

茶樹の寒風害に関する研究(第1報)

異なる環境条件が吸水量・気孔開度に及ぼす影響

福 田 晨*

Akira FUKUDA

Studies on the Cold Wind Injury of Tea Plants (I)
Effects of the Different Environmental Factors on
Water Absorption and Stomatal Aperture

緒 言

一般に越冬作物には、低温に遭遇すると耐寒性が強くなる性質がある。茶樹においても厳寒期には耐寒性が最も強くなり、凍害発生の限界温度は、緑茶用品種で -7°C ～ -9°C と報告されている¹⁾。

山陰地方、とくに海岸部では凍害が発生するような低温に下がらなくても冬期季節風がよく当る茶園では葉枯れ、葉先枯れなどの被害が発生し、収量、品質が低下し、また幼木園では、早期成園化に障害となっている。この被害は低温に風を伴う場合に見られるので、筆者らは寒風害と定義し凍害と区別し、その発生機作についてはエバクを用いて実証した。原田は冬期における茶樹の葉枯れ現象は強風による葉からの水分奪取と、低温のため根からの水分供給が阻害されておこると推論している²⁾。

そこで本実験は、茶樹の寒風害の発生機作を水分生理の面から検討するために、先ず環境条件と吸水量、気孔開度の関係を調査した。なお寒風害の発生する冬期の茶葉の環境条件に対する反応をより明確にするために、6月～3月間、4～5時期についても測定をおこなった。

材料および方法

本実験は、1980年、'81年の2ヶ年島根大学農学部人工気象室でおこなった。供試材料は吸水量の測定については2年生さし木苗、気孔開度の測定は2年生切枝を用いた。品種はやぶきたである。

光、温度、および風を組合せ、6月～3月の間、吸水

量、気孔開度を測定した。光は照明、暗黒の2条件とした。照明の明るさは16,000～20,000 Luxである。温度は 2°C 、 12°C 、 16°C 、 22°C の4段階から時期によって2～3条件を選んだ。風は扇風機を人工気象室に持ちこみ、送風と無送風の2条件とした。風速は約5 m/secである。

1. 吸水量の測定

吸水量の測定は1,000 mlの枝付き三角フラスコに曲管メスピペットを取り付けた吸水計を用いておこなった。三角フラスコの気密性を保つために茶樹を取りつけた部分のすき間はワセリンで封じ、地下部は光をさえぎるためにアルミホイルで包んだ。茶樹をセットした吸水計を処理温度、暗黒、無送風条件下に3時間放置した後測定を開始した。また、照明条件下のものはさらに照明点灯後1時間放置し測定を開始した。

送風処理は、材料に個体差があること、および時間の経過とともに次第に吸水量が低下していくため1時間毎に送風、無送風をくり返し、吸水量を1時間毎に測定した。そして送風、無送風各々4時間、計8時間おこなった。実験の時期、温度条件は、6月(12, 16, 22°C)、8月(12, 16, 22°C)、9. 10月(12, 16, 22°C)、12月(2, 12°C)、2. 3月(2, 12°C)である。

2. 気孔開度の測定

気孔開度の測定は浸潤法でおこなった。浸潤液は第1表に示すように石原等の実験に準じておこなった^{5,6)}。すなわち、イソブチルアルコール90%、エチレングリコール10%の混合液にキシレンを混合した5段階の浸潤液を用いた。開度の判定は、葉の裏面に浸潤液を滴下し、浸潤の有無により6段階に表示した。そして吸水量の実験と

* 附属農場

第1表 浸潤液の組成と気孔開度

浸 潤 液	A	B	C	D	I	
(%) イソブチルアルコール	18	36	54	72	90	
(%) エチレングリコール	2	4	6	8	10	
(%) キシレン	80	60	40	20	0	
浸潤の有無 (+)(-)	-	+	-	+	-	+
気孔開度	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0

同じく光、温度、風を組合せておこない、送風、無送風条件下の気孔開度を15分毎に1時間測定した。時期、温度条件は6月(12, 16, 22°C)、8月(12, 16, 22°C)、9・10月(12, 16, 22°C)、12月(2, 12°C)である。なお、測定前の処理は吸水量の測定と同じ方法でおこなった。

実験結果および考察

1. 吸水量

(1) 光の有無と吸水量

各時期、各処理条件下の吸水量の値を第2表に示し

た。まず光の有無と吸水量との関係について見ると(第3表)、いずれの時期、処理条件下とも照明条件下の吸水量が暗黒条件下の吸水量に比較して多かった。しかし、吸水量の照明/暗黒比は測定時期によって異った。すなわち、同一の温度、送風条件下で比較すると、2・3月、6月が低い値を示し、8月、9・10月は高い値を示した。これは2・3月は暗黒条件下の吸水量が他時期に比較して高い値を示し、6月は照明条件下の吸水量が低い値を示したためである。

(2) 温度と吸水量

第2表に示すように同一の時期、光、送風条件下で比較すると、例外はあるが温度が高くなる程吸水量が多くなった。また、温度の上昇に伴う吸水量の反応は暗黒条件下より照明条件下の方が大きかった。照明条件下での6月の吸水量が同一の温度条件で比較すると他時期より少ない傾向を示した。また、2・3月の暗黒条件下での温度の上昇による吸水量の増大が12月に比べ大きかった。

6月は16°C、8月は22°C、9・10月は16°C、12月は12°C、2・3月は2°Cと各時期の気温に近い温度を選んで比較してみた(第1図)。その結果、照明条件下では温度の高い8月が最も高い吸水量を示し、温度の低

第2表 各時期、各処理条件下の吸水量

(1980)

時 期	6 月	8 月	9・10月	12 月	2・3月	
温度送風処理						
2°C	照明 送風			146.9± 19.5	128.3± 17.0	
	無送風			172.8± 24.5	166.8± 29.9	
2°C	暗黒 送風			43.9± 4.1	54.4± 18.9	
	無送風			48.1± 9.9	42.1± 8.9	
12°C	照明 送風	152.7± 2.8	273.1± 93.4	199.0± 24.3	279.2± 111.7	294.6± 8.1
	無送風	132.0± 8.0	117.3± 39.4	229.3± 13.8	307.6± 106.7	152.4± 40.3
12°C	暗黒 送風	19.9± 7.8	40.1± 9.9	43.7± 5.1	43.9± 13.7	120.6± 21.6
	無送風	15.0± 1.7	8.9± 4.5	26.7± 9.0	31.8± 10.2	83.7± 18.0
16°C	照明 送風	206.4± 60.5	235.9± 93.1	409.6± 68.2		
	無送風	102.0± 44.3	225.4± 84.6	367.2± 77.0		
16°C	暗黒 送風	106.5± 39.4	52.1± 16.8	53.2± 12.4		
	無送風	42.8± 32.1	19.8± 11.5	23.4± 10.8		
22°C	照明 送風	249.9± 64.1	543.9± 83.6	415.7± 20.8		
	無送風	250.5± 49.8	507.9± 79.8	403.2± 16.3		
22°C	暗黒 送風	69.1± 30.3	67.5± 21.4	78.4± 36.9		
	無送風	49.1± 15.1	25.4± 12.0	55.8± 10.1		

(10⁻³ml/100cm²/hr ; ±標準偏差)

第3表 照明条件下と暗黒条件下の吸水量の比較

温度	送風の有無	時期				
		6月	8月	9・10月	12月	2・3月
2°C	送風				3.35	2.36
	無送風				3.59	3.96
12°C	送風	7.67	6.81	4.55	6.36	2.44
	無送風	8.80	13.17	8.59	9.67	1.82
16°C	送風	1.94	4.53	7.70		
	無送風	2.40	11.38	15.69		
22°C	送風	3.63	8.06	5.30		
	無送風	5.09	20.00	7.23		

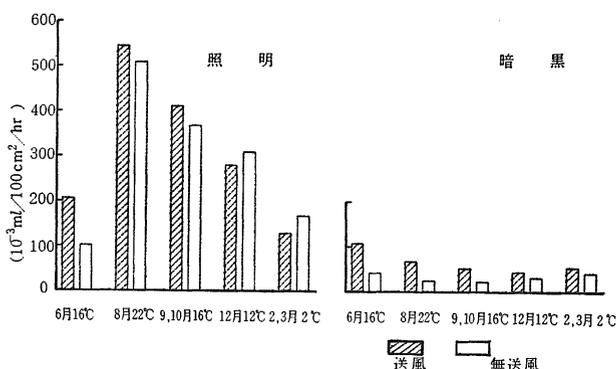
(照明条件下の吸水量)
(暗黒条件下の吸水量)

第4表 送風条件下と無送風条件下の吸水量の比較

明暗温度	時期	温度				
		6月	8月	9・10月	12月	2・3月
照明	2°C				0.85	0.77
	12°C	1.16	2.32	0.87	0.91	1.93
	16°C	2.02	1.05	1.12		
	22°C	1.00	1.07	1.03		
暗黒	2°C				0.91	1.29
	12°C	1.33	4.50	1.58	1.28	1.44
	16°C	2.49	2.23	2.27		
	22°C	1.41	2.66	1.41		

(送風条件下の吸水量)
(無送風条件下の吸水量)

い2・3月が低い値を示した。また、暗黒条件下では、6月の送風条件下が比較的高い値を示した。そして2・3月が2°Cのため低い吸水量を示すと想像されたが、他時期と大きな差が見られず、温度条件を考慮すれば吸



第1図 温度と吸水量との関係

水量はむしろ多いと思われる。

光、温度と吸水量との関係から、各測定時期の特徴をまとめて見ると次のようになる。8月、9・10月の吸水量、とくに照明条件下の吸水量が多く、温度に対する反応も大きかった。6月は照明条件下の吸水量が少なく、光に対する反応も比較的小さかった。2・3月は光に対する反応は低いが、温度に対する反応はむしろ高く、とくに暗黒条件下が大きかった。12月の光、温度に対する反応は9・10月と2・3月の中間的な反応を示した。

(3) 送風の有無と吸水量

送風条件下と無送風条件下の吸水量の比(送風/無送風)を第4表に示した。暗黒条件下では送風条件下の吸水量が多くなった。照明条件下では、送風すると吸水量が多くなったのは6月と8月で、12月は逆に無送風条件下の吸水量が多くなった。

時期によって送風の影響が異なるようなので各時期の気温に近い温度を選んで比較してみた。その結果、照明条件下では6月の送風/無送風比が大きかった。8月、9・10月は送風条件下と無送風条件下の差が小さくなり、12月、2・3月は無送風条件下の吸水量が多くなった。暗黒条件下では、6月、8月、9・10月の送風/無送風比が大きかった。12月、2・3月は無送風条件下の吸水量が比較的多く、比が小さくなった。このように風に対する反応は各時期によって異なったが、照明、暗黒条件下とも12月、2・3月のとくに2°C条件下の比が他時期に比較して低かった。

以上吸水量の測定結果から、6月、8月、9・10月の吸水量は照明、温度、送風によって増加したことから、本実験で測定した吸水量は主に気孔からの蒸散によって変化する受動的吸水であると考えられる⁷⁾。しかし、12月2・3月のとくに2°C条件下では蒸散が促進されるような光、風の条件下でも他の測定時期に比べて反応が低かった。玉井、上堂はイネ、柑橘を用いた実験で10°C程度の低温処理をおこなうと、吸水、蒸散作用に著しい抑制がおこること、吸水については地上部に与えた明暗処理に対して反応しなくなり、吸水の日変化が消失する。しかし、蒸散の日変化は相当顕著であることを認めている⁸⁾。また、小中原は柑橘を用いた実験で10°Cを境にして吸水量が著しく減少すると報告している⁹⁾。したがって10°C以下の低温下では根の吸水機能が低下し、風、光によって蒸散が促進されても十分根から補給されず、蒸散量と吸水量との間に差が生じることも考えられる。12月、2・3月の風に対する反応が他時期と異なったのはこの理由によるかもしれない。

2. 気孔開度

第5表 各処理15分毎の気孔開度

(1980)

送風の有無		無				送風			
		15	30	45	60分	15	30	45	60分
時期・温度	処理後時間								
	8月	12°C D					0.0	0.0	0.0
L						2.8	1.8	2.1	1.8
16°C D		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
L		1.9	2.8	2.4	2.6	1.9	2.4	1.9	0.9
22°C D						0.0	0.0	0.0	0.0
L						2.4	2.3	2.6	2.0
9・10月	12°C D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.9	2.3	2.5	2.5	1.7	1.6	1.6	1.6
	16°C D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.7	2.3	2.5	2.5	2.0	1.2	1.8	1.5
	22°C D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	1.2	1.9
12月	2°C D	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	2.3	2.5	2.4	2.8	2.1	2.0	1.9	2.3
	12°C D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.8	2.5	2.3	2.4	1.9	1.9	1.8	2.0

(第1葉から第4葉までの平均値, D: 暗黒, L: 照明)

第6表 処理60分後の葉位別気孔開度

(1980)

時期 温度°C	風処理 葉位	無			送風		
		1	4	平均	1	4	平均
6月	12 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.8	2.3	2.1	1.5	2.0	1.8
	16 D				0.0	0.0	0.0
	L	1.8	2.3	2.1	1.5	2.0	1.8
	22 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.5	1.8	1.7	1.5	1.0	1.3
8月	12 D	0.0	0.0	0.0			
	L	2.5	3.0	2.8	1.0	1.8	1.4
	16 D	0.0	0.1	0.1			
	L	2.5	2.8	2.7	1.0	3.4	2.2
	22 D	0.0	0.0	0.0			
	L	2.0	3.5	2.8	1.5	2.5	2.0
9・10月	12 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	1.8	2.8	2.3	1.5	1.9	1.7
	16 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	2.9	3.0	3.0	2.1	2.9	2.5
	22 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	2.0	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0
12月	2 D	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
	L	2.7	2.8	2.8	1.9	2.8	2.4
	12 D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0

(D: 暗黒, L: 照明)

本実験における吸水量は主に受動的吸水, すなわち, 蒸散量であると考えた, そして蒸散は主に気孔からおこなわれるので, 気孔開度を浸潤法で測定し, 気孔開度が種々の環境条件を与えるとどのように変化していくかを調査した. その結果, 暗黒条件下における気孔開度は, 送風, 無送風条件下とも 0.0~0.3 の範囲にあり, ほと

んど閉じていた. 照明条件下では気孔が開くが, 送風すると時間が経過するにつれて次第に閉じていった. 時期別に気孔開度の変化を比較すると, 12月は他時期に比べて送風によって気孔が閉じていく程度が小さかった. また, 温度が気孔に与える影響は明確には認められなかった. 次に処理60分後の葉位別気孔開度を第6表に示した. その結果, 照明条件下では, 送風, 無送風条件下とも下位葉程, 気孔開度が大きかった. また, 気孔開度の差は, 時期により異

なり, 明らかに6月における開度が小さかった.

以上環境条件と吸水量, 気孔開度の関係から, 吸水量と気孔開度とは密接な関係があり, 吸水量が多い場合は気孔も開いていた. しかし, 蒸散量が増し, 体内水分が減少するような環境条件下におかれると, 気孔が閉じて蒸散量の調節がおこなわれ, 水分収支のバランスを保とうとすることが認められた. 前者の例としては, 暗黒条件下で吸水量が少なかったことが挙げられ, 後者の例としては, 気孔の環境条件に対する反応が大きい6月において照明条件下の吸水量が比較的少なかったことが対応する. 一方, 時期の経過に伴って茶葉の環境条件に対する反応が鈍くなっていくことが認められた. すなわち, 2・3月の吸水量, とくに暗黒条件下の吸水量が多く, 吸水量の照明/暗黒比が低くなったことに表われている. これは第7表に示したように, 冬期の茶葉程水分が低下し, 厚く, 硬くなり, 次第に老化したためであると考えられる.

温度によって気孔開度が変化するという事は, 明確にすることはできなかった. したがって温度と吸水量の関係は, 温度以外の条件によって決まる気孔開度を介した間接的なものと考えられる. また風と吸水量との関係については, 一般的に風は蒸散を促進すると云われている⁹⁾. 本実験でも6月, 8月, 9・10月では送風によって吸水量が増加した. しかし, 冬期の気孔反応が低下していることを考慮すれば, 送風によって12月, 2・3月の吸水量はもっと増加するはずであるが他時期程増加しなかった. これらのことは, 12月, 2・3月の12°C条件

第7表 葉の水分状態の時期別変化 (1981)

葉位 時期	含水率		含水比		水欠差		葉積重	
	1	4	1	4	1	4	1	4
6月	77.5	75.9	347	301	7.8	7.7	0.45	0.51
9月	75.2	68.1	304	214	5.4	12.4	0.60	0.86
12月	64.2	60.7	179	173	15.0	16.3	0.96	1.26
2月	56.8	56.9	132	131	34.9	29.5	1.25	1.27

含水率： $\frac{Fw-Dw}{Fw} \times 100$ ，含水比： $\frac{Fw-Dw}{Dw} \times 100$ ，水欠差： $\frac{Sw-Fw}{Sw-Dw} \times 100$ Sw：膨潤重，Fw：生体重，Dw：乾体重

下が2°C条件下に比較し照明/暗黒比，送風/無送風比が高い値を示すことでも判るように，蒸散量が増加していても低温のため根から十分補給されないためではなからうか。そのために水分収支に不均衡が生じていることも考えられる。本実験では吸水量から蒸散量を見てきた。しかし，冬期のとくに低温下においては，吸水量がほぼ蒸散量とは云えず，蒸散量を直接測定し，両者の関係を明らかにする必要がある。

摘 要

茶樹の寒風害の発生機作を解明するために，春から冬にかけての種々の生育時期の茶樹を用い，異なる環境条件下での吸水量，気孔開度を調査した。

品種，やぶきたの2年生苗，および切枝を用い，光，温度，風の環境条件を組合せ，人工気象室で実験をおこなった。送風処理は1時間毎に送風，無送風をくり返す断続処理をおこなった。そして吸水計で吸水量，浸潤法で気孔開度を測定した。

1. 吸水量はいずれの時期とも照明条件下の吸水量が

暗黒条件下に比較し多く，温度が高い程吸水量が多くなる傾向を示した。また，6月，8月，9・10月の吸水量は送風によって増加した。

2. 2・3月，12月のとくに2°C条件下の吸水量は，風，光に対する反応が他時期に比較し低かった。

3. 気孔開度はいずれの時期とも照明によって気孔が開き，暗黒条件下ではほとんど閉じていた。また，送風によって気孔が次第に閉じていく傾向が見られた。しかし，冬期の茶葉は閉じていく程度が小さかった。

4. 以上の結果から，冬期の茶葉は老化が進み，水分の調節機能が低下する。一方低温のため根の吸水機能が低下し蒸散量程吸水量が増えず，水分収支に不均衡が生じるものと推察される。

謝辞

本実験をおこなうに当り協力を得た作物学専攻生掘井克祐君，勝田喜裕君に深謝の意を表す。

引用文献

- 鳥屋尾忠之・家弓実行・勝尾清・松下繁：茶試研報 7：1～72，1974.
- 原田重雄・三ツ井稔：東近農試研報 7：69-75，1960.
- ・中山仰・渡辺明・三ツ井稔・加納照崇・酒井慎介：東近農試研報 7：1-23，1960.
- 福田晟・山田一郎：近畿中国農研 53：74-77，1977
- 石原 邦・西原武彦・小倉忠治：日作紀 40：491-496，1971.
- ・平沢正：日作紀 45 (E 1)：111-112，1976.
- 田崎忠良・田口亮平：植物生理生態学実習：37-62 養賢堂，東京，1973.
- 王井虎太郎・上堂秀一郎：日作紀 29：240-244，1961.
- 小中原実：静岡柑試特報 3：1-154，1975.

Summary

The present study was undertaken to clarify the mechanism of cold wind injury in tea plants. Water absorption and stomatal aperture were measured under different light conditions (lighted or dark), air-temperature (2, 12, 16 or 22 °C) and wind (blowing or notblowing) conditions in growth cabinets, from February to December. The materials used in this experiment were 2 years rooted cuttings or mature shoots of the variety "Yabukita".

The results obtained were as follows ;

1. The rate of water absorption in light conditions was higher than in dark conditions. The increase in air-temperature resulted in the increase of the rate of water absorption. Under wind blowing conditions, the rate of water absorption was increased in June to October.

2. Under 2°C of air-temperature in December to March, the rate of water absorption was not increased in light and wind blowing conditions.

3. Stomatal aperture were larger in light conditions than in dark conditions. Under wind blowing conditions, stomata were gradually closed, but in the winter season, stomata were not sharply responded to wind blowing treatment.

4. From the results mentioned above, it is suggested that in the winter season, the rate of water absorption was not well balanced to the rate of transpiration.