

水稻之微氣象 (I. 第二期作水稻溫度環境)

顏 俊 士

Microclimate in the Paddy Field

I. Studies on the Variation of Temperature During the 2nd Rice Harvest

C. S. Yen.

Abstract

1. Observations were taken during the 2nd rice growing period from August to November in 1963. In order to obtain a continuous record of temperature in the paddy field, an electronic balancing recorder and a resistance bulb were introduced. Four levels above the ground were selected for observation, i.e., 10, 20, 40, 80 cm; water temperature and soil temperature at a depth of 5 cm were also observed. The experimental field was divided into 12 plots which were treated by two planting methods; each planting method thus had 6 plots. Into each plot were put 30 plants at random every 5 days for research growing conditions. The statistical method was two treatments, 6 duplications. The density of the square planting method (SP) was $22.7\text{cm} \times 22.7\text{cm}$ (64 plants in each 3.305m^2) and the density of the row mass planting method (RMP) was $27.3\text{cm} \times 15.2\text{cm}$ (80 plants in each 3.305m^2).

2. The trend of air temperature during the 2nd rice crop in 1963 at Ankang was computed as $Y = 26.0 - 0.1X$, $\sigma = \pm 1.768$, where Y is air temperature, X is the numbers of growing days. The accumulated air temperature from the date of transplanting to the date of heading was 1908.4 degrees centigrade, while the accumulated air temp during the adulting was 870.4 degrees centigrade. From the Stand point of effective rainfall, too many rainy days caused with short sunshine in the adulting stage will adversely affect its adulting work. About 20% of empty grains and 13% of discoloration grains resulted from a daily average wind speed above 6m/s in the heading and flowering stage. Also the strong wind in the adulting stage, drew down 3.5% to 4.6% of falling grains in totals. The stem of paddies showed a bending downward when the wind speed was above 8.5m/s after a period of rainfall.

3. The vertical distribution of temperature in the paddy rice field may be classified into 3 types. During the day from 9 a.m. to 4 p.m., the field receives solar energy from the atmosphere and may be considered as an "Incoming radiation type". During the night

from 6 p.m. to 6 a.m., the earth radiates its energy to the atmosphere and may be considered as an "Outgoing radiation type". A transitional type exists during the period from 7 to 8 a.m. and 5 to 6 p.m.. A layer of distinctive difference can be conceived between the incoming type and outgoing types of temperature variation where the most luxuriant part of the rice crop is located. During the day, the temperature of this layer is higher than its surrounding temperature. During the night, the layer corresponding to the most luxuriant part of the rice may not reach a lower temperature than its surroundings. The peak of maximum temperature appeared at the most prosperous tillering stage which is the period of fastest growing action and most active heat energy in the life of a rice crop.

4. The diurnal change of vertical temperature distribution associated with each growing stage of rice differed. Generally the temperature active layer followed the increasing height of a rice plant from 10cm to 80-100cm above ground; the minimum temperature always kept in the 10cm to 40cm height above the ground and usually cooled rapidly. After the bending down of the paddy stem, the temperature active layer followed the crop height downward to 20 cm above the ground, but rather lower minimum temperatures and more cooling action occurred at the 10 cm level which was under paddy culms.

5. The vertical distribution of maximum temperature in paddy rice field compared with maximum temperature on the observation yard falls into 3 types. H or L signifies the maximum temperature in the paddy field higher or lower than the maximum air temperature in the observation yard respectively. There is the H H H H type, H H L L type and H L L L type. The H H H H type denotes the transplanting to the most prosperous tillering period. The H H L L type represents the post tillering to the booting stage, and the H L L L type presents the heading to the maturing stage. But when the rice culm bends down, it formed the H H H L special type. The trend of increasing height of the isothermal points on the vertical distribution of maximum temperature in paddy field with maximum air temperature in the observation yard (called the isothermal crossing height) can be illustrated by the simple formula;

$$Y = 36.29 + 0.95 X$$

Y is the isothermal crossing height (cm) where X is the number of growing days.

6. The minimum temperature in any height on the paddy field was lower than the minimum air temperature on the observation yard, with exception of water temperature, the soil temperature throughout the growing stage and also the minimum air temperature

of the 10 cm layer above the ground during the tillering stage. The minimum temperature active point was difficult to find.

7. The temperature range of plant canopy gradually decreased from upper to under layer after rice crop had formed the luxuriant part. The active layer of temperature range had two positions. One was at the luxuriant part of rice, the other was at the air layer near the water surface. The trend of increasing height of the isothermal points on the vertical distribution of temperature range in paddy rice field with temperature range on the observation yard can be illustrated;

$$Y = 30.86 + 0.58 X$$

Y is the isothermal crossing height of temperature range (cm), where X is the number of growing days.

8. The correlation coefficient between the temperature on any layer in rice plant canopy and air temperature on the observation yard was almost tightly above positive 0.5 but without a slight positive correlation of water and soil temperature. Tables 6-7 to 6-12 contain calculated a and b values based on the simple formula $Y = aX + b$ in order to convert the temperature of any layer in rice field from air temperature in the observation yard.

9. There were obvious temperature differences between the square thin planting field and the row mass planting field of 2-nd paddy rice. It is not only due to their variety of transplants, tillers, quantity of ears and grains per unit area, but also the consequence of the states of the variable absorption, reflection of insolation and the different wind speed conditions among the rice canopy. In summary, the outline of the various temperatures through a whole cycle between two planting methods in the 2-nd rice canopy was;

(1) The temperature of plant canopy on the square thin planting field was higher than that of the row mass planting field, eg,

- i) 80 cm height layer above the ground--- maximum canopy temperature, daytime mean canopy temperature, daily temperature range.
- ii) 20 cm height layer above the ground---daily mean temperature, night time mean temperature.
- iii) soil temperature---minimum temperature and night time mean temperature.
- iv) water temperature---daily mean temperature, minimum and maximum temperature, day time mean temperature, night time mean temperature and temperature range.

(2) On the other hand, the temperature of the square thin planting field was lower than the row mass planting field in the following cases;

- i) 80 cm height layer above the ground—minimum canopy temperature and night time mean canopy temperature.
- ii) 10 cm height layer above the ground—daily mean canopy temperature, minimum temperature and night time mean temperature.
- iii) soil temperature—maximum temperature, day time mean temperature and daily temperature range.

The other terms were difficult to find due to variations in each growing conditions.

10. The variety of growth and yield of 2-nd paddy rice between the two planting methods were;

(1) Though the crop length under RMP was not significantly shorter than those of under SP in the period before the ear-booting stage, an obvious difference had occurred in the heading and adulting stage, which was due to the rapid growing speed of crop length under SP. The correlation between the crop length and minimum air temperature, water temperature, soil temperature was slight.

(2) The number of tillers reached its maximum at 30 days after transplanting. The difference of number of tillers was significantly larger under SP than RMP through the entire cultivating period. It was caused by the lower soil temperature, higher water temperature and larger temperature range at ear layer in addition to rather occupying plant area under SP than RMP.

(3) Though the total dry weight, ear weight, quantity of grains, quantity of perfect grains on each plant under SP were larger than those of RMP, on the contrary, ample total yield was obtained in RMP plot which was due to rather lower percentages of dropping and empty grains. In other words, the yield from increased plants on the RMP was preferable to over quantity of grains per plant on the SP. But we can't conclude that the yield under RMP is always more than those of SP at this time.

In summary, the experiment appeared to tell us that in order to increase the yield of 2-nd paddy rice, is necessary to keep a higher water temperature, a lower soil temperature and a large temperature range in rice ear layer for increasing number of tillers before the heading stage. Also, it is important to get rid of grains dropping during the adulting stage and to avoid the damage caused by wind and rain in the flowering stage, in order to obtain greater quantities of perfect grains. Consequently, it is appropriate to adapt the method of SP where the weather is gentle after flowering stage, while the RMP method should be used in areas of unsuitable weather.

- i) 80 cm height layer above the ground---minimum canopy temperature and night time mean canopy temperature.
- ii) 10 cm height layer above the ground---daily mean canopy temperature, minimum temperature and night time mean temperature.
- iii) soil temperature---maximum temperature, day time mean temperature and daily temperature range.

The other terms were difficult to find due to variations in each growing conditions.

10. The variety of growth and yield of 2-nd paddy rice between the two planting methods were;

(1) Though the crop length under RMP was not significantly shorter than those of under SP in the period before the ear-booting stage, an obvious difference had occurred in the heading and adulting stage, which was due to the rapid growing speed of crop length under SP. The correlation between the crop length and minimum air temperature, water temperature, soil temperature was slight.

(2) The number of tillers reached its maximum at 30 days after transplanting. The difference of number of tillers was significantly larger under SP than RMP through the entire cultivating period. It was caused by the lower soil temperature, higher water temperature and larger temperature range at ear layer in addition to rather occupying plant area under SP than RMP.

(3) Though the total dry weight, ear weight, quantity of grains, quantity of perfect grains on each plant under SP were larger than those of RMP, on the contrary, ample total yield was obtained in RMP plot which was due to rather lower percentages of dropping and empty grains. In other words, the yield from increased plants on the RMP was preferable to over quantity of grains per plant on the SP. But we can't conclude that the yield under RMP is always more than those of SP at this time.

In summary, the experiment appeared to tell us that in order to increase the yield of 2-nd paddy rice, is necessary to keep a higher water temperature, a lower soil temperature and a large temperature range in rice ear layer for increasing number of tillers before the heading stage. Also, it is important to get rid of grains dropping during the adulting stage and to avoid the damage caused by wind and rain in the flowering stage, in order to obtain greater quantities of perfect grains. Consequently, it is appropriate to adapt the method of SP where the weather is gentle after flowering stage, while the RMP method should be used in areas of unsuitable weather.

摘 要

1. 本篇係根據民國五十三年第二期作水稻微氣象觀測所得資料之分析結果。本試驗之宗旨是在測知稻田間之各層溫度變化及檢討正方形疎植法和並列密植法之利弊。溫度資料取自裝設於田間10、20、40、80公分高度，水底及五公分深地層計六處之白金電阻測溫管。二插植法區共計十二處之溫度以電子自動紀錄計連續紀錄之。正方形插植法為7.5台寸×7.5台寸株距（每坪64株植），並列密植為5.0台寸×9.0台寸株距（每坪80株植）。生長調查以二因子六重複法，每一小區抽樣30株調查統計之。

2. 第二期作水稻在栽培期間之氣溫變動傾向係自高溫逐次減溫。本試驗期間之變動趨勢式為

$$Y = 26.0 - 0.1X, \sigma = \pm 1.768^{\circ}\text{C}$$

Y: X生育日數之氣溫。

插秧至抽穗期之積溫為1908.4°C，降水量在生育前半期較豐而後半期寡雨。自有效雨量見地論時，成熟期之雨天日數過多，對成熟作用與日照時數之過短相併有不良影響。抽穗開花期間之風急而大造成不穩粒達20%之多。成熟期間之強風亦形成3.5~4.6%之脫粒現象。雨後土壤鬆軟時，稻稈經不住8.5m/s之陣風而普遍發生倒稈現象。

3. 水稻株間溫度剖面變化，日間進射型出現於09~16時間，夜間出射型於18~06時間呈現。移行型在07~08時及17~18時顯出。出射、進射二型之顯著差異在於稻葉繁茂層。則日間在繁茂層之氣溫顯著的高於其他部位，但最低溫度之出現不甚明顯。最高溫度之高峰在分蘗旺盛期。

4. 溫度剖面之日變化，溫度能動層隨水稻生育而逐次自10公分層升高至80~100公分高層。減溫及最低溫度始終在10~40cm高層。稻稈倒伏後，溫度能動層亦低減至20cm層而最低氣溫在10cm層（稈下部份）。

5. 水田最高溫度剖面比較觀測坪上最高氣溫時可分為三型，即分蘗盛期以前為 $H_{80}H_{40}H_{20}H_{10}$ 型，分蘗後期至孕穗期為 $H_{80}H_{40}L_{20}L_{10}$ 型，孕穗期以後則 $H_{80}L_{40}L_{20}L_{10}$ 型。

田間最高氣溫剖面上與觀測坪上之最高氣溫同溫處（稱為交界層）隨生育之進展逐次升高，其遞高傾向式為

$$Y_x = 36.29 + 0.9527 X$$

Y_x : 交界高度 (cm), X: 生育日數。

6. 田間最低溫度剖面除了分蘗期間，水地溫外均低於觀測坪上之最低氣溫。同時繁茂層形成以後因株間水汽達飽和，通風不易而呈高且最低氣溫能動層不甚明顯。

7. 作物空間層之溫度較差，自上而下逐次減小。其能動點在於稻葉繁茂層及接近水面之氣層二處。田間溫度日較差之剖面與觀測坪上溫度日較差之交界點（等高點）之遞高傾向式為

$$Y_R = 30.86 + 0.58 X$$

Y_R : 交界高度 (cm), X: 生育日數。

8. 稻田各種株間溫度與觀測坪上之各種氣溫值之相關均呈正相關且甚緊密（除水地溫較淡薄外）之故，可用 $Y = ax + b$ 式自觀測坪上所得氣溫值推算田間各層溫度。其推算式列於附表。

9. 正方形疎植與並列密植兩插植法下之田間溫度差異由其繁茂層所吸收及反射之輻射量，株間內通風情形不同等影響，隨生育期、其株高、繁茂之鬆密各有相異。其概略情形如下：

(1) 正方形疎植田之溫度較高於並列密植田之項目為

① 80cm 高層之最高氣溫，日間平均氣溫，日溫度較差。

② 20cm 高層之日平均氣溫，夜間平均氣溫。

③ 地溫之最低及夜間平均值。

④ 水溫之日平均值，最高及最低值，日間平均，夜間平均及日較差等。

(2) 並列密植田之溫度高於正方形疎植田之項目為：

① 80cm 層之最低氣溫，夜間平均氣溫。

② 10cm 層之日平均氣溫，最低氣溫及夜間平均氣溫。

③ 地溫之最高，日間平均及日較差等。

其餘各項之相差高低情況以生育各不一，難下定論。

10. 二插植法下之水稻生育及收量差異情況：

(1) 僅在抽穗期及收割期較有顯著的正方形疎植長於並列密植之差外，雖孕穗期以前有較短現象，但其差異均不顯著，且以顯著的孕穗期之生長速度造成倒反現象。草長與溫度間之相關，僅有最低氣溫、水溫及地溫呈微小相關。

(2) 分蘗數在插秧後30天，已達最高。兩插植法間之差異，亦以正方形疎植區為茂密。此差異之發生，除了每株所佔土壤體積影響外，地溫之較低，水溫

之較高，穗層之溫度較差大等亦可能形成原因。

(8) 正方形疎植區每株之總乾重、穗重、總稻粒數、飽滿粒數等，雖較並列密植區者為多，但由每株之脫落粒、空粒數不少而反呈並列密植區之收量較豐。是並列密植區之增加種植株數所得收量勝於正方形疎植法下之單株超收粒數結果。因此僅根據本試驗不能斷定並列密植區之收量常超收於正方形疎植田。

綜合而論，為增收二期作水稻，不僅需考慮抽穗開花及生熟等生育後期之減損粒數的氣象要素，同時生育前期，如分蘖期間之低地溫、高水溫及穗層間之溫度較差等增加粒數之要素亦有所顧慮。因此可說，風雨較大地區宜採用密植法，風雨溫和之地即應實施正方形疎植法。

一、緒 言

我們要提高農作物的生產量，首先必需考慮到作物本身的遺傳，環境條件及栽培技術等要素互相的協調，缺少任何一個要素，是無法達到增產的目的。遺傳和栽培技術的改進都是農業專家們奮鬥的目標。在本篇，我們討論環境條件中的氣候要素。

根據 R. Geiger 氏的分類，氣候可分為三種。一為大氣候 (macroclimate)，二為小氣候 (mesoclimate)，三為微氣候 (microclimate)。大氣候與作物間之關係是密切且無法改變的。因此，我們需要對小氣候一若干可變更調節的作物生存範圍，或是可改革為充分利用的栽培環境，防止氣象災害等幾方面求發展。近年來本省各地相繼發生較嚴重的寒害，旱災、水災及風災等，由是引起一般人對氣候和農業間關聯的注意。但不幸，在臺灣因屬於亞熱帶，物產豐富，從來未發生過嚴重的威脅，故對此無甚研究。少數研究相關係數，對水稻栽培田間氣象的試驗尚少實施。歐美諸國雖有研究唯祇注重旱地微氣象而缺乏水田微氣象之研究。在日本筆者曾看到屬於氣象廳之大後氏，農業技術研究所的井上、三原及坪井三氏，九州農業試驗場的佐藤氏等積極研究的成果，惟其資料由水稻栽培期間不一，且地屬中緯度，與本省水稻微氣象情形不同。

本研究因受觀測儀器之限制及根據明峰、星加兩氏之研究，氣溫單一之影響與氣溫、濕度、日照等要素之複合作用間，自相關係數證明其無大差的結果，注重討論溫度環境。

本研究之主要目的為測定稻作本田期間之溫度環境，以統計的方法去除土壤肥料要素之影響後，把握

水稻全生育期間之微氣候的變化，同時分析現行正方形栽植方法及並列密植方法間之溫度差異，探求變更調節水田微氣候之可能性。另一方面研究水田現地和大氣候間之關係，同時自實際的經驗上擬求農業微氣象觀測方法之準據以供今後之參考。

當實施本試驗時，蒙鄭所長子政之不斷的鼓勵並且經安坑站簡不和、林清洲及簡俊仰三氏之協助而完成，謹此誌謝。

二、實施試驗方法

1. 觀測方法：

(1) 與大氣候有密切關聯且經過栽培管理而發生變化的水田微氣象，必需直接觀測其微氣象才能達成目的。以往的觀測方法是以設於附近的觀測坪上百葉箱內 1.20~1.50 公分高度之溫度為代表，或以探求微氣象特徵易呈現之天晴無風日之日變化為表示該區某一生育階段之微氣象情況，但為研究栽培全期間之微氣象對於水稻之影響，不能脫離現地或以某一日來假定。因此使用挾在上下防輻射片之白金電阻測溫管於田間中央，然後用導線導至裝於室內的電子自動紀錄計上，日夜連續自記田間各高度溫度變化。測溫點計十二點，自記打點速度五秒，自記紙速度為使易於判別，調整為每小時 10mm。

(2) 固定桿插於正方形植區和密植區試驗田之中央，白金電阻測溫管固定於 80cm、40cm、20cm 及 10cm 高度位置，水溫測定則置於水面下土壤上，地溫觀測插鉗在土壤表面下 5cm 處。

2. 栽培方法：

(1) 試驗區全面積 350 平方公尺，設保護區 50 平方公尺於周圍外，餘 300 平方公尺劃每區為 25 平方公尺，共十二小區之正方形田。正方形植與並列密植排列順序以逢機排列法即成二處理法，六重複試驗。

(2) 試驗品種為臺灣較普遍栽培的臺中 65 號蓬萊種，在高畦飽水短棚形苗床上育苗。每坪播種經過殺菌及鹽水選的稻種三合。本田插秧時實施每株四支苗，五公分深淺植。

(3) 正方形植為 7.5×7.5 吋 (每坪 64 株)。密植為 5×9 吋 (每坪 80 株)。即每小區正方形植區插 420 株。並列密植區插 526 株。

(4) 施肥在耕翻土壤時施堆肥，再在本田上全層施化學肥料。在第一、二次中耕除草時實施追肥。田間管理準一般農家，在實施試驗中曾發生過葉稻熱病，使用農藥消滅成功。在其熟期端區曾受到麻雀害。水

位勉強維持 5 公分深，在每天 9 時實施灌溉，但生育後期無法維持 5 公分水位。灌溉水完全靠井水。

(5)播種期為 7 月 20 日，插秧期為 8 月 5 日，收穫在 11 月 28 日實施。

3. 生育調查方法。

(1)插秧前調查草長後，當天實施插秧。然每隔 10 天，各小區以逢機抽樣法調查 30 株之草長、分蘗數、孕穗數、抽穗數、發生病蟲害情況。

(2)收割當天每小區逢機抽選 30 株，自地表面割取供詳細調查之用。詳細調查項目為株高、穗長、枝穗數、穗粒數（完全粒、變色粒、空白粒、脫落粒等），稻穗乾燥重、稻草乾燥重、全株總乾燥重、穀粒重等。

三、大氣候對於稻作之影響

氣象對稻作有直接影響稻體生理之一次的作用及氣象對其化學的，生物的環境作用，間接地影響稻體等二次的影響。雖其一次和二次的影響甚難分開討論，但本章着重前者申論之。

一般人認為對稻作生理有影響者，為溫度、日照、雨量三項。然三項中撇開大氣候觀點討論時，日照、雨量無明顯之差異，僅溫度一項在微氣象上有顯著的結果。更進一步論溫度時，由溫度要素常受場地、高度、風向、風速、輻射及水蒸氣量等影響之故，相當廣泛，變化範圍與農作物間之關聯亦甚密切。換句話說，是即上述各種要素之綜合表現。1735 年法國 R.

A. Reaumur 氏提倡積溫說，(Thermal constant)。根據該說，在 1878 年 Haberlansdt 氏計算過主要作物之積溫量。繼之，由 M. Adauson, A. E. Gasparin 氏等把每日日平均氣溫之總和的積溫計算方法改革，他倆的 Remainder system 係先設定農作物可生存的基礎溫度(Base temperature)後，計算其有效溫度(Effectiue temperature)。

稻作方面據日本之統計的研究結果，一般來講，在北方之稻作品種以對溫度有敏感的反應者為多，而在南方較溫暖地帶之稻作品種則重於感光性。據大後氏之研究結果，在日本南方溫度較高地帶之稻作，氣溫與收量間之相關雖然其係數較小，但尚有正相關的存在。在臺灣據筆者之統計五十年資料結果，第一期作之各種氣象要素與收量間之單相關中，氣溫之相關(+0.4205)較其他要素，如雨量、日照、風速等相關為高。然與雨量間之相關則與日本及臺灣郭氏之統計研究結果相同，呈負相關。日照在日本及筆者之研究

結果，第一期作+0.1908，僅有甚小的正相關而已。

四、試驗實施期間之大氣候情況

(一)氣 溫

第二期稻作因在酷夏之八月初插秧，以幼苗期及插秧後之活着期為溫度最高峯，而以後隨生育之進展與季節之變遷，氣溫逐次減低。本試驗實施期間之氣溫變動經過為如附圖 1，自活着至分蘗初期後為止，21 天之平均氣溫為 27.7°C ，據山中氏之綜合各家研究結果，生育期之適溫如在 $24\sim 28^{\circ}\text{C}$ 內，對活着，開始發育之幼苗甚為良好。然自分蘗極期前 10 天，氣溫一旦回升且經過若干之變動，大約隔一天即呈鋸齒狀之高低變動，漸漸地減低氣溫。至抽穗末期已減至 20°C 關。與生殖生長期之適溫 $26\sim 30^{\circ}\text{C}$ 相差甚大。綜合自生育期分別論日平均氣溫之適否時，在分蘗旺盛期間之高溫其適於營養發育，到了幼穗形成期、孕穗期已有溫度過低之嫌，但尚不至發生障及生育之程度。成熟期間之總平均溫度應為 21.7°C ，顯然因低溫之故，需較長的成熟期間。自插秧至抽穗終了之積溫為 1908.4°C ，成熟期間 870.4°C ，總計積溫為 2778.8°C 。

插自秧至抽穗終了期間之氣溫有減低傾向，以一次式可示出。即本試驗實施中之氣溫變動式為

$$Y = 26.0 - 0.1 X$$

上式與實測值間之標準偏差為

$$\sigma = \pm 1.768$$

上述第二期作之減溫傾向和第一期作之逐次昇溫傾向為臺灣稻作之一大特徵。因此其昇減傾向之大小對於生育日收量之影響，尚需自大氣候觀點，自歷年紀錄更進一步分析研究。

(二)濕 度

濕度對於水稻之影響，一般情形在乾燥時促進蒸發散(Transevaporation)，相反地因濕度過高有抑制蒸發散結果，同時亦影響作物之生育，生長之快慢。根據實驗結果除了顯著高濕度或乾燥外，作物之蒸散與濕度比例增減。但至現在，究竟多少濕度會發生影響，其絕對值尚未究明，僅知過份飽和或過少時影響氣孔之開閉作用，同時對開花之機械的動作有關，低濕度時其作物需水量增加而已。本試驗期間中之濕度變動情況，請參照，Fig 2 分蘗旺盛期以後至分蘗末期間之平均 85% 為最多濕期間，在活着期，分蘗旺盛期及抽穗期間均大約 75% 上下，其間以分蘗旺盛期之平均 73% 為最低濕度期間。其餘各期均在於平

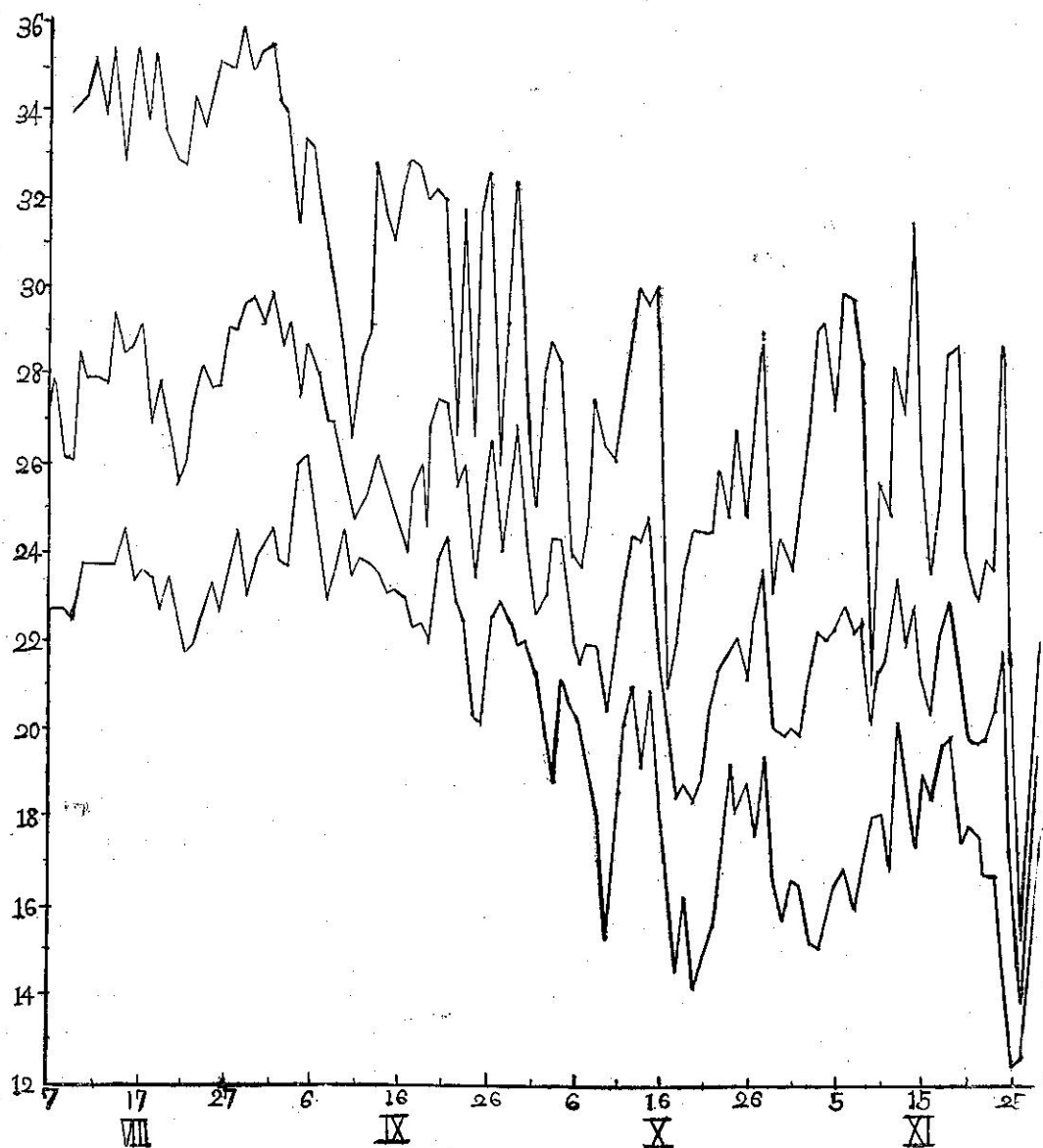


Fig. 1: Daily Temperature During 2nd Paddy Rice Period in 1963

Upper line: Daily Maximum Temp

Middle line: Daily Mean Temp

Under line: Daily Minimum Temp

均81%內外，可說相當高濕。抽穗期之平均75%值，單就濕度一項之作用而論，雖與野口氏之70--80%最適濕度一致，但與其他氣象要素配合時，其適否甚難判斷。

(三)日照時數

氣象學上所稱日照時數是實際有日射的時間而不是可照時數之意。其所觀測的資料不論太陽光線之強弱，只要有日射就有紀錄。日照對水稻之生長，被認

為有抑制草長及細胞分裂作用，但另一方面，因日照為作物同化作用之熱量來源之故，增減其同化量而作物之乾物重量（生產量）亦隨之而增減。本試驗期間之日照時數如 Fig 3，在各生育階段之日照時數的日平均以活着期為最大，分蘗旺盛期次之，約 5.4 小時，分蘗末期稍縮短之。在分蘗初期之平均 4.2 小時，孕穗期之 3.2 小時及抽穗期之 4.6 小時日平均日照均對水稻分蘗有促進作用，對花芽分裂等生理作用上

Fig. 2: Daily mean relative humidity during 2nd Paddy rice Period in 1963

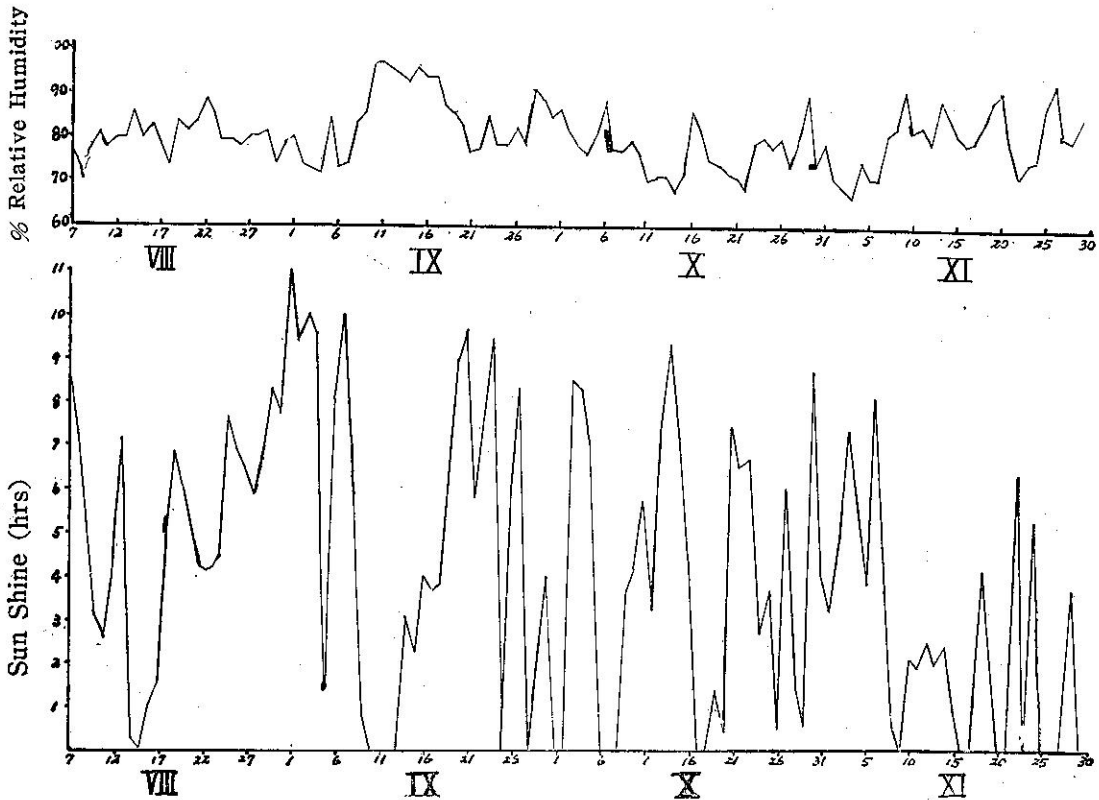


Fig. 3: Daily sun shine during 2nd Paddy rice Period in 1963

小亦適宜，但成熟期間之多雨結果，僅 2.9 小時日照時數，與較低氣溫相與，對登熟期間之延長有直接的影響，同時收割後之乾燥調製工作之展開亦發生相當大的影響。

四降 水 量

降水之多寡及雨天之長短，不僅在水稻栽培上妨害田間工作及授精作用之惡劣影響，多濕間接亦引起病蟲災害。降水雖對收量品質均發生影響，但因是供給水分之一大來源，寡雨亦會形成乾旱威脅。但一般情況下，較之氣溫，其影響較為間接，故降雨與稻作間之關係甚為複雜。在日本及臺灣，如上節所述，與收量間之關係是負相關的，故多雨即反而呈不良的影響。其原因不外為水稻是有灌溉水的地區才栽培，因此降雨反而使空氣濕度增加，減少日照時數同時氣溫減低等結果，呈負相關。

本試驗期間中之雨量分佈情況如 Fig 4，在生育前半期為多而後半期較少。是對第二期作水稻生育良好的降水傾向者。但自生育期別論其可否情形時，與其灌溉水之多寡相配合，尚有問題。Table 1，

為簡算水分多寡而以下式， $R = E + S_w + L$ 式，每日計算後，以生育期別累計結果之表。式中之 R 為降水量， E 為蒸發量， S_w 為土壤水分許容含量（假定 15mm）， L 為流失量（自雨量減土壤水分許容含量和蒸發量後之剩餘水量，可能自地表面流失之）。自該表，灌溉水不足時之雨水分配情況欠佳。

自插秧至收穫期雖獲有 960 公厘雨水，但其有效雨量（供給蒸發及土壤所能含有的水量而講，僅 224.2 公厘，可知本期如灌溉水不够而專靠雨水為水分來源時即已不足應付水稻生育之需。若再考慮稻體所需蒸散水分時其不足情況更大。以各生育期個別論之，在活着期間雨水水稻生育所需，其日平均土壤含水量為不足 8.9mm，完全靠灌溉水維持。自分蘗初期至分蘗終了期間之雨水即較豐沛之故，其所需灌溉之日數（以土壤含水量負 5 至 10mm 為根據），在 48 天內有 18 天需靠灌溉，到了孕穗至抽穗期即 18 天間尚需 13 天灌溉，尤其在抽穗期雨水甚少，尚須注意保持土壤濕潤。最後之成熟期雨天過多，17 天雨天影響成熟不少自 Table 2 可看出。

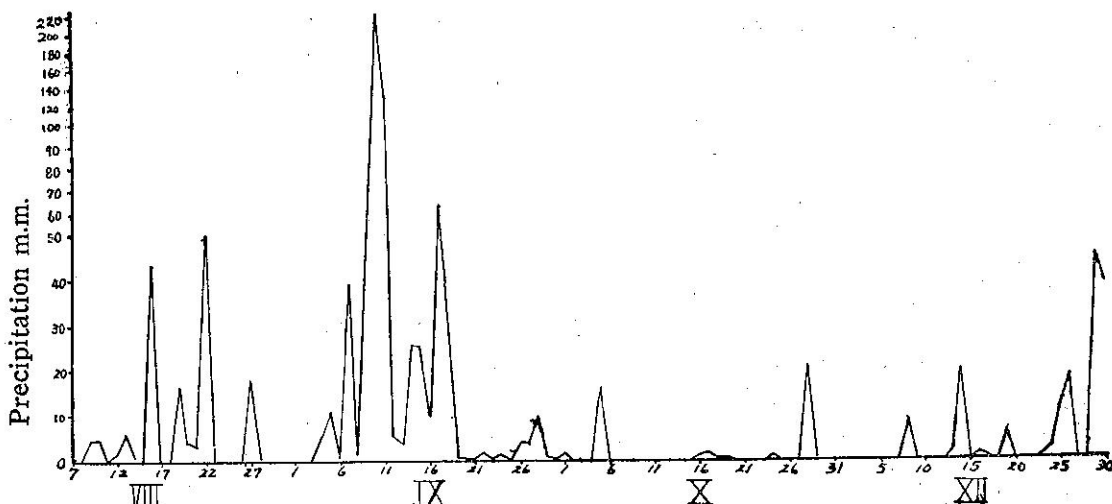


Fig. 4: Precipitation during 2nd Paddy Rice Period in 1963

Table 1: Precipitation in each growing stage of 2nd paddy rice period 1963

Growing stage	Precipitation mm.	Evaporation mm.	Effective precipitation mm.	Daily mean soil moisture mm.	No. of days of classified soil moisture			The surplus amount mm.
					>—5	>—10	>—15	
planting st.	16.2	24.7	16.2	— 8.9	0	0	7	—
the incipency of tillering st.	136.0	53.6	62.5	— 0.7	6	2	3	73.5
most prosperous tillering st.	512.5	69.2	26.4	— 2.0	8	4	7	436.3
latter of tillering st.	129.7	47.8	29.3	— 4.1	4	3	8	100.4
pregnancy st.	18.6	25.5	18.6	— 3.7	3	2	5	—
heading st.	25	25.6	2.5	— 10.0	0	0	8	—
maturing st.	145.4	87.3	68.7	— 2.8	17	8	17	76.7
total	960.9	333.7	224.2	— 3.2	38	19	55	686.9

如論晝夜別降雨情況如 Table 3，總裁培日數間白天降雨日數及獲雨量較之夜間者為多，白天之降雨可緩和過高溫度，但夜間之降水就相反地提昇夜間溫度，易使白天之同化作用減少，而夜間由溫度提高增加呼吸量，由於其相差減少，有使作物生長速度減慢之傾向，在分蘗後半期可能受其影響，但抽穗開花期間，白天降雨僅一天之紀錄可說白天進行的開花授精

作用未受過雨害，亦是事實。

(五)風速

適當的風速易使稻株間之空氣更換，同時輕輕的搖動稻體，是良好的運動，故均可使水稻生育順利，但其風速過大時，由蒸發散作用過大，易使水分發生不平衡，同化作用減退，同時相反地增加呼吸作用結果，可能對稻體發生惡劣影響。得自大氣候或局地氣

Table 2: No. of days with classified precipitation of each proving stage in 2nd paddy rice period of 1963

Growing stage	No. of days with classified precipitation							
	0	<1.0	<10	>10	>25	>50	>100	>200
planting stage	3	0	4	0	0	0	0	0
the incipency of tillering stage	7	1	2	2	1	1	0	0
the most prosperous tillering stage	8	1	3	1	4	0	1	1
the latter tillering stage	6	2	5	0	1	1	0	0
the pregnancy stage	7	1	1	1	0	0	0	0
the heading stage	5	2	1	0	0	0	0	0
the maturing stage	25	7	5	4	1	0	0	0
total	61	14	21	8	7	2	1	1

Table 3 Precipitation in day and night

Growing stage	Day		night	
	No. of days	precipitation mm	No. of days	precipitation mm
planting st.	4	19.3	1	3.9
incipiency of tillering st.	7	131.5	2	4.5
most prosperous tillering st.	8	255.9	11	264.5
latter tillering stage	7	101.3	5	28.3
pregnancy st.	2	0.4	3	18.2
heading st.	1	2.3	1	0.2
maturing st.	14	49.3	12	61.7
total	43	560.0	35	381.3

候觀測用之風速儀器之紀錄由設於 8 公尺以上之故，甚難得代表稻田上之風速之故，使用較接近田間高度之 1.5 公尺高風速計所得紀錄代表之。其第二期作試驗期間中之每日平均風速變化如 Fig 5。活着期，分蘗初期間平均 1.0m/s 風速，甚適於水稻生育，在分蘗盛期間因有颱風來襲之故，平均風速高至

1.8m/s，孕穗期亦達 1.9m/s，可能稻體動搖過甚，有若干不良影響。至抽穗開花期間之 2.2m/s 日平均風速，由風速過大之故，對於開花授精作用可能發生不稔之影響，成熟期間之 2.1m/s 對稻體倒伏及脫粒均有影響。

據 Wadsworth，作物之同化作用減退之限界風速為 3~6m/s，即係瞬間風速值而言，亦據坪井氏之風洞實驗結果，風速 3 公尺以下時無任何災害，自 6 公尺以上之風速時已發生減收 17.7% 之現象，若有 15m/s 風速時，其收量僅剩於標準之 18.6% 且暴風時間過長時，其災害程度加深等，風速之大小影響不能輕視，以照坪井氏之結果，看本試驗期間之最大風速達於 3.0m/s 以上之日數如 Table 4：達於 3.0 m/s 最大風速之日數竟有 77 天之多，可是其威脅最後收量之大。以生育期別論之，在分蘗初期間之大風，當時由稻苗幼小，受風面積不多，稻稈之剛性均較小，其稻體振動振幅不會太大，同時與鄰接株之接觸機會甚稀少等之故，其影響不會大。到了分蘗盛期以後至分蘗後期之間，超過 6m/s 之日數有 8 天之多，足使葉片、稻稈等由振動振幅超過 41.7cm，搖動速度達 88.8cm/s 之故，發生損傷影響結實。據志茂山氏之研究，風速在 7~15m/s 範圍內，葉尖之烈傷程度與風速增加成比例，同時葉尖之裂傷越大，越阻害結實之故，在本試驗抽穗期前為止，風速如上述，7 m/s 以上之日數據該表，有 7 天之多，可斷為發生若干之惡影響無疑。抽穗期前遇 12m/s 以上風速時，據

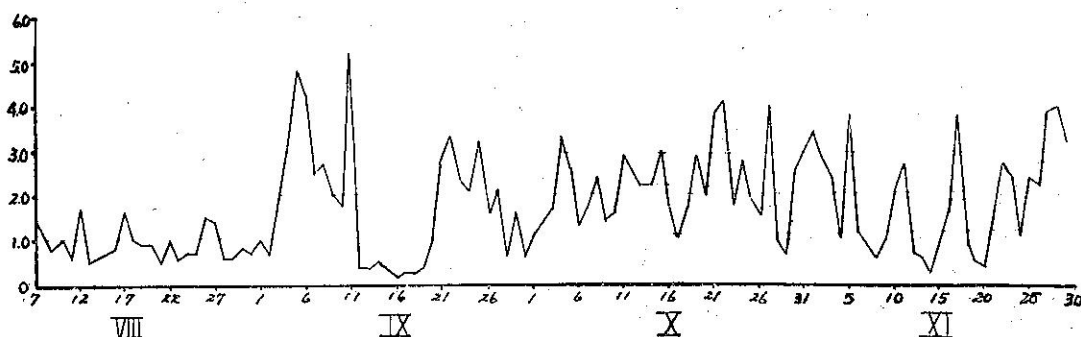


Fig. 5: Daily mean wind speed during 2nd Paddy Rice Period in 1963

Table 4 No. of days with classified maximum wind velocity in each growing stage of 2nd paddy rice period 1963

Growing stage	No. of days with classified wind velocity							
	> 3	> 4	> 5	> 6	> 7	> 8	> 9	> 10
Planting stage	3	1	—	—	—	—	—	—
Incipency of tillering	5	4	—	—	—	—	—	—
Most prosperous tillering	12	8	6	5	4	2	—	—
Latter of tillering	9	7	6	3	2	—	—	—
Pregnancy stage	9	5	3	2	1	—	—	—
Heading stage	7	6	3	1	—	—	—	—
Maturing stage	32	25	21	14	11	7	2	1
total	77	56	39	25	18	9	2	1

上舉坪井氏之實驗，二成至三成的枝莖上之穎花數發生減短之現象，惟本試驗期間中，抽穗期前十數日來未遇過大風，且在抽穗期前33天之颱風，在12公尺高處曾出現過 41.4m/s 暴風，對於值分蘗旺盛中之水稻不會產生嚴重的影響。抽穗開花期前後之強風易抑制水稻之抽穗作用，產生異常開花及授精等現象之故，在試驗之孕穗及抽穗期間的三天大於 6m/s 風速，產生第八章詳述的變色粳18%，不稔而空白粳達20%之結果。在登熟期受強風時亦易產生不透明米、白心米、死米、脫粒、倒伏及穗發芽等現象，在本試驗登熟期間由季風甚強之故，超過 6m/s 之風速日數達14天之多，造成 4.6% 之脫落粒及降雨二天後，經受 8.5 m/s 之風時，試驗區水稻全面發生倒伏現象。據永友氏之研究結果，抽穗後20日倒伏時之收量為標準未倒伏之89%，抽穗後25日倒伏時為90%之故，本試驗中

之稻稈倒伏可說造成一成之減收。

(六) 日 射 量

來自太陽之日射，對於農作物而言，直接地與炭素同化作用有關，同時提昇溫度上均不可缺少者。根據松島氏之研究結果，水稻之收量隨日射量之增加而逐漸提高，但超過日總計 350cal/cm²/day 時不會再增收且在 250cal/cm²/day 以下時，其收量呈正比例地減少，在各生育時期對日射量較敏感的時期為抽穗前15~16日及後14~23日間。同時松島氏證實水稻之炭素同化作用必須有 0.6grcal/cm²/min 以上之日射量才會被利用。本試驗期間之每日日射量如 Fig 6，在分蘗盛期以前，實低於 250cal/cm²/day 之日數，生育就非常順利。該期以後，各生育期均有若干天的影響生育遲滯的低日射量天。其間在9月9日後有數日繼續較低日射量，是值得注意的。該期因有颱風

來襲。不僅稻體易發生損傷，再有低日射量之故，必定有生育及收量上之影響。再把日射量之大小分類統計結果如 Table 5，抽穗前日射量未達 250grcal/cm²/day 者有 12 天，依松島氏之研究，對於一穗穎

花數及千粒重發生減少現象，抽穗後之低日射有 17 天之多，亦應有遲延成熟的影響，惟上述傾向，在本試驗中由缺乏資料無法證明之。

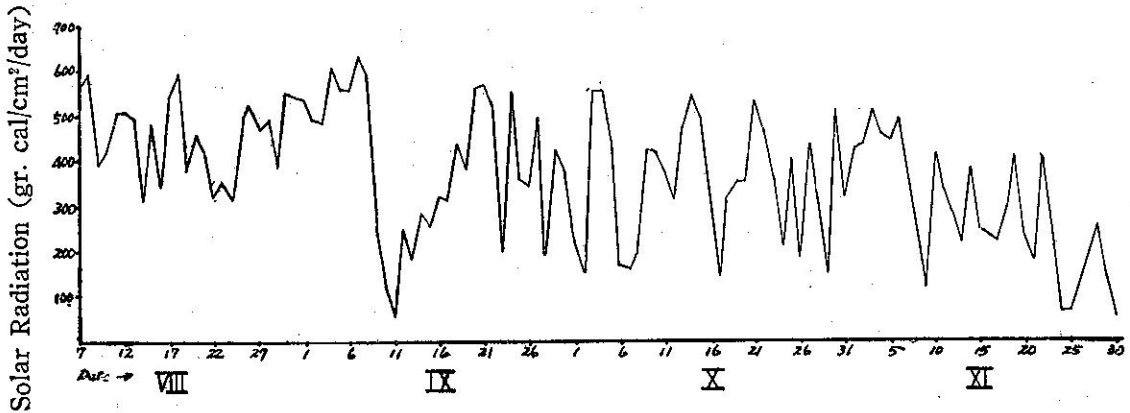


Fig. 6: Solar Radiation during 2nd Paddy Rice Period in 1963

Table 5: No. of days with classified solar radiation in each stage of 2nd paddy rice period 1963

Growing stage	under 250 gr cal/cm ² /day						250-350	> 350
	< 50	< 100	< 150	> 200	> 250	total	gr cal/cm ² /day	gr cal/cm ² /day
Planting stage	—	—	—	—	—	0	—	7
Incipiency of tillering	—	—	—	—	—	0	4	10
Most prosperous tiling	—	1	1	1	2	5	2	12
Latter st. of tillering	—	—	—	2	—	2	3	10
Pregnancy stage	—	—	—	4	1	5	—	5
Heading stage	—	—	1	—	—	1	3	4
Maturing stage	—	2	2	5	8	17	6	19
total	—	5	4	12	11	30	18	67

五、水稻生育期間之溫度環境

在耕地上栽有作物時，其氣象環境不僅異於大氣候，同時與接地氣層相併，在植物覆蓋層內造成極複雜的微氣象環境亦如與並無植物生育的裸地相較亦大有不同。此微氣象現象不單支配作物本身之生育，同時亦由其生育情形再反應於其微氣象條件之故，尚未得充分的知識。然在農業氣象研究上，甚需要此種基於作物學上、生理生態學等的觀點上之研究。單就其微氣象特性而論，對於特定時期調查某種作物之微氣

象要素尚有若干，如大後¹²、坪井¹³、松島¹⁰、佐藤^{14,15}、鈴木¹¹氏等之水稻，H. L. Penman 氏等之小麥，J. M. Hirot, I. F. Long, H. L. Rouman 氏之馬鈴薯，F. L. Weterhouse 氏之牧草，丸山¹⁷氏之陸稻等研究。綜合上述諸先進之研究結果，植物空間層（plant canopy）內之風速分佈因摩擦應力當為作物之振動能量被吸收之故，其風速急速地減少並且成立於接地氣層上之風速、溫度、濕度的對數法則被證明在於植物覆蓋內不成立。其餘由作物，栽培

時期，栽培密度之不同，甚難於應用於臺灣之水稻田間者甚多並且鮮見隨生育進展之解析研究。由本試驗間，風速觀測方面曾用小型魯濱遜風速計實施過觀測，惟其所得資料因與坪井、中川兩氏之實驗相同地風杯被稻葉妨阻，旋轉不圓滑之故，其紀錄棄而不用，濕度亦缺少儀器未實施田間觀測。因此本章專論各生育時期間之溫度環境。其觀測對稱為臺灣普遍施行的

正條植蓬萊種水稻。

(一)各生育時期之逐時溫度剖面分佈

在上述各先進之剖面分佈觀測係選擇天晴無風，易出現典型形態之日期，但有難免發生相差之故，筆者自連續觀測之大氣候紀錄間選擇較相似氣象要素之日期而代表該生育時期之形態以便易於比較。其所選日期，作物生育情況及大氣候概況如 Table 6。

Table 6: The date of represent growing stage and its meteorological & crop growing condition during 2nd paddy rice period

Represent of growing stage	date	No. of tillers	crop height (cm)	sun-shine (hrs)	wind speed m/sec	radiation grcal/cm ² /day	rain fall mm	daily mean temp. °C	max temp. °C	min. temp. °C	temp. range °C	relative humidity %	evaporation mm	others
Transplanting	7.Aug	4	12.0	8.5	1.5	563.6	—	27.3	33.4	21.2	12.2	75.9	4.1	
Planting	18.Aug	8.8	28.6	4.8	1.0	596.6	—	29.6	35.6	23.6	12.0	73.2	4.8	
Incipieny of tillering	26.Aug	19.4	50.3	6.9	1.5	520.0	—	28.9	34.4	23.3	11.1	77.7	5.6	
Most prosperous tillering	6.Sept	24.0	66.5	8.1	4.3	559.8	—	29.8	33.4	26.2	7.2	73.2	6.5	
Latter of tillering	20.Sept	22.0	88.3	8.9	1.1	560.1	—	27.0	32.0	22.0	10.0	82.9	5.4	
Pregnancy	3.Oct	20.6	104.1	8.5	1.7	553.0	—	24.0	28.0	20.0	8.0	78.8	4.6	
Heading	14.Oct	19.6	118.5	9.3	2.2	541.9	—	24.6	30.0	19.2	10.8	68.5	5.5	
Adulting	30.Oct	19.6	125.5	8.7	2.6	511.6	—	20.0	24.3	15.6	8.7	74.3	3.3	
Harvesting	22.Nov	18.0	—	6.3	2.7	412.4	—	20.3	23.8	16.7	7.1	72.9	2.8	

其代表日期之逐時溫度剖面分佈如 Fig 5-1 至 5-9。由該分佈圖，大約可知，夜間及日間之剖面形態甚有相連。根據蓋格氏之名稱，日間為進射型(Incoming radiation type)而夜間為出射型(Outgoing radiation type)。在進射型和出射型間有移行型。在水田間之各型分佈出現時刻未受水稻生育之變化而大約在於19至06時間呈夜間出射型，09至16時為日間進射型，06~09時間及16~19時為移行型。自 Fig 5-1 至 5-9 間抽出日間出射型和夜間進射型之代表分佈形態圖為 Fig 5-10 及 Fig 5-11。自插秧當天至分蘖盛期間之溫度剖面形態因枝葉繁茂尚未呈甚密的日射吸收層而成溫度能動層之故，其形態略大同小異地，自上層向下次第昇溫，然以 20cm 高度附近為最高溫度層後再減溫。在生育初期間之水温，若靠水池，或長途的灌溉水路並且常滯留於田中時，其分佈形態較之靠水井水同時用水管導至試驗田之

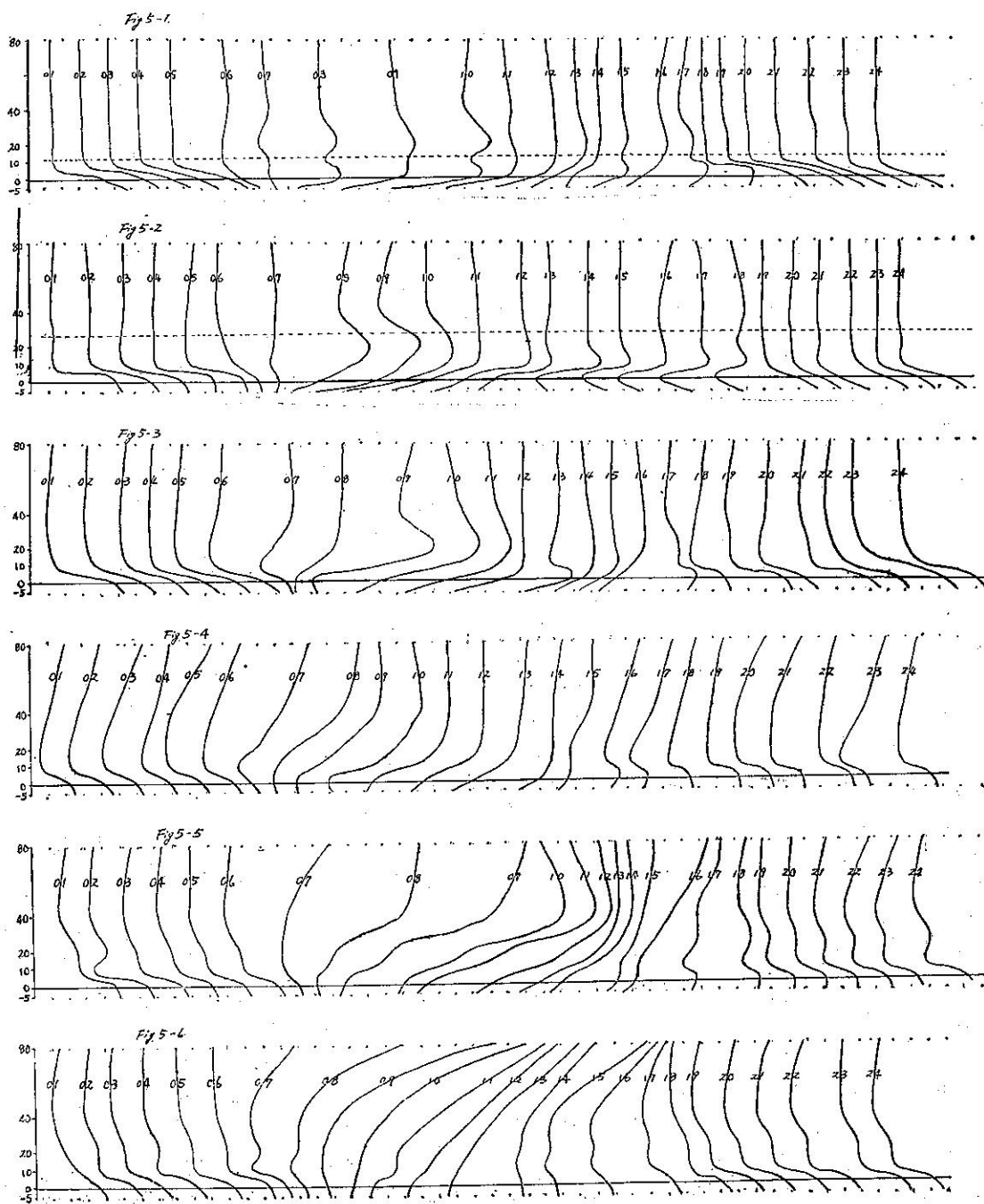
本試驗有異，其特異點在於水温。據坪井氏之觀測結果，生育初期之水温在剖面分佈形態圖中佔最高突出位置，到了分蘖盛期退至次高溫度層。此種現象在於本試驗插秧當天之 Fig 5-1 圖上可看出。然後隨水稻生育，枝葉繁茂層即日射吸收層之昇高，最高溫度出現層亦隨之提高且該溫度能動層(Temperature active layer)以下之減溫傾度甚大。在稻稈倒伏後之剖面分佈形態，因該日射吸收層減低於稻稈撓曲高度，且緻密及水稻本身之蒸發散作用影響，其溫度呈昇情況不明顯，但撓曲層以下部份由覆蓋度甚緻密之故，減溫傾度甚大。

夜間出射型之代表圖如 Fig 5-11。稻稈葉尚未構成繁茂的溫度能動層之生育前半期，均上下層之溫度傾度不大。其形態自下向上逐漸減溫而以地溫為較高溫度層，由出射而呈的低溫層不明顯。到生育後期，已形成輻射層時，由輻射呈較低溫度的部份雖有隨

草高之伸高而漸漸昇高之傾向，但大約停在 40cm 部份並且其輻射形態不如日間進射形態之明顯。稻稈倒伏後，該輻射層就明顯地呈在撓曲部份。綜合上述進射型和出射型溫度剖面分佈形態在於枝葉繁茂層之相差甚大。進射型在繁茂層吸收日射昇溫情況甚明顯，但出射型，繁茂層之向大氣層之熱輻射不強而示低溫

度情況不顯著，然呈低溫度層更低於該層。最顯著地溫度剖面分佈形態的時期為分蘗盛期，該期因分蘗數到達最多，不僅繁茂層之緻密度最大的時期，再為生育甚劇烈，熱活動甚活潑之故，其溫度之高峯最為明顯。

Fig. 5-1 to Fig. 5-9: Diurnal temperature profile change in each growing stage on 2nd



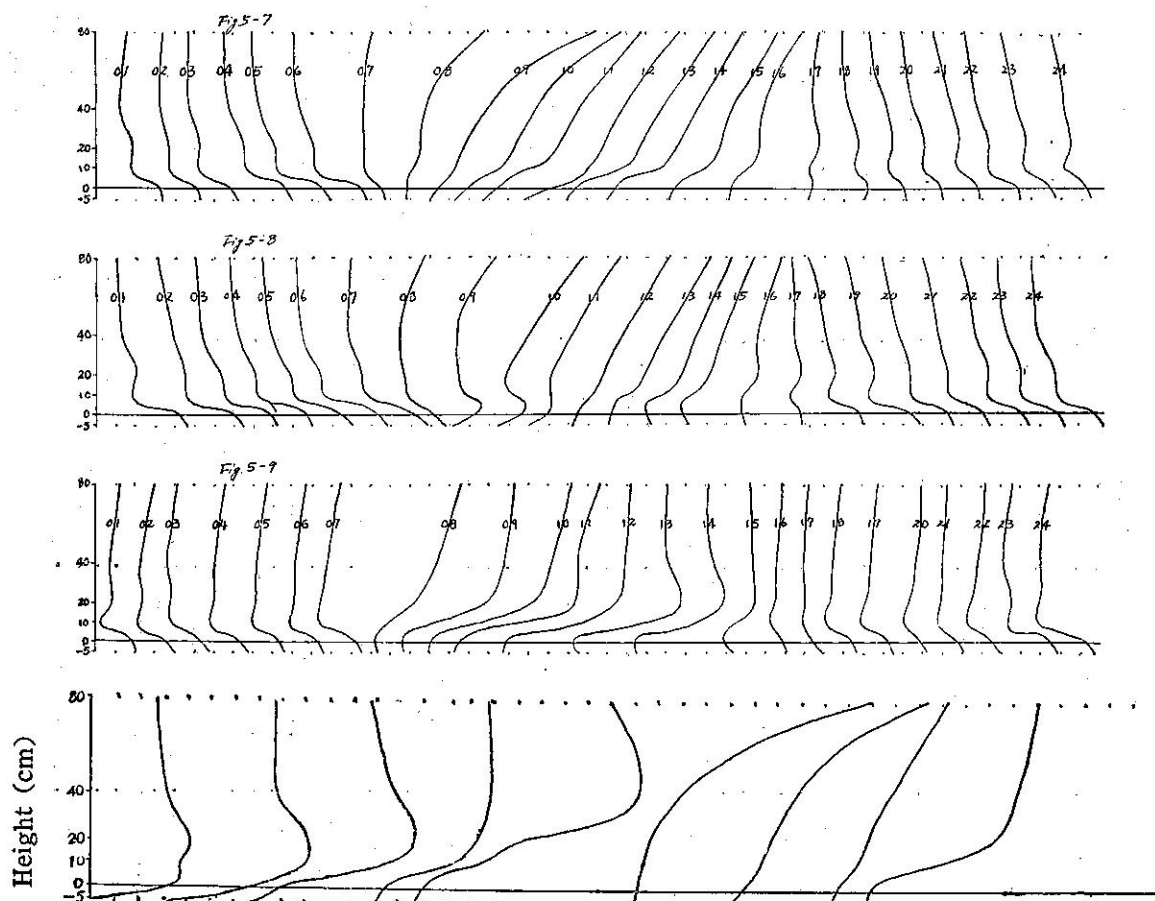


Fig. 5-10: Incoming radiation type in each growing stage of 2nd paddy rice, 1963

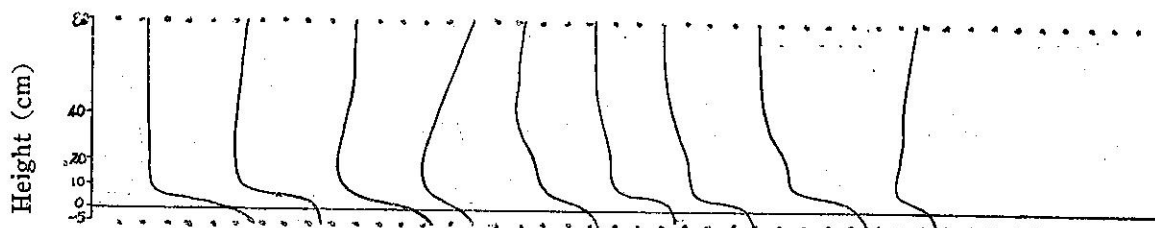


Fig. 5-11: Outgoing radiation type in each growing stage of 2nd paddy rice 1963.

(二) 各生育期之溫度日變化

1. 插秧當天：草長僅12公分，每株只4枝，田間完全未被覆蓋，故水溫先於各處開始昇溫，其溫度逐次輻射及傳導至其上方及下方，20cm處亦由太陽斜照至葉片時之輻射較強，一度昇溫呈高潮後消失，然再受下方之熱輻射及傳導，跟10cm處同時昇溫。日沒後自40cm以上部份先開始減溫，清晨以10cm以上氣層為低溫而以10cm層為較低溫度層。其日變化情況如 Fig 5-12。

2. 活著期：草長伸至 28.6cm，枝葉已增為8.8枚

，但水面尚未被覆蓋，參照 Fig 5-13，繁茂層在於20cm附近之故，日間昇溫始自10~20cm間，由太陽斜照關係在10及14時二次呈高溫，日沒亦10~20cm部份先減溫，清晨接近水面及草層之氣層高濕之故，以40~80cm間為較低溫度氣層。

3. 分蘗初期：草長平均已達50.3cm，分蘗數亦增為19.4枝，枝葉已構成繁茂輻射層而覆蓋水面。日間10~11時在20~30cm處及16時前後，在20~60cm處二次呈高，此因太陽射角之關係，透過稻葉間隙進作物空間 (plant canopy) 之故。因此在中午間，

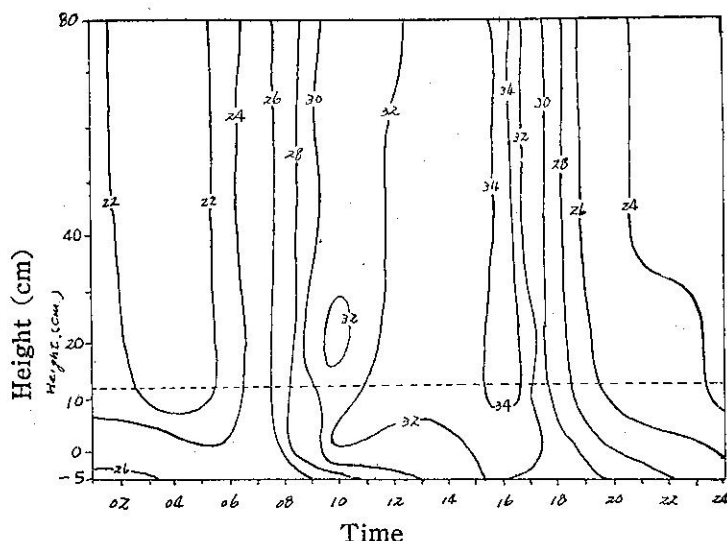


Fig. 5-12: Course of diurnal temperature change in transplanting day of 2nd rice 1963

減為22枝，參照 Fig 5-16。日間較高氣溫出現在繁茂層之80cm附近。40~80cm間普遍呈高溫。日沒後之減溫始自10cm以上之氣層，但午夜以後40cm以上氣層之減溫較快，且清晨亦以40cm層為呈最低溫度部位。自分蘗盛期以後，地溫在12時以前及17時以後均較水田氣溫為高。

6. 孕穗期：草長已超過100cm，為104.1cm，分蘗數再減為20.6枝，枝葉下垂呈輻射層之高度略高於80cm。日間以70cm以上氣層呈高溫部位。參照 Fig 5-17，該層之昇溫、減溫均迅速，如日射減少時即時減溫的情況自 Fig 5-17 明顯地看出。日沒後之減溫亦以40cm氣層為早，但最低溫度出現於80cm氣層。

7. 抽穗期：草長已伸為118.5cm，但分蘗數再減為19.6支，如 Fig 5-18，繁茂輻射層在80至100cm間，超過觀測設置高度之故，高溫出現情況無法測出。以作物空間層(plant canopy)之溫度日變化而言，日間之高溫及夜間之低溫均出現於80cm以上部份，但低溫保持時間尚以40cm處為長，本期之溫度分佈顯然地異於前述各生育期。

8. 成熟初期：草長伸長已停在125cm附近，實際繁茂層尚在80~100cm處，但因有稻穗結實中之故，

日射未能達到內部時，10~30cm間一度減溫。日沒後之減溫始自最繁茂的40cm處，較低溫度之保持時間亦以該處為長。

4. 分蘗盛期：草長66.5cm，分蘗數已達最高，24枝時，日間日射已難透過繁茂層的時期，請參照 Fig 5-15，日間之高溫上午在35~70cm間，中午即在40cm以上部份，均受繁茂層輻射影響。日出後之昇溫亦以40cm以上氣層為早且較長時間。減溫先自20~40cm處。清晨之低溫在於10~30層，此紀錄與鈴木¹¹及大後氏¹²之實測相同。

5. 分蘗後期：草長已達88.3cm，繁茂層大約在80cm處，分蘗數已

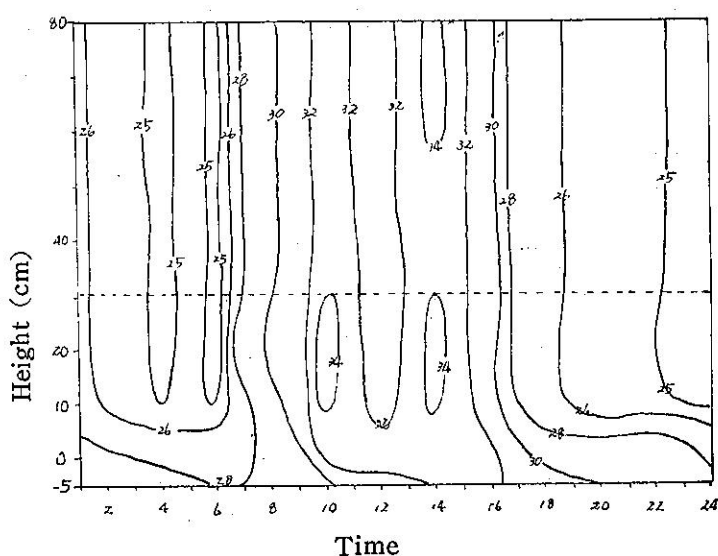


Fig 5-13: Course of diurnal temperature change in planting stage of 2nd rice 1963

溫度能動層稍高於該層。其溫度分佈日變化如 Fig 5-19，均以能動層之昇減溫度為快。

9. 收穫期：由稻稈耐不住稻穗重量，經降雨加重後之大風吹倒稻稈而自地上20~30cm處折倒之故，溫度能動層如 Fig 5-20，下移至20cm附近，但日間溫度之高溫部仍在80cm部份，此原因尚待查而日沒後之輻射減溫及低溫之出現均在於稻體撓曲下之10cm處。

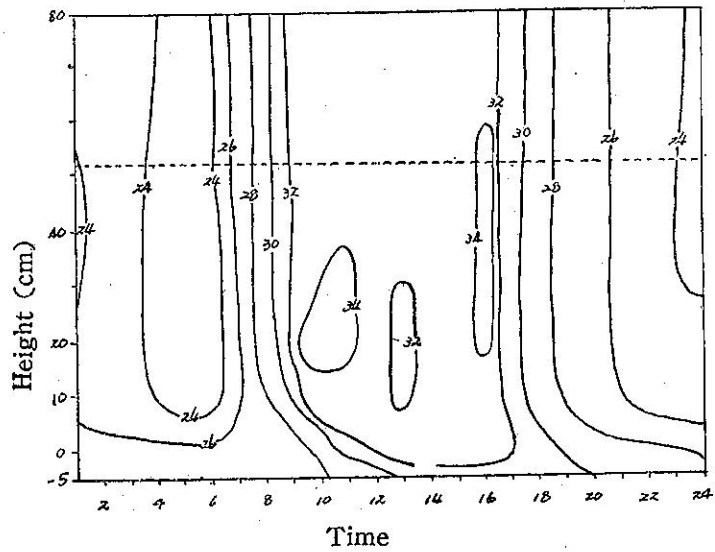


Fig. 5-14: Course of diurnal temperature change in stage of incipency tillering of 2nd rice 1963

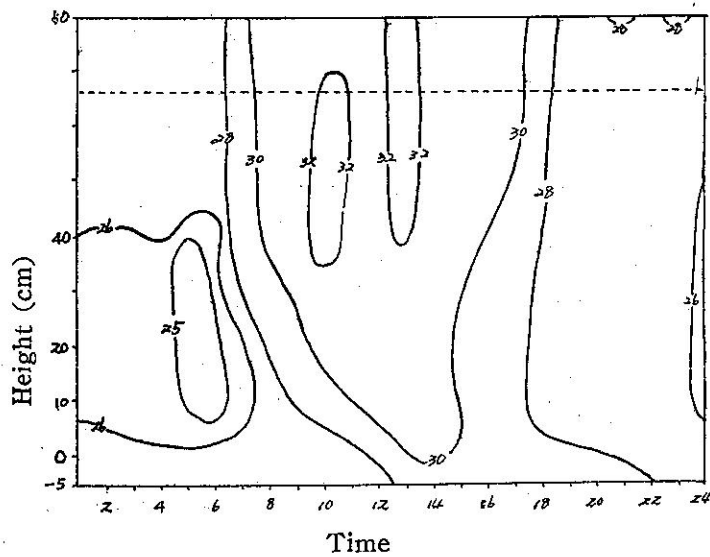


Fig. 5-15: Course of diurnal temperature change in prosperous tillering stage of 2nd rice 1963

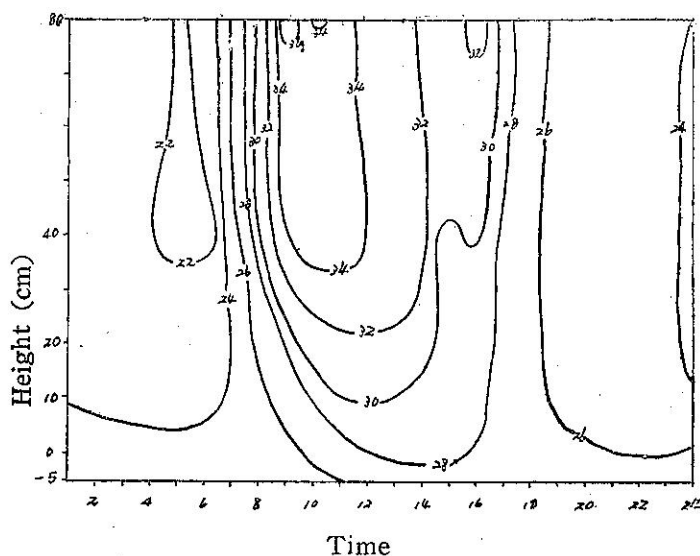


Fig. 5-16: Course of diurnal temperature change in latter stage of tillering of 2nd rice 1963

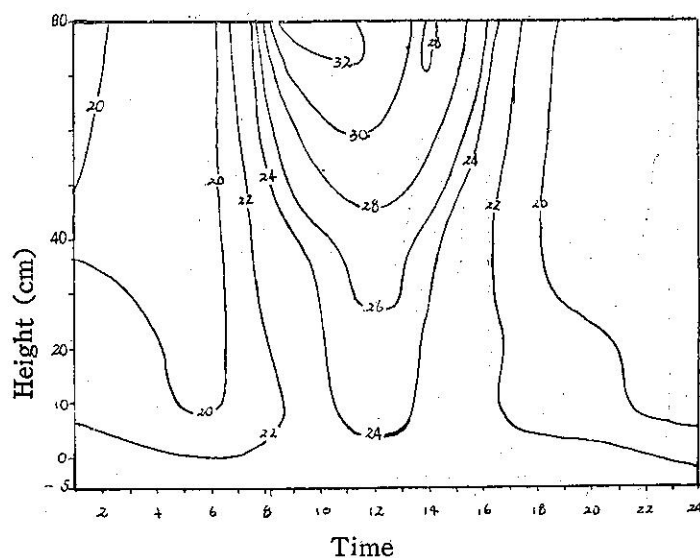


Fig. 5-17: Course of diurnal temperature change in pregnant stage of 2nd paddy rice 1963

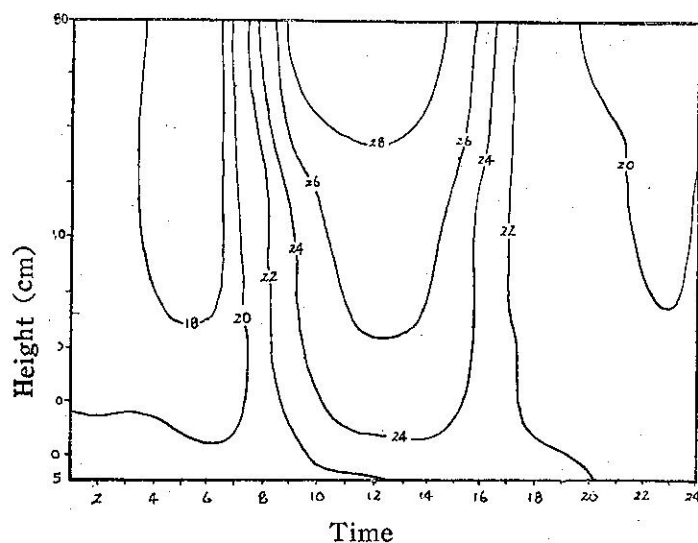


Fig. 5-18: Course of diurnal temperature change
in Heading stage of 2nd paddy rice 1963

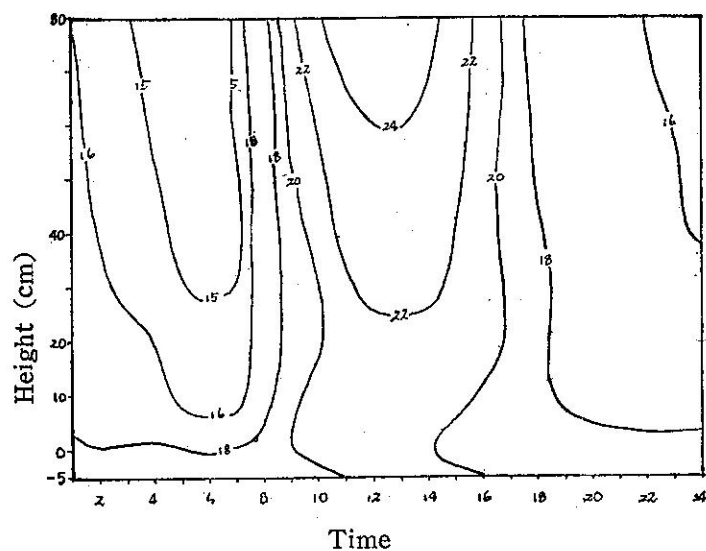


Fig. 5-19: Course of diurnal temperature change
before rice steam fall down in maturing
stage of 2nd paddy rice 1963

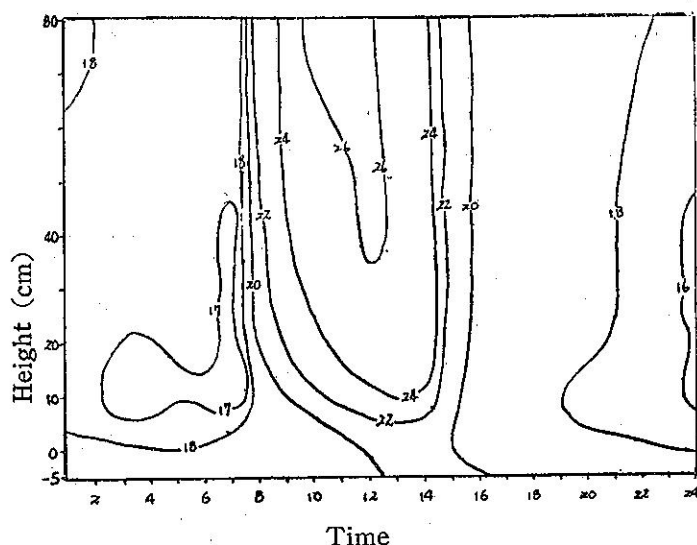


Fig. 5-20: Course of diurnal temperature change after rice steam fall down in maturing stage of 2nd paddy rice 1963

(三)生育期間之平均最高溫度剖面分佈
前節所舉之溫度剖面分佈及溫度日變化為選擇各生育期中之代表日期論之。但實際栽培中之稻田所經過之氣象環境相當複雜而不易以某一天之情況予以論定，同時水稻之每日生長亦不能忽視之故，認為以旬為單位，求其平均論溫度剖面分佈較為適當。Table 7 係旬平均最高溫度者，表中第十旬由稻體倒伏前後不一之故，採用 5 天平均值，第十一旬因稻體呈區倒伏，採 15 天平均值。該剖面分佈狀況如 Fig 5-21，第一、二旬略與代表生育期日期之 Fig 5-10 播秧當天及分蘗開始期呈相同，水稻尚未繁茂而形成水面太陽直晒時，其顯然地水溫呈最高，次為 20cm 附近呈高溫。即有二入射型，第二旬就與分蘗開始

期代表相同地以 20cm 處最高，第三旬最高溫處略昇，此後逐旬昇高至第六旬時，繁茂層已高於觀測儀器裝設位置，作物空間 (plant canopy) 呈放射型溫度剖面分佈，但第七旬以後，即抽穗期以後由下面無

效葉枯萎漸增，空間逐漸擴大結果，空氣流通趨於容易其溫度稍昇高，至稻稈倒伏時，倒伏稻稈層成為置換層 (Displacement layer)。

Table 7: 10 days mean of maximum temperature in 2nd paddy rice field 1963

Position No. of 10 days	Height of air temp				water	soil
	8 0	4 0	2 0	1 0	temp	temp
1	34.9	34.5	35.0	34.9	35.6	32.7
2	34.5	34.3	35.1	34.6	33.3	31.7
3	35.1	35.6	35.2	34.3	31.7	30.9
4	32.6	32.6	30.7	30.2	28.6	27.9
5	34.6	33.6	30.1	28.7	27.3	26.9
6	33.9	28.9	26.7	25.8	24.7	24.6
7	29.0	25.0	23.9	23.4	22.2	22.1
8	26.3	23.1	22.3	21.6	20.3	20.1
9	26.8	24.1	23.3	22.6	20.8	20.3
10 *	28.4	25.5	24.7	23.6	21.1	20.8
11 **	25.7	24.6	23.9	22.4	20.0	20.0

* 5 days mean before rice culm fall down.

** 15 days mean after rice culm fall down.

四最高溫度之剖面分佈形式

若以觀測坪上所得最高氣溫為基準，分類各剖面之高低時，應有 4 種高度 (80, 40, 20, 10cm) 之乘，有 16 型，但實際上在總生育期間所出現的高低型式

如下表 Table 8，大部份均呈該表 4 種形態。即在生育初期至分蘗期間因尚未形成繁茂層時，各高度之最高氣溫較之觀測坪上之最高氣溫為高，就是 HHHH 型。到顯出繁茂層後之分蘗盛期至孕穗期，由繁茂層遮蓋日射之到達，下處不易昇溫之故，呈低於觀測坪上最高氣溫，即是 HLLL 型。自孕穗期以後隨繁茂層之增高，其繁茂層以下之部份次第地升高之故，就呈 HLLL 型，但繁茂層僅停於 80 至 120cm 間之故，已較低氣溫層不會再增。到了成熟期，稻體自 20cm 附近處撓曲倒伏時，僅 10cm 處呈低於觀測坪最高氣溫之故，出現 HHHL 型。

觀測坪最高氣溫和水稻最高溫度剖面分佈之交界點，根據每日的分佈圖之剖面分佈線指出該交界點時，如 Fig 5-22，甚易以一次方程式示出，隨生育昇高情形。其一次方程式為

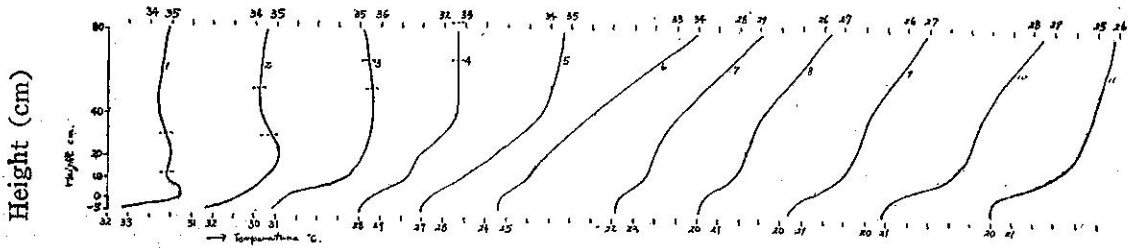


Fig. 5-21: The vertical distribution of 10 days mean maximum temperature on 2nd paddy rice field in 1963

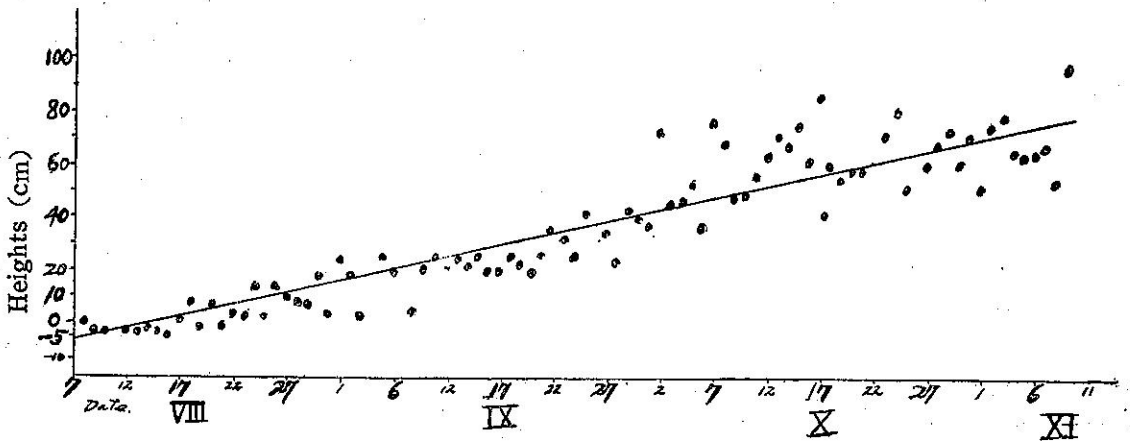


Fig. 5-22: The crossing heights of max. air temperature on 2nd paddy rice field with max. temp on the observation yard
the crossing heights line: $Y=36.29+0.95X$

Table 8: The vertical distribution form of maximum temperature

The form of Max temp				The growing stag of appearing form
8 0	4 0	2 0	1 0	
H	H	H	H	planting to tillering stage
H	H	L	L	tillering to pregnancy stage
H	L	L	L	pregnancy to heading stage
H	H	H	L	adulting stage after foll dawn

$$Y_x = 36.29 + 0.9527X$$

Y_x 為交界點高度 (cm), X 為生育日數。

就是說, 在生育初期之田間最高氣溫均較之大氣候下之最高氣溫為高, 但隨其水稻之生長, 繁茂層形成後逐次顯出較低氣溫部份增大。換句話說, 該交界點為溫度能動點 (Temperature active point)。

(四) 生育期間之平均最低溫度剖面分佈

夜間無強烈的日射但作本身及地表均可出射在日間所接受的熱輻射之故, 其最低溫度之出現情況亦異

於最高溫度者。各生育時期之代表溫度分佈業已在(一)節述之, 繼(二)節曾論過平均最高溫度剖面分佈, 本節論夜間所出現的最低溫度平均值情況。其逐旬平均最低氣溫值如 Table 9。自該表及 Fig 5-23 剖面分佈圖可知繁茂層之輻射影響不如日間呈顯著的頂峯, 且地溫、水溫之最低值由其熱容量較大之故均高於作物空間層之最低氣溫。在水稻尚未形成繁茂層, 且灌溉水充分時, 自上方向下減低溫度, 但形成繁茂層之第三旬後, 在該層呈最低氣溫後, 靠近 10cm 間氣溫有明顯地再度呈低溫的現象。此由該空間大而易交換空氣之故, 可能冷氣滯留於該層。到了成熟期, 稻稈倒伏後就挑曲層呈最低氣溫層而 20cm 氣溫稍較高, 然 40cm 再減後, 其上層呈出射型等複雜型態。

於最高溫度者。各生育時期之代表溫度分佈業已在(一)節述之, 繼(二)節曾論過平均最高溫度剖面分佈, 本節論夜間所出現的最低溫度平均值情況。其逐旬平均最低氣溫值如 Table 9。自該表及 Fig 5-23 剖面分佈圖可知繁茂層之輻射影響不如日間呈顯著的頂峯, 且地溫、水溫之最低值由其熱容量較大之故均高於作物空間層之最低氣溫。在水稻尚未形成繁茂層, 且灌溉水充分時, 自上方向下減低溫度, 但形成繁茂層之第三旬後, 在該層呈最低氣溫後, 靠近 10cm 間氣溫有明顯地再度呈低溫的現象。此由該空間大而易交換空氣之故, 可能冷氣滯留於該層。到了成熟期, 稻稈倒伏後就挑曲層呈最低氣溫層而 20cm 氣溫稍較高, 然 40cm 再減後, 其上層呈出射型等複雜型態。

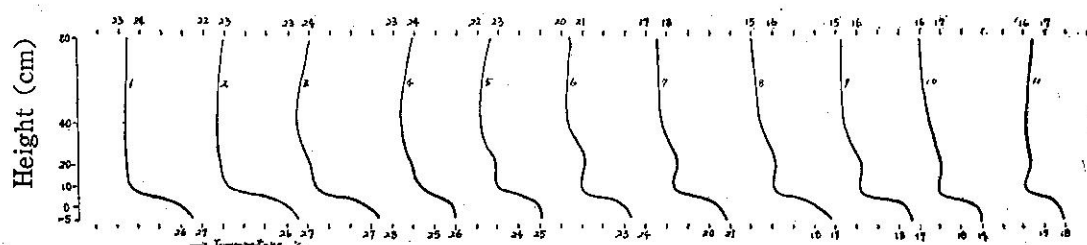


Fig. 5-23: The vertical distribution of 10 days mean minimum temperature on 2nd paddy rice field in 1963

Table 9: 10 days mean of minimum temperature in 2nd paddy rice field 1963

Position No. of 10 days	Height of air temp.				water temp	soil temp
	8 0	4 0	2 0	1 0		
1	23.3	23.3	23.4	23.5	25.7	26.5
2	22.9	22.7	22.9	23.1	25.8	26.6
3	24.0	23.5	24.1	24.3	26.6	27.3
4	23.9	23.4	23.9	24.2	25.8	26.0
5	22.6	22.2	22.9	22.9	24.9	25.2
6	20.4	20.4	21.2	21.0	22.9	23.3
7	17.6	17.8	18.6	18.4	20.5	20.9
8	15.0	15.5	16.2	16.1	18.2	18.8
9	15.3	15.5	16.3	16.2	18.3	18.7
10 *	16.0	16.5	17.1	16.9	18.8	19.0
11 **	16.4	16.1	16.3	16.0	17.5	17.9

因生育期間之旬平均溫度日較差剖面分佈

旬平均最高及最低溫度剖面分佈上，已知有二處溫度能動層之存在，該溫度能動層以溫度日較差剖面分佈圖較易於顯出。如 Table 10及 Fig 5-24，顯然地溫度變化大的繁茂層之隨生育而昇高情形可自第一旬至第五旬間看得出。到了繁茂層超過最高測定點 80cm高度以後，該繁茂層之影響已測不出，然作物空間層之日較差自上向下逐次減少，而以地溫為最小較差。在 10cm 附近之溫度能動層自第 4 旬至第 7 旬間較明顯，即進孕穗

期以後，水稻下層葉片開始枯萎，該層之空間逐漸擴大，熱流交換趨於活潑，該層之溫度變動加大些。

稻田每日溫度較差剖面分佈線上與觀測坪上日氣溫較差之交界點

稻田每日溫度較差剖面分佈線上，與前述最高溫度相同地以一次式可指出觀測坪上日氣溫較差之出現高度。該交叉高度亦隨生育之進展逐漸增高。其交界點高度之一次式為

$$Y_R = 30.86 + 0.58 X$$

Y_R 為交界點高度 (cm)， X 為生育日數。

如 Fig 5-25，較之最高溫度之交叉高度稍低且其增高傾度亦小。

Table 10: 10 days mean of temperature range in 2nd paddy rice field 1963

Position No. of Degsdd	Height of air temp. range				water temp. range	soil temp. range
	8 0	4 0	2 0	1 0		
1	11.6	11.2	11.6	11.4	9.9	6.2
2	11.5	11.5	12.1	11.3	7.7	4.8
3	11.1	12.1	11.1	10.0	5.1	3.7
4	8.7	9.2	6.8	6.0	2.8	1.9
5	12.0	11.4	7.2	5.8	2.5	1.7
6	13.4	8.5	5.5	4.8	1.8	1.3
7	11.4	7.1	5.3	5.0	1.7	1.2
8	11.3	7.6	6.1	5.5	2.1	1.3
9	11.5	8.6	7.0	6.4	2.6	1.6
1 0 *	12.3	9.0	7.6	6.7	2.3	1.7
1 1 **	9.3	8.5	7.6	6.4	2.5	2.1

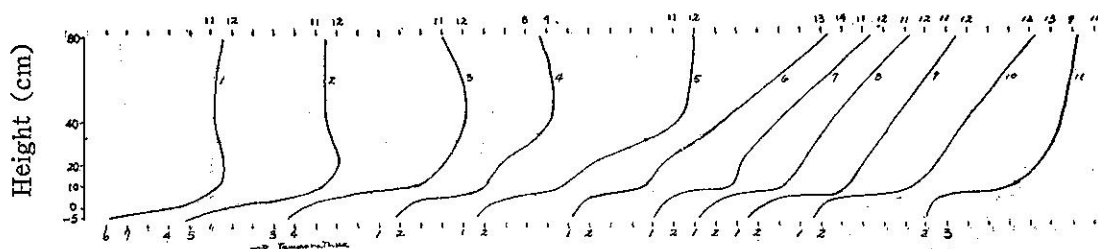


Fig. 5-24: The vertical distribution of 10 days mean temperature range on 2nd paddy rice field in 1963

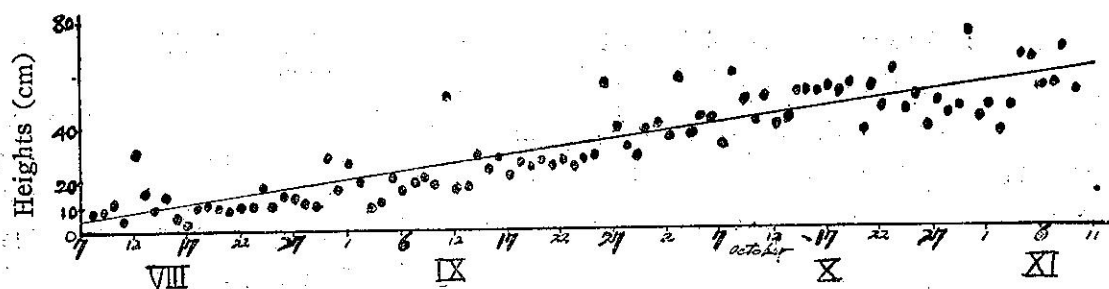


Fig. 5-25: Crossing heights of diurnal temperature range on 2nd paddy rice field with on the observation yard
the crossing heights line $Y_R = 30.86 + 0.58X$

六、稻田溫度與觀測坪上氣溫之聯關

(一) 相關係數：

若四周土地均水田而栽培水稻時，自小氣候立場討論，就是一種「湖塘」情況。因此對該地小氣候定有任何影響。本試驗地三周圍均是水田之故，尚可代表一般慣行水田地域。雖我們可想像得到，稻田氣象無法離開大氣候之影響，但究竟有何種程度之關聯性尚未得知。因此本節使用下式：

$$r = \frac{\sum(\Delta x : \Delta y)}{\sum(x^2) \sum(y^2)}$$

計算觀測坪上氣溫與水田上各種高度間之溫度相關情況。但由隨水稻生育進展，其溫度變化有相差之故，認為就各生育期別計算較為適當，氣溫亦分24時平均值，最高氣溫，最低氣溫，9時氣溫及最高最低氣溫平均等五種，分別求其相關係數。Table 6-1 為觀測坪上24時平均氣溫與水稻田各高度24時平均溫度間之相關係數表。該表中之水

Table 6-1: Correlation coefficients between the daily mean temperature of 2nd rice field and the daily mean air temperature on observation yard

position growing stage	heights on paddy field				water temp	soil temp
	80cm	40cm	20cm	10cm		
Planting	0.913	0.908	0.920	0.910	0.832	0.850
Incipency of tillering	0.957	0.957	0.966	0.903	0.794	0.792
Prosperous tillering	0.810	0.834	0.837	0.836	0.498	0.539
Most prosperous tillering	0.887	0.932	0.942	0.929	0.903	0.900
Latter tillering	0.809	0.635	0.679	0.502	0.481	0.536
Pregnant	0.934	0.815	0.892	0.902	0.085	0.667
Primary heading	0.896	0.917	0.903	0.924	0.417	0.195
The end of heading	0.965	0.924	0.977	0.968	0.686	0.554
Primarily maturing	0.942	0.970	0.935	0.947	0.651	0.496
the middle of maturing	0.800	0.817	0.759	0.787	0.559	0.514
harvesting	0.987	0.991	0.987	0.986	0.840	0.846

溫因受較冷且經過導管灌溉之井水之故，其每日灌溉時期之遲早及多寡均有影響，結果，相關係數之大小變動甚大，地溫亦受水溫之影響，間接地變動之。除了上述水溫及地溫二項外，在分蘗後期之相關係數尚

有嫌小的傾向，是否受該時期所形成於下層之無效分蘗生長影響，為值得再檢討的紀錄。上述以外之各生育時期間之相關均甚緊密，相關係數達0.8以上。

Table 6-2 係觀測坪上最高最低氣溫平均和水田上各高度日平均溫度間之相關係數表。

該相關係數值較之 Table 6-表為小，但在抽穗初期間的地溫、水溫較小相關傾向是呈相同現象。可能起因於灌溉水之控制時間的不良。

Table 6-2: Correlation coefficients between the mean temperature of maximum with minimum the observation yard and the daily mean temperature of the 2nd paddy rice field

position growing stage	heights on paddy field				water	soil
	80cm	40cm	20cm	10cm	temp	temp
Planting	0.814	0.790	0.777	0.764	0.868	0.832
Incipency of tillering	0.762	0.777	0.791	0.725	0.691	0.829
Prosperous tillering	0.585	0.760	0.829	0.866	0.752	0.741
Most prosperous tillering	0.804	0.792	0.832	0.788	0.764	0.780
Latter tillering	0.924	0.923	0.938	0.908	0.878	0.862
Pregnant	0.891	0.792	0.896	0.892	0.817	0.783
Primary heading	0.917	0.911	0.873	0.894	0.362	0.127
The end of heading	0.958	0.946	0.939	0.926	0.684	0.783
Primary maturing	0.910	0.901	0.890	0.893	0.661	0.521
The middle of maturing	0.826	0.824	0.801	0.816	0.713	0.692
Harvesting	0.962	0.968	0.962	0.964	0.831	0.832

Table 6-3 Correlation coefficients between the 09's temperature on the observation yard and the daily mean temperature on 2nd paddy rice field

position growing stage	heights on paddy field				water	soil
	80cm	40cm	20cm	10cm	temp	temp
Planting	0.569	0.563	0.567	0.503	0.665	0.528
Incipency of tillering	-0.219	-0.217	-0.203	-0.232	-0.249	0.030
Prosperous tillering	0.220	0.155	0.183	0.166	0.086	0.115
Most prosperous tillering	0.851	0.904	0.934	0.929	0.912	0.871
Latter tillering	0.948	0.981	0.978	0.956	0.929	0.906
Pregnant	0.764	0.609	0.668	0.661	0.492	0.451
Primary heading	0.902	0.835	0.780	0.808	0.261	0.046
The end of heading	0.829	0.779	0.762	0.744	0.088	0.410
Primary Maturing	0.725	0.713	0.607	0.620	0.071	-0.133
The middle of maturing	0.682	0.731	0.703	0.747	0.641	0.597
Harvesting	0.901	0.905	0.913	0.915	0.820	0.824

Table 6-3 為觀測坪上9時氣溫與水田各高度日平均溫度間之相關係數表。當09時觀測時，值氣溫隨太陽之昇高，而昇溫甚激烈，與水田各層之昇溫情況其故有異，關係數不僅較小且在開始分蘗時期再受旺盛的水稻呼吸作用，同化作用及大的灌溉水熱容量等影響，反而呈負相關，繼之分蘗旺盛期之相關亦甚小。至於水溫及地溫二項亦加上低溫井水灌溉時間在於09時之故，其相關係數之變動甚大，不甚正確。

Table 6-4: Correlation coefficients between the maximum temperature on observation yard and maximum temperature on 2nd paddy rice field

growing stage \ position	heights on paddy field				water temp	soil temp
	80cm	40cm	20cm	10cm		
Planting	0.744	0.856	0.768	0.778	0.889	0.524
Incipency of tillering	0.711	0.730	0.630	0.643	-0.012	0.782
Prosperous tillering	0.956	0.899	0.901	0.863	0.569	0.852
Most prosperous tillering	0.866	0.795	0.906	0.898	0.797	0.780
Latters tillering	0.961	0.898	0.955	0.952	0.912	0.891
Pregnant	0.892	0.952	0.938	0.943	0.787	0.669
Primary heading	0.816	0.900	0.961	0.919	0.295	0.019
The end of heading	0.944	0.979	0.971	0.977	0.632	0.399
Primary maturing	0.926	0.928	0.915	0.959	0.486	0.556
The middle of maturing	0.951	0.957	0.860	0.884	0.788	0.715
Harvesting	0.983	0.979	0.975	0.969	0.901	0.854

Table 6-4 係觀測坪上最高氣溫與水田各層最高溫度之相關係數表。該相關在於開始分蘗期之第二旬較低相關 0.6~0.7 水溫呈甚微的負相關及抽穗期之水地溫相關在 0.5 以下外其餘各層，在各生育期之相關相當緊密。水溫、地溫最高溫度之甚小原因，可能是受灌溉水之控制不良（臨時灌溉）的影響。

Table 6-5 為觀測坪上最低氣溫與水田各層最低溫度間之相關係數表。本表因最低溫度均出現於夜間無人斷自操作灌溉水時之故，僅分蘗旺盛期 10cm 層及水地溫之相關稍嫌小外，其他各時期，在各層均較有緊密的相關係數。（未完）

Table 6-5: Correlation coefficients between the minimum temperature on observation yard and the minimum temperature on 2nd paddy rice field

growing stage \ position	heights on paddy rice field				water temp	soil temp
	80cm	40cm	20cm	10cm		
Planting	0.981	0.984	0.969	0.963	0.945	0.535
Incipency of tillering	0.951	0.957	0.986	0.928	0.733	0.776
Prosperous tillering	0.967	0.969	0.970	0.893	0.637	0.478
Most prosperous tillering	0.965	0.931	0.785	0.423	0.497	0.242
Latters of tillering	0.935	0.793	0.785	0.685	0.779	0.809
Pregnant	0.975	0.953	0.951	0.947	0.896	0.870
Primary heading	0.917	0.971	0.939	0.939	0.766	0.615
The end of heading	0.935	0.928	0.915	0.908	0.731	0.551
Primary maturing	0.911	0.907	0.908	0.926	0.827	0.747
The middle of maturing	0.943	0.968	0.967	0.978	0.799	0.752
Harvesting	0.991	0.984	0.974	0.974	0.762	0.652