チャ及び近縁ツバキ属植物における木部樹液中のアミノ酸組成

独立行政法人 農業技術研究機構 花き研究所*

岡野 邦夫

独立行政法人 農業技術研究機構 野菜茶業研究所**

松尾 喜義・近藤 貞昭

(平成15年5月27日受理)

Composition of Amino Acids in Xylem Sap of Genus *Camellia*

Kunio Okano

National Institute of Floricultural Science, National Agricultural Research Organization

Kiyoshi Matsuo and Sadaaki Kondo

National Institute of Vegetable and Tea Science, National Agricultural Research Organization

Summary

Composition of amino acids in xylem sap of genus *Camellia* was investigated in order to clarify the physiological significance of theanine accumulated in tea leaves. Xylem sap was collected from intact stems by vacuum suction, and amino acids composition was analyzed by HPLC. Major amino acids founded in section *Thea* were glutamine, theanine and arginine, while those recognized in sections *Camellia*, *Heterogenea* and *Paracamellia* were glutamine and arginine. Considerable amount of theanine could be detected only in section *Thea*. Based on the comparison of amino acids composition between xylem sap and new shoots, it was assumed that glutamine in xylem sap would act as a precursor for further metabolism, while theanine and arginine would play a role of nitrogen translocation, storage and/or ammonium detoxification.

Key words: amino acid, genus *Camellia*, tea, theanine, xylem sap

1 緒 言

緑茶の旨味を決めるのは、チャ新芽中に多量に存在する遊離アミノ酸である¹⁾。なかでもテアニン(γ -glutamylethylamide)は、チャ

に特異的であるとともに量的にも多く、全遊離アミノ酸の30~40%を占める。テアニンは、根中でグルタミン酸とエチルアミンからテアニン合成酵素によって生成され、地上部に移行するが^{2,3)}、その生理的意義については不明

* 〒305-8519 茨城県つくば市藤本2-1

** 〒428-8501 静岡県榛原郡金谷町金谷2769

な部分が多い。一方、チャ以外のツバキ属植物 (Genus *Camellia*) の新芽からはテアニンはほとんど検出されない⁴⁾。これは根のテアニン合成能力 (エチルアミン合成能力⁵⁾) の差異に起因すると考えられるが、その直接的な証明はされていない。

チャでは真空吸引法により木部樹液 (導管液) が比較的容易に採取でき、根における窒素代謝や樹体の栄養診断の研究に利用されている^{6,7,8,9,10,11)}。木部樹液中に検出される窒素化合物は、窒素同化の比較的初期過程にあるアミノ酸類である⁷⁾。また、木部樹液の分析は、台切り更新にともなう根部の機能変化を評価する手法としても有効である¹¹⁾。そこで本研究では、植物種による根のアミノ酸合成能力の違いや茶葉への多量のテアニン集積の生理的意義を明らかにする目的で、真空吸引法によりチャ及び近縁ツバキ属植物から木部樹液を採取し、含まれる遊離アミノ酸を分析・比較した。

チャは典型的な多肥作物とされているが、その背景にはテアニン等の遊離アミノ酸含量の高い上級茶の生産志向がある。従って、茶

園の多肥問題を解決するためにも、チャにおけるテアニン集積の生理的意義を明らかにすることが重要である。また、化学成分に基づいたツバキ属植物の分類⁹⁾を行う上でも、チャ及びその近縁種の根のアミノ酸合成能力を比較生理学的に解明することは有意義と考えられる。

2 材料および方法

2. 1 調査したツバキ属植物

調査対象としたツバキ属植物の類縁関係を図1に示す。ツバキ属植物の分類には多くの説が提唱されているが、ここでは最も広く受け入れられているSealy¹²⁾の分類に従った。植物材料は、農林水産省野菜・茶業試験場 (金谷) (現農業技術研究機構野菜茶業研究所) で保存栽培されている樹齢が10~20年のチャ節 (Section *Thea*)、ツバキ節 (Section *Camellia*)、カワリツバキ節 (Section *Heterogenea*) 及びサザンカ節 (Section *Paracamellia*) 植物の中から選定した (図1)。

チャ節は中国変種 (*C. sinensis* var. *sinensis*) とアッサム変種 (*C. sinensis* var. *assamica*)

図1 調査したツバキ属植物の類縁関係 (Sealy (1954) の分類による)

samica)に大別される。そこで、中国変種の代表として‘やぶきた’を、またアッサム変種としてインドから導入された‘金インド’、セイロン(スリランカ)から導入された‘ACE 33’、及びマレーシアから導入された‘ABO 11’の3系統を選定した。イラワジエンシス(*C. irrawadiensis*)及びカンボジエンシス(*C. cambodiensis*)は、それぞれビルマ(ミャンマー)及びカンボジアの固有種であるが、その帰属関係には不明瞭な部分が多い⁴⁾。ツバキ節からはヤブツバキ(*C. japonica*)を、カワリツバキ節からはフルフラセア(*C. furfuracea*)を選定した。カワリツバキ節植物は中国南部からインドシナ半島にかけて分布しており、フルフラセアは台湾では台湾山茶とも呼ばれる⁴⁾。サザンカ節からはサザンカ(*C. sasanqua*)とユチャ(*C. oleifera*)を選定した。ユチャは長江以南の中国各省において油料作物として栽培されている。また図1には示されていないが、チャとヤブツバキの種間雑種であるチャツバキ¹³⁾についても調査を行った。

2. 2 栽培管理

チャ節のアッサム変種、カンボジエンシス、イラワジエンシスの3種は冬季加温ガラス室内で、ヤブツバキ、フルフラセア、サザンカ、ユチャ、チャツバキの5種は遺伝資源保存圃場で保存栽培されている樹種を用いた。これら遺伝資源植物は春肥のみを施用しているため、通常の栽培茶樹と比べて約1/3の少肥栽培であった。一方、チャ節の中国変種(‘やぶきた’)は、野菜茶試の施肥基準に従って一般圃場で栽培されている茶樹の中から選定した。従って、窒素施肥量は他のツバキ属植物より2~3倍多かった。

2. 3 木部樹液の採取

木部樹液の採取は1992年11月上旬の数日間に行った。採取には、500mlのナス型フラスコと100mlの大型試験管を内径5mmのシリコンチューブで連結した簡易樹液採取装置¹¹⁾を用いた。この装置を小型真空ポンプ(MINIVAC PD-52, ヤマト)に接続し、U字型真空計で測定した真空度が50mmHg以下になるまで吸引

した後、ホフマン型のピンチコックで真空系の両端を塞ぎ、真空ポンプから取り外した。

対象となるツバキ属植物より太さ7~8mmの枝2本ずつを選び、以下の手順で各枝から木部樹液を採取した。枝先を剪定ばさみで切断し、切断部分から10mm程度の樹皮をナイフで剥がした。枝先を蒸留水を含ませたガーゼで拭いた後、大型試験管側のシリコンチューブを装着し、ピンチコックを開放にした。樹液採取装置は午後5時に枝先に装着し、翌朝9時に回収した。大型試験管に採取された樹液は、液量を測定した後にプラスチック製試験管に移し、-15°Cのフリーザー中に凍結保存した。

2. 4 新芽の採取

1993年5月上旬に、木部樹液を採取したツバキ属植物の新芽(生長点と展開中の新葉2~3枚を含む部分)を採取した。新芽はただちに蒸熱処理し、80°Cで通風乾燥した後、振動粉碎器(TI-100, 平工製作所)で微粉碎し、アミノ酸分析用試料とした。

2. 5 遊離アミノ酸の分析

冷凍保存した木部樹液は室温下で解凍し、シリンジフィルター(0.45 µm)でろ過した後、分析に供した。樹液中の遊離アミノ酸濃度が高い場合には、蒸留水で適宜希釈した。新芽については、公定法¹⁴⁾に従って粉末試料を熱水抽出し、ろ過した液を分析試料とした。

遊離アミノ酸の分析は、オルトフタルアルデヒド(OPA)誘導体蛍光発色法による高速液体クロマトグラフィー¹⁴⁾で行った。主な分析条件は以下の通りである。

ポンプ: ウォーターズM-45

カラム: 資生堂Capcell Pak C18 SG120
(4.6×250mm, 5 µm)

移動相: A液, 16%メタノール

B液, 50%メタノール

流量: 1.0ml/min

グラジェント: A液100%から60分間かけて直線的にB液100%に変化させる。

3 結 果

簡易樹液採取装置を用いた真空吸引法により、夕方から翌朝までの間に1本の枝から30 ml~150mlの樹液が採取できた。しかし、採取量は植物種あるいは採取日によって大きく変動した(テータ略)。樹液中の総アミノ酸濃度は、チャ中国変種(‘やぶきた’)あるいは加温ガラス室内で栽培されたアッサム変種、イラワジェンシスで高く、遺伝資源保存圃場で栽培されたツバキ節やサザンカ節植物で低い傾向が見られた(図2A)。

9種類のツバキ属植物から採取された木部樹液のアミノ酸組成比を表1に示す。樹液や新芽のアミノ酸分析結果はアッサム変種の3系統で類似していたので、以下の図表では‘ACE33’の値をアッサム変種の代表値として示した。チャの中国変種及びアッサム変種では、グルタミンとテアニンが際立って多く、この2種で全体の55-70%を占めた。チャ節のイラワジェンシスとカンボジェンシスでは、グルタミン、アルギニン、テアニンの3種が主要なアミノ酸であり、これにグルタミン酸、アスパラギン酸が続いた。ツバキ節、カワリツバキ節及びサザンカ節植物では、グルタミ

ンとアルギニンの2種が主要なアミノ酸であった。多くの場合、グルタミンが50-70%を占めて最も多かったが、サザンカ節のユチャ

図2 9種類のツバキ属植物から採取された木部樹液(A)及び(B)新芽の総アミノ酸含量
中国種：品種‘やぶきた’，
アッサム種：品種‘ACE33’
木部樹液(A)のアミノ酸濃度は2本の枝の
平均値を示す。

表1 チャ及び近縁ツバキ属植物の木部樹液中のアミノ酸組成比(%)

アミノ酸	チャ節				ツバキ節		カワリツバキ節		サザンカ節		チャツバキ
	中国変種 ¹⁾	アッサム変種 ²⁾	イラワジェンシス	カンボジェンシス	ヤブツバキ	フルフラセア	サザンカ	ユチャ	チャ×ヤブツバキ		
アスパラギン酸	3.4	2.8	2.9	13.6	2.0	1.6	2.6	1.6	1.5		
グルタミン酸	5.2	6.8	9.9	9.5	9.7	6.5	3.9	3.7	7.4		
アスパラギン	0.8	1.1	1.1	0.4	0.3	1.9	0.6	0.2	0.1		
セ リ ン	0.8	1.1	0.8	2.6	0.5	1.1	1.1	0.9	0.5		
グルタミン	30.4	36.8	26.7	12.2	68.3	53.1	59.3	27.8	61.7		
アルギニン	12.7	6.7	21.6	26.5	10.7	27.9	13.9	61.0	8.1		
スレオニン	1.5	1.4	2.0	1.7	0.9	0.8	2.5	0.3	0.9		
テア ニ ン	28.5	33.3	21.2	18.1	N.D.	0.6	N.D.	N.D.	14.3		
アラ ニ ン	1.2	1.1	1.3	1.3	0.6	0.6	0.6	1.0	0.1		
そ の 他 ³⁾	15.5	8.9	12.5	14.1	7.0	5.9	15.5	3.5	5.4		

¹⁾品種‘やぶきた’，²⁾系統‘ACE33’

³⁾チロシン，γ-アミノ酪酸，メチオニン，バリン，フェニルアラニン，イソロイシン，ロイシン，リジン
N.D.：今回用いた分析法(HPLC)では検出されなかった。

数字は2本の枝の平均値を示す。

では逆にアルギニンの組成比が60%以上と高かった。テアニンはチャ節以外の樹液からは検出されなかったが、ツバキ節のフルフラセアからは例外的に微量のテアニンが検出された。なお、チャツバキはチャとヤブツバキの中間的な値を示し、ヤブツバキと同様にグルタミンが約60%と多かったが、テアニンもチャの半量程度の組成比で検出された。このように、ツバキ属植物の木部樹液のアミノ酸組成は比較的単純であり、グルタミン、アルギニン及びテアニンの3種類が主要なアミノ酸種であった。

木部樹液を採取した翌年の5月にサンプリングした新芽の遊離アミノ酸組成比を表2に示す。いずれの植物においても、木部樹液より新芽の方がアミノ酸組成が多様であった。チャ節植物ではテアニンが最も多く、全遊離アミノ酸の26-37%を占めた。アルギニン、アスパラギン酸、グルタミン酸、セリン等も比較的多量に検出されたが、その含量はチャ節植物の中で一定した傾向が認められなかった。ツバキ節、カワリツバキ節、サザンカ節植物の新芽では、テアニンの代わりに高濃度のアルギニンの蓄積が認められた。しかしユチャのみは、木部樹液中に多量のアルギニンが存在したにも関わらず、新芽中にはセリン、

アスパラギン酸、スレオニン、アルギニン等が分散して存在した。木部樹液の場合と同じく、チャ節以外の植物の新芽からはテアニンは検出されなかったが、フルフラセアのみは10%程度のテアニンの蓄積が認められた。なお、チャツバキの新芽の遊離アミノ酸の50%以上はアルギニンであったが、かなりの量のテアニンも認められた。

新芽の総アミノ酸含量はチャ節の中国変種及びチャツバキの2種が際立って高く、その他の植物種はこれらの1/4以下の値であった(図2B)。

4 考 察

4.1 ツバキ属植物におけるテアニンの分布

小西・葛西²⁾は¹⁴CO₂の取り込み実験結果から、テアニンの合成部位は葉ではなく根であることを示した。永田⁴⁾も接ぎ木植物の分析結果から、テアニンの合成部位は根であるとしている。すなわち、チャ台木に接ぎ木したイラワジエンシスからはテアニンが検出されたが、ツバキ台木に接いだ場合は検出されなかった。種々のツバキ属植物の木部樹液と新芽のアミノ酸組成を比較した本実験では、新芽にテアニンの蓄積が認められた植物では、例外なく木部樹液中にもテアニンが検出され

表2 チャ及び近縁ツバキ属植物の新芽のアミノ酸組成比 (%)

アミノ酸	チャ節				ツバキ節		カワリツバキ節		サザンカ節		チャツバキ
	中国変種 ¹⁾	アッサム変種 ²⁾	イラワジエンシス	カンボジエンシス	ヤブツバキ	フルフラセア	サザンカ	ユチャ	チャ×ヤブツバキ		
アスパラギン酸	9.5	15.1	28.5	15.2	15.7	12.3	12.0	16.7	6.3		
グルタミン酸	7.2	10.1	8.2	11.0	8.3	9.3	10.8	9.3	3.8		
アスパラギン	1.3	0.8	2.0	2.4	1.3	3.5	1.4	1.5	1.6		
セ リ ン	9.4	11.2	10.3	9.7	11.7	8.9	5.1	17.2	5.9		
グルタミン	8.7	2.3	3.1	3.1	1.3	1.8	6.5	1.9	7.8		
アルギニン	19.5	3.9	7.1	13.1	33.4	34.4	47.9	10.3	51.2		
スレオニン	3.5	6.2	6.1	4.5	10.1	4.7	7.3	15.2	2.9		
テアニン	31.9	36.8	25.6	36.6	N.D.	11.2	N.D.	N.D.	15.0		
アラニン	5.8	4.3	4.1	3.1	8.3	9.4	4.7	9.3	3.9		
そ の 他 ³⁾	3.2	9.3	5.0	1.3	9.9	4.5	4.3	18.6	16.6		

¹⁾品種‘やぶきた’、²⁾系統‘ACE33’

³⁾チロシン、γ-アミノ酪酸、メチオニン、バリン、フェニルアラニン、イソロイシン、ロイシン、リジン
N.D.: 今回用いた分析法(HPLC)では検出されなかった。

た。根から地上部へ送られる木部樹液中にテアニンが検出されたことは、この物質の合成部位が根であることを示している。

チャの木部樹液を初めて採取・分析した *Selvendran*⁶⁾によれば、アッサム変種の樹液中にはグルタミンとテアニンが特に多く、グルタミン酸、アスパラギン酸がこれらに次いだ。保科ら⁷⁾も中国変種の‘やぶきた’で類似の結果を得ている。本実験の結果もこれらの報告と同様であり、中国変種、アッサム変種ともに樹液中の主なアミノ酸はグルタミンとテアニンの2種であった。この傾向は同じチャ節のカンボジエンシスとイラワジエンシスでも同様であった。しかし、これらのチャ節植物では、グルタミン、テアニンと並んで多量のアルギニンも検出された。一方、ツバキ節、カワリツバキ節、サザンカ節植物では、グルタミン及びアルギニンの2種類のみが主要なアミノ酸であり、テアニンは原則として検出されなかった。しかし、フルフラセアの木部樹液からは微量のテアニンが検出され、その結果として新芽にもかなりのテアニンの蓄積が認められた。永田⁴⁾も、ツバキ属植物の新芽に含まれる遊離アミノ酸をHCLP法で分析し、チャ節植物のみに多量のテアニンの存在を認めるとともに、フルフラセアからは微量のテアニンを検出している。

テアニンはチャ節植物を特徴付ける化学成分であるが、チャ節以外のツバキ属植物にも微量のテアニンが存在することが知られている。例えば、Tsushidaら¹⁵⁾は、ツバキやサザンカの挿し木苗や成木からはテアニンは検出できないが、種子や実生苗からはテアニンが検出されたことを報告している。小西ら⁵⁾は、サザンカの新芽や細根におけるテアニンの存在をニンヒドリン発色法により確認している。また、永田⁴⁾はフルフラセアだけでなくヒメサザンカ節植物からも微量のテアニンを検出している。これらの結果から、チャ節以外のツバキ属植物でも幼木期にはテアニン合成能を有するが、その能力は生長に伴って低下し、成木期にはHPLC法による検出限界以下になってしまうものと考えられる。

木部樹液中のアミノ酸組成比は調査した植物種毎にかなり一定した値が得られた。チャでは、樹液中のアミノ酸組成比の季節変動も比較的少ないことが報告されている^{6,11)}。一方、樹液中のアミノ酸濃度については植物種間で著しい違いが認められた(図2A)。チャ木部樹液中のアミノ酸濃度は施肥により急激に増加する⁷⁾とともに、樹齢⁸⁾や採取時期⁹⁾によっても変動する。また、同一株内の枝間でもかなりのばらつきが見られる¹⁰⁾。これらの要因の中で最も影響が大きいのは施肥前歴と考えられるが、本実験においては中国変種(‘やぶきた’)以外のツバキ属植物は厳密な施肥管理がなされていないので、施肥前歴の影響がどの程度あったかを判断することは難しい。その中で、‘やぶきた’の樹液や新芽のアミノ酸濃度が極めて高いのは、施肥量の多さを反映していると考えられる(図2A, B)。しかし、木部樹液中のアミノ酸濃度の変動要因については、施肥量だけでは説明できない部分も多いため、今後、さらに詳細な検討が必要である。

4. 2 植物体内に蓄積するアミドの生理的意義

チャの根に吸収されたアンモニア態窒素は、まずグルタミンのアミド基に取り込まれ、次いでグルタミン酸を経てテアニンやアルギニンなどに合成される^{3,7)}。ツバキ属植物の木部樹液中の主要アミノ酸がグルタミン、テアニン及びアルギニンであったことは、導管を通して地上部へ送られる窒素化合物の多くが根における初期同化産物であることを示している。一方、新芽のアミノ酸組成は木部樹液のそれとは様相を異にしていた。すなわち、チャ節植物においてはテアニンが、ツバキ節やサザンカ節植物においてはアルギニンが蓄積したものの、木部樹液中に多量に存在したグルタミンの新芽への蓄積は認められなかった。また、新芽中にはアスパラギン酸、グルタミン酸、セリンなど多様なアミノ酸が検出された。これらの結果から、根で合成されたテアニン及びアルギニンは地上部への移行後

あまり代謝されずに新芽に蓄積するが、グルタミンは転流過程や新芽中で速やかに代謝され、グルタミン酸やアスパラギン酸等のアミノ酸に変化することが推察される。チャの新芽や緑茎における ^{14}C 標識アミノ酸の代謝実験¹⁶⁾からも、グルタミンの代謝は迅速であるがテアニンの代謝は緩慢なことが確認されている。

木部樹液中に含まれる窒素化合物についてはツバキ属以外の木本植物でも調べられており、リンゴ¹⁷⁾ではアルギニンとアスパラギンが、ウンシュウミカン¹⁸⁾ではアスパラギンとグルタミンが、クワ¹⁹⁾ではアスパラギンが、スギ²⁰⁾やシラカンバ²¹⁾ではシトルリンが、またカエデ²¹⁾ではアラントインが木部樹液中の主要アミノ酸として報告されている。これらはいずれもアミノ基を2個以上持つ窒素化合物である。一般に、C/N比の低い窒素化合物は窒素の移動、アンモニアの解毒、窒素の貯蔵、窒素化合物の前駆体などの役割を果たすと考えられている²²⁾。従って、ツバキ属植物の樹液中に多く検出されるグルタミンはアミノ酸代謝の前駆体として、またテアニンやアルギニンは窒素の貯蔵形態として機能しているものと考えられる。チャの場合、窒素施用量の増加につれてあるレベルまでは新芽のテアニン含量が増えるが、過剰施肥下ではテアニンに代わってアルギニンが大量に蓄積する²³⁾。この事実も、テアニンやアルギニンがアンモニア態窒素の貯蔵あるいは解毒形態であることを示唆している。

このように多くの木本植物では、一定量以上の窒素を吸収すると体内にグルタミン、アスパラギン、アルギニン等を蓄積する性質があり、チャの場合にはテアニンという特異なアミドを蓄積する。このため、窒素施用量の増加に応じて茶葉中のテアニン含量が増えるのである。

茶園の多肥問題は、アミノ酸含量の高い上級茶の生産を過度に追求した結果といえる。しかし、茶樹の吸収能力や解毒能力を超えた大量施肥は、土壌や水系汚染を引き起こすだけでなく、茶樹に様々な生理傷害を引き起こす²³⁾。

また最近では、テアニンは必ずしも茶の旨味成分の主体ではないとする見解も示されている²⁴⁾。今後は、アミノ酸含量に偏重した品質評価基準を見直し、旨味成分だけでなく渋みや香気成分あるいは機能性成分なども含めて、茶の品質を総合的に把握する評価手法を開発してゆく必要があろう。

5 摘 要

チャ新芽に蓄積するテアニンの生理的意義を明らかにする目的で、9種類のツバキ属植物から真空吸引法で木部樹液を採取し、遊離アミノ酸組成をHPLC法で分析・比較した。チャ節植物ではグルタミン、テアニン及びアルギニンの3種が主要なアミノ酸であった。一方、ツバキ節、カワリツバキ節及びサザンカ節植物の木部樹液中の主要なアミノ酸はグルタミンとアルギニンの2種であり、有意な量のテアニンは検出できなかった。木部樹液と新芽の遊離アミノ酸組成の比較から、木部樹液中に存在するグルタミンはアミノ酸代謝の前駆物質として働き、テアニンやアルギニンは窒素の移行や貯蔵あるいはアンモニアの解毒形態として機能しているものと考えられた。

6 引 用 文 献

- 1) 中川致之・阿南豊正・石間紀男 (1981): 緑茶の味と化学成分との関係, 茶試研報, No17, 69-123.
- 2) 小西茂毅・葛西善三郎 (1968): 茶樹における $^{14}\text{CO}_2$ からのテアニン生成とその部位. 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). 土肥誌39, 439-443.
- 3) 竹尾忠一 (1981): 茶の滋味に関与するテアニンを中心とした茶樹の窒素代謝. 茶試研報, No17, 1-68.
- 4) 永田忠博 (1986): ツバキ属植物における葉中の茶有用成分に関する研究. 茶試研報, No21, 59-120.
- 5) 小西茂毅・松田隆雄・高橋英一 (1969): テアニンおよびL-Glutamic acid γ -meth-

- ylamide生成能の植物種間差について。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5報)。土肥誌40, 107-112.
- 6) Selvendran, R. R. (1970): Changes in the composition of the xylem exudate of tea plants (*Camellia sinensis* L.) during recovery from pruning. Ann. Bot. 34, 825-833.
- 7) 保科次雄・小菅伸郎 (1985): 茶樹の根における施肥窒素の同化と地上部への転流。茶研報, No62, 14-17.
- 8) 中村 充 (1988): 茶樹の樹液採取量に及ぼす葉齢, 葉層の厚さ, 採取時間帯の影響と樹液組成について。土肥誌, 59, 96-98.
- 9) 森田明雄 (1991): 樹液による茶樹の栄養診断。あたらしい農業技術 (静岡県農政部) 211, 1-12.
- 10) Selvendran, R.R. and S. Sabaratnam (1971): Composition of the xylem sap of tea plants (*Camellia sinensis* L.). Ann. Bot. 35, 679-682.
- 11) 岡野邦夫・酒井慎介 (1993): チャ木部樹液中のアミノ酸濃度の台切り更新にともなう変化。茶研報, No77, 5-11.
- 12) Sealy, J. R. (1954): A revision of the genus *Camellia*. Royal Horticultural Society, London, pp.1-239.
- 13) 武田善行・梁瀬好充・安間 舜 (1987): チャとヤブツバキのF1雑種の育成とその特性について。野茶試研報, B, No1, 11-21.
- 14) 池ヶ谷賢次郎・高柳博次・阿南豊正 (1990): 茶の分析法。茶研報, No71, 43-74.
- 15) Tsushida, T. and T. Takeo (1984): Occurrence of theanine in *Camellia japonica* and *Camellia sasanqua* seedlings. Agric. Biol. Chem. 48, 2861-2862.
- 16) 小西茂毅・山路龍一郎 (1982): チャ新芽におけるテアニン, グルタミン, アスパラギンの代謝。土肥誌53, 241-246.
- 17) 長井晃四郎・福元将志 (1983): リンゴ木部樹液の遊離アミノ酸及び糖濃度に対する季節及び窒素施肥の影響。果樹試報C10, 35-48.
- 18) Kato, T. (1981): Major nitrogen compounds transported in xylem vessels from roots to top in Citrus trees. Physiol. Plant. 52, 275-279.
- 19) Susuki, T. and K. Kohno (1983): Changes in the nitrogen compounds of xylem sap of mulberry (*Morus alba* L.) during regrowth after pruning. Ann. Bot. 51, 441-448.
- 20) Mori, T. (1975): The role of citrulline in nitrogen translocation of *Cryptomeria japonica* seedlings. J. Jap. For. Soc. 57, 117-120.
- 21) Bollard, E. G. (1960): Transport in the xylem. Ann. Rev. Plant Physiol. 11, 141-166.
- 22) 鈴木米三・増田芳雄 (1978): 植物生化学。理工学社, 東京, pp.1-401.
- 23) Okano, K., K. Chutani and K. Matsuo (1997): Suitable level of nitrogen fertilizer for tea (*Camellia sinensis* L.) plants in relation to growth, photosynthesis, nitrogen uptake and accumulation of free amino acids. Jpn. J. Crop Sci. 66, 279-287.
- 24) 堀江秀樹・氏原ともみ・木幡勝則 (2002): 茶浸出液中の呈味核酸類の分析。茶研報, No 93, 55-61.