

チャの根系を構成する様々な直径の根の生理機能の定量的評価*

岡 野 邦 夫・大 前 英

(野菜・茶業試験場)

1996年1月22日受理

要 旨: 茶栽培における深耕や断根等の根系制御技術を確立する目的で、根系を構成する各種の根が生理機能をどのように分担しているかを定量的に評価し、それに基づいて根系の理想型を考察した。一番茶萌芽期に掘り取った定植2年目の茶樹の地上部/地下部重比は1.5前後であった。根系を構成する根を直径別に4段階に分類し、その重量比率を求めたところ、白色細根 ($\phi < 1\text{ mm}$) が30%, 褐色細根 ($\phi 1\text{--}2\text{ mm}$) が10%, 中根 I ($\phi 2\text{--}5\text{ mm}$) が15%, 中根 II ($\phi > 5\text{ mm}$) が45%を占めた。乾物重当たりの窒素吸収速度や呼吸速度はエージの若い根ほど高かったが、全可利用炭水化物 (TAC) 含量はエージの進んだ木化根ほど高かった。量的にみた場合、根系全体の呼吸活性の75%, 窒素吸収活性の90%を直径が2 mm以下の細根が担っており、特にエージの若い白色細根の役割が大きかった。一方、根系中のTACの84%は木化の進んだ中根に存在した。茶の主要な呈味成分であるテアニンは白色細根に多く存在し、木化根で少なかったことから、合成中心は白色細根と考えられた。木化根では窒素の蓄積形態と考えられるアルギニンが多量に蓄積した。これらの結果から、茶樹根系の理想型は栽培目的によって異なり、収量・品質を重視する立場からは細根比率の高い根系が望ましいが、環境ストレス耐性を重視する場合には発達した木化根の存在が不可欠と考えられた。

キーワード: *Camellia sinensis*, 根系, 全可利用炭水化物, 窒素吸収, チャ, テアニン, 根の直径, 木化。

Quantitative Estimation of Physiological Functions of Various Roots with Different Diameters in the Root System of the Tea Tree: Kunio OKANO and Hide OMAE (*National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Kanaya, Shizuoka 428, Japan*)

Abstract: The root system of the tea (*Camellia sinensis* L.) tree consists of various types of roots with different diameters or ages. In order to control the growth of the root system, it is necessary to know the physiological functions of various types of roots within a root system quantitatively. Tea trees, two years after transplanting, were dug out from the field at the bud break stage of the first flush, then the roots were classified into four groups according to their diameter. Top/root ratio of the examined trees was around 1.5. Dry weight ratios of white rootlet (diameter $< 1.0\text{ mm}$), brown rootlet ($1.0\text{--}2.0\text{ mm}$), medium root I ($2.0\text{--}5.0\text{ mm}$) and medium root II ($> 5.0\text{ mm}$) in root systems were 30%, 10%, 15% and 45%, respectively. Rates of respiration and nitrogen uptake per unit dry weight were higher in the younger rootlets, while the content of total available carbohydrate (TAC) was higher in the lignified thick roots. Quantitatively, 75% of the respiration and 90% of nitrogen uptake in the root system was conducted by the rootlets less than 2.0 mm in diameter. Contribution of the white rootlets to the total nutrient uptake of the root system was especially large. On the other hand, 84% of TAC in the root system was localized in the lignified roots more than 2.0 mm in diameter. A higher level of theanine, a main palatable substance of tea, was detected in the white rootlet as compared to the lignified roots, indicating that the synthesis of this substance occurred in the newly developing roots. In the lignified roots, a large amount of arginine accumulated instead of theanine. From these results, ideotype of the root system in the tea tree was considered to be different according to the purpose of tea cultivation. A root system with higher proportion of rootlets would be desirable for increasing the yield and quality of the leaves. On the contrary, existence of well-developed lignified roots would be necessary for tolerating environmental stresses.

Key words: *Camellia sinensis*, Lignification, Nitrogen uptake, Root diameter, Root system, Tea, Theanine, Total available carbohydrate (TAC).

栽培茶樹の経済寿命は30年前後と考えられている。栽植後の年数が経過した茶園では新芽生産性が低下するため、深刈り、中切り、台切りなどの地上部更新処理が行われる¹⁸⁾。一方、毎年秋期に行われるうね間の深耕は、土壌の理化学性の改善が主目的であるが、必然的に根の切断をともなうことから地

下部更新の意味も持っている。さらに断根処理は、より直接的に根系更新を意図した技術である²⁹⁾。これら根系改善処理の効果判定は、翌年以降の新芽収量あるいは品質の良否でなされるが、処理から効果発現までの間に多くの変動要因が介在するためか、結果が一定しないことが多い。そのため根系改善処理の有用性については、疑問視する意見もみられる¹²⁾。しかし近年は、根系構造や機能への断根処理

* 大要は第198回講演会(1994年8月)において発表。

の直接的影響を明らかにすべく、処理後の新根発生量や根系の生理機能変化等に関する実証的な研究も進められている²⁶⁻²⁹⁾。

多くの樹木と同じくチャにおいても、樹齢の進行にともない根の2次肥大生長や木化が進むため、成木茶樹の根系はエージ、直径、木化程度の異なる種々の根から構成されている^{2,26)}。チャの根の機能としては、一般的な植物体の支持や養水分吸収に加えて、秋冬期におけるデンプンの蓄積^{20,21)}や新芽呈味成分として重要なテアニンの合成¹⁰⁾等がある。根系を構成する各種の根がこれらの諸機能を分担しており、植物体の支持や養分貯蔵は主としてエージの進んだ太い木化根が^{20,21)}、また養水分吸収やアミノ酸合成は主としてエージの若い白色細根^{27,28)}が担っているものと考えられる。

茶栽培における深耕や断根技術の意義を明らかにし根系制御技術確立するためには、根系を構成する各種の根が様々な生理機能をどのように分担しているかを定量的に解明し、それに基づいて制御目標となる根系構造の理想型を明確化する必要がある。適切な根系制御技術は、新芽生産性の向上だけでなく、養分吸収能力の向上を通じて多肥問題⁴⁾の解決等にも資するため、その確立が早急に求められている。そこで本研究では、根系を構成する根を直径別に分級し、それぞれの構成比率を求めるとともに、養分吸収、アミノ酸合成、炭水化物蓄積等の生理機能の分担割合を推定し、それに基づいて茶樹根系の理想型について考察した。

材料と方法

1. 植物材料

品種‘かなやみどり’2年生挿し木苗を1992年3月に圃場に定植し、翌年一番茶萌芽期(4月15日)に掘り取り調査を行った。株元を中心に約60cm四方の土壌を深さ約50cmまで掘り下げ、流水で丁寧に土を洗い流しながら根を掘り出した。合計3個体掘り取った茶樹のうち2個体は器官別(根については以下で述べるグループごと)に解体し、乾燥重量を求めた後粉碎し、成分分析を行った。各種生理機能の測定は残りの1個体を用いて行った。直径を基準とした根の分級方法は原則として従来の報告^{2,26)}に従ったが、ここでは細根及び中根をさらに細分し、白色細根($\phi < 1$ mm)、褐色細根($\phi 1-2$ mm)、中根I($\phi 2-5$ mm)、中根II($\phi > 5$ mm)の四段階に分級した(第2表参照)。また、横断面を

塩酸-フロログルシンで染色し、年輪数の確認を行った¹³⁾。

2. 根の呼吸速度及び窒素吸収速度

根の呼吸速度の測定には、生物呼吸測定装置(O_2 アップテスター 5B型, タイテック)を用いた。容量500 mlの反応容器に350 mlの50 mM リン酸緩衝液(pH 7.0)を入れ、その中に約5 cmの長さに切断した分級根を浸した。25°Cの恒温水槽中に反応容器を沈め、2~4時間内の酸素消費量をマンオメーターから読み取り、根の乾物重当たりの酸素消費速度を算出した。

呼吸速度の測定と並行して、リン酸緩衝液中に25 ppm N ずつの ^{15}N -硫酸アンモニウムと ^{15}N -硝酸カリウム(いずれも10 atom% ^{15}N)を加え、4時間の間に吸収された ^{15}N 量から乾物重当たりの窒素吸収速度を求めた。 ^{15}N の分析は発光分光法¹⁴⁾で行った。呼吸及び窒素吸収速度の測定は3反復で行った。

3. 根の遊離アミノ酸

遊離アミノ酸の分析は、オルトフタルアルデヒド(OPA)誘導体蛍光発色法⁹⁾による高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で行った。乾燥粉末試料より遊離アミノ酸を熱水(80°C)抽出し、アミノ酸のOPA誘導体をODSカラムを用いた逆相クロマトグラフィーで分離し、蛍光強度を測定した。主なHPLC分析条件は以下の通りである。

カラム: 資生堂 Capcell Pak C₁₈ SG 120 (4.6×250 mm, 5 μ m)

移動相: 16%エタノール+50%エタノールの60分間混合グラジェント

流量: 1.0 ml/min

4. 全可利用炭水化物(Total Available Carbohydrate, TAC)と全窒素

茶樹各部位のTAC含量は酒井¹⁹⁾の方法に従い、乾燥粉末試料を糊化してジアスターゼ処理を行い、抽出物を塩酸で加水分解して得られた還元糖を定量した。従って、TACの内容は酵素によって分解・抽出されたデンプン及び糖類である。試料の全窒素含量はセミマイクロケルダール法⁹⁾で求めた。

結 果

1. 器官別にみた樹体構成比率と化学成分の樹体内分布

定植2年目の茶樹の樹体構成比率と各器官の全窒素及びTAC含量を第1表に示す。器官別の乾燥重

Table 1. Dry weight ratio and chemical characteristics of the plant parts in tea trees two years after transplanting.

Plant part	Dry weight ratio ^a		TAC ^b	T-N ^c
	(g plant ⁻¹)	(%)	(%)	(%)
Leaf+Bud	41.4	30.1	21.2	3.25
Stem	42.1	30.6	18.9	1.28
Root	54.1	39.3	35.1	1.61
Whole plant	137.6	100.0	—	—
Top/Root ratio	1.53	—	—	—

^a Values are the mean of two plants.^b Total available carbohydrate % on dry weight basis.^c Total nitrogen % on dry weight basis.

Table 2. Number of annual ring, dry weight ratio and chemical characteristics of tea roots with different diameter in a root system.

Classified root	Diameter (mm)	Annual ring	Dry weight ratio ^a		TAC	T-N
			(g plant ⁻¹)	(%)	(%)	(%)
White rootlet	1.0>	—	16.24	30.0	8.4	2.36
Brown rootlet	1.0—2.0	1—2	5.58	10.3	30.8	1.65
Medium root I	2.0—5.0	2	7.91	14.6	45.6	1.43
Medium root II	5.0<	2—3	24.38	45.1	50.1	1.17
Whole root	—	—	54.11	100.0	—	—

^a Values are the mean of two plants.

Symbols are the same as those in Table 1.

量比率は根が40%と最も多く、葉+芽及び茎がそれぞれ30%を占めた。また、地上部/地下部重比(T/R)は1.53の値を示した。TAC含有率は根が35.1%と最も高く、次いで葉+芽、茎の順であった。全窒素含量率は葉+芽が3.25%と最も高く、根がそれに続き、茎が最も低かった。葉、茎、根の重量に両成分の含有率を乗じて各部位への両成分の分布割合を計算した(第1図)。一番茶萌芽期には、全窒素の50%近くは地上部の葉+芽に分布したが、根にもかなりの量の窒素の存在が認められた。一方、樹体内のTACの半分以上が根に存在し、葉や茎への蓄積量は相対的に少なかった。

2. 直径別に分級した根の構成比率と化学成分含量

直径別に分級した根の年輪数、根系内における各分級根の構成比率、及びその化学成分含量を第2表に示す。エージの最も若い白色細根に年輪は見られなかったが、褐色細根では1-2本、中根Iでは2本、そして中根IIでは2-3本の年輪が観察された。このように樹齢の比較的若い茶樹においては、根の直径と年輪数(エージ)の間には良い対応関係が認められた。各分級根の乾燥重量比率をみると、木化

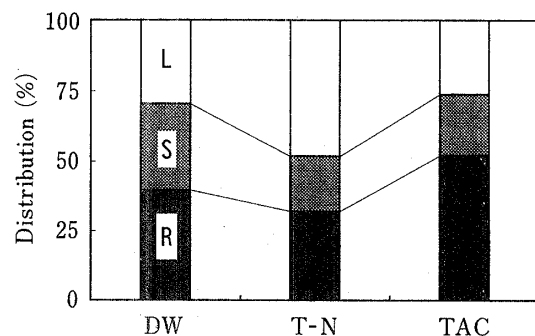


Fig. 1. Distribution of dry matter (DW), total nitrogen (T-N) and total available carbohydrate (TAC) among leaf, stem and root of tea tree at bud break stage of the first flush. L: leaf and bud, S: stem, R: root.

の進んだ中根IIが45%と最も多く、次いで白色細根の30%、中根Iの15%、褐色細根の10%であった。TAC含有率は白色細根では8.4%と非常に低かったが、エージの進行にともなって急激に高まり、中根IIでは50%を越える高い値となった。一方、全窒素含有率は白色細根で2.36%と高く、エージの進行にともなって次第に低下した。

3. 根系内における生理機能の量的分担

第3表に、直径別に分級された根の乾物重当たり

Table 3. Rates of respiration and nitrogen uptake in tea roots with different diameter.

Classified root	O ₂ consumption ($\mu\text{LO}_2 \cdot \text{gDW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	Nitrogen uptake ($\mu\text{g}^{15}\text{N} \cdot \text{gDW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
White rootlet	445 (100)	10.80 (100)
Brown rootlet	260 (58)	2.84 (26)
Medium root I	145 (32)	1.73 (16)
Medium root II	71 (16)	0.59 (6)

Values are the mean of three determinations.

Numerals in parentheses are relative values to white rootlet (100).

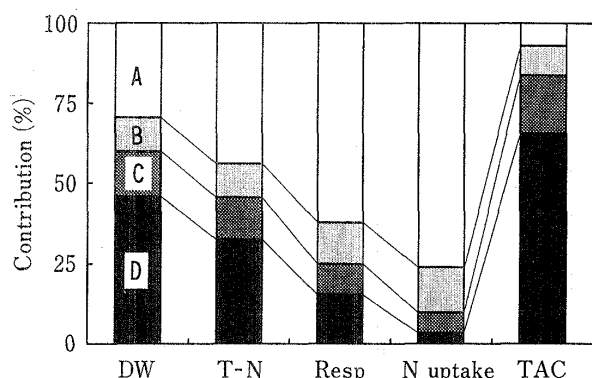


Fig. 2. Allotment of some physiological functions among the roots with different diameter in a root system of tea tree. A: white rootlet, B: brown rootlet, C: medium root I, D: medium II, Resp: respiration, N uptake: nitrogen uptake. Other symbols are the same as those in Fig. 1.

の呼吸速度と窒素吸収速度を示す。呼吸速度は白色細根で最も高く、褐色細根はその58%，中根IIは同16%の値を示した。窒素吸収速度も同様に白色細根が最も高かった。窒素吸収速度は根のエッジの進行につれて急激に低下し、褐色細根では白色細根の26%，中根IIでは同6%と非常に低い値となった。

茶樹の根系を構成する各種の根の間で、様々な生理機能がどのような割合で分担されているかを知るために、各分級根の乾物重に上述の生理活性値を乗じて、生理機能の量的貢献度を推定した(第2図)。根系の生理機能において細根の果たす役割は大きく、白色細根と褐色細根が根系全体の呼吸活性の62%と13%を、また窒素吸収活性の76%と14%を、それぞれ担っていた。なかでもエッジの若い白色細根の役割が非常に大きかった。成分含量でみた場合、根系内の全窒素の44%は白色細根に存在したが、重量比の大きい中根IIにも32%とかなりの割合で存在した。一方、TACの84%は木化の進ん

だ中根I及び中根IIに分布し、エッジの若い細根への蓄積量は少なかった。

4. 分級根の遊離アミノ酸組成

第4表に直径別に分級した根の遊離アミノ酸含量を示す。白色細根に含まれる遊離アミノ酸をみると、テアニンが全体の61%を占めて最も多く、次いで、アルギニン、グルタミン等のアミドが多く存在した。褐色細根ではテアニン含量は急速に低下し、代わりにアルギニン含量が高まった。この傾向は木化の進行とともにさらに強まり、中根IIでは全遊離アミノ酸の68%をアルギニンが占め、テアニンの比率は17%にまで低下した。また根のエッジの進行につれて、グルタミンはテアニンとアラニンはアルギニンと同様な増減傾向を示した。総遊離アミノ酸含量は白色細根が乾物1g当たり46mgと最も高かったが、根のエッジの進行程度と総遊離アミノ酸含量の変化傾向は必ずしも対応せず、褐色細根や中根Iに比べ中根IIでやや高い値を示した。

考 察

1. 炭水化物及び窒素の樹体内分布

本実験で茶樹を掘り取った一番茶萌芽期は、前年秋期から始まった樹体内への貯蔵炭水化物の蓄積がピークに達する時期である。デンプン蓄積が顕著な部位として木化の進んだ太根が知られている^{20,21,22)}が、本実験の結果もこれを裏付けた。TACの含有率はエッジの進んだ木化根ほど高く、中根IIでは含有率は50%を越えた。樹体内の量的分布をみてもTACの50%以上は根に分布し、その84%は木化の進んだ中根に集中していた(第1図、第2図)。炭水化物の貯蔵場所としての木化根の重要性は、茶樹の樹齢が進むにつれてさらに高まっていくものと考えられる。これら貯蔵炭水化物は、一番茶新芽の萌芽・発育にともなって急速に減少することから、新芽の発育に重要な役割を果たしていると考えられ

ている^{1,15)}。

一方、樹体内に存在する窒素化合物の役割も、一番茶新芽品質との関連で無視することはできない²⁵⁾。新芽窒素に対する樹体内貯蔵窒素の寄与率は70%にも達することが報告されている^{6,16)}。そこで、窒素が樹体内のどの部位に存在するかをみたところ、その50%近くは葉に分布したが、根や茎への分布もかなりみられた(第1図)。この結果は、越冬葉が窒素の貯蔵部位として重要なことを示唆している。しかし、冬期に吸収された窒素の多くが根に滞留し、春期に新芽に移動する^{7,17)}ことも見い出されていること等から、樹体内窒素の動態に関してはさらに検討が必要であろう。

2. 各種生理機能の根系内分布

チャの根の持つ重要な生理機能の一つに、テアニンを始めとする遊離アミノ酸合成能力がある。テアニンはチャに特有なアミドで緑茶の重要な呈味成分であるため、その合成能力は新芽品質と密接な関係を持っている。根がテアニンの合成能力を有することはトレーサー実験^{10,23)}によって証明されているが、エージの異なる分級根の遊離アミノ酸組成を比較した本実験の結果は、テアニンの合成中心がエージの最も若い白色細根であることを明瞭に証明した(第4表)。山下²⁸⁾も遊離アミノ酸含量がエージの若い根ほど高いことを報告している。根のエージが進むとテアニン含量は徐々に低下し、代わってアルギニン含量が高まった。木化根におけるアルギニン蓄積の生理的意味は現段階では明確ではないが、根中における窒素の貯蔵形態ではないかと推察される。

植物根の最も基本的な生理作用は養水分の吸収にあり、また根の呼吸活性は養水分吸収と密接な関係を持っている⁵⁾。そこで、チャの根系を構成する各種の根が、これらの機能をどのように分担している

かを推定したところ、直径2 mm以下の細根が根系全体の呼吸活性の75%、窒素吸収活性の90%を担っており、特にエージの若い白色細根の役割が極めて大きいことが明らかとなった(第2図)。圃場より根を掘り上げる際に、細根の一部は調査土壌の範囲外にまで伸長しており、その回収率が100%に至らなかったことを考えると、茶樹根系の養分吸収能に占める細根の役割はこの数字以上と考えられる。生物体の呼吸量は基本的にその生体重に比例するため、重量比の大きな直径2 mm以上の中根が根系全体の吸収量の約25%を占めた。しかし、養分吸収活性そのものでみた場合、中根までエージの進んだ根の貢献度は10%に過ぎなかった。茶樹の養水分吸収の主要な場が細根であることは従来から定性的に知られてはいた²⁹⁾が、本実験の結果はそれを定量的に証明したものである。

乾物重当たりで比較した白色細根の窒素吸収速度は、木化の進んだ中根IIの約17倍高い値を示した(第3表)。こうした白色細根の養分吸収速度の大きさは、根のどのような特性に起因するのであろうか。ここで白色細根の平均直径を1.0 mm、中根IIの平均直径を5.0 mm、両分級根の比重は等しいものと仮定して乾物重当たりの根表面積を比較すると、白色細根は中根IIの5倍の値となる。従って、乾物重当たりの窒素吸収速度が白色細根で大きいのは、根が細く乾物重当たりの表面積が大きいことが一因と考えられる。土壤溶液と接触する根の表面積の大きさが根系の養分吸収能力を決定する主要因であることは、植物一般に良く知られた事実である¹¹⁾。しかしながら、窒素吸収速度を根表面積当たりに換算した場合でも、白色細根は中根IIの3-4倍(17/5=3.4)の高い値を示す。このことは、根のエージによってアンモニアあるいは硝酸イオンに対する膜の透過性が異なり、若い根ほど透過性が大

Table 4. Content of free amino acids (mg gDW⁻¹) in tea roots with different diameter.

Amino acid	White rootlet	Brown rootlet	Medium root I	Medium root II
Theanine	28.35 (61.2)	7.25 (34.4)	4.95 (25.3)	4.92 (16.8)
Arginine	7.72 (16.7)	9.33 (44.3)	10.88 (55.5)	19.90 (68.0)
Glutamine	5.04 (10.9)	0.49 (2.3)	0.24 (1.2)	0.20 (0.7)
Alanine	0.68 (1.5)	0.54 (2.6)	0.97 (5.0)	1.64 (5.6)
Others	4.55 (9.8)	3.46 (16.4)	2.55 (13.0)	2.60 (8.9)
Total	46.34 (100)	21.07 (100)	19.59 (100)	29.26 (100)

Values are the mean of three determinations.

Numerals in parenthesis are relative values to total amino acid (100).

きいことを示している。根のエージが進むと、表皮のスベリン化等のため水やイオンの透過性が低下することがインゲンでも認められている³⁾。

従って、白色細根の窒素吸収速度の大きさは、根が細く乾物重当たりの表面積が大きいこと、及びイオンに対する透過性が大きいこと、の2点にあると考えられる。イオンに対する透過性の大小には、膜の物理的抵抗だけでなく、吸収されたイオンの代謝能力も密接に関係しているものと思われる。

3. 茶樹根系の理想型

青野ら²⁾は、木化根の重さは樹齢の進行にともなって増加するが、細根の重量増加は栽植後6-7年経過すると停滞し、それ以後細根は同じ根域内で更新を繰り返すことを見出している。山下²⁰⁾も、樹齢5年以降は白色根の増加が緩慢となり、根群中に占める白色根の割合は低下することを報告している。樹齢10年以上を経過した茶樹の根系構造を詳細に調査した報告は見当たらないが、樹齢の進行にともなって木化根比率はさらに高まり、逆に細根比率は低下して行くものと思われる。深耕や断根等の根系改善処理のねらいは、木化根を切断・除去して新根としての細根の発生を促し、養分吸収活性の高い細根比率を高めることにある²⁹⁾。養分吸収の大部分は細根が担っているとする本実験の結果からも、細根の量や割合を増やすことができれば根系の養分吸収能力は増大すると思われる。また新根の発生により根系のアミノ酸合成能力も高まり、新芽品質の向上にも有効に働くであろう。こうした観点から考えた場合、細根比率の高い根系ほど理想型に近いといえよう。

一方、茶樹根系の機能は養水分吸収やアミノ酸合成のみに限定されているわけではない。すでに述べたように、秋冬期の余剰同化産物の多くは木化の進んだ根にデンプンの形で蓄積され、翌年一番茶の生長に利用される。根中における炭水化物や窒素化合物等の貯蔵物質は、新芽生長に利用されるだけでなく、急激な生育環境の悪化に対する緩衝作用も果たしている。定植後間もない幼木では、根圏環境の悪化等により立枯症が多発することがあるが、木化根の発達しやすい品種は立枯症にかかり難いことが知られている²⁴⁾。木化根の未発達な根では、貯蔵養分の蓄積が不十分なため環境ストレス耐性が小さいことがその原因と推察される。また、樹齢が古くなった茶樹では地際部から台切り更新をすることがあるが、それでも茶樹は枯死せず再萌芽してくる。これ

も根中の貯蔵養分が生長基質として利用されるためである。このように茶樹における木化根は環境ストレス耐性に重要な役割を果たしている。こうした観点に立てば、永年生植物である茶樹の根系は養水分吸収のための細根だけでなく、生育環境の激変に備えるための木化根を必要としているといえる。

従って茶樹根系の理想型は、収量・品質を重視する立場と環境ストレス耐性を重視する立場とで異なり、栽培目的に応じた根系の理想型の確立が必要と考えられる。また土壌中における根系の3次元分布は、根系構造を決定するもう一つの指標である。根の水平あるいは垂直方向への分布が茶樹の乾燥ストレス耐性に深く関わっていることは、2年続きの干ばつ被害が教えるところである。土壌中における根系の3次元分布は養分吸収効率とも密接に関わっており、茶園の多肥問題解決のためにも、こうした観点からの研究が必要とされている。

本実験では定植後2年目の若い茶樹を調査対象としたが、T/R比や全根重に占める細根比率などは、樹齢のさらに進んだ茶樹で報告されている数値^{2,26)}とは多少異なっていた。従って、ここで得られた結果が成木でも同様に認められるかどうかについては、さらに検討が必要と考えられる。

引用文献

1. 青野英也・酒井慎介・山下正隆・石垣幸三 1968. チャの根の発育・生理に関する研究史的解説. 茶技研 69:1-16.
2. ———・築瀬好充・田中静夫 1981. 茶樹の根群の発達と土壤保全機能. 第1報 樹齢の進行に伴う茶樹の根群の発達と分布. 日作紀 50:157-163.
3. Fiscus, E. L. and A. H. Markhart III 1979. Relationships between root system water transport properties and plant size in *Phaseolus*. Plant Physiol. 64:770-773.
4. 八戸三千男 1995. 環境保全に配慮した茶栽培技術. 研究ジャーナル 18:29-35.
5. ヒュイット, E. J.・T. A. スミス 1979. 植物の無機栄養. 鈴木米三・高橋英一 共訳. 理工学社, 東京. 50-87.
6. 保科次雄・香西修治・石垣幸三 1978. 茶樹における夏肥窒素の吸収代謝に及ぼす施肥時期及び窒素形態の影響. 茶技研 54:28-32.
7. ———・——— 1979. 茶樹による冬期施肥窒素の吸収. 茶研報 50:84-86.
8. 池ヶ谷賢次郎・高柳博次・阿南豊正 1990. 茶の分析法. 茶研報 71:43-74.
9. 木内知美 1976. 全窒素. 作物分析法委員会編, 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂, 東京. 63-69.

10. 小西茂毅・葛西善三郎 1968. 茶樹におけるテアニンおよびその関連物質の代謝と制御. 第2報 茶樹における $^{14}\text{CO}_2$ からのテアニン生成とその部位. 土肥誌 39: 439—443.
11. クレーマー, P. J. 1986. 水環境と植物. 田崎忠良監訳. 養賢堂, 東京. 244—270.
12. 前原三利・平峯重郎・平田三千男・江崎 進 1969. 茶園における敷きわら, 深耕, 塩基施用の効果. 九州農業研究 28: 145—146.
13. 宮崎 信 1976. リグニン. 作物分析法委員会編, 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂, 東京. 399—406.
14. Muhammad, S. and K. Kumazawa 1974. Assimilation and transport of nitrogen in rice. I. ^{15}N -labelled ammonium nitrogen. Plant Cell Physiol. 15: 747—758.
15. 中山 仰 1972. 茶樹光合成に関する研究の現状と問題点. 茶研報 37: 1—11.
16. Okano, K., S. Komaki and K. Matsuo 1994. Remobilization of nitrogen from vegetative parts to sprouting shoots of young tea (*Camellia sinensis* L.) plants. Jpn. J. Crop Sci. 63: 125—130.
17. ——— and K. Matsuo 1996. Seasonal changes in uptake, distribution and redistribution of ^{15}N -nitrogen in young tea (*Camellia sinensis* L.) plants. Jpn. J. Crop Sci. 65: 709—715.
18. 大石貞男 1985. 茶栽培全科. 農文協, 東京. 1—268.
19. 酒井慎介 1968. Weinmann 法による茶炭水化物簡易定量法の検討. 茶技研 36: 21—27.
20. ——— 1987. 茶樹の光合成, ならびに物質生産に関する研究. 茶試研報 22: 19—273.
21. 讀井 元・中山 仰・加納照崇・酒井慎介 1967. 幼茶樹の生育に伴う体内成分の変化に関する研究. 茶試研報 4: 1—33.
22. 関谷直正・山下正隆・田中勝夫 1978. 摘採回数および整枝時期が秋冬期の茶樹の乾物生産および炭水化物蓄積に及ぼす影響. 茶技研 55: 13—27.
23. Takeo, T. 1980. Ammonium-type nitrogen assimilation in tea plants. Agric. Biol. Chem. 44: 2007—2012.
24. 鳥屋尾忠之・土井芳憲 1984. チャ立枯症の品種間差異と幼木における地際部発根性. 茶研報 59: 13—18.
25. 山下正隆・関谷直正・田中勝夫 1984. 暖地茶樹における摘採回数および秋冬期の葉層が窒素の吸収及び蓄積に及ぼす影響. 茶研報 60: 15—28.
26. ——— 1984. 茶樹の根群に関する栽培学的研究. 第2報 根のエージ別分級法による根群の解析. 日作紀 53: 139—144.
27. ——— 1985. ——— 第3報 断根後の根の再生と白色根の機能. 日作紀 54: 337—345.
28. ——— 1986. ——— 第5報 断根後の根の再生とそれに伴う炭水化物, アミノ酸および窒素含有量の変化. 日作紀 55: 533—541.
29. ——— 1989. 茶樹における根群の形成と断根後の根の再生に関する研究. 野菜茶試研報 D2: 29—117.