施肥機，以二行程汽油引擎為動力源，前單輪驅動、後雙輪支撐，後輪之輪距可調，以因應較平坦田區或畦溝內行走作業；其行走速度採可調式皮帶輪帶動，具無段變速功能；行走部上方設置容量80 L之肥料斗，藉由斗底閘門開關分為3段式調節施肥量，再落肥於離心轉盤撒肥料，撒施方向分為前、左、右三側出口，可依需求而選擇單側、雙側或三側同時作業，可供果園樹冠下及植株周邊之肥料撒施應用，施肥效率約為現行獨輪車載肥、人工撒肥作業之2倍。另為順應環保趨勢，本施肥機未來商品化推廣時，動力源將設法改採等效之四行程汽油引擎，以期低空污量。
- 二、本施肥機具有諸多創新設計結構，並獲得我國新型專利認證⁽³⁾，在產業利用性方面，針對果園施肥作業所需而研發，撒施均勻性較人工為佳，可依農友栽培習慣、作業所需而調節施肥量、方向等，達到省工省肥的目的；在新穎性方面，肥料斗底設有施肥量調整之雙開閘門，可快速調節出肥口尺寸，且行走速度具自動調節控制，可簡化操作與便利性，使機械化施肥更具彈性應用；在進步性方面，支撐尾輪依需求調節輪距寬窄，可降低機體側傾之虞，另施肥方向具前、左、右三開口，可選擇一、二或三側同時操作，兼具多樣化調整設定功能。
- 三、本施肥機採用離心式撒肥作業，肥料直接自肥料斗落於圓形轉盤上，若粒狀肥料未直接自出口拋撒出去，則可能在撒佈機構內相互擠壓或撞擊組件，造成肥料破損與細碎化的結果；另由試驗結果顯示，雙開閘門的開度尺寸應予以縮小，以降低肥料出量，並符合施肥推薦量所需；又單側撒肥之有效距離為2.5 m，檢討若於種植行距大於5 m之果園行走作業，則撒施寬度稍嫌不足。為避免發生此問題，於商品機設計製作時，或可修改輔以鼓風或氣力式施肥，以及出口管路具擺動配出功能，以提升撒施均勻性與範圍，並朝多項作物田區皆可應用而努力。

誌 謝

本研究係執行行政院農業委員會科技計畫「果園乘坐式挖溝施肥機試驗改良(104農科-6.2.1-中-D1)」之延伸研發成果。試驗期間承蒙中興大學生機系盛中德教授及建國科技大學自動化工程系退休教授樂家敏博士指導，鍵隆機械實業有限公司負責人謝錦明先生配合機械組裝研製，本場農機研究室全體同仁鼎力協助，方得以順利完成，謹申謝忱。

參考文獻

1. 中華民國國情簡介－農業經營現況
https://www.ey.gov.tw/state/News_Content3.aspx?n=0E57D34A3C127591&sms=FE33AFFA1C25C4DD&s=9963D58B76C1AE51。
2. 田雲生、何榮祥、張金元、陳令錫 2011 番石榴田間作業機械之開發與應用 番石榴栽培技術與經營管理研討會論文輯 行政院農業委員會臺中區農業改良場特刊108號 p.150-164。
3. 田雲生、張金元 2017 手扶自走式施肥機結構 中華民國新型專利第 M560762號。
4. 田雲生、張金元 2018 省工高效施肥利器－果園乘坐式施肥機 臺中區農業專訊 101: 14-16。
5. 田雲生、張金元 2018 創新施肥新模式－手扶自走式施肥機 臺中區農業專訊 101: 20-22。
6. 李英明 2015 肥料管理現況與輔導措施 <https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2503152>。
7. 邱奕志、吳柏青、程安邦 1995 離心式施肥機專用機之研究 農業工程學報 41(1): 72-83-90。
8. 邱澄文 1997 撒佈型有機肥施肥機械之開發 花蓮區農業改良場研究彙報 13: 77-93。
9. 邱澄文、宣大平、丁全孝 1998 曳引機承載綜合型肥料撒佈機之研發 花蓮區農業改良場研究彙報 16: 91-100。
10. 邱銀珍、吳有恆 2013 設施用曳引機承載式有機質肥料施肥器之研發 桃園區農業改良場研究彙報 74: 31-40。
11. 林俊光、廖秋榮 1990 豬糞堆肥對毛豆產量與土壤性質之影響 土壤肥料試驗報告集 p.200-207 台灣省政府農林廳。
12. 林烈輝、洪阿田、鄭榮賢、張增金 1991 有機肥料對苦瓜產量品質之試驗 台灣省政府農林廳所屬試驗研究機關七十八年度試驗研究報告摘要 p.92。
13. 洪阿田、陳富英、黃志明 1991 蓮霧園施用矽酸爐渣與豬糞堆肥對蓮霧品質及土壤性質之影響試驗 土壤肥料試驗報告 p.7-87。
14. 施清田、楊大吉、邱澄文 2009 曳引機承載施肥整地作畦播種一貫作業機之研究 花蓮區農業改良場研究彙報 27: 45-54。
15. 馬清華 1992 禽畜堆肥在蔬菜之應用 養豬業與環保研討會論文集 台灣省畜產試驗研究所 p.120-127。
16. 許福星 1992 禽畜堆肥在牧草之應用 養豬業與環保研討會論文集 台灣省畜產試驗研究所 p.104-114。

Development of the Self-Propelled Fertilizer Applicator¹

Yun-Sheng Tien² and Chin-Yuan Chang²

ABSTRACT

The study was to design and fabricate a self-propelled fertilizer applicator for the walks under the canopy and around a tree. This machine was equipped with the three-wheel, single cylinder gasoline engine-driven, hand hilt control system, front wheels to drive, and the back two wheels to support, with varied speed function. Fertilizer tank with 80 L capacity was placed above the machine and centrifugal rotating disc fertilization and the gates was used to control the amount of fertilizer. The direction of the fertilizer application can be selected on one side, two sides or three sides according to the demand. The application operated with a continuous and uniform fertilization effect. The operating rate is 1.26 ha/hr, about 2 times faster than manual. The developed machine is suitable for small area of the orchards and can reduce labor loads and achieve the labor-saving objection.

Key words: fertilizer applicator, self-propelled type, centrifugal rotating disc, orchard

¹Contribution No. 0943 from Taichung DARES, COA.

²Associate Engineer and Assistant Engineer of Taichung DARES, COA.

