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

佐々木和也^{1,2*}・西島隆明³・本多和茂^{1,4}・嵯峨紘一^{1,4}・鮫島正純^{1,4}

¹ 岩手大学大学院連合農学研究科 020-8550 盛岡市上田三丁目 18-8

² 青森県農林総合研究センター フラワーセンター 21 あおもり 030-0134 青森市合子沢松森 395-1

³ 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 2-1

⁴ 弘前大学農学生命科学部 036-8560 弘前市文京町 3

Effects of Difference between Day and Night Temperature and Short Time Temperature Fluctuations on the Growth of *Delphinium grandiflorum* L.

Kazuya Sasaki^{1,2*}, Takaaki Nishijima³, Kazushige Honda^{1,4}, Koichi Saga^{1,4} and Masazumi Sameshima^{1,4}

¹The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Morioka 020-8550

²Ornamentals Experiment Station, Aomori Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, Aomori 030-0134

³National Institute of Floricultural Science, National Agriculture and Food Research Organization, Tsukuba 305-8519

⁴Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Hirosaki 036-8560

Abstract

The effects of DIF (difference between day and night temperature), TD (short time temperature drop) and TR (short time temperature rising) on the growth of *Delphinium grandiflorum* L. cv. 'Blue Mirror' were investigated. Minus DIF (15°C and 25°C during the light and dark period, respectively) decreased the plant height by 42% to 49% compared to that of plants treated with plus DIF (25°C and 15°C during the light and dark period, respectively). TD down to 10°C for 4 hours started 2 hours before the end of the dark, did not influence the plant height. On the other hand, TR up to 30°C for 4 hours at the beginning of the dark period, decreased the height by 22% to 33% compared to that of +DIF. Both length and width of stem pith cells in the plants treated with -DIF, were decreased by about 20% compared to those of +DIF. Plants -DIF showed a decrease in the relative number of pith cells in the vertical direction by 26% compared to that of plants +DIF, although the number in the horizontal direction were decreased by only 5%. Endogenous gibberellins, GA₉ and GA₂₄, were identified in the shoot of *D. grandiflorum*. The concentration of GA₂₄ was lower in -DIF than in +DIF, indicating that DIF regulated the stem elongation through biosynthesis of gibberellin.

Key Words : cell number, cell size, diurnal temperature alternation, gibberellin, stem elongation

キーワード : ジベレリン, 茎伸長, 日周温度, 細胞の大きさ, 細胞数

緒 言

デルフィニウムは、1850 年頃からヨーロッパの花壇で利用され、近年、日本でも生産が増加している（勝谷・池田, 1997）が、一般的に大型植物である。花きは鉢物や花壇で利用される場合、流通性や消費者の嗜好の面から小型のものが望まれていることから、デルフィニウムを鉢物用に供するためには、草丈の短縮が必要である。茎伸長の抑制については、昼温よりも夜温を高く設定する負の昼夜温度差（-DIF）や、昼夜温における一時的降温、昇温処理による短時間変温の有効性が、カンパニュラ（Moe, 1990; Moe・Heins, 1990; Moe ら, 1991）、フクシア（Erwin ら, 1991）、キク（Karlsson ら, 1989）、テッポウユリ（Berghage

ら, 1990; Erwin ら, 1994）などで報告されている。これには内生ジベレリン（GA）の関与が示唆されている（Jensen ら, 1996; Nishijima ら, 1997）。

本研究では、DIF 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について調査した。DIF による茎伸長抑制の作用機作について明らかにするため、組織細胞形態の変化および内生GA代謝との関連を調査した。さらに日周温度による草丈調節の実用化を目的として、短時間変温の影響を検討した。

材料および方法

1. 供試材料および栽培方法

供試材料として、シネンシス系デルフィニウム（*Delphinium grandiflorum* L.）の「ブルーミラー」を用いた。処理開始まで、最低温度 15°C、換気温度 23°C に制御した

2006 年 11 月 6 日 受付. 2007 年 2 月 26 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: kazuya_sasaki@pref.aomori.lg.jp

第1図 昼夜温度差および短時間変温処理の温度と日長の設定条件
 A: +DIF (昼温 25°C/ 夜温 15°C), B: -DIF (昼温 15°C/ 夜温 25°C)
 C: TD (短時間降温; 昼温 10°C → 25°C/ 夜温 15°C → 10°C)
 D: TR (短時間昇温; 昼温 25°C/ 夜温 30°C → 15°C)
 ■: 暗期 (18 時～6 時), □: 明期 (6 時～18 時)

ガラス温室内で栽培した。種子を128穴セルトレイに播き、播種8週後に実生苗を3号ポリポットへ移植した。播種用土にはげんきくん2号(全農)を、鉢上げ用土には基肥をN:P₂O₅:K₂O=420:360:420 mg・L⁻¹の割合で加えた黒ボク土主体のものを、それぞれ用いた。

2. DIF および短時間降温 (TD)

試験には、3生育ステージの植物を用いた。2005年3月2日、3月31日および4月28日に播種し、それぞれについて5月25日から温度処理を開始した。この時点で、平均葉齢はそれぞれ8.4、4.4および1.3枚であり、3月2日播種のものだけが抽苔し始めていた。処理には人工気象室(KG-50HLA, 小糸工業株式会社)を使用し、白色蛍光灯(約140 μmol・m⁻²・s⁻¹)で照明した。全ての実験において明期を6時～18時、暗期を18時～6時に設定した。

処理区の設定温度を、+DIFでは明期25°Cおよび暗期15°C(第1図A), -DIFでは明期15°Cおよび暗期25°C(第1図B), TDでは4時～8時を10°C, 8時～18時を25°C, 18時～4時を15°Cとした(第1図C)。各処理区当たり20個体を供試した。処理後、抽苔日、播種から抽苔までの日数(以下、抽苔日数)、開花日、播種から開花までの日数(以下、到花日数)および開花時の形態の特徴(草丈、主花穂長、主花穂の小花数、長さ1 cm以上の側枝数)を調査した。抽苔日は目視により節間伸長が確認できた時点、開花日は主花穂の小花が1輪以上開花した時点とした。

3. 短時間昇温 (TR)

2005年4月28日および5月12日に播種し、6月17日から温度処理を開始した。この時点で、平均葉齢は6.7および3.5枚であり、いずれも未抽苔であった。処理には人工気象器(LIB-302H, 旭テクノグラス株式会社)を使用し、

白色蛍光灯(約90 μmol・m⁻²・s⁻¹)で照明した。TRの設定温度は、6時～18時を25°C, 18時～22時を30°C, 22時～6時を15°Cとした(第1図D)。生育調査は、上記2と同様に行った。

4. 茎組織における髓細胞の大きさおよび数

DIFによる茎伸長量の差異が、細胞の大きさと数のいずれに起因するのかを明らかにするため、髓細胞の大きさと数を調査した。

材料には、上記2で供試した3月31日に播種し、5月25日にDIF処理した開花時の植物体を用いた。DIFによる茎伸長の差異が最も顕著に現れた第13節～14節目の節間を採取し、節間長および直径を測定した後に、ホルマリン:酢酸:エタノール:水=1:1:9:9(v/v)の混合溶液で固定し、4°Cで保存した。節間の中央部を約5 mmの長さで切断した後、5%寒天に包埋し、マイクロスライサーで作成した45 μm厚の切片をアニリンブルーで染色し、光学顕微鏡下で観察した。横断切片の観察から、細胞の大きさがほぼ均一な維管束組織より内側を髓組織と判定し、この直径を計測した(第2図A, B)。髓細胞は茎の伸長方向、つまり垂直方向に沿って細長い形態をしているため、細胞の長さおよび短径についてもそれぞれ縦断切片像上で測定した(第2図C, D)。

節間内部の髓組織における細胞数は、茎の垂直および水平方向で異なるため、垂直方向においては髓組織の平均長を細胞の平均長径で、水平方向においては髓組織の平均直径を細胞の平均短径でそれぞれ除した値とした。DIF処理した植物体のこの値を比較することにより、髓における細胞数の相対的な差異を解析した。

5. 内生 GA の同定と定量

内生 GA の定性分析のために 2004 年 11 月 10 日に播種し、2005 年 4 月 26 日から 6 月 7 日にかけて、約 10 cm に伸びたシュートの茎頂組織を含む茎先端部約 5 cm を採取した。新鮮重約 250 g の試料を、80%メタノールに浸漬した状態で、GA 分析の開始時まで暗黒下、4°C で保存した。

DIF が内生 GA 濃度に及ぼす影響を調査するために、2005 年 9 月 15 日に播種し、ほとんどの個体が抽苔した 2006 年 1 月 17 日に +DIF (第 1 図 A) と -DIF (第 1 図 B) の温度処理を開始した。処理には人工気象室 (小糸工業株式会社) を使用し、光条件は上記 2 と同様とした。処理開始時、2 週間および 5 週後に、それぞれ新鮮重約 40 g の茎先端部を上述と同様に採取し、保存した。

GA 分析は、簡易微量検定法と常法による精製・分離体系 (西島, 2000) に基づき行った。茎先端部抽出液を逆相分配カラム (ODS) を用いた高速液体クロマトグラフ

(HPLC) により 30 画分に分離した。この中から GA 活性が認められた画分をイオン交換カラム ($\text{N}(\text{CH}_3)_2$) を用いた HPLC により 8 画分に分離した。さらに、GA 活性が認められた試料をガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS, ヒューレット・パッカード株式会社) で分析した。ジベレリンの同定は、GC/MS によって得られたマススペクトルの各々のイオン強度の相対値と KRI (Kovats's Retention Index) を GA 標品と比較することにより行った。

結 果

1. +DIF, -DIF および TD が生育に及ぼす影響

葉齢 4.4 枚区および葉齢 1.3 枚区では、抽苔日数は +DIF で短く、-DIF で長くなり、両者間差は有意であり、TD ではその中間であった (第 1 表)。葉齢 8.4 枚においては、処理間に差異が認められなかった。

到花日数は、葉齢 4.4 枚区のみで有意差が認められ、抽

第 1 表 DIF および TD がシネンシス系デルフィニウムの抽苔、開花および開花時の形態に及ぼす影響

処理葉齢 ^z 処理区 ^y	抽苔日 (月/日)	抽苔日数	開花日 (月/日)	到花日数	開花時の形態			
					草丈 (cm)	主花穂長 (cm)	主花穂の 小花数 (個)	側枝数 (本)
葉齢 8.4 枚								
+DIF	6/ 1	91.3 a ^x	7/ 9	129.9 a	50.9 a	12.8 a	8.1 a	4.3 a
-DIF	6/ 5	95.3 a	7/14	134.4 a	29.7 b	7.9 b	7.3 a	3.3 a
TD	6/ 3	93.5 a	7/14	134.2 a	50.0 a	12.2 a	7.0 a	3.8 a
葉齢 4.4 枚								
+DIF	6/19	80.1 b	7/30	121.0 b	67.6 a	16.9 a	7.8 a	4.0 a
-DIF	7/12	103.0 a	8/20	142.0 a	34.3 b	9.8 b	5.7 b	3.5 a
TD	6/29	90.7 ab	8/11	133.4 ab	62.0 a	14.7 a	7.7 a	4.1 a
葉齢 1.3 枚								
+DIF	6/29	62.9 b	8/10	104.1 a	56.7 a	13.7 a	8.1 a	4.2 a
-DIF	7/10	73.2 a	8/19	113.6 a	31.1 b	8.8 b	5.5 b	2.8 b
TD	7/ 2	65.8 ab	8/15	109.2 a	66.1 a	17.3 a	9.1 a	4.0 ab

^z葉齢 8.4 枚は 2005 年 3 月 2 日、葉齢 4.4 枚は 3 月 31 日および葉齢 1.3 枚は 4 月 28 日に播種、5 月 25 日から処理を開始

^y+DIF, -DIF および TD の処理条件は第 1 図を参照

^x欄内の値は平均値を示し、同一葉齢内の異なるアルファベット間には Tukey 法により、1%水準で有意差あり

第 2 表 TR がシネンシス系デルフィニウムの抽苔、開花および開花時の形態に及ぼす影響

処理葉齢 ^z 処理区 ^y	抽苔日 (月/日)	抽苔日数	開花日 (月/日)	到花日数	開花時の形態			
					草丈 (cm)	主花穂長 (cm)	主花穂の 小花数 (個)	側枝数 (本)
葉齢 6.7 枚								
+DIF	7/18 ^x	81.6	8/24	118.5	51.8	14.2	6.7	2.9
TR	7/22	85.1	8/25	119.5	40.5	11.4	6.1	3.7
有意差 ^w	—	ns	—	ns	**	ns	ns	ns
葉齢 3.5 枚								
+DIF	8/21	101.6	9/27	138.1	56.8	18.5	7.2	4.4
TR	8/26	106.8	9/30	141.3	38.2	12.2	6.3	3.7
有意差	—	ns	—	ns	**	**	ns	ns

^z葉齢 6.7 枚は 2005 年 4 月 28 日、葉齢 3.5 枚は 5 月 12 日に播種、7 月 6 日から処理を開始

^y+DIF と TR の処理条件は第 1 図を参照

^x欄内の値は平均値を示す

^wt 検定により、同一葉齢内で ** は 1%水準で有意差あり、ns は有意差なし、— は分析なし

苔日数と同様に, +DIF で短く, -DIF で長くなり, TD ではその中間であった。

開花時の草丈は, いずれの葉齢においても +DIF と TD では差異が認められず, -DIF では +DIF に比べ 42 ~ 49% 短縮した。開花時の主花穂長も同様に, いずれの葉齢においても -DIF で, +DIF および TD と比較して有意に短縮した。主花穂の小花数は葉齢 1.3 枚区および葉齢 4.4 枚区で, 側枝数は葉齢 1.3 枚区で, それぞれ -DIF において +DIF および TD と比較して減少した。

2. TR が生育に及ぼす影響

抽苔および到花日数には TR と +DIF の差異は見られなかった (第 2 表)。

開花時の草丈は, いずれの葉齢においても, TR では +DIF に比べ 22 ~ 33% と有意に短縮した。主花穂長は, 葉齢 3.5 枚区の TR では +DIF に比べ短縮したが, 葉齢 6.7 枚区では差異が見られなかった。いずれの葉齢においても, +DIF と TR との間に, 主花穂の小花数と側枝数の差異は見られなかった。

3. -DIF による茎伸長量の減少と細胞の大きさおよび数との関連

節間長と直径の平均は, +DIF で 10.14 cm と 2.50 mm であった (第 3 表)。一方, -DIF では 5.92 cm と 1.87 mm であり, それぞれ +DIF に比較して 42% と 25% 減少していた。髓組織の直径は +DIF で 1.13 mm, -DIF で 0.84 mm であり, 減少率は節間の直径とほぼ同一の 26% であった。

髓細胞の長径と短径は, +DIF でそれぞれ 441 μm と 67.1 μm , -DIF で 348 μm と 52.5 μm であった (第 3 表, 第 2 図)。このように -DIF では +DIF に比較し, 髓細胞の長径と短径は同様の減少率を示し, それぞれ 21% および 22% の減少であった。一方, 髓細胞の数は, +DIF では垂直方向で 230 個および水平方向で 16.8 個であり, -DIF ではそれぞれ 170 個および 16.0 個であった。すなわち, -DIF 処理による髓細胞数の相対的減少率は, 垂直方向では 26% であったのに対し, 水平方向の減少はわずか 5% であった。

4. 内生 GA とその濃度に及ぼす DIF の影響

シュートから GA_9 と GA_{24} が内生 GA として同定された

第 3 表 DIF がシネンシス系デルフィニウムの茎の髓細胞の大きさと数に及ぼす影響

処理区 ^z	節間		髓組織		髓細胞の大きさ ^y		髓細胞の数	
	長さ (cm)	直径 (mm)	長さ (mm)	直径 (mm)	長径 (μm)	短径 (μm)	垂直方向	水平方向
+DIF (A)	10.14 ^x	2.50	101.4	1.13	441	67.1	230	16.8
-DIF (B)	5.92	1.87	59.2	0.84	348	52.5	170	16.0
有意差 ^w	**	**	**	**	*	**	—	—
減少率 (%) ^v	42	25	42	26	21	22	26	5

^z+DIF と -DIF の処理条件は第 1 図を参照

^y長径: 垂直方向の髓細胞長, 短径: 水平方向の髓細胞長

^x欄内の値は平均値を示す

^wt 検定により, * は 5%, ** は 1% の水準で有意差あり, — は分析なし

^v減少率 (%) は $(A - B)/A \times 100$ の計算式により求めた

第 2 図 DIF によるシネンシス系デルフィニウムの茎組織の変化

A: +DIF で栽培した植物の茎組織の横断面, B: -DIF で栽培した植物の茎組織の横断面

C: +DIF で栽培した植物の髓組織の縦断面, D: -DIF で栽培した植物の髓組織の縦断面

実線内: 測定した髓組織の部分, 処理条件は第 1 図を参照

第4表 シネンシス系デルフィニウムのシュートから同定された内生 GA

GA	ODS-HPLC 画分の番号	KRI ^z	主要なイオンとイオン強度 (ベースピークのイオン強度を 100%とした相対値)
GA ₉	19–23	2337	330 (5), 298 (86), 270 (100), 243 (68), 226 (74)
GA ₂₄	19–23	2483	374 (4), 342 (21), 314 (100), 286 (4), 254 (18)

^z Kovat's Retention Index

第3図 植物における一般的な内生ジベレリン生合成経路（実線矢印および破線矢印）とシネンシス系デルフィニウムのシュートにおいて推定される生合成経路（実線矢印）

太字：シネンシス系デルフィニウムのシュートから同定された内生 GA

() 内：同定には至らなかったが、極微量の存在が確認された内生 GA

第4図 DIF 処理後のシネンシス系デルフィニウムのシュートに含まれる内生 GA 濃度の推移

A : GA₂₄ 濃度, B : GA₉ 濃度

● : +DIF, ○ : -DIF, 処理条件は第1図を参照

(第4表). これらの GA は早期非水酸化経路に属し、活性型 GA である GA₄ の前駆体である (第3図). 定性分析の際, フルスキャンモードによる GC/MS クロマトグラフでは, 夾雑物の影響から GA₄ を同定できなかったが, SIM (Selected Ion Monitoring) モードでは, GA₄ に相当するピークが不十分ながら検出され, 極微量の GA₄ の存在が確認された.

DIF 処理後の内生 GA 濃度の推移についてみると, GA₂₄ 濃度は +DIF で処理期間の進行に伴い増加したが, -DIF では減少した (第4図). GA₉ 濃度は +DIF, -DIF とともに, 処理期間の進行に伴い同様に増加した.

考 察

本研究結果から, -DIF 処理によりシネンシス系デルフィ

ニウムの草丈を短縮できることが明らかにされた. このことは, カンパニユラなどの報告 (Berghage ら, 1990; Erwin ら, 1991; Erwin ら, 1994; Karlsson ら, 1989; Moe, 1990; Moe・Heins, 1990; Moe ら, 1991) と一致した. しかし, -DIF は, 昼温よりも夜温を高く設定するため, 実用面ではコストの問題が生ずることが考えられる. そこで, より実用性が高いと考えられる短時間変温を行った結果, TD では草丈短縮は生じず, 逆に TR では草丈短縮を確認した. 従って, -DIF におけるシネンシス系デルフィニウムの草丈短縮, すなわち茎伸長抑制は, 明期の低温の影響によるのではなく, 暗期開始時の高温によるものと推察された.

DIF および短時間変温の効果については, 多くの花き類で報告されており, DIF 処理で効果があるが, 短時間変温では効果が小さいか, ないものも認められている (腰岡・

Moe, 1999). ベゴニアでの草丈は, -DIF と TR で短縮するが, TD では短縮しないこと (Mortensen・Moe, 1992), また, ペチュニアの草丈の短縮程度は, TR で大きく, TD で小さいが, この効果には品種間差があること (Mortensen・Moe, 1992) などが報告されている. 従って, DIF や短時間変温に対する反応は, 植物種や品種により差異があり, シネンシス系デルフィニウムは, ベゴニアと類似の反応を示すと考えられた.

DIF あるいは短時間変温の茎伸長に対する影響に関しては, 植物ホルモンとの関連, 特に内生 GA の関与についての研究が多くなされている. カンパニユラにおいて, -DIF によって茎伸長を抑制された植物が, GA₃ 処理により伸長を回復したこと (Moe, 1990), また -DIF による茎伸長抑制とともに, 内生 GA 濃度が減少したこと (Jensen ら, 1996) が報告されている. 本研究では, -DIF による茎伸長抑制に伴い, 早期非水酸化経路において, 活性型 GA(GA₄) の前駆体である GA₂₄ の濃度は減少したが, GA₉ は減少しなかった. Nishijima ら (1997) も, キクにおいて, TD による茎伸長抑制とともに, 活性型である GA₁ と早期 13 位水酸化経路で生合成上 GA₂₄ に相当する GA₁₉ の濃度は減少したが, GA₉ に相当する GA₂₀ はほとんど減少しないことを報告している. 従って, 本実験結果とキクの茎伸長抑制に伴う内生 GA 濃度の変動には共通性が認められ, シネンシス系デルフィニウムにおいても DIF の日周温度による草丈制御に内生 GA が関わることを示唆された.

本研究において, 茎の髓細胞の大きさと数を比較した結果, -DIF では細胞が小型化するだけでなく, 数も減少していた. 従って, -DIF は細胞伸長だけでなく, 細胞分裂をも抑制すると判断された. これに対してテッポウユリでは, DIF は細胞分裂ではなく, 細胞伸長に影響することが報告されている (Erwin ら, 1994). このことから, 組織細胞レベルでの DIF の影響は, 植物種により異なることが考えられる. またダイコン胚軸部の内生 IAA レベルが DIF によって変化することが報告されており (Hayata ら, 2001), DIF は GA 以外の植物ホルモン代謝にも関与している可能性が推察される. 細胞分裂にはオーキシンとサイトカイニンが関わるのが一般に知られており, 本実験で確認された -DIF での細胞数の減少は, これらの植物ホルモン代謝を介して生じている可能性も考えられる.

日周温度の実用性に関しては, 本研究結果から, シネンシス系デルフィニウムは TR 処理によって, 主花穂の小花数, 側枝数および開花期を変化させずに, 草丈を短縮できることが示された. 暗期開始時の TR の具体的方法としては, 日没前の施設の密閉処理, および暖房機や温床マット使用による一時的な昇温が想定される. 今後, 実際の栽培時期に即して, 処理温度, 処理時間および昇温方法などを詳細に検討することにより, 有用な草丈制御技術としての利用が期待される.

摘 要

DIF (昼夜温度差), TD (短時間降温) および TR (短時間昇温) がシネンシス系デルフィニウム ‘ブルーミラー’ の生育に及ぼす影響について調査した. 草丈は, -DIF (暗期よりも明期の温度が低い) により, +DIF (暗期よりも明期の温度が高い) に比べ 42 ~ 49% 減少した. 明期開始前後 4 時間, 10°C の TD は, 草丈に影響しなかった. 一方, 暗期開始後 4 時間, 30°C の TR は, +DIF に比べ草丈を 22 ~ 33% 減少させた. -DIF 処理した茎の髓細胞の長径と短径は, いずれも +DIF に比べ約 20% 減少した. 髓細胞数は, 垂直方向で +DIF に比べ 26% 減少したのに対して, 水平方向での減少は 5% にすぎなかった. シネンシス系デルフィニウムのシュートにおける内生 GA として, GA₉ と GA₂₄ が同定された. GA₂₄ 濃度は, -DIF では +DIF よりも低く, DIF は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た.

引用文献

- Berghage, R. D., J. A. Flore, R. D. Heins and J. E. Erwin. 1990. The relationship between day and night temperature influences photosynthesis but not light compensation point or flower longevity of easter lily, *Lilium longiflorum* Thunb. *Acta Hort.* 272: 91-95.
- 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.
- Erwin, J., P. Velguth and R. Heins. 1994. Day/night temperature environment affects cell elongation but not division in *Lilium longiflorum* Thunb. *J. Exp. Bot.* 45: 1019-1025.
- Hayata, Y., K. Kotani and X. X. Li. 2001. Effects of day and night temperatures on hypocotyl elongation and endogenous levels of indole-3-acetic and abscisic acids in radish (*Raphanus sativus* L.). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 443-447.
- Jensen, E., S. Eilertsen, A. Ernsten, O. Juntilla and R. Moe. 1996. Thermoperiodic control of stem elongation and endogenous gibberellins in *Campanula isophylla*. *J. Plant Growth Regul.* 15: 167-171.
- 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 conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 158-163.
- 勝谷範敏・池田好伸. 1997. デルフィニウムの開花特性に関する研究. *園学雑.* 66: 121-131.
- 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.* 34: 66-74.
- Moe, R. 1990. Effect of day and night temperature alternations and of plant growth regulators on stem elongation and

- flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Moretti. *Scientia Hort.* 43: 291–305.
- Moe, R. and R. 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. Erwin. 1991. Stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Moretti in response to day and night temperature alternations and light quality. *Scientia Hort.* 48: 141–151.
- Mortensen, L. M. and R. Moe. 1992. Effects of various day and night temperature treatments on the morphogenesis and growth of some greenhouse and bedding plant species. *Acta Hort.* 327: 77–86.
- 西島隆明. 2000. ダイコンの花成・抽苔の調節機構とその制御. *野菜茶試研報.* 15: 135–208.
- 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. Biotech. Biochem.* 61: 1362–1366.