水稻の葉色と気孔開度ならびにその日変化*

津野 幸人・山口 武視・面地 理・甲斐 宏一**

(鳥取大学農学部)

1990 年 11 月 7 日受理

要 旨: 浸潤試薬で示される水稻葉の気孔開度 (A) に関与する要因として、葉色板示度 (富士葉色カラースケール) による葉色 (c), 日射強度 (W), 飽差 (d) の 3 要因を取り上げ、これらで圃場条件での気孔開度の日変化を総合的に説明しようとした。

1988 年では慣行栽培の水稻 (品種: ヤマビコ) の上位第 1, 2 葉の日変化を, 1989 年には肥料条件を変えた試験区のヤマビコにつき上位第 1~4 葉の日中の気孔開度と葉色との関係を, 幼穂形成期から登熟期にわたって調査した。

朝夕の日射強度が 520 Wm^{-2} 以下の場合 ($d < 6 \text{ mmHg}$) は, A は W と c との 2 要因の関数として示され, $A = 0.0108W (0.19c - 0.40)$ という経験式を得た。

日中, 日射が 520 Wm^{-2} 以上の条件下で飽差を一定にとれば, 全期間にわたって A と c との間には高い正の相関関係が成立し, また, 葉色を一定にとれば, A は d と負の相関関係が認められ, その回帰式の勾配は各葉色とも 0.18 で $A = b - 0.18d$ で示された。この式の切片 (b) と葉色との関係は $b = 0.93c$ で近似できたので, 520 Wm^{-2} 以上の高日射条件下では, $A = 0.93c - 0.18d$ の経験式が導かれた。

これら 2 つの経験式より求めた計算値と実測値とは, 良好な適合を示し, A の日変化とも合致した。

葉色示度 3 以下の葉身は, 日中ではわずかしき気孔が開かず, 光合成が著しく低下することが推察され, 葉色を濃く保つことの必要性を強調した。なお, 葉身 N 濃度が葉色に反映する程度は時期により異なり, 出穂後に高まる傾向を認めた。

キーワード: 気孔開度, 浸潤試薬法, 水稻, 日変化, 日射強度, 飽差, 葉色。

Relation between the Leaf Color of Rice and the Stomatal Aperture Shown by the Infiltration Method with Special Reference to the Climatic Conditions: Yukindo TSUNO, Takeshi YAMAGUCHI, Osamu OMOJI and Kouichi KAI (*Faculty of Agriculture, Tottori University, Koyama, Tottori 680, Japan*)

Abstract: Rice plants (cv. Yamabiko) were cultivated in paddy field with different manure levels and were tested for variation in stomatal aperture by the infiltration method using a mixed solution of ethylene glycol and iso-butanol.

The relationship between climatic condition and stomatal aperture for the top-expanded and second leaves during the period from booting to ripening was investigated in 1988. In 1989 the relationship between the daytime stomatal aperture and leaf color of the upper four leaves from booting to ripening under varying manure leaves was investigated.

When solar radiation (W) was below 520 Wm^{-2} , stomatal aperture (A) could be expressed by the following empirical equation: $A = 0.0108W (0.19c - 0.40)$, where c is the index of greenness according to the FUJI leaf-color scale, which divides leaf color into seven stages from dark green to yellowish green.

Under high solar radiation of above 520 Wm^{-2} at around noon, A was controlled by two factors, the saturation deficit (d) and leaf color. Therefore, the empirical equation is as follows: $A = 0.93c - 0.18d$.

It was concluded that when the saturation deficit is low, greenish leaves are capable of maintaining a wider stomatal opening than yellowish green leaves. There was a higher correlation between leaf nitrogen concentration and the index of leaf greenness at the ripening stage than at the young panicle formation stage.

Key words: Infiltration method, Leaf color, Rice, Saturation deficit, Solar radiation, Stomatal aperture.

植物の気孔開度の測定については, いろいろな方法があるが, 最も手軽な方法として浸潤試薬法¹⁶⁾がある。中でも, イソブチルアルコールとエチレングリコールを一定割合で混合した試薬は, Schorn (1929) の考案したものを Dale が圃場条件で棉の

気孔開度の日変化の測定に適用^{2,3)}した。これに注目して津野ら^{20~22)}は多くの作物にこの方法を適用してきた。また, 石原ら⁷⁾が水稻に適用し, 気孔開度を表示できることを確認し, さらに上記浸潤試薬法で表示した気孔開度は葉身の水ポテンシャルと密接な関係があり, 飽差の大である午後に開度は減少する⁷⁾こと, また, 1 日のうちの最大気孔開度は葉身 N 濃度と高い相関があるが, 詳細に検討する

* 大要は, 第 189 回講演会 (1990 年 4 月) において発表。

** 現在は宮崎県立総合農業試験場。

と葉位, 生育時期で差異のあることを指摘している¹³⁾.

水稻の気孔開度の日変化については, すでに村田¹⁷⁾が検討を加え, 開度は早朝と夕刻は光に支配されるが, 日中光の強いときに閉じる傾向にあることより, 強光下では葉内水分に支配されることを推定した. また, それを裏付ける報告¹⁸⁾もある.

著者らは上記浸潤試薬を用いて圃場に生育する水稻の気孔開度を測定したとき, 午前の開度よりも, 午後が大である²³⁾場合のあること, また個々の葉身によって開度が異なり, 確たる一定の傾向を認め難い局面にしばしば遭遇した. ところが, 稲作診断の場で広く利用されている葉色板 (富士葉色カラースケール水稻用) で表示される葉色と気孔開度との間には密接な関係のあることを察知したので, この関係に焦点をしばって 1988, 1989 年の両年に種々の検討を加えた. その結果, 葉色のほかに日射, 飽差の条件を与えると水稻葉の気孔開度の動向を統一的に把握できること, さらに, 実際栽培の現場における葉色管理のあり方についての示唆を得たので本論文としてとりまとめた.

材料と方法

第 1 年目の 1988 年は気孔開度の日変化を克明にとらえるために茎の最上位にある完全展開葉 (第 1 葉), その次の葉 (第 2 葉) を対象として第 1 表に示した 1, 2 番の試験区について, 幼穂形成期より登熟後期までの間で雨天あるいは著しい曇天を避けた 20 日を選んで浸潤試薬を用いて葉身背軸側で中央部の気孔開度を測定した. 試薬の段階は Dale²⁾に準じてイソブチルアルコール 100% を No. 1 と

し, これに容量 % でエチレングリコール 10% を加えたものを No. 2, さらに 10% ずつ段階的に混合比を上げ 50:50 を No. 6 とした. 1 回の測定毎に 5 株を選び, 株の中での最高茎と次の高さの茎に着生した上位 2 葉を対象として各 10 枚を測定したのち, その平均値で開度を表示した.

第 2 年目の 1989 年は葉色と気孔開度との関係を確認するために, 葉色に幅広い変異の起こることが期待できる試験区 (第 1 表 3~6 番) を設定して, これら試験区的水稻について, 8 月 3 日より 9 月 12 日までの間で晴天日の 11 時より 12 時までと時間を定めて気孔開度を測定した. この測定では葉位別の葉色と気孔開度との関係を特に重視したので, 1 株の中より茎高の高い順に 5 茎を選び, 各茎の最上位完全展開葉より下に 4 枚の葉を測定対象とした. 各葉位 5 枚の平均値を 1 測定値として取り扱った. 測定値の変異係数は試薬段階 No. 1 以下では 60~80% もの大きな値を示したが, No. 1~2 では 35% 内外, No. 2 で 20% 内外, No. 3 以上になると 10~20% と低い値となり, 気孔開度が大きくなると測定者による視認差も少なかった. また, 気孔開度に及ぼす根の機能の役割を評価するため測定株の根は株ごと堀取って水洗したのち, 既報²⁴⁾の手続きにより呼吸速度を測定した.

1988 年は, 試験圃場 (13 a) の南東部の畔に気象観測用のポールを立て, 高さ 4 m の風速, 全天日射, そして 1.2 m 高での乾球, 湿球温度を 1 分ごとに自動計測し, データ・ロガーに記録した. 1989 年では, 全天日射を自動記録したほかに, 気孔開度の測定場所に近接した畔でアスман通風湿度計によって温・湿度を測定した.

第 1 表 実験材料の栽培条件 (品種: ヤマビコ)

番号	処理区	10 a 当り施肥量	移植日	出穂日	実施年
1	対照	元肥として稲わら堆肥 2 t と 化学肥料 (13-16-16) 30.8 kg.	6 月 7 日 (苗齢 4.5)	9 月 2 日	1988
2	深層追肥	元肥は対照区と同じ. 8 月 22 日に液肥 (10-4-8) 40 l を土中 12 cm に注入.	6 月 7 日 (4.5)	9 月 2 日	1988
3	実肥追肥	元肥を化学肥料 (13-16-16) 30.8 kg, 9 月 8 日に化学肥料 (16-0-20) 9.4 kg 施用.	6 月 8 日 (3.9)	8 月 30 日	1989
4	パーク施用	施肥は番号 3 と同じ. 広葉樹材パークを田植直後 2 t 施用.	6 月 8 日 (3.9)	8 月 30 日	1989
5	乾田直播	5 月 29 日, 7 月 7, 18 日に菜種油粕 (5-2-1) を各 40 kg, 9 月 2 日に同油粕を 30 kg.	5 月 10 日*	9 月 8 日	1989
6	無化学肥料 無農薬栽培	元肥として菜種油粕 (5-2-1) 50 kg と 堆肥 2 t を施用. 黒フィルムマルチ栽培.	6 月 15 日 (6.7)	9 月 8 日	1989

*: 播種日. 番号 1~4: 機械移植, 20.0 株 m^{-2} . 番号 6: 手植え, 17.6 株 m^{-2} .

第1図 気孔開度ならびに気象要素の日変化 (1988). 図中 () 内の数字は葉色示度.

●: 実測値, ○: 計算値 (本文 (1), (3) 式による).

結果と考察

1988年に測定した気孔開度の日変化20例のうち特徴的な変化を示す4例を第1図に示した. 同図の気孔開度を示す実線は測定値, 点線で結んだのは後述する数式によって求めた値である. 気孔開度の日変化曲線の形状は朝夕は日射強度に支配されるが, 日中の動向については飽差の小さい日は単頂曲線型 (8月2, 29日および9月8日) であり, 飽差が大である日 (8月5日) は午前より午後にかけて気孔開度が小さくなる傾向を示し, 風速 (V) との間には明確な関係がとらえられなかった. 第1図に比較的葉色の濃い葉の日変化を示したが, 葉色の薄い, すなわち葉色示度 (葉色板の No.) の低い葉の日変化は, 早朝に気孔を開いた後, 日射が強まった日中ではほとんど閉じた状態であることより, 水稻葉の気孔開度 (A) の日変化曲線は, 日射強度 (W) と飽差 (d) および葉色 (c) の3要因によってほぼその基本的な形状が決まると考えられた.

そこで, 全測定値を次の通りに日射を基準として2区分した. ①日射が0から520 Wm^{-2} までの測定値 (日の出から9時頃および15時頃から日没までの測定値が該当), ②日射が520 Wm^{-2} 以上の正午を中心とした測定値. この区分に従って, 気孔開度 (A) を目的変数とし, 日射 (W), 葉色 (c, 葉色示度), 飽差 (d, mmHg) を説明変数として重回帰分

析をおこない, その結果を第2表に示した (なお, 日射量520 Wm^{-2} によって区分した理由は後述する). また, 第2表で示した重回帰分析結果と対応して考察するために, 日射量が520 Wm^{-2} 以下の範囲での日射と気孔開度との関係を第2図にかかげた.

まず始めに, 日射量0~520 Wm^{-2} の範囲での重回帰係数を第2表でみると0.758**であり, 気孔開度に関して57.5% (寄与率) は上記3要因で説明できるという結果である. これら3要因のうちでは日射 (W) と葉色 (c) の標準偏回帰係数が飽差 (d) より大きく, 前2者の気孔開度への関与程度が大きいことがわかった. ここで, 第2図をみると, 日射が250 Wm^{-2} 以下では, 葉色に係わりなく A は W に比例している. 日射範囲を0~250 Wm^{-2} にとって, 同様に重回帰分析を行なうと, 重回帰係数は0.887**となり, この様な低日射段階では日射が強く気孔開度に係わっていることが標準偏回帰係数からうかがえる. さらに, 日射範囲を250~520 Wm^{-2} にとれば, 重回帰係数は0.810**となり, この範囲では日射よりも葉色による気孔開度への影響が強まっていることがわかった. これらより, 朝夕における水稻葉の気孔開度は低日射段階では日射のみの影響を強く受け, さらに一段と日射が高まると, 葉色, 日射双方の影響を受け, 飽差の影響度は低いといえる. しかし, この時刻では飽差が6

第2表 日射量 (W , Wm^{-2}), 葉色 (c) ならびに飽差 (d , mmHg) を説明変数とした気孔開度 (A) の重回帰分析.

日射区分 (Wm^{-2})	葉位*	重回帰式	標準偏回帰係数			重相関 係数	n	年
			W	c	d			
0-250	1, 2	$A = -0.444 + 0.009 W + 0.062 c - 0.037 d$	0.855	0.066	-0.139	0.887**	96	1988
250-520	1, 2	$A = -0.247 + 0.002 W + 0.795 c - 0.010 d$	0.186	0.830	-0.031	0.810**	113	1988
0-520	1, 2	$A = -2.046 + 0.004 W + 0.562 c - 0.036 d$	0.630	0.546	-0.109	0.758**	209	1988
	1, 2	$A = -0.256 + 0.000 W + 0.801 c - 0.086 d$	0.000	0.819	-0.236	0.875**	40	1988
520 以上	1, 2	$A = -1.427 + 0.001 W + 1.019 c - 0.113 d$	0.112	0.697	-0.370	0.881**	48	1989
(11-13時)	3, 4	$A = -0.887 + 0.001 W + 0.722 c - 0.092 d$	0.167	0.800	-0.333	0.870**	48	1989
	1-4	$A = -1.059 + 0.001 W + 0.870 c - 0.108 d$	0.132	0.771	-0.342	0.877**	96	1989

*: 最上完全展開葉を第1葉とする葉位. **: 有意水準 1% で有意.

第2図 日射 $520 Wm^{-2}$ 以下 (朝, 夕) での日射量と各葉色の葉身が示す気孔開度との関係 (1988).直線は, $250 Wm^{-2}$ 以下での日射量と最大の気孔開度との関係を表わす.

mmHg 以下であるので, 飽差の影響が強く発現しない条件におかれている点を念頭におかねばならない.

日射量が $520 Wm^{-2}$ 以上の段階で示した気孔開度についての重回帰分析の結果は, 第2表にみられる通り, 重相関係数で 0.870^{**} 以上の値であった. $520 Wm^{-2}$ 以下の場合と異なる点は, 標準偏回帰係数が示すごとく, 日射の気孔開度に及ぼす影響度は低く, 葉色の影響を最も強く受け, ついで飽差の影響を受けるという内容である. 群落内部にある第3, 4葉では日射の標準偏回帰係数が上位2葉よりやや大きい値を示すが, やはり葉色が最も高い値をとることに変わりはない. そこで, 日射量の多い段

第3表 日射量 $520 Wm^{-2}$ 以上の条件での各葉色における飽差 (d , mmHg) と気孔開度 (A) との回帰式.

葉色示度	回帰式	相関係数	n
5.6 ± 0.1	$A = 5.18 - 0.18 d$	-0.628^{**}	22
4.4 ± 0.1	$A = 4.05 - 0.18 d$	-0.590^*	17
3.7 ± 0.1	$A = 3.40 - 0.18 d$	-0.802^*	8

*: 有意水準 5% で有意, **: 同 1% で有意.

階での第1, 2葉の気孔開度は, 葉色と飽差のみによって左右されると仮定して, 次の手続きにより解析を進めた.

第2表の日射 $520 Wm^{-2}$ 以上の条件のうち1989年は葉色に差異が大きかったので, この年の第1, 2葉について, 葉色の類似したものを選び気孔開度 (A) と飽差 (d) との回帰を葉色別に求め, その結果を第3表に示した. 各葉色段階ともに回帰直線の勾配は 0.18 と一致しており, ただ式の切片のみが異なるという結果である. 切片 (b) と葉色との関係は, $b = 0.93c$ という原点を通る直線で近似できた. この切片は飽差 0 の時の最大気孔開度を示している. つぎに, こうした手続きで求めた数式上での最大気孔開度と実際の測定値が適合するかどうかを確かめることとする.

1988年, 1989両年の測定値のうち, 1-4葉に日射が $520 Wm^{-2}$ 以上与えられていて, かつ飽差の小さい条件 ($3 \sim 6$ mmHg) のものを選びだし, それらの葉色と気孔開度との関係を作図すると第3図の通りで, 回帰式は $A = 1.33c - 2.64$ であった. 第3図に第3表で得た切片を⊗印で記入し, その回帰式も点線で示した. 葉色が濃い側では両直線は接近するが, 葉色が薄くなると距離が遠くなる. 実測値では葉色示度 2.0 で気孔開度は 0 となっているが, この葉は早朝で 1.0 程度の小さな開度を示し,

第3図 日射 520 Wm^{-2} 以上、飽差 $3 \sim 6 \text{ mmHg}$ の条件下における葉色と気孔開度との関係 (1988, 89).

⊗: 第3表の回帰式の Y 切片.

その後、正午頃の測定では気孔を閉ざしており、気孔の開閉機能を失ったものではない。それ故に、 $A = 0.93c$ の線は各葉色の葉の最大開度の可能性を示すものと理解できる。日射が気孔開度の制限因子にならない条件においては、第3表の結果からして気孔開度 (A) は葉色 (c) と飽差 (d) の関数と考えて、一般式を次のごとく与えた。

$$A = 0.93c - 0.18d \quad (1)$$

さらに、低日射段階での気孔開度の最大値を推定するため、日射が $0 \sim 250 \text{ Wm}^{-2}$ の範囲で最大開度を示した点に沿って直線を第2図にあるごとく延長すると、それは $A = 0.0108W$ で示すことができ、これで最大開度が与えられるとした。また、当地で過去に測定した日本型品種の最大葉色示度は通常の場合 6.0 程度であったので、この葉色の示す最大気孔開度は $5.6 (= 0.93 \times 6)$ となり、第2図の直線式にこれを代入すると、この時の日射は約 520 Wm^{-2} となり葉色 6 の葉はこの日射で最大開度に達するものと推定された。そこで、この値を採用して第2表での日射区分を行なったのである。

すでに第2表で日射が低い段階での気孔開度は、日射と葉色の影響を強く受け、飽差の影響は弱いという結論を導いた。この前提にたつて、測定値が多く葉色 (c) の気孔開度 (A) に及ぼす影響が明確にとらえられるところの $400 \sim 500 \text{ Wm}^{-2}$ の範囲で、 $A = 0.93c$ から求めた最大気孔開度と実際の気孔開

第4図 日射 520 Wm^{-2} 以下の条件での気孔開度の実測値と計算値との関係 (1988).
図中の式は計算式.

第5図 日射 520 Wm^{-2} 以上の条件での気孔開度の実測値と計算値との関係 (1989).
図中の式は計算式.

度 (A) との比 ($A/0.0108W$) を算出した。この比と葉色 (c) との間には $r = 0.919^{**}$ ($n = 32$) という高い相関係数が得られ、回帰式は次のとおりとなった。

$$A/0.0108W = 0.19c - 0.40 \quad (2)$$

それ故に、日射 520 Wm^{-2} 以下の条件では、

$$A = 0.0108W (0.19c - 0.40) \quad (3)$$

(3) 式によって気孔開度は示されるとして求めた計算値と実測値とを対応させると第4図の通りである ($r = 0.822^{**}$, $n = 214$)。同図では、値のばらつきが

やや大きいが、測定葉の着生角度によって受ける日射量がそれぞれ異なっており、水平面で測定された日射との間に差異のあること、測定値の変異係数が大きいという点を考慮すれば、ほぼ満足すべき適合であるといえよう。

次に高日射段階での気孔開度を(1)式で計算し、実測値と対応させたのが第5図($r=0.880^{**}$, $n=50$)である。同図のとおり、各葉色の値とも1:1線上に分布しており、(1)式の有効性が証明された。さらに(1)、(3)式によって計算した気孔開度を第1図の日変化の実測値に対応させて破線で示してみると、両者はほぼ一致した。これらの結果によって、(1)、(3)式で気孔開度の日中における動向がほぼ説明できるといえる。

総合考察

植物の気孔は光の有無により開閉が起こることは古くから認められており、本調査でも第2図に示した通り、気孔開度は日射がほぼ 250 Wm^{-2} までは光強度に比例した。水稻栽培上での問題は、光が多く与えられたときに気孔開度が減少する点であって、これは気孔抵抗を増大して光合成速度の低下^{5,6,13,20})をもたらす。この主要因である飽差の増大により個葉の気孔が開度を減じるという現象は多くの研究結果^{3~6,8,9,11~15})で認められている。さらに、飽差の増大によって水稻群落からの蒸散が抑制される現象はすでに報告²³)した。

第2表の第1, 2葉が日射 520 Wm^{-2} 以上の条件で示す気孔開度は、日射を除外して葉色と飽差のみを説明変数として重回帰分析を行なうと、両年ともに重相関係数は 0.875^{**} であり、幼穂形成期から収穫前までの間で、葉色、飽差でもって気孔開度は77%説明できるという結果が得られたこと、さらに 520 Wm^{-2} 以下の低日射では日射と葉色が気孔開度を支配するという考え方のもとで、高日射条件 (520 Wm^{-2} 以上) では(1)式を、低日射条件では(3)式を用いて気孔開度の日変化のシミュレーションを行った。すなわち、日射の変化は第6図下段図のごとくに一定とし、飽差だけが破線で示したように午前にピークが現われる場合(同図左図)、同じく正午にある場合(同図中央図)、また、午後に現われる場合(同図右図)を想定し、葉色示度を3から6まで与えてそれぞれにつき計算した。第6図上段図でみられる通り、気孔開度の日変化は日射と飽差の変化にともなう様々なタイプを示すことがわかる。石原ら^{8,9)}による水稻葉の気孔開度の日変化の測定例を検討しても、気孔開度のピークの現われる時刻は一定していないが、日射と飽差が示されれば日変化のおおよその形状は説明できるのではあるまいか。また、第6図右図のごとき日変化は平沢・石原らの報告⁴⁾の図にもある。ここで重要な問題として指摘しておきたいのは、気孔開度と光合成速度が高い正の相関を持つ^{10,21)}点であって、本実験では葉色示度が2の葉は日中気孔をほとんど閉ざした

第6図 日射の変化を一定に与え、飽差の変化が異なる場合に各葉色(c)の葉が示す気孔開度の日変化(シミュレーション)。

第7図 正午前後における葉色と気孔開度との関係 (1989).

I: 8月8, 9日 ($d=5\sim 8$ mmHg), II: 9月10, 12日 ($d=7\sim 10$ mmHg).

ままであり、第6図でも葉色示度が3となった葉の気孔開度が一日中2.0以下で日変化しているという点である。著者らの別の実験²⁶⁾によれば、葉色3の葉身が相対湿度90%のもとで示す光合成速度は、品種ヤマビコ: 8.9, コシヒカリ: 12.5, 密陽23号: 5.6 $\text{mgCO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ と、品種間差が大きいものの、純光合成速度は著しく低下していた。

ところで、石原⁹⁾は、「出穂開花終了期までにおける水稻の上位4葉の葉位における葉身の気孔開度の相連を、葉色によって表されるエイジの差異によって説明するのは困難なように思われる」として、葉身のN、種々の無機塩類およびクロロフィルなどとの関係を究明する必要があることを指摘した。そして、葉身の窒素濃度と気孔開度の関係¹³⁾を検討し、各葉位の葉身N濃度と最大気孔開度の間には高い正の相関関係があったが、「葉身の窒素濃度が等しくても、下位葉は上位葉に比較して、また葉位が同じでも出穂後の水稻は出穂前の水稻に比較して、気孔開度の小さい傾向が認められた」と述べている。これらの点に注目して本実験の結果を検討しておきたい。

まず、葉色と気孔開度との関係についてみると、すでに第3図で飽差の低い状態における関係を示したが、さらに細部を検討するために第7図を作成した。同図(I)は穂ばらみ期のもので、(II)は登熟期のものであり、いづれも日射 600 Wm^{-2} 以上、飽差は $5\sim 10$ mmHg の条件下である。みられるごとく時期、葉位に関係なく気孔開度は葉色と高い正の

第8図 葉身N含有率と葉色との関係、
回帰式は葉身N 2.5%以下で計算。
 r_0 : 根の呼吸速度 ($\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$, 25°C).

相関を持ち、ほぼ同じ回帰式で示された。これは本実験の限りではなく、著者らの他の報告²⁵⁾においても環境条件をほぼ等しくとれば、葉位、時期に関係なく、気孔開度は葉色と高い正の相関を示したのである。また Taniyama et al.¹⁹⁾ もインド型水稻で葉色と気孔開度に高い正の相関のあることを認めている。

次に本実験における葉身N濃度と葉色との関係を第8図に示す。同図上段図は1988年の成績で出穂前(8月)と出穂後(9月)に分けて上位1, 2葉につき個々の葉のN濃度と葉色との関係を見たものである。全体の相関係数は $r=0.665^{**}$ であるが、葉身N%を2.5%以下の範囲とすると $r=0.673^{**}$ 程度となる。しかし、葉色示度4.5以上ではN%と葉色との間に相関は認められない。第8図下段図は、1989年の実験で、上位1~4葉をこみにして、同様に相関関係を見た。葉身N濃度が2.5%以下では $r=0.931^{**}$ という高い正の相関が認められるものの、やはり葉色4.5以上では両者の相関関係は

第4表 各表色系による葉色板 (富士葉色カラースケール) 示度の表示.

葉色示度	L*a*b*表色系 (CIE 1976)			XYZ 表色系			修正マンセル色票系		
	L*	a*	b*	Y	x	y	色相	明度	彩度
2	58.5	-20.7	45.2	26.6	0.378	0.470	3.8 GY	5.7	6.6
3	54.4	-18.6	40.4	22.4	0.375	0.462	4.1 GY	5.3	6.2
4	50.2	-17.4	36.4	18.6	0.371	0.457	4.4 GY	4.9	5.6
5	45.3	-16.3	31.2	14.7	0.364	0.449	4.9 GY	4.4	5.3
6	40.8	-15.3	26.2	11.8	0.355	0.440	5.2 GY	4.0	4.3

色彩色差計 (ミノルタカメラ, CR-221 b) で測定, CIE: 国際照明委員会.

成立しない. 著者らは別の実験²⁶⁾で葉色示度と葉身 N 濃度との相関を検討したが, やはり両者の相関係数は低く, 同じ材料でクロロフィル含量 (テスト値) と葉色との相関を見ると 3 品種 (ヤマビコ, コシヒカリ, 密陽 23 号) をこみにして, $r=0.901^{**}$ という高い相関係数が得られた. 言うまでもなく, 葉色示度は緑色程度を示すもので, クロロフィル含量と高い相関のすることは当然期待できるのであるが, 第 8 図の関係からみて同じ葉身 N 濃度でありながらも, それが葉色に反映しないのは N が葉緑素の形成に強く関与する場合と, そうでない場合とが存在することが推察できる. 葉身 N と葉色との関係を手元の資料で検討した結果, 分けつ期における場合と節間伸長期以後の場合とでは異なる回帰直線が得られ, 同じ葉身 N 濃度でも後者が高い葉色を示すことがわかった.

著者らは以前より根の呼吸活性が衰えると吸水が蒸散に追従できなくなり, 気孔が閉じて CO_2 の拡散抵抗が増大するとの立場をとり研究^{20,21,24,25)}を進めてきた. また, 葉面積当り根量を重視した研究¹⁾もある. 第 8 図下段図には測定 4 葉の着生していた個体の根の呼吸速度でもって葉身を記号分けしてある. 同図からは根の呼吸速度の高い株で葉色示度が大であるという関係は読み取れない. 本実験では第 3 図および第 7 図の結果が示すとおり, 葉色示度の高いものが同じ日射, 飽差の条件下で気孔開度が大であるという関係が強く表面にでてくるのであるが, 既述の通り葉色, 飽差でもって高日射条件での気孔の開閉程度は 77% 説明できており, 残された部分は根の吸水能力が関与しているのかも知れない. この検討は残された課題である.

気孔開閉の機作に関する仮説は様々に提起されているが, 本論文で示した葉色の濃い葉 (= 葉緑素の多い葉) で気孔がよく開くという現象をどの仮説が最もよく説明しうるのか, また, 低い葉身 N 濃度で濃い葉色を実現することができるか, など将来に

おいて究明を要する研究課題である.

さらに, 実用的見地からいえば, 登熟期において葉色を濃く保つことが望ましい点が指摘できる. しかし, 葉色と葉身 N 濃度との関係は品種間差が大きい²⁶⁾点を考慮すれば, 単なる N 追肥の問題に集約するのは危険であるという気がする. また, 本結果は 1 品種についてのものであるもので, 各地でそれぞれの品種について葉色と気孔開度との関係を把握されることを希望する次第である.

本実験で用いた葉色板の示度 (c) は濃緑から淡黄緑色へと 7 段階に水稻葉の緑色程度を表示したもので, 手軽に使用できる利点もあるが, 使用者による読み取り誤差も避け難い. 今後の葉色測定値との比較を厳密に行うため, 葉色示度を色彩色差計 (ミノルタカメラ, CR-221 b) で測定して, それを各表色系で第 4 表に示しておいた.

引用文献

1. Bunce, J. A. 1981. Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. *J. Exp. Bot.* 32: 629-634.
2. Dale, J. E. 1961. Investigations into the stomatal physiology of upland cotton. 1. The effects of hour of day, solar radiation, temperature and leaf water-content on stomatal behaviour. *Ann. Bot. N. S.* 25: 39-52.
3. ———— 1961. ———— 2. Calibration of the infiltration method against leaf and stomatal resistances. *Ann. Bot.* 25: 94-103.
4. 平沢 正・石原 邦 1978. 水稻の体内水分と環境条件との関係. *日作紀* 47: 655-663.
5. ————・飯田幸彦・——— 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.
6. ————・———・——— 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たる要因の検討. *日作紀* 58: 383-389.
7. 石原 邦・西原武彦・小倉忠治 1971. 水稻葉におけ

- る気孔の開閉と環境条件との関係. 第1報 気孔開度の測定法について. 日作紀 40:491—496.
8. ———・石田康幸・——— 1971. ———
第2報 気孔開度の日変化について. 日作紀 40:497—504.
9. ———・———・——— 1971. ———
第3報 異なった葉位の葉身における気孔開度およびその日変化の相違について. 日作紀 40:505—512.
10. ———・佐合隆一・———・牛島忠広・田崎忠良 1972. ——— 第4報 気孔開度と光合成速度との関係. 日作紀 41:93—101.
11. ———・———・——— 1978. ———
第5報 根群の一部を切除した場合の気孔開度の日変化. 日作紀 47:499—505.
12. ———・———・——— 1978. ———
第6報 水田の最周辺と内部に生育した水稻の気孔開度の日変化の比較. 日作紀 47:515—528.
13. ———・江原宏昭・平沢 正・小倉忠治 1978. ——— 第7報 葉身の窒素濃度と気孔開度との関係. 日作紀 47:664—673.
14. ———・平沢 正・飯田 修・木村昌久 1981. 水稻葉身の蒸散速度・気孔開度・気孔伝導度・木部の水ポテンシャルおよび葉の水ポテンシャルの日変化. 日作紀 50:25—37.
15. ———・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 54:458—464.
16. Molish, H. 1912. Das Offen-und Geschlossenein der Spaltöffnungen Veranschaulicht durch eine neue Methode (Infiltrations-methode). Z. Bot. 4: 106—112.
17. 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報 D9:1—169.
18. Stalfelt, M. G. 1955. The stomata as a hydrophotic regulator of the water deficit of the plant. Physiol. Plant. 8:572—593.
19. Taniyama, T., M. L. N. Rao, S. V. Subbaiah and K. Ikeda 1987. Cultivation and ecophysiology of rice plants in the tropics. II. Behaviour of stomatal aperture in some rice cultivars of India. Jpn. J. Crop Sci. 56:226—231.
20. 津野幸人 1975. 数種作物における光合成作用と蒸散作用の関連について. 日作紀 44:44—53.
21. ———・杉本秀樹 1981. 浸潤試薬法で示される気孔開度と光合成速度との関係. 鳥取大学農研報 33:126—132.
22. Tsuno, Y., H. Sugimoto and H. Fujiyama 1983. Determination of irrigation-time by the observation of stomatal aperture with the aid of infiltration method. Jpn. J. Crop Sci. 52:34—42.
23. 津野幸人・市村陽典 1985. 水稻群落の熱収支より求めた蒸発散量の生育に伴う変化の解析. 日作紀 54(別 2):154—155.
24. ———・山口武視 1987. 水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸速度との関係ならびに根の呼吸速度に関与する要因の解析. 日作紀 56:536—546.
25. ———・———・鉦口浩之 1989. 低夜温による水稻光合成の低下と根の活力との関係. 日作紀 58:598—604.
26. ———・———・森 裕市 1990. 登熟期における水稻葉の色彩と純光合成速度との関係の解析. 日作紀 59(別 1):214—215.