韓作誌(Korean J. Crop Sci.) 35(3) : 273~281(1990)

水稻의 乾物 生産 및 配分의 數理的硏究**

II. 移秧期에 따른 部位別 乾物配分

趙東三* · 鄭丞根* · 許燁* · 陸昌洙*

Quantitative Analysis of Dry Matter Production and its Partition in Rice**

II. Partitioning of Dry Matter Affected by Transplanting Date

Dong Sam Cho*, Seung Keun Jong*, Hoon Heo* and Chang Soo Yuk*

ABSTRACT : Two rice varieties, Samkangbyeo and Sangpungbyeo, were transplanted on 1/2000a pots at 6 different dates beginning on May 11 with 10 day interval in 1987 and at 4 different dates beginning on May 21 with 10 day interval in a paddy field at the Chungbuk Provincial Rural Development Administration. Dry matter distributions to stem and leaf sheath, leaves and ear at different growth stages were analyzed to provide basic informations neccessary for the development of dynamic growth model. Dry matter production was reduced as transplanting was delayed and the degree of reduction was greater at the transplanting later than June 1. Dry matter distribution to stem and leaf sheath was increased up to 60-70 days after transplanting with the maximum ratio between 60-70%, which were decreased to 37-43% in pots and 27-33% in field at the end of ripening stage. On the other hand, dry matter distribution to leaf blade was decreased from 40-50% at transplanting to 11-17% at harvesting. Ear dry matter distribution increased rapidly after heading and the distribution ratio was 42-49% in pots and 52-62% in field. Although regression equations to predict dry matter distribution to different parts of rice plant were satisfactory for individual experiment, the application to different experiment was not appropriate.

作物의 收量은 전 生育過程을 통하여 이루어지는 乾物生産과 그 配分의 最終 結果라고 할 수 있다. 따라서 乾物生産이 이루어지는 葉의 生長을 連續的으로 追跡하고, 乾物의 각 部位別 配分過程을 數理的으로 分析할 수 있다면 收量을 결정하는 生産과 配分의 보다 정확한 해석이 가능할 것이다. 그 結果를 利用하면 作物이 生育하고 있는 環境의 변화에 대한 作物의 반응을 豫測할 수 있을 것임으로 增收의 可能性과 그 限界性도 檢證할 수 있을 것이다.[10,11] 作物의 生育에 대한 數理的 해석은 作物生理學者들이 오래전부터 시도하였으나 作物의 전 生育過程을 豫測하거나 변화하는 環境條件에 따른 作物의 反應을 수시로 이들 數式에 導入하기에는 治足하지 못하였다.[7,8] 作物硏究에 컴퓨터를 활용하기 시작하면서 作物의 生育過程을 종합적으로 해석하기 위한 生長模型의 개발이 시도되어 최근까지 CORNF[17], SAML[6], SIMTAG[16], SORGF[1], SPAM[12], TAMW[13] 등이 발표된 바 있다.

崔[5]는 벼의 生育過程을 통하여 개체의 總乾物重은 品種이나 栽培時期에 관계없이 Roberston의 Autocatalytic curve를 나타내면서 증가하며 早期栽培에서 가장 많았고 晩期栽培일 수록 감소한다고 하였다. 生育期間別로 總乾物重에 대한 器官別 比率은 品種 및 栽培時期에 관계없이 生育初期에는 根重, 葉身重 및 葉鞘重의 비율이 대부분을 차지하고 시기가 경과함에 따라서 根重의 비율이 감소하고 葉鞘重의 비율이 높아지며, 出穗期에는 稈 및 葉鞘重의 비율이 높아지며 成熟期에는 穗重의 비율이 전체중

* 忠北大學校 農科大學 (College of Agriculture., Chungbuk National Univ., Cheongju 360-763, Korea)

** 本 硏究는 1987-'89年度 文敎部 學術硏究助成費에 의하여 遂行된 것임.<'90. 5. 11. 接受>

량의 50% 이상을 차지한다. 星川[9]은 일반적으로 營養生長期間이 짧으면 이삭의 乾物集積이 낮아진다고 보고하였다.

崔 등[4]은 乾物重과 稈重은 移秧期가 늦어짐에 따라 낮아지는데 그 정도는 營養生長期間의 長短과 品種의 早晩性에 따라 다르며 이삭의 무게도 5월 31일 이후의 移秧에서는 晩植할 수록 낮아진다고 하였다. 이것은 晩植할 수록 營養生長量이 적고 登熟期間中의 평균온도가 낮아 炭水化物이 이삭으로 轉流되는 速度가 느리며 일찍 停止되어 蓄積 炭水化物이 이삭으로 적게 轉移되기 때문이다.

趙[2] 및 趙 등[3]은 移秧後의 일수 및 GDD와 主稈葉의 出現 및 葉位別 葉面積間에는 직선적인 관계가 있어 葉의 出現이나 葉面積의 豫測은 비교적 용이하다고 보고하였다.

이러한 관점을 念頭에 두고 본 연구에서는 移秧期를 달리하여 水稻를 栽培하고 그의 生育過程을 통하여 生産된 乾物의 部位別 配分比率을 測定할 수 있는 可能性을 檢討하므로서 水稻의 生長模型 開發에 필요한 基礎資料를 提供하고자 하였다.

材料 및 方法

本 試驗은 統一系의 三剛벼와 一般系의 常豐벼를 供試하여 1987년에 폿트試驗과 圃場試驗으로 區分하여 실시하였다. 폿트試驗은 1987년 5월 11일부터 10일 간격으로 6회(5월 11일, 21일, 6월 1일, 11일, 21일 및 7월 2일)에 걸쳐 37~42일苗를 1/2000 a 폿트에 4本씩 移秧하였는데, 처음 3회의 移秧苗는 Conviron PVG 36 生育箱에서 育苗하였으며, 그 이후의 移秧苗는 온실에서 育苗하였다. 圃場試驗은 忠北農村振興院 畜作圃場에 5월 21일, 6월 1일, 11일 및 21일의 4회에 걸쳐 40일苗를 30×15 cm(1株當 3本植)으로 移秧하였다. 施肥는 N-P_2O_5-K_2O를 三剛벼는 15-9-11 kg/10 a, 常豐벼는 12-7-8 kg/10 a의 비율로 尿素, 溶過燐 및 鹽化加里로 施用하였는데, N의 50%와 P_2O_5 및 K_2O는 基肥로, 그리고 N의 50%는 2회 追肥로 施用하였다. 試驗區配置는 品種을 主區, 그리고 移秧期를 細區로 한 分割區配置 3反覆으로 하였다.

폿트試驗의 部位別 乾物重은 移秧後 30일부터 10일 간격으로 5個體를 收穫하여 葉身, 葉鞘와 稈, 그리고 이삭으로 分離한 後에 80℃의 乾燥器에서 48시간 乾燥한 후 秤量하였으며, 圃場試驗에서는 葉令指數 75~80, 80~85 및 95~100이 되는 時期와 出穗期, 出穗後 10일, 20일 및 30일에 葉身, 葉鞘, 稈 및 이삭으로 구분하여 같은 方法으로 乾物重을 조사하였다. 統計分析은 平均乾物重을 가지고 실시하였으며, 시기별 각 部位의 乾物配分量을 豫測하기 위한 數式은 回歸分析을 통하여 구하였다.

結果 및 考察

폿트시험에서 三剛벼와 常豐벼의 移秧期別 葉身, 葉鞘와 稈, 이삭 및 總乾物重의 時期別 변화는 각각 그림 1(三剛벼) 및 그림 2(常豐벼)와 같다. 移秧期別로 각 部位別 乾物重은 5월 11일 移秧에서 최대값을 보였고 7월 2일 移秧에서 가장 적었다. 5월 11일과 7월 2일 移秧에서의 部位別 乾物重을 비교해 보면 三剛벼는 葉身이 각각 19.2 g과 8.9 g, 葉鞘와 稈은 각각 37.8 g과 23.8 g, 그리고 이삭이 각각 35.0 g과 15.9 g이었으며, 常豐벼는 葉身이 각각 17.8 g과 7.1 g, 葉鞘와 稈은 각각 37.3 g과 19.3 g, 그리고 이삭은 각각 29.7 g과 15.2 g이었다.

總乾物重은 5월 11일과 21일 移秧에서 三剛벼는 80.5~81.7 g, 常豐벼는 68.5~71.4 g으로 큰 차이가 없었으나 6월 1일 이후의 移秧에서는 급격히 감소하여 7월 2일 移秧에서 三剛벼와 常豐벼의 總乾物重이 각각 37.7 g과 30.4 g이 되었다. 대체로 移秧期와 品種에 관계없이 葉身重과 葉鞘 및 稈重은 이삭의 乾物重이 증가하기 시작하면서 그 증가속도가 둔화되거나 감소하였다. 總乾物重은 이삭무게의 증가와 함께 계속하여 증가되었으나 生育後期에 가서는 역시 그 증가속도가 감소하였다. 移秧期에 관계없이 常豐벼의 總乾物重 및 部位別 乾物重은 三剛벼에 비하여 낮았다. 이러한 경향은 崔[5], 崔 등[4], 星川[9]의 보고와 같은 것이다.

移秧 후 일수의 경과에 따른 總乾物重의 각 部位別 비율은 그림 3(三剛벼) 및 그림 4(常豐벼)와 같다. 葉鞘와 稈의 乾物比率은 6월 11일 이전에 移秧한 경우 70일 전후까지 계속하여 증가하다가 出穗後에는 점차 감소하는 경향이었다. 6월 21일 및 7월 2일 移秧한 경우에는 60일 전후하여 葉鞘와 稈의 乾物重 比率이 낮아지기 시작하였다. 葉鞘와 稈의 비율은 移秧期와 品種에 관계없이 거의 일정하

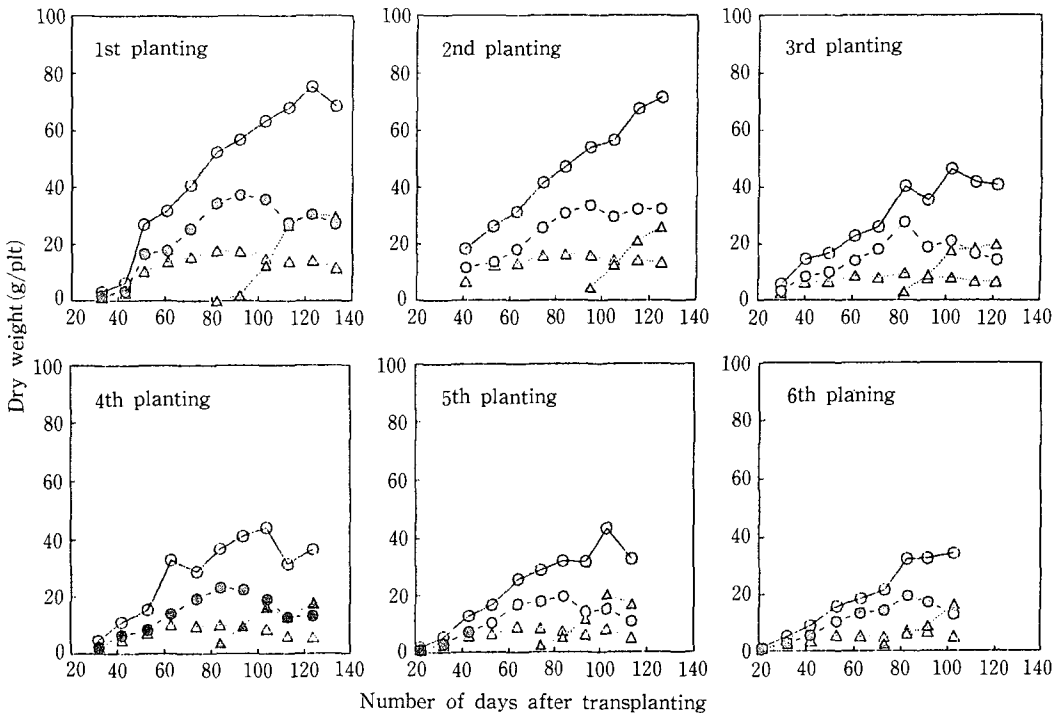

Fig. 1. Accumulation of dry matter in stem and leaf sheath, leaf blade, ear and whole plant after transplanting in 6 transplantings of Samkang (○－○ whole plant, ⊙－⊙ stem and leaf sheath, △－△ leaf blade, ▲－▲ ear).

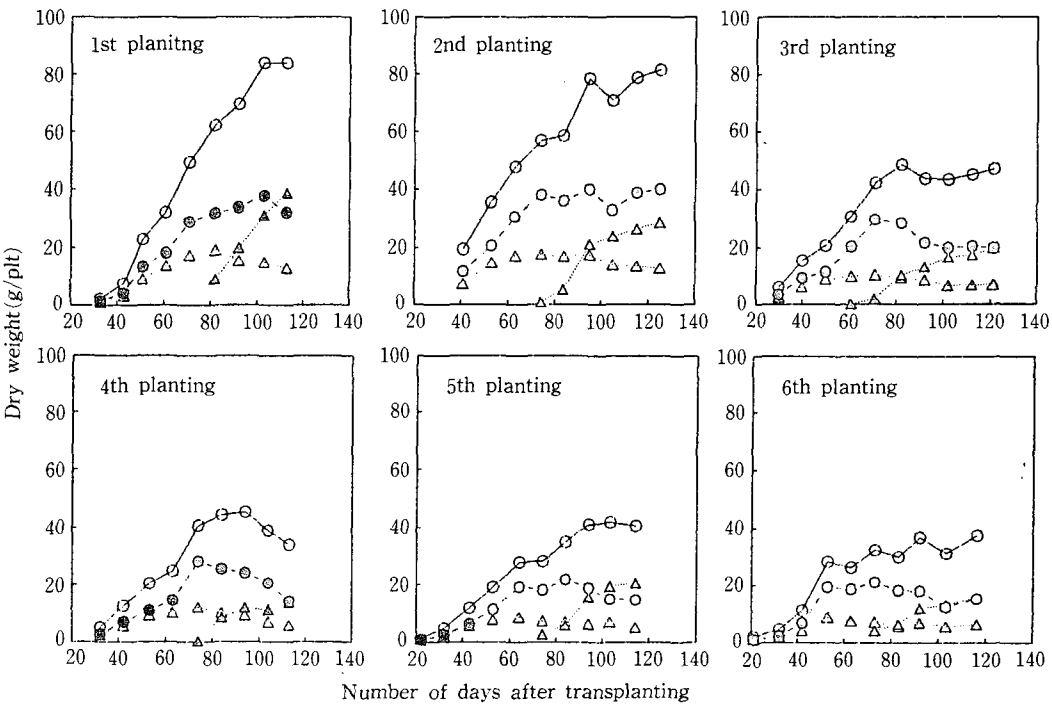

Fig. 2. Accumulation of dry matter in stem and leaf sheath, leaf blade, ear and whole plant after transplanting in 6 transplantings of Sangpung (Symbols are the same as in Fig. 1.).

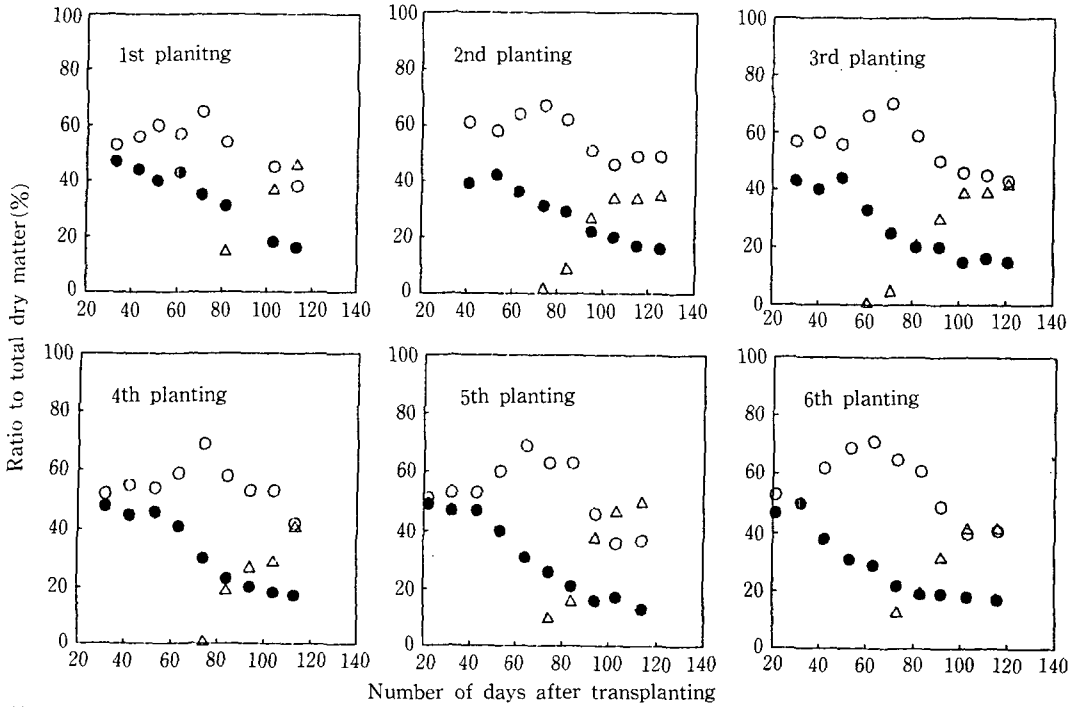

Fig. 3. Distribution of dry matter to stem and leaf sheath, leaf blade and ear after transplanting in 6 transplantings of Samkang (○－○ stem and leaf sheath, ●－● leaf blade, △－△ ear).

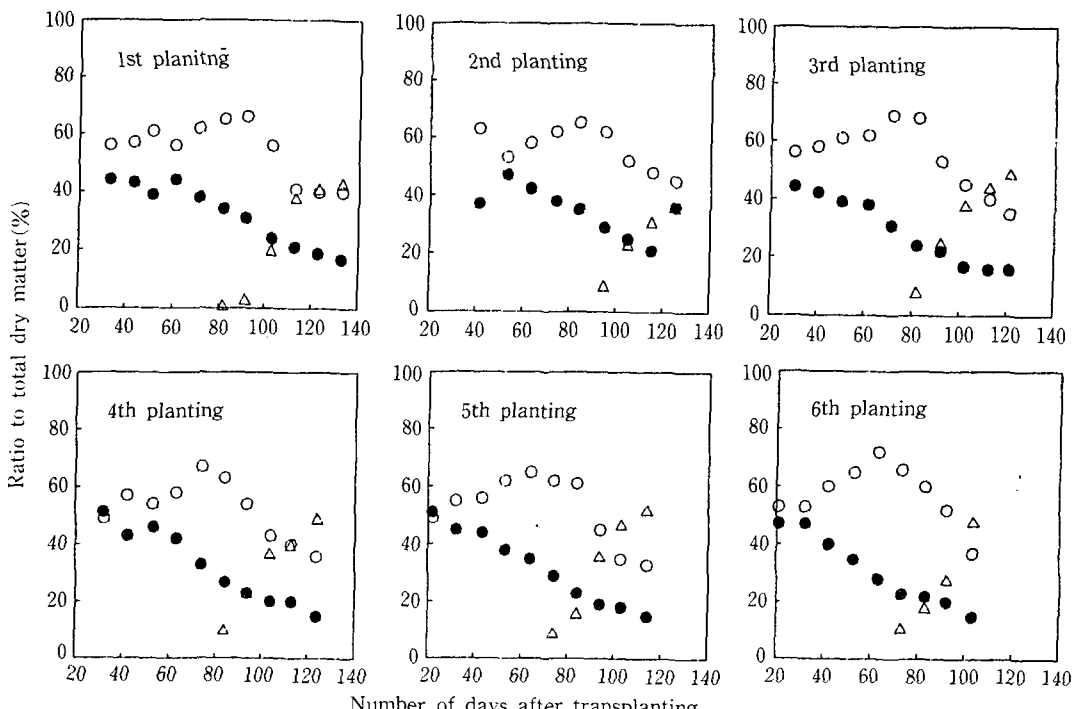

Fig. 4. Distribution of dry matter to stem and leaf sheath, leaf blade and ear after transplanting in 6 transplantings of Sangpung (Symbols are the same as in Fig. 3.).

여 移秧後 70～80일에 가장 높아져 65～72%의 범위였으며 收穫期에 이르러 37～43%로 낮아졌다.

한편 葉身의 乾物重 비율은 30일경까지는 전체 乾物重의 50%정도로 稈과 비슷한 비율을 보였으나 그 이후에는 계속 低下되어 收穫期에는 15～17%로 낮아졌다. 葉身의 乾物重 비율도 葉鞘와 稈에서와 같이 品種과 移秧期에 관계없이 거의 일정하였다.

이삭의 乾物重 비율은 出穗直後부터 급격히 증가하다가 登熟後期에 이르러 둔화되었다. 三剛벼는 移秧期에 관계없이 移秧後 110일 전후하여 全體乾物의 42～46%에 달하였다. 그러나 常豐벼의 경우에는 移秧期가 늦어질수록 이삭의 비율이 최대로 되는 일수가 단축되어 5월 11일 移秧에서는 移秧後 133일까지 이삭의 乾物重 비율이 증가한데 비하여 7월 2일 移秧에서는 103일에 이삭의 乾物重 비율이 최대에 달했다. 常豐벼의 이삭 乾物重 비율은 43～49%로 三剛벼와 비슷한 범위였다.

部位別 乾物重의 비율이 移秧期와 品種에 관계없이 거의 비슷한 것으로 판단되고, 또 生育日數의 진전에 따라서 증가 또는 감소 경향이 일정하므로 乾物의 總生産量이 측정되면 部位別 乾物의 配分量을 비교적 용이하게 豫測할 수 있을 것으로 생각된다. Pennings 등[15]도 水稻에서 탄수화물의 部位別 配分比率이 生育段階에 따라서 일정한 경향을 보이고 있음을 지적하였다. 地上部位에서 稈과 葉의 配分比率은 幼穗形成期까지는 같으나 그 이후에는 葉에 대한 탄수화물의 配分比率이 급격히 감소하는 데 비하여 稈에 대한 配分比率은 出穗期 직전까지 증가하고 出穗後에는 이삭에 대한 配分比率이 급격히 증가된다. 이와같이 生育段階에 따른 部位別 乾物의 비율이 일정한 양상을 보이기 때문에 豫測式에 의한 部位別 乾物의 配分量이나 配分比率의 推定이 가능해지는 것이다.

따라서 移秧期와 移秧後의 日數에 따라서 각 部位의 乾物配分比率을 推定할 수 있는가를 검토하기 위하여 5월 1일로부터 계산한 移秧日까지의 日數와 移秧後의 日數를 獨立變數로 하고 각 部位의 乾物比率을 從屬變數로 한 回歸式을 구하였다(표 1). 三剛벼는 移秧期가 늦어짐에 따라서 稈과 葉鞘의 乾物比率이 低下되는데 비하여 常豐벼에서는 移秧期가 늦어져도 稈과 葉鞘의 乾物比率이 低下되지 않았다. 移秧後의 日數에 따라서 稈과 葉鞘의 乾物比率이 증가하다가 일단 그 比率이 최대치가 되는 시기가 지나면 급격히 低下되기 시작하였다. 그러나 葉身의 경우에는 移秧期가 늦어지고 移秧後의 日數가 지남에 따라서 乾物比率이 모두 低下되었는데 移秧期보다는 移秧後의 日數에 따른 低下程度가 더 큰 것으로 나타났다. 이삭의 경우 三剛벼는 移秧期가 늦어질 수록 乾物比率이 低下되었으나 常豐벼에서는 오히려 증가하여 稈과 葉鞘에서와 같이 品種間의 차이가 認定되었다.

표 1의 豫測式을 이용하여 推定한 部位別 乾物比率과 實測한 乾物比率과의 관계는 그림 5와 같다. 三剛벼는 稈과 葉鞘에 대한 實測値와 豫測値의 一致度가 약 72%로 다소 낮았지만 葉身과 이삭에서는 약 84～91%로 높았다. 이삭의 경우에는 초기보다는 후기에서 實測値와 豫測値 사이에 편차가 커지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 生育後期로 갈 수록 여러가지 환경조건의 影響을 받는 기간이 길어짐에 따라서 나타나는 편차가 累積되었기 때문인 것으로 해석된다. 常豐벼의 경우에는 稈과 葉鞘, 葉身 및 이삭에서 모두 비슷한 일치도를 보이고 있

Table 1. Equations to predict dry matter distribution ratio in rice plants based on transplanting date and *number of days after transplanting* in pot experiment.

Variety	Plant part	Prediction equations	R^2
Samkang	Stem and leaf sheath	$Y = 47.63 - 0.0125X_1 + 0.2638X_2 - 0.4789X_3$	0.7158
	Leaf blade	$Y = 62.62 - 0.1007X_1 - 0.3935X_2$	0.9067
	Ear	$Y = -55.37 - 0.1688X_1 + 0.8030X_2$	0.8357
Sangpung	Stem and leaf sheath	$Y = 56.02 + 0.0847X_1 + 0.1483X_2 - 0.7304X_3$	0.8911
	Leaf blade	$Y = 57.87 - 0.1915X_1 - 0.2920X_2$	0.8301
	Ear	$Y = -88.24 + 0.4842X_1 + 0.9892X_2$	0.8730

X_1 = Transplanting date in number of days after may 1.

X_2 = Number of days after transplanting.

$X_3 = 0$ if X_2 < number of days when the highest ratio was reached (X_2max) and $X_3 = X_2 - X_1$max, thereafter.

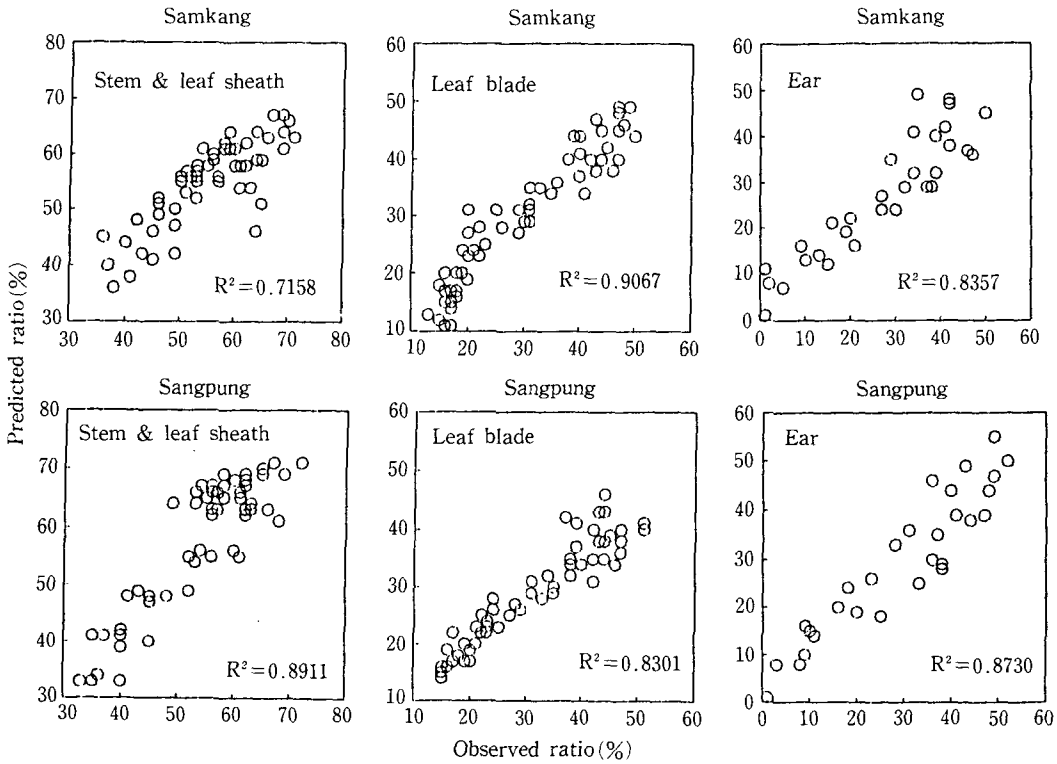

Fig. 5. *Relationship between observed and predicted ratio of dry matter distribution in stem and leaf sheath, leaf blade and ear in two rice varieties, Samkang and Sangpung.*

다. 森[14]도 氣象成績을 이용한 水稻의 生育豫測에서 10～20 일후의 草長, 莖數 및 稈長이 實測値와 잘 일치한다고 하였다.

그러나 전반적으로 決定係數가 0.72～0.91로 비교적 만족할 만한 것으로 평가할 수 있다. 移秧期나 移秧後의 日數에 관계없이 6회의 移秧을 모두 포함하는 推定이었고 다른 變數를 포함하지 않는 日數만을 가지고 추정한 것이기 때문에 이러한 정도의 豫測은 상당히 고무적인 결과라 할 수 있을 것이다. 단지 水稻의 乾物生産過程을 전혀 고려하지 않고 생산된 乾物의 配分比率만을 가지고 推定하였기 때문에 生長模型의 개발은 가능하지 않지만 部位別 乾物의 配分比率에 대한 특성을 밝힘으로서 生育模型開發을 위한 귀중한 판단자료로서의 가치가 클 것으로 생각된다.

圃場試驗의 결과에서 나타난 生育時期別 乾物配分의 樣相은 그림 5와 같은 데 전반적인 경향은 폿트시험과 유사하였다. 圃場에서는 登熟이 시작되기 이전의 部位別 乾物配分이 폿트에서와 같았으나 出穗後에는 다소 차이가 나타났다. 稈과 葉鞘의 乾物重比率이 가장 높은 시기는 移秧後 60～70 일로 폿트에서보다 약 10일정도 단축되었으나, 配分比率은 63～69%로 거의 동일하였다. 그러나 登熟後期에 있어서 稈과 葉鞘 및 葉身의 乾物配分比率은 각각 26～31% 및 11～14%로 낮아지고 이삭의 配分比率은 52～62%까지 높아졌다. 이삭의 乾物配分比率이 폿트의 경우보다 10～15% 높아지므로서 상대적으로 稈과 葉鞘의 乾物配分率은 감소하였다. 이러한 결과는 폿트에서는 1株1本을 移秧하였는데 비하여, 圃場에서는 1株3本을 移秧하였으며 群落狀態下에서 生育되어 登熟期에 稈과 葉鞘의 貯藏炭水化物이 더 많이 이삭으로 轉流되었기 때문으로 생각된다.

品種別로 移秧後의 部位別 乾物配分比率을 推定하기 위한 回歸分析 결과는 표 2와 같다. 폿트試驗이나 圃場試驗 모두 그림 3, 4 및 5에서 이미 본 바와 같이 일반적인 경향이 유사하였다. 즉, 稈과 葉鞘의 乾物配分率이 三剛벼에서는 移秧期가 늦어질수록 低下되는데 비하여 常豐벼에서는 增加하였으며, 이삭의 乾物配分率은 두 品種 모두 移秧期가

Table 2. Equations to predict dry matter distribution ratio in rice plant based on transplanting date and number of days after transplanting in field experiment.

Variety	Plant part	Prediction equations	R^2
Samkang	Stem and leaf sheath	$Y = 64.87 - 0.2083X_1 - 0.4941X_2 - 0.3646X_3$	0.9445
	Leaf blade	$Y = 143.20 - 0.4527X_1 - 0.9588X_2$	0.9126
	Ear	$Y = -105.18 + 0.6438X_1 + 1.3804X_2$	0.9253
Sangpung	Stem and leaf sheath	$Y = 34.01 + 0.1103X_1 - 0.1734X_2 - 0.3674X_3$	0.9353
	Leaf blade	$Y = 136.47 - 0.1520X_1 - 1.0044X_2$	0.9413
	Ear	$Y = -83.82 + 0.0958X_1 + 1.3690X_2$	0.9516

X_1 = Transplanting date in number of days after May 1.

X_2 = Number of days after transplanting.

X_3 = 0 if X_1 < number of days when the maximum ratio was reached (X_2max) and $X_3 = X_2 - X_1$max, thereafter.

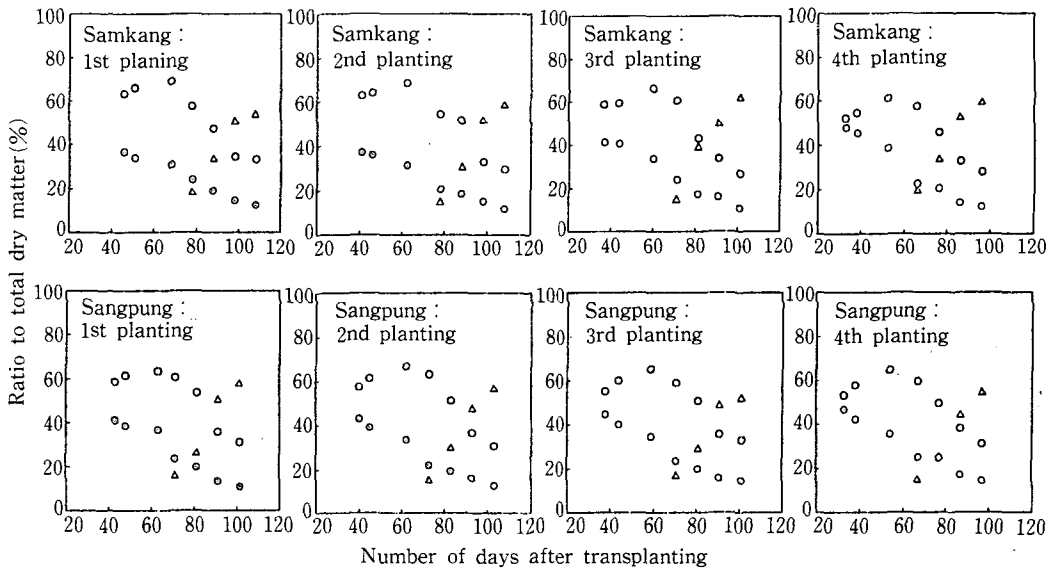

Fig. 6. Distribution of dry matter to stem and leafsheath, leaf blade and ear after transplanting in 4 transplantings of Samkang and Sangpung in field (Symbols are the same as in the Fig. 3.).

늦어질 수록 增加하였다.

폿트試驗과 圃場試驗을 구분하지 않고 品種別로 移秧期에 관계없이 乾物配分率을 推定할 수 있는 가능성을 검토하여 본 결과는 그다지 만족스럽지 못하였다. 移秧後의 日數에 따라서 乾物配分率이 계속하여 低下된 葉身의 경우나 出穗後에 계속하여 乾物配分率이 增加된 이삭에서는 각 品種別로 구한 回歸式에 의하여 시기별 乾物配分率의 推定値와 實測値가 어느정도 일치하였다. 한편·乾物配分率이 增加하다가 감소한 稈과 葉鞘의 경우에는 한 試驗에서 얻은 回歸式으로 다른 試驗의 결과를 推定하는 것은 거의 無意味하였다. 이러한 결과는 生長模型의 개발이라는 면에서 보면 매우 불만족스러운 것이다. 그러나 生長模型을 개발하는 데는 水稻의 生育에 관계되는 모든 환경요인의 영향과 각 요인 상호간의 작용이 포함되어야 하므로 이것은 당연한 것이라고도 할 수 있다.[15] 따라서 生長模型의 개발을 위해서는 移秧後의 生長뿐만 아니라 播種으로부터 成熟에 이르기까지의 全生育過程에 따른 乾物生産과 配分을 조사하고, 生育相의 변화를 追跡하며, 環境要因의 영향을 면밀히 조사할 필요가 있는 것으로 생각된다. 또한 한편으로는 이미 외국에서 개발되어

있는 生長模型을 導入하여 利用可能性을 검토하여 보는 것도 필요할 것이다.

摘 要

水稻의 生育時期別로 乾物의 部位別 配分을 追跡하고 이의 豫測可能性을 檢討하고자 統一系인 三剛벼와 一般系인 常豊벼를 1987년 5월 11일부터 10일 간격으로 4회 圃場에 移秧栽培하여 部位別 乾物重을 調査 分析한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 水稻의 部位別 乾物重은 移秧期가 늦어질수록 低下하였는데 특히 6월 1일 이후의 移秧에서 그 정도가 심하였다. 品種別로는 常豊벼 보다는 三剛벼의 總乾物重 및 部位別 乾物重이 더 컸다.

2. 稈과 葉鞘의 乾物配分率은 6월 11일 이전의 移秧에서는 移秧後 70일 전후 그리고 6월 21일 이후의 移秧에서는 移秧後 60일 전후까지 계속하여 증가하다가 出穗後에 低下하였으며, 葉身의 乾物配分率은 移秧後 계속하여 低下하였다.

3. 稈과 葉鞘의 最大 乾物配分率은 폿트와 圃場에서 모두 移秧期와 品種에 관계없이 60～70%의 범위였으나, 收穫期의 乾物配分率은 폿트에서 37～43% 그리고 圃場에서는 27～33%로 낮아졌으며, 葉身의 收穫期 乾物配分率은 11～17%의 범위였다.

4. 이삭의 乾物配分率은 出穗後부터 급격히 증가하기 시작하여 폿트에서는 42～49% 그리고 圃場에서는 52～62%에 달하여 生育環境에 따른 乾物配分率의 차이가 있는 것으로 나타났다.

5. 品種別로 移秧期에 관계없이 移秧後의 日數에 따른 部位別 乾物配分率의 推定을 위한 回歸式은 試驗別로는 決定係數가 71～95%로서 만족한 정도였으나 한 試驗에서 얻은 推定式으로 다른 試驗의 乾物配分率을 推定하기에는 부적합하였다.

引 用 文 獻

1. Arkin, G. F., R. L. Vanderlip and L.T. Richite. 1976. A dynamic grain sorghum model. TRANS OF THE ASAE 19 : 622-626.
2. 趙東三. 1988. 移秧時期가 水稻 主稈葉의 出現에 미치는 影響. 忠北大 農業科學硏究報告 6 : 12-18.
3. _____·鄭丞根·許煇·陸唱洙. 1990. 水稻의 乾物 生産 및 配分의 數理的硏究. 1. 移秧期에 따른 出葉과 葉面積의 變化. 韓作誌 35(3) : (印刷中).
4. 崔洙日·盧承杓·黃唱局·金鎭淇·崔京求. 1981. 生育期間의 差異가 水稻 地上部 形質變異에 미치는 影響. 韓作誌 26 : 125-136.
5. 崔鉉玉. 1966. 栽培時期移動에 依한 水稻의 生育變異에 關한 硏究. 農試硏報 9(1) : 1-102.
6. Duncan, W. G. 1975. SIMAIZ : A model simulating growth and yield in corn. In D.N. Baker, P.G. Greech and F.G. Maxwell (eds.) An application of system methods to crop production. Miss. Agric. and For. Exp. Stn. Miss. Stat Univ. p32-48.
7. Evans, G. G. 1972. The quantitative analysis of plant growth. Blackwell Scientific Pub., Oxford.
8. Haun, J. R. 1974. Prediction of spring wheat yields from temperature and precipitaion data. Agron. J. 66 : 405-409.
9. 星川清親. 1967. 葉面積測定法. 日作記 42 : 178.
10. Keulen, H. van and J. Wolf (eds). 1986. Modeling of agricultural production : weater, soils and crops. Pudoc Wageningen, Netherland pp 479.
11. Lemon, E. R., S. W. Stewart and R.W. Powers. 1976. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. Agron. J. 68 : 569-572.
12. Maas, S. J. and G. F. Arkin. 1980. TAMW : A wheat growth and development simulation model. Program and model documentation. No. 80-3, Texas Agr. Exp. Sta., Blackland Res. Center, Temple, Texas.
13. 森康明. 1989. 作物生産における先端技術(II). 3. 水稻生育豫測の實際. 2). メッシユ氣候圖を利用する方法. 日作記 58 : 460-487.
14. Pennings de Vires E.W.T, D. M. Jansen, H.F. M. ten Bergs and A.H. Bakeman. 1988. Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crops. IRRI.
15. Stapper, M. 1984. SIMTAG, A simulation model of wheat genotypes. Univ. New England,

Int. Center for Agric. Res. in the Dry Areas (ICARDA). pp 108.

16. Stapper, M. and G. F. Arkin. 1980. CORNF : A dynamic growth and development model for maize (*Zea mays* L.). Tex. Agr. Exp. Stn. Res. Center. Program and model development No. 80-2. pp 91.