低温期のスプレーギク施設栽培における EOD-heating の有効性

道園美弦*・久松 完・大宮あけみ・市村一雄・柴田道夫^a

農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所 305-8519 つくば市藤本

Effect of End-of-day-heating Treatment in Low Growth-temperature Environment on Growth and Flowering in Spray-type Chrysanthemum

Mitsuru Douzono*, Tamotsu Hisamatsu, Akemi Ohmiya, Kazuo Ichimura and Michio Shibata^a

National Institute of Floricultural Science, National Agriculture and Food Research Organization, Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8519

Abstract

We investigated the effects of end-of-day (EOD)-heating treatment on the growth and flowering of spray-type Chrysanthemum in a low growth-temperature environment. With a controlled 12-hour day length at 16/8°C (light/dark period), we found in the spray-type chrysanthemum ‘Sei-Roza’ that the EOD-heating treatment accelerated flower initiation and early flower bud development. With the objective of reducing energy use in greenhouses in winter, we investigated the effects of short-term heating when the lowest night temperature was lower than 18°C. As a result, when the night temperature was 13°C, the effects of 3-hour 20°C EOD-heating treatment led to about the same timing of flowering as a night temperature of 18°C for the three cultivars we examined (‘Sei-Roza’, ‘Monalisa’, and ‘Wodka Sunny’). We investigated the effects of EOD-heating treatment when the lowest night temperature was 13°C on the characters of flower clusters, which can be a problem for marketing. As a result, deformation of the flower cluster by a low growth-temperature was improved by EOD-heating treatment when we examined four cultivars (‘Sei-Roza’, ‘Sei-Elza’, ‘Monalisa’, and ‘Wodka Sunny’). In this case, heat consumption is reduced by about 15% according to our calculation. From these results, we have successfully shown that EOD-heating treatment is an effective temperature control technique.

Key Words : *Chrysanthemum morifolium* Ramat., flower initiation, short-term heat treatment, temperature

キーワード : 花芽分化, キク, 温度, 短時間昇温処理

緒 言

近年、花きの施設栽培では、石油価格の不安定化および地球温暖化防止の観点から暖房エネルギーの使用量削減が求められている。1970年代の石油危機当時に、花き施設栽培の省エネルギー対策として、低温管理の研究が盛んに取り組まれている (Bonaminio・Parson, 1980; Kohl・Thigpen, 1979; Parups, 1978; Parups・Butlur, 1982)。しかし、我が国の施設を利用した冬季の切り花生産では、低温管理に関する研究成果が品質を維持するための栽培技術につながっていないため、暖房費は節減されていないのが現状である。

キク (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) は、我が国の花

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17億3,100万本で花き総出荷量の約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。Post (1947) は、キクが花芽分化できる最低温度は15.5°Cであり、10°Cでは分化しないか、たとえ分化しても非常に遅れることを報告している。また、Cathey (1955) は、発蕾時以降の温度を極端に下げることによって、側枝が長くなり2次側枝が分枝し花房形質が乱れることを報告している。このように低温で管理すると、栽培期間が長くなるうえに、品質が低下するため、現在では、花芽分化から開花に至るまでの期間の夜間の最低温度は、施設で栽培される作物の中でも比較的高い18°Cに設定されている。

従って、夜間設定温度の低下によって暖房エネルギーを節約する場合、栽培期間の延長や品質の低下を最小限にとどめることが求められる。これまでに我々は、人工気象器を用いた制御環境下において、暗期開始時の短時間昇温処理 (以下、EOD (End-of-day) heating) がアフリカンマリーゴールドの開花反応を促進することを見いだし (道園ら、

2011年11月17日 受付。2012年4月10日 受理。

本報告の一部は園芸学会平成20年度秋季大会、平成22年度秋季大会および平成23年度秋季大会で発表した。

本研究は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：EOD反応を活用した花き類の効率的生産技術の開発」により実施した。

* Corresponding author. E-mail: douzono@affrc.go.jp

^a現在：東京大学大学院農学生命科学研究科

2010a), 特に花芽分化および初期の花芽発達を促進することを明らかにした(道園ら, 2010b). この EOD-heating 処理は, 通常の加温に比べて高い温度設定を必要とするが, 短時間の加温で花芽分化や発達に効果が高いため, 冬期施設栽培における暖房コスト削減を目的とした変温管理技術として応用できる可能性がある.

そこで本報ではスプレーギクを対象として, 低温に制御された環境下における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達に及ぼす影響を明らかにし, 冬季低温環境下の施設栽培における EOD-heating 処理が, 暖房ランニングコストを削減しながら生育と開花の遅延, 切り花の品質低下の軽減を実現できるか検討した.

材料および方法

1. 制御環境下における EOD-heating 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(実験 1)

材料には, スプレーギク品種 'Sei-Roza' (精興園)を用いた.

親株は, ガラス温室で最低気温が 17°C を下回らないように加温し, 電球形蛍光灯 (EFG21EL, TOSHIBA) で暗期中断 5 時間 (21:30 ~ 2:30) の長日条件下で管理した. 2009 年 6 月 11 日に親株から採穂し, 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, サングロー) を充填し挿し穂を行った. 7 月 2 日に発根苗を 7.5 cm ビニルポットに 1 苗ずつ移植した. 培養土は園芸用培土 (クレハ園芸培土), 赤土, ピートモスおよびパーライトが 4:2:1:1 の割合の混合土を使用した. 追肥は液体肥料 (くみあい液肥 2 号 (N:P₂O₅:K₂O=10:4:8), コーベケミカル) を 400 倍希釈し, 週 1 回の施用とした. 挿し芽から温度処理開始までの期間は, 親株管理と同様の条件で管理した.

温度処理は, 人工気象器 (LPH-350SP, 日本医化器械) 3 台を使用し, 7 月 16 日から 32 日間実施した. 明期温度 16°C, 暗期温度 8°C, 日長 12 時間を対照区とし, 処理区として, 暗期開始時に 24°C に 3 時間昇温する EOD-heating 区, および暗期終了前に 24°C に昇温 (3 時間) する EON (End-of-night)-heating 区を設けた. 3 台の人工気象器の温度誤差は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に調節し, 光合成有効光量子束密度 (以下, PPFD と省略) は, $200 \sim 250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (側面からの白昼色蛍光灯下) とした. 温度処理開始後は, 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 (N:P₂O₅:K₂O=15:8:17, 大塚化学) の 2,000 倍希釈液を給水と同時に施用した. 供試個体から, 各処理区毎回 6 個体をサンプリングし, 生育調査を行った.

温度処理開始時から 4 日ごとに茎頂部分を剥皮法により実体顕微鏡下で観察し, 花芽の発育段階および葉数について調査した. キクの花芽発育段階は, Fukai ら (1997), 岡田 (1963) などの報告に準じ, 第 0 期 (花芽未分化), 第 1 期 (成長点膨大期), 第 2 期 (総苞形成前期 (花芽分化)),

第 3 期 (同中期), 第 4 期 (同後期), 第 5 期 (小花形成前期), 第 6 期 (同中期), 第 7 期 (同後期) および第 8 期 (発蕾期) とした.

2. 制御環境下での EOD-heating 処理の時間帯の違いが発蕾以降の花芽発達に及ぼす影響(実験 2)

材料, 親株管理および育苗については実験 1 に準じ, 2010 年 3 月 16 日に挿し穂し, 4 月 6 日に移植した. 供試個体は各処理区 8 個体について調査した.

頂芽が発蕾するまでの生育を揃えるために, 各処理区の栽培管理は, 明期温度 22°C, 暗期温度 14°C, 日長 12 時間, 底面からの給水・追肥で統一した.

発蕾後に, 3 台の人工気象器を用いて 4 月 27 日から 18 日間の温度処理を実施した. 対照区は, 明期温度 16°C, 暗期温度 8°C, 日長 12 時間とし, 処理区は暗期開始直後に 3 時間, 24°C の昇温を施す EOD-heating 区および暗期終了前に 3 時間, 24°C の昇温を施す EON-heating 区とした.

温度処理開始時 (発蕾時) から 3 日おきに花蕾の直径を測定した.

3. 異なる気温条件下における EOD-heating 処理が生育および開花の遅延に及ぼす影響(実験 3)

スプレーギク品種として 'Sei-Roza' (精興園), 'Monalisa' (ジャパンアグリバイオ) および 'Wodka Sunny' (ジャパンアグリバイオ) を供試した. 'Monalisa' と 'Wodka Sunny' は, 予備試験において低温環境下での開花が遅れにくかったため供試品種とした.

各品種とも, 冬季の自然低温に遭遇させた親株を 2007 年春からガラス温室へ移した. ガラス温室内は, 電球形蛍光灯 (EFG21EL KIKU, TOSHIBA) を使用して暗期中断 5 時間 (21:30 ~ 2:30) の長日条件とした. 2007 年 11 月 1 日以降は, 最低気温が 15°C を下回らないようにガラス温室室内を加温した.

12 月 14 日に親株より採穂し, 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, 挿し芽処理を行った. 2 週間後の 12 月 28 日に, 発根苗をプランター (W 650 × D 220 × H 190 mm, 容量 11 L) に 12 株ずつ定植した. 供試株数は 1 品種, 1 温度処理当たり 18 株 (プランター 1.5 組) とした. 培養土には園芸用培土 (クレハ園芸培土), 赤土, ピートモスおよびパーライトを 4:2:1:1 の割合で混合したものを使用した. 追肥は液体肥料 (くみあい液肥 2 号) を 400 倍希釈し, 週 1 回の施用とした. 定植後, 短日処理開始までの期間 (暗期中断期間) は, 最低気温を 15°C とし, 換気温度 25°C に設定したガラス温室内で 3 週間栽培管理した.

2008 年 1 月 18 日にガラス温室にプランターを移し, 温度処理と短日処理を同時に開始した. 短日処理は, 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. 換気温度を 25°C, 最低設定気温を 8, 13 および 18°C とした 3 つのガラス温室を設け, 加温は温湯暖房とした. 最低設定気温が 18°C の温

室は慣行区 (18°C-control 区) とした。また、最低設定気温 8 および 13°C としたそれぞれのガラス温室内に、通常の 1) 加温処理区 (非短時間昇温処理 : 13°C-control 区, 8°C-control 区) と、短時間昇温処理区として日没直後より 3 時間および 1 時間だけ 20°C に加温する 2) EOD-heating 3 h 区, 3) EOD-heating 1 h 区, および夜明け前 3 時間, 20°C に加温する 4) EON-heating 3 h 区を設けた。短時間昇温処理のために、前述のガラス温室内には、自動開閉装置 (くるくる AceIII, 誠和) と電気温風機 (SF-1008A, 総和工業) を備えた小型パイプハウス (雨よけ栽培支柱セット, ニチカン) を 3 基設置した。プログラムリレー (zen 10CAR-A-AV2, オムロン) 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, または夜明け 20 分前まで) の時間帯は小型パイプハウスを閉鎖して電気温風器でパイプハウス内を加温した。

開花時に短日処理開始からの茎長, 葉数, 発蕾日および開花日を調査した。なお, 短日処理開始から発蕾, 開花までの日数をそれぞれ発蕾日数, 到花日数とした。

4. 夜間設定気温 13°C 条件下における EOD-heating 処理が開花遅延および花房形質の劣化の軽減に及ぼす影響 (実験 4)

実験 3 における花房形質は観察上, どの品種でも最低気温が下がるにつれて劣化した。そこで, 顕著な開花遅延および花房形質の劣化がみられなかった夜間設定気温 13°C 条件下の 20°C の EOD-heating を 3 時間処理する方法が開花および花房形質に及ぼす影響について検討した。

スプレーギク品種 ‘Sei-Roza’, ‘Sei-Elza’ (精興園), ‘Monalisa’ および ‘Wodka Sunny’ の 4 品種を供試した。

冬季の自然低温に遭遇させた親株を 2008 年 5 月 8 日からパイプハウス内に移した。パイプハウス内は, 電球形蛍光灯 (EFG21EL, TOSHIBA) で 5 時間暗期中断 (21:30 ~ 2:30) の長日条件とした。2008 年 11 月 1 日以降は, 最低気温が 15°C を下回らないように, パイプハウス内を加温した。

11 月 12 日に親株から採穂し, 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。供試株数は 1 品種, 1 温度処理区当たり 24 株とした (プランター 2 組)。定植後, 短日条件の開始までの期間 (暗期中断期間) は, 最低気温を 15°C, 換気温度を 25°C に設定したパイプハウス内で管理した。

温度処理は, 昼温の影響を受けないようにするために昼温の設定温度および換気温度は各処理区共通とし, 夜明け後～日没前までの換気温度を 25°C, 最低昼温 15°C に設定した。夜温は最低夜温条件を 13 および 18°C とした処理区に加え, 最低夜温 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 EOD-heating 処理の 3 つの処理区のパイプハウスを設けた。加温方法はパイプハウス内を小型温風機 (KA-325, ネボン) に 4 段サーモ (HT-144S1, ネボン) 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, 以降の最低夜温を 13°C とした。また, 2 週間おきに日没時間帯の設定を変更した。12 月 25 日に, 温度処理を行うパイプハウスへプランターを移し, 自然日長を短日条件とした温度処理を開始した。

生育に関する調査は, 開花時に短日処理開始からの葉数, 開花日とした。なお, 短日処理開始～開花までの日数を到花日数とした。スプレーギクが出荷規格上頂花を含めて 5 花以上を付ける必要があるため, 花房形質に関する調査は, 側枝数に加えて, 頂花を含めて 5 花目となる第 4 側枝の長さ主茎を基準とした着生角度とした。

結 果

1. 制御環境下における EOD-heating 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 (実験 1)

第 1 図に暗期短時間昇温処理の時間帯がスプレーギク品種 ‘Sei-Roza’ の花芽分化および発蕾までの花芽発達に及ぼす影響を示した。

対照区では, 処理後 12 日目から成長点が肥大し (第 1 期), 20 日目に花芽分化を開始した個体 (第 2 期) がみられた。32 日目では, 各個体の発育ステージが第 2 ~ 7 期とばらついた。一方, EOD-heating 区は, 処理区の中で発蕾までの花芽分化・発達が最も早く, 処理後 12 日目には第 2 期に達した個体が観察され, 32 日目には, 発蕾する個体が観察された。また, EON-heating 区では, 処理後 20 日目には第 2 期に達する個体がみられ, 32 日目にはほとんどの個体が第 5 ~ 7 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。

なお, 各処理区間において, 葉数の変化に有意な差はみられなかった (データ略)。

2. 制御環境下での EOD-heating 処理の時間帯の違いが発蕾以降の花芽発達に及ぼす影響 (実験 2)

第 2 図に暗期短時間昇温処理の時間帯の違いがスプレーギクの発蕾以降の花芽発達に及ぼす影響を示した。

対照区では, 発蕾時の花蕾径が約 5 mm であり, 処理後 18 日目には約 13 mm であった。調査した発育ステージでは温度処理の影響が小さかったものの, EOD-heating 区では, 対照区と比べ処理後 9 日目に花蕾径が有意に大きくなった。EON-heating 区は, 花蕾径に対して有意な影響は及ぼさなかった。

3. 異なる気温条件下における EOD-heating 処理が生育および開花の遅延に及ぼす影響 (実験 3)

第 3 図に 2008 年 1 月 18 日 ~ 4 月 30 日における各ガラス温室内の日最高気温と日最低気温の経時変化を示した。日最高気温は, 試験区間でほとんど差がなかったため, 18°C-Control 区のみ示した。温度処理期間の日最高気温の平均値は 23°C 程度であった。各処理区の処理期間における日最低気温の平均値は, 18°C-Control 区で 17.4°C, 13°C-Control 区で 12.6°C および 8°C-Control 区で 9.8°C であった。8°C-control

Fig. 1. Effects of short-term-heating treatment during the dark period on flower initiation and development in Chrysanthemum (Exp. 1).

^z0: Vegetative stage, 1: Doming stage, 2: The first stage of floret formation, 3: The middle stage of floret formation, 4: The latter stage of floret formation, 5: The first of stage corolla formation, 6: The middle stage of corolla formation, 7: Latter stage of corolla formation, 8: Flower budding stage.

Fig. 2. Effects of short-term-heating treatment during the dark period on flower bud development after bud appearance in Chrysanthemum (Exp. 2).

^zDifferent letters within columns indicate significant differences by Tukey's multiple range test ($p < 0.05$) ($n = 8$).

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、設定よりも日最低気温の平均値は高くなった。

第1表に冬期低温環境下の施設栽培におけるEOD-heatingがスプレーグクの生育と開花の遅延に及ぼす影響について示した。

18°C-Control区、13°C-Control区および8°C-Control区を比較すると、発蕾日数および到花日数は、3品種ともに設定最低気温が下がるにつれ有意に長くなった。8°C-Control区における発蕾および開花の遅れは、'Monalisa'、'Wodka Sunny'に比べて'Sei-Roza'で顕著であった。茎長は、3品種ともに設定最低気温が下がるにつれて増加する傾向が認められた。葉数では、'Sei-Roza'のみ設定最低気温の低下による有意な増加が認められた(データ略)。

短時間昇温処理区(EOD区、EON区)と18°C-Control区を比較すると、発蕾日数および到花日数は、3品種ともに13°C-EOD 3h区のみ18°C-Control区とほぼ同等の値を示した。8°C下の短時間昇温処理区では、3品種ともに18°C-Control区に比較すると発蕾および開花が有意に遅れた。

茎長では、8°C下のすべての短時間昇温処理区は、18°C-Control区よりも有意に増加した。

供試した品種に共通する花房形質の特徴として、最低気温が13°C、8°Cと下がるにつれて側枝数が減少するとともに、側枝長が増加し、側枝の着生角度が鋭角となる傾向がみられた(第4図)。

Fig. 3. Daily maximum and minimum air temperatures during the experimental period (Exp. 3) in the greenhouse (2008/1/18–2008/4/30).

Table 1. Effects of short-term-heating treatments during the dark phase on growth and flowering in spray-type Chrysanthemum (Exp. 3).

Cultivar	Treatment	Days to flower budding in short days	Days to flowering in short days	Increase in stem length in short days (cm)
Sei-Roza	18°C-Control	26.1 c ^z	56.4 e	46.0 cd
	13°C-Control	29.1 c	63.0 d	51.5 c
	13°C-EOD ^y (20°C, 3 h)	26.9 c	58.4 e	43.2 d
	13°C-EOD (20°C, 1 h)	27.1 c	59.3 de	49.8 c
	13°C-EON ^x (20°C, 3 h)	28.0 c	59.5 d	47.1 c
	8°C-Control	49.0 a	84.9 a	74.0 a
	8°C-EOD (20°C, 3 h)	40.8 b	76.1 c	61.3 b
	8°C-EOD (20°C, 1 h)	45.1 b	80.7 ab	67.0 ab
Monalisa	8°C-EON (20°C, 3 h)	45.8 ab	79.3 bc	61.4 b
	18°C-Control	22.7 g	51.1 e	49.0 d
	13°C-Control	26.6 d	54.9 d	52.8 cd
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	23.3 fg	53.1 de	50.3 d
	13°C-EOD (20°C, 1 h)	24.3 ef	54.5 d	58.4 b
	13°C-EON (20°C, 3 h)	25.4 de	54.7 d	48.5 d
	8°C-Control	32.9 a	64.4 ab	60.1 b
	8°C-EOD (20°C, 3 h)	28.4 c	60.6 c	59.0 b
Wodka Sunny	8°C-EOD (20°C, 1 h)	31.0 b	62.3 bc	68.9 a
	8°C-EON (20°C, 3 h)	30.5 b	65.2 a	57.0 bc
	18°C-Control	23.2 c	48.8 f	46.0 d
	13°C-Control	26.6 b	52.9 cd	54.8 c
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	23.2 c	50.4 ef	52.0 cd
	13°C-EOD (20°C, 1 h)	24.6 c	51.7 de	52.5 c
	13°C-EON (20°C, 3 h)	26.7 b	53.9 c	57.3 bc
	8°C-Control	31.3 a	62.4 a	56.7 c
	8°C-EOD (20°C, 3 h)	28.0 b	57.4 b	64.2 a
	8°C-EOD (20°C, 1 h)	31.5 a	62.4 a	62.5 ab
	8°C-EON (20°C, 3 h)	31.3 a	60.9 a	56.7 c

^z Different letters within columns indicate significant differences by Tukey's multiple range test ($p < 0.05$) ($n = 12$).

^y EOD: End of day.

^x EON: End of night.

4. 夜間設定気温 13°C 条件下における EOD-heating 処理が開花遅延および花房形質の劣化の軽減に及ぼす影響 (実験 4)

第 5 図に各温度処理区の日最低夜温および 18°C 区の日

Fig. 4. Effects of minimum air temperatures on characters of flower clusters in spray-type Chrysanthemum (Exp. 3).

最高気温の推移を示した。18°C 区および 13°C 区において、暖房機の故障などにより短期間の温度降下があったものの、温度処理期間を通じて設定温度よりやや低めの日最低夜温で推移した。

第 2 表および第 6 図に 13°C 加温環境下における EOD-heating 処理がスプレーグクの開花および花房形質に及ぼす

Fig. 5. Daily maximum and minimum air temperatures during the experimental period (Exp. 4) in the greenhouse (2008/12/26~2009/3/31).

Table 2. Effects of end-of-day-heating treatment on flowering and the characters of flower clusters in spray-type Chrysanthemum (Exp. 4).

Cultivar	Treatment	Days to flowering in short days	Number of lateral shoots	Angle of the fourth lateral shoot	Length of fourth lateral shoot (cm)
Sei-Roza	18°C	53.2 c ^z	12.4 a	41.7 a	115.7 b
	13°C-EOD ^y (20°C, 3 h)	55.3 b	11.4 a	40.0 a	125.4 b
	13°C	61.7 a	8.0 b	28.8 b	146.3 a
Sei-Elza	18°C	53.7 c	13.2 a	42.9 a	74.9 c
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	55.7 b	12.8 a	42.1 a	85.6 b
	13°C	60.8 a	10.3 b	30.4 b	105.6 a
Monalisa	18°C	46.8 c	12.0 a	37.5 a	101.5 b
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	50.7 b	9.1 b	36.3 ab	111.9 b
	13°C	55.2 a	5.5 c	33.3 b	141.2 a
Wodka Sunny	18°C	46.4 c	12.4 a	40.8 a	79.2 b
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	50.7 b	12.2 a	40.4 a	80.2 b
	13°C	55.3 a	10.2 a	42.1 a	100.3 a

^z Different letters within columns indicate significant differences by Tukey's multiple range test ($p < 0.05$) ($n = 12$).

^y End of day.

影響について示した。

到花日数は、今回供試したすべて4品種ともにEOD-heating区は18°C区に比べて2~3日は遅れたものの、13°C区に比べて5日程短くなった。

第1次側枝数は、4品種ともに18°C区、EOD-heating区、13°C区の順に少なくなった。‘Monalisa’を除き18°C区とEOD-heating区の間には有意な差はみられなかった。

第4側枝着生角度は、‘Wodka Sunny’を除き18°C区、EOD-heating区、13°C区の順で鋭角になった。18°C区とEOD-heating区の間には有意な差はみられなかった。

第4側枝長は、4品種ともに18°C区、EOD-heating区、13°C区の順に長くなった。‘Sei-Elza’を除き18°C区とEOD-heating区の間には有意な差はみられなかった。

以上のように、今回供試した4品種すべての第1次側枝数、第4側枝着生角度および第4側枝長は、18°C区と比べ

Fig. 6. Effects of end-of-day-heating treatment on character of flower clusters in spray-type Chrysanthemum (Exp. 4).

EOD-heating区は同等かそれに準じる傾向を示した。なお、増加した葉数は、4品種ともに処理区間で有意な差は認められなかった（データ略）。

第3表に冬期施設栽培において、供試品種にEOD-heatingを処理した期間の1日当たりの消費暖房熱量を示した。こ

Fig. 7. Diurnal range of mean temperature (2009/1/14~2009/2/2) in the greenhouse (Exp. 4).

Table 3. Heat consumption in greenhouse for spray-type Chrysanthemum (Exp. 4).

Cultivar	Treatment	Heat consumption to flowering in short days (Wh day ⁻¹)	Heat consumption rate to 18°C treatment
Sei-Roza	18°C	86,451	1.00
	13°C-EOD ^z (20°C, 3 h)	71,452	0.83
	13°C	64,277	0.74
Sei-Elza	18°C	87,173	1.00
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	71,955	0.83
	13°C	63,408	0.73
Monalisa	18°C	75,983	1.00
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	65,563	0.86
	13°C	57,559	0.76
Wodka Sunny	18°C	75,442	1.00
	13°C-EOD (20°C, 3 h)	65,492	0.87
	13°C	57,675	0.76

^z End of day.

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7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（ $5.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ） $\times$ （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°C区で $1,624 \text{ Wh day}^{-1}$ 、EOD-heating区で $1,293 \text{ Wh day}^{-1}$ 、13°C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°C区、EOD-heating区、13°C区の順に少なくなった。短日処理期間の消費熱効率は、品種により異なるが18°C区と比較して、EOD-heating区は0.83～0.87であった。

考 察

本報では、EOD-heating 処理を適用した変温管理技術が、冬季のスプレーギク施設栽培において収穫物の品質を劣化させることなく暖房を節約できるか検討した。

実験1では、スプレーギクにおいて花芽分化および発蕾までの花芽の発達、EOD-heating 処理により著しく促進することが示された。この結果は、アフリカンマリーゴールドと同様であった（道園ら, 2010a）。加えて、スプレーギクではEON-heating 処理によっても花芽分化および初期の花芽発達が促進された。

実験2においても、EOD-heating 処理によりスプレーギクの発蕾以降の花芽発達が促進することが示された。これまでにキクでは、発蕾以降の夜温を花芽分化を促す温度より低くしても生育に影響しないことから（Karlsson ら, 1989）、EOD-heating 処理についても発蕾からの花芽発達に及ぼす影響は小さいと考えられた。アフリカンマリーゴールドでは、暗期の短時間昇温処理により発蕾以降の花芽の発達は時間帯の違いにかかわらず促進したが（道園ら, 2010b）、スプレーギクではEOD-heating 処理により花芽発達の促進効果が認められた。この効果の違いの機構は不明であり、今後、異なる植物種において温度が花芽分化・発達に及ぼす影響についての詳細な検討が必要であろう。

実験3では、環境制御下での実験に基づき冬期低温環境下の施設栽培において、異なる気温条件下でEOD-heating 処理がスプレーギクの生育、開花の遅延に及ぼす影響について検討した。

供試した3品種ともに最低設定気温13および8°Cの条件下において、20°CのEOD-heatingを3時間処理することにより開花の促進効果が認められた。品種によっては、EOD-heating 1時間、20°C処理およびEON-heating 3時間、20°C処理による開花促進も認められたが、促進効果は20°C

の EOD-heating 3 時間処理に比べ劣った。アフリカンマリーゴールドでも短時間昇温処理において、昇温時間を長くした方が、また、昇温温度を高くした方がより大きい効果が得られている（道園ら，2010a）。従って、本報での開花の促進効果を考慮すると、3 時間以上の加温が必要であると推測された。また、最低気温 13°C 条件下の 20°C の EOD-heating 3 時間処理のみ 18°C-Control 区と比べて開花の遅れがみられなかった。最低気温 8°C 条件下については、短時間昇温処理区の開花の遅れは 18°C-Control 区と比べて著しかった。これらの結果から、スプレーギクの 3 月開花作型における発蕾と開花は、最低気温 13°C 程度の気温条件で 20°C の EOD-heating 3 時間処理により最低気温 18°C 条件とほぼ同等となることが示された。

最低気温が 10°C のとき、キクの花芽分化および発蕾までの花芽発達が非常に遅延し、同時に葉数が増加することが報告されている（Karlsson ら，1989）。かつて輪ギクを代表した品種‘秀芳の力’では、親株が春～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の設定温度を下げるとロゼットとなるため、開花が非常に遅れることが示されている（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が抑制されるが、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; 樋口・原，1974; 小西，1980; Schwabe, 1955）。これまでの冬季の栽培管理の実験は、そのほとんどが適切な加温条件を明らかにすることを目的とした報告である（Jong, 1978; Rünger, 1979）。その中で燃料節減を目的とした暖房温度に関する研究では、前夜半の温度を保つことにより燃料節減となる報告（Bonaminio・Parson, 1980; Parups, 1978）と後夜半の温度を保つことにより燃料節減となる報告（Carow・Zimmer, 1977; 大石・大須賀，1983）がある。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°C 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みられた。‘Monalisa’や‘Wodka Sunny’では、最低気温 8°C 条件でも葉数の増加もみ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 EOD-heating 処理による開花の促進効果が得られると考えられる。

実験 4 では、夜間設定気温 13°C 条件下における EOD-heating 処理がスプレーギクの開花遅延および花房形質の劣化の軽減に及ぼす影響について検討した。パイプハウスにおける夜間最低気温 13°C 条件で EOD-heating 処理を行った区は、実験 3 と同様にスプレーギクの一般的な栽培温度を

想定した 18°C 区に比べて開花は若干遅れたが、13°C 区と比べると 5 日程早くなり、EOD-heating 処理により開花の遅延を軽減できることが、2 月開花作型でも示すことができた。

スプレーギクの花房形質は、品質を左右する重要な要素である。甲斐ら（1995）は、スプレーギクの花房フォーメーションを画像処理によって検討しており、花柄長と花柄角度が重要な品質構成要素であることを報告している。そのため、本研究においてもこれらを品質評価の指標として用いた。EOD-heating を行った処理区の‘Sei-Roza’では、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°C 区とほぼ変わらない花房形質が得られた。供試したすべての品種の花房形質は、EOD-heating 処理によって 13°C 区とは異なり、18°C 区と同等か 18°C 区に準じる形質を示した。これまでにキクの花房形質のひとつである 1 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 EOD-Heating 処理は、1 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。このことから、EOD-heating 処理は、開花の促進効果以外にもスプレーギクの出荷規格上、問題となる温度の低下による花房形質の劣化を軽減させることを示すことができた。

EOD-heating 処理した場合の 1 日当たりの消費熱量は、18°C 区と比べて約 20%削減できた。EOD-heating 区は、18°C 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、13～17%削減幅となり平均 15%程度の削減を示すことができた。

本研究から、EOD-heating 処理は、冬季のスプレーギクの切り花生産において、著しい生育不良の生じない最低気温 13°C 程度の温度域内で活用することにより、最低気温 18°C 条件と比較して開花を顕著に遅らせることはなかった。加えて、出荷規格上、重要な花房形質を劣化させることのない効率的な温度制御技術となり得ることを実証できた。

摘 要

低温環境制御下における暗期短時間昇温処理の時間帯の違い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調べるとともに、冬季低温環境下の施設栽培における EOD-heating 処理が生育、開花の遅延や切り花品質の低下を軽減する効果について調べた。明期 16°C、暗期 8°C、12 時間日長の環境制御下でスプレーギク‘Sei-Roza’は、EOD-heating 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を明らかにした。冬季の施設栽培の省エネルギー化を目的に最低気温 18°C から温度を下げた場合の短時間昇温処理の影響を調べ、供試した 3 品種（‘Sei-Roza’、‘Monalisa’、‘Wodka Sunny’）は、最低気温 13°C 程度の気温条件で 20°C の EOD-heating 3 時間処理により最低気温 18°C 条件とほぼ同時期に開花した。最低気温 13°C 条件下で供試した 4 品種（‘Sei-Roza’、‘Sei-Elza’、‘Monalisa’、‘Wodka

Sunny') は、出荷規格上、問題となる花房形質の劣化を EOD-heating 処理により軽減させることができた。この時の短日処理期間の消費熱量を算出すると 15% 程度削減となった。

謝 辞 本実験を遂行するにあたり、材料をご提供頂いたジャパンアグリバイオ株式会社ならびに (有) 精興園に感謝の意を表します。

引用文献

- Bonaminio, V. P. and R. A. Parson. 1980. Influence of reduced night temperatures on growth and flowering of 'May Shoesmith' 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.
- 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.
- 道園美弦・久松 完・大宮あけみ・柴田道夫. 2010a. 暗期開始時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促進. 植物環境工学. 22: 8–14.
- 道園美弦・神門卓巳・久松 完・大宮あけみ・柴田道夫. 2010b. アフリカンマリーゴールドの花芽分化・発達に及ぼす暗期開始時昇温処理の. 園学研. 9 (別1): 225.
- 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.
- 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) 暖冷房負荷の算定法 (1). 農及園. 61: 1342–1348.
- 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.
- 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徴量の抽出. 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.
- 川田穰一. 1995. 秋ギク (開花生態とその調節). 1995. 農業技術体系花卉編 キク. p. 111–113. 農文協. 東京.
- 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. 1980. キクのロゼット化に関する研究. 園学雑. 49: 107–113.
- 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.
- 農林水産省統計部. 2009. <http://www.maff.go.jp/www/info/bunrui/mono07.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. 愛知農総試研報. 15: 223–228.
- 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.
- 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.
- 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.
- Schwabe, W. W. 1955. Factors controlling flowering of the chrysanthemum. V. De-vernalization in relation to light temperature and low light intensity treatments. J. Exp. Bot. 6: 435–450.