

アルミニウムによるラビットアイブルーベリーの 生育および養分吸収阻害

片倉 芳雄

Inhibitions of Growth and Nutrient Uptake of Rabbiteye Blueberry by Aluminum

Yoshio KATAKURA

Summary

The effects of Al concentration in a culture solution on the growth and nutrient uptake of 'Homebell' rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) seedlings were investigated. Increasing Al concentration decreased the root and top growth. The plants grown at 6 mM Al or above developed root browning, root necrosis and leaf chlorosis. With increasing Al concentration, the P contents of leaves and twigs decreased, and at 6 mM Al or above, the K contents of roots, twigs and leaves decreased. The Al treatment had a nonsignificant effect on the N content of roots. Moreover, with increasing Al concentration, the Ca and Mg contents of roots, twigs and leaves markedly decreased, a large amount of Al accumulated in the roots, and the Al contents of twigs and leaves increased. Furthermore, the Fe content of roots also increased, the Fe contents of twigs and leaves decreased, and the Mn contents of roots, twigs and leaves decreased. The concentration of Al in the culture solution markedly affected the growth and nutrient uptake of rabbiteye blueberry.

緒言

植物の最適土壌pHは植物の種類によって異なり、ブルーベリーの一つであるラビットアイブルーベリー（ラビットアイ）は、pH4.3～5.5の強酸性土壌（培地）で良好な生育を示すことが認められている（Eck, 1988；片倉・横溝, 1995；玉田, 1997a）。一般に、耐酸性の低い植物ではpHの低い土壌で栽培すると、化学的性質の悪化により生育障害を発現するなどの問題を生じやすい。酸性土壌で生じる生育障害の原因は、土壌や植物の種類によって主因が異なると考えられる。その原因を大別すると、カルシウム（Ca）・マグネシウム（Mg）などの塩基類の欠乏、アルミニウム（Al）やマンガン（Mn）などが可溶化して有害濃度に達すること、微生物活性の低下、リン酸固定によるリン酸の不可給態化などがあ

げられる。なかでも、Alは土壌のpHが4.5から4.0以下になると土壌溶液中の濃度が高くなり、多くの植物に障害を与えることが知られている。植物の耐酸性は、その植物の耐Al性が大きな関わりを持っているとも考えられる。この植物の耐Al性は、植物のAl吸収力が低いことや有害なAlを吸収しないよう排除する能力、植物体内に吸収、蓄積したAlを無毒化する能力をもつことなどによって考えられている（松本, 2000）。著者らはブルーベリーのAl吸収について、園地土壌での調査（片倉, 1997）、土耕ポット試験（片倉・廣田, 2003, 2004）などで検討し、ブルーベリーは根にAlやFeを多量に集積するにもかかわらず酸性土壌で良好に生育することなどを明らかにしてきた。一方、Tamada (1997b) は水耕栽培では低濃度のAlの存在は根の発育を促進するもの

の、高濃度では生育低下をもたらすとしている。このように、培地のAl濃度とブルーベリーの生育との関係については、まだ不明な点が多い。本研究では、培地のAl濃度とブルーベリー樹の生育およびAlを中心とした養分吸収との関連を明らかにするため、水耕栽培で水耕液のAl濃度を変え、ラビットアイの生育や多量要素・Al・Fe・Mnの吸収に及ぼす影響を検討した。その結果、ラビットアイはAl濃度が高まると根にAlを多量に集積し、生育や養分吸収の著しい阻害を受けることが明らかとなった。

材料および方法

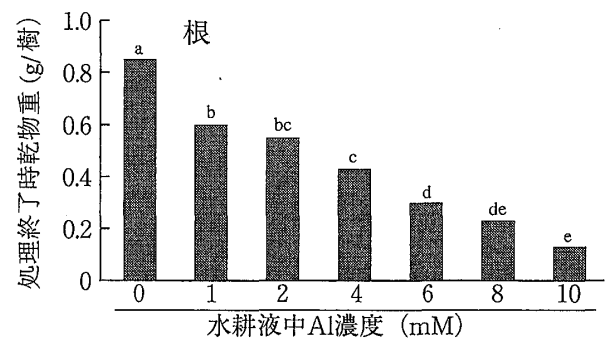
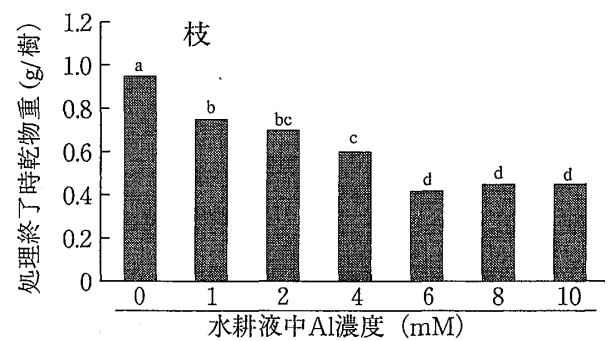
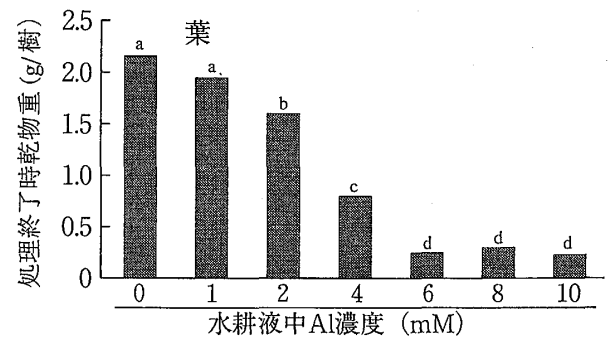
1. 栽培方法

実験材料として、ラビットアイ‘ホームベル’（挿し木発根苗）を用いた。容積0.5 literのポリエチレン瓶に苗木を1本ずつ発泡ポリウレタンで固定して植え、次に示す水耕液で1999年4月20日から7月12日まで水耕栽培実験を行った。Al（塩化アルミニウム AlCl_3 ）処理は、0 mM, 1 mM, 2 mM, 4 mM, 6 mM, 8 mM, 10 mMの7区を設定し、各区3樹ずつ用いた。水耕液の組成は次の通りとした。窒素（N） $16.7\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （硝酸アンモニウム NH_4NO_3 ）、リン（P） $8.6\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （リン酸二水素カリウム KH_2PO_4 ）、カリウム（K） $10.8\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （リン酸二水素カリウム KH_2PO_4 ）、Ca $11.1\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （塩化カルシウム CaCl_2 ）、Mg $4.4\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （硫酸マグネシウム七水和物 $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）、鉄（Fe） $0.04\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （エチレンジアミン四酢酸鉄 Fe-EDTA）、Mn $0.01\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （硫酸マンガン四～五水和物 $\text{MnSO}_4\cdot 4\sim 5\text{H}_2\text{O}$ ）、ホウ素（B） $0.01\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （ホウ酸 H_3BO_3 ）、モリブデン（Mo） $0.01\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （モリブデン酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）、亜鉛（Zn） $0.01\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （塩化亜鉛 ZnCl_2 ）、銅（Cu） $0.005\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ （硫酸銅五水和物 $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）とした。培養液のpH調整は、1週間に2回、0.5 M硫酸（ H_2SO_4 ）と1M水酸化ナトリウム（NaOH）を使用して4.0に調整した。

水耕液への酸素供給はエアポンプで行った。容器の外側はアルミホイルで覆って、ポリエチレン瓶内への遮光を行い、栽培は、無加温ガラス室内で行った。水耕液の交換は1週間に1回の割合で行い、栽培期間中の水耕液減少には、Alを含まない水耕液のみを補充した。

2. 調査・分析法

処理開始時には樹体の生体重を、処理終了時には葉・枝・根に分けて生体重を測定し、その後水道水および純水で洗浄した。これを80℃で1昼夜通風



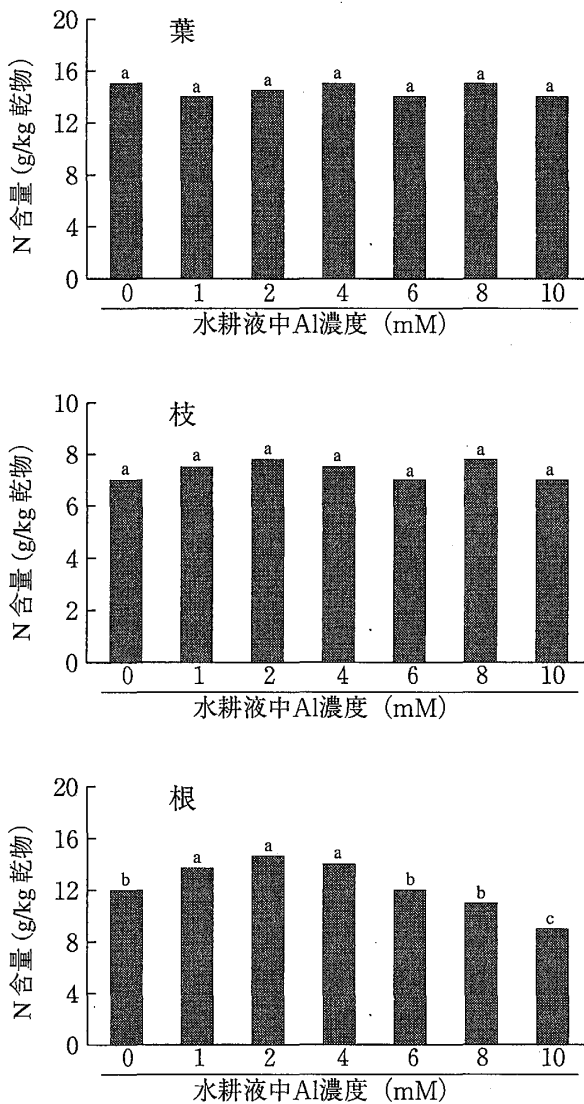
第1図 水耕液中Al濃度が樹体の生育に及ぼす影響
異なるアルファベットは多重比較検定で有意差（5%）のあることを示す

乾燥し、乾物重を測定した。乾燥させた植物体を粉碎し、分析用の試料とした。試料を濃硫酸と過酸化水素水による分解後、Nはケルダール法、Pは硫酸モリブデン法、K・Ca・Mg・Al・Fe・Mnは原子吸光法で分析した。

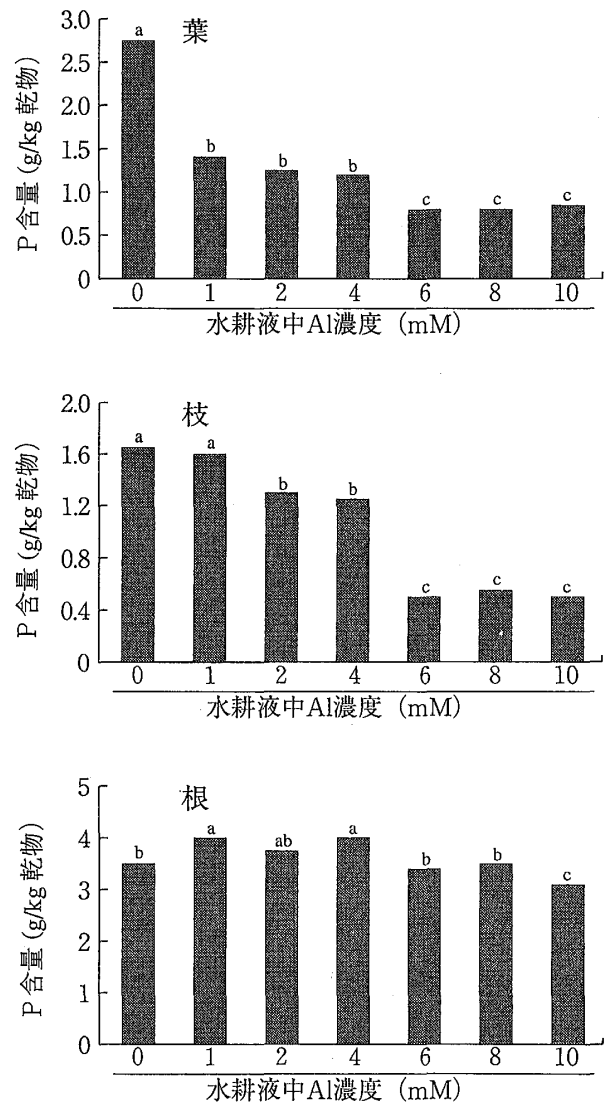
実験結果

1. 水耕液Al濃度が生育に及ぼす影響

第1図に水耕液Al濃度が処理終了時の樹体乾物重に及ぼす影響を示した。Al濃度の上昇に伴って根の乾物重は次第に減少していった。処理期間中の根の観察ではAl 0～4 mMで白色根の生長がみられたが、Al 6～10 mMでは根は褐色化および部分的壊死が認められた。枝葉ではAl 0～6 mMまでの濃度



第2図 水耕液中 Al 濃度が樹体中の N 含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差 (5%) のあることを示す



第3図 水耕液中 Al 濃度が樹体中の P 含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差 (5%) のあることを示す

上昇に伴い乾物重は低下し, Al 6mM以上で生長せず一定となった. 処理期間中の観察では, 葉は Al 2mMでわずかに赤みを帯び, Al 4mMで黄化し始め, Al 6~10mMではクロロシスが明確に認められた.

2. 水耕液 Al 濃度が養分吸収に及ぼす影響

1) N 吸収

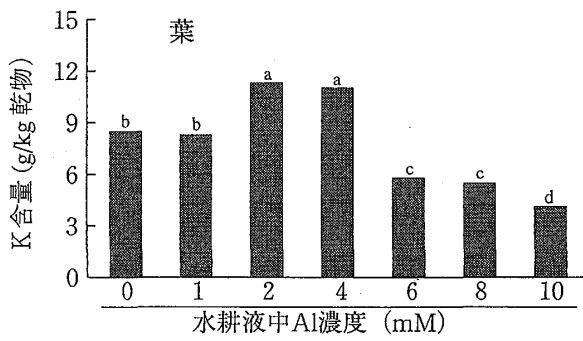
第2図に水耕液 Al 濃度が樹体の N 吸収に及ぼす影響を示した. 根では Al 1~4mMの添加でいずれも Al 0mMより N 含量はやや増加し, Al 6mM以上では N 含量の減少傾向がみられた. 枝葉では Al 濃度の影響はほとんどみられなかった. N 吸収に対する Al 濃度の影響は根のみでみられた.

2) P 吸収

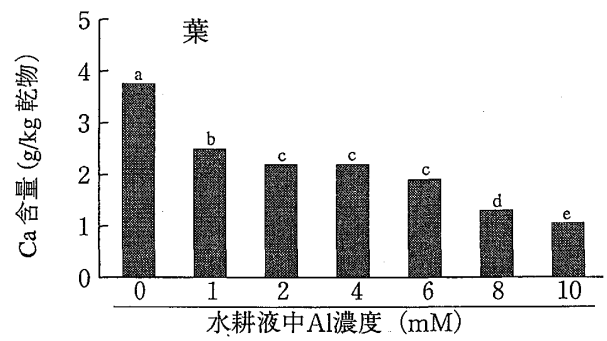
第3図に水耕液 Al 濃度が樹体の P 吸収に及ぼす影響を示した. 根では Al 1~4mMの添加で P 含量がやや増加する傾向がみられた. 葉では Al 1mM以上の添加により P 含量の著しい減少がみられた. 枝では Al 濃度の上昇により特に Al 6mM以上で P 含量の減少が著しかった. P 吸収に対する Al 濃度の影響は枝葉で大きかった.

3) K 吸収

第4図に水耕液 Al 濃度が樹体の K 吸収に及ぼす影響を示した. 根では Al 1~4mMの添加でいずれも Al 0mMよりも K 含量は減少し, Al 6mM以上ではさらに K 含量の減少がみられた. 枝では Al 0~4mMで K 含量に変化はみられなかったが, Al 6



第4図 水耕液中Al濃度が樹体中のK含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す



第5図 水耕液中Al濃度が樹体中のCa含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す

mM以上ではK含量の減少が認められた。葉ではAl 1 mMでは0 mMと比較してK含量に差がなかったが、Al 2~4 mMではK含量の増加がみられ、Al 6 mM以上ではK含量の減少が著しかった。K吸収は全体的に見てAl 6 mM以上での減少が著しかった。

4) Ca吸収

第5図に水耕液Al濃度が樹体のCa吸収に及ぼす影響を示した。根ではAl 1 mMの添加によりCa含量が著しく低下した。Al 1~4 mMの濃度上昇によりCa含量は徐々に低下し、Al 4 mM以上ではほぼ一定となった。枝葉ではAl 0~8あるいは10 mMまでの濃度上昇に伴いCa含量は低下する傾向がみられた。Ca吸収に対するAl濃度の影響は特に根で大

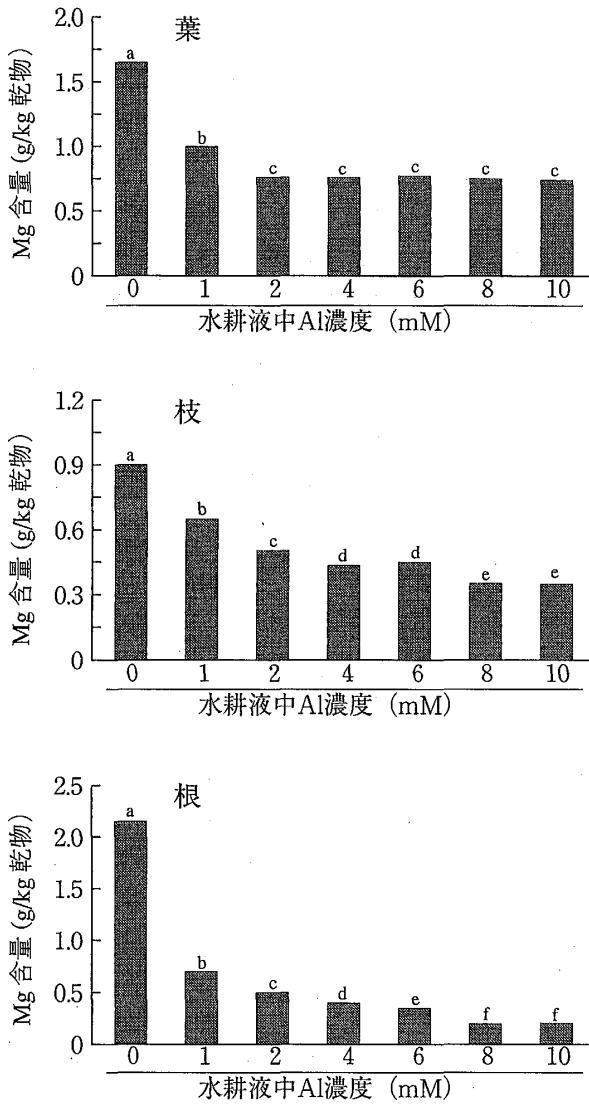
きかった。

5) Mg吸収

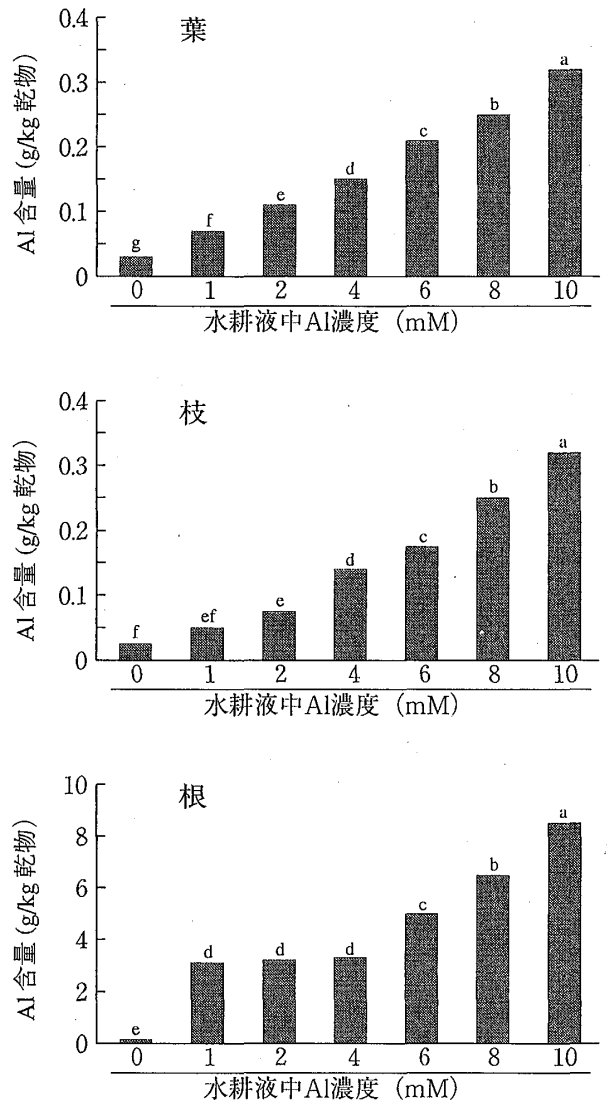
第6図に水耕液Al濃度が樹体のMg吸収に及ぼす影響を示した。根ではAl 1 mMの添加によりMg含量が著しく低下した。Al 1~8 mMの濃度上昇によりMg含量は徐々に低下し、Al 8 mM以上ではほぼ一定となった。枝ではAl 4 mMまで、葉ではAl 2 mMまでの上昇に伴いMg含量は低下する傾向がみられ、それ以上のAl濃度でMg含量は一定となった。Mg吸収に対するAlの影響はCa同様特に根で大きかった。

6) Al吸収

第7図に水耕液Al濃度が樹体のAl吸収に及ぼす影響を示した。根ではAl濃度の上昇に伴いAl含量



第6図 水耕液中Al濃度が樹体中のMg含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す



第7図 水耕液中Al濃度が樹体中のAl含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す

も高まる傾向がみられた。枝葉でもAl濃度の上昇に伴いAl含量も高まる傾向がみられた。枝葉のAl含量に比べて根のAl含量は高い値であった。

7) Fe吸収

第8図に水耕液Al濃度が樹体のFe吸収に及ぼす影響を示した。根ではAl1~6, 8~10mMと濃度が上昇するのに伴いFe含量も段階的に高まる傾向がみられた。枝ではAl1~10mMでいずれもAl10mMよりもFe含量はやや低下した。葉ではAlの添加によりいずれもFe含量は低下し、特にAl8mM以上での低下が大きかった。

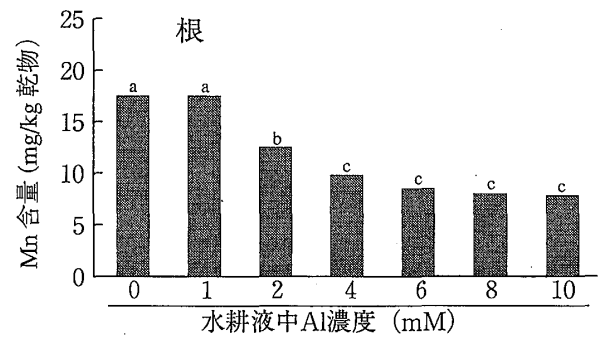
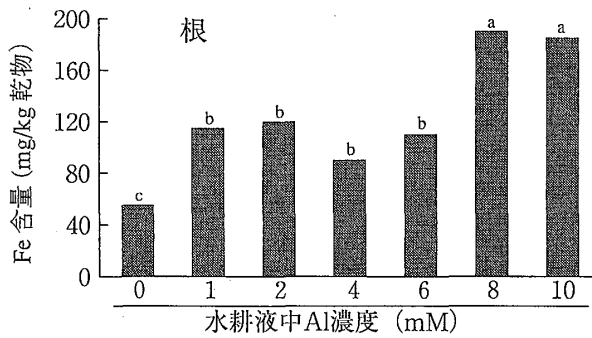
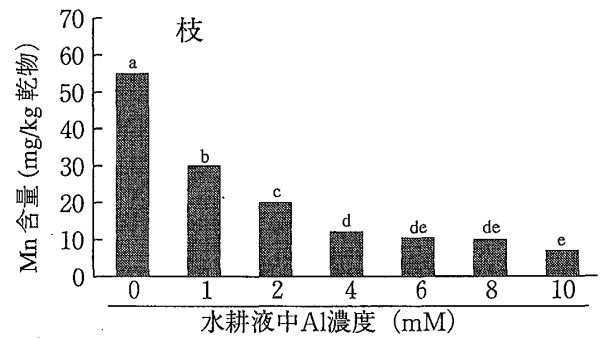
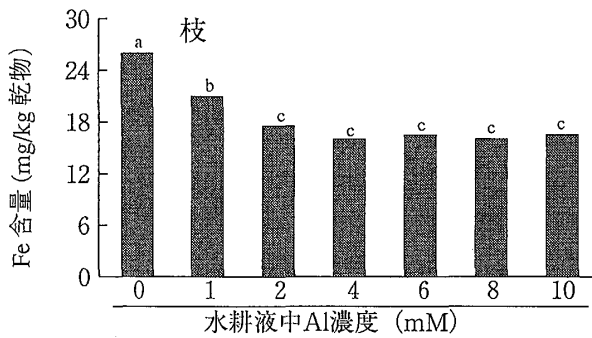
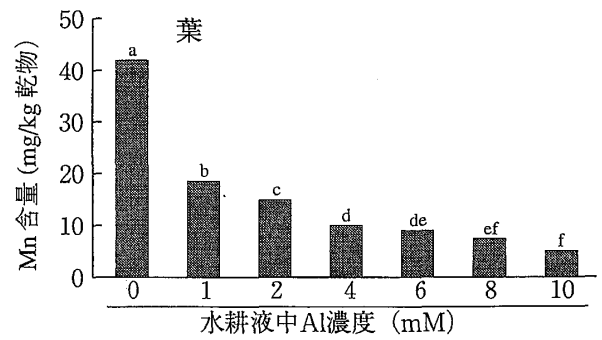
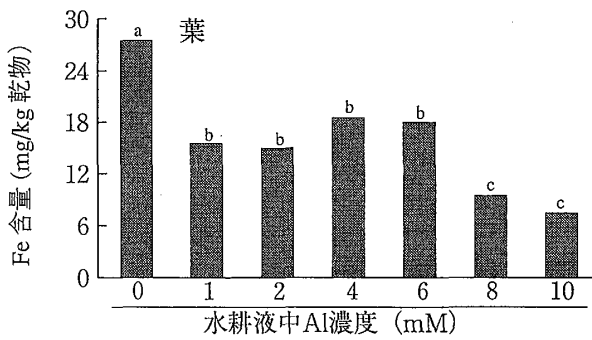
8) Mn吸収

第9図に水耕液Al濃度が樹体のMn吸収に及ぼす影響を示した。根ではAl濃度の上昇により、Al1

mMではMn含量に影響はなかったが、Al1~4mMにかけて減少し、Al4mM以上ではほぼ一定となった。枝葉ではAl濃度の上昇により、Mn含量は漸減する傾向がみられた。

考 察

ラビットアイは広く営利栽培が行われており、酸性土壌(培地)で良好な生育を示し、高い培地pHでは根の発育、養分吸収の低下を生じ、樹体生育は著しく悪化することが知られている(Eck, 1988; 片倉, 1995; 玉田, 1997a)。しかし、一般に酸性土壌では、耐酸性の低い植物は生育障害を発現しやすく、その原因の一つとして前述したようにAl過剰障害が挙げられる。酸性土壌ではAlは土壌から溶出し



第8図 水耕液中Al濃度が樹体中のFe含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す

第9図 水耕液中Al濃度が樹体中のMn含量に及ぼす影響異なるアルファベットは多重比較検定で有意差(5%)のあることを示す

やすく、土壤溶液中のAl濃度の上昇により根の生長が阻害され、生育障害を生じる(松本, 2000)。著者らはラビットアイ園地での土壤中のAl, Fe, Mnなどの動態や、土耕ポット試験でラビットアイの生育や養分吸収に対する土壤pHの影響を検討してきた(片倉, 1997; 片倉・廣田, 2003)。酸性土壤に生育するブルーベリーでは土壤pHが低いほどAl吸収が多く、根にAlを集積するが枝葉へは移行しにくいことを示した。しかし、土壤中でのAlの化学形態変化や動き、樹体への吸収・移行、生理的機能などの詳細についてはまだ不明な点が多い。また、酸性土壤ではMn, Feなども可溶化しやすい成分であり、Alとこれら成分との関係についてもさらに検討が必要である。本研究では培地のAl濃度が樹体の生育と多

量要素およびAl, Fe, Mnなどの吸収に及ぼす影響を詳細に検討するため水耕栽培で実験を行った。

水耕液中Al濃度がラビットアイの生育に及ぼす影響をみると、Al濃度の上昇に伴って根の生長は低下していき、Al 8 mMで生長はほぼ停止した。このことから、ブルーベリーの根に対しAlは生長阻害作用をもっていると考えられる。水耕液中Al濃度の影響を地上部についてみてみると、枝葉ともにAl 6 mMで生長がほぼ停止するまでAl濃度の上昇に伴って生長は低下していった。このことから、枝葉では根よりも培地Al濃度の影響を受けやすく、地上部の生育可能上限のAl濃度は4~6 mMの範囲と考えられる。Tamada (1997b) は‘ウッダード’を用いて水耕栽培実験で検討し、低濃度のAlでは根の発

育を促進したが、高濃度では生育低下をもたらしたとしている。本研究ではAl低濃度域での根の発育促進は確認できなかったが、高濃度ではTamadaの結果と同様であった。今後はAl低濃度域での詳細な検討が必要であろう。

樹体の生育をAl吸収との関連でみてみると、根ではAl含量が6g/kgを超えるあたりまで生育したのに対して、枝では0.075g/kgまで、葉では0.15g/kgまでは生育が認められたことになる。これらのことから、ブルーベリーの根は枝葉に比べAlに比較的高い耐性をもっているといえる。水耕液Al濃度の上昇は根のAl含量を著しく高め、それだけでなく枝や葉でもAl含量を高めた。この根や枝葉へのAlの集積が生育を阻害した原因の一つと考えられる。このように培地へのAlの添加は生育を著しく低下させたことから、好酸性のブルーベリーに対してもAlは生育阻害作用を持っていることが示された。

次に、養分吸収に対する水耕液Al濃度の影響をみると、養分によって違いが見られた。N含量は根・枝葉ともに水耕液Al濃度の影響を比較的受けにくかった養分である。P含量はAlの添加で根のP含量が増加、枝葉での減少が大きかった。この結果から根ではPとAlとの不溶性化合物の生成が示唆され、これにより枝葉ではP含量の著しい減少が生じたことが考えられる。K含量は根・枝葉ともにAl 6mM以上での低下が著しかったが、Al 4mMまではあまり大きな影響を受けなかったことから、K吸収はAlによって直接的な影響は受けにくいと考えられる。CaとMgの吸収は根・枝葉ともに水耕液Al濃度の影響を強く受けたが、なかでも根においてCa・Mg含量の低下率が大きかった。このことから、根におけるCa・Mgの吸収過程がAlによって直接的阻害を受けていることが示唆される。CaとMgの吸収がAlによって同様の阻害の様相を示したことから、Alは根の構造や電気的な性質などの変化によりCaやMgの物理的吸収場面へ大きな影響を及ぼしたと考えられる。Fe含量は水耕液Al濃度の上昇により、根で特に高まりやすく、枝葉で低下の傾向がみられた。このことから、Alの添加はFeの根への集積を引き起こし、地上部への移行を妨げる傾向があるものと考えられる。Alによって正常な根へのFe吸収・地上部への移行が行われず、またFe代謝面での攪乱が生じたことが考えられる。葉中成分含量やクロロシスの発現状況などから、Al 6mM以上ではFeやMgなどのクロロフィルの合成に必要な養分の欠乏を生じていたこと、Alの高濃度の存在は葉のFe欠乏を引き起こす可能性のあることが考えられた。Mn

含量は水耕液Al濃度の上昇により樹体各部、特に枝葉での低下が大きかったことから、Alは根のMn吸収阻害よりも地上部の生育低下による蒸散流減少によってMnの地上部への移行を阻害したものと考えられる。

本研究により、水耕液Al濃度の上昇はラビットアイの樹体生育を著しく阻害することが示された。この原因として根のAl集積、それに伴うFeの根への集積、根のCa・Mg・Mn・K吸収の低下、枝葉へのP・K・Ca・Mg・Fe・Mn吸収の低下など、養分吸収の攪乱によることが考えられた。

摘 要

水耕液のAl濃度 (0, 1, 2, 4, 6, 8, 10mM) がラビットアイ 'ホームベル' (挿し木発根苗) の生育および養分吸収に及ぼす影響を検討した。

1) 水耕液Al濃度の上昇は樹体生育 (乾物重) を著しく阻害した。Al 6 mM以上では枝葉の生長は停止し、根は褐変・壊死が、葉ではクロロシスが認められた。

2) 水耕液Al濃度の上昇により、P含量は枝葉で低下、K含量はAl 6 mM以上で根・枝葉で低下したが、N含量は根でわずかに影響を受けたのみであった。

3) Ca・Mg含量は根ではAl 1 mM以上で著しく低下し、枝葉でも同様の傾向であった。

4) 水耕液Al濃度の上昇は根のAl含量を著しく高め、枝葉でも増加傾向であった。

5) 水耕液Al濃度の上昇は根のFe含量を高めたが、枝葉、特に葉では低下させた。

6) 水耕液Al濃度の上昇は根・枝葉、特に枝葉のMn含量を低下させた。

7) 水耕栽培でのAl添加はラビットアイの生育を著しく阻害するとともに、養分の異常集積や吸収低下をもたらした。

文 献

- Eck, P. 1988. Plant nutrition. Soil acidity-pH. p. 91-92. Blueberry science. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey.
- 片倉芳雄・横溝 久. 1995. ハイブッシュおよびラビットアイ・ブルーベリーの生育と養分吸収に及ぼす培養液pHの影響. 土肥誌. 66:513-519.
- 片倉芳雄. 1997. ブルーベリー園におけるアルミニウム, 鉄, マンガンの土壤中での動態と樹体への吸収. 私学研修. 145:87-100.
- 片倉芳雄・廣田知子. 2003. ラビットアイブルーベ

- リーの生育およびN, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Alの吸収に及ぼす土壌pHの影響. 恵泉女学園園芸短大研究紀要. 34:1-6.
- 片倉芳雄・廣田知子. 2004. ピートモス施用, 窒素形態および土壌pHがラビットアイブルーベリーの生育と養分吸収に及ぼす影響. 恵泉女学園園芸短大研究紀要. 35:1-8.
- 松本英明. 2000. 酸性土壌で発現するアルミニウムストレスに植物はどう応答するか 障害と耐性の分子機構. 化学と生物. 38:452-458.
- 玉田孝人. 1997a. ブルーベリー生産の基礎 [14] 9. 栄養特性および施肥. 農業および園芸. 72:932-934.
- Tamada, T. 1997b. Effect of manganese, copper, zinc and aluminum application rate on the growth and composition of 'Woodard' rabbiteye blueberry. Acta Hort. 446: 497-506.