

環境に対する水稲の生育反応第1報

| | |
|-------|------------|
| 誌名 | 日本作物學會紀事 |
| ISSN | 00111848 |
| 著者 | 佐藤, 庚 |
| 巻/号 | 41巻4号 |
| 掲載ページ | p. 388-393 |
| 発行年月 | 1972年12月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



環境に対する水稻の生育反応

第1報 栄養生長期の生育に及ぼす気温の影響*

佐 藤 庚

(東北大学農学部)

水稻の生育、稔実と気象条件ことに温度との関係については古くから研究が多い。しかしそのほとんどは調査を中心とするもので、変動する自然温度の記録から最高最低気温、その日較差、平均気温、積算温度などを求め、これと生育あるいは稔実との相関を求めて気温の影響を考察する方法をとっていて、温度の直接の影響をしらべたものではない。寺尾ら¹⁾は1941年に人工気象室を用い、生育時期別に低温処理を与えて冷害の解折を行なつたが、生育そのものを直接の対象とした実験ではない。近年人工気象室の活用によつて気温と生育との関係をしらべるようになったが、松島ら²⁾、星野ら³⁾、著者^{4,7)}らの成績があるのみでまだ不十分な段階である。松島ら²⁾は気温をそれぞれ16°から36°にわたる4段階にコントロールして水稻の幼苗を処理し、生長は気温31°水温31°で最高となり、気温がこれより低下するほど窒素および炭水化物含有率が高まるとし、次いで星野ら³⁾も同じ処理で育てた苗について、各区が同一の葉令に達した時にそれぞれサンプルした結果、葉令、葉面積、NARは高気温で、地上部乾物重や茎数はこれより低温でそれぞれ最高を示し、窒素含有率は一般に低気温ほど高いことなどを示した。著者⁷⁾は出穂期まで同一の日長、温度下に水稻3品種を栽培した結果、1日当りの乾物生産量および窒素の吸収量は高温ほど高く、茎数はこれよりやや低温で最も多く、一般に窒素およびTAC (Total available carbohydrate)の含有率は低温ほど高いことなどを報告した。

最近温度と水稻の生育に関して OWEN⁴⁾が抄録を出し、また PLACE ら⁵⁾は品種 Bluebelle について、昼温が21~33°Cでは高温ほど生長量が多いことを示した。

著者は日長と温度、日照や空気湿度と気温の組合せなどの種々の環境下における水稻の生育をしらべているが、本報では15°から35°Cにわたる5段階の恒温室を用いて、Japonica種とIndica種を供試して本田初期の栄養生長期に相当する稲体の気温に対する生長反応を主として生長解折の手法を用いて考察した。

実験材料と方法

Japonicaの代表として農林17号を、Indicaの代表としてIR-8を供試した。1970年7月22日に5千分の1アールポットに粘土に富む川砂をつめ、これに2ヶ所に数粒ずつをまき、後間引いて1株1本植えとして2株ずつを栽培した。施肥は春日井氏培養液から、3要素以外を除いた原液を作り、ポットの容積あたりNが20ppmとなるよう稀めて与え、1~2週間に一度ずつ旧液を洗い流して新液を更新した。最後の肥料更新は9月2日である。温度処理開始は8月8日であるが、この時の植物の大きさ、窒素含有率はtable 1の通りである。

温度処理は昼温一夜温をそれぞれ35-30°, 30-25°, 25-20°, 20-15°, 15-10°Cに保つた恒温室を用いて行ない、光は自然光である。暗の期間は夕方6時から翌朝6時までの12時間で、全室が共通の天蓋で被われ

Table 1. The growth of seedlings at the start of treatment.

| Variety | Plant height cm | Tiller number | Leaf number of main-stem | DW of organs, mg | | | | Total leaf area, cm ² | Total leaf number | Leaf area per leaf, cm ² | Total N, % | | |
|----------|--------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-----------------|------|---|-------------------------|--|------------|------|------|
| | | | | LB ¹⁾ | LS ²⁾ | R ³⁾ | Tot. | | | | LB | LS | R |
| NORIN-17 | 27.6 | 1.3 | 5.6 | 33 | 31 | 13 | 77 | 10.1 | 5.2 | 1.94 | 5.23 | 3.45 | 3.07 |
| IR-8 | 27.3 | 2.0 | 5.4 | 61 | 44 | 22 | 127 | 21.5 | 7.9 | 2.73 | 5.37 | 3.73 | 3.37 |

Notes: 1) Leaf blade 2) Leaf sheath and stem 3) Roots

* 昭和47年3月10日受理

第152回講演会(昭和46年10月)において発表

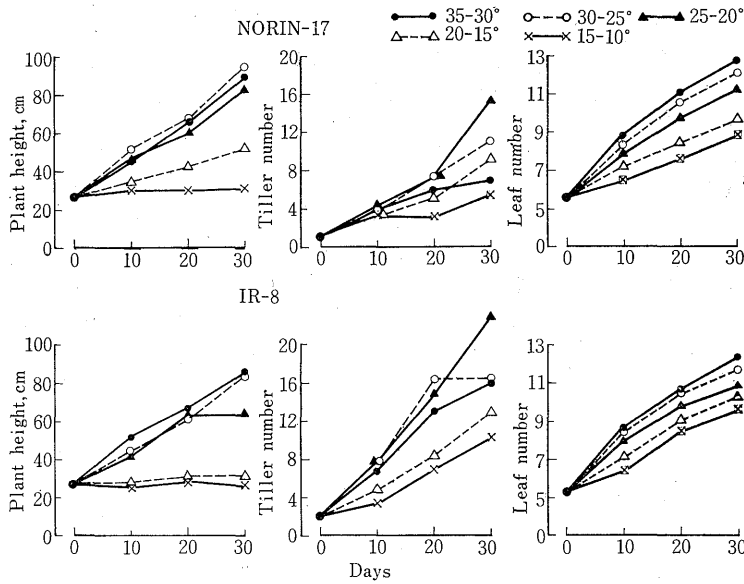


Fig. 1. Plant height, tiller number and leaf number of main-stem of two varieties of rice as affected by air-temperatures.

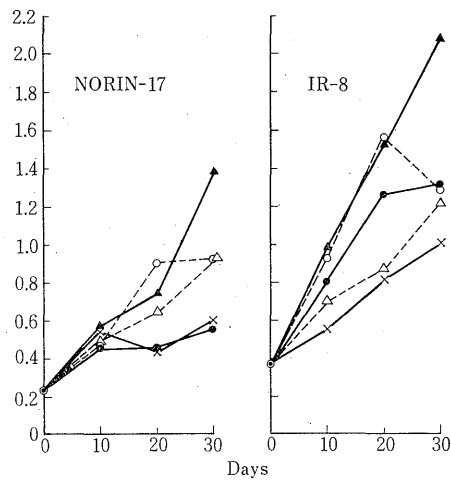


Fig. 2. Tillering ability (tiller number/main-stem leaf number) as affected by air-temperatures.

て完全な暗となる。空中湿度はほぼ 60~70% RH にコントロールした。処理開始後 10 日おきに 3 回サンプル (各区 4 ポット 8 ヶ体ずつ) し、直ちに各部に分けて生体重を測定し、葉身については葉面積を測定し、80°C で 1 時間、65°C で 2 日以上乾燥して乾物重を測定した。

実験結果と考察

fig. 1 に草丈、茎数、主桿葉数の推移を示した。葉

令は高温ほどすすみ、両品種とも 35-30° で最大となつた。また農林 17 号は IR-8 にくらべ高温では葉令のすすみがやや早かつたが低温ではややおくれた。草丈も一般に高温ほど高かつたが農林 17 号では 30-25° を最高として 35-30°C ではやや抑えられた。

茎数に対する適温はこれらにくらべるとやや低いと見られ、両品種とも 30 日後には 25-20° で最も多く、30-25° がこれに次いだ。農林 17 号の茎数は 35-30° で著しく抑制されたが IR-8 では抑制の程度が軽い。15-10° の低温区でも IR-8 の抑制度が軽かつた。主桿葉数で全茎数を割

つた値 (本報では分けつ力 tillering ability と呼ぶ) も fig. 2 に示したように、農林 17 号では 35-30°、15-10° 両区が同程度に低いのに、IR-8 では 35-30° 区は 20-15° 区より高く、15-10° 区もかなり高い。乾物生産 (table 2, fig. 3) は IR-8 の方が農林 17 号より大きい、両品種とも 35-30° は高温にすぎるといえる。農林 17 号では 30-25° で最高の生産をあげ、続いて 25-20°、35-30°、20-15°、15-10° の順であるのに対し、IR-8 では 25-20° を最高に 30-25° がこれに続き、以下の序列は農林 17 号と同様である。

茎数で見られたように IR-8 が高緯度に適応した農林 17 号にくらべて高温に強いことは理解できるが、IR-8 の茎数が 15-10° のような低温下でも比較的多く、また乾物生産に於ても 25-20° で最高を示した事実は、発芽や乾物生産においては IR-8 の方が藤坂 5 号より低温に強いとする IIRRI の成績²⁾と対照して興味深い。

table 2 に明らかなように、両品種とも T/R 比は生育がすすむにつれて、また高温となるほど高まつている。低温ほど T/R 率が低いのは一つには生育ステージのすすみ方がおそいからであり、二つには低温ほど相対的により多くの同化産物が根に移行するからであろう。しかし 15-10° のような著しい低温下で T/R 比が比較的高い点は興味がある。葉身重と葉鞘+茎重との比も高温ほど高く、高温ほど葉身の形成により多くの同化産物が向けられるといえよう。株当りの葉面

Table 2. Growth per plant of 2 varieties of rice as affected by air-temperatures. (Means of 8 plants)

| Var. | Date | Temp. °C Day-Night | Total DW, g | T/R | LB/LS ⁽¹⁾ | Total leaf number | Total leaf area, cm ² | DW mg/ LA, cm ²⁽²⁾ | FW mg/ LA, cm ² | Tiller number | Leaf area per stem, cm ² | DM % of leaf | Area per leaf, cm ² |
|----------------------------------|-------|-----------------------|----------------|------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|---|-----------------|-----------------------------------|
| N O R I N 17 | 8 | 35-30 | 0.404 | 8.23 | 1.19 | 13.9 | 76.0 | 2.57 | 11.3 | 4.0 | 19.0 | 22.7 | 5.5 |
| | | 30-25 | 0.513 | 6.59 | 1.06 | 15.0 | 83.9 | 2.73 | 12.0 | 4.0 | 21.0 | 22.8 | 5.6 |
| | | 25-20 | 0.428 | 5.71 | 1.12 | 12.4 | 69.2 | 2.76 | 12.1 | 4.5 | 15.4 | 22.8 | 5.6 |
| | | 20-15 | 0.283 | 4.38 | 0.89 | 9.8 | 33.5 | 3.21 | 12.3 | 3.6 | 9.6 | 26.1 | 3.4 |
| | | 15-10 | 0.185 | 4.10 | 0.75 | 6.0 | 16.1 | 3.87 | 12.6 | 3.5 | 4.6 | 30.7 | 2.7 |
| | Mean | 0.363 | 5.80 | 1.00 | 11.4 | 55.7 | 3.03 | 12.1 | 3.9 | 13.9 | 25.0 | 4.6 | |
| | 8 | 35-30 | 1.37 | 8.84 | 1.09 | 21.9 | 236 | 2.70 | 11.8 | 5.0 | 47.2 | 22.9 | 10.8 |
| | | 30-25 | 2.16 | 7.52 | 1.03 | 29.1 | 363 | 2.65 | 12.1 | 9.6 | 37.8 | 21.9 | 12.5 |
| | | 25-20 | 1.69 | 5.93 | 0.91 | 20.0 | 214 | 3.20 | 12.3 | 7.3 | 29.3 | 26.0 | 10.8 |
| | | 20-15 | 0.78 | 4.92 | 0.82 | 14.5 | 83.0 | 3.54 | 12.8 | 5.4 | 15.4 | 27.7 | 5.7 |
| | | 15-10 | 0.31 | 5.30 | 0.71 | 7.5 | 25.7 | 3.64 | 12.9 | 3.3 | 7.8 | 28.2 | 3.4 |
| | Mean | 1.27 | 6.50 | 0.91 | 18.6 | 184 | 3.15 | 12.4 | 6.1 | 27.5 | 25.3 | 8.6 | |
| | 9 | 35-30 | 3.42 | 10.9 | 1.18 | 30.6 | 474 | 3.56 | 14.7 | 7.0 | 67.7 | 24.2 | 15.5 |
| | | 30-25 | 5.58 | 10.7 | 1.07 | 44.9 | 791 | 3.33 | 14.4 | 11.1 | 71.3 | 23.1 | 17.6 |
| | | 25-20 | 5.30 | 7.3 | 1.00 | 44.8 | 609 | 3.80 | 14.3 | 15.4 | 39.5 | 26.6 | 13.6 |
| | | 20-15 | 1.92 | 4.5 | 0.78 | 23.6 | 157 | 4.31 | 15.4 | 8.9 | 17.6 | 28.0 | 6.7 |
| | | 15-10 | 0.63 | 5.4 | 0.72 | 13.6 | 44.6 | 4.74 | 16.0 | 5.3 | 8.4 | 29.6 | 3.3 |
| Mean | 3.37 | 7.75 | 0.95 | 31.5 | 415 | 3.95 | 15.0 | 9.5 | 40.9 | 26.3 | 11.3 | | |
| 18 | 35-30 | 0.753 | 8.23 | 1.51 | 24.6 | 182 | 2.21 | 10.0 | 7.0 | 26.0 | 22.1 | 3.4 | |
| | 30-25 | 0.806 | 5.86 | 1.32 | 26.4 | 162 | 2.20 | 10.8 | 7.8 | 20.8 | 20.4 | 6.1 | |
| | 25-20 | 0.770 | 4.92 | 1.28 | 23.0 | 139 | 2.55 | 11.2 | 7.8 | 17.8 | 22.8 | 6.0 | |
| | 20-15 | 0.408 | 3.79 | 1.01 | 14.3 | 54.5 | 2.91 | 11.1 | 5.0 | 10.9 | 26.2 | 3.8 | |
| | 15-10 | 0.288 | 4.75 | 0.91 | 9.1 | 31.9 | 3.21 | 11.0 | 3.5 | 9.1 | 29.2 | 3.5 | |
| Mean | 0.605 | 5.51 | 1.21 | 19.5 | 114 | 2.62 | 10.8 | 6.2 | 16.9 | 24.1 | 4.6 | | |
| I R 8 | 35-30 | 2.12 | 8.46 | 1.29 | 40.1 | 483 | 2.20 | 10.0 | 13.4 | 36.0 | 22.0 | 12.0 | |
| | 30-25 | 3.20 | 6.62 | 1.19 | 51.9 | 628 | 2.39 | 10.8 | 16.4 | 38.3 | 22.1 | 12.1 | |
| | 25-20 | 3.43 | 5.65 | 0.99 | 42.8 | 524 | 2.74 | 10.9 | 14.9 | 35.2 | 25.1 | 12.3 | |
| | 20-15 | 1.04 | 4.28 | 0.89 | 23.1 | 123 | 3.09 | 11.2 | 7.9 | 15.6 | 27.6 | 5.3 | |
| | 15-10 | 0.68 | 4.81 | 0.89 | 19.8 | 83.0 | 3.43 | 11.6 | 6.9 | 12.0 | 29.6 | 4.2 | |
| Mean | 2.09 | 5.96 | 1.05 | 35.5 | 368 | 2.77 | 10.9 | 11.9 | 27.4 | 25.3 | 9.2 | | |
| 9 | 35-30 | 6.12 | 10.6 | 1.30 | 67.3 | 1038 | 2.52 | 11.0 | 16.3 | 63.7 | 22.9 | 15.4 | |
| | 30-25 | 7.19 | 9.32 | 1.23 | 65.4 | 1227 | 2.55 | 11.1 | 15.1 | 81.3 | 22.9 | 18.8 | |
| | 25-20 | 8.15 | 6.20 | 1.03 | 74.1 | 1048 | 2.89 | 11.5 | 22.6 | 46.4 | 25.1 | 14.1 | |
| | 20-15 | 1.94 | 4.45 | 0.92 | 39.4 | 193 | 3.25 | 11.9 | 12.5 | 15.4 | 27.3 | 4.9 | |
| | 15-10 | 1.23 | 6.04 | 0.79 | 29.3 | 117 | 3.83 | 13.4 | 9.6 | 12.2 | 28.6 | 4.0 | |
| Mean | 4.93 | 7.32 | 1.05 | 55.1 | 725 | 3.01 | 11.8 | 15.2 | 43.8 | 25.4 | 11.4 | | |

Notes: (1) LB: Leaf blade LS: Leaf sheath and stem

(2) Specific leaf weight or density thickness

積は両品種とも 30-25° が最大で 35-30° の初期生長がこれに次ぎ、後期には 25-20° がこれに代り、これより低温では激減した。株当たり全葉数も株当たり葉面積と同一序列で、乾物生産量とはほぼ平行している。1 茎当たりの葉面積は 30-25° を最大とし以下 35-30°, 25-

20°, 20-15°, 15-10° の順である。単位葉面積当りの生体重および乾物重は一般に低温ほど高い。これは density thickness あるいは specific leaf area と呼ばれ、時に葉の厚さを表わすとされるもので、一般にこの値の大きい葉は光合成速度が早いとする成績が

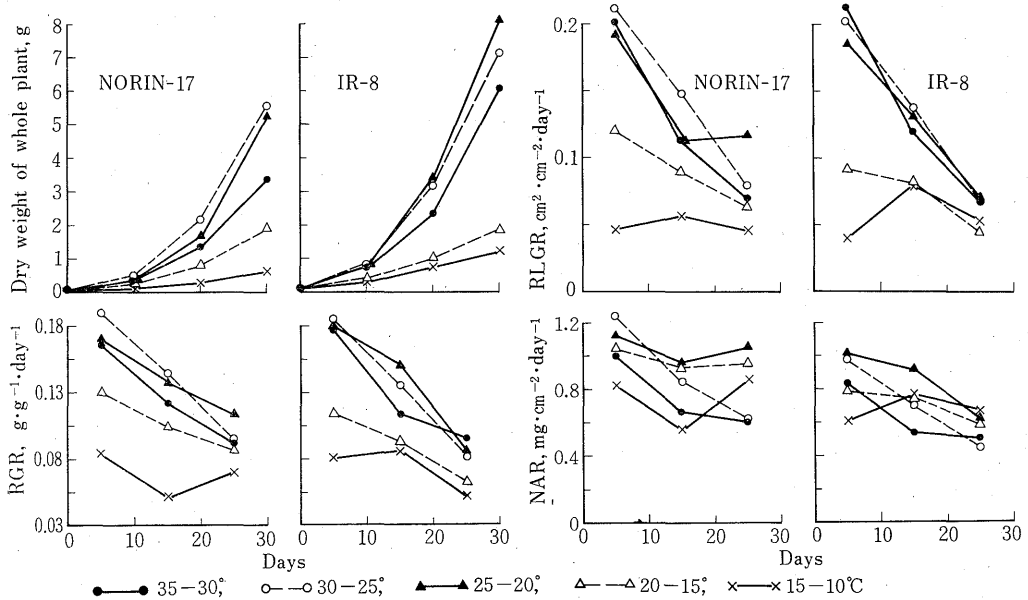


Fig. 3. Growth analysis of rice plant as affected by air-temperatures.

多いが、両者は必ずしも平行するものではなく、著者が前報⁹⁾で示したように、少なくとも低温下で栽培された水稻葉については、その density thickness は大きいのに光合成速度はおそいのである。葉身の乾物率は高温側で低く低温側で高い傾向がある。生育適温下の葉身は水分含量が高いといわれる¹⁰⁾ところと一致している。1枚当りの葉面積も生育適温下で大きく、これより高温および低温下では小さい。

fig. 3 に生長解析の結果を示した。相対生長率

$$\left(RGR : \frac{\log W_2 - \log W_1}{t_2 - t_1} \right)$$

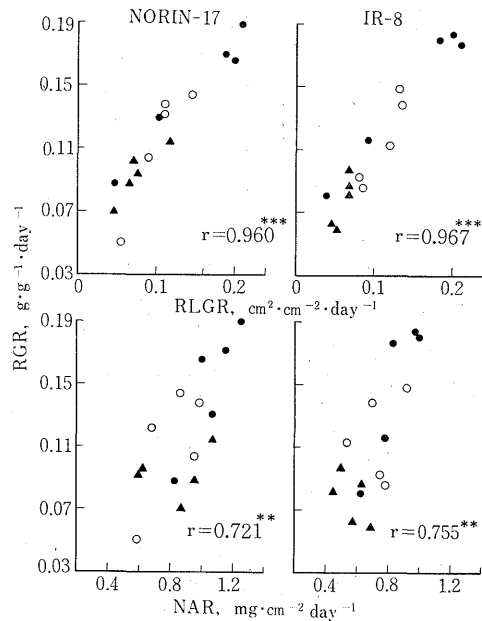
は両品種とも生育がすすむにつれて低下しているが、低下の程度は高温ほど大きい傾向がある。相対葉面積生長率

$$\left(RLGR : \frac{\log L_2 - \log L_1}{t_2 - t_1} \right)$$

と純同化率

$$\left(NAR : \frac{(W_2 - W_1)(\log L_2 - \log L_1)}{(L_2 - L_1)(t_2 - t_1)} \right)$$

がともに高温ほど急傾斜で低下するからである。温度のRGRひいて乾物生産に対する影響は、RLGRとNARの両者を通じて現われるはずであるから、この両者とRGRとの相関を求めるとfig. 4 のようになる。ここには3回のサンプルのすべての値をプロットした。これによつて明らかなように、RGRとRLGRとの相関係数は農林17号で0.96***、IR-8で0.97***、



● 35-30°, ○ 30-25°, ▲ 25-20°, △ 20-15°

Fig. 4. Correlations between RGR and RLGR or NAR as influenced by air-temperatures.

RGRとNARとの相関係数はそれぞれ0.72**と0.76**であつて、RGRはRLGRとより強い相関をもつてることが知られた。すなわち、同一品種の稲が気温の影響を受けて生育量に差を生ずるのは、先ず葉面積

Table 3. The kernel and embryo size of the seeds.

| Variety | 1000-kernel weight, g | 1000-embryo weight, g | Size of embryo*) | |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| | | | A ¹⁾ | B ²⁾ |
| NORIN-17 | 19.27 | 0.74 | 1.88×0.86 | 0.43×0.26 |
| IR-8 | 22.46 | 0.43 | 1.86×0.78 | 0.35×0.29 |

* The seeds having been matured at 35-30° and 25-20°C day-night temperatures were used to make paraffin sections of their embryos. Means of 30 embryos.

- 1) Length×width of the embryo dorsiventrally sectioned.
- 2) Length×width of the plumule excluding coleoptile.

の展開速度を通じて、次いで純同化率の変化を通じて影響されるものといえる。

品種間差をみると、IR-8は発芽後2週間目の処理開始時(table 1)すでに全葉面積は農林17号の2倍強、全乾物重も1.6倍に達しているが、この出発点のちがいがその後の生育量に決定的に影響している。温度処理中のRLGRもNARも両品種間に本質的なちがいはないばかりか、生育がすすむにつれてIR-8のNARは農林17号より低い値を示しているからである。したがってIR-8の乾物生産が農林17号に優る(table 2)のは、主に生育初期の葉面積の拡大が早いからと考えられ、table 3に示すように、IR-8の玄米千粒重が農林17号より大きく、貯蔵された総養分量が多いことが関係していると思われる。胚の大きさはむしろ農林17号の方が大きいのである。

本報で扱ったように、温度処理の期間を同一にして生育を比較する場合には、処理による生育ステージの変化が生長過程に複雑に関与して解析を困難にする場合が多い。したがって今後は、同一ステージに達した時の材料について生育解析を行なう必要があり、この両者の成績から総合的に判断することが温度に対する生育反応を考察する上で特に重要であると考えられる。

終りに、本研究における管理、調査に多大の援助をいただいた本学技官大友健二氏の労に対し、銘記して深謝の意を表します。

引用文献

1. 星野孝文・松島省三・富田豊雄・菊池年夫 1969. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第88報 苗代期の気温、水温の各種の組み合わせ処理が同一葉令の水稲苗の諸形質に及ぼす影響. 日作紀 38: 273—278.
2. IRRI. 1971. Annual Report for 1970. 41—46.
3. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1968. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第81報. 苗代期の気温・水温・遮光および施肥量の各種の組み合わせが水稲苗の諸形質に及ぼす影響. 日作紀 37: 169—174.
4. OWEN, P. C. 1971. The effects of temperature on the growth and development of rice. Field Crop Abst., 24: 1—8.
5. PLACE, G. A., M. A. SIDDIQUE, and B. R. WELLS 1971. Effects of temperature and flooding on rice growing in saline and alkaline soil. Agron. Jour., 63: 62—66.
6. 佐藤 庚 1966. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第12報 気温が稲の生長および体内成分に及ぼす影響 日作紀 34: 403—408.
7. ——— 1970. 出穂期まで継続した日長、温度の処理が水稲の生育と形態に及ぼす影響. 日作紀 39 別号 1: 143—144.
8. ——— 1970. 水稲葉の光合成におよぼす環境の影響. 日作紀 39: 370—375.
9. 寺尾 博 1940. 水稲冷害の生理学的研究(予報) 第1報 水稲冷害の生理学的研究の意義並に方法に就いて. 日作紀 12: 169—176.
10. MILLER, E. C., 1938. Plant physiology. McGraw-Hill Book Co.

Growth Responses of Rice Plant to Environmental Conditions

I. The effects of air-temperatures on the growth at vegetative stage

Kanoe SATO

(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai)

Summary

A japonica var. Norin-17 and a indica var. IR-8 were grown in the growth chambers at 35-30, 30-25, 25-20, 20-15, 15-10°C day (12 hr)—night (12 hr) temperatures, respectively, under natural light intensity. Three times of sampling were taken at 10 days interval. The results obtained are as follows.

1) Plant height and leaf emergence rate were higher with the higher temperatures. The optimum temperature for tillering was a little lower than for plant height and dry matter production, the tillering ability (tiller number/leaf number of main stem) being highest at 25-20°C.

2) The dry matter production was greatest at 30-25° at the early growth period for both varieties, being followed by 25-20, 35-30, 20-15 and 15-10°C in order. At the later stages, the growth at 25-20° gradually increased, subsequently becoming highest in IR-8. 35-30° seemed to be too high for growth and the lower temperatures than 20-15° significantly decreased growth. In the regime of this experiment, the optimum for growth were 25~30° day and 20~25° night temperatures.

3) T/R and LB/LS ratios decreased with the decrease of temperature, with the exception of 15-10° where T/R ratio was higher.

4) Leaf number and leaf area per plant changed parallel with the dry matter production. The density thickness of leaf increased with decrease of temperature. The dry matter percentage of leaf was low at the optimum temperature for growth.

5) RGR of rice plant was controlled firstly through RLGR and secondly through NAR, both being declined with the advancement of growth especially sharply when the temperature increased.

6) The growth of IR-8 was greater than Norin-17, probably due to its greater seed size and greater seedling at the start of experiment, since RLGR and NAR during the temperature treatments were not significantly higher in the former variety.