

離心式施肥專用機之研究

A Study on the Development of Centrifugal Fertilizer Broadcaster

宜蘭農工專校農機科講師

邱奕志

Yi-Chieh Chiu

宜蘭農工專校農機科副教授

吳柏青

Po-Ching Wu

宜蘭農工專校農機科副教授

程安邦

An-Pan Chen

摘要

本研究之目的在於開發一台結構輕巧、機動性佳、保養維修容易、價廉且故障率低之離心式撒佈專用機，主要做為行間作物施撒粉、粒狀化學肥料使用。設計之施肥機行走速度有高低二段，肥料撒佈量配出調節計有23段可供選擇，以適應不同作物在不同階段所需施肥量。

本施肥機可適用於各種行栽作物，於茶園作業時，作業能量每小時約達0.46公頃以上，比人工快約5.2倍，效率甚高，可有效掌握施肥時段。另因本身具有行走能力，因此作業時方便且省力。於撒佈均勻度試驗中，在行走縱方向肥料撒佈量差異不大，施肥機左右兩側撒佈量均在6%以內，因此本研究所開發之施肥機，應可推廣給農民使用。

關鍵詞：離心式撒佈器，施肥機，化學肥料。

ABSTRACT

The objective of study was to develop a low-cost centrifugal fertilizer broadcaster with light-weight, high mobility, and easy maintenance. The fertilizer broadcaster was to be used in row-crop, and the fertilizer used could be powder or granular. A broadcaster was designed with 2 speeds and 23 distribution adjustments, to accommodate the variations of crop requirement.

The broadcaster could be used for various row-crop. A series of field testing showed that, its capacity was at least 0.46 ha/hr in tea garden, which was almost 5.2 times faster than human. A series of uniformity tests was also conducted, and it was found that the difference between two sides of the traveling route was under 6%, indicating good distributions in transverse direction. Therefore, the potential applications of the broadcaster developed in this research may be anticipated.

Keywords: Centrifugal broadcaster, Fertilizer broadcaster, Chemical fertilizer.

一、前言

施肥作業對大多數的作物生長過程而言，是非常重要的且不可或缺的管理工作，其目的乃為增加作物可吸收的養份，使作物生長壯碩，進而提高作物的產量及品質。近年來由於社會型態的變遷，工商業發達，吸引大量農村人口外流造成農村勞力不足，且從事農業耕作之勞力老化，為疏解農村勞力不足，政府推行農業機械化，而對行間作物施肥工作亦亟需機械化，因此數年前國內即開始研發並生產各式施肥機以供農友使用。當時因中耕機推廣已相當普遍，故當初國內施肥機之發展均朝中耕機附掛式方向發展，主要好處為可節省機械設備購買成本，於推廣初期確也獲農民歡迎。但經過數年使用之後，農民漸感到每次裝拆施肥機之麻煩，尤其不同廠家之施肥機套裝於另一廠家之中耕機上格外麻煩，且附掛機具易疏於保養，故障多，維修不易，或安裝時找不到零件等缺點。利用中耕機附掛施肥機於坡地上作業，因其機動性差，操控靈活度不佳，於行間狹窄的作物間作業有其缺憾不適之處，因此本研究擬研究一台結構輕巧、機動性佳、保養維修容易、價廉且故障率低之施肥機專用機供行間作物使用。

以茶園來說，茶為本省主要的坡地經濟作物，各項管理及採摘工作，均須投入大量農村勞力。梁等（1990）指出，未來茶葉銷售日益困難，惟有節省勞力需求與降低生產成本，使收益相對地提高，為一有效的因應之道，且據梁等報告指出茶園用化學肥料主要以氮、磷、鉀三要素複合肥料為主，北部茶園每年施肥三次，中部鹿谷每年高達五次。一般作業是以人工施撒後，再用中耕機將肥料攪拌進入土壤內，有些農民在下雨前施肥，利用雨水將肥料滲透進入土壤內，可免去一次中耕。施化學肥料每公頃需11.2人工小時，每年每公頃需44人工小時，僅次於採茶工作亟需發展機械化的重點項目。

本研究的目的是在於開發一台離心式施肥撒佈專用機，做為茶園及坡地果園作物施撒粉、粒狀化學肥料使用。

二、理論分析

應用離心原理來進行粒子的拋送及撒佈的研究及理論推導，已有相當多的前人研究成果，諸如Patterson and Reece, 1962；Inns and Reece, 1962；Cunningham, 1963；Cunningham and Chao, 1967；Crowther, 1958；Hepherd and Pascal, 1958；Totten and Milleer, 1966等。離心式撒佈原理為肥料粒子從供料桶掉落下時碰到高速旋轉的撒佈盤，由於離心力而飛散出去，藉此達到撒佈的目的。而撒佈離心力大小與肥料粒子大小、撒佈盤轉速、撒佈盤大小等有關，其離心力大小 F 為

$$F = \frac{MV^2}{\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

M ：肥料粒子質量

V ：肥料粒子拋送速度

γ ：肥料粒子距撒佈盤中心距離

本研究設計之撒佈盤為求構造簡單，製造容易，因此採用直板式撒佈盤，其構造如圖1所示，肥料粒子在撒佈盤時產生的摩擦力、拋送速度及運動軌跡，其說明如下：

肥料粒子在撒佈盤上產生摩擦力 f 為 (Cunningham, 1963)：

$$f = \mu(W + 2M\omega V + M\omega^2 \gamma \sin\phi) \dots\dots\dots (2)$$

μ ：肥料粒子與直板的摩擦係數

$W = Mg$

ϕ ：直板與半徑的夾角

ω ：撒佈盤角速度

a ：肥料粒子在撒佈盤上的加速度

γ_0 ：撒佈盤中心距直板前緣距離

肥料粒子拋送速度 V 為 (Cunningham, 1963)：

$$V = \omega \left[\frac{A\gamma_0 - \mu g/\omega^2}{2C} \right] [e^{(c-\mu)\theta} - e^{-(c+\mu)\theta}] \dots\dots\dots (3)$$

$$C = \sqrt{u^2 + 1}$$

$$\theta = \omega t$$

t ：時間，sec

肥料粒子運動軌跡 Y 為 (Timoshenko and Young, 1948)：

$$Y = x \tan \psi - \left[\frac{gx^2}{U^2 \cos^2 \psi} \right] \left[\frac{e^x - Z - 1}{Z^2} \right] \dots\dots\dots (4)$$

Y：高度（撒佈盤距離地面高度）

X：撒佈距離

g：重力加速度

ψ ：拋送時初速與水平夾角

U：初速度

$Z = 2CX$

$C = kdA / 2M$ （彈道係數）

d：空氣密度

A：肥料粒子截面積

K：拖曳係數（Coefficient of drag）

M：肥料粒子質量

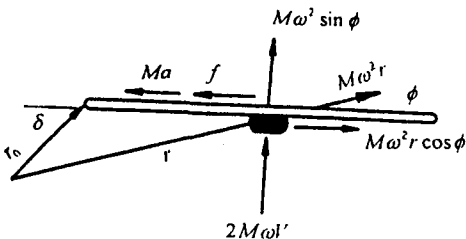
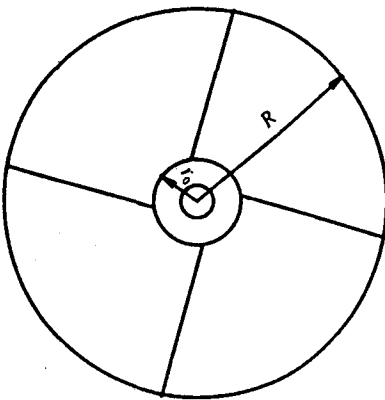
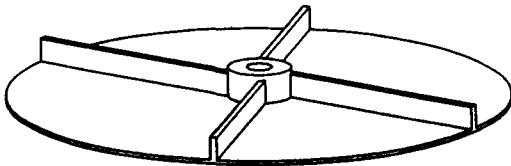


圖 1. 直板式撒佈盤

設計之施肥機係行走於植物行間，為使施肥機在進行撒佈時能使肥料粒子分佈於兩側行間作物中，因此撒佈盤供料口設計成左右兩個，使肥料粒子能被撒佈在施肥機兩側。且由運動軌跡方程式分析得知，當肥料粒子被拋送時，初速愈大粒子愈重，則撒佈距離愈大，因此理論上肥料粒子在均一大小的情形下，其撒佈分佈圖應會使肥料對稱集中於距施肥機X的距離上，而呈兩條線的分佈，其散幅為2X，但由於施肥機在進行撒佈時受到肥料粒子大小的不均一，粒子間相互摩擦，拋送時受到的空氣阻力不一及施肥機行走速度等影響而使得撒佈分佈為對稱於施肥機呈雙峰的分佈，若改變撒佈盤之轉速肥料供料口距撒佈盤軸心距離及肥料粒子大小即可調整分佈雙峰的間距。歸納上述結果，撒佈雙峰間距大小D可表示成下列函數：

$$D = f(V, \gamma, fd, Ca, \dots) \dots\dots\dots (5)$$

V：肥料粒子拋送速度

γ ：肥料粒子距撒佈盤中心距離

fd：肥料粒徑大小

Ca：空氣阻力（風速等）

施肥主要目的為讓植物根部吸收，因此施肥時應將肥料儘量施放於靠近行間作物，而不同作物的行間距離亦不盡相同，因此離心式施肥機較條施肥機或點施肥機之一大特點為，可藉由調整撒佈雙峰間距來適應不同行間距離的作物。而改變撒佈雙峰的距離，由其函數D可得知，最方便簡捷的方法為改變撒佈盤的轉速，其撒佈雙峰說明如圖2所示。

三、施肥機之設計

根據理論分析，施肥原理係利用高速旋轉之撒佈盤將肥料拋送出，因此完整施肥機須具有驅動撒佈盤轉動之動力源，撒佈盤、攪拌器、傳動機構、肥料桶、車體等裝置，另為便於行間操作及機動性，設計之施肥機係具有行走動力之專用機，離型機在規劃時朝向機型輕巧、機動性強、結構簡單、操作簡便、耐腐蝕性強、保養容易且零件規格化易於量產為目標來設計，設計之施肥機如圖3所示，整體機械主要包括以下四部份：

及撒佈軸。一般行間作物之行距約在200cm以內，以茶樹來說平均約為160—180公分，經由試驗得知，撒佈盤轉速在550rpm，其散幅為200公分左右，採用之汽油引擎額定轉速為2100rpm，因此從汽油引擎到撒佈盤之減速比為3.67；引擎至攪拌軸減速比為14.7，轉速為142.8rpm。

四、試驗方法

1. 配出量試驗：

施肥機撒佈段數共計有23段，第1段撒佈量最少，隨著段數增加撒佈量亦隨之增加，第23段撒佈量為最大。利用細砂，複合5號肥料及過磷酸鈣等三種材料來探討每段撒佈量，做為將來農民使用調整之依據。試驗方法係將一塊5×5公尺之帆布鋪於地面上，將施肥機定置於其中，引擎轉速調整至1800±10rpm，配出段數由1段至23段，分別各以10公斤材料進行撒佈，每段試驗重複三次，以馬錶量測其撒佈時間。試驗之複合5號肥料

及過磷酸鈣肥料之機械性質如表1所示(蘇等，1990)。

2. 撒佈均勻度試驗：

試驗目的主要為探討施肥機撒佈時，其前後縱方向肥料量是否均勻，以及探討施肥機左右兩側橫向距離肥料量分佈情形，並驗證理論分析，觀察撒佈雙峰分佈情形。試驗方式係在地上鋪設一塊12×4.5公尺之帆布以橫向間距10公分畫成條狀後，縱方向每隔2公尺取樣60公分縱距離，左右各取四區段，共8個有效區段，再分別收集每個區段中各小格的材料，以電子秤量測其重量。試驗時為減少風向引起之誤差，整個實驗係在室內鋼棚進行。在均勻度試驗中，並探討施肥機左右兩側施肥量差異度，藉以探討左右兩邊肥料配出量是否均一；其差異度計算公式如下：

差異度% =

$$\frac{|\text{左(右)側平均撒佈量} - \text{WAVG}|}{\text{WAVG}} \times 100\% \quad \dots (6)$$

$$\text{WAVG} = (\text{左側平均撒佈量} + \text{右側平均撒佈量}) / 2$$

3. 田間試驗：

田間試驗施測，係由農民操作施肥機，藉以瞭解農民對施肥機評價，試驗重點為操控性、作業能量、行走速度、打滑率、頭地轉彎時間等，並於試驗中記錄作業地點、作物別、試驗田區長度、寬度、面積大小、引擎轉速及肥料種類等，作業行走速度之計算係利用馬錶量測施肥機在每一植行所需行走時間，再以該植行長度除以行走時間而求得，如式(7)所示。

$$\text{行走速度}(m/sec) = \frac{\text{植行長度}(m)}{\text{植行行走時間}(sec)} \quad \dots (7)$$

頭地轉彎時間之計算亦利用馬錶量測施肥機在操作時，從一植行轉換到另一植行所需時間；行走速度和頭地轉彎時間計算為隨機量取5次求平均值而得。施肥機作業能量及肥料用量之計算係以該試驗田區所需作業時間及肥料量，來換算成每公頃所需作業時間及施肥用量。

施肥機作業時打滑率之計算如式(8)所示：

$$S = \frac{V - V'}{V} \times 100\% \quad \dots (8)$$

S：打滑率(%)

V：施肥機空轉時的速度m/sec

表 1. 供試肥料之機械性質

肥料		粒狀複合5號	過磷酸鈣
主要成份	氮素	16%	0%
	磷矸	8%	18%
	氯化鉀	12%	0%
含水率		22.7%	9.0%
摩擦係數	自然鐵板	0.6	1.3
	滑下不銹鋼	0.6	0.9
	輕微鐵板	0.5	0.8
	振盪不銹鋼	0.5	0.7
安息角	柱筒式	32度	37度
	漏斗式	32度	36度
密度kg/l		0.95	0.63

V: 施肥機於田間作業時的行走速度m/sec

五、結果與討論

1. 配出量試驗：

在不同撒佈段數下每分鐘肥料撒佈量如圖4至6所示，由圖4細砂配出量試驗得知，撒佈段數在第14段以下時，其撒佈量隨著撒佈段數增加而呈線性增加，但當撒佈段數調整在14段以上時，其肥料配出量沒有明顯增力，此乃代表若進行細砂等相似材料撒佈時，有效調整段數為第3至第14段，而第3段以下配出量相當少。由圖5複合5號肥料配出量試驗得知，其結果亦類似細砂試驗惟其有效調整段數為

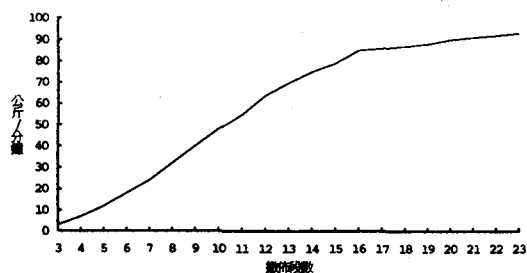


圖 4. 細砂撒佈段數與配出量關係

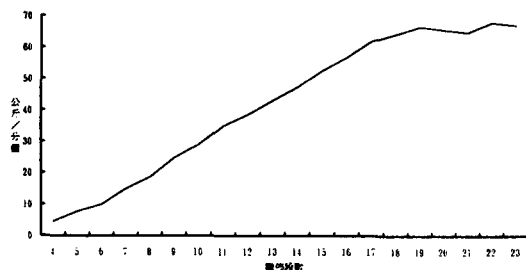


圖 5. 複合5號肥料撒佈段數與配出量關係

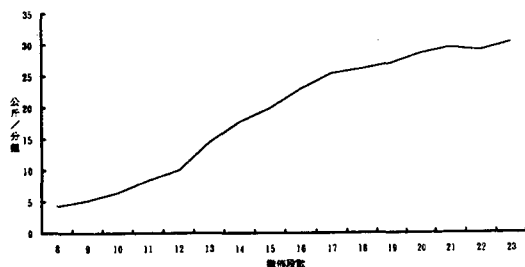


圖 6. 過磷酸鈣撒佈段數與配出量關係

第4至第19段，此乃因複合5號肥料粒徑較細砂大，因此撒佈段數在3段以下其肥料流出量有困難，撒佈段數在20段以上則配出量沒有明顯增加。過磷酸鈣肥料配出量試驗由圖6結果觀察得知，撒佈段數在第8段以下肥料無法流出，且第8段至第12段肥料配出量變化不大，第12段至第17段則配出量隨著撒佈段數增加而增加，在第17段以上則配出量又沒有明顯增加，此乃因過磷酸鈣為濕狀物性，因此開口過小流出較困難，且根據試驗得知，過磷酸鈣肥料較易產生架橋現象。

2. 均勻度試驗：

首先以細砂進行試驗來觀察施肥機撒佈的均勻度，試驗分別以配出段數5段及20段，行走速度以施肥機設計之低高二速來進行試驗，其結果如圖7至圖10所示，由圖中得知，施肥機撒佈之縱方向四個區段差異性不大，且對於細砂而言，在同樣的配出段數下，施肥機行走速度在低速時較高速在單位面積下的配出量大，概因在同樣的出料速度下，施肥機行走速度慢時，通過特定面積下的時間亦增長所致。比較細砂在配出段數5段時較配出段數10所

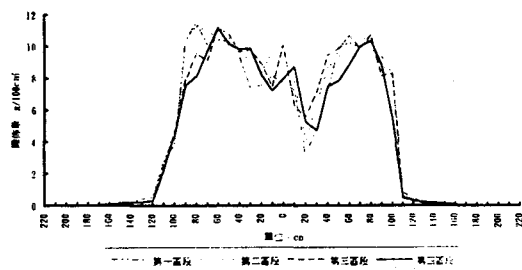


圖 7. 細砂撒佈均勻度試驗結果
設定條件：配出段數20；行進速度：高速

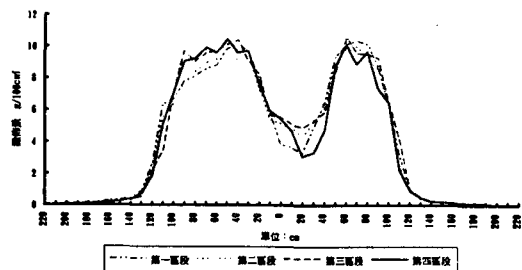


圖 8. 細砂撒佈均勻度試驗結果
設定條件：配出段數20；行進速度：低速

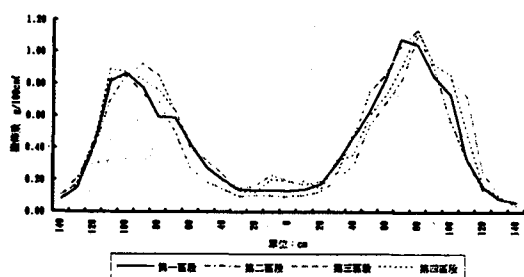


圖 9. 細砂撒佈均勻度試驗結果
設定條件：配出段數5；行進速度：高速

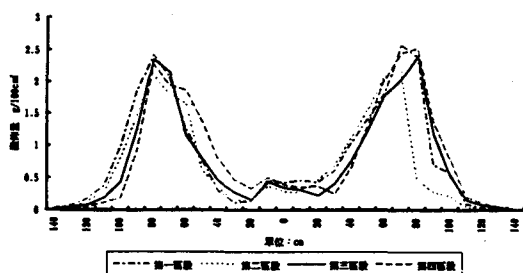


圖 10. 細砂撒佈均勻度試驗結果
設定條件：配出段數5；行進速度：低速

形成撒佈雙峰較明顯，究其原因為在同樣的撒佈盤轉速下，撒佈供料少，本身材料相互碰撞及摩擦相對減少，使得撒佈雙峰會很顯，而撒佈供料多時，會使材料在撒佈上及離心飛行時相互碰撞摩擦，致使撒佈雙峰變寬，此種效應頗適合較寬廣淺根性作物施肥，設計之施肥機撒佈雙峰約位於施肥機兩側各約60—80公分左右，最大散幅為200公分，配出段數調整於20段時，撒佈量每100平方公分約10.5g，配出段數5段時約為2.3g左右。

由於本機主要為撒佈粉狀及粒狀肥料，因此

選取過磷酸鈣（粉狀）及台肥複合5號肥料（粒狀）來進一步試驗左右兩邊撒佈量是否均一，且由細砂初步試驗得知，本機在縱方向的均勻度上差異不大，因此針對肥料試驗時僅取樣三個區段以減少試驗量，其結果如表1及表2所示，左右兩側撒佈量其差異度均在6%以下。

3. 田間試驗：

設計之施肥機分別在宜蘭地區茶園及銀柳園進行田間試驗，試驗之結果如表3至表6所示。田間作業能量與操作者熟練度、試區大小、機器打滑率、行走速度等有密切關係，由表中得知，若引擎轉速在1920rpm，行走速度為高速時，在茶園進行施肥作業每小時可達0.46公頃以上，相較人工施肥作業每公頃需11.2小時快約5.2倍，於銀柳園作業時，作業能量約達0.4公頃。施肥機進行頭地轉彎與操作者熟練度有關，平均約在2秒左右，打滑率約為6%，達到操控輕巧機動性佳之目的。

六、結論與建議

離心式施肥機之開發成功，有助於行間作物之施肥管理機械化，促進作物栽培一貫化機械生產，以降低生產成本，且因施肥機械化而可減少農友直接接觸肥料的機會，確保施肥者的人身安全，效益良多。本施肥機適用之作物別有茶園、蔗園、竹園、柚園、木瓜、檳榔、瓜藤類、苗圃等，於茶園作業時，作業能量每小時約達0.46公頃以上，於銀柳園作業時，作業能量約達0.4公頃，比人工快約5.2倍，效率甚高，可有效掌握施肥時段。另因本身具有行走能力，因此作業時方便且

表 2. 粒狀複合5號肥料撒佈均勻度試驗

高速行走					慢速行走				
蒐集區段	撒佈段數7		撒佈段數15		蒐集區段	撒佈段數10		撒佈段數15	
	左(g)	右(g)	左(g)	右(g)		左(g)	右(g)	左(g)	右(g)
1	12.3	13.2	69.5	65.6	1	15.0	14.9	87.0	88.8
2	13.6	12.2	72.4	65.1	2	15.2	14.5	100.0	79.0
3	12.6	11.8	77.2	66.9	3	13.8	13.7	94.9	87.53
平均	12.83	12.4	73.03	65.87	平均	14.67	14.37	94.03	87.53
差異度	1.7%		5.15%		差異度	1%		3.6%	

表 3. 過磷酸鈣肥料撒佈均勻度試驗

高速行走					慢速行走				
	撒佈段數10		撒佈段數15			撒佈段數10		撒佈段數15	
蒐集區段	左(g)	右(g)	左(g)	右(g)	蒐集區段	左(g)	右(g)	左(g)	右(g)
1	17.8	11.3	50.5	52.0	1	24.7	23.8	82.5	80.1
2	19.7	21.6	53.6	47.0	2	25.3	22.9	72.10	68.0
3	15.9	18.7	67.8	55.6	3	24.9	22.1	74.5	80.73
平均	17.83	17.2	57.33	51.53	平均	24.96	22.93	76.37	76.27
差異度	1.7%		5.3%		差異度	4.2%		0.06%	

表 4. 離心式施肥專用機田間試驗記錄表

作物別	坡地茶園	測試地點	三星鄉
試區面積	2713.6 m ²	作物行距	1.6 m
試區長度	53 m	試驗寬度	51.2 m
引擎轉速	1920 rpm	撒佈段數	7
行走速度	1.19 m/sec	打滑率	6.23 %
肥料種類	粒狀寶效肥2號	肥料用量	1179 kg/ha
作業能量	0.465 ha/hr	轉彎時間	2'04

表 6. 離心式施肥專用機田間試驗記錄表

作物別	坡地茶園	測試地點	冬山鄉
試區面積	2450 m ²	作物行距	1.6 m
試區長度	70 m	試驗寬度	35 m
引擎轉速	1920 rpm	撒佈段數	8
行走速度	1.13 m/sec	打滑率	10.97 %
肥料種類	粒狀台肥特1號	肥料用量	1143 kg/ha
作業能量	0.5613 ha/hr	轉彎時間	1'88

表 5. 離心式施用專用機田間試驗記錄表

作物別	坡地茶園	測試地點	冬山鄉
試區面積	2517.02 m ²	作物行距	1.6 m
試區長度	67.3 m	試驗寬度	37.4 m
引擎轉速	1920 rpm	撒佈段數	8
行走速度	1.19 m/sec	打滑率	6.23 %
肥料種類	粒狀台肥特1號	肥料用量	1033 kg/ha
作業能量	0.5249 ha/hr	轉彎時間	1'84

表 7. 離心式施肥專用機田間試驗記錄表

作物別	銀柳園	測試地點	三星鄉
試區面積	1578.6 m ²	作物行距	1.8 m
試區長度	54 m	試驗寬度	29.4 m
引擎轉速	1600 rpm	撒佈段數	4
行走速度	1.01 m/sec	打滑率	4.51 %
肥料種類	粒狀複肥5號	肥料用量	506.8 kg/ha
作業能量	0.4 ha/hr	轉彎時間	2'48

省力，於撒佈均勻度試驗中，在行走縱方向肥料撒佈量差異不大，施肥機左右兩側撒佈量均在6%以內應為可接受範圍。

施肥專用機之開發成功後，不僅適用於一般田間管理作業，亦可應用於水產養殖漁池、蝦池、鰻池等之施撒生石灰，以改善土壤之pH值。一般上述養殖池之施撒生石灰為排水後即刻使用，俟土壤濕潤溶解於土中後再晒池，再等土壤風化乾硬後再中耕。又本機亦可利用於放養式養雞場之消毒用，即可適時適量撒佈粉狀消化性細菌於養雞場，以抑制蒼蠅之孳生。

由於各種肥料物理性質不同，於常溫下受潮情形亦不一致，而肥料受潮後對離心式撒佈有決定性影響，因此分析各種肥料在不同含水率情況

下對撒佈量、撒佈寬度之影響，以及了解各種肥料所能撒佈之容許最大含水率，遂成為將來探討之主要課題。

七、誌 謝

本研究蒙經濟部工業局輔導農機工業開發新產品82年度計畫經費補助。研究期間蒙農機中心彭添松主任，茶改場李清柳先生及助理吳飛龍等多方協助，合作廠商元凱機械公司大力配合，得以順利完成，謹致謝忱。

八、參考文獻

- 1.邱奕志、吳柏青、程安邦。1994。茶園及坡地果園施肥專用機之研究開發。輔導農機工業研