

桑樹のアルミニウム含有率とその意義

矢彦沢清允¹・山本満寿夫²・齋藤英毅³・押金健吾³

信州大学繊維学部・精密素材工学科¹・応用生物科学科²・附属農場³

酸性土壌は世界の農耕地の少なくとも約40%を、あるいは今後バイオマス生産に利用可能と考えられる土地の約70%を占めている(1)。わが国の桑園土壌においても45%近くが酸性土壌である(2)。このような酸性土壌における植物生育障害の元凶は多くの場合、土壌の主成分であるアルミニウム(AI)が、pHの低下によって土壌中に可溶化するために、そのAIの毒性と強く関連していると考えられている(3)。このことは古くから指摘され(4)、農業における重要な課題として、土壌学、植物栄養学、育種学、および組織培養工学などの視点から種々の植物を対照にして多くの知見が得られている(5,6,7,8,9,10,11)。しかし、作物に対するAIストレスは低位pHとリン酸欠乏などが同時に関わる複合ストレスといわれ、その実態は極めて複雑で、AI耐性に関する知見は断片的であり、未解決なことが多い。クワは他の木本植物に優る豊富な性状や遺伝資源の特性に関する知見が蓄積されているが、クワに対するAIに着目した研究は見当たらない。AIは植物の必須元素ではないが、植物界での分布の局在性が極めて著しい元素であることが知られている。一方、クワは強靱で他の作物に適しない土地でも生育するといわれ(12,13)、南半球から北半球に亘って気候風土の異なる地域に多く自生分布している(14)。また、倍数性桑の自然発生が気候条件のみでなく、石灰質土壌との関連性が指摘されている(15)。このことは、クワのAIに対する感受性(耐AI性の弱い種類)を示唆している。わが国に現存する品種は約1200種以上に及ぶといわれている(16)。このようなことから、植物界でのAI挙動を把握するには、クワは格好の素材であるといえる。

本研究では、クワに対するAI含有率および桑樹の部位別のAI分布状況を調べ、クワのAIに対する性状特性を究明するとともにその意義を検討し、今後の研究資料とした。

材料と方法

本学部附属農場のクワ遺伝資源保存園より、1993年10月20日に、26品種を採取した。採取試料は十分に水洗後、一部の試料には超音波洗浄器を利用した。水洗試料は80℃下で熱風乾燥した後、ステンレス製分析粉碎机で粉碎し、分析試料とした。分析試料は硝酸および過塩素酸で湿式分解し(17)、誘導結合プラズマ発光分光分析法(18)によりAIを定量した。現在最も広く栽培されている一ノ瀬(樹齢25年、根刈仕立)および他のクワは保存園栽植品種中より任意に選び、葉を着生

位により上葉と下葉に分け採取した。なお、一ノ瀬は主条を上、中、下に分け、葉身、葉柄、皮部、木質部（髄を含む）に区分するとともに主根は木質部と皮部に区別した。側根は細根のない部分を成熟根および細根のある部分を若根として区分した。成熟根と若根は木質部と皮部に、さらに、乾燥後に皮部から剝離した鮮紫色の栓皮部を加え、3区分にした。また、細根および織根は色調(19)により鮮黄色の若根部と黄褐色の成熟根部とにそれぞれを区分した。

結果と考察

表1 クワの地上部と地下部別のAl含有率（一ノ瀬）

	Al ppm (乾物重)
葉	42
根	153

クワの部位別 Al 含有率を表1に示す。Al 含有率を地上部の葉と地下部の根についてみると、葉が42ppm に対して根は153ppm を示し、地上部に比べて地下部の方が高い値を示した。形態別に Al 含有率の態様をみると（表2）、上葉身が28ppm、中葉身が46ppm、下葉身が64ppm と、葉の生育が

表2 クワの形態別Al含有率（一ノ瀬）

地 上 部				地 下 部				
		Al ppm (乾物重)				Al ppm (乾物重)		
葉	葉身	上	28	主根	皮	13		
		中	46			木質	11	
		下	64	側根	成熟		皮	栓皮 その他
	葉柄	上	7			木質	20	
		中	8		若		皮	栓皮 その他
		下	13			木質	19	
枝条	皮	上	6	細根	成熟		147	
		中	9		若		54	
		下	12	織根	成熟		469	
	木質	上	4		若		239	
		中	3					
		下	5					

進み、成熟するほど Al 含有率が高くなる傾向がみられた。葉柄の Al 含有率は葉身の1/4~1/5程度の低い値であった。枝条は、皮部では葉柄とほぼ同じ程度の Al 含有率を、また、木質部は皮部の1/2程度の低い値を示した。葉位区分に準じて枝条の Al 含有率をみると、上、中、下の順に生育の程度に応じて増加する傾向が見られた。以上のように地上部では、葉身が最も高い Al 含有率であることが認められた。

根系別の Al 含有率は、主根、側根、細根ならびに繊根の順に高くなる傾向がみられた。主根の Al 含有率は木質部と皮部では余り差がみられない。側根は、成熟根と若根の木質部では両者にほとんど違いがみられないが、皮部では顕著な差がみられ、成熟根より若根の方が高い Al 含有率を示した。とくに、栓皮では成熟根の28ppm に対して若根の457ppm と、著しく高い Al 含有率を示した。細根の Al 含有率は若根の54ppm に対して成熟根の174ppm と、後者にかなり高い値がみられた。また、繊根においても、若根の239ppm に対して成熟根が469ppm と極めて高い Al 含有率を示した。以上のように、地下部の Al 含有率は地上部よりも著しく高く、また、根系の Al 分布は形態部位による著しい局在性を示した。

Al は植物の生育を阻害するが、植物は種や品種により Al に多様な対応をしている。Foy らは、植物の Al の対応機構により次の3つに分類している(20)。すなわち、第1のタイプは地上部の Al 含有率が感受性種と、とくにかわらないが、根部の Al 含有率が低いもの、第2のタイプは地上部の Al 含有率が低く、根に過剰の Al が捕捉されているもの、地上部に高含有率の Al を集積するものなどである。植物の Al 含有率は、乾物当り200ppm (生体当り20ppm) が一般的とされている(21)。また、地上のほとんどの植物は普通300ppm を越えることはない(22)。しかし、茶樹の葉に30,000ppm の Al が検出されている(23)。Webb(24)は、第3のタイプの植物を Al 集積植物とし、Al 含有率を1,000ppm (乾物当り)以上とすることを提案している。茶樹以外にも、この第3タイプ属する多くの植物が知られている(25)。

クワの品種別に葉の Al 含有率を表3に示す。クワの Al 含有率は、1,000ppm を越えるもの認められなかった。従って、今までの調査の範囲では、クワは Al の集積植物でないことが明らかとなった。また、地上部と地下部の関連をみると、Al 含有率は地上部よりも地下部の方が高いことから、Foy らの第2タイプに属することが認められた。

地上部における桑樹の形態別の Al 含有率をみると、葉身が高く、枝条および葉柄は低い、また、葉身の生育の程度でみると、成熟した下葉の葉身に Al 含有率が高くなることを認めた。この傾向は茶樹と同様である。茶樹のような典型的な Al 集積植物は、土壌から吸収した Al イオンを根で積極的に補償し、阻止しない(6)。従って、桑樹とは Al 含有率に大きな違いがみられた。

Al 含有率は300ppm 以下がほとんどであり、300ppm を越えた品種は毛桑と臥竜桑の下葉にみ

表3 クワの品種別Al含有率

系 統	品 種	Al含有率 ppm(乾物重)	系 統	品 種	Al含有率 ppm(乾物重)
ヤマグワ	島の内	18 ^a	ログワ	臥竜桑	66 ^a
		151 ^b			402 ^b
	剣 持	21 ^a		青魯桑	27 ^a
		168 ^b			225 ^b
	中島早生	17 ^a		御所選	30 ^a
89 ^b		98 ^b			
あおばねずみ	44 ^a	扶桑丸		18 ^a	
	136 ^b			62 ^b	
赤軸桑	34 ^a	No.405(4X)		55 ^a	
	253 ^b			54 ^b	
カラヤマグワ	柄無桑(2X)	40 ^a	根刈 No.406(4X)	18 ^a	
		168 ^b		72 ^b	
	ゆきしらず	39 ^a		立通し No.406(4X)	45 ^a
		181 ^b			89 ^b
	市 平	25 ^a		立通し No.452	32 ^a
		204 ^b			55 ^b
	柄無桑(4X)	22 ^a		立通し Fi(2X)	44 ^a
		118 ^b			37 ^b
	鼠 返	46 ^a		立通し No.21(2X)	81 ^a
118 ^b		72 ^b			
No.416(4X)	27 ^a	立通し No.21(4X)	170 ^a		
	329 ^b		176 ^b		
立通し No.461(4X)	31 ^a	ケグワ	毛 桑(6X)	35 ^a	
	59 ^b			477 ^b	
枝垂桑	55 ^a				
	261 ^b				

a : 上葉・b : 下葉

られたのみであった。このことは、クワは、根がAlの地上部への移行を積極的に補促し、阻止していることを示唆している。また、水耕栽培によりAl濃度を増加した場合、濃度に対応して根のAl含有率が顕著に増加するが、地上部では増加程度が著しく小さいことを、既に把握している(26)。このことは、クワの生育する土壤のAl濃度がクワのAl含有率に影響することを示唆している。今後、クワの根のAlの阻止能について品種間差および土壤差などの影響を究明することが重要と考えられる。

根の形態別の Al 含有率では、側根部において成熟した栓皮よりも若い栓皮の方が極めて高い値を示した。この原因は明らかでないが、根の栓皮は根の肥大生長の過程で剥離していくためとも考えられる。植物の土壌からの吸収器官である根毛は、クワでは休眠期および冬眠期、あるいは地上部の枝条の伐採期などに枯死・消失すること、耕耘による細根切断が細根の再生を促進して桑樹の生育を良好にすること、ならびに栓皮は最終的に細胞が次第に減少して燥枯（コルク化）すること、また、落葉樹であることなどを考慮すると、葉身、栓皮および根毛などに濃縮された Al は代謝過程において樹体外に排除し得るクワの性状特性の一面を示唆している。クワにおける Al の排除機構については、桑樹の生態的性状特性の更なる研究が必要である。

農地における酸性土壌の改善は古くて新しい課題であるが、近年、下層土の酸性化による植物有害 Al に関心が高まっている (27,28,29)。しかし、改良資材である石灰やリン酸の下層土への投与は労力的に無理があり (30)、作物生産に直接関わる地球上の資源のうちで、最も早期に枯渇するのはリン酸資源であると指摘されている (11)。今後、地域土壌に適合した耐 Al 性の桑品種を細胞および遺伝子工学的手法により作出・創生することは重要であるが、その基礎資料となるクワの Al に対する性状特性を現存するクワについて把握する意義は大きいと考えられる。

摘 要

クワに対する Al 含有率および桑樹体の部位別の Al 分布状況を調べ、クワの Al に対する性状特性を検討した結果、次の知見を得た。

- (1) クワは Al 集積植物ではなく、根が過剰の Al を捕捉し、地上部の Al 含有率を低くする Foy 分類の第 2 タイプに属することが明らかとなった。
- (2) 多年性のクワは、地上部では葉身に集積した Al を落葉、また、地下部では根毛の枯死・消失および栓皮部に集積した Al を燥枯などによる代謝過程で樹体外排除をしていることが示唆された。

文 献

- 1) 田中 明編 (1984) : 酸性土壌とその農業利用-特に熱帯における現状と将来, 養賢堂, pp.21-49.
- 2) 伊東正夫・森 信行 (1966) : 蚕糸試験場報告, 21,174-175.
- 3) 高井康雄・三好 洋 (1984) : 土壌通論, 朝倉書店, pp.39-49.

- 4) Hartwell, B.L. and Peaambaer, F.R. (1918) : *Soil Sci.*, 6, 259-279.
- 5) 相見靈三・村上 高 (1964) : 農業技術研究所報告, D, No.11, 331-396.
- 6) 高橋英一 (1973, 1986) : 農業及び園芸, 48, 731-736, 877-881., 61, 676-682.
- 7) 大野清春 (1976) : 組織培養, 5, 325-334.
- 8) 小島邦彦 (1986) : 農業技術, 41, 394-399.
- 9) 我妻忠雄 (1988) : 山形大学紀要 (農学), 10, 1-109.
- 10) 小西茂毅 (1989) : 農化誌, 63, 1391-1394.
- 11) 小島邦彦 (1993) : 植物組織培養の栄養学, 朝倉書店, 139-156.
- 12) 遠藤保太郎 (1919) : 最新桑樹栽培学, 丸山舎書籍部, pp.297-298.
- 13) 渡辺勤次 (1960) : 養蚕学, アズミ書房, pp.29-30.
- 14) 堀田貞吉 (1950) : 桑, 平凡社, pp.8-19.
- 15) 関 博夫 (1950) : 蚕界, 59, 19-24.
- 16) 押金健吾 (1993) : 平成4年度科学研究費補助金 (総合研究A) 研究成果報告書, 1-46.
- 17) 植物栄養実験法編集委員会編 (1990) : 植物栄養実験法, pp.127-128.
- 18) 小山雄生・須藤まどか (1987) : 土肥誌, 58, 578-585.
- 19) 南澤吉三郎 (1978) : 裁桑学基礎と応用, 鳴鳳社出版, p.79.
- 20) Foy, C.D., Chaney, R.L. and White, M.C. (1978) : *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29, 512-566.
- 21) Huchinson, G.E. (1945) : *Soil Sci.*, 60, 29-40.
- 22) Bowen, H.M.T. (1966) : *Trace Elements in Biochemistry*, Academic Press, p.174.
- 23) Matsumoto, H., Hirasawa, E., Morita, S. and Takahashi, E. (1976) : *Plant and Cell Physiol.*, 17, 627-631.
- 24) Webb, L.J. (1954) : *J. Bot.*, 2, 176-196.
- 25) Chenery, E.M. (1946) : *Nature*, 158, 240-241.
- 26) 山本満寿夫・矢彦沢清允・押金健吾 (1993) : 日本蚕糸学会中部支部講演集第49号, p.40.
- 27) 三枝正彦 (1991) : 土肥誌, 62, 451-459.
- 28) 矢彦沢清允・山本満寿夫・押金健吾 (1993) : 日蚕雑, 62, 502-506.
- 29) 矢彦沢清允・山本満寿夫・上野満夫・藤松 仁 (1993) : 更埴地方の改良農地に生成した酸性硫酸塩土壌とその成因的考察, 環境科学年報-信州大学, 15, 105-110.
- 30) 埴科農業改良普及所 (1991) : 土壌保全対策診断調査事業成績報告書, pp.1-28.