スイートピー切り花の老化とエチレン生成

石原義啓・大川 清・兵藤 宏

静岡大学農学部 422 静岡市大谷

Senescence of Cut Sweet Pea Flowers and Ethylene Production

Yoshihiro Ishihara, Kiyoshi Ohkawa and Hiroshi Hyodo

Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Ohya, Shizuoka 422

Summary

The rates of ethylene production and respiration (CO_2 production), and the levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) and N-malonyl ACC (MACC) were determined in the third floret of cut sweet pea (*Lathyrus odoratus* L. cv Diana) flowers held at 20°C. The rate of ethylene production followed a typical climacteric pattern and the floret wilted one day after the peak of ethylene production. The respiration rate gradually decreased after harvest, only with a temporary rise. The ethylene produced by the florets originated mostly from the petals and stamens. It was observed that the levels of ACC and MACC increased as the rate of ethylene production was increased. The patterns of ethylene production by individual petals and stamens nearly coincided with those of the intact florets.

The rates of ethylene production and respiration of the third floret held at 10°, 20° and 30°C were compared. At all temperatures the patterns seemed to be similar, but the peak of ethylene production was delayed and its amount was smaller at the lowest temperature. The respiration rate was also reduced at lower temperatures.

The rates of ethylene production and respiration in the florets treated with silver thiosulfate (STS) were studied in relation to flower wilting. Although the ethylene production rates of the florets and each organ in the floret were markedly inhibited by the pretreatment with STS, the respiration rates were barely affected. Wilting of the floret was strongly suppressed by the pretreatment with STS, which resulted in a considerable elongation of vase life of cut sweet pea flowers.

緒 言

スイートピー (*Lathyrus odoratus* L.) は切り花の花持ちが悪く、花卉が軟弱で損傷しやすいため、長時間の輸送が困難であることが大きな問題となっているが、切り花の花持ちや花卉の損傷による品質の劣化は、出荷前にエチレンの作用阻害剤であるチオ硫酸銀 (silver thiosulfate, STS) を処理することにより著しく改善されることが報告されている (8, 9)。このことから、スイートピーの切り花の老化におけるエチレンの関与が考えられ、Mor ら (8) によって、その関与の概要が明らかにされた。

そこで、スイートピーの切り花の老化におけるエチ

レンの関与をより詳細に明らかにする目的で、自家採種した冬咲き系スイートピーの品種‘ダイアナ’の切り花の老化に伴うエチレン生成と呼吸、小花の各器官のエチレン生成と 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC), N-(malonyl) ACC (MACC) の含量を測定した。また、同時に切り花のエチレン生成、呼吸、花持ちに及ぼす気温および STS の影響も調査した。

材料および方法

本実験には自家採種した冬咲き系スイートピーの品種‘ダイアナ’を供試し、種子を 8 時間水に浸漬した後、催芽処理を 1988 年 8 月 24 日から開始した。5 mm くらい発芽した種子を、静岡大学農学部のカラス温室内の木箱 (41×41×21 cm) に株仕立てした時に株間 20 cm、条間 40 cm、二条の東西うねとなるように 1 か所に 5 粒

ずつ播種した。栽培は最低夜温 5℃、自然日長下で行い、草丈が 15 cm 以上に生長した時点で側枝を着花母枝とするために摘心し、80 cm 以上に生長したときに 1 か所 3 株となるように間引きを行った。また、長くなったつるは根本から横にずらす「つる下げ」の方法で生長点の位置を下げた。施肥管理は、元肥として 1 箱当たり緩効性肥料ロング(N-P-K=13-3-11)100 g と BM 熔燐 150 g を施用し、追肥は植物体の草勢に応じて施用した。かん水はホースによる手かん水で、植物体の生育に応じて行った。採花は 1988 年 12 月 20 日から開始し、下から数えて 3 輪目または 4 輪目の小花が半開以上になった時を切り花の収穫適期とした。

1. 切り花の老化に伴うエチレン生成と呼吸および小花の各器官のエチレン生成と ACC, MACC 含量の変化

実験 1. 小花におけるエチレン生成と呼吸の変化：切り花を収穫後ただちに花序の下から数えて 3 輪目の小花の花柄を 2 cm 残して切り、蒸留水の入ったサンプル管に 1 輪挿した。蒸留水に挿した小花は気温 20℃に制御し、常時蛍光灯で照明した NK 式温度勾配恒温器内(34.97 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$)に置いた。採花当日から毎日小花の開花およびしおれの程度と生体重を測定し、エチレン生成量と呼吸量(CO_2 量)を測定した。小花の開花およびしおれの程度は、花卉の開度から判断して 6 段階のスコアに区別した(第 1 表)。小花のエチレン生成量と呼吸量は、試料を容量 470 ml の容器に 20℃で一定時間密閉した後、内部ガスを 1 ml 採取し、ガスクロマトグラフィーで定量した。密閉時間は前者を 3 時間、後者を 4 時間とした。エチレンの定量には水素炎イオン化検出器(FID)とカラムに活性アルミナを、 CO_2 定量には熱伝導度型検出器(TCD)とカラムにポラパック R を使用した。本実験は、1989 年 1 月 5 日から開始した。

実験 2. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいにおけるエチレン生成の変化：収穫した切り花から 20 本

を選び、実験 1 と同様に調整した小花を蒸留水に挿して、蛍光灯で照明した 20℃の恒温器内に置いた。採花当日から毎日無作為に選んだ 4 個の小花のスコア、生体重、エチレン生成量を測定し、測定日に最も典型的なしおれの段階であると考えられる小花を 2 本選んだ。小花は花弁、雄ずい、雌ずい、小花柄、がく、花床に分解し、生体重を測定した後、エチレン生成量を実験 1 と同様の方法で測定した。また、花弁には容量 140 ml の容器を、他の組織には容量 20 ml のものを使用した。本実験は 1989 年 2 月 21 日から開始した。

実験 3. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいにおける ACC, MACC 含量の変化：収穫した切り花から 20 本を選び、実験 1 と同様に調整した小花を蒸留水に挿して、蛍光灯で照明した 20℃の恒温器内に置いた。採花当日から毎日 4 個の小花を無作為に選び、実験 2 と同様の方法で 2 個選んだ小花を花弁、雄ずい、雌ずいに分解し、生体重とエチレン生成量を測定した。この後、各器官に 80%エタノール 6 ml を加えて磨砕、遠心分離(8,000 g, 15 分間)を行い、その上澄液を 40°~45℃の湯浴中で減圧濃縮し、残渣に蒸留水 3 ml を加えて ACC 分画とした。この ACC 分画 0.5 ml を入れた既知の容量の容器に蒸留水 1.2 ml と 20 mM HgCl_2 を 0.1 ml 加えて密閉した後、水中で 5%NaOCl と飽和 NaOH の混合液(2:1)0.2 ml を注入し、20℃の恒温槽で 2 分 30 秒間振とうして、エチレンを ACC から転換させた。このエチレンをガスクロマトグラフィー(FID)で測定することにより検体の ACC 含量を定量した(7)。なお、ACC 分画 1.0 ml に 4 N HCl 1.0 ml を加えて 100℃で 3 時間加水分解して、MACC を ACC に転換させた。この後、等量の 2 N NaOH で中和し、全 ACC 含量を上述した方法で定量した。MACC 含量は、全 ACC 含量から加水分解前の ACC 含量を引いて求めた。本実験は 1989 年 4 月 21 日から開始した。

2. 切り花のエチレン生成と呼吸に及ぼす気温の影響

実験 4. 小花のエチレン生成と呼吸に及ぼす気温の影響：収穫した切り花から 12 本を選び、実験 1 と同様に調整した小花を蒸留水に挿して、10°, 20°, 30℃の 3 段階の気温に制御し、蛍光灯で照明した恒温器内に置いた。採花当日から毎日小花のスコアと生体重を測定し、エチレン生成量と呼吸量を測定した。本実験は 1989 年 3 月 2 日から開始し、各気温区 4 反復とした。

Table 1. Stage of flower senescence.

Score	Stage of flower senescence
1	Just before anthesis
2	Anthesis
3	Full opening
4	Beginning of wilting
5	Complete wilting
6	Complete senescence

3. 切り花のエチレン生成と呼吸に及ぼすSTSの影響

実験5. 小花のエチレン生成と呼吸に及ぼすSTSの影響: 収穫した切り花(長さ30 cm, 5小花付き)から8本を選び、4本を0.2 mM STS 溶液に1時間挿し、残りの4本を対照区として同じ時間蒸留水に挿した。処理後、実験1と同様に調整した小花を蒸留水に挿し、蛍光灯で照明した20℃の恒温器内に置いた。採花当日から毎日小花のスコアと生体重を測定し、エチレン生成量と呼吸量を測定した。また、STS 処理区は採花7日目以降1日おきに測定を行った。本実験は1989年3月20日から開始し、各処理区4反復とした。

実験6. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいのエチレン生成に及ぼすSTSの影響: 収穫した50本の切り花(長さ30 cm, 5小花付き)から30本を0.2 mM STS 溶液に1時間挿し、残りの20本を対照区として同じ時間蒸留水に挿した。処理後、実験1と同様に調整した小花を蒸留水に挿し、蛍光灯で照明した20℃の恒温器内に置いた。採花当日から毎日4本の花弁を無作為に選び、実験2と同様の方法で2本選んだ小花を花弁、雄ずい、雌ずいに分解し、生体重とエチレン生成量を測定した。また、STS 処理区は採花7日目以降1日おきに測定を行った。本実験は1989年4月4日から開始した。

結 果

1. 切り花の老化に伴うエチレン生成と呼吸および小花の各器官のエチレン生成とACC, MACC 含量の変化

実験1. 小花におけるエチレン生成と呼吸の変化: 小花のエチレン生成量は小花のしおれが始まる1日前の採花2日目に急増し、最大値に達した後、小花のしおれの進行とともに減少した。呼吸量の変化は採花当日が最大で、エチレン生成量の急増とともにわずかに増加したが、全体的には漸減する傾向を示した(第1図)。

実験2. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいにおけるエチレン生成の変化: 小花で生成されるエチレンの大部分は花弁と雄ずいによるもので、雌ずいも多少生成した。これに対して、小花柄、がく、花床はほとんど生成しなかった。花弁と雄ずいのエチレン生成量の変化は、小花全体のエチレン生成パターンとほぼ一致した。雌ずいのエチレン生成は小花のしおれの開始と同時に増加し始め、小花全体のエチレン生成が減少した後も増加し続けた(第2図)。

実験3. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいにおけるACC, MACC 含量の変化: 花弁と雄ずいにおけるACC 含量の変化に、それぞれの組織のエチレン生成量の増大に伴う増加が認められた。これに対して、雌ずいのACC 含量の変化は、エチレン生成量の変化に関係なくほぼ一定の値で推移した(第3図)。花弁、雄ずい、雌ずいにおけるMACC 含量の変化は、いずれもそれぞれの組織で実験期間中増加する傾向にあった。

2. 切り花のエチレン生成と呼吸に及ぼす気温の影響

実験4. 小花のエチレン生成と呼吸に及ぼす気温の影響: 3段階の気温に置いた小花のエチレン生成パターンはほぼ同様で、小花のしおれが始まる1日前に急増して最大値に達した後、小花のしおれの進行とともに減少した。しかし、エチレン生成量がピークに達する時期は30℃区が採花1日目、20℃区が採花2日目、10℃区が採花4日目と、気温が低くなるほど遅くなった。エチレン生成量も気温が低くなるほど抑えられ、特に30℃区と20℃、10℃区ではかなりの差が認め

Fig. 1. Changes in appearance (score), fresh weight, ethylene production and CO₂ production by florets.

Fig. 2. Changes in ethylene production by individual organs of a floret.

Fig. 3-2.

Fig. 3-1.

Fig. 3-3.

Fig. 3. Changes in ethylene production, ACC content and MACC content of petal, stamen and pistil.

Fig. 4. Changes in appearance (score), ethylene production and CO_2 production by a floret held at 10°, 20° and 30°C.

られた。呼吸量の変化は3段階の気温とも採花当日が最大で、漸減する傾向を示したが、気温が低くなるほど最大値も低くなり、減少も緩やかになった。また、20°、10°C区ではエチレン生成量の急増に伴う呼吸量のわずかな増加が認められた。小花の花持ちは気温が低くなるほど良くなり、特に10°C区の花は20°、30°C区のものと比較して満開の状態(スコア3)からしおれ開始の状態(スコア4)までの期間が著しく長かった(第4図)。

3. 切り花のエチレン生成と呼吸に及ぼすSTSの影響

実験5. 小花のエチレン生成と呼吸に及ぼすSTSの影響: 対照区のエチレン生成量の変化は、小花がしおれ始める1日目に急増して最大値に達した後、小花のしおれとともに減少したのに対して、STS処理区のは小花が満開状態のままで徐々に増加し、最大値に達した後に減少した。また、小花のエチレン生成量のピークはSTS処理により2日遅れ、エチレン生成量も抑えられた。呼吸量の変化は両処理区とも採花当日が最大で、エチレン生成量の急増に伴わずかに増加したが、全体的には漸減する傾向を示した。呼吸量はわずかであるが、STS処理により抑えられた。小花の花持ちは、STS処理により顕著に改善された。ま

た、対照区の花には花弁のしおれや脱落などの老化の症状が見られたのに対して、STS処理区では老化の症状が見られず、花弁は満開状態のままで枯死した(第5図)。

実験6. 小花の花弁、雄ずい、雌ずいのエチレン生成に及ぼすSTSの影響: 対照、処理区とも花弁、雄ずい、雌ずいのエチレン生成パターンはほぼ同様であったが、STS処理により各組織のエチレン生成量は顕著に抑えられた。また、花弁と雄ずいのエチレン生成量のピークは、小花全体のものと同様にSTS処理により対照区と比較して2日遅れ、雌ずいではエチレン生成量の増加開始が3日遅れた(第6図)。

考察

スイートピーの小花の老化に伴うエチレン生成の変化は、Morら(8)の報告とほぼ同様で、小花のエチレン生成の増大は小花のしおれの開始と一致した。このように花の萎凋する際に多量のエチレンが生成されることは、アサガオ(6)、ムラサキツユクサ(10)、ペチュニア(11)、ハイビスカス(12)、数種のラン(1)、カーネーション(3)などで明らかにされており、スイートピーの小花の老化はカーネーションなどの花と同様に内生エチレンの生成によって開始されると考えられる。

Fig. 5. Effect of STS on delaying flower senescence, ethylene production and CO_2 production of floret.

Fig. 6. Effect of STS on the inhibition of ethylene production by petal, stamen and pistil.

小花の呼吸量は採花当日が最大で、漸減する傾向を示したが、エチレン生成量のピークと同時期にわずかな増加が認められた。この増加はエチレンによって引き起こされたと考えられるが、カーネーションで報告されたものほど急激ではなかった(3)。

スイートピーの小花で生成されるエチレンの大部分は花弁と雄ずいによるもので、この二つの器官のエチレン生成パターンは小花全体のものとほぼ一致した。このことから、スイートピーの小花の老化には花弁と雄ずいで生成されたエチレンが関与していると考えられる。これに対して、カーネーションでは花弁で大部分のエチレンが生成されるが、雌ずいでも有意にエチレンが生成され、雌ずいの生成時期は花弁より先行した(3)。

スイートピーの小花の老化に関与していると考えられる花弁と雄ずいの ACC 含量は、組織のエチレン生成組織で生成されるエチレンは、高等植物で明らかにされているメチオニンを基質として ACC を中間体とするエチレン生成経路(13)を経るものと考えられる。また、

同様のことがハイビスカス(12)やカーネーション(3)で報告されているが、カーネーションではエチレン生成の場合と同様に雌ずいの ACC 含量が花弁より先行して増加した。

花弁、雄ずい、雌ずいの MACC 含量はエチレン生成量の増加に伴い増大し、エチレン生成量が減少した後でも増加し続けた。同様のことがカーネーションの花弁と雌ずいで報告されている(3)。MACC の機能についてはあまり明らかにされていないが、ACC から MACC への転換はほとんど一方向に進行し、生成した MACC はかなり安定しているためエチレン生合成の基質としては用いられないと考えられる(5)。

スイートピーの小花のエチレン生成量と呼吸量は低温によって抑えられ、その結果小花の萎凋も抑制され、花持ちが良くなった。これは、小花の組織におけるエチレン生合成経路の酵素活性や呼吸による代謝産物の消費が低温により抑制されたためであると考えられる。

STS による切り花の花持ちの延長は、カーネーションなどの多くの花で報告されており(2)、スイートピーにおいても Mor ら(8)や Ohkawa ら(9)によって報告されている。本研究においても、スイートピーの小花のエチレン生成は STS の前処理により顕著に抑えられ、その結果小花はしおれの症状を示さず、花持ちが著しく改善された。これは、小花の組織におけるエチレンの作用を STS が阻害し、同時にエチレンによる自己触媒の生成も阻害したと考えられ、同様のことがカーネーションでも報告されている(4)。

摘 要

スイートピー(*Lathyrus odoratus* L. cv. Diana)の小花のエチレン生成量の変化は小花のしおれが始まる1日前に急増し、最大値に達した後、小花のしおれの進行とともに減少した。呼吸量の変化は採花当日が最大で、エチレン生成量の急増に伴わずかに増加したが、全体的には漸減する傾向を示した。小花で生成されるエチレンの大部分は花弁、雄ずい、雌ずいによるもので、特に花弁と雄ずいのエチレン生成パターンは小花全体のものとほぼ一致した。また、花弁と雄ずいの ACC、MACC 含量は、これらの組織のエチレン生成の急増に伴い増加した。

10°, 20°, 30°C の3段階の気温に置いた小花のエチレン生成量と呼吸量は、気温が低いほど抑制され、花持ちが良くなった。

小花とその各器官のエチレン生成量は STS 処理によ

り顕著に抑制され、その結果小花はしおれの症状を示さず、花持ちが著しく改善された。

引用文献

1. Goh, C. J., A. H. Halevy, R. Engel and A. M. Kofranek. 1985. Ethylene evolution and sensitivity in cut orchid flowers. *Scientia Hort.* 26 : 57-67.
2. Halevy, A. H. and S. Mayak. 1981. Senescence and postharvest physiology of cut flowers. Part 2. *Hort. Rev.* 3 : 59-143.
3. 兵藤 宏・志村理保. 1988. 花の老化とエチレン—カーネーション—. 農流技研会報. 105 : 50-53.
4. 兵藤 宏・寺田吉徳・野田早苗. 1989. 花の老化とエチレン. (第2報). カーネーションの花のエチレン生成に及ぼす阻害剤の効果とその作用機構. 園学雑. 58(別2) : 644-645.
5. Jiao, X. Z., S. Philosoph-Hadas, L. Y. Su and S. F. Yang. 1986. The conversion of 1-(malonylamino) cyclopropane-1-carboxylic acid to 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid in plant tissues. *Plant Physiol.* 81 : 637-641.
6. Kende, H. and B. Baumgartner. 1974. Regulation of aging in flowers of *Ipomoea tricolor* by ethylene. *Planta* 116 : 279-289.
7. Lizada, C. C. and S. F. Yang. 1979. A Simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100 : 140-145.
8. Mor, Y., M. S. Reid and A. M. Kofranek. 1984. Pulse treatments with silver thiosulfate and sucrose improve the vase life of sweetpeas. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 : 866-868.
9. Ohkawa, K., K. Sumitani, S. Sato, I. Hayashi and K. Yamamoto. 1987. Effect of silver thiosulfate (STS) on the vase life and bud drop of winter flowering sweet pea (*Lathyrus odoratus* L.). *Acta Hort.* 201 : 223-230.
10. Suttle, J. C. and H. Kende. 1978. Ethylene and senescence in petals of *Tradescantia*. *Plant Physiol.* 62 : 267-271.
11. 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.
12. Woodson, W. R., S. H. Hanchey and D. N. Chisholm. 1985. Role of ethylene in the senescence of isolated Hibiscus petals. *Plant Physiol.* 79 : 679-683.
13. Yang, S. F. and N. E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35 : 155-189.