

イネ巻き葉品種における蒸散特性および水利用効率

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
巻/号	693
掲載ページ	p. 406-412
発行年月	2000年9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



イネ巻き葉品種における蒸散特性および水利用効率

谷本高広*・伊藤亮一
(新潟大学)

要旨: 葉身の巻く程度の異なる4品種 (C-115, コシヒカリ, コガネマサリ, アキヒカリ) を用いて, 蒸散特性および水利用効率に及ぼす巻き葉の影響について検討した。巻き葉の程度は, $\text{巻き葉率} = (1 - \text{巻いた状態の葉身の幅} / \text{葉身の幅}) \times 100$ として評価した。最も高い巻き葉率を示すC-115は, 個体当たり蒸散量で低い値を示した。また, 日平均巻き葉率と蒸散量の間には負の相関があり, 巻き葉率が高い品種ほど蒸散量は低い値を示した。このことから, 葉身が巻いているほど蒸散を抑制するものと考えられた。その原因として, 巻き葉率は気孔伝導度や葉温に影響しなかったことから, 葉面境界層伝導度の低下が考えられた。巻き葉率10%を境とし, 個葉の蒸散速度, 光合成速度および水利用効率と気孔伝導度の関係を見ると, 巻き葉率10%以上では10%未満と比べ, 気孔伝導度の増加に伴い, 蒸散速度の最大値が低くなることが示された。しかし, 光合成速度では, 巻き葉率の影響は見られなかった。巻き葉率の増加は, 蒸散速度を抑制するが光合成速度を抑制しないことにより, 巻き葉率10%以上では, 個葉の水利用効率は高い値を示した。個体当たりの水利用効率と蒸発要求量の間には負の相関がみられたが, C-115は同程度の蒸発要求量に対して高い水利用効率を示した。これは葉身が巻くことによって蒸散は抑制するが, 乾物増加は抑制しないためであった。

キーワード: イネ, 気孔伝導度, 光合成速度, 蒸散速度, 蒸発要求量, 巻き葉, 水利用効率。

乾燥地域での植物の生育にとって, 水の損失を防ぎ有効に利用することは, 大きな意味を持つと考えられる。蒸散を抑制する葉身の形態として, Stafelt (1956) と Parker (1968) は乾燥地域の植物は, 葉身が巻き込むことで蒸散を抑制することを紹介している。一方, イネ (*Oryza sativa* L.) でも水分が不足すると, 萎凋によって葉身が巻き込むことが観察される。Dingkuhnら (1989) は, 水不足条件下でのイネの葉身をクリップで止め, 葉身の巻き込みをさせなくすると, 水利用効率が低下することを報告している。また, その原因は蒸散速度が抑制されることによるとした。

ところで水利用効率は, 植物が水を有効に利用に関する指標であるが, 乾物増加量と蒸散量, もしくは光合成速度と蒸散速度の比によって決定される。従って水利用効率を向上させるには, 乾物増加量を高めるか蒸散を抑制する方法がある。しかしながら, 乾燥地域での栽培を考えた場合, 乾物生産を高めようとする, いくつかの問題がでてくる。例えば, 乾物生産を高める要素の一つとして葉面積の拡大があるが, アジア栽培イネとアフリカイネ (*Oryza glaberrima* Steud.) を比較した場合, アフリカイネでは旺盛な葉面積の拡大が, 水分消費を増大させるためにアジア栽培イネの方が水利用効率は高いとされている (Sumiら 1994)。また, 過度の肥料の施用も蒸発散量を増加させることが報告されている (Payne 1997)。このように葉面積や施肥量を増加させるといった, 湿潤な条件で乾物生産を高める方法は, 乾燥条件下では水分消費の増大を招いてしまい, 栽培を行ううえで不利になる。

谷本ら (1999) は, 湛水条件下のイネでも巻き葉の形質が一般栽培品種で広く観察されることを報告した。この一

般品種で見られる巻き葉の特徴は, 巻き葉の程度が異なっても葉身の水ポテンシャルに差は無く, 気孔開度も抑制されることも無かった (谷本・伊藤 1996)。従って巻き葉の特徴が, 蒸散を抑制に関与するものであれば, 葉面積の拡大や施肥によって乾物生産を増加させながら, 水分消費を低く抑えることが可能になると考えられる。

そこで, 本研究ではイネの巻き葉の特徴が, 水分生理的現象にどのような影響を及ぼすかの基礎的知見を得るために, 湛水条件下での蒸散に及ぼす影響及び水利用効率について検討した。

材料と方法

本研究では蒸散と水利用効率について個体と個葉で検討した。供試品種はいずれの実験もコシヒカリ, コガネマサリ, アキヒカリおよび湛水条件下でも葉身が巻くことが観察された中国由来のC-115を用いた。栽培は3kgの砂壤土を入れた1/5000aワグネルポットに1株1本植えとし, 基肥に硫酸, 過磷酸石灰, 塩化カリをそれぞれ1g, 1.1g, 0.3g, 追肥として移植後50日目に硫酸を0.9g施用して常時湛水条件で栽培した。各実験とも反復は5ポットで行った。

1. 個体あたりの蒸散量

個体あたりの蒸散量の測定は1995, 96年に行い, 上述した供試品種に加えてC-115の全ての葉身をクリップで伸ばした状態にしたものを用いた (以下この処理をクリップ処理とする)。クリップの取り付けは, 測定日の前日に行った。測定方法としては, 7月中旬から8月中旬の晴天日に, 午前7時から午後6時におけるポット重量の差し引

いた値から、イネを移植していないポットの減少量を差し引いて個体当たり蒸散量とした。また、同時に午前7・10、午後1・3・6時に最上位完全展開葉について葉身の巻き具合を示す巻き葉率を測定した。葉身の巻き具合を示す巻き葉率は、巻き葉率=(1-巻いた状態の葉身の幅/葉身の幅)×100を用いて算出し、パーセント表示した。葉身が背軸側に巻く場合は、巻き葉率に-1を乗して表記した。この1日5回の測定値を平均して、その絶対値を日平均巻き葉率とした。

2. 個葉の蒸散速度、光合成速度、気孔伝導度、水利用効率

1996年に上述した個体の蒸散量を測定したものと同様の個体を用い、個葉の蒸散速度、光合成速度、気孔伝導度、葉温を携帯式光合成測定装置(ADC社製SPB-H3)を用いて最上位完全展開葉を測定した。測定後、直ちに測定部位の巻き葉率を測定した。測定を行ったのは、7月から8月にかけてであり、時間帯としては午前10時から午後3時の間であった。その際の光合成有効放射、気温は、それぞれ $939 \pm 373 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $33.9 \pm 2.9^\circ\text{C}$ であった。また、チェンバーへの流入空気は、二酸化炭素濃度 $339 \pm 22 \text{ ppm}$ 、相対湿度 $29.9 \pm 12.8\%$ であった。個葉の水利用効率は、光合成速度の値を蒸散速度で除して求めた。

3. 個体あたりの水利用効率

1996年に各品種の出穂日から20日間の乾物増加量、積算蒸散量、水利用効率をC-115、コシヒカリ、コガネマサリ、アキヒカリおよびクリップ処理のC-115を用いて測定した。乾物増加量は、出穂時の乾物重と出穂後20日目の乾物重の差とした。また、その間の積算蒸散量を重量法で測定した。水利用効率は、乾物増加量を積算蒸散量で除して算出した。また、同時に小葉田ら(1993)が用いた、ろ紙蒸発計を用いて測定期間の蒸発要求量を測定した。

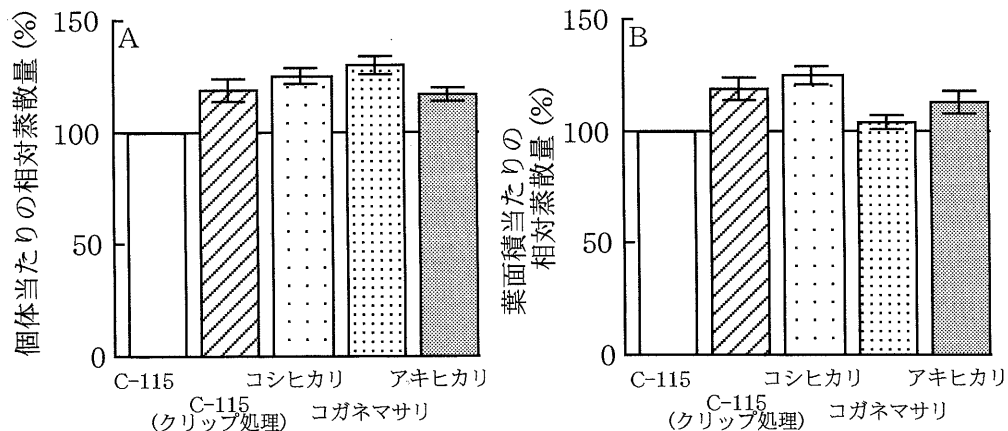
結 果

1. 蒸散特性

まず、各品種の日平均巻き葉率は、1995年の例ではC-115の $13.9 \pm 3.0\%$ が最も高く、以下コガネマサリ $9.9 \pm 5.2\%$ 、アキヒカリ $7.9 \pm 1.0\%$ 、コシヒカリ $5.9 \pm 3.2\%$ の順であった。また、この傾向は96年も同様であった。葉身の巻く方向としては、コガネマサリが背軸側であり、その他の品種では向軸側であった。

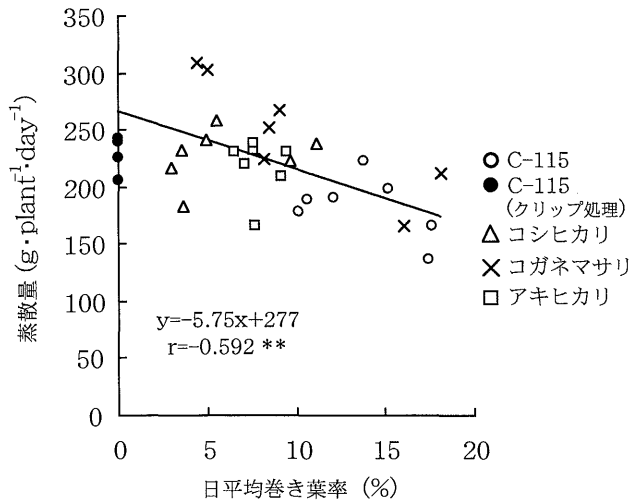
C-115の蒸散量を100とした場合の各品種の蒸散量を第1図に示した。測定は、1995、96年の両年に行ったが同様の結果であったため、ここでは1995年の結果を示す。それによるとコシヒカリ、コガネマサリ、アキヒカリの蒸散量は、個体当たり、葉面積当たりともにC-115よりも有意に高い値を示した(第1図A、B)。また、クリップ処理のC-115での蒸散量は、無処理のC-115に比べ有意に増加し、他の品種と同程度の値を示した(第1図)。加えて、葉面積当たりの蒸散量について詳しく見ると日平均巻き葉率が高い品種ほど、低い蒸散量を示す傾向が見られた。そこで個体当たりの蒸散量と日平均巻き葉率の関係についても見たところ、両者には有意な負の相関がみられた(第2図)。クリップ処理のC-115は、巻き葉率を0%と仮定して図中に示したが、ほぼ回帰直線上にあることが示された。また、葉身が背軸側に巻くコガネマサリでは、より葉身が背軸側に巻いているほど蒸散量は低い値を示した(第2図)。そこで以下の巻き葉率の値は、絶対値で評価する。

次に巻き葉率が、個葉の蒸散速度に影響するかを気孔伝導度や葉温への作用とともに検討した(第3、4図)。測定の際の巻き葉率は、C-115で $21.5 \pm 6.0\%$ 、コシヒカリ $2.3 \pm 6.2\%$ 、コガネマサリ $-7.8 \pm 11.0\%$ 、アキヒカリ $-0.3 \pm 3.3\%$ であった。巻き葉率に大きな変化幅が見られるのは、巻き葉率は、低葉位では低い値を示すが、葉位が高くなるに連れて高くなる傾向を示す(谷本・伊藤, 1997)。



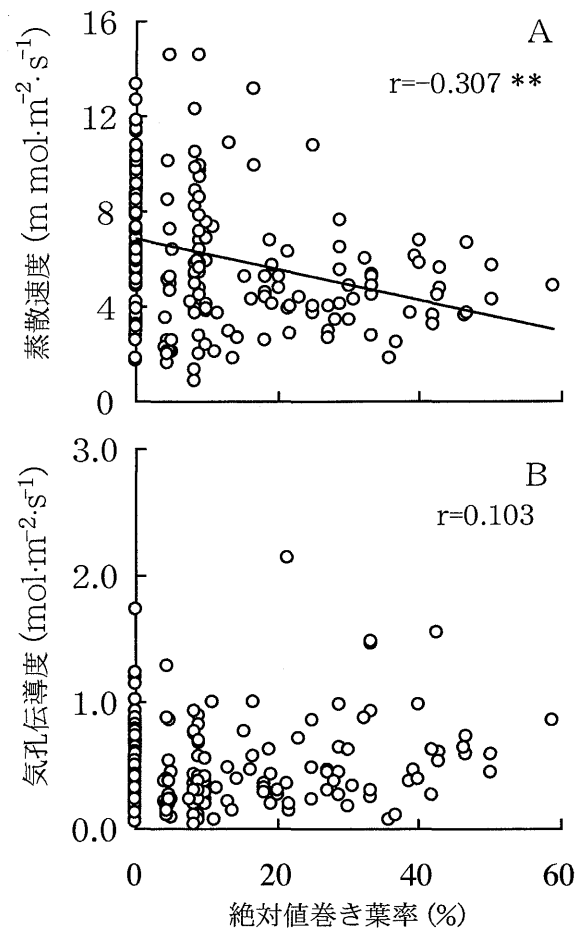
第1図 C-115を100とした場合の相対蒸散量。

AとBは、それぞれ個体当たりと葉面積当たりの値を示す。値は平均値±標準誤差を表す。



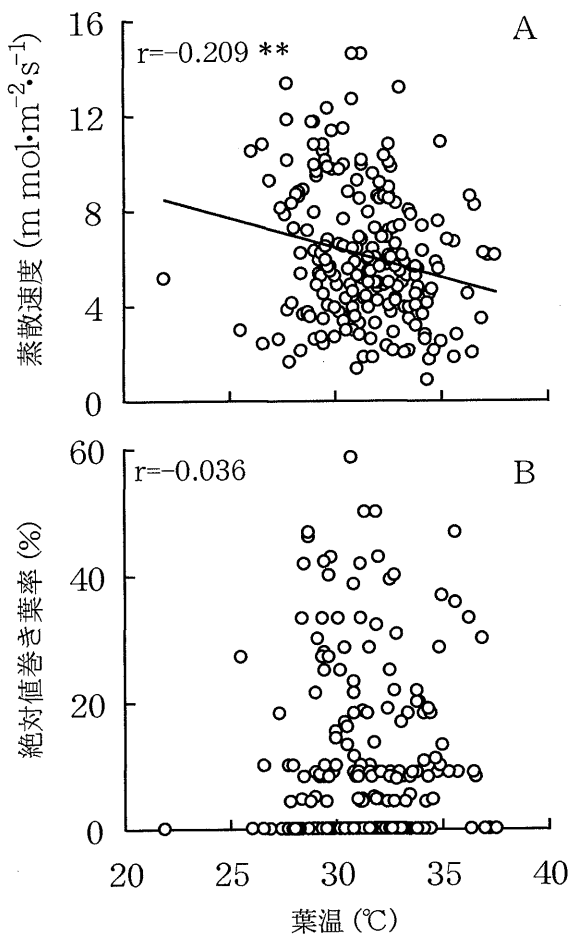
第2図 蒸散量と日平均巻き葉率の関係。

**は1%水準で有意であることを示す。回帰直線は、C-115、コシヒカリ、コガネマサリ、アキヒカリの値より求めた。



第3図 巻き葉率と蒸散速度 (A)、気孔伝導度 (B) の関係。

**は、1%水準で有意であることを示す。



第4図 葉温と蒸散速度 (A)、巻き葉率 (B) の関係。

**は、1%水準で有意であることを示す。

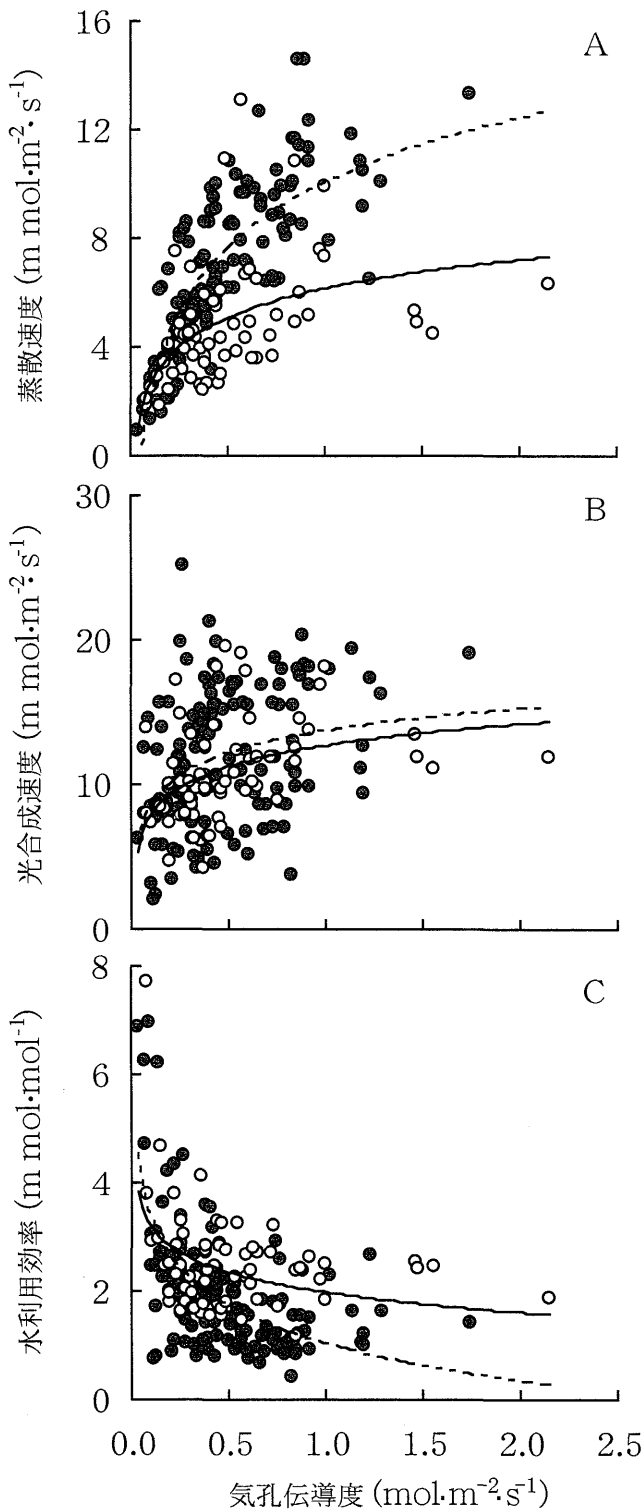
こうした葉位が違う葉身が含まれるためである。まず、巻き葉率と蒸散速度との間には、有意な負の相関がみられ、巻き葉率が高いほど蒸散速度は低い値を示した。しかし、

その関係は直線的というよりも、巻き葉率0%付近の蒸散速度は、0~15 m mol m⁻² s⁻¹の広い範囲の値をとりうるが、巻き葉率が高くなるに従い、低い値に収束するといった関係であった (第3図 A)。次に巻き葉率と気孔伝導度との関係について見てみると両者に明確な関係は認められなかった (第3図 B)。また、葉温と蒸散速度との関係では、有意な負の相関がみられたが、巻き葉率と葉温との間に一定の関係は認められなかった (第4図 A, B)。

2. 蒸散速度、光合成速度、水利用効率と気孔伝導度との関係

前項で示した巻き葉率と蒸散速度の関係において、有意な相関は得られたものの、その関係は直線では十分に説明できないことが示された (第3図 A)。このことから巻き葉率と蒸散速度の関係は、気孔伝導度を含めて検討する必要があると考えられた。そこで光合成速度と水利用効率を含めて気孔伝導度との関係について、品種に関わらず絶対値の巻き葉率の範囲を10%未満と10%以上に分けて検討した (第5図)。

まず、全体的にみると蒸散速度は、気孔伝導度の増加に伴い対数関数的に増加し、水利用効率は対数関数的に減少



第5図 気孔伝導度と蒸散速度 (A), 光合成速度 (B), 水利用効率 (C) の関係。
白丸, 黒丸は, それぞれ絶対値の巻き葉率が10%以上と10%未満を示す。

した (第5図 A, C)。光合成速度は, 蒸散速度ほど明瞭な関係では無かったが, 気孔伝導度の増加に伴い対数関数的に増加した (第5図 B)。こうした傾向は, 巻き葉率の高低に関わらず同様であった。しかし, 巻き葉率10%以

第1表 各品種の蒸散速度, 光合成速度, 水利用効率に関する重回帰分析。

目的変数	品種	標準偏回帰係数	
		気孔伝導度	巻き葉率
蒸散速度	C-115	0.534 **	-0.525 **
	コシヒカリ	0.784 **	-0.168 *
	コガネマサリ	0.611 **	0.402 **
	アキヒカリ	0.849 **	0.146
光合成速度	C-115	0.239	-0.172
	コシヒカリ	0.725 **	-0.342
	コガネマサリ	0.327 *	0.191
	アキヒカリ	0.586 **	0.149
水利用効率	C-115	-0.182	0.338 **
	コシヒカリ	-0.678 **	0.003
	コガネマサリ	-0.455 **	-0.170
	アキヒカリ	-0.441 *	0.163

気孔伝導度の値は, 対数値を用いて解析を行った。
*, **は, それぞれ5,1%水準で有意であることを示す。

上と10%未満で, 蒸散速度では上限値, 水利用効率では下限値が異なっていた。まず, 蒸散速度では, 巻き葉率が10%未満の場合, およそ $12 \text{ m mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ が上限であったが, 10%以上ではおよそ $8 \text{ m mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ が上限であった (第5図 A)。水利用効率では, 巻き葉率が10%未満でおよそ 1 m mol mol^{-1} が下限であったのに対して10%以上では, およそ 2 m mol mol^{-1} であった (第5図 C)。一方, 光合成速度では, 巻き葉率の高低による明瞭な違いは見られなかった (第5図 B)。

次に第5図に図示した値を品種ごとに蒸散速度, 光合成速度, 水利用効率をそれぞれ目的変数とし, 気孔伝導度と巻き葉率を説明変数として重回帰分析を行った (第1表)。その際, 葉身の巻く方向の影響を再確認するために絶対値の巻き葉率では評価しなかった。その結果, 蒸散速度では, 気孔伝導度が各品種で有意となり, 巻き葉率はC-115, コシヒカリ, コガネマサリで有意となった。各説明変数の効果としては, 気孔伝導度の増加が蒸散速度を増加させ, 巻き葉率の増加がその速度を減少させることが示された。コガネマサリは, 背軸側に葉身が巻いているため, 符号はプラスとなっている。光合成速度では, 気孔伝導度はコシヒカリ, コガネマサリ, アキヒカリで有意となったが, 巻き葉率では何れの品種でも有意にならなかった。水利用効率は, 気孔伝導度でコシヒカリ, コガネマサリ, アキヒカリで有意となり, 減少させる効果がみられ, 巻き葉率はC-115で有意となり向上させる効果が認められた (第1表)。

3. 個体当たりの水利用効率

個体当たりの水利用効率について, 高い巻き葉率を示す

C-115 とクリップ処理の C-115 で出穂から出穂後 20 日目までの積算蒸散量, 乾物増加量, 水利用効率について比較検討した (第 2 表)。まず, 両処理区の水利用効率をみると, 無処理区で 8.4 mg/g, クリップ処理区で 5.0 mg/g とクリップ処理によっておよそ 40% 低下した。次に積算蒸散量は, クリップ処理によって, およそ 50% の増加がみられた。一方, 出穂後 20 日目の乾物重は, 処理間に違いは見られなかった。このことから, C-115 は葉身が巻いていることが蒸散を抑制し, さらに乾物生産を抑制しないことによって水利用効率を向上させていることが示唆された。次に供試した 4 品種とクリップ処理の C-115 の個体当たりの水利用効率と蒸発要求量との関係を第 6 図に示した。それによると全体的に見ると水利用効率は, 蒸発要求量が増加するに伴い低下する傾向が見られた。しかし, 詳しくみると無処理の C-115 のみが, 同程度の蒸発要求量に対して高い水利用効率を示すことがうかがえた。そこで C-115 を省いたコシヒカリ, コガネマサリ, アキヒカリおよびクリップ処理の C-115 によって得られた回帰直線では決定係数 0.853 と C-115 を加えた場合の回帰直線よりも多くを説明することができた。このことから無処理の C-115 が他の品種およびクリップ処理の C-115 による回帰直線から大きく外れていると判断された。即ち, 巻き葉の形質を有する C-115 は, 他の品種およびクリップ処理の C-115 とは異なる直線で説明されるものと考えられた。

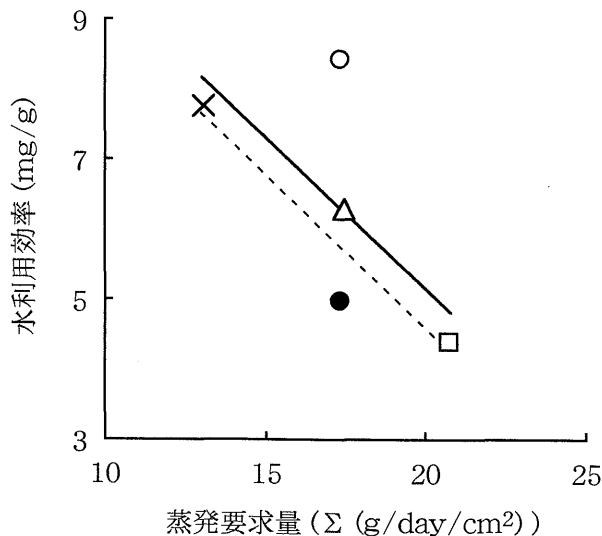
考 察

個体当たりの蒸散量と日平均巻き葉率の間には, 負の相関が見られ, 葉身が巻いているほど蒸散量は低下することが示された (第 2 図)。また, 高い巻き葉率を示す C-115 は, 他の品種に比べ低い蒸散量を示し, 更にクリップ処理の C-115 では, 無処理の C-115 に比べ有意に蒸散量が増加した (第 1 図)。このことから, イネでは葉身が巻くことによって蒸散を抑制していることが示唆された。また, 葉身が巻くことが蒸散を抑制する現象は, 葉身が巻く方向に関係なく, 絶対値の巻き葉率の大小によることが示唆された (第 2 図, 第 1 表)。イネにおいて巻き葉の特徴が, 蒸散を抑制することについて, O'Toole ら (1979) は人為的に葉身を巻かせると蒸散が低下するとし, この原因として葉身の上から光を投下した際にできる影の面積であ

る投影葉面積の減少および葉面境界層伝導度の低下によって, 蒸散速度が低下すると推察している。そこで O'Toole ら (1979) が, 巻き葉の蒸散抑制の原因として推論している投影葉面積の減少と葉面境界層伝導度の低下について, それぞれ検討したい。

まず, 投影葉面積の減少は, 葉身表面の光エネルギーの吸収の減少を通して蒸散の低下に作用すると考えられる。葉身の光エネルギーの吸収は, 葉温と密接に関係しているので (石原 1981), 葉温と蒸散速度, 巻き葉率との関係によって, ある程度の推測は可能であると考えられる。本実験において蒸散速度と葉温との間には負の相関が得られたが, 巻き葉率と葉温の間に一定の関係が見いだせなかった (第 4 図 B)。即ち, 蒸散の増加による葉温の低下は認められたが, 巻き葉率の増加が葉温に影響することはなかった。このことから, 巻き葉率の増加による投影葉面積の減少が葉面での受光量を低下させ, 蒸散が抑制されているのではないと推察される。

次に葉面境界層伝導度について検討する。一般に葉から大気への水蒸気の拡散は, 葉肉伝導度, 気孔伝導度, 葉面



第 6 図 蒸発要求量と水利用効率の関係。

印は, 第 2 図と同じである。実線と点線は, それぞれ全ての品種およびクリップ処理の C-115 による回帰直線 ($y = -0.0165x + 13.8$, $R^2 = 0.451$) と C-115 以外による回帰直線 ($y = -0.0165x + 13.4$, $R^2 = 0.853$) を表す。

第 2 表 積算蒸散量, 乾物増加量, 個体当たりの水利用効率。

品種	処理	積算蒸散量 (g)	乾物重 (g)		乾物増加量 (g)	水利用効率 (mg/g)
			出穂後 0 日目	出穂後 20 日目		
C-115	無処理	1861.7		28.5	15.7	8.4
	クリップ処理	2804.5 *	12.8	26.7 ns	13.9	5.0

乾物増加量は, 出穂後 20 日目と 0 日目の乾物重の差から求めた。水利用効率は, 乾物増加量を積算蒸散量で除して求めた。*は, t-検定により 5% 水準で有意差があることを示す。ns は, 有意差が無いことを示す。

境界層伝導度、乱流大気伝導度の4つの伝導度によって支配されている。この内、葉肉、乱流大気の両伝導度は、蒸散を考える場合には極めて小さいので除外すると、蒸散速度に関与しているのは、気孔伝導度と葉面境界層伝導度であると考えられる。しかし、同じ気孔伝導度であっても巻き葉率が高いほど蒸散速度は低い値を示した(第5図A)。従って巻き葉率の増加は、葉面境界層伝導度を低めることで蒸散を抑制するものと考えられる。

本実験では個葉の蒸散速度と光合成速度は、水蒸気や二酸化炭素の気孔内外への拡散速度によって評価した。ここで葉面境界層伝導度の低下によって、蒸散による水蒸気の大気への拡散が抑制されているのであれば、光合成速度における二酸化炭素の吸収も阻害されると考えられる。しかし、本実験では巻き葉率の高低は、光合成速度に影響していないことが示された(第5図B)。ここで本研究以外で、葉身の形態的特徴が、光合成速度に及ぼす影響を見た報告にはV字型葉のものがあるが(Sasaharaら1989)、V字型葉の単位葉面積あたりの光合成速度は、通常の形態を有するその交配親と違いは無いとした。巻き葉やV字型葉といった形態的特徴が、光合成速度を阻害しない原因として、光合成速度は二酸化炭素の気孔からの吸収だけによって決定されるのではなく、葉肉伝導度も大きく関係してることが考えられる(川満・縣1987)。本実験でも光合成速度と気孔伝導度の関係は、蒸散速度のそれよりも明確では無く(第5図A, B)、光合成速度は葉肉伝導度の影響を受けていると推測される。しかし、この点については本実験では十分に明らかにできなかったため、今後の検討が必要である。

高い巻き葉率を示す葉身で、個葉の水利用効率の下限値が上昇したのは蒸散速度が抑制され、それに加えて光合成速度は抑制されないことによると考えられる(第5図A, B, C)。また、個葉の水利用効率と気孔伝導度の関係をみると、気孔伝導度がおおよそ $0.25 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上のときに巻き葉率による影響が現れてくることが観測され、巻き葉の影響がみられる範囲が蒸散速度とほぼ同じであった。このことも蒸散速度の抑制によって水利用効率を向上させた根拠となるであろう。

次に個体当たりの水利用効率について検討する。本実験において全体的に見て水利用効率は、蒸発要求量の増加に伴い直線的に低下する傾向を示した(第3図)。水利用効率と蒸発環境の関係について足立ら(1996)は、イネの水利用効率は栽培地域によって異なったが、飽差で修正することによって違いが無くなるとした。また、要水量と蒸発計蒸発量の間には高い正の相関があるとされ、その関係は相関係数で0.931ときわめて密接であるとされている(上堂1990)。これらの報告から水利用効率や要水量は、蒸発環境の影響を強く受けていることが分かる。また、Maruyamaら(1985)は日本稲とインド稲の要水量が異なるのは、蒸散量の違いによることを報告している。このこと

から、蒸発環境は蒸散量の増減に作用することによって、水利用効率に影響すると考えられる。

一方、本実験での水利用効率と蒸発要求量の関係は、決定係数0.451と上堂(1990)が報告しているように、両者に密接な関係があるとは言い難い結果であった(第6図)。しかし、供試した4品種およびクリップ処理のC-115の内、C-115を除くことで水利用効率と蒸発要求量の関係は決定係数が0.853となり、得られた回帰直線に基づく割合が高くなった(第6図)。C-115は葉身が巻くことが、蒸散量を抑制することによって水利用効率を向上させていた(第2表)。従って蒸発環境に対する蒸散量の反応が異なっていたことにより、得られた回帰直線から外れる結果となったと考えられる。コガネマサリで巻き葉率の影響が顕著でなかったのは、巻き葉の特徴を示したのが、止葉を含めて上から2~3葉目までで、それより下位の葉位では、逆にほとんど巻かなかったためと考えられる。

矢吹(1985)は、面積が同じで形の異なるろ紙からの蒸発量を見た実験から、同じ葉面積であっても細長い葉の方が、気体の拡散を促進するとした。また、本実験で示した巻き葉の形態が蒸散を抑制することを考えると、葉身の形態的特徴が異なる場合、これを考慮に入れて必要があると考えられる。

本実験では個体の水利用効率について他の蒸発環境下での反応は示せなかった。巻き葉の蒸散抑制の効果が、どのような蒸発環境においても、みられるかどうかについては今後の課題である。しかしながら、本実験の範囲では、巻き葉の形態が蒸散を抑制して、水利用効率を向上させることが示されたと考えられる。

謝辞:本研究を遂行するに当たり、元中国水稻研究所研究員 玄松南博士には供試品種のC-115に関する生理生態的な情報を、東京大学農学部 石井龍一教授からはC-115の種子の提供をいただきました。また、本学学生の中野奈緒美さん、森一美さんには多大なるご助力いただきました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- 足立文彦・小葉田亨・有本雅幸・今木正 1996. 水稻水利用効率の地域・年度間比較. 第2報 島根県下3地域間・2品種間の比較. 日作紀 65: 173-180.
- Dingkuhn M., R.T. Cruz, J.C. O'Toole and K. Döffing. 1989. Net Photosynthesis, water use efficiency, leaf water potential and leaf rolling as affected by water deficit in tropical upland rice. Aust. J. Agric. Res. 40: 1171-1181.
- 石原邦 1981. 水とイオン. 熊沢喜久雄編. 朝倉書店, 東京. 78-108.
- 上堂秀一郎 1990. 水利用効率. 松尾孝嶺ら編, 稲学大成 第2巻 生理編. 農文協, 東京. 357-366.
- 川満芳信・縣和一 1987. 水稻個葉の光合成速度, 蒸散速度及び気孔伝導度における品種間差異. 日作紀 56: 563-570.
- 小葉田亨・塩野健児・武井利彰・勝部淳史・今木正 1993. 水田条件下における蒸発要求に対するイネ葉身水ポテンシャル反応. 第1報

- 生育にともなう変化. 日作紀 62: 9-16.
- Maruyama S., N. Kabaki N. and K. Tajima. 1985. Water consumptions in japonica and indica rice varieties. Jpn. J. Crop Sci. 54: 32-38.
- O'Toole, J.C., R.T. Cruz and T.N. Singh 1979. Leaf rolling and transpiration. Plant Sci. Lett. 16: 111-114.
- Parker, J. 1968. Drought-resistance mechanisms. In Kozlowski T. T. ed., Water Deficits and Plant Growth vol.1. Academic Press, New York. 195-234.
- Payne W. A. 1997. Managing yield and water use of pearl millet in the Sahel. Agron. J. 89: 481-490.
- Sasahara T., C. H. Cui and K. Seno 1989. Photosynthetic capacity and inheritance of V-type leaf in rice (*Oryza sativa* L.). Jpn. J. Breed. 39: 15-22.
- Ståfelt M.G. 1956. Morphologie und anatomie des blattes als transpirationsorganen. In Ruhland W. ed., Encycl. Plant Physiol. 3. Springer-Verlag, Berlin. 324-341.
- Sumi A., T. Katayama and W. Agata. 1994. Studies on agronomic traits of african rice (*Oryza glaberrima* Steud.). II. Dry matter increase and water use efficiency. Jpn. J. Crop Sci. 63: 105-110.
- 谷本高広・伊藤亮一 1996. イネ巻き葉品種における蒸散特性. 日作紀 65(別1): 222-223.
- 谷本高広・伊藤亮一 1997. イネの巻き葉の変化と環境条件の関係. 日作紀 66(別2): 219-220.
- 谷本高広・笹原英樹・福山利範・伊藤亮一 1999. イネの巻き葉の変異と土壤水分が制限された条件下での生理的意義. 日作紀 68: 552-560.
- 矢吹万寿 1985. 植物の動的環境. 朝倉書店, 東京. 1-200.

Effect of Leaf Rolling on Transpiration and Water Use Efficiency in Rice.: Takahiro TANIMOTO* and Ryoichi ITOH (Fac. of Agr., Niigata Univ., Niigata 950-2181, Japan)

Abstract: The aim of this study is to estimate the effects of leaf rolling on the transpiration, photosynthesis, dry matter production and water use efficiency (WUE), of four rice cultivars that differ in the degree of leaf rolling. Leaf rolling was assessed with a ruler as the leaf rolling rate (LRR). $LRR (\%) = (1 - RLW/FLW) \times 100$, where RLW and FLW were the width of the rolling and flattened leaves, respectively. Transpiration in Koshihikari, Koganemasari and Akihikari was significantly larger than in C-115, and the transpiration of C-115 was increased by unrolling of the leaves. There was a negative correlation between the transpiration and the LRR. These results suggest that the rolling of leaves inhibits transpiration. Among the leaves with the same stomatal conductance, leaves exhibiting more than 10% LRR transpired less than those exhibiting less than 10% LRR. However, photosynthesis was not influenced by LRR. These results indicate that WUE of a single leaf is improved by a higher LRR. The LRR had no effects on stomatal conductance and leaf temperature. Therefore, it is thought that the transpiration was decreased by leaf rolling through the decrease in the boundary-layer conductance. Comparable to the WUE of a single leaf, WUE per plant was improved by increasing LRR. Transpiration in normal C-115 was significantly increased by the unrolling of leaves. The dry matter in normal and the leaf-unrolled C-115, however, was not different until 20 days after heading, showing that WUE of normal C-115 was larger than that of the leaf-unrolled C-115. WUE was decreased by evaporative demand in all cultivars and the unrolled C-115. Under the same evaporative demand, however, WUE of C-115 was larger than that of other cultivars.

Key words: Evaporative demand, Leaf rolling, Photosynthesis, Rice, Stomatal conductance, Transpiration, Water use efficiency.