

低照度下における鉢花カーネーションの生理ならびに品質に及ぼす5-アミノレブリン酸処理の影響

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	山根,健治 猪爪,亜希 和田,義春 林,万喜子 清水,明
発行元	園芸学会
巻/号	7巻1号
掲載ページ	p. 115-121
発行年月	2008年1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



低照度下における鉢花カーネーションの生理ならびに品質に及ぼす 5-アミノレブリン酸処理の影響

山根健治^{1*}・猪爪亜希¹・和田義春¹・林 万喜子²・清水 明³

¹ 宇都宮大学農学部 321-8505 宇都宮市峰町 350

² キリンビール (株) 社会環境室 104-8288 東京都中央区新川 2-10-1

³ キリンアグリバイオ (株) 植物開発研究所 329-1414 さくら市早乙女塚 3377

Effects of 5-Aminolevulinic Acid on Physiology and Quality of Potted Carnations under Low Light Intensity

Kenji Yamane^{1*}, Aki Inotsume¹, Yoshiharu Wada¹, Makiko Hayashi² and Akira Shimizu³

¹ Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya, Tochigi 321-8505

² Kirin Brewery Company, Limited, Chuo-ku, Tokyo 104-8288

³ Kirin Agribio Company, Limited, Sakura, Tochigi 329-1414

Abstract

Physiology of potted carnations under low light intensity was evaluated in order to improve their postharvest quality. Light compensation points of single leaves were estimated at photosynthetic photon flux density (PPFD) of 10.3 and 12.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ for 'My fair lady' and 'Scarlet', respectively. Fv/Fm, ϕPSII and chlorophyll concentration in the leaves remained high under 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD (16 h of light) but were significantly decreased under 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Under 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD, concentrations of sugars and anthocyanin in petals decreased. Moreover, development of flower buds and unfolding of flowers were suppressed and thus potted plant longevity was short at a low light intensity. These findings suggested that low light intensity less than light compensation point resulted in a low photosynthesis rate, shortage of sugar accumulation, and reduced longevity of potted plants and florets. In 'Scarlet' maintained under 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, treatments with 30 ppm 5-aminolevulinic acid (ALA) alleviated the decrements of chlorophyll concentrations and ϕPSII , and thereby slightly improved the numbers of unfolded flowers, and longevity of florets and potted plants. In 'My fair lady', treatments with 30 and 150 ppm ALA significantly prolonged the longevity of potted plant under 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24 h of light). In 'My fair lady', treatments with 30 ppm ALA alleviated the decrease in chlorophyll concentration but did not affect either the photosynthesis rate or light compensation point under 15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (12 h of light).

Key Words : chlorophyll, ϕPSII , Fv/Fm, light compensation point, longevity

キーワード : Fv/Fm, ϕPSII , 光補償点, 日持ち, クロロフィル

緒言

鉢花カーネーションは母の日を中心に約 500 万本が出回り (農林水産省, 2007), 流通段階および販売後の消費者の下での品質維持が課題となっている。鉢花の品質低下の原因として, 輸送時や観賞時の弱光による光合成量の低下, エチレンの作用, 温度変化などが挙げられる (Reid, 1985; 須田, 2003)。鉢植えのデルフィニウムにおいては, 光合成有効光量子束密度 (PPFD) 7 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で光合成による二酸化炭素の吸収よりも呼吸の方が多く, かく片の糖含

量が低く, エチレン生成量が増加し, 結果として日持ちが短くなることが報告されている (Tanase ら, 2005)。しかし, 鉢花カーネーションの品質と光強度との関係に関する報告は少ない。

5-アミノレブリン酸 (ALA) はクロロフィルやヘムなどのテトラピロール化合物群の生合成における前駆体であり (西原ら, 2001), 通常, 植物体中の ALA 濃度は 50 $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW 以下に維持されている (Stobart・Ameen-Bukhari, 1984)。植物に高濃度の ALA を与えて光を照射するとクロロフィル生合成中間体の光増感作用により一重項酸素が発生して植物に障害を与えることから, 除草剤としての応用研究が行われてきた (Chakraborty・Tripathy, 1992; Kittsteiner ら, 1991)。しかし, 低濃度の ALA を処理した植物では, むしろクロロフィル含量が増加し, 二酸化炭素固定能力が

2007年4月24日 受付. 2007年8月16日 受理.

本研究は科学技術振興機構 (JST) のシーズイノベーション事業の一環として行った。

* Corresponding author. E-mail: yamane@cc.utsunomiya-u.ac.jp

向上することが報告されている (Hotta ら, 1997)。

本研究では鉢花カーネーションの光合成に関する生理と開花や花色などの品質に及ぼす光強度の影響について調査するとともに、光合成と鉢花品質を改善するために ALA 処理を試みた。

材料および方法

実験材料

群馬県板倉町で生産された 5 号鉢の鉢花カーネーション (*Dianthus caryophyllus* L.) ‘マイフェアレディ’ および ‘スカーレット’ を用い、2006 年と 2007 年の 5 月から 6 月にかけて実験を行った。宇都宮大学の環境実験棟で管理し、1 鉢に 3 花以上が開花した状態で観賞価値があると判断し、調査を開始した。なお、開花は花卉が軸に対して 90° 以上に展開したときとした。

実験 1. 光合成特性の測定

両品種の光合成特性を明らかにするために光合成測定装置 (LI6400, LI-COR 製) を用いて個葉の光-光合成曲線を測定し、光補償点を求めた。光合成速度の測定条件は二酸化炭素濃度 $400 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 、温度 20°C 、相対湿度 (RH) 70% とし、花蕾から 3 ~ 4 節下の幅約 6 mm の完全展開葉について測定した。

実験 2. 異なる光強度における鉢花の品質変化と ALA 処理の影響

‘マイフェアレディ’ および ‘スカーレット’ を PPFD 120 または $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 時間日長, メタルハライドランプ)、温度 20°C 、RH60% の人工気象装置 (コイトロン 2KG-V33D 特殊型, 小糸工業製) 内に置いた。ALA 処理は ALA 塩酸塩 (コスモ誠和アグリカルチャ製) に微量要素入り液状窒素肥料を加えて処理した (岩井ら, 2007)。
‘スカーレット’ では人工気象装置に搬入する 9 日前の株全体に ALA の 30 ppm (0.23 mM) 溶液を 1 株当たり 20 mL ずつ散布処理した。対照区には蒸留水のみを散布した。搬入後 2 週間の開花数、鉢花全体および個々の小花の日持ち、葉のクロロフィル蛍光、葉の黄化指数、花卉の L^* 、 C^* 、 h° 値 (花色)、アントシアニン含量および糖含量を調査した。調査対象は開花した花およびがく筒から花卉が 10 mm 程度現れた蕾とした。花卉に少しでも老化の兆候 (萎凋) が認められた花は取り除いた。鉢花の日持ちは鉢に 3 花以上の開花した花がついている期間とし、個々の小花の日持ちは開花から老化の兆候が現れる日までとした。

葉のクロロフィル蛍光については PAM クロロフィル蛍光測定装置 (FMS2, Hansatech 製) を用い、上位葉の Fv/Fm 値および ΦPSII 値を測定した。Fv/Fm は測定箇所をクリップで 15 分間以上暗黒処理した後に測定した。

上位葉の黄化指数および花卉の L^* 、 C^* 、 h° 値は色差計 (NR-3000, 日本電色製) を用いて測定した。アントシアニン含量は花卉 100mm^2 を 1% 塩酸メタノール (v/v) 10 mL で 24 時間浸漬して抽出し、分光光度計 (U-2001, 日立製)

で 515 nm の吸光度 (OD_{515}) を測定し、求めた。クロロフィル含量の測定には永田ら (1992) の方法を用いた。すなわち上位葉 0.1 g (FW) をアセトン : ヘキサン (= 4 : 6) の溶媒 10 mL で 3 日間抽出し、抽出液の有機溶媒層の OD_{663} および OD_{645} を分光光度計で測定し、下式により算出した。

$$\begin{aligned} \text{クロロフィル a} (\text{mg} \cdot 100 \text{mL}^{-1}) &= 0.999 \text{OD}_{663} - 0.0989 \text{OD}_{645}; \\ \text{クロロフィル b} (\text{mg} \cdot 100 \text{mL}^{-1}) &= -0.328 \text{OD}_{663} + 1.77 \text{OD}_{645}. \end{aligned}$$

結果はクロロフィル a と b の合計値で示した。

糖は凍結乾燥後粉碎した試料に約 15 mL の 80% エタノール (v/v) と、内部標準として 5% ラムノース (w/v) 200 μL を加えて 80°C で 1 時間保持し、遠心分離後の上澄み液を濃縮した後、Amide-80 カラム (東ソー製) および示差屈折計 (RI-8022, 東ソー製) を装備した HPLC (LC-6A, 島津製) で 75% アセトニトリルを溶離液として測定した。糖含量はフルクトース、グルコースおよびスクロースの合計で示した。但し、フルクトースのピークにピニトールが重なるため、合計値にピニトールが含まれている可能性がある。

実験 3. 明るい室内における鉢花カーネーションへの ALA 処理の影響

‘マイフェアレディ’ および ‘スカーレット’ を温度 20°C 、RH60% (加湿調節のみ)、PPFD $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24 時間日長, 白色蛍光灯) の室内に置いて鉢花全体および個々の小花の日持ちおよび花数を調査した。ALA 処理は、ALA 塩酸塩に微量要素入り液状窒素肥料を加えたものを用い、‘マイフェアレディ’ では室内へ搬入する 10 日前に 1.5 ppm (0.01 mM) 溶液を 1 株当たり 20 mL 散布して行った。‘マイフェアレディ’ に対する 1.5 ppm ALA 処理では効果が小さかったため、‘スカーレット’ では 30 ppm (0.23 mM) 溶液を室内搬入の 12 日前に 1 株当たり 20 mL 散布した。無処理の株を対照区とした。

実験 4. 暗い室内における鉢花カーネーションへの ALA 処理の影響

‘マイフェアレディ’ を供試し、温度 20°C 、RH60% (加湿調節のみ)、PPFD $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24 時間日長, 白色蛍光灯) の室内で調査した。本実験では ALA の処理は ALA 塩酸塩 (コスモ誠和アグリカルチャ製) を用い、室内に搬入する 9 日前に 30 ppm (0.23 mM) または 150 ppm (1.14 mM) 溶液を 1 株当たり 20 mL ずつ散布して行い、散布後の開花数および鉢花の日持ちを調査した。無処理の株を対照区とした。

実験 5. 室内における鉢花カーネーションの光合成速度および光補償点への ALA 処理の影響

‘マイフェアレディ’ を PPFD $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (12 時間日長)、温度 20°C 、RH60% の人工気象装置内に置いた。ALA 処理には ALA 塩酸塩を用い、搬入 6 日前に 30 ppm (0.23 mM) 溶液を 1 鉢当たり 50 mL ずつ株全体に散布した。搬入 6 日および 12 日後の個葉の光合成速度および光補償点を実験 1 と同様に測定した。測定後の葉身のクロロ

フィル含量を Schmid (1971) の方法で測定した。すなわち、葉身から直径 6 mm のディスクを 2 枚切り出し、100% メタノール 4.5 mL で 24 時間抽出後、蒸留水を 0.5 mL 加えて 5 mL に定容して 90% メタノールとし、OD₆₆₃ および OD₆₄₅ を測定し、下式により算出した。

クロロフィル a (mg) = 0.00162 (45.6 OD₆₆₃ - 9.27 OD₆₄₅) ;
クロロフィル b (mg) = 0.00149 (82.04 OD₆₄₅ - 16.75 OD₆₆₃).

結果はクロロフィル a と b の合計値を示した。

結 果

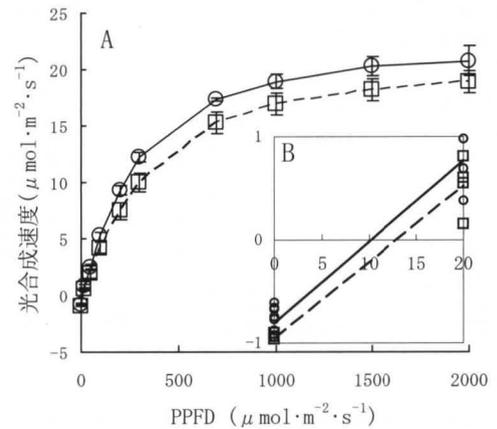
実験 1. 光合成特性の測定

第 1 図 A に両品種の個葉の光—光合成曲線を示した。両品種ともに光量の増加に伴って PPF 1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 付近まで増加したが、その後はほぼ一定になった。光合成速度の上昇程度は ‘マイフェアレディ’ がやや高く、算出した光補償点は ‘スカーレット’ が 12.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で ‘マイフェアレディ’ の 10.3 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ に比べて高かった (第 1 図 B)。

実験 2. 異なる光強度における鉢花の品質変化と ALA 処理の影響

室内搬入 7 日後と 14 日後の ‘マイフェアレディ’ の花卉の糖含量は両ステージとも 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (弱光区) よりも 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (強光区) で有意に高かった (第 1 表)。花卉のアントシアニン含量も強光区の方が高く、特に蕾においては 7 日後および 14 日後ともに顕著な差が認められた (第 1 表)。花色についてみると、花卉の L* 値は弱光区の花において 14 日後に有意に高まった (第 1 表)。C* 値および h° 値は強光区の花および蕾では値が高く、弱光区では 7 日後から 14 日後にかけて値が低下した (第 1 表)。

‘マイフェアレディ’ の葉の黄化指数は、強光区では 14 日後まで値は変化しなかったが、弱光区では処理 6 日後、14 日後と有意に上昇し、葉の黄化が進行していることを示



第 1 図 鉢花カーネーションにおける個葉の光—光合成曲線 (A) と光補償点付近の拡大図 (B)

○ (実線): ‘マイフェアレディ’ □ (破線): ‘スカーレット’

二酸化炭素 400 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 温度 20°C, RH70% 条件下で測定
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=4)

した (データ省略) 。 ‘スカーレット’ においても黄化指数は弱光下では 14 日後に有意に高くなったが、ALA 処理によりその上昇が抑制された (第 2 表) 。 ‘スカーレット’ のクロロフィル含量は弱光区において 14 日後に有意に低下したが、ALA 処理により低下が緩和された (第 2 表) 。

‘マイフェアレディ’ および ‘スカーレット’ の両光強度条件におけるクロロフィル蛍光の変化を第 2 図に示した。 ‘マイフェアレディ’ では Fv/Fm および ΦPSII とともに強光区に比べ弱光区で有意に低下した。 ‘スカーレット’ においても、Fv/Fm および ΦPSII とともに弱光区では 15 日後に有意に低下したが、ΦPSII の低下は ALA 処理により有意に緩和された。

‘マイフェアレディ’ の強光区では時間の経過に伴い開花数が徐々に増加したが、弱光区では 8 日後までは開花数が

第 1 表 光強度が鉢花カーネーション ‘マイフェアレディ’ 花卉の糖含量、アントシアニン含量および花色に及ぼす影響

PPFD ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	ステージ ^z	糖含量 ^y ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)	アントシアニン 含量 (OD ₅₁₅) ^x	花色		
				L*	C*	h°
7 日後 ^w						
10	蕾	8.1 b	0.096 c ^y	45.0 a	86.8 b	10.0 c
10	花	14.8 b	0.108 bc	41.0 bc	96.5 a	10.3 c
120	蕾	28.4 a	0.200 a	42.8 ab	96.5 a	15.5 a
120	花	26.7 a	0.161 ab	40.4 c	97.7 a	13.9 b
14 日後						
10	蕾	8.4 b	0.041 c	48.6 a	77.8 b	2.5 c
10	花	9.7 b	0.074 b	41.5 b	93.4 a	4.6 b
120	蕾	28.3 a	0.169 a	42.4 b	95.6 a	16.1 a
120	花	25.6 a	0.157 a	42.4 b	96.0 a	15.9 a

^z 花卉が 90° 以上に展開したものを花、がくから花卉が 10 mm 以上出現したものを蕾とした

^y フルクトース、グルコースおよびスクロースの合計

^x 花卉 100 mm² を 1% 塩酸メタノール 10 mL で抽出し OD₅₁₅ を測定

^w 室内搬入後の日数

^y 同一文字間には Tukey-Kramer の多重比較検定により有意差なし (P < 0.05)

第2表 鉢花カーネーション‘スカーレット’葉身の黄化指数およびクロロフィル含量に及ぼす光強度と5-アミノレブリン酸(ALA)処理の影響

光強度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	ALA ^z (ppm)	黄化指数			クロロフィル含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) ^y		
		0日後 ^x	14日後	t検定 ^v	0日後	14日後	t検定
10	0	30.2	36.5 a ^w	*	3.68	3.27	*
10	30	33.5	33.4 ab	NS	3.82	3.49	NS
120	0	28.3	28.1 b	NS	3.61	3.58	NS
120	30	31.5	31.7 ab	NS	3.88	3.55	NS

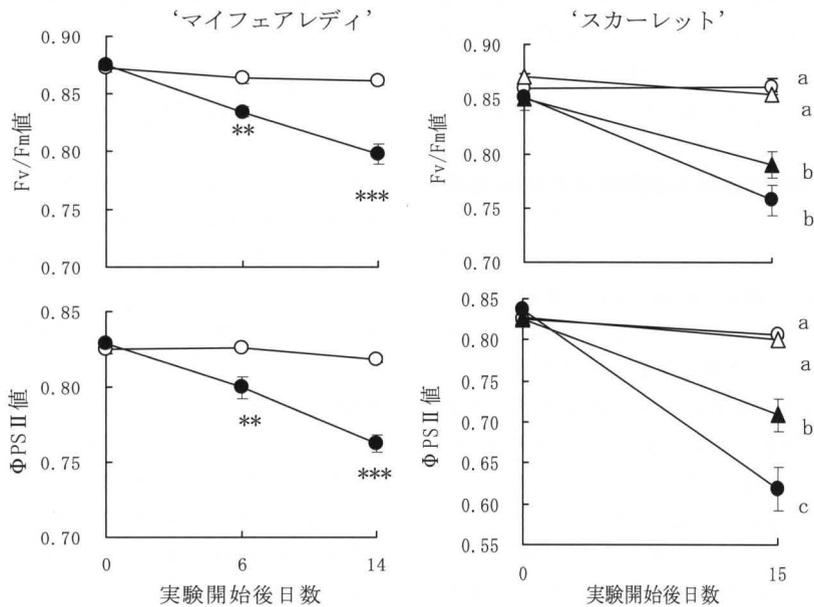
^z実験開始9日前に30 ppm ALA (液状窒素肥料を含む) 20 mL を株全体に散布処理

^yクロロフィル a とクロロフィル b の合計

^x室内搬入後の日数

^v同一文字間には Tukey-Kramer の多重比較検定により有意差なし (P < 0.05)

^w各処理の0日目と14日目の値における対応のある t 検定



第2図 鉢花カーネーションの Fv/Fm および ΦPSII 値に及ぼす光強度と 30 ppm ALA 処理の影響

● : $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 対照区 ▲ : $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ALA 処理区

○ : $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 対照区 △ : $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ALA 処理区

図中の縦棒は標準誤差を示す (n = 5-10)

‘スカーレット’では実験開始9日前に30 ppm ALA (液状窒素肥料を含む) 20 mL を株全体に散布した

** , *** : Student の t 検定においてそれぞれ P < 0.01, 0.001 で有意差あり

同一のアルファベット間には Tukey-Kramer の多重比較検定において有意差なし (P < 0.05)

増加したが、10日後以降になると徐々に減少した(第3図)。「スカーレット」においては、強光区では8日後以降次第に、弱光区では6日目以降急激に開花数が減少した。「スカーレット」へのALA処理は強光区、弱光区とも開花数を増加させる傾向にあり、特に弱光区の8日後および12日後の開花数は有意に増加した。

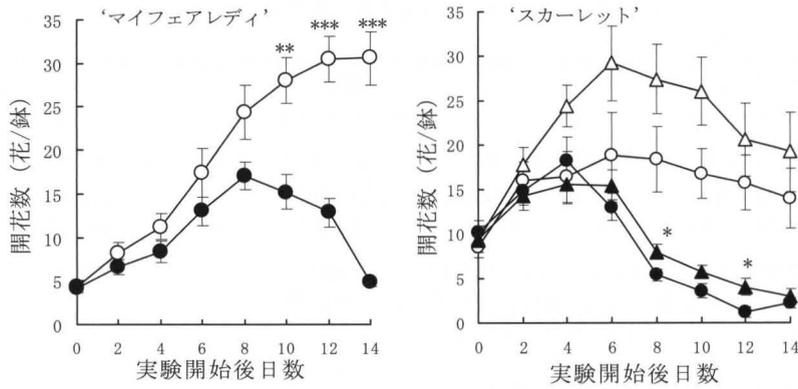
実験3. 明るい室内における鉢花カーネーションへのALA処理の影響

明るい室内 ($15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) の‘マイフェアレディ’において、対照区は全花蕾に対する開花割合が少なく、処理10日以降急激に花数が減少した(データ省略)。1.5 ppm ALA 処理区は開花割合が多く、花数の減少が緩和されたが

(データ省略)、鉢花の日持ちは改善されなかった(第3表)。「スカーレット」の対照区では2日後から6日後にかけて全蕾に対する老化した花数が多く、処理10日後以降の開花の割合が少なかったが、30 ppm ALA 処理区では初期の老化の割合が少なく、処理4日後以降の開花数がわずかに多かった(データ省略)。「スカーレット」鉢花の日持ちは30 ppm ALA 処理によりわずかに延長される傾向にあった(第3表)。

実験4. 暗い室内における鉢花カーネーションへのALA処理の影響

暗い室内 ($5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) において、‘マイフェアレディ’に30 ppm および150 ppm のALA処理を行ったとき、開花数が増加する傾向が見られ、鉢花の日持ちは6日から



第3図 鉢花カーネーションの開花数に及ぼす光強度および5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理の影響

● : 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 対照区 ▲ : 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ALA 処理区

○ : 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 対照区 △ : 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ALA 処理区

‘スカーレット’では実験開始9日前に30 ppm ALA (液状窒素肥料を含む) 20 mL を株全体に散布した
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=5)

*, **, ***: Student の t 検定においてそれぞれ $P < 0.05, 0.01, 0.001$ で有意差あり

第3表 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理がカーネーションの鉢花全体および小花の日持ちに及ぼす影響²

品種	ALA ^y (ppm)	鉢花の日持ち ^x (日)	小花の日持ち (日)
マイフェアレディ	0	12.0 ± 0.6 ^w	7.0 ± 0.0
	1.5	11.6 ± 1.0	6.0 ± 0.5
スカーレット	0	14.0 ± 2.7	4.4 ± 0.7
	30	16.4 ± 2.2	6.0 ± 1.2

²温度 20°C, PPFD 15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24 時間日長) 下で調査した

^y室内搬入の 10 または 12 日前に株全体に ALA (液状窒素肥料を含む) を散布処理した

^x3 花以上の開花した花がある状態とし, 花色等は考慮していない

^w平均値 ± 標準誤差 (鉢花: n=5, 小花: n=10)

第4表 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理が‘マイフェアレディ’鉢花の開花数および日持ちに及ぼす影響²

ALA ^y (ppm)	開花数 (花/鉢)			鉢花の日持ち (日) ^x
	0 日後	4 日後	8 日後	
0	9.3 a ^w	10.8 a	0.5 b	6.0 b
30	8.0 a	11.5 a	6.0 a	9.0 a
150	9.3 a	17.5 a	8.0 a	9.0 a

²温度 20°C, PPFD 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24 時間日長) 下で調査した

^yALA 塩酸塩水溶液を室内搬入の 9 日前に株全体に散布処理した

^x3 花以上の開花した花がある状態とし, 花色等は考慮していない (n=4)

^w同一文字間には Tukey-Kramer の多重比較検定により有意差なし ($P < 0.05$)

9 日へと有意に延長された (第4表).

実験 5. 室内における鉢花カーネーションの光合成速度および光補償点への ALA 処理の影響

15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の人工気象器内においた ‘マイフェア

レディ’の見かけの光合成速度は6日後から12日後にかけてやや低下し, 光補償点はやや高まる傾向にあった (第5表). 対照区のクロロフィル含量は12日後に有意に低下した. ALA 処理によりクロロフィル含量の低下が緩和されたが, 光合成速度, 光補償点および暗呼吸速度 (データ省略) は影響を受けなかった.

考 察

‘マイフェアレディ’と‘スカーレット’の光—光合成曲線は PPFD 1500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 付近まで増加し, 陽生植物の特性を示した (第1図). ‘マイフェアレディ’と‘スカーレット’において, 個葉の光補償点はそれぞれ PPFD 10.3 と 12.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 付近であることから (第1図B), 16 時間日長の PPFD 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では炭水化物収支はマイナスになると考えられる. さらに, 花器や地下部の呼吸量加わるため, 植物体全体の光補償点はより高いと推察される. 一方, 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では両品種とも二酸化炭素固定速度は 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 前後であった (第1図A) ことから, 炭水化物収支はプラスであったものと推定され, このために開花が継続した (第3図) ものと考えられる.

PPFD 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では時間の経過に伴いクロロフィル含量は低下し, 葉の黄化が認められた (第2表). 葉の光化学系 II の最大量子収率を示す Fv/Fm および電子伝達の光量子収率を示す ΦPSII は 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ においては 14 日後まで高く維持されたが, 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ においては低下した (第2図). Fv/Fm は低温, 高温および低酸素など様々なストレスによる光阻害の指標とされている (DeEll ら, 1999). van Kooten ら (1991) は鉢物が低照度などの不適条件下で輸送されたかどうかを ΦPSII などのクロロフィル蛍光により判断できることを報告している. これらのことから, 強光を好むカーネーションは光補償点前後の弱光下ではクロロフィルの分解と葉の黄化が進行し, 光阻害や

第5表 鉢花カーネーション‘マイフェアレディ’葉身の光合成速度、光補償点およびクロロフィル含量に及ぼす5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理の影響^z

ALA ^y (ppm)	見かけの光合成速度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) ^x			光補償点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			クロロフィル含量 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$) ^w		
	6日後	12日後	t検定 ^v	6日後	12日後	t検定	6日後	12日後	t検定
0	0.38 ± 0.03 ^u	0.24 ± 0.04	NS	10.6 ± 0.4	12.1 ± 0.8	NS	442 ± 19	345 ± 20	*
30	0.30 ± 0.10	0.14 ± 0.03	NS	11.6 ± 1.4	13.8 ± 0.3	NS	399 ± 39	445 ± 34	NS

^z 温度 20°C, RH60%, PPFD 15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (12時間日長) 下で調査した

^y 室内搬入 6 日前に 30 ppm ALA 塩酸塩水溶液 50 mL を株全体に散布処理

^x PPFD 15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ における二酸化炭素の吸収速度

^w クロロフィル a とクロロフィル b の合計

^v 各処理の 6 日後と 12 日後における対応のある t 検定 ($p < 0.05$)

^u 平均値 ± 標準誤差 ($n = 3$)

光合成速度の低下が生じたと考えられた。

花および蕾の花弁中の糖含量は強光区で多く、弱光区で少なかった(第1表)。弱光下では花弁のアントシアニン含量は減少し、明度は弱光区の蕾で高まり、彩度と色相角度は低下した(第1表)。両品種において、弱光区では強光下の鉢と比較して開花数が減少し(第3図)、鉢花の日持ちも短かった(データ省略)。これらのことから光強度の低下により光合成量が低下し、糖含量が低下した結果、個々の小花と鉢花全体の日持ち短縮、花弁の着色不良がもたらされると推察された。鉢花デルフィニウムにおいても同様に光強度と品質低下の関係が示されており、光強度が低下すると光合成量が低く、花の糖含量も低下し、花持ちが短くなることが報告されている(Tanaseら, 2005)。一般家庭の明るめの部屋でも光強度はPPFD 6から12 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度であるため、弱光による光合成量の低下、個々の小花および鉢花の日持ちの短縮、花弁の着色不良などが生じている可能性が高い。

他の植物においてALA処理による二酸化炭素固定能力の向上、暗呼吸の低下およびクロロフィル含量の増加などが報告されている(Hottaら, 1997; 西原ら, 2001)。本研究では弱光下においたカーネーションの光合成能を高めて品質の向上を図るためにALA処理を試みた。‘スカーレット’ではALA処理により弱光に置いた鉢花の開花数、日持ちおよび小花の日持ちがやや改善された(第3表, 第3図)。1.5 ppm ALAを処理した‘マイフェアレディ’鉢花の日持ちは無処理と変わらなかったが、‘スカーレット’では30 ppm ALA処理で鉢花の日持ちの延長が認められたことから、処理濃度は少なくとも30 ppm以上が必要と考えられた(第3表)。本実験の処理ではALAの他に窒素や微量元素も含んでいるため、それらの成分の影響も考えられる(田中ら, 2004)。しかし、PPFD 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 条件下の‘マイフェアレディ’では30 ppmおよび150 ppm ALA単独処理で鉢花の日持ちが有意に3日間延長されたことから(第4表)、この延長効果はALAによるものと考えられた。

西原ら(2001)はALA散布処理によりホウレンソウの光合成速度が高まることを、葭田ら(2005)はキャベツポツ

ト苗へのALAの土壌灌注処理は光合成速度を高め、乾物生産効率を高めたことをそれぞれ報告している。しかし、本研究においてALA処理は弱光下におけるカーネーション葉身のクロロフィル含量および ΦPSII の低下を緩和したものの(第2図, 第2表)、光合成速度および光補償点には影響しなかった(第5表)。すなわちALAはクロロフィル代謝の回転を維持し、電子伝達の光量子収率の低下を緩和させるが、弱光域の光合成量を高めてはいないと考えられる。これらのことから、ALAの開花促進効果(第3図, 第4表)は、光合成促進や暗呼吸抑制以外の作用機構を経ている可能性も示唆される。葉色保持効果についても投与するALAが変換される以上にクロロフィルが増加した例もあるなど、ALAの作用機構解明は今後の課題である(田中ら, 2004)。

ALA処理による低照度下での鉢花カーネーションの品質の改善が見られたが、消費者への販売後に2週間程度の品質を保証するためには十分ではないと考えられる。デルフィニウムにおいて、光強度が低い程エチレン生成速度が高まることが報告されており(Tanaseら, 2005)、鉢花カーネーションにおいてもエチレンが生成され、品種間差も大きいことが報告されている(小野崎ら, 2006)ことから、エチレン作用阻害剤などの効果も期待できる。また、光合成量が低下し、糖含量が低下すると、エチレン感受性にも影響を与えることが予想される。従って、ALA処理とともに、光合成速度の低下や同化産物の競合の影響および輸送中や室内でのエチレンの影響などについてさらに検討する必要がある。

摘 要

鉢花カーネーションの流通・消費段階での収穫後品質向上のために低照度下での生理および品質の変化について調査した。個葉の光補償点は‘マイフェアレディ’ではPPFD 10.3 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、‘スカーレット’ 12.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と算出された。Fv/Fm, ΦPSII および葉のクロロフィル含量は120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では維持されたが、10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (16時間日長)においては著しく低下した。10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

s^{-1} において花卉の糖含量とアントシアニン含量の低下が認められた。10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の鉢と比較して開花数が減少し、鉢花の日持ちも短かった。これらのことから、光補償点前後の弱光下ではクロロフィルの分解と葉の黄化が進行し、光合成量が著しく低下して糖含量が低下した結果、個々の小花と鉢花全体の日持ちが短縮されたものと推察された。10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 条件下の‘スカーレット’では30 ppm 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理により葉の ϕPSII 値およびクロロフィル含量の低下と黄化が緩和され、開花数、小花および鉢花の日持ちが改善される傾向にあった。PPFD 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (24時間日長) 条件下の‘マイフェアレディ’では30 ppm および150 ppm ALA 単独処理で鉢花の日持ちが有意に延長された。PPFD 15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (12時間日長) 条件下の‘マイフェアレディ’において、30 ppm ALA 処理はクロロフィル含量の低下を緩和したが、光合成速度や光補償点には影響しなかった。

謝辞 本研究を行うにあたって5-アミノレブリン酸についてご指導頂きました宇都宮大学雑草科学研究センターの竹内安智名誉教授および試薬を提供頂きました(株)コスモ誠和アグリカルチャ様に深く感謝いたします。

引用文献

- Chakraborty, N. and B. C. Tripathy. 1992. Involvement of singlet oxygen in 5-aminolevulinic acid-induced photodynamic damage of cucumber (*Cucumis sativus* L.) chloroplasts. *Plant Physiol.* 98: 7–11.
- DeEll, J. R., O. van Kooten, R. K. Prange and D. P. Murr. 1999. Application of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology. *Hort. Rev.* 23: 69–107.
- Hotta, Y., T. Tanaka, H. Takaoka, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1997. New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants: The increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61: 2025–2028.
- 岩井一弥・倉持仁志・竹内安智. 2007. クリーピングベントグラス (*Agrostis palustris* Huds.) の生育に及ぼす 5-アミノレブリン酸と微量元素入り液状窒素肥料の組み合わせの影響. *芝草研究.* 35: 99–104.
- Kittsteiner, U., A. Mostowska and W. Rudiger. 1991. The greening process in cress seedlings. I. Pigment accumulation and ultrastructure after application of 5-aminolevulinic acid and complexing agents. *Physiol. Plant.* 81: 139–147.
- 永田雅靖・壇 和弘・山下市二. 1992. トマト果実に含まれるクロロフィル, カロテノイドの同時, 簡便定量法. *園学雑.* 61 (別2): 686–687.
- 西原英治・高橋国昭・中田 昇・田中 浄・渡辺圭太郎. 2001. 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理がホウレンソウの光合成速度, 過酸化水素の生成, 抗酸化物質および活性酸素消去酵素に及ぼす影響. *園学雑.* 70: 346–352.
- 農林水産省. 2007. 平成 18 年花き卸売市場調査結果の概要統計表. p. 8.
- 小野崎 隆・藤田祐一・八木雅央. 2006. ポットカーネーションにおける倍数性の推定ならびに花の老化とエチレン合成の品種間差. *園学雑.* 75 (別2): 298.
- Reid, M. S. 1985. Ethylene and abscission. *HortScience* 20: 45–50.
- Schmid, G. H. 1971. Origin and properties of mutant plants: Yellow tobacco. p. 171–194. In: A. San Pietro (ed.). *Methods in enzymology* Vol. 23. Academic Press, London, UK.
- Stobart, A. K. and J. Ameen-Bukhari. 1984. Regulation of δ -aminolaevulinic acid synthesis and protochlorophyllide regeneration in the leaves of dark-grown barley (*Hordeum vulgare*) seedlings. *Biochem. J.* 222: 419–426.
- 須田 晃. 2003. 観賞時の品質劣化要因と不良環境耐性の分類. *農耕と園芸.* 58: 138–142.
- 田中 徹・岩井一弥・渡辺圭太郎・堀田康司. 2004. 5-アミノレブリン酸の農業利用に関する技術開発. *植物化学調節学会研究発表記録集.* 39: 18–19.
- Tanase, K., A. Ushio and K. Ichimura. 2005. Effects of light intensity on flower life of potted *Delphinium* plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74: 395–397.
- van Kooten, O., M. G. J. Mensink, E. C. Otma and W. van Doorn. 1991. Determination of the physiological state of potted plants and cut flowers by modulated chlorophyll fluorescence. *Acta Hort.* 298: 83–91.
- 葭田隆治・園田真紀・田中玲奈・金子真実・岩井一弥・田中 徹・岡田秀樹. 2005. キャベツポット苗の乾物生産効率に及ぼす 5-アミノレブリン酸の影響. *植物化学調節学会研究発表記録集.* 40: 57.