報告第31號

稻穗傾垂後再立穗的原因研究

第一報　於民國56年發生部份

STUDY ON THE CAUSES OF RELIFTING-UP OF RICE PANICLE DISCOVERED IN TAIWAN IN 1967

吳　振　能

Chen-Neng Wu

臺灣省農業試驗所出版

中華民國62年 2 月

Published by

THE TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE

February, 1973

稻穗傾垂後再立穗的原因研究第一報勘誤表

誤	正
第7頁第三表下一行*•	*••
第7頁英文註第5行 Longtieng	Longtien
第7頁英文註第7行 •&··	•&••
第13頁下面第3行 [23]註[5]，	[23]註[5]，
第17頁第12行 detemine	determine

稻穗傾垂後再立穗的原因研究

第一報　於民國56年發生部份[1]

吳　振　能[2]

一、前　言

民國56年9月初，臺南縣新化、新市、安定、西港、七股、將軍、官田等7鄉鎮及臺南市安南區的三年輪作水稻區（夏季單作，6月中～下旬插秧者），曾有不少水田在乳熟期稻穗一旦傾垂後再度豎立，前所未有的怪症發生。據臺南縣政府及縣農會調查，發生面積達1,178 公頃，各田的再立穗發生程度爲6～60%。

這種特殊的不稔症，據說在日本九州南部發生過，但經函請該地鹿兒島大學農學部植木健至教授查證結果，九州各農試場及各大學都無此類報告，亦無人記憶此事；其他各產米國家亦然。

這種怪症，在56年8月29日午夜，輕度颱風娜拉過境幾天後顯然增多，乃普遍引起農民的注意故咸認颱風爲害。但就糧食局送來的樣品觀察，不像乾熱颱風所引起的稻穗不稔症（白穗）[10]，亦不見穀粒被吹落或穗梗被吹斷情形，故大有檢討餘地。於是，假設下面4種發生再立穗的可能原因作爲研究目標：

1.颱風爲害。

2.在乳熟中～後期，被螟蟲吃害穗梗而切斷養分的通路。

3.發生嚴重的穗頸及（或）枝梗稻熱病而阻擋養分流向胚乳組織。

4.在乳熟中～後期窒息病嚴重發作，且使發育中的穀粒亦受二價鐵及其他土壤還原毒質的中毒而枯死。

筆者與本所簡技士錦忠應糧食局之請，自9月24日起會同該局人員，並在臺南區農業改良場張股長松壽引導下勘查發生實況5天，自近山地區以至沿海地區，選擇代表性地點詳加調查；並帶回樣本檢驗。調查項目爲再立穗現象發生情形，水稻栽培環境及中毒物質的檢驗等將近20項目，以便從多方面資料追究其發生原因。

經過調查研究結果，獲知再立穗發生的直接原因爲在生長後期罹患嚴重窒息病，且使稻穗亦中毒所致，亦即一種新的「秋落」現象；颱風僅爲發生促進因素之一，於本文論述之。

本研究工作於57年底結束後不久，因筆者奉派駐菲農技團而中斷報告整理。59年7月回國後月餘，在七股鄉及仁德鄉等地再度發生類似症狀，於是再作研究，所得結果擬以第二報發表之。

本研究承糧食局補助部份經費並派調查用車輛，臺南區農業改良場張股長松壽及本所簡技士錦忠協助一般病蟲害的鑑定，當地水利會、農會、鄉鎮公所及官田鄉農會陳股長竹林等多方協助，前本室技術助理員林正隆先生及張玲玉小姐協助繁忙的切片檢驗工作，日本鹿兒島大學植木健至教授代找有關文獻，農業技術研究所長馬場赳博士的鼓勵，中興大學陳清義教授惠予校閱，謹此申表衷心的謝忱。

1.試驗報告農試字第602號，其要點已在民國60年度中華農學會年會宣讀過。

2.臺灣省農業試驗所技士。

二、研究方法

（一）現場勘查：

1.病徵觀察及取樣：

對各代表性地點詳查病徵，包括稻穗、稈葉及根部的症狀。對根部則調查其發育狀態，稻根變色情形，有無爛根及臭味等。又對一般性病蟲害的併發情形，及因噴農藥所致藥害現象亦詳加觀察。寄生病之中發生時期不明者，即請簡、張兩位專家協助鑑定。沿途如發現情形特殊時一一下車入田調查，並查詢水稻耕種要點，尤其灌溉排水情形。

抽樣地點爲安南區2點，官田鄉3點，新化鎮2點（3個），西港鄉1點及將軍鄉2點。取樣時，將病株連根帶土拔起而將土壓緊，隨時把根部裝入塑膠袋並將空氣壓出，然後以繩綑縛袋口，以防根部氧化而導致內部毒質的變質。

2.土壤的還原狀態及退化情形的調查：

因發生再立穗的水田都有窒息病症狀的出現，這和土壤的還原作用有密切關係，故對停止灌溉後土壤的乾濕情形，田面長期儲水的各種跡象，例如稻稈基部附着水苔及土面被藍綠藻覆蓋等，根層土壤變成藍黑色的程度（爲還原土壤的特色[8]），由於二價鐵所形成的藍色分佈狀態，糊狀鐵斑的大小，及有無硫化氫的臭味等詳加調查，以便和灌溉排水實施情形配合之下，追究儲水期間土壤還原程度。

然因土壤退化程度（鐵、錳等的淋失）會影響其還原作用及還原毒質的生成量[13)14)18)]，故以試坑法[3]，在新化鎮李、康兩氏水田附近，利用新挖成長約100m深約2.5m的溝渠觀察土壤剖面的鐵斑層和錳斑層（紫色）的沉積狀態。另對陳股長的水田，於再立穗發生部位及未發生部位（但非其東邊兩行部份），挖掘150cm³的土坑加以觀察。

3.稻作期間氣象資料的搜集及分析：

爲考究颱風及其他氣象因素導致稻穗再立穗的可能性，搜集56年度颱風報告，6～9月間安南，新化、新市、官田、隆田、安定、西港及七股等8站的降雨紀錄及學甲旱作灌溉試驗站所測氣象資料等，並加以分析。

（二）稻株的檢驗：

據病徵及其他資料研判，很可能在出穗後受了硫化氫，二價鐵及其他土壤還原毒質的中毒所引起的窒息病，但尙需從稻株檢出中毒物質以作證明，故以顯微組織化學方法（Microscopic Histochemistry Method）[1)]爲主，化驗病株各部，其方法如下：

1.樣品的固定方法[4]：

從現場帶回的樣品，洗掉根部的土壤後，切成適宜長度，裝入玻璃瓶內並注滿F.A.A.固定液而密封，以保存之。但共化驗的稻根乃未經此液理者。

2.稻根硫化物的檢出：

爲查明稻根是否吸進硫化氫，選擇再立穗者五個及未立穗者1個合計6個樣品，分別以其爛的及未爛的稻根搾出根汁後，各以2.5%的醋酸鋅水溶液查定硫化鋅的白色沉澱生成量，並以無反應（－），少量（＋），中量（＋＋），多量（＋＋＋）等4級檢定之。

3.試抗法係在日本廣被採用的不經化學分析也可查定土壤退化程度的簡便方法，即利用有色的鐵及錳等重要土壤要素，在土壤還原狀態之下，變成水溶性者而隨着水的滲透流至深部沉積，以形成鐵斑層及錳斑層；且其深淺和厚度與土壤的退化程度成了正比關係，以及挖掘土坑至適宜深度就可看出等的特性，用以試探土壤退化情況的。

4.用F.A.A.固定液保存2年後的材料，製成切片鏡檢結果，只見黑色的硫化亞鐵稍爲退色而已，因此可知當初以此液處理過的材料化驗結果，未受藥液氧化作用的影響。

3.組織的壞疽及維管束堵塞情形的檢查：

對稈基組織，稻稈各節、節間、穗頸、穗梗、枝梗及花梗（Rachilla）等呈現褐色部份，以及枯萎的死米（但是不再立穗稻稈的上位節部、節間及穗部等的顏色爲正常，米粒亦爲正常者），分別製成切片後，用顯微鏡檢查各部組織發生壞疽情形，維管束堵塞狀態及黑色物質的分佈。

4.在檢查上述切片時，用高倍率鏡頭檢查寄生性病源的存在與否。

5.二價鐵的檢出：

對上述切片，檢查完者隨時以 0.2% 0-phenanthroline 水溶液處理40分鐘後，鏡檢其對二價鐵的紅色反應，並分爲無反應（−），微紅色（+），紅色（++）及朱紅色（+++）等4級檢定之。

6.硫化亞鐵的檢出：

雖已知在窒息病稻株的組織內部呈現灰黑色乃至黑色者爲硫化亞鐵[24)26)]，但爲愼重起見仍對未經處理的全部樣品各部組織的切片再行檢定。即以赤血鹽對與硫化合的二價鐵的湯布爾藍色反應確認之，同時得與同呈黑色的硫化鐵區別。其方法即將未試藥處理的各部切片，用2%的赤血鹽水溶液浸漬並以 50°C 加溫5小時後，加注少量5%鹽酸，再以 50°C 加溫1小時半以促進化學反應，然後予以水洗而供鏡檢，其反應程度亦分4級檢定之。

7.稈基組織及節部澱粉的檢出：

爲查明稻稈裡的「貯藏澱粉」向穗部轉流作用的受害情形，而以泡薄的 Lugol液處理重新製造的稈基及節部組織切片後，隨時用顯微鏡檢查呈現紫色乃至黑紫色反應的澱粉量。

所用 Lugol液係以 200cc 的蒸餾水加碘化鉀 10g 及碘 5g 的水溶液，再泡成啤酒顏色的濃度。

三、結果及討論

（一）發生再立穗稻田分佈情形：

其分佈及被害程度如第一表所示。由此表可知發生面積最大的是臺南市安南區，被害程度也最重；近山地區的新化鎮及官田鄉分佔第二、三位，面積都超出 250ha；沿海而爲鹹土改良跡地的七股及將軍兩鄉發生面積反而最小，其再立穗發生程度只有10%。但本表與筆者調查結果稍有出入，例如新化李田及西港謝田的被害都達60%及官田鄉隆田陳股長等的水田爲30%。

（二）再立穗發生實況及有關的各種症狀：

1.再立穗發生情形：

據陳股長對其自耕水田的詳細觀察結果，於颱風來襲前2天已有少數稻穗發生再立穗現象，且在風後第3天起轉晴2～3天後，再立穗者顯然增多。其田出穗期間是8月21～31日，颱風過境時爲最早出穗的第9天，其出穗比率已有80%。其中較早者已入乳熟中期而傾垂。颱風當天出穗者後來也發生再立穗，但不因颱風打擊而特別嚴重。發生再立穗的稻株約佔30%，而在同一田作集團分佈狀態。

西港鄉謝氏水田在齊穗期遇到颱風，却有60%左右發生再立穗，而示全面性分佈。新化鎮康氏水田在孕穗期遇到颱風，出穗後仍有一部份稻株發生再立穗，而示集團分佈。其他再立穗發生水田大部份在出穗末期遇到颱風，其再立穗發生經過和陳股長的大致相同，但被害率在20%以下的佔全發生面積的五分之四。

第一表：發生再立穗的水田分佈情形（公頃）

Table 1 : Distribution of rice fields occurred the "relifting-head" (Unit : ha)

被害程度 Degree of damage / 地點 Location	60%	40%	20%	15%	10%	6 %	合計 Total
臺南市安南區 Annan Dis., Tainan City	50	200	400	—	—	—	650
新化鎮 Hsinfua	—	—	—	385	—	—	385
新市鄉 Hsinshu	—	—	—	—	—	110	110
官田鄉 Kuantien	—	—	—	—	250	—	250
安定鄉 Antin	—	—	—	—	182	—	182
西港鄉 Shikang	—	—	—	—	86	—	86
將軍鄉 Chianchung	—	—	—	—	43	—	43
七股鄉 Chiku	—	—	—	—	72	—	72
總計 Total	50	200	400	385	633	110	1,778

Note : 1. Based on the report made by Tainan Hsien Government and T. H. Farmers' Association.

2. The damage degree had somewhat difference to the actual situation as shown in the table 4.

2穗部的症狀：

再度豎立的稻穗，多呈灰褐色乃至黑褐色，亦有褐色而帶灰黑色穀粒者。其花梗變成褐色；枝梗及穗梗出現大褐斑者頗多。穀殼裡枯萎的米粒及較大的死米都呈黑褐色而乾涸。未見稻熱病的病斑，亦無被風吹斷穗部。

3稈葉的症狀：

稻株靠近地面幾公分的葉鞘呈現黑褐色，再立穗者比較嚴重，此爲窒息病的症狀之一[24]；並且在其稈基附着藻類而顯示曾經灌積深水的跡象。在成熟期已有三分之二左右的枯葉，且帶褐色。枯葉的發生速度及其顏色顯然和正常水稻不同。較新的稻葉也有變黃的；葉尖枯死 10cm左右的現象到處可見，兩者都發生少數不定形的褐斑點。這種斑點顯然和各種寄生性病斑不同，而是窒息病的病徵[24]。也有併發輕微的胡麻葉枯病，黑腫病或紋枯病的，在一處發現少部份稻株併發嚴重的紋枯病，但是這些寄生性病害都未能構成再立穗的直接原因，這點簡、張兩位植保專家都表示同意。至於陳股長的水田，則除在事後發生極輕微的黑腫病之外，不見其他寄生性病害。

再立穗稻株的稈節都呈現褐色，一部份節間呈現黃紅色。在各地區都不見稻葉被颱風打裂情形。

4根部的症狀：

因病株較易拔取表示根部發育不盡好；根色也和正常的（鐵銹色）不同，即呈黃褐乃至黃白色，且帶有不少黑根及爛根，顯示硫化氫的中毒症狀[12]。又因稻根挾持的土壤呈藍黑色，可見在停止灌溉後仍示嚴重的還原狀態。由這點也可推測其受害原因爲罹患窒息病，但仍需查證。

（三）氣象概況：

根據嘉南水利會各地雨量站的降雨量紀錄，各地都大同小異。爲節省篇幅，並便利討論陳股長水田的病例，只列隆田雨量站的紀錄於第二表。三年輪作地區的稻作期間本爲雨季，但從第二表可見自

第二表：民國56年官田鄉隆田地區的降雨紀錄，水稻生育時期及灌排水管理方法

Table 2 : The precipitation record during rice season of 1967 in Longtien Area, Kuantien Hsian, the rice growing stage and the water management method

月 Month / 日 Date	6 June	7 July	8 Aug.	9 Sept.	備註 Remarks
1	4.3	Bigi. Til.	Bigi. H. S. 11.2	D —	單位 Unit : mm
2	52.0	—	14.6	—	水稻生育時期和灌溉管理，以陳股長的水田
3	—	—	28.3	(0.6)	示之（品種爲臺南5號）。
4	40.4	—	—	—	The rice growing stages and the
5	94.5	—	—	(3.0)	water management are based on
6	—	9.2	I 17.0	(2.6)	Mr. T.L. Chen's rice field (Variety :
7	—	I 4.5	—	I —	Tainang-5).
8	—	—	—	—	I : 灌溉 Irrigation time
9	—	11.3	2.5	—	T : 插秧 Transplanting time
10	41.0	3.0	—	—	D : Drainage time
11	0.4	110.0	12.8	5.0	Bigi. Til. : Bigining of tillering stage
12	83.5	23.5	28.5	30.0	Bigi. H.S. : Bigining of head-sprouting
13	39.0	—	—	—	stage
14	—	—	I —	—	[dashed] : 出穗期 Heading stage
15	I —	—	—	—	*：於子夜輕度颱風過境
16	—	—	—	—	A weak typhoon came over in
17	—	—	—	—	midnight.
18	—	D —	—	—	（ ）內示新化地區9月份的雨量。
19	—	D —	—	—	The figure in parentheses
20	—	D —	29.5	—	shows the precipitation record
21	T,I —	D —	—	2.3	gotten in September in Hsinfua
22	—	D —	I 2.0	7.0	Area.
23	—	D —	—	I —	稻作期間總雨量 511.6mm.
24	—	D —	—	5.0	Total precipitation during
25	—	D —	—	(0.7)	the rice season was 511.6mm.
26	9.6	D —	—	—	
27	—	D —	—	—	
28	—	D —	—	—	
29	I —	I —	87.0	—	
30	—	—	* 55.0	—	
31	—	—	2.8	—	
合計雨量 Total Prec.	364.8	161.5	291.2	49.3 (6.9)	
合計降雨日數 Total rainy day	9	6	12	5 (4)	

6月中旬至9月底的降雨日數只有24天左右，合計雨量亦只有 635mm左右（隆田地區僅爲512mm），僅值歷年臺南地區 8月份的雨量而已。換言之，本期水稻在天旱炎熱的情況下生長，但由嘉南水利會供應的灌溉水量却充足。這種情況對水稻的生長有良惡雙方面的影響，即在生長初期施行每 7 天半輪灌30mm 水量的淺水灌溉法之下，因田間耗水量增大，在每次輪灌之間田面無水日數亦增多，可使土壤氧化得宜 ， 有利於水稻的發育 ， 這點據筆者曾在隆田附近的中營輪灌研究區的試驗結果[21]不難推測，詳如次項的討論；反面，因長期亢旱而引起農民的恐懼心理，將 8 月以後所下雨量連同水利會從幼穗形成期以後增配的水量儘儲積於田間，而在連天强日照之下被曬成熱水，且因水的比熱較高的關係而不易散熱，因而促進土壤還原作用以產生多量還原毒質（詳如後述）；另一方面，在乾熱天氣之下導致水稻强盛的蒸散作用[23]，並且促進稻根吸進土壤還原產物 [6][24][26]。因此亢旱但灌溉水量充足的環境因素實爲窒息病的主要發生誘因之一。

據氣象局的報告[20]， 輕度颱風娜拉的中心於 8月29日午夜 ， 從花蓮登陸後其中心最大風速減弱爲 20m/s ，而於 30日 4 時由新竹南方出海。在臺南地區，因離中心很遠，威力更弱，以永康測候站的資料來說，地上 10m 的風速超過每秒 10m 的時間爲29日晚上10時40分至 30日上午 1 時15分，只有二個半小時而已。此間最大風速不過 17.2m/s ，時間爲晚上11時10分。然而以測候站所測風速的三分之一換算，則颱風過境時間的地面風速只爲 3.5～5.7m/s 而已。其風向爲南風，氣溫 25°C，空氣濕度 99%，29～30日兩天合計雨量爲 142mm，可見不是乾熱的颱風，而且打擊力不大。其對水稻的影響情形，擬在第八項發生直接原因的綜合檢討論述。

颱風過後第 2 天下 3mm 左右的雨水後，直到 9 月10日之間，本區各地的降雨量都是 6mm以下，在隆田地區乃不見滴雨。如此乾熱的天氣和穀粒的失水減輕亦有密切關係。

（四）水田灌溉方法與土壤還原程度的問題：

水田土壤的特性是因灌水而引起表土大部份的還原作用，且有產生各種還原毒質加害水稻的可能，這是引起水稻各種生理障害的根源。因此，爲追究這種特殊的稔實障害發生原因，必須詳加追查灌溉實施情形與土壤還原程度對水稻的影響問題。茲以上述官田鄉隆田村陳股長水田的詳細調查結果爲主，檢討如下：

陳股長的水田於整地前灌水浸田 4 天；而自 6 月21日插秧至 7 月31日（幼穗形成期）之間41天，依照嘉南水利會的配水方法，每 7 天半輪灌了30mm 水量 4 次。但因下雨及曬田而未行灌溉的計有 3 次。此間土壤的乾濕即其氧化還原狀態，試以天氣亢旱的民國46年第二期作中營輪灌實驗田所得資料[21] 估計之。在中營自插秧至分蘗前之間10天共有 4 天下了 54mm雨水 ， 並灌了 60mm 水量之情況下，平均一日田間耗水量爲 7mm （第三表）。 然而在隆田地方只下了 10mm 的雨水一次（第二表），且因從旱田初改爲水田，滲透量特別大，故在乾熱天氣之下將一日耗水量估計爲 10mm。在插秧時田面還有 20mm水，加灌 30mm，再加本次輪灌期間的雨量 10mm，共有 60mm；如果以一日耗水量 10mm推算，就於第 7 天即 6 月27日田面水深降到0，翌日爲乾田。於 6 月29日輪灌 30mm後到 7 月 6 日（本輪期末日）始下 9mm 的雨水，其前有 4 天的乾田，且因溫度很高，蒸發量頗大，故使乾田期間的土壤水分減到飽和點下，此種條件導致土壤氧化似無可置疑。所下雨量也剛夠一天的消耗。其後於 7 月 7 日灌 30mm 後至 7 月12日連續下了152mm 的雨水，但於 7 月18日起排水曬田10天，直到土面龜裂，且踏入田裡土壤不凹陷。然後於 7 月29日再灌 30mm的水，仍因土面龜裂，耗水量特大，一日耗水量估計爲 10mm，則必於第 3 天（ 7 月31日）就乾掉。總而言之，從插秧至 7 月31日（幼穗形成期）41天之間，乾田日數佔了15天左右，在乾熱天氣之下，田間蒸發散量特別大，致使土壤含水量低於飽和點，以導入空氣而氧化土壤，因此在積水期間土壤的還原程度很輕，且時被氧化，不但不會爲害水稻，且有助於發育。其他各田都在分蘗末期乃至伸長期多灌 30mm水一次，但在久旱之下，本次輪灌期間也有 3 ～ 4 天的乾田期間，所以不像陳股長的水田那樣徹底曬田者，也迄幼穗形成期保持很輕的土壤還原作用。這點得由上述方法追究之外，以生長後期出穗稈數之多，稻株之高而粗

等事實也甚易研判。

第三表：生長期別一日平均耗水量及乾田日數計算根據及結果

Table 3 : The basis and the result of estimation on the daily water consumption and the days of dry field in different growing stage of the rice field.

生育期別 Growing stage	年 Year	日數 Days	氣溫°C Temperature 最低 Min.	氣溫°C Temperature 最高 Max.	降雨 Precipitation 日數 Days	降雨 Precipitation 雨量 mm	灌溉水量 Irrigated water mm	一日平均耗水量 Dayly water consumption mm/day	乾田日數 Days of dry field
插秧～分蘖前 Tr.～B. Til.	'57	10	24	33	4	54	60	7	0
	'67	10	25	33	1	10	80	10 *	1 *
分蘖～孕穗前 Til.～B. Spr.	'57	39	22	33	4	99	97	9	11
	'67	31	26	33	6	162	60	10 *	15 *
孕穗期間 Head-sprouting stage	'57	23	20	32	4	122	147	10	0
	'67	20	26	35	8	144	100	10—11 *	0 *
出穗期間 Heading stage	'57	7	17	31	0	0	50	15	2
	'67	11	26	35	4	147X	50	11 *•	0 *
成熟期間 Ripening stage	'57	34	13	32	2	9	86	9	5
	'67	30	23	33	5	49	80	10—7 *•	11 *

Remarks : Tr.=Transplanting (Which of Mr. T.L. Chen's farm is shown by ' 67.)

B. Til.=Before tillering stage

B. Spr.=Before head-sprouting stage

* The estimated values based on the data obtained from Chonging Rotational Irrigation Experiment Farm, near Longtieng, in 1957.

X The 145mm of rainfalls were brought by the typhoon at the latter heading stage.

•&‥The estimations are mainly depend upon about one third and two third of rice leaves had been witherd respectively.

The irrigation method : $\frac{\text{Tr.—B.S.}}{30}$ $\frac{\text{H.S.S.—H.S.}}{50}$ $\frac{\text{R.S.}}{\text{30mm/5 days}}$

But 7.5 day rotatioal interval was practiced in 1967, and irrigated with 50mm one week after heading too.

然而自8月初至9月末水稻成熟間的情形就大有不同，即從8月6日（孕穗初期）起至齊穗後約一星期（9月7日）之間每7天半輪灌50mm，但應灌5次而因颱風雨只灌4次；自9月23日以後再改爲每7天半輪灌 30mm 1次，然後停止灌溉。又如第三表所示，孕穗期間的氣溫顯較46年爲高，但因雨量較多，在孕穗初～中期的雨量分佈也較均勻，非無影響田間蒸發散量，故一日耗水量估計爲孕穗初、中期 10mm，後期 11mm。出穗期間，因約有$\frac{1}{3}$的稻葉枯死，稻株的蒸散水量相對減少之下，將46年的一日耗水量 15mm減少$\frac{1}{3}$即爲 10mm。但因出穗期間大部份的天氣乾熱，未被害稻葉的蒸散作用仍强，故估計爲 11mm 。在成熟期間枯葉約有$\frac{2}{3}$，類推一日耗水量爲前期 10mm ，後期 7mm。據此而追究陳股長水田的孕穗、出穗及成熟期間等每次輪灌後所留田面水深及其對土壤還

原作用的影響並資考察其他再立穗發生水田的情形。其方法如下：

田面所存水量＋輪灌水量＋雨量－（日耗水量×期間）＝本次輪期所留田面水深

但本次輪期末日與下次輪期初日爲同一天。

孕穗期間：8月1～6日：0+0+54－（10×6）＝0（mm）

8月6～14日：0+50+61－（10×7.5）＝36

8月14～22日：36+50+30－（11×7.5）＝33

出穗期間：8月22～28日（颱風前）：33+50+2－（11×6）＝19

8月29～31日（颱風雨）：19+0+145－（11×3）＝131

以上得知雖在孕穗開始第6天的田面水深爲0，但於當天隨灌 50mm，故實際土壤並未乾涸。其後直到出穗完了之間，田間經常積水。

其他各發病水田，因不在7月下旬排水，土壤乾燥程度不嚴重，且於7月31日輪灌30mm，加上54mm的雨水共有84mm，故於8月1～6日間田水未曾乾掉，亦即自孕穗初期增灌水量後至出穗期始終儲留了深水。

這一個月間的氣溫，根據學甲灌試站資料，最低氣溫平均爲 25°C，最高氣溫平均爲 33°C ，但因近海，風較强之故，氣溫較隆田一帶略低，陳股長所說最高氣溫爲 35°C是可採信。田間的水溫更高，農友們都說以手觸水有感熱度，據此判斷至少有 38°C。實際上，筆者曾經在中營夏天的水田測得 38～40°C 的水溫[21]。這樣灌積高溫的水，實爲促進土壤嚴重還原化的主要因素之一[12)26)]。但是土壤的還原程度和積水前土壤的氧化程度及積水時間也有關係[9)12)18)28)]，所以在孕穗初期乃因其前段期間土壤曾經充份被氧化過，還原程度仍輕。其他各發病田也大致相同。然而從孕穗第二星期以後又當別論。

究竟土壤還原到什麼程度就會構成窒息病的誘因，以及灌積高溫的深水，並且施過綠肥的這種水田，經過多久就會使土壤還原到爲害稻根的程度都要進一步追究。據山口報告[28)]，Eh_6 100mv 爲窒息病的發生主要誘因之一（Eh_6 是 PH_6 時的氧化還原電位）。據筆者等以水田土壤曬乾者爲材料及另加5％澱粉混拌的，各予灌水，並保持土面水深50mm，而以40°C的水溫實驗結果，經過6天就使添加澱粉的土壤 Eh_6降到 100mv 附近，且維持這種嚴重的還原狀態兩星期；又其降低速度較不加澱粉的快一星期[7)]。據此推測，則各發病水田自孕穗初期增灌水量之後約7天 ，也就是出穗前7天左右土壤的還原程度就達到上述臨界點，此係因施用多量綠肥致使嫌氣性土壤微生物取代好氣性者，而在高溫下發育頗盛，消耗土中化合物的氧量很大所致[3)9)13)18)19)26)]；且因時間經過，耗氧量愈大，還原程度與日俱增，如此而至出穗期是易見的事情。

至於成熟期間陳股長水田土壤的乾濕情形和土壤的還原程度，也可由下列公式考查（參照第二表）。

成熟期間：於9月1日（出穗後）將颱風帶來的雨水排出至土面的脚印留滿水的程度 。爲排出130mm的水量約需1天時間。

9月2～6日：0＋0＋0－0＝0（mm）…… 5天。此間田面已被稻葉遮蔽，且$\frac{2}{3}$的枯葉，蒸發散量大減，故脚印裡的水得維持到第5天才乾掉，但土壤未乾涸。這和陳股長所說一致。

9月7～15日：0＋50＋35－（10×7.5）＝10

9月15～23日：10＋0＋9－（7×7.5）＝0…… 4天

在這4天乾田期間，脚印裡的水也差不多乾掉。

9月23～26日 0＋30＋5－（7×3）＝14…和調查當天的情形大體一致。

9月26～30日：14＋0＋0－（7×4）＝0…2天

可知成熟期間雖有11天的乾田日數，但土中仍充滿水分，土壤幾未被氧化，故表土的大部份始終

保持嚴重的還原狀態。這點，將近成熟時把病株帶土拔起觀察土面凹部0～15cm深處，則見由原來的黃褐色變爲灰黑色，乃至藍黑色，且發出臭味等事實可資印證。此色由黑色的硫化亞鐵及硫化鐵等與藍色的二價鐵混成者爲主[8)24)26)]。但其靠近土面部份呈現黃褐色，並帶有褐色的糊狀氫氧化鐵的大斑。糊狀鐵斑係鐵在還原狀態下一度變成水溶性二價鐵後，再被氧化而成的[8)]。不再立穗部位即因土壤還原顏色顯然較淡，故可以判斷還原程度較輕。

但陳股長水田東邊兩行，因比鄰田高出 30mm 左右，田水經常由田埂洩漏，土壤較易乾燥，通氣良好以及不施用甘藷藤，故土壤還原程度始終特別輕，這由表土全層呈現灰褐～黃褐色，且無糊狀大鐵斑，而有乾性細鐵斑的事實可以判斷。其水稻的發育及結實特佳和其他部份成了極明顯的對比。

其他發病水田，大部份都不在出穗後將雨水排除，且除了灌 50mm 1次之外，多灌了30mm以上水量1～2次，結果從孕穗初期增灌水量後，直到最後一次灌溉之間，田面經常儲積深水，這由田面水乾掉後其稻稈基部幾公分處附著水苔，且其下部份變成黑褐色者到處可見的事實也可以證明。一部份水田將近完熟時田面仍積水，或田面水已經乾掉，但土中還有濕氣，而土壤內部呈現嚴重還原狀態的比比皆是。尤其是田面還積水的，靠近給水路而在通水期間由水路洩漏流入田中水量也不少，及因地勢較低而排水不良的土壤還原狀態更爲嚴重情形，一見便知，其再立穗稻株也特別多。反之，排水較上述水田好，土壤通氣性較佳水田再立穗的比率較低。

在嚴重還原化的土壤，往往生成過剩的各種還原毒質以加害水稻[3)12)25)]。另一方面，對還原土壤具有適應性的稻根，在出穗期氧化能力却會大爲衰弱[11)16)]，需由外界供應氧氣以氧化土壤，以解消二價鐵及硫化氫等的毒性時，却灌積高溫的深水，致使稻根無法抗拒這些毒質而發生窒息病，且使罹病格外嚴重者稻穗一旦傾垂後再度挺起。至於在同一田的水稻不全部發生再立穗現象的理由將在本章第八項說明。

（五）其他耕種上的重要問題：

陳股長的水田，5月中旬前作物甘藷收獲時，把甘藷藤的稍部除去後全部留在田間，待其曬乾後犁入土中。至6月15日灌水並施行第三次犁耕時，仍見未腐爛的甘藷藤基部，經浸田4天後耙田時還沒完全腐化。但該田東邊兩行水稻所生長部份未施甘藷藤，而結實特佳，如前所說。在甘藷藤收獲時，於田間堆積摘除塊根後較硬的藷藤基部的地方，埋在土裡的藷藤較多，且因其較硬而較難腐爛，而在高溫的潛水土壤會促進土壤微生物的繁殖而消耗土中氧氣特別多，致使土壤嚴重還原化[3)9)18)19)23)]。除了東邊兩行部份，全區水田土壤於儲積深水以後，逐漸陷入嚴重的還原狀態，而曾經堆積藷藤的各部份土壤，其還原程度尤爲嚴重，此情況以目視亦可判別。所以呈現集團分佈的再立穗發生位置和藷藤堆積地點很一致。

其他大部份發病水田的情形也一樣。在筆者的提示下，很多農民都異口同聲的承認上述事實了。施用新鮮有機物會促進水稻發生窒息病一點，除在日本早經不少專家們指出之外，在臺灣也有張氏的試驗報告[7)]可稽。

另有值得注意的是一般水田都偏用氮、磷肥，而少用鉀肥甚至不施。這樣的水田施肥方法也是窒息病的主要誘因之一[3)4)]。

（六）土壤的退化情形。

（1）陳股長的水田：

於57年2月改種甘藷後，在同一塊田的再立穗發生部位和未發生部位，以試坑法調查這兩處土壤剖面的結果相同：

0～15cm：爲黃褐色的壤土。

15～45 cm：亦爲壤土而呈灰紫褐色。有分佈相當均勻的細鐵斑。在25公分處見有褐色的鐵斑沈積薄層。

45～150 cm：爲黃白色的砂質壤土。細鐵斑較少，見有下垂狀態的紫褐色條斑。

由這事實，可說土壤的退化情形還不太嚴重。此似因施行三年輪作一期水稻，田間積水期間只有四個月左右，其餘時間土壤保持氧化狀態，土中要素的淋失程度比兩期水稻連作田甚輕所致。也知這兩處土壤的退化程度相同，在同樣積水之下不會使發生再立穗部份的土壤特別加深還原作用，此顯然由於施用新鮮有機物的量不同所致，已如前述。

（2）新化鎮李氏水田附近：

於56年9月下旬水稻成熟期，利用新近造成的長約 100m，深爲 2.5m 的溝渠，就其兩壁都連接田埂的土壤剖面觀察結果，是黃褐色的粘土，表層的鐵斑分佈均勻，不見明顯的鐵斑沈積層，可以說幾未退化。

但在河川及大排水溝兩邊的水田，及以大小排鹽溝配合大量灌漑水洗掉土壤鹽分的鹹土改良跡地（沿海地區）等的土壤退化情形可能已達相當的程度，惟實際情形有待今後研究。

以上述陳，李兩氏田爲例來說，土壤幾未退化乃至輕度退化的三年輪作水田，仍在生長後期會使土壤嚴重還原化，並產生過剩的土壤還原毒質的因素，可以列舉施用新鮮有機物，乾熱天氣引起高水溫及從孕穗期起一直灌積深水於田面等三種。

（七）病株檢驗結果：

就11個樣品檢驗結果如第四表所示。其要點如下：

1.從黑爛及未爛稻根均可檢出濃厚的硫化物，此顯示多量的硫化氫浸入稻根，即爲引起窒息病的中毒物質之一。因兩種樣品檢驗結果相同，故在第四表列爲同一項。

2.從病株的稈基組織直到枯死米粒的切片鏡檢結果，發見除了節間組織的中毒較淺外，各組織都發生嚴重的壞疽現象者（表中以「＋」示之）佔大部份，但不再立穗者其穗部組織未見之。壞疽部份呈現黃褐色乃至黑褐色， 這和健全稻稈組織的外邊示白色或綠色而內部爲白色者顯然不同， 如照片1.2.5.9及11所示。

3.上述各部組織之中，發生壞疽部份有黑色顆粒及其大集團，而且很多維管束被其堵塞（照片2.3.7及9）。未發生壞疽部份的組織染成灰黑色，其細胞充滿同色的微粒者甚多； 也在表皮組織、稻根着生部位、被毒死的分蘖及稻根始原體、大小維管束、氣腔的周圍及節板中央都蓄積有很多的黑色顆粒及其集團；也見不少維管束被其堵塞情形。但維管束被堵塞情形，在節間比較少見。

枯萎死米的果皮～糊粉層（俗稱糠層）爲黑褐色；胚乳組織的內容物呈灰黑色，且在顯微鏡下可見很多黑色的微粒及其條狀物（照片11），這些灰黑色乃至黑色物質的湯布爾藍色反應至爲顯著，如第三表及照片 3.4及10所示，故可斷定是硫化亞鐵。值得特記的是從穗頸至死米也可檢出濃厚的硫化亞鐵，尤以果皮～糊粉層爲甚，這是硫化氫及二價鐵流至穗部而引起中毒的證據。

4.再立穗的全部樣品，可從各部的組織檢出二價鐵，尤以維管束，稻根着生部位以及被毒死的分蘖和稻根始原體的反應特濃（照片 6.7.8.9及11）。所檢出的二價鐵係未和硫化合的。這和化成硫化亞鐵部份相加，便知二價鐵的量很多。

以一支稻稈來說，靠近稈基各部組織的二價鐵含量較多，穗部較少；但從死米仍可檢出相當濃厚的二價鐵，也以其果皮～糊粉層較濃。這種情形對硫化亞鐵來說也是一樣。

5.上述病株各部組織的檢驗結果，和筆者多年來對水稻窒息病的直接原因研究結果完全一致[24)26)]。

6.如上所述，稻田土壤因在水稻孕穗期以後儲積高溫的深水而產生過剩的硫化氫及二價鐵等還原產物之情況下，料必產生了各種有機酸而一併加害水稻[9)19)28)]。雖未檢定有機酸的爲害情形，但三者之中，對水稻的毒性較强的前兩者都已檢出，故可資研判爲發病的直接原因。

7.從再立穗的稻稈基部及節部可以檢出多量的澱粉。此顯示在出穗前所生成而貯藏於稈、節的澱粉，在成熟期間大部份未能轉流穗部，亦即貯藏澱粉向穗部的轉流作用嚴重受阻。此亦是阻礙穀粒發育的原因。

第四表：再立穗稻體各部組織的壞疽情形及中毒物質的檢驗結果（1967）

Table 4 : Determinations on the necrosis of each tissue and the toxins absorbed into rice plant which occurred the "relifting-head"

抽樣地點及姓名 Sampling place & Name	+ 組織壞疽程度 Degree of necrosis * 硫化亞鐵的密度 Density of FeS 稈基組織 Basal tissue of culm	稈節 Node	葉鞘節 Sheath pulvinus	節間 Inter node	穗頸 Panicle base	穗梗 Panicle axis	枝梗 Branch of panicle	花梗 Rachilla	枯萎死米 Dead rice	完全米 Whole rice	° 二價鐵的濃度 Density of Fe^{++} 稻根所含硫化物 Sulfide contained in roots	颱風來襲時出穗百分比 Percentage of heading of rice plant when the typhoor came over	備註 Remarks
1.隆田陳竹林股長 Longtien, Kuantien; T. L. Chen	###°°°	###°°°	###°°°	+##°°	###°°	+##°°	##°	###°	###°°		***	80%	Damage degree 30%
2.官田陳熙怡 Kuantien, S, I, Chen	+##°°	+##°°	+##°°	+##°°	###°°	+##°	+##°	##°	+##°		***	80	Damage degree 30%
3.官田陳文隆 Kuantien, W. L. Chen	+##°°	+##°	###°	+##°	###°°°	+#°°	##°°	##°	###°°			80	Damage degree 30%
4.新化 李 Hsinfua, Lee	+##°°°	+##°°°	###°°°	###°°°	###°°	+#°°°	+##°°	##°°	###°°			80	Damage degree 60%
5.新化 康－A Hsinfua, Kang--A	###°°	###°°	+##°°	+##°°	###°°°	##°°	###°°	###°	###°		***	0	Damage degree 15%
6.新化 康－B Hsinfua, Kang--B	+#° °°	+#° °°	+°°°	+°°°	— — —	— — —	— — —	— — —		— — —	***	0	非再立穗者 Without relifted panicle
7.安南區 甲 Anan District－A	###°°°	###°°°	###°°°	+##°°°	###°°	+#°°	+##°°	###°°	###°°			100	Damage degree 60%
8.安南區 乙 Annan District－B	+##°°°	###°°°	###°°°	###°°°	###°	###°	+##°	###°°	###°°			80	Damage degree 60%
9.新港 謝國定 Shikang, K.T. Hsie	###°°°	###°°°	###°°°	+##°°°	###°°°	+#°°	+##°	###°	###°°		***	100	Damage deree 60%
10將軍 甲 Chianchung－A	###°°°	###°°°	###°°°	+##°°°	###°°°	###°°°	###°	###°°	###°°		***	80	Damage degree 10%
11將軍 Z Chianchung--B	###°°°	###°°°	###°°°	###°°°	##°°	##°°	##°°	###°°	###°°			80	Damage degree 10%

Note : 1. The determination results are shown with four degees such as none —, slight +°, medium ++°°, severe or dense+++°°°.
2. The ferrous iron is shown by which did not combine with the sulfur.
3. The FeS itself is not the active poison, it was, however, mainly composed of the Fe^{++} and the H_2S in the plant tissues, moreover it clogged so many vascular bundles, therefore it was concluded as the toxin.

（八）發生直接原因的綜合檢討：

1.颱風是否爲直接原因？

因本地區大部份水稻在出穗末期遇到颱風，而在颱風過後這種再立穗現象顯然引起農民們的注意，所以大家認爲是颱風爲害的。但以「追跡方法」從各方面研究結果，獲得下述各種反證：

（1）假定是颱風爲害，至少應在嘉南地區出穗期的稻田全面發生這種不稔症，不會局部發生。又在同一塊田也不會以再立穗稻株形成集團分佈者多於全區分佈者。

（2）如七股及將軍二鄉位於沿海地區者，往往因颱風及其挾帶的鹽霧雙重爲害作用，農作物受害程度當較重，但實際上再立穗發生面積反而最小，被害程度也輕（見第一表）；而且不見鹽風加害的症狀。

（3）據冰高等的記述[10]，水稻在開花期受了高溫乾燥的强風侵襲，則因受粉作用被阻礙，並因穗部的葉綠素被破壞等而發生完全不稔的白穗。這樣的不稔稻穗是始終挺立的。但實際上如本章第三項所說，這次颱風不是乾熱的風，不但未使當天出穗者變成白穗，而且不可能使在乳熟期的稻穗乾涸而再度挺起。

（4）通常颱風對水稻稔實作用的影響，根據坪井等的報告[22]，則正在開花者加以强風處理就會阻礙其受粉作用。但本次微弱颱風係於午夜來襲的，稻花已經在日間完成受粉作用，故不受影響。這點以當天開花的稻穗仍照樣進行「灌漿作用」而傾穗的事實可以證明。

又颱風對水稻的爲害程度，因風速、連續吹風時間的長短及生育時期而不同。坪井曾報告[22]在地面風速 9m/s，相當於 27m/s 的颱風連吹2小時之下，只減產1％而已。然而這次颱風，在臺南地區的風速只有 10～17.2m/s（地面風速 3.3～5.7m/s），連吹時間爲 2.5 小時而已。兩者對照之下，也可知這次颱風對稻穗稔實的影響甚小，更無使稻穗傾垂後再度竪立之理。

（5）又稻穗的開花結實順序是由上而下，且在上面的穀粒經「灌漿」後，其重量超出稻梗的負荷時才會下垂的。除非上端被風打落而減輕之外，應無一旦傾垂後再度挺起的道理。經查結果，不但不見稻穗上端被吹斷，且連較易受傷的稻葉也沒被打裂的。

（6）陳股長的水田在颱風來襲前就有一部份開始發生再立穗現象。

（7）新化鎭康農友的水田係在颱風過後出穗者，仍有一部份發生同樣的再立穗現象，且示集團分佈。

以上述七種反證，可以說颱風不是引起再立穗的直接原因。

2.是否爲颱風引起稻穗擦傷且使病菌侵入加害？

據冰高等的報告[10]，則在出穗期間碰到颱風就會使稻穗發生擦傷，致使穀殼染成褐色，並因病菌從傷口侵入而發生褐色米及腐爛米。依理在乳熟期發生這種病害時，不完全米應該腐敗。但對發生褐斑的穗頸、穗梗、枝梗、穀殼及黑褐色死米等的切片，用顯微鏡檢查結果不見菌絲、胞子或細菌；而且未以固定液處理前的死米呈現乾涸狀態，並無腐爛現象，所以不能說穗部的變態是颱風引起擦傷而病菌從傷口侵害所致。

3.是否爲螟蟲加害？

設使稻穗傾垂後不久，被螟蟲食害穗梗基部（在葉鞘裡），則因水分及其他養分不能流轉穗部而使穀粒急激失水減輕，以使再度站立。但是螟蟲爲害者呈現白穗，其外徵和再立穗者完全不同；且將其拔起就可見其吃痕和蟲糞，絕無例外；有時可以找出幼蟲，甚易鑑別。然而再度挺立的稻穗不見這種情形，故非螟蟲之害。

4.是否爲穗頸稻熱病等所引起？

穗頸稻熱病的發生時期多爲出穗後2～3天，穗頸還沒硬化前，很少在穗頸已硬化的乳熟中、後期發生[17]；而且在發生地區出穗初、中期的天氣乾燥，不適於稻熱病菌的繁殖，發病的可能性很

低。實際上不見稻頸及枝梗稻熱病，連葉稻熱病也不發生，所以原因不在此。

5.是否爲其他病蟲害問題？

雖然少數水田併發紋枯病，但因其加害部位是葉鞘，不會使稻穗在幾天內引起失水作用，且罹病稻株很少，不必重視。這點兩位病蟲害專家都表同意。

此外，雖然普遍在葉部發生胡麻葉枯病及（或）黑腫病，在下面的葉鞘有稻飛蝨及浮塵子寄生，但其加害程度都不嚴重，也不是引起再立穗的直接原因，而爲促進因素之一。

6.是否爲藥害？

據說在開花期對穗部噴施含砷藥劑會引起不稔症。但實際上農民都不願在這時入田噴藥，更無大面積發生藥害的可能。縱然發生這事，稻穗是始終站立的。又在傾穗後噴藥時也因內外穎關閉，藥劑難以滲入其內，不會引起激劇的中毒而至再度挺起。實際上陳股長及其他不少農民確在出穗後未予噴藥，而其水田都發生再立穗，故非藥害所致。

7.是何種生理障害使然？

本研究，雖然缺少水稻各生長階段所發生生理障害的調查，但據陳股長的詳細觀察，氣象和灌溉等資料，配以現場勘查及病株化驗結果而追究結果，獲知水稻至乳熟中～後期發生嚴重生理障害的。其原因詳細討論於下。

水稻在出穗後，蓄積於稈，節的澱粉及在葉部合成者，將被化成水溶性的糖類，而與其他各種養分一併轉流穗部；然後再化成澱粉及蛋白質等。這時由於稻葉及穗部蒸散作用所產生的蒸散水流對物質向穗部流轉作用有幫助。又米粒的發育，係首先以乳漿儲滿於胚乳組織（乳熟期），其後逐漸失去水分而成完全的米粒（經過糊熟期而至完熟期）[2]。設使稻穗在糊熟期以後突然發生嚴重的失水作用，則因所積固形物質的重量已經超過其含水量，所以失重不大，不會再度站立。在乳熟初期，則因蓄積乳漿還少，稻穗不致於傾垂。問題是在乳熟中～後期，所積乳漿的重量超出穗梗的負荷之後，含水量還比固形物質很多的時期。

上述稻米的成熟過程，特別需要水分、磷酸和鉀素來幫助光合物質向穗部轉流[2]，如果這時嚴重的窒息病發作，則稻根吸收磷、鉀的作用大被抑制，吸水作用也會衰弱[4)5)12)15)38)]。不但如此，連稻葉的光合作用也大受阻礙[3)5)]。可知窒息病嚴重時會阻礙穀粒的發育。實際上，本研究已查出再立穗稻稈貯藏澱粉的轉流作用嚴重受阻，如前所述。

由於發生再立穗的稻株呈現窒息病的各種病徵；且可從各部組織中檢出濃厚的硫化氫及二價鐵等中毒物質，故可斷爲罹患窒息病。

至於**再立穗的發生機構**（Mechanism）：是從八月起（孕穗初期）儲積深水於田間，而在高水溫之下逐漸加深土壤的還原程度，並產生二價鐵、硫化氫及各種有機酸等毒質，且此等毒質也漸漸增多，至出穗期就因稻根的氧化能力衰弱，不能抗拒過剩的還原毒質入侵，引起根細胞的窒息，阻礙水分及其他養分的吸收；且在高溫亢旱的情況下，稻葉強盛的蒸散作用所產生的負壓，促進毒質被吸進稻稈裡[6]，而使水稻從最下面的稈節一節一葉的往上發生中毒現象，但因病勢未波及中、上部的稻葉和穗部，故不影響開花和受精，子房仍可發育，可是到了乳熟中期則因病勢加重，且使不少維管束被硫化亞鐵等物堵塞，更阻礙各種養分的吸收及流通；另一方面，因稻葉枯死不少，光合作用大爲減弱，光合物質向穗部的轉流作用亦嚴重受阻，而阻礙穀粒的發育；加上颱風迫使稻葉及稻穗在夜間也可能發生相當强的蒸散作用，其後幾天的乾熱天氣亦使稻體維持更强盛的蒸散作用[23)]註[5]，猶如一種 pump 作用，而使二價鐵及硫化氫等經由未被害的導管流到穗部，而毒死發育中的稻米。繼以强烈的日照迫使稻穗發生脫水作用，重量減輕，而由於穗梗的彈力再度挺起。

5.據筆者就水稻12品種的吸水量受外界條件影響的研究結果，水稻在夜間仍不完全停止蒸散作用，蒸散量與氣溫、日照及風的强弱成正比關係，但與空氣濕度成反比關係；蒸散作用最旺盛的時期在出穗期間（其中較早出穗者已入乳熟期）。

至於新化鎮康農友水田在颱風後出穗的病例，可以說施用新鮮有機物及乾熱的天氣（在出穗至成熟期間的降雨日數只有4天，合計雨量大約7mm，如第二表）等爲再立穗發生的主要促進因素。

再立穗稻株發生比率較低者示集團分佈，而嚴重者呈現全面性分佈，其情形和窒息病（赤枯病）發生情形相似。其理由是：窒息病的發生與否，要看稻根的氧化能力，土壤的活性鐵含量與還原毒質生成量三者的平衡如何而定[18]。雖爲同一塊田，但因各部份土壤的鐵、錳及有機質（尤其是新鮮者）等的含量，犁翻土壤的深淺，其曝光氧化程度，及因整地耙平不均勻影響田面各部位的積水深淺等，各種條件都難得均一，致使灌溉後各部位土壤的還原程度也發生差別，影響所及，土壤還原毒質的生成量有所不同；另一方面，稻株內在的生理活性也必有差異，而使稻株間稻根對土壤還原毒質的抵抗力有强弱。因此在同一田裡發病條件齊全的稻株中毒程度特別深，而發生再立穗現象。其他部份的發病條件較不全，中毒程度也較輕，故不致發生再立穗現象。這點由新化康農友水田再立穗者（第三表5，康—A）及不立穗者（6，康—B）兩樣品的檢驗結果可以證明。因爲前者在稻穗各部份的組織及死米都可以檢出嚴重的組織壞疽情形及濃厚的中毒物質。各部位的二價鐵反應雖爲輕度至濃厚，但是此係未化成硫化亞鐵的，而且已經化成硫化亞鐵者亦爲量頗多，兩者相加，則呈現徵紅色反應的花梗及死米裡的二價鐵也很多了。另一方面，從穗部檢出硫化亞鐵的濃度和稻稈各部的一樣很濃厚。這硫化亞鐵是二價鐵和硫化氫化合的爲主；又因其爲結晶狀態，不能被稻根從外界吸入，故所檢出的硫化亞鐵應視爲上述兩種毒質各被吸入根內後化成，及一部份移進稻稈裡然後化成的。因此所檢出濃厚的硫化亞鐵，間接可以證明被吸入稻體裡的這兩種毒質爲量很多，因而發生嚴重的中毒且波及穗部，以使傾垂後的稻穗再度站立。反之，不再立穗者，雖然也因二價鐵及硫化氫引起稻稈中～下各部中等程度的中毒，並使下面的稻葉發生病態，但吸入的毒量較少，未完全阻礙上面稈葉的生理作用；且因毒質未移至穗部，對其各種生理作用的影響不大，故穀粒得以繼續發育相當良好，不致於再立穗。

至於陳股長水田的東邊兩行水稻，係因土壤的排水性特佳且不施用新鮮有機物，及儲水期間土壤的還原程度很輕，故還原毒質生成量少等條件不適於發生窒息病而結實特佳，此與條件相反的左邊2、3行水稻發生窒息病且再立穗者比較，有極顯著差異是最好例證。

然而臺南市安南區乙田及其附近水田，即因位於給水路邊而灌溉方便，在天旱時非無偷水增灌的嫌疑，且由水路洩漏的也不少，故儲水較深，期間較長，且因排水不良及施用新鮮有機物等，全區土壤普遍陷入嚴重的還原狀態。這些在成熟期已停止灌溉後不久，全區土表仍示灰黑色而其下層爲藍黑色的事實可看出。另一方面其水稻有併發胡麻葉枯病、紋枯病及黑腫病等，這顯示氮素過多症。如此多施氮肥而缺乏鉀肥的水稻，對窒息病抵抗力弱[3)25)]。因此普遍發生嚴重的窒息病以致再立穗的發生情形也嚴重得多，而示全面性的分佈。至於儲水到成熟期的尤然。

水稻的窒息病可分赤枯病及秋落（Akiochi）兩類。前者發生時期在分蘖期，病勢比較嚴重；後者在生長後期，病勢較輕，詳細已在「水稻窒息病」一文說明[26]。這裡扼要說明「秋落現象」，即在日本初夏插秧，其初～中期的發育尚佳，但因土壤退化嚴重，保肥能力低且易產生多量硫化氫等各種土壤還原毒質，而在失肥之下生活機能漸退，未能抗拒土中毒質的侵襲，到了秋天出穗後生機大爲凋落，且併發嚴重的胡麻葉枯病，以使產量銳減[13]。

本文所討論者同爲夏作水稻，且在出穗後窒息病嚴重發作，可以說是「秋落」。所不同的是稻穗一旦傾垂後再度挺起一點。但在本質上並無兩致，所以這是新的一種「秋落現象」。

根據上面所討論的各種事實，可知本病係在出穗後發生極嚴重的生理障害，故無藥可救，只能靠預防。**其預防方法**爲不施新鮮有機物，勵行乾濕有期的適量輪流灌溉法，以使土壤適宜乾燥而減輕其還原作用，多用鉀肥及節用氮肥等各種方法的配合應用。至於土壤輕度退化的，應施行深耕而將沈積鐵質的底土翻上，以養表土。

四、結　　論

（一）在民國56年臺南地區三年輪作的水田，稻穗傾垂後再立穗的直接原因是在出穗期罹患嚴重窒息病，且使稻穗亦受二價鐵及硫化物的中毒枯死，失水減輕而由於穗梗的彈性再度豎立。

（二）這是在臺灣新發現的一種「秋落現象」。

五、摘　　要

於民國56年秋，在臺南市安南區及其附近7鄉鎮的三年輪作水田（夏作），首次大規模發生稻穗傾垂後再立穗的現象。

因在8月29日子夜，輕度颱風娜拉的中心掠過臺灣北部後幾天，再度挺起的稻穗顯然增多，所以大家認爲颱風爲害的。

然而筆者乃以（1）颱風爲害，（2）螟蟲加害，（3）穗頸稻熱病等的害及（4）在出穗後罹患嚴重的窒息病，且使稻穗受了二價鐵等的中毒等再立穗直接原因的4種假說作爲研究目標，而以再立穗發生情況及水稻栽培環境等將近20項目，對代表地點詳加追究；並採集病株樣品，用顯微組織化學方法檢驗中毒情況，及稈、節的貯藏澱粉向穗部轉流作用受阻情形；且對穗部檢查病菌存在與否的結果，其要點如下：

（一）娜拉颱風在臺南地區的地面風速只爲 3.5～5.7m/s，其連吹時間亦爲午夜約2小時半而已，氣溫 25°C，空氣濕度99%，可見不是乾熱颱風且風力也弱，對水稻穗實的直接影響不大；此外查出一部份水田在颱風前就發生再立穗及其他合計7種反證，故颱風不是再立穗的直接原因。

（二）不見螟蟲加害所致的再立穗情事，故此亦非直接原因。

（三）不發生穗頸及枝梗稻熱病，故原因不在此。

（四）未能從再立穗的稻穗檢出病菌，所以黑褐色的死米，非颱風引起擦傷後病菌由傷口入侵所致，故亦非颱風在這方面的間接影響所引起的再立穗現象。

（五）藥害亦非直接原因。

（六）再立穗發生水田，其株高、分蘖及出穗情形都好，但在出穗期發生窒息病的各種病徵。其中病勢特別嚴重者發生再立穗，較輕者不然。

（七）病症較輕水田，其再立穗稻株呈示集團性分佈，而其位置與前作甘藷收獲時堆積藷藤的地點一致。在排水較差，儲水較深且期間較長及不施鉀肥者，其再立穗稻株特多，而示全面性分佈。再立穗部位的土壤還原程度顯較不然者嚴重。

（八）再立穗者其外觀爲褐色之中混灰黑色穀粒，裡面的死米呈現黑褐色而枯萎，顯示在乳熟中～後期發生極嚴重的穗實障害及失水現象。不再立穗者雖然結實，但不很好，其穀殼染上褐斑者亦頗不少。

（九）再立穗者，可從根部直到穗部檢出多量的二價鐵等中毒物質，以確認罹患窒息病。各部組織發生壞疽者不少，且被硫化亞鐵堵塞的維管束亦多。同一田的不再立穗者，未能從穗部檢出中毒物質，可知移進稻稈的毒量較少，其中毒作用幾未波及穗部。

（十）再立穗的發生機構：因從孕穗初期起儲積深水於田間，其水溫高至 40°C 左右，而逐漸加深土壤的還原程度，二價鐵及其他土壤還原產物亦漸增，致使水稻在出穗期發生窒息病，及至乳熟中～後期病勢嚴重到極步，稻根的吸收作用爲此大減，並且因稈節的不少維管束發生壞疽或被硫化亞鐵等物堵塞，而阻礙養分向穗部的流通作用；另一方面，因稻葉枯死不少，光合作用大爲減弱，且因光合物質向穗部的轉流作用亦嚴重受阻，而阻礙穀粒的發育；加上颱風及其後的乾熱天氣所引起的強盛蒸散作用迫使稻根吸入更多的土壤還原產物，且使其經由未被害的導管流到穗部，毒死發育中的穀粒；繼以強烈的日照引起稻穗迅速失水，減輕，而由於穗梗的彈性再度挺起。

（十一）其發生誘因爲施用新鮮有機物，乾熱的天氣，儲積高溫的深水，排水不良，土壤的嚴重還原作用，輕度颱風，少施或不施鉀肥等各項的綜合作用。紋枯病、胡麻葉枯病、飛蝨及浮塵子等的加害爲其促進因素。

（十二）這是在臺灣新發現的水稻「秋落」的另一病型。

（十三）其預防方法爲不施新鮮有機物，勵行乾濕有期的適量輪流灌溉以減輕土壤的還原作用，多施鉀肥及節用氮肥等各種方法的配合應用。

六、參 考 文 獻

1.相見靈三（1953）細胞生理學實驗法180～181頁。

2.相見靈三（1956）登熟　稻作講座２：96～106頁。

3.馬場赳、稻田勝美（1957）水稻赤枯病的營養生理研究第Ⅳ報　栽培條件與赤枯病的發生並其體內代謝的關係　日本作物學會紀事26：１。

4.馬場赳（1958）水稻胡麻葉枯病及秋落發生機構的營養生理研究　日本農業技術研究報告 D-7。

5.馬場赳、田島公一（1960）赤枯病營生研究第Ⅵ報　過剩的二價鐵對水稻發育、養分吸收及體內代謝的影響　日作紀29：１。

6.馬場赳（1963）致筆者討論水稻赤枯病的信件（共６張）。

7.張國勤（1964）綠肥對水稻窒息病影響之研究　國家長期發展科學委員會年報250頁。

8.船引眞吾（1957）土壤調查法與其應用　新土肥智識111～118頁。

9.熊田恭一（1957）低濕田之特性與乾田化　新土智67頁。

10.水高信雄、小澤行雄（1966）風害　農業氣象手册373～385頁　日本農林省振興局監修。

11.三井進午、天正清（1952）作物的養分吸收研究第３報　從亞硝酸的生成剖視作物根的還原能力及生育樣相　日土肥誌22：301～307。

12. S. Mitsui (1954) Inorganic Nutrition Fertilization and Soil Amelioration for Low land Rice

13.三井進午（1957）秋落的改良與施肥對策　新土肥智識21～26頁。

14.三井進午、今泉吉郎監修（1958）原色圖解作物的要素缺乏21～28，179～183頁。

15.岡島秀夫、高城成一（1953）硫化氫在體內的行動第Ⅰ報　硫化氫對養分吸收的阻礙　日本東北大學農學研究所彙報５：３。

16.岡島秀夫（1960）水稻根系的生理機能研究一氮素營養爲中心　日東北大農研報12：１。

17.小野小三郎（1966）稻的病害診斷與防治89～90頁。

18.鈴木新一（1960）秋落與對策　稻作講座３：42～168頁。

19.瀧嶋康夫、鹽島光册、今野喜一（1962）泥炭低濕田土壤之發育阻礙物質之研究第１報　水稻之發育阻礙與土中物質之變化　日土肥誌33：７。

20.臺灣省氣象局民國56年颱風調查報告22～28頁。

21.臺灣省嘉南輪流灌溉研究區中營工作站試驗資料集。

22.坪井八十二（1966）災害預測　農業氣象手册457～460頁。

23.吳振能（1952）水稻生育各時期一日間吸水量之變化與外界因子之關係　省農試所年報。

24.吳振能(1964)窒息病水稻的硫化物及二價鐵的檢出　國家長期發展科學委員會年報 252～253頁。

25.吳振能（1965）日本水稻赤枯病的病徵，病因及對策　植保學會會刊７卷３期。

26.吳振能（1968）水稻窒息病　臺灣農業中心56年度暑期作物生理講習會專刊。

27.吳振能、陳雲竹（1972）水溫及澱粉施用對土壤 Eh 的影響（未發表）。

28.山口尙夫、白鳥孝治（1958. A, B）千葉縣水稻窒息病的實況及發病水田的旱植栽培效果〔Ⅰ〕及〔Ⅱ〕農業及園藝33：１及２。

STUDY ON THE CAUSES OF RELIFTING-UP OF RICE PANICLE DISCOVERED IN TAIWAN IN 1967

Chen-Neng Wu

Summary

A mysterious phenomenon that the sagged rice panicles lifted up again was observed in the 3-Year-Rotational Rice Cropping Plots of Tainan Area, South Taiwan, in 1967. The total damaged area was 1,778 hectares. This rare sterility of rice panicle caught the farmer's attention several days after the weak typhoon, and therefore was considere as typhoon damage by the farmers in the area.

The above interpretation was, however, questioned by the author so the following four hypothetic causes of the occurrence of the "relifting-head" were taken as the bases for this research to detemine the real cause :

1. The damage caused by the typhoon,
2. The rice panicles attacked by the rice stem borers during the latter half of the milky stage,
3. The rice heads damaged by the *panicle neck blast* and/or by the *branch blast disease* due to the Pricularia Oryzae Cavara, and
4. The rice plants severely suffered from the "suffocating disease" owing to the poisoning of the reduced substances of soil such as the ferrous iron, etc. after heading.

The field surveies were carried out with about twenty investigation items including the occurrence of "relfting-head" and the cropping conditions, etc. at the representative fields. And eleven samples of ill rice plants were collected for the examinations of the toxication phase of the tissues, and the germs in the panicles; also for the detections of toxins such as the ferrous iron and the sulfide in the stems and the panicles by Microscopic Histochemistry Method.

The ferrous iron which did not combine with sulfur in the tissues incluing the panicle, was determined by the red color reaction to 0.2% solution of O-phenanthroline within 40 minuts after treatment.

The black substance in each tissue was determined as the ferrous sulfide by its Turnbull's blue color reaction to 2% solution of potassium ferricyamide plus 5% hidrochoic acid, and could be distinguished from ferric sulfide by this method.

The six cases with severely rotted roots (including one sample which has no "relifted-head") were chosen to make the root saps to detect the sulfide contained in by means of the determination of the white precipitation of zinc sulfide to 2.5% zinc acetate solution.

According to the survey result, it was found that the detail observations made by Mr. T.L. Chen, Chief of Extension Section, Kuantien Hsian Farmers' Association, on the appearance of the "relifting-head" in his own rice field could be considered as the key to solve the problems. Hence these research results were mainly based on the problems studied in

his farm in addition to the common data obtained from the other representative fields, etc. The research results are summarized as follows :

1. The weather condition during this rice season (from middle June to late September) was the remarkbly drought. But the irrigation water supplied with water of 30-50mm deep per 7.5 days rotational method held by the Chianan Irrigation Association, was still enough for the rice season.
2. The developement of the rice plants before heading was fine and the heading phase was also normal. Even so the panicles lifted up after they had sagged in the middle to late milky stage, and showed dark brown in color with some grains in grayish black color. Then the rachilla and the dead rice in the chaffs showed blackish brown in color and dried up; and large brown spots appeared on the branches, the axis and the base of relifted panicles. Even the unlifted ones also showed dark brown in color, its ripening was, however, comparatively good.

   The rice hills occurred the "relifting-heads" were spotted in a paddy field when it was the slight case. It was noticed that the spotted positions were coincident with the positions where the hard sweet potato vines had been piled at its havest time. In the severe case induced by the poor drainage condition, less or no application of potassium and so on, the hills with the "relifiting head" spreaded all over a plot.
3. Almost the rice fields in the area were hit by the weak typhoon at their late heading stage. It, however, had blown only two and half hours at midnight with a maximum velocity of 17.2m/s, (5.7m/s on the surface of eath), the temperature at 25°C the humidity of 99% and the rain. These data showed that the typhoon was very weak and not the dry-hot one. Actually, not only no panicle tips and leaves had been broken but also no panicles appeared on that day had been dried up and showed the "white-head". Besides, there were other five counterevidences such as that some panicles had already lifted up before the typhoon, some one headed several days after the typhoon had lifted up too and so on. Consequently, the typhoon was definitely not the direct cause of the occurence of "relifting-head".
4. It was also determined that the damage was not caused by rice stem borers because the symptom was quite differ from the "white-head" injured by rice borers, i. e. no bor or bite on the culm and no excrements of the borers inside of the culm were discovered.
5. The neck and branch blast diseases were again not considered to be the cause of the "relifting-head". It should be pointed out that there were no rice blast disease discovered even on the rice leaves.
6. Besides, no germ could be foumd out from the tissues of every brown spotted parts of the panicles by the microscopic examination. Hence it is safe to say that the dead rice grains in blackish brown color were not injured by any germ that invaded through the abrasion of the grain hulls owing to the attack of the typhoon.

   Since the dead rice grains were not rotted, it was impossible that they had been damaged by the rain water brought by the typhoon.
7. Although the "relifting-head" rice plants were acompanied with *rice brown spot* and

/or *sheath blight* and/or *leaf smut*, etc., most of these parasistic diseases occurred after the relifting of panicles and the damages were slight. And the injury by rice hoppers was not the direct cause too.

8. It is evident that the "relifting-head" was not the damage caused by agricutural chemicals.
9. The sick rice fields were irrigated with the deep water which had nearly 40°C of temperature, from the early head-sprouting stage, so that the reduced condition of the soil was resulted and further developed to the extremely severe condition day by day.

   The time of the reduced degree reached to Eh_6 100 mv which is an inducement of "suffocating disease" of rice, was presumed as one week before heading according to the results of the field survey and the experiment. Then the serious reduced condition of soil was discovered even at the ripening stage of the many sick fields.

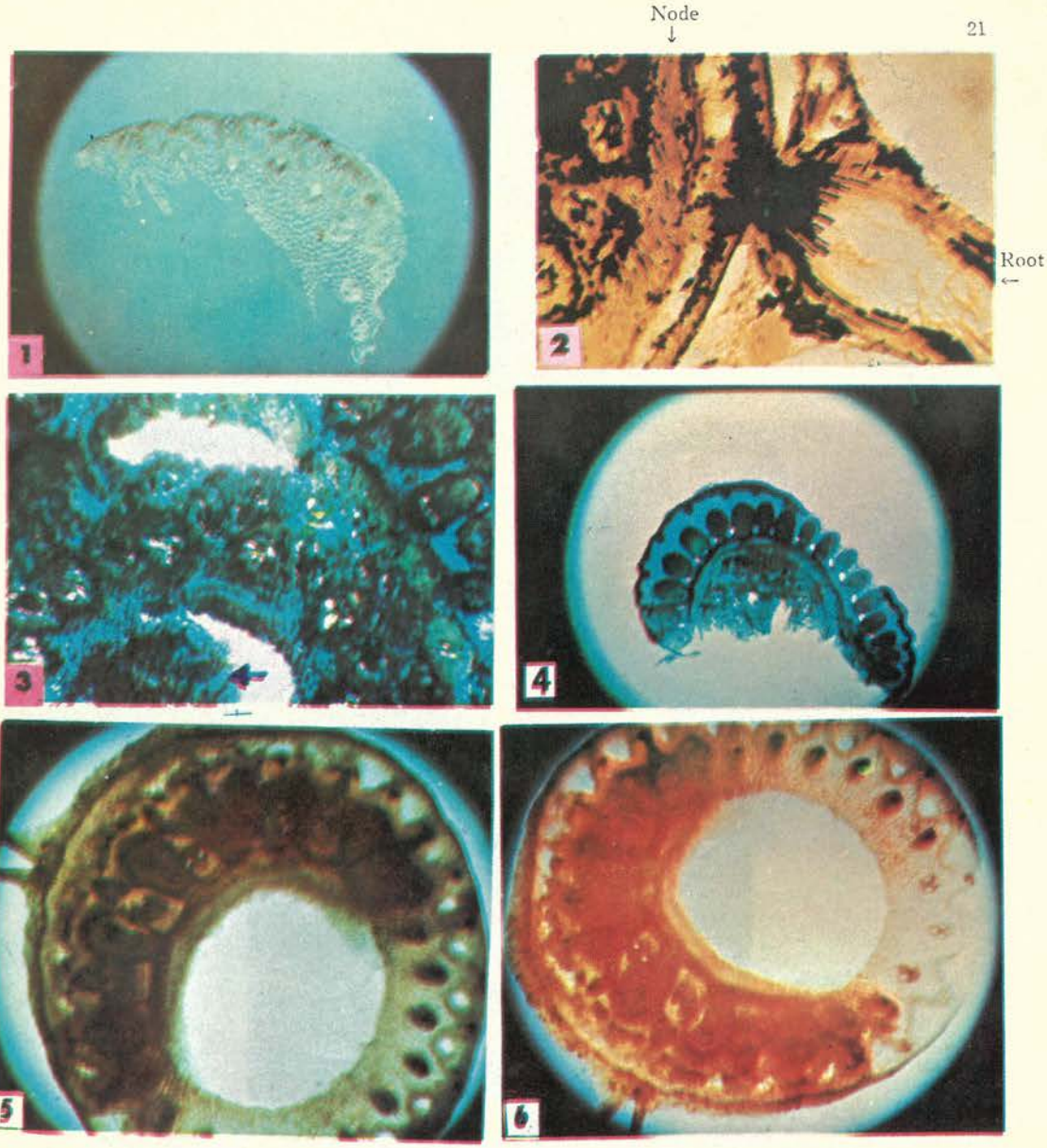
   It was, however, estimated that the disease appeared severely at heading stage which the oxidation ability of roots was weakened and could not resist the harmful reduced substances of the soil. Then Among the sick plants, the most seriously affected one relifted their panicles up from the middle to late milky stage.
10. Plenty of the ferrous iron and the ferrous sulfide were detected from the roots, the culm and the panicle of the sick plants with the "relifting-head"; then in the dead grains, a lot of toxins were determined especially at the portion of that from the pericarp to aleuron layear.
11. It was also discovered that almost poisoned tissues occured very severe necrosis and some of them showed partial one; and many vascular bundles were clogged up with the ferrous sulfide or other matters.
12. The facts of the poisoning were found in the tissues of lower part of the plants without the "relifting-head" too, however the quantity of toxicants in the culm were smaller. It is evident that the poisoning had not yet spreaded to the upper part of the plant thefore the panicles did not relift up.
13. The mechanism of the occurrence of "relifing-head" was that the rice plants severely suffered from the "suffocating disease" after heading and the absorption ability of the roots was therefore considerably weakened. On the other hand, the assimilation of the leaves was obstructed greatly owing to many lower leaves withered up quickly. Moreover, many vascular bundles of the node occurred necrosis and/or clogged up with ferrous sulfide or other things, hence the transmission of the water and other nutrients to the panicles was obstructed more and more. In addition, the more hurmful toxins produced in the reduced soil were absorbed in, and some of them were transmissed to the panicles through the undamaged sieve tubes owing to the strong transpiration current made by a weak typhoon and the following hot dry weather, then caused the young rice grains poisoned by the ferrous iron and hydrogen sulfide. Later on, they withered up very fast and lost the weight because of the strong sunshine, then lifted up again owing to the elasticity of the panicle axis.
14. The occasions of occurrence were the composite effectes resulted from the application of fresh organic matters, the storage of deep water in the rice field during the latter

stage, the high water temperature induced by the hot dry weather, the poor drainage condition, the serious reduction of soil, the weak typhoon, the excessive application of nitrogen and less or no application of potassium, etc.

15. This is the new case of "akiochi" discovered in Taiwan.
16. Its preventive measure is the adoption of the following methods at the same time by enforcing strictly the rotational irrigation method which has wet and dry terms periodically so as to keep the soil dry properly and supress the reduction of the soil under the submerged condition[1] ; and applying more potassium and the suitable amount of nitrogen. The fresh organic matters, however, shoule not be applied to avoid the production of toxins in the reduced soil.

Addendum : Since the author was dispatched to the Philippines soon after he had finished this research project in 1969, the publication of this paper has been delayed.

The similar case occurred again in the same area in 1970 soon after his return to this Institute. Therefore he started immediately the second research project which has recently finished. Its results will be published as a separate report.



說明：1. 正常稻稈節板的一部份切片。不能檢出二價鐵及硫化亞鐵。

Note A partial tissue section of the nodal septum of healthy rice culm. Neiter Fe^{++} nor FeS could be detected.

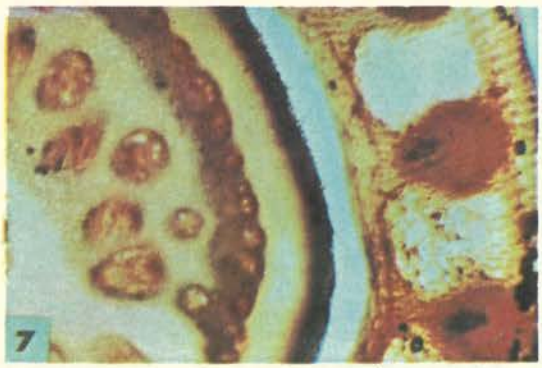
2. 稈基組織的節板及稻根的壞疽嚴重且集積多量黑色物質。
The necrosis occurred severely in the nodal septum of basal tissue of the culm and the root of sick plant. Then much black substance was stored in thease tissues.

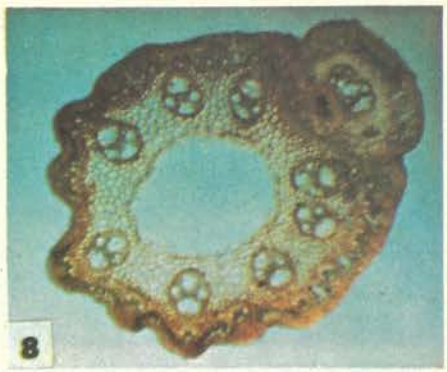
3. 稈基組織節部的中央部份也見黑色物質的大集團(←部)。其湯布爾藍色反應特濃，顯然是FeS。
The mass of black matter was also found in the central part of the nodal septum of basal tissue (←). It was determined as the FeS by its Turnbull's blue color reaction.

4. 外示褐色，內示灰黑色的稈節組織，其「藍色反應」也顯著。
The node of the culm which had brown outside view but grayish black inside view showed the Turnbull's blue color reaction thickly too.

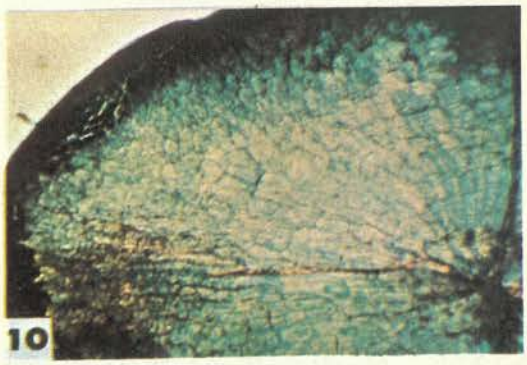
5. 壞疽嚴重的另一稈節（離節板稍高部位）。
Another node of the culm, just at the upper portion of nodal septum, which occurred the necrosis severely.

6. 可從照片 5 所示切片檢出很濃厚的二價鐵的紅色反應。
The dense Fe^{++} in red color could be detected from the node shown by photograph 5.











說明：7.節板（左）及葉鞘節（右）的各維管束的二價鐵反應特別濃厚。但硫化亞鐵不反應。

Note The nodal septum (left) with the sheath pulvinus (right). The Fe^{++} could be detected densely from most of their vascular bundles. The FeS, however, did not react to the O-phenanthroline.

8.穗梗及枝梗（小的）也可檢出二價鐵。

The detection of the Fe^{++} at the panicle axis with the primary branch (the smaller one).

9.穀殼底部及花梗（中央）的二價鐵反應。

The reaction of Fe^{++} at the basal parts of hulls with the rachilla (center).

10.從死米也可以檢出多量的硫化亞鐵，尤以果皮乃至糊粉層爲甚。此係大約 $\frac{1}{4}$ 粒的放大照片。

The mass of FeS was also detected from the dead rice grain especially from its pericarp to aleurone layer. This is the enlarged picture of about a qarter of the rice grain.

11.死米的二價鐵反應。

The Fe^{++} reaction found in the read rice grain.