暖地における晩稲栽培の好適気候(2)*

佐 藤 正 一

(農林省九州農業試験場)

The optimum conditions of climate for the rice-culture
in the warm district in Japan. (2)

S.SATŌ

(Kyūshū Agricultural Experiment Station)

は し が き

西南日本、特に九州平坦暖地の普通晩稲の収量 y は、栽培の前半(≒栄養生長)期たる夏7・8月の通算平均気温 t 、及び後半(生殖登熟)期たる秋9・10月の合計日照時間 s により略見当がつく(夏気温は約27°Cが最適でこれより高、低両側とも減収、秋は多照ほど多収)ことを前報¹⁾に述べた。本報にその数量的表現を試みる。

資料は九州の中で風害等の最も少ない佐賀のみをとり、1925~1945年の水稻豊凶考照試験(晩稲平均)成績**による。

I. 夏気温、秋日照のいずれか一方を恒定した場合の他方と収量との関係

前記20年間の夏気温及び秋日照の階級別頻度は第1表の如く、ここで t を最も頻度高い26.6~27.0°C区間にある8箇年の平均26.9°Cに恒定した場合のものに更正して秋日照 s と収量 y との関係、及び最も頻度高い350~400時間区間での平均377時間に s を恒定して t と y との関係を求めてみる。方法は且つて平野烈介³⁾氏が甘藷収量と気温・雨量との関係考察に用いたものである。

第1表 夏の平均気温、及び秋の合計日照時間の階級別出現年数。夏は7・8月、秋は9・10月(佐賀市。1925~1945。但し1944年除外)

夏気温 t (°C)	25.5~26.0	26.0~26.5	26.5~27.0	27.0~27.5	27.5~28.0
年 数	2	5	8	3	2
秋日照 s (hs)	250~300	300~350	350~400	400~450	450~500
年 数	1	3	12	3	1

その結果は第1図の如く、夏気温が26.9°C恒定の場合に秋日照が330時間以下は収量が急減し、330~370時間では収量との関係はさほど大ならず、380時間から収量急増、420時間以上の多照はもはや一層増収させるに至らぬ。

* 昭和30年4月3日総会において及び
昭和30年12月10日九州支部総会において発表

**この中1944年は螟虫害により2回補植した異常年なので除外した。

Fig. 1 秋の日照時間と収量との関係
(夏気温を26.9°C恒定の場合)

The relation between the yield and the sunshine duration in autumn.
(in case that the corrected air-temperature in summer is 26.9°C constant)

—— 夏の平均気温と収量との関係
(秋日照を377時間恒定の場合)

The relation between the yield and the mean air-temperature in summer
(in case that the corrected sunshine-duration in autumn is 377 hours constant.)

次に秋日照が377時間恒定ならば、夏気温の26.3°Cより低温ほど減収、26.3~26.9°C区間は関係比較的薄く、26.9~27.4°Cは高温ほど増収、それ以上の高温では再び減収の傾向となる。

II. 夏気温・秋日照の種々な組合せにおける収量式の推定

現実には夏気温、秋日照とも夫々独立に変わる。両者合成を稲作綜合気候とみるので、次に $y=f(s, t)$ の形で表現することを考える。

まず第1図でも日照と収量は大まかには直線的関係とみられ、実際に秋日照を横軸に収量を縦軸にとれば第2図上となり、各点に当年の夏気温を記入すればその低、中、高温ごとに直線式を作るのが適当と思われる。即ち

秋日照と収量との暫定的直線 y_s 、及び y_s からの偏差と夏気温との関係図

- 夏期低温 ($t < 26.5^\circ\text{C}$)
- 夏期中温 ($26.5 < t \leq 27.0^\circ\text{C}$)
- ▲ 夏期高温 ($27.0 < t$)

Fig. 2 Analysis of the relations between the rice-yields and the climatic conditions, upper: (y, s) diagram. lower: (Y, t) diagram

低温年 ($t < 26.5^\circ$) $y = 0.27s + 12.4$... 6年
 中温年 ($26.5 < t \leq 27.0^\circ$) $y = 0.33s + 8.1$... 8年
 高温年 ($27.0 < t$) $y = 0.16s + 76.4$... 4年

これは一応の傾向を求めるに過ぎぬから、大略の直線上から外れる2箇年を除外した。

次にこの3群、従つて全年に共通なる y と s の暫定的直線式としては、上掲3直線式の係数に各群に属する年数を重みに附した加重平均の勾配を用い、

$$y_s \text{ 貫} = 0.27s \text{ (時間)} + 25.1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

を得る。(1)式によれば供試20箇年中の2年は計算収量 y_s と実収 y との差が小さいが、他の大部分の年はなおかなりの実収との差がある。その差は平均して下の如し。

$$|\Delta y| = \frac{1}{n} \sum |y - y_s| = 9.4 \text{ 貫}, \quad \frac{1}{n} \sum \frac{|\Delta y|}{y} = 7.6\%$$

従つて(1)に夏気温を加味し修正する。いま横軸に t 、縦軸に $(y - y_s)$ を記入すれば第2図下となり、これは最適気温 t_0 の近傍では実収は y_s より割増し、 t_0 より

遠い夏気温範囲では y_s より割引の形である。便宜上、base line を $y - y_s$ より15貫下位におき、妥当な数式を次の如く仮定してみる。

$$Y (= y - y_s + 15.0) = Y_0 e^{-B(t-t_0)^2}$$

この Symmetry curve 算出には2下図の 26.3°C 以下は無関係とみられるので t の $26.3^\circ \sim 28.0^\circ$ 範囲にある15箇年より実験式を求めると、

$$Y = 31.87e^{-4.36(t-27.19)^2}$$

$$= y - y_s + 15.0 = y - (0.27s + 25.1) + 15.0$$

即ち夏気温と秋日照を同時に考慮した収量式は、

$$y \text{ 貫/反} = 10.1 + 0.27s + 31.87e^{-4.36(t-27.19)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

これをより一般的表現ならしめるため平年収量(供試20箇年の平均値126.6貫を100%)に対する収量指数とし、 $t_0 = 27.2^\circ\text{C}$ とすれば、

$$y\% = 9.0 + 0.21s + 25.41e^{-4.32(t-27.2)^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3) を佐賀・筑後地方に起り得る s 、 t の範囲について計算したのが第3図である。これは第1報の第1図と同傾向のもので、その局部的歪みが消えたものである。

III. 求めた収量式の適用性について

(2) 及び厳密には(3)式も此の豊凶参照試験の品種・栽培法、並に佐賀の地力に固有するものである。しかし一般的にどの程適用性があるかを検討しよう。

(i) 統計期間内における適合程度(豊凶試験)

夏の平均気温、秋の合計日照により稲作気候を表した場合の米収量指数。……佐賀・筑後地方

Fig. 3 The Relations between the Rice-Yields and the Climatic Conditions, by the equation (3)

まず(2)式に供試期間各年の s , t の値を入れて算出した収量 y_c と実収 y との差は、20箇年中の3年が10貫を越すが、他の大部分の年は計算収量は実収にかなりよく一致する。平均した場合に、

$$|\Delta y| = \frac{1}{20} \sum |y - y_c| = 4.9 \text{ 貫}, \quad \frac{1}{20} \sum \frac{|\Delta y|}{y} = 3.8\%$$

即ち供試期間の此の豊凶試験については当然よく氣候と収量との関係を示すものと云えよう。

(ii) 統計の次期間における適合程度(豊凶試験)

氣象要素と収量の関係が統計期間内はよく適合し、その後の期間に不適な例は往々にしてある。

佐賀農試の此の豊凶試験は1950年まで継続されたので、1945年以前20箇年より求めた(2)及び(3)式を1946~1950年に用いてみると、かなりの不適合が現れるがこれはむしろ戦後の特殊事情によると思われる。即ち'46年:豊作氣候(y_c は113%)なるもウンカ大発生と7月未台風により実収 y は97%

'47年:豊作氣候($y_c=117\%$)、災害も少いが実収 $y=98\%$ 。この理由は未だ判然としない。

'48年: $y_c=93\%$ に対し $y=96.5\%$ 、略一致。

'49年:不作氣候 $y_c=85\%$ の上に Faye, Judy 両台風、夏ウンカ、螟虫多発。 $y=66\%$ まで著減。

'50年: $y_c=87\%$ を上廻り実収 $y=99\%$ 、当年氣候の一特徴は夏期低温の割に多照。

著者の(2),(3)式は継続一般氣候を対象とし、突発災害を考慮していないから'46,'49両年の不適合は己むを得ない。戦後数年間一般圃場が少肥栽培の際に豊凶試験は旧来の多肥のため害虫が集中した。なお長期間には土壤条件も幾分変化しているかも知れない。

著者は夏気温・秋日照で稲作氣候を表し、嵐³⁾氏は9月低温多照が最豊作氣候としたが、1950年の結果をみると夏の気温と日照のバランスも今後は考慮すべきであろう。

(iii) 一般的適用性について

氣象感應試験は1948年の開設以来日も浅く、佐賀農

試の移転や耕種条件変更等のため佐賀はもちろん、同じ氣候区に属する九州農試本場内の場合も平年収量を取り難いが、両地の氣象感應試験晩稲の反当玄米重にみられる1948年の準平年作、'49年・'51年・'54年の不作、'52年の良と'53・'55両年*の豊作は、既述豊凶試験とは諸栽培条件の差を含みながらも夏気温・秋日照図からも大略説明できる。'48~'50の3箇年は氣象感應試験も(ii)に述べたのと同じ状況にある。

一般農家の収量は戦後の10年間に社会的・農業技術的大変貌のため著しく変動したが、社会的に一応の安定を得た1950年ごろより後の稲の豊凶は前記の氣象感應試験と略同様であり、 $y \cdot s \cdot t$ 図が適用されるようである。

以上の(i),(ii),(iii)を綜括して、戦後の特殊事情を除外すれば、当地帯の稲作と氣候との骨格となる関係には(2),(3)を用いても大過ないであろう。

あとがき

九州中北部平地の普通晩稲の収量はまず秋に多照ほど多収の一次的関係と栽培前半期たる夏の気温に最適温約27°Cがあり、夏期これより低・高温両方に向つて収量が減ずる傾向を実験式(2),(3)に示した。

なお詳細に豊凶試験記録を吟味し特殊事故年を除き、秋の日照の中でも9月にWeightを附すと、気温の項を対称形から幾分の歪形に変え、或いは夏も気温と日照のバランスを考慮などすれば、より良く実収を表し得るかも知れない。此等の点は今後も検討するが、暖地稲作氣候の大局的把握には夏気温・秋日照で足りるものと思われる。

文 献

- 1) 佐藤:暖地における晩稲栽培の好適氣候, 農業氣象 10(3・4), 1955
- 2) 平野烈介:甘藷と氣象との関係, 産業氣象調査報告, 1巻, 第1冊(1927)及び第2冊(1929)
- 3) 嵐・立石:秋落的立場から見たる九州地方に於ける水稻の生育収量に及ぼす氣象要素の影響(第2報), 九州農業研究 7号, 1950

* '53年は $t=27.5^\circ\text{C}$, $S=388$ 時間
'55年は $t=27.05^\circ\text{C}$, $S=364$ 時間

Résumé

The yields of the paddy rice (y) in the warmer districts in Japan are mainly proportional to the sunshine-duration (s) in autumn, but are increased or decreased according to the air-temperature (t) in summer; the optimum temperature (t_0) averaged in summer is about 27.2°C , and the yields are poor in both cases of cooler summer and too hot summer.

The above relation are expressed by the following equations. See Figs. 2 and 3.

$$y \text{ (KAN/TAN)} = 10.1 + 0.27s + 31.87e^{-4.36(t-27.19)^2}$$

$$\text{or} \quad y(\%) = 9.0 + 0.21s + 25.41e^{-4.32(t-27.2)^2}$$

$$(\text{note}) \text{ KAN/TAN} \approx 3.75 \text{ kg/1000m}^2$$