

トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.)
Shinn.) 切り花の品質保持に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Eustoma, abscisic acid, ethylene, pollination, silver thiosulfate complex, sucrose 作成者: 湯本, 弘子 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001427

特別報告

トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) 切り花の
品質保持に関する研究[†]

湯本 弘子

(平成 21 年 6 月 30 日受付 平成 21 年 10 月 6 日受理)

Study on the Postharvest Life of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. Cut Flowers

Hiroko SHIMIZU-YUMOTO

Summary

Postharvest physiology of *Eustoma grandiflorum* cut flowers in relation to ethylene and pollination and their postharvest chemical treatment were investigated. Ethylene is involved in natural and pollinated flower senescence in *Eustoma*. Factors affecting the vase life of pollinated flowers were investigated. Cultivar variation was observed in the distance from stigma to anther and in the rate of natural pollinated flowers. The rate of pollinated flowers was negatively correlated with the distance from stigma to anther, suggesting easier pollination of flowers with shorter distance. Senescence of *Eustoma* flowers was significantly accelerated by all-area and 1/8-area pollination compared with the control and all-area pollinated flowers tended to senesce faster than 1/8-area pollinated ones, suggesting that the pollinated area of the stigmatic surface also affects the vase life of pollinated *Eustoma* flowers.

Cultivar variation was also observed in the vase life of unpollinated and pollinated *Eustoma* flowers. In unpollinated and pollinated flowers, the flower diameter of short-lived cultivars tended towards a greater reduction compared to that of long-lived cultivars after ethylene treatment. These results suggest that the sensitivity of flowers to ethylene is likely related to cultivar variations in the vase life of unpollinated and pollinated flowers.

Sugar application is very effective for promoting bud opening and petal pigmentation as well as extending the vase life of cut *Eustoma* flowers; however, it can also cause leaf damage. High sucrose concentration and excessive uptake of sucrose solution resulted in an increased rate of leaf damage. The addition of abscisic acid (ABA) to the sucrose solution reduced sucrose accumulation in leaves and prevented leaf damage. Cut *Eustoma* flowers were treated with silver thiosulfate complex, an ethylene action inhibitor, 4% sucrose and ABA for pulse treatment, followed by 1% sucrose for transport. These treatments extended the vase life of foliage and flowers and promoted bud opening by simulated transport and in practice.

Key Words: *Eustoma*, abscisic acid, ethylene, pollination, silver thiosulfate complex, sucrose

[†]本論文は京都大学学位審査論文(平成20年5月)を基に編集・加筆したものである。

本報告の一部は、園芸学会雑誌:71, 449-451(2002); Journal of the Japanese Society for Horticultural Science:74, 381-385(2005); Journal of the Japanese Society for Horticultural Science:75, 66-71(2006); 園芸学研究:6, 301-305(2007); Journal of Horticultural Science & Biotechnology:84, 107-111(2009); 園芸学研究:8, 361-366(2009)において発表した。

目次

緒言

第1章 受粉による花持ち短縮に影響を及ぼす要因

- 第1節 柱頭から葯までの距離
- 第2節 柱頭の受粉面積の違い
- 第3節 花粉生存率の違い
- 第4節 摘要

第2章 花持ちを短縮させる遺伝的要因の検索

- 第1節 未受粉時の花持ちの品種間差
- 第2節 受粉による花持ち短縮における品種間差
- 第3節 摘要

第3章 スクロース溶液の吸収による障害葉発生機構の 解明

- 第1節 障害葉の形態的特徴
- 第2節 相対湿度と糖濃度が障害葉の発生に及ぼす影響
- 第3節 アブシシン酸を利用した障害葉の発生回避法
- 第4節 吸収したスクロースの植物体中での分布および移動
- 第5節 摘要

第4章 スクロースとエチレン阻害剤の組み合わせによる 花持ち向上の検討

- 第1節 スクロースを含む前処理剤の検討
- 第2節 輸送シミュレーション試験
- 第3節 実証試験
- 第4節 摘要

第5章 総括

引用文献

緒言

トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) はアメリカ合衆国西南部からメキシコにかけての石灰岩地帯の草原に広く自生している (大川, 2003a)。日本には1935年頃に導入され、当時は東京の玉川温室村で栽培されていた (大川, 2003b)。種子が微細で育苗が難し

かったことなどから、長い間注目されることがなかったが、1963年に(株)福花園種苗から‘紫盃’という名前が付いた品種が初めて販売された。1972年に田島一木により‘くろひげ’という品種が作出された (大川, 2003b)。これは高性で草姿のよい濃紫色の花色の品種であり、その切り花は市場評価が極めて高く、トルコギキョウの需要を拡大することに貢献した。1975年から桃色、白色を含めた多くの品種が種苗会社および民間育種家から発表され始めた。1982年に(株)サカタのタネから販売された‘峰シリーズ’はトルコギキョウ最初のF₁品種シリーズであった。F₁品種は開花期のそろい、草姿、草勢の均一性がよく、これより育種の主体が固定種主体の民間育種から種苗会社によるF₁育種へと移行していくこととなった。1985年から1989年にかけて、花卉の端が着色する覆輪品種、八重出現率100%のF₁品種が発表された。1990年以降に黄色系、緑色系品種、秋切り用の中・晩生品種、鉢物用の矮性品種が育成された。このようにわずか数十年で、様々な花色、大輪から極小輪まで幅のある花径、極早生から晩生までの開花特性を有する数多くの品種が育成され、現在では500を越える品種が市場流通している (水戸, 2003)。また、世界に先駆けて日本で品種改良が著しく進んだことにより、現在品種開発の面で世界市場をリードしている。

トルコギキョウは1986年から生産出荷統計に記載されるようになった。当時は作付け面積82ha、出荷量3751万本であったが、1998年には467ha、1億3070万本に達した。その後漸減しているものの2007年には作付け面積465ha、出荷量は1億1750万本となっている (農林水産省大臣官房統計部, 1986～2008)。さらに、切り花1本あたりの卸売価格は1994年以来100円前後であり、切り花類1本あたりの平均価格の2倍弱で推移している (農林水産省大臣官房統計部, 1994～2007)。今日、日本の切り花の生産量は1996年の58億本をピークに年々減少している (農林水産省大臣官房統計部, 1986～2008)。一方、切り花の需要形態は業務用の占める割合が年々減少し、変わって店頭売りが増加している (農林水産省生産局果樹花き課, 2003)。店頭売りの販売対象は主に自宅で花を楽しむ消費者である。ところが、年間1度以上切り花を購入した世帯数は2005年度現在で4割程度にとどまっている (総務省統計局, 2005)。そのため、花き生産を振興するためにはホームユース用の需要を増加させることが必要であると考えられる。消費者が切り花を購入する際、何を重要視するかといったアンケート調査を行うと、「花持ちのよさ」が常に上位にラ

ンクする(今西ら, 1992; 農林水産省生産局果樹花き課, 2003)。このことから、花持ちのよい切り花を流通させることは、消費者の切り花購買意欲を高めるのに有効であると考えられる。イギリスではここ10年間で家庭用の切り花の購入金額が著しく伸びている。これは、花持ち日数を保証することで消費者が安心して切り花を購入することができるようになったことが理由の一つとしてあげられている(小川, 2004)。

トルコギキョウは水揚げがよく、夏場に花持ちが比較的優れるといわれているが、切り花の花持ちに品種間差があることが報告されている(本図, 1998)。さらに、トルコギキョウはエチレン処理によって花の萎れが促進され、自然老化時には花からのエチレン生成量が増加するエチレン感受性の切り花である(Ichimura et al., 1998b)。エチレンは果実の成熟、花の老化、落葉、などの生理作用を有する植物ホルモンであることが知られている。エチレンはメチオニンからS-アデノシルメチオニン(SAM)および1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC)を経て合成される。エチレン処理によりエチレン生成が促進されることからエチレンは自己触媒的な作用を持つと考えられている(Veen, 1979)。

エチレン生合成のSAMからACCを合成するACC合成酵素やACCからエチレンを合成するACC酸化酵素がエチレン生合成上重要な酵素である。ACC合成酵素はアミノエトキシビニルグリシン(AVG)やアミノオキシ酢酸(AOA)により阻害されるが、ともにピリドキサルリン酸を補酵素とする酵素の阻害剤であり(Yang and Hoffman, 1984)、ACC合成酵素に特異的に作用するわけではない。 α -アミノイソ酪酸(AIB)はACCと類似した構造をしていることから、拮抗的にACC酸化酵素の活性を阻害する(Yang and Hoffman, 1984)が酵素との親和性は低い。

エチレンによる応答は、細胞内の小胞体膜に局在する受容体にエチレンが結合することで引き起こされる(Chen et al., 2002)。エチレン非存在下ではエチレン受容体はエチレン反応系経路を抑制しており、エチレンが受容体に結合することにより受容体による抑制が解除され、下流の反応系が動き出すと考えられている(平山, 2003)。エチレンによる反応を阻害する薬剤はエチレン作用阻害剤と呼ばれている。代表的な作用阻害剤としてチオ硫酸銀錯塩(STS)と1-メチルシクロプロパン(1-MCP)がある。STSは当初カーネーションで花持ちに有効であることが示されたが(Veen and Geijn, 1978)、現在では様々なエチレン感受性の切り花において花持ち延

長効果が認められる薬剤であり、生産者が出荷前に処理する前処理剤として実際に広く利用されている。スイートピーやデルフィニウムはエチレンに対する感受性が高い切り花であり、収穫後数日で花の老化が引き起こされるため、長時間の輸送には耐えられなかった。しかし、STSを処理することにより花の老化が著しく遅延し、現在のような市場流通が可能になった。このことは、STSが切り花の品質保持剤として非常に重要なことを示している。1-MCPはエチレン作用阻害剤であり、エチレン受容体と不可逆に結合することによりエチレンの作用を抑えると考えられている(Serek et al., 1995; Sisler et al., 1996)。果実では成熟の進行を強力に抑える薬剤として注目されているが(Fan et al., 1999)、ベルフラワー(*Campanula carpatica* Jacq)、クリスマスカクタス(*Schlumbergera truncate* (Haw.) Moran)やスイートピーなどにおける効果はSTSと同等かやや劣る(Serek and Sisler, 2001; Ichimura et al., 2002)。これらの花きでは収穫後もエチレン受容体の代謝および生成が起きている可能性が考えられる。

受粉により花の老化が促進されることは、ラン、ペチュニア、カーネーションなどで明らかにされている(Burg and Dijkman, 1967; Larsen et al., 1995; Whitehead et al., 1984)。カーネーションにおいて、受粉後雌ずいでエチレン生成の急激な増加がおり、その後花卉でのエチレン生成の増加が開始され花卉の老化が著しく促進されることが報告されている(Whitehead et al., 1984)。受粉の刺激を花柱から花卉へ伝えるシグナルはオーキシン、ACCなどが考えられているが、今のところ明らかになっていない(Burg and Dijkman, 1967; Reid et al., 1984)。また、カーネーションでは、不和合性の花粉では受粉によるエチレンの急激な増加が起こらず、花の老化が促進されないことが示されている(Larsen et al., 1995)。ファレノプシスの花は受粉しない場合は2~3週間の花持ちを示すが、受粉するとわずか2日で萎凋する(Porat et al., 1994)。このように、受粉による老化反応はきわめて急激に起こり、切り花の観賞価値を著しく低下させることから、園芸上重要な現象である。トルコギキョウにおいても、受粉によって花からのエチレン生成量が増加し、花の老化が著しく促進されることが品種‘あすかの波’を用いた研究で明らかにされている(Ichimura and Goto, 2000)。受粉による花の老化を抑制するには、適切なエチレン阻害剤処理が必要である(Ichimura and Goto, 2000)。また、物理的に受粉させないような輸送方法や品種などの開発も有効であると考えられる。

このように、トルコギキョウはエチレンにより花の老化が促進される切り花である。しかし、現状では前処理を行わずに流通されていることが多く、消費者はその花持ちを短いと認識している可能性が考えられる。一部にはSTS処理を行うトルコギキョウ生産者も存在するが、トルコギキョウは開花小花とつぼみが混在した切り花であることからSTS処理のみではつぼみの開花促進に効果がみられないという問題がある。トルコギキョウを含めた多くの切り花において、スクロースなどの代謝糖を与えると花持ち延長およびつぼみの開花促進、花色の向上に有効であることが知られている (Halevy and Mayak, 1981; Halevy and Kofranek, 1984; Ichimura and

Korenaga, 1998)。代謝糖は切り花の呼吸基質や細胞の膨圧を維持する浸透圧調節物質としての役割がある。カーネーションなどのエチレン感受性花きにおいて、糖処理によりエチレンに対する感受性が低下し (Mayak and Dilley, 1976a; Ichimura et al., 2000a)、エチレン生成量が急激に増加する時期を遅延させる (Dilley and Carpenter, 1975; Ichimura and Suto, 1999) ことが報告されている。さらに、糖はアントシアニン生合成上の基質として利用され、アントシアニン生合成経路上の遺伝子の発現を上昇させることが明らかになっている (Tsukaya et al., 1991; Kawabata et al., 1999)。トルコギキョウでは前処理時の糖濃度が高いほど、花持ちの延長およびつぼみの開花促進効果が高いことが報告されている (Halevy and Kofranek, 1984)。現在トルコギキョウ切り花においてはSTSと低濃度のスクロースを含む前処理剤が市販されているにすぎず、低濃度のスクロースでは花持ちなどへの効果は十分に得られるとは言い難いと考えられる。しかし、高濃度の糖処理では葉に障害が生じることがしばしば観察された。糖処理による葉の障害はバラやブルースター (*Tweedia caerulea* D. Don) でもみられ、葉に斑点状の褐変が発生し、その後葉が萎凋および乾燥し観賞価値を著しく損なうことが報告されている (Markhart and Harper, 1995; 平谷, 2002)。

本研究はトルコギキョウの花持ちに関わる諸要因を明らかにし、花持ち延長に効果的な品質保持方法を開発することを目的として行った。

第1章 受粉による花持ち短縮に影響を及ぼす要因

トルコギキョウは比較的花持ちがよい切り花 (Halevy and Kofranek, 1984; 島村・岡林, 1997; Ichimura and

Korenaga, 1998; Ichimura et al., 1998b) として知られている。しかし、受粉により花持ちが著しく短縮することが、品種‘あすかの波’を用いた研究で明らかにされている (Ichimura and Goto, 2000)。ラン (Burg and Dijkman, 1967)、ペチュニア (Whitehead et al., 1984)、カーネーション (Nichols, 1971) をはじめとする多くの花きでは受粉により花持ちが短縮することが知られている。これらの花においては、受粉による老化促進にはエチレンが関与しており、受粉により急激なエチレン生成が誘導され、その結果、花の老化が促進されることが明らかになっている。トルコギキョウにおいても、受粉により雌ずいからのエチレン生成が著しく増加すること、受粉による老化を抑えるにはSTS処理が有効であることから、受粉による花の老化促進にはエチレン生成が関与していると考えられる (Ichimura and Goto, 2000)。

トルコギキョウにおける受粉に関するこれまでの研究は、‘あすかの波’という一品種を用いており、他の品種でもこのような現象が普遍的にみられるのか明らかにされていない。また、柱頭全面に人工受粉して受粉の影響を評価しているが、人工受粉した場合のように柱頭の全面に受粉されることは実際の流通場面では起こりがたく、受粉率を高める要因、受粉による老化を促進する要因が複合的に関わっていると考えられる。

本章ではまず、‘あすかの波’以外の複数の品種においても受粉により花の老化が促進されることを確認し、次に受粉による花持ち短縮に影響を及ぼす複数の要因について調査した。

第1節 柱頭から葯までの距離

トルコギキョウ柱頭から葯までの距離が品種によって異なることが観察されており、この距離が自家受粉しやすさに影響を与えている可能性が考えられた。まず、‘あすかの波’以外の品種でも同様に自家受粉により花持ちが短縮することを確認し、次に柱頭から葯までの距離と花持ちの関係について調査した。さらに、柱頭から葯までの距離が短いことによる受粉しやすさが、花持ちの短縮にどの程度影響するのかについて検討した。

1. 材料および方法

実験1) トルコギキョウ13品種において自家受粉が花持ちに及ぼす影響

1999年10月に播種し、野菜・茶業試験場(現 野菜

茶業研究所；三重県津市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shim.) 13 品種, ‘あすかの小桜’, ‘あすかの漣’, ‘あすかの雫’, ‘あすかの波’, ‘あすかの粧’, ‘あずまの霞’, ‘あずまの桜’, ‘あずまのほほえみ’, ‘酔美人’, ‘つくしの波’, ‘ニュースモールレディ’, ‘マイテスカイ’, ‘ポーラスホワイト’ を用いた。2000 年 8 月に開花した株から, 開花前日のつぼみを花柄長約 5 cm で収穫した。収穫後直ちに除雄してから蒸留水に挿し, 28°C /23°C, 相対湿度 70%, 光合成有効光量子束密度 (PPFD) $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下で 4 日間保持した。4 日後柱頭が水平に開いて成熟したことを確認し, 23°C, 相対湿度 70%, PPFD $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下に移した後, 当日に開花した花の花粉を用いて自家受粉を行った。未受粉区は受粉せず除雄のみを行った。処理後花が萎れるまでの日数を調査し, これを花持ち日数とした。なお, ‘あすかの粧’ と ‘あずまの桜’ では収穫後 4 日目には柱頭が未成熟であったため, 5 日目に受粉を行った。各品種 10 個体を用いた。

実験 2) 柱頭から葯までの距離が受粉しやすさおよび花持ちに及ぼす影響

実験 1) と同様の条件で栽培されたトルコギキョウ 13 品種を用いた。開花した株から, 開花当日の小花を花柄長約 5cm で収穫し直ちに蒸留水に挿し, 23°C, 相対湿度 70%, PPFD $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下で花持ちの調査を行った。また, 柱頭から葯までの最短距離を 1 日おきに測定し, 花が萎れた後に花弁を除去して受粉の有無を可視的に調査した。各品種 10 個体を用いた。

実験 3) 柱頭から葯までの距離が短い品種において未除雄花と除雄花の花持ち日数の比較

野菜・茶業試験場 (現 野菜茶業研究所；三重県津市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ 6 品種 ‘あすかの小桜’, ‘あすかの雫’, ‘あすかの波’, ‘あずまの霞’, ‘ニュースモールレディ’, ‘マイテスカイ’ を用いた。‘あすかの波’ および ‘あずまの霞’ は 2000 年 12 月に播種し, 8 月に開花した株から, 他の 4 品種は 2001 年 3 月に播種し, 2001 年 7 月に開花した株から, 開花当日の小花を花柄長約 5cm で収穫し直ちに蒸留水に挿し, 実験 2) と同条件下で花持ちの調査を行った。柱頭から葯までの最短距離を 1 日おきに測定し, さらに花が萎れた後に花弁を除去して受粉の有無を可視的に調査した。各品種 8 個体を用いた。受粉の影響を取り除いた小花の花持ちを調査

するために, 上記の 6 品種において開花した当日に小花の葯をピンセットで慎重に除去して除雄をおこなった。除雄後 花柄長約 5cm で小花を収穫し直ちに蒸留水に挿し, 実験 2) と同条件下で花持ちの調査を行った。各品種 8 個体を用いた。

2. 結果および考察

実験 1) の結果を第 1 表に示す。トルコギキョウ 13 品種中の 10 品種で受粉により花持ちが有意に短縮した。この結果は Ichimura and Goto (2000) が ‘あすかの波’ を用いて行った試験と一致した。‘あすかの粧’, ‘あずまの桜’, ‘ポーラスホワイト’ では受粉によって統計的に有意に花持ちは短くならなかった。しかし, 13 品種中 10 品種で受粉により有意に花持ちが短縮したことから, トルコギキョウの多くの品種で自家受粉により花持ちが短縮することが示唆された。

そこで次に, 柱頭から葯までの距離と花持ちの関係について調査した。実験 2) の結果を第 2 表に示す。柱頭から葯までの距離は最も長い品種 (‘つくしの波’) で 4.0mm, 最も短い品種 (‘マイテスカイ’) では 0.1mm と著しい差がみられた (第 1 図)。また, 柱頭から葯までの距離は柱頭が開いた当日に比べて短縮する傾向がみられた。受粉した小花の割合は可視的には全く受粉していない品種もあれば, 90% の小花が受粉していた品種もみ

Table 1. Effect of pollination on the vase life of 13 cultivars of cut *Eustoma* flowers.

Cultivar	Vase life (days) ²		Significance ³
	Unpollinated	Pollinated ⁴	
Asuka-no-kozakura	13.0±0.9	6.3±0.5	***
Asuka-no-sazanami	12.2±0.9	8.7±0.7	**
Asuka-no-shizuku	15.4±0.7	6.5±0.7	***
Asuka-no-nami	9.2±0.6	6.1±0.5	**
Asuka-no-yosooi	4.9±0.8	3.1±0.3	ns
Azuma-no-kasumi	7.1±0.4	4.5±0.8	**
Azuma-no-sakura	6.1±1.1	4.7±0.7	ns
Azuma-no-hohoemi	10.9±0.6	6.0±0.7	***
Sui-bijin	10.7±0.9	6.6±0.9	**
Tsukushi-no-nami	8.5±0.5	3.7±0.3	***
New Small Lady	12.9±1.1	7.1±0.9	***
Polars White	3.6±0.3	3.4±0.2	ns
Maite Sky	6.8±0.5	3.4±0.3	***

Values are means of 10 flowers ± SE.

²Vase life was defined as the time from pollination to when petals wilt.

³Pollination was carried out four or five days after harvest.

⁴ns, **, ***: nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001 , respectively by *t*-test.

られた。花持ちは最も短い品種で8.8日、最も長い品種で18.1日であった。

Table 2. The influence of the distance from the stigma to anther and rate of the pollinated flowers on the vase life of 13 cultivars of cut *Eustoma* flowers.

Cultivar	Vase life ^z (days)	The distance from the stigma to anther ^y (mm)	Rate of the pollinated flowers (%)
Asuka-no-kozakura	18.1±1.1	1.5±0.4	20
Asuka-no-sazanami	15.8±0.9	3.3±0.3	20
Asuka-no-shizuku	10.3±0.4	0.6±0.2	80
Asuka-no-nami	13.6±0.4	2.3±0.3	20
Asuka-no-yosooi	11.5±0.7	2.7±0.5	60
Azuma-no-kasumi	10.2±0.4	1.4±0.1	60
Azuma-no-sakura	11.3±0.8	0.6±0.2	70
Azuma-no-hohoemi	14.4±0.9	4.0±0.6	0
Sui-bijin	11.6±1.0	2.0±0.6	40
Tsukushi-no-nami	13.7±0.6	4.0±0.5	0
New Small Lady	16.8±0.9	1.7±0.3	30
Polars White	8.8±0.2	3.3±0.2	0
Maite Sky	9.7±0.4	0.1±0.1	90
Significance ^x	$P < 0.0001$		

Values are means of 10 flowers ± SE.

^zVase life was defined as the time from harvest to when petals wilt.

^yThe distance from the stigma to anther was measured every two days and is expressed as the mean of the minimum lengths.

^xAnalysis by one-way ANOVA.



Fig.1. Photograph comparing the variation in distance from stigma to anther between 'Tukushi-no-nami' (left) and 'Maite Sky' (right).

Photograph taken 12 days after harvest.

Arrow indicates the distance from stigma to anther.

柱頭から葯までの距離と受粉花の割合の間には高い負の相関関係 ($r = -0.86$; $P < 0.0001$) が認められ、柱頭から葯までの距離が短いほど自家受粉しやすいことが示された。ナスの花では植物体の栄養状態により花柱の長さが増えることが知られている (穴戸, 1996)。トルコギキョウにおいては本節で調査した13品種に関しては花柱が雄ずいより短くなる花はみられず、雄ずいの長さ、附着角度および花柱の長さの関係性で決まる柱頭から葯までの距離において著しい品種間差が認められた。さらに、柱頭から葯までの距離による自家受粉しやすさは受粉による老化促進に影響を及ぼす要因の一つであると考えられる。

しかし、柱頭から葯までの距離と花持ち ($r = 0.27$; $P = 0.375$) あるいは受粉花の割合と花持ち ($r = -0.50$; $P = 0.086$) では高い相関関係は得られなかった。これは受粉の影響を取り除いた除雄花においても花持ちが品種によって3.6日～15.4日と差が認められたことから(第1表)、花持ちには柱頭から葯までの距離による受粉しやすさだけでなく、何らかの遺伝的要因も影響することを示唆している。カーネーションではエチレン生合成やエチレン感受性が花持ちの品種間差に関係しており、花持ちの長い品種はエチレン生成量が非常に少ない、または感受性が低いことが明らかにされている (Wu et al., 1991a, 1991b)。未受粉時の花持ちの品種間差の要因については第2章で検討する。

柱頭から葯までの距離と受粉花の割合の間には高い相関関係が認められること、ならびに自家受粉は多くの品種で花持ちを短縮させることから、自家受粉のしやすさは花持ちに影響を与える要因の一つと考えられた。柱頭から葯までの距離が短く自家受粉しやすい性質がどの程度花持ち短縮に影響しているかについては、実験1)と2)では、小花の収穫時期が異なるために明らかにすることができなかった。そこで、実験3)において、同じ開花ステージで小花を収穫し、一方の小花は除雄して受粉の影響を取り除き、もう一方の小花は除雄を行わずにそれぞれの花持ちを調査した。

実験3)の結果を第3表に示す。'あすかの小桜'、'あすかの雫'、'あすかの波'、'あずまの霞'、'ニュースモールレディ'、'マイテスカイ'の6品種にはいずれも柱頭から葯までの距離が短く受粉花の割合が60%以上と高くなった。'マイテスカイ'を除く5品種においては、除雄花に比べて未除雄花の花持ちはやや短縮する傾向が見られたものの、統計上の有意差は得られなかった。これは、実験室内では静止状態で観察することから、受粉花

Table 3. Vase life of emasculated and non-emasculated flowers and the ease of pollination in 6 *Eustoma* cultivars.

Cultivar	Vase life ^z (days)		Significance	The distance from the stigma to anther ^y (mm)	Rate of the pollinated flowers (%)
	emasculated	non-emasculated			
Asuka-no-kozakura	10.8±1.1	9.6±0.3	ns ^x	0.8±0.4	75
Asuka-no-shizuku	11.6±0.5	11.3±0.2	ns	1.4±0.4	63
Asuka-no-nami	10.5±0.3	9.5±0.6	ns	0.8±0.4	63
Azuma-no-kasumi	10.5±0.8	9.5±0.6	ns	0.1±0.1	100
New Small Lady	14.1±0.6	13.4±0.3	ns	0.3±0.1	88
Maite Sky	7.9±0.1	8.3±0.4	ns	0.1±0.1	100

Values are means of 10 flowers ± SE.

^zVase life was defined as the time from harvest to when petals wilt.

^yThe distance from the stigma to anther was measured every two days and is expressed as the mean of the minimum lengths.

^xns: nonsignificant by *t*-test.

においても柱頭に花粉がごく少量しか付着しないためではないかと考えられる。

13 品種の柱頭から葯までの距離の測定を 2000 年 6 月と 8 月および 2001 年 7 月の計 3 回行ったところ、数値自体は年次変動があるものの、距離の長短に関しては同一品種であれば同じ傾向にあった（データ略）。このことから、柱頭から葯までの距離は品種固有の形質である可能性が高いと考えられる。そのため、柱頭から葯までの距離が長い品種を育成するといった育種的なアプローチから受粉を回避することも可能であると思われる。

第 2 節 柱頭を受粉面積の違い

第 1 節において柱頭から葯までの距離が短いほど自家受粉しやすいという関係が見いだされた。しかし、未除雄の小花の花持ちは除雄小花に比べてわずかし短縮しなかった。ジギタリス (Stead and Moore, 1979) やペチュニア (Gilissen, 1977) では柱頭に付着する花粉の量は花の落花あるいは萎凋に影響を及ぼすことが報告されている。トルコギキョウにおいても同様に柱頭に付着する花粉量が受粉による花の老化促進に影響を与える可能性が考えられる。花粉は柱頭に付着してから吸水し発芽を開始する。このことから、柱頭の花粉量の多少は、受粉させる面積の大小によって推量できると考えられる。そこで、本節では柱頭を受粉面積が受粉による老化促進に与える影響について調査した。

1. 材料および方法

実験 1) 柱頭を受粉面積が花持ちに及ぼす影響

2001 年 10 月に播種し、野菜・茶業試験場（現 野菜

茶業研究所；三重県津市）ガラス室内で栽培したトルコギキョウ ‘あすかの小桜’、‘あすかの雫’、‘あすかの波’、‘あずまの霞’、‘ニュースモールレディ’、‘マイテスカイ’の 6 品種を用いた。2002 年 6 月に開花した小花の葯をピンセットで慎重に除去して除雄をおこなった。除雄後花柄長約 5cm で収穫し直ちに蒸留水に挿し、第 1 章第 1 節の実験 2) と同条件下で保持した。柱頭が成熟したら、その日に開花した同一品種の花粉を採取し受粉を行った。柱頭の全面に受粉する区（全面受粉）、柱頭の全面の 1/8 に花粉を付着させる区（1/8 受粉）、受粉を行わない区を設け、花持ちの調査を行った。なお、1/8 受粉は柱頭の端に花粉を付着させた。供試個体数は各処理につき 8 個とした。

実験 2) 小花のエチレン生成量と受粉面積の関係

実験 1) と同様の条件で栽培された株から 8 月に開花したトルコギキョウ ‘あすかの波’ を用いた。実験 1) と同条件で全面受粉、1/8 受粉、未受粉の各処理を行った。花柄を除去した 1 小花をガラスの容器 (148mL) に入れ、シリコン製のキャップで密封し 23℃ で 2 時間保持した。2 時間後に容器から 2mL のサンプルガスをシリンジで抜き取りガスクロマトグラフィー（島津 GC7A）に注入しエチレン濃度を測定した。1 測定につき 4 反復を行った。分析条件は以下の通りである。

カラム	: active alumina φ 3mm × 1.5m
検出器	: 水素化イオン検出器 (FID)
キャリアーガス	: 窒素, 流速 40mL · min ⁻¹
カラム温度	: 80℃
注入温度	: 100℃
検出器温度	: 110℃

実験3) 受粉後の花粉管の伸長と受粉面積の関係

実験2)と同様の条件で栽培されたトルコギキョウ‘あすかの波’小花を用いた。全面受粉および1/8受粉してから1, 2, 3日目に柱頭がついた状態で花柱を子房から切り離し, FAA (ホルマリン:80%エタノール:酢酸, 1:8:1 (v/v)) で固定した。固定したサンプルを8Mの水酸化ナトリウムに24時間浸漬し, その後水道水で1時間洗い, 0.1%アニリンブルー(0.1Mリン酸3カリウム溶液)で一晩染色した。花粉管の観察は蛍光顕微鏡(OLYMPUS AX70)の紫外光下で行った。供試花柱数は各処理毎に6個とした。

実験4) 受粉面積とSTS処理濃度の関係

実験2)と同様の条件で栽培されたトルコギキョウ‘あすかの波’を用いた。開花した小花の葯をピンセットで慎重に除去して除雄を行った。除雄後花柄長約5cmで収穫し第1章第1節の実験2)と同条件下に搬入した。搬入後直ちに0, 0.2, 2mMのチオ硫酸銀錯塩(STS)を24時間吸水処理した。STSは0.1Mの硝酸銀と0.1Mのチオ硫酸ナトリウム5水和物を1:8の割合で, 硝酸銀の濃度がそれぞれ0.2mMおよび2mMになるように混合して調整した。処理後蒸留水に挿し, 柱頭が成熟した日に, その当日開花した同一品種の花粉で実験1)と同様の受粉処理を行い花持ちを調査した。供試小花数は各処理につき10個体とした。

2. 結果および考察

実験1)の結果を第4表に示す。いずれの品種においても全面受粉および1/8受粉ともに無処理に比べて花持

ちが短くなった。‘あすかの小桜’, ‘あすかの波’, ‘マイテスカイ’で全面受粉は1/8受粉に比べて花持ちが有意に短縮した。他の3品種でも有意差は認められなかったものの1/8受粉に比べて花持ちが全面受粉で短くなる傾向がみられた。ペチュニアでは最大の萎凋率を示すには柱頭表面の1/5が生きた花粉で覆われる必要がある(Gilissen, 1977)。また, ジギタリスでは花粉にビーズを一定の割合で混合したものを柱頭に受粉させると, 花粉の割合が多いほど花冠の落花までの日数が早まる事が報告されている(Stead and Moore, 1979)。トルコギキョウにおいても, 柱頭の受粉面積が大きいほど花の老化が早まる事が明らかになった。

次に受粉面積と小花のエチレン生成の関係について実験2)において調査した。結果を第2図に示す。全面受粉した小花では受粉後1日目にエチレン生成の急激な増加が認められた。一方, 1/8受粉では受粉後2日目まで

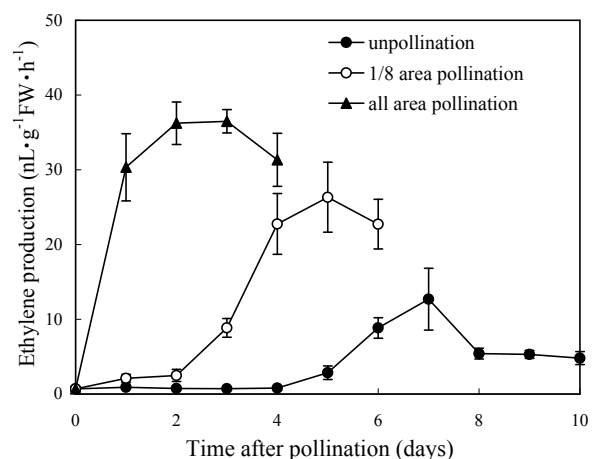


Fig. 2. Effect of pollinated area on ethylene production by ‘Asuka-no-nami’ flowers. Each plot represents the means of 4 replication \pm SE.

Table 4. Effect of pollinated area on the vase life after pollination in 6 *Eustoma* cultivars.

Pollination	Vase life ^z (days)					
	Azuma-no-kasumi	Asuka-no-kozakura	Asuka-no-nami	Asuka-no-shizuku	New Small Lady	Maite Sky
unpollination	7.9a	7.3a ^y	5.3a	8.0a	8.8a	5.4a
1/8 area	4.0b	4.8b	3.8b	4.1b	4.6b	3.5b
all area	3.1b	2.6c	2.5c	3.1b	3.3b	1.9c
Significance ^x						
Cultivar	$P=0.0002$					
Pollination	$P<0.0001$					
Cultivar×Pollination	$P=0.1764$					

Values are means of 8 replications.

^zVase life was defined as the time from pollination to when petals wilt.

^yData with different letters are significant at $P=0.05$ by Turkey-Kramer test.

^xAnalysis by two-way ANOVA.

エチレン生成量は少なく、3日目以降に増加がみられ5日目にピークを示した。未受粉の小花のエチレン生成量は7日目にピークを示し、生成量は受粉した小花に比べて少なかった。ゼラニウムは柱頭が5つの裂片からなるが、受粉させた裂片の数が増加するほど雌ずいからのエチレン生成が増加する (Hilioti et al., 2000)。本実験の結果では、受粉面積が大きくなるほどピーク時のエチレン生成量が増加するだけでなく、生成量の増加時期が早まることが明らかになった。

受粉面積の違いが花粉管の伸長に及ぼす影響を実験

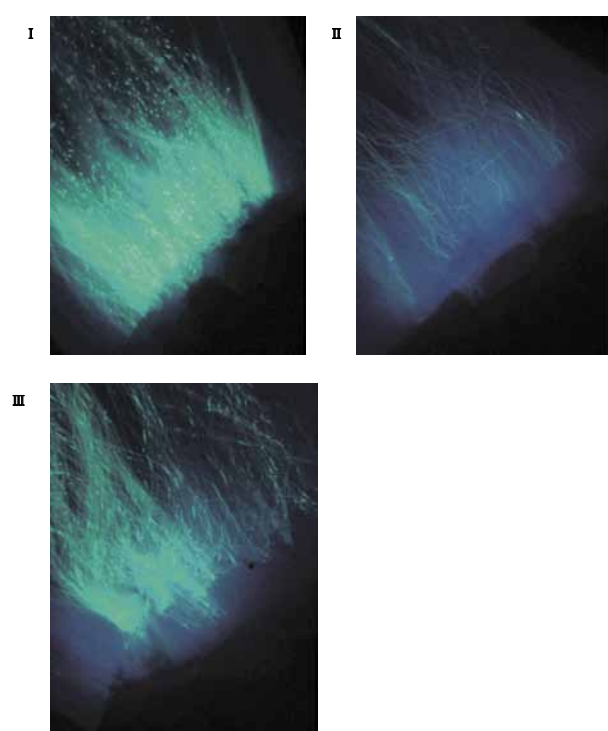


Fig.3. Photographs showing the effect of pollinated area on pollen tube growth in the base of the style in 'Asuka-no-nami' flowers.

I : all area-pollinated style 2 days after pollination, II : 1/8 area-pollinated style 2 days after pollination, III : 1/8 area-pollinated style 3 days after pollination.

3) において調査した。結果を第5表に示す。受粉後1日目では全面受粉は花粉管が花柱基部まで到達している花柱は6本中5本であり、到達花粉本数は100本以下であった。1/8受粉では6本中2本しか花柱基部まで到達しておらず、花粉管数は10本以下であった。受粉後2日目では全面受粉は調査したすべての花柱で100本を超える花粉管が基部まで到達した。一方、1/8受粉では100本を超える花粉管が基部まで到達していたのは調査した6サンプル中1サンプルのみであった。10~100本到達したものが3サンプル、1~10本のみ到達したものが1サンプル、基部まで到達していないものが1サンプルとなった。受粉後3日目のサンプルでは1/8受粉においても6サンプルすべてで100本以上の花粉管が花柱基部に到達していた (第3図)。これらの結果から、柱頭の受粉面積が小さいと花柱基部に多くの花粉管が到達するまでには時間がかかることが明らかになった。

実験4)の結果を第6表に示す。全面受粉ではSTS無

Table 6. Effect of pollinated area and STS (silver thiosulfate complex) concentration on the vase life after pollination in 'Asuka-no-nami' flowers

STS concentration (mM)	Vase life ² (days)		
	unpollination	1/8 area	all area
0	7.9a ^y	5.0a	2.2a
0.2	11.6b	7.3ab	3.5a
2	10.1b	10.1b	9.5b

Significance^x

Pollination $P < 0.0001$

STS concentration $P < 0.0001$

Pollination × STS concentration $P < 0.0001$

Values are means of 10 replications.

²Vase life was defined as the time from pollination to when petals wilt.

^yData with different letters are significant at $P=0.05$ by Turkey-Kramer test.

^xAnalysis by two-way ANOVA.

Table 5. Pollen tube growth in the base of the style in 'Asuka-no-nami' flowers.

Time after pollination (days)	Pollinated area of the stigma	Number of the styles			
		- ²	+	++	+++
1	All	1	3	2	0
	1/8	4	2	0	0
2	All	0	0	0	6
	1/8	1	1	3	1
3	All	0	0	0	6
	1/8	0	0	0	6

Six flowers were used for each treatment.

²Degree of pollen tube number to grow in the base of the styles. -, none; +, 1 to 10; ++, 10 to 100; +++, more than 100.

処理と 0.2mM STS 処理では花持ちに有意な差が得られなかった。2mM STS 処理では花持ちを著しく延ばす効果が認められた。1/8 受粉では STS 無処理では 5.0 日、0.2mM STS 処理で 7.3 日、2mM STS で 10.1 日と STS 濃度が上昇するほど花持ちが延長した。これより、受粉面積が大きいと受粉による花の老化促進作用を打ち消すのに必要な STS 処理濃度は高まることが明らかとなった。

第3節 花粉生存率の違い

第2節において受粉面積は花粉管の伸長、エチレン生成および花持ちに影響を与えることが明らかになった。花粉は柱頭表面に付着、吸水して発芽に至ることから、受粉面積が異なれば柱頭表面に付着する花粉数も異なると考えられる。前節では柱頭に付着する花粉数が重要なのか、発芽可能花粉数が重要であるのかについては明らかにされていない。そこで、電子レンジで花粉を加熱処理することにより生存率の異なる花粉を調整し、その花粉を用いて受粉を行い、花粉管の伸長と花持ちの関係性についてさらに調査を行った。

1. 材料および方法

実験1) 生存率の異なる花粉の調整

2006年4月に播種し、花き研究所（茨城県つくば市）のガラス室内で栽培したトルコギキョウ‘あすかの波’を用いた。2006年10月に開花した小花から、開花当日に花粉を採取した。花粉10mgを薬包紙に取り、4つ折りにして電子レンジ（TOSHIBA, ER-VS12：出力500W）で15、30、60、120秒加熱処理した。処理後テトラゾリウムクロライド（TTC）還元法により花粉生存率を求めた。TTC還元法はテトラゾリウム塩を花粉に処理し、花粉が生きている場合は花粉の酸化還元酵素の還元作用で不溶性のホルマザンを形成し花粉粒が赤色に変色することを利用して花粉の生死を判別する手法である（中西, 1994）。15%スクロースに濃度0.2%になるようにTTCを加えた溶液をスライドグラスに滴下しその上に花粉を散布してカバーグラスをかけ、30℃で2時間保持した。光学顕微鏡により視野中の総花粉数と赤色に染色された花粉数を数えた。各加熱処理ごとにスライドグラスを2枚作成した。1スライドグラスにつき5視野の観察を行った。花粉生存率は5視野分の赤色に染色された花粉の総数を総花粉数で割った値に100を乗じたもので、スライドグラス2枚分の平均値とした。加熱処理は各処理1回

とした。

実験2) レンジ加熱花粉が花持ちに及ぼす影響

2006年2月に播種し、花き研究所（茨城県つくば市）のガラス室で栽培したトルコギキョウ‘あすかの波’を用いた。2006年6月に開花した小花の葯をピンセットで慎重に除去して除雄をおこなった。除雄後花柄長約5cmで収穫し直ちに蒸留水に挿し、第1章第1節の実験2)と同条件下で保持した。柱頭が成熟したら、その日に開花した同一品種の花粉を電子レンジで加熱処理してから柱頭全面に受粉し花持ちを調査した。花持ち日数は各処理につき8個体調査した。

また、受粉後1日目に小花のエチレン生成量を測定した。エチレン測定の手順は第2節の実験2)と同様の手順で行った。ガスクロマトグラフィーは島津製作所のGC14Bを第2節の実験2)と同様の設定で使用した。エチレン生成量の測定には各処理につき4個体を用いた。

実験3) レンジ加熱花粉が花粉管の伸長に及ぼす影響

実験2)と同様の条件で栽培されたトルコギキョウ‘あすかの波’を用いた。開花した小花の葯をピンセットで慎重に除去して除雄をおこなった。除雄後花柄長約5cmで収穫し直ちに蒸留水に挿し、第1章第1節の実験2)と同条件下で保持した。柱頭が成熟したら、その日に開花した同一品種の花粉を電子レンジで加熱処理してから受粉し、1および2日後の花柱における花粉管の伸長を第2節の実験3)と同様の手法を用いて調査した。供試花柱数はレンジ加熱0秒、15秒は4個、それ以外の区は5個用いた。

2. 結果および考察

実験1)では電子レンジの加熱時間が花粉の生存率に及ぼす影響について調査した。結果を第7表に示す。レンジ処理を行わなかった場合、85.9%と高い生存率を示した。レンジ加熱時間が15秒、30秒では花粉生存率はそれぞれ65.8%、66.0%と低下した。レンジ加熱時間が60秒および120秒では生存率は1.9%および0.4%となり、ほとんどの花粉は失活したことが示唆された。これより、レンジ加熱時間を変えることにより発芽可能な花粉数を変化させることが可能であると考えられた。

次に実験2)において、レンジで加熱した花粉を柱頭に受粉し花持ちを調査した。結果を第4図に示す。花粉をレンジ加熱なしで受粉させると花持ちは3.9日、未受

Table 7. Effect of heat treatment for pollen of 'Asuka-no-nami' flowers on the rate of vigor pollen.

Heat treatment ^z (second)	Rate of vigor pollen ^y (%)
0	85.9 ^x
15	65.8
30	66.0
60	1.9
120	0.4

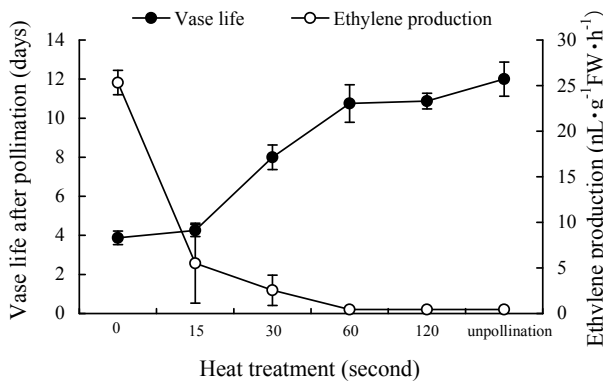
Observation by microscope was repeated twice for each heat treatment.

Number of pollen stained by TTC and total pollen were counted at 5 ranges of view in each observation.

^z Ten mg of pollen was heated with microwave oven (TOSHIBA, ER-VS12: 500W).

^y Number of pollen stained by TTC / number of total pollen × 100

^x Values are means of twice repeatedly observation.

**Fig. 4.** Effect of heat treatment of pollen on the vase life and ethylene production after pollination in cut 'Asuka-no-nami' flowers.

Ten mg of pollen was heated with microwave oven (TOSHIBA, ER-VS12: 500W).

Ethylene production was measured 1 day after pollination.

Each plot of vase life represents the mean of $8 \pm SE$.

Each plot of ethylene production represents the mean of $4 \pm SE$.

粉では 12.0 日となった。レンジ加熱処理を 15, 30, 60, 120 秒と行うと花持ちはそれぞれ 4.3, 8.0, 10.8, 10.9 日となり、加熱時間が短いほど花持ちは短縮した。受粉後 1 日目の小花のエチレン生成量はレンジ加熱なしで著しく増加した。30 秒加熱は 15 秒加熱に比べてエチレン生成量がやや少ない傾向がみられた。60 秒, 120 秒加熱処理および未受粉では小花からのエチレン生成はごくわずかであった。

花柱を柱頭との境界面 (上部), 中間 (中部) および子房との境界面 (基部) に分けてそれぞれの地点で何本の花粉管が到達したかについて実験 3) において調査した。結果を第 8 表に示す。花柱上部に到達した花粉管数は、受粉後 1 日目ではレンジ加熱処理時間が長いほど少なくなった。15 秒と 30 秒加熱は TTC 還元法による

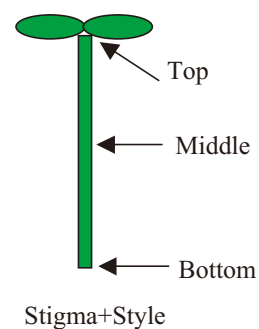
花粉の生存率には差がみられなかったが花粉管の伸長においては 30 秒加熱の方が花粉管の到達本数が少ない傾向が認められた。受粉後 2 日目では 15 秒, 30 秒処理間ともに 100 本を越える花粉管が花柱上部に到達していた。一方, 60 秒および 120 秒加熱では上位まで到達している花粉管数は、ほとんどの花柱で 50 本以下であった。花柱の中位に到達した花粉管数は、無処理では受粉後 1 日目にすでに 50 本以上となった。一方, レンジ加熱したものはすべて 10 本以下しか到達していなかった。受粉後 2 日目ではレンジ加熱なし, 15 秒および 30 秒加熱で 100 本を越える花粉管が花柱中位に到達していた。60 秒および 120 秒加熱処理では 10 本以下しか到達していない花柱が多かった。花柱基部に到達した花粉管は受粉後 1 日目ではいずれの花粉においても観察されなかった。受粉後 2 日目ではレンジ加熱なしおよび加熱 15 秒で全ての花柱で 100 本を越える花粉管が花柱基部に到達していた。30 秒加熱ではやや到達した花粉管数が少なかった。60 秒および 120 秒加熱処理ではほとんどの花柱で 10 本以下の花粉管しか到達していなかった。

本実験では柱頭全面に花粉を付着させて受粉を行ったことから、柱頭上の花粉数に大きな違いはないと想定される。したがって柱頭上で発芽可能な花粉数が多いほど花の老化が促進されることに加え、花柱を伸長する花粉管の数が多いほど花粉管の伸長速度が速まると考えられる。*Nicotiana* 属の花粉をタバコに受粉させると、花粉の種類によって花粉管の伸長程度が異なり、それに伴いエチレン生合成に関わる遺伝子の発現が変化することが明らかになっている (Sanchez and Mariani, 2002)。さらに、雌ずに 1-MCP をあらかじめ処理しておく花粉管の伸長が遅くなり (Holden et al., 2003), STS 処理を行うと受粉後通常花柱で起こる伝達組織の細胞の形態変化が抑えられる (Wang et al., 1996)。これらの結果から、花粉管の伸長にエチレン生成が関わっていると考えられる。トルコギキョウにおいても、柱頭上で発芽伸長する花粉管の本数が多いほどエチレン生成が促進され、それに伴って花柱の伝達組織細胞の変化が起こり花柱を花粉管がより伸長しやすくなるため、早く花柱基部に到達するという可能性が考えられる。

実験 1) において花粉の生存率は 15 秒と 30 秒でほとんど差がなかったにもかかわらず、受粉後の花持ちは 30 秒処理に比べて 15 秒処理で花持ちは短縮し、花粉管の伸長は早まった。このことから、TTC 染色により花粉の生きている割合はほぼ同じであったが、吸水および発芽する過程において両処理間で何らかの差がある可能

Table 8. Effect of heat treatment for pollen of 'Asuka-no-nami' flowers on the pollen tube growth in the styles.

Top					
Time after pollination (days)	Heat treatment ^z (second)	Number of the styles			
		- ^y	+	++	+++
1	0	0	0	0	4
	15	0	0	1	3
	30	1	0	4	0
	60	4	1	0	0
	120	5	0	0	0
2	0	0	0	0	4
	15	0	0	0	4
	30	0	0	0	5
	60	5	1	0	0
	120	0	4	1	0



Middle					
Time after pollination (days)	Heat treatment (second)	Number of the styles			
		-	+	++	+++
1	0	0	0	2	2
	15	4	0	0	0
	30	5	0	0	0
	60	5	0	0	0
	120	5	0	0	0
2	0	0	0	0	4
	15	0	0	0	4
	30	0	0	0	5
	60	4	1	0	0
	120	3	1	1	0

Bottom					
Time after pollination (days)	Heat treatment (second)	Number of the styles			
		-	+	++	+++
1	0	4	0	0	0
	15	4	0	0	0
	30	5	0	0	0
	60	5	0	0	0
	120	5	0	0	0
2	0	0	0	0	4
	15	0	0	0	4
	30	0	0	2	3
	60	5	0	0	0
	120	4	1	0	0

^z Ten mg of pollen was heated with microwave oven (TOSHIBA, ER-VS12: 500W).

^y Degree of pollen tube number to grow in the base of the styles. -, 0 to 10: +, 10 to 50: ++, 50 to 100: +++, more than 100.

性が示唆される。

第4節 摘要

トルコギキョウ 13 品種中 10 品種において受粉により有意に花の老化が促進された。柱頭から葯までの距離には著しい品種間差があり、柱頭から葯までの距離と受粉花の割合の間には負の相関関係がみられ、距離が短いほど自家受粉しやすいことが示された。また、柱頭の受粉面積が大きいほど花の老化が促進され、エチレン生成の増加時期が早まった。さらに、生存率が高い花粉ほど花持ちが短縮した。これらのことから、柱頭上で発芽伸長可能な花粉数は受粉による花の老化促進に影響を及ぼす要因であることが示唆された。

第2章 花持ちを短縮させる遺伝的 要因の検索

トルコギキョウは比較的花持ちがよい切り花 (Halevy and Kofranek, 1984; 島村・岡林, 1997) といわれているが、数多くの品種が育成され市場に流通する中で、切り花の花持ちに品種間差が認められる (本図, 1998)。前章において、柱頭から葯までの距離による受粉しやすさも花持ちの品種間差に影響を及ぼす要因の一つであることを示したが、受粉を行わなかった小花においても花持ちに品種間差がみられた。さらに、受粉後花が萎凋するまでの日数にも品種間差がみられた。トルコギキョウの花の老化にはエチレンが関与していることから、これらの花持ちの品種間差にはエチレンが何らかの影響を与えている可能性が高い。カーネーション、ペチュニアなどでは花持ちの品種間差とエチレンとの関係について研究されている (Wu et al., 1991a, 1991b; Porat et al., 1993)。

本章ではトルコギキョウにおいてエチレン生成量とエチレンに対する感受性を調査し、第1節で受粉の影響を受けない場合の花持ちの品種間差、第2節において受粉後の花持ちの品種間差におけるエチレンの関与についてそれぞれ明らかにした。

第1節 未受粉時の花持ちの品種間差

第1章第1節においてトルコギキョウ未受粉時の小花の花持ちに関して品種間差がみられたことから、受粉以外の要因が花持ちの品種間差に影響を及ぼすことが示唆された。カーネーション、ペチュニアなどでは花持ち

の品種間差はエチレンに対する感受性やエチレン生成量と関係が深いことが示されている (Wu et al., 1991a, 1991b; Porat et al., 1993)。そこで、本節では未受粉時の花持ちが異なる 6 品種を用いて、エチレン生成量およびエチレンに対する感受性を調査した。

1. 材料および方法

実験1) エチレン生成量の測定

2006年4月に播種し、花き研究所(茨城県つくば市)ガラス室内で栽培したトルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum*) 6 品種、'あずまの桜'、'あずまの紫'、'マイテスカイ'、'あすかの波'、'ニュースモールレディ'、'あすかの漣'を用いた。2006年9月に開花した株から、開花当日の小花を花柄長約5 cmで収穫した。収穫後直ちに除雄してから蒸留水に挿し、切り花検定室(23℃、相対湿度70%、PPFD10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、12時間日長)内で保持した。処理後花卉が萎凋するまでの日数を調査し、これを花持ち日数とした。各品種8小花を用いた。

小花のエチレン生成量の測定は経時的に行った。エチレン生成量の測定は第1章第2節と同条件で行った。測定は1点につき3または4小花を用いた。カーネーション (Veen, 1979)、ペチュニア (Porat et al., 1993) およびスイートピー (石原ら, 1991) などでは、花の老化時またはそれに先だって花からのエチレン生成の急増が起こる。そこで、花卉が萎凋する時までの最大エチレン生成量と花持ち日数との相関係数を求めた。

実験2) エチレンに対する感受性の調査

2006年12月に播種し、花き研究所(茨城県つくば市)ガラス室内で栽培した前述のトルコギキョウ6品種を用いた。2007年6月に開花した株から、開花当日の小花を花柄長約5 cmで収穫した。収穫後直ちに除雄してから蒸留水に挿し、花径を測定後、上記条件の切り花検定室に搬入した。

エチレン処理は以下の方法で行った。収穫後0、1または2日の小花を蒸留水の入った試験管に挿した状態で、70 L容量のアクリル製のチャンバーに搬入後密閉した。そこへ10 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ のエチレンを注入し、24時間曝露した。処理後チャンバーから小花を取り出し上記条件の切り花検定室内で保持した。収穫当日から花卉が萎凋するまで花径を毎日11:30~13:30の間に計測した。無処理の小花も加齢に伴って花の老化が進むため、収穫当日

から毎日花径を計測した。各処理に5小花を用いた。

調査開始時の花径は個体によって異なる。そこで、各調査日のエチレン処理を行った花の花径は、無処理の花の花径を100とした時の相対値で示した。計算式は以下の通りである。

X: エチレン無処理花, 処理当日の花径

x: エチレン無処理花, 調査日の花径

Y: エチレン処理花, 処理直前の花径

y: エチレン処理花, 調査日の花径

エチレン処理した花の相対花径 (%) = $(y/Y) / (x/X) \times 100$

2. 結果および考察

トルコギキョウ6品種の未受粉小花の花持ちは、短いもので‘あずまの桜’および‘あずまの紫’の9.8日であった(第9表)。最も花持ち日数が長かったのは‘あ

Table 9. Vase life of cut unpollinated flowers in 6 *Eustoma* cultivars.

Cultivar	Vase life(days) ^z
Azuma-no-sakura	9.8±0.3
Azuma-no-murasaki	9.8±0.5
Maite Sky	11.0±0.4
Asuka-no-nami	14.1±0.2
New Small Lady	15.3±0.6
Asuka-no-sazanami	18.5±0.4

Significance^y $P < 0.0001$

Values are means of 8 replications ±SE.

^zVase life was defined as the time from harvest to when petals wilt.

^yAnalysis by one-way ANOVA.

すかの漣’で18.5日となり花持ちに品種間差がみられた。

エチレン生成量の増加時期は‘あすかの波’を除くと、花持ちが短い品種ほどエチレン生成の増加時期が早くなった(第5図)。いずれの品種においても花卉の萎凋に先立ってエチレン生成の増加がみられた。‘あずまの桜’および‘マイテスカイ’では花卉の萎凋が観察された後もエチレン生成の増加がみられた。‘あすかの漣’ではエチレン生成のピークから数日経た後に花卉が萎凋した。カーネーション切り花では老化時のエチレン生成量と花持ち日数の間には統計上有意な負の相関関係が得られている(小野崎, 2002)。トルコギキョウにおいては花卉の萎凋が認められる時までの最大エチレン生成量と花持ち日数との相関係数は-0.09 ($P=0.8735$)となり、明確な相関関係は得られなかった。このことから、エチレン生成量のみでは花持ちの品種間差を説明するのは困難であると考えられる。

カーネーションでは、花持ちの長い品種において老化時に花からのエチレン生成の急増がみられる品種とエチレン生成の増加がみられない品種がある(Wu et al., 1991a)。花持ちが長い品種の中でも、老化時に花からのエチレン生成の増加がみられない品種では、雌ずいでのACC合成酵素の遺伝子の発現が抑制されていることが‘ライトピンクバーバラ’で(Nukui et al., 2004)、雌ずいおよび花卉でのACC合成酵素およびACC酸化酵素遺伝子の発現が低いことが‘ミラクルルージュ’、‘ミラクルシンフォニー’および‘サンドローサ’で(Tanase et al., 2008)それぞれ報告されている。一方、花持ちが長い品種の中でも老化時にエチレン生成の増加が起こる‘キネラ’では、エチレンに対する感受性が低いことが明らかにされている(Wu et al., 1991b)。ミニチュア

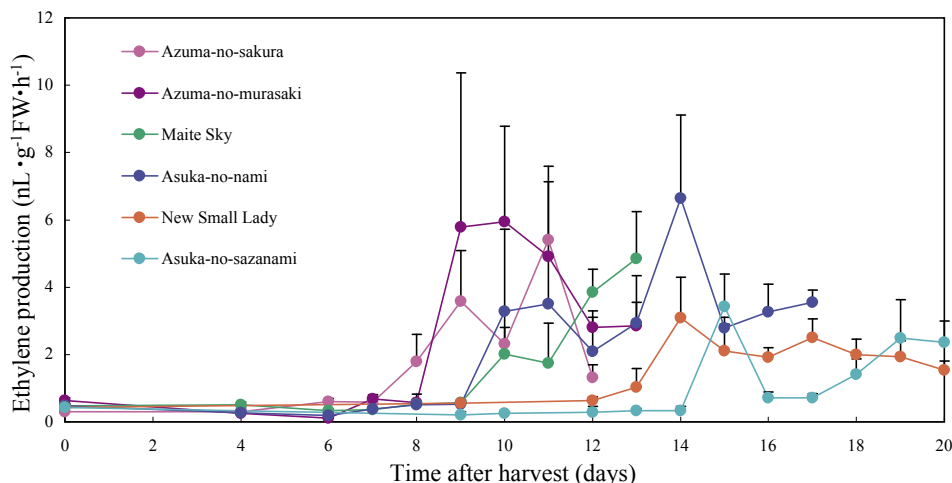


Fig. 5. Changes in ethylene production by unpollinated flowers in 6 *Eustoma* cultivars. Each plot represents the means of 3 or 4 replications + SE.

ポットローズ (*Rosa hybrida* L.) においても、同様の報告がなされている (Müller et al., 1998). これらの結果は、エチレン生成の急激な増加が起きないことにより花持ちが長い品種と、エチレンに対する感受性が低いことにより花持ちが長い品種が存在することを示している。トルコギキョウにおいて、6 品種ともに老化に伴い花のエチレン生成が増加した (第 5 図) ことから、エチレンに対する感受性が花持ちに関与している可能性があるのではないかと推察される。

そこで次にエチレンに対する感受性を調査した。結果を第 10 表に示す。エチレンに対する感受性調査時のトルコギキョウ 6 品種の未受粉時の花持ち日数は 10.4~18.6 日となり、品種間差がみられた。収穫直後にエチレン処理を行った場合、花持ちが短縮する品種と、花持ちが短縮しない品種がみられたが、1 および 2 日にエチレン処理を行った場合、‘あすかの波’ 以外の品種はすべて花持ちが短縮した。収穫後 1 および 2 日のエチレン処理により ‘あずまの桜’、‘あずまの紫’、および ‘マイテスカイ’ では花持ち日数は 10 日以下になったが、‘ニュースモールレディ’ と ‘あすかの漣’ では、13 日以上であった。これらの結果から、未受粉時の花持ちが長い品種はエチレン処理後の花持ちも長い傾向がみられる。

トルコギキョウの花は老化に伴い徐々に花が閉じて萎凋に至ることから、花の老化を花径が経時的に小さくなる現象としてとらえることができるのではないかと考えられる。アサガオにおいても花径が花の老化の評価に用いられている (Yamada et al., 2006)。そこで、さらに詳

細にエチレンに対する感受性を調査するために、トルコギキョウ 6 品種におけるエチレン処理後の花径の経時的な変化を調査した。結果を第 6 図に示す。エチレン処理による花径の減少を調査したところ、収穫後 1 日にエチレン処理を行った ‘あすかの漣’ 以外はいずれもエチレン処理直後に花径の減少がみられた。また、収穫後 1 日にエチレン処理を行った ‘あすかの漣’ においてもエチレン処理後 10 日以降に対照に比べて花径が減少した。これらのことから、トルコギキョウ切り花においてエチレンに対する感受性は花径の減少程度によって評価できると考えられた。

花持ちの短い ‘あずまの桜’ と ‘マイテスカイ’ では収穫後 1 および 2 日にエチレン処理を行うと花径は著しく減少した (第 6 図)。同じく花持ちの短い ‘あずまの紫’ ではいずれの処理日においても処理直後に花径が減少し、一度やや増加するがその後急激に減少した。一方、花持ちの長い ‘ニュースモールレディ’ および ‘あすかの漣’ ではいずれのエチレン処理日においても花径の急激な減少はみられなかった (第 6 図)。これらの結果から、花持ちの長い品種はエチレンに対する感受性が低く、花持ちの短い品種は高いという関係性がみられ、エチレンに対する感受性が花持ちの品種間差に関わる要因の一つであることが示唆される。本実験の結果では、‘あすかの波’ はいずれのエチレン処理日においても花持ちの短縮がみられなかったが、花径で評価した場合、いずれの処理日においてもエチレン処理直後、花径が無処理の 46~66% に低下した (第 6 図)。このことから、‘あすかの波’ においても収穫後早い段階でエチレンに対して感受性があると考えられる。しかし、その後花径が増加し、最終的には対照とほぼ同様の花径の変化を示した (第 6 図)。このことはエチレン処理により一旦は花卉が閉じかけたが、その後再び花卉が開き、最終的に対照と同じように萎凋したことを示す。これらの結果から、‘あすかの波’ はエチレンに反応して花径が減少するものの、エチレン処理終了時点では、萎凋を引き起こすエチレン誘導性の反応から回復できる段階であったのではないかと推察される。このような、エチレン誘導性の老化反応が、老化の初期過程で可逆的であることは、カーネーションにおいても報告されている (Wang and Woodson, 1989)。エチレン処理直後の花径の減少割合からみて、‘あすかの波’ のエチレンに対する感受性は ‘ニュースモールレディ’ や ‘あすかの漣’ に比べてやや高いと思われた。エチレン処理時間を長くすることにより、‘あすかの波’ と ‘ニュースモールレディ’ および ‘あすかの漣’ との

Table 10. Vase life of cut unpollinated flowers with or without ethylene treatment in 6 *Eustoma* cultivars.

Cultivar	Vase life (days) ^f			
	Control	Ethylene treatment ^g		
		0 day	1 day	2 day
Azuma-no-sakura	12.4±0.7	11.4±0.7ns ^x	8.8±0.5**	8.4±0.6**
Azuma-no-murasaki	11.3±0.2	7.2±1.0**	8.0±0.6**	8.4±0.7*
Maite Sky	10.4±0.7	9.2±0.5ns	3.0±1.0**	4.2±0.7**
Asuka-no-nami	12.2±0.5	12.0±0.7ns	12.2±0.4ns	12.4±0.5ns
New Small Lady	18.2±1.0	NT ^w	16.0±0.0*	15.4±0.2**
Asuka-no-sazanami	18.6±0.2	13.4±0.4**	14.0±0.5**	13.8±0.5**

Values are means of five replications ± SE.

^f Vase life was defined as the interval from harvest until petals wilt.

^g Ten $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ethylene was treated for 24 h to unpollinated flowers 0, 1, and 2 day after harvest.

^xns, *, ** indicate non-significant, and significant at $P < 0.05$ or 0.01, respectively, compared with controls of each cultivar (by Dunnett test).

^w NT: not tested.

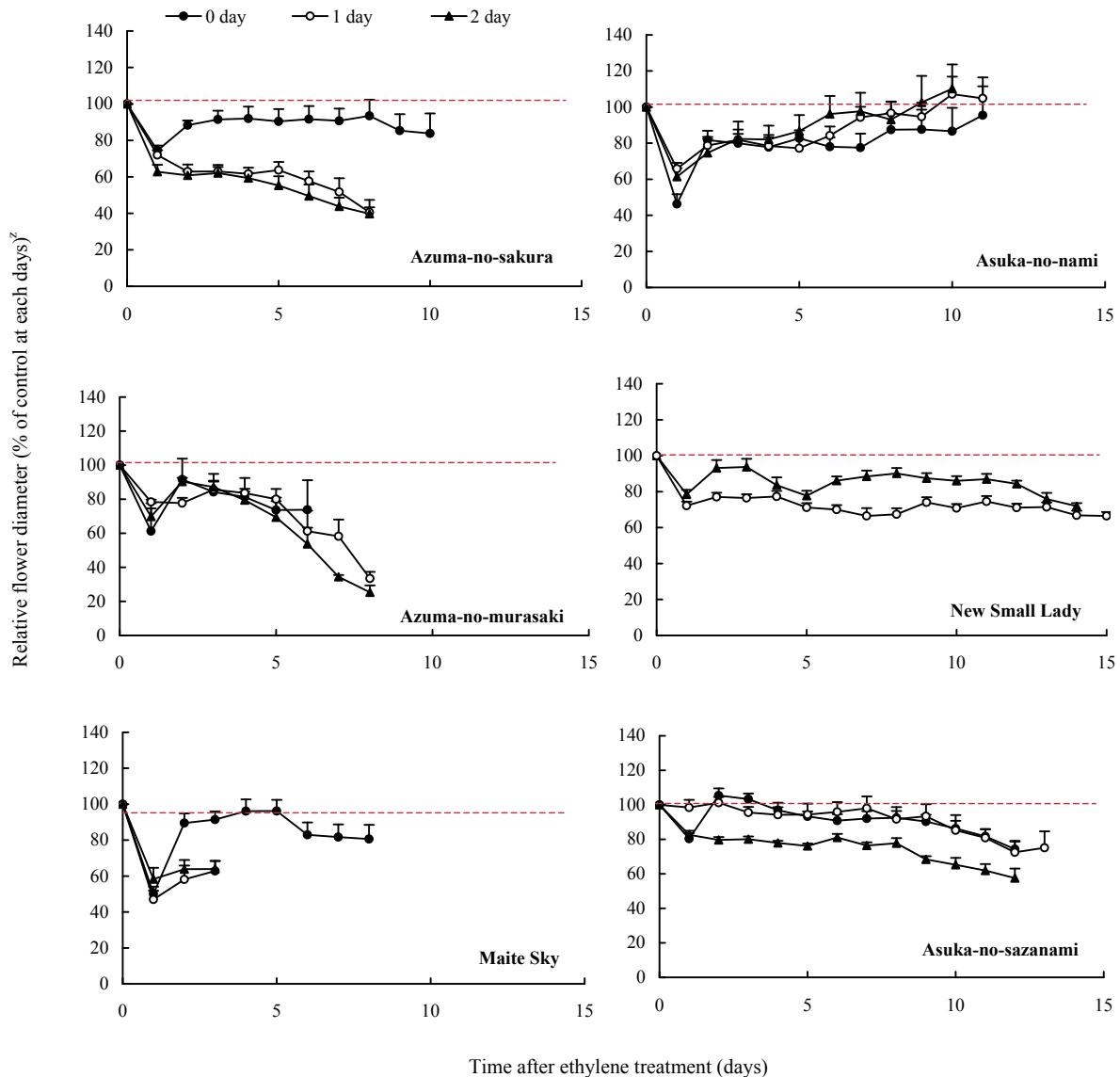


Fig. 6. Changes in relative flower diameter after ethylene treatment in 6 *Eustoma* cultivars. Each plot represents the means of 5 replications + SE. Ten $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ethylene was treated to unpollinated flowers 0, 1, and 2 day after harvest for 24 h. ²See the text on the method of calculation.

エチレンに対する感受性の差異を、より明確にできる可能性があると考えられる。

ペチュニア (Whitehead and Halevy, 1989) やトレニア (Goto et al., 1999) では加齢により花のエチレンに対する感受性が高まるが、カーネーション (Onozaki et al., 2004) や未受粉のファレノプシス (Porat et al., 1995) では加齢により花のエチレンに対する感受性が低下する。このように、加齢がエチレンに対する感受性に及ぼす影響については花の種類によって異なる。‘あずまの桜’ と ‘マイテスカイ’ では収穫当日に比べて収穫後 1, 2 日のエチレン処理で花持ちが短縮した (第 10 表)。ま

た、‘ニュースモールレディ’ では収穫後 1 日に比べて 2 日のエチレン処理でより花持ちが短縮した。本実験においては ‘あすかの波’ はエチレン処理による花持ち日数の短縮がみられなかった (第 10 表) が, Ichimura et al. (1998b) によると, 収穫後 6 日にエチレン処理を行うと花持ちが短縮する。これらの結果から, トルコギキョウの多くの品種においてエチレンに対する感受性は収穫後の経過に伴い高まると考えられる。

切り花におけるエチレンに対する感受性は, エチレン処理後の花持ち日数の短縮程度により評価するのが一般的である (Woltering and van Doorn, 1988)。トルコギキョ

ウ‘あすかの波’では、収穫当日の花に $20 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ のエチレンを6時間処理しても、処理直後に萎れないことが示されている (Ichimura et al., 1998b). 本実験においても、収穫後0, 1および2日にエチレン $10 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ を24時間処理しても、処理直後にトルコギキョウ小花が萎凋することはなかった (第10表). 一方、カーネーション‘ホワイトシム’では開花当日に $10 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ のエチレンを処理すると処理開始から6~7時間で萎凋する (Onozaki et al., 2004). これらの結果は、トルコギキョウのエチレンに対する感受性はカーネーションよりも明らかに低いことを示している. このように、エチレン処理後、直ちに萎凋反応が起きない切り花において、エチレンに対する感受性を詳細に評価するために、花径の減少程度を用いる手法は有効であると考えられる.

第2節 受粉による花持ち短縮における品種間差

第1章第1節において受粉後の花持ち日数に関しても品種間差が認められた. トルコギキョウにおいて受粉により花持ちは著しく短縮されることから、受粉後の花持ちが長いことは有用な形質であると考えられる. そこで、受粉後の花持ちの品種間差に影響を及ぼす要因について明らかにするため、受粉後の小花を用いて、エチレン生成量、花粉管の伸長、およびエチレンに対する感受性について調査を行った.

1. 材料および方法

実験1) 受粉後の花持ちの品種間差

2005年2月に播種し、花き研究所 (茨城県つくば市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ6品種、‘ピノキオ’、‘サマーキッス’、‘パピオンピンクフラッシュ’、‘キュートスノー’、‘セレモニーピーチ’、‘マイテスカイ’を用いた. 2005年7月に開花した株から、開花当日の小花を花柄長約5cmで収穫した. 収穫後直ちに除雄してから蒸留水に挿し、第1節実験1)と同条件下で保持した. 柱頭が成熟したら、その日に開花した同一品種の花粉を採取し受粉を行った. 受粉後小花が萎凋するまでの日数を調査した. 各品種5個体を用い、実験は2反復行った.

実験2) 受粉後のエチレン生成量および花粉管伸長の品種間差

2005年11月に播種し、花き研究所 (茨城県つくば市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ2品種、‘ピノキオ’、‘サマーキッス’を用いた. 2006年5月に開花した株から、開花当日の小花を花柄長約5cmで収穫した. 実験1)と同条件下で受粉を行い、受粉後経時的に小花のエチレン生成量を測定した. 測定方法は第1節実験1)に準じた. 1測定につき各品種3個体を用いた. また、受粉後1日、2日目に柱頭が付いた状態の花柱をサンプリングした. FAAで固定後、第1章第2節と同様の方法で花粉管の伸長を観察した.

実験3) 受粉後のエチレンに対する感受性の品種間差

2006年12月に播種し、花き研究所 (茨城県つくば市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ2品種、‘ピノキオ’、‘サマーキッス’を用いた. 2007年6月に開花した株から、開花当日の小花を花柄長約5cmで収穫した. 収穫後直ちに除雄してから蒸留水に挿し、花径をノギスで測定後、第1節実験1)と同条件下で保持した. 実験1)と同条件下で受粉を行い、受粉直後にエチレン処理を第1節実験2)と同様の方法で行った. エチレンに対する感受性は第1節実験2)と同様に評価した. 各処理につき5個体を用いた.

2. 結果および考察

受粉後の花持ち日数は1.7日から6.9日までと著しい品種間差がみられた (第11表). また、いずれの品種も未受粉の小花に比べて受粉により花持ちが短縮した. カーネーションやペチュニアにおいて、不和合性の花粉を受粉すると、和合性の花粉に比べて受粉による花持ち日数の短縮程度が少なくなることが報告されている

Table 11. Effect of pollination on the vase life of 6 cultivars of cut *Eustoma* flowers.

Cultivar	Vase life (days) ^z		Significance ^y
	Pollinated	Unpollinated	
Maite Sky	1.7±0.2	8.3±0.4	***
Pinokio	3.0±0.3	8.6±0.4	***
Papillon Pink Flash	3.9±0.2	10.6±0.7	***
Cutie Snow	4.8±0.3	13.7±0.4	***
Summer Kiss	6.0±0.4	10.0±0.4	***
Ceremony Peach	6.9±0.5	8.6±0.4	*

Values are means of 10 flowers ± SE.

^zVase life was defined as the time from pollination to when petals wilt.

^y *: ***, significant at $P < 0.05$ or 0.001 , respectively by *t*-test.

(Singh et al., 1992; Latsen et al., 1995). 本実験で用いた品種はいずれも自家受粉により種子が形成された(データ略)ため、トルコギキョウにおける受粉後の花持ち短縮程度の品種間差は花粉の不和合性によらないと考えられた。そこで、供試した6品種のうち、萎れが判断しやすい一重咲きの品種で、受粉後の花持ちが短かった‘ピノキオ’と長かった‘サマーキッス’を用い、その機構を解析した。

‘ピノキオ’と‘サマーキッス’ともに受粉後エチレン生成が増加した(第7図)。この実験における受粉後の花持ちは‘ピノキオ’で2.1日、‘サマーキッス’で4.5日であった(t 検定, 0.1%水準で有意差あり)。「ピノキオ」ではエチレン生成は受粉2日目以降もなだらかに増加し続け、明瞭なピークはみられなかった。「サマーキッス」では受粉後4日目にエチレン生成のピークが認められた。受粉後1日目のエチレン生成量は‘サマーキッス’の方が若干多くなった。2日目以降は両品種間でエチレン生成量には大きな違いはみられなかった(第7図)。

ペチュニアでは、不和合性の花粉は花粉管の伸長程度が遅く、エチレン生成の増加が遅れる(Singh et al., 1992)。ゼラニウムでは、花柱の途中で花粉管の伸長が停止する花粉で受粉すると、花からのエチレン生成量が少なくなることが示されている(Clark et al., 1997)。これらのことから、エチレン生成と花粉管の伸長は関係が深いと考えられる。「ピノキオ」と‘サマーキッス’で花柱の長さおよび花粉管の伸長程度はほとんど差がなく、受粉後2日目に100本を越える花粉管が花柱基部まで到達していた(データ略)。

エチレンに対する感受性を調査した結果、「ピノキオ」において受粉後にエチレン処理を行うと花持ちが短縮したが、「サマーキッス」ではエチレン処理により花持

ちは短縮しなかった(第12表)。「ピノキオ」ではエチレン処理後1日目の花径は無処理の79%になった。一方、「サマーキッス」では受粉後1日目の花径は無処理の98%とほとんど変わらなかった(第8図)。花持ち日数、花径の減少どちらの評価法においても、「サマーキッス」は‘ピノキオ’に比べてエチレンに対する感受性が低いことが明らかになった。本実験の結果から、エチレンに対する感受性が受粉後の花持ちの品種間差に影響を及ぼす要因の一つであることが示唆された。

第3節 摘要

除雄して受粉の影響を取り除いたトルコギキョウ6品種を用いて、エチレン生成量およびエチレンに対する感受性と花持ちの品種間差の関係について調査した。その結果、エチレン生成量と花持ちには明確な関係性がみられなかったが、エチレン処理により花径の減少が著しい品種は花持ちが短く、花径があまり減少しない品種は花持ちが長いという関係性が認められた。受粉後の花持ちが異なる2品種を用いて、同様の調査を行ったところ、

Table 12. Effect of ethylene treatment on the vase life of pollinated ‘Pinokio’ and ‘Summer Kiss’ flowers.

Cultivar	Vase life (days) ^z		
	Control	Ethylene ^y	Significance ^x
Pinokio	2.0±0.0	1.0±0.0	***
Summer Kiss	4.6±0.2	5.0±0.6	ns

Values are means of 5 replication ± SE

^z Vase life was defined as the time from ethylene treatment to when petals wilt.

^y Ten $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ethylene was treated to pollinated flowers for 24 h.

^x ns, ***: nonsignificant or significant at $P < 0.001$, respectively by t -test.

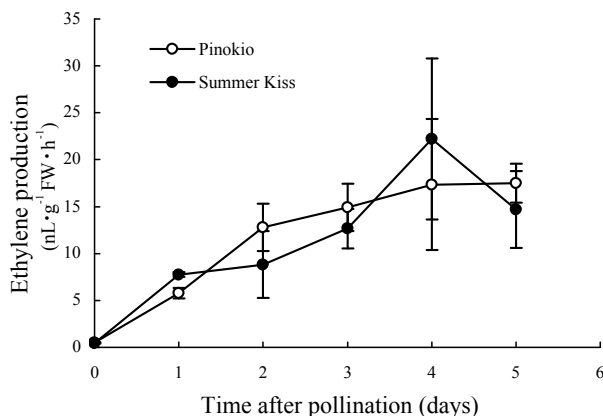


Fig. 7. Effect of pollination on ethylene production by flowers. Each plot represents the means of 3 replications ± SE.

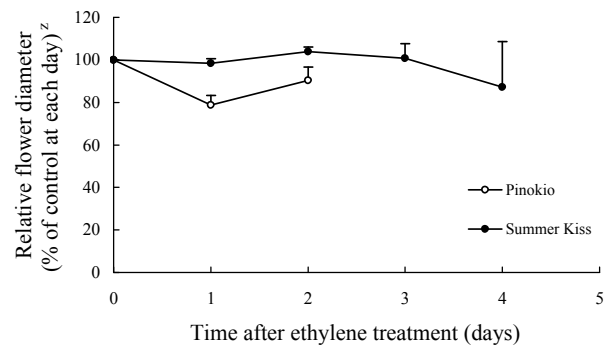


Fig. 8. Changes in relative flower diameter after ethylene treatment to pollinated flowers.

Each plot represents the means of 5 replications + SE.

Ten $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ethylene was treated to pollinated flowers for 24 h.

^z See the text on the method of calculation.

両品種ともに受粉後エチレン生成の上昇がみられ、エチレン生成量もほとんど差がなかった。受粉後の花持ちが短い品種はエチレン処理により花径が減少し、花持ち日数も短くなった。一方、受粉後の花持ちの長い品種はエチレン処理により花径の減少がほとんどみられず花持ちも低下しなかった。以上の結果から、エチレン処理による花径の減少や花持ちの低下によって示されたエチレンに対する感受性の違いが、トルコギキョウの花持ちの品種間差に関わる要因の一つであると考えられた。

第3章 スクロース溶液の吸収による 障害葉発生機構の解明

トルコギキョウ切り花はエチレンに対する感受性があり、受粉時にエチレン生成が急激に増加して花持ちが著しく短縮する (Ichimura et al., 1998b; Ichimura and Goto, 2000)。そのため、エチレン作用阻害剤であるチオ硫酸銀錯塩 (STS) が切り花の花持ち延長に有効である (鳥村・岡林, 1997)。トルコギキョウは開花小花とつぼみが混在した切り花であり、収穫後もつぼみが開花、発色する必要がある。しかし、STS には開花、発色を促進する作用がないため、STS の前処理だけではつぼみの不開花や発色不良を改善することは困難である。

つぼみでは開花に伴ってグルコース、スクロースなどの代謝糖の濃度が急激に上昇することが、カーネーション、キクおよびスイートピーにおいて明らかにされている (Ichimura et al., 1998a, 1999, 2000b)。花卉の展開に伴い花卉細胞は肥大するが、糖は細胞の浸透圧調節物質として細胞の肥大に関与していると考えられている。さらに、糖はアントシアニン配糖体の基質となるだけでなく、アントシアニンの生合成に関わる酵素遺伝子の発現を増加させることが明らかにされている (Kawabata et al., 1999)。このように、糖はつぼみの開花や発色に重要な役割を果たしている。さらに、糖処理は花持ち延長に有効であることが多くの切り花で知られている (Halevy and Mayak, 1981)。トルコギキョウにおいても、スクロース処理により花持ちの延長、つぼみの開花促進および花色の向上に有効であることが示されている (Halevy and Kofranek, 1984; Ichimura and Korenaga, 1998)。

切り花の花持ちを延長するための品質保持剤処理には大きく分けて前処理と後処理がある。前処理は生産者が切り花を収穫後に短期間処理する方法で、処理後切り花を水に挿した状態でも花持ち延長効果がみられる。後処理は、観賞中の切り花に連続的に処理液を吸収させる方

法である。糖処理に関しては通常後処理にくらべて前処理の効果は低くなる (Ichimura and Suto, 1999)。後処理では常に糖が供給されるが、前処理では糖の吸収量が限られるためと考えられる。スイートピーにおいて、スクロースの前処理後、花卉中の糖濃度が急激に減少していくことが示されている (Ichimura and Suto, 1999)。このため、糖の前処理の場合、短期間で多くの糖を吸収させる必要があり、通常高い濃度の糖を用いることが多い。トルコギキョウにおいても前処理時のスクロース濃度が高いほど、花持ちの延長およびつぼみの開花を促進することが報告されている (Halevy and Kofranek, 1984)。しかし、筆者らが高濃度のスクロースの前処理を行った際、葉に障害が生じることがしばしば観察された。糖処理による葉の障害はバラやブルースター (*Tweedia caerulea*) においても報告されている (Markhart and Harper, 1995; 平谷ら, 2002)。切り花は花だけでなく葉も伴った全体の容姿も観賞価値を有する。そのため、葉に障害が発生することにより切り花としての観賞価値を著しく損なう。そこで、本章ではトルコギキョウ切り花へのスクロースの前処理による障害葉の発生について発生条件および発生機構を明らかにするとともに、発生抑制技術を開発した。

第1節 障害葉の形態的特徴

トルコギキョウにおいて高濃度のスクロースの前処理は花持ち延長に有効である (Halevy and Kofranek, 1984) が、筆者らが4%スクロースの前処理を行った際、時々葉に障害の発生が観察された (第9図)。障害葉は処理直後は葉肉部分が水浸状になり、その後褐変するため、切り花としての観賞価値を著しく損なう。本節では、まず障害部分の組織学的観察と葉のスクロース濃度の測定を行った。

1. 材料および方法

2007年5月1日に茨城県石岡市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum*) ‘ミラコーラル’ を入手し、花き研究所まで約1時間かけて乾式輸送し、実験に用いた。切り花を水道水で吸水させながら全長60cmに切り戻し、開花小花5個およびつぼみ4個に調整した。その後、蒸留水 (対照)、4%スクロースの各処理液に切り花を挿し、23℃、相対湿度54%、暗黒条件下で24時間吸水処理を行った。スクロースを含

む溶液にはイソチアズリン系抗菌剤である CMI/MI (レジェンド MK, 有効成分として $11.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 5-クロロ-2-メチル-4-イソチアズリン-3-オンおよび $3.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 2-メチル-4-イソチアズリン-3-オンを含む, ロームアンドハースジャパン (株)) を $0.5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ となるように加えた。処理後に組織学的観察と糖濃度の測定用に葉のサンプリングを行った。供試個体は対照で3本, スクロース処理で7本とした。

実験1) 組織学的観察

4% スクロース処理葉の障害部分と無障害部分および対照の葉を約 2mm 角に切り出し, FAA 液 (ホルマリン: 80% エタノール: 酢酸, 1:8:1 (v/v)) に浸漬し, 脱気しながら一晩固定した。その後, 濃度の異なるエタノールで置換した。置換条件は 70, 90, 99% エタノールでそれぞれ 60, 30, 30 分とした。エタノールから包埋樹脂 (Technovit7100; Heraeus Kulzer 社) への置換を約 20 時間かけて行った。サンプルを包埋したブロックを作成し, ガラスナイフを取り付けたマイクロトームでブロックから厚さ $7\mu\text{m}$ の切片を作成した。0.05% のトリジンブルー溶液で 10 分間染色し, その後 1 分水洗してから, 光学顕微鏡で葉の縦断面を観察した。

実験2) 障害部分の糖濃度の測定

対照および 4% スクロース処理した切り花の最下葉を

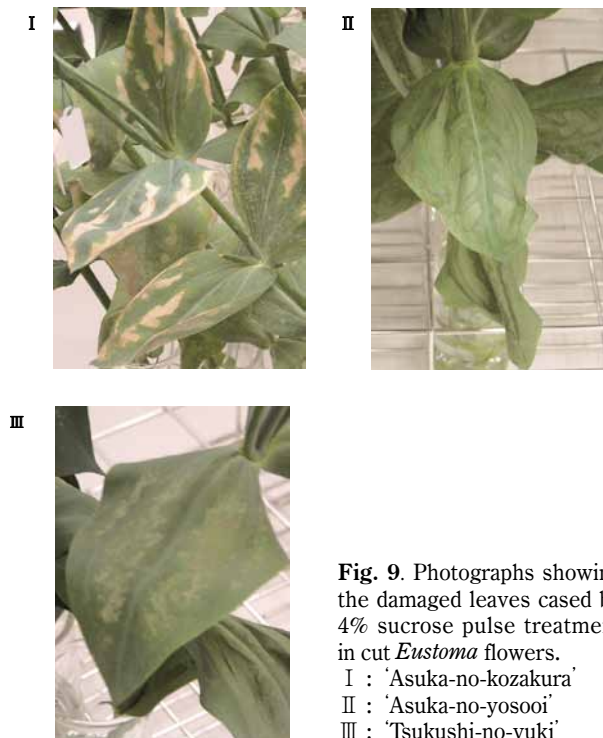


Fig. 9. Photographs showing the damaged leaves caused by 4% sucrose pulse treatment in cut *Eustoma* flowers.
I : 'Asuka-no-kozakura'
II : 'Asuka-no-yosooi'
III : 'Tsukushi-no-yuki'

それぞれサンプリングした。約 0.5cm 角に細断した葉から任意に約 0.3g を定量し, 5mL の 80% エタノールに浸して 80°C で 20 分抽出を行った。冷却後, 内部標準として 2.5% ソルビトールを $50\mu\text{L}$ 加え, ホモジェナイズした。遠心後, 上澄みを別の容器に取り, 沈殿に 3mL の 80% エタノールを加え遠心した。この作業を再度行い, 遠心3回分の上澄み液を1つにまとめて, 遠心エバポレーターで乾固した。乾固した試料を 1mL の蒸留水で溶かし, Sep-Pak C-18 カートリッジ (Millipore, Milford) に通した。2mL の蒸留水をカートリッジに通し, すべての液をひとまとめにして, 再び遠心エバポレーターで乾固した。乾固した試料を 1mL の蒸留水で溶かし, cellulose acetate フィルター ($0.45\mu\text{m}$, ADVANTEC) を通した後, 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) (ジャスコエンジニアリング (株)) を用いて糖の分析を行った。HPLC での分析条件は以下の通りである。測定は4反復とした。

カラム	: Shodex SUGAR SP0810 (昭和電工 (株))
カラム温度	: 80°C
溶媒	: 水, 流速 $0.8\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$
検出器	: 示差屈折計

2. 結果および考察

実験1) の結果を第 10 図に示す。障害部分の葉の組織の厚さは, 対照および無障害部分の約半分になった。表皮細胞の厚さもほぼ半減していた。柵状細胞は対照では縦長の形状であったが, 無障害部分でやや圧縮された形状になり, 障害部分で完全につぶれた形状となった。葉の糖濃度を測定したところ, 対照に比べてスクロース処理により葉の糖濃度が高くなった (第 13 表)。糖の組成の中では特にスクロース濃度が著しく高い値を示した。これらの結果から, スクロースによる葉の障害は, 葉内へスクロースが流入し, 細胞内に比べて細胞外の糖濃度が高くなったことで細胞が脱水されることにより引き起こされるのではないかと推測された。

第2節 相対湿度と糖濃度が障害葉の発生に及ぼす影響

第1節においてスクロース処理による葉の障害は葉内のスクロース濃度が高まり細胞が脱水収縮することで発生する可能性が考えられた。しかし, 障害がどのような条件で発生するのか分かっていない。バラにおいて蒸散が盛んな葉を持つ切り花は糖を含む溶液処理液もより

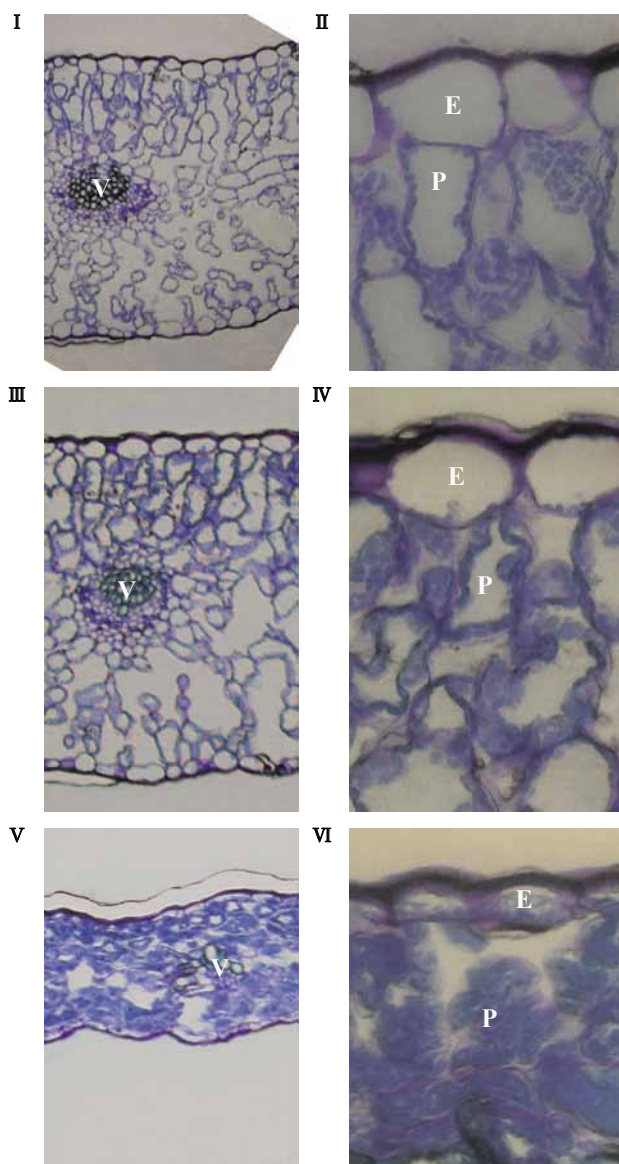


Fig. 10. Photographs of section of leaf tissue treated with distilled water (control) and 4% sucrose in cut 'Mira Coral' flowers. Control(I , II), no-damaged part of leaf treated with sucrose (III , IV), damaged part of leaf treated with sucrose (V , VI). I, III, V : $\times 100$, II, IV, VI : $\times 400$. E, epidermal tissue ; P, palisade mesophyll ; V, vascular tissue.

Table 13. Sugar concentration of leaves treated with distilled water (control) and 4% sucrose in cut 'Mira Coral' flowers.

Treatment	Sugar concentration (mg·g ⁻¹ FW)			
	Sucrose	Glucose	Fructose	Total
Control	12.2±2.5	7.0±0.3	0.0±0.0	19.1±2.7
4% Sucrose	50.8±6.3	8.3±0.3	0.0±0.0	59.1±6.4
Significance ^z	**	*	ns	***

After pulse treatments, lowest leaves were used for sugar analysis.

Values are means of 4 replications \pm SE.

^zns, *, **, *** : nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively by *t*-test.

葉の障害が発生しやすく (Torre and Fjeld, 2001), 気孔を閉鎖する作用をもつ植物ホルモンであるアブシシン酸をスクロースと併用すると処理液の吸収が抑制され, 障害の発生率が減少することが報告されている (Markhart and Harper, 1995). これらの結果から, スクロースによる葉の障害発生は処理液の吸収量と密接な関係があることが示唆された. また, バラにおいてスクロース処理濃度が高いほど葉の障害発生率が増加する (Markhart and Harper, 1995) ことから, 処理時のスクロース濃度も障害の発生に影響を与えたと考えられる. バラ切り花を相対湿度 99% 条件で保持すると相対湿度 60% 条件に比べて植物体からの蒸散および生け水の吸収が低く抑えられることが報告されている (土井ら, 2000). この結果から, 同一の温度条件であった場合, 相対湿度を変えることにより処理液の吸収量を変化させることができると考えられた. そこで, スクロース濃度および吸収量と葉の障害発生および切り花の日持ちとの関連を明らかにするため, 異なる相対湿度とスクロース濃度を組み合わせた処理が, 葉の障害発生および花持ちに及ぼす影響について調査した.

1. 材料および方法

2006年5月15日に茨城県石岡市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ 'ミラコラル' を入手し, 花き研究所まで約1時間かけて乾式輸送し, 実験に用いた. 切り花を水道水で吸水させながら全長60cmに切り戻し, 開花小花3個およびつぼみ3個に調整した. その後, 処理環境の相対湿度をそれぞれ53%, 71%および86%に制御した恒温恒湿室内で前処理を行った. 前処理は処理液として蒸留水 (DW), 2%スクロースおよび4%スクロースを用い, 前処理液と相対湿度の組み合わせで合計9処理区を設けた. なお, スクロースを含む前処理液にはイソチアゾリン系抗菌剤であるCMI/MIを0.5mL·L⁻¹となるように加えた. 相対湿度以外の前処理環境は23℃, 暗黒条件に設定し, 24時間前処理液を吸収させた. その後, 蒸留水に切り花を挿して, 23℃, 70%RH, PPFD 10 μ mol·m⁻²·s⁻¹, 12時間日長条件下で保持した. 各区6本の切り花を用いた. 処理直後に葉の障害について調査し, 1枚でも障害部分が認められれば障害発生個体とした. 前処理前後に切り花の新鮮重および容器と前処理液をあわせた重さを測定し, 処理液の吸収量 (g·g⁻¹FW) を算出した. また, 処理液の吸収量にスクロース濃度を掛けたものをスクロース吸収量とした. 切り花

の花持ちは処理後花柄が曲がらず、花卉の張りがある小花が3個未満になるまでとした。葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした。

2. 結果および考察

障害葉は4%スクロース処理では53%RHで100%の、71%RHで50%の切り花で発生したが、86%RHでは障害葉の発生率は0%であった(第14表)。一方、2%スクロース処理においては、スクロース溶液の吸収量は4%スクロース処理と同様に低湿度ほど増加したものの、障害の発生はいずれの相対湿度においてもみられなかった。障害の発生がみられなかった86%RH・4%スクロース処理のスクロース吸収量は、2%スクロース処理で最も処理液の吸収が盛んな53%RHの約1.3倍であった(第14表)。これらの結果から、葉の障害発生に関しては、処理時間内のスクロース吸収量が重要であり、スクロース吸収量が過剰になると障害が発生することが示唆された。

葉の蒸散速度が著しく高いバラの切り花では、糖を含んだ処理液により葉に障害が発生する(Torre and Fjeld, 2001)。また、キンギョソウでは遺伝子型により葉の気孔数に変異があり、切り花の蒸散速度および日持ちに差

異があることが報告されている(Schroeder and Stimart, 2005)。これらの結果から、葉の障害は処理時の相対湿度だけでなく植物体自体の葉の蒸散速度などによっても影響を受けると考えられる。そのため、同じスクロース濃度や同じ処理環境においても、品種や栽培時期などによって障害の発生率が変化する可能性がある。

切り花の花持ちはいずれの相対湿度においても、4%スクロース処理で最も長くなった(第15表)。53%RHでは他の相対湿度に比べて4%スクロース処理とDWあるいは2%スクロース処理との花持ち日数の差が小さかった。スクロース濃度と相対湿度の2要因で花持ち日数の分散分析を行ったところ、*P*値は相対湿度で0.1222、スクロース処理で*P*値<0.0001となり、交互作用は認められなかった(第15表)。切り花の花持ちは、いずれの相対湿度においても4%スクロース処理で延長される傾向がみられ、花持ち日数の分散分析結果からも、スクロース処理濃度が切り花の花持ちに非常に強く影響していると考えられる。

品質保持期間中の切り花のつぼみの開花率はDWおよび2%スクロース処理では53%RHで最も高くなった(第15表)。4%スクロース処理はいずれの相対湿度においても高い値であった。切り花あたりの開花小花数の推

Table 14. Effect of the relative humidity and sucrose concentration on solution absorption and rate of leaf damage in cut 'Mira Coral' flowers.

RH (%)	Sucrose (%)	Solution absorption		Rate of leaf damage(%) ^z
		(g·g ⁻¹ FW·24h ⁻¹)	(mg·g ⁻¹ FW·24h ⁻¹)	
53	0	1.16±0.10	-	0
	2	1.05±0.03	20.9±0.6	0
	4	0.81±0.03	32.3±1.0	100
71	0	0.82±0.06	-	0
	2	0.76±0.02	15.2±0.5	0
	4	0.72±0.04	28.9±1.7	50
86	0	0.63±0.04	-	0
	2	0.75±0.03	14.9±0.6	0
	4	0.67±0.04	26.7±1.5	0
Significance ^y				
RH		<i>P</i> <0.0001		
Sucrose		<i>P</i> =0.003		
RH×Sucrose		<i>P</i> =0.0041		

Values are means of 6 replications ± SE.

See in the text on leaf damage.

^zNumber of flower stems which has at least one injured leaf / 6 flower stems × 100.

^yAnalysis by two-way ANOVA.

Table 15. Effect of the relative humidity and sucrose concentration on the vase life and bud opening of cut 'Mira Coral' flowers.

RH(%)	Sucrose (%)	Vase life (days) ^z	Rate of bud opening (%) ^y
53	0	10.2±2.6	68
	2	12.5±2.1	89
	4	14.3±0.9	89
71	0	4.7±0.8	39
	2	9.3±1.5	61
	4	15.8±1.8	100
86	0	7.3±1.5	61
	2	8.5±1.3	58
	4	13.5±1.8	89
Significance ^x			
RH		<i>P</i> =0.1222	
Sucrose		<i>P</i> <0.0001	
RH×Sucrose		<i>P</i> =0.2813	

Values are means of 6 replications ± SE.

^zVase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than three.

^yNumber of bud opening during vase life/number of buds at harvest×100.

^xAnalysis by two-way ANOVA.

移を相対湿度ごとにみたところ、71%RH および 86%RH においては、4% スクロース処理では DW あるいは 2% スクロース処理に比べて著しく開花小花数が多くなった (第 11 図)。一方、53%RH においては前処理間の差は小さかった。DW および 2% スクロース処理では、他の相対湿度に比べて 53%RH において開花数が多い期間が最も長かった。4% スクロース処理においては、相対湿度間の差はあまりなかった。2% と 4% スクロース処理間では、53%RH における花持ちおよび開花小花数には大きな差がみられなかった (第 15 表, 第 11 図)。さらに、

DW の花持ちも 53%RH で他の湿度区に比べて長くなった (第 15 表)。低湿度区で処理間の花持ちの差が小さくなった原因は本実験では明らかにされていない。

本節では、トルコギキョウ切り花において葉の障害の発生要因を調査するために、異なるスクロース処理濃度と処理時の相対湿度を組み合わせた前処理を行った。その結果、前処理時のスクロース処理濃度が高いほど花持ち向上に有効だが、スクロース処理濃度が高かつ処理液の吸収量が多いと障害が発生することを明らかにした。

第 3 節 アブシシン酸を利用した障害葉の発生回避法

第 2 節において 4% スクロースの前処理時にスクロースの吸収量が多いと障害が発生することを明らかにした。アブシシン酸 (ABA) は気孔を閉鎖させる作用を持つ植物ホルモンであり、バラ切り花では ABA を短期間処理することで、糖を含む品質保持剤による葉の障害が抑制される (Markhart and Harper, 1995)。さらに、ABA 処理により切り花の花持ちが延長することがバラ切り花において報告されている (Kohl and Rundle, 1972; Halevy et al., 1974)。そこで、本節では ABA と 4% スクロースを組み合わせた前処理が葉の障害および切り花の花持ちに及ぼす影響について調査した。

1. 材料および方法

2005 年 6 月 10 日に茨城県石岡市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ ‘ミラコーラル’ を入手し、花き研究所まで約 1 時間かけて乾式輸送し、実験に用いた。切り花を水道水で吸水させながら全長 60cm に切り戻し、開花小花 5 個およびつぼみ 4 個に調整した。その後、蒸留水 (対照), 10 μ M (+) ABA (東レ (株)), 4% スクロースおよび 4% スクロース + 10 μ M (+) ABA の各処理液に切り花を挿し、23 $^{\circ}$ C, 相対湿度 66%, 暗黒条件下で 21 時間吸水処理を行った。ABA には (+) と (-) 型の鏡像異性体が存在する。(+) ABA が天然型であり、気孔の閉鎖などの速い反応を引き起こす (Kriedemann et al., 1972) ことから、本実験では気孔閉鎖に有効な (+) ABA を用いた。ABA を含む溶液には 10mM (+) ABA エタノール溶液を 10 μ M となるように加えた。スクロースを含む溶液にはイソチアゾリン系抗菌剤である CMI/MI を 0.5mL \cdot L $^{-1}$ となるよう加えた。

前処理後、切り花を蒸留水に挿し 23 $^{\circ}$ C, 相対湿度

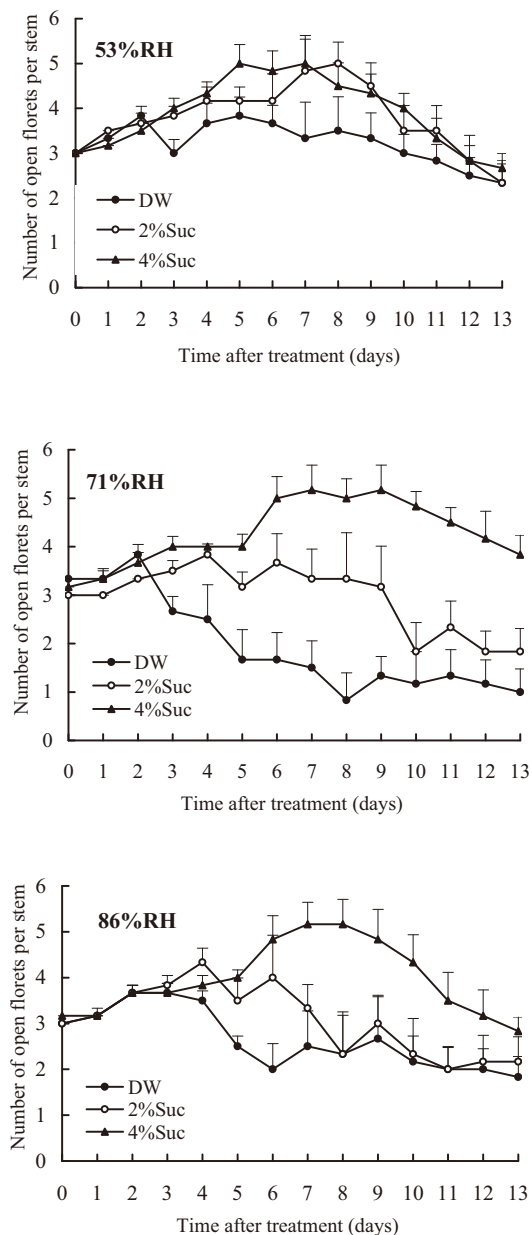


Fig.11. Effect of sucrose concentration under different RH conditions during pulse treatment on the number of open florets per stem. Each plot represents the means of 6 replications + SE.

70%, PPF10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下に移し, 花持ちの調査を行った. 各区 10 本の切り花を用いた. 処理直後に葉の障害について調査し, 1 枚でも障害部分が認められれば障害発生個体とした. 前処理前後に切り花の新鮮重および容器と前処理液をあわせた重さを測定し, 処理液の吸収量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した. 蒸留水に移した後も, 新鮮重および容器と蒸留水をあわせた重さを毎日測定した. 切り花を挿さずに蒸留水のみを入れた容器についても, 蒸留水と容器をあわせた重さを毎日計測し, 蒸留水の自然蒸発量を測定した. これらの値をもとに, 切り花の吸水量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) および水分損失量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した. 切り花の花持ちは処理後花柄が曲がらず, 花卉の張りがある小花が 5 個未満になるまでとした. 葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした.

2. 結果および考察

4% スクロース処理では 50% の切り花で障害が発生した (第 16 表). 一方, 4% スクロース + ABA では障害の発生はみられなかった. また, 処理液の吸収量は ABA を含んだ処理において少なくなった (第 16 表). 葉からの蒸散は植物体における水の流れの原動力であり, 蒸散は主に気孔を通して行われる. ABA は気孔を閉鎖させ

る作用をもつことから, 葉からの蒸散が抑制されることで, 処理液の吸水量が減少し障害の発生が抑制されると推測された.

ABA および 4% スクロース + ABA 処理により, 葉の日持ちが著しく延長した (第 17 表). 処理後の切り花の吸水量と水分損失量は, ABA を加えた処理で対照およびスクロース処理に比べて低く推移した (第 12 図). 特に, 4% スクロース + ABA 処理では吸水量および水分損失量が少ない期間が長くなった. さらに, ABA 単用は対照に比べて新鮮重の増加率が大きく, その後の減少も緩やかであった (第 13 図). 4% スクロース + ABA は 4% スクロース単用と収穫後の新鮮重の増加率には大きな違いがなかったが, 収穫後 8 日目以降の減少が緩やかであった. ABA を加えた処理では, ABA の蒸散抑制作用により葉の水分状態が良好に保持された可能性が考えられた.

4% スクロース単用および 4% スクロース + ABA 処理により対照に比べて花持ちは有意に延長し (第 17 表), 開花小花数が多い期間が長くなった (第 14 図). さらに, 4% スクロース + ABA は 4% スクロースに比べ処理後 10 日目以降の開花小花数の減少が緩やかであった (第 14 図). これらの結果から, 4% スクロース + ABA 処理はトルコギキョウ切り花の品質保持剤として有用であると判断された.

ABA 単用では切り花の花持ちは, 分散分析によると対照に比べてやや延長する傾向がみられた (第 17 表) が,

Table 16. Effects of pulse treatment with distilled water (control), 4% sucrose, 10 μM ABA and 4% sucrose + 10 μM ABA on the solution absorption and rate of leaf damage in cut 'Mira Coral' flowers.

Treatment	Solution absorption ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot 21\text{h}^{-1}$)	Rate of leaf damage ^z (%)
Control	0.75 a ^y	0
ABA	0.36 b	0
Sucrose	0.71 a	50
Sucrose+ABA	0.41 b	0
Significance ^x		
ABA	$P < 0.0001$	
Sucrose	$P = 0.6745$	
ABA \times Sucrose	$P = 0.1211$	

Values are means of 10 replications.

The conditions for pulse treatments were 23°C, 66% relative humidity and dark for 21h.

See in the text on leaf injury.

^zNumber of flower stems which has at least one injured leaf / 10 flower stems $\times 100$.

^yData with different letters are significant at $P = 0.05$ by Turkey-Kramer test.

^xAnalysis by two-way ANOVA.

Table 17. Effects of pulse treatments with distilled water (control), 4% sucrose, 10 μM ABA and 4% sucrose + 10 μM ABA on the vase life and bud opening of cut 'Mira Coral' flowers.

Treatment	Vase life (days)		Rate of bud opening (%)
	Flower ^z	Foliage ^y	
Control	8.4 a ^x	6.9 a	90
ABA	8.8 ab	10.1 b	100
Sucrose	10.4 bc	7.0 a	100
Sucrose+ABA	11.9 c	13.4 c	100
Significance ^v			
ABA	$P = 0.0345$	$P < 0.0001$	
Sucrose	$P < 0.0001$	$P = 0.0348$	
ABA \times Sucrose	$P = 0.2115$	$P = 0.0462$	

Values are means of 10 replications.

^zVase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than five.

^yVase life of foliage was defined as the days when more than half leaves lost turgor.

^xData with different letters are significant at $P = 0.05$ by Turkey-Kramer test.

^vAnalysis by two-way ANOVA.

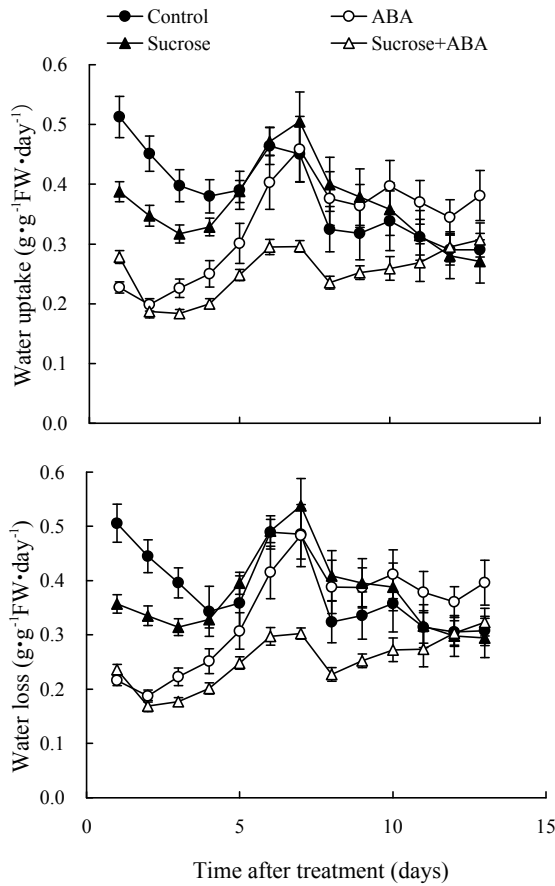


Fig.12. Changes in the water uptake (upper) and water loss (bottom) of cut 'Mira Coral' flowers treated with sucrose, ABA and their combination for plusing. After pulse treatment, cut flowers were put in the distilled water during experiment. Each plot represents the means of 10 replications \pm SE.

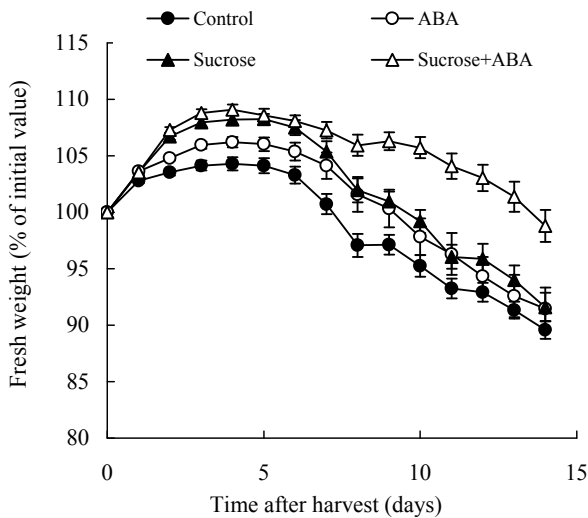


Fig.13. Changes in the fresh weight of cut 'Mira Coral' flowers treated with sucrose, ABA and their combination for plusing. After pulse treatment, cut flowers were put in the distilled water during experiment. Each plot represents the means of 10 replications \pm SE.

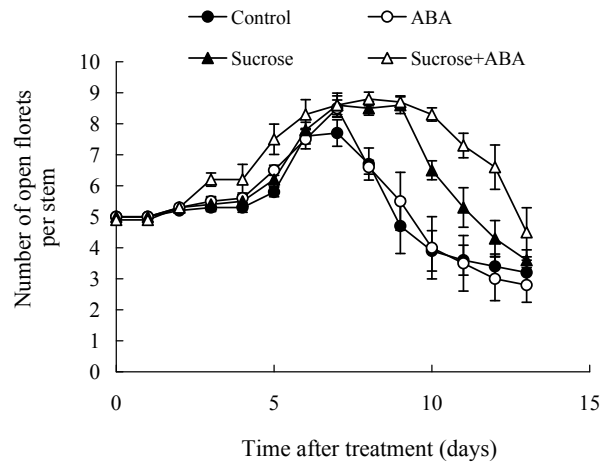


Fig.14. Changes in the number of open florets per stem in cut 'Mira Coral' flowers treated with sucrose, ABA and their combination for plusing. After pulse treatment, cut flowers were put in the distilled water during experiment. Each plot represents the means of 10 replications \pm SE.

開花小花数は対照と比べてほぼ同様の推移を示した (第 14 図). 50 μ M 以上の ABA 処理はバラ (Kohl and Rundle, 1972) やカーネーション (Mayak and Dilley, 1976b) で花の老化を促進することが報告されている。バラでは 38 μ M ABA 処理は、暗黒条件下や葉のない切り花において、花の老化を促進する (Halevy et al., 1974)。これらのことは、ABA は高濃度や蒸散が抑制された条件下では花の老化を促進することを示唆する。さらに、100 μ M ABA 処理はストック切り花の葉の黄化を促進することが報告されている (Ferrante et al., 2004)。本実験では、10 μ M ABA 単用処理は蒸留水よりも花の日持ちが短くなることはなく、葉の黄化等も認められなかった。

本実験の結果から、4% スクロースと ABA を組み合わせることによってスクロースによる葉の障害を抑制できることが明らかになった。また、4% スクロース単用処理に比べて切り花の花持ちが短縮せず、開花小花数の減少が緩やかであること、さらに葉の日持ちを著しく延長することから、4% スクロースと ABA を組み合わせた前処理はトルコギキョウ切り花の品質保持に有効であると考えられた。

第 4 節 吸収したスクロースの植物体中での分布および移動

第 3 節までの結果から、4% スクロース溶液の吸収量が過剰になると葉に障害が発生し、吸収量が少ないと障害の発生が抑えられることが分かった。しかし、その機

構については明らかではない。そこで、本研究では安定同位体で標識したスクロースを利用して4%スクロースおよび4%スクロース+ABA前処理時に吸収した炭素(C)のトルコギキョウ切り花における分布と移動について調査し、葉の障害発生の機構について明らかにした。

1. 材料および方法

実験1) 前処理液の吸収量の測定

2007年5月14日に茨城県結城市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ‘まほろばピンクフラッシュ’を入手し、花き研究所まで約1.5時間かけて乾式輸送し、実験に用いた。切り花を水道水で吸水させながら全長60cmに切り戻し、開花小花3個およびつぼみ3個に調整した。その後、蒸留水(対照)、4%スクロースおよび4%スクロース+10 μ M(+)-ABAの各処理液に切り花を挿し、23 $^{\circ}$ C、相対湿度55%、暗黒条件下で24時間吸水処理を行った。スクロースを含む溶液にはイソチアゾリン系抗菌剤CMI/MIを0.5mL \cdot L $^{-1}$ となるように加えた。

前処理開始時の切り花の新鮮重および3、6、9、14、24時間ごとの容器と前処理液をあわせた重さを測定し、前処理液の吸収量(g \cdot g $^{-1}$ FW)を算出した。各時間ごとの葉の障害の有無も調査した。また、処理開始から6時間後に、リーフポロメーター(メイワフォーシス(株)、SC-1)を用いて最下葉の裏面の気孔コンダクタンスを測定した。測定は最下葉1枚につき3カ所とした。各区5本の切り花を用いた。

実験2) 安定同位体実験

2007年5月16日に茨城県結城市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ‘まほろばピンクフラッシュ’を入手し、花き研究所まで約1.5時間かけて乾式輸送し、実験に用いた。切り花を水道水で吸水させながら全長60cmに切り戻し、開花小花3個およびつぼみ3個に調整した。処理後の植物体の 13 C存在率が約0.4atom% 13 C excessになるように標識スクロース[UL- 13 C $_{12}$] sucrose (98atom% 13 C, 昭光通商(株))を加えた4%スクロースおよび4%スクロース+10 μ M(+)-ABAの各処理液を用いた。なお、処理液にはイソチアゾリン系抗菌剤CMI/MIを0.5mL \cdot L $^{-1}$ となるように加えた。前処理は23 $^{\circ}$ C、相対湿度56%、暗黒条件下で24時間行った。各区9本の切り花を用いた。

処理後、葉の障害発生について調査し、各区3本の切り花を分析用に直ちにサンプリングした。残りの切り花

は蒸留水に挿し23 $^{\circ}$ C、相対湿度70%、PPFD10 μ mol \cdot m $^{-2}$ \cdot sec $^{-1}$ 、12時間日長の条件下に移し、処理後2および5日目に各区3本ずつサンプリングを行った。サンプリングは切り花の下位から20cmずつ3区画(上位、中位、下位)に分けた。さらに、下位および中位では葉と茎に分け、上位では葉、茎、開花小花およびつぼみに分けた。開花小花は3個まとめてサンプリングした。つぼみは長さ別に大、中、小に分けて、1個ずつサンプリングした。部位別に新鮮重を測定し、80 $^{\circ}$ Cで2日間通風乾燥した。サンプルは乾物重を測定した後粉碎し、元素分析計付き安定同位体比質量分析計(DeltaXP, Finnigan Co.)を用いてatom% 13 C、炭素(C)含有量を測定した。測定値、乾物重およびサンプリング重から各部位の全C量およびスクロース由来のC量を算出した。

2. 結果および考察

前処理時の処理液の吸収量は、処理開始から3時間後で、すでに4%スクロース+ABA処理はスクロース

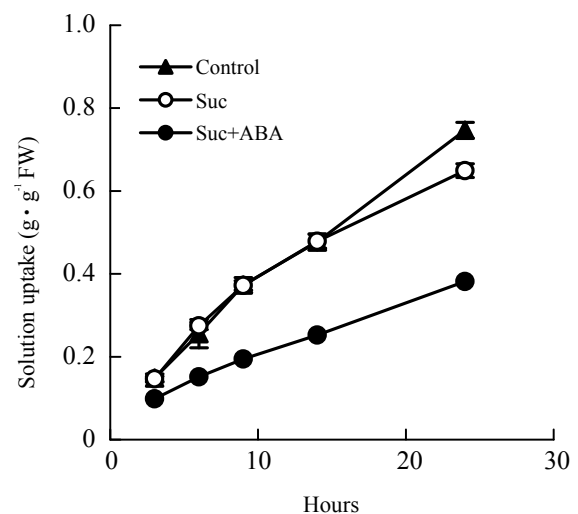


Fig. 15. Changes in solution uptake during pulse treatments in cut *Eustoma* flowers. Each plot represents the means of 5 replications + SE.

Table 18. Effect of the distilled water (control), 4% sucrose and 4% sucrose+10 μ M ABA on the stomatal conductance of the lowerst leaves at 6 h during pulse treatments in cut 'Mahoroba Pink Flush' flowers.

Treatment	Stomatal conductance (mmol \cdot m $^{-2}$ \cdot s $^{-1}$)
Control	104.8a ²
Sucrose	64.3b
Sucrose+ABA	16.3c

Values are means of 5 replications.

²Data with different letters are significant at $P=0.05$ by Fisher's PLSD test.

単用処理を下回った (第 15 図)。24 時間あたりの吸収量は 4% スクロース処理の 58% となった。さらに、処理開始から 6 時間後の最下葉の気孔コンダクタンスは 4% スクロース + ABA 処理で他の 2 処理に比べて著しく低下した (第 18 表)。これらの結果は、4% スクロース + ABA 処理では ABA の作用により気孔が閉鎖されたため、蒸散が抑制されたことを示唆する。葉の障害は処理開始 3 ~ 6 時間後から 4% スクロース処理で発生がみられはじめ、24 時間後の発生率は 4% スクロース処理で 80%、4% スクロース + ABA 処理で 0% となった (データ略)。これらの結果から、4% スクロース + ABA 処理

では ABA の気孔閉鎖作用により葉からの蒸散が抑制されるため処理液の吸収量が少なくなったと考えられた。

安定同位体実験において、前処理液の吸収量はスクロース単用で 0.65 、スクロース + ABA 処理で $0.38 \text{ g} \cdot \text{FW} \cdot 24\text{h}^{-1}$ となり、前処理直後の障害の発生率は 4% スクロース処理で 100%、4% スクロース + ABA 処理で 0% となった。4% スクロース処理においては下位節の葉で障害の発生が多くみられた。処理直後、4% スクロース処理では下位および中位の葉において吸収したスクロース由来の C 量がスクロース + ABA 処理に比べて非常に多くなった (第 16 図)。これらの結果から、4%

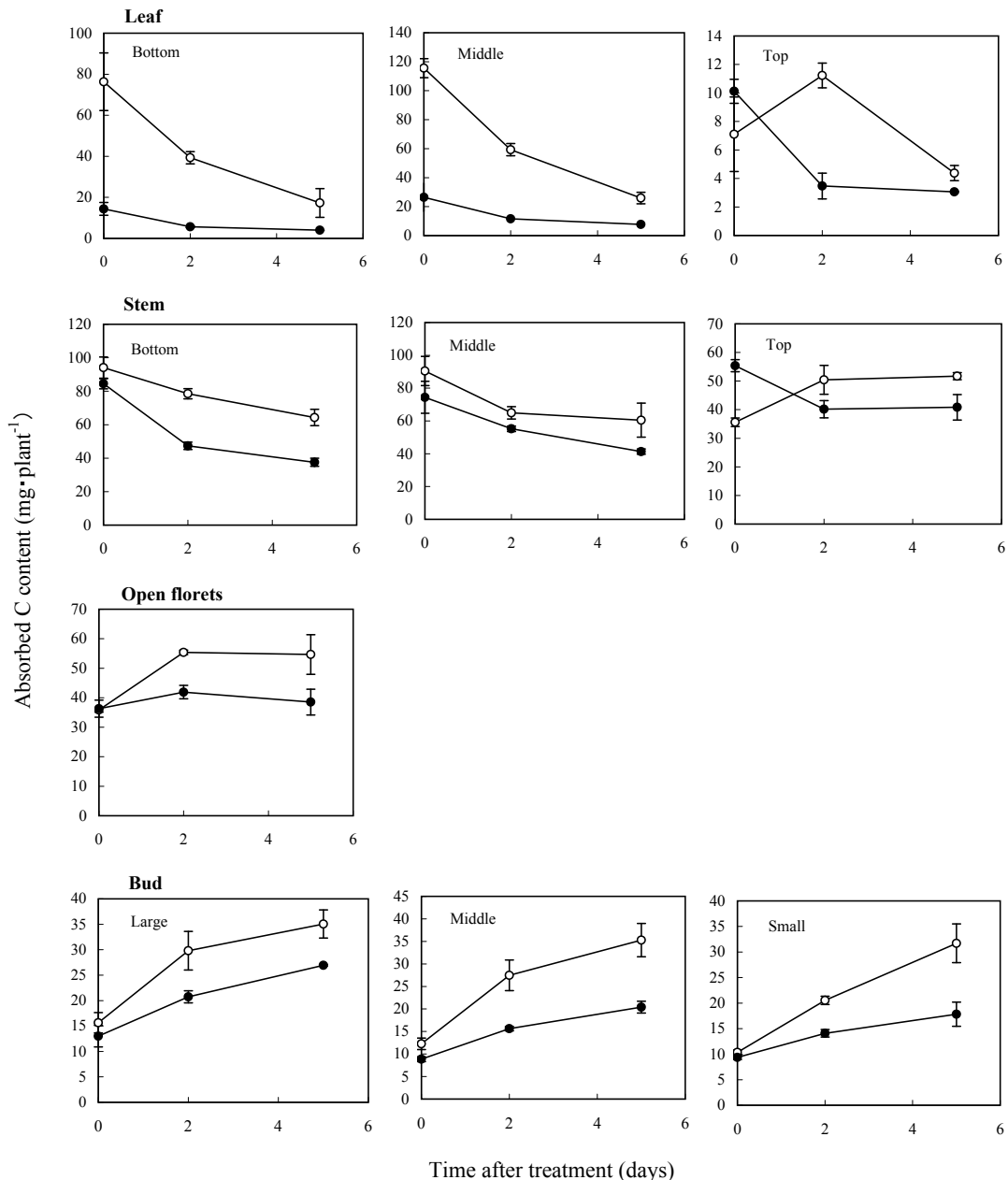


Fig. 16. Changes in absorbed carbon (C) contents in each part after sucrose (○), sucrose+ABA (●) treatments. Each plot represents the means of 3 replications \pm SE.

スクロース処理では吸収した糖が葉に多量に蓄積することにより障害が発生するのに対して、4% スクロース + ABA 処理では吸収した糖が葉にわずかしか蓄積しないため障害が発生しないことが推察された。処理直後の下位および中位葉以外の部位における吸収したスクロース由来の C 量は両処理間で著しい差はみられなかった (第 16 図)。このことから、処理液の吸収量は葉からの蒸散量に大きく依存すると考えられた。

処理後 2 日目において、4% スクロース処理で下位および中位葉と下位および中位茎で、吸収したスクロース由来の C 量が減少した (第 16 図)。一方、開花小花およびつぼみで吸収したスクロース由来の C 量は著しく増加した。4% スクロース + ABA 処理では葉および茎で吸収したスクロース由来の C 量が減少した (第 16 図)。一方、開花小花では吸収したスクロース由来の C 量はやや増加し、つぼみでは著しく増加した。これらの結果から、トルコギキョウ切り花において初期に葉や茎に蓄積した糖は開花小花やつぼみに転流することが示唆された。バラ切り花において、吸収させた糖が葉や茎から花へと移行することが放射性同位体 ^{14}C を用いた試験で示されている (Sacalis and Durkin, 1972)。さらに、茎の一部を環状剥皮すると、 ^{14}C の茎葉から花への転流が抑制されることから、吸収させた糖は師管経由で転流されると考察されている (Sacalis and Durkin, 1972)。

開花小花およびつぼみでは 2 日目以降の吸収したスクロース由来の C 量は 4% スクロース + ABA 処理に比べて 4% スクロース処理で多くなった (第 16 図)。ところが、処理後 5 日目の開花小花およびつぼみの全 C 量は、スクロース単用処理とスクロース + ABA 処理間で統計上有意味な差は得られなかった (第 19 表)。これらの結果から、茎葉に元々含まれる糖も開花小花やつぼみに転流しており、その転流量は 4% スクロース + ABA 処理で多い可能性が示唆された。

第5節 摘要

トルコギキョウ切り花においてスクロースの前処理時に発生する葉の障害について、発生条件と発生機構の解明および発生回避技術の開発を行った。組織学的な観察の結果、葉の障害部位では細胞が激しくつぶれているのが観察された。また、4% スクロース処理により葉のスクロース濃度は非常に高くなった。このことから、葉のスクロース濃度が高くなり細胞が脱水および収縮することにより水浸状の障害として観察されると思われた。障害の発生条件を明らかにするため、相対湿度とスクロース濃度が障害の発生に及ぼす影響について調査した。その結果、相対湿度が低く、かつスクロース濃度が高いと障害の発生が増加することが明らかになった。さらに、障害の発生を抑制することを目的として $10\mu\text{M}$ ABA を 4% スクロースと併用した前処理を検討したところ、ABA を加えることにより障害の発生が抑制され葉の萎凋が遅延した。また、切り花の花持ちは 4% スクロース処理に比べて低下せず、開花小花数の減少が緩やかであった。4% スクロース処理と 4% スクロース + ABA 処理における吸収させた糖の分布および移行を ^{13}C スクロースを用いて調査した。その結果、前処理直後の下位および中位葉における吸収したスクロース由来の炭素量は、4% スクロース処理では著しく多かったのに対して、4% スクロース + ABA 処理では少なかった。以上の結果から、4% スクロースの前処理において、吸収した糖が葉に多量に蓄積することにより葉内の糖濃度が著しく高まり葉肉組織の柔細胞や表皮細胞の脱水および収縮が起きることで障害が発生することが示唆された。ABA と 4% スクロースを組み合わせた処理は、気孔が閉鎖され葉からの蒸散が減少することにより、吸収した糖が葉に蓄積する量が少なくなり障害発生が抑制されると考えられた。さらに、4% スクロース + ABA 処理は花持ちが延

Table 19. Total carbon content of open florets and buds 5 days after pulse treatment with 4% sucrose and 4% sucrose+ $10\mu\text{M}$ ABA in cut 'Mahoroba Pink Flush' flowers.

Treatment	Total carbon content ($\text{mg}\cdot\text{plant}^{-1}$)			
	Open florets	Large bud	Middle bud	Small bud
Sucrose	593.6	163.8	156.8	130.2
Sucrose+ABA	629.5	181.2	150.6	116.5
Significance ^z	ns	ns	ns	ns

Buds were classified in their length; large (L), middle (M) and small (S). Values are means of 3 replications \pm SE.

^z ns: nonsignificant by *t*-test.

長し、かつ葉の萎凋を遅延することから、トルコギキョウ切り花の前処理剤として有効であると判断された。

第4章 スクロースとエチレン阻害剤の組み合わせによる花持ち向上の検討

日本国内の切り花の生産量は平成8年の58億本をピークに年々減少している(農林水産省大臣官房統計部, 1986～2008)。切り花生産を振興するためには、近年減少している業務用需要に代わってホームユース用の需要を増加させることが必要とされている。ホームユース用の切り花において、花持ちは最も重要な品質構成要素の一つであることが各種のアンケート調査により明らかにされている(今西ら, 1992)。そのため、花持ちのよい切り花を流通させることが必要とされている。

トルコギキョウは比較的花持ちがよい切り花(Halevy and Kofranek, 1984; 島村・岡林, 1997; Ichimura and Korenaga, 1998; Ichimura et al., 1998b)として知られているが切り花の花持ちに品種間差がみられる(本図, 1998)こと、第2章において未除雄の小花および受粉後の小花の花持ちにも品種間差がみられることが明らかになった。トルコギキョウ切り花はエチレンに対する感受性があり(Ichimura et al., 1998b)、エチレン作用阻害剤であるチオ硫酸銀錯塩(STS)処理が花持ち延長に有効である(島村・岡林, 1997)。しかし、トルコギキョウは収穫時に開花小花とつぼみが混在するタイプの切り花であり、つぼみの開花には多量の糖が必要なことから、STSの前処理だけではつぼみの不開花や発色不良を改善することは難しいと考えられる。そのため、トルコギキョウにおいてはさらに品質保持効果の高い前処理剤の開発が望まれる。

スクロース処理は花持ち延長するだけでなく、つぼみの開花促進および花色の向上に有効であることがトルコギキョウにおいて報告されている(Halevy and Kofranek, 1984; Ichimura and Korenaga, 1998)。さらに、スイートピーおよびブルースター(*Tweedia caerulea*)において、STSとスクロースを組み合わせた前処理はSTS処理に比べて切り花あたりの開花小花数が増加し、品質保持期間を延長することが報告されている(Ichimura and Hiraya, 1999; 平谷ら, 2002)。そこで、第1節ではSTSとスクロースを組み合わせた前処理がトルコギキョウの品質保持に及ぼす影響について調査した。さらに、前章においてスクロースとABAを組み合わせた前処理は障害葉の発生回避、開花小花数の増加および葉の萎凋の遅

延に有効であったことから、STS +スクロースの前処理にABAを加えた処理も検討した。

通常、切り花は生産地から市場まで輸送され、輸送時間は数時間から数日かかる。そのため、輸送中の環境によっては切り花の花持ちが短くなり、前処理の効果が十分に発揮されないことがある(土井ら, 1999)。このことから、花持ちの長い切り花を消費者に提供するには、前処理だけでなく輸送条件も重要であると考えられる。そこで、第2節では前処理後に輸送処理を行い花持ちを調査した。切り花の輸送形態として横置き段ボール箱に切り花を詰めて輸送する乾式輸送と、茎の切り口を溶液の入ったバケツに挿すか給水資材で覆うなどして、切り花に水分を供給しながら輸送する湿式輸送がある。湿式輸送は水を切らずに輸送できることから、高鮮度な切り花を市場に供給できる。そのため、近年バラ、シュツコンカスミソウで湿式輸送が急激に増加している。トルコギキョウにおいても2007年度には総出荷量のうち31.6%を湿式低温流通が占めており、その割合は年々増加している(農林水産省生産局園芸課花き産業振興室, 2008)。本章は消費者段階での切り花の品質保持期間を延長するため、前処理後は低温湿式輸送を行うことを前提とした輸送シミュレーションを行った。さらに、実際の流通場面ではシミュレーションだけでは予測できない事態が起きる可能性があるため、第3節では北海道の産地で品質保持剤を前処理し、さらに輸送処理剤で処理しながら東京の市場まで実際に輸送した切り花の花持ちを花き研究所において調査することにより、品質保持剤の効果を検証した。

第1節 スクロースを含む前処理剤の検討

トルコギキョウは比較的花持ちがよい切り花として知られているが、花持ちに関して品種間差がみられる。また、トルコギキョウはエチレンに対する感受性があることからエチレン作用阻害剤であるSTS処理が花持ち延長に有効である(島村・岡林, 1997)。しかし、トルコギキョウは開花小花とつぼみが混在する切り花であることから、STSのみではつぼみの開花および花色の向上は困難である。一方、トルコギキョウ切り花へのスクロースの前処理は花持ちを延長し、つぼみの開花を促進する(Halevy and Kofranek, 1984)。このため、スクロースとSTSを組み合わせることにより、さらなる品質保持効果が得られる可能性が考えられる。さらに、前章でスクロースとABAを組み合わせることにより、障害葉の発生抑

制, 開花小花数の増加および葉の萎凋遅延が認められたことから, STS + スクロース処理に ABA を加えた前処理についても検討した。

1. 材料および方法

実験 1) STS とスクロースを組み合わせた処理がトルコギキョウ切り花の花持ちに及ぼす影響

2001 年 11 月に播種し, 花き研究所 (茨城県つくば市) ガラス室内で栽培したトルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum*) ‘あすかの波’ を用いた。2002 年 6 月 4 ~ 13 日に 2 花以上開花した切り花を収穫した。切り花を水道水で吸水させながら全長 60cm に切り戻し, 開花小花 2 個およびつぼみ 4 個に調整した。その後, 蒸留水 (対照), 0.2mM STS, 4% スクロースおよび 0.2mM STS + 4% スクロース溶液にそれぞれ挿し, 23°C, 相対湿度 70%, 暗黒条件下で 20 時間吸水処理を行った。なお, 4% スクロースを含む処理液には抗菌剤として 8-ヒドロキシキノリン硫酸塩 (8-HQS) を $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ になるように加えた。処理後, 切り花を蒸留水に挿し, 23°C, 相対湿度 70%, PPF_D $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下に移し, 花持ちの調査を行った。各区 8 本の切り花を用いた。

小花の花持ちは花柄が著しく曲がるかもしくは花弁の張りがなくなるまでとした。つぼみは開花日から花柄が著しく曲がるかもしくは花弁の張りがなくなるまで調査した。切り花の花持ちは処理後花柄が曲がらず, 花弁の張りがある小花が 2 個未満になるまでとした。葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした。

花持ち調査個体とは別に, 各処理区 4 本の切り花を用いて花弁のアントシアニンおよび糖濃度の測定を行った。花持ちの試験と同様に調整した切り花を用い, 同条件で前処理を行った。その後蒸留水に挿し, 23°C, 相対湿度 70%, PPF_D $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下で静置した。調整時につぼみ 4 個のうち長さが $4.4 \pm 0.1\text{cm}$ のつぼみに印を付け, つぼみが開花した当日に小花をサンプリングした。サンプリングした小花から花弁を採取し, 花弁の覆輪部分をアントシアニン濃度の測定に, 覆輪以外の部分を糖の分析にそれぞれ用いた。

(1) アントシアニン濃度の測定

小花 (花弁 5 枚) から集めた覆輪部分 (紫色部分) を 5mL の 1% メタノール塩酸に浸し, 4°C, 暗黒条件で一

晩静置し, 色素の抽出を行った。上澄みを別の容器に取り, 2.5mL の 1% メタノール塩酸で花弁を 2 回洗浄し, その液も回収した。上澄みと回収した液を合わせて 10mL のメスフラスコに入れ, 1% メタノール塩酸で 10mL に定量し, 吸光光度計を用いて波長 530nm の吸光度を測定した。

(2) 糖濃度の測定

覆輪部分を取り除いた残りの花弁 0.3g を 5mL の 80% エタノールに浸し, 75°C で 20 分抽出を行った。糖の分析は, 第 3 章第 1 節と同様に行った。

実験 2) STS, スクロースおよび ABA を組み合わせた前処理がトルコギキョウ切り花の花持ちに及ぼす影響

2006 年 1 月 11 日に茨城県石岡市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ ‘ネイルスワン’ を入手し, 花き研究所まで約 1 時間かけて乾式輸送し, 実験に用いた。切り花を水道水で吸水させながら全長 60cm に切り戻し, 開花小花 3 個およびつぼみ 2 個に調整した。その後, 蒸留水 (対照), 0.2mM STS + 4% スクロースおよび 0.2mM STS + 4% スクロース + $10 \mu\text{M}$ (+) ABA (東レ (株)) の各処理液に切り花を挿し, 23°C, 相対湿度 70%, 暗黒条件下で 24 時間吸水処理を行った。スクロースを含む溶液にはイソチアゾリン系抗菌剤 CMI/MI を $0.5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ になるように加えた。ABA を含む溶液には 10mM (+) ABA エタノール溶液を $10 \mu\text{M}$ となるように加えた。

前処理後, 切り花を蒸留水に挿し 23°C, 相対湿度 70%, PPF_D $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 12 時間日長の条件下に移し, 花持ちの調査を行った。各区 8 本の切り花を用いた。

処理直後に葉の障害について調査し, 1 枚でも障害部分が認められれば障害発生個体とした。前処理前後に切り花の新鮮重および容器と前処理液をあわせた重さを測定し, 処理液の吸収量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した。蒸留水に移した後も, 新鮮重および容器と蒸留水をあわせた重さを毎日測定した。切り花を挿さずに蒸留水のみを入れた容器についても, 蒸留水と容器をあわせた重さを毎日計測し, 蒸留水の自然蒸発量を測定した。これらの値をもとに, 切り花の吸水量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) および水分損失量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した。切り花の花持ちは処理後花柄が曲がらず, 花弁の張りがある小花が 5 個未満になるまでとした。葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした。

2. 結果および考察

実験1)において、切り花の花持ちは前処理によって延長した(第20表)。STS単用に比べて4%スクロース単用あるいはSTSと4%スクロースを組み合わせた処理は有意に花持ちを延長した。4%スクロース処理とSTS+4%スクロース処理の間で花持ちに有意な差はみられなかった。つぼみの開花率は前処理にスクロースを加えた処理で対照およびSTS処理に比べ高くなった(第20表)。前処理により葉の日持ちが延長した(第20表)。切り花あたりの開花小花数は前処理によって増加した(第17図)。STS単用に比べて4%スクロースを含んだ処理では開花数の増加が早まり、減少が遅れる傾向がみられた。4%スクロース単用とSTS+4%スクロース間では大きな違いはなかった(第17図)。これらの結果から、STS+4%スクロースの前処理はトルコギキョウ切り花の花持ち延長に有効であることが明らかになった。糖は

呼吸基質としてだけでなく、花卉の浸透圧を維持して、花卉の萎凋を遅延させると考えられる。さらに、カーネーションにおいては糖処理によりエチレンに対する感受性が低下し(Mayak and Dilley, 1976a)、エチレン生成の上昇が遅れる(Dilley and Carpenter, 1975)ことが明らかにされている。また、トルコギキョウにおいてもスクロース処理によりエチレン生成が抑えられることが報告されている(Huang and Chen, 2002)。このことから、スクロース処理により切り花の花持ちが延長したのは、呼吸基質や浸透圧の維持だけでなく、エチレン生成の抑制および感受性の低下も関係している可能性が考えられる。

収穫後に開花した小花の花弁のアントシアニン濃度は4%スクロースを含んだ前処理により増加した(第21表)。また、花弁中のスクロースおよびグルコース濃度は4%スクロースおよびSTS+4%スクロース処理により著しく増加した(第21表)。フルクトースはスクロースおよびグルコースに比べて低濃度であり、処理間の差はみられなかった。糖はアントシアニン配糖体の基質と

Table 20. Effects of pulse treatments with distilled water (control), 0.2mM STS, 4% sucrose and 4% sucrose + 0.2mM STS on the vase life and bud opening in cut 'Asuka-no-nami' flowers.

Treatment	Vase life (days)		Rate of bud opening ^x (%)
	Flower ^z	Foliage ^y	
Control	4.8a ^w	5.0a	32
STS	8.1b	7.5b	61
Sucrose	11.3c	7.9b	94
Sucrose+STS	11.9c	8.6b	94

Values are means of 8 replications.

^zVase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than two.

^yVase life of foliage was defined as the days when more than half leaves lost turgor.

^xNumber of bud opening during vase life of cut flowers / number of bud at harvest × 100

^wData with different letters are significant at $P=0.05$ by Fisher's PLSD test.

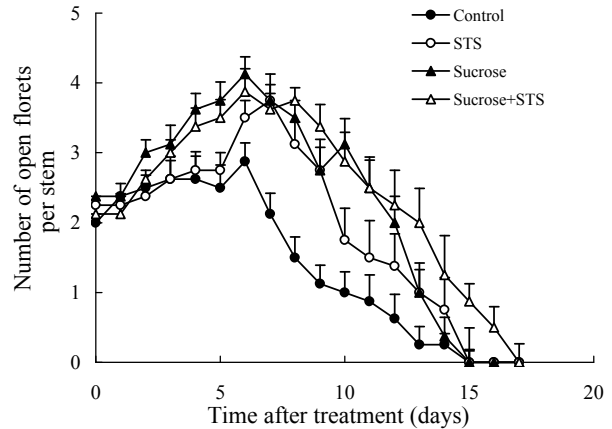


Fig.17. Effects of pulse treatments of STS, sucrose and sucrose + STS on the number of open florets per stem in cut 'Asuka-no-nami' flowers.

After pulse treatment, cut flowers were put in the distilled water during experiment.

Each plot represents the mean of 8 replications + SE.

Table 21. Effects of pulse treatments with distilled water (control), 0.2mM STS, 4% sucrose and 4% sucrose + 0.2mM STS on anthocyanin and sugar concentrations in petals of florets at anthesis in cut 'Asuka-no-nami' flowers.

Treatment	Anthocyanin concentration (OD530 nm·g ⁻¹ FW)	Sugar concentration (mg·g ⁻¹ FW)			
		Sucrose	Glucose	Fructose	Total
Control	3.8a ^z	1.2a	1.5a	0.4a	3.1a
STS	3.8a	1.5a	1.5a	0.4a	3.4a
Sucrose	6.9b	7.0b	9.9b	0.2a	17.1b
STS+Sucrose	7.3b	8.6b	12.0b	0.4a	20.9b

Values are means of 4 replications. Bud length at harvest was 4.4 ± 0.1 cm.

^zData with different letters are significant at $P=0.05$ by Fisher's PLSD test.

なるだけでなく、アントシアニンの合成に必要な酵素の遺伝子発現を増加させることがペチュニアおよびトルコギキョウで明らかにされている (Tsukaya et al., 1991 ; Kawabata et al., 1999).

本実験では STS + 4% スクロース処理と 4% スクロース処理では、花持ちに有意な差はみられなかった (第 20 表)。トルコギキョウは受粉によりエチレン生成の急激な増加が起き花持ちが著しく短縮する。受粉による老化促進を抑えるには STS 処理が有効である (Ichimura and Goto, 2000)。一方、柱頭に花粉が多くつくほど受粉による花持ち短縮が促進されるため (第 1 章)、実験室内で切り花を静置して調査を行った本実験では、柱頭に花粉が多量に付着することがなく、STS + 4% スクロースと 4% スクロース単用の効果の差が出にくかった可能性が考えられる。しかし、輸送時の振動による受粉花の増加や、エチレン濃度の高い環境下におかれた場合などでエチレンの影響により花持ちが短縮する可能性が考えられる。したがって、4% スクロース単用よりも STS と 4% スクロースを組み合わせた処方を用いた方が望ましいと考えられた。

実験 1) では 23°C、相対湿度 70% の条件下で 4% スクロースを処理した際に障害葉の発生はみられなかった。しかし、切り花の品種や作型によっては障害が発生する可能性が考えられる。ABA は 4% スクロース処理液の吸収量を減少させることにより障害葉の発生を抑制する作用が前章で認められたことから、STS + 4% スクロースの処方に加える前処理を実験 2) において検討した。

実験 2) では STS + 4% スクロースにおいて 38% の切り花で障害葉が確認されたが、ABA を併用すると発生率は 0% となった (第 22 表)。STS と 4% スクロース

Table 22. Effects of pulse treatments with distilled water (control), 4% sucrose + 0.2mM STS and 4% sucrose + 0.2mM STS+10 μ M ABA on the solution absorption and rate of leaf damage in cut 'Nail Swan' flowers.

Treatment	Solution absorption (g \cdot g $^{-1}$ FW \cdot 24h $^{-1}$)	Rate of leaf damage ² (%)
Control	0.72a ^y	0
Sucrose+STS	0.56b	38
Sucrose+STS+ABA	0.43c	0

The conditions for pulse treatments were 23°C, 70% relative humidity and dark for 24h.

See in the text on leaf damage.

Values are means of 8 replications.

²Number of flower stems which have at least one injured leaf / 8 flower stems \times 100

^yData with different letters are significant at $P=0.05$ by Fisher'sPLSD test.

の組み合わせに ABA を加えることにより、前処理液の吸収量は減少した (第 22 表)。さらに、切り花の水の吸収量と損失量は、ABA を加えた処理で前理後始めの 4 日間最も少ない値で推移した (第 18 図)。切り花からの水の損失量の大部分は気孔からの蒸散と考えられるので、STS + 4% スクロース + ABA の前処理では ABA の作用により気孔が閉鎖した可能性がある。

STS + 4% スクロース、STS + 4% スクロース + ABA いずれの処理も対照に比べて花および葉の日持ちが延長した (第 23 表)。切り花あたりの開花小花数および新鮮重は STS + 4% スクロースおよび STS + 4% スクロース + ABA 処理により増加した (データ略)。

本実験の結果から、STS、4% スクロースおよび ABA を加えた処理により障害葉の発生を抑制できると考えられる。さらに、切り花の花および葉の日持ちに関しても STS + 4% スクロースと同等の延長効果があったことか

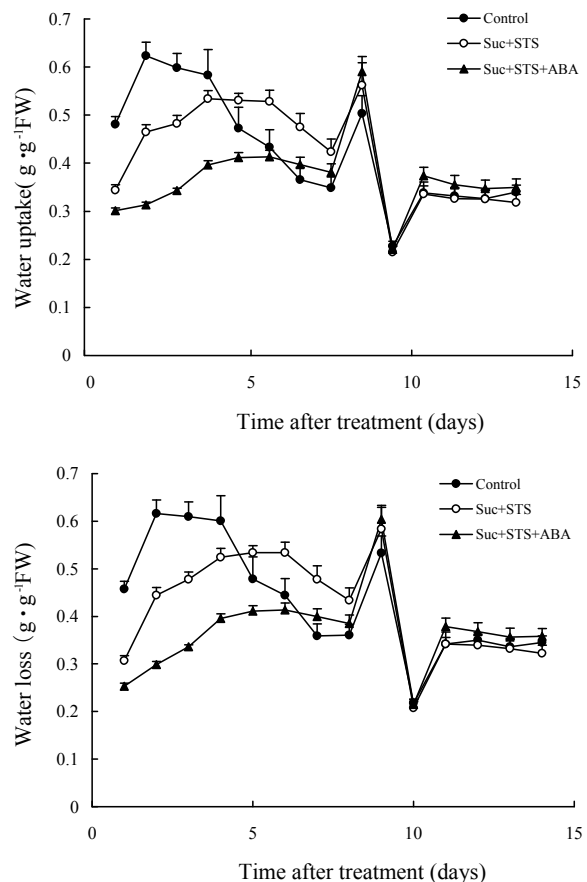


Fig.18. Effects of pulse treatments of sucrose+STS and sucrose + STS + ABA on the water uptake (upper) and water loss (bottom) in cut 'Nail Swan' flowers. After pulse treatment, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. Each plot represents the mean of 8 replications + SE.

Table 23. Effects of pulse treatments with distilled water (control), 4% sucrose + 0.2mM STS and 4% sucrose + 0.2mM STS+10 μ M ABA on the vase life of flower and foliage in cut 'Nail Swan' flowers.

Treatment	Vase life (days)		Rate of bud opening ^x (%)
	Flower ^z	Foliage ^y	
Control	12.6a ^w	7.6a	100
Sucrose+STS	15.6b	13.9b	100
Sucrose+STS+ABA	16.6b	15.4b	100

Values are means of 8 replications.

^z Vase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than three.

^y Vase life of foliage was defined as the days when more than half leaves lost turgor.

^x Number of bud opening during vase life of cut flowers / number of bud at harvest \times 100

^w Data with different letters are significant at $P=0.05$ by Fisher's PLSD test.

ら、これらを組み合わせた処方ではトルコギキョウ切り花の前処理剤として有効であることが明らかになった。

第2節 輸送シミュレーション試験

前節では前処理の効果を検討するため、切り花は前処理後すぐに観賞環境に搬入したが、通常切り花は産地から市場へ運搬される。産地から市場までの距離により輸送時間は数時間から数日かかる。輸送条件によっては前処理の効果が低下すると考えられることから、花持ちのよい切り花を流通させる上で輸送中の取り扱いが重要である。そこで、前節で選定した前処理剤を使用した切り花に対して輸送シミュレーションを行い、現行で流通している方法と比較してどの程度の品質保持効果が得られるのか検証した。前節で選定した前処理剤(4%スクロース+STS+ABA)と組み合わせる輸送方法は乾式輸送に比べて高鮮度な花を市場に供給することができる低温湿式輸送とした。さらに、現行の湿式輸送では糖の積極的な使用は行われていないが、バラにおいて輸送中の糖処理により花持ちが延長することが報告されているため(Hu et al., 1998b), 1%スクロース溶液を輸送処理液とし、前処理剤と組み合わせた処理を検討した。

1. 材料および方法

2006年5月8日に茨城県石岡市の生産者が当日の朝収穫したトルコギキョウ 'ミラマリーン' を入手し、花き研究所までの約1時間かけて乾式輸送した。前処理と輸送処理の組み合わせは計6処理区設けた(第24表)。DW→乾式, DW→湿式, STS→乾式, STS→湿式および1%スクロース+STS→湿式の5処理は現行で用いられているトルコギキョウの処理および輸送形態を想定した。湿式輸送溶液にはすべて抗菌剤としてCMI/MIを

Table 24. Six treatments in which pulse and simulated transport were combined for cut 'Mira Marine' flowers.

Pulse Solution ^z	Transporty	
	Type of transport ^x	Solution in the bucket
DW	Dry	
DW	Wet	0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI
0.2mM STS	Dry	
0.2mM STS	Wet	0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI
1%Sucrose+0.2mM STS+0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI	Wet	0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI
4%Sucrose+0.2mM STS+10 μ M (+)ABA +0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI	Wet	1%Sucrose+0.5mL·L ⁻¹ CMI/MI

^z Pulse solutions were treated to cut flowers just after harvest at 23°C, 70% relative humidity in the dark for 24 h.

^y Wet or dry indicate that cut flowers were transported with or without keeping in the solution, respectively.

0.5mL·L⁻¹になるように加えた。

花き研究所に搬入後、切り花を水道水で吸水させながら、全長60cmに切り戻し、開花小花5個およびつぼみ3個に調整した。前処理は、13時30分から23°C、相対湿度70%、暗黒条件で24時間行った。続いて、翌日の14時から24時間の輸送シミュレーションを行った。乾式輸送は、横置き段ボール箱にDWとSTS前処理の切り花を一緒に詰め、さらに新聞紙で覆ってから箱のふたを閉めた状態で行った。湿式輸送の場合は平底試験管に50mLの輸送処理液を入れ、その試験管に切り花を1本ずつ挿した状態で行った。輸送時間は乾式、湿式輸送シミュレーションともに24時間とした。輸送時の温湿度は乾式輸送は23°C、相対湿度84%程度で、湿式輸送は15°C(20時半~8時まで10°C)、相対湿度98%程度で推移した。輸送シミュレーション後にすべての切り花の茎基部を2cm切り戻してから蒸留水に挿した。切り花は23°C、相対湿度70%、PPFD 10 μ mol·m⁻²·sec⁻¹,

12 時間日長の条件下に移し、花持ちの調査を行った。各区 8 本の切り花を用いた。

前処理前後に切り花の新鮮重および容器と前処理液をあわせた重さを測定し、処理液の吸収量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した。輸送後の切り花の新鮮重および輸送前後の容器と輸送処理液をあわせた重さも測定した。蒸留水に移した後も、新鮮重および容器と蒸留水をあわせた重さを毎日測定した。切り花を挿さずに蒸留水のみを入れた容器についても、蒸留水と容器をあわせた重さを毎日計測し、蒸留水の自然蒸発量を測定した。これらの値をもとに、切り花の吸水量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) および水分損失量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した。切り花の新鮮重は前処理開始直前の値を 100% として、相対値で算出している。輸送後の切り戻しによる新鮮重の減少を補正するため、Ichimura and Shimizu-Yumoto (2007) の計算式を用いた。切り花の花持ちは輸送処理後花柄が曲がらず、花卉の張りがあがる小花が 5 個未満になるまでとした。葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした。4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースの処方 が現行処理に比べて、花持ちに有意な差があるか Dunnett 法を用いて検定した。

2. 結果および考察

4% スクロース + STS + ABA で前処理を行い、1% スクロース輸送処理液をもちいて輸送シミュレーションを行った処方と現行法における切り花の品質保持効果の比較を行った。結果を第 25 表に示す。4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースは花持ちが 11.3 日となり、DW → 乾式、DW → 湿式および STS → 乾式とは 1%

水準、1% スクロース + STS → 湿式とは 5% 水準の有意差で花持ちが延長した。STS → 湿式に関しては有意差はなかったが、4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースで花持ちが長い傾向がみられた。さらに、葉の日持ちは 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースで著しく延長した。また、つぼみの開花率は 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースで 100% となった (第 25 表)。開花小花数は処理後 1 ~ 3 日目は 1% スクロース + STS → 湿式で最も増加したが、6 日目以降は 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースで最も多くなった (第 19 図, 第 20 図)。新鮮重の増加率は 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースで最大 110% となり、他の処理に比べて最も増加率が高くなった (第 21 図)。さらに、その後の新鮮重の減少も緩やかであった。輸送後 1 ~ 3 日目の水の吸収量および損失量は 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースにおいて著しく少なくなった (第 22 図)。

これらの結果から、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行い、1% スクロースを処理しながら低温で輸送する方法は既存の方法に比べてトルコギキョウの品質保持に優れると考えられた。輸送中の糖処理がどの程度品質保持に影響を与えているかについては、本実験の結果だけでは判断できないが、輸送中の溶液の吸収量は前処理時の 1/4 程度と非常に少ないことから (データ略)、品質保持期間延長に対する寄与は低いと思われる。しかし、バラでは 48 および 72 時間の輸送シミュレーション中に糖を処理すると花持ちが延長することから (Hu et al., 1998b)、48 時間以上の長時間輸送の場合には有効である可能性も考えられる。

蒸留水もしくは STS 処理を行ってから、横置き

Table 25. Effects of pulse and simulated transport treatments on the vase life and bud opening in cut 'Mira Marine' flowers.

Treatment (pulse → transport)	Vase life(days)		
	Flower ^z	Foliage ^y	Rate of bud opening ^x (%)
DW → Dry	5.4** ^w	5.6**	79
DW → Wet	6.9**	6.3**	88
STS → Dry	5.5**	7.0**	92
STS → Wet	9.1ns	9.2**	96
1% Suc + STS → Wet	7.6*	8.7**	96
4% Suc + STS + ABA → Wet(1% Suc)	11.3	12.6	100

Values are means of 8 replications.

The details of these treatments were shown in Table 24.

^z Vase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than five.

^y Vase life of foliage was defined as the days when more than half leaves lost turgor.

^x Number of bud opening during vase life of cut flowers / number of bud at harvest × 100

^w ns, *, **: nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01, respectively compared to treatment in the last column by Dunnett test.

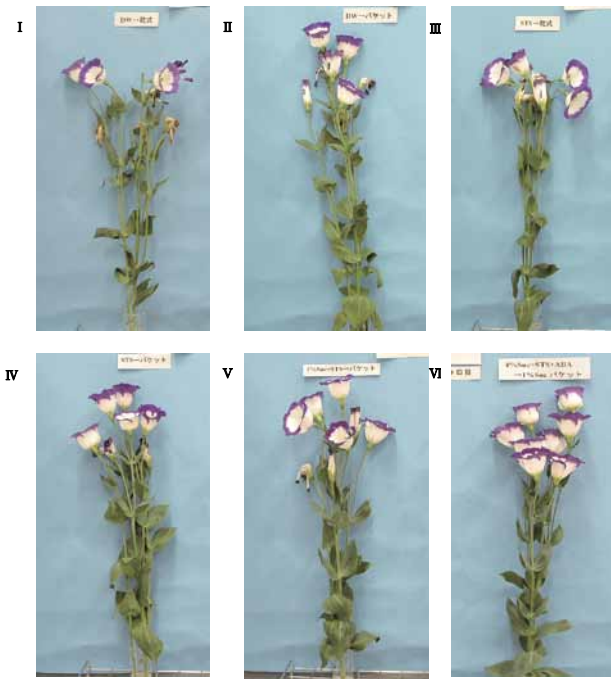


Fig.19. Photograph showing cut 'Mira Marine' flowers subjected to pulse and simulated transport treatments. Photographs were taken 9 days after simulated transport. The detail of treatments was shown in Table 24. (I)DW → Dry, (II)DW → Wet, (III)STS → Dry, (IV)STS → Wet, (V) 1%Suc+STS → Wet, (VI)4%Suc+STS+ABA → Wet (1%Suc)

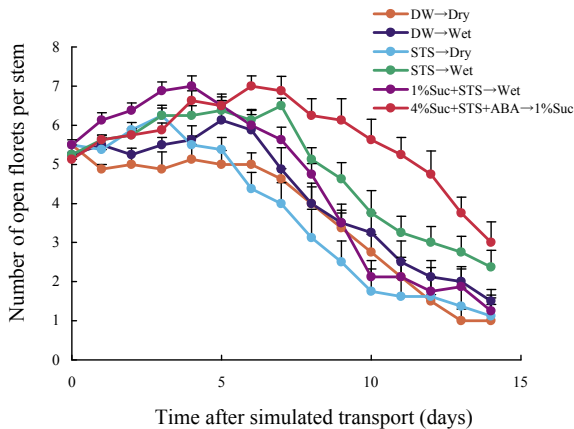


Fig.20. Effects of various pulse and simulated transport treatments on the number of open florets per a stem in cut 'Mira Marine' flowers. The detail of treatments was shown in Table 24. After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. Each plot represents the mean of 8 replications + SE.

ボール箱に入れて輸送する乾式輸送は23℃で行った。いずれの処理も輸送処理後切り花の新鮮重は収穫当日の94%まで低下し、輸送シミュレーション後に新鮮重の増加がみられたが収穫後7日目には収穫当日を下回った(第21図)。DW → 乾式と STS → 乾式はほぼ同等の花持ち日数であった(第25表)。開花小花数は輸送後1~3

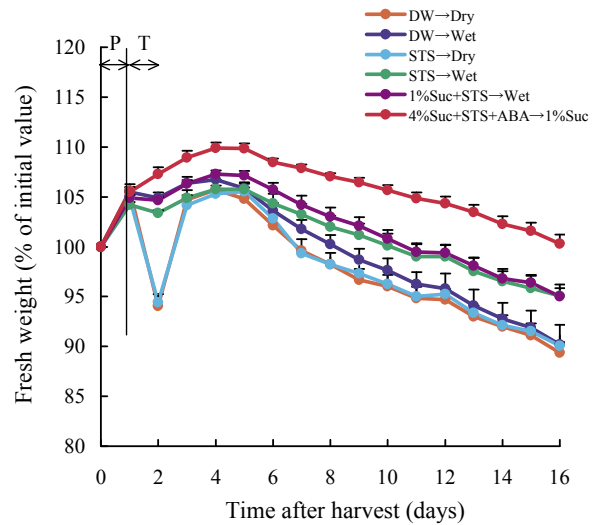


Fig.21. Effects of various pulse and simulated transport treatments on the fresh weight in cut 'Mira Marine' flowers. The detail of treatments was shown in Table 24. After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. P and T indicate the periods of pulse and simulated transport treatments, respectively. Each plot represents the mean of 8 replications + SE.

日目は STS → 乾式で増加したが、その後急激に減少した(第20図)。シュッコンカスミソウでは20℃で輸送すると STS + スクロースを前処理した切り花でも花持ちは無処理に比べてほとんど延びないことから(土井ら, 1999)、輸送中の温度が高いと STS 前処理の花持ち延長効果は十分に得られない可能性が示唆された。

湿式輸送シミュレーションは低温で行った。これは給水しながら常温輸送すると花が咲き進み品質が低下する(Hu et al., 1998b)ためであり、現行の湿式輸送も通常は低温で行われている。蒸留水もしくは STS の前処理を行ってから、それぞれ抗菌剤入りのバケツで低温輸送をシミュレートした結果、輸送中の新鮮重は両処理ともに前処理終了時に比べてわずかに減少した(第21図)。輸送シミュレーション後、STS → 湿式は DW → 湿式に比べて新鮮重の減少が緩やかであった。さらに、STS → 湿式は DW → 湿式に比べて花持ちが延長し、かつ葉の日持ちが延長した(第25表)。これらの結果から、STS の前処理は低温湿式輸送において切り花の花持ち延長に有効であると考えられた。

1% スクロース + STS → 湿式は低濃度の糖と STS を組み合わせた市販の前処理剤を想定した。花持ち日数は STS → 湿式と比較して短くなった(第25表)。開花小花数は輸送処理直後に増加したが、5日目で降減少した(第20図)。スイートピーにおいて、糖の前処理後、植物体

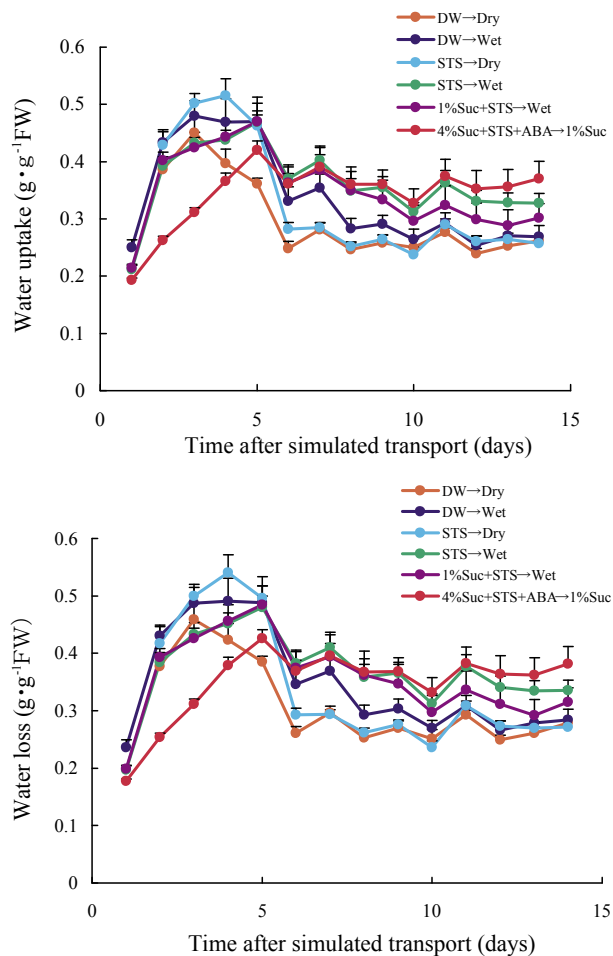


Fig.22. Effects of various pulse and simulated transport treatments on water uptake (upper) and water loss (bottom) in cut 'Mira Marine' flowers.

The detail of treatments was shown in Table 24.

After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment.

Each plot represents the mean of 8 replications + SE.

内の糖濃度は急激に減少することが明らかにされている (Ichimura and Suto, 1999). このことから、トルコギキョウにおいても切り花に与えた糖が吸収後急速に減少するため、1%程度の低濃度のスクロースでは花持ちを延長させるには不十分である可能性が示唆された。

第3節 実証試験

第1節において4%スクロース、STSおよびABAを組み合わせた処理はSTSと4%スクロースを組み合わせた処方と同等に花持ちを延長することが示された。第2節で4%スクロース、STSおよびABAを組み合わせた前処理液と1%スクロースの輸送処理液を用いて輸送シミュレーション試験を行った。その結果、現行で行われ

ている組み合わせに比べて花持ちを延長する効果が高いことが明らかになった。しかし、実際の生産および流通場面においても、シミュレーションと同様な効果が得られるのか明らかになっていない。そこで、本節では実際に輸送することにより、実験室で得られた成果が実用可能であるか検証した。

1. 材料および方法

2007年3月に播種し、北海道立花・野菜技術センター(北海道滝川市)のビニルハウスで栽培したトルコギキョウ「北斗星」を用いた。前処理と輸送処理を組み合わせ計5処理を行った(第26表)。各区10本の切り花を前処理および輸送処理に用いた。水道水→乾式、水道水→湿式、STS→乾式およびSTS→湿式は現行の処理を想定した。2006年9月12日に収穫し、切り花を全長70cm、開花小花4個、つぼみ6個に調整してから前処理を行った。前処理は18℃で9時から翌日の7時まで22時間行った。本実験では試薬として入手しやすいことから、天然型の(+)-ABAと光学異性体である非天然型の(-)-ABAが等量入った試薬(±)-ABA(和光純薬工業(株))を前処理に用いた。また、湿式輸送時の抗菌剤としてCMI/MIと硫酸アルミニウムをそれぞれ、 $0.5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ および $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ になるように組み合わせた剤を用いた。水道水およびSTSで前処理された切り花は、箱内に仕切りを設け、水道水→乾式とSTS→乾式の合計20本は水に挿さない状態で、水道水→湿式お

Table 26. Five treatments in which pulse and transport were combined for cut 'Hokutosei' flowers.

Pulse solution ^z	Transport ^y	
	Type of transport ^x	Solution in the bucket
Tap water	Dry	
Tap water	Wet	antimicrobial compounds ^w
0.2mM STS	Dry	
0.2mM STS	Wet	antimicrobial compounds
4%Suc+0.2mM STS+10 μ M (±)ABA+0.5mL \cdot L ⁻¹ CMI/MI	Wet	1%Sucrose+antimicrobial compounds

^zPulse solutions were treated to cut flowers just after harvest at 18℃ in the dark for 22h.

^y After pulsing, cut flowers were transported for about 45 h, and the temperature and relative humidity during transport were referred to Fig. 23.

^x Wet or dry indicate that cut flowers were transported with or without keeping in the solution, respectively.

^w Antimicrobial compounds were the combination of $0.5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ CMI/MI with $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ aluminum sulfate.

よび STS → 湿式の合計 20 本はプラスチック容器に抗菌剤を入れた液に挿した状態で 1 箱に詰められた。4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロース処理の切り花 10 本は空間を埋めるための切り花 30 本と合わせて 1 箱に詰められた。翌日の 9 月 13 日に切り花を北海道立花・野菜技術センターから、北空知広域農業共同組合連合会の集荷場（北海道深川市）まで運び、そこから冷凍車で苫小牧市のフェリーターミナルまで輸送した。苫小牧からフェリーで仙台市のフェリーターミナルまで輸送し、そこから再び冷凍車で北足立市場の（株）第一花き（東京都足立区）まで輸送した。第一花きには 9 月 14 日夕方到着した。9 月 15 日の早朝に花き研究所（茨城県つくば市）から第一花きまで切り花を取りに行き、その日の午前中に花き研究所に搬入された。すべての切り花は同条件で輸送された。花き研究所に搬入後直ちに、すべての切り花を茎基部より 2cm 切り戻してから蒸留水に挿し、23℃、相対湿度 70%、PPFD 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、12 時間日長の条件下に移し、花持ちの調査を行った。

前処理前後および輸送後に切り花の新鮮重を測定した。蒸留水に移した後も、新鮮重および容器と蒸留水をあわせた重さを毎日測定した。切り花を挿さずに蒸留水のみを入れた容器についても、蒸留水と容器をあわせ

た重さを毎日計測し、蒸留水の自然蒸発量を測定した。これらの値をもとに、切り花の吸水量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) および水分損失量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) を算出した。切り花の新鮮重は前処理開始直前の値を 100% として、相対値で算出している。輸送後の切り戻しによる新鮮重の減少を補正するため、Ichimura and Shimizu-Yumoto (2007) の計算式を用いた。切り花の花持ちは輸送処理後花柄が曲がらず、花弁の張りがある小花が 4 個未満になるまでとした。葉の日持ちについては半分以上の葉が張りがなくなり垂れ下がるまでとした。4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースの処理が現行の処理に比べて、花持ちに有意な差があるか Dunnett 法を行って検定した。

2. 結果および考察

輸送中の温度および相対湿度の推移を第 23 図に示す。北海道深川市の北空知広域農業共同組合連合会の集荷場から東京都足立区の北足立市場までの輸送時間は約 31 時間であった。輸送温度は集荷場から苫小牧間で途中 22.6℃まで上昇したが、その後徐々に低下し苫小牧に到着した時点では 15.5℃になった。その後は市場に到着する直前までの約 21 時間は 11℃程度で推移した。市場内

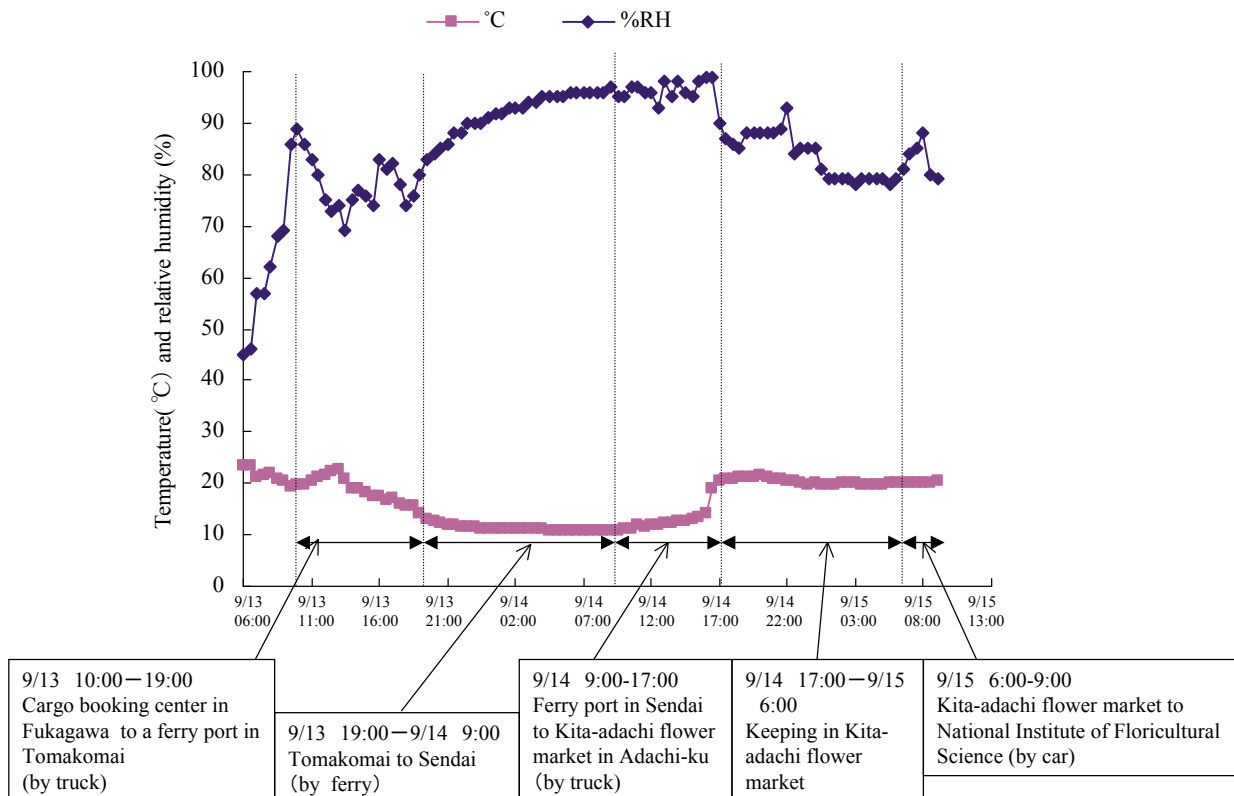


Fig. 23. Change in temperature and relative humidity during transport of cut 'Hokutosei' flowers from Hokkaido to Ibaraki.

では 20℃ 程度の環境下に約 11 時間置かれた。収穫から花き研究所に到着するまで約 72 時間かかった。

4% スクロース + STS + ABA で前処理を行い、1% スクロースの入ったバケツで実際に輸送し、現行と品質保持効果の比較を行った。結果を第 27 表に示す。4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースは、水道水 → 乾式、水道水 → 湿式および STS → 湿式とは 1% 水準で、STS → 乾式とは 5% 水準で有意に花持ちが延長した。さらに、4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースは、水道水 → 乾式、水道水 → 湿式および STS → 湿式とは 1% 水準で有意に葉の日持ちを延長した (第 27 表)。これらの結果から、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行い、1% スクロースを処理しながら低温で輸送する方法は既存の方法に比べてトルコギキョウの品質保持に優れることが実証された。

葉の日持ちに関しては、4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロースは STS → 乾式と比較して延長する傾向がみられたが、統計上の有意差はなかった (第 27 表) ことから、シミュレーション試験に比べて葉の日持ち延長効果は劣る可能性が示唆された。さらに、葉の萎凋が進むと最終的に葉が縮れる症状がみられた (データ略)。これはシミュレーション等実験室内で行った試験では観察されなかった。この原因の一つとして考えられるのは (±) ABA の使用である。(±) ABA は天然型の (+) ABA と光学異性体である非天然型の (-) ABA が等量入った試薬であること、気孔閉鎖は (+) ABA に特異的な作用であることから (Kriedemann et al., 1972)、10μM (±) ABA では気孔閉鎖作用が劣った可能性が考えられた。シミュレーション試験に比べて、ABA 添加区と他

の処理との切り花の水の損失量および吸収量の差が小さいことから (第 24 図)、ABA の効果が不十分である可能性が示唆された。

本実験では水道水および STS 処理ともに乾式輸送が湿式輸送に比べて花持ちがやや長くなった (第 27 表)。これは前節とは異なり、乾式輸送も湿式輸送と同様に低温で輸送されたため、乾式輸送した切り花の花持ちの低下が抑えられ、その結果処理間の差が小さくなったのではないかと考えられる。バラおよびシュコンカスミソウ切り花の乾式輸送シミュレーションにおいて、低温輸送により切り花の新鮮重の低下が抑えられ、花持ちが長くなることが示されている (Hu et al., 1998b; 宮前ら, 2007)。一方、乾式輸送中に切り花の茎基部ではバクテリア数の増加 (van Doorn and de Witte, 1991) や気泡の茎内への混入 (van Doorn, 1990) 等により導管閉塞が起り、茎の水通導性が低下する (Hu et al., 1998a) と考えられている。そのため、切り戻しを行わずに生け水に挿すと、水の吸収が抑制され花持ちが短くなると考えられる (Hu et al., 1998b)。本実験ではすべての切り花で輸送後切り戻しを行っているため、乾式輸送中の空気やバクテリアなどの影響が取り除かれ、水が十分に吸収できたのではないかと考えられる。このことも、乾式と湿式の花持ちの差が小さくなった一因であることが示唆される。

新鮮重はすべての処理で前処理後に収穫時よりも 7 ~ 8% 増加した (第 25 図)。31 時間の輸送中に水道水 → 乾式では収穫時程度、STS → 乾式では収穫時の 96% まで低下した。輸送後すべての処理区で新鮮重は増加した。特に 4% スクロース + STS + ABA → 1% スクロース

Table 27. Effects of pulse and transport treatments on the vase life and bud opening in cut 'Hokutosei' flowers.

Treatment (pulse → transport)	Vase life (days)		Rate of bud opening ^x (%)
	Flower ^z	Foliage ^y	
TW → Dry	7.8** ^w	4.6**	53
TW → Wet	7.0**	5.5**	48
STS → Dry	9.7*	7.4ns	68
STS → Wet	7.8**	6.2**	51
4%Suc+STS+ABA → Wet (1%Suc)	11.8	9.0	82

Values are means of 10 replications.

The details of these treatments were shown in Table 26.

^z Vase life of flowers was determined as the interval from treatment to when the number of open florets with erect pedicels was less than four.

^y Vase life of foliage was defined as the days when more than half leaves lost turgor.

^x Number of bud opening during vase life of cut flowers / number of bud at harvest × 100

^w ns, *, **: nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01 , respectively compared to treatment in the last column by Dunnett test.

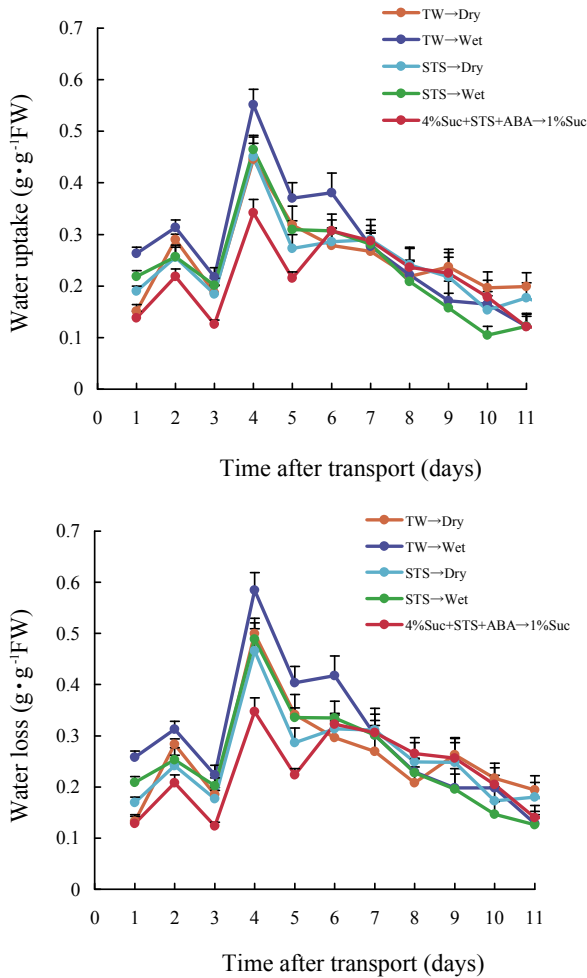


Fig.24. Effects of various pulse and transport treatments on water uptake (upper) and water loss (bottom) in cut 'Hokutosei' flowers. The detail of treatments was shown in Table 26. After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. Each plot represents the mean of 10 replications + SE.

スでは収穫後6日目には116%と最も増加率が高くなり、10日目まで他の処理区に比べて高い値を維持した(第25図)。つぼみの開花率は水道水→乾式、水道水→湿式およびSTS→湿式では50%前後であったのに対して、STS→乾式で68%になった(第27表)。さらに、4%スクロース+STS+ABA→1%スクロースでは82%と最もつぼみの開花率が高くなった。切り花あたりの開花小花数は4%スクロース+STS+ABA→1%スクロースで輸送後7日目以降の開花小花数の減少が緩やかであった(第26図)。

切り花を実際に輸送して前処理および輸送処理の効果を調査した結果、4%スクロース+STS+ABA→1%スクロースは他の処理に比べて、切り花の花持ちを延長し、葉の日持ちを延長させ、さらにつぼみの開花を促進

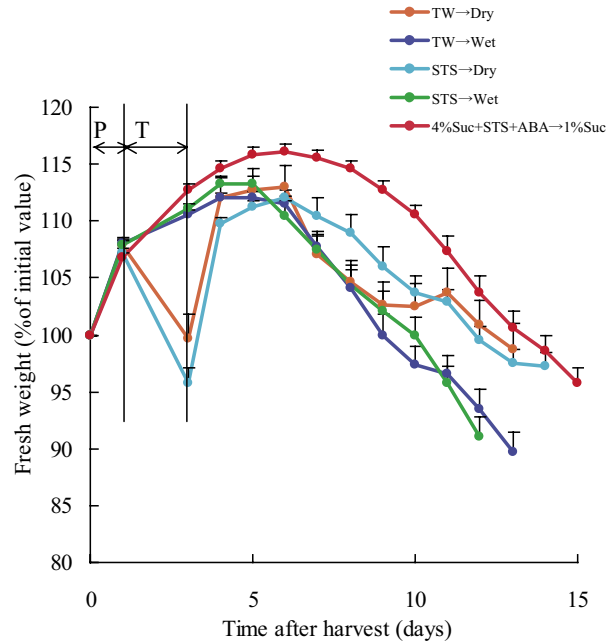


Fig.25. Effects of various pulse and transport treatments on the fresh weight in cut 'Hokutosei' flowers. The detail of treatments was shown in Table 26. After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. P and T indicate the periods of pulse and simulated transport treatments, respectively. Each plot represents the mean of 10 replications + SE.

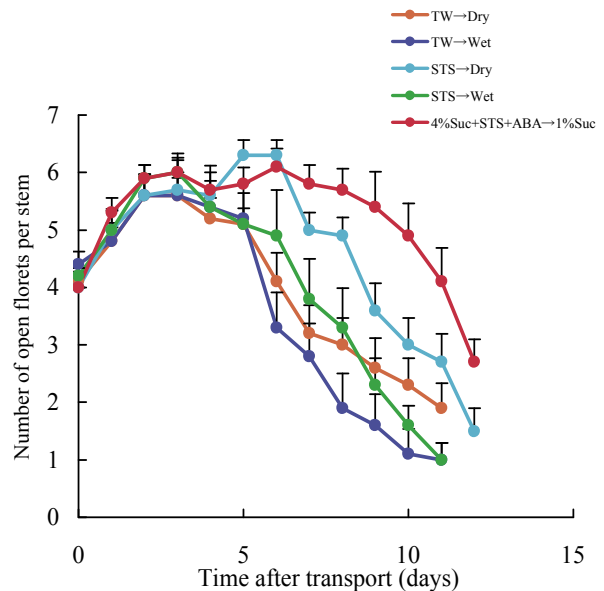


Fig.26. Effects of various pulse and transport treatments on the number of open florets per stem in cut 'Hokutosei' flowers. The detail of treatments was shown in Table 26. After simulated transport, cut flowers were put in the distilled water during the experiment. Each plot represents the mean of 10 replications + SE.

したことから、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行い、1% スクロースを処理しながら低温で輸送する方法は既存の方法に比べてトルコギキョウの品質保持に優れることが実証された。また、前節の輸送シミュレーション試験と今回の実証試験においてともに新規処理剤の有効性が示されたことから、実験室内でのシミュレーション試験も処理剤の実用上の効果確認に有効な手法であることが示唆された。

第4節 摘要

トルコギキョウ切り花の花持ち延長に効果的な前処理剤の検討を行った。STS と 4% スクロースを組み合わせた前処理は STS 処理に比べて切り花の花持ち延長、つぼみの開花促進および花色の向上に有効であった。さらに、STS+4% スクロース処理に ABA を加えたところ、花持ちは STS+4% スクロース処理と同程度であり、かつ障害葉の発生を抑えられた。そこで、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行った後、1% スクロース輸送処理液で低温湿式輸送をシミュレートしたところ、現行の方法に比べて花持ちが延長した。さらに、北海道から東京まで実際に輸送し、品質保持剤処理の有効性を検討した。その結果、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行った後、1% スクロース液で輸送した切り花は、現行の方法で処理および輸送した切り花に比べて花持ちが延長し、つぼみの開花が促進された。

第5章 総括

トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum*) 切り花は様々な花の大きさ、花型および花色の異なった品種が毎年次々と育成されており、品種のバリエーションが充実している。また日本で育種が行われていることから、今後ますます重要な切り花品目となることが予想される。しかし、日本で主要花きになってから年月が浅いため、栽培に関する研究が多く収穫後生理の観点からの研究報告はまだ少ない。トルコギキョウ ‘あすかの波’ において、花の老化にエチレンが関与しており、受粉によって花持ちが著しく短縮する切り花であることが明らかにされている。しかし、現状では品質保持剤を用いない生産者がほとんどである。近年、消費者は花持ちがよい切り花を購入したいと望んでおり、花持ちの良い品種を育成することは育種上の重要な目標になっている。今日、日本の切り花の生産量が漸減している中で、トルコギキョウ

ウ切り花の消費を今後増加させるには、収穫後生理に関する詳細な研究を行い、花持ちを向上させる技術開発が必要である。

本研究において第1章では受粉による花持ち短縮に影響を与える要因について、第2章では花の老化の品種間差の要因について明らかにした。第3章では切り花へのスクロース処理による障害葉の発生機構を解明し、さらに発生抑制技術を開発した。そして、第4章では第3章の結果をふまえてトルコギキョウ切り花の花持ち延長に効果的な前処理剤の開発を行い、前処理剤の有効性を輸送シミュレーションおよび実証試験により検証した。得られた結果を概括すると以下のようになる。

第1章では受粉による花持ち短縮に影響を及ぼす複数の要因について調査した。第1節ではトルコギキョウ 13 品種において、自家受粉により 10 品種で花持ちが有意に短縮したことから、トルコギキョウの多くの品種において自家受粉により花持ちが短縮することが示唆された。また、柱頭から葯までの距離には著しい品種間差があり、柱頭から葯までの距離と受粉花の割合には高い負の相関関係が認められた。そのため、柱頭から葯までの距離による自家受粉しやすさは受粉による老化促進に影響を及ぼす要因の一つであると考えられた。しかし、受粉しやすさと花持ちの間には高い相関関係が認められなかった。その理由として、未受粉の小花においても花持ちに著しい品種間差が認められること、観察が静止状態で行われたことにより、柱頭に付着した花粉が少量であったため受粉の影響が大きくなかったと推測された。放任状態の未除雄小花の花持ちが受粉の影響を取り除いた除雄小花の花持ちよりも有意に短縮しなかったことから、受粉量は受粉による花持ちの短縮に影響を与える要因である可能性が考えられた。そこで、第2節において柱頭の受粉面積を柱頭の端に花粉を付着させる 1/8 面積受粉と、柱頭全面に受粉させる全面受粉が花持ちに及ぼす影響について調査した。その結果、1/8 面積受粉に比べて全面受粉で花持ちが短くなり、エチレン生成量の増加時期および花粉管の伸長も全面受粉で早まった。これらの結果から、柱頭の受粉面積は受粉による花持ち短縮に影響を与えることが示された。ところで、花粉は柱頭に付着した後、吸水し発芽に至る。柱頭に付着した花粉数と発芽可能花粉数のどちらが花持ちの短縮に重要なのか第3節で検討した。電子レンジでの加熱時間を変えることにより、生存率の異なる花粉を作成した。それらの花粉を用いて受粉したところ、生存率の低い花粉ほど受粉後の花持ちは短縮しなかった。また、生存率の低

い花粉ほど花柱中の花粉管の本数が少なくかつ伸長も遅い結果になった。いずれの花粉も柱頭全面に受粉したことから、柱頭に付着した花粉数には大きな差はないと考えられる。そのため、柱頭上に付着する発芽可能花粉数が花の老化促進に影響を及ぼすことが明らかになった。以上のことから、柱頭から葯までの距離、柱頭の受粉面積、発芽可能花粉数は受粉による花持ち短縮に影響を与える要因であることが明らかになった。また、柱頭から葯までの距離が短い品種ほど柱頭に多量に花粉が付着することで花持ちが短くなる可能性が高くなると推察された。

第2章では受粉の影響を受けない場合の花持ちの品種間差と受粉後の花持ちの品種間差におけるエチレンの関与についてそれぞれ調査した。第1節ではトルコギキョウ6品種の未受粉時のエチレン生成量およびエチレンに対する感受性をした。その結果、いずれの品種も花の老化に伴ってエチレン生成が増加した。また、エチレン生成量が多い品種ほど花持ちが短いという明確な関係は認められなかった。未受粉時の花持ちが短い品種は、エチレン処理により花径の減少が促進され、未受粉時の花持ちの長い品種は花径の減少が少ない傾向がみられた。このことから、エチレンに対する感受性が未受粉小花の花持ちに影響を与える要因の一つであることが示唆された。第2節では、受粉後の花持ちの短縮程度の品種間差とエチレンの関係について調査した。その結果、受粉後の花持ちの長い品種と短い品種では、受粉後のエチレン生成量および花粉管の伸長程度は変わらなかった。しかし、受粉後のエチレン処理により花持ちの長い品種では花径の減少が少なかった。また、エチレン処理後の花持ち日数も花持ちが短い品種では短縮したが、花持ちが長い品種では無処理とほぼ同じであった。以上の結果から、受粉後の花持ちが長い品種はエチレンに対する感受性が低いため花の萎凋が遅れると考察された。トルコギキョウにおいてエチレンに対する感受性は未受粉時および受粉時の花持ちの品種間差に影響を及ぼす要因の一つであると考えられた。

第3章以降では切り花の品質保持技術に関する研究を行った。トルコギキョウではエチレン作用阻害剤であるチオ硫酸銀錯塩 (STS) を処理する生産者もみられるが、STS はつぼみの開花や花色の向上には効果が無い。トルコギキョウ切り花への高濃度のスクロースの前処理はその点を改善できるが、処理中に葉に障害が発生することがある。第3章ではスクロース処理による葉の障害について発生条件および発生機構の解明と発生抑制

技術の開発を目的として実験を行った。まず、葉の障害部位の状態について第1節で縦断切片の観察と糖分析を行った。その結果、障害部分では表皮細胞の厚さが薄くなり、通常縦に長い柵状細胞が横につぶれた形状になっていた。また、葉の厚さ自体も健全葉のほぼ半分になっていた。4% スクロース処理と無処理で葉の糖濃度を比較したところ、4% スクロース処理により葉のスクロース濃度が著しく高くなった。これらの結果から、スクロース処理により葉のスクロース濃度が高まると、局所的に細胞の脱水および収縮が起き水浸状の障害として肉眼で観察されたのではないかと推測された。第2節では、前処理時のスクロース濃度と相対湿度条件が葉の障害発生に及ぼす影響について調査した。その結果、4% スクロース処理を低湿度条件で行うと障害の発生率が高くなり、2% スクロースではいずれの湿度条件においても障害は発生しなかった。また、処理液の吸収量はいずれのスクロース濃度においても相対湿度が低いほど増加した。これらの結果から、スクロース処理濃度が高くかつ処理液の吸収量が多くなる処理条件下において葉に障害が発生することが明らかになった。第3節で気孔を閉鎖する作用を持つアブシシン酸 (ABA) を4% スクロースと組み合わせることにより処理液の吸収量を減少させ、障害の発生を抑制することを試みた。その結果、4% スクロース処理で葉に障害の発生がみられたのに対して、4% スクロース+ ABA 処理では障害の発生はみられなかった。また、ABA を加えた処理で処理液の吸収量が減少することが示された。花持ちに関しては4% スクロース+ ABA 処理は4% スクロース処理に比べて短縮することはなく、かえって開花小花数の減少が緩やかになり、さらに葉の日持ちが著しく延長した。第4節では4% スクロース処理で葉に障害が発生した切り花と、4% スクロース+ ABA 処理で障害の発生が抑制された切り花において、吸収したスクロース由来の炭素の切り花における分布と移動を安定同位体を用いて比較した。その結果、処理直後4% スクロース処理では下位および中位葉の吸収したスクロース由来の炭素量が非常に多くなった。一方、4% スクロース+ ABA 処理では下位および中位葉における吸収したスクロース由来の炭素量は4% スクロース処理に比べて著しく少なくなった。また、最下葉の気孔コンダクタンスは4% スクロース+ ABA 処理により著しく低下した。これは、ABA によって葉の気孔が閉鎖され蒸散が減少したことを示唆する。以上のことから、スクロース処理による障害葉の発生機構は、葉の蒸散が盛んな条件でスクロースを前処理すると吸収した糖が葉に

多量に蓄積し、葉内の糖濃度が上昇し細胞が脱水、収縮することで水浸状の障害となると考察された。4% スクロースと ABA を組み合わせた処理では ABA の気孔閉鎖作用により葉からの蒸散が抑制されるため、吸収した糖の葉への蓄積が抑えられ、障害の発生が抑制されると考えられた。さらに、4% スクロースと ABA を組み合わせた処理は 4% スクロース単独処理に比べて花持ちが短縮しないこと、開花小花数の減少が緩やかであること、葉の日持ちを著しく延長することから、トルコギキョウの前処理には有効な処方であると判断された。

第4章において、トルコギキョウ品質保持効果の高い前処理の検討を行い、決定した処方が実的に有効であるか輸送シミュレーションおよび実証試験により検証した。第1節において、STS と 4% スクロースを組み合わせた処理の検討を行った。その結果、STS 単独処理ではつばみの開花促進および花色の向上には効果が認められなかったのに対して、STS と 4% スクロースを組み合わせた前処理は切り花の花持ち延長に有効だけでなく、つばみの開花促進および花色の向上に有効であった。次に、前章でスクロースによる障害葉の発生抑制に効果があった ABA を、STS + 4% スクロースと組み合わせた処方を検討した。その結果、STS + 4% スクロース + ABA 処理は障害葉の発生抑制に有効であり、かつ花持ちおよび葉の日持ちに関しても、STS + 4% スクロース処理と同等であったことから、トルコギキョウ切り花の前処理液として有用であると判断された。切り花は生産地から市場へ輸送された後小売業者へと運ばれる。そのため、切り花を収穫してから消費者の手に渡るまでに通常数日かかり、その間の取り扱いによっては切り花の花持ちが低下する。STS + 4% スクロース + ABA の前処理が実的に有効であるか判断するためには、前処理後に輸送期間を経た切り花の花持ちを調査する必要がある。近年、低温湿式輸送が従来からの乾式輸送に比べて高鮮度な切り花を市場に供給できることからトルコギキョウにおいて導入が進んでいる。そこで、第2節以降で 4% スクロース + STS + ABA の前処理と低温湿式輸送の組み合わせと、既存の前処理および輸送方法との花持ちを比較した。まず、第2節では前処理した切り花を 24 時間のシミュレーション輸送を行い花持ちを調査した。その結果、4% スクロース + STS + ABA 前処理と 1% スクロース輸送液を用いた低温湿式輸送は花持ちの延長、葉の日持ち延長およびつばみの開花促進に有効であることが明らかになった。実際に切り花を輸送する場合には冷凍車の冷却性能や輸送中の振動、市場での保

管環境など、シミュレーションでは想定できない事態が起こる可能性が考えられる。そこで、第3節では北海道から東京まで前処理した切り花を実際の流通ルートで輸送し、花持ちを調査した。その結果、4% スクロース + STS + ABA 前処理と 1% スクロース輸送液を用いた処理は花持ちの延長、葉の日持ち延長およびつばみの開花促進に有効であった。これらの結果から、4% スクロース + STS + ABA の前処理を行った後、1% スクロース液で低温湿式輸送する方法はトルコギキョウ切り花の品質保持に有効であり、現場段階で実用化可能な技術であることが明らかになった。

本研究の実用的な意義は大きく分けて2つある。1つは花持ちの長い品種を育成する上で有益な情報を提供しているということである。第1章の結果は柱頭から葯までの距離が長い品種は柱頭に花粉が付着しにくく、受粉による花持ち短縮のリスクが低減することを示しており、柱頭から葯までの距離による選抜が花持ちのよい品種の育成につながる。第2章では未受粉時の花持ちおよび受粉後の花持ちの長い品種はエチレン処理による花径の減少が少ない傾向がみられ、花持ちの品種間差にエチレンに対する感受性が関わっている可能性が示唆された。この結果は花持ちの長い系統の簡易検定法の開発につながると考えられた。2つ目は、トルコギキョウ切り花の品質保持上の意義である。トルコギキョウでは切り花に前処理を行わずに出荷する生産者が多い。エチレン作用阻害剤である STS を処理する生産者もいるが、STS はつばみの開花や花色向上に効果がない。このように、現状ではトルコギキョウ切り花の品質保持技術は十分確立されていないと考えられる。第3章によりクロース処理による障害葉の発生機構を解明し、4% スクロースと ABA を組み合わせた前処理は障害の発生を抑制し、花持ち延長と葉の萎凋遅延に有効であることを明らかにした。さらに、第4章で STS、4% スクロースおよび ABA を組み合わせた前処理は花持ち延長に有効であることを実証した。本研究はトルコギキョウの育種面および品質保持技術面からトルコギキョウの花持ちを向上させることにつながると考えられ、トルコギキョウ切り花の需要拡大に貢献できるものと期待される。

引用文献

- Burg, S. P. and M. J. Dijkman. 1967. Ethylene and auxin participation in pollen induced fading of vanda orchid blossoms. *Plant Physiol.* 42: 1648-1650.

- Chen, Y-F., M. D. Randlett, J. L. Findell and G. E. Schaller. 2002. Localization of the ethylene receptor ETR1 to the endoplasmic reticulum of *Arabidopsis*. J. Biol. Chem. 277: 19861-19866.
- Clark, D., C. Richards, Z. Hilioti, S. Lind-Iversen and K. Brown. 1997. Effect of pollination on accumulation of ACC synthase and ACC oxidase transcripts, ethylene production and flower petal abscission in geranium (*Pelargonium × hortorum* L. H. Bailey). Plant Mol. Biol. 34: 855-865.
- Dilley, D. R. and W. J. Carpenter. 1975. The role of chemical, adjuvants and ethylene synthesis on cut flower longevity. Acta Hort. 41: 117-133.
- 土井元章・胡 欲暎・今西英雄. 2000. 異なる水蒸気圧下で保持したバラ切り花の水関係に影響する要因. 園学雑. 69: 517-519.
- 土井元章・長井伸夫・今西英雄. 1999. シュツコンカスミノウ切り花の品質保持に及ぼす輸送環境の影響. 園学雑. 68: 635-639.
- Fan, X., S. M. Blankenship and J. P. Matteis. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. J. Am. Soc. Hort. Sci. 124: 690-695.
- Ferrante, A., P. Vernieri, G. Serra and F. Tognoni. 2004. Changes in abscisic acid during leaf yellowing of cut stock flowers. Plant Growth Regul. 43:127-134.
- Gilissen, L. J. W. 1977. Style-controlled wilting of flower. Planta 133: 275-280.
- Goto, R., R. Aida, M. Shibata and K. Ichimura. 1999. Role of ethylene on flower senescence of *Torenia*. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 68: 263-268.
- Halevy, A. H. and A. M. Kofranek. 1984. Evaluation of lisianthus as a new flower crop. HortScience 19: 845-847.
- Halevy, A. H. and S. Mayak. 1981. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, part2. Hort. Rev. 3: 59- 143.
- Halevy, A., S. Mayak, T. Tirosh, H. Spiegelstein and A. M. Kofranek. 1974. Opposing effects of abscisic acid on senescence of rose flowers. Plant Cell Physiol. 15: 813-821.
- Hilioti, Z., C. Richards and K. M. Brown. 2000. Regulation of pollination-induced ethylene and its role in petal abscission of *Pelargonium × hortorum*. Physiol. Plant. 109: 322-332.
- 平谷敏彦・清水弘子・市村一雄. 2002. ブルースター (*Oxypetalum caeruleum*) 切り花の品質保持に及ぼす STS,1-MCP およびスクロース処理の影響. 園学研. 1: 67-70.
- 平山隆志. 2003. 受容と信号伝達 - エチレン エチレンの受容と情報伝達機構. 植物の生長調節. 38: 65-74.
- Holden, M. J., J. A. Marty and A. Singh-Cundy. 2003. Pollination-induced ethylene promotes the early phase of pollen tube growth in *Petunia inflata*. J. Plant Physiol. 160: 261-269.
- Hu, Y., M. Doi and H. Imanishi. 1998a. Competitive water relations between leaves and flower bud during transport of cut roses. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 67: 532-536.
- Hu, Y., M. Doi and H. Imanishi. 1998b. Improving the longevity of cut roses by cool and wet transport. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 67: 681-684.
- Huang, K. L. and W. S. Chen. 2002. BA and sucrose increase vase life of cut *Eustoma* flowers. HortScience 37: 547-549.
- Ichimura, K. and R. Goto. 2000. Acceleration of senescence by pollination of cut 'Asuka-no-nami' *Eustoma* flowers. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 69: 166-170.
- Ichimura, K. and T. Hiraya. 1999. Effect of silver thiosulfate complex (STS) in combination with sucrose on the vase life of cut sweet pea flowers. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 68: 23-27.
- Ichimura, K., K. Kohata and R. Goto. 2000a. Soluble carbohydrates in *Delphinium* and their influence on sepal abscission in cut flowers. Physiol. Plant. 108: 307-313.
- Ichimura, K., K. Kohata, M. Koketsu, M. Shimamura and A. Ito. 1998a. Identification of pinitol as a main sugar constituent and changes in its content during flower bud development in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). J. Plant Physiol. 152: 363-367.
- Ichimura, K., K. Kohata, Y. Musaka, Y. Yamaguchi, R. Goto and K. Suto. 1999. Identification of L-bornesitol and changes in its content during flower bud development in sweet pea (*Lathyrus odoratus* L.). Biosci. Biotechnol. Biochem. 63: 189-191.
- Ichimura, K., K. Kohata, Y. Yamaguchi, M. Douzono, H. Ikeda and M. Koketsu. 2000b. Identification of L-inositol and scyllitol and their distribution in various organs in chrysanthemum. Biosci. Biotechnol. Biochem. 64: 865-868.
- Ichimura, K. and M. Korenaga. 1998. Improvement of vase life and petal color expression in several cultivars of cut *Eustoma* flowers using sucrose with 8-hydroxyquinoline sulfate. Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Orn. Plants and Tea, Japan 13: 31-39.
- Ichimura, K., M. Shimamura and T. Hisamatsu. 1998b. Role of ethylene in senescence of cut *Eustoma* flowers. Posthav. Biol. and Technol. 14: 193-198.
- Ichimura, K., H. Shimizu, T. Hiraya and T. Hisamatsu. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the vase life of cut carnation, *Delphinium* and sweet pea flowers. Bull. Natl. Inst. Flor. Sci. 2: 1-8.

- Ichimura, K. and H. Shimizu-Yumoto. 2007. Extension of the vase life of cut roses by treatment with sucrose before and during simulated transport. *Bull. Natl. Inst. Folor. Sci.* 7: 17-27.
- Ichimura, K. and K. Suto. 1999. Effects of the time of sucrose treatment on vase life, soluble carbohydrate concentrations and ethylene production in cut sweet pea flowers. *Plant Growth Regul.* 28: 117-122.
- 今西弘子・米沢富士雄・今西英雄. 1992. 花に対する花店利用者の意識. *園学雑*. 60: 981-987.
- 石原義啓・大川 清・兵藤 宏. 1991. スイートピー切り花の老化とエチレン生成. *園学雑*. 60: 141-147.
- Kawabata, S., Y. Kusahara, Y. Li and R. Sakiyama. 1999. The regulation of anthocyanin biosynthesis in *Eustoma grandiflorum* under low light conditions. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 68: 519-526.
- Kohl, H. C. and D. L. Rundle. 1972. Decreasing water loss of cut roses with abscisic acid. *HortScience* 7: 249.
- Kriedemann, P. E., B. R. Loveys, G. L. Fuller and A. C. Leopold. 1972. Abscisic acid and stomatal regulation. *Plant Physiol.* 49: 842-847.
- Larsen, P. B., E. N. Ashworth, M. L. Jones and W. R. Woodson. 1995. Pollination-induced ethylene in carnation 1. Role of pollen tube growth and sexual compatibility. *Plant Physiol.* 108: 1405-1412.
- Markhart, A. H. III and M. S. Harper. 1995. Deleterious effects of sucrose in preservative solutions on leaves of cut roses. *HortScience* 30: 1429-1432.
- Mayak, S. and D. Dilley. 1976a. Effect of sucrose on response of cut carnation flowers to kinetin, ethylene and abscisic acid. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 101: 583-585.
- Mayak, S. and D. Dilley. 1976b. Regulation of senescence in carnation (*Dianthus caryophyllus*). Effect of abscisic acid and carbon dioxide on ethylene production. *Plant Physiol.* 58: 663-665.
- 水戸喜平. 2003. 品種および品種改良 品種の特性と分類. p46-53. 大川 清 (編/著). 実践花き園芸技術 トルコギキョウ 栽培管理と開花調節. 誠文堂新光社. 東京.
- 宮前治加・伊藤吉成・神藤 宏. 2007. シュッコンカスミソウ切り花の乾式および湿式輸送条件下における輸送時間と温度が花持ちに及ぼす影響. *園学研*. 6: 289-294.
- 本図竹司. 1998. トルコギキョウ切花・観賞期間の品種間差と今後. *施設園芸* 40(7): 22-25.
- Müller, R., A. S. Andersen and M. Serek. 1998. Differences in display life of miniature potted roses (*Rosa hybrida* L.). *Sci. Hortic.* 76: 59-71.
- 中西テツ. 1994. 花粉の生死判定. p75-76. 日本花粉学会 (編). 花粉学事典 (新装版). 朝倉書店. 東京.
- Nichols, R. 1971. Induction of flower senescence and gynaecium development in the carnation (*Dianthus caryophyllus*) by ethylene and 2-chloroethylphosphonic acid. *J. Hort. Sci.* 46: 323-332.
- 農林水産省生産局園芸課花き産業振興室. 2008. 平成19年度バケツト低温流通実績調査.
- 農林水産省生産局果樹花き課. 2003. 平成15年度花き需要別消費状況調査.
- 農林水産省大臣官房統計部. 1986～2008. 花き生産出荷統計.
- 農林水産省大臣官房統計部. 1994～2007. 花き卸売市場調査.
- Nukui, H., S. Kudo, A. Yamashita and S. Satoh. 2004. Repressed ethylene production in the gynoecium of long-lasting flowers of the carnation 'White Candle': role of the gynoecium in carnation flower senescence. *J. Exp. Bot.* 55: 641-650.
- 小川孔輔. 2004. 切り花輸入最新事情. 日本農業新聞:14925号
- 大川 清. 2003a. ふるさと・・・自生地および自生種. p14-19. 大川 清 (編/著). 実践花き園芸技術 トルコギキョウ 栽培管理と開花調節. 誠文堂新光社. 東京.
- 大川 清. 2003b. 品種および品種改良. p20-27. 大川 清 (編/著). 実践花き園芸技術 トルコギキョウ 栽培管理と開花調節. 誠文堂新光社. 東京.
- 小野崎 隆. 2002. カーネーションの萎ちょう細菌病抵抗性育種と薬剤および交雑育種による花持ち性の向上. 花き研究所研究報告. 1: 1-85.
- Onozaki, T., H. Ikeda and M. Shibata. 2004. Video evaluation of ethylene sensitivity after anthesis in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. *Sci. Hortic.* 99: 187-197.
- Porat, R., A. Borochoy, A. H. Halevy, and S. D. O' Neill. 1994. Pollination-induced senescence of *Phalaenopsis* petals. *Plant Growth Regul.* 15: 129-136.
- Porat, R., A. H. Halevy, M. Serek and A. Borochoy. 1995. An increase in ethylene sensitivity following pollination is the initial event triggering an increase in ethylene production and enhanced senescence of *Phalaenopsis* orchid flowers. *Physiol. Plant.* 93: 778-784.
- Porat, R., Y. Reuveny, A. Borochoy and A. H. Halevy. 1993. Petunia flower longevity: the role of sensitivity to ethylene. *Physiol. Plant.* 89: 291-294.
- Reid, M. S., D. W. Fujino, N. E. Hoffman and C. S. Whitehead. 1984. 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)- the transmitted stimulus in pollinated flowers? *J. Plant Growth*

- Regul. 3: 189-196.
- Sacalis J. N. and D. Durkin. 1972. Movement of ^{14}C in cut roses and carnation after uptake of ^{14}C -sucrose. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97: 481-484.
- Sanchez, A. M. and C. Mariani. 2002. Expression of the ACC synthase and ACC oxidase coding genes after self-pollination and incongruous pollination of tobacco pistils. Plant Mol. Biol. 48: 351-359.
- Schroeder, K. R. and D. P. Stimart. 2005. Comparison of stomatal density and postharvest transpiration between long- and short-lived cut flower genotype of *Antirrhinum majus* L. J. Am. Soc. Hort. Sci. 130: 742-746.
- Serek, M. and E. C. Sisler. 2001. Efficacy of inhibitors of ethylene binding in improvement of the postharvest characteristics of potted flowering plants. Postharv. Biol. Technol. 23: 161-166.
- Serek, M., E. C. Sisler and M. S. Reid. 1995. Effects of 1-MCP on the vase life and ethylene response of cut flowers. Plant Growth Regul. 16: 93-97.
- 島村美佐・岡林秀典. 1997. チオ硫酸銀利用によるトルコギキョウの花持ち延長効果. 高知農技七研報. 6: 53-58.
- 六戸良洋. 1996. ナス類の開花・結実と果実の発育・成熟. p.79-104. 斎藤 隆 (編). 新版 蔬菜園芸学 文永堂出版. 東京.
- Singh, A., K. B. Evensen and T-H Kao. 1992. Ethylene synthesis and floral senescence following compatible and incompatible pollinations in *Petunia inflata*. Plant Physiol. 99: 38-45.
- Sisler, E. C., M. Serek and E. Dupille. 1996. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. Plant Growth Regul. 18: 169-174.
- 総務省統計局. 2005. 家計調査年報.
- Stead, A. D. and K. G. Moore. 1979. Studies on flower longevity in *Digitalis*. Pollination induced corolla abscission in *Digitalis* flowers. Planta 146: 409-414.
- Tanase, K., T. Onozaki, S. Satoh, M. Shibata and K. Ichimura. 2008. Differential expression levels of ethylene biosynthetic pathway genes during senescence of long-lived carnation cultivars. Postharv. Biol. Technol. 47: 210-217.
- Torre, S. and T. Fjeld. 2001. Water loss and postharvest characteristics of cut roses grown at high or moderate relative air humidity. Sci. Hortic. 89: 217-226.
- Tsukaya, H., T. Ohshima, S. Naito, M. Chino and Y. Komeda. 1991. Sugar-dependent expression of the *CHS-A* gene for chalcone synthase from petunia in transgenic *Arabidopsis*. Plant Physiol. 97: 1414-1421.
- van Doorn, W. G. 1990. Aspiration of air at the cut surface of rose stems and its effect on the uptake of water. J. Plant Physiol. 137: 160-164.
- van Doorn, W. G. and Y. de Witte. 1991. Effect of dry storage on bacterial counts in stems of cut rose flowers. HortScience 26: 1521-1522.
- Veen, H. 1979. Effects of silver on ethylene synthesis and action in cut carnations. Planta 145: 467-470.
- Veen, H. and van de Geijin. 1978. Mobility and ionic form of silver as related to longevity of cut carnations. Planta 140: 93-96.
- Wang, H. and W. R. Woodson. 1989. Reversible inhibition of ethylene action and interruption of petal senescence in carnation flowers by norbornadiene. Plant Physiol. 89: 434-438.
- Wang, H., H. M. Wu and A. Y. Cheung. 1996. Pollination induces mRNA poly(A) tail-shortening and cell deterioration in flower transmitting tissue. Plant J. 9: 715-727.
- Whitehead, C. S. and A. H. Halevy. 1989. Ethylene sensitivity: the role of short-chain saturated fatty acids in pollination-induced senescence of *Petunia hybrida* flowers. J. Plant Growth Regul. 8: 41-54.
- Whitehead, C. S., A. H. Halevy and M. S. Reid. 1984. Roles of ethylene and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in pollination and wound-induced senescence of *Petunia hybrida* flowers. Physiol. Plant. 61: 643-648.
- Woltering, E. J. and W. G. van Doorn. 1988. Role of ethylene in senescence of petals – morphological and taxonomical relationships. J. Exp. Bot. 39: 1605-1616.
- Wu, M. J., W. G. van Doorn and M. S. Reid. 1991a. Variation in the senescence of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cultivars. I. Comparison of flower life, respiration and ethylene biosynthesis. Sci. Hortic. 48: 99-107.
- Wu, M. J., L. Zacarias and M. S. Reid. 1991b. Variation in the senescence of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cultivars. II. Comparison of sensitivity to exogenous ethylene and of ethylene binding. Sci. Hortic. 48: 109-116.
- Yamada, T., Y. Takatsu, M. Kasumi, K. Ichimura and W. G. van Doorn. 2006. Nuclear fragmentation and DNA degradation during programmed cell death in petals of morning glory (*Ipomoea nil*). Planta 224: 1279-1290.
- Yang, S. F. and N. E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 35: 155-189.