

特別報告

短時間昇温処理による開花促進に基づくスプレーギクの 温度制御技術に関する研究[†]

道園 美弦

(平成 24 年 7 月 2 日受付 平成 24 年 8 月 29 日受理)

[†]本論文は筑波大学位審査論文(平成 22 年 1 月)を基に編集・加筆したものである。

Studies on temperature control of spray-type chrysanthemums on the acceleration of flowering response by short-term heat treatment

Mitsuru DOUZONO

Summary

Temperature considerably influences vegetative growth and flowering; a large amount of research has been conducted on temperature control in greenhouse cultivations in order to obtain high-quality flowers. In particular, there is a need for a cost-effective temperature control technique.

The plant height control technique, which uses the difference between day and night temperatures (designated “DIF”), was developed about 15 years ago, and since then, considerable research has been conducted using this technique. However, this technique is not feasible for practical production because during the developmental stage of plant growth, the period during which DIF can be used to control plant height is limited; moreover, this technique requires a lot of energy and the costs involved are high.

In order to overcome the drawbacks of this technique, we conducted a study on the effect of short-term heat treatment using African marigold, which is suited for studying physiology of flowering under the controlled environment of an incubator. Similar experiments were also conducted using spray-type chrysanthemum, a major cut flower, both under the controlled atmosphere of an incubator and in greenhouse cultivation.

We found that short-term heat treatment at the beginning of the dark period (after sunset) resulted in earlier flowering. Subsequent experiments showed that this did not occur when the plants were exposed to the short-term heat treatment before the end of the dark period (before dawn). Thinking that this new finding can be used to develop a flowering control technique, we conducted a detailed analysis to establish a technique that can be applied to the commercial production of ornamental plants.

First, we examined the effects of short-term heat treatment at different time points, for different durations, and with different temperatures in the dark period under controlled weather conditions on the flowering of African marigold. The plants were exposed to 3 different heat treatments: (1) 30°C for 3 hours at the beginning, in the middle, and at the end of the dark period; (2) 22°C in the light period; and (3) 14°C in the dark period (control). We found that treatment at the beginning of the dark period accelerated flowering, while treatment at the end of the dark period delayed it.

The plants were exposed to heat treatment at 30°C for 0.5, 1.0, 1.5, 3.0 h at the beginning of the dark period; flowering was accelerated even in the case of the 0.5-h heat treatment. On exposing the plants to 3 different temperatures—22°C,

26°C, and 30°C—for 3 hours at the beginning of the dark period, we found that flowering was accelerated even at 22°C.

Morphological observations were conducted at each stage of flower bud differentiation and development. We found that because of short-term heat treatment at the beginning of the dark period, the developmental stage from flower bud undifferentiation through auxesis to the stage preceding floret formation was accelerated. This result showed that acceleration of flowering through short-term heat treatment at the beginning of the dark period is caused by acceleration of the developmental stage from flower bud undifferentiation to floret formation. The hypothesis was supported by the fact that there was no difference resulting from varying the time zones in the treatment of short-term heat treatment after the flower bud stage.

Then, we studied the effect of this treatment on acceleration of flowering in chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat), which is a major cut flower.

As was observed in the case of the African marigolds, in the chrysanthemum cultivar ‘Sei-roza’, flowering was accelerated as a result of short-term heat treatment under a low-temperature environment. We found that this treatment had a considerable effect on the developmental stage of the flower bud and the point of action in the developmental stage from undifferentiation to floret formation; these observations were again similar to those made for the African marigolds.

We studied the effect of short-term heat treatment at the beginning of the dark period on flowering in the context of winter cropping in greenhouse cultivation. We found that in chrysanthemums, flowering was accelerated in response to short-term heat treatment at the beginning of the dark period. This effect was more remarkable when the cultivation temperature was lower. Moreover, we observed improvement in flower formation characteristics such as the length of lateral shoots and their angles; these characteristics were found to be similar to those observed in conventional cultivation.

On the basis of the above results, we demonstrated the possibility of reducing the heating cost by 15% through the use of short-term heat treatment after sunset in a chrysanthemum variety showing low-temperature flowering response at temperatures of around 13°C. This treatment does not cause any remarkable deterioration in the quality of the cut flower.

Key Words: DIF, temperature, short-term heat treatment, flowering, flower initiation, *Tagetes erecta* L., *Chrysanthemum morifolium* Ramat.

目次

	考 察	26
	第3章 スプレーギクにおける施設栽培での短時間昇温 処理の効果	
	緒 言	27
	材料および方法	27
	結 果	29
	考 察	34
	総合考察	39
	摘 要	40
	引用文献	42
	謝 辞	45
緒 言		3
第1章 アフリカンマリーゴールドにおける短時間昇温 処理の効果		
緒 言		4
材料および方法		5
結 果		10
考 察		18
第2章 スプレーギクにおける暗期短時間昇温処理の効果		
緒 言		20
材料および方法		21
結 果		23

緒言

キク (*Chrysanthemum morifolium* R_{AMAT}) は、わが国の切り花生産において最も生産本数が多い品目である。2009年度のキク生産出荷数量は17億3,100万本で、切り花類の総生産出荷数量45億5,100万本の38%を占め、第2位のカーネーション3億6,720万本、第3位のバラ3億3,070万本を大きく引き離している(農林水産省統計部, 2009)。

わが国では、19世紀後半に房総半島や三浦半島で中小輪の夏ギクや寒ギクの切り花栽培が行われていた。しかし、本格的にキクの切り花栽培が行われるようになったのは、20世紀初頭にアメリカから切り花用品種が導入され、温室栽培が行われるようになってからである(川田, 1976)。次いで、1930年代にアメリカで開発された秋ギクのシェードによる促成栽培、1950年代に電照による抑制栽培が普及し、同一品種による長期生産体制が定着していった。1974年には川田によって欧米型の周年生産に適したスプレーギク品種がオランダとアメリカから導入され(川田, 1980)、愛知県豊川市周辺を中心に同一施設での周年生産体系の確立を目指して生産が行われた。1973年の石油ショック時に施設栽培では、石油エネルギーの消費を抑え低温で栽培することを余儀なくされた。その結果、挿し穂や苗の低温処理による低温生育開花性の付与(小西, 1975)や施設の変温管理による暖房費節減(松田・万豆, 1978; 福田・樋口, 1979)等、低温で栽培するための技術開発が行われた。しかし、これらの温度制御効果は産地や品種によって一定したものではなく、様々な栽培上の問題を生じるに至った。

その要因の一つとして、わが国のキク品種には広い生態型が存在し、各生態型により温度および日長に対する開花反応が異なることが挙げられる(岡田, 1957; 川田ら, 1987; 川田・船越, 1988)。また、キクの花芽分化・発達に好適な温度は、同じ生態型でも品種によって異なっている。例えば、自然条件下において4月から6月上旬頃までに開花する夏ギクは、早生品種ほど花芽分化温度が低く、極早生品種では5℃、極晩生品種では15~18℃で、その間に花芽分化温度の異なる多様な品種が存在する(小西, 1970)。さらに、花芽発達の段階で、花芽分化から発蕾までと発蕾から開花までとは好適な温度が著しく異なる場合が多い(Cathey, 1954a; Van Ruiten・De Jong, 1984; Whealy ら, 1987; Karlsson

ら, 1989; Carvalho ら, 2005)。短日処理から発蕾までは、一般的に15℃~20℃が好適である。15℃より低い温度は、多くの品種で花芽形成が非常に遅れるか、あるいは形成されないことが知られている(小西, 1970)。加えて、わが国では、欧州に比べて花房形質などの切り花品質を重視する傾向があるので、冬期におけるスプレーギクの施設栽培では高い切り花品質を確保するために、ほぼ全生育期間、特に花芽分化から発蕾までは最低気温15℃~18℃と、主要切り花の中でも高い温度で栽培している(前田・住友, 1982)。

キクが含まれるキク科植物は、典型的な頭状花序であり、頭花は複数の小花が集まって形成される(Troll, 2004)。したがって、キクの花芽分化および発達は、一つ一つの花ではなく、頭状花序全体における分化、発達を指すことになる。さらに、一つの茎に多数の頭花を着生させて仕立てるスプレーギクには、季節変動による開花順序の逆転現象を生じさせる品種もあることから、成長点ごとに開花反応の環境応答性が異なり、より複雑になっている(道園ら, 2004)。

現在においては石油価格の高騰により、施設栽培の暖房にかかる光熱動力費が問題となっている。施設栽培を行う農家の農業経営費の中で、光熱動力費の占める割合は年々増加しており、2007年には20%に達している(農林水産省統計部, 2009)。また、石油エネルギーの大量消費が地球温暖化に与える影響も無視できない。2005年度の農林水産分野における燃料消費ににおいて二酸化炭素排出量は1,364万tで、このうち施設園芸分野における重油由来の二酸化炭素排出量は611万tと全体の45%を占め、1990年度比で2倍以上に増加している(及川, 2007)。これらのことから、慣行栽培と変わらない品質を維持しつつ、より省エネルギーで効率的に生育・開花を調節する技術が望まれている。

植物の生育に基づいて温度制御することで、生育・開花調節の効率化を図ることができる。温度制御の方法には、昼夜の温度変化(日内変化)による生育反応を利用する方法と、植物の栄養成長および生殖成長の生育ステージに合わせる方法があり、これらを組み合わせることで効率的な温度制御技術を構築していくことが重要である。

このうち日内変化の温度反応を利用して生育を制御する技術の一つとして、昼夜間温度差(Difference between the day temperature and the night temperature, 以下DIFと省略)により植物の草丈伸長を制御する技術がある。DIFが植物の最終的な草丈を決定する重要な要因であることはErwinら(1989)により最初に示

された。この報告は、植物成長の温度反応に関する新たな理論として注目され、以降、多くの研究が花きを中心になされた (Heins, 1990; Moe, 1990; Myster・Moe, 1995)。また、DIF 処理により茎が伸長する機構に関しても、数多くの報告がある (Zieslin・Tsujiita, 1988; Erwin ら, 1989; Moe ら, 1992c)。DIF によるキクの茎伸長速度の変化は、内生活性型ジベレリン (GA) である GA₁ の濃度によって制御され、この GA₁ の濃度変化は、GA の C-20 酸化過程の一部である GA₄₄ から GA₁₉ の代謝調節によることが示唆されており (Nishijima ら, 1997)、内生ジベレリン含量あるいはジベレリンに対する組織感受性と深い関係があることが報告されている。また、DIF 処理とフィトクロムとの間にも茎伸長に及ぼす相互作用があることが示されている (Erwin ら, 1991; Moe・Heins, 1990)。Fuchsia × hybrida では、暗期初期の赤色光照射は茎伸長に影響を及ぼさないが、暗期中の遠赤色光照射は茎伸長を促進し、その茎伸長促進の増加率は DIF の値の増加にともない減少することが示され (Erwin ら, 1991)、DIF 処理による形態変化の作用点と光質による形態変化の作用点が類似していることが示唆されている。

昼温に対して夜温を高く設定することにより (マイナス DIF)、草丈の伸長抑制が可能となる (Erwin ら, 1989; Heins, 1990; Moe, 1990; Davis ら, 2002)。この方法は、植物成長調節剤を用いない新たな生育調節技術として注目され、欧米を中心に花きの鉢物や花壇苗をコンパクトな草姿にする際に活用されている。しかし、光熱動力費を要する状況においてマイナス DIF の温度設定は実用性に乏しいことから、特定の時間帯に数時間 (2~4 時間程度) の変温処理を行い、DIF 同様の効果を得ようとする研究が多数報告された (Bertram, 1992; Cuijpers・Vogelezang, 1992; Langton ら, 1992; Moe ら, 1992b; Ueber・Hendriks, 1992)。

これらの研究は、草丈の制御すなわち植物の栄養成長に及ぼす影響に関するものが中心である。DIF が開花反応に及ぼす効果については、ポインセチアにおいて夜温が 20℃ を越える DIF 処理では花芽分化および発達は遅延し、開花が抑制されるという報告がある (Moe ら, 1992a)。しかし、短時間変温処理が開花の制御すなわち植物の生殖成長に及ぼす影響を明らかにする試みはほとんど行われてこなかった。

本研究の目的は、短時間変温処理の中でも開花反応が促進すると思われる短時間昇温処理について検討し、効率的な温度制御技術を開発することである (第1図)。

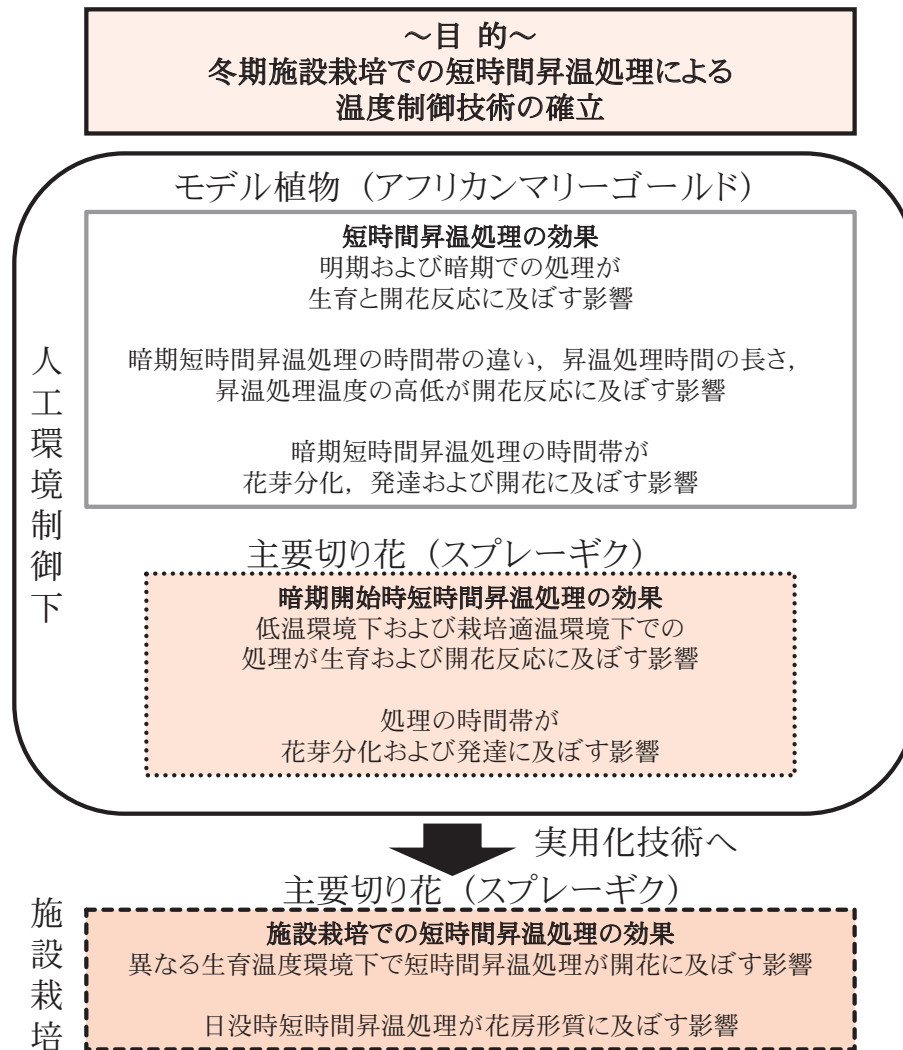
第1章では、人工気象器環境制御下において開花生理研究用のモデル植物として適しているアフリカンマリーゴールド (*Tagetes erecta* L.) (Ormrod ら, 1980) を供試し、短時間昇温処理、特に暗期開始時の短時間昇温処理が開花反応に及ぼす効果について検討した。第2章では主要切り花であるスプレーギクについて、人工気象器環境制御下で暗期短時間昇温処理が開花反応に及ぼす効果について検討した。第3章では実際のスプレーギク施設栽培において日没時短時間昇温処理の適用を試みた結果、開花の促進に有効であることともに省エネルギー、低コスト栽培につながる温度制御技術となり得ることを提示できた。

本研究の成果は、花きの開花調節に新しい知見を与えるとともに、化石エネルギーの節減に寄与でき、新しい低コスト・省エネルギー栽培管理方法確立の基盤となる。

第1章 アフリカンマリーゴールドにおける短時間昇温処理の効果

緒言

温度は植物の生育を制御する重要な環境要因である。温度による植物の草丈伸長の調節について、明期の温度と暗期の温度の較差すなわち昼夜間温度差 (Difference between the day temperature and the night temperature, 以下 DIF と省略) が植物の最終的な草丈を決定する重要な要因であることが Erwin ら (1989) により示された。DIF は植物の成長の温度反応に関する新たな理論として注目され、以降、この DIF に関する多くの研究が花きを中心に行われた (Heins, 1990; Moe, 1990; Myster・Moe, 1995)。特に、昼温に対して夜温を高く設定するマイナス DIF とすることにより、草丈の伸長抑制が可能となることから、植物成長調節剤を用いない新たな生育調節技術としての検討が行われた (Erwin ら, 1989; Heins, 1990; Moe, 1990; Davis ら, 2002)。しかし、実際栽培におけるマイナス DIF の温度設定は実用性に乏しい。このことから、明期あるいは暗期の開始前後に短時間変温処理を行い、DIF 同様の効果を得ようとする研究が多数行われた (Bertram, 1992; Cuijpers・Vogelezang, 1992; Langton ら, 1992; Moe ら, 1992b; Ueber・Hendriks, 1992)。これらの研究は、草丈の制御すなわち植物の栄養成長への影響に関するものが中心であり、短時間変温処理が開花の制御すなわち植物の生殖成長に及



第1図 短時間昇温処理による開花促進に基づくスプレーギクの温度制御技術に関する研究

² 暗期の始まりの時間帯について、人工環境制御下では暗期開始時、自然条件下である施設栽培では日没時とした。

ぼす影響について明らかにしようとする試みはほとんど行われてこなかった。

そこで本章では、キク科のアフリカンマリーゴールドを材料に、人工気象器環境制御下で短時間昇温処理が生育および開花に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。短時間昇温処理による明期または暗期時の生育、特に開花反応に及ぼす影響について検討した。次いで、暗期の時間帯での違い、暗期昇温処理の昇温時間および昇温温度について検討した。さらに暗期における短時間昇温処理の時間帯が花芽分化および発達に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

実験1 短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの生育と開花反応に及ぼす影響

(1) 明期における短時間昇温処理の影響

キク科のアフリカンマリーゴールド (*Tagetes erecta* L.) は、夏の花壇用に広く利用されているメキシコ原産のキク科の草本植物である。短日要求性は系統間で異なるものの、基本的には相対的短日性 (Tsukamoto ら, 1968) である。生育適温は 20℃ 前後 (Nau, 1991) で、

植物体がコンパクトであり、加えて、人工気象器による環境制御下での生育のバラツキが少なく再現性が高いことから、開花生理研究用のモデル植物として適している(Ormrodら, 1980)。このことから、供試材料にアフリカンマリーゴールド品種‘エローギャロワ’((株)ゴールドスミス社, アメリカ)を用いた。この品種は、一般的に栽培されており、自然条件下での草丈が20 cm程度である。

育苗は128穴のセルトレイに市販の播種用培土(メトロミックス250, サングロー社, カナダ)を充填し1穴あたり1種子を播種した。播種後21日間, 12時間日長, 光合成有効量子束密度(以下, PPF_Dと省略)約80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (上面からの蛍光灯下), 温度22 $^{\circ}\text{C}$ /14 $^{\circ}\text{C}$ (明期/暗期)とした人工気象器(日本医化器械製KCLP-1400 II CT)内で管理した。21日後, 市販の育苗培土(クレハ園芸培土(肥料成分; N:P:K = 0.4:1.9:0.6 (g)/培土1kg), ((株)クレハ)を充填した9 cmビニルポットに移植した。移植と同時に温度処理実験を開始した。温度処理実験時は, 底面にトレイを敷き底面給水を行った。追肥として温度処理開始3週間後から液肥OK-F-1(肥料成分N:P:K = 15:8:17)(大塚化学(株))の2000倍希釈液を給水と同時に施用した。供試個体は, すべての実験において1温度処理あたり18個体とし, 温度処理は7週間を目途に終了した。実験開始時の苗は, 本葉がほぼ2枚展開した状態であり, 草丈は, 2.6 cm(標準誤差 \pm 0.05, n=18)であった。また, 温度処理実験開始時(移植時)に実体顕微鏡で成長点を観察し, 花芽分化していないことを確認した。

明期での短時間昇温処理実験は2003年6月18日に開始し, 4台の人工気象器(EYELA製FLI-301NL)を用いて7週間の処理を行った。12時間日長, 明期22 $^{\circ}\text{C}$ /暗期14 $^{\circ}\text{C}$ (日平均温度18 $^{\circ}\text{C}$)を対照として, 短時間昇

温処理区(日平均温度19 $^{\circ}\text{C}$)および短時間昇温処理区は明期時間帯で昇温を行うため, 明期の時間帯で日平均温度を揃えた明期昇温比較区(24 $^{\circ}\text{C}$ /14 $^{\circ}\text{C}$ (日平均温度19 $^{\circ}\text{C}$))を設けた。短時間昇温処理は対照区に対して, 明期の開始時および終了前3時間を30 $^{\circ}\text{C}$ 加温する2区を設けた(第1表)。

なお, 温度処理を行った4台の人工気象器の温度誤差は設定温度の \pm 1 $^{\circ}\text{C}$ 以内, PPF_Dは350~400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (側面からの白色蛍光灯下と上方からのメタルハライドランプ下)であった。

調査項目は, 草丈と発蕾日とした。発蕾日は成長点部分を真上から観察し, 自然に目視できる時点とし(‘エローギャロワ’では, 発蕾時の蕾の大きさは直径3 mm程度であった), 開花は最外部の舌状花卉が展開し, 反った時点とした(第2図)。草丈と新鮮重は温度処理開始後7週目に測定した。

(2) 暗期における短時間昇温処理の影響

材料, 育苗, 調査項目は明期における短時間昇温処理の実験と同様に行った。

2003年4月23日に開始し, 同じく4台の人工気象器(EYELA製FLI-301NL)を用いて7週間の処理を行った。明期での実験同様, 12時間日長, 明期22 $^{\circ}\text{C}$ /暗期14 $^{\circ}\text{C}$ (日平均温度18 $^{\circ}\text{C}$)を対照とし, 短時間昇温処理区(日平均温度20 $^{\circ}\text{C}$)と暗期の時間帯で日平均温度を揃えた暗期昇温比較区(22 $^{\circ}\text{C}$ /18 $^{\circ}\text{C}$ 区(日平均温度20 $^{\circ}\text{C}$))を設けた。短時間昇温処理は対照区に対して, 暗期の開始時および終了前の3時間を30 $^{\circ}\text{C}$ に加温する2区を設けた(第2表)。

また, 明期での短時間昇温処理と同様の日平均温度が19 $^{\circ}\text{C}$ となる実験を行い, 暗期での短時間昇温処理実験は2003年8月6日に開始し, 同じく4台の人工気象器

第1表 明期の短時間昇温処理の処理方法

処理時刻	0	3	6	9	12	15	18	21	24	平均温度(°C)
	暗期			明期						
	処理温度(°C)									
明期昇温比較(明期24 $^{\circ}\text{C}$ /暗期14 $^{\circ}\text{C}$)	14	14	14	24	24	24	24	14	14	19
明期開始時昇温(3h, 30 $^{\circ}\text{C}$)	14	14	14	30	22	22	22	14	14	19
明期終了前(3h, 30 $^{\circ}\text{C}$)	14	14	14	22	22	22	30	14	14	19
対 照(明期22 $^{\circ}\text{C}$ /暗期14 $^{\circ}\text{C}$)	14	14	14	22	22	22	22	14	14	18

(EYELA 製 FLI-301NL) を用いて7週間の処理を行った。前述の実験同様、12時間日長、明期 22℃/暗期 14℃を対照として短時間昇温処理区および短時間昇温処理区(日平均温度 19℃)と短時間昇温処理を行う暗期時間帯で昇温を行うため、暗期の時間帯で日平均温度を揃えた暗期昇温比較区(22℃/16℃区(日平均温度 19℃))を設けた。短時間昇温処理は対照区に対して、暗期の開始時および終了前の3時間を 22℃に加温する2区を設けた。

なお、実験開始時の苗は、本葉がほぼ2枚展開した状態で、草丈は 2.9 cm (標準誤差 ± 0.03, n = 18)であった。

実験2 暗期における短時間昇温処理の時間帯、昇温処理時間の長さ、昇温処理温度の高低がアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響

(1) 暗期における短時間昇温処理の時間帯が開花反応に及ぼす影響

材料には、一般的に栽培されているアフリカンマリーゴールド品種‘アンティグアゴールド’((株)ゴールドスミス社, アメリカ)を用いた。

育苗は実験1と同様の育苗条件で行った。

供試個体は、1温度処理あたり18個体とし、温度処理は7週間を目途に終了した。なお、実験開始時の苗は、本葉がほぼ2枚展開した状態で、草丈は 2.8 cm (標準



(A) 発 蕾



(B) 開 花

第2図 アフリカンマリーゴールドの発蕾状況(A)と開花状況(B)

第2表 暗期の短時間昇温処理の処理方法

処理時刻	0	3	6	9	12	15	18	21	24	平均温度 (℃)
	暗期			明期						
	処理温度 (℃)									
暗期昇温比較 (明期22℃/暗期18℃)	18	18	18	22	22	22	22	18		20
明期開始時昇温 (3h, 30℃)	14	14	14	22	22	22	22	30		20
明期終了前 (3h, 30℃)	14	14	30	22	22	22	22	14		20
対 照 (明期22℃/暗期14℃)	14	14	14	22	22	22	22	14		18
暗期昇温比較 (明期24℃/暗期16℃)	16	16	16	22	22	22	22	16		19
明期開始時昇温 (3h, 22℃)	14	14	14	22	22	22	22	22		19
明期終了前 (3h, 22℃)	14	14	22	22	22	22	22	14		19
対 照 (明期22℃/暗期14℃)	14	14	14	22	22	22	22	14		18

誤差 ± 0.03 , $n = 18$)であった。また、温度処理実験開始時(移植時)に実体顕微鏡で成長点を観察し、花芽分化していないことを確認した。

暗期における短時間昇温処理の時間帯がアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響を明らかにするために、暗期における昇温の時間帯を、暗期開始時、暗期の中央および暗期終了前とした比較実験を行った。

4台の人工気象器(日本医化器械製 LPH-350SP)を用いて、2007年8月30日から短時間昇温処理を7週間行った。明期温度 22°C 、暗期温度 14°C の日長12時間を対照区とし、暗期における3時間、 30°C 昇温の時間帯を、暗期開始時、暗期中央時(暗期開始4.5時間後)及び暗期終了前とした短時間昇温処理の3処理区を設けた。なお、4台の人工気象器の温度誤差は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内、PPFDは $200 \sim 250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (天井と側面からの白昼色蛍光灯下)であった。

調査項目は、発蕾日、展開した葉数(以下、葉数と称する)、新鮮重、花径とした。発蕾時の蕾の直径は3mm程度であった。葉数、新鮮重は温度処理開始後7週目に測定した。なお、新鮮重については、植物体全体の新鮮重に加え、頂花の部分を取り切った頂花新鮮重についても計測した。花径は開花時もしくは温度処理開始後7週目に測定した。

(2) 暗期開始時における短時間昇温処理時間の長さが開花反応に及ぼす影響

材料、育苗、調査項目は短時間昇温処理の時間帯が開花反応に及ぼす影響の実験と同様に行った。

前実験と同型の5台の人工気象器を用いて、2007年5月15日から短時間昇温処理を7週間行った。明期温度 22°C 、暗期温度 14°C の日長12時間を対照区とし、暗期開始時に 30°C に昇温する時間を0.5、1.0、2.0および3.0時間とした4つの短時間昇温処理区を設けた。

なお、実験開始時の苗は、本葉がほぼ2枚展開した状態で、草丈は2.6cm(標準誤差 ± 0.03 , $n = 18$)であった。

(3) 暗期開始時における短時間昇温処理の温度の高低が開花反応に及ぼす影響

材料、育苗、調査項目は短時間昇温処理の時間帯が開花反応に及ぼす影響の実験と同様に行った。

前実験と同型の4台の人工気象器を用いて、2008年2月26日から短時間昇温処理を7週間行った。明期温度 22°C 、暗期温度 14°C の日長12時間を対照区とし、暗期開始時の3.0時間を 22°C 、 26°C 、 30°C にする短時間昇

温処理区を設けた。

なお、各実験開始時の苗は、本葉がほぼ2枚展開した状態で、草丈は2.8cm(標準誤差 ± 0.03 , $n = 18$)であった。

実験3 暗期における短時間昇温処理の時間帯がアフリカンマリーゴールドの花芽分化、発達および開花に及ぼす影響

(1) 花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響

材料には、実験2と同様の‘アンティグアゴールド’、育苗は実験1と同様に行った。発蕾までの栽培管理となったため、移植に際して7.5cmビニルポットに移植を行った。人工気象器3台を使用し、明期温度 24°C 、暗期温度 16°C の日長12時間とし、頂芽が発蕾するまで栽培管理した。移動後の栽培管理は実験1と同様に行った。人工気象器の温度誤差は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内、PPFDは $200 \sim 220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (天井と側面からの白昼色蛍光灯下)であった。

なお、温度処理実験開始時(移植時)に実体顕微鏡下で剥皮法により成長点を観察し、花芽分化していないことを確認した。

3台の人工気象器(日本医化器械製 LPH-350SP)を用いて、2009年6月30日から短時間昇温処理を24日間行った。明期温度 22°C 、暗期温度 14°C の日長12時間を対照とし、暗期における3時間、 30°C 昇温の時間帯を、暗期開始時および暗期終了前とした短時間昇温処理区を設けた。

キクでは花芽発育段階についての報告があるが(岡田1963; Fukaiら, 1997)、アフリカンマリーゴールドでは報告が見られない。アフリカンマリーゴールドを実体顕微鏡下で剥皮法により観察した結果、キクと同様の頭状花序であるため、花芽の分化および発達の各段階における成長点の形状は非常によく似ていた。そのため、キクに準じてアフリカンマリーゴールドの花芽発育段階を以下の様に分類した(第3図)。

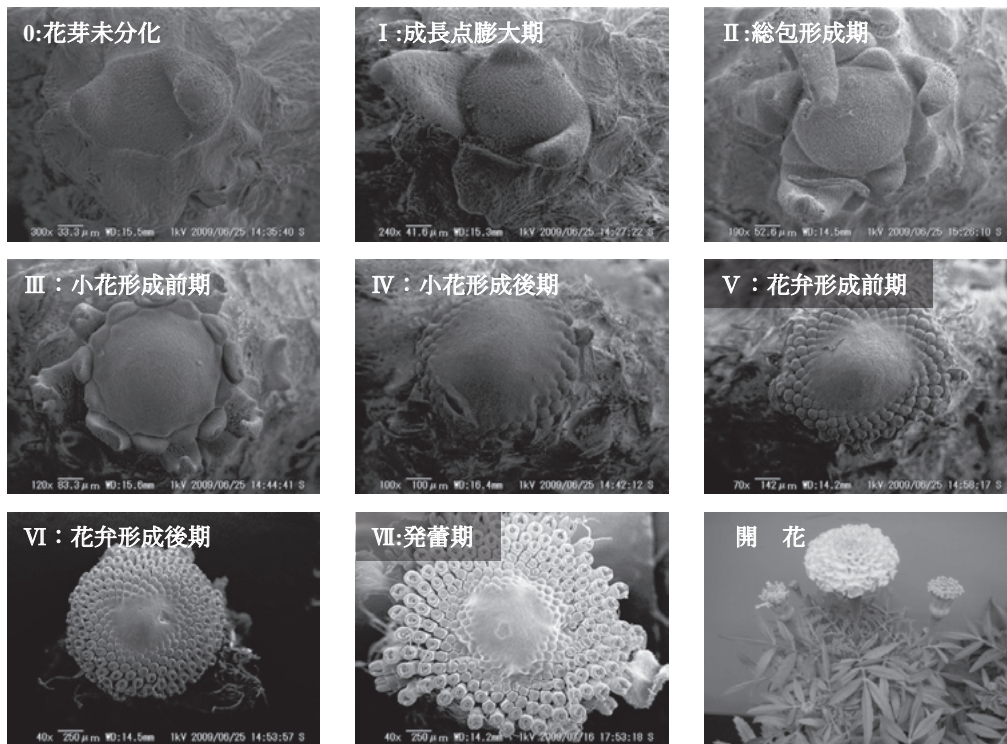
0期花芽未分化: 成長点部分は半球形ではなく平たい状態。

I期成長点膨大期: 成長点部分が半球形に肥大。

II期総苞形成期: 成長点部分の半球形がややいびつになり、総苞が形成される状態。

III期小花形成前期: 総苞をめくると小花部分が花序の下部から形成が始まった状態。

IV期小花形成後期: 小花の花序が中央部までに達し、下部から3、4段形成された状態。



第3図 アフリカンマリーゴールドの花芽発育段階

V期花卉形成前期：最下部の小花周辺部が隆起して花卉が形成された状態。

VI期花卉形成後期：花序の中央部まで花卉形成される状態。

VII期発蕾期：成長点部分を真上から観察し、自然に目視できた状態。

なお、花芽発育段階II期の総包形成期に達したときに花芽分化したと判断した。

調査項目として、短時間昇温処理開始時から3日おきに茎頂部分を剥皮法によって実体顕微鏡下で観察した。供試個体は各処理区6個体について行った。

(2) 花芽分化および発達が栄養成長に及ぼす影響

材料、育苗は花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響の実験と同様に行った。

3台の人工気象器（日本医化器械製 LPH-350SP）を用いて、2009年7月7日から明期温度22℃、暗期温度14℃の日長12時間を対照とし、暗期における3時間、30℃昇温の時間帯を、暗期開始時および暗期終了前と

した短時間昇温処理区を設けた。

調査は、温度処理14日目および発蕾時に葉面積、葉の乾物重、植物体乾物重および葉数について各処理区8個体の調査を行った。なお、温度処理14日目については花芽発育段階を調査するため成長点部分の形態観察を行い、発蕾時に発蕾日の調査を行った。

(3) 発蕾から開花に至るまでの花芽発達に及ぼす影響

材料、育苗は花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響の実験と同様に行った。

3台の人工気象器（日本医化器械製 LPH-350SP）を用いて、2009年9月9日から短時間昇温処理を27日間行った。明期温度22℃、暗期温度14℃の日長12時間を対照とし、暗期における3時間、30℃昇温の時間帯を、暗期開始時および暗期終了前とした短時間昇温処理区を設けた。

調査項目として、3日おきに頂花の花蕾の大きさを計測した。供試個体は各処理区8個体について行った。

結 果

実験1 短時間昇温処理時期がアフリカンマリーゴールドの生育と開花反応に及ぼす影響

明期における短時間昇温処理時期がアフリカンマリーゴールドの生育および開花反応に及ぼす影響について第4図および第5図に示した。

草丈は、明期開始時昇温区、明期終了前昇温区、対照区、明期昇温比較区でそれぞれ17.2, 15.9, 15.6, 14.5 cmとなり、明期開始時昇温区が他処理区よりも有意に大きかった。明期終了前昇温区と対照区には有意な差はなかった。

処理開始から発蕾までに要した日数（以下、発蕾日数）は、対照区（22℃/14℃）および明期昇温比較区（24℃/14℃）の発蕾日数が29.7日ではほぼ同様であった。明期開始時昇温区は31.4日で発蕾し、明期終了前昇温区は33.7日で発蕾した。どちらの昇温処理区も対照区（22℃/14℃）および明期昇温比較区（24℃/14℃）より遅れた。

暗期での短時間昇温処理時期がアフリカンマリーゴールドの生育および開花反応に及ぼす影響について第6図と第7図に示した。

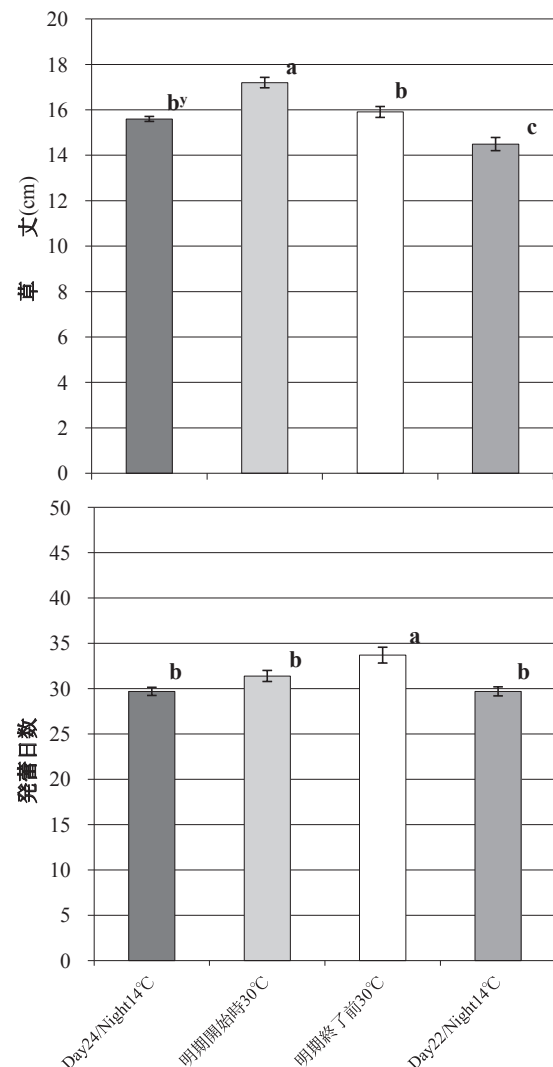
短時間昇温温度を30℃に昇温した処理区の草丈は、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区、暗期昇温比較区でそれぞれ14.6, 16.0, 14.6, 15.4 cmとなり、処理区内では暗期終了前区が大きかった。また、対照区および暗期昇温比較区との有意な差は見られなかった。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区、暗期昇温比較区でそれぞれ24.9, 46.1, 35.3, 28.6日となり、暗期開始時昇温区は有意に早く発蕾した。暗期開始時昇温区は、対照区と比べて発蕾日数が10.4日短縮した。一方、暗期終了前昇温区では、46.1日で発蕾し、対照区（22℃/14℃）と比べて10.8日遅れた。暗期昇温比較区と比較して、暗期開始時昇温区では、2.6日短縮し、暗期終了前昇温区では18.6日と非常に遅れた。昇温処理区間では、暗期開始時昇温区が21.2日早く発蕾した。

短時間昇温温度を22℃に昇温した処理区の草丈には、暗期短時間昇温区、対照区および暗期昇温比較区の間で有意な差は見られなかった。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区、暗期昇温比較区でそれぞれ24.9, 38.3, 33.6, 28.6日となり、昇温温度30℃区と同様の傾向を示し、

暗期開始時昇温区の発蕾は早かった。暗期開始時昇温区は、対照区と比べて発蕾日数が6.9日短縮した。一方、暗期終了前昇温区では、対照区と比べて6.4日遅れた。暗期昇温比較区と比較して、暗期開始時昇温区では、8.7日短縮し、暗期終了前昇温区では4.5日遅れた。昇温処理区間では、暗期開始時昇温区が13.2日早く発蕾した。



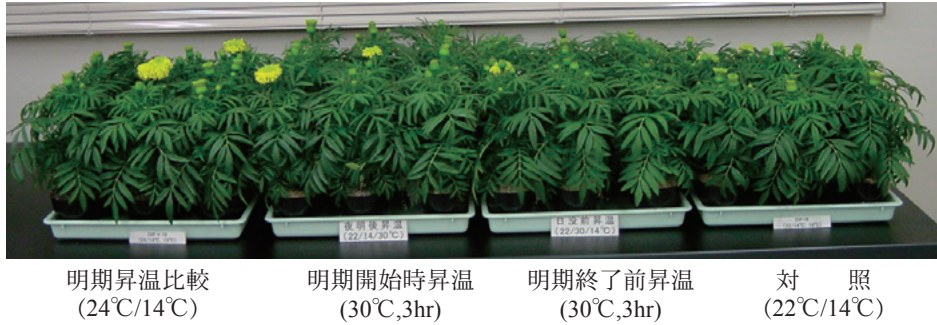
第4図 明期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの草丈および発蕾日数に及ぼす影響²⁾

値は平均値±標準誤差 (n=18)

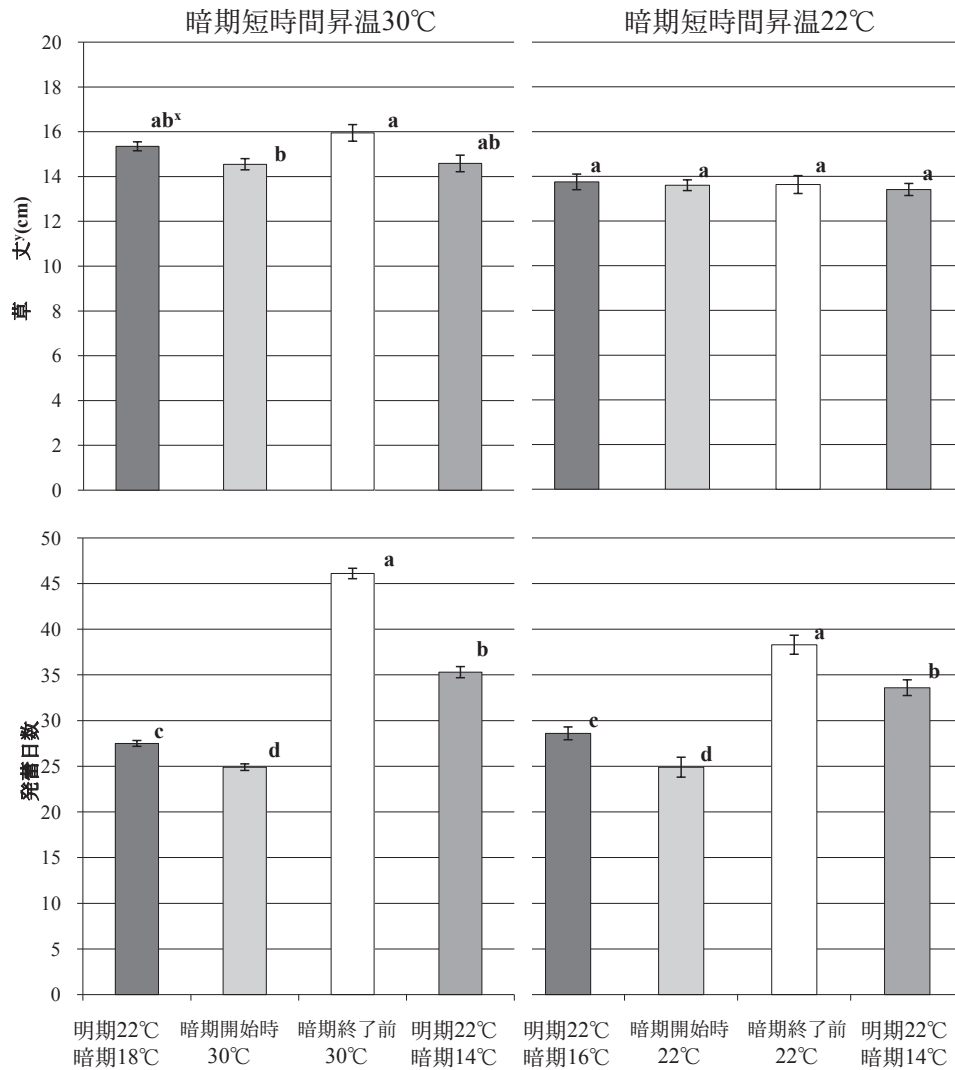
²⁾ 草丈は短時間昇温処理開始後7週目に調査

³⁾ 異なるアルファベット文字間に Tukey の検定により 5% レベルで有意差あり

アフリカンマリーゴールド ‘エローギャロワ’ 短時間昇温処理7週間後



第5図 明期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの生育および開花反応に及ぼす影響

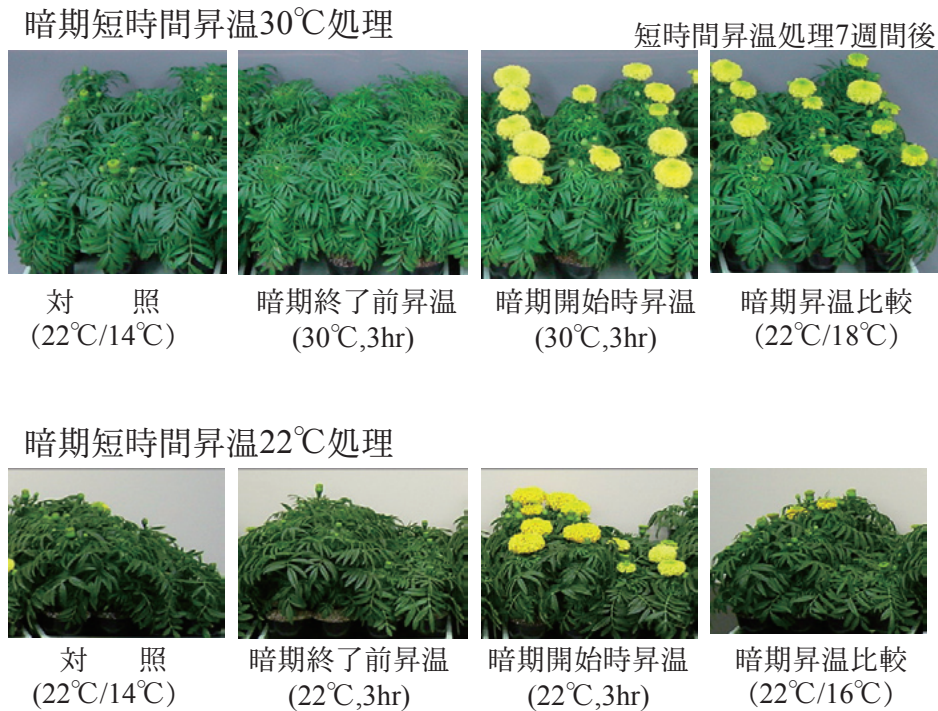


第6図 暗期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの草丈および発蕾日数に及ぼす影響^z

^z 値は平均値±標準誤差 (n = 18)

^y 草丈は短時間昇温処理開始後7週目に調査

^x 異なるアルファベット文字間に Tukey の検定により 5% レベルで有意差あり



第7図 暗期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの生育および開花反応に及ぼす影響

実験2 暗期における短時間昇温処理の時間帯、昇温処理時間の長さ、昇温処理温度の高低がアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響

暗期における短時間昇温処理の時間帯が開花反応に及ぼす影響に関する実験結果を第3表および第8図に示した。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区では18.8日、暗期中央時昇温区では23.9日、暗期終了前昇温区では30.4日と、同じ3時間の短時間昇温ながら、時間帯によって発蕾日数に有意差が認められ、短時間昇温の時間帯が暗期開始に近いほど開花反応が早まる傾向が認められた。短時間昇温処理を行わなかった対照区(22°C/14°C)と比較して、暗期開始時昇温区では有意に発蕾が早まった。

葉数は、暗期開始時昇温区では15.8、暗期中央時昇温区では16.7、暗期終了前昇温区では18.3と、同じ3時間の短時間昇温処理ながら、時間帯によって葉数に有意差が認められ、短時間昇温の時間帯が暗期開始に近いほど葉数が少なくなる傾向が認められた。発蕾日数同様、暗期開始時昇温区では有意に葉数が少なくなった。

実験開始後7週目の各処理区における植物体全体の新

鮮重については、各短時間昇温処理区では約50gとなり、処理区間に有意差は認められなかった。しかし、頂花の新鮮重でみると、暗期開始時昇温区では12.4g、暗期中央時昇温区では5.2g、暗期終了前昇温区では1.4gと、同じ3時間の短時間昇温ながら、時間帯によって頂花の新鮮重に有意差が認められ、短時間昇温の時期が暗期開始から遅くなるにつれて頂花の新鮮重が明らかに軽くなった。

昇温温度を30°Cに固定し、暗期での短時間昇温処理する時間の違いが開花反応に及ぼす影響に関する実験結果を第4表および第9図に示した。

発蕾日数は、暗期開始時昇温0.5時間区では22.4日、1.0時間区では21.8日、2.0時間区では21.8日、3.0時間区では19.6日と、3.0時間区で有意に短くなり、短時間昇温時間が長くなるほど発蕾日数が短くなる傾向が認められた。一方、短時間昇温処理を行わなかった対照区(22°C/14°C)の発蕾日数は33.2日であり、暗期開始時昇温0.5時間区よりも10.8日と明らかに遅く発蕾した。短時間昇温時間が長くなるほど発蕾日数が短くなる傾向が認められた。一方、短時間昇温処理を行わなかった対

第3表 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いがアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響^z

	発蕾日数	葉数	新鮮重(g)	頂花新鮮重(g)
暗期開始時	18.8 ± 0.4 c ^y	15.8 ± 0.1 c	51.3 ± 2.4 a	12.4 ± 0.7 a
暗期中央	23.9 ± 0.8 b	16.7 ± 0.1 bc	49.8 ± 2.8 a	5.2 ± 0.8 b
暗期終了前	30.4 ± 1.1 a	18.3 ± 0.1 a	48.7 ± 2.0 a	1.4 ± 0.4 c
明期22℃ / 暗期14℃	27.6 ± 0.9 ab	17.0 ± 0.1 b	43.5 ± 2.3 a	1.4 ± 0.3 c

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 18)

^z 発蕾日数以外は短時間昇温処理開始後7週目に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



第8図 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いがアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響

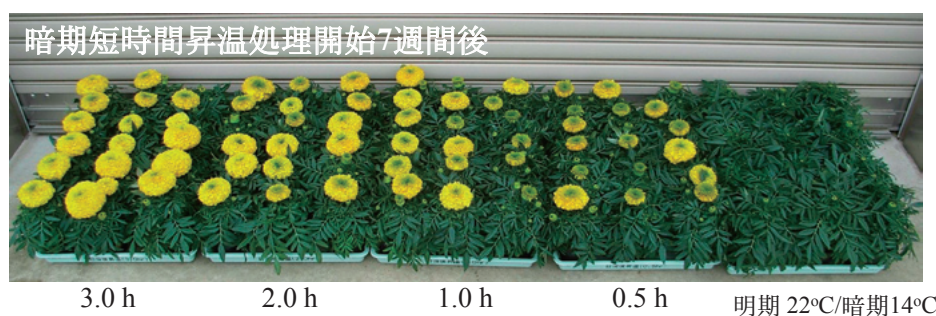
第4表 アフリカンマリーゴールドにおける暗期開始時短時間昇温処理の処理時間の違いによる開花反応に及ぼす影響^z

	発蕾日数	葉数	新鮮重(g)	頂花径(mm)
暗期開始時3.0 h	19.6 ± 0.4 c ^y	15.7 ± 0.2 b	45.1 ± 1.7 a	70.1 ± 3.0 a
暗期開始時2.0 h	21.8 ± 0.5 b	15.7 ± 0.2 b	44.7 ± 1.9 a	60.4 ± 3.0 ab
暗期開始時1.0 h	21.8 ± 0.7 b	16.0 ± 0.2 b	44.0 ± 1.6 a	54.6 ± 3.9 bc
暗期開始時0.5 h	22.4 ± 0.3 b	16.5 ± 0.2 b	40.1 ± 2.2 ab	47.1 ± 2.2 c
明期22℃ / 暗期14℃	33.2 ± 0.7 a	18.0 ± 0.3 a	36.3 ± 1.7 b	14.2 ± 3.9 d

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 18)

^z 発蕾日数以外は短時間昇温処理開始後7週目に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



暗期開始時短時間昇温処理の処理時間

第9図 暗期短時間昇温処理の処理時間の長さがアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響

照区 (22℃/14℃) では、暗期開始時昇温 0.5 時間区よりも明らかに遅く発蕾した。

実験開始後7週目の各処理区における葉数は、暗期開始時昇温 0.5 時間区では 16.4, 1.0 時間区では 16.0, 2.0 時間区では 15.8, 3.0 時間区では 15.6 と、短時間昇温時間が長くなるほど減少する傾向が認められたが、昇温時間の長短による有意差は認められなかった。一方、対照区の葉数は 18.0 であり、暗期開始時昇温 0.5 時間区に比べて葉数が有意に増加していた。

実験開始後7週目の各処理区における新鮮重は、各短時間昇温処理区で 40.1～45.1 g であり、ほぼ同様であった。対照区は短時間昇温処理区に比べて有意に軽くなった。

実験開始後7週目の各処理区における花径は、処理区間で有意差が認められ、短時間昇温時間が長くなるほど花径が大きくなった。一方、対照区では各短時間昇温処理区より有意に小さかった。

昇温時間を 3.0 時間に固定し、暗期開始時における短時間昇温処理の温度の高低が開花反応に及ぼす影響を検討した。実験結果を第5表および第10図に示した。

発蕾日数は、暗期開始時昇温 22℃区では 20.1 日、26℃区では 18.8 日、30℃区では 18.2 日と、有意差は検出されなかったものの短時間昇温処理の温度が高くなるほど発蕾日数は短くなる傾向を示した。一方、対照区では 26.5 日であり、暗期開始時昇温 22℃区よりも有意に 6.4 日発蕾が遅れた。

実験開始後7週目の各処理区における葉数は、各短時間昇温処理区で 17.3～17.7 とほぼ同様であった。一方、対照区では暗期開始時昇温 22℃区より葉数が有意に増加した。

実験開始後7週目の各処理区における新鮮重は、各短時間昇温処理区で 44.7～46.4 g とほぼ同様であった。対照区は各短時間昇温処理区と比較して有意に軽かった。

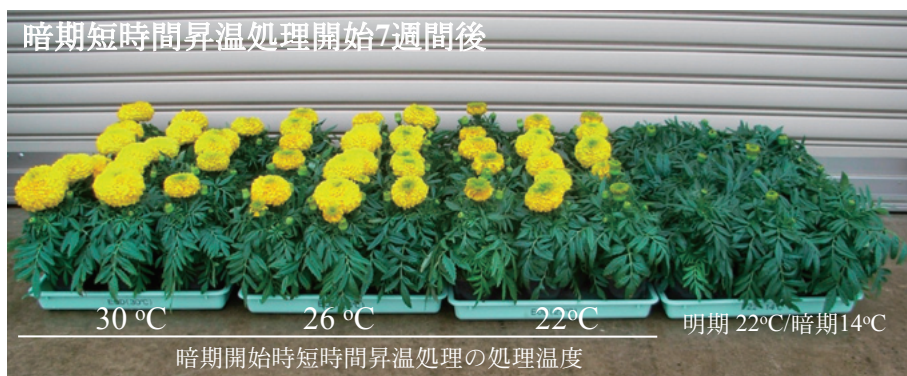
第5表 暗期開始時短時間昇温処理の処理時間の違いがアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響²

	発蕾日数	葉数	新鮮重(g)	頂花径(mm)
暗期開始時30℃	18.2 ± 0.8 b ^y	17.3 ± 0.2 b	46.4 ± 1.3 a	70.2 ± 3.8 a
暗期開始時26℃	18.8 ± 0.5 b	17.3 ± 0.2 b	45.9 ± 1.9 a	63.7 ± 3.3 ab
暗期開始時22℃	20.1 ± 0.5 b	17.7 ± 0.1 ab	44.7 ± 1.5 a	54.4 ± 3.5 b
明期22℃/暗期14℃	26.5 ± 1.2 a	20.0 ± 0.2 a	32.3 ± 1.3 b	13.8 ± 1.3 c

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 18)

² 発蕾日数以外は短時間昇温処理開始後7週目に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間に Tukey の検定により 5% レベルで有意差あり



第10図 暗期短時間昇温処理の処理温度がアフリカンマリーゴールドの開花反応に及ぼす影響

実験開始後7週目の各処理区における花径は、暗期開始時昇温 22℃区では 54.4 mm, 26℃区では 63.7 mm, 30℃区では 70.2 mm と有意な差が認められ、短時間昇温処理の温度が高いほど花径は大きくなった。一方、対照区で各短時間昇温処理区と比較して有意に小さかった。

実験3 暗期における短時間昇温処理の時間帯がアフリカンマリーゴールドの花芽分化、発達および開花に及ぼす影響

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが花芽分化および発蕾までの初期の花芽発達に及ぼす影響について明らかにするために、暗期昇温時間帯を暗期開始時および暗期終了前とした昇温処理後の成長点部分を剥皮法により実体顕微鏡下観察した。

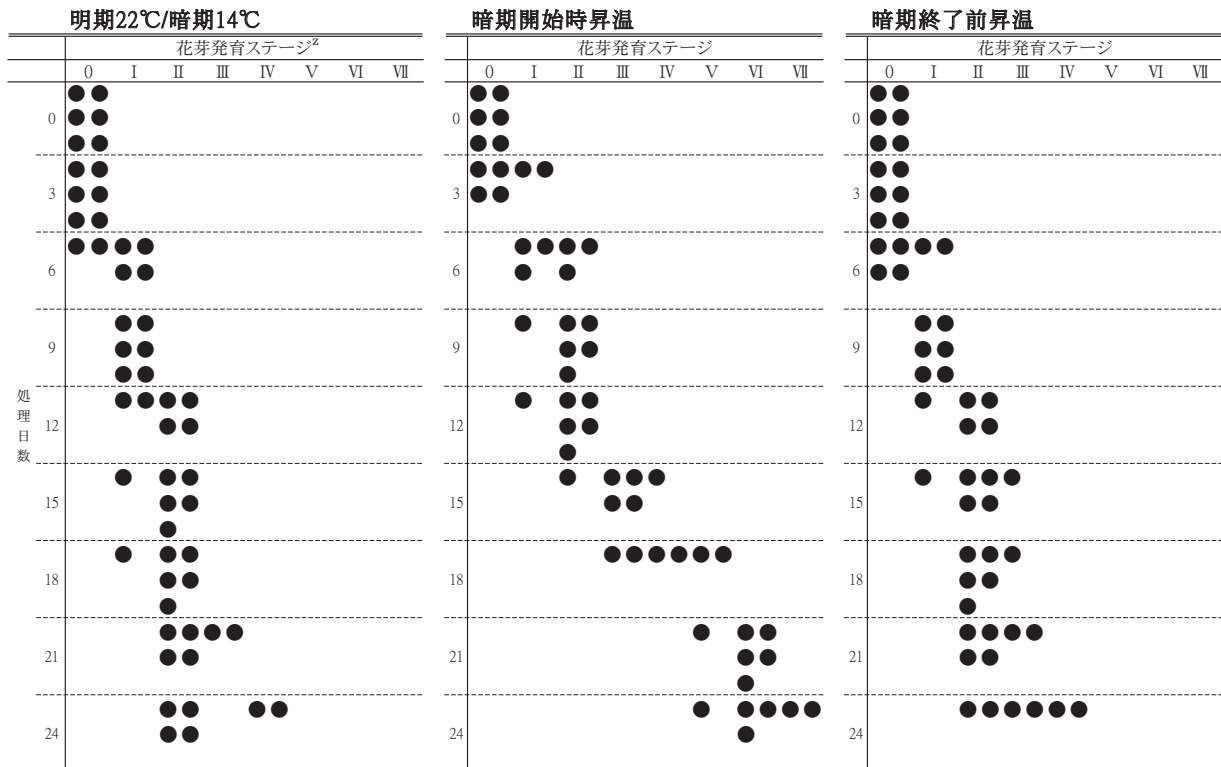
アフリカンマリーゴールドの暗期短時間昇温処理の違いが花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響を

第11図に示した。暗期開始時昇温区は各花芽発育段階に達するまでの処理日数が最も短く、花芽分化とした総苞形成期に処理後6日目には達した個体も見られ、処理後24日目には発蕾する個体も見られた。暗期終了前昇温区および対照区は、いずれも暗期開始時昇温区より遅れて各花芽発育段階に達しており、処理後12日目で総苞形成期に達する個体が見られ、処理24日後においても一部が小花形成前期に至るにすぎなかった。

暗期開始時短時間昇温区では、花芽未分化から発蕾までの花芽発達への移行が早くなっていた。

実体顕微鏡による観察上、生殖成長への移行がみられない未発蕾の段階である温度処理2週間後および生殖成長への移行がみられる発蕾時の栄養成長器官に及ぼす昇温処理の影響について検討を行った。

暗期短時間昇温処理後2週目における短時間昇温処理の時間帯の違いが初期生育に及ぼす影響を第6表および第12図に示した。



第11図 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが花芽分化および花芽発達に及ぼす影響
 〇：花芽未分化，Ⅰ：生長点膨大期，Ⅱ：総苞形成期，Ⅲ：小花形成前期，Ⅳ：小花形成後期，Ⅴ：花卉形成前期，Ⅵ：花卉形成後期，Ⅶ：発蕾期。

第6表 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いがアフリカンマリーゴールドの初期生育に及ぼす影響^z

	葉-面積(mm ²)	葉-乾物重(g)	植物体乾物重(g)	展開葉数	花芽発育ステージ
暗期開始時昇温	6410 ± 226 a ^y	0.136 ± 0.005 a	0.256 ± 0.010 a	8.9 ± 0.3 ab	4.9 ± 0.3 a
暗期終了前昇温	5393 ± 293 ab	0.126 ± 0.007 ab	0.233 ± 0.012 ab	9.0 ± 0.4 a	1.8 ± 0.2 b
明期22℃/暗期14℃	4592 ± 181 b	0.101 ± 0.006 b	0.184 ± 0.009 b	8.0 ± 0.0 b	2.3 ± 0.2 b

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 8)

^z 短時間昇温処理開始後2週目に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



第12図 暗期短時間昇温処理によるアフリカンマリーゴールドの生育状況

葉面積は、対照区と比べ暗期開始時昇温区は有意に大きくなっており、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区の順に大きかった。葉乾物重および植物体乾物重においても同様に増加がみられた。

展開葉数は、暗期終了前昇温区、暗期開始時昇温区、対照区の順に多かった。花芽発育段階において暗期開始時昇温区は、小花形成後期(Ⅳ期)まで移行しており、暗期終了前昇温区および対照区においては総苞形成期(Ⅱ期)であった。

発蕾時における暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが栄養成長および発蕾日数に及ぼす影響を第7表に示した。

葉面積において、暗期開始時昇温区は暗期終了前昇温区および対照区と比べ有意に小さかった。暗期終了前昇温区と対照区には差は見られなかった。葉乾物重および植物体乾物重においても同様であった。葉数では、暗期終了前昇温区、暗期開始時昇温区、対照区の順に有意な差が多かった。発蕾日数は、暗期開始時昇温区は、暗期終了前昇温区および対照区と比べ有意に短く、暗期終了前昇温区と対照区に差は見られなかった。

暗期の短時間昇温処理は、処理時期(時間帯)によらず葉面積および乾物重は増加した。花芽分化への移行の速さが栄養成長器官の生育に大きく影響し、暗期開始時昇温区の栄養成長器官は小さく、暗期終了前昇温区では大きかった。

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが発蕾から開花に至るまでの花芽発達に及ぼす影響について明らかにするために、暗期昇温時間帯を暗期開始時および暗期終了前とした昇温処理による影響を経時的な花蕾の大きさについて検討を行った。

発蕾からの暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが花蕾の大きさに及ぼす影響を第13図と第14図に示した。

花蕾の大きさは、暗期開始時昇温区と暗期終了前昇温区ともに、処理15日目以降、対照区に比較して、花蕾径が大きくなり、処理18日目以降、その差が大きくなった。処理開始27日目において、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区および対照区は、60.0 mm、56.0 mm、33.3 mm となり、昇温処理区と対照区には大きな差が見られ、昇温処理区が大きかった。昇温処理を行った処理区間には有意な差は見られず、同様の花径であった。

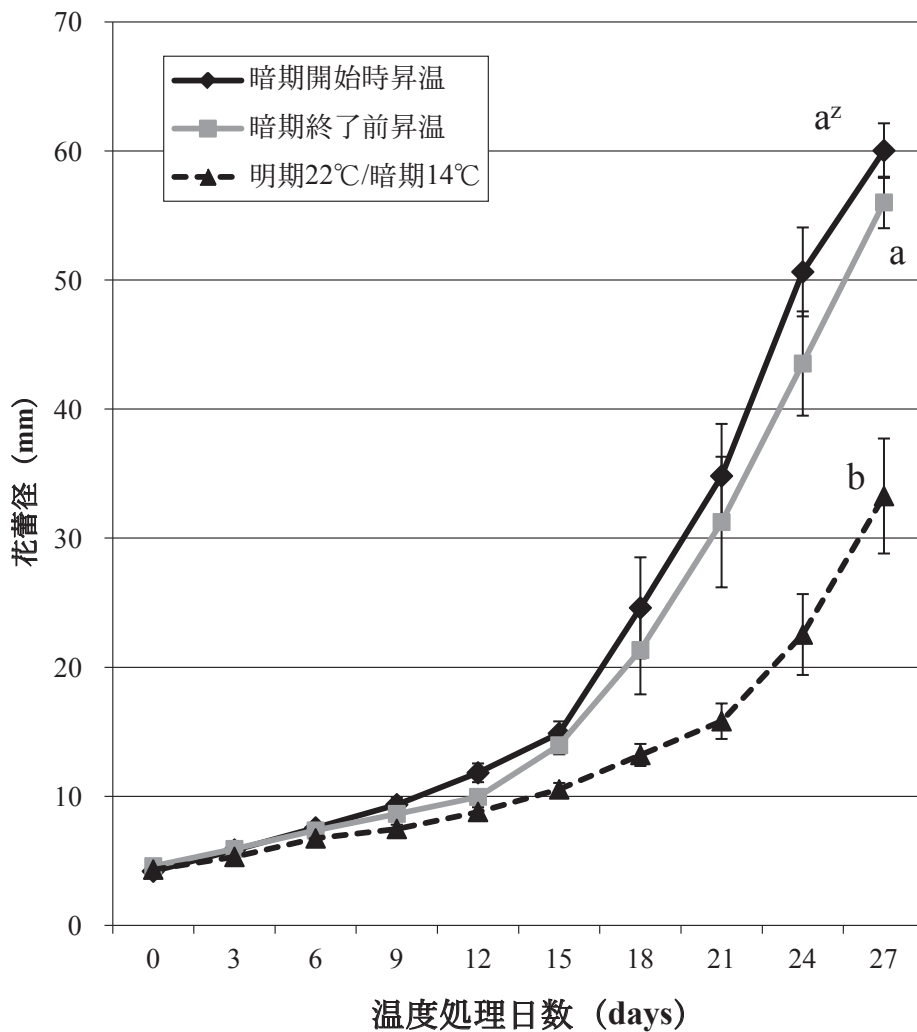
第7表 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いがアフリカンマリーゴールドの発蕾時の生育に及ぼす影響^z

	葉-面積(mm ²)	葉-乾物重(g)	植物体乾物重(g)	葉 数	発蕾日数
暗期開始時昇温	17214 ± 522 b ^y	0.453 ± 0.015 b	0.976 ± 0.053 b	14.0 ± 0.4 c	23.2 ± 0.5 b
暗期終了前昇温	34900 ± 858 a	0.995 ± 0.049 a	2.526 ± 0.190 a	18.3 ± 0.3 a	37.7 ± 0.9 a
明期22℃/暗期14℃	33429 ± 1241 a	1.050 ± 0.045 a	2.820 ± 0.174 a	16.6 ± 0.4 b	40.3 ± 0.8 a

値は平均値±標準誤差 (n=8)

^z 発蕾時に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



第13図 アフリカンマリーゴールドの発蕾からの暗期短時間昇温処理における時間帯の違いが花蕾径に及ぼす影響
値は平均値±標準誤差 (n=8)

^z 異なるアルファベット文字間に Tukey の検定により 5% レベルで有意差あり



第14図 発蕾からの暗期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの生育に及ぼす影響

考 察

今回、実験で供試したアフリカンマリーゴールドは、世界各国で一般的な夏花壇用の草本植物として利用される。アフリカンマリーゴールドは、相対的短日植物であり、短日要求性は系統間で異なっている (Tsukamoto, 1968)。生育適温は、18～20℃という報告があり (Nau, 1991)、セルからの移植後の昼温は18～22℃、夜温は13～16℃の管理が推奨されている (Armitage, 1998)。環境制御下において子葉の長さや乾物重および第3葉長などにバラツキが少なく再現性が高いため、指標植物として有効であると報告されている (Ormrod ら, 1980)。そこで、本章ではアフリカンマリーゴールドを用いて、12時間日長、22℃/14℃を対照とした短時間昇温処理の効果を検討した。

明期での短時間昇温処理時期がアフリカンマリーゴールドの生育、開花に及ぼす影響を検討した結果、短時間昇温処理の時間帯によって、草丈に及ぼす影響に違いが見られ、明期開始時昇温処理により草丈伸長の促進効果が認められた。

なお、明期終了前昇温処理では、草丈伸長の促進効果は認められなかった。これまでの変温管理では、DIFと同様の生育反応を示す短時間変温処理として、明期開始時の降温処理 (Moe ら, 1992b; Langton・Cockshull, 1997)、暗期終了前の降温処理 (Bertram, 1992; Cuijpers・Vogelezang, 1992; Moe ら, 1992b; Vogelezang

ら, 1992)、明期開始時の昇温処理 (Cuijpers・Vogelezang, 1992; Moe ら, 1992b) および暗期における降温処理 (Gertson, 1992; Jensen, 1992; Moe ら, 1992b) などが検討され、明期開始時の降温処理だけでなく暗期終了前の降温処理についても DIF 処理と同様に草丈伸長の抑制に効果があることが明らかにされている。その中でも *Salvia splendens* および *Petunia × hybrida* では、明期開始時2時間の昇温処理は茎伸長の促進においてプラス DIF 処理と同等の効果を示した (Erwin・Heins, 1995)。これは、今回のアフリカンマリーゴールドにおける明期開始時の短時間昇温処理による草丈伸長促進の効果と一致した。このことにより、この明期開始時の昇温処理による草丈伸長の促進はプラス DIF と同様の効果によるものと示唆された。

一方、発蕾日数は明期の短時間昇温処理により長くなり、開花反応に対する促進効果は認められなかった。

次に暗期での短時間昇温処理時期がアフリカンマリーゴールドの生育と開花に及ぼす影響について検討した。その結果、暗期での短時間昇温温度を30℃および22℃で行った両処理区とも明確な草丈の伸長効果は認められなかったが、開花反応の促進効果が認められた。両処理区において発蕾日数は、短時間昇温処理の時間帯が暗期開始時と終了前との間で大きな違いが認められ、暗期開始時の処理により開花反応が大きく促進した。このことから、暗期には開花反応が促進する時間帯と抑制される時間帯があることが示唆された。加えて、暗期開始時昇温処理区は、日平均温度を同じにした暗期昇温比較区より

も発蕾日数が短くなっており、暗期開始時昇温処理による開花の促進効果は、暗期昇温比較区と比較することで、開花の促進効果を検証することができると考えられた。

この方法により、短時間昇温処理が開花反応に及ぼす影響に関する知見が初めて見いだされた。この結果を検証するために、暗期短時間昇温処理により開花反応が促進する現象について詳細な実験を行った。

暗期短時間昇温処理の時間帯の検討を行い、暗期開始後、早ければ早いほどアフリカンマリーゴールドの発蕾日数は短くなり開花反応が早まることが明らかになった。特に暗期開始時に処理した場合に最も開花を促進する効果が高いことを見いだした。なお、暗期終了時の短時間昇温処理では、対照区と比べ開花の促進効果がないことも明らかとなった。また発蕾日数と同様に短時間昇温処理の時間帯が、暗期開始後、早ければ早いほど葉数は少なくなったことから、花芽分化が促進されたことによるものと考えられた。短時間昇温処理開始時から7週目では、植物全体の新鮮重には処理時間帯の違いによる差はみられないが、頂花の新鮮重は、短時間昇温処理の時間帯が暗期開始後早ければ早いほど重くなった。すなわち、短時間昇温処理の時間帯の違いによる同化産物の量は変わらないが、転流や分配に違いがあり、処理の時間帯が暗期開始後早ければ早いほど、花芽の分化とその後の生殖成長器官への転流や分配が促進されるものと考えられた。

次いで開花反応の促進に関して有効な暗期開始時の短時間昇温処理の長さについて検討した。実験2-(2)では0.5時間、1.0時間、2.0時間および3.0時間の昇温処理を行ったが、わずか0.5時間の暗期開始時の短時間昇温処理でも対照区に比べて明らかに発蕾日数が短くなり、短時間昇温処理時から7週目の花径が大きくなることが確認された。今回設定した30℃の昇温温度では、昇温時間が長いほど発蕾日数は短くなり、花径が大きくなった。加えて、昇温処理時間の違いによる葉数に差がなかったことから、昇温時間の延長は花芽分化の促進よりも花芽発達の促進に影響を与えるものと推測された。

開花反応の促進に有効な暗期開始時の短時間昇温程度について検討した。実験2-(1)および(2)では暗期温度が14℃の対照区に対して22℃、26℃および30℃の暗期開始時昇温処理を行ったが、全ての処理区において対照区よりも明らかに発蕾日数が短くなり、温度処理時から7週目の花径が大きくなることが確認された。加えて、今回設定した温度では、短時間昇温の温度が高いほど開花反応を促進する効果も高くなった。実験2-(2)

と同様に、昇温処理温度の違いによる葉数に差がなかったことから、昇温温度の上昇は花芽の発達に影響を与えるものと推測された。

昇温時間、昇温温度について検討した結果、実験2-(2)、(3)で設定した暗期開始時の昇温処理の中では、30℃、3.0時間処理の開花反応の促進効果が最も高かった。なお、暗期開始時の短時間昇温処理の開花反応の促進効果は30℃、0.5時間でも、また22℃、3.0時間の昇温処理でも、対照区に比べ明らかな開花反応の促進効果があることも明らかとなった。これにより、昇温処理時間を短縮し、かつ昇温温度を下げられる可能性があることが判明した。

今回行った暗期の短時間昇温処理は、昼夜間温度差ではマイナスDIFに該当する。Kresten(1993)は、暗期の時間帯の違いによる昇温処理について、夜明け前の昇温処理がキクの草丈と節間伸長を抑制し、マイナスDIFと同様の生育を示すことを報告している。実験2-(1)の短時間昇温処理の3処理は同一のDIFであるが、3処理の間で明確な開花反応の違いが認められたことは、DIFによる草丈の伸長抑制とは異なる現象とみなすことができる。一方、植物の生育および開花について、DIFだけでは説明できないとし、日平均気温(Itoら、1997)や昼温(Langton・Cockshull, 1997; Carvalhoら、2002)がより影響しているとする報告がある。しかし、実験2-(1)の3処理は日平均気温および昼温も同一であり、3処理間の大きな開花反応の違いは日平均気温や昼温でも説明できない。暗期開始時の短時間昇温処理で特異的に認められたマリーゴールドの開花反応の促進は、暗期の時間帯の違いによって開花反応の違いを示す新たな温度反応とみなすことができる。

なお、日没時の処理に特異的な植物の応答反応として、これまでに日没時(End-of-day)の短時間FR照射(End-of-day FR)による茎の伸長促進や開花の促進が報告されている(Kasperbauer・Peaslee, 1973; Rajapakseら、1993; Ilias・Rajapakse, 2005)が、本報告は温度制御による新たに見出された開花に関する反応である。

今回行った暗期開始時の短時間昇温処理の方法は、慣行栽培における夜間の温度を前夜半は生育適温に保ち、後夜半の温度を下げる変温管理と類似している。Parups(1978)は、秋ギクで茎長、花径、花重等の点で後夜半に温度を下げる方式の変温処理で、全期間生育適温に保った場合とほとんど変わらない生育量が確保できるとする肯定的な結果を示している。

一方、トマトでは、前夜半を生育適温に保ち、後夜半

の生育温度を抑えることによって、変温管理での果実（シンク）への炭素代謝の転流を促す効果があること、加えて、後夜半の温度を抑えることによって、植物体の呼吸量を抑える効果があることが報告されている（吉岡・高橋, 1981）。暗期開始直後の短時間昇温処理によるアフリカンマリーゴールドの開花反応の促進についても、炭素代謝の転流促進および呼吸抑制による効果が推察できる。しかし、今回の暗期開始時の短時間昇温処理は、暗期開始時に栽培適温に保つのではなく、短時間ではあるが栽培適温以上に温度を高めたものであること、実験結果から花芽分化および発達の促進に関与していることが推測されることから、これまでの変夜温管理とは異なっている可能性が考えられた。

次に暗期開始時短時間昇温処理の開花反応の促進が花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響を検討した。暗期短時間昇温処理の時間帯の違いにより発蕾までの各花芽発育段階への移行速度の違いが認められ、暗期開始時昇温処理によって花芽未分化から成長点膨大期を経て小花形成前期までの発育段階が早くなっていることが明らかになった。これにより、暗期開始時短時間昇温処理での開花反応の促進効果は、花芽未分化から小花形成までの発育段階に作用点があるものと考えられた。

植物では、花芽分化と初期の発達を糖が促すことから（Bernierら, 1981）。暗期開始時短時間昇温処理により、発蕾までに生殖成長器官（蕾）への糖の転流が促進されている可能性が考えられた。

次に暗期短時間昇温処理がアフリカンマリーゴールドの栄養成長に及ぼす影響を検討した。花芽未分化の状態から短時間昇温処理を行い、観察上、生殖成長の影響が見られない状態では、昇温の時間帯にかかわらず暗期の短時間昇温処理により栄養成長器官の生育の促進は認められ、これまでの実験と同様に花芽分化および発達は、暗期開始時昇温処理により促進された。これは、栄養成長器官には短時間昇温処理の時間帯による効果でなく、短時間ではあるが暗期に加温したことにより栄養成長器官への同化産物の転流が促進したためと推察された。

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いによる発蕾から開花に至るまでの花芽発達に及ぼす影響について検討を行った結果、暗期短時間昇温処理の時間帯による花蕾の発達に違いは認められなかった。カーネーションの光合成同化産物の分配では、気温あるいは植物体の温度が大きな影響を与え、蕾の温度が高いときには、同化産物が花に転流する割合が高くなり、蕾の温度が低いときには同化産物は供給源の葉より上の茎に集積することが報告

されている（Harris・Jeffcoat, 1974）。発蕾以降の発達については、短時間ではあるが暗期の温度を上げることによって、花蕾への同化産物の転流分配が促進されることが考えられた。

なお、マリーゴールドにおける暗期開始時短時間昇温処理の開花の促進効果は、炭素代謝の転流促進および呼吸抑制による効果と推察した。しかし、暗期開始時短時間昇温処理による花芽分化および発達への影響を検討した実験により、開花の促進効果は花芽分化および初期の花芽発達の促進に大きく影響していることおよび発蕾からの暗期短時間昇温処理には、時間帯の違いによる処理に差が認められなかったことが明らかとなった。

本章では、暗期開始時の昇温が開花に影響を与えることを初めて見いだした。この効果は、花芽分化および初期の花芽発達が促進されることによって開花に大きく影響していることが明らかとなった。

短時間変温処理による生理学的知見としては、キクにおいて短時間降温による茎伸長抑制とともに、活性型である GA_1 と GA_{19} の濃度が減少したことを報告している（Nishijimaら, 1997）。また、シネンシス系デルフィニウムでは、暗期開始後4時間、30℃の短時間昇温で茎伸長抑制とともに、 GA_{24} 濃度が低くなりジベレリン代謝を介して茎伸長を制御していることが示唆されている（佐々木ら, 2007）。また、開花にもジベレリン代謝が関与していることから（小柴・神谷, 2010）、今後、暗期短時間昇温処理による開花の促進効果についてジベレリン代謝の関与を検討していく必要がある。

冬期の花き施設栽培では、暖房コストを可能な限り抑えて開花を促進できる技術が望まれている。暗期開始時の短時間昇温処理による開花反応の促進は加温時間が少ないため、コストダウンにつながる変温管理技術の開発に応用できる。さらに、冬期に施設生産される主要切り花でも同様の効果が得られることが望ましい。そこで第2章においては、主要切り花であるスプレーギクにおいて暗期開始時昇温処理による開花反応の促進効果について検討した。

第2章 スプレーギクにおける暗期短時間昇温処理の効果

緒言

キク（*Chrysanthemum morifolium* Ramat.）は、わが国の花き産業において最も重要な切り花である。2009

年の作付け面積は5,420 haであり、出荷数量は17億3,100万本で切り花類の総出荷量の約38%を占める（農林水産省統計部，2009）。そのうち出荷数量で17%を占めるスプレーギクは、施設の利用面積割合が高く、周年生産体系が確立している品目である。

キクの生態的特性は多様であり、温度と日長が開花反応に影響を与えている。岡田（1963）は日照時間および温度に対する反応からキクの生態的分類を提唱し、その後、川田・船越（1988）はその分類を整理した。大きな相違点は、日長反応性について、限界日長および適日長限界の長短によって細分化した点、温度反応性については、冬至芽由来のキクが開花に至るまでに、ロゼット相、幼若相、感光相の3相を通過しなければならないこと、各相の通過にはそれぞれ低温、高温、短日条件が必要であるとの考え方を示した点である。これらの生態的特性は、これまでに開発された幼苗の低温処理、栽培温度制御、日長処理などによるキクの開花調節技術の体系化に貢献した。この考え方はさらに整理され、節間伸長には高温履歴が抑制的に働くのに対して、低温履歴はこれを回復させること（久松ら，2001; 2002）、花芽分化および発達には高温履歴および低温履歴によりそれぞれ抑制する場合があること（久松ら，2001; 2002）が明らかとなっており、温度反応を中心にキクの節間伸長および開花に及ぼす影響についての明確な解析が進められている。

キクは、花芽分化から発蕾までと発蕾から開花までとは温度要求が著しく異なる場合が多い（小西，1970）。岡田（1954）は、わが国の秋ギク49品種について、花芽分化の低温限界を調べ、日最低気温が7.6℃以下でもあっても花芽分化し得るものから、16.5℃で花芽分化し得なくなる品種までであったが、約80%の品種は11.4℃～14.6℃の間に、花芽分化の低温限界が認められたと報告している。

第1章において、アフリカンマリーゴールドでは、人工気象器による環境制御下での暗期開始時短時間昇温処理によって、発蕾日数が短くなり開花反応の促進効果が得られることが明らかとなった。その効果は、花芽分化および発蕾までの初期の花芽発達に大きく影響することが示唆された。そこで本章においては、低温環境下では花芽分化が遅れることが示されているスプレーギク品種‘セイローザ’において、アフリカンマリーゴールドと同様に人工気象器環境制御下において暗期開始時短時間昇温処理による開花反応の促進効果が得られるか検討することを目的とした。初めに、低温環境および栽培適温

環境下における暗期開始時の短時間昇温処理が開花反応に及ぼす影響について検討した。次いで、暗期開始時の短時間昇温処理が、スプレーギクの花芽分化および発達に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

実験1 異なる生育温度環境下における暗期開始時短時間昇温処理が生育および開花反応に及ぼす影響

(1) 低温環境下における暗期開始時短時間昇温処理の影響

材料には、スプレーギク品種‘セイローザ’（（有）精興園）を用いた。欧州名は‘Reagan’であり、ピンク一重の品種である。多数の枝変わり品種があり、1990年代には欧州で生産されるキクの50%以上を占めた主要品種である。周年の施設栽培における慣行栽培の温度域ではロゼットも見られず、開花遅延しにくい特徴を持つ。

親株管理として、ガラス温室内の夜間最低温度が17℃を下回らないように加温し、長日条件下とするため白熱電球下で暗期中断5時間（21:30-02:30）を行い、親株の維持管理を行った。暗期中断時の地表面における光合成有効光量子束密度（以下、PPFD）は、2.5～3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。実験1-(1)は2004年3月10日に採穂、実験1-(2)は2003年3月26日に採穂し、128穴のセルトレイに市販の播種用培土（メトロミックス250、サングロー社、カナダ）を充填し、挿し穂を行った。2週間後に発根苗を9cmビニルポット1苗ずつ移植した。培養土には園芸用培土（クレハ園芸培土（肥料成分：N:P:K=4:19:6、（株）クレハ）とメトロミックス250を1:1の割合で混合して用いた。ビニルポット移植後2週間については、同ガラス温室内で長日条件下の育苗を行った。

暗期開始時短時間昇温処理の開花の促進効果は、冬期の花き施設栽培において、暖房コストダウンにつながる変温管理技術の開発に応用できる可能性が推測されたので、キクでの暗期短時間昇温処理は、まず生育温度が低い環境下において暗期短時間昇温処理が‘セイローザ’の生育および開花反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのために明期温度16℃、暗期温度8℃とした低温環境下での実験を行った。

温度処理は、ビニルポット移植2週間後の苗を短日条件の12時間日長に設定した3台の高照度インキュベータ（EYERA製FLI-301NL）に移し、2004年4月7日に

開始した。

12時間日長，明期 16℃，暗期 8℃を対照として，暗期の開始時に3時間，24℃に昇温した暗期開始時短時間昇温処理区と短時間昇温処理を行う暗期時間帯で平均温度が同等となる暗期比較区（16℃/12℃）を設けた。3台のインキュベータの温度誤差は±1℃以内で使用し，PPFDは350～400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ （側面からの白色蛍光灯と上面のメタルハライドランプ下）とした。

温度処理実験時は，底面にトレイを敷き底面給水を行った。追肥として温度処理開始3週間後から液肥OK-F-1（肥料成分N:P:K = 15:8:17）（大塚化学(株)）の2000倍希釈液を給水と同時に施用した。供試個体は，すべての実験において1温度処理あたり12個体とし，温度処理は7週間を目途に終了した。

調査項目は，温度処理（短日処理）後に増加した茎長（以下，増加茎長），温度処理後に展開した葉数（以下，増加葉数），地上部新鮮重，発蕾日とした。発蕾は上部から観察し目視できる状態とした（第15図）。増加茎長，増加葉数，地上部新鮮重は温度処理開始後7週目に測定した。

なお，短時間昇温実験開始時の苗は，展開葉が9.3枚（標準誤差±0.3）で，茎長は13.8cm（標準誤差±0.5）であった。

(2) 栽培適温環境下における暗期開始時短時間昇温処理の影響

材料，育苗および調査項目は，低温環境下における暗期開始時短時間昇温処理の実験と同様に行った。

短時間昇温処理は，移植2週間後の苗を12時間日

長に設定した3台の高照度インキュベータ（EYERA製FLI-301NL）に移し，2003年4月23日に開始した。

12時間日長，明期/暗期（22℃/14℃）を対照として，暗期の開始時に3時間，30℃に昇温した短時間昇温処理区および短時間昇温処理区と暗期時間帯で平均温度が同等となる暗期比較区（22℃/18℃）を設けた。

温度処理実験時の栽培管理は，実験1-(1)と同様に行った。

なお，短時間昇温実験開始時の苗は，展開葉が10.3枚（標準誤差±0.6）展開した状態で，茎長は21.5cm（標準誤差±2.1）であった。

実験2 暗期短時間昇温処理の時間帯が花芽分化および発達に及ぼす影響

(1) 花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響

材料には，実験1と同様の‘セイローザ’を用いた。

親株管理として，ビニルハウスの夜間最低温度が17℃を下回らないように加温し，長日条件下とするため電球形蛍光ランプ（ネオボールZ21W3波長形白昼色（EFG21EL, TOSHIBA）下で暗期中断5時間（21:30-02:30）を行った。暗期中断時の地表面におけるPPFDは，6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。2009年6月11日に採穂し，200穴のセルトレイに市販の播種用培土（メトロミックス250）を充填し挿し穂を行った。3週間後に発根苗を7.5cmビニルポットに1苗ずつ移植した。培養土には園芸用培土（クレハ園芸培土）と赤土，ピートモスおよびパーライトを4:2:1:1の割合で混合して用いた。追肥は液体肥料（くみあい液肥2号（肥料成分，N:P:K = 10:4:8, コープケミカル(株)）を400倍希釈し，



(A) 発蕾



(B) 開花

第15図 スプレーギク品種‘セイローザ’の発蕾状況(A)と開花状況(B)

週1回の施用を行った。挿し穂から温度処理実験を開始するまでの期間は、親株管理と同様の暗期中断で行った。

なお、各実験とも、温度処理実験開始時（移植時）に実体顕微鏡で剥皮法により成長点を観察し、花芽分化していないことを確認した。

暗期短時間昇温の処理時間帯の違いが花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響について明らかにするために、暗期昇温時間帯を暗期開始時および暗期終了前とした昇温処理について、成長点部分の形態観察を行った。

3台の人工気象器（日本医化器械製 LPH-350SP）を用いて、2009年7月16日から短時間昇温処理を32日間行った。明期温度16℃、暗期温度8℃、日長12時間を対照区とし、暗期における3時間、24℃昇温の時間帯を、暗期開始時および暗期終了前とした短時間昇温処理区を設けた。

なお、3台の人工気象器の温度誤差は±1℃以内、PPFDは200～250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ （側面からの白昼色蛍光灯下）であった。

調査は、短時間昇温処理開始時から4日おきに花芽分化および発達について調査し、茎頂部分を剥皮法により実体顕微鏡下で観察して行った。観察は各処理区6個体について行った。

キクの花芽発育段階については岡田ら（1963）の報告に準じ、0期：花芽未分化、I期：成長点膨大期、II期：総苞形成前期、III期：同中期、IV期：同後期、V期：小花形成前期、VI期：同中期、VII期：同後期、VIII期：発蕾期とした。なお、花芽発育段階II期とした総苞形成期に達したときに花芽分化したと判断した。

(2) 花芽分化および発達が栄養成長に及ぼす影響

観察上、生殖成長の影響のみられない未発蕾の段階である温度処理24日目および生殖成長の影響がみられる

発蕾時の栄養成長器官に及ぼす影響について検討を行った。

材料、親株管理、育苗および短時間昇温処理時の人工気象器下での栽培管理については実験2-(1)と同様に行った。

明期温度16℃、暗期温度8℃の日長12時間を対照区とし、暗期における3時間、24℃昇温の時間帯を、暗期開始時及び暗期終了前とした短時間昇温処理区を設けた。これらの処理は、3台の人工気象器（日本医化器械製 LPH-350SP）を用いて、2009年7月16日から行った。

調査は、温度処理24日目および発蕾時に葉面積、乾物重、葉数について各処理区8個体の調査を行った。温度処理24日目については花芽発育段階を調査するため茎頂部分の形態観察を剥皮法により行った。

結 果

実験1 異なる生育温度環境下における暗期開始時短時間昇温処理が生育および開花反応に及ぼす影響

(1) 低温環境下における暗期開始時短時間昇温処理の影響

低温環境下での暗期短時間昇温処理時期が「セイローザ」の生育および開花反応に及ぼす影響について第8表に示した。

温度処理後7週目における短日処理後の増加茎長は、対照区と比べ暗期開始時昇温区および暗期比較区は有意に長くなった。暗期開始時昇温処理と暗期比較区には差が見られなかった。

増加葉数についても同様で、対照区と比べ暗期開始時昇温区および暗期比較区は有意に多くなった。暗期開始時昇温処理と暗期比較区には差が見られなかった。

地上部新鮮重は、暗期開始時短時間昇温処理が対照区および暗期比較区より有意に大きくなった。対照区と暗

第8表 低温環境下での暗期開始時短時間昇温処理が「セイローザ」の生育に及ぼす影響²

処理区	増加茎長(cm)	増加葉数	地上部新鮮重(g)	発蕾日数(日)	平均温度(℃)
暗期開始時昇温	24.5 ± 0.8 a ¹	12.5 ± 0.3 a	34.4 ± 2.8 a	28.8 ± 0.4 c	14.0
暗期昇温比較(16℃/12℃)	24.6 ± 0.8 a	11.8 ± 0.3 a	20.7 ± 1.6 b	31.2 ± 0.6 b	14.0
対 照(16℃/8℃)	21.2 ± 0.7 b	9.8 ± 0.2 b	17.9 ± 1.2 b	40.8 ± 0.8 a	12.0

値は平均値±標準誤差 (n=12)

² 発蕾日数以外は短時間昇温処理開始後7週目に調査

¹ 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり

期比較区には差が見られなかった。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区、暗期比較区、対照区の順に有意に短くなり、暗期開始時昇温処理により発蕾が早まった。

(2) 栽培適温環境下における暗期開始時短時間昇温処理の影響

栽培適温環境下での暗期短時間昇温処理時期が「セイローザ」の生育および開花反応に及ぼす影響について第9表に示した。各処理区間の有意差検定はTukey法(有意水準5%)により行った。

温度処理後7週目における短日処理後の増加茎長は、対照区および暗期比較区と比べ暗期開始時昇温区は有意に短くなった。

増加葉数および地上部新鮮重は処理区による差は見られなかった。

発蕾日数は、暗期比較区において暗期開始時昇温区および対照区より有意に短くなった。暗期開始時昇温処理と対照区には差が見られなかった。

実験2 暗期短時間昇温処理の時間帯が花芽分化および発達に及ぼす影響

(1) 花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響

「セイローザ」の暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響を明らかにするために、成長点部分の経時的な形態観察を行った(第16図)。

対照区では、処理後12日目から成長点が肥大し(第I期)、20日目に花芽分化を開始した個体(第II期)がみられた。32日目では、各個体の発育ステージが第II～VII期とばらついた。暗期開始時昇温区は各花芽発育段階に達するまでの日数が最も短く、花芽分化とした総苞形成期には処理後12日目に達した個体も見られ、処理

後32日目には発蕾する個体も見られた。暗期終了前昇温区は、処理後20日目には第II期に達する個体が見られ、32日目にはほとんどの個体が第V～VII期までの段階であり、対照区と比べ発蕾までの花芽分化および発達は早かった。

(2) 花芽分化および発達为荣養成長に及ぼす影響

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが栄養成長器官への影響を明らかにするために、観察上、生殖成長の影響のみられない未発蕾時と発蕾時において、葉面積および栄養成長器官の乾物重について検討を行った。

昇温処理開始24日目における暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが栄養成長に及ぼす影響を第10表に示した。

葉面積では、対照区と比べ暗期開始時昇温処理は有意に大きくなっており、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区の順に葉面積は大きかった。葉乾物重および植物体乾物重においては処理区間に差は見られなかった。

増加葉数では、暗期開始時昇温区、暗期終了前昇温区、対照区の順に7.5、6.9および6.1枚となった。対照区と比べ暗期開始時昇温区は有意に多くなった。

昇温処理開始24日目の花芽発育段階は、暗期開始時昇温区は総苞形成後期(IV期)に達していた。暗期終了前昇温区および対照区は成長点膨大期(I期)から総苞形成前期(II期)であり、暗期開始時昇温区の花芽発育は促進した。

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが発蕾時の生育に及ぼす影響を第11表に示した。

葉面積において、暗期開始時昇温区は暗期終了前昇温区および対照区と比べ有意に小さかった。暗期終了前昇温区と対照区には有意な差は見られなかった。葉乾物重および植物体乾物重においても同様であった。

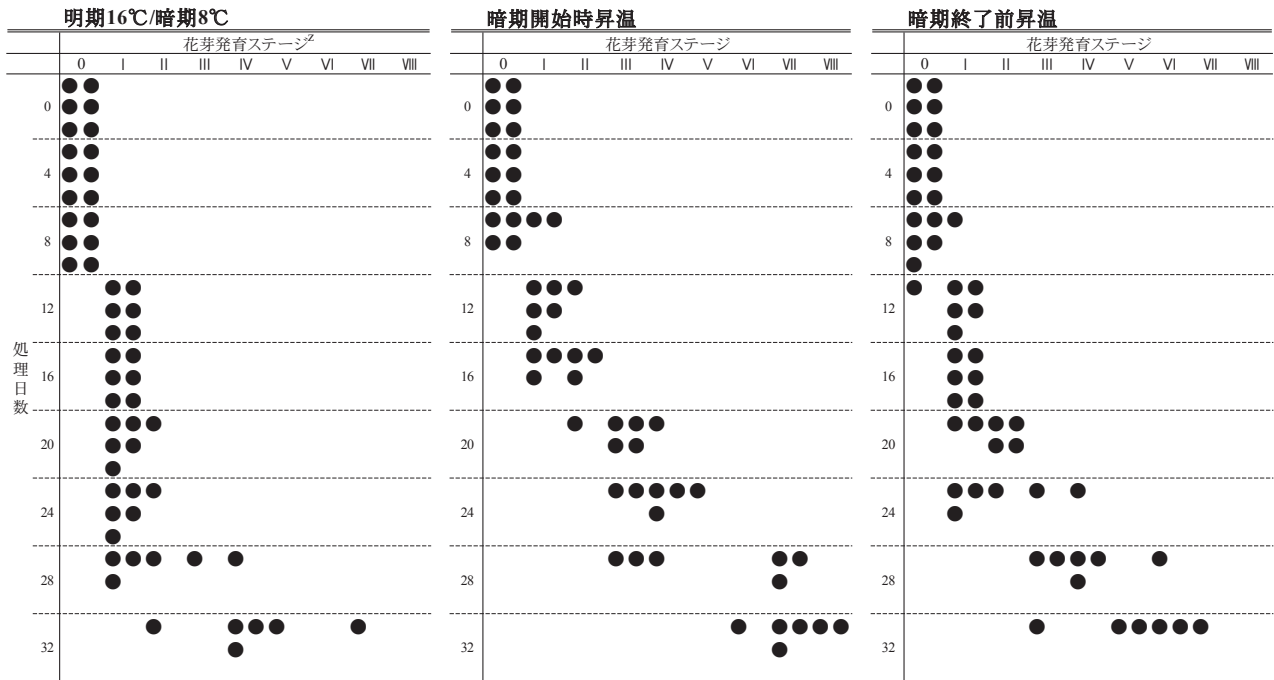
第9表 栽培適温下での暗期開始時短時間昇温処理が「セイローザ」の生育に及ぼす影響²

処理区	増加茎長(cm)	増加葉数	地上部新鮮重(g)	発蕾日数(日)	平均温度(°C)
暗期開始時昇温	20.1 ± 1.0 a ^y	12.4 ± 1.0 a	39.4 ± 2.4 a	22.6 ± 0.8 a	20.0
暗期昇温比較(22°C/18°C)	22.4 ± 2.7 a	12.0 ± 0.8 a	39.5 ± 3.4 a	20.0 ± 0.4 b	20.0
対 照(22°C/14°C)	21.3 ± 2.2 a	11.3 ± 0.7 a	37.9 ± 3.9 a	22.6 ± 1.0 a	18.0

値は平均値±標準誤差(n=12)

² 発蕾日数以外は短時間昇温処理開始後7週目に調査

^y 同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



第16図 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが‘セイローザ’の花芽分化および発達に及ぼす影響²
²0：花芽未分化，I：生長点膨大期，II：総苞形成前期，III：同中期，IV：同後期，V：小花形成前期，VI：同中期，VII：同後期，VIII：発蕾期。

第10表 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが‘セイローザ’の栄養成長および花芽発育に及ぼす影響²

	葉-面積(mm ²)	葉-乾物重(g)	植物体乾物重(g)	展開葉数	花芽発育ステージ
暗期開始時昇温	8518 ± 337 a ^y	0.442 ± 0.02 a	1.75 ± 0.16 a	7.5 ± 0.2 a	4.4 ± 0.2 a
暗期終了前昇温	7328 ± 383 ab	0.381 ± 0.03 a	1.42 ± 0.13 a	6.9 ± 0.2 ab	1.7 ± 0.5 b
明期16℃/暗期8℃	7190 ± 344 b	0.408 ± 0.02 a	1.64 ± 0.08 a	6.1 ± 0.2 b	1.3 ± 0.2 b

値は平均値±標準誤差 (n = 8)

²短時間昇温処理開始後24日目に調査し，各調査項目は処理後の増加値

^y同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり

第11表 暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが‘セイローザ’の発蕾時の生育に及ぼす影響²

	葉-面積(mm ²)	葉-乾物重(g)	植物体乾物重(g)	葉数	発蕾日数
暗期開始時昇温	13384 ± 764 b ^y	0.970 ± 0.1 b	4.0 ± 0.2 b	14.4 ± 0.6 b	32.4 ± 0.5 c
暗期終了前昇温	21945 ± 275 a	1.941 ± 0.1 a	6.9 ± 0.3 a	23.4 ± 0.6 a	46.6 ± 2.4 b
明期16℃/暗期8℃	21123 ± 1641 a	2.201 ± 0.3 a	7.8 ± 0.5 a	23.2 ± 0.8 a	63.4 ± 3.2 a

値は平均値±標準誤差 (n = 8)

²発蕾時に調査し，各調査項目は処理後の増加値

^y同一列の異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり

増加葉数は、暗期終了前昇温区、暗期開始時昇温区、対照区の順に有意な差が多かった。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区が暗期終了前昇温区および対照区と比べ有意に短かった。暗期終了前昇温区と対照区には有意な差は見られなかった。

考 察

主要切り花であるスプレーギクにおいて、アフリカンマリーゴールドで見いだした暗期開始時短時間昇温処理による開花の促進効果を検討するため、主要スプレーギク品種である‘セイローザ’を用いた。

まず冬期の施設栽培を想定した低温環境下での暗期開始時昇温処理が生育および開花反応に及ぼす影響について検討した。その結果、増加茎長は、暗期開始時昇温区および暗期比較区では、対照区に比べ長くなったが、暗期開始時昇温区と暗期比較区の間には差は見られなかったことから、暗期で加温することによって得られた効果であると考えられた。

発蕾日数は、暗期開始時昇温区は暗期比較区と比べて早くなり、アフリカンマリーゴールドと同様に暗期開始時昇温処理による開花反応の促進効果が得られた。花芽分化の指標となる増加葉数は、暗期開始時昇温区と暗期比較区に有意な差が認められなかったことから、花芽分化への影響は少ないものと考えられた。地上部新鮮重は、暗期開始時昇温区により暗期比較区および対照区と比較して大きくなっていった。これは、開花反応が促進し、頂花の発達が促進したことが大きく影響しているものと推測した。

これらのことから、暗期開始時短時間昇温処理が‘セイローザ’の栄養生長や開花反応に及ぼす効果は、アフリカンマリーゴールドの場合と同様の傾向を示し、開花反応の促進効果が認められた。

次に栽培適温下での暗期開始時短時間昇温処理が‘セイローザ’の生育および開花反応に及ぼす影響について検討した。その結果、暗期比較区により発蕾日数が短くなったが、暗期開始時昇温処理による発蕾日数の短縮は認められなかった。DIF処理の場合も、植物種によってその生育反応は異なることが報告されている(腰岡・Moe, 1999)。また、ポインセチアでは品種によって生育反応が異なることが報告されている(Moeら, 1992b; 1992c)。アフリカンマリーゴールドでは栽培適温下でも開花反応の促進効果が得られていたことから、植物種により開花反応の促進効果が得られる温度域に違

いがある可能性が示唆された。

アフリカンマリーゴールドの暗期開始時短時間昇温処理による開花反応の促進効果は、花芽分化を含む発蕾まで発達の影響が大きかったことから、実験2-(1)では‘セイローザ’の花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響を検討した。その結果、暗期開始時昇温処理により、アフリカンマリーゴールドと同様に花芽未分化から小花形成までの花芽分化および発達が促進された。この効果は暗期開始時に特異的であり、暗期終了前の短時間昇温処理では認められなかった。

キクの開花に対する温度反応において短日処理から発蕾までは、15～20℃が好適である(小西, 1970)。15℃より低い温度では、多くの品種で花芽形成が非常に遅れるか、あるいは形成されない。Post(1947)は、キクが花芽分化できる最低の温度は15.5℃であり、10℃では分化しないか、分化しても非常に遅れることを示している。Karlssonら(1989)は、最低気温10℃では花芽分化および発蕾までの花芽発達が非常に遅れ、加えて葉数が増加することを報告している。今回の実験では、暗期温度は8℃である。短時間昇温処理をしない対照区および暗期終了前昇温区では、32日目でも発蕾が見られず、非常に遅れた。暗期開始時短時間昇温区は、キクの花芽分化し得る温度としては非常に低い温度にもかかわらず、花芽分化および発達が促進され、32日目には発蕾も見られた。このことは、暗期開始時短時間昇温処理により、低温環境下でも花芽分化および発蕾までの花芽発達が促進され、栽培適温時の生育の移行速度に近づくものと推測した。

なお、実験1では花芽分化の指標となる増加葉数において、暗期開始時昇温区と暗期比較区に有意な差は見られなかった。しかし、経時的な形態観察を行った実験2では、昇温処理区の時間帯の違いによって花芽分化とした総苞形成期への移行に差が見られたことから、暗期開始時昇温処理により花芽分化への移行が早くなっていることが推測された。

暗期短時間昇温処理の時間帯の違いが栄養成長に及ぼす影響を検討した結果、‘セイローザ’における暗期短時間昇温処理後24日目の栄養成長器官の生育は、アフリカンマリーゴールドの場合ほどの顕著な影響は見られなかったが、時間帯にかかわらず暗期の短時間昇温処理により栄養成長器官の生育の促進が認められた。このことは、アフリカンマリーゴールドと同様に栄養成長器官の生育の促進には、短時間昇温処理の時間帯の違いによる効果でなく、暗期を加温することによって得られた栄

養成長器官への同化産物の転流促進が関与しているものと推察された。

‘セイローザ’では、アフリカンマリーゴールドと同様に暗期の短時間昇温処理の時間帯の違いが花芽分化および発達に及ぼす影響に違いがみられ、暗期開始時短時間昇温処理により花芽分化および初期の花芽発達が促進されることで開花反応の促進効果に大きく影響していることを見いだした。

本章では、スプレーギク品種‘セイローザ’において、低温環境下で暗期開始時短時間昇温処理が開花反応を促進することを見いだした。この効果は、冬期の施設栽培における慣行栽培温度から燃料費削減のために温度を下げた栽培において、栽培期間の延長や品質の低下を最小限にとどめながらコストダウンにつながる変温管理技術の開発に応用できる可能性を示した。

第3章 スプレーギクにおける施設栽培での短時間昇温処理の効果

緒言

キクの生態的特性に多様性があるものの、開花には一般的に15℃～20℃が好適である。しかし、15℃より低い温度では、多くの品種は花芽形成が非常に遅れるか、あるいは形成されない(小西, 1970)。Post (1947)は、キクが花芽分化できる最低の温度は15.5℃であり、10℃では分化しないか、分化しても非常に遅れることを示している。加えて、花房形質は、発蕾時以降の温度を下げることによって花房形質が変化し、花房が乱れることが報告されている(Cathey, 1955)。このように低温で管理を行うと、栽培期間が長くなる上に、花房形質に関わる品質が低下する。

近年、原油価格が不安定化しており、花きの施設栽培においても省エネルギー化が叫ばれている。また、地球温暖化防止の観点からもエネルギー消費を軽減する必要がある。花きの施設栽培における省エネルギー対策については、1970年代の石油危機当時に低温管理に関する取り組みがさかんに行われたが(Parups, 1978; Kohl・Thigpen, 1979; Bonaminio・Parson, 1980; Parups・Butlur, 1982)、わが国では切り花品質を重視する傾向にあるため、普及はそれほど進んでいないのが現状である。

これらにより、栽培期間の延長や品質の低下を最小限にとどめながら、省エネルギーを図ることができる効率的な栽培管理技術の構築が求められている。

第2章では、スプレーギク品種‘セイローザ’において、人工気象器での環境制御下の低温環境において、暗期開始時短時間昇温処理が開花反応の促進効果があることを明らかにし、省エネルギー、低コスト栽培につながる可能性を示した。しかし、光量や温度変化が一定である人工気象器環境制御下と、光量も多く、温度変動があり、常に気象条件に左右される自然条件下では異なる反応を示す可能性がある。

そこで、第3章では人工気象器環境制御下で見いだした開花反応の促進効果が、実際のスプレーギクの冬季施設栽培においても同様に開花の促進効果が得られるか明らかにすることを目的とした。慣行栽培温度から生育温度を下げた温度環境下で短時間昇温処理がスプレーギクの生育、開花に及ぼす影響について検討した。その結果、施設栽培においても同様の効果が得られたことから、さらに冬期施設栽培でのスプレーギクの開花および花房形質に与える影響について検討した。加えて、この短時間昇温処理による温度制御技術がコスト削減へとつながるかを試算し、省エネルギー栽培管理技術として提示できるか検討した。

材料および方法

実験1 異なる生育温度環境下でのスプレーギクの開花に及ぼす短時間昇温処理の効果

スプレーギク品種として‘セイローザ’、‘デックモナ’(ジャパンアグリバイオ(株))および‘フィウオッカイエロー’(ジャパンアグリバイオ(株))の3品種を供試した。‘デックモナ’および‘フィウオッカイエロー’は、予備試験において、低温環境下での開花遅延が起こりにくいことが確認された。

各品種とも、冬季の自然低温に遭遇した親株を2007年春からガラス温室へ移した。ガラス温室は、電球形蛍光灯ランプ(ネオボールZ電照菊用21W3波長形電球色(EFG21EL KIKU, TOSHIBA))で5時間の暗期中断(21:30-02:30)を行い、長日条件とした。

暗期中断時の地表面における光合成有効光量子束密度(以下、PPFD)は、 $3.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。2007年11月1日以降は、夜間最低気温が15℃を下回らないように、ガラス温室内を加温した。

2007年12月14日に採種し、200穴のセルトレイに市販の播種用培土(メトロミックス250)を充填し、挿し芽を行った。2週間後の2007年12月28日に、発根苗をプランター(W650×S220×H190mm、容量11L)

に12株ずつ定植した。培養土には園芸用培土（クレハ園芸培土）と赤土、ピートモスおよびパーライトを4：2：1：1の割合で混合して用いた。

追肥は液体肥料（くみあい液肥2号）を400倍希釈し、週1回の施用を行った。定植後、短日処理開始までの期間（暗期中断期間）は、夜間最低設定温度を15℃とし、換気温度25℃に設定したガラス温室内で3週間栽培管理した。供試株数は1品種、1温度処理あたり18株とした。

2008年1月18日にガラス温室にプランターを移し温度処理と同時に短日処理を開始した。なお、短時間昇温処理を行った短日処理期間はシェードによる18:00-6:00の12時間日長を基本として、12時間より日長が短い期間は自然日長条件とした。

温度処理は、各ガラス温室の最低気温を8℃、13℃および18℃、換気温度を25℃とした。最低気温8℃、13℃としたガラス温室内に、短時間昇温処理装置を設置した（第17図）。短時間昇温処理装置は、側面に自動開閉装置（くるくるAceⅢ、(株)誠和）で開閉を行う小型ビニルハウス（雨よけ栽培支柱セット、(株)ニチカン）と昇温するための電気温風機（電気温風機SF-1008A、総和工業(株)）を組み合わせた。制御装置としてプログラムリレー（zen10CAR-A-AV2、オムロン(株)）

を使用し、処理ごとに日没時（シェード開始時または日没20分後）と夜明け前（シェード終了まで、または夜明け20分前まで）の時間帯に自動開閉装置および電気温風機を作動させ、短時間昇温処理を行った。処理温度は、現在の一般的なスプレーギク施設栽培に導入されている暖房機の最大で稼働できる温度範囲である加温温度20℃に設定した。短時間昇温処理の処理温度は、日没時に20℃の3時間ないし1時間昇温を行う日没時昇温3h区、日没時昇温1h区と、夜明け前の3時間昇温を行う夜明け前昇温3h区を設けた。

調査項目は、短日処理開始からの茎長（以下、増加茎長）、発蕾日、開花日、短日処理開始からの展開葉数（以下、増加葉数）とした。なお、短日処理開始から発蕾、開花までの日数を発蕾日数、到花日数とした。

実験2 日没時短時間昇温処理がスプレーギクの開花および花房形質に及ぼす影響

日没時短時間昇温処理がスプレーギクの開花および花房形質に及ぼす影響について実験を行った。

スプレーギク品種として‘セイローザ’、‘セイエルザ’（(有)精興園）、‘デックモナ’および‘フィウオッカイエロー’の4品種を用いた。‘セイエルザ’は、市場流通の多い白色スプレーギクの代表的な主要品種である。



第17図 実験1を行った最低気温8℃、13℃としたガラス温室内に設置した短時間昇温処理用小型ハウス

冬季の自然低温に遭遇させた親株を2008年5月8日からビニルハウス内に移した。ビニルハウスは、電球形蛍光灯（ネオボールZ21W3波長形白昼色(EFG21EL), TOSHIBA)で5時間暗期中断(21:30-02:30)を行い、長日条件とした。暗期中断時の地表面におけるPPFDは、 $6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。2008年11月1日以降は、夜間最低気温が 15°C を下回らないように、ビニルハウス内を加温した。

2008年11月12日に採穂し、12月4日にプランターに定植した。挿し芽、定植は実験1と同様に行った。定植後、暗期中断期間は最低温度を 15°C 、換気温度を 25°C に設定したビニルハウス内で管理した。供試株数は1品種、1温度処理区あたり24株とした(プランター2組)。

短日処理条件は自然日長条件とした。温度処理としては、最低温度 13°C 、 18°C に加え、最低温度 13°C で日没時から 20°C 、3時間の短時間昇温処理を施した日没時短時間昇温処理の3つの処理区を設けた。昼温の設定温度および換気温度は共通とし、夜明け後から日没前まで 15°C 、換気温度は 25°C に設定した。日没時短時間昇温処理は、ビニルハウス内を小型温風機(KA-325, ネポン(株))2台に4段サーモ(ネポン4段サーモHT-144S1, ネポン(株))を用いて日没時(日没20分後)に3時間、 20°C の昇温処理を行い、その後は最低夜温を 13°C とした。日没の時間帯の設定は2週間おきに設定を変更した。2008年12月25日に温度設定したビニルハウスへプランターを移し、温度処理及び短日処理を開始した。

なお、日没時短時間昇温処理がスプレーギクの発蕾期以降の花房形質に及ぼす影響を検討するため、最低温度 18°C 処理区で発蕾したプランターを最低温度 13°C のビニルハウス内に移動して温度処理する区(18°C - 13°C 区)および日没時昇温処理区で発蕾したプランターを最低温度 13°C のビニルハウス内に移動して温度処理する区(日没時昇温- 13°C 区)を設けた。

調査項目は、増加茎長、増加葉数、発蕾日、開花日とした。スプレーギクでは、品質上、頂花および側花を含めて5花以上の側枝(花)数が必要であり、側枝の形質も重要であるため、第1次側枝数、頂花を含め第5花目となる第4側枝の着生角度および第4側枝長(第18図)について調査した。

結果

実験1 異なる生育温度環境下でのスプレーギクの開花に及ぼす短時間昇温処理の効果

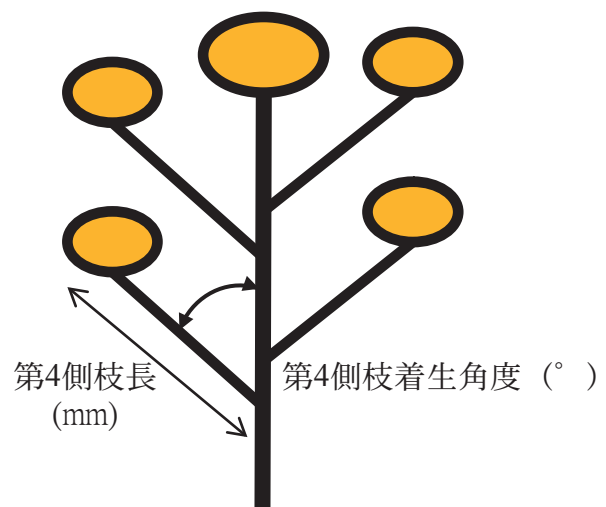
異なる生育温度環境下でのスプレーギクの生育と開花に及ぼす影響について検討を行った。

第19図に短時間昇温処理を行った2008年1月18日～4月30日のガラス温室内の最高温度と各処理区の最低温度の変化を示した。なお、最高温度については、各処理区ともに最高温度値はほぼ変わらなかったため、 18°C 区のみ示した。各処理区の処理期間における最低気温の平均気温は、 18°C 区で 17.4°C 、 13°C 区で 12.6°C および 8°C 区で 9.8°C であった。なお、 8°C 区では3月上旬から外気温の上昇により 8°C を上回るようになり、平均温度も高くなった。

スプレーギクにおける生育温度が異なる環境が生育、開花に及ぼす影響について第12表および第20図に示した。

異なる生育温度環境下での発蕾および開花に及ぼす影響は、今回供試した3品種ともに栽培温度が下がるにつれ、発蕾日数および到花日数は多くなった。なお、 8°C 区における発蕾および開花の遅れは、‘セイローザ’で顕著であった。

増加葉数では、今回供試した3品種ともに 18°C 区と



第18図 花房形質における第4側枝の側枝長(mm)および着生角度の計測方法

13℃区において有意な差は見られなかった。栽培温度が下がる8℃区では‘セイローザ’において葉数の顕著な増加が見られたが、‘デックモナ’と‘フィウオッカイエロー’には葉数の増加は見られなかった。

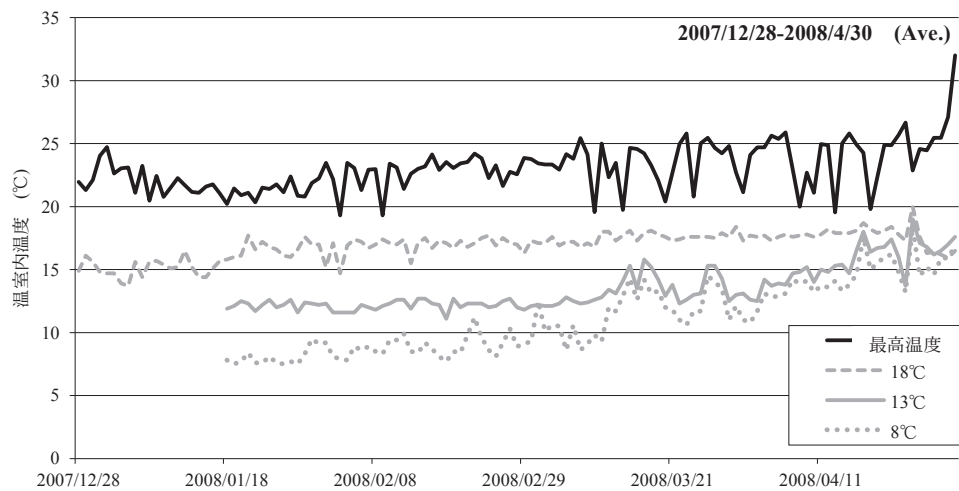
増加茎長では、今回供試した3品種ともに栽培温度が下がるにつれ、茎長は長くなった。なお、8℃区における‘セイローザ’の増加茎長は顕著に長くなった。

第21図に短時間昇温処理を行った2008年2月5日～2月9日のガラス温室内の13℃処理区(図：上)および8℃処理区(図：下)における各処理の経時的最低

気温の平均値推移を示した。短時間昇温処理区における気温推移は、日没時昇温3h区、日没時昇温1h区および夜明け前昇温3h区ともに設定していた昇温時間3時間、昇温温度20℃をほぼ維持していた。

スプレーギク3品種の生育温度が異なる環境下での夜間の短時間昇温処理の生育、開花に及ぼす影響に関する結果を第13表および第22図に示した。

最低温度13℃における短時間昇温処理が発蕾および開花に及ぼす影響についてみると、3品種とも日没時3時間処理により発蕾および開花が有意に早くなった。日



第19図 実験1を行った2008/1/18～2008/4/30の各ガラス温室内の最高温度と各処理区の最低温度の変化

第12表 生育温度が異なる環境がスプレーギクの生育および開花に及ぼす影響

品 種	処 理	発蕾日数	到花日数	増加葉数	増加茎長(cm)
セイローザ	18℃	26.1 ± 0.3 b ²	56.4 ± 0.4 c	19.4 ± 0.3 b	46.0 ± 0.7 b
	13℃	29.1 ± 0.6 b	63.0 ± 0.8 b	19.4 ± 0.2 b	51.5 ± 0.7 b
	8℃	49.0 ± 1.8 a	84.9 ± 1.3 a	24.3 ± 1.2 a	74.0 ± 3.0 a
デックモナ	18℃	22.7 ± 0.2 c	51.1 ± 0.4 c	18.1 ± 0.5 a	49.0 ± 0.8 b
	13℃	26.6 ± 0.3 b	54.9 ± 0.5 b	17.8 ± 0.4 a	52.8 ± 1.1 b
	8℃	32.9 ± 0.3 a	64.4 ± 0.5 a	18.1 ± 0.3 a	60.1 ± 1.4 a
フィウオッカイエロー	18℃	23.2 ± 0.2 c	48.8 ± 0.4 c	23.9 ± 0.4 a	46.0 ± 0.6 b
	13℃	26.6 ± 0.2 b	52.9 ± 0.5 b	23.3 ± 0.7 a	54.8 ± 0.9 a
	8℃	31.3 ± 0.3 a	62.4 ± 0.5 a	24.7 ± 0.6 a	56.7 ± 1.0 a

値は平均値±標準誤差 (n = 12)

² 品種毎の同一列による異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり

没時1時間処理および夜明け前3時間処理でも発蕾および開花が早まる傾向が認められたが、日没時3時間処理に比べるとその程度は劣った。

最低温度8℃における短時間昇温処理が発蕾および開花に及ぼす影響についても、最低温度13℃と同様の傾向を示し、3品種ともに日没時3時間処理により発蕾および開花が有意に早くなった。日没時1時間処理および夜明け前3時間処理でも発蕾および開花が早まる傾向が認められたが、日没時3時間処理に比べるとその程度は劣った。なお、最低温度13℃区および8℃区での日没

時1時間処理と夜明け前3時間処理の効果の優劣は品種間で異なっていた。

増加葉数においては、最低温度13℃区および8℃区において、今回、供試した3品種ともに葉数の差はほとんど見られなかった。

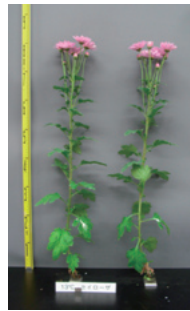
増加茎長においては、最低温度13℃区で今回、供試した3品種ともに日没時3時間処理により茎長は短くなる傾向を示した。日没時1時間処理と夜明け前3時間処理の効果の優劣は品種間で異なっていた。

短日処理後最低温度
18℃

13℃

8℃

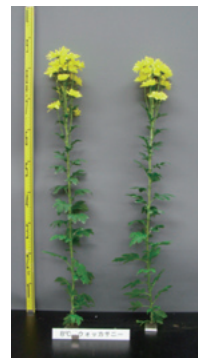
‘セイローザ’



‘デックモナ’

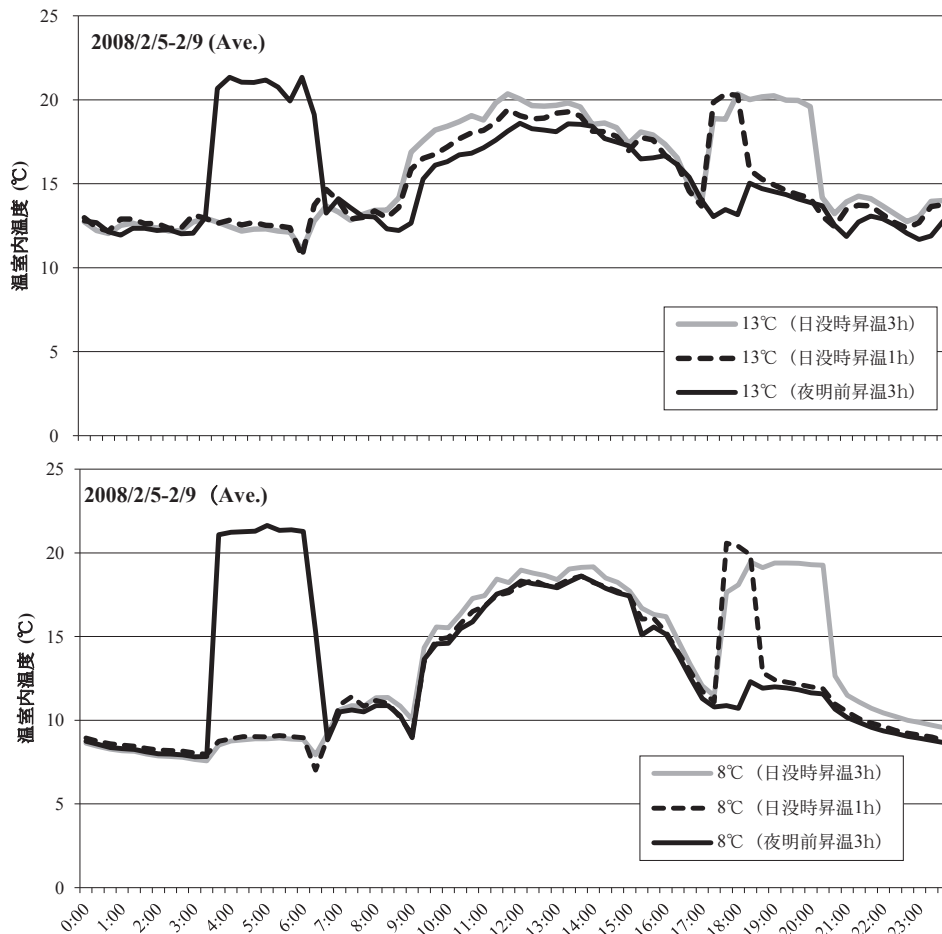


‘フィウオッカイエロー’



50 cm

第20図 短日処理後の最低温度の違いがスプレーギクの開花時の生育に及ぼす影響



第21図 短時間昇温処理を行った2008/2/5～2/9のガラス温室内の13℃処理区および8℃処理区における各処理の経時的最低温度

実験2 施設栽培における日没時短時間昇温処理がキクの開花および花房形質に及ぼす影響

実験を行った2008年12月26日～2009年4月25日の各温度処理区の最低温度および13℃区の最高温度の経緯を第23図に示した。18℃区および13℃区において、暖房機の故障等により短期間の温度降下があったものの、期間を通じて設定温度よりやや低めのそれぞれ16℃および12℃付近の最低温度で経緯した。日没時短時間昇温処理区は13℃区に比べて1～2℃ほど高く経緯した。

スプレーギクにおける日没時短時間昇温処理が開花および花房形質に及ぼす影響について第14表および第24図、第25図に示した。

短日処理後の到花日数（以下、到花日数）では、今回

供試したすべての品種の18℃区で少なく、13℃区は多くなった。日没時昇温処理区はすべての品種において、18℃区に続いて到花日数が少なくなった。18℃-13℃区はすべての品種において、日没時昇温処理区と同等であった。日没時昇温-13℃区では、到花日数に品種間差があり、‘セイローザ’、‘セイエルザ’および‘デックモナ’では、日没時昇温区よりも有意に多くなったが、‘フィウオッカイエロー’では有意な差は見られなかった。

短日処理後の増加葉数（以下、増加葉数）には、今回供試したすべての品種のすべての処理区において有意な差は見られなかった。

スプレーギクの花房形質の品質上、頂花を含めて5花以上の花蕾のついた側枝が必要となり、側枝の形質

第13表 生育温度の異なる環境下での夜間の短時間昇温処理がスプレーギクの生育および開花に及ぼす影響

品 種	処 理	発蕾日数	到花日数	増加葉数	増加茎長(cm)
セイローザ	13℃	29.1 ± 0.6 a ^z	63.0 ± 0.8 a	19.4 ± 0.2 a	51.5 ± 0.7 a
	13℃ -日没時3h	26.9 ± 0.3 b	58.4 ± 0.5 b	18.0 ± 0.4 ab	43.2 ± 0.8 c
	13℃ -日没時1h	27.1 ± 0.3 b	59.3 ± 0.7 b	16.6 ± 0.9 b	49.8 ± 1.0 ab
	13℃ -夜明け前3h	28.0 ± 0.4 ab	59.5 ± 0.8 b	17.9 ± 0.2 ab	47.1 ± 1.0 b
	8℃	49.0 ± 1.8 a	84.9 ± 1.3 a	24.3 ± 1.2 a	74.0 ± 3.0 a
	8℃ -日没後3h	40.8 ± 0.8 b	76.1 ± 0.8 c	20.6 ± 0.4 a	61.3 ± 1.3 b
	8℃ -日没後1h	45.1 ± 1.5 ab	80.7 ± 1.4 ab	22.4 ± 1.1 a	67.0 ± 2.6 ab
	8℃ -夜明け前3h	45.8 ± 1.7 ab	79.3 ± 1.2 bc	22.9 ± 0.9 a	61.4 ± 1.6 b
デックモナ	13℃	26.6 ± 0.3 a	54.9 ± 0.5 a	17.8 ± 0.4 a	52.8 ± 1.1 b
	13℃ -日没時3h	23.3 ± 0.2 c	53.1 ± 0.4 b	17.9 ± 0.4 a	50.3 ± 1.6 b
	13℃ -日没時1h	24.3 ± 0.3 c	54.5 ± 0.4 ab	16.9 ± 0.4 a	58.4 ± 1.2 a
	13℃ -夜明け前3h	25.4 ± 0.3 b	54.7 ± 0.5 ab	17.5 ± 0.3 a	48.5 ± 0.7 b
	8℃	32.9 ± 0.3 a	64.4 ± 0.5 ab	18.1 ± 0.3 a	60.1 ± 1.4 b
	8℃ -日没後3h	28.4 ± 0.2 c	60.6 ± 0.6 c	18.5 ± 2.3 a	59.0 ± 1.1 b
	8℃ -日没後1h	31.0 ± 0.5 b	65.2 ± 0.6 a	18.2 ± 0.4 a	68.9 ± 1.5 a
	8℃ -夜明け前3h	30.5 ± 0.4 b	62.3 ± 0.8 bc	17.7 ± 0.4 a	57.0 ± 1.2 b
フィウオッカイエロー	13℃	26.6 ± 0.2 a	52.9 ± 0.5 ab	23.3 ± 0.7 a	54.8 ± 0.9 ab
	13℃ -日没時3h	23.2 ± 0.2 c	50.4 ± 0.3 c	21.3 ± 0.4 a	52.0 ± 1.1 b
	13℃ -日没時1h	24.6 ± 0.3 b	51.7 ± 0.3 bc	21.6 ± 0.4 a	52.5 ± 0.8 a
	13℃ -夜明け前3h	26.7 ± 0.4 a	53.9 ± 0.5 a	22.7 ± 0.6 a	57.3 ± 1.2 b
	8℃	31.3 ± 0.3 a	62.4 ± 0.5 a	24.7 ± 0.6 a	56.7 ± 1.0 b
	8℃ -日没後3h	28.0 ± 0.2 b	57.4 ± 0.4 b	24.6 ± 0.6 a	64.2 ± 0.9 a
	8℃ -日没後1h	31.5 ± 0.4 a	62.4 ± 0.6 a	22.9 ± 0.7 a	62.5 ± 1.8 a
	8℃ -夜明け前3h	31.3 ± 0.6 a	60.9 ± 0.6 a	23.5 ± 0.6 a	56.7 ± 1.5 b

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 12)

^z 品種毎の同一列による異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり

についても慣行栽培（最低気温 18℃）と同様の形質であることが望まれている。今回供試したすべての品種において 18℃ 区の第 1 次側枝数は他の処理区よりも多かった。日没時短時間昇温処理区はすべての品種において、18℃ 区に続いて第 1 次側枝数は多くなり、‘セイローザ’、‘セイエルザ’ および ‘フィウオッカイエロー’ については 18℃ 区との差が見られなかった。‘デックモナ’ は、18℃ 区よりも少ない傾向にあった。18℃ -13℃ 区において、‘フィウオッカイエロー’ では、18℃ 区および日没時短時間昇温区と差は見られなかったが、‘セイローザ’、‘セイエルザ’ および ‘デックモナ’ では、日没時短時間昇温区よりも少なくなった。日没時昇温 -13℃ 区では、18℃ -13℃ 区と同様の傾向であった。

第 4 側枝着生角度では、今回供試したすべての品種に

おいて 18℃ 区と日没時短時間昇温処理区に差が見られなかった。‘セイローザ’ と ‘セイエルザ’ では、他の処理区に比べてより広角になっていた。‘デックモナ’ は、処理温度が下がるほど鋭角となっていたが、有意な差は見られなかった。‘フィウオッカイエロー’ については処理区による差は見られなかった。18℃ -13℃ 区では、‘セイローザ’、‘セイエルザ’ に日没時昇温区との差が見られ、より鋭角となっていた。日没時昇温 -13℃ 区では、18℃ -13℃ 区と同様の傾向であった。

第 4 側枝長は、今回供試したすべての品種において、18℃ 区が他の処理区より短くなっていた。日没時短時間昇温区はすべての品種において、18℃ 区に続いて第 4 次側枝長が短く、‘セイローザ’、‘デックモナ’ および ‘フィウオッカイエロー’ については有意な差は見ら

れなかった。18℃-13℃区の‘セイローザ’には、日没時短時間昇温区との差が見られなかったが、他の3品種については、日没時短時間昇温区よりも長くなった。日没時昇温-13℃区では、供試したすべての品種において日没時短時間昇温区よりも長くなった。

今回、供試した品種の中で低温開花性を有する品種である‘デックモナ’の冬期施設栽培において、日没時短時間昇温処理した場合の暖房にかかる消費熱量を第15表に示した。この消費熱量の算定には、パイプハウス下での2009年1月14日～2月2日の間の各処理区の経時的な平均最低気温と無加温パイプハウスでの平均最低気

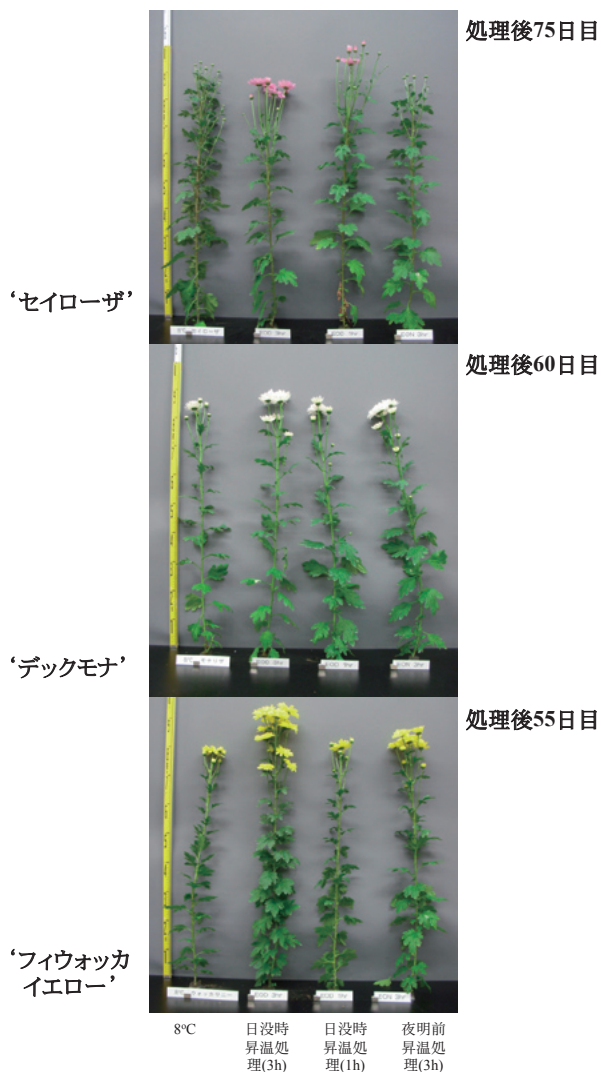
温（第26図）を基に、1時間当たりの消費熱量をガラス資材の熱貫流率（ $5.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ ）×（暖房を行った1時間当たり平均最低気温－無加温の1時間当たり平均最低気温）の計算式で算出し（林ら，1986），1日当たりの消費熱量として合計した。その結果，1日当たりの消費熱量は，18℃区で $1,624 \text{ Wh day}^{-1}$ ，日没時短時間昇温区で $1,293 \text{ Wh day}^{-1}$ ，13℃区で $1,042 \text{ Wh day}^{-1}$ であった。短日処理期間の消費熱量は，到花日数により異なっているが，3品種ともに18℃区，日没時短時間昇温区，13℃区の順に少なくなった。短日処理期間の消費熱効率率は，品種により異なるが18℃区と比較して，日没時短時間昇温区は0.83～0.87であった。

考 察

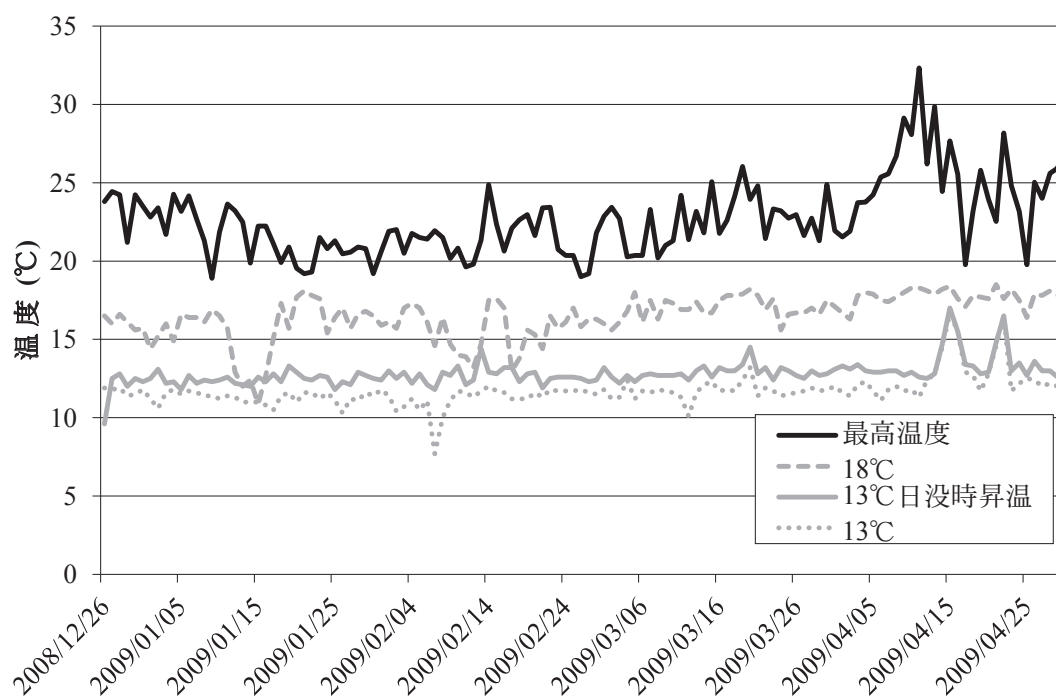
実験1では，供試したスプレーギク3品種における異なる生育環境下での生育と開花に及ぼす影響について検討した。実験1で行った3月開花の作型は，春の彼岸の物日需要となるため周年施設栽培における冬期の作型の中で最も重要な作型にあたる。慣行栽培を想定して設定した18℃区は，処理区の中で発蕾日数および到花日数が最も早くなった。

かつて秋輪ギクを代表した品種‘秀芳の力’では，親株が春から秋にかけて高温に遭遇した履歴によって冬季の施設栽培で栽培温度を下げるとロゼットとなり，開花はロゼット打破後となるため非常に遅れることが知られている（川田，1995）。このようにキクでは高温履歴や低温履歴により開花反応の抑制が起こるが，このような温度に対する反応は品種間差があることが報告されている（Cathey, 1954a; Schwabe, 1955; 樋口・原, 1974; 小西, 1980; 柴田・久松, 2007）。今回供試した3品種は，最低温度を8℃まで下げても開花に至ったが，高温履歴による開花反応の抑制に品種間差が認められた。供試した3品種はロゼットにはならなかったが，開花の遅延程度には品種間に差が見られた。‘セイローザ’では栽培夜温を8℃まで下げると18℃処理区と比べ，28.5日の顕著な開花の遅れが見られたが，‘デックモナ’および‘フィウオッカイエロー’では13日程度の遅れであった。

この開花の遅れは，花芽分化の指標となる短日処理後の葉数についても顕著に現れ，‘セイローザ’では，より低い栽培環境である最低温度8℃条件下によって葉数も増加が認められたことから，キクの親株が春から秋にかけて高温に遭遇した履歴によって，低温での栽培環境下において花成抑制の影響が現れたことが示唆された。



第22図 最低気温8℃下における短日処理後の短時間昇温処理の時間帯の違いによるスプレーギクの開花状況



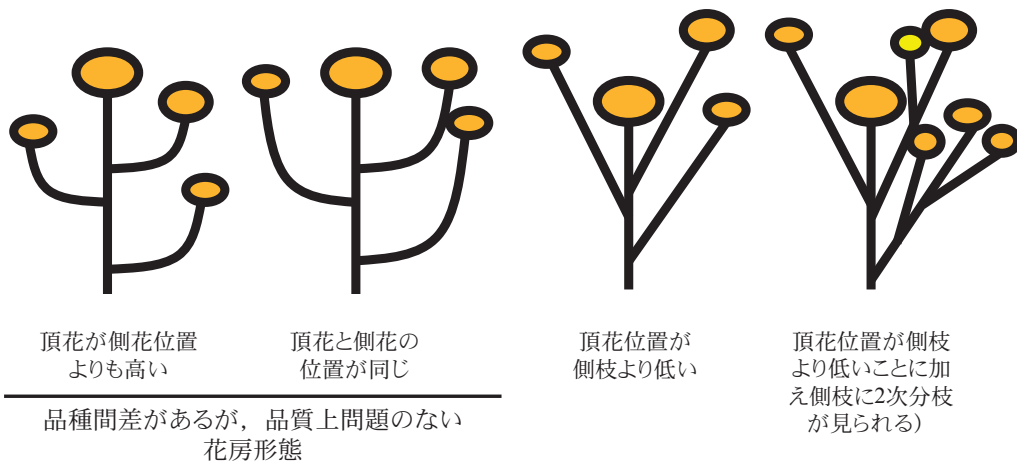
第23図 日没時短時間昇温処理を行った2008/12/26～2009/4/25の各ビニルハウス内の最高温度と各処理区の最低温度の変化

第14表 スプレーギクにおける日没時短時間昇温処理が開花および花房形質に及ぼす影響

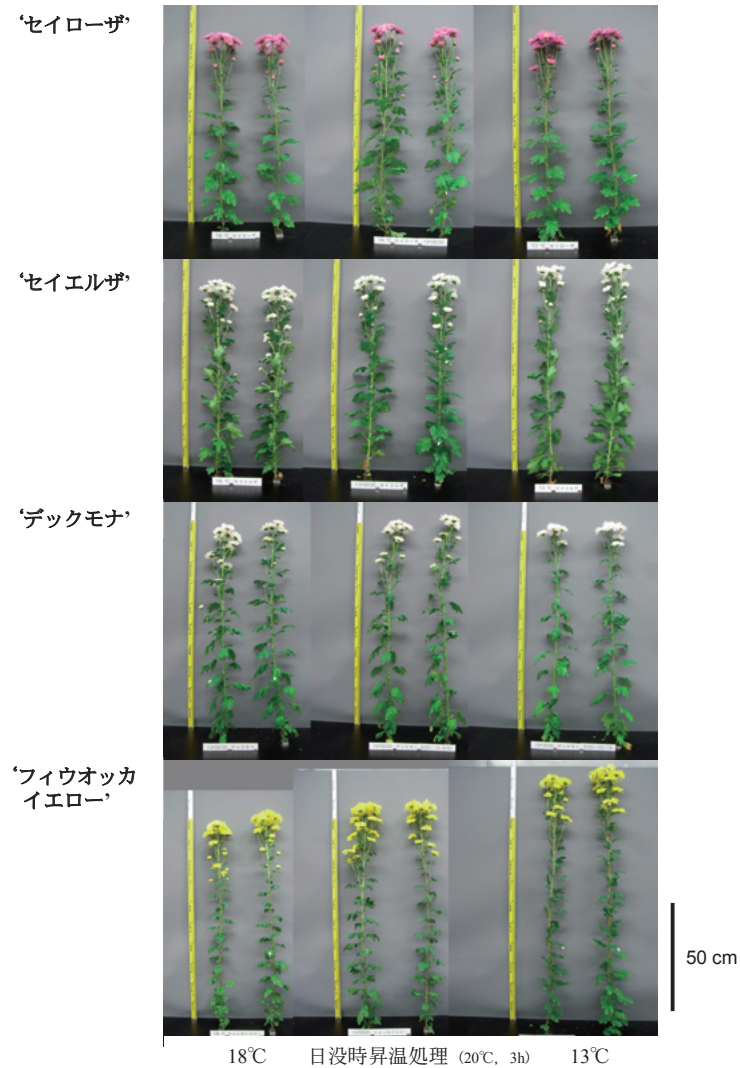
品 種	処 理	到花日数	増加葉数	第1次側枝数	第4側枝着生角度(°)	第4側枝長(cm)
セイローザ	18℃	53.2 ± 0.4 d ^z	19.2 ± 0.3 a	12.4 ± 0.6 a	41.7 ± 0.7 a	115.7 ± 3.0 b
	18℃ -13℃	55.2 ± 0.3 c	19.1 ± 0.3 a	8.8 ± 0.4 b	37.5 ± 1.1 bc	126.0 ± 1.7 b
	日没時昇温	55.3 ± 0.3 c	19.7 ± 0.4 a	11.4 ± 0.4 a	40.0 ± 0.1 ab	125.4 ± 3.6 b
	日没時昇温-13℃	57.8 ± 0.5 b	20.0 ± 0.4 a	8.8 ± 0.7 b	35.0 ± 0.8 c	148.3 ± 3.3 a
	13℃	61.7 ± 0.5 a	20.0 ± 0.4 a	8.0 ± 0.5 b	28.8 ± 0.9 d	146.3 ± 4.2 a
セイエルザ	18℃	53.7 ± 0.3 d	25.1 ± 0.4 a	13.2 ± 0.3 a	42.9 ± 0.7 a	74.9 ± 1.2 d
	18℃ -13℃	55.6 ± 0.4 c	24.9 ± 0.5 a	11.6 ± 0.5 ab	40.4 ± 0.7 ab	91.3 ± 1.9 bc
	日没時昇温	55.7 ± 0.4 c	26.0 ± 0.3 a	12.8 ± 0.4 a	42.1 ± 0.9 a	85.6 ± 1.5 c
	日没時昇温-13℃	57.6 ± 0.4 b	25.2 ± 0.4 a	10.8 ± 0.6 b	37.1 ± 1.2 b	94.7 ± 1.5 b
	13℃	60.8 ± 0.4 a	25.3 ± 0.6 a	10.3 ± 0.4 b	30.4 ± 0.9 c	105.6 ± 2.0 a
デックモナ	18℃	46.8 ± 0.3 d	18.6 ± 0.4 a	12.0 ± 0.4 a	37.5 ± 0.9 a	101.5 ± 3.3 b
	18℃ -13℃	50.7 ± 0.4 c	18.5 ± 0.5 a	7.3 ± 0.6 c	34.6 ± 0.9 a	128.6 ± 3.5 a
	日没時昇温	50.7 ± 0.3 c	18.3 ± 0.4 a	9.1 ± 0.3 b	36.3 ± 1.0 a	111.9 ± 3.1 b
	日没時昇温-13℃	52.5 ± 0.4 b	18.5 ± 0.4 a	5.8 ± 0.4 cd	35.4 ± 1.1 a	134.5 ± 2.3 a
	13℃	55.2 ± 0.5 a	18.5 ± 0.5 a	5.5 ± 0.4 d	33.3 ± 1.1 a	141.2 ± 5.0 a
フィウオッカイエロー	18℃	46.4 ± 0.2 d	24.8 ± 0.7 a	12.4 ± 0.7 a	40.8 ± 1.0 a	79.2 ± 2.0 b
	18℃ -13℃	50.3 ± 0.4 c	24.8 ± 0.6 a	10.0 ± 0.6 a	38.3 ± 1.2 a	91.6 ± 1.7 a
	日没時昇温	50.7 ± 0.3 bc	25.8 ± 0.7 a	12.2 ± 0.8 a	40.4 ± 0.7 a	80.2 ± 1.6 b
	日没時昇温-13℃	51.8 ± 0.3 b	26.0 ± 0.8 a	10.9 ± 0.6 a	42.5 ± 1.4 a	93.5 ± 1.9 a
	13℃	55.3 ± 0.4 a	26.1 ± 0.6 a	10.2 ± 0.7 a	42.1 ± 1.1 a	100.3 ± 3.1 a

値は平均値 ± 標準誤差 (n = 24)

^z 品種毎の同一列による異なるアルファベット文字間にTukeyの検定により5%レベルで有意差あり



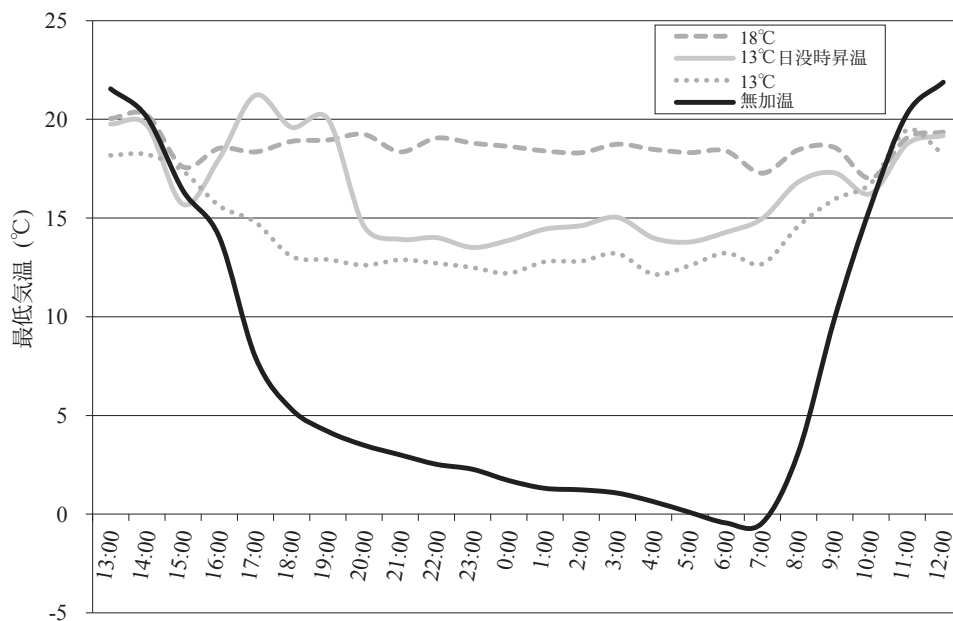
第24図 栽培温度によるスプレーギクの花房形態の変化



第25図 短日処理後の日没時短時間昇温処理がスプレーギクの生育および開花に及ぼす影響

第15表 スプレーギクにおける冬期施設栽培における暖房にかかる消費熱量

供試品種	温度処理	短日処理後の消費熱量 (Wh day ⁻¹)	18℃処理との消費熱量比率
セイローザ	18℃	86,451	1.00
	13℃日没時昇温 (20℃, 3 h)	71,452	0.83
	13℃	64,277	0.74
セイエルザ	18℃	87,173	1.00
	13℃日没時昇温 (20℃, 3 h)	71,955	0.83
	13℃	63,408	0.73
デックモナ	18℃	75,983	1.00
	13℃日没時昇温 (20℃, 3 h)	65,563	0.86
	13℃	57,559	0.76
フィウオッカイエロー	18℃	75,442	1.00
	13℃日没時昇温 (20℃, 3 h)	65,492	0.87
	13℃	57,675	0.76



第26図 夜間の短時間昇温処理を行った2009/1/14～2/2(平均)の各処理区(ビニルハウス)および無加温ビニルハウスにおける各処理の経時的最低温度

‘デックモナ’ および ‘フィウオッカイエロー’ では最低温度 8℃ 条件下でも葉数の増加が認められなかったことから、栽培温度が低くても花芽分化が遅れにくく開花に影響の少ない品種であり、低温開花性を有する品種であることが示唆された。

花房形質はスプレーギクの品質を決める重要な要素であり、‘セイローザ’ では、13℃ 条件下で頂花位置が側

花の位置より低くなった。また、8℃ 条件下では、側枝が分枝し第 2 次分枝も見られ、品質上問題となる花房形質であった (第 20 図, 第 22 図)。‘デックモナ’ および ‘フィウオッカイエロー’ でも、8℃ 条件下では、側枝からの第 2 次分枝は見られないものの花房形状に広がりがなくコンパクトになり品質上問題となる花房形質が認められた。

実験1で供試した品種では、最低温度13℃および8℃条件下において、日没時の20℃、3時間昇温処理による開花の促進が認められた。品種によっては1時間処理による開花の促進も認められたが、促進効果は3時間処理に比べ劣った。13℃区に比べると8℃区における開花の促進効果は大きく、日没時短時間昇温処理の効果は、より低い温度条件下で高いことが明らかとなった。

第1章のアフリカンマリーゴールドにおける人工気象器環境制御下での暗期開始時短時間昇温処理では、0.5時間の暗期開始時短時間昇温処理においても、開花反応を促進する効果が認められた。キクにおいては、日没時昇温20℃、1時間処理でも開花の促進効果は認められたが、3時間昇温の場合よりもその効果は小さかった。また、昇温処理の処理時間を変えた際の開花の促進効果は、品種により異なっていた。したがって、実験1の3月開花作型では、実際の施設栽培条件下で日没時短時間昇温処理による開花の促進効果を得るためには、3時間以上の昇温が必要であると推測した。

これまでにキクの生育と開花に及ぼす温度の影響について多くの研究が行われてきている。そのほとんどが冬季の加温温度の設定を目的とした栽培適温の解明に関する報告である (Jong, 1978; Rüniger, 1979)。燃料節減を目的とした暖房温度に関する研究では、前夜半の温度を高く保つことに肯定的な報告 (Parups, 1978; Bonaminio・Parson, 1980) と否定的な報告 (Carow・Zimmer, 1977; 大石・大須賀, 1983) に分かれる。このような相反する結果となる原因としては、高温や低温の履歴がキクの開花に及ぼす影響の品種間差が大きいためと推察されている (Cathey, 1954a)。前夜半の温度を高く保つことで、低温で開花が抑制される品種は、ロゼットが認められ、高温で開花が抑制される品種は、節数の増加による開花の遅れが認められている (大石・大須賀, 1983)。今回供試した品種は、最低気温を8℃まで下げても開花に至り、ロゼットは形成しなかった。しかし、開花の遅延程度には品種間に差が見られた。‘デックモナ’ および ‘フィウオッカイエロー’ では、最低気温8℃条件でも葉数の増加も見られず花芽分化が遅れていないことから、低温により開花が抑制されにくい低温開花性を有する品種であることが示唆された。これらの品種を用いることによって、安定した日没時短時間昇温処理による開花の促進効果が得られると考えられる。

アフリカンマリーゴールドでは、人工気象器による環境制御下での暗期終了前昇温処理によって、開花遅延が見られている。キクの施設栽培での夜明け前昇温処

理では、日没時と同様に昇温しているにもかかわらず、13℃処理区と変わらない到花日数である品種も見られたことから、昇温の時間帯によって開花の促進効果は大きく異なることが示された。

3月開花作型で供試した品種は、20℃、3時間の日没時昇温処理を行うことにより開花が促進することが示された。慣行栽培として設定した18℃区より2~4日程の開花の遅れが認められたが、キクの施設栽培において低温管理により発生する発蕾と開花の遅延を、日没時短時間昇温処理により軽減できることが確認された。このことから、冬季のキク切り花生産では低温開花性を有する品種を用い、著しい生育不良の生じない程度の温度域内において、日没時短時間昇温処理を補完技術として活用することにより省エネ栽培ができる可能性を示すことができた。しかし、最低気温8℃条件下における日没時短時間昇温処理では、慣行栽培を想定した18℃区と比較すると到花日数の顕著な遅延や花房形質の変化が認められた (第20図)。13℃条件下では ‘セイローザ’ の頂花位置が側花の位置より低くなっていた。これに対して、13℃条件下での日没時短時間昇温処理では改善の効果がみられた。

そこで、著しい生育不良の生じなかった最低気温13℃条件下において、より実際の施設栽培に近い条件の環境下で、日没時短時間昇温処理の効果を開花および切り花品質上問題となる花房形質について検討した。

実験1では、冬の施設栽培の中で、物日需要にあたり最も重要な作型である3月開花の作型で検討を行ったが、例年3月に入ると気温の上昇が見られるため、低温栽培処理区においては温度が維持できない。実験2では、気温の上昇が起こりにくい2月開花の作型で行った。

実験2で行ったビニルハウスにおける最低気温13℃条件下で日没時短時間昇温処理を行った処理区は、実験1と同様に慣行栽培を想定した18℃処理区に比べて、到花日数が2~4日程度多くなったが、13℃処理区と比べると5日程少なくなり、低温管理により発生する開花の遅延を日没時短時間昇温処理により軽減でき、2月開花作型でも日没時短時間昇温処理による開花の促進効果を確認した。

最低気温13℃条件下で日没時短時間昇温処理を行った処理区での ‘セイローザ’ の花房形質は、1次側枝数、第4側枝長および第4側枝着生角度において18℃処理区と有意な差がなく、18℃区とほぼ同様の切り花品質上、問題のない花房形質が得られた (第25図)。

スプレーギクにおいて花房形質は品質を左右する重要

な要素である。甲斐ら（1995）は、栽植密度、日長および薬剤処理によって栽培環境を変化させ、この時のスプレーギクにおける花房フォーメーションの変化を画像処理によって検討している。その結果、花柄長および花柄角度が着花を決定する重要な特徴であることを示した。これらの特徴は、今回行った温度反応によるスプレーギクの花房形質の変化に対しても有効な評価形質であった。

供試したすべての品種の花房形質は、日没時短時間昇温処理によって13℃区とは異なり、18℃区と同等か18℃区に準じる値を示した。加えて、発蕾期以降の降温が側枝に及ぼす影響について検討した結果、18℃-13℃区および日没時短時間昇温-13℃区では品種間差は見られるが、概ね13℃区と同等か13℃区に準じる花房形質であり、18℃区の花房形質とは異なった。発蕾時以降の温度下げることによって花房形質が変化し、花房が乱れることが報告されており（Cathey, 1955）、今回の実験と一致する結果となった。日没時短時間昇温処理では、発蕾時以降の側枝（花）の生育にも影響を与え、慣行栽培と変わらない花房形質が得られた。これまでにキクの花房形質の一つである一次側枝数は、暗期温度が高いと増加することが報告されている（Cathey, 1954b; Lepageら, 1984）。すなわち、本研究における日没時短時間昇温処理は、一次側枝数の増加という点でも夜温を高めることと同等の効果があることが明らかとなった。このことは、スプレーギクの頂花の発蕾以降も側枝（花）の分化および発達に影響を及ぼすことが推察され、植物全体の品質を下げることなく栽培出来ることを示すことができた。

日没時短時間昇温処理した場合の1日当たりの消費熱量は、18℃区と比べて約20%削減できた。日没時短時間昇温処理区は、18℃区と比べて若干開花が遅れ、供試した品種により到花日数が異なった。今回、供試したスプレーギクの短日処理期間の消費熱量は、平均15%程度の削減を示すことができた。

これらのことから、冬季のスプレーギクの切り花生産で、低温開花性を有する品種を用い、著しい生育不良の生じない栽培夜温13℃程度の温度域内において、日没時短時間昇温処理を補完技術として活用することにより、慣行栽培と比較しても到花日数を顕著に遅らせることなく、花房形質も劣化させることのない省エネルギー栽培ができる効率的な温度制御技術となり得ることを実証できた。

総合考察

植物の成長に影響を与える環境要因として、温度、日射、日長、CO₂、湿度、風、根圏養水分などが挙げられるが、その中でも温度は花きの生育と開花に大きな影響を与える環境要因である。そのため多くの花き園芸植物の周年施設栽培では、栽培適温を保つために冬期の暖房が欠かせない。

1970年代に入り、2度のオイルショックを受けて石油価格は高騰し、国内の施設栽培農家の経営を圧迫した。以降、施設栽培では省エネルギー化を目指した技術開発がなされてきた。省エネルギー技術を分類すると多重・多層被覆、高保温性資材の利用、気密性の向上など施設の保温性向上に関する技術、温風暖房機の効率低下防止やヒートポンプの利用など暖房システムの効率化に関する技術、植物の生育反応に基づき投入エネルギー当たりの生産量を高める温度管理技術がある。これらの技術を組み合わせることによって、より効率的な施設栽培となり得る（林, 2007）。

このうち植物の生育反応に基づく温度管理技術では、局所加温や変温管理を用いた方法が開発された。局所加温の取り組みとして、根圏・株元を加温する方法がイチゴ（福元ら, 2003; 金ら, 2009）、トマト（藤重ら, 1991）およびバラ（原ら, 2009）で報告されている。変温管理には、キク（松田・万豆, 1978; 福田・樋口, 1979）、カーネーション（Kohl, 1961）、トルコギキョウ（塚田, 1991）およびキンギョソウ（Miller, 1962）において、植物体の栄養成長（茎、葉）や生殖成長（花）の生育段階ごとに栽培適温に制御する方法が報告されている。

一方、植物の生育適温の日内変化に対応して、昼と夜あるいは一日のうちのある時間帯で異なる温度制御を行う変温管理については、夕方から温度が徐々に低下して後夜半には最低管理夜温に達するように加温制御をする方法が、トマト、キュウリ（鈴木ら, 1983; 土岐, 1995）、ナスおよびピーマン（青木, 1997）などの果菜類を中心に取組みられ、実用化されている。果菜類では、夜温の変温管理が果実に光合成産物の転流促進と呼吸抑制をもたらし、果実の高品質多収生産につながっている。

花きにおいても日内変化による変温管理が、キク（今給黎・姫野, 2003）、バラ（水戸ら, 1980）、カーネーション（國本・後藤, 1981）などで取組みられている。しかし、これらの変温管理では開花の遅れや品種間差もみら

れている。また、多くの切り花花きでは、果実のみが収穫物となる果菜類とは異なり、花、茎、葉を含む植物体全体が収穫物となるために、栄養成長期間から生殖成長期間に至るまでの長い期間において品質を保持する必要があり、実用化の障壁となっている。

今回行った日没時短時間昇温処理は、低コスト、省エネルギー化のために慣行栽培の温度よりも温度を下げるこれまでの変温管理とは異なり、慣行栽培の温度よりも短時間ではあるが、温度を高くする温度制御技術である。この処理により、スプレーギクおよびアフリカンマリーゴールドにおいて開花反応が促進することが明らかとなった。

スプレーギクおよびアフリカンマリーゴールドでは、花芽分化から初期の発達の日没時短時間昇温処理が大きく影響し、開花反応を促進することで、栽培温度が低い環境下で同処理を施すことにより、慣行栽培の開花反応に近づけることができた。したがって、高い栽培温度を必要とする花芽分化から発蕾までの期間が冬期の低温期にあたる作型において、最も効果的な作型となり得ることが示された。

また、スプレーギクでは、側枝（花）の生育も慣行栽培と変わらず、良好な花房形質を得られることが明らかになった。このことは、スプレータイプの花きにおいて、花序や花房の形質を慣行栽培で得られる良好な品質に保ち栽培出来る可能性があることを示した。加えて、開花反応を促進する時間帯が日没時、すなわち夜間でも温度の下がりきっていない時間帯であることから暖房に要するエネルギーを節約する上で有効であった。

今回、行った日没時（暗期開始時）短時間昇温処理については、キク科のアフリカンマリーゴールドおよびキクにおいて開花の促進効果が得られることが明らかになった。アフリカンマリーゴールドでは、栽培適温下で効果が得られたが、キクにおいては低温環境下でのみ効果が得られ、植物種によって効果の得られる温度域に違いがあることも明らかになった。一方、トルコギキョウにおいては、暗期時間帯の短時間昇温処理の効果が検討され、日没時だけでなく夜明け前においても開花の促進効果が認められている（岸本ら、2009）。暗期開始時短時間昇温処理の開花の促進効果についても適応しない植物種があることも推測されることから、今後、昇温の時間帯および適応温度域について植物種ごとに検討を行って行く必要がある。

より効率的な温度管理方法として、日没時短時間昇温処理と生育段階別の変温管理を組み合わせる方法がスプ

レーギクで報告された（川西ら、2009）。このように日内変化や生育段階による変温管理を組み合わせる生育制御を行うことは、暗期開始時短時間昇温処理の技術を、より低コスト、省エネルギー栽培に繋げていくためにも重要な課題である。

本研究では、暗期昇温の時間帯の違いによって開花反応に違いが見られたことに関して、生理的メカニズムを解明するまでに至っていない。植物では、花芽分化と初期の発達を糖が促すことは知られており（Bernierら、1981）。アフリカンマリーゴールドおよびキクでの暗期開始時短時間昇温処理による開花反応の促進効果が発蕾時までに影響が大きいことから、発蕾までの蓄への糖の移行が促進することが考えられ、生理的メカニズムの解明へと繋げていきたい。今後、温度の日内変化による生育反応のメカニズムを解明していくことにより、短時間昇温処理による開花調節に関わる生理的要因が明らかになるものと考えられる。

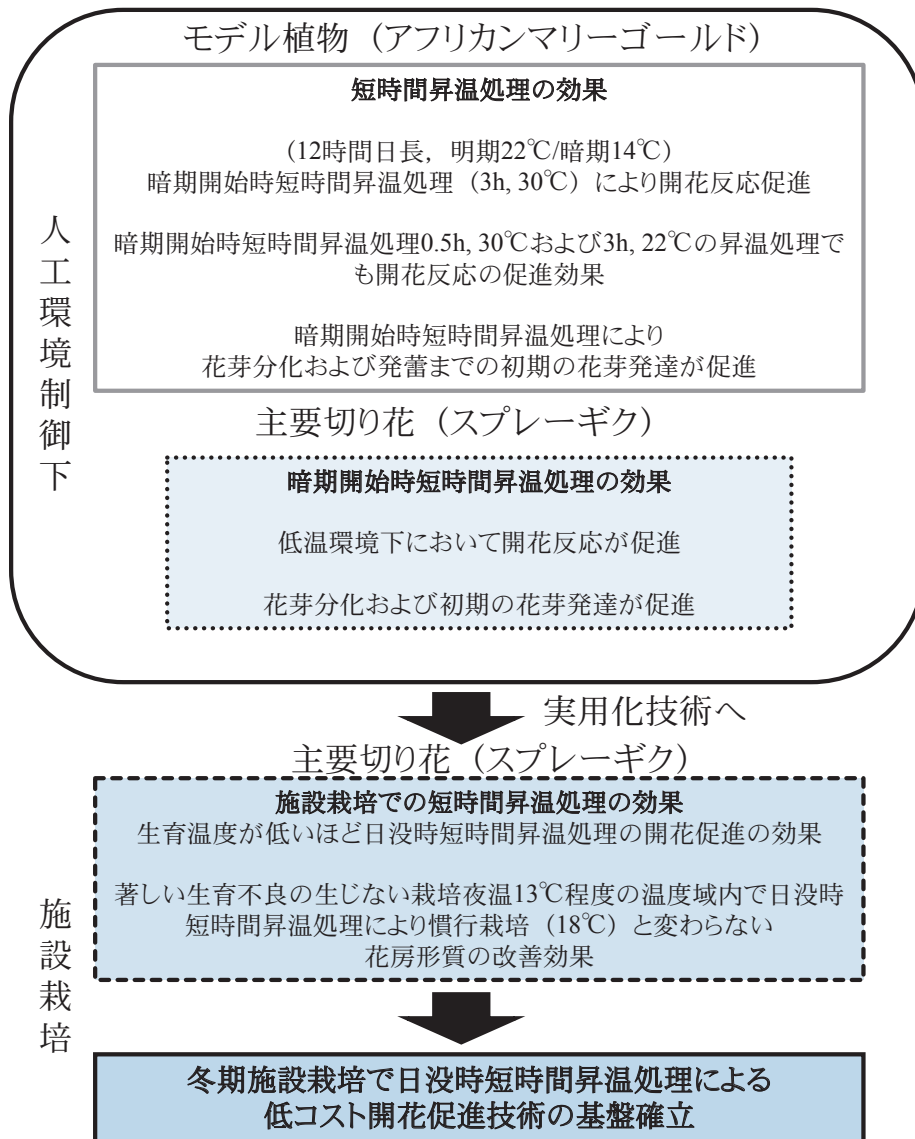
本論文は、アフリカンマリーゴールドおよびスプレーギクにおいて暗期開始時（日没時）短時間昇温処理が開花反応を促進する効果があることを見いだした。この知見をもとに、主要切り花であるスプレーギクにおいて冬期の省エネルギー、低コスト栽培につながる新しい開花促進技術の基盤を確立できた（第27図）。本技術は、農業分野におけるCO₂削減、地球温暖化の抑止に貢献できるものと考えられる。

摘 要

短時間昇温処理による開花促進に基づく スプレーギクの温度制御技術に関する研究

温度は花きの生育と開花に大きな影響を与える環境要因であり、花きの施設栽培においては、温度制御に多大なエネルギーを投資している。したがって、生産現場では低コスト化につながる温度制御技術の開発が望まれている。

15年程前より、昼夜温度差（DIF）を利用する草丈制御技術が注目され、数多くの研究報告がある。しかし、DIFを適用できる期間は限定されることに加え、コストがかかることから生産現場での利用は少ない。そこで、DIFを応用した、より低コストな生育調節技術の開発を目的とし、短時間昇温処理の効果に関する研究を行った。まずは人工気象器環境制御下での開花生理研究に適しているアフリカンマリーゴールドを材料に用いて検討し、



第 27 図 短時間昇温処理による開花促進に基づくスプレーギクの温度制御技術の確立

暗期において開花反応を促進する時間帯を見いだした。次に、主要切り花であるスプレーギクを用いて同様に人工気象器環境制御下で短時間昇温処理の効果を解析するとともに、施設栽培環境下で適用可能かどうかを検討した。

アフリカンマリーゴールドでは、暗期開始時（日没時）の短時間の昇温処理により開花反応が促進する現象を見いだした。その後の実験で、この現象は暗期終了前（夜明け前）の昇温では起こらず、暗期開始時（日没時）の昇温で特異的に起こる現象であることが明らかになっ

た。本現象は、温度による開花制御技術の開発につながる新たな知見と考えられた。そこで、実用化技術の確立を目指し、さらに詳細な解析を行った。

まず、人工気象器下で暗期における短時間昇温の時期、長さ、昇温の程度を変えた実験を行った。短時間昇温処理の時期では、明期 22℃/暗期 14℃を対照に暗期開始時、暗期中央、暗期終了前に 30℃、3h の処理を行った。その結果、暗期開始時では開花反応が促進すること、および暗期終了前では開花反応に抑制的に働くことが明らかとなった。暗期開始時の昇温時間では、30℃/0.5h、

1.0h, 2.0h, および3.0hの処理区において, 0.5hでも開花反応が促進すること. 昇温温度では3h/22℃, 26℃, 30℃の処理区において, 22℃でも開花反応が促進することを見いだした.

花芽分化および発蕾までの花芽発達について, 経時的な形態観察を行った. その結果, 暗期開始時短時間昇温処理により, 花芽未分化から成長点膨大期を経て小花形成前期までの発育段階が早くなっていることが明らかになった. また, 発蕾以降に暗期短時間昇温処理を施しても時間帯の違いによる開花反応を促進する効果は認められなかった. これらの結果から, 暗期開始時短時間昇温処理による開花反応の促進効果は, 花芽未分化から小花形成までの発育段階に作用点があるものと考えられた.

次に, 暗期開始時短時間昇温処理による開花の促進効果を, 主要切り花であるキクにおいて検討した.

スプレーギク品種‘セイローザ’の低温環境下において暗期開始時短時間昇温処理により開花反応が促進した. この効果は花芽分化および初期の花芽発達に影響が大きく, アフリカンマリーゴールドと同様に花芽未分化から小花形成までの発育段階に作用することを見いだした.

施設栽培における冬期作型で暗期開始時短時間昇温処理による開花反応の促進効果を検討した. その結果, 施設栽培のスプレーギクについても日没時短時間昇温処理により開花を促進する効果が認められた. この効果は, 生育温度が低いほど顕著であった. また, 側枝の長さや角度に関する花房形質についても改善効果が認められ, 慣行栽培と同様の花房形質を維持することができた.

これらの結果から, 冬季のスプレーギクの切り花生産において低温開花性を有する品種を用い, 著しい生育不良の生じない栽培夜温13℃程度の温度域内において栽培する際に, 日没時短時間昇温処理を活用することで暖房コストが15%程度削減するスプレーギクによる開花促進技術の基盤を確立できた.

引用文献

- 青木宏史. 1997. 農業技術体系野菜編 トマト. p. 415-420. 農山漁村文化協会. 東京.
- Armitage, A. M. 1998. Ornamental bedding plants (最新 花壇苗の生産技術.) (長村智司訳). p. 181-184. 農山漁村文化協会. 東京.
- Bernier, G., J. M. Kinet and R. M. Sachs. 1981. Photosynthesis, energetics, and assimilate supply. The physiology of flowering. Vol. 2. p. 161-177. CRC Press, Boca, Raton, Florida.
- Bertram, L. 1992. Stem elongation of *Dendranthema* and tomato plants in relation to day and night temperature. Acta Hort. 327: 61-70.
- Bonaminio, V. P. and R. A. Parson. 1980. Influence of reduced night temperatures on growth and flowering of 'May Shoemith' chrysanthemums. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 9-11.
- Carow, B. and K. Zimmer. 1977. Effects of change in temperature during long nights on flowering in chrysanthemum. Gartenbauwissenschaft 42: 53-55.
- Carvalho, S. M. P., H. Abi-Tarabay and E. Heuvelink. 2005. Temperature affects Chrysanthemum flower characteristics differently during three phases of the cultivation period. J. Hort. Sci. Bio. 80: 209-216.
- Carvalho, S. M. P., E. Heuvelink, E. R. Cascais and O. Van Kooten. 2002. Effect of day and night temperature on internode and stem length in Chrysanthemum: Is everything explained by DIF?. Ann. Bot. 90: 111-118.
- Cathey, H. M. 1954a. Chrysanthemum temperature study. B. Thermal modifications of photoperiods previous to and after flower bud initiation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 64: 492-498.
- Cathey, H. M. 1954b. Chrysanthemum temperature study. C. The Effect of night, day, and mean temperature upon the flowering of *Chrysanthemum morifolium*, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 64, 499-502.
- Cathey, H. M. 1955. Chrysanthemum temperature study. D. Effect of temperature shifts upon the spray formation and flowering time of *Chrysanthemum morifolium*. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 65: 386-391.
- Cuijpers, L. H. M. and J. V. M. Vogelesang. 1992. DIF and temperature drop for short-day pot plants. Acta Hort. 327: 25-32.
- Davis, L. J., I. R. Brooking, J. L. Catley and E. A. Halligan. 2002. Effects of day/night temperature differential and irradiance on the flower stem quality of *Sandersonia aurantiaca*. Sci. Hort. 95: 85-98.
- 道園美弦・久松 完・柴田道夫. 2004. デルフィニウム咲きスプレーギクの開花順序および花房形態の季節別変動. 花き研報. 4: 1-11.
- Erwin, J. E. and R. D. Heins. 1995. Thermomorphogenic responses in stem and leaf development. HortScience. 30: 940-949.

- Erwin, J. E., R. D. Heins and M. G. Karlson. 1989. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. Amer. J. Bot. 76: 47-52.
- Erwin, J. E., R. D. Heins and R. Moe. 1991. Temperature and photoperiod effects on *Fuchsia* × *hybrida* Morphology. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 955-960.
- 藤重宣昭・杉山直儀・尾形亮輔. 1991. トマトの花芽分化と結実に及ぼす根温の影響. 園学雑. 60: 97-103.
- Fukai, S., W. Zhang, H. Uehara and M. Goi. 1997. Morphological changes in shoot apex during floral initiation and development in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitam.). Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ. 49: 171-178.
- 福田正夫・樋口春三. 1979. キク幼苗の低温処理による花成阻害とその解消の温度条件. 愛知農総試研報. 11: 75-80.
- 福元康文・西村安代・島崎一彦・藤本友紀. 2003. イチゴの生育、収量および無機成分に及ぼす根圏温度の影響. 農業生産技術管理学会誌. 10: 99-106.
- Gertson, U. E. 1992. Influence of temperature on shoot elongation in young tomato plants. Acta Hort. 327: 71.
- 原 靖英・柳下良美・深山陽子・美濃口薫. 2009. バラの株元加温が収量および切り花品質に及ぼす影響. 園学研. 8 別 1: 223.
- Harris, G. P. and B. Jeffcoat. 1974. Effects of temperature on the distribution of 14 C-labelled assimilates in the flowering shoot of carnation. Ann. Bot. 38: 77-83.
- 林 真紀夫. 2007. 温室暖房における省エネ対策技術の動向. 技術と普及. 44: 11-15.
- 林 真紀夫・古在豊樹・岡田益己. 1986. 園芸環境工学における最近の話題(10) 暖房負荷の算定法(1). 農業および園芸. 61: 1342-1348.
- Heins, R. D. 1990. Choosing the best temperature for growth and flowering. Greenhouse Grower 8: 64-71.
- 樋口春三・原 幹博. 1974. 秋ギク幼苗の低温処理が生育、開花に及ぼす影響. 愛知農総試研報 B. 6: 62-67.
- 久松 完・腰岡政二・西島隆明・柴田道夫. 2001. キクの節間伸長および花芽分化に及ぼす低温処理の影響. 園学雑. 70 別 2: 344.
- 久松 完・西島隆明・腰岡政二・柴田道夫. 2002. キクの節間伸長および花芽分化能力の時期別変動. 園学雑. 71 別 2: 431.
- Ilias, I. F. and N. Rajapakse. 2005. The effects of end-of-day red and far-red light on growth and flowering of *Petunia* × *hybrida* 'Countdown Burgundy' grown under photoselective films. HortScience 40: 131-133.
- 今給黎征郎・姫野正己. 2003. スプレーギクの暖房コスト低減技術 第 1 報 夜温の変温管理による暖房コスト低減. 九州農業研究. 65: 208.
- Ito, A., T. Hisamatsu, N. Soichi, M. Nonaka, M. Amano and M. Koshioka. 1997. Effect of diurnal temperatures alternations on the growth of annual flowers at the nursery stage. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65: 809-816.
- Jensen, H. E. K. 1992. Effects of duration and placing of the high night DIF temperature on the morphogenesis of *Pelagonium* × *Zonale* hybrid 'PINK CLOUD'. Acta Hort. 327: 17.
- Jong, J. D. E. 1978. Components of resistance to *Liriomyza trifoli* in *Chrysanthemum morifolium* and *Chrysanthemum pacificum*. Euphytica 36: 719-724.
- 甲斐和広・近藤 直・林 孝洋・芝野保徳・小西国義・門田充司. 1995. スプレーギクの花房フォーメーションの評価アルゴリズムに関する研究(第 1 報) 着花位置を決定する特微量の抽出. 生物環境調節. 33: 253-259.
- Karlsson, M. G., R. D. Heins, J. E. Erwin, R. D. Berghage, W. H. Carlson and J. A. Biernbaum. 1989. Temperature and photosynthetic photon flux influence chrysanthemum shoot development and flower initiation under short-day condition. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 158-163.
- Kasperbauer, M. J. and D. E. Peaslee. 1973. Morphology and photosynthetic efficiency of tobacco leaves that received end-of-day red or far red light during development. Plant Physiol. 52: 440-442.
- 川西孝秀・島 浩二・林 寛子・道園美弦・久松 完. 2009. EOD-heating がスプレーギクの生育、開花および切り花品質に及ぼす影響. 園学研. 8 別 2: 556.
- 川田穰一. 1976. キクの切り花生産をめぐる諸問題(1). 農業および園芸. 51: 925-932.
- 川田穰一. 1980. スプレーギクの育種(1) 導入と普及. 農業技術. 35: 491-494.
- 川田穰一. 1995. 秋ギク(開花生態とその調節). 農業技術体系花卉編 キク. p. 111-113. 農文協. 東京.
- 川田穰一・船越桂市. 1988. キクの自然開花期による分類とその生態的特性. 園芸学会要旨. 昭 63 春: 472-473.
- 川田穰一・豊田 努・宇田昌義・沖村 誠・柴田道夫・亀野 貞・天野正之・中村幸男・松田健雄. 1987. キクの開花期を支配する要因. 野菜・茶試研報. A1: 187-222.
- 金 泳錫・遠藤昌伸・切岩祥和. 2009. 固形培地耕における日中の培地加温がイチゴ '章姫' の開花、生育、収量に及

- ばす影響. 園学研. 8: 193-199.
- 岸本真幸・加藤正浩・前田加奈子・山田真・石渡正紀・道園美弦・住友克彦・久松完. 2009. 短時間加温処理の時間帯と遠赤色光照射の併用がトルコギキョウの生育に及ぼす影響. 園学研. 8別2: 338.
- Kohl, H. C. 1961. Period during development of a carnation shoot when temperature has greatest effect on flower size. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 77: 540-543.
- Kohl Jr, H. C. and S. P. Thigpen. 1979. Rate of dry weight gain of chrysanthemum as a function of leaf area index and night temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 3000-3003.
- 小西国義. 1970. 切り花および鉢花の開花調節. 園芸植物の開花調節. p. 234-269. 誠文堂新光社. 東京.
- 小西国義. 1975. さし芽苗の低温処理によるキクのロゼット化防止. 園学雑. 44: 286-293.
- 小西国義. 1980. キクのロゼット化に関する研究. 園学雑. 49: 107-113.
- 小柴恭一・神谷勇治. 2010. 新しい植物ホルモンの科学 第2版. ジベレリンの生理作用. p. 56-61. 講談社. 東京.
- 腰岡政二・R. Moe. 1999. 施設園芸作物の形態に及ぼす温度周期の影響. 植物の化学調節 (JSCR). 34: 66-74.
- Kresten, H. E. 1993. Influence of duration and placement of a high night temperature on morphogenesis of *Dendranthema grandiflora* Tzvelev. Sci.Hortic. 54: 327-355.
- 國本忠正・後藤利幸. 1981. カーネーションの品種と温度 第2報 夜温の変温管理. 九州農業研究. 43: 217.
- Langton, F. A and K. E. Cockshull. 1997. Is stem extension by DIF or by absolute day and night temperatures? Sci. Hortic. 69: 229-237.
- Langton, F. A., K. E. Cockshull, C. R. J. Cave and E. J. Hemming. 1992. Temperature regimes to control plant stature: Current UK R&D. Acta Hort. 327: 49-60.
- Lepage, I., J. D. Jong and L. Smeets. 1984. Effect of day and night temperatures during short photoperiods on growth and flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Sci. Hortic. 22: 373-381.
- 前田浩典・住友昭利. 1982. 冷蔵加温電照ギクにおける昼夜管理が燃料消費および生育開花に及ぼす影響. 徳島農試研報. 20: 27-36.
- 松田岑夫・万豆綱一. 1978. 秋ギクの加温電照栽培に関する研究 (第3報) 栽培条件, 特に夜温が開花並びに切り花品質に及ぼす影響. 静岡農試研報. 23: 49-56.
- Miller, R. O. 1962. Variations in optimum temperature of snapdragons depending on plant size. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 81: 535-543.
- 水戸喜平・万豆綱一・木村進・岩崎正男. 1980. パラの切花生産に及ぼす夜温の影響 (第3報) 冬期の変温管理について. 静岡農試研報. 25: 53-62.
- Moe, R. 1990. Effect of day and night temperature alternations and of plants growth regulators on stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Moretti. Sci.Hortic. 43: 291-305.
- Moe, R., T. Fjeld and L. M. Mortensen. 1992a. Stem elongation and keeping quality in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) as affected by temperature and supplementary lighting. Sci.Hortic. 50: 127-136.
- Moe, R., N. Glomsrud, I. Bratberg and S. Valsø. 1992b. Control of plant height in Poinsettia by temperature drop and graphical tracking. Acta Hort. 327: 41-48.
- Moe, R. and R. D. Heins. 1990. Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. Acta Hort. 272: 81-89.
- Moe, R., R. D. Heins and J. E. Erwin. 1992c. Stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Moretti in response to day and night temperature alternations and light quality. Sci.Hortic. 48: 141-151.
- Myster, J. and R. Moe. 1995. Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops - a mini review. Sci.Hortic. 62: 205-215.
- Nau, J. 1991. Ball Red Book. Culture by crop 303 'Marygold'. Geo. J. Ball., Inc., IL. p. 662-665.
- Nishijima, T., M. Nonaka, M. Koshioka, H. Ikeda, M. Douzono, H. Yamazaki and L. N. Mander. 1997. Role of gibberellins in the thermoperiodic regulation of stem elongation in *Dendranthema grandiflorum* Tzvelev. Biosci. Biotechnol. Biochem. 61: 1362-1366.
- 農林水産省統計部. 2009. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kaki/index.html
- 大石一史・大須賀源芳. 1983. 秋ギク加温電照栽培における変夜温管理に関する研究 (第1報) 花成誘導期における夜間の高温要求時間帯. 愛知農試研報. 15: 223-228.
- 及川仁. 2007. 施設園芸における省エネの取組みの推進など地球温暖化への対応. 施設と園芸. 138: 4-7.
- 岡田正順. 1954. 秋菊の花芽分化し得る温度の低温限界について. 園学雑. 23: 187-192.
- 岡田正順. 1957. 開花に対する生體的反応より見た菊品種の分類. 園学雑. 26: 59-72.
- 岡田正順. 1963. 菊の花芽分化および開花に関する研究. 東京教

- 育大農紀要. 9: 63-202.
- Ormrod, D. P., P. A. Hammer, D. T. Krizek, T. W. Tibbitts, J. C. McFarlane and R. W. Langhans. 1980. Base-line growth studies of 'First lady' marigold in controlled environments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 76: 649-660.
- Parups, E. V. 1978. Chrysanthemum growth at cool night temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 839-842.
- Parups, E. V. and G. Butlur. 1982. Comparative growth of chrysanthemum at different night temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 600-604.
- Post, K. 1947. Year-around chrysanthemum production. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 49: 417-419.
- Rajakapase, N. C., M. J. McMahon and J. W. Kelly. 1993. End of day far-red reverses height reduction of chrysanthemum induced by CuSO₄ spectral filters. Sci.Hortic. 53: 249-259.
- Rünger, W. 1979. Influence of temperature during the first thirty days of the short day period on flower induction and development of chrysanthemum. Gartenbauwissenschaft 44: 162-165.
- 佐々木和也・西島隆明・本多和茂・嵯峨絃一・鮫島正純. 2007. 昼夜温度差および短時間変温がシネンシス系デルフィニウムの生育に及ぼす影響. 園学研. 6: 577-583.
- Schwabe, W. W. 1955. Factors controlling flowering of the chrysanthemum. V. De-vernalization in relation to high temperature and low light intensity treatments. J. Exp. Bot. 6: 435-450.
- 柴田道夫・久松完. 2007. 温度がキクの節間伸長および開花に及ぼす影響について. 園学研. 6 (別2): 352.
- 鈴木茂夫・西野寛・神原嘉男. 1983. 施設栽培におけるキュウリ、トマトの温度管理に関する研究-夜間の地温と日射量に応じた変温管理がキュウリ、トマトの生育・収量に及ぼす影響. 京都農研研報. 11: 15-27.
- 土岐知久. 1995. 施設栽培における温度と光環境の制御技術に関する研究. 千葉農試特報. 31: 1-56.
- Troll, W. 2004. 頭状花. トロール図説植物形態学ハンドブック(下)(中村信一・戸部博訳). p. 553-566. 朝倉書店. 東京.
- 塚田晃久. 1991. トルコギキョウの生理的特性と栽培に関する研究(5)夜温の生育期別変温管理が生育・開花に及ぼす影響. 長野野菜花き試報. 6: 23-30.
- Tsukamoto, Y., H. Imanishi and H. Yahara. 1968. Studies on the flowering of marigold. Photoperiodic response and its differences among strain. J.Japan.Soc.Hort.Sci. 37: 231-239.
- Ueber, E. and L. Hendriks. 1992. Effects of intensity, duration and timing of a temperature drop on the growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* wild. ex Klotzsch. Acta Hort. 327: 33-40.
- Van Ruiten, J. E. M. and J. De. Jong. 1984. Speed of flower induction in *Chrysanthemum morifolium* depends on cultivar and temperature. Sci.Hortic. 23: 287-294.
- Vogelezang, J., L. Cuijpers and M. T. H. de Graaf-van der Zande. 1992. Growth regulation of bedding plants by reversed day/night temperature only?. Acta Hort. 305: 37-44.
- Whealy, C. A., T. A. Nell, J. E. Barrett and R. A. Larson. 1987. High temperature effects on growth and floral development of chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 464-468.
- 吉岡 宏・高橋和彦. 1981. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究 V トマトにおける ¹⁴C 同化産物の昼夜間の転流割合と、転流・分配に及ぼす光・夜温の影響. 野菜試報 A. 9: 63-81.
- Zieslin, N. and M. J. Tsujita. 1988. Regulation of stem elongation of lilies by temperature and the effect of gibberellin. Sci. Hort. 37: 165-169.

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたって、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所(筑波大学大学院生命環境科学研究科)大宮あけみ 博士には、懇切な御指導、御校閲および終始暖かい激励を賜った。ここに記して、深甚なる謝意を表す。また、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所 柴田道夫 博士(現在、東京大学大学院農学生命科学研究科)には、本研究開始時から御指導いただくとともに貴重な御助言と暖かい励ましのお言葉を賜った。

また、本研究の実施と取りまとめにあたって、日本大学生物資源科学教授 腰岡政二 博士、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所 久松完 博士には、終始暖かい御指導と御鞭撻を賜った。さらに筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授 大澤良 博士、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所(筑波大学大学院生命環境科学研究科)西島隆明 博士および中山真義 博士には、取りまとめに関して有益な御助言と激励をいただいた。また、鳥根県農業技術センター栽培研究部 神門卓巳 氏には、実験に関し御協力をいただいた。以上

の各位に対し、心から感謝を申し上げます。また、キク品種を御提供いただいた有限会社 精興園、ジャパンアグリバイオ株式会社、研究の遂行にあたり御協力いた

いた非常勤職員 亀井節子氏、鈴木環氏、白井てる子氏、花き研究所研究支援チーム職員各位に厚く御礼申し上げます。