

# 10 水分管管理對水稻生育及米質之影響

陳世雄<sup>1</sup>、李健鋒<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學農藝學系

<sup>2</sup>行政院農業委員會臺中區農改場作物改良課

E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

摘要 .....	116
壹、前言 .....	116
貳、土壤水分與及養分有效性之關係 .....	117
參、水分管管理對水稻生育之影響 .....	118
肆、控制土壤氧化還原電位對水稻生育之影響 .....	124
伍、水分管管理對稻米品質之影響 .....	125
陸、引用文獻 .....	128
英文摘要 .....	130

# 10 水管理對水稻生育及米質之影響

陳世雄<sup>1</sup>、李健鋒<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學農藝學系

<sup>2</sup>行政院農業委員會臺中區農改場作物改良課

E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

## 摘要

本研究一系列田間試驗結果顯示，適度減少灌溉水，提高土壤水分張力至0.01 MPa，可以提昇土壤氧化還原電位，有助於提昇水稻幼苗根活性及乾物質累積速率。若於高張力提早晒田後，適量補量磷肥，有助於提高根活性，增加分蘗數，增加稻穀產量18%。營養生長期提昇灌溉起點之土壤水分張力至0.02 MPa，對臺中秈10號並未造成產量降低，但臺中189號產量顯著降低25%，顯示品種間對乾旱忍受性有相當大之差異。建議在容易缺水地區，推廣適當品種種植，可以獲得較高之灌溉水利用效率。穀粒充實期可施以間歇性灌溉，一期作以0.018 MPa，二期作提高至0.027 MPa做為灌溉地點，可以獲得最高產量。

關鍵詞：水稻、土壤、水分張力、氧化還原電位、土壤水管理。

## 壹、前言

水資源的有效利用攸關人類生存與發展。我們生存的地球外觀是個水藍色的多水星球，但其中97%是不能直接利用的海水。如果將地球設法抹平，地面上將會多出2,700公尺高的海水。如果將海水蒸發掉，剩下的是12公尺高的鹽。地球的淡水只佔3%，其中冰雪又佔了70%，地下水佔30%，剩下0.25%才是可用的湖泊河川淡水，多數地方需要靠降雨補充。臺灣得天獨厚，每年有890億噸的降雨量，這是世界平均的2.5倍，但是由於人口密度太高，每

人分配到的雨水量比沙烏地阿拉伯還少。為了滿足國人的需求，每年還要超抽23億公噸的地下水，佔全部用水量的九分之一。目前全世界60億人口當中，有將近20億人飲用不乾淨的水。全世界水源只有10%為民生用水，20%為工業用水，農業灌溉用水則佔70%。我們不免懷疑，這其中是不是可能有浪費與不合理的使用。一般植物每形成一公克乾物質需500公克水分，但水稻卻需要1,000公克的灌溉水，才能形成同量的乾物質。顯示在慣行的湛水灌溉過程，由於大量蒸發與滲漏，形成水稻較低的水分利用效率。事實上，水稻慣行的湛水栽培，除了有抑制雜草及硝化作用

外，並沒有其他好處。長期澆水處理，除浪費大量水資源，導致植株軟弱，容易倒伏外，也容易因還原狀態下，毒害物質累積，而對水稻根系環境造成不利的影響。近年來由於工業及民生用水劇增，加上降雨量不足，造成農業灌溉用水嚴重缺乏。如何管理土壤水分，使水稻得以在適當通氣的根系環境下生長，並進一步探討節省灌溉水的可行方法，以降低生產成本，是臺灣農業的重要課題。

## 貳、土壤水分與及養分有效性之關係

土壤通氣狀況的評估指標，在旱田是土壤氧氣濃度；在浸水土壤則是土壤氧化還原電位。影響旱田作物根系呼吸主要在於土壤孔隙中之氧氣含量。土壤浸水後，氧氣迅速被土壤微生物消耗殆盡，且氧氣在水中之擴散速率較在空氣中慢千倍以上，使得浸水土壤之通氣成爲重大限制。水稻等水生作物，由於存有通氣組織，不太需要直接利用土壤溶液中之氧氣。但滲漏較快、通氣較佳的土壤，氧化還原電位較高，土壤通氣情況良好，其土壤環境與排水通氣不良、氧化還原電位低的土壤截然不同。稻田在排水通氣狀態，土壤有充分的氧氣供給作物根部呼吸，微生物可利用氧氣行呼吸作用，分解土壤中的有機質，此時土壤是處於氧化狀態。但在澆水狀態下，氧氣進入土壤的量減少，無法提供充足氧氣，做爲微生物呼吸作用電子的接受者。轉而由 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Mn}_4^+$ 、 $\text{Fe}_3^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及 $\text{CO}_2$ 替代做爲電子接受者，此等物質陸續依序被還原(圖1)，使得澆水土壤轉變成還原狀態(Ponnamperuma, 1985)。土壤氧化還

原狀態與養分有效性及土壤肥力有關。土壤肥力指土壤提供作物生長所需養分之能力，此能力大小仰賴土壤所含作物需要養分之量，其有效性能否應付作物需求，以及養分間之比例及均衡性而定(Reddy and Patrick, 1986)。土壤溶液藉由整體流動(mass flow)及擴散(diffusion)，持續供應養分到作物根表面的能力，則視作物之養分需求、存在可以利用的離子成分、毒害物質及干擾養分吸收因子而定。水稻栽培期間，土壤長時間處於水分飽和或澆水狀態，此種栽培方式不但消耗大量灌溉水，也阻礙土壤通氣(王，1974；Rahman and Yoshida, 1985)，使得土壤還原電位降低(張，1984；Aomine, 1962；Patrick and Mahapatra, 1968)。土壤氧化還原電位低於-150mV， $\text{SO}_4^{2-}$ 被還原後，如果土壤中沒有足夠的鐵，就有可能形成硫化氫，而形成所謂的秋落田。高度還原土壤造成毒害物質的累積(Ponnamperuma *et al.*, 1955)，足以影響水稻的根活性及養分吸收(陳，1992)。減少灌溉使土壤暫時乾燥，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(陳，1992；Baver *et al.*, 1972；Thangaraj *et al.*, 1990)。此外，由於土壤氧化還原電位的提昇，對氮素的有效性、磷的固定都可能造成影響，而影響水稻之生長及發育(黃，1984；陳，1992)。如果因爲減少灌溉水，導致水分吸收不足，將造成葉片水分潛勢、氣孔導度及光合作用降低(Culter *et al.*, 1980；Dingkuhn *et al.*, 1989；Hsiao *et al.*, 1984；O'Toole and Cruz, 1980)，使得光合產物減少，不利於水稻生育。

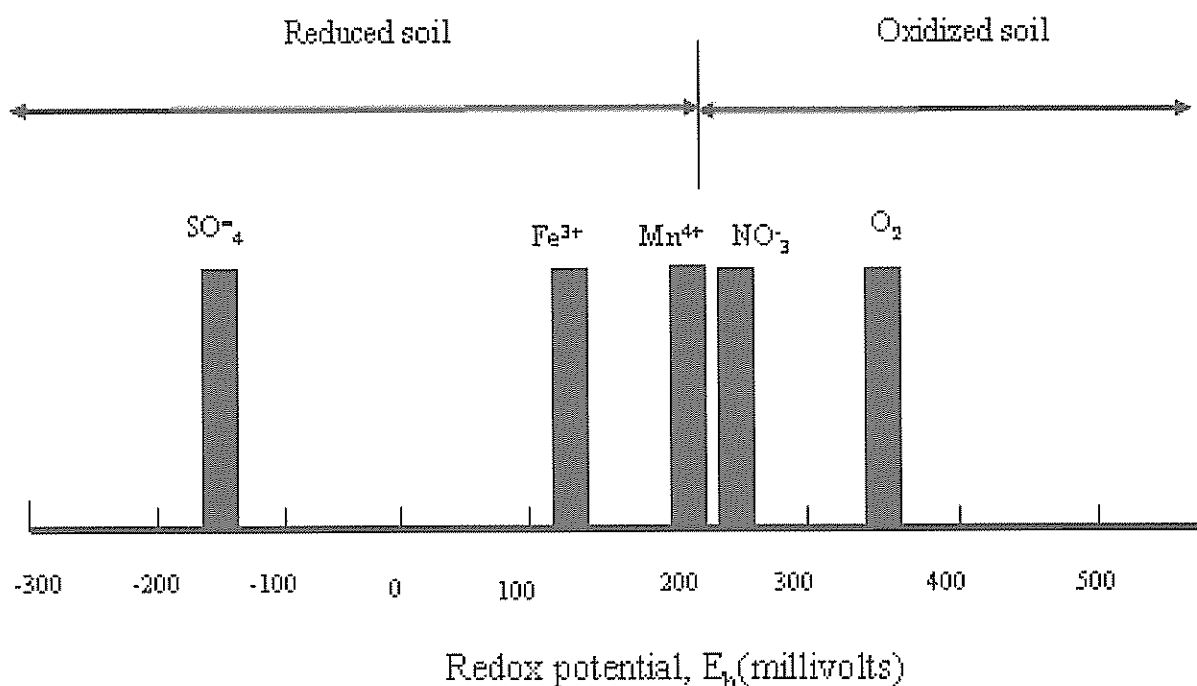


Fig.1. Relation of soil redox potential and order of elements reduced.

## 參、水管理對水稻生育之影響

### 一、土壤水分張力對水稻幼苗生育之影響

傳統觀念認為水稻幼苗不能遭遇乾旱，必需灌水栽培。事實上，適度提昇幼苗期土壤水分張力，改善根系環境通氣，不但有助於提高根活性，也可以促使稻株強健。陳等(1996)探討高土壤水分張力處理，對不同品種水稻幼苗根活性及生育之影響。以0.01 MPa水分張力處理盆栽水稻幼苗，並以灌水處理為對照。水稻品種包括梗稻臺中189號、臺農67號、及秈稻臺中368號、臺中秈10號等四個品種。試驗結果顯示，0.01MPa之高土壤水分張力較灌水可以提高水稻幼苗根活性65%。秈稻較梗

稻有較高的根活性，秈稻在種植後17天之根活性，0.01 MPa高土壤水分張力與灌水處理，分別較梗稻高出15及28%。種植第23天後，根活性急速降低。0.01 MPa土壤水分張力處理，顯著提昇種植17天秈稻之地上部乾重，由每株平均54 mg增加至64 mg，梗稻則沒有顯著差異(圖2)。0.01 MPa水分張力處理也顯著提高臺中秈10號及臺中189號根之乾重(圖2)。臺中368號在浸水處理顯示最高的根活性(19.91A g<sup>-1</sup> dw root)及乾物累積速率(5.67 mg plant<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)，其乾物累積速率較臺中189號之2.73 mg plant<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>高出一倍以上。在高水分張力(0.01 MPa)處理，則以臺農67號乾物累積速率最高。高水分張力處理顯著提昇臺中189號之根活性，因而提高其乾物累積速率。整體而言，秧苗期適度的排水至0.01 MPa土壤水分張力，改善土壤通氣，對水稻根活性及植株生長皆有助益。

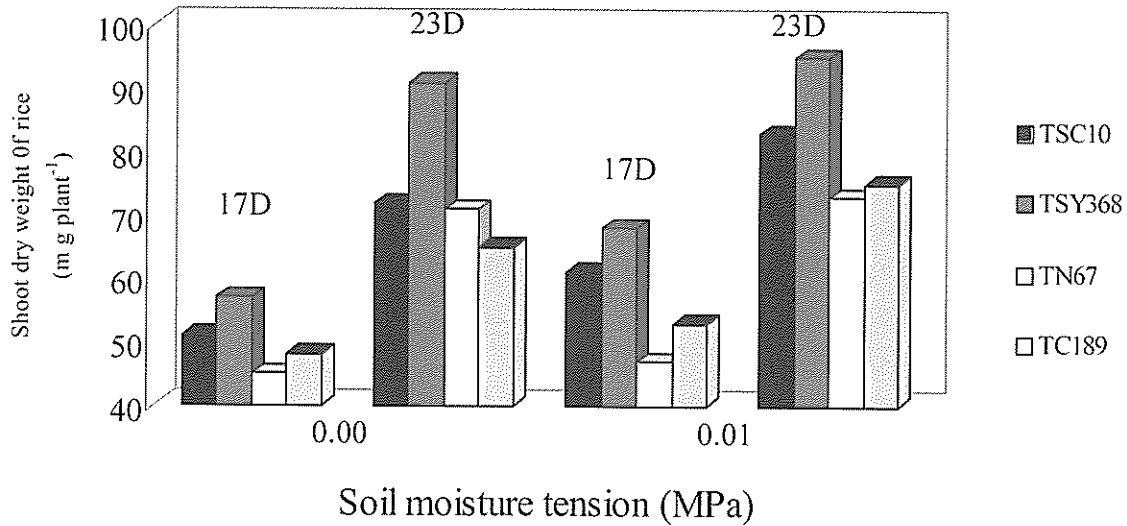


Fig.2. Shoot dry weight ( $\text{g plant}^{-1}$ ) of rice cultivars Taichung Sen 10 (TCS 10), Tai Sen Yu 368 (TSY 368), Tainung 67 (TN67), and Taichung 189 (TC189), as affected by soil moisture tension (0 and 0.01 MPa) at 17 and 23 days after planting (fall crop, 1994)

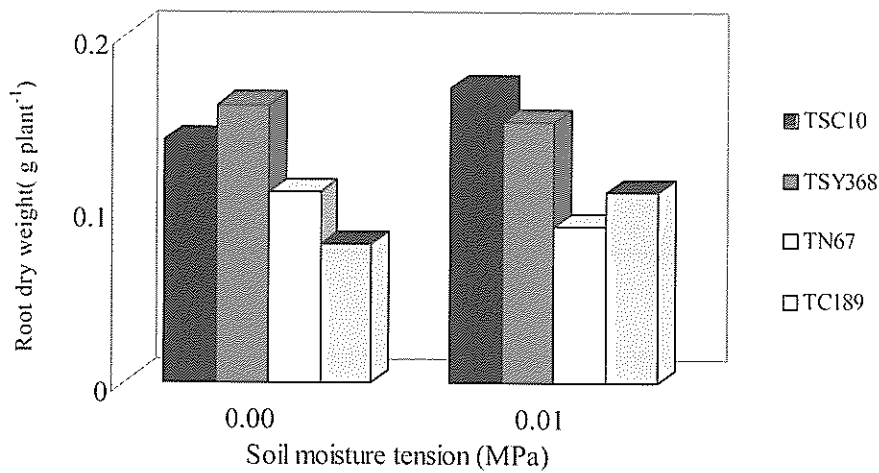


Fig.3. Root dry weight ( $\text{g plant}^{-1}$ ) of rice cultivars Taichung Sen 10 (TCS 10), Tai Sen Yu 368 (TSY 368), Tainung 67 (TN67), and Taichung 189 (TC189), as affected by soil moisture tension (0 and 0.01 MPa) at 23 days after planting (2nd crop, 1994)

## 二、分蘖期晒田對水稻生育之影響

晒田用意在於阻斷水稻養分吸收，抑制無效分蘖，一般晒田處理常在分蘖盛期後施行。但由停止灌溉開始晒田，至乾旱達

到阻斷抑制效果，往往需要一週以上時間。在此期間往往又長出許多無效分蘖，顯然有必要提早晒田。特別是在排水不良，通氣不足土壤。陳(1991)以臺農67號及臺農70號兩個品種，分別提早在4本分蘖及

10本分蘖期晒田，以連續浸水為對照。晒田後並分別以不施、加施一倍及兩倍磷肥處理。試驗結果顯示，提早於4本分蘖期晒田至土壤水分張力達0.08 MPa後，土壤還原電位提高380 mV以上，土壤穿刺阻力由對照(浸水)區之43 kg cm<sup>-2</sup>增加至58 kg cm<sup>-2</sup>，根的伸展受到抑制，根長減少64-73%。但根徑加粗，分支根大量增加。晒田後土壤抽出液氮含量降低50%，磷之有效性降低90%，鉀則不受影響。抽穗期水稻劍葉氮及鉀的濃度並不因晒田而降低，但磷濃度則因高張力晒田降低33%，分蘖數亦由對照之平均18株減少為12株。晒田後增施磷肥，可以提高稻根活性，增加葉片磷濃度，分蘖數由12株增加至15株。推測晒田抑制水稻分蘖過程中，土壤穿刺阻力升高

造成之根部發展及吸收受阻；以及土壤有效性磷濃度降低，造成水稻磷的吸收受到抑制，都是可能的重要機制。臺農67號水稻根活性較臺農70號為弱，不適合通氣不良之低還原電位。提早在10本分蘖期晒田可以有效改善臺農67號根系環境之通氣，提高根活性，增加稻穀產量18%(表1)。

### 三、營養生長期水分管理對水稻生育之影響

水稻在營養生長期間，主要進行分蘖的產生以及植體的生長。Kawata et al. (1980)指出，水稻在長期湛水及間斷灌水栽培下，其冠根數以長期湛水栽培最多，分支根則以間斷灌水栽培較多。Thangaraj et al. (1990)以盆栽試驗持續排水16天後，0

Table 1. Agronomic characteristics of rice cultivars Tainung 67 and Tainung 70 measured at harvest as affected by soil-drying experiment. (1st crop, 1990)

Soil-drying started at stage of tiller no.*	Cultivar	Tiller / plant			Panicle dry wt.	Grain Yield
		Total	Effective	Plant height		
				cm	g/plant	t/ha
4	Tainung67	21.0a	11.0b	91b	20.0b	3.21b
	Tainung70	18.9a	7.9c	91b	13.1c	2.09c
10	Tainung67	19.2a	13.2b	95b	22.4b	3.59b
	Tainung70	22.5a	12.0b	96b	19.0b	3.03b
Control	Tainung67	21.0a	12.4b	105a	19.0b	3.04b
	Tainung70	23.0a	19.0a	104a	27.2a	4.35a

\*Soil-drying treatments at 4- and 10-tiller stages were at 28 and 37 days after transplanting, respectively.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$  by Duncan's MRT.

Table 2. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10 as affected by soil moisture regime during vegetative growth stage (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Panicle number	Kernels /panicle	1000-kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa			g	%	kg/ha
TC 189	0.00	11.6a	154a	22.7d	90.0b	3304a
	0.02	9.2b	147a	25.2b	95.7a	2487b
	0.04	8.2c	143ab	23.6c	93.4a	2279b
TCS 10	0.00	11.5a	152a	25.0b	88.7b	3233a
	0.02	9.9b	122c	26.6a	89.5b	2670b
	0.04	9.8b	130bc	26.4a	90.5b	2676b

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$  by Duncan's MRT.

Table 3. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10 as affected by soil moisture regime during vegetative growth stage. (2nd crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Panicle number	Kernels /panicle	1000-kernel weight	Seed setting	Yield
	Mpa			g	%	kg/ha
TC189	0.00	12.8a	121a	24.9b	89.4b	3481a
	0.02	7.9d	130a	25.6ab	93.5a	2582b
	0.04	8.2cd	138a	26.5a	94.5a	2529b
TCS10	0.00	11.1b	142a	25.8ab	87.9b	3610a
	0.02	9.5c	140a	26.4a	89.3b	3584a
	0.04	9.0cd	127a	26.3a	91.3ab	3330a

~20公分土層穿刺阻力增加至2.5MPa，使得稻根生長減少47%。李等(1996)在水稻營養生長期(一期作從插秧後第14天，二期作從插秧後第7天開始處理)提高15公分深土壤水分張力至0.02及0.04MPa，使得一期作臺中189號之穗數顯著降低20.7~29.3%，臺中秈10號降低13.9~14.8% (表2)；二期作臺中189號之穗數亦顯著降低35.9~38.3%，臺中秈10號則降低14.4~18.9% (表2)。因穗數降低，導致一期作臺中189號之稻穀產量顯著降低25%(0.02 MPa之處理)及31% (0.04 MPa)，臺中秈10號則兩個高水分張力處理產量均降低17% (表2)。二期作臺中189號在0.02及0.04 MPa之處理，產量大幅降低27%。臺中秈10號則在較高土壤水分張力處理，並未造成產量降低 (表3)。試驗結果顯示，臺中秈10號可以適應土壤水分逆境在較高之土壤水分張力下，仍有不錯之產量表現。

#### 四、生殖生長期水分管理對水稻生育之影響

水稻生殖生長期可分為幼穗分化期及抽穗期，此二時期對水分逆境反應最為敏感。稻之幼穗形成期是穎花分化及一穗粒數決定的時期，此一時期環境因素的改变，將影響產量構成要素之一穗粒數及稔實率。Ofelia and O'Toole (1986) 指出，在花粉形成期間因水分逆境引起稔實率降低，是導致產量降低的主要原因。在減數分裂期間以不同程度的水分逆境處理，稔實率隨著劍葉水分潛勢降低而直線下降。葉片水分潛勢在-1.1MPa (對照組)時稔實率為80%，當葉片水分潛勢降低至-3.5 MPa時，稔實率降低至50%，對產量有顯著不良的影響。經進一步分析花粉母細胞減數

分裂過程，在水分逆境下有較多不正常的染色體發生，以及未成熟、白色的小穗發生，萎縮小穗的數目隨著葉片水分潛勢的降低而增加。稻之抽穗期包括穗軸抽出、外內穎開啓及授粉等過程，此時期與產量構成要素之稔實率有關。Cruz and O'Toole (1984)以最大蒸發散量做為稻株需水的指標，在開花期間當蒸發散量低於最大蒸發散量30%以上時，即土壤中水分不足最大蒸發散量30%以上時，產量即呈直線遞減，產量降低的原因為稔實率下降所致。在抽穗期間，葉片水分潛勢與穗軸抽出葉鞘的抽出度，有顯著的直線關係。平均約有30%的不稔率，是由於穗包覆在葉鞘中，不能抽出所致。故在抽穗期，當水分供應不足植株所需時，由於不稔實率增加以及穗抽出困難，造成稔實率降低，對產量有鉅大的影響。

水稻穀粒充實期是光合產物急速累積的時期，此期間缺水對於產量構成要素之稔實率及千粒重，會有重大的影響。影響穀粒充實的因子，為光合產物累積速率及累積期間的長短。Rahman and Yoshida (1985)在開花後第三天起，分別以田間容水量100%、75%及50%之土壤水分處理，維持至成熟期結束。結果當土壤水分降低至田間容水量50%時，產量明顯降低16~20%。造成產量降低的主要原因，為穀粒的充實速率降低所致，對穀粒充實期間的長短則沒有影響。此外，莖及葉鞘於開花前貯存的光合產物，在缺水而光合作用受限時，可提供作為穀粒充實的供源(Source)，扮演重要的角色。李等(1993)在水稻齊穗後提高土壤水分張力(0.02及0.04 MPa)，對於水稻產量並無降低之趨勢(表4、5)，進一步經由多項式迴歸分析，顯示



Table 4. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Plant height	Growth duration	Panicle weight	Panicle number	Kernels /panicle	1000- kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa	cm	day	g			g	%	kg/ha
TC 189	0.00	124a	120a	3.5a	12.9a	145a	24.6b	93.2a	3431a
	0.02	128a	122a	3.3a	12.0a	153a	22.9c	91.0ab	3581a
	0.04	127a	122a	3.3a	12.3a	152a	23.2c	89.1bc	3363a
TCS 10	0.00	112b	120a	3.6a	12.5a	146a	26.0a	88.5bc	3362a
	0.02	111b	122a	3.7a	13.2a	151a	26.2a	88.0c	3408a
	0.04	113b	121a	3.6a	11.1a	147a	26.3a	87.2c	3293a

Table 5. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (2nd crop, 1992)

Cultivars	Soil moisture tension	Plant height	Growth duration	Panicle weight	Panicle number	Kernels /panicle	1000- kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa	cm	day	g			g	%	kg/ha
TC 189	0.00	112a	125a	3.1a	13.0a	137a	24.3a	83.1b	3350c
	0.02	110b	125a	3.3a	12.8a	138a	24.5a	89.3a	3550bc
	0.04	110b	125a	3.3a	13.0a	138a	25.1a	91.0a	3409bc
TCS 10	0.00	99c	119a	3.4a	12.9a	143a	24.9a	86.7a	3782ab
	0.02	100c	119a	3.5a	12.5a	147a	25.0a	90.5a	4041a
	0.04	98c	119a	3.4a	12.8a	141a	25.1a	88.0a	3996a

在穀粒充實期，適當減少灌溉水，一期作提高土壤水分張力至0.018 MPa，二期作則提高至0.027 MPa做為灌溉起點，可以得到最高的產量(表6)。顯示在不造成水稻水分逆境情況下，適度提昇土壤水分張力，改

善土壤通氣，並不致於造成水份產量降低。由二期作最適土壤水分張力高於一期作，也顯示二期作臺灣稻田土壤通氣不良的情況，較一期作嚴重，需要較高的土壤張力改善土壤通氣。

Table 6. Polynomial regression analysis for yield of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 on soil moisture tension during grain filling stage (1st and 2nd crops, 1992)

Crop season	Cultivar	Polynomial regression equation				Optimum soil moisture tension MPa
		a	bx	cx <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	
First	TC 189	3431	16700	-460000	0.3068	0.0182
	TCS 10	3362	6325	-201250	0.0716	0.0157
Second	TC 189	3350	18525	-426250	0.1742	0.0217
	TCS 10	3782	20550	-380000	0.2911	0.0270

上述結果也顯示水稻在不同的生長階段，根系的發展及植株的型態均有差異，對水分的需求及吸收水分的能力必然也不一樣。因此欲瞭解水稻生長對水分之需求，則必須針對水稻不同生育時期，分階段進行探討，方能獲得合理之稻田水管理方法。

#### 肆、控制土壤氧化還原電位對水稻生育之影響

土壤水分及空氣變化影響稻田土壤物理化學性質最重要者，為土壤氧化還原電位(圖1)，若能直接以白金電極監控土壤氧化電位，更有助於瞭解土壤水分及通氣管理對水稻生育之影響。陳(1992)利用浸水及排水時間長短控制土壤氧化還原電位。兩個品種(臺農67號及臺農70號)分別以三個還原電位範圍(-300~0, -200~+100及-100~+300mv)處理。試驗結果顯示，兩個品種對土壤還原電位的反應不一致。臺農67號根活性較弱，在低還原電位處理(-300~0 mV)每公克稻根只有3.5A(吸光度)，

在較適中之還原電位(-200~+100 mV)範圍，根系環境通氣良好，可以提高根活性至17.7A，因而得到較高之產量。臺農70號根活性較強，即使在較低之還原電位，由於磷的有效性及銨態氮的濃度較高，生育較好，反而得到較高產量。兩個品種在較高之還原電位(-100~+300 mV)處理，可能由於土壤溶液中氮及磷的有效性降低，影響養分的吸收，光合作用速率下降，產量因而低下，為三個還原電位處理最低者。臺農70號在低還原電位處理，抽穗期光合作用速率為 $14 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，較在高還原電位 $8 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 高，可能與在低還原電位下水稻吸收氮素較多有關。臺農67號在低還原電位處理下，光合作用速率較高為 $13 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，但收穫指數只有45%，產量較低，每株只有12.5g。在中度還原電位處理者，光合作用速率為 $12 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，由於收穫指數高達51%，產量為每株20.6 g (表7)，顯示在不同土壤還原電位下，可能造成水稻光合產物分配之差異，是影響產量的一個重要因素。

Table 7. Yield and agronomic performance of rice cultivars Tainung 67 and Tainung 70 as affected by soil redox potential. (1st crop, 1991)

Cultivar	Soil redox potential*	1000kernels			
		weight	Grain yield	Harvest index	Seed setting
		g	g/plant	%	%
Tainung67	Low	20a	12.5bcd	45b	85b
	Medium	21 <sup>a</sup>	20.6a	51a	91a
	High	20 <sup>a</sup>	13.1bcd	47ab	90ab
Tainung70	Low	22a	17.7ab	46b	82c
	Medium	21a	15.8abc	47ab	89ab
	High	23a	10.6b	49ab	91a

\* Low: Range of soil redox potential between -300 and 0 mv.

Medium: Range of soil redox potential between -200 and +100 mv.

High: Range of soil redox potential between -100 and +300 mv.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha = 0.05$  by Duncan's MRT.

## 伍、水分管理對稻米品質之影響

影響稻米品質的因子相當多。在生產階段包括品種、氣候、土壤、期作、栽培、病蟲害防治及收穫調製等。在收穫後調製階段則包括乾燥、貯藏及碾米方法。此外，在消費階段包括米的浸漬時間、炊飯量及煮飯方式等，均會影響米飯的品質。這其中除氣候條件無法以人為改變外，其餘均可依人為改變做適當的調整及處理，以栽培或調製方法改變對水稻生育及稻米品質之影響。稻米品質，包括碾米品質、白米外觀及食用與烹調品質。碾米

品質包括糙米率(brown rice)、白米率(milled rice)及完整米率(head rice)，其值愈高愈好。白米外觀包括透明度(translucency)及心腹白(white belly)，其值愈低愈好。食用與烹調品質則希望直鏈澱粉(amylose)及粗蛋白質(crude protein)含量愈低，凝膠展延性(gel consistency)愈高(宋等，1991)，預期有較好的米質。國內中部地區一期作一般於插秧後45天開始進行晒田(斷水)處理，二期作則約於插秧後35天開始。李等(1996)將一二期作晒田時間分別提早5及10天，結果顯示一期作提早斷水晒田，其直鏈澱粉與蛋白質含量亦有降低之趨勢，有助於稻米品質之提昇(表8)。二期作提早進行斷水晒田，可以有效提高完整米率，提高白米之商品價值(表9)。兩期

Table 8. The milling quality and chemical property of rice cultivars Tainung 67, Taichung Sen 10, and Taichung 189 as affected by early intermittent drying during vegetative growth stage. (1st crop, 1994)

Cultivar	Days to drying*	Brown rice	Milled rice	Head rice	Trans-lucency	White center	White belly	Amylose	Crude protein	Gelconsistency
	day	%	%	%				%	%	
TN67	30	81.4b	72.5bc	63.6b	3.5	0	2	16.0c	6.55d	86S
	40	82.0a	73.4a	55.2d	3.5	0	3	16.3bc	6.49d	85S
	45(CK)	81.6ab	73.6a	67.3a	3.5	1	2	17.6a	6.69cd	87S
TC189	30	80.8c	72.2c	59.0c	3	0	0	16.9b	6.65d	79S
	40	81.7ab	73.3ab	43.8e	3	0	1	15.6d	7.05b	85S
	45(CK)	81.6ab	73.2ab	64.0b	3	0	1	16.8b	7.00b	91S
TCS10	30	78.4d	69.5d	65.6ab	3	0	0	16.4bc	6.78bcd	84S
	40	78.6d	69.5d	65.4ab	3	0	0	16.7b	6.98bc	77S
	45(CK)	78.7d	69.5d	65.0ab	3	0	1	16.3bc	7.36a	84S

\*: Days from transplanting to intermittent soil drying.

Table 9. The milling quality and chemical property of rice cultivars Tainung 67, Taichung Sen 10, and Taichung 189 as affected by early intermittent drying during vegetative growth stage. (2nd crop, 1993)

Cultivar	Days to drying*	Brown rice	Milled rice	Head rice	Trans-lucency	White center	White belly	Amylose	Crude protein	Gelconsistency
	day	%	%	%				%	%	
TN67	20	82.5a	75.3a	69.7abc	3	0	2	17.9a	8.65cd	93S
	25	82.3a	75.6a	70.7a	3	0	2	17.6ab	8.42cd	98S
	35(CK)	81.7b	74.8ab	66.1cd	3.5	0	2	17.4abc	8.71bc	95S
TC189	20	81.3b	74.2b	69.8ab	3	0	0	17.5ab	8.27d	95S
	25	81.4b	74.3b	68.8abc	3	0	0	17.3abc	8.55cd	92S
	35(CK)	81.8b	74.8ab	65.6d	3	0	1	17.9a	8.62cd	94S
TCS10	20	78.9c	71.6c	66.8bcd	3	0	0	17.2bc	8.944cd	92S
	25	78.8c	71.9c	67.0bcd	3	0	0	17.1bc	9.10a	87S
	35(CK)	79.3c	72.1c	65.4d	3	0	0	16.9c	9.02ab	86S

作提早進行斷水晒田，均可以有效增加白米外觀之透明度，及降低心腹白，因此有助於提昇白米之外觀品質(表8、9)。

水稻齊穗後植株上部葉片，為主要進行光合作用，生產碳水化合物的部位，需仰賴充足的水分輸送轉存至穀粒，使穀粒飽滿。故此一時期又稱為灌漿期，仍應充分灌溉至抽穗後第18天為止。然須視水稻齊穗後的植株型態色澤而定。若水稻齊穗後植株葉色過於濃綠軟弱，表示水稻已吸收過量氮肥，如再給予湛水管理，則水稻生育後期可能倒伏，病蟲害也較容易發生，同時米粒因吸收太多氮肥，蛋白質含量太高，會降低其食味品質。所以水稻齊穗後，植株葉色仍過於濃綠時，不宜採用湛水管理。應該採用乾濕交替輪灌方式，可促進硝化作用之進行，有效降低土壤中

氮素含量，使水稻減緩對氮素的吸收，提升稻米食味品質。小葉及高見(1981)指出在開花後第一天至第十天之間，以劍葉相對水分含量95~97%處理，使得處理區由植株在開花前所貯存的光合產物轉移至穀粒者佔穀粒乾物質重量25.6%，而對照區只佔14.6%。李等(1993)在水稻齊穗後提高土壤水分張力至0.02及0.04 MPa，結果顯示在穀粒充實期，提高土壤水分張力，對於水稻之碾米品質、白米外觀、烹調及食用品質均不會產生影響。臺中秈10號一期作在高土壤水分張力處理下，米飯食味及總評優於對照之處理(表10)，二期作臺中秈10號在較高土壤水分張力下，米飯食味品評項目中之外觀、香氣亦不亞於對照之處理(表11)。

Table 10. Eating quality\* of cooked rice (cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10) as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil	Appearance	Flavor	Taste	Stickiness	Hardness	Overall
	moisture tension MPa						
TC 189	0.00	-1.143c	-0.286ab	-1.000ab	-1.000ab	+0.571a	-1.000ab
	0.02	-1.174d	-0.714b	-1.571c	-1.571b	+0.587a	-1.571b
	0.04	-1.000b	-0.571ab	-1.286bc	-1.000ab	+1.000a	-1.286ab
TCS 10	0.00	-0.500ab	0.000ab	-0.667ab	-0.500a	+0.333a	-0.667a
	0.02	-0.667ab	-0.167ab	-0.500a	-0.500a	+0.500a	-0.500a
	0.04	-0.333a	-0.167ab	-0.333a	-0.333a	+0.333a	-0.333a

\* Rating evaluated by sense of panel testing in comparison with rice cultivar Taichung 189 cultivated in Tien-chung, Chang-Hwa county, as the control. Where +, 0, and - denote ratings higher, equal to, and lower than the control, respectively.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.10$  by Wilcoxon signed-rank test.

Table 11. Eating quality\* of cooked rice (cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10) as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (2nd crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture						
	tension MPa	Appearance	Flavor	Taste	Stickiness	Hardness	Overall
TC 189	0.00	-0.134b	-0.072a	-0.072a	-0.072a	+0.063a	-0.072a
	0.02	-0.167b	-0.250a	-0.250a	-0.333a	+0.083a	-0.334a
	0.04	-0.084a	-0.084a	-0.250a	-0.333a	+1.334a	-0.250a
TCS 10	0.00	+0.197a	+0.063a	-0.009a	-0.134a	+0.161a	-0.009a
	0.02	+0.473a	+0.063a	-0.072a	-0.063a	+0.402a	-0.072a
	0.04	+0.277a	+0.063a	-0.134a	-0.259a	+0.348a	-0.197a

\* Rating evaluated by sense of panel testing in comparison with rice cultivar Taichung 189 cultivated in Tien-chung, Chang-Hwa county, as the control. Where +, 0, and - denote ratings higher, equal to, and lower than the control, respectively.

## 陸、參考文獻

- 小葉田亨、高見普一。1981。登熟初期の水ストレスがイネの穀實生長，乾物分配および玄米收量に及ぼす影響。日作紀50(4): 536-545。
- 王敏昭。1974。土壤通氣對水稻生長的影響。國立中興大學碩士論文。
- 張英勝 1984 水稻田還原電位的變異及管理。國立中興大學碩士論文。
- 黃明輝。1984。稻田土壤還原電位之檢定及用於水分管理之研究。中華農業研究 33(3): 265-275。
- 宋勳、洪梅珠、許愛娜。1991。臺灣稻米品質之研究。p.8。臺中區農業改良場特刊第24號。
- 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。
- 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。
- 李健鋒、陳世雄、許愛娜、宋勳。1993。穀粒充實期土壤水分境況對水稻生育及米質之影響。臺中區農業改良場研究彙報 39:41-50。
- 李健鋒、陳世雄。1994。營養生長期土壤水分境況對水稻生育之影響-對產量及產量構成要素之影響。臺中區農業改良場研究彙報 42:29-40。
- 李健鋒、宋勳、陳世雄。1996。營養生長期提早斷水對稻米品質之影響。臺中區農業改良場研究彙報 51:31-39。
- 陳世雄、張倩玉、李健鋒。1996。高土壤水分張力對水稻幼苗期根活性及生育之影響。中華農藝 6: 27-33。

- Aomine, S. 1962. A review of research on redox potential of paddy soils in Japan. *Soil Sci.* 94: 6-13.
- Baver, L. D., W. H. Gardner and W. D. Gardner. 1972. *Soil Physics*. John Wiley & Sons., Inc., New York, U. S. A.
- Culter, J. M., K. W. Shahan and P. L. Steponkus. 1980. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. *Crop Sci.* 20: 307-310.
- Cruz, R.T., and J. C. O' Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. *Agron. J.* 76:178-183.
- Dingkuhn, M., R. T. Cruz, J. C. O' Toole and K. Dorffing. 1989. 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: 117-118.
- Hsiao, T. C., J. C. O' Toole, E. B. Yambao and N. C. Turner. 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.* 75: 338-341.
- Kawata, S. I., M. Katano and K. Yamazaki. 1980. The root system development of rice plants in the worked and sub-soils of an actual paddy field. *Jap. J. Crop Sci.* 49:311-316.
- Ofelia, S. N. and J. C. O' Toole. 1986. Reproductive stage water stress and sterility. I. Effect of stress during meiosis. *Crop Sci.* 26:317-321.
- 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: 428-432.
- 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.
- Ponnamperuma, F. N., R. Bradfield and M. Peech. 1955. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature.* 175-265.
- Ponnamperuma, F. N. 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. p.71-89. In: *Wetland Soils : Characterization, classification, and Utilization*. IRRI. ed. Los Banos, Laguna, Philippines.
- Rahman, M. S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31(4): 497-511.
- Reddy, K. R. and W. H. Patrick, Jr. 1986. Denitrification losses in flooded rice fields. *Fert. Res. Rev.* 9:99-116.
- Thangaraj, 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.

# Growth and Quality of Rice as Affected by Management of Soil Moisture

Chen Shih-Shiung<sup>1</sup> and Lee Jiann-Feng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

<sup>2</sup> Taichung District Agricultural Improvement Station, COA, Chang-Hua, Taiwan (ROC)

E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

## Abstract

Results from a series of field experiments showed that reduced irrigation water for rice cultivation is feasible. During seedling stage, increased soil moisture tension to 0.01MPa enhanced soil redox potential, and thus a higher root activity and dry weight accumulation rate resulted. Supplementary phosphate fertilizer applied after 0.08 MPa intermittent drying practiced during the 10-tiller stage promoted root activity and tiller number, and thus a 18% grain yield increased. During vegetative growth stage, increased soil moisture tension to 0.02 MPa reduced 25% grain yield in rice cultivar Taichung 189, but no such effect occurred in the cultivar Taichung Sen 10. Results suggest that Taichung Sen 10 has a higher drought tolerance and water use efficiency. During grain filling stage, 0.018 MPa in the first crop and 0.027 MPa in the second crop as the irrigation starting point of soil moisture tension gave the highest grain yield.

**Key words:** Rice, Soil, Moisture tension, Redox potential, Soil moisture management.