

土壤水分境況對水稻生育之影響¹

II、水稻生理性狀與光合作用

李健鋒² 陳世雄³

摘 要

本試驗目的在探討減少灌溉水對水稻生理作用之影響。試驗分為田間試驗及盆栽試驗兩部分，1992年一、二期作在中興大學農場及溫室進行。採裂區設計，以品種為副區，比較梗稻台中189號及秈稻台中秈10號兩品種對土壤水分張力處理之反應。以15公分深度土壤水分張力處理為主區，分別以0.00 MPa(連續浸水)，0.02 MPa及0.04 MPa等三級土壤水分張力，做為灌溉起點。連續兩個期作試驗結果顯示，在高土壤水分張力處理下，水稻葉片水分潛勢均明顯降低，臺中189號在高土壤水分張力處理下，其葉片水分潛勢均較臺中秈10號為低。提高土壤水分張力，水稻葉片氣孔導度有下降的趨勢，特別是0.04 MPa之處理，其降低的幅度更大，臺中189號所測得的氣孔導度，均較臺中秈10號低。高土壤水分張力處理亦抑制光合作用速率，一期作臺中189號在高土壤水分張力之處理，其光合作用速率較浸水處理顯著降低19%，臺中秈10號亦降低15% (0.02 MPa)及22% (0.04 MPa)。品種間則臺中秈10號之光合作用速率比臺中189號高出約10%。

關鍵字：水稻、土壤水分境況、水分潛勢、氣孔導度、光合作用。

前 言

水稻栽培期間，土壤長時間處於水分飽和或湛水狀態，此種栽培方式不但消耗大量的灌溉水，也阻礙土壤通氣⁽¹⁹⁾，使得土壤還原電位降低^(4,16)，造成毒害物質的累積⁽¹⁷⁾，影響水稻的根活性及養分吸收⁽²⁾。減少灌溉使土壤暫時乾燥，雖然可以有效改善土壤通氣，但也可能導致土壤穿刺阻力增加，水稻根系伸展受阻^(5,20)。此外，由於土壤氧化還原電位的提昇，對氮及磷的有效性都可能造成影響，而影響水稻之生長及發育⁽¹⁾。水稻如果因為減少灌溉水導致水分養分吸收不足，將造成水稻生理功能降低^(9,11,13,15)，使得光合產物減少，不利於水稻生育。在水稻生育後期減少灌溉也可能因影響穀粒充實，而影響稻米品質。如何管理土壤水分，使水稻得以在適當環境下生長，並進一步探討節省灌溉水的可行方法，以降低生產成本，可能是將來水稻栽培的重要課題。本試驗探討水稻在生長期間，減少灌溉水對水稻生理之影響，期能建立合理的稻田水分管理制度。

¹ 台中區農業改良場研究報告第 0430 號，本計畫承蒙國科會 NSC82-0409-B-005-013 計畫補助經費，特申謝忱。

² 台中區農業改良場助理研究員。

³ 國立中興大學農藝學系教授。

材料與方法

選擇梗稻之台中189號及秈稻之台中秈10號，一九九二年一期作及二期作分別在中興大學農場進行田間試驗，及在中興大學溫室進行盆栽試驗。田間試驗採裂區設計，品種為主區，以15公分深度土壤水分張力(以自製張力計監控)0 MPa(連續浸水)，0.02 MPa及0.04 MPa等三級作為灌溉起點之水分處理作為副區，第一期作從插秧後第14天開始處理，處理區不予灌溉，每天記錄土壤水分張力，直到水分張力達灌溉起點，再施行灌溉使土壤水分飽和，張力回復0 MPa為止，復排水至張力達到灌溉起點，再予以灌溉，反覆排、灌水處理，一直持續至最高分蘗期結束，其後保持浸水，至黃熟期。第二期作從插秧後第7天始進行處理，執行步驟均比照一期作辦理。行株距30x15 cm，單本植，三重覆，小區面積6 m²。三要素N-P₂O₅-K₂O施肥量為100-60-90 kg/ha，其他田間管理按一般慣行栽培方法。

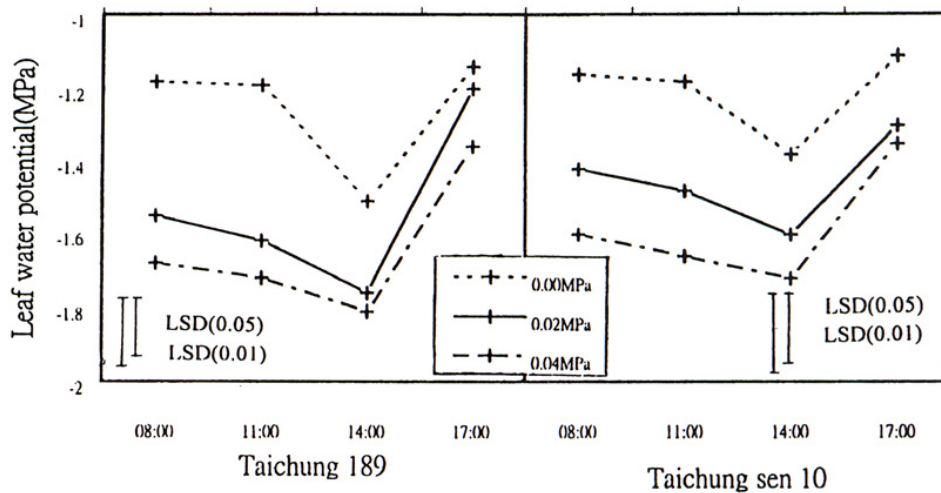
為精確控制土壤水分，另進行溫室盆栽試驗，使用Wagner (1/2000a)栽培鉢，土壤為砂頁岩沖積土大里土系(TTr)之表土，每盆種一株，四重複。調查項目包括：(一)光合作用速率測定：以Hansatech氧及螢光測定儀測定稻株最上部完全展開葉單位時間內氧釋放量，再換算單位面積葉片之光合作用速率⁽²¹⁾。(二)葉片水分潛勢測定：水分張力處理到達灌溉起點之前，以打孔機截取稻株最上部完全展開葉之葉片，放於(C-52) Chamber中，俟其平衡後，使用水分潛勢測定儀(Dew-point Microvolt meter, HR33T)，測定其葉片水分潛勢。(三)葉片氣孔導度測定：較高土壤水分張力處理到達灌溉起點重行灌溉之前，於中午時分，亦即葉片水分潛勢達到最低點時，使用自動孔度計(Porometer；Delta-T Device)測定稻株最上部完全展開葉之氣孔導度。

結果與討論

對葉片水分潛勢之影響

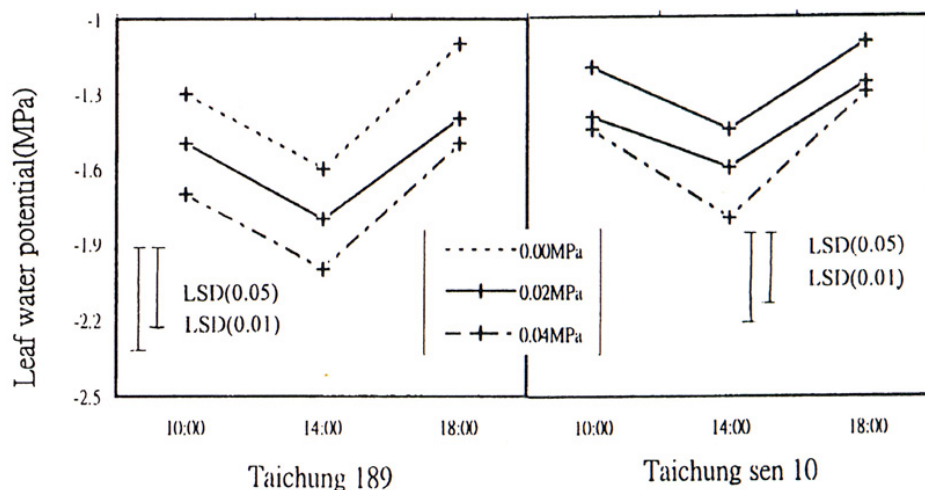
葉片水分潛勢的降低程度可以做為植物缺水的指標，葉片水分潛勢又可能影響葉片氣孔導度，進而影響光合作用^(3,8,12)。如圖一、二所示，提高土壤水分張力之處理，均使得水稻葉片水分潛勢顯著降低，0.04 MPa之土壤水分張力處理，葉片水分潛勢最低。以一期作插秧後第57天(營養生長期處理)所測得臺中189號之葉片水分潛勢為例，上午8時葉片水分潛勢為-1.7 MPa，中午則降低至-.85 MPa，一直到下午5時才能回復到-1.43 MPa。長期湛水之對照區(0.00 MPa)，葉片水分潛勢均維持最高，除了中午降低至-1.5 MPa外，其餘時間均維持在-1.2 MPa以上(圖一)。一天當中葉片水分潛勢的變化，均以中午時分的葉片水分潛勢為最低。O'Toole及Cruz (1980)也指出，水稻及陸稻在持續10天不灌水處理以後，葉片水分潛勢即明顯降低，水稻在中午時分降低的幅度最大。兩個參試品種，則以臺中189號的葉片水分潛勢較低，臺中秈10號則展現較高的葉片水分潛勢，顯示在土壤乾旱的情況下，台中秈10號的根系可能比台中189號有較強的吸水能力。由於台中秈10號在高土壤水分處理下，其根系均低於台中189號(李及陳，未發表)，何以台中秈10號以較少量根系，卻顯示較強抗旱能力，其抗旱機制值得探討。Dingkuhn等(1989b)曾指出梗稻有較秈稻更高的葉片水分潛勢，但本試驗則顯示在相同之土壤水分張力下，秈稻較梗稻可以維持較高之葉片水分潛勢。

Dingkuhn等(1989a)指出供水量愈少之處理，無論是陸稻或水稻，其淨光合作用速率、葉片氣孔導度及葉片水分潛勢均降低，特別在中午時分，其降低的幅度更大。本試驗結果顯示，高水分張力(0.04 MPa)之處理，葉片水分潛勢較低，可能因而導致葉片氣孔導度及淨光合作用速率隨之降低，而臺中189號在高水分張力下之葉片水分潛勢下降的幅度又比臺中秈10號為大，因而可能導致臺中189號在高水分張力下，所受到的不利影響較臺中秈10號嚴重。



圖一、一期作水稻營養生長期不同土壤水分張力處理葉片水分潛勢之影響。

Fig. 1. Changes in leaf water potential (Mpa) of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10, measured after soil moisture tension reached 0, 0.02, and 0.04 MPa, respectively, during vegetative growth stage (filed experiment; 1st crop, 1992).



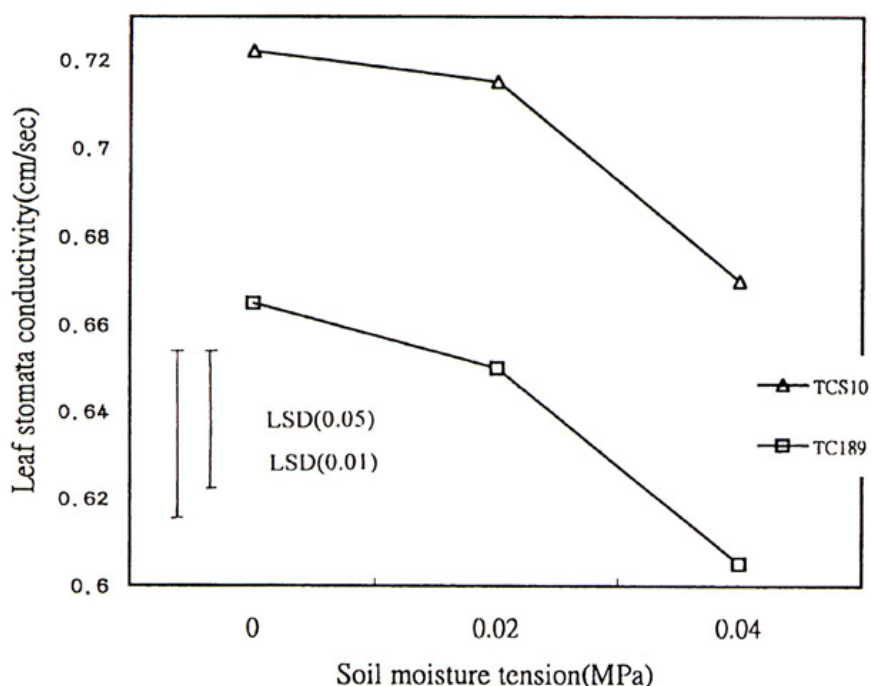
圖二、二期作水稻營養生長期不同土壤水分張力處理葉片水分潛勢之影響。

Fig. 2. Changes in leaf water potential (Mpa) of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10, measured after soil moisture tension reached 0, 0.02, and 0.04 MPa, respectively, during vegetative growth stage (filed experiment; 2nd crop, 1992).

對葉片氣孔導度之影響

氣孔是植物進行蒸散作用及二氧化碳進入的門戶，因此氣孔的開閉與植體水分的保持及光合作用有密切的關係。植物在遭遇水分逆境時氣孔將適度的關閉，以防止水分過度蒸散^(6,12,14)，但相對也造成了二氧化碳進入的障礙，使得光合作用速率降低^(11,18)。田間試驗在土壤水分張力到達0.02 MPa及0.04 MPa之灌溉起點前，同時調查三個等級土壤水分張力處理

之水稻葉片氣孔導度，顯示提高土壤水分張力，使得水稻葉片的氣孔導度有下降的趨勢。特別是臺中秈10號及臺中189號0.04 MPa之處理，其葉片氣孔導度分別為0.67及0.61 cm/sec，與長期湛水對照處理(0.00 MPa)之0.72及0.67 cm/sec比較，氣孔導度顯著的降低。臺中189號所測得的氣孔導度，相較於臺中秈10號，均顯著較低(圖三)。前節曾論及，提高土壤水分張力之處理(0.02 MPa及0.04 MPa)，其葉片水分潛勢明顯較長期湛水之處理(0.00 MPa)降低，臺中189號的葉片水分潛勢，顯著低於臺中秈10號，與本節所討論的葉片氣孔導度變化反應曲線一致，顯示提高土壤水分張力，台中189號由於葉片水分潛勢降低，使得氣孔關閉，氣孔導度亦跟隨著降低，台中189號各項生理作用受到之抑制，應較台中秈10號為大。盆栽試驗與田間試驗有相同的結果，且對較高土壤水分張力所表現的氣孔導度反應，遠比田間試驗之反應劇烈(圖四)，臺中189號0.04 MPa之處理，氣孔導度甚至降低到0.45 cm/sec以下，其原因可能為盆栽沒有下層土壤之毛管水供應，吸水範圍受到侷限，使得氣孔導度之反應較田間試驗敏感。

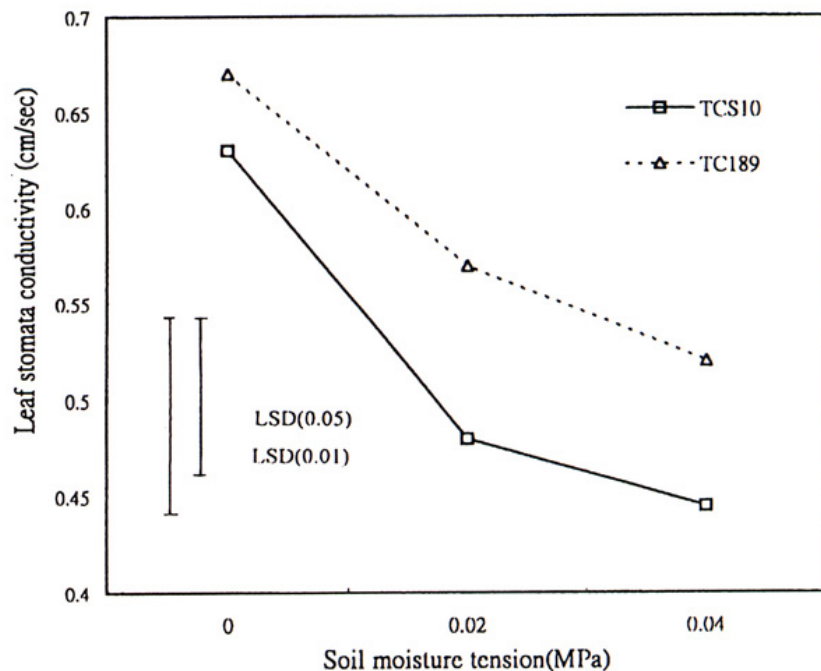


圖三、二期作水稻營養生長期不同土壤水分張力處理葉片氣孔導度之影響。

Fig. 3. Changes in leaf stomata conductivity (cm/sec) of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10, measured after soil moisture tension reached 0, 0.02, and 0.04 MPa, respectively, during vegetative growth stage 41 days after transplantation (field experiment; 2nd crop, 1992).

對葉片光合作用之影響

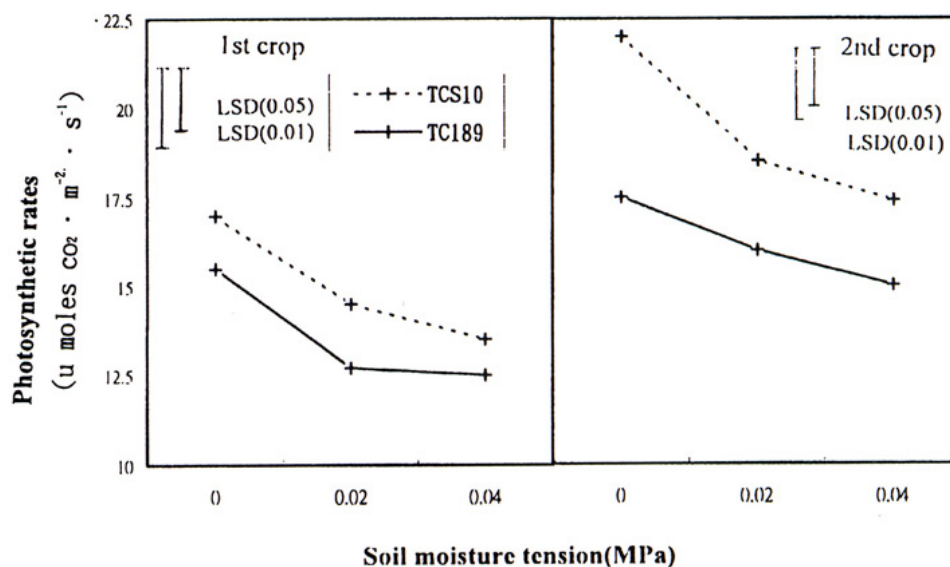
一期作田間試驗，已證明提高土壤水分張力處理，葉片水分潛勢及氣孔導度均顯著較湛水之對照處理(0.00 MPa)降低。經進一步測定葉片光合作用速率之變化，顯示提高土壤水分張力之處理，其光合作用速率均明顯較長期湛水之對照處理降低。一期作臺中189號提高土壤水分張力至0.02 MPa及0.04 MPa之處理，其光合作用速率分別為12.7及12.5 mmole CO₂ · M⁻² · s⁻¹，均較長期湛水對照區(0.00 MPa)之15.5 mmole CO₂ · M⁻² · s⁻¹分別顯著降低18及19%。同時測得臺中秈10號三個等級土壤水分張力0.00、0.02及0.04 MPa之處理的光合



圖四、二期作水稻營養生長期不同土壤水分張力處理葉片氣孔導度之影響。

Fig. 4. Changes in leaf stomata conductivity (cm/sec) of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10, measured after soil moisture tension reached 0, 0.02, and 0.04 MPa, respectively, during vegetative growth stage (pot experiment; 2nd crop, 1992).

作用速率，分別為17.1、14.5及13.4 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，提高土壤水分張力處理光合作用速率分別降低5及22%。比較臺中秈10號三個等級土壤水分張力處理之光合作用速率，分別比臺中189號高出10.3、14.2及7.2% (圖五)。同樣地，一期作在穀粒充實期施以三個等級土壤水分張力處理情況下，臺中189號之光合作用速率分別為16.2、13.6及12.5 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，分別較湛水處理減少16及22.8%。臺中秈10號則分別為17.3、14.6及14.5 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，也分別較湛水處理減少15.6及16.2% (圖五)。二期作三個等級土壤水分張力處理的光合作用速率，臺中189分別為17.3、16.4及14.9 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹分別較湛水處理減少5及14%；臺中秈10號則分別為21.9、18.5及16.6 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，分別較湛水處理減少16及24%(圖五)。本研究試驗結果亦發現，二期作營養生長期臺中189號對照區之光合作用速率為17.3 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，高於一期作之15.5 mmole CO₂ · M⁻² · S⁻¹，二個參試水稻品種在三個等級土壤水分張力處理的反應一致(圖五)。



圖五、水稻營養生長期不同土壤水分張力處理對光合作用之影響

Fig. 5. Photosynthetic rates (μ moles $\text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10, measured after soil moisture tension reached 0, 0.02, and 0.04 MPa, respectively, during vegetative growth stage (field experiment; 1st and 2nd crop, 1992).

作物雖然可以經由氣孔關閉之調節，來減少蒸散。然而氣孔之關閉同時也影響到 CO_2 之吸收，使葉片之光合作用能力降低，對植株之生長與發育也會障礙^(7,13,18)。Dingkuhn (1989b)指出，葉片在缺水的情況下，葉片會捲曲，以及降低氣孔導度，因而限制氣體交換，使得光合作用速率降低。由本試驗結果亦得知，提高土壤水分張力至0.02及0.04 MPa之處理，其光合作用速率顯著較長期湛水之對照處理(0.00 MPa)為低，可能對水稻之生育將造成不利之影響。品種間則以臺中秈10號之光合作用速率明顯較臺中189號為高。

參考文獻

1. 陳世雄 1991 晒田對水稻磷之吸收及分蘖之影響 中華農藝 1:277~291。
2. 陳世雄 1992 土壤還原電位對水稻根活性與光合作用之影響 中華農藝 2:169~181。
3. Ackerson, R. C. and D. R. Krieg. 1977. Stomatal and nonstomatal regulation of water use in cotton, corn, and sorghum. Plant Physiol. 60:850-853.
4. Aomine, S. 1962. A review of research on redox potential of paddy soils in Japan. Soil Sci. 94:6-13.
5. Baver, L. D., W. H. Gardner and W. D. Gardner. 1972. Soil Physics. John Wiley & Sons., Inc., New York, U.S.A.
6. Blum, A. 1974. Genotypic response in sorghum to drought stress. I. Response to soil moisture stress. Crop Sci. 14:361-364.
7. Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates of corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. Plant physiol. 46:233-235.

8. Boyer, J. S. 1976. Photosynthesis at low water potentials. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 273:501-512.
9. Culter, J. M., K. W. Shahan and P. L. Steponkus. 1980. Alteration of the interanal water relations of rice in response to drought hardening. *Crop Sci.* 20:307-310.
10. Dingkuhn, M., R. T. Cruz, J. C. O'Toole and K. Dorffing. 1989a. Net photosynthesis, water use efficiency, leaf water potential and leaf rolling as affected by water deficit in tropical upland rice. *Aust. J. Agric. Res.* 40:1171-118.
11. Dingkuhn, M., S. K. De Datta, K. Dorffling and C. Javellana. 1989b. Varietal differences in leaf water potential, leaf net CO assimilation, conductivity and water use efficiency in upland rice. *Aust. J. Agric. Res.* 40:1183-1192.
12. Henzell, R. G., K. J. Mccree, C. H. M. Van Bavel and K. F. Sherte. 1975. Method for screening sorghum genotypes for stomatal sensitivity to water deficits. *Crop Sci.* 15:516-518.
13. Hsiao, T. C. 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
14. Ludlow, M. M. 1980. Adaptive significance of stomatal reponse to water stress. In Turner N. C. and P. J. Kramer (ed.) *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. A Wiley-Interscience publication. New York.
15. O'Toole, C. and R.T. Cruz. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* 65:428-432.
16. Patrick, W. H. Jr. and I. C. Mahapatra. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen phosphorus in waterlogged soils. *Adv. Agron.* 20:323-357.
17. Ponnamperna, F. N., R. Bradfield and M. Peech. 1955. Physiolo-gical disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature.* 175-265.
18. Silvius, J. E., R. R. Jonson and D. B. Peters. 1977. Effect of water stress on carbon assimilation and distribution in soybean plants at different stages of development. *Crop Sci.* 17:713-716.
19. Takai, Y., Koyama and T. Kamura. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. Part 1. *Soil and Plant Food.* 2:63-66.
20. Tangaraj, M., J. C. O'Toole and S. K. De Datta. 1990. Root response to water stress in rainfed lowland rice. *Expl. Agric.* 26:287-296.
21. Walker, D. 1990. The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis. pp. 163-196. Univ. of Sheffield, U. K.

Effects of Controlled Moisture Regime on Growth of Rice¹

II. Physiological Performances and Photosynthesis

Jiann-Feng Lee² and Shih-Shiung Chen³

ABSTRACT

Field and pot experiments were conducted in the first and second crops of 1992 to investigate the effects of controlled soil moisture regime on the physiological performances and photosynthesis of two rice cultivars, Taichung 189 and Taichung sen 10. Split-plot design was laid out with three replications. Two rice cultivars were used as subplot, and three levels of soil moisture tension as main plot. During vegetative growth stage, soil-drying were practiced to reach 0.02, and 0.04 MPa before next irrigation, while the control (0.00 MPa) group was submerged continuously. Three levels (0.3, 0.6, and 1.2 g/pot) of nitrogen fertilizer, which are equivalent to 60, 120 and 240 kg N/ha, respectively, were applied to pot experiment for comparison of effects of nitrogen among different soil moisture treatment regimes. Experimental results showed that a lower leaf water potential and stomata conductivity in rice leaves of 0.02 and 0.04 MPa treatments than that of the control. Photosynthetic rates of Taichyng 189 decreased by 19-23% of 0.02 and 0.04 MPa treatments than that of the control, while that of Taichung sen 10 decreased by 15-22%. The average photosynthetic rate of Taichuhg sen 10 was 10% higher than that of Taichung 189.

Key words: rice, soil moisture regime, water potential, stomata conductivity, photosynthetic rate.

¹ Contribution No. 0430 from Taichung DAIS. This Experiment was Granted by National Science Council (NSC82-0409-b-005-013) Executive Yuan.

² Assistant Agronomist of Taichung DAIS.

³ Professor, Department of Agriculture, National Chung Hsing University.