Ebb and Flowシステムにおけるかんがい水の溶存酸素濃度が鉢花シクラメンの生育と出荷後品質に及ぼす影響

誌名	植物環境工学
ISSN	18802028
著者名	前田,茂一 仲,照史 角川,由加 後藤,丹十郎
発行元	日本植物工場学会
巻/号	21巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 169-174
発行年月	2009年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

Ebb & Flowシステムにおけるかんがい水の溶存酸素濃度が鉢花シクラメンの生育と出荷後品質に及ぼす影響

前田 茂一[1]・仲　照史[1]・角川由加[1]・後藤丹十郎[2]

[1] 奈良県農業総合センター　634–0813　奈良県橿原市四条町 88
[2] 岡山大学大学院自然科学研究科　700–8530　岡山市津島中 3–1–1

Effect of Dissolved Oxygen Concentration in Irrigation Water on the Growth and Postproduction Quality of Potted Cyclamen Using the Ebb & Flow System

Shigeichi MAEDA[1], Terufumi NAKA[1], Yuka SUMIKAWA[1] and Tanjuro GOTO[2]

[1]*The Nara Prefectural Agricultural Experiment Station, Kashihara, Nara, 634–0813, Japan*
[2]*The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Tsushimanaka, Okayama, 700–8530, Japan*

Abstract

We investigated the effects of the dissolved oxygen (DO) concentration in irrigation water on the growth and postproduction quality of potted cyclamen (*Cyclamen persicum Mill.*), grown using a recirculating Ebb & Flow subirrigation system (Ebb & Flow system). Four levels of DO were set: 4～6 ppm (control, no air supply), 7～9 ppm, 15～18 ppm, and 30～35 ppm, using an air compressor and two types of oxygen generator. The increase in the DO concentration of irrigation water caused a rise in the pH, but no alkalization of substrates or physiological damage of potted cyclamen was observed during cultivation. The results indicated that growth suppression during a high-temperature period was avoided by treatment with over 15 ppm DO; therefore, the growth and start of flowering of cyclamen were accelerated during the total cultivation period. Moreover, the results showed that the postproduction quality of cyclamen under floral display conditions at a low-light intensity was degraded easily over 15 ppm DO, but it was maintained for longer with 7～9 ppm DO. From the above results, when the DO concentration in irrigation water was fixed until shipment, we considered that treatment with 7～9 ppm DO, which facilitated a higher postproduction quality, was more desirable for potted cyclamen production with the Ebb & Flow system.

Keywords: dissolved oxygen, Ebb & Flow system, growth, postproduction quality, potted cyclamen

緒　言

鉢花シクラメン(以下, シクラメン)の生産現場には, かん水作業を省力化するための底面給水法が広く普及している. Ebb & Flow システムは欧米を中心に研究・実用化が進展し[1-6], 我が国においても導入が進みつつある底面給水法のひとつである. しかし, このシステムは培養土内の空気の交換が円滑に行われにくく, 栽培植物の生育は他の底面給水法に劣ることが指摘されている[7,8]. 特に高温期におけるシクラメンの根圏では, 微生物活性や植物根の呼吸量が増大しており, 給水後には, 気相率が減少することにより O_2 濃度がいっそう低下する[9,10]. この O_2 濃度の低下が根の呼吸活性を低下させ, 植物の生育を抑制するとされている[11,12].

2009年 6月 1日受付
2009年 8月17日受理
Corresponding author : Shigeichi Maeda
(maeda@naranougi.jp)

蔬菜類の養液栽培では，培養液の溶存酸素（以下，DO：dissolved oxygen）制御による生育促進が積極的に試みられ，特にDO濃度制御の有効性が確認されている[13–17]．

そのため，Ebb & Flowシステムを用いたシクラメン生産においても，かんがい水のDO濃度を制御し，根圏にO_2を供給することができれば，高温期における生育改善が期待できる．

一方，シクラメンは出荷後の日持ち性（以下，出荷後品質）の悪さが，近年における価格低迷要因のひとつとなっていることが指摘されている[18]．出荷時における生育の良否と出荷後品質が必ずしもリンクしないことは既に示されているが[19]，出荷時の外的品質が優れていても，出荷後品質に問題があれば，今後，市場において高評価を得ることは難しくなると考えられる．

そこで本報告では，シクラメンの高温期における生育抑制回避と年内出荷率を高めるための生育改善，観賞時を想定した出荷後品質の向上を目的とし，Ebb & Flowシステムにおけるかんがい水のDO濃度がシクラメンの生育と出荷後品質に及ぼす影響について検討した．

材料および方法

1. 栽培概要

栽培試験はすべて奈良県農業総合センターのガラス温室内で行った．供試品種にはシクラメンの普通種‘ニューパステル系・ベートーベン’を使用した．2002年10月20日に播種し，2ヶ月間の9 cmポリポットでの育苗を経て2003年5月30日に15 cmプラスチック鉢に定植した．

培養土は，ピートモス，パーライトならびにバーミキュライトの等量混合とした．元肥として緩効性固形肥料（6-40-6-15）と粒状炭酸苦土石灰を培養土1 Lあたりに各2 g混合し，pHを6.5に矯正した．培養土のpH，ECの測定は栽培開始時と終了時に行い，三相分布は培養土の水ポテンシャルを−0.001 MPaに調整して栽培試験開始直前に調査した．

2. 養水分管理

温室内に設置した循環型Ebb & Flowシステムベンチにシクラメンを50鉢ずつ配置した．ベンチ下に置かれた貯水槽（内容量300 L）の水を揚水ポンプでベンチ内へ25 L min^{-1}で給水し，排水口より5 L min^{-1}で排水した．揚水ポンプの稼働はタイマー制御により午前9時から毎日10分間行い，ベンチ上における給水始めから排水するまでの所要時間を20分間に設定して鉢底部より給水した（Fig. 1）．給水時におけるシステムベンチ内での水位は最大で5 cmであった．DOに対する塩類の影響を可能な限り排除するため，かんがい水に肥料成分を混入せず，9月上旬から11月下旬まで，追肥としてN-P-Kを200-106-227（ppm）とした液肥100 mLを10日に1回の間隔で鉢上部から培養土にかん注した．貯水槽内の水は液肥処理後に実験系外へ排出するとともに，追肥時期に合わせ10日ごとに入れ替えた．

3. 試験区設定

試験は無処理区である対照区を含めて4処理区とした．同一温室内に設置した4台の循環型Ebb & Flowシステムベンチを使用し，ベンチごとに貯水槽内のかんがい水のDO濃度を変えて給水を行った（Fig. 1）．

対照区はDO濃度を制御せず，栽培試験期間中におけるDO濃度は4～6 ppmの範囲にあった．処理区には小型空気圧縮機（DA–15D，ULVAC）でDO濃度を7～

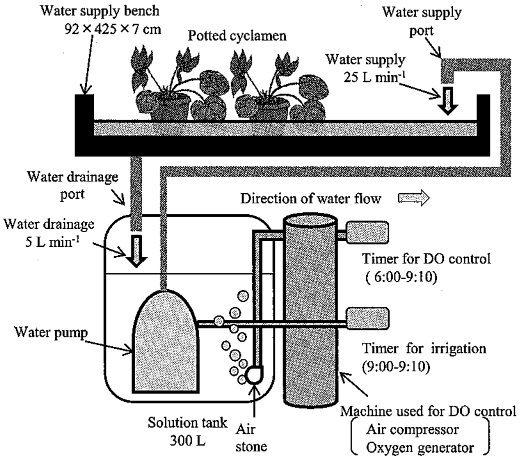

Fig. 1　Schematic diagram of the Ebb & Flow system used for the experiment.

9 ppmとした7～9 ppm区，酸素分圧40％の酸素生成機（OXYCON2000，近畿酸素）でDO濃度を15～18 ppmとした15～18 ppm区，酸素分圧90％の酸素生成機（OXYCON5000，同）でDO濃度を30～35 ppmとした30～35 ppm区の3区を設定した．各処理区におけるDO濃度の制御は2003年7月1日から12月7日まで行った．各機械の気体流量を5 L min^{-1}とし，毎日，午前6時から午前9時10分まで貯水槽内の水に多孔質合成樹脂製エアストーンを利用して通気した（Fig. 1）．

DO濃度の測定にはDO計（DO-24P, TOA）を用い，pHとECの計測にはpH計（HM-20S, TOA）とEC計（CM-20J, TOA）を使用した．各試験区における気温，地温，ならびに月別平均水温の測定は携帯型データロガー（TR72S, T & D）を用いた．

4.（試験1）培養土内での水質変化調査

DO濃度が異なるかんがい水の，培養土内における水質変化を調査するため，処理区ごとにシクラメンを定植した鉢と，培養土のみを充填した鉢を5鉢ずつ供試し，各処理区のDO濃度に調整した蒸留水（以下，かん注液）を鉢上部から培養土にかん注し，直後に鉢底から浸出してきた水（以下，浸出液）とのDO，pH，ECの違いを比較した．調査は室温21.5℃の実験室内に鉢を3時間以上放置して行った．

5.（試験2）生育量調査

定植後から高温期における生育経過を調査するため，各処理区より15鉢を選び，6月28日から10月2日までの間，1～2週間の間隔で草丈，草冠径，展開葉数を測定した．また，出荷期にあたる11月25日には，開花輪数，5輪以上開花した鉢の割合，地上部および球根を含む地下部の新鮮重，球根の周囲長（以下，球周）を測定した．さらに，栽培終了時には栽培試験に供した培養土のpH，ECを測定するとともに，生理障害の発生の有無を確認した．

6.（試験3）出荷後品質評価

シクラメンの鉢花としての出荷後品質を調査するため，各処理区より生育・外観が比較的揃った8鉢を選んで実験室内に配置し，品質評価試験（以下，リファレンステスト）を2003年12月11日から翌年1月13日まで行った．実験室内の環境条件を，気温20±2℃，相対湿度60～80%，株中央部の光強度（PPFD）を10 μmol m^{-2} s^{-1}とし，12時間日長に設定した．調査は2～3日間隔で行い，各処理区の出荷後品質は，各調査日における観賞に適した展開葉数および開花輪数の計数値の経時変化から相対的に評価した．なお，観賞に適した展開葉数は，完全展開葉のうちクロロフィル分解や老化によって葉面積の50%以上が黄化あるいは黄変した観賞価値の低い葉は除外したものとし，観賞に適した開花輪数は，開花した花のうち花茎のしおれや退色，花弁の脱落が生じて観賞価値が著しく消失した花を除外したものとした．

結　果

（試験1）培養土内での水質変化調査

結果をTable 1に示した．浸出液のDO濃度は全処理区でかん注液よりも低下し，特にシクラメンを定植した処理区では低下の程度が大きくなった．浸出液のpHは培養土のみの処理区ではかん注液よりも低下したが，シクラメンを定植した鉢ではいずれも6.8付近の値を示した．かん注液と浸出液の水温には差が見られず，培養土素材や施肥成分等により，浸出液のECはかん注液よりも増加したが，処理区間の差は

Table 1　Change in irrigation water quality leaching from substrate.

Treatment	Irrigation water		Leaching water		
	DO (ppm)	pH	DO (ppm)	pH	EC (dSm^{-1})
Substrate only					
Control	5.8 a	6.4 a	5.7 a	5.9 a	0.01 a
7-9 ppm	8.2 b	6.6 a	6.0 a	5.9 a	0.01 a
15-18 ppm	15.0 c	7.1 b	6.7 b	6.0 a	0.01 a
30-35 ppm	31.3 d	7.7 c	7.5 c	6.4 b	0.01 a
Substrate with plant					
Control	5.7 a	6.4 a	5.1 a	6.8 a	0.13 a
7-9 ppm	8.2 b	6.6 a	5.5 b	6.8 a	0.12 a
15-18 ppm	15.0 c	7.2 b	5.7 bc	6.8 a	0.14 a
30-35 ppm	31.7 d	7.7 c	5.9 c	6.7 a	0.13 a

Values in the table are the mean (n=5).
Different letters indicate a significant difference at the 5% level by LSD.
Distilled water (EC=0) was used for each irrigation.
The temperature of irrigated and leaching water was 21.0～22.1℃ in each test.
The 3-phase (solid:gaseous：liquid) distribution of the substrate was 16：67：17, when the water potential was −0.001 MPa.

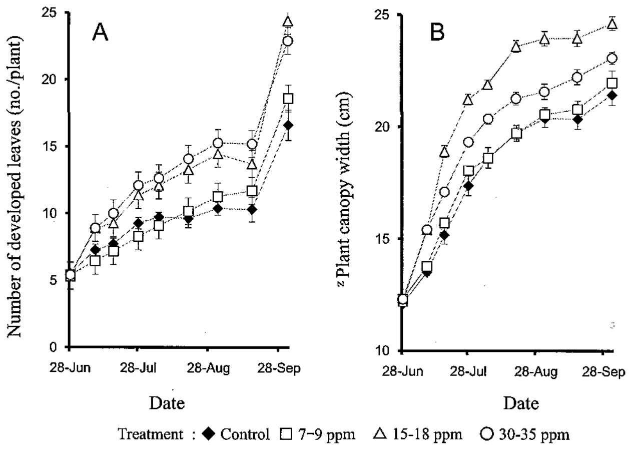

Fig. 2 Effect of the dissolved oxygen concentration in irrigation water on the number of developed leaves (A) and plant canopy width (B) of potted cyclamen during a high-temperature period.
[z] Length of the maximum diameter of the canopy. Vertical bars indicate the standard error of the mean. (n = 15)

Table 2 Effect of the dissolved oxygen concentration in irrigation water on the growth of potted cyclamen during the shipping period.

Treatment	No. of developed leaves	No. of blooming flowers	FW of aerialpart[z] (g)	FW of subterranean part[y] (g)	Peripheral length of corm[x] (cm)	Rate of blooming plant[w] (%)
Control	37.8 a	0.3 a	180.0 a	55.6 a	9.0 a	6.7
7-9 ppm	37.4 a	1.8 a	179.8 a	59.0 a	10.0 a	26.7
15-18 ppm	43.9 b	2.9 ab	193.9 b	65.6 b	10.6 b	46.7
30-35 ppm	44.5 b	4.8 b	206.8 b	62.6 b	11.0 b	66.7

Different letters within the same column indicate a significant difference, as indicated by Tukeys HSD test ($P<0.05$) (n=15).
[z] Above-ground part of plant: leaves (stems) and flowers (flower bud), as indicated by fresh weight.
[y] Underground part of plant: corm and root, as indicated by fresh weight.
[x] Length around the maximum diameter of the corm.
[w] The rate of blooming plants with five or more flowers, investigated on the 25th Nov., 2003.

見られなかった.

(試験2)生育量調査

高温期の生育は, 30-35 ppm 区と 15-18 ppm 区で展開葉数が増加し (Fig. 2 A), 草冠径は 15-18 ppm 区で最大となり 30-35 ppm 区がそれに次いだ (Fig. 2 B).

出荷期における調査では, 開花輪数は 30-35 ppm 区で最大となり, 開花株の割合は DO 濃度が高いほど多くなった. また, 15-18 ppm 区および 30-35 ppm 区における展開葉数, 新鮮重, 球周は, 他の 2 処理区よりも増加した (Table 2).

なお, 栽培終了時の培養土の pH は 15-18 ppm 区, 30-35 ppm 区とも他の 2 処理区と同様に 6.5 ～ 6.8 の範囲にあり, EC の処理区間による差は見られず, 生理障害の発生も認められなかった.

(試験3)出荷後品質評価

リファレンステストの結果, 観賞に適した開花輪数は 30-35 ppm 区, 15-18 ppm 区, 7-9 ppm 区, 対照区の順に多く維持された (Fig. 3 A). また, 観賞に適した展開葉数は 30-35 ppm 区と 15-18 ppm 区で入室 5 ～ 10 日目以降に急速に減少したが, 7-9 ppm 区ではほとんど減少しなかった (Fig. 3 B).

また, リファレンステスト終了時における出荷後品質は, 7-9 ppm 区のシクラメンが最も良好な状態に保たれていた.

考　察

シクラメン生産では, 高温期の生育不良を回避するための様々な工夫がなされている. 給水方法によって高温期の生育改善を試みた研究例としては, 10℃の低水温で頭上かん水を行って培地内温度を下げることにより, 秋以降の生育が改善できたとする報告や [20], Ebb & Flow システムで給水間隔

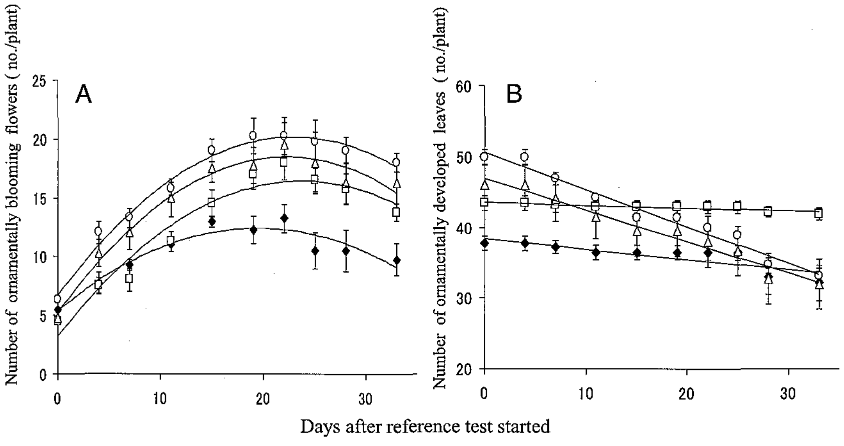

Fig. 3 Effect of the dissolved oxygen concentration in irrigation water on the number of ornamentally blooming flowers (A) and developed leaves (B) during the reference test for potted cyclamen.
Vertical bars indicate the standard error of the mean (n = 8).

を広げて培養土を乾かし気味に管理し，適度な水ストレスを与えることで生育と品質が向上したとする報告がある[21-23]．いずれの報告にも，高温期の根圏環境をシクラメンの生育特性に合わせて改善することにより，生育が良好になることが示されている．試験1の結果，15-18 ppm 区あるいは 30-35 ppm 区の DO 濃度は，培養土を通過する間に速やかに低下し，植物根の存在下でさらに低下しやすくなることが示された (Table 1)．この DO 濃度の低下は，培養土内にあった DO 濃度の低い水との置換，水に溶け込んだ O_2 の離脱，DO の培養土への吸着や植物根による吸収等によると考えられるが，いずれの場合も，DO が根圏に供給されることを示している．

試験2の結果，15-18 ppm 区あるいは 30-35 ppm 区では，高温期における生育が改善され (Fig. 2)，出荷時の生育が良好になることが示された (Table 2)．レタスでは培養液の DO によって根の呼吸速度が高まることが報告されており[13]，シクラメンにおいてもかんがい水の DO によって根の活性が維持され，出荷期までの生育が順調に進んだものと考えられる．

蔬菜類の養液栽培では，DO 濃度を 25℃で飽和値の約 8 ppm に設定すると生育が良好になり，2 ppm 以下にすると生育が抑制されることが報告されている[14-17]．キュウリでは，液温が 25℃から 8℃上昇すると生育に適した DO 濃度が 4 ppm から 8 ppm になる[14]．また，過飽和である 12 ppm 付近まで濃度を高めると，ミツバでは 8 ppm よりも生育が良好になるが[17]，ホウレンソウやレタスでは根の生育量が低下することが報告されている[13,16]．

本報告では，かんがい水の DO 濃度を 15 ppm 以上に設定するとシクラメンの生育が良好になった．このことから，培養土を介して給水を行う鉢花栽培では，培養液が直接根に与えられる養液栽培よりも DO 濃度を高めに設定しておく必要があるものと考えられる．

試験3の結果，15-18 ppm 区および 30-35 ppm 区のシクラメンは，リファレンステスト開始後 10 日以上経過すると，鉢花としての観賞価値が急速に喪失した．生育が旺盛なシクラメンの出荷後品質は，必ずしも良好ではないことは既に示されているが[19]，12 月までかんがい水の DO を 15 ppm 以上に設定した 15-18 ppm 区および 30-35 ppm 区のシクラメンは，必要以上に生育が旺盛となっていた可能性がある．生育が旺盛となりすぎたシクラメンは株全体の呼吸量が増加し，リファレンステストの弱光条件下では十分な光合成ができないため，体内の同化産物の消耗量が他の処理区に比べ大きくなり，出荷後品質を長く保持することができなかったと考えられる．

これに対し，7-9 ppm 区のシクラメンは，15-18 ppm 区，30-35 ppm 区に対して生育の面では劣るが，対照区よりも花数や葉数は確保できており，同化産物の消耗量も 15-18 ppm 区，30-35 ppm 区に比べ小さかったため，開花輪数や展開葉数の急速な減少が見られず，出荷後品質が相対的に長く保持されたと考えられる．

以上より，高温期の生育促進を目的として Ebb & Flow システムでかんがい水の DO 濃度を制御する場合，過飽和となる 15 ppm 以上に設定するのが良く，出荷時まで一定の DO 濃度を保つ場合には，開花時期を早めることはできないが，出荷後品質が良好となる飽和値の 7 ～ 9 ppm に設定するのが良いと考えられた．また，DO 濃度の切り替え時期を検討す

る余地が残されているが，夏の高温期と9月下旬以降で異なるDO濃度に設定することにより，高温期の生育促進と出荷後品質を両立できる可能性が示された.

摘　要

Ebb & Flowシステムで鉢底面から給水したかんがい水のDO濃度が，シクラメンの生育と収穫後の鉢花品質に及ぼす影響を調査した．かんがい水のDO濃度は酸素発生機と空気圧縮機を使用して，処理濃度により4～6 ppm（対照区），7～9 ppm，15～18 ppm，30～35 ppmの4段階に設定した．かんがい水は，DO濃度を高めるほどpHが上昇したが，栽培終了時に培養土のアルカリ化やシクラメンの生理障害は見られなかった．また，かんがい水のDO濃度が15 ppm以上の時，高温期における生育抑制が回避されるとともに栽培期間全般を通して生育が促進され，開花時期が早まることが示された．しかし，弱光の観賞条件下における出荷後品質は，かんがい水のDO濃度が15 ppm以上で低下しやすく，7～9 ppmで良好に保たれた．以上より，Ebb & Flowシステムを用いたシクラメン生産で出荷時までかんがい水のDO濃度を一定にする場合は，出荷後品質が良好となる7～9 ppmに設定するのが望ましいと考えられた．

引用文献

1) Elliott GC. A pulsed subirrigation system for small plots. HortScience. 27: 71–72. 1992.
2) Blom TJ, Piott BD. Preplant moisture content and compaction of peatwool using two irrigation techniques on potted crysanthemums. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117(2): 220–223. 1992.
3) Dole JM, Cole JC, von Broembsen SL. Growth of poinsettias, nutrient leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods. HortScience. 29: 858–864. 1994.
4) James E, van Iersel M. Phosphorus fertilization in ebb and flow production of bedding plants. HortScience. 33: 523–524. 1998.
5) James E, van Iersel M. Ebb and flow production of petunias and begonias as affected by fertilizers with different phosphorus content. HortScience. 36: 282–285. 2001.
6) Wilson SB, Stoffella PJ, Graetz DA. Compost amended media and irrigation system influence containerized perennial salvia. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128: 260–268. 2003.
7) Kent MW, Reed DW. Nitrogen nutrition of new guinea impatiens 'Barbados' and spathiphyllum 'Petite' in a subirrigation system. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 816–819. 1996.
8) Todd NM, Reed DW. Characterizing salinity limits of new guinea impatiens in recirculating subirrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123: 156–160. 1998.
9) 長村智司．鉢物培養土の標準化と根圏の物理的条件に関する研究．京都大学大学院農学研究科学位論文．48–70．1987.
10) 長村智司．鉢花の培養土と養水分管理．p 25–37．農文協．東京．1995.
11) Eavis BW. Soil physical conditions affecting seedling root growth comparisons between root growth in poorly aerated soil and different oxygen partial pressures. Plant and Soil. 37: 151–158. 1972.
12) Drew MC. Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment. Plant and Soil. 75: 179–199. 1983.
13) Chun C, Takakura T. Rate of root respiratin of lettuce under various dissolved oxygen concentrations in hydroponics. Environ.Control in Biol. 32(2): 125–135. 1994.
14) 郭　世栄，橘　昌司．トマトおよびキュウリ幼植物の生長と無機栄養に及ぼす培養液の溶存酸素濃度の影響．園学雑．66(2): 331–337．1997.
15) 田中剛毅，山下洋平，中林和重．溶存酸素濃度の過飽和状態が養液栽培トマトの生育および養分吸収におよぼす影響．植物工場学会．13(1): 21–28．2001.
16) 後藤英司，菅原大輔，李　盈徳，高倉　直．酸素ガスを用いたホウレンソウ水耕の溶存酸素濃度制御．植物工場学会．15(1): 27–32．2003.
17) 草刈眞一，山崎基嘉，森井正弘，沢田太助．養液栽培ミツバにおける酸素富化膜による高濃度酸素供給とミツバの生育促進効果．大阪食とみどり技セ研報．40: 1–4．2004.
18) 福井博一．シクラメンのマーケティング．農耕と園芸．第61巻2月号：24–28．2006.
19) 前田茂一，長村智司．鉢花の品質保持に及ぼす栽培管理方法の影響（第1報）シクラメンの品質保持に及ぼす施肥の影響．奈良農試研報．29: 1–8．1998.
20) 小宮書之助，武永順次．冷水潅水が鉢内温度とシクラメンの生育に及ぼす影響．農作業研究．90: 31–39．1997.
21) 須田　晃，西尾譲一，福田正夫．シクラメンのエブアンドフローシステムにおける培養液窒素濃度と給水開始点が生育・開花に及ぼす影響．愛知農総試研報．28: 219–225．1996.
22) 須田　晃，福田正夫．エブアンドフロー栽培におけるシクラメンの養分吸収特性．愛知農総試研報．32: 183–188．2000.
23) 長村智司，的場智子．底面給水の実用化に関する研究（第6報）給水方法，培地組成，気温がシクラメンの生育に及ぼす影響．園学雑．59別1．604–605．1990.