

# 水稻栽培之灌溉與排水<sup>(1)</sup>

Noboru Yamada<sup>(2)</sup> 原著 徐玉標 譯<sup>(3)</sup>

農田灌溉排水對於土地利用，農業工程、土地墾殖與改良、農地重劃以及田間灌溉用水管理等均有很大之關係。本文討論之內容是有關於田間灌溉用水及排水之管理方面。

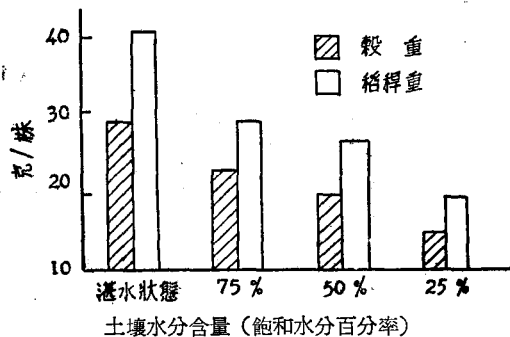
## (一) 灌水灌溉在農藝上之意義

### (A) 土壤水分與水稻

土壤水分含量在何種狀態下對水稻之栽培最適宜，以及能得到最高之產量，這是水稻栽培上最基本之問題。許多研究工作者均從事於這一方面之探討。圖

(一) 為這一方面研究結果之一例：

圖(一) 土壤水分含量對水稻生育及產量之關係 (UEDA, 1935)

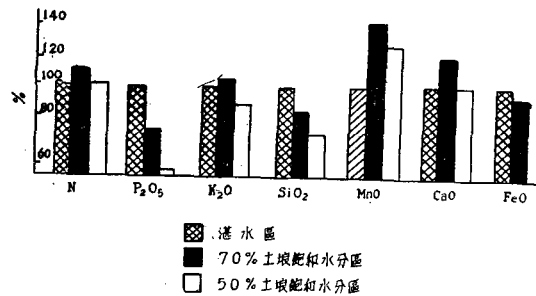


由圖(一)顯示，農田在灌水狀態(從生根至成熟)與旱田在不同水分含量下栽培水稻，有顯然之差異。在灌水狀態下水稻產量，不論穀粒或稻稈產量均最高，旱田栽培時，穀粒及稻稈之產量均隨土壤水分含量之降低而遞減，其他研究者之研究亦都得到與上述幾乎相同之結果。如水稻生長在不同灌溉水深下與土壤水分飽和(田面水深0cm)下之比較，其結果亦是水分飽和率最小區產量最差。1929年，Fukagi之報告指出，在乾旱區，濕潤區，水分飽和區，淺水區(灌水30mm)深水區(灌水60mm)栽培水稻，結果以淺水區每株水稻之穀重、穀粒數及稻稈重均最高。其次為深水區，再次分別為水分飽和區，濕潤區及乾旱區。但在另一方面而言，如果灌水過深，深度在100mm以上時，水稻之生育及產量亦很差。

土壤水分減少能很顯然地影響水稻根系對營養分

之吸收。BaBa氏在1956年用沙耕法栽培水稻，試驗結果如圖(二)所示。

圖(二) 水稻地上部營養分含量與土壤水分含量之關係



(以灌水區所含之營養分含量作為100時之各處理區中水稻營養分含量)。

由圖(二)顯示，土壤水分減少時對磷、矽及鐵之吸收亦有減少之趨勢，但對鉀、氮、錳及鈣之吸收，却以70%土壤水分飽和區為最高，尤以錳在旱田狀態增加最多。相對地，在灌水狀態下，土壤有效性氮、磷及鐵却有明顯地增多。

從上述結果，所得之結論是：水稻在灌水狀態下栽培對其生育及收量最為有利。如果水稻長期處在乾旱，或濕潤之旱作栽培下，其生育及收量會蒙受不利之影響。

### (B) 灌溉水是天然營養分之給源

河水中含有各種之礦物質，下表是日本全國各地河流中在169處樣本中之分析結果：

表(一) 日本全國各地河流中礦物質含量

礦物質	最低	最高	平均	世界平均
SiO <sub>2</sub>	0 ppm	50.50 ppm	18.20 ppm	11.00 ppm
CaO	2.20	51.90	15.20	28.00
Na <sub>2</sub> O	1.70	117.60	11.70	8.00
SO <sub>3</sub>	0.10	45.20	10.70	10.00
Cl	0	42.00	6.30	5.00
MgO	0.10	15.70	3.30	5.00
K <sub>2</sub> O	0.45	6.08	1.66	2.00
Fe <sub>2</sub> O	0	5.20	0.62	—
T-N	0.02	3.97	0.51	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.16	0.03	—
PH	5.7	8.5	7.0	—

註(1)原文刊載於 Newsletter Vol. XIX, No. 3 sept. 1965.

(2)日本農林省農業技術研究所鴻巣分所植物生理部主任

(3)臺灣大學農業工程系副教授

河水中之礦物質含量是受水源經流之地質及集水區內之排水情形所影響。灌溉水是賴河水供應，所以灌溉水之品質受河流系統之影響極大。1953年 Kobayashi 氏指出，灌溉水品質能顯然地影響水稻體內之無機質組成分。從表（二）可以顯示灌溉水中之矽含量與稻稈中矽之含量，兩者之間有密切之關係：

表（二）灌溉水中矽之含量對稻稈中矽含量之影響 (Kobayashi 1954)

河 流 系	灌 溉 水 含 矽 量	稻 稈 含 矽 量
Oita區六河流平均	mg/L 45.4	% 16.6
Kanagawa區Sakai河	36.5	16.9
Fukuoka區六河流平均	24.8	13.4
Nagasaki區三河流平均	24.4	12.9
Saitama區Tone河及 Arakawa河	22.6	14.7
Saga區六河流平均	20.8	13.7
Shiga區十一河流平均	12.4	10.6
Gifu區Ibi河	11.9	10.9
Fukui區六河流平均	9.1	9.8

假定灌溉水中矽之濃度為 18.2mg/L，灌溉面積一公頃一期作水稻所需之水量為 13,000噸，則一作水稻栽培期中，可從灌溉水中供應 236.6 公斤之有效矽量。同樣之估計可用於鉀及鈣。例如 Kumamoto 區 Shirakawa河之河水含鉀之濃度為 4.87mg/L，則一公頃面積之水田在水稻生育期中，從灌溉水可供應 60 公斤以上之鉀素，相當於施用一次鉀肥。因此，從灌溉水中供應之營養分，誠然不可忽視。然而，氮及磷在灌溉水中含量一般均低，除非水源來自城市污濁排水區。

灌溉水非祇僅含有如上所述之礦物質營養分，同時還含有土壤粒子，此種土粒多屬粘粒（特別是蒙特類粘土）富含鐵及鹽基，沉積於水田中形成新土，對退化水稻土，俱有改良之功效。玄武岩、安山岩（Andesite）及粘板岩、頁岩等之風化產物與河邊湖底之泥炭土等，對土壤之改良與肥力增進亦有很大之功效。此種物質通常都是在大雨之後或洪水季節賴灌溉水之長期輸送淤積而達成。

在日本，實際上有將良好之山地土壤加入河水中，然後藉灌溉水淤積於水田中，蓋利用此種方法改良水稻上可省去運輸之成本。

#### (C) 土壤肥力之保持

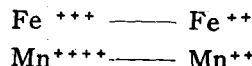
水稻田土壤由於多年堆積結果，含有大量之有機質，諸如植物殘根、水稻稈、藻類、雜草、堆肥、綠肥等。此種有機物在湛水狀態之下分解較旱田為慢且不完全。因此，水稻土往往形成一種有機礦物膠體複合物 (Organomineral colloidal complex)、當水稻土風乾後浸水土溫上升，土壤中有機物因微生物破壞分解作用，促進有機態氮之礦化而釋放成無機態氮。此種無機態氮，可以完全地供水稻利用吸收。許多藍綠藻生長在湛水面上，能固定大氣中之遊離氮。其固定氮之量估計比旱田中之氮素固定菌 (Azotobacter) 還要多。在旱田土壤，氮是以硝酸態存在，很容易因滲漏而流失。但在水田中，氮之來源出自有機物或是施肥後成  $\text{NH}_4\text{-N}$  能被土壤膠體緊緊地吸着在還元層中。

#### (D) 增進營養分之有效性

旱田施用磷肥，磷酸與鐵、鋁及石灰結合，往往成為無效之不溶性化合物。在水田狀態之下，亦是如此。但在水田，因土壤之還元作用，此種化合物可變為可溶性之有效磷肥。

有機磷大部分為 Phytin 及核酸，大約有 20~25 % 在水田中湛水狀態下能夠礦化為水稻可以利用之有效性磷。

鐵及錳在水田還元層中之還元情形如下：



由於 (+) 電荷減少，可增加其可溶性，結果能增進作物之利用。

#### (E) 雜草之效應

湛水灌溉有一種重要之理由，就是能夠有效地控制雜草之滋長。雜草之種類及蔓延對土壤之含水量及湛水深度有很密切之關係。在湛水狀態下，雜草蔓生較在旱田土壤水分 80~90% 時，尚不及 1/3，比土壤水分 40~60% 之旱田僅及 17%。湛水愈深對雜草生長有明顯之減少，尤以 Barnyard 草最能與水稻競爭，但如湛水達 9cm 深度時，便失去競爭之能力。因此，深度湛水是控制 Barnyard 草很有效之方法。然而，近來由於殺草劑之利用與進步，對湛水灌溉來控制雜草生長之重要性已較前減低了。

#### (F) 湛水灌溉其他有利之點

湛水除上述之許多特點外，還有其他有利之點：如土壤保持鬆軟狀態，能促進水稻分蘖，抵抗稻熱病 (blast disease)，同時由於水稻對矽吸收增加，使表皮矽化發育強韌。

(G) 土壤還元作用之不利點

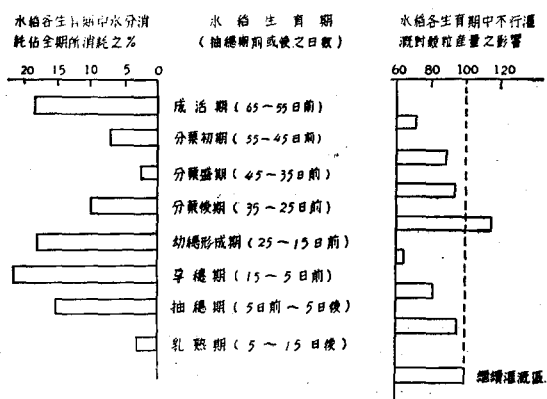
澆水灌溉所有之有利點，已如上所述。但從另一觀點而言，澆水灌溉亦可產生許多嚴重之不利現象。因水稻田含有大量之有機物，在澆水狀態下，土溫升高，有機物由微生物作用分解，土壤中所有之游離氧，甚至與鐵、錳以及其他化合物化合之化學態氧，均被消耗，結果使水田土壤迅速呈還元狀態，使土壤之氧化還元電位下降，產生許多有機酸（如醋酸、酪酸等），二氧化碳、甲烷、硫化氫等，堆積在土壤中。此種物質能妨碍水稻根系之發育，營養分之吸收，以及正常之呼吸作用，因而引起根之腐爛。

在一般水田，根系腐爛之開始是在分蘖盛期至幼穗形成期，在這一段時期中，土壤氧化還元電位達到最低，而根系之呼吸達到最高峯。如果是排水不良而有機物含量豐富之水田，根腐病之發生還要提早。因此，在此時期中水稻田是需要排水，以減輕土壤還元作用所引起之毒害。水田排水或滲漏之功用，除移出水稻根層之有害物質外，同時俱有供應氧氣防止進一步還元作用，以增進水稻根系之生理活動。

(二) 水稻各生育階段缺水時對產量之影響

水源缺乏地區，在水稻栽培期內，往往無法全期行澆水灌溉，僅能在水稻最需要水分之時期，予以施灌。對此問題，許多學者曾從事澆水灌溉與不灌溉對水稻產量影響之研究。圖(三)便是此種試驗研究之實例：

圖(三) 水稻各生育期中水分消耗與各生育期不灌溉時對穀粒產量之影響 (Arashi 1955)

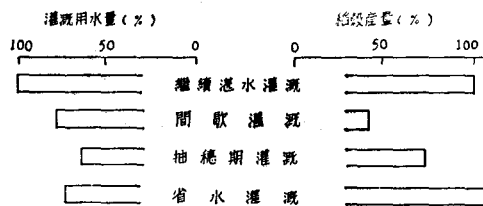


[上圖為表示水稻不同生育期中，如不予灌溉對其產量之影響，以及各階段中(以十天為一生育階段)，所消耗水量之百分比，(維持5cm水深)，所消耗之水量為蒸發散量而不包括滲漏量]。

水稻成活期缺水能明顯地減產，因為成活期是水

稻根系伸長站立之時期，缺水之結果，影響根系正常之伸展。但在分蘖期不行灌溉，對水稻產量僅發生輕微之影響。其減產之程度是隨土壤質地之保水力，地下水水位及氣候狀況而不同。水稻產量與栽植密度很有關係，因此在分蘖期中缺水，能否引起減產，是視所減少之分蘖數及穗數而定。自分蘖盛期至幼穗形成期之前一段時期內，不行灌溉，則水稻產量往往能高出全期澆水灌溉區。在幼穗形成期之後，稻株已長大，消耗水量增多，此時期之後，如缺水便能嚴重地影響產量。換言之，即幼穗形成期以後，尤其在孕穗及抽穗期是最需水之時期，最不能缺水。總而言之，水稻在生長前期中，除成活期外，需水量較少，所以在此時期中缺水，對水稻產量無大影響。自分蘖後期至幼穗形成期之前缺水時，不但不影響產量，而且還能增產。所以此時期中，在日本往往是實行「仲夏排水」。在日本南部地區，由於水源缺乏，都是利用水庫水灌溉農田。因此，採用一種省水之灌溉方法。此種方法是在水稻成活期行澆水灌溉，成活期過後直至幼穗形成期前為止，田間一直保持旱田不澆水狀態，幼穗形成期開始直到成熟期再行澆水。此種灌溉方法比連續澆水約可節省用水 25~30%，而對產量而言，不但不致減產，反有增產之效果。下圖可顯示此種灌溉之優點：

圖(四) 水稻省水栽培法與其他各種灌溉方法對灌溉用水量及水稻產量之比較 (Bofu Branch of Yamaguchi Prefectural Agr. Expt. Sta. 1953)



註：間歇灌溉=水田保持3日澆水狀態10日不灌溉  
抽穗期灌溉=僅在抽穗之前20天間行澆水灌溉

實行此種灌溉方法，應採用穗重型或中間型且對稻熱病 (Rice blast disease) 抵抗力較強之品種較佳，秧苗可用旱田育苗法(亦稱旱田苗)且要疏播。疏播之旱田秧苗俱有發育健全之根系及分蘖性能。採用省水灌溉施肥方法亦與繼續灌溉法不同。因在初期旱田栽培下，氮肥施用作為基肥時，往往變成 NO<sub>3</sub>-N<sub>1</sub>，降雨時易引起滲漏流失之現象。所以一少部分之氮肥應行多次點施在植株附近，只一較大部分之氮可在開始澆水灌溉時按一般習慣法用作穗肥。(即施用在

幼穗形成期之肥料)。

磷及鉀可以用作基肥，但最好是分次施用，施用堆肥及矽肥亦很有利，因為旱田栽培下，矽之吸收較澆水狀態為低之故。

上述之栽培法，非止是省水，同時還能抵抗旱災。設若旱情嚴重時，有限之灌溉水可依照下表之「水量分配計劃表」作嚴格分配。

灌溉水分配計劃表  
(Bofu Branch, Yamaguchi Prefectural Agr. Expt. Sta.)

水稻生長期	需水程度	灌溉配水計劃	
		缺水程度中等	缺水程度嚴重
1. 成活期	最需要	澆水灌溉	澆水灌溉或濕潤
2. 分蘗始期	需要	濕潤	不灌溉
3. 分蘗盛期	"	"	"
4. 分蘗後期	少需要	不灌溉	"
5. 幼穗形成期	最需要	灌溉數次	灌溉1~2次
6. 孕穗期	"	"	灌溉1~2次或濕潤
7. 抽穗期	需要	灌溉1~2次或濕潤	濕潤
8. 乳熟期	少需要	濕潤或不灌溉	不灌溉
9. 黃熟期	"	不灌溉	"
10. 完熟期	最少需要	"	"

### (三) 仲夏排水

仲夏排水，在日本亦稱 Nakaboshi，是日本水稻栽培最普遍之一種操作。時間是在分蘗末期至幼穗形成期之前，即抽穗期前30~40天，其時水田需排去所有之地面水及地下水，讓田面暴露乾燥，使土壤之還元狀態能夠返回氧化狀態。正如前圖(三)所示，水稻之需水量在此階段是全生育期最低，因此，此期中田面完全保持在乾燥狀態，也不會有不利之影響，根據許多研究者之研究，仲夏排水有如下許多益處：

#### (A) 保持水稻根系生理上之活動性：

水稻新生根是與分蘗連接，在分蘗期中，水稻不斷長出新根，直到分蘗盛期以後，根之活動性才衰退，完全停止產生新根是在抽穗期。在分蘗期，假如根發生損害，可很容易由新根補償。所以在此時期如果土壤處在嚴重還元狀態下，所產生之毒質，損害根系之吸收能力時，但新成之根系對營養分之吸收力很強，故對水稻之為害不至很大。然在生長後期，即幼穗形成期之後，根系之損害便直接影響水稻之生育，因

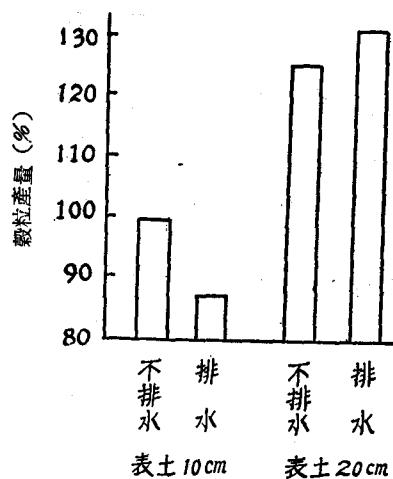
為此時期營養分之吸收，完全依賴根系生理上之活動性。早期新根之活動性至此完全停止。因此，如能保持最高最長之根系生理活動性，便能得到增產。仲夏排水被證明是能保持及促進根系之活動性。由於排水之結果，大大地增進鉀及矽之吸收，使稻株強健，增加水稻對小粒菌核病 (Helminthosporium disease) 及秋落病 (Akiochi disease) 之抵抗力。

#### (B) 移去過量之氮素

充分之氮肥供應對水稻之栽培是必須的。因水稻之生長及生殖器官之伸長是靠氮肥。但在生長後期，水稻對氮肥之需要量已形降低。

如果是施重肥，此時遺留在土壤中之氮已過多，過多之氮肥存在對穀粒之成熟是有反效果。仲夏排水便是移去過多之氮及使  $\text{NH}_4\text{-N}$  變成  $\text{NO}_3\text{-N}$ ，可以阻止無效分蘗生成，同時可降低不稔性之百分率，同時仲夏排水可以調節氮肥之肥效。由於排水之結果，能使肥沃土壤施用重氮肥時，肥力能達到深層土壤而達增產之效果。反之，如果是土層淺薄，地力瘠瘦或施輕氮肥時，行仲夏排水通常都呈減產。因水稻根系雖然能藉此以維持最高之活動性，但主要還是由於氮肥缺乏，終至減產。其關係情形由圖(五)可以看出：

圖(五) 土層深度不同仲夏排水對稻穀產量之效果 (Baba 1956)



#### (C) 防止倒伏

仲夏排水可以防止倒伏。Seko氏(1956、1963)之報告謂：仲夏排水可以增加稻莖折斷的抵抗力，但在澆水情形下稻莖很易折斷倒伏。從顯微鏡觀察，當 *Lysigenous aerenchyma* 受阻礙時可以增進稻莖之機械組織。他提出一名詞稱為「倒伏指數」，即用稻莖折斷折抗性與荷重(莖高×莖重)來衡量田間水稻

倒伏之程度，仲夏排水可以減低「倒伏指數」值。此種現象可解釋是由於一部過剩之氮已移去，一部氧供應於稻莖之節間。

#### (D) 滲漏水

水田滲漏率與土壤之性質、地下水位高低與土壤攪拌泥濘強度有很大之差異。在砂土中每日可滲漏10 cm 以上之水深，然而在排水不良之重粘土地地，每日之滲漏量幾等於零。一般農田，每日滲漏量在數mm 至數 cm 之間，從研究結果及實際經驗證明：適當之滲漏可以增加稻穀之產量，蓋滲漏發生時，外界之氧氣可供應水稻土層中及稻根中，亦可排除表層土壤中有毒物質，如二價鐵，硫化氫及有機酸等。但營養分之滲漏流失，亦應值得重視。從最近之試驗證明，由滲漏作用所供應之氧氣，其中絕大都份（約95%）是消耗在表層（0~2cm）中，僅極少部份滲入至較深層土壤中，然而其對有毒之物質，却可顯然之排除。

增加滲漏量，土壤中  $\text{NH}_4\text{-N}$  亦能發生流失，但在另一方面而言，滲漏可促進土壤中有機態氮礦化作用而成無機氮供作物利用。 $\text{NH}_4\text{-N}$  在土壤中當滲漏至某一程度時，其含量便保持不變，但其因滲漏而減少是必然之結果。滲漏作用而流失之氮量往往是超過礦化作用之氮，此種礦化作用之氮，其來源是靠施肥，

土壤養分之保持力及有機物之含量。因此，顯然地可以看出，滲漏有利之點是能排去土壤中有毒之物質，使稻根伸長創造有利之環境，但其不利之點，便是引起營養分之流失。

YAMADA及OTA氏在1961年曾研究滲漏對水稻生育及產量之影響，試驗用三種土壤，即排水很差之沼澤水田，排水較差之沖積土以及排水良好之肥沃土。分滲漏及不滲漏兩處理，滲漏處理因為要避免地面排水影響土壤水分，使滲漏產生不正確之試驗結果，所以稻株是栽培在湛水狀態下，不作任何地面排水。在此種情形下，再用特殊裝置使滲漏處理每日產生8cm之滲漏量，時間從幼穗形成期開始至抽穗期後15天為止。試驗結果表示，各種土壤經過滲漏後，可增加有效分蘗百分率，因而增加每株之穗數。如表（四）所示，各種土壤有滲漏時，都呈增產，但增產幅度因土壤而不同。在排水不良沼澤地水田，滲漏使稻穀產量增加17%，此種增產之原因乃由於增加穗數，結實率及千粒重之結果。至於其他各種土壤滲漏處理，增產有限，在排水良好之肥沃土，僅穗數增加，其他產量因子反而減少。

滲漏對水稻產量之影響

土 壤	處 理	有 效 分 蘗 佔 總 分 比	結 實 率	千 粒 穀 重 (克)	稻 穀 產 量 (克)
排 水 良 好 肥 沃 土	不 滲 漏	73.9	84.2	24.37	14.11
	滲 漏	79.1	83.8	23.97	14.90
排 水 較 差 沖 積 土	不 滲 漏	79.0	79.5	23.09	14.57
	滲 漏	80.3	79.7	23.63	14.91
排 水 不 良 沼 澤 地 水 田	不 滲 漏	67.0	74.4	23.27	10.38
	滲 漏	73.5	78.0	23.46	12.13

滲漏作用能促進表根之伸展，同時刺激根之呼吸率與活動性。在排水不良地能使 a-raphthylamine 及亞鐵氧化。同時使稻根對矽及磷之吸收亦增加。所以滲漏對根系之影響是表現在稻穀之產量上。

總之：滲漏在排水不良之水田，對水稻生育及產量是很有利，因其可移出土壤中之毒質，但在排水良好之水田，滲漏並非有利，因土壤中並無過多之毒質存在。

在田間，如果水田滲漏過甚時，可行「壓緊犁底層方法」(Field-bed packing) 來阻止，但此法化費人工。最近，有施用一種由火山灰風化而成的一種膠質粘土 (bentonite)，對滲漏過多之水田改良非常有效。

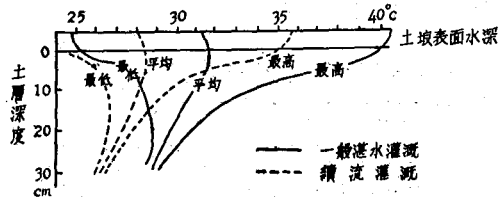
#### (E) 灌溉方法對水溫及地溫之控制

在日本溫暖地區，仲夏時水田水溫高達 40°C，而在寒冷地區，田間夏日水溫僅及 25°C 甚至更低。按生理上之研究，水溫及地溫對水稻生育之關係，最適之溫度為 30~32°C。此種試驗結果，進一步之證明是由水稻根毛中溫度與原形質流動 (Protoplasmic streaming) 之關係而得 (DOI, 1950)，溫度低於 10°C 原形質流動之速度很低，但隨溫度之增加而遞增，移動之最高速度是在 33°C，超過 33°C 時，便很急劇降低。溫度高至 40~45°C，原形質流動便停止。原形質流動停止之溫度，因品種而不同，在溫熱地區栽培

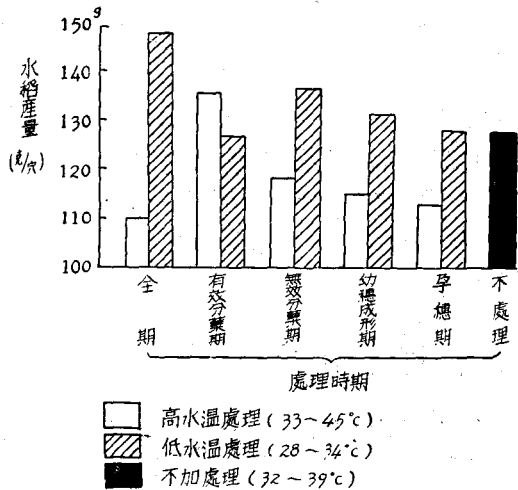
之水稻其臨界溫度是高於許多寒冷地區，在日本溫暖地區，水田行緩慢地續流灌溉以阻止水溫過高，其結果產量比一般所用湛水灌溉後水流靜止者為高。圖

(六)，圖(七)是此種研究結果：

圖(六) 灌溉方法對水溫及土溫之影響(SATO)



圖(七) 水溫對水稻產量之影響(ASAKUMA)



在寒冷地區，灌溉用以保護作物以抵抗寒害之措施，亦有實行。惟迄目前為止，所有文獻對水稻均沒有這方面之發表，因水稻是栽培在熱帶，對此問題，並不存在。

### 參考文獻

- (1) Amatatsu, K., Abe, S. and K. Yahiro:  
灌溉水溫度對水稻生育及產量之影響  
Bull. Kyushu Agr. Exp. Sta. 3. 225~237,  
1956 (in Japanese)
- (2) Amatatsu, K., Abe, S. and K. Yahiro:  
水稻栽培與灌溉—如何栽培與如何用水  
Chikyu Publishing Co. 1-135, 1959 (in  
Japanese)
- (3) Arai, M. and Miyahara:  
水稻湛水栽培對雜草之控制  
①湛水對雜草社會之結構及其數量之影響  
②湛水對水草生育及產量之影響  
Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 24 163-165 1956.
- (4) Asakuma, S.:  
灌溉水溫度對水稻生長之影響  
Kyushu Agr. Res. 10 47-48, 1952 (in  
Japanese)

- (5) Baba, I., Takahashi, Y. and I-Iwata:  
水溫對水稻礦物質營養分吸收之影響  
Proc. Crop Sci. Soc. Japan 21 233-234,  
1953 (in Japanese)
- (6) Baba, I., Iwata I., Takahashi, Y. and A.  
Kittaka  
水稻營養分與小粒菌核病(Helminthosporium  
leaf spot)之關係 XI. 土壤水分與空氣濕度對  
營養分吸收及轉移之影響  
Proc. Crop Sci. Soc. Japan 24 169-172,  
1956 (in Japanese).
- (7) Doi, Y.:  
各種作物根毛中原形質流動  
Bull. National Agr. Exp. Sta. 69 1-47,  
1950 (in Japanese)
- (8) Fukagi, S.:  
水稻分蘗之研究  
1, 灌溉水與日照對分蘗之影響  
Bulteno Scienca de la Fakultato Terku-  
lтура Kyushu Imperia Universitato 2  
340-365, 1927 (in Japanese)
- (9) Kobayashi, J.:  
灌溉水化學成分分析結果  
(肥料施用改良研究計劃) 1953-1954 (in  
Japanese).
- (10) Kobayashi, J.:  
日本各河流水中化學成分之研究  
Nogaku-Kenkyu 39 107-109, 1951,  
41 27-49, 1952,  
42 1-18, 1954,  
43 1-40, 1955 (in Japa-  
nese).
- (11) Kobayashi, J.:  
日本各河流水中平均化學成分  
Nogaku-Kenkyu 48 63-106, 1961 (in  
Japanese)
- (12) 農林省及山口試驗場:  
水稻旱害防止之研究結果  
1-113, 1955 (in Japanese)
- (13) Nojima, K.:  
水稻栽培灌溉排水之理論及實際  
Matsubayashi, M. et al. 399~424, 1963  
(in English)
- (14) Seko, H., Samoto, K. and K. Suzuki:  
數種不同水稻栽培法與水稻倒伏之關係  
Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 26, 90-91,  
1957, 27 176-173, 1958 (in Japanese)
- (15) Ueda, S.:  
湛水狀態與旱田狀態在不同水分含量對水稻生長  
之比較研究  
Proc. Crop Sci. Soc. Japan 5 2-8, 1933,  
7 19-38, 1935 (in Japanese)
- (16) Ueda, H. and K. Oyama:  
水稻生長在湛水情形下之根系呼吸機械作用  
(3-4)滲漏作用對水稻生長之影響  
Proc. Crop Sci. Soc. Japan 26 249-251,  
1958 (in Japanese).
- (17) Yamada, N. and Y. Ota:  
水田滲漏作用對水稻根系生理活動性之影響  
Proc. Crop Sci. Soc. Japan 29 404-408,  
1961 (in English)