

根域環境制御システムにおける多孔質鉢の利用と機能

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者	窪田, 聡 遠藤, 路子 堀本, 大雅 村松, 嘉幸 腰岡, 政二
巻/号	10巻4号
掲載ページ	p. 461-466
発行年月	2011年10月

根域環境制御システムにおける多孔質鉢の利用と機能

窪田 聡*・遠藤路子・堀本大雅・村松嘉幸・腰岡政二

日本大学生物資源科学部 252-0880 藤沢市亀井野

Utility and Function of Porous Clay Pot for Root-zone Environmental Control System

Satoshi Kubota*, Michiko Endo, Taiga Horimoto, Yoshiyuki Muramatsu and Masaji Koshioka

Nihon University, College of Bioresource Sciences, Kameino, Fujisawa 252-0880

Abstract

Utility and function of porous clay pots for a root-zone environmental control system (RECS) were investigated. The porous clay pots characteristically had no drainage hole at the bottom. Growth and flowering of pansies in the porous clay pots with pot-surface watering were compared with those in plastic pots with top watering or capillary mat watering. The porous clay pots were placed in a plastic water bath to supply water through pot-surface. In addition, effects of pot soils and of water levels in the bath on the rate of soil moisture were investigated. Pansy growth was significantly stimulated in the porous clay pots compared with those of plastic pots. The root-zone temperature in the porous clay pots was lower than the air temperature during the day time. These findings indicate that the porous clay pot with pot-surface watering is useable as watering equipment for RECS. The rates of soil moisture changed depending not only on soils but on water levels in the bath. However, it was suggested that soil moisture in the porous clay pot should be controlled by regulating water level in the bath.

Key Words : capillary watering, pot-surface watering, root-zone temperature, soil moisture

キーワード : 土壌水分, 鉢面給水, 根域温度, 底面給水

緒言

地球温暖化対策として CO₂ 排出量の低減は、世界的な課題となっている。わが国では、1990 年比で 6% 削減が目標である。農林水産部門のうち、施設園芸・農業機械の温室効果ガス排出削減対策として、年間 17 万 4 千トンの CO₂ 削減が目標（農林水産省、2008）となっており、施設園芸に頼る部分が大きい花き生産部門では、積極的に上記の目標達成に向けた技術開発が求められている。

施設化が進んでいる切りバラ栽培では、従来よりも効率の良いヒートポンプによる冷暖房施設の導入が急速に進んでいる。さらに、株元加温のように温室全体を加温しなくとも、植物の局所を加温することにより、生育と開花が促進される技術が開発されている（原ら、2009, 2010）。鉢物または苗物生産においても、局所温度管理の考え方があり、開花に 20°C 程度の低温を要求するフェレノプシスを株元冷房することによって花茎発生が促され、従来法よりも 25% 以上の冷房費の削減が可能である（小川ら、2007）。また、Vogelezang（1988, 1990, 1991, 1992）は、アルミベンチ

にヒーターを設置してセントポーリア、ペゴニア、フィカスベンジャミン、スパティフィラム、グズマニアなどの生育・開花が根域温度によって影響を受けることを明らかにした。従って、従来のように温室全体を冷暖房することなく、根域温度を制御することにより植物の生長を調節し、冷暖房コストを削減することが可能と考えられる。

根域温度制御を行う場合も、灌水労力の低減および養分の効率的な供給という観点から、底面給水法と組み合わせることが適切であると考えられる。現在、わが国で利用されている底面給水法にはマット給水法、ひも給水法、エプアンドフロー法などがある（青木、1993）。マット給水の場合、マットの裏面に電熱ヒーターなどを設置すれば根域加温は可能であるが、ひも給水法やエプアンドフロー法では、根域を加温・冷却するシステムの付与は物理的に困難である。従って、底面給水法と根域温度調節を組み合わせた根域環境制御を行うには、従来とは異なる底面給水法の開発が必要である。

根域温度を加温・冷却するには、空気を介するよりも水を熱媒体とした方が効率がよい。このため、鉢を給水用の水槽の中に置き、水槽内の水を常時加温・冷却して根域温度を調節するシステムが考えられる。この場合、水は終日鉢の周囲に存在するため、排水孔を持つ既存の鉢はそのまま利用できない。しかし、素焼鉢などの多孔質鉢の排水孔

2010 年 12 月 24 日 受付. 2011 年 2 月 28 日 受理.
本報告の一部は園芸学会平成 20 年秋季大会で発表した。
* Corresponding author. E-mail: skubota@brs.nihon-u.ac.jp

を塞いで利用すれば、鉢壁のみを通して外部から鉢内部へ水がゆっくりと供給され、植物の栽培が可能と考えられる。

そこで本研究では、新しく根域温度を調節できる底面給水法、いわゆる根域環境制御システムの開発を目指し、根域環境制御システムにおける排水孔の無い多孔質鉢の有用性を、パンジーを用いて従来法と比較栽培試験を行うとともに、多孔質鉢内部への水分供給速度に及ぼす土壌の種類と水深の影響を明らかにすることで検証した。なお、本報では多孔質鉢を利用した給水方法を、一般の底面給水方法と区別するため鉢面給水法と呼ぶこととした。

材料および方法

1. パンジーの生育・開花に及ぼす給水方法の影響

植物材料はパンジー (*Viola × wittrockiana* Gams) ‘デルタプレミアム ディープブルーウィズブロッツ’ を使用し、本葉2枚程度に生育した512穴セルトレイ植えのセル成形苗を、2007年8月30日に鉢上げした。培養土は、黒土と市販の培養土(スーパーミックスA, サカタのタネ)を1:1で混合したものを使用し、施肥は緩効性肥料(N:P₂O₅:K₂O:MgO=6:40:6:15)を3g/鉢施用した。

実験区の設定は、給水方法として3号の排水孔のない素焼鉢(板倉製陶)を用いた多孔質鉢区、3号の黒ビニルポットを用いてマット給水を行ったマット給水区、3号の黒ビニルポットを用いて頭上灌水を行った頭上灌水区の3区とした。実験規模は、1反復5株で各区5反復とした。実験はガラス温室で行った。多孔質鉢区は、直径8.5cmの穴を5箇所あけた発泡スチロール板(横16cm×縦58cm×厚さ2cm)に3号多孔質鉢をはめこみ、水深15cmまで水を入れた白色プランター(縦22.5cm×横65.0cm×高さ18.0cm)に浮かべた(第1図)。マット給水区は、給水用マット(ジフィーキャピラリーシート, サカタのタネ)をベンチ上に設置した高さ8.5cmの枠内に敷き、給水用マットの両端を枠の上部から7cm垂れ下がるようにした。この給水用マット上に、3号黒ビニルポットを置いた。鉢内の土壌水分率は、土壌水分センサー(EC-5, Decagon devices)を用いて10分間隔でコンピュータに記録し、マット給水区では、土壌水分率が36%まで低下した時に7Lの水をマットに自動的に給水した。頭上灌水区は、マット給水区と同程度の土壌水分率になったときに、130mL/鉢を灌水し

た。なお、3区における株間隔は12cm×19cmに統一した。

根域温度と気温は温度ロガー(TR-71, ティアンドディ)を用い、10分間ごとに自動計測した。根域温度は、培地表面から3cmの深さにセンサーを埋設して計測した。

実験は8月31日より開始し、同日から生育調査を開始した。草丈、葉数と小花数は毎週調査し、開花日は小花が完全に開いた時とした。鑑賞期間が過ぎた小花は順次摘み取った。実験は10月12日に終了し、5反復中2反復でサンプリングし、葉面積と分枝数を測定した。その後、葉、茎および花に分け、それぞれの生体重を測定した。また、全ての葉を葉面積計(LI-3100, LI-COR)で計測した。根は土壌をきれいに取り去った後、新鮮重を測定した。

2. 多孔質鉢の水分供給速度に及ぼす土壌の種類と水深の影響

多孔質鉢には、4号の排水孔のない素焼鉢(板倉製陶)を用いた。土壌は黒土、赤玉土(小粒)および黒土:赤玉土:培養土(スーパーミックスA, サカタのタネ)を等量混合した混合土の3種類を用いた。これらの土壌はあらかじめ水分率を33%に調節し、多孔質鉢に560mL充填した。水深は鉢の底面から2, 4および8cmの3水準に設定した。土壌を充填した多孔質鉢をプラスチックバット内に置き、バット内に水を入れて所定の水深に調節した。鉢上面は、水分の蒸発を防ぐため常にアルミホイルで蓋をし、鉢重量を実験開始から12時間ごとに測定し、増加した重量を1鉢当たりの水吸収量とした。実験開始時の土壌水分率と土壌体積および12時間ごとの水吸収量から、各測定時の土壌水分率を計算した。反復は各区3回とし、1反復当たり1鉢を供試した。

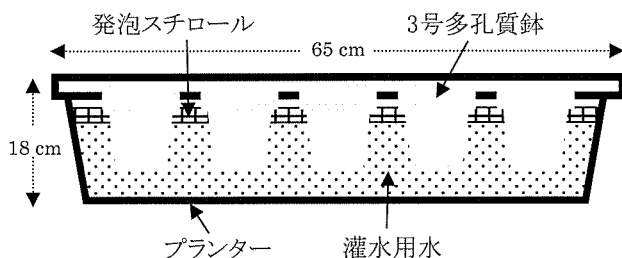
得られた土壌水分率の推移から、12時間ごとに測定された土壌水分率の区間差を12時間で除して、土壌への水分供給速度(%・h⁻¹)を算出した。

実験開始時に、上記と同じ条件で多孔質鉢に各土壌を充填した後、土壌構造を壊さないように100mL容の採土管を土壌上面から差し込み、採土管に土壌が完全に充填されるように採取した。これらの実容積を土壌三相計(DIK-1120, 大起理化)で測定した後、105°Cで24時間乾燥させて水分量(液相率)を求め、実容積から水分量を差し引いて固相率を計算し、液相率と固相率から気相率を算出した。各土壌の気相と液相を合計した全孔隙率を最大容水量とした。

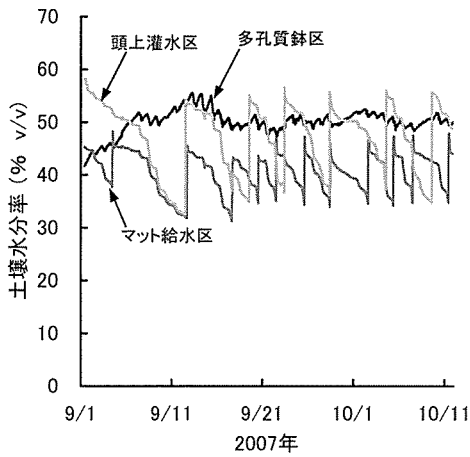
結 果

1. パンジーの生育・開花に及ぼす給水方法の影響

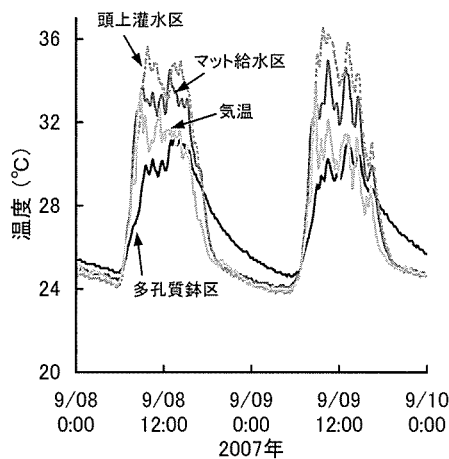
第2図に、実験期間中における土壌水分率の推移を示した。多孔質鉢区の土壌水分率は実験開始7日後まで徐々に高まり、約50%に達した後は49~52%の範囲で推移し、その後大きな変動はなかった。昼間には土壌水分率が低下し、夜間には高くなるという日変動を見せたが、1日における土壌水分率の変化はほぼ1%未満であった。頭上灌水区の土壌水分率は、灌水を行うと約55%まで上昇し、昼間



第1図 多孔質鉢区の実験装置



第2図 実験期間中の土壌水分率の推移



第3図 気温と根域温度の日変化に及ぼす給水方法の影響

は2~3%減少して夜間はほとんど減少しないという日変動を見せた。マット給水区の土壌水分率は、頭上灌水区とほぼ同様のパターンを示したが、灌水時の土壌水分率は頭上灌水区のように50%を超えることはなく、おおむね45%であった。

第3図に気温と根域温度の日変化を示した。気温は夜明けとともに急激に上昇し、午前中には30°C以上に達したが、夕方になると低下して夜間には約24°Cとなった。一方、多孔質鉢区の根域温度は、気温が午前中に32°Cに達しても30°Cを上回ることはなく、夕方には低下したものの低下の程度は気温よりも緩やかであり、夜間の温度は気温よりも高かった。マット給水区と頭上灌水区の根域温度は、昼間には気温よりも3~4°C高くなり、夜間の温度は気温とほぼ同様に推移した。

第1表に、実験期間中に30°C以上の温度に達した積算時間を示した。30°Cを超えた時間は、マット給水区と頭上灌水区では気温よりも長く、特にマット給水では顕著であった。一方、多孔質鉢区では、気温における積算時間の1/3以下と最も短かった。

第2表にパンジーの生育・開花に及ぼす給水方法の影響について示した。草丈は多孔質鉢区とマット給水区では大きな違いはなかったが、頭上灌水区では多孔質鉢区に比べて低くなった。葉数は多孔質鉢区で著しく多く、マット給水区と頭上灌水区の1.4~1.8倍にまで増加した。分枝数には処理間に差はなかったが、葉面積は多孔質鉢区で著しく大きくなった。開花率はいずれの区も90%以上であった。

第1表 30°C以上の気温と根域温度に達した積算時間(時間)

気温	多孔質鉢区	マット給水区	頭上灌水区
78.0	21.5	120.2	87.5

栽培期間中に10分間隔で記録した気温と根域温度のうち、30°Cを超えた時間を積算した。

第2表 パンジーの生育・開花に及ぼす給水方法の影響

灌水方法	草丈 (cm)	葉数 (枚/株)	分枝数 (本/株)	葉面積 (cm ² /株)	開花率 (%)	開花所要日数 [†] (日)	花数 [‡] (個/株)
多孔質鉢区	10.7a [‡]	89.9a	8.0a	394.7a	92a	36.0a	6.6a
マット給水区	10.5ab	50.6b	6.3a	182.9b	96a	37.9a	3.6a
頭上灌水区	8.9b	62.8b	8.6a	223.1b	92a	38.0a	3.9a

[‡]チューキーの多重検定により異符号間に5%レベルで有意差あり

[†]実験開始(2007年8月31日)からの所要日数

[‡]実験終了までの積算花数

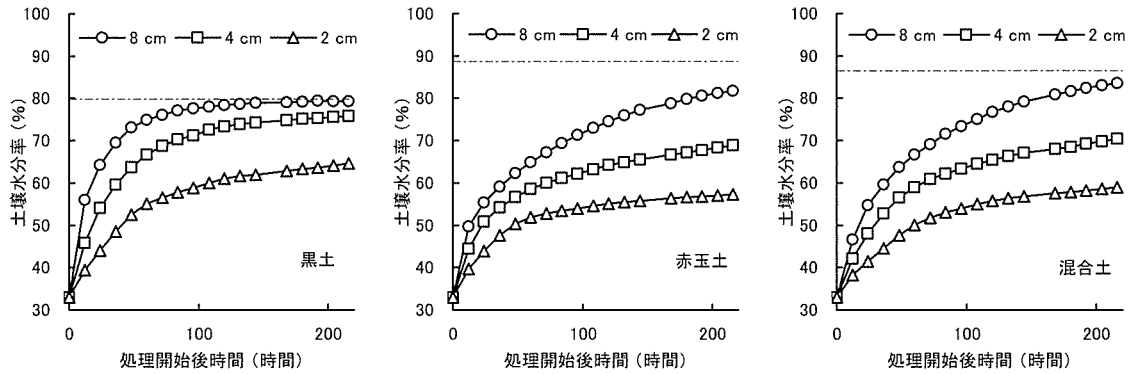
第3表 パンジーの各部位の新鮮重に及ぼす給水方法の影響

灌水方法	葉 (g/株)	茎 (g/株)	花 (g/株)	地上部 (g/株)	根 (g/株)	全体重 (g/株)
多孔質鉢区	13.6a [‡]	2.3a	1.8a	17.7a	1.6a	19.3a
マット給水区	6.0b	0.8b	1.9a	8.7b	1.4b	10.1b
頭上灌水区	7.1b	0.9b	1.3a	9.3b	1.3b	10.6b

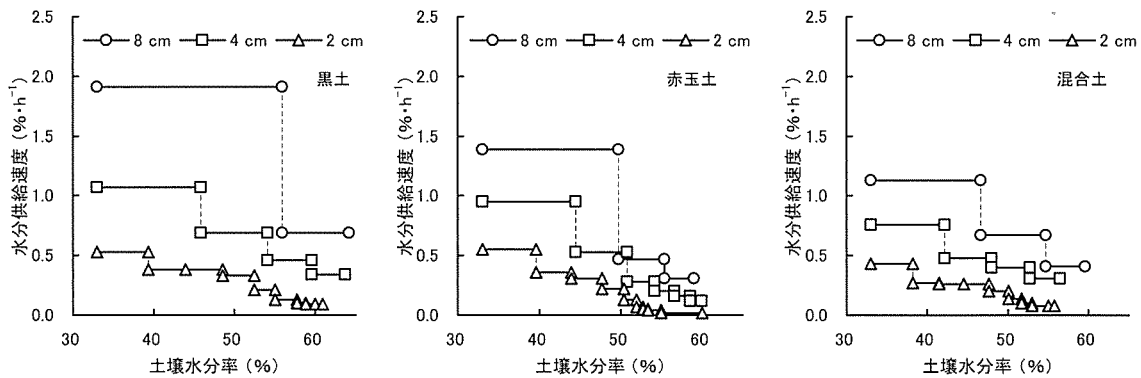
[‡]チューキーの多重検定により異符号間に5%レベルで有意差あり



第4図 給水方法の違いによるパンジーの生育・開花状況



第5図 土壌水分率の推移に及ぼす土壌種類と水深の影響
点線は各土壌の最大容水量を示す



第6図 土壌水分率と水分供給速度との相互関係

第5図から土壌水分率の区間差を測定時間（12時間）で除して、各土壌水分における水分供給速度を算出した

開花所要日数は処理間に差はなく、実験開始から5週間程度で開花した。花数は処理間に有意差はなかった。

第3表に各部位の新鮮重に及ぼす給水方法の影響について示した。葉と茎の新鮮重は、いずれも多孔質鉢で著しく増加したが、花重には差はなかった。地上部の新鮮重は、多孔質鉢区で他の区よりも著しく増加した。根重も多孔質鉢区で増加した。この結果、全体重は多孔質鉢区では他の区に比べて約1.9倍にまで増加した。

第4図に実験終了時におけるパンジーの生育状況を示した。多孔質鉢区では、他の区に比べて地上部の生育が旺盛であり、どの鉢においても多くの根が発生していることが観察された。

2. 多孔質鉢の水分供給速度に及ぼす土壌の種類と水深の影響

第5図に土壌水分率の推移に及ぼす土壌の種類と水深の影響について示した。黒土の土壌水分率は、他の土壌と比較していずれの水深においても実験開始から急激に高まり、水深8cmでは処理開始から100時間後にはほぼ最大容水量に達した。水深4cmでは最大容水量に達することはなく、水深8cmよりもややゆっくりと土壌水分率が高まった。また、水深2cmでは処理開始200時間後でも土壌水分率は約62%であり、土壌水分率の上昇速度は、水深8cmと4cmと比較して著しく低かった。赤玉土の土壌水分率は、黒土と同様に水深8cmの時に最も早く高くなったが、黒土に比べると上昇速度は低かった。また、水深が浅くな

るほど土壤水分率の上昇速度は低くなった。混合土の土壤水分率は、いずれの水深においても赤玉土よりもやや高く推移したが、推移のパターンは赤玉土と類似していた。

第6図に土壤水分率が33～60%の範囲内における鉢内部への水分供給速度を示した。いずれの土壤においても、水深が8 cmの時に水分供給速度は最も高く、水位が低下するほど低くなった。また、土壤水分率の上昇にともない、水分供給速度は大きく低下した。同じ水深においても、土壤が異なると水供給速度は大きく異なり、黒土が最も高く次いで赤玉土、最も低かったものは混合土であった。

考 察

根域温度制御と鉢面給水法を組み合わせた新しい栽培システムにおける多孔質鉢の利用を検証するため、花壇苗としてよく利用されているパンジーの生育・開花に及ぼす給水方法の影響について検討した。その結果、多孔質鉢区では従来の頭上灌水およびマット給水と比較して、葉面積が大きく根の新鮮重が増加し、地上部だけでなく根も含めた株全体の生育が著しく促進された。

実験期間中の根域環境は、多孔質鉢区とその他の区では大きく異なった。土壤水分率は、従来の頭上灌水法およびマット給水法では灌水後には高くなり、灌水前には低く、灌水開始直前と直後の土壤水分率の違いは10～15%にも達した。しかし、多孔質鉢区の土壤水分率は、実験開始10日以降おおむね50%で推移し、他の2区に比べると植物に安定的に水分を供給・維持できていたものと考えられる。一般に、根を健全に生育させるには、気相率を20%以上確保することが望ましい(荒木, 1995)。今回用いた培養土の固相率は12.2%であり、土壤水分率が55%に達しても気相率は32.8%であった。その結果、他の区に比べて土壤水分率が高くても根の呼吸に必要な酸素が十分に確保され、健全な根が多く発達したものと考えられる(第3図)。

土壤水分率に加えて、根域温度も大きく異なった。従来法では、昼の根域温度は日射の影響を受けて気温よりも高く推移することがあり、夜間は気温とほぼ同様の変化を示した。一方、多孔質鉢区では、昼の温度は気温よりも数℃低く推移し、夜間の温度は気温よりも数℃高く推移した。素焼鉢では、鉢面からの水分蒸発の気化熱によって鉢内温度が低下することが古くから知られている(筒井, 1979)。しかし、本実験では鉢表面のほとんどは水に浸かっているため、多孔質鉢内の温度が低く推移したのは気化熱によるものよりも、鉢外部の水温の影響によるものであろう。また、従来法では根域温度の1日の温度較差は非常に大きい。多孔質鉢区では温度較差が気温よりも小さく、安定した温度環境にあった。一般に、植物の根の成長は30℃を超えると阻害される(荒木, 1995)。このため、根域温度が30℃を超えた積算時間を算出したところ、多孔質鉢区ではマット給水区と頭上灌水区よりも66～99時間短かった。高温期におけるパンジーの生育抑制は、培地水分の気化促

進により培地温度を下げることで軽減される(中野ら, 2009)。従って、比較的高温に弱いパンジーの生育が多孔質鉢区で促進されたのは、根の生育が阻害される温度に達した時間が、従来法に比べて大幅に短かったことが大きな要因になっているものと考えられる。同様の比較試験をマリーゴールドでも実施した結果、パンジーと同様に多孔質鉢区で生育が最も促進された(窪田ら, 2008)。

このことから、本実験で利用した排水孔のない多孔質鉢は、新しい根域環境制御システムにおける水分供給および維持装置として利用できるかと判断された。

多孔質鉢区の土壤水分率の日変化は極めて小さいが、昼間に低下し夜間に増加するという日周変動を示した(第2図)。本法の土壤水分率は、鉢外部からの水分供給速度と蒸発散で失われる水分損失速度の差によって決定される。従って、昼間に蒸発散量が多くなると水分損失速度が水分供給速度を上回るため、土壤水分率は低下し、逆に夜間は水分損失速度が水分供給速度を下回るため、土壤水分率は上昇すると考えられる。従来の灌水方法では、灌水開始点と灌水量を設定することにより、土壤水分率を一定範囲内で調節することが行われてきた。しかし、多孔質鉢栽培ではあらかじめ栽培に利用する土壤に対して、水深別に土壤水分率と水供給速度の関係(第6図)を明らかにしておけば、水分損失速度は土壤水分率と一定期間内における土壤水分率の変化から算出でき、この水分損失速度にほぼ見合う水供給速度を実現する水深をリアルタイムに選択することによって、土壤水分率を任意の範囲内に維持することが可能になると考えられる。

多孔質鉢内に土壤を入れずに鉢単体の水流入速度を計測すると、水深8 cmの時に $0.5 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ と実験期間全般にわたって一定であった。これを供試した土壤容積で除して鉢内部への水流入速度を計算すると、約 $0.09\% \cdot \text{h}^{-1}$ であった。土壤水分率45%の時の水深8 cmにおける各土壤の水分供給速度は、黒土では $1.91\% \cdot \text{h}^{-1}$ 、赤玉土では $1.39\% \cdot \text{h}^{-1}$ 、混合土では $1.13\% \cdot \text{h}^{-1}$ であり、鉢単体による水流入速度を大きく上回った。すなわち、多孔質鉢を通した鉢内部への水の供給は、外部からの水の自然流入によるものよりも、各土壤の孔隙が持つ毛管力によって吸水されるものが大部分を占めていると考えられ、このことが土壤によって水供給速度が大きく異なった主な原因と考えられる。

以上のように、鉢面給水法と組み合わせた根域環境制御システムにおける水供給装置として、排水孔のない多孔質鉢の利用可能性についてパンジーを用いて検討した結果、従来法に比べて明らかに生育が促進され、多孔質鉢は根域環境制御システムにおける水供給装置として十分に機能することが明らかとなった。また、多孔質鉢への水供給速度は土壤の種類と水深によって大きく変化し、水深を変化させることによって土壤水分率を任意に調節することが可能と考えられた。今後は、多孔質鉢を根域環境制御システムの水供給装置として用い、根域温度を制御した場合の植物

の生育・開花について検討するとともに、この制御システムにおける省エネルギー性について検討する。

摘 要

根域温度を調節できる底面給水法、いわゆる根域環境制御システムの開発を目指し、根域環境制御システム用の水供給装置として、鉢底に排水孔の無い多孔質鉢の利用と機能について、パンジーを用いて従来法と比較栽培試験を行った。また、多孔質鉢内部への水分供給速度に及ぼす土壌の種類と水深の影響について検討した。多孔質鉢は、水を入れたプラスチック容器内に設置した。その結果、多孔質鉢栽培では従来の頭上灌水やマット給水に比べて生育が促進され、多孔質鉢は根域環境制御システムの水供給装置として利用できると判断された。また、多孔質鉢内部への水供給速度は土壌と水深によって大きく異なり、水深を調節することにより鉢内の土壌水分率を調節することが可能であった。

引用文献

- 青木孝一. 1993. 施肥・給水方式のタイプと特徴. p. 345-349. 農業技術体系 花卉編2. 土・施肥・水管理. 農文協. 東京.
- 荒木 肇. 1995. 花卉の生育と環境反応 根の生長. p. 91-95. 農業技術体系花卉編3. 農文協. 東京.
- 原 靖英・柳下良美・深山陽子・美濃口 薫. 2009. バラの株元加温が収量及び切り花品質に及ぼす影響. 園学研. 8(別1): 223.
- 原 靖英・柳下良美・渡辺 茂・深山陽子・小泉明嗣・腰岡政二・窪田 聡・畔柳武司・馬場 勝・山元恭介. 2010. 異なる室温条件がバラの株元加温の生産性および切り花品質等に及ぼす影響. 園学研. 9(別2): 288.
- 窪田 聡・杉谷 亮・遠藤路子・堀本大雅・腰岡政二. 2008. 多孔質鉢を利用した底面給水法によって栽培された花き植物の生育. 園学研. 7(別2): 340.
- 中野善公・前田茂一・後藤丹十郎・東出忠桐・木下貴文・吉川弘恭. 2009. 培地水分の気化促進処理が高温期における培地温度およびパンジー, ミニシクラメンの生育に及ぼす影響. 園学研. 8: 475-481.
- 農林水産省. 2008. 農林水産省地球温暖化対策総合戦略. p. 14.
- 小川理恵・加藤俊博・酒井広蔵. 2007. 局所冷房によるコショウランの花茎発生及び開花. 園学研. 6(別1): 229.
- 筒井 澄. 1979. 鉢花の底面給水法. 農及園. 54: 559-564.
- Vogelezang, J. V. M. 1988. Effect of root-zone heating on growth, flowering and keeping quality of *Saintpaulia*. Sci. Hortic. 34: 101-113.
- Vogelezang, J. V. M. 1990. Effect of root-zone and air temperature on flowering, growth and keeping quality of *Begonia* × *hiemalis* 'Toran'. Sci. Hortic. 44: 135-147.
- Vogelezang, J. V. M. 1991. Effect of root-zone and air temperature on growth, ornamental value and keepability of *Ficus benjamina* and *Schefflera arboricola* 'Compacta'. Sci. Hortic. 46: 301-313.
- Vogelezang, J. V. M. 1992. Effect of root-zone and air temperature on flowering and growth of *Spathiphyllum* and *Guzmania minor* 'Empire'. Sci. Hortic. 49: 311-322.