

大気湿度が水稻の生育ならびに生理に及ぼす影響

第7報 種々の気温における幼植物の生長と乾物生産に及ぼす大気湿度の影響

平井源一・中條博良*・田中修**

平野高司*・大森雅代

(大阪学院大学・*大阪府立大学農学部・**甲南大学理学部)

1991年10月31日受理

要旨 : 昼間における大気の相対湿度 60% 区 (低湿区) と 90% 区 (高湿区) の 2 区を気温 22/18°C (昼温/夜温) (低温), 28/24°C (適温), 34/30°C (高温) のそれぞれの温度条件について設け, これらの条件で 3 葉期の水稻を 10 日間水耕栽培し, 種々の気温で乾物生産に及ぼす大気湿度の影響を検討した。

乾物重増加量は, 低温および適温では高湿区の方が, 高温では低湿区の方がそれぞれ大きかった。また, このような湿度の影響は, 低温および高温では地上部よりも根部において大きかった。その結果, T-R 率は低温では低湿区が, 高温では高湿区が大きく, 適温では両区間の差は小さかった。RGR および NAR は低温あるいは適温では高湿区が低湿区より大きかったが, 高温では高湿区が著しく小さかった。

以上の結果から, 水稻幼植物の生長と乾物生産に及ぼす大気湿度の影響は気温によって異なることが明らかになった。

キーワード : 乾物生産, 光合成速度, 根数, 水稻, 相対湿度, T-R 率。

Studies on the Effect of the Relative Humidity of the Atmosphere on the Growth and Physiology of Rice Plants VII. Effect of ambient humidity on the growth and dry matter production at various temperatures : Gen-ichi HIRAI, Hiroyoshi CHUJO*, Osamu TANAKA**, Takashi HIRANO* and Masayo OMORI (*Osaka Gakuin University, Suita 564, Japan*; **The College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai 591, Japan*; ***Department of Biology, Faculty of Science, Konan University, Kobe 658, Japan*)

Abstract : The effect of relative humidity (RH) on the growth and dry matter production of rice seedlings was investigated at the early vegetative stage. Plants were grown for 10 days under 60 or 90% RH at 12-hr day/12-hr night temperatures of 22/18 (low), 28/24 (moderate) and 34/30 (high) °C. Dry matter production of the plants grown at 90% RH was higher at low and moderate temperatures, but much lower at high temperature than that of the plant grown in 60% RH. The increase of root dry weight was more influenced by RH than that of the top dry weight. Thus, the relative value of top weight to root weight (T-R ratio) of the plant grown under 90% RH decreased at the low temperature, but increased at the high temperature, as compared with that of the plant grown under 60% RH. At the moderate temperature, T-R ratio of the plant grown in 90% RH was almost the same as that of the plant grown in 60% RH. These results indicate that the effect of humidity on growth and dry matter production must be considered in association with the temperature.

Key words : Dry matter production, Photosynthetic rate, Relative humidity, Rice, Top-root ratio (T-R ratio).

大気湿度と水稻の光合成速度との関係については多くの報告がみられるが^{2-9,20)}, 大気湿度が水稻の乾物生産に及ぼす影響に関する報告は極めて少ない。

佐藤¹⁸⁾ は高湿度条件では低湿度条件よりも水稻の乾物生産が増大すると報告しており, 川満ら¹⁰⁾ も陸稲を用いた実験で同様な結果を得ている。著者ら^{2),3)} も大気湿度が, 水稻幼植物の乾物生産に及ぼす影響について調べ, 光合成速度および乾物生産速度は相対湿度によって異なり, 気温 28°C では相対湿度 90% 区の方が 60% 区よりも大きいことを明らかにした。一方, 著者らは既報⁶⁾ において, 大気湿度が水稻の光合成および葉温に及ぼす影響を 24°C, 28°C, 32°C, 36°C の気温で調べ, どの気温でも葉温は気温よりも低く, 葉気温差は気温が高いほど大き

く, 相対湿度 90% 区では葉気温差は 60% 区に比べて小さいことを明らかにした。このように気温が等しくても, 大気湿度によって葉温は異なり, さらに, 水稻のみかけの光合成速度と葉温の関係はほぼ 28°C~30°C を頂点とする放物線に近い曲線を示し, 低温および適温側における相対湿度 90% 区の曲線は 60% 区におけるよりも高いと考えられる。したがって, 大気湿度が乾物生産に及ぼす影響は気温を異にして検討する必要がある。本研究では種々の気温における水稻の乾物生産に及ぼす大気湿度の直接的な影響を明らかにするために, 幼植物について比較的短期間 (10 日間) の影響を調べた。

材料と方法

供試品種は晴々である。アクリル製の発芽板の間隙 (2 mm) 上に催芽種子をまき、水耕液 (木村氏 B 液) を入れた容器 (2 l 容量) に発芽板を浮かべ、昼/夜の気温を $28/24 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度を $75 \pm 3\%$ に制御した人工気象室で栽培した。播種後 8 日目にアクリル製の栽培箱 (30×30×20 cm) に浮かべた発泡スチロール板に 2.2 cm の間隔で幼植物を移植した。水耕液の交換は 2 日ごとに行い、pH は毎日 5.2 に調節した。水耕液には酸素を附加した蒸留水を用いた。人工気象室内の日長は 12 時間とし、照度は 30~35 K lx であった。なお、光源には陽光ランプ (東芝 LD 400) を用いた。風速は草高より 5 cm 上方の人工気象室中央で 0.5 m s^{-1} であった。人工気象室の気温および相対湿度の制御は水稻が最も繁茂している高さに吊下型熱電対乾湿度計を設置して行った。

大気湿度の処理として、昼間の相対湿度が 60% 区 (低湿区) と 90% 区 (高湿区) の 2 区 (夜間は共に 75%) を、昼/夜の気温が $22/18^\circ\text{C}$ (低温)、 $28/24^\circ\text{C}$ (適温)、 $34/30^\circ\text{C}$ (高温) の 3 条件について設けた。なお、夜間の相対湿度を両区同じにしたのは、湿度が異なると、呼吸強度が異なり、乾物生産に影響を及ぼすからである⁶⁾。処理は 3 葉期から 10 日間行い、1 区は 120 個体とした。処理開始後 0、5、10 日目に各湿度区からそれぞれ 40 個体ずつサンプリングした。地上部と根部の乾物重は、40 個体のうちの 30 個体を 10 個体ずつ 3 組に分け、各組ごとに常法³⁾により求めた。さらに、残りの 10 個体について葉齢、葉面積、草丈、根数、平均根長ならびに最長根の中央部の根径を測定した。調査は何れも 2 反復行った。なお、処理開始後 5 日目と 10 日目の結果は極めて類似の傾向を示したので、ここでは 10 日目の結果のみを報告する。

結 果

1. 乾物生産

処理開始日から 10 日間における個体の乾物増加量は、第 1 図に示すように、総乾物重、地上部乾物重および根部乾物重の何れにおいても気温 $28/24^\circ\text{C}$ では昼間の相対湿度 90% 区の方が 60% 区よりも大きく (有意水準 5%)、 $34/30^\circ\text{C}$ では逆に 60% 区の方が大きかった (有意水準 5%)。 $22/18^\circ\text{C}$ では、有意差はないものの 90% 区の方が大きい傾向があった。

次に昼間の相対湿度による地上部と根部の乾物重

の増加程度の差異を比較するために、相対湿度 60% 区の乾物増加量に対する 90% 区の乾物増加量の相対値 (%) を第 2 図に示した。90% 区は、気温 $28/24^\circ\text{C}$ では地上部と根部でほぼ同程度であったが、 $22/18^\circ\text{C}$ では地上部より根部の方が大きかった。一方、 $34/30^\circ\text{C}$ では 90% 区の方が小さく、根部においてその傾向が大きかった。以上より、昼間の大気湿度が乾物生産に及ぼす影響として、乾物増加量は $22/18^\circ\text{C}$ の低温および $28/24^\circ\text{C}$ の適温では高湿度条件で大きく、 $34/30^\circ\text{C}$ の高温では低湿度条件で大きいことが分かった。さらに、このような湿度の影響は低温および高温では地上部より根部において大きいことが明らかになった。

2. T-R 率

次に地上部と根部の乾物重の比 (T-R 率) をしらべた (第 1 表)。処理開始後 10 日目の T-R 率は低温より高温の方が大きかった。相対湿度についてみると、気温 $22/18^\circ\text{C}$ では相対湿度 60% 区の方が 90% 区よりも大きく (有意水準 5%)、 $28/24^\circ\text{C}$ では両区間に有意差がなく、 $34/30^\circ\text{C}$ では 90% 区の方が 60% 区よりも大きかった (有意水準 5%)。これは、根部の乾物増加量が気温 $22/18^\circ\text{C}$ では相対湿度 90% 区の方が、気温 $34/30^\circ\text{C}$ では 60% 区の方が大きかったためである。

3. 葉齢、葉面積、草丈、根数、平均根長、根径

結果を第 2 表に示した。気温 $28/24^\circ\text{C}$ では、葉齢と根数は相対湿度 90% 区の方が 60% 区よりも大きく、その他の形質では両区間に有意差がなかった。これに対して、 $34/30^\circ\text{C}$ では平均根長を除いて他の形質は何れも 60% 区の方が大きかった。 $22/18^\circ\text{C}$ では、草丈は 60% 区の方が大きかったが、その他の形質では、相対湿度間に有意差がなかった。

4. 乾物増加速度

乾物増加速度を相対生長率 (RGR) と純同化率 (NAR) で示した (第 3 図)。RGR, NAR の両者ともに気温 $22/18^\circ\text{C}$ および $28/24^\circ\text{C}$ では、相対湿度 90% 区の方が 60% 区よりも大きかった。 $34/30^\circ\text{C}$ では、60% 区は RGR, NAR とともに $28/24^\circ\text{C}$ とほぼ同程度であったが、90% 区は $28/24^\circ\text{C}$ よりも著しく小さかった。また、 $22/18^\circ\text{C}$ から $34/30^\circ\text{C}$ の間における RGR, NAR の変動は 90% 区の方が 60% 区よりも大きかった。

考 察

本研究では、葉身の形態的变化のような長期間に

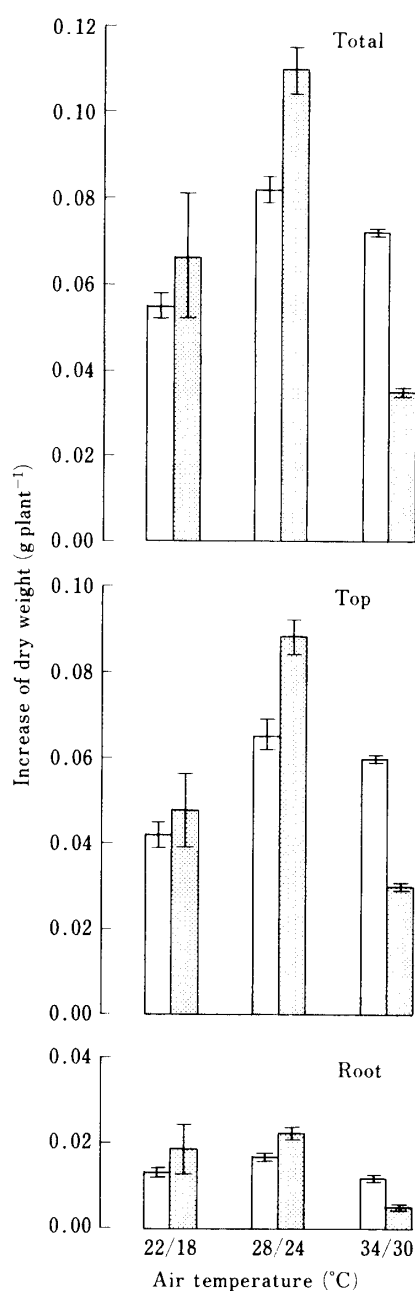


Fig. 1. Effect of relative humidity on dry weight of rice seedlings grown at different temperatures. Bars indicate $2 \times \text{SD}$.

□ : 60% RH ▨ : 90% RH

における大気湿度の影響^{4,16,17)}をさけて、大気湿度が水稻の乾物生産に直接及ぼす影響を検討するため、短期間 (10 日間) の昼間に湿度処理を行った。その結果、水稻幼植物における比較的短期間の乾物生産に及ぼす昼間の大気湿度の影響は温度によって異なることが明らかになった。このような結果が得られたことについて考察する。

水稻におけるみかけの光合成速度は気温が 28°C の場合には高湿度で高く、36°C では高湿度で低く、

Table 1. Effect of relative humidity on the T-R ratio of rice seedlings grown at different temperatures for 10 days.

| Relative humidity (%) | T-R ratio | | |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | 22/18°C | 28/24°C | 34/30°C |
| 60 | $3.50 \pm 0.18^*$ | 4.03 ± 0.29 | $4.52 \pm 0.05^*$ |
| 90 | $2.71 \pm 0.25^*$ | 3.89 ± 0.16 | $4.88 \pm 0.22^*$ |

* Significant at the 5% level of probability between the plants grown under 60% and 90% humidity.

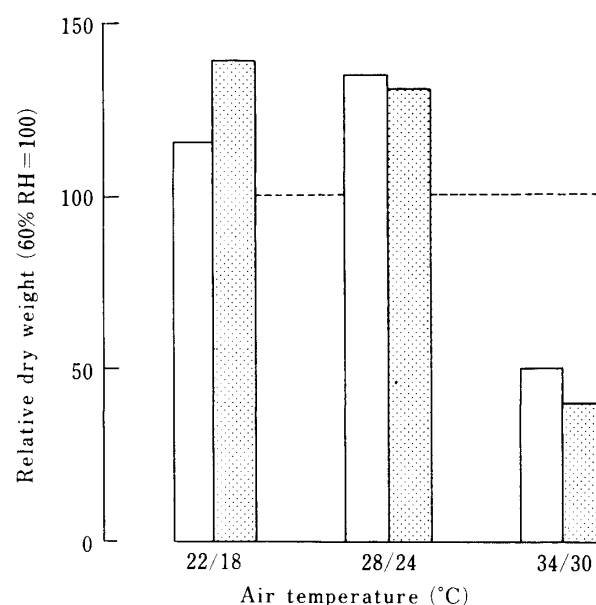


Fig. 2. Effect of high humidity (90% RH) on the relative dry weight of the top and root of rice seedling.

□ : Top ▨ : Root

24°C と 32°C では湿度による差が小さかった⁶⁾。同一気温における葉温は高湿度では低湿度よりも高く、さらに、水稻におけるみかけの光合成速度の最適葉温はほぼ 28°C~30°C であり、同一葉温における光合成速度は低温側から適温では高湿度は低湿度より高かった⁶⁾。したがって、本研究で得られた 3 段階の気温での昼間の相対湿度による乾物生産の差異は、上記の相対湿度によるみかけの光合成速度の変化の傾向と密接に対応している。さらに、RGR と NAR は、低温あるいは適温では高湿度の方が低湿度より大きく、高温では、その逆に高湿度が低湿度より小さかった (第 3 図)。このように種々の気温における相対湿度による RGR, NAR の変動の様相も既報⁶⁾の光合成速度の変化の様相と類似していた。

なお、気温 34/30°C の場合、相対湿度 90% 区と 60% 区で乾物生産に非常に顕著な差が認められた。

Table 2. Effect of relative humidity on the growth of rice seedlings grown at different temperatures for 10 days.

| Temperature (°C) | Relative humidity (%) | Plant age | Leaf area (cm ²) | Plant length (cm) | Root number | Average root length (cm) | Root diameter (μm) |
|---------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------|
| 22/18 | 60 | 5.1±0.09 | 11.1±0.75 | 30.1±1.00* | 19.1±1.30 | 15.0±0.92 | 310.8±45.3 |
| | 90 | 5.1±0.07 | 10.5±0.97 | 29.0±1.15* | 20.0±2.21 | 15.6±1.44 | 314.0±55.3 |
| 28/24 | 60 | 5.8±0.12* | 16.4±1.93 | 33.7±1.02 | 22.6±2.01* | 14.7±1.47 | 340.2±37.8 |
| | 90 | 6.0±0.07* | 17.1±1.32 | 34.4±1.67 | 25.8±1.80* | 14.8±1.14 | 386.4±49.7 |
| 34/30 | 60 | 6.1±0.12* | 14.2±1.25* | 32.3±2.17* | 21.5±2.74* | 15.0±1.50 | 335.2±36.7* |
| | 90 | 5.6±0.17* | 11.7±1.16* | 30.8±1.13* | 16.7±3.58* | 15.4±1.44 | 284.5±27.9* |

* Significant at the 5% level of probability between the plants grown under 60% and 90% humidity.

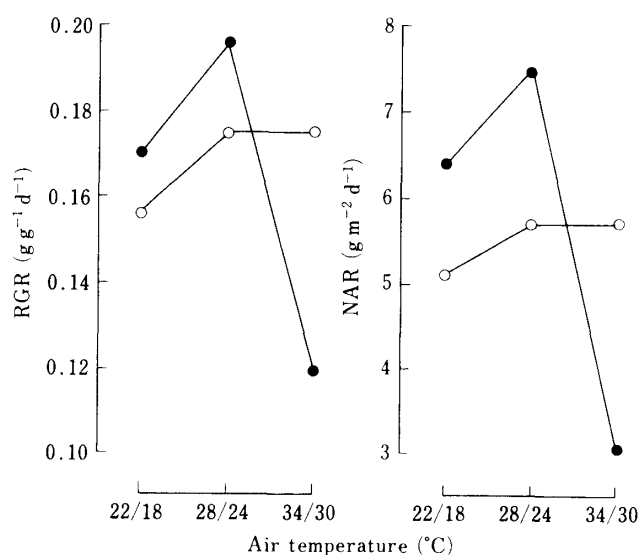


Fig. 3. Effect of relative humidity on RGR and NAR of the rice seedlings grown at different temperatures.

○: 60%RH, ●: 90% RH

この主要な原因は湿度 90% 区では、葉温が高くなりみかけの光合成速度が最適葉温から遠ざかったためであろうが、本報では処理開始時における水稻が幼植物であったため、高温・高湿度の効果が生長に強く現れたものと考えられる。

前報⁵⁾において、乱流理論に基づく空気力学法により求めた水稻個体群のみかけの光合成速度は、気温 34°C では相対湿度 60% より 90% に変更すると、僅かに上昇することが認められた。これは、本報の乾物生産における傾向と異なっている。この原因は、前報⁵⁾における光合成速度の測定が、湿度変更後 2 時間という極く短期間であるのに対し、本報の乾物生産量が 10 日間という、より長い時間をかけた結果であるためと考えられる。

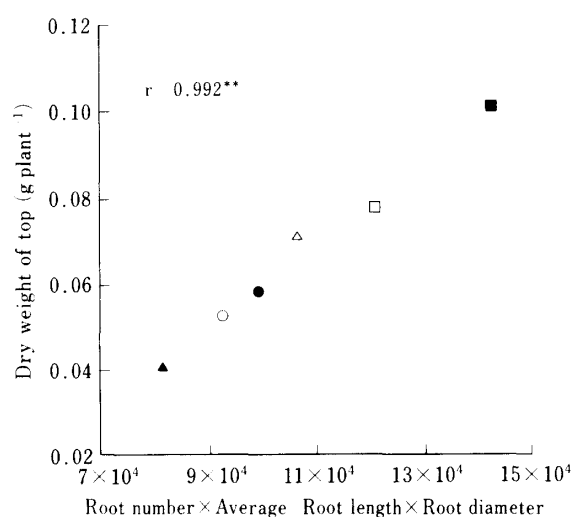


Fig. 4. Relationship between the growth of root and the dry weight of the top of rice seedlings grown at different humidities and temperatures.

○●, □■, △▲: 22/18, 28/24 and 34/30°C at the relative humidities of 60% (open symbols) and 90% (solid symbols), respectively.

**: Significant at 1% level.

根の生長を表す指標としては、種々な方法が用いられている^{1,11-13)}。著者らは、指標として処理終了時の根数×平均根長×根径を用い、処理終了時の地上部乾物重との関係を調べた(第4図)。その結果、根数×平均根長×根径と地上部乾物重との間には高い正の相関関係($r=0.992$, 1%水準で有意)が認められた。したがって、種々の気温下で大気湿度を異にした場合にも、根の生長と地上部乾物重との間に密接な関連のあることが明らかとなった。

水稻の生長において、地上部と根部は密接に関連することが知られており^{14,19)}、また地上部の光合成量を増減すると、根の生長は地上部に比べ著しく大

きい影響を受けるといわれている¹⁵⁾。水耕栽培によって検討した本研究においても、大気湿度が乾物生産に及ぼす影響は地上部よりも根部で大きいことが認められた (第2図)。

以上から、種々の気温における水稻の乾物生産に及ぼす大気湿度の影響には光合成速度の変化が強く関与していると考えられる。また、その時の光合成の変化は根により大きな影響を及ぼすものと理解される。

引用文献

1. Bray, R.H. 1954. A nutrient mobility concept of soil-plant relationship. *Soil Sci.* 78: 9-22.
2. 平井源一・上野英司・山内明子 1981. 空気湿度が水稻の生育・乾物生産に及ぼす影響. *日作紀* 50 (別1): 153-154.
3. ———・高橋 誠・嶋村直樹・上野英司 1983. 大気湿度が水稻の生育ならびに生理に及ぼす影響. 第2報 大気湿度が水稻幼苗の乾物生産に及ぼす影響. *日作紀* 52: 259-265.
4. ———・———・田中 修・嶋村直樹・中山 登 1984. ————. 第3報 大気湿度が水稻の光合成速度に及ぼす影響. *日作紀* 53: 261-267.
5. ———・中山 登・北宅善昭・稲野藤一郎・中條博良・湊 公美・田中 修 1989. ————. 第6報 大気湿度が水稻模擬個体群の光合成速度に及ぼす影響. *日作紀* 58: 368-373.
6. ———・———・中條博良・田中 修・平野高司 1991. 水稻における葉温と光合成速度との関係. *近畿作物・育種研究* 36: 91-93.
7. 平沢 正・飯田幸彦・石原 邦 1988. 水稻葉身の拡散伝導度, 光合成速度に及ぼす葉の水ポテンシャルと空気湿度の影響の相互関係. *日作紀* 57: 112-118.
8. ———・———・——— 1989. 水稻葉身における空気湿度, 葉の水ポテンシャルの低下に伴う光合成速度の減少の主なる要因の検討. *日作紀* 58: 383-389.
9. 石原 邦・黒田栄喜 1986. 水稻葉身の光合成速度に対する空気湿度の影響. *日作紀* 55: 458-464.
10. 川満芳信・縣 和一 1987. 空気湿度がイネ科 C_3 , C_4 植物の光合成・物質生産に及ぼす影響. *日作紀* 56 (別2): 339-340.
11. 川島長治 1988. 水稻の根系形成に関する研究. 第3報 根の数, 長さ, 体積, 表面積の推移. *日作紀* 57: 26-36.
12. 川田信一郎・山崎耕宇・石原 邦・芝山秀次郎・頼 光隆 1963. 水稻における根群の形態形成について. とくにその生育段階に着目した場合の一例. *日作紀* 32: 163-180.
13. May, L.H., F.H. Chapman and D. Aspinall 1965. Quantitative studies of root development. I. The influence of nutrient concentrations. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 25-35.
14. 森 敏夫 1960. 水稻の根と地上部間の相対生長. *日作紀* 29: 69-70.
15. Murata Y.J. Iyama and T. Honma 1965. Studies on the photosynthesis of rice plant. *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan* 34: 148-153.
16. 佐藤 庚 1970. 水稻葉の光合成に及ぼす環境の影響. *日作紀* 39: 370-375.
17. ——— 1972. 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. *日作紀* 41: 388-393.
18. ———・大友健二 1976. 環境に対する水稻の生育反応. 第5報 温度と空気湿度, 光の強さの組み合わせに対する反応. *日作東北支部報* 19: 63-65.
19. 管 徹也・山崎耕宇 1988. 水稻の生育に伴う根の量的形質の変化および根量と葉の量との生長相関. *日作紀* 57: 671-677.
20. Tsunoda S. and M. Singh 1986. Photosynthetic efficiencies of rice under humid and dry conditions, as affected by varietal difference in leaf areal nitrogen content. *Jpn. J. Breed.* 36: 22-29.