

山陰地域の冬期強風による茶樹の葉身被害の発生

第2報 葉身水ポテンシャル低下の原因としての低温下における葉身と根の水通導抵抗の増大*

福田 晟・山谷 聡**・小葉田 亨・今木 正

(島根大学農学部)

1992年6月9日受理

要 旨: 前報において、地表にわずかな積雪があり、気温 $0\sim-4.4^{\circ}\text{C}$ 、風速 $4\sim7\text{ ms}^{-1}$ のもとで葉身に葉枯れ、落葉が生じ、この時夜間の葉身水ポテンシャル (ψ_L) が -1.2 MPa に、翌日の昼間ではさらに最低 -2.3 MPa まで低下したことを報告した。そこで本報告は、人工的に1年生苗の茶樹に低気・地温、強風条件を与え、 ψ_L の低下と寒風による被害発生との関係、及び ψ_L の低下の原因を明らかにしようとした。

その結果、低気・地温、強風の組み合わせに暗黒後照明条件のもとで ψ_L は $-0.7\sim-1.8\text{ MPa}$ に低下し、照明条件下で圃場と類似した枯死被害が生じた。また、低温照明条件下では蒸散速度の増大に伴う ψ_L の低下が大きいことから、この ψ_L の著しい低下は低温による植物体内の水の通導抵抗 (R) の増大にもとづくものと考えられた。そこでさらに葉身、茎、根各部分への加圧と出液速度との関係を求めて各器官の R を推定したところ、葉身と根の R は 0°C では 10°C に比較し約1.6倍、 20°C に比較して約3.2倍大きくなった。

以上から、山陰地域における茶樹の寒風による被害は低気・地温によって特に葉身と根の R が著しく増大している時に、強風、及び翌日の日射により蒸散が促進されて、その結果、葉身 ψ_L の著しい低下、葉身組織の脱水が生じて引き起こされるものと推定された。

キーワード: 寒風による被害、蒸散速度、チャ、水の通導抵抗、水ポテンシャル。

Decrease of Leaf Water Potential and Leaf Injury of Tea Plant (*Thea sinensis* L.) Subject to Cold Winter Wind in Sanin Region of Japan II. Increase of water flow resistance inside the plant contributes to decrease of leaf water potential: Akira FUKUDA, Satoshi YAMATANI, Tohru KOBATA, and Tadashi IMAKI (Faculty of Agriculture, Shimane University, Nishikawatsu-cho, Matsue, Shimane 690, Japan)

Abstract: In the previous report⁴⁾, we indicated that cold wind injury of tea leaf in Sanin region occurred under decreases of leaf water potential (ψ_L) caused by low temperature and strong wind. We attempted to clarify why ψ_L decreases under the environments and tried to simulate the cold wind injury under artificial condition in order to know whether decrease of ψ_L truly causes leaf injury. Under a combination of low soil and air temperature ($0.5/-1.5^{\circ}\text{C}$) with strong wind (4.5 ms^{-1}), ψ_L decreased to -0.6 MPa under a dark condition and to -1.8 MPa under a light condition. Leaf injury appeared under the light condition. Water flow resistance (R) inside the plant increased when low soil and air temperature ($0.5/-1.5^{\circ}\text{C}$) was maintained under changing wind speed below the light condition. R in leaf and roots increased with decreased plant body temperature when R of the parts was directly assumed by the slope between pressurization rate with a pressure chamber and water flow rate through the plant parts under several temperatures.

We concluded that the cold wind injury in Sanin region may be caused by decrease of leaf water potential because low soil and air temperature drastically increase water flow resistance inside the leaf or the roots, and strong wind and short wave radiation accelerates transpiration rate.

Key words: Cold wind injury, Leaf water potential, Transpiration rate, Water flow resistance, Tea.

前報⁴⁾において、冬期強風により葉身に被害が発生した日には、葉身水ポテンシャル (ψ_L) が夜間 -1.2 MPa まで低下し、翌日、日の出とともにさらに -2.3 MPa まで低下した。これは被害が発生しない場合の ψ_L $-1.0\sim-0.5\text{ MPa}$ よりかなり低い。また、冬期より蒸散が著しく高いと見られる夏期の晴天の日でも ψ_L は -1.0 MPa 前後にしか低下しな

かった。一方、葉身を加圧し、脱水と枯死被害について見たところ、冬期の葉で $-1.0\sim-1.2$ 、夏期の葉で $-1.8\sim-2.0\text{ MPa}$ 前後で枯死被害が発生し、冬の葉身は水欠乏により枯れやすかった。これらのことから、寒風による葉身の被害は主に茶樹の葉身 ψ_L が著しく低下することにあると見なされた。

そこで本報告は、なぜ低温、強風が茶樹の葉身 ψ_L の著しい低下をもたらすのか、またなぜ強風、低温による ψ_L 低下が被害を起こすのかを1年生苗の茶樹を用いて、人工的な寒風を与え被害を発生させ、

* 大要は第190回講演会(1990年10月)において発表。

** 現在兵庫県北淡路農業改良普及所。

明らかにしようとした。

材料と方法

1. 温度と風、光の有無と葉身水ポテンシャル (ψ_L) との関係

実験には1989年6月に直径13 cmの素焼き鉢にさし木した1年生苗を用いた。試験区の構成は寒風による被害が発生した日の気象条件を参考にして、3区(気温/地温 $-1.5/0.5^{\circ}\text{C}$:L/L区, $-1.5/20.0^{\circ}\text{C}$:L/H区, $10.0/0.5^{\circ}\text{C}$:H/L区)に風(0, 1.5, 3.0, 4.5 ms^{-1})と光の有無を組み合わせた。L/L区, L/H区は冷凍庫(RS 25, 日立株式会社製)内で行った。また, L/H区の地温は冷凍庫に入れた鉢の部分にヒーターを巻いて $1/5000\text{ a}$ ワグネルポットの中に入れ、発泡スチロールで蓋をし、根部のみを 20°C に保った。H/L区は人工光の制御室で鉢の部分水温循環調節機に入て 0.5°C に保った。強風処理は直径20 cmの換気扇を用いて設定温度、暗黒、無送風条件下に8時間放置後開始した。処理時間は10月は暗黒条

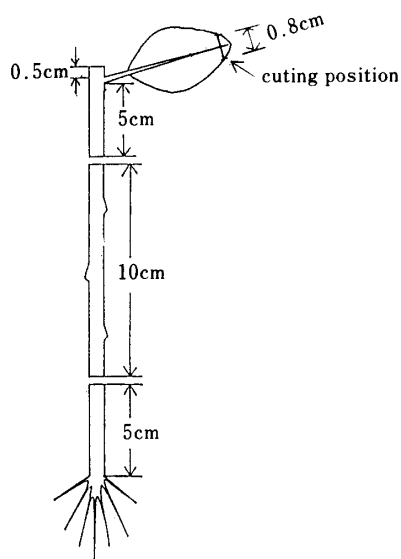


Fig. 1. Schematic representation of plants parts (leaf, stem and roots) of a tea young plant of one year after cutting when water flow resistance inside the part was measured with a pressure chamber. Each the plant part was cut from a plant and one side portion of the part was immersed in distilled water inside the pressure chamber. Sap water from other end of the plant part by the pressurization was gathered in a small vial and the vial was weighed for calculation of flow rate under several pressurization rates. The part was maintained under constant temperature (0, 10 and 20°C) during the measurement.

件下で1時間, 12月は照明条件下で8時間処理をした。光は白熱灯と蛍光灯を用い、葉面上で 0.16 KW m^{-2} の放射量であった。

蒸散速度(T)は苗の処理前後の重量を電子秤りで測定し、その差と葉面積から算出した。なお、植物体以外からの蒸発を防ぐためにビニル袋で鉢を包んだ。また、 ψ_L の測定は苗の重量を測定した後、先端から2~3葉目の葉身についてプレッシャーチャンバー法⁹⁾で行った、被害発生の有無の判定は ψ_L の測定後 10°C 、暗黒条件下に24時間放置した後行った。

2. 水の通導抵抗(R)の測定と温度との関係

実験は、1989年10月と12月に行った。供試材料は温度と風、光の有無と ψ_L の実験に用いた苗と同じであった。まず苗を鉢から掘り上げ、水洗いし、葉身、茎、根に切断した(第1図)。そして水を入れた容器をプレッシャーチャンバーの中に入れ、葉身は茎の下の切り口をプレッシャーチャンバー内の水に漬け、葉身の部分を外に出した。茎は下の切り口をプレッシャーチャンバー内の水に漬け、上の切り口を外に出した。根は根の部分をプレッシャーチャンバー内の水に漬け、茎の部分を外に出し測定した。処理温度は0, 10, 20°C の3段階に設定した。10, 20°C の場合はプレッシャーチャンバー全体を 10°C 、あるいは 20°C に保った制御室内で測定し、 0°C の場合は 10°C に保った制御室の中で葉身は葉身の部分を水の入ったビニール袋で包んで 0°C に保った。茎と根はプレッシャーチャンバー内の水に水を入れ 0°C に保った。なお、葉身は茎の上の切り口に、茎は葉身を切り取った部分に瞬間接着剤を塗り水が漏れないようにした。

Rの測定は圧力を0, 0.5, 1.0, 1, 2.0 MPaと徐々に上げ、その都度1~3分間切り口から出てくる液を脱脂綿を詰めたガラス容器に集め、出液量を秤量した。圧力を加えて出てきた液量は葉身が葉面積当たり、茎が断面積当たり、根が根重当たりとした。なお、実験に供試した葉身の平均値は中肋長7.3 cm, 葉面積 17.0 cm^2 , 茎は長さ10 cm, 根は根の部分の乾物重が10月 0.503 g , 12月 0.608 g であった。

水の通導抵抗(R)は次式によって求めた⁶⁾。

$$R = (\psi_s - \psi_L) / T \quad (1)$$

ここで ψ_s は給水部の水ポテンシャル, T ($\text{g min}^{-1}\text{ cm}^{-2}$ あるいは $\text{g min}^{-1}\text{ g}^{-1}$)は出液速度である。1個体の植物体の抵抗値の場合は土壤に十分給水したので、また、器官別の場合は蒸留水に給水部をつけた

ので $\psi_s=0$ と見なし式 (1) は次のように書き換えられる。

$$R = -\psi_L/T \quad (2)$$

ここで, R は ψ_L と T との直線の回帰式の傾きによって近似される。

結 果

1. 温度と風, 光の有無が葉身水ポテンシャル (ψ_L) に与える影響

まず, 夜間における低気・地温と強風を再現するため暗黒条件下での L/L 区, H/L 区, L/H 区の風速と ψ_L との関係を見た(第2図-A)。その結果, いずれの区も風速が増すと ψ_L が低下する傾向を示し, L/L 区が最も低下が大きかった。次に, 低温, 強風の続いた翌日の影響を見るため, 照明条件下における風速と ψ_L との関係を見た(第2図-B), その

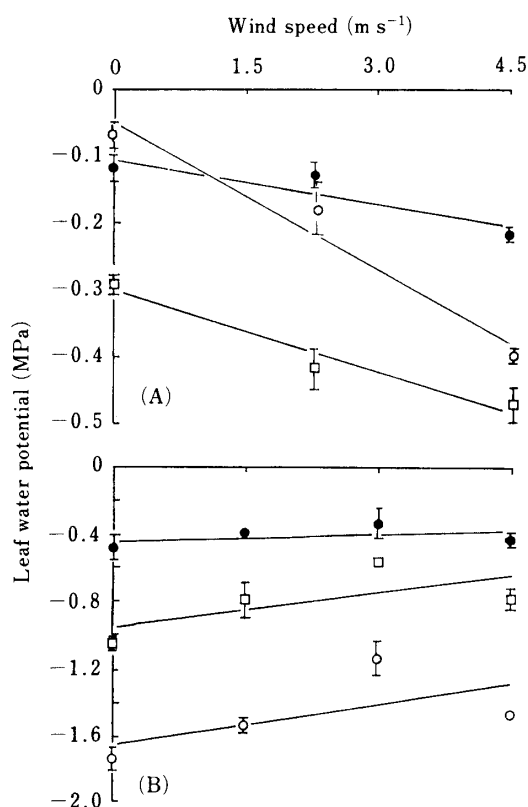


Fig. 2. Relationships between leaf water potential of tea and wind speed under (A) dark or (B) light condition. Soil and air temperature were changed. Light intensity was 0.16 KWm^{-1} . Values were means \pm s.e. of three observations.

(A) \circ —L/L $r^2=0.958$ \bullet —L/H $r^2=0.814$
 \square —H/L $r^2=0.941$
 (B) \circ —L/L $r^2=0.391$ \bullet —L/H $r^2=0.202$
 \square —H/L $r^2=0.444$

結果, ψ_L はいずれの風速下においても L/L 区が最も低いものの, ψ_L は風速が増してもほとんど変化しないか, むしろ高くなった。そこで, 蒸散の測定が可能であった照明条件下における風速と T との関係を見ると(第3図), 風速が増しても T はほとんど変化しないかむしろ小さくなった。なお, 照明条件下において L/L 区では ψ_L が -1.4 MPa 以下になった時, 寒風による枯死被害が認められ, 被害の程度は ψ_L が低くなるほど大きくなった。

そこで, 照明条件下における T と ψ_L との関係を見ると, いずれの区も T が大きくなるにつれて ψ_L が低下し, その中では L/L 区の低下が著しかった(第4図)。水の通導抵抗 (R) を近似的に表す T と ψ_L との直線の傾きは L/L 区 1148.2 , L/H 区 502.2 , H/L 区 442.5 となり, 低気温と低地温を組み合わせた区で著しく大きな R 値を示した。

2. 葉身, 茎, 根各部位の水の通導抵抗 (R) と温度との関係

各植物部位における R と温度との関係を見るために, 0°C , 10°C , 20°C 条件下における加圧と水の移動速度との関係を見た(第5図)。その結果, 10月(第5図-A), 12月(第5図-B)とも葉身, 茎, 根でいずれの温度条件下でも, 加圧量と水の移動速度との関係には密接な直線関係があり, 圧力が増すと水の移動速度は大きくなった。そして, 秋・冬のいずれの植物体器官とも水の移動速度は温度が低くなるほど小さくなった。そこで, この直線の傾きをその温度

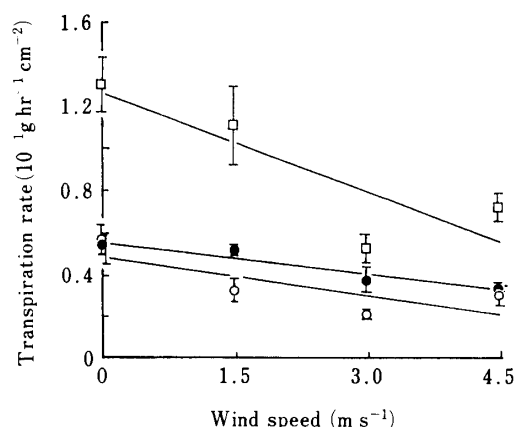


Fig. 3. Relationships between transpiration rate of tea leaf and wind speed under the light condition. Values were means \pm s.e. of three observations.

\circ —L/L $r^2=0.605$ \bullet —L/H $r^2=0.929^*$
 \square —H/L $r^2=0.728$

(*, **, *** indicates 5%, 1%, 0.1% level of significance respectively.)

でのRとすると、10月、12月とも葉身、茎、根いずれも温度が低くなるほどR値が大きくなり、特に葉身と根のRがきわめて大きくなった(第6図-A, B)。また、葉身のRは12月が10月に比べいずれの温度でも大きくなった。

考 察

寒風による被害は夜間葉身の凍結の生じないように

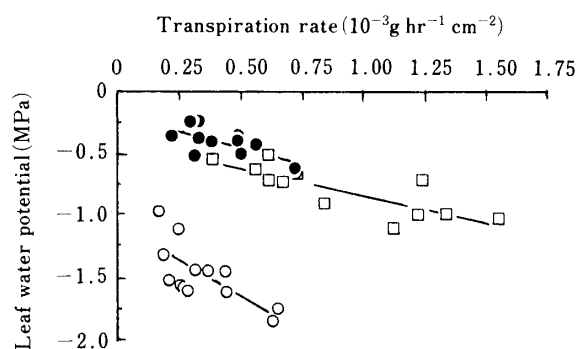


Fig. 4. Relationships between leaf water potential of tea leaf and transpiration rate in different air and soil temperature conditions when wind speed was increased under the light condition.

○—L/L $Y = -1.07 - 1148.2X$ $r^2 = 0.561^{**}$
 ●—L/H $Y = -0.20 - 520.2X$ $r^2 = 0.430^*$
 □—H/L $Y = -0.41 - 442.5X$ $r^2 = 0.646^{**}$
 where X is transpiration rate and Y is leaf water potential.

な低温(0~−4°C)で強風(4~7 ms^{−1})の吹く日の翌日、ある程度の日射がある後に発生しやすい。本報告ではこれを参考にし強風(最大4.5 ms^{−1})を低温・暗黒条件下(気温−0.5°C、地温1.5°C)で与え、その後照明を与えると圃場条件下で観察される寒風による被害と類似した被害が生じた。暗黒条件下の場合は ψ_L が風速に応じて低下し、照明条件下ではほとんど変化しなかった。そして、いずれも低気・地温下(L/L区)で ψ_L が著しく低下した。暗黒条件下は大気の蒸発要求が比較的小さく、 ψ_L が高い場合には、強風が脱水を促進して ψ_L を低下させる。しかし、照明条件下では蒸発要求が高く ψ_L が低いところに強風が吹いても、もはや ψ_L がほとんど変化しなかったと見なせる。暗黒条件下では葉身の気孔はほとんど閉じている^{1,2,3}。また、照明条件下でも低気・地温下におかれた茶葉のTが強風によってほとんど増えなかったことから、やはり気孔が閉じていたと見なされる(第3図)。したがって、茶葉の低気・地温下における強風による ψ_L 低下は主にクチクラなどからの強制的な脱水によると見なされる。しかし、低気・地温条件下におけるTが他の条件に比べ特に大きいとは言えないにもかかわらず ψ_L 低下が特に著しい。したがって、 ψ_L の低下には蒸散の促進以上にRの増加が強く関与していると見なされる。

低温下でRが大きくなる原因には、1.水の粘性の

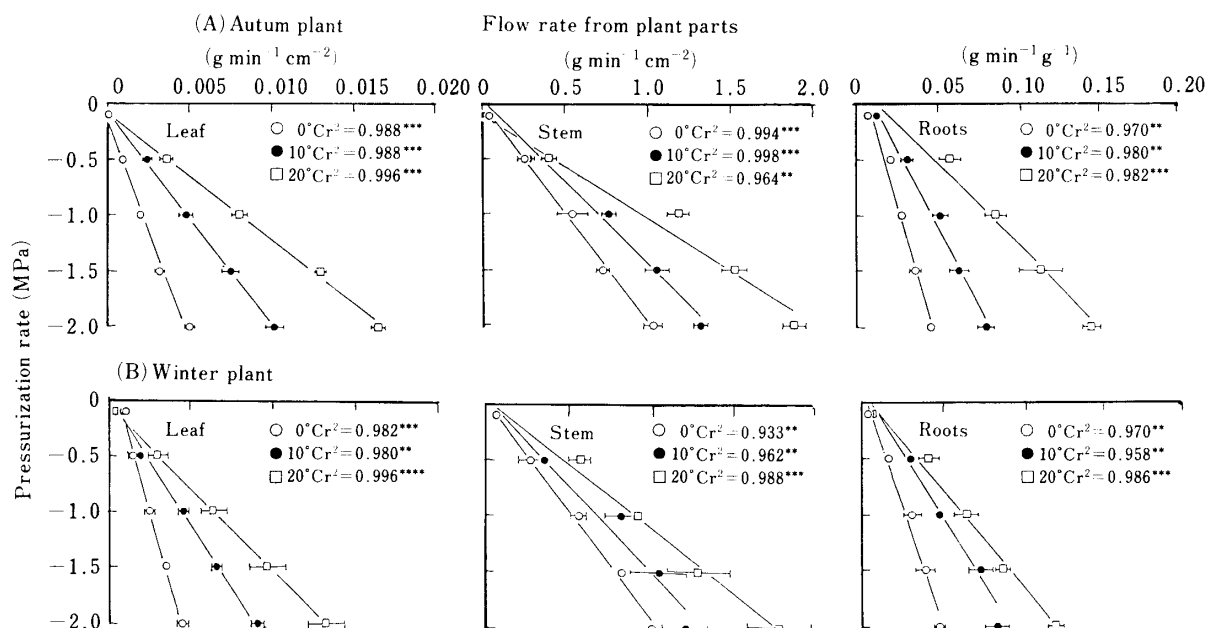


Fig. 5. Relationships between pressurization rate and water flow rate in a leaf, a stem and roots of a young tea plant under different temperature conditions. See figure 1 for methods of measurements. Plant materials of (A) October (autumn plant) and (B) December (winter plant) were used. Values were means \pm s.e. of three observations.

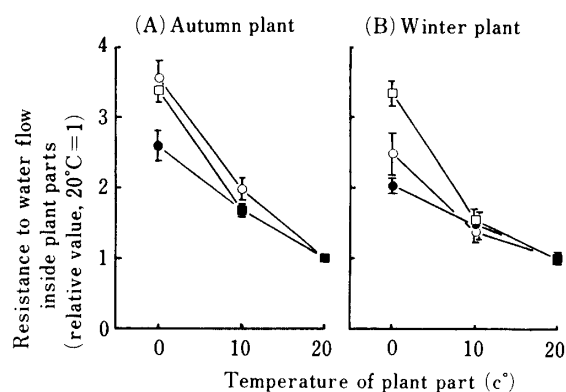


Fig. 6. Relationships between water flow resistance inside plant parts and temperature of the plant parts. See figure 5 for the treatments. Water flow resistance inside the plant part was assumed from slope of the regression between pressurization rate and water flow rate from the plant part. Values were means \pm s.e. of three observations.
 □—Leaf ○—Roots ●—Stem

増大, 2. 根の水の透過性の減少, 3. 吸水に関する代謝活性の低下, 4. 根の生長の低下, 5. 土壌有効水の減少があげられている⁵⁾. 1. の水の粘性は 0°C では, 10°C の 1.4 倍, および 20°C の 1.8 倍に増える⁸⁾. 本実験の葉身と根の R は 0°C では 10°C の 1.4~1.8 倍, 20°C の 2.5~3.6 倍と大きくなった. 一方, 茎は 0°C では 10°C の 1.5~1.7 倍, 20°C の 2.0~2.6 倍と低温による水の粘性の増大に近かった. すなわち, 葉身と根では低温による R の増大は水の粘性以外になんらかの生理活性変化の影響も大きかったとみなされる. 葉身での水の移動は導管から葉肉内及び表皮への, 根は根毛から皮層, 中心柱へというように細胞膜や原形質膜を経た動きをする⁷⁾. すなわち, 葉身や根の場合, 水は原形質を通過するのに対して茎では生理活性の影響の少ない木部を通過する. したがって, 葉身や根の低温による R の増大はなんらかの細胞代謝系の温度依存性が表れている可能性がきわめて高い. なお, 上記の R を増やす原因の内 4. と 5. は本研究では一定と見なせる. これらから, 低温による R の増加は葉身や根における水の通過する器官の細胞活性が温度によって変化するためと考えられる.

さらに, 低温による R の増加が 12 月の茶樹は 10 月に比較し大きく, 冬の茶樹は同一の T に対し ψ_L が低下しやすいと見られた. そこで, R を測定した幼茶樹について平均的な大きさの葉身部, 茎部, 根

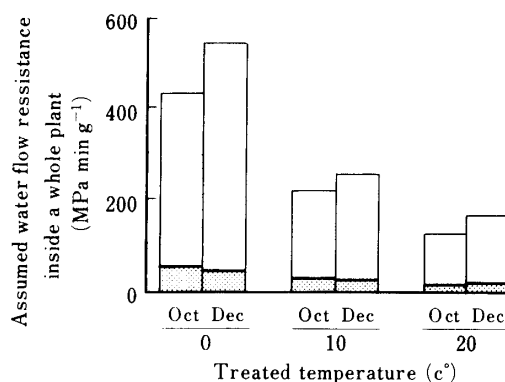


Fig. 7. Assumed total water flow resistance inside a whole plant of autumn (October) and winter (December) under different temperature conditions. Calculation was done from a mean size plant and water flow resistance of each plant part. See figure 1 and 5 for data of the plant size and the resistance.
 □—: Leaf ▨—: Roots ■—: Stem

部 (葉 1 枚葉面積 17.05 cm^2 , 茎 10 cm , 根乾物重 $0.5039\sim0.6086\text{ g}$) のそれぞれの R の値を加算して, 1 個体の総合抵抗の温度による変化を算出, 比較した (第 7 図). その結果, 0°C における葉身部の R が 10°C に比較し約 2 倍と大きく, 冬の茶樹 (12 月) は 10 月のそれに比較し低温による葉身の R の増加が大きかった. このように葉身での低温による R の増大は, ψ_L 低下の最も大きな原因の一つとなっているであろう. ただし, これらの R の絶対値自体は, とくに葉身については過大評価している可能性がある. なぜなら, 測定時に葉身先端の切断部以外の葉身周辺部にも若干の水が漏れたため出液速度が過少評価されている可能性があるからである. しかし, 温度処理間では相対的な比較はできると見なせる.

以上から, 茶樹の寒風による被害の発生機作は次のように考えられる. 冬期低気・地温, 地上への残雪のため葉身と根の R が大きくなり植物体内の水移動が困難になっている所に, 山陰地方ではしばしば北西の強風が吹く. このような気象条件に遭遇すると, 茶葉の ψ_L は夜間も低下し続け通常の場合のように回復しない. この状態で夜明けを迎え時折日がさすと, 大気の水蒸気要求が増大して, さらに ψ_L が低下し, この ψ_L がある一定の限界値以下に低下すると葉先枯れ, 葉枯れが生ずるものと考えられる. また, 冬の茶葉は夏期より同一の ψ_L に対して枯れやすい⁹⁾ ことがさらに被害を著しくするであろう. なお, 冬期の葉身が ψ_L 低下によって枯死しやすく

なる理由, 及び葉身と根における気温や季節による R の変化がどのような生理的理由で生じるかについては今後さらに明らかにしてゆく必要がある。

引用文献

1. 福田 晟 1981. 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. 島大農場研報 2:7-11.
2. ——— 1981. 寒風が茶樹の生育に及ぼす影響. 島大農場研報 3:1-7.
3. ——— 1982. 茶樹の寒風害に関する研究. 幼茶樹の水収支について. 島大農場研報 4:1-6.
4. ———・山谷 聡・小葉田亨・今木 正 1993. 山陰地域の冬期強風による茶樹の葉身被害の発生. 第1報 圃場で観察される葉身水ポテンシャルの低下と被害発生との関係. 日作紀 62:188-192.
5. Kramer, P.F. 1983. 水環境と植物. 田崎忠良監修 石原 邦・石倉 晉・田崎忠良・橋本 康共訳 1986. 養賢堂, 東京. 244-272.
6. Gardner, W.R. 1968. Availability and measurement of soil water. In Kozlowski, T.T. ed., Water Deficits and Plant Growth. Academic Press, New York. 107-135.
7. 田口亮平 1977. 植物生理学大要—基礎と応用. 養賢堂, 東京. 96-132.
8. 東京天文台編集 1982. 理科年表. 丸善株式会社, 東京. 446-447.
9. Turner, N.C. and M.L. Long 1980. Errors arising from rapid water loss in the measurement of leaf water potential by the pressure chamber technique. Aust. J. Plant Physiol. 7:527-537.