

# 水稻 移秧勞動의 省力化 研究

## 第 3 報. 水稻草型別 移秧密度와 施肥量의 相互作用 反應模型 解析

具滋玉\* · 李榮萬\*

### Labor-saving Feasibilities in Transplanting of Paddy Rice

#### III. Intepretation of Interactions between Transplanting Density and Fertilizer Application in Paddy Rice

Ja Ock Guh\* and Young Man Lee\*

#### ABSTRACT

The yield responses of three isogenic lines in plant type of paddy rice(open-, spread- and broom-type) as affected by combined treatments of transplanting densities (47.62, 22.22, 15.15, 11.11 and 8.33 hills per sq. meter) and rates of fertilizer application (0, 0.5, 1.0 and 1.5 folds of standard rate) were studied by using of the partial differentiations by planting density(D): $df(D,F)/dD$ , fertilizer rate(F): $df(D,F)/dF$ , and their interaction(DXF): $d^2f(D,F)/dDdF$  from the multiple regression polynominal equations. Under the condition of wider planting, the broom-type showed most prominent and sensitive responses in yield among others. Also the action of transplanting density in the broom-type were positive both at lower and higher densities. Under the lower densities, the broom-type represented positive actions both at lower and higher rates of fertilizer application. Whereas the interactions between the density and fertilizer rate under the lower densities were rather negative. To achieve the labor-saving by lower transplanting density(11-14 hills per sq. meter), the amount of fertilizer rates were estimated as 1.3-1.5 folds much of the standard in the open-type, whereas more than 1.5 folds in the broom-type. Thus, the potentials to absorb more amounts of fertilizer may explain the compensating function of the broom-type for equivalent yields of the standards at reduced transplanting densities.

#### 緒 言

筆者들을 前報<sup>5,6)</sup>에서, 慣行의 m<sup>2</sup>當 22株植으로부터 8株까지 疎植함에 따라 所要勞動力을 35.9%로 減尠시킬 수 있으며, 이를 위해서는 Open-type의 경우 1.28倍肥가 要求됨을 報告한 바 있다. 이들 研究<sup>5,6)</sup>는 Kira 등<sup>8)</sup>, Murata<sup>11)</sup>, Hayashi<sup>7)</sup>, Ta-

keda 등<sup>13)</sup>의 最終收量一定의 法則을 前提條件으로 이루어진 것이다. 이는 “一定期間을 生長하는 植物群落은 栽植密度를 變化시켜도 單位面積當의 總乾物重이 一定하다”는 內容으로서 生育時期別로 個體乾物重(w)과 密度(d) 사이에 “ $wd^a = k$ ”(단, a와 k는 常數)가 成立되며, 生育進展에 따라 a는 1에 接近되므로 最終으로는  $wd = 乾物重 = k$ (常數), 즉 一定한 水準에 歸着되고, 특히 水稻와 같은 禾穀類에

\* 全南大學校 農科大學 (College of Agriculture, Jonnam National University, Kwangju 500, Korea)  
(1985. 3. 8. 接受)

에서 잘 成立이 된다고 하였다.<sup>8,11)</sup>

그러나 前者의 研究들<sup>5,6)</sup>은 이들 “最終收量一定의 法則”을 實現시키기 위한 施肥補償이 要求되고 있었으며, 植物의 草型에 따른 反應差異가 있었음을 밝히고 있다. 따라서 本研究는 草型別로 移秧密度와 施肥量間에 相互作用의 成立特性을 밝히기 위하여 試圖되었다.

一般的으로 두개 이상의 要因間 相互作用效果는 分散量의 檢定方式으로 判定을 하고 있다. 그러나 試驗誤차를 同伴한 狀態에서의 分散量計算에 의한 相互作用은 概念上 蹉跌을 갖게 된다.<sup>2)</sup> 따라서 微積分學的인 研究方法들이 제시되고 있으며 이는 連續性인 獨立變量(例, 施肥量·投藥量·生長調節劑의 處理濃度 등)이 나타내는 連續的인 函數關係의 前後變動에 의하여 要因間의 單獨效果 및 相互作用 效果를 判定하려는 方法이다. Drury (1980)<sup>2)</sup>가 提示한 바에 의하면 A, B의 두 要因이 나타내는 單獨效果는 각각  $df(A, B)/dA$  와  $df(A, B)/dB$  이며 AB의 相互作用效果는  $d^2f(A, B)/dAdB$ 로 表現될 수 있다고 하였다.

本研究는 不連續變量인 移秧密度와 連續變量인 施肥量間의 相互作用을 解析할 目的으로 試圖되었기 때문에 Drury의 해석법과는 다소 相違한 바 있다. 그러나 前報<sup>6)</sup>에서 이미 統計的 相互作用을 밝힌 바 있으며, 本報에서는 다만 水稻收量과 移秧密度 및 施肥量間의 單獨作用과 相互作用 特性을 水稻型間에 比較檢討할 목적이었으므로 Drury 法을 適用하였다.

### 材料 및 方法

本 試驗에 使用한 資料는 前報<sup>6)</sup>의 收量反應 調查

值로서, 供試되었던 水稻草型의 Isogenic Line 은 Broom-type (垂直~30° 裂開 : wx 509-6-1-1-1-2)와 Open-type (30°~60° 裂開 : wx 509-6-1-3-2) 및 Spread-type (60° 以上 裂開 : wx 509의 母本인 IR 667-98-22)였다.<sup>2)</sup> 移秧密度는 m<sup>2</sup>當 47.62, 22.22, 15.15, 11.11, 8.33 株의 5水準으로, 施肥量은 無肥, 減肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=7.5-3.5-4.0 kg/10a), 普肥(15.0-7.0-8.0), 增肥(22.5-10.5-12.0)의 4水準으로 處理되었다.

이들 調査值들은 Drury (1980)<sup>2)</sup> 및 Campbell 등(1981)<sup>11)</sup>의 方法에 의하여 移秧密度(D)와 施肥量(F)의 處理組合을 근거로 하는 15個獨立變量, 즉 D, D<sup>2</sup>, D<sup>3</sup>, F, F<sup>2</sup>, F<sup>3</sup>, DF, ... D<sup>3</sup>F<sup>2</sup> 및 D<sup>3</sup>F<sup>3</sup>로 구성되는 Multiple regression polynomial equation을 算出하였다. 算出된 數式으로부터  $aD^m F^n : \delta(aD^m F^n)/\delta D = am D^{(m-1)} F^n$ ,  $\delta(aD^m F^n)/\delta F = an D^m F^{(n-1)}$  및  $\delta^2(aD^m F^n)/\delta D \delta F = amn D^{(m-1)} F^{(n-1)}$ 으로 偏微分함으로써 移秧密度의 作用效果 [ $\delta f(D, F)/\delta D$ ], 施肥量의 作用效果 [ $\delta f(D, F)/\delta F$ ] 및 移秧密度×施肥量의 相互作用效果 [ $\delta^2 f(D, F)/\delta D \delta F$ ]를 구하여 解析하였다.

### 結果 및 考察

前報<sup>6)</sup> 圖 2에 提示하였던 바, 移秧密度 施肥量變動에 따른 3個 作物草型間의 收量反應은 大體로 類似한 傾向으로 處理水準 增大는 增收을 나타내었다. 그러나 Open-type은 密度 및 施肥量에 모두 敏感한 反應을 보인 反面, Broom-type은 주로 密度에 따른 反應에서 敏感한 傾向이었다.

이들 實測된 收量은 試驗誤차를 同伴하고 있기 때문에 供試되었던 모든 處理組合의 收량이 一般的인

**Table 1.** Multiple regression polynomial equations in the paddy yields(y) as affected by 20 combined treatments of transplanting density (D) and application rates of fertilizer (F).

Isogenic lines in plant type	Algebraic expressions(15 independent variables)	R <sup>2</sup>
Open-type	$y = -100.54 + 47.35 D - 1949.81 F - 0.61 D^2 + 2015.94 F^2 + 0.0003 D^3 - 591.17 F^3 + 380.69 DF - 372.17 DF^2 + 104.11 DF^3 - 18.47 D^2 F + 17.66 D^2 F^2 - 4.8 D^2 F^3 + 0.24 D^3 F - 0.22 D^3 F^2 + 0.06 D^3 F^3$	0.996**
Spread-type	$y = -433.07 + 103.31 D + 743.9 F - 3.17 D^2 - 1874.04 F^2 + 0.03 D^3 + 930.18 F^3 - 100.32 DF + 319.84 DF^2 - 162.49 DF^3 + 4.19 D^2 F - 14.8 D^2 F^2 + 7.57 D^2 F^3 - 0.05 D^3 F + 0.2 D^3 F^2 - 0.1 D^3 F^3$	0.996**
Broom-type	$y = -1030.59 + 201.7 D - 455.11 F - 7.48 D^2 + 461.69 F^2 + 0.09 D^3 - 113.53 F^3 + 116.81 DF - 100.77 DF^2 + 27.12 DF^3 - 6.04 D^2 F + 4.65 D^2 F^2 - 1.19 D^2 F^3 + 0.08 D^3 F - 0.05 D^3 F^2 + 0.01 D^3 F^3$	0.971**

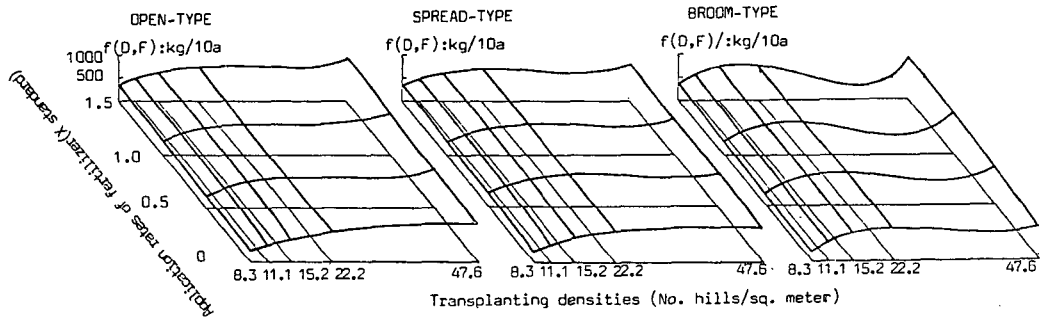


Fig. 1. Estimated variations in paddy yields(kg/10a) of three isogenic lines as a function of transplanting densities (D) and application rates of fertilizer(F),  $f(D, F)$ .

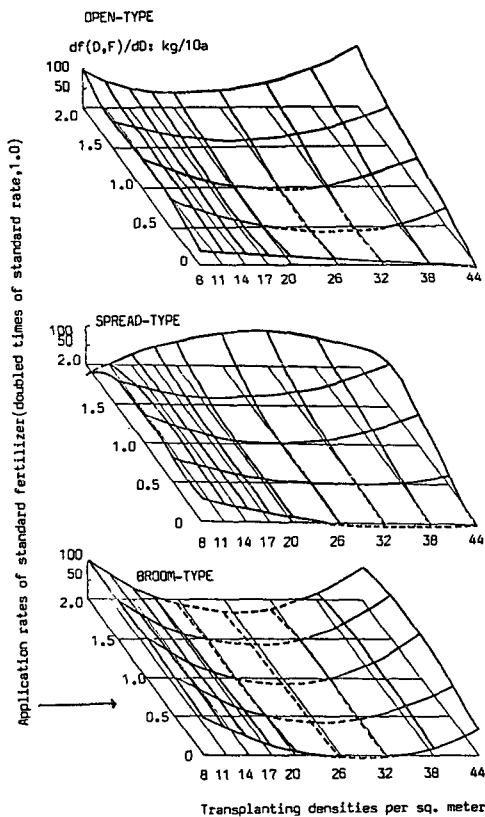


Fig. 2. The action of transplanting densities per sq. meter on the paddy yields per 10a,  $df(D, F)/dD$ .

傾向을 完全히 說明하지는 못하고 있다. 따라서 供試되었던 20個 組合의 收量을 15個 獨立變量의 Multiple regression polynomial 數式<sup>4)</sup>으로 固定시킨 結果 表 1과 같이 有意的으로 算出되었다.

이들 固定된 數式에 의하여 3種 水稻 Isogenic line의 移秧密度 및 施肥量에 따른 理論的 收量反應

을 推定한 結果 圖 1과 같았다. 즉 施肥量 增加에 따른 收量反應은 3種草型 모두에서 비슷하였으나 栽植密度에 따른 反應 및 密度×施肥量의 相互作用에 있어서는 Broom-type이 特異한 樣相을 보였다. Broom-type에서는 移秧密度가  $m^2$ 當 8株에서 15株로 增加됨에 따라 다른 草型에서보다 增收反應이 예민하였고, 또한  $m^2$ 當 45~48株로 密植된 경우에 施肥量과의 相互作用效果가 커지는 傾向이었다. 특히 다른 草型에서는  $m^2$ 當 22株부터 48株까지 增加되는 동안 減收하는 傾向이 없었으나 Broom-type에서는 오히려 減收가 推定되었으며, 이러한 傾向은 增肥될수록 커지는 것으로 나타났다. 이런 理由로 增肥된 狀態下에서  $m^2$ 當 11~22株의 收量은 Broom-type에서 가장 클 것으로 推定되었다.

두 處理要因 相互間의 作用力 및 相互作用力을 測定·解析하기 위하여 表 1에 提示하였던 Multiple regression polynomial 數式을 각각  $\delta D$ ,  $\delta F$  및  $\delta D \delta F$ 에 대하여 偏微分을 함으로써  $\delta f(D, F)/\delta D$ ,  $\delta f(D, F)/\delta F$  및  $\delta^2 f(D, F)/\delta D \delta F$ 를 算出하였다.

따라서 偏微分値의 크기는 주어진 處理水準에서 한 單位의 處理量이 增加할 경우에 效果의 變動潛在量 크기를 各 座標軸으로부터의 角度로 나타낸 것이며, 偏微分値가 "0"일 때에는 最小 혹은 最大의 反應을 일으키는 處理水準을 가리키고, 最大 및 最小의 偏微分値는 最適 및 最不適의 處理水準을 가리키게 된다<sup>4)</sup>

즉, 移秧密度나 施肥量의 作用力은 주어진 두 處理組合下에서 移秧密度나 施肥量을 한 單位 增加시키는 데 따른 作物收量의 變動可能量을 의미하고, 移秧密度(D)×施肥量(F)의 相互作用力은 주어진 두 處理組合의 條件下에서 두 處理要因을 모두 한 單位

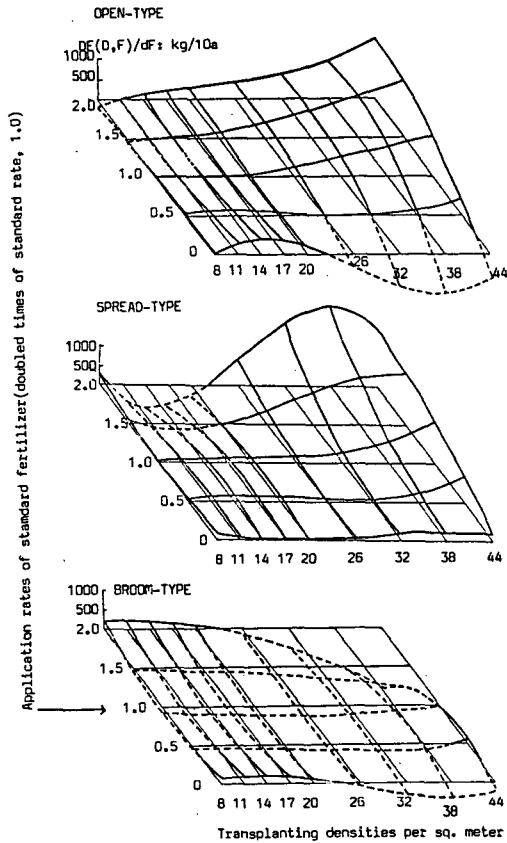


Fig. 3. The action of the application rates of standard fertilizer(doubled times of standard rate, 1.0) on the paddy yields per 10a,  $df(D, F)/dF$ .

씩 증가시켰을 경우의 작물수확 변동가능량을 의미하게 된다.

따라서 주어진 施肥條件下에서 移秧密度의 한 單位 增加에 따른 移秧密度의 作用力( $\delta f(D, F)/\delta D$ :  $kg/10a$ )은 Open-type과 Broom-type이 비슷하고 Spread-type이 다소 特異한 傾向이었다(圖 2). 즉 Spread-type은  $m^2$ 當 26~32株 範圍에서 增肥에 따른 收量에의 寄與特性이 컸던 反面, Open-type과 Broom-type은 施肥量에 관계없이 移秧密度가  $m^2$ 當 20株 미만이거나 35株 以上인 範圍에서 密度增加의 可能性이 있었다. 이러한 傾向은 Open-type보다 Broom-type에서 뚜렷하였으며, Broom-type의 경우 疎植에서는  $m^2$ 當 18~20株가 最大密度限界였고, 密植에서는 32~35株가 最小密度限界인 것으로 나타났다. 이와 같은 結果는 前報<sup>6)</sup>에서

도 檢討되었듯이, Broom-type의 경우, 疎植條件下에서의 分蘗力이 떨어지는 反面에 密植條件 適應力이 높기 때문인 것으로 解析이 된다.

한편, 주어진 移秧密度下에서 施肥量 한 單位의 增加에 따른 施肥量의 作用力( $\delta f(D, F)/\delta F$ :  $kg/10a$ )은 3個草型 모두가 相異한 特性을 나타내었다(圖 3). 즉, Open-type은 移秧密度가 높은 條件일수록 施肥增加分の 作用力이 컸던 反面에 Spread-type은 낮은 移秧密度에서의 施肥增加분이 갖는 作用力은 오히려 Negative 傾向이었으며, Broom-type은 高密度에서의 施肥量 增加분이 Negative의 作用力을 보였으나 低密度에서의 施肥增加는 0.5倍肥 以下의 水準과 1.5倍肥 以上의 水準에서 Positive한 作用力을 보였다. 本研究은 可能한 低密度條件下에서 施肥에 의한 標準收量 補償力이 높은 草型을 探索하는 데 目的이 있다. 따라서 Spread-type은 低密度에서의 Positive한 施肥의 限界量이 約 1.3倍肥에 머무는 대신 Open-type과 Broom-type은 低密度에서 1.5倍肥 以上의 施肥로 Positive한 收量에의 寄與可能性을 보이고 있다.

그러나 密度와 施肥間의 相互作用力은 Broom-type의 경우 低密度에서 全般的으로 Negative했던 反面 Open-type의 경우에는 低密度와 高密度의 兩條件下에서 增肥에 따른 相互作用力이 漸增되는 傾向을 보였다(圖 4).

以上の 分析結果를 綜合해 볼 때, 각 處理要因 가운데 收量에 대하여 보다 큰 幅으로 敏感한 作用力을 보인 것은 施肥量이었다. 移秧密度의 作用範圍가 0~100, 혹은 0~200  $kg/10a$ 이었던 點으로 미루어 알 수 있다. 이와 類似한 結果는 Matsushima(1970)<sup>10)</sup>에 의해서도 報告된 바 있다.

앞의 圖 1에서는 小肥水準에서의 絶對收量性이 比較的 Broom-type에서 높았던 것으로 表現되어 있으나 이는 本研究의 供試材料인 3草型 Isogenic line들이 完全성이 없는 Near-isogenic line들이었기 때문으로 解析이 되므로<sup>12)</sup>, 本稿에서는 絶對收量 자체보다도 密度 혹은 施肥量 變動에 따른 反應差異로 解析하는 것이 바람직하다. 따라서 收量構成에 制限要因格인 面積當 穗數確保가 密植한 경우에는 施肥量을 減少시키는 條件下에서만 認定된다고 報告한 Matsushima<sup>10)</sup>의 一般論을 받아들임으로써 疎植多肥의 當爲性이 認定된다. 그러나 施肥量의 作用力이 疎植에서 陽性反應을 보인 것은 Open-type과

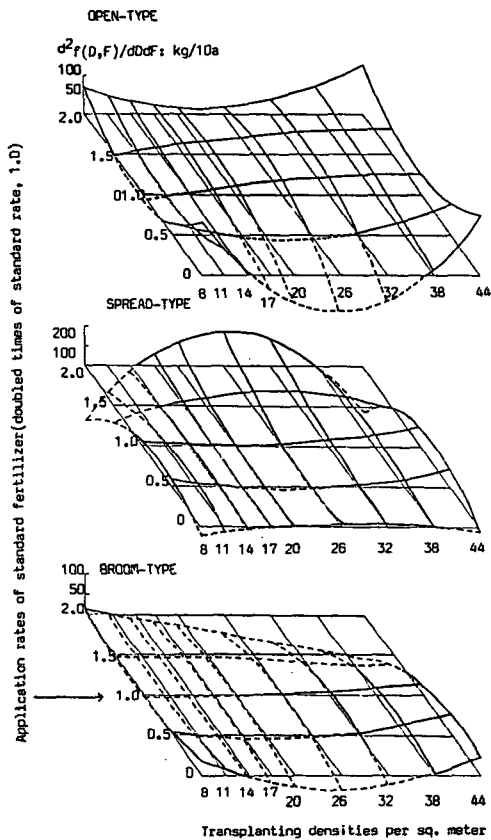


Fig. 4. The interaction of the transplanting densities (D) and application rates of standard fertilizer (F) on the paddy yields per 10 a,  $d^2f(D, F)/dDdF$ .

Broom-type 에서였다(圖 3). 즉 본 試驗의 경우, 水稻草型에 多肥性과 小肥性이 있다는 Murada (1975)<sup>11)</sup>의 견해는 認定이 되었으나 小肥型은 消散葉型이고 多肥型은 直立葉型이라는 宮地 등<sup>15)</sup>의 意見이나 垂直葉型보다 水平葉型의 物質生産力이 높다고 한 Loomis 등<sup>9)</sup>의 意見은 一定한 栽植密度下(本 研究의 경우에는  $m^2$  當 20 株 以上)에서 限定되는 것으로 보인다.

따라서 標準密度下에서 增肥에 適應力이 큰 草型은 Spread-type 이라 할 수 있겠으나 密植多肥에는 오히려 Broom-type 의 草型이 유리할 것으로 判斷이 되었다. 이는 Broom-type 의 草型이 적어도 1.5 倍肥 以上의 多肥條件下에서 分蘖에 의한 面積當 穗數確保 및 直立性인 莖葉의 草型에서 穗當穎花數의 確保가 원만하게 이루어지기 때문인 것으로 解析이 된다. 또한 前報<sup>5)</sup>에서는 試驗誤차를 同伴한 直

線回歸推定에 의하여 Open-type 보다 Broom-type 에서 所要增肥率이 낮았던 것으로 判斷하였으나 本報의  $m^2$  當 11~14 株에서의 所要施肥推定量에 의하면 Open-type 이 1.3~1.5 倍肥, Broom-type 은 1.5 倍肥 以上으로서 오히려 Open-type 보다 Broom-type 의 경우 密度와 施肥量間에 全般的으로 陰性인 相互作用力을 나타내었던 데 기인할 것으로 보인다.

## 摘 要

草型이 다른 3種의 水稻 Isogenic line(Open-Spread- 및 Broom-type)을 5 水準의 移秧密度( $47.62, 22.22, 15.15, 15.11$  및  $8.33$  株/ $m^2$ )와 4 水準의 施肥條件(增肥, 普肥, 減肥 및 無肥)에 供試하여 얻은 收量資料<sup>2)</sup>를 Multiple regression polynomial 數式으로 固定하고 偏微分하여 密度와 施肥 및 密度×施肥의 作用力을 解析하였다. 그 結果는 다음과 같다.

1. 疎植條件下에서의 密度變動에 따른 收量 反應은 Broom-type 이 가장 높고 예민하였다(圖 1).
2. 移秧密度의 作用力( $\delta f(D, F)/\delta D$ )은 Open-, 및 Spread-type 이 多肥에서 높아지는 대신에 Broom-type 은 施肥와 關係없이 疎植 및 密植에서 높은 傾向이었다(圖 2).
3. 施肥率의 作用力( $\delta f(D, F)/\delta F$ )은 0~1000  $kg/10a$  範圍로서 Open- 및 Spread-type 에서는 密植條件下에서 높았으나 Broom-type 에서는 疎植條件下에서 小肥 및 多肥의 作用力이 큰 傾向이었다(圖 3).

4. Broom-type 의 疎植條件下에서 密度×施肥의 相互作用力( $\delta^2f(D, F)/\delta D\delta F$ )은 陰性을 나타내었고, Open- 및 Spread-type 은 標準 및 密植과 增肥條件에서 陽性을 나타내었다(圖 4).

5.  $m^2$  當 11~14 株의 疎植條件下에서 推定되는 所要施肥水準은 Open-type 이 1.3~1.5 倍肥인 反面에 Broom-type 은 1.5 倍肥 以上의 水準인 것으로 判斷되었다.

6. 疎植에 의한 移秧勞動의 省力化를 위해서는 多肥受容이 可能한 Broom-type 의 研究가 필요할 것으로 解析이 된다.

## 引 用 文 獻

1. Campbell, T. A., W. A. Center and L. L.

- Danielson, 1981. Evaluation of Herbicide Interactions Using Linear Regression Modeling. *Weed Sci.* 29 : 378-381.
2. Drury, R. E. 1980. Physiological Interaction, Its Mathematical Expression. *Weed Sci.* 28 : 573-579.
  3. 具滋玉, 李榮萬, 1983. 草型の Isogenic Line 을 이용한 水稻移秧의 省力化構型 研究. 韓國科學財團研究報告書. pp.70.
  4. Guh J. O., Y. W. Cho, S. L. Kwon and W. E. Lee. 1984. Interaction in Model of Herbicide Combination Using Oxyfluorfen to Control Orchard Weeds. *Kor. J. Weed Sci.* 4-1 : 88-95.
  5. \_\_\_\_\_, Y. M. Lee and K. S. Lee. 1985. Labor-saving Feasibilities in Transplanting of Paddy Rice. I. Variations in Labor Requirements in Transplanting of Paddy Rice under the Various Planting Densities. *Kor. J. Crop. Sci.* 30 : 20-25.
  6. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_ 1985. Labor-saving Feasibilities in Transplanting of Paddy Rice. II. Variations in Yield Compatibility of Various Typed Isogenic Lines of Paddy Rice as Affected by Different Planting Densities with Fertilizer Applica-
  - tions. *Kor. J. Crop Sci.* 30 : 117-125.
  7. Hayashi K. 1966. Efficiencies of Solar Energy Conversion in Rice Varieties as Affected by Planting Density. *Jap. J. Crop Sci.* 35 : 205-211.
  8. 吉良龍夫, 1961. 作物の收量と栽植密度. 農業及園藝 36 : 147.
  9. Loomis R. S., W. A. Williams and A. E. Hall. 1971. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22 : 431.
  10. Matsushima S. 1970. *Crop Science in Rice. - Theory of Yield Formation and It's Application.* Fuji Co. pp. 379 : 60.
  11. 村田吉男, 1975. 作物の光合成と生態. -作物生産の理論と應用. 農漁文協 276 : 169-191.
  12. 朴淳植, 李榮泰, 安種雄, 1981. 水稻 Semi-dwarf 草型에 있어서 開度(Openess)의 遺傳現象. 韓育種誌 13次(秋季)發表.
  13. Takeda T. and O. Hirota. 1971. Relationship between Spacing and Grain Yield of Rice Plant. *Jap. J. Crop Sci.* 40 : 381-385.
  14. 戸苺義次, 1972. 作物の光合成と物質生産. 330-338.
  15. 宮地重遠, 村田吉男, 1980. 光合成と物質生産. 植物による太陽エネルギーの利用. 理工學社. pp. 535.