16 變異率施肥系統之研究

謝禮丞[1] 欒家敏[1] 謝廣文[1] 黃禮棟[2]
[1] 國立中興大學農業機械工程學系
[2] 行政院農業委員會農業試驗所農業工程組
Email:lchsieh@nchu.edu.tw

摘 要 ---------- 206
壹、前 言 ---------- 206
貳、材料與方法 ---------- 209
參、結果與討論 ---------- 213
肆、引用文獻 ---------- 216

16 變異率施肥系統之研究

謝禮丞[1]　欒家敏[1]　謝廣文[1]　黃禮棟[2]
[1]國立中興大學農業機械工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農業工程組
Email:lchsieh@nchu.edu.tw

摘　　要

本研究係以水稻爲目標作物，因此利用水稻插秧機做變率施肥之主體，同時採用深層施肥之方式。機械深層施肥較人工施肥可節省肥料用量約40%，減少施肥2－3次，提高產量。同時因肥料埋在土壤中不會流失，可減少肥料對環境之污染及因過度施肥造成土壤酸化之情形。本研究旨在研製一深層施肥裝置附掛在久保田SPA6乘坐式插秧機上，同時依土壤肥力做變率施肥，使其能達插秧與施肥同步進行。本施肥機採用台肥5號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲農試所推薦量之60%，375－675kg/ha。採隔行在兩秧苗中間定量施肥，其每點施肥量在8.8g至2.6g，故取施肥量分六組，每施肥點施肥8.8g，7.8g，6.8g，5.8g，4.8g及3.8g。施肥深度約6－8公分並覆土。肥料配出由輸肥輪作動，肥料輪上有施肥爪，利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移以達六段施肥控制，肥料輪作迴轉運動如棘輪之動作，使肥料自輸肥輪凹槽中落入集肥杯及肥料輸出管而掉入土壤中，輸肥輪之動力來自插秧機之插植爪，即能與插植爪同步動作。由文獻中得知，肥料在斜度62度以上，其流動性最佳，不產生死角。故肥料箱之角度設計取62度，其長寬高尺寸分別爲42cm× 30cm× 40cm，每筒肥料容量約20kg。本年度衛星定位系統(GPS)尚未裝置於此系統上。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、插秧機、深層施肥。

壹、前言

施肥技術之發展、品種之改良、灌溉設施之普及等被稱爲近年來世界綠色革命之三大支柱。作物經以肥料的施用補充土壤養分之不足，或應用施肥方法使土壤中之養分供給狀態有利其收穫物生產或品質之提高，係由長年探索養分資源之運用(肥

料學)、養分之土壤分佈(土壤學)、養分在土壤中之行動(土壤化學和土壤肥力論)及作物生理上之養分需求(作物營養學)等知識長年累機所發展之技術。連(1997)指出土壤中缺少某種要素(土壤中最易缺乏氮、磷、鉀三要素)而施肥時，作物的生長量隨施肥量之增加而遞減(報酬遞減率)。由於政府的肥料價格穩定政策，農民一直享受比較低廉的肥料。另由於人工之缺乏和工資之上漲，農民爲求確保產量，常偏好施用重肥，施肥方式趨於粗放。台灣農民之肥料成本/總成本比率已自1956年之25.7%降至1976～1985年之8.4%。反之，其工資成本比率卻自1956年之41%增至1981～1985年之 57%。 依據民國85年期台灣農產品生產成本調查報告，得知以水稻進行肥培作業時如將第一、二期作並把蓬萊稻與在來稻等加總平均，則肥料費用每公頃爲5,696元，佔直接生產費用約7.0%，依據民國90年8月臺灣農產物價與成本月報，得知將水稻第一、二期作並把蓬萊稻與在來稻等加總平均，則肥料費用每公頃爲6511元，佔直接生產費用約7.7%，5年間肥料費增加14%，另對於頗爲耗工之施肥工資則尚未包括在內。年來農民爲追求較高收量，對於化學肥料之施用量仍是有增無減。而政府爲配合肥料產銷自由化政策之推動及加入世界貿易組織(WTO)，決定至民國91年取消肥料補貼政策，屆時農民水稻耕種成本亦會增加。

在精準農業的範疇內，對土壤要做肥力的精準管理。Pierce and Nowak (1999)對於土壤肥力精準管理的觀念提供如後：空間的變異(spatial variability) 存在於田區內之土壤肥力，此變異可以被正確的辨認，同時，對此一變異有合理的解釋，也就是說會影響到作物的產量、品質或生態環境；改良土壤肥力的資材，如：石灰、氮、磷、鉀等元素，能正確的施用於田間。

欲瞭解田區土壤養分變異，土壤取樣爲重要步驟之一，林等(2000)指出土壤取樣策略概分爲傳統混合取樣(traditional composite sampling)、基標土壤取樣(benchmark soil sampling)、方格法土壤取樣(grid sampling)、地景導向土壤取樣(landscape directed soil sampling)等。由取樣的土壤分析後得到的結果，經過GPS的定位與施肥機械的配合作業，如此可以進行田間的變率施肥。

一般相信水田的肥力變異性不是很顯著，Radite *et al*., (2000)認爲這種觀點是不正確的，因爲Lee *et al*., (1999)和Yanai *et al*., (2000)提供了三年實驗數據顯示，水田中的土壤有顯著的空間變異率，尤其是氮素(soil-N)。因此Radite *et al*., (2000)的試驗係建立在不同比率的上層施肥(top dressing)，將水稻田中的土壤氮肥降至最低。這個觀念是建立在爲維持水稻之高產量同時不傷害環境下，而施用與維持適當的養分，將穀物產量之空間變異降至最低。實際解決的方法是以養分移除爲基礎的施肥，如此估計爲在高產值範圍內的最經濟作法。

水稻變率及深層機械施肥是依土壤當時之肥力狀況經計算施肥量，再加以深層施肥(8-10cm)，而水稻深層施肥在日本先進國家已廣泛被稻農採用。在工商業快速發展導致人們降低從事農業生產意願，農村人口老化及國外進口農產品競爭之下，爲節省施肥勞力與減少施肥量以降低生產成本、減少過度施肥對環境的傷害與水質

的污染、及增加生產量，發展水稻變率及深層施肥機械是可行的方法。

在日本有一型尚未商品化的粒狀肥料用的施肥機，可提供作爲水田變率施肥的應用機，該機爲Hatsuta Industrial Company (model GS-MPV 8)產品。此型機械原爲氣輔式撒佈型，採固定均勻比率在水田中施肥，但其肥料比率可以由指針來調整。施肥率可以經由指針的調整，在進行施肥之前以手動調整妥當，再下田進行施肥作業。本機由一個130W的直流伺服馬達驅動，具有噴寬爲7.5m且裝有6組指針計量的裝置及12個噴嘴。每一個指針計量裝置由一個30W的直流馬達驅動，如此即可單獨控制每隔1.25m的計量裝置的準確度。

此一GS-MPV 8裝置以三點鏈接在一多用途高底盤的曳引機。圖1顯示此機含有四個主要組件：(1)電子元件(馬達與控制器)，(2)肥料筒，總容量爲120公升，(3)六組指針計量裝置，和(4)12個噴嘴。

在日本已有久保田公司(Kubota)、三菱公司(MITSUBISHI)及野馬農機株式會社(YANMAR)生產各式之深層施肥機。國內有高雄區農業改良場研製深層施肥機(王等人，1985，1990，1991)附掛在國產裕農牌YP-650型步行插秧機。

林與吳(1997)指出水稻機械深層施肥之優點爲：

1. 目前機械施肥作業是將插秧與施肥作業兩項工作同時交由插秧機及附掛之深層施肥器一次完成，可以較人工表面撒施法減少施肥次數 2~3 次。
2. 採用機械深層施肥可將肥料入表土內側施爲 3~4 公分，深施可達 8~10 公分，如此可提高肥料效果及減少施 肥用量，省工省成本。

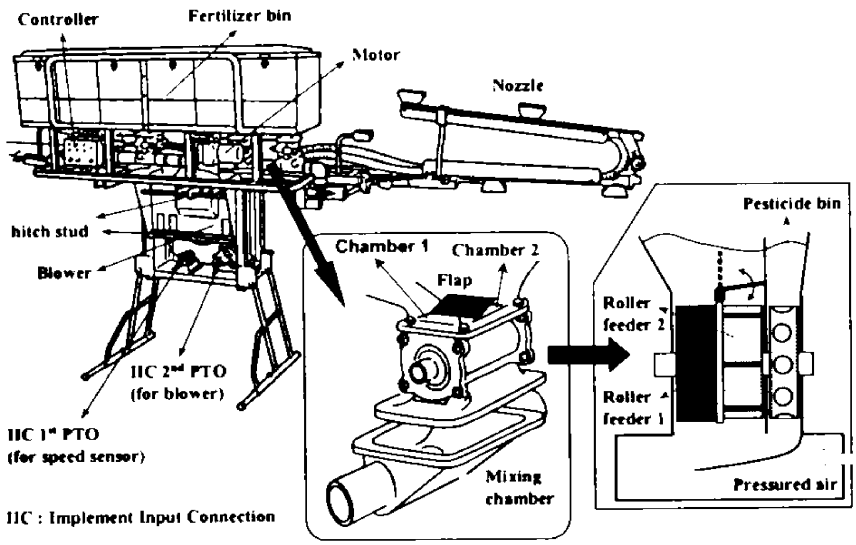


圖1. 粒肥施肥機 GS-MPV 8 (from Radite *et al.*, 2000)。

3. 因機械施肥可促進根系伸長，葉片較直立，使受光率較多植株較旺盛，並可增加有效穗數及促使穀粒飽滿，增加單位面積產量。

而王與葉(1997)報告指出83年第2期作稻穀產量以深層施肥處理平均產量4860公斤/公頃，比人工施肥增產8.6％，若以減少40％施肥量可增產10.3％。以側條施肥處理平均產量4790公斤/公頃，比人工施肥增產7.1％，若以減少40％施肥量可增產12.1％。

本研究以降低肥料用量與環保之觀念選擇使用深層施肥之技術，日本的機型在台灣有其不適用之處，如糊狀肥料之使用。所以本計畫遂以自行設計改良的深層可變率施肥機爲主要的工作目標。

貳、材料與方法

本試驗所使用之設備有插秧機、自製深層變率施肥機、鼓風機、發電機、PLC及臺肥5號肥料。

由於氮肥對作物之影響最大，因此以氮肥量作爲主要肥料計算，依據肥料作業手冊其氮肥之推薦量，一期作水稻氮肥推薦量150kg，以每分地(20m × 50m)，株距爲21cm，行距爲30cm，每兩棵中間爲施肥點爲例：

(1) 將氮肥推薦量150kg換算成臺肥五號肥料量爲150÷0.16＝937.5(kg/ha)
臺肥五號肥料之含氮量16％
(2) 機械實際用肥量爲
937.5×0.6 = 570(kg/ha)= 57(kg/0.1ha)
(3) 計算每點肥料量：(一分地20m×50m)
每行施肥點有2000/30/2 = 33(Spot)
每列用肥量：57/33 = 1.727(kg/row)
每點施肥量：1.727/(5000/21)= 7.25(g/Spot)
(4) 若知每分地之施肥量，由表1中可查得施肥時每點之施肥量。

施肥機裝置係直接安裝在插秧機上，爲減輕其負荷，又不影響作業機之耐用下，宜選用材質較輕，厚度較薄者。且直接與肥料接觸，肥料有腐蝕性故必需採用不鏽鋼或塑膠等材質。本施肥機需含有以下的元件以利完成變率施肥的動作。

一、肥料桶：

以不鏽鋼板製成，尺寸爲長42cm×寬30cm×高40cm，每筒肥料容重量約20kg，可供兩行水稻施肥之用。在肥料桶之側邊有一存量檢視窗，供操作者察看肥料統存量之用。且於輸肥輪之頂端加裝肥料開關控制板，以備將來八行插秧施肥時，可任意關住1－2條之肥料配出，可避免在同一位置重複施肥。肥料桶附有蓋子。

二、輸肥輪：

以乙聚龍製成，心軸爲不鏽鋼以防腐蝕，在輪之圓周面上鑿八個半圓形槽，內裝滑動板，輸肥輪作迴轉運動，如棘輪之動作，當插植爪每插植一株，輸肥輪轉45度。同時利用利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移，以達控制六段肥料輸出量。

三、集肥杯及肥料輸出管：

集肥器出肥口爲一Y形狀，使肥料盡量保持直線，同時集肥杯爲不鏽鋼製成內部噴上鐵伏龍粉末可使肥料粉末不附著在管壁上而造成阻塞，輸肥管徑爲39.4mm，並採用透明塑膠管，在管旁加裝吹氣裝置以加速肥料落下避免阻塞。

四、開溝犁：

表1. 肥料計量表(依株距及肥料每分地用量計算)，在兩秧苗中間施肥。(單位：公克)

分地用	12(cm)	14(cm)	16(cm)	18(cm)	21(cm)
35	2.55	2.97	3.39	3.82	4.45
36	2.62	3.05	3.49	3.93	4.58
37	2.69	3.14	3.59	4.04	4.71
38	2.76	3.22	3.68	4.15	4.84
39	2.84	3.31	3.78	4.25	4.96
40	2.91	3.39	3.88	4.36	5.09
41	2.98	3.48	3.98	4.47	5.22
42	3.05	3.56	4.07	4.58	5.35
43	3.13	3.65	4.17	4.69	5.47
44	3.20	3.73	4.27	4.80	5.60
45	3.27	3.82	4.36	4.91	5.73
46	3.35	3.90	4.46	5.02	5.85
47	3.42	3.99	4.56	5.13	5.98
48	3.49	4.07	4.65	5.24	6.11
49	3.56	4.16	4.75	5.35	6.24
50	3.64	4.24	4.85	5.45	6.36
51	3.71	4.33	4.95	5.56	6.49
52	3.78	4.41	5.04	5.67	6.62
53	3.85	4.50	5.14	5.78	6.75
54	3.93	4.58	5.24	5.89	6.87
55	4.00	4.67	5.33	6.00	7.00
56	4.07	4.75	5.43	6.11	7.13
57	4.15	4.84	5.53	6.22	7.25
58	4.22	4.92	5.62	6.33	7.38
59	4.29	5.01	5.72	6.44	7.51
60	4.36	5.09	5.82	6.55	7.64
61	4.44	5.18	5.92	6.65	7.76
62	4.51	5.26	6.01	6.76	7.89
63	4.58	5.35	6.11	6.87	8.02
64	4.65	5.43	6.21	6.98	8.15
65	4.73	5.52	6.30	7.09	8.27
66	4.80	5.60	6.40	7.20	8.40
67	4.87	5.68	6.50	7.31	8.53
68	4.95	5.77	6.59	7.42	8.65
69	5.02	5.85	6.69	7.53	8.78
70	5.09	5.94	6.79	7.64	8.91

由聚乙龍製成，尺寸爲長 11.0cm×寬 4.0cm×高 11.0cm。功用爲將地表剖開成溝，以便將肥料導入溝內，最佳裝置位置爲愈靠近插植爪處，愈能使機械插植秧苗不會發生缺肥現象。同時肥料落肥點之位置要在兩秧苗正中間，將來水稻生長才會整齊。

五、輸肥輪傳動

以插植臂由連桿、搖臂等驅動，故使插秧及施肥作業同步進行。

六、鼓風機：

利用鼓風機之風力將肥料吹入土壤中，並可防止輸肥管阻塞、加速肥料落下。

本研究設計施肥桶約裝20公斤之肥料。爲設計施肥桶及施肥輪滑槽之體積大小，應先知道肥料體積(V)與重量(M)之關係，利用台肥 5號肥料試驗結果得：

$$M = 0.843\ V \qquad (1)$$

施肥桶之構造圖如圖2，施肥輪主要是控制肥料之輸出量，本研究爲控制每施肥點爲8.8g、7.8g、6.8g、5.8g、4.8g、及3.8g六段之肥料量。而施肥輪槽之計算：利用式(1)來計算施肥輪槽之體積。

槽之半徑爲1.2公分

面積爲$1.2\times1.2\times\pi\div2=2.26cm^2$

肥料密度爲$0.84\ g/cm^3$

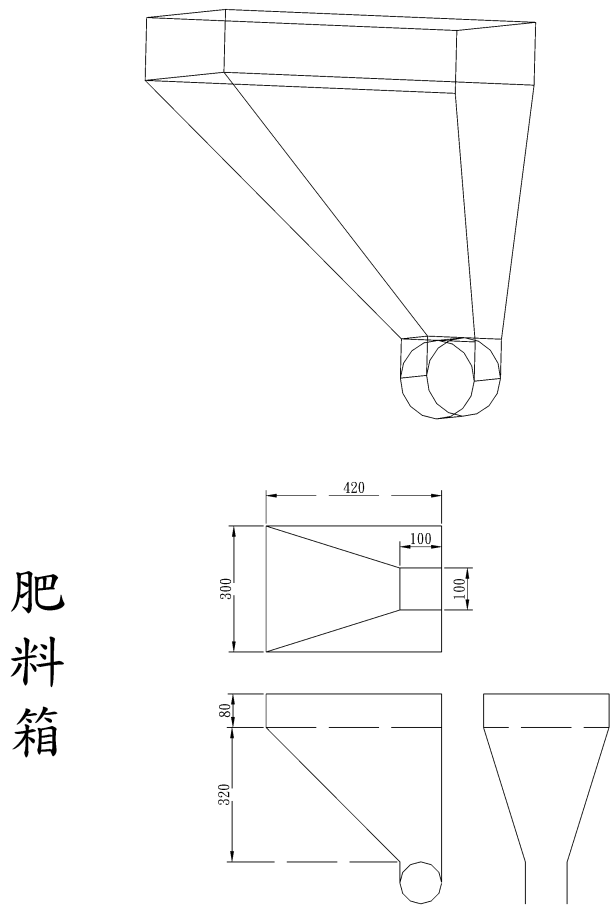


圖2. 肥料桶之構造圖。

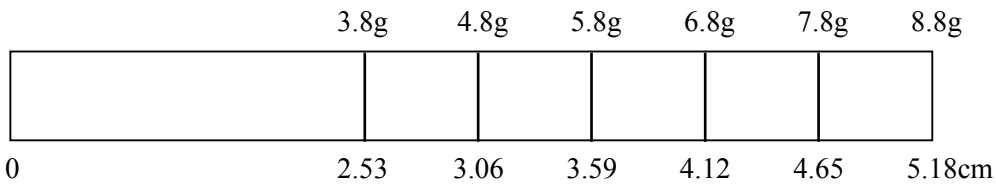


圖3. 施肥量與滑槽之相關位置圖。

施肥量有8.8g、7.8g、6.8g、5.8g、4.8g、3.8g，以3.8g計算體積爲

$3.8g / (0.84g/cm^3) = 4.52cm^3$

所以施肥量3.8 g時滑槽之長度爲：

$4.52cm^3 / 2.26cm^2 = 2cm$

而每增加1g之滑槽長度需增加

$1g / (0.84g/cm^3) = 1.19\ cm^3 \rightarrow 1.19cm^3 / (2.26cm^2) = 0.53cm$

如施肥量爲4.8g時，滑槽長度即爲

2＋0.53＝2.53cm

同理可得施肥量與滑槽之相關位置，如圖3。此外，爲確保肥料落在秧苗旁，故插植時間和肥料落下時間要一樣，插植時間之計算依陳(1993)四連桿式插植機構之運動分析與設計準則得插植爪之軌跡方程式，若考慮插秧機的作業速度，其水平方向的軌跡方程式爲：

$$Xp = r_2 \cos(\theta_1 + \beta) - r_p \cos(\theta_2 - \lambda - \beta) - r_5 \cos(\theta - \beta) - vt \quad (2)$$

r_2 ：曲柄長度，
r_5 ：連接桿伸出長度，
r_p ：插植爪長度，
v ：插秧機作業速度，
B_1 ：固定桿與曲柄之夾角，
θ_2 ：連接桿與固定桿夾角，
β ：固定桿與X座標夾角，
λ ：連接桿與插植爪夾角，
t ：時間。

而株距與插植速度及曲軸轉速之關係式爲：

株距 = 插植速度 / 曲軸轉速 × 60 (3)

本研究使用之插秧機爲日本久保田SPA85乘坐式插秧機，其插植速度=1.35m/sec，株距有12cm、14cm、16cm、18cm及21cm五種。由上述兩公式，可計算每一秧苗之插植時間如表2所示。

而肥料自然落下時間，依據牛頓之運動定律：

$$V = Vo + at \quad (4)$$

$$S = Vot + 0.5at^2 \quad (5)$$

其中，
V_o ：初速，
V ：末速，
S ：距離，
a ：加速度，
t ：時間。

肥料落下距離設爲80cm，同時肥料最後落在地上其末速度(V)爲0而得：

表2. 各種株距之插植時間。

株距(cm)	曲軸轉速 (rpm)	插植時間(sec)
21	385.7	0.156
18	450.0	0.133
16	506.3	0.119
14	578.6	0.104
12	675.0	0.089

$V_o = 9.8t$

$0.8 = 9.8t^2 - 4.9t^2$

所以 $t = 0.404$(sec)

$V_o = 3.959$ (m/sec)

插植時間和肥料自然落下時間差距太大，故爲加速肥料落下，配合插植機構插植時間而加裝鼓風機，同時因有五種株距，因此要計算五種加速風量，爲達風量之改變，在鼓風機加一變頻器以改變鼓風機之轉速，進而改變風量。

有插植時間，再應用牛頓之運動定律，可求得肥料加速落下之初速度，再應用流體力學之連續方程式就可求出理論風量，而應用流體力學之相似定律可計算風量與轉速之關係。

1. 連續方程式

$Q = 100AV$ (6)

其中，Q：流量(cm^3/min)

A：面積(cm^2)

V：速度(m/min)

2. 流量相似定律

$Q_1/Q_2 = (D_1/D_2)^2(N_1/N_2)$ (7)

軸動力相似定律

$L_1/L_2 = (\gamma_1/\gamma_2)(D_1/D_2)^5(N_1/N_2)^2\gamma$ (8)

其中，L：軸動力(kw)

D：管直徑(m)

γ：比重量(kgf/m^3)

N：轉速(rpm)

計算方法如下：

插秧機之插植速度= 1.35m/sec

株距 = 插植速度 / 曲軸轉速× 60

$V = V_o + at$

$S = V_o t + 0.5at^2$

當V= 0 , S = 80cm , t = 0.156sec

(S = 肥料自輸肥輪下方至土壤距離)

則$0 = V_o + 0.156a$ (9)

$0.8 = 0.156V_o + 0.012168a$ (10)

由(9) (10)式得

$V_o = 10.29$m/sec

$a = 65.75$m/sec2

$Q = AV$

輸肥管直徑 = 4 cm

面積 $A = 2\times2\times3.14159$

$= 12.57\ cm^2$

$Q = 12.57\times10.29\times60/10000$

$= 0.7761 m^3/min$

同理可計算不同株距所得之插植時間, 初速及鼓風機風量，其結果如表3。

參、結 論

表3. 不同株距所得之插植時間、初速及鼓風機風量。

株距(cm)	曲軸轉速 (rpm)	插植時間(sec)	初速Vo(m/s)	流量Q(m3/min)
21	385.7	0.156	10.29	0.776
18	450.0	0.133	12.00	0.905
16	506.3	0.119	13.50	1.018
14	578.6	0.104	15.43	1.164
12	675.0	0.089	18.00	1.358

本研究目標爲開發適合國內水稻田所使用的可變率施肥機，由於深層施肥機的優點而選用此種作業方式，肥料桶、輸肥輪、肥料計量器、集肥杯及肥料輸出管、開溝犁等根據以上的設計與分析、組合(圖4及圖5)，利用現有的插秧機，將雛形機(圖6)打造出來。

本施肥機採用台肥5號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲農試所推薦量之60%，375－675kg/ha。採隔行在兩秧苗中間定量施肥，其每點施肥量在8.8g至2.6g，故取施肥量分六組，爲每施肥點施肥8.8g，7.8g，6.8g，5.8g，4.8g及3.8g。施肥深度約6－8公分並覆土。肥料配出由輸肥輪作動，肥料輪上有施肥爪，利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移以達六段施肥控制。肥料輪作迴轉運動如棘輪之作動，使肥料自輸肥輪凹槽中落入集肥杯及肥料輸出管而掉入土壤中，輸肥輪之動力來自插秧機之插植爪，

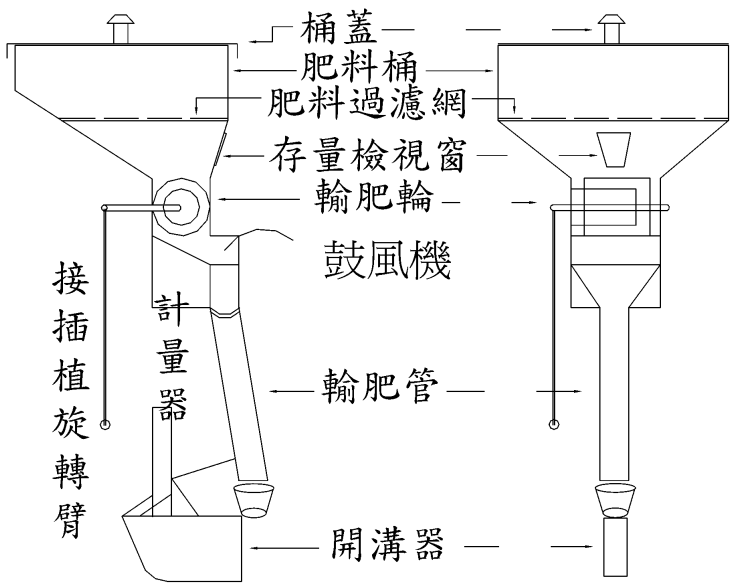


圖4. 深層變率施肥機構造圖。

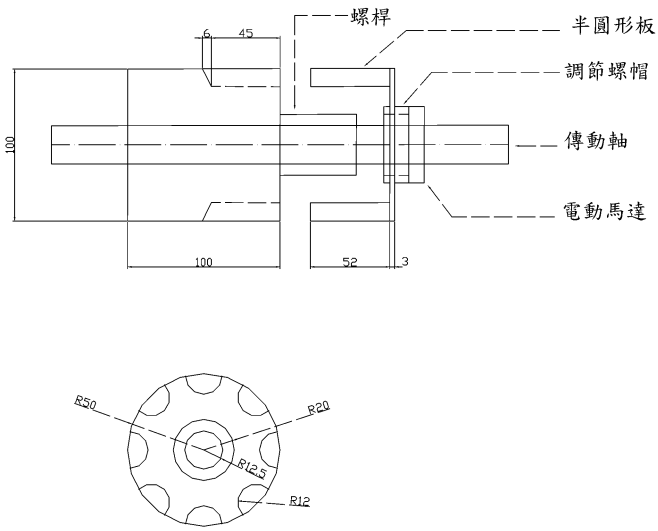


圖5. 施肥輪之構造。



圖6. 可變率深層施肥機之雛型機體圖。

即能與插植爪同步動作。由文獻中得知，肥料在斜度62度以上，其流動性最佳，不產生死角。故肥料箱之角度設計取62度，其長寬高尺寸分別爲42cm× 30cm×40cm，每筒肥料容量約20kg。

由於許多零件並非規格化之成品，開發的時間耗費較長，功能性的測試必須再多做試驗之後方能做調整與改進至田間使用。

肆、引用文獻

1. 三菱MPR 85H插秧機附掛施肥機。三菱農機型錄。大地菱農業機械進口。
2. 王明茂、李明堆、黃志明。1985。插秧機附掛深層施肥機改良與示範。七十四年農機研究發展與示範推廣報告167-170。
3. 王明茂、陳秀文、遊景昌。1990。動力插秧機附掛施肥器之研究改良。七十九年農機研究發展與示範推廣報告221-227。
4. 王明茂、陳秀文、遊景昌。1991。動力插秧機附掛施肥器之改良。八十年農機研究發展與示範推廣報告(下) 275-280。
5. 王明茂、葉俊賢。1997。動力插秧機附掛施肥器之研究改良(三)。高雄區農業改良研究彙報9(1)：60-71。
6. 林安邦、吳玉竹。1997。台東地區水稻肥培管理。台東區農業改良場。
7. 林木連，郭鴻裕，黃維廷，張明暉。2000。土壤變異之精準管理。pp. 54-64。水稻精準農業(耕)體系之研究。行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
8. 陳文吉。1993。插秧機插植機構之最佳化設計。碩士論文。國立中興大學農業機械工程系。台中。
8. 連深。1997。我們的水田該減肥了。http://www.tari.gov.tw。
9. Lee, C. K., M. Umeda, J. Yanai, M. Iida and T. Kosaki. 1999. Grain Yield and Soil Properties in Paddy Field. ASAE Paper No. 991057. St. Joseph, MI. U.S.A.
10. Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of Precision Agriculture. Adv. in Agronomy 67:1-85.
11. Radite, P. A. S., M. Umeda, M. Iida and M. Khilael. 2000. Variable Rate Fertilizer Applicator for Paddy Field. ASAE Paper No. 001156. St. Joseph, MI. U.S.A.
12. Yanai, J., C. K. Lee, M. Umeda and T. Kosaki. 2000. Spatial Variability of Soil Chemical Properties in the Paddy Field. Soil Science and Plant Nutrition 46(2):473-482.

16 Study of The Variable Rate Fertilizing System

L. C. Hsieh[1], J. M. Luan[1], C. W. Hsieh[1] and L. D. Hwang[2]
[1] Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC
[2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC
E-mail:lchsieh@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Rice is the object plant for the research and a rice transplanter was used to develop a variable rate machine to carry and apply variable amount of fertilizer in the field. A machine driven underground applying skill was used and it could reduce 40% chemical application comparing with manual application. The applying times could be down 2 to 3 times as well, yet increasing the yield. Since the chemical was buried in the soil, it would not be washed out. In addition, it would reduce the pollution on the land as well as avoid acidulating the soil. Therefore, a device for applying chemicals underground was developed attaching to a Kubota SPA6 rice transplanter. A local compound chemical, #5, was used in the research. The applying amount was about 60% of the recommending amount from Taiwan Agricultural Research Institute, 375 - 675 kg/ha. In the rice field, applying in alternate line and applying certain amount of chemical between two lines of rice plants were considered. The quantity of chemical to be applied on each spot was ranged from 8.8 to 2.6 grams. There were six scales used for different demands, 8.8g, 7.8g, 6.8g, 5.8g, 4.8g and 3.8g. The applying depth was about 6 to 8 cm. There was a delivering wheel designed to rotate to transfer chemical associated with an adjustable block, which is driven by a Programmable Logic Controller (PLC) based servomotor for 6 chemical rates. The wheel moves back and forth to deliver chemicals. This wheel is concaved and is able to hold chemical and let the chemical drop into a collecting cup then through an output hose into soil. The power to drive the wheel comes from the transplanting finger of the transplanter so that the chemical application is able to work simultaneously with the transplanting. Based on literatures, the

best chemical flowing angle in a tank is no less than 62 degrees and the tank slop used in the research was set at this value. The dimension of each chemical tank was set to 40 cm x 30 cm x 62 cm for width, depth and height, respectively. The capacity of each tank is about 31 kg. The Global Position System (GPS) has not been installed in the system for this year.

Key words: Rice(*Oryza sativa* L.), Rice transplanter, Underground chemical application.