

벼의 生育期別 水分缺乏障礙가 生育 및 收量에 미치는 影響

Effect of Water Stress at Different Growth Stages on the Growth and Yield of the Transplanted Rice Plants

南 相 用* · 權 容 雄* · 權 純 國*
Nam, Sang Yong · Kwon, Yong Woong · Kwon, Soon Kuk

Summary

Knowledge of the degree of yield reduction due to water stress at different crop growth stages in rice production is important for rational scheduling of irrigation during periods of insufficient water supply. Previous studies to determine the degree of yield reduction due to water stress suffered from interruptions by rain during experiment.

Also the findings did not relate the degree of water stress to the soil water potential and water deficit status of rice plants. In this study, two years experiments were conducted using the high yielding rice varieties, an Indica × Japonica (Nampoong) and a Japonica variety(Choochung). These were grown in 1/200^a plastic pots placed under a rainfall autosensing, sliding clear plastic roof facility to control rainfall interruptions.

The results obtained were as follows.

1. The two varieties differed in the growth stage most sensitive to water stress as well as the degree of yield reductions. When rice plants were stressed to the leaf rolling score 4 and soil water potential of about - 20 bar at major crop growth stages which included heading, booting, non-effective tillering, panicle initiation and early tillering stages, the yield reductions in the Indica × Japonica variety were 58%, 34%, 27%, 22%, and 21%, respectively, whereas in the Japonica variety they were 23%, 36%, 1%, 13% and 22%, respectively. This result show that the recommended drainage during non-effective tillering is valid only for the Japonica variety. Sufficient irrigation at booting, heading and early tillering stages are necessary for both varieties.
2. The two varieties showed visible wilting symptoms when the soil water potential dropped to about - 3.0 bar. The Japonica variety showed more leaf rolling than the Indica × Japonica. However, it had a higher retention of leaf water content and greater stomatal diffusive resistance. When the soil water potential dropped, the

* 서울大學校 農科大學

- Japonica variety showed leaf rolling score(LRS) 1 at ψ soil—5.0 bar and LRS 2 at ψ soil—6.0 bar while the Indica \times Japonica showed LRS 1 at ψ soil — 5.5 bar and LRS 2at ψ soil — 9.0 bar. The stomatal diffusive resistance was maximum at the second top leaf blade in both varieties at intermediate water stress of ψ soil — 4.5 bar.
3. The number of days that was required for the soil water potential to drop to—3.0 bar and to — 20.0 bar after drainage of irrigation water from the 20cm deep silty clay loam soil in the pots were 6 and 13 days, respectively for booting stage, and 7 and 11 days, respectively for heading stage, 9 and 12 days, respectively for panicle initiation stage, and 12 and 19 days, respectively for early tillering stage.
 4. Water stress during the early tillering stage recorded the longest delay in heading time, the largest reduction in panicle numbers and a substantial yield decrease of 20%. This calls for better water management to ensure the availability of water at this stage, particularly during drought periods. In addition, a reexamination of the conventional inter-drainage practice during the non-effective tillering stage is necessary for the high yielding Indica \times Japonica varieties.

I. 緒 言

우리 나라의 主穀作物인 벼의 生産에 있어서 旱害는 近來 80餘年間에 30回 정도 發生했고²¹⁾ 水利施設을 적극적으로 擴充해온 1967年 이후의 最近 20年間에도 크고 작은 旱魃이 14回 發生했으며, 旱魃로 인한 被害額은 1967년에 2,500億원, 1968년에 2,500億원, 1977년에 2,000億원, 1982년에 1,000億원 정도 이었고 그밖의 해에도 50億원~200億원 정도로 推計되고 있다.⁴⁾

벼 農事に 있어서 이상과 같이 旱害는 頻頻히 일어나고 그 被害가 國家的으로 莫大하며, 水利畚率이 4%에 이르는 현재에도 旱魃이 올 경우 灌溉를 할 수 있는 水利畚率은 3年 1回的 잦은 旱魃에 耐旱할 수 있는 정도의 것도 50% 정도 밖에 되지 않는 실정이다.⁴⁾

旱魃이 올 경우 벼 농사에 있어서의 旱害를 정확히 알고, 効率의인 節水栽培를 하며, 水利施設을 합리적으로 開發, 管理하기 위해서는 벼 농사에 있어서의 水分消費特性和 旱魃의 정도와 旱害와의 관계에 관한 풍부한 基礎資料가 축적되어야 한다. 그러나 우리나라에서의 이分野에 관한 研究는 극히 부족한 실정이다.

벼 農事に 있어서 水分消費에 관한 研究는 勸業模範場의 草野 等(1909~1915)의 研究⁷⁾, 閑^{14),15)}의 1962~1966年間の 觀測研究, 黃²⁷⁾(1969), 金¹¹⁾(1971),

劉·金²²⁾(1974), 權·鄭²³⁾(1976), 金·吳·金⁹⁾(1981), 許·鄭²⁵⁾(1983), 芮·權²⁶⁾(1985), 徐·李¹⁸⁾(1985)의 研究 등과 같이 그리 많지는 않지만 꾸준히 研究되고 있는 實情이다.

한편 旱魃 및 旱害에 관해서는 旱魃發生의 氣象的 分析은 1960년대 이래 다소간 進展되고 있으나¹⁷⁾ 旱害自體에 관한 研究는 극히 부진하여 1960年代에는 旱害에 관한 연구보다는 節水栽培에 관한 연구가 몇편 이루어졌고²⁸⁾ 1967, 1968兩년에 심한 旱害를 받은 후 金⁸⁾(1971), 金·李¹⁰⁾(1970) 等의 調査, 實驗 研究가 있었으며, 1981, 1982兩년에 旱害를 크게 입으면서 現地調査研究 및 實驗의 研究가 全國的으로 農村振興廳에 의해 이루어졌고, 이들 結果를 綜合하여 1983년에 農作物 旱害對策試驗 成績書¹²⁾로 出刊되었지만 벼의 生育期別 耐旱能力과 生育期別 旱魃이 벼 收量에 미치는 영향에 관한 體系的 연구는 아직도 대단히 부족하여 農水産部의 農作物旱害額 算定基準¹³⁾에서도 日本의 成績을 이용하고 있는 실정이다.

旱魃로 인한 作物의 旱害는 作物의 種類, 品種, 栽培法, 氣象 및 土壤의 要因들에 따라 달라지지만 包括的으로 보아 共通된 것은 作物이 水分不足障礙를 받는 生育期, 水分不足의 程度와 期間으로 나뉘어지며, 이것은 土壤水分狀態와 作物生育과의 관계이므로⁹⁾ 旱害에 관한 實驗研究에서는 土壤水分의 計測, 作物의 水分狀態에 관한 計測도 이루어져야 하고⁶⁾, 또한 降雨를 遮斷하여 目的하는 時期, 程度,

期間의 水分不足障礙 處理가 이루어져야 有用한 結果를 얻을 수 있는 어려움이 있다. 이와 같은 觀點에서 이루어진 벼의 旱害에 관한 研究報告는 權⁹⁾(1983), 吳¹⁰⁾(1983), 辛 等¹¹⁾(1985)의 報文 몇편이 있을 뿐이다.

本 研究는 벼의 移秧 後 本畚 生育期間 중 主要 生育期別로 一定期間, 또는 一定強度의 水分不足(water stress)이 벼의 生育 및 收量에 미치는 影響을 土壤水分狀態와 연관시켜 밝히고자 시도한 것이며, 農振廳 麥類研究所의 自動開閉 降雨遮斷 調節施設을 利用하여 旱害試驗研究에서 제일 큰 陰路인 降雨의 影響을 最少化하였다. 이에 協力해 주신 麥類研究所 關係官들께 깊이 感謝드린다.

II. 材料 및 方法

本 實驗은 벼 品種 南豐(Indica×Japonica)과 秋晴(Japonica)을 使用하여 1984년과 1985년에 麥類研究所의 自動開閉 降雨遮斷 調節室에서 實施하였는데 이 시설물은 降雨感知器가 설치되어 있어 降雨가 시작되면 自動으로 電動機에 의해 덮개가 닫히고 降雨가 끝나면 덮개가 열리도록 되어 있으며, 通風, 彩光은 자유롭고 바닥은 콘크리트로 되어 있다. 實驗은 大型 plastic pot(가트 93cm, 세로 65cm, 길이 35cm, 面積 0.5m²: 1/5,000a pot의 25倍 面積)를 使用하였는데 pot 下面에 5cm 높이로 잔자갈을 깔고 그 위에 왕모래를 5cm 높이로 잔후 나이론 網紗를 덮고 砂質壤土의 높이를 20cm 두께로 넣었으며,

자갈을 넣은 部分에 排水 pipe를 설치하여 排水 및 斷水에 의한 旱害處理를 임의롭게 하였고, 벼를 移植하기 전에 흙이 충분히 가라앉도록 灌排水調節을 하였다. 벼는 1984년에는 4月 27日 播種한 苗를, 1985년에는 4月 16日 播種한 苗를 6月 6日에 25×15cm 거리로 1株 3本植(14株/pot)하였으며, 施肥는 pot당 N:P:K 成分量 70:50:50g을 尿素, 熔過磷, 鹽加으로 施用하였는데 窒素는 50% 基肥, 30% 分藥肥, 20% 穗肥로 分施하였고, 磷酸과 加里는 全量 基肥로 하였다.

水分障礙를 유발하는 처리는 Fig. 1과 2에서와 같이 벼의 移秧 後 主要 生育期에 1984년에는 落水後 10日間씩 斷水하였고, 1985년에는 落水後 벼의 葉身이 萎凋指數¹²⁾(Leaf Rolling Score, LRS: 0正常-, 1 U, 2 U, 3 U, 4 O, 5 O, 4정도이고 土壤水分 potential이 -20bar 정도일 때까지 斷水하였으며, 處理 前·後에는 水深 3cm로 灌水하여 生育시켰다. 落水處理를 할 때에는 肥料分의 流失을 防止하기 위해 排水되는 물을 받아두었다가 處理가 끝난 후 다시 공급하였다.

土壤水分의 測定은 補正된 척고 불릭을 土深 10cm에 묻어두고 전기저항을 측정하는 한편¹³⁾ 土壤 core를 채취하여 乾燥重量法에 의해 水分含量을 측정하고 이들을 土壤水分 potential로 환산하는 방법을 사용하였다. 土壤의 含水量과 水分 potential과의 關係는 別途로 供試土壤에 대해 實驗測定(pressure chamber method)하여 얻었다. 벼의 生育 및 收量에 관한 조사는 늘 써오던 方法에 準하였는데, 단

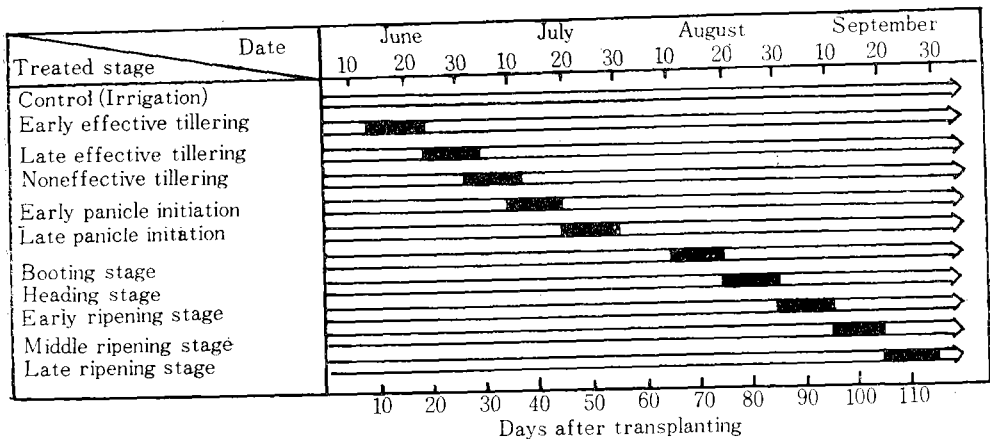


Fig. 1. Treatment of ten days water stress for the major growth stages of the rice plants (1984 Trial)

Note : □ : Irrigation, ■ : Drought.

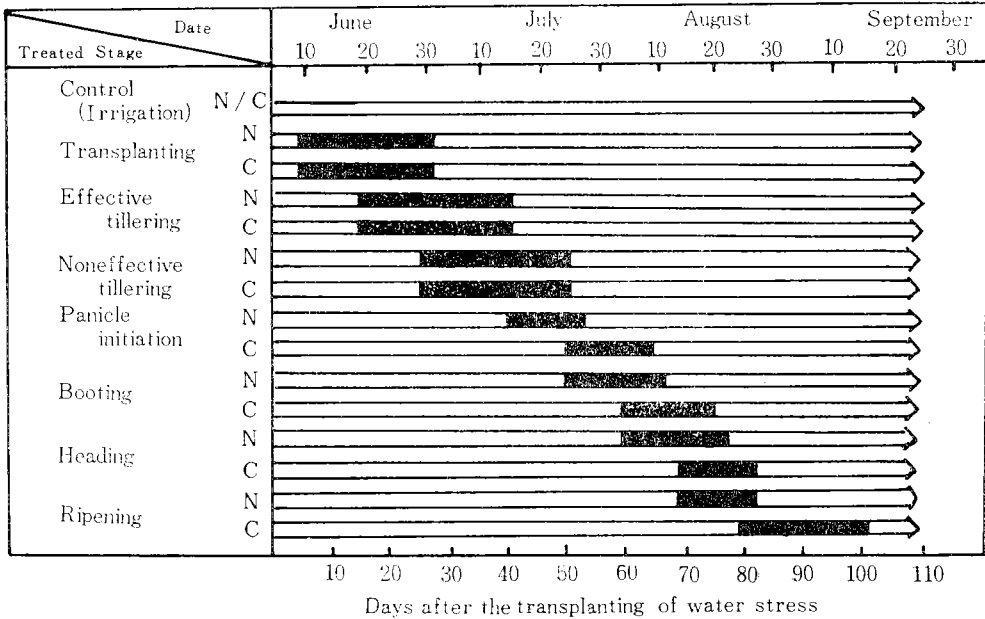


Fig. 2. Treatment of water stress to the same degree of leaf rolling of the rice plants at major growth stages. (1985 Trial)

Note : □ : irrigation, ■ : drought Variety—N : Nampung, C : Chucheong

葉綠素 含量은 上位葉身 3개의 中間部位의 含量을 葉綠素 測定計 SPAD-502(Minolta, Japan)로 측정 平均하였고, 氣孔抵抗은 Diffusive resistance porometer(Lambda LI-60)를 사용하였으며, 綠葉比率은 綠葉의 乾物重을 枯葉의 乾物重으로 나눈 값으로 하고 登熟率은 南豐의 경우 比重 1.0, 秋晴의 경

우 比重 1.03에서 염수선하여 구하였다. 生育期中 조사는 3~5反復, 收量形質은 10反復으로 조사하여 성적을 정리하였다.

1984年과 1985年의 試驗期間中 氣象은 隣近의 中央氣象台 農業氣象觀測所의 觀測值로서 Fig. 3, 4, 5 에 提示한 바와 같았다.

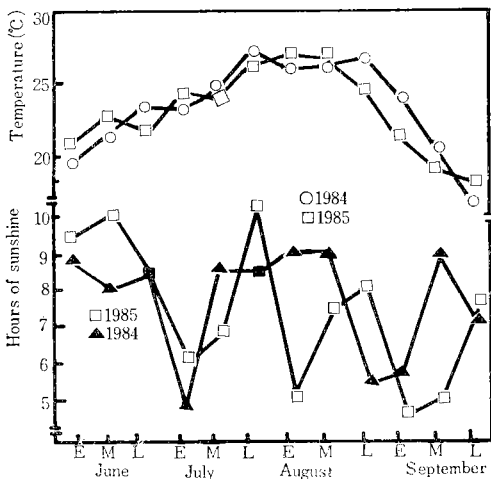


Fig. 3. Change in hour of sunshine and temperature during the rice growing period. (E: early, M: middle, L: late)

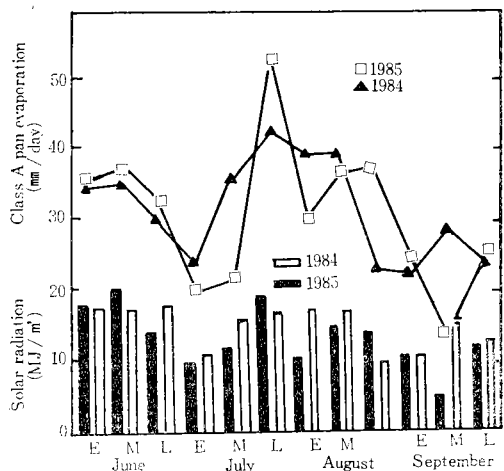


Fig. 4. Changes in solar radiation and Class A pan evaporation during the rice growing period. (E: early, M: middle, L: late)

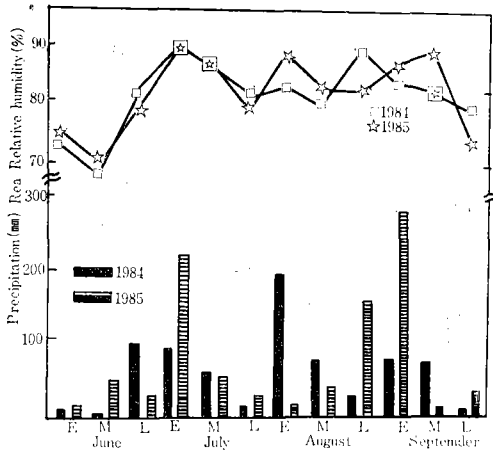


Fig. 5. Change in precipitation and relative humidity during the rice growing period. (E: early, M: middle, L: late)

III. 試驗結課

1. 水分障礙 誘發處理에 따른 土壤水分 포텐셜의 變化

Fig. 6은 1984年度에 벼 移秧 後 各 生育期別로 pot의 排水孔을 열어 排水한 후 10日間 灌溉하지 않고 自然乾燥시켰을 때의 土壤水分 potential의 變化를 측정한 成績이다. 그림에서 보면 벼가 生育하고 있는 面積에서의 蒸發散量의 變化 때문에 생긴 土壤水分 potential의 減少는 벼의 幼穗形成期(7月 下旬)에 -6.8bar 로 제일 컸고, 다음으로 伸長期(8月 初·中旬)는 $-1.8\sim-4.0\text{bar}$, 出穗期(8月 中·下旬), $-1.2\sim3.2\text{bar}$, 幼穗分化期(7月 中旬), -1.8bar 의 順으로 작았으며, 6月 中·下旬의 分蘗期와 8月 下旬 以後 9月 中旬까지의 登熟期間 中에는 落水 後 10日間에 -1.0bar 정도 밖에 감소하지 않았다. 氣象의 側面에서 보면 6月 下旬부터 7月 中旬까지는

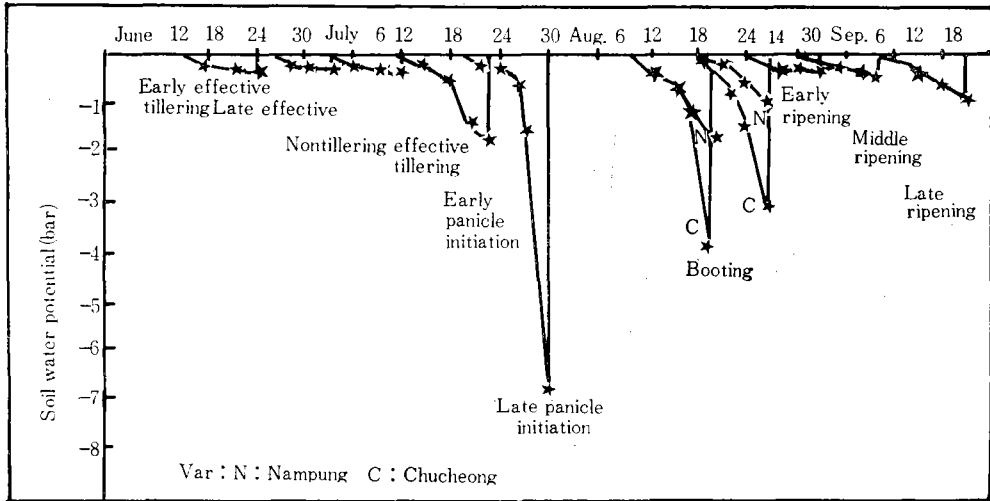


Fig. 6. Change in soil water potential while the rice plants were water-stressed for 10 days after drainage of irrigated water. (1984 Trial)

장마기간으로 많은 降雨가 있었고, 다시 8月 上·中旬에 많은 降雨가 있었으며, 登熟期인 9月 上旬~中旬에도 例年에 비해 잦은 降雨가 있었다.

한편 Fig. 7은 벼의 各 生育期別로 水分障礙處理를 하였을 때 外觀상 葉身이 LRS 4², 土壤水分 potential이 -20bar 정도로 乾燥되기까지의 經過를 나타낸 성적이다. 土壤水分 potential이 -20bar 까지 건조되는데 요한 期間은 出穗期 11日, 幼穗分化

期 12日, 伸長期 13日, 移秧 後 生育初期 19日, 登熟期 22日, 分蘗期 24日 順으로 길어졌고, 土壤水分 potential -3bar 까지 마르는데 요한 期間은 伸長期 6日, 出穗期 7日, 幼穗分化期 9日, 移秧 後 分蘗初期 12日, 登熟期 14日, 分蘗期 21日의 順으로 길어졌다. 1985년의 氣象은 分蘗期인 7月 上旬에 짧은 장마가 있었고 登熟期인 8月 下旬~9月 上旬에 降雨가 많았으며, 그밖의 期間에는 平年에 비해 降雨가

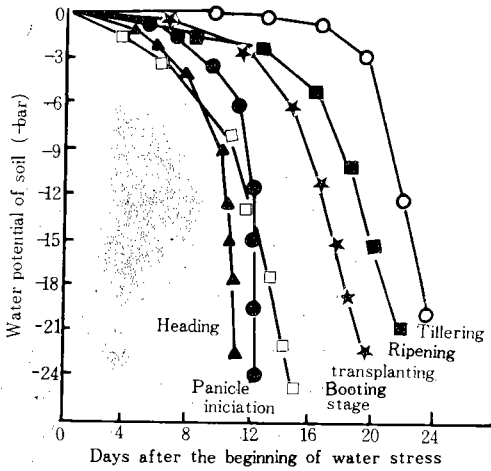


Fig. 7. Change in soil water potential from the beginning of water stress to the leaf rolling score 4 in the rice plants at different growth stages

다소 적은 편이었다.

一般的으로 벼의 葉面蒸散量은 稔孕期에 最大에 이르며, 生育初期인 分蘖初期와 老化期인 登熟期에는 蒸散量이 많지 않다고 한다. 本研究에서 1984年과 1985年間에 降雨의 時期的 分布가 달랐지만 幼穗分化~出穗期 동안은 兩年 모두 降雨가 적고 日照가 좋았으므로 벼의 生育期間 중 幼穗分化期~出穗期은 두드러지게 蒸發散에 의한 土壤水分減少가 컸었다. 이 두 해의 幼穗分化期, 稔孕期, 出穗期間의 蒸發散量의 크기는 一致하지는 않았다. 이것은 벼의 蒸發散量에 氣象의 年次變異가 影響이 되어 이루어진 差異로 생각되며, 實際로 灌溉를 하는데 있어서는 幼穗分化期(出穗前 30日頃)로부터 出穗後 10日의 40餘日間은 氣象條件의 年次變異에 따라 蒸發散量이 最大가 되는 時期가 달라지므로 이 期間中 어느 時期가 더 많이 물을 消費하는가는 더 檢討할 餘地가 있지 않는가 생각된다.

2. 土壤水分 potential의 低下에 따른 벼의 萎凋

植物體에 水分障礙를 일으키게 하는 方法으로 植物을 水耕栽培하면서 滲透壓을 增加시키는 물질을 첨가시키는 경우도 있으나 圃場에 자라고 있는 벼가 旱魃에 대해 水分障礙를 받을 경우를 가정하여 벼의 蒸散量이 많은 比較의 乾期에 속했던 出穗期頃의 土壤水分含量의 低下에 대한 벼의 水分含量 및 葉身

의 萎凋程度를 聯關調査한 結果는 Fig. 8과 같다. 벼의 水分含量(乾物重에 대한 比率)과 萎凋程度는 오전 11時~12時에 實施하였다.

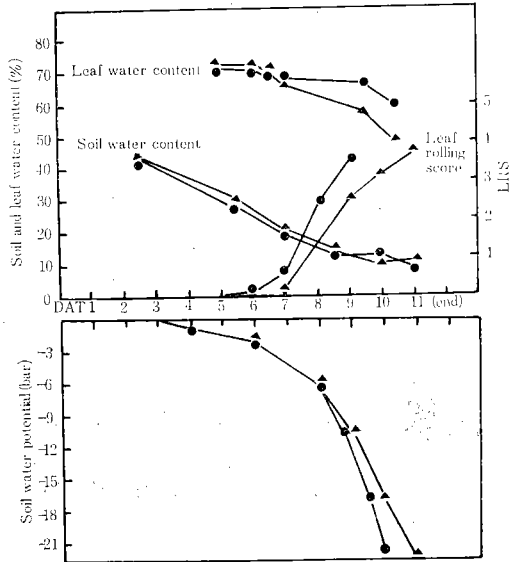


Fig. 8. Change in leaf water content, leaf rolling score, soil water content and soil water potential after drainage at the heading stage of two rice cultivars, Nampung(▲) and Chuchong(●) *DAT: Day after treatment

벼의 土壤水分 potential이 -3bar 程度되면 外觀上 萎凋現象을 보이기 시작했고 이때 葉身의 水分含量은 70% 정도로 灌水벼와 큰 차이가 없었다. 土壤水分 potential이 -3bar 보다 더 낮아지면 品種 南豊과 秋晴間에 차이를 보이면서 계속 벼의 萎凋가 심해졌는데 秋晴은 -5bar 와 -6bar 에서 萎凋指數 LRS 1과 LRS 2를 南豊은 -5.5bar 와 -9bar 에서 萎凋指數 LRS 1과 LRS 2를 나타냈다. 즉 Japonica 品種인 秋晴은 Indica×Japonica 品種인 南豊보다 더 鋭敏하게 萎凋했고, 萎凋가 進行됨에 따라 蒸散量이 감소되므로 萎凋하기 시작한 以後의 土壤水分의 消費는 적게 되었다. 또한 LRS가 1以上인 進전된 경우 南豊의 葉身은 현저히 水分含量이 감소하기 시작했는데 秋晴은 LRS 3.5부터 葉水分 含量이 현저히 감소했다. 다음 Table-1은 土壤水分 potential이 -4.5bar 정도이고 品種 秋晴은 LRS 0.8, 南豊은 LRS 0.6 정도일 때 止藥, 第2葉, 제3葉의 葉身 中間部位에서의 氣孔의 蒸氣擴散抵抗을 正午에 조사한 성적이다. 秋晴벼와 南豊벼는 灌水狀態의 벼일 경우 各葉의 氣孔抵抗值에 있어서 큰 차이를 보

Table-1. Stomatal diffusive resistance(s/cm) of the upper three leaves of the rice plants irrigated and the rice plants water-stressed.

Cultivars	Flag leaf		2nd leaf		3rd leaf	
	C	S	C	S	C	S
Nampung	2.46	5.20	3.06	6.94	3.39	4.75
Chucheong	2.59	4.55	2.87	8.33	3.41	6.94

* C : Control(Irrigation), S : Water stressed (soil water potential was about -4.5bar)

이지, 앉았으나 土壤水分이 -4.5bar 程度로 건조된 경우 萎凋를 더한 秋晴벼의 氣孔抵抗이 컸고, 葉位別로는 두 品種 모두 第2葉 > 第3葉 > 止葉의 順位에 나타나며 第2葉에서 氣孔抵抗이 제일 컸다.

이상에서 보면 일반적으로 葉肉이 두껍고 葉身長이 짧은 Indica×Japonica 品種들은 Japonica 品種들보다 葉身이 말리는 萎凋反應이鈍하고 根界의 水分吸收力이 클 것으로 생각되며¹⁹⁾ 土壤水分 potential이 -3bar 程度 以下일 때에 벼는 旱害를 받기 시작하며, 灌溉水가 모두 消費~排水된 후 -3bar에 이르기까지의 期間은 土性, 벼의 生育量, 氣象條件에 따라 다르겠지만 大體로 10日 以內에 이를 것으로 생각된다.

3. 一定强度의 旱魃이 벼 生育에 미치는 影響

Table-2는 벼의 主要 生育期別로 葉身萎凋指數 LRS 4까지 處理한 벼의 出穗期 때의 莖葉의 生育狀

況이다. 水分障礙를 받았던 벼의 莖葉生長은 品種間 및 生育期에 따라 차이가 있었다. 南豊의 경우 止葉을 포함한 上位 3個葉의 葉長과 葉面積은 分蘖期以後의 全生育期에 水分障礙가 민감히 반응하여 작아졌는데 특히 이들 3個葉의 發育期에 해당하는 幼穗分化期부터 처리한 경우 현저히 작아졌다. 그러나 葉身이 작아진 代身 葉綠素 含量은 증가되었고 水分障礙處理期間이 끝난 후 灌溉했을 때 旺盛히 高次分蘖을 하여 榮養生長이 활발해졌고 新葉이 많이 발생하였다. 그러나 秋晴에서는 移秧後 生育初期와 分蘖盛期에 水分障礙를 받았을 경우, 특히 有效分蘖期에 水分障礙를 받은 경우 出穗期の 稈도 작아지고 葉綠素 含量과 綠葉比率이 현저히 낮아졌으며, 또한 穗孕期~伸長期에 水分障礙를 받은 경우에도 잎이 다소 작아지고 葉의 老化가 현저히 진행되었다. 즉 Indica×Japonica 品種인 南豊은 水分障礙를 받은 후 榮養生長성이 왕성해지나 Japonica 品種인 秋晴에서는 水分障礙로 인한 生育의 低調 및 遲延으로부터 回復되는 정도가 작았다. 이와 같은 生育遲延影響은 Fig. 9의 出穗遲延成績에서 잘 나타나고 있다. 品種 南豊과 秋晴 모두 移秧後 初期에 水分障礙가 있을수록 出穗始作이 늦어지는 傾向이나 南豊은 後期에 水分障礙를 받을수록 出穗期間이 길어지는 現象을 보였는데 이는 高次分蘖로 인한 것이었으며, 특히 穗孕期~伸長期에 심했다. Japonica인 秋晴은 幼穗分化期 때의 水分障礙가 가장 出穗를 많이 지연시켰었다.

品種面에서 多收性인 Indica×Japonica 品種 南

Table-2. Effect of water stress of the same intensity of leaf rolling score 4 at different growth stages on the rice plants (measured at heading stage)

Cultivars	Nampung					Chucheong			
	Leaf area	Leaf length	Chlorophyll content	Green-dead leaf ratio	Higher modal tiller	Leaf area	Leaf length	Chlorophyll content	Green-dead leaf ratio
Control(Irrigated)	117.5	107.1	3.03	0.77	2.60	92.0	112.7	2.53	2.13
Transplanting	119.0	115.0	2.87	0.87	2.05	71.1	98.2	2.47	2.25
Effective tillering	103.7	102.0	3.26	1.50	3.70	69.5	95.8	2.44	1.50
Noneffective tillering	105.6	105.3	3.67	1.28	9.20	94.4	116.7	2.74	1.90
Panicle initiation	98.2	93.3	3.60	1.33	9.65	86.4	102.5	2.50	4.76
Booting	115.4	118.6	3.41	2.42	1.75	79.4	109.2	2.57	0.74
LSD .05	7.43	11.91	1.1	0.61	1.71	13.47	14.17	1.2	1.64

* Leaf area: cm²/3 blades.
Chlorophyll content: mg/g F.W.

Leaf length: cm/3 blades.
Higher modal tiller: Number/hill

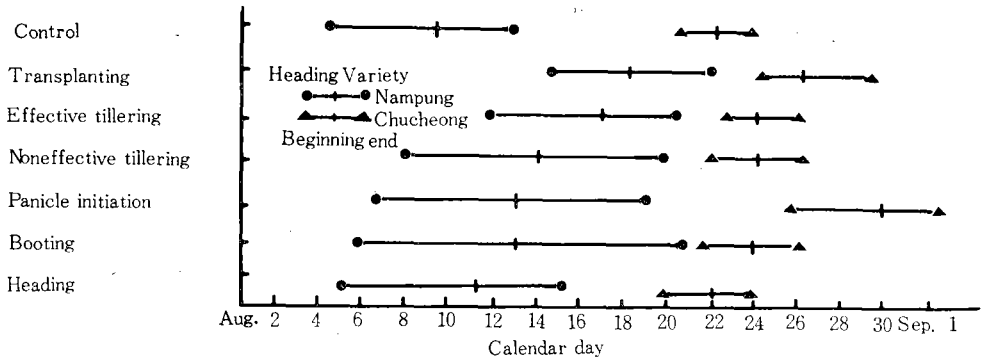


Fig. 9. Variation in heading date when two rice varieties were water-stressed just till the rolling of leaves(LRS 4 and soil water potential was about -20 bar) at different growth stages

豊이 Japonica 品種 秋晴보다 出穂지연이 현저히 심했는데 이것이 이들 Indica×Japonica 品種들의 일반적 특징일런지는 더욱 검토되어야 할 것으로 생각되며, Indica×Japonica 品種들은 耐冷性이 약하므로 移秧期~初期生育기에 水分障碍를 크게 받는 경우 登熟期에 低溫條件에 처하게 되고 附隨的으로 登熟不良이 되기 쉽다.

4. 벼 生育期別 水分障碍가 收量에 미치는 影響

Table-3은 1984年度에 벼의 各 生育期에 10日間씩 水分障碍를 준 경우의 收量形質들의 성적이며, Table-4는 1985年度에 벼의 各 生育期에 葉身萎凋指數 LRS 4까지 이르도록 水分障碍를 준 경우의 收量形質들의 성적이다. 우선 동일한 정도의 水分障碍를 준 경우를 보면 南豊 벼의 경우 出穂期(58% 減

Table-3. Effect of ten days water stress at different growth stages on the yield and yield components of the rice plants. (1984 trial)

Stages	Cultivars						Cultivars					
	Nampung						Chucheong					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Control(irrigation)	14.3	139	83.9	23.9	136	100	21.9	97.5	87.9	26.9	140	100
Early effective tillering	12.0	147	76.9	22.1	119	87	16.1	92.6	83.0	25.7	115	82
Late effective tilling	12.1	148	83.2	22.6	112	82	16.7	85.8	86.5	24.8	123	88
Noneffective tillering	15.2	141	84.2	23.5	132	97	21.1	88.8	85.8	26.0	123	88
Early panicle initiation	13.4	128	80.3	20.2	118	87	18.5	73.3	79.5	20.4	114	81
Late panicle initiation	12.4	141	83.4	21.9	199	73	19.4	76.8	78.3	26.9	114	81
Booting	14.3	124	79.2	22.0	127	94	18.2	70.3	80.0	22.4	131	94
Heading	13.0	120	77.7	20.8	123	90	19.0	74.5	81.3	22.5	122	87
Early ripening	12.6	129	82.5	23.0	130	96	18.8	82.1	78.6	25.1	135	96
Middle ripening	13.3	147	84.6	22.9	130	97	20.9	80.6	86.7	26.1	135	96
Late ripening	14.7	146	77.0	20.4	137	101	19.7	88.3	84.6	20.6	125	89
LSD .05	2.27	23.4	5.36	2.32	12.43		3.65	12.3	NS	2.44	13.2	

* A; Number of panicles per hill.
 C: Ripened grain ratio(%).
 E: Yield(g/5hills).

B: Number of spikelets per panicle.
 D: Weight of 1000 grains.
 F: Yield index.

Table-4. Effect of water stress of the same intensity of LRS 4 at different growth stages on the yield and yield components of the rice plants (1985 trial)

Growth stage	Cultivars		Nampung				Chucheong					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Control(Irrigation)	16.9	115.5	91	24.1	175	100	17.2	81.6	95	24.7	137	100
Transplanting	14.9	112.0	90	22.1	139	79	15.4	71.1	85	23.8	107	78
Effective tillering	16.1	108.4	92	22.4	139	79	15.9	73.4	93	2.43	121	88
Noneffective tillering	16.3	112.7	89	22.6	128	73	18.9	69.7	94	24.2	135	99
Panicle initiation	17.6	108.0	87	21.6	136	78	20.1	70.2	74	23.5	119	87
Booting	16.5	112.4	78	20.4	116	66	20.9	66.6	76	21.3	87	64
Heading	12.9	110.8	33	20.9	73	42	18.9	67.4	69	24.6	105	77
Ripening	15.1	116.5	68	25.0	131	75	16.6	72.2	91	23.5	112	82
LSD .05	1.76	14.5	13.84	0.92	18.23		3.65	7.5	0.89	1.25	5.2	

* A: Number of panicles per hill.
 C: Ripened grain ratio(%)
 E: Yeild(g/5hills).

B: Number of spikelets per panicle.
 D: Weight of 1000 grains.
 F: Yeild index.

收), 穂孕期(34% 減收), 無効分蘖期(27% 減收) > 登熟期(25% 減收) > 그밖의 生育期 20% 減收의 順位로 적어졌으나 秋晴 벼의 경우에는 穂孕期(36% 減收), 出穂期(33% 減收), 移秧 後 生育初期(22% 減收), 그밖의 생육기 18%~12% 減收의 順位로 品種間 차이가 있었으며, 특히 Japonica 장려 品種 秋晴의 경우 無効分蘖期의 中間落水管理는 적절하나 多收系 Indica×Japonica 品種들에 대해서는 재검토 할 필요가 있는 것으로 생각된다. 1984年度에 각 生育期別로 pot 排水 後 10日間적만 斷水한 경우 앞의 Fig. 6에서 보는 바 幼穂分化期~出穂期 期間을 제외하면 土壤水分 potential은 10日間에 -1bar 정도 까지 밖에 낮아지지 않아 벼는 대체로 水分障碼를 작게 받았었는데 Table 3에서 收量反應을 보면 品種 南豊의 경우 幼穂形成期(27% 減收), 有効分蘖期(18~13% 減收), 出穂期(10% 減收) 順으로 減收되었고 無効分蘖期의 작은 水分障碼는 收量에 별로 영향하지 않았으며, 秋晴의 경우 幼穂分化期로부터 幼穂形成기에 이르는 기간에서 19% 減收로 제일 많이 減收되었고 移秧 後 生育初期에도 18%나 減收되었다.

이상 品種들의 水分障碼에 의한 減收反應을 綜合的으로 보면 移秧 後 初期~有効分蘖期 水分障碼는 穂數와 穎花數 減少를 야기시켜 15~20%의 減收를 나타냈으며, 특히 Japonica 品種은 더 예민하게 반응하여 水分障碼로부터 回復성이 작았으며, Indica×Japonica 品種은 分蘖盛期~無効分蘖期의 水分障碼가 穂數, 穎花數 등에 영향하여 減收를 나타냈다.

또 Indica×Japonica 品種 및 Japonica 品種 모두 幼穂分化期로부터 登熟中期까지의 水分障碼는 穎花數, 不稔率, 1000粒重에 영향하여 현저한 減收를 나타냈고 Indica×Japonica는 出穂期>穂孕期, 登熟初期>幼穂分化期の 順이나 Japonica 品種은 穂孕期>出穂期>登熟初期, 幼穂分化期の 順으로 水分障碼에 의한 減收率이었다. 특히 穂孕期~出穂期の 減收는 不稔粒의 增加에 의한 영향이 컸었다.

IV. 考察 및 結論

各 生育期別 水分障碼에 의한 收量減少는 크게 보아 Indica×Japonica 品種인 南豊과 Japonica 品種인 秋晴 모두 穂孕期~出穂期에 他 生育期들에 비해 현저히 減收되었으나 減收의 程度, 生育期別 銳敏度, 莖葉의 生長, 水分障碼後의 分蘖~穂數의 증가, 萎凋의 過程, 土壤水分의 吸收 等 여러 면에서 두 品種들은 차이를 나타냈다. 旱魃 및 灌溉面에서 보면 秋晴은 移秧 後 初期分蘖期의 水分障碼가 收量에 영향하는 程度가 穂孕期~出穂期 다음으로 重要하였다. 그러나 南豊은 移秧 後 分蘖初期의 水分障碼가 穂數를 減少시키고 出穂를 지연시켜 減收를 나타냈지만 水分障碼 後에는 왕성하게 分蘖하고 회복하려는 특징을 보였을 뿐만 아니라 榮養生長期間의 水分障碼는 分蘖盛期~幼穂分化期에 이르기까지 계속적으로 比等한 程度의 減收率을 나타냈으며, 특히 無効分蘖期의 水分障碼가 第2次 榮養生長의 再開의 樣相으로 高節位分蘖~高次分蘖을 현저히 促進시켜 減

수되는 원인이 되었다. 그러나 Japonica 品種인 秋晴의 경우에는 無効分藥期에 水分障碍를 받았어도 별로 減收되지 않았다.

또한 秋晴은 南豊보다 높은 土壤水分 potential에서 잎이 萎凋하기 始作하였지만 더 낮은 土壤水分 potential에서 莖葉의 水分保有量을 많게 하면서 氣孔抵抗을 크게 調節하였다. 그러나 南豊은 葉肉이 두껍고 뽕뽕해서 葉卷(leaf rolling)이 잘 안되며 퍼진 잎에 直立草型이어서 受光量이 많아 蒸散이 더 되므로 葉身의 水分含量이 相對的으로 더 낮아지게 되는 特性을 가졌다.

한편 벼 잎은 土壤水分 potential이 -3bar 程度에 이르던 외관상 萎凋하기 시작하였는데 辛等¹⁹⁾은 秋晴벼의 경우 幼穗形成期에 -0.3bar일 경우에는 減收되지 않았고 -5bar일 경우에는 4% 減收되었고 -15bar일 경우에는 17% 減收되었다고 하였는데 本 研究에서는 -6.8bar에서 18%, -20bar에서 36% 減收되었으며 松島²⁰⁾는 幼穗形成期에 3日間の 旱魃條件을 만들었을 경우 日本 品種에서 60% 程度의 減收를 보고했다. 辛¹⁹⁾等은 또한 Indica×Japonica 品種인 만석의 경우 幼穗形成期에 -15bar 程度의 水分障碍를 주면 20% 減收되었음을 報告했으며, 全南道院²¹⁾은 幼穗形成期, 減數分裂期, 出穗期에 Indica×Japonica인 白羊벼와 Japonica인 東津벼를 벼잎의 萎凋點까지 水分不足處理를 했을 때 各 對照區에 비해 72%/90% - 62%/73% - 48%/67%의 收量을 보였다고 하였다. 本 研究의 結果와 綜合해 보면 同一程度의 旱魃이라던 旱魃程度가 심할수록 多收系 Indica×Japonica 品種들의 收量減少가 큰 것으로 생각된다.

그와 더불어 用水管理面에서 두 品種群間的 差異로서 重要한 것은 移秧後 初期旱害인데 이 경우 土壤水分 potential이 -20bar 程度로 심히 떨어지면 두 品種들이 비슷하게 20% 정도 減收되지만 (Table 4), -1bar 程度의 水分障碍에서는 Japonica 秋晴은 18% 減收되었고, Indica×Japonica 南豊은 13% 減收되었으며 (Table 3), 辛¹⁹⁾等의 試驗에서도 分藥期에 -0.3bar로 水分障碍를 주었을 경우 Indica×Japonica인 萬石은 減收되지 않았지만 秋晴은 11%나 減收되었다고 報告하여 같은 傾向을 보였다. 우리 나라의 旱魃發生時期, 貯水量의 年間變化⁴⁾와 이를 연관시켜 보면 Japonica 品種들이 大部分의 栽培面積을 차지하는 現在 Japonica 品種들이 分藥初期 用水不足에 따른 가벼운 旱害에 敏感하고 有效分藥

期間이 지난 後도 生育回復性이 작은 特性을 갖은 점을 重要視해야 할 것으로 생각한다.

V. 摘 要

벼의 移秧後 主要 生育期別로 土壤水分不足(water stress)이 生育 및 收量에 미치는 영향을 土壤水分 potential과 聯關시켜 밝히고자 Indica×Japonica 品種 南豊과 Japonica 品種 秋晴을 供試하고 降雨自動遮斷施設下에 1/200a pot를 使用하여 試驗한 結果는 다음과 같이 요약된다.

1. 벼의 主要 生育期에 各各 土壤水分 potential -20bar, 葉萎凋指數(Leaf Rolling Score) 4 程度까지 作土를 自然乾燥시켰을 때 品種 南豊은 出穗期 58%, 穗孕期 34%, 無効分藥期 27%, 登熟期 25%, 幼穗分化期 22%, 有效分藥期 및 移秧後 生育初期 21%가 減收되었으며, 品種 秋晴은 穗孕期 36%, 出穗期 23%, 移秧後 生育初期 22%, 登熟期 18%, 幼穗分化期 13%, 有效分藥期 12%, 無効分藥期 1%의 減收率을 나타내었다.

2. 品種 南豊과 秋晴은 出穗期에 土壤水分 potential이 -3.0bar 程度로 낮아지면 萎凋하여 잎이 말리기 시작했는데 秋晴은 -5.0bar에서 LRS(Leaf Rolling Score) 1, -6.0bar에서 LRS 2를 나타냈고, 南豊은 -5.5bar에서 LRS 1, -9.0bar에서 LRS 2를 나타냈으며, 秋晴은 잎이 말림으로서 葉身水分含量은 土壤水分 potential이 -12.0bar(LRS는 3.5)일 때까지 서서히 減少하였으나 南豊은 土壤水分 potential이 -3.0bar에서부터 葉身水分含量이 현저히 直線的으로 減少하였다.

3. 出穗期의 葉身의 氣孔擴散抵抗은 灌水條件下에서는 南豊과 秋晴이 서로 비슷한 값을 나타냈고, 止葉(~2.5s/cm) < 第2葉(~3.0s/cm) < 第3葉(~3.4s/cm)의 順으로 컸으나 土壤水分 potential이 -4.5bar일 경우 두 品種 모두 條2葉의 氣孔抵抗이 제일 컸는데 南豊보다(6.94s/cm) 秋晴에서 현저히 컸다(8.33s/cm).

4. 벼가 生育하고 있는 pot의 물을 落水한 後 10日間 自然乾燥시켰을 때 土壤水分 potential이 -3.0bar 以下로 낮아지는 生育期는 幼穗形成期(-6.8bar), 穗孕期(-4.0bar) 및 出穗期(-3.0bar)이었고(1984年度), 土壤水分 potential이 -3.0bar와 -20bar 程度로 낮아지는데 要한 期間은 穗孕期 6日과 13日, 出穗期 7日과 11日, 幼穗分化期 9日과

12日, 移秧後 生育初期 12日과 19日, 登熟期 14日과 22日, 分蘖盛期 21日과 24日(1985年度)이었다.

5. 우리 나라의 벼농사에 있어서 氣象的 旱魃과 貯水率 不足으로 인해 旱害를 받기 쉬운 移秧期의 用水管理面에서 Japonica 品種들은 多收系 Indicax Japonica 品種들보다 水分障礙로 인한 減收可能性이 크고, 多收系 品種栽培에 있어서 中間落水는 그 時期와 程度에 關係 再檢討하여야 할 것으로 생각한다.

參 考 文 獻

1. Cummings R.W. and R.F. Chandler, 1940, A Field Comparison of the Electrothermal and Gypsum Blocks; Electrical Resistance Methods with the Tensiometer Method for Measurement of the Soil Water Potential, Soil Sci. Soc. Proc. 80-85.
2. O' toole, J.C. and R.T. Cruz, 1980, Response of Leaf water Potential, Stomatal Resistance and Leaf Rolling to Water Stress, Plant Physiol. 65 : 428-32.
3. 權純國, 鄭斗浩, 1976, 新品種 統一벼의 증발산에 관한 研究, 農振廳 農事試驗研究報告(農工 卷) Vol. 18.
4. 權純國, 權容雄, 1986, 韓國의 旱害實態(現況과 對策), 1986년도 방제과학 Work shop—농업제 해와 방제, 科技總, pp. 42-65.
5. 權容雄, 1983, 水稻의 耐旱性 試驗研究, 農業用水開發試驗研究(Ⅱ) 3-18, 農水產部.
6. 權容雄, 李炳駟, 廉道義, 1978, 韓國의 氣象環境에 따른 밭作物의 水分 potential에 관한 研究, 文敎部政策研究課題報告書.
7. 勸業模範場研究회보, 1909~1915, 水稻用水量에 관한 研究.
8. 金始源, 1971, 한밭기에 있어서 容수관리방법이 수도생육과 수량에 미치는 影響에 관한 연구, 韓國農工學會誌, 13(1) 33-46.
9. 金始源, 吳完錫, 金善桂, 1981, 水稻品種間의 必要水量差異에 관한 研究. 韓國農工學會誌, 23(2) : 35-34.
10. 金始源, 李基春, 1970, 한해시기 및 작물생육기 별 물관리의 수확량에 미치는 影響조사연구, 韓國農工學會誌, 12(2) : 1948-1959.
11. 金哲基, 1971, 新品種 統一벼의 用水量測定試驗, 韓國農工學會誌, 13(4) : 21-26.
12. 農村振興廳, 1983, 農作物旱害對策試驗成績書
13. 農水產部, 1982, 農作物旱水害指針, pp. 72-77.
14. 閔丙燮, 1965, 水稻用水量에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 2 : 49-59.
15. 閔丙燮, 1969, 벼 生育期間中에 논에서 水分消費에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 11(2)1-27.
16. 朴基丞, 1982, 우리 나라 水稻用水量에 관한 小考, 韓國農工學會誌, 24(4) 13-27.
17. 朴成宇, 趙國光, 1984, 旱魃間度의 時期的分析, 農業用水開發試驗研究(Ⅲ) pp.297-338. 農水產部.
18. 徐承德, 李種國, 1985, 벼의 蒸發散量 算定에 관한 實驗分析, 慶北大 農學誌, Vol. 3 : 28-35.
19. 辛元教, 柳寬植, 林正男, 1985, 生育時期別 土壤水分障礙가 水稻收量에 미치는 影響, 農試論文集, 27(1) : 1-6.
20. 吳東植, 1983, 苗莖 및 移秧期의 水分障礙가 水稻生育에 미치는 影響, 서울大 大學院 碩士學位論文.
21. 柳寅秀, 李鍾薰, 權容雄, 1982, 氣象災害와 水稻栽培上의 對策, 韓國作物學會誌, 27(4) : 385-397.
22. 劉漢烈, 金哲基, 1974, 논벼 長短品種 蒸發散係數와 乾物重과의 關係에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 16(2) : 1-34.
23. 李昌九, 1968, 節水의 時期 및 方法의 差異가 水稻生育收量과 기타 實用形質에 미치는 影響, 韓國農工學會誌, 10(1) : 32-33.
24. 李基春, 1985, 논벼의 生育時期別 間斷 斷水處理와 收穫量과의 關係에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 17(3) : 167-185.
25. 芮鍾斗, 權純國, 1985, 氣象要素에 의한 벼 蒸發散量 豫測, 서울大 農學研究, 10(1) : 17-27.
26. 許在錫, 鄭夏禹, 1983, 水稻의 蒸發散量 推定方法에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 25(2) : 85-94.
27. 黃垠, 1969, 各種 土性別 經濟的 用水量 決定試驗, 韓國農工學會誌, 11(1) : 43-61.
28. 松島省三, 1962, 稻作に方ける土壤—水—植物關係に關する實驗, Malaysia 農林省報告, 112, p. 35.