

博士論文

シュツコンカスミソウ‘アルタイル’の形態異常花序  
発生の変因解明および防止方法の開発

平成 27 年 3 月

山口 訓史

岡山大学大学院

環境生命科学研究科

## 目次

緒言	1
第1章 形態異常花序の品種間差異とその発生特性	
第1節 品種と形態異常花序発生との関係	9
第2節 開花時期と形態異常花序発生との関係	11
第3節 考察	14
第2章 環境要因が形態異常花序発生に及ぼす影響	
第1節 日長が形態異常花序発生に及ぼす影響	17
第2節 補光の光強度が形態異常花序発生に及ぼす影響	21
第3節 遮光時期が形態異常花序発生に及ぼす影響	22
第4節 加温温度が形態異常花序発生に及ぼす影響	28
第5節 考察	31
第3章 温度条件が形態異常花序発生に及ぼす影響	
第1節 最低気温が形態異常花序発生に及ぼす影響	33
第2節 地温が形態異常花序発生に及ぼす影響	38
第3節 加温時期が形態異常花序発生に及ぼす影響	39
第4節 生育段階の異なるシュートに対する高温が形態異常花序発生に及ぼす影響	48
第5節 生育段階の異なるシュートに対する低温が形態異常花序発生に及ぼす影響	52
第6節 考察	55
第4章 形態異常花序発生抑制のための効率的な加温方法の開発	
第1節 間欠加温が形態異常花序発生に及ぼす影響	63
第2節 加温の時間帯が形態異常発生に及ぼす影響	68
第3節 考察	70
第5章 総括	74
謝辞	78
引用文献	78

## 結 言

シュッココンカスソウ (*Gypsophila paniculata* L.) は、地中海沿岸、中央アジア、欧州東部からシベリアを原産地とする多年生の宿根草で、アレンジメントや花束の添え花として、また、いけばなやアレンジメントの材料として1年を通して需要がある(第1-1図, 第1-2図)。

これまでの主要品種は、1935年にアメリカで選抜された‘ブリストル・フェアリー’であった(Kuseyら, 1981)。「ブリストル・フェアリー」などの従来品種は花持ちが悪いことや適正切前でも未開花部位が目立ち、開花部位が軟弱に見えるため未開花花蕾をはさみで切り取って使用しなければならなかった。また、国内ではカスミソウは花持ちが悪い(花の観賞期間が短い)という理由で消費が低迷している状況であった。特に切り花の花持ち期間については、業務用需要から家庭用需要へのシフトに伴ってより花持ち期間の長い切り花が求められるようになってきている(谷, 2007)。

本研究で用いている‘アルタイル’という品種はこれまでイスラエルなど海外で育種された品種がほとんどの中、2005年に発表された日本のオリジナル品種(株式会社ミヨシ)であり、従来の栽培品種と比較して、花弁数が多く大輪になり白さが際立つようになった。また、花持ちが大幅に向上し、高温時の奇形花(ダンゴ花)や低温時のピンク花が発生しにくいため、現在、シュッココンカスミソウの代表品種となり、流通量が増加している(高塚, 2014)。

熊本県、和歌山県、高知県など西南暖地では3~4月出荷の春切り栽培が行われており、3月彼岸を中心に学校の卒業式、入学式、企業の入社式、春のブライダル需要により、西南暖地の出荷量は最も多くなる(小椋, 2012)。なかでも、大産地である熊本県での中心品種は‘アルタイル’であり、平成24年度の作付け面積は103ha、出荷量は2,370万本と全国一の生産高である(農林水産省, 2013)。ところが、‘アルタイル’において花柄が正常に伸び



**Fig. 1-1.** Ikenobo Ikebana that I arranged. (Style: Shoka Shimputai, Materials: Anthurium, Gypsophila, Dahlia)



**Fig. 1-2.** Ikenobo Ikebana that I arranged. (Style: Rikka Shofutai, Materials: Gypsophila, Rose, *Iris ochroleuca*, *Iris japonica*, *Aglaonema*, Sword fern)

ない形態異常花序が発生し、生産上大きな問題になっている（第1-3図）。生産現場では、形態異常花序を「クシ」や「カクカク」などと呼んでいる。形態異常花序が発生すると明らかに草姿が損なわれ、切り花形質が低下する。生産者は形態異常花序部分を取り除いて出荷しなければならないため、労働負担が大きくなり、出荷量も減少する。よって、形態異常花序発生を抑制することが営利生産上重要である。

生産地（熊本県、和歌山県および高知県）での聞き取り調査の結果、従来の品種である‘ブリストル・フェアリー’や‘雪ん子’と比較して近年育種された21世紀系と呼ばれる品種‘アルマイル’において形態異常花序の発生頻度が高いと言われているが、品種間の形態異常花序発生程度を調べた報告はない。生産地によって形態異常花序の発生程度に差が認められ、栽培年度によっても発生程度に差があるようである。さらに、同じ生産地においても生産者によって発生程度に変動があるようである。また、形態異常花序の発生は冬季から春季にかけて助長されるようであるが、その季節変動に関しては明らかになっていない。

形態異常花序の中には花柄が正常に伸長せず、湾曲するものがあることから、花序発達中にその原因が生じているものと考えられる。株が冬季十分な低温に遭遇したシュッコンカスミソウは、温度の上昇や強い日射、日長が長日となる春から初夏にかけて最も生育が旺盛である（吾妻ら、1986；土井、1993；須藤ら、1987；Shilloら、1982；Farinaら、1984, 1986）。また、林ら（1992）は、シュッコンカスミソウは花序発達の可変性が非常に大きく、春から夏にかけて、栽培時期により花序構成が顕著に変化するため、春季の花序は、分枝次数が低くて小花数の少ない小さなユニットが多く着くことを報告している。また、夏季の花序は着花節位が低下し、小花数そのものが減少し、分岐次数が高く小花数の多いユニットが少なく着く。ユニットの数とユニットの大きさ（発

達程度)は相反する形質として季節変動する。また、植物体内における同化産物の分配率が温度、日長、日射量等により変化すると報告している。これらのことから、形態異常花序の発生要因として日長、気温、日射量の影響が考えられるだろう。

そこで、本研究では シュッコンカスミソウ‘アルタイル’における形態異常花序発生防止方法の開発を目的として、形態異常花序の発生要因を調査するとともに防止法を検討した。

まず、第1章において、形態異常花序発生の品種間差異および季節変動を調査し、形態異常花序の特性を検討した。次に第2章では、環境要因として、日長、気温、補光強度および遮光処理時期が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した。続いて第3章では、第2章の結果、最低気温の影響が大きかったことから温度条件が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した。また、温度の影響を受けやすい生育段階を特定するために、加温期間と時期について検討した。第3章では、生産現場での長期加温は暖房コストが増加するため一般的な普及技術とはなり得ない。従って、形態異常花序発生の軽減および暖房コストの削減が可能な温度管理法を検討した。

なお、本研究において論文中に特記しない限り、栽培概要および形態異常花序の評価は以下のとおりにした。

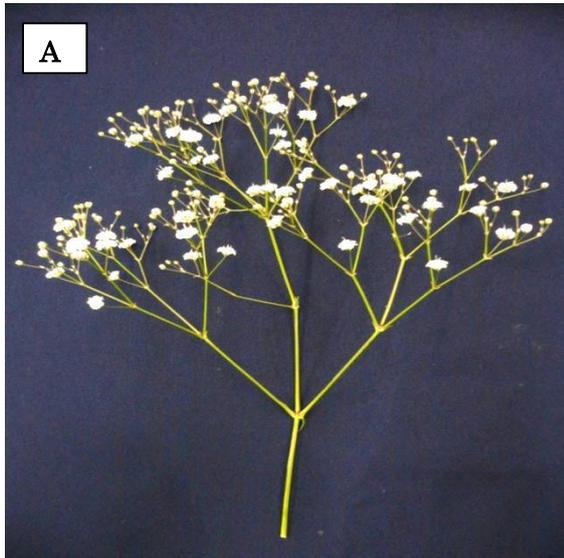
## **栽培概要**

株式会社ミヨシから入手したシュッコンカスミソウ‘アルタイル’の発根苗を岡山大学のほ場で養成した田土、まさ土および堆肥の混合土を詰めた木箱(60cm×36cm×深さ18cm 容量)もしくは6号プラスチックポット容量に定植した。灌水は土壌表面が乾いた時に適宜行った。施肥は、週に一度、1/2濃度大塚A処方培養液(N:P:K:Ca:Mg=8.85:0.85:3.9:2.05:0.75(mM)),

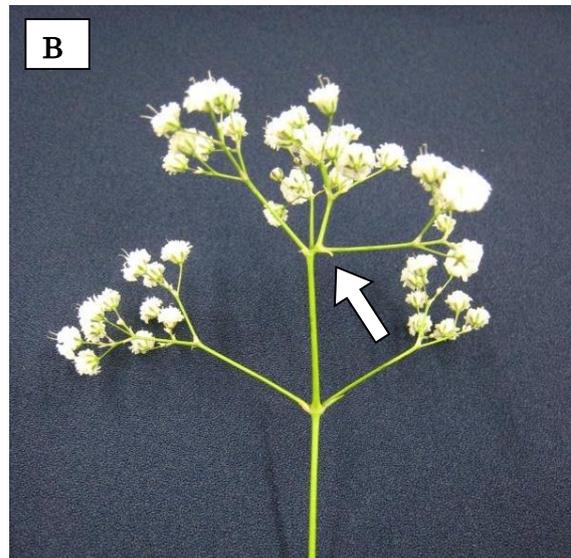
OAT アグリオ (株)) を給液した. すべての実験は, 日最低気温 7°C 以上に加温し, 4:00~9:00 と 16:00~20:00 に白熱灯 (定植時の草冠で PPFD  $3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以上) で明期延長 (明期 16h; 第 1-4 図) を施したプラスチックハウス内で行った.

### 形態異常花序の評価

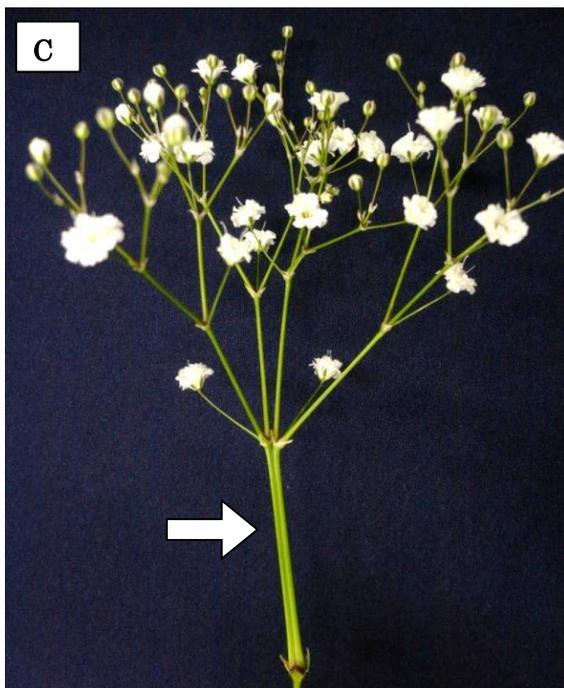
形態異常の特徴と程度に基づいて正常なもの (第 1-3 図 A), 茎が短いもの (タイプ 1, 第 1-3 図 B), 2 本以上の茎が癒着し 1 か所から多数の分枝が発生したもの (タイプ 2, 第 1-3 図 C), ひどく湾曲し変形したもの (タイプ 3, 第 1-3 図 D) の 4 種類に分類した. 形態異常花序に関しては, タイプ 3 の発生率 = (タイプ 3 の発生が認められた個体数 / 総個体数)  $\times 100$  (%). および, 1 個体当たりの形態異常タイプ 1~3 の発生か所数を調査した. また, 産地では出荷時に形態異常部位で切り取って出荷されることから, それぞれの形態異常タイプに起因する小花損失割合 ((形態異常が発生したか所から先的小花数 / 調査個体全体の総小花数)  $\times 100$  (%)) を調査し, 形態異常花序による経済的損失を評価するための指標として用いた.



Normal inflorescence



Abnormal inflorescence (Type 1)



Abnormal inflorescence (Type 2)



Abnormal inflorescence (Type 3)

**Fig. 1-3.** Typical appearance of normal (A) and three types of abnormal (B to D) inflorescences in *Gypsophila paniculata* 'Altair'. One part of abnormal branching of Type 1 or 2 involves 1 or 2 nodes or internodes, whereas Type 3 branching involves multiple nodes and internodes. Arrows designate abnormal branching.



**Fig. 1-4.** A method of lighting

## 第 1 章 形態異常花序の品種間差異とその発生特性

### 第 1 節 品種と形態異常花序発生との関係

#### 目 的

産地での聞き取り調査の結果、形態異常花序の発生は、品種間差が大きいと言われており、特に、従来の品種である‘ブリストル・フェアリー’や‘雪ん子’と比較して近年育種された 21 世紀系と呼ばれる品種‘アルタイル’において形態異常花序の発生頻度が高いと言われている。そこで、品種の違いによって形態異常花序の発生頻度にどの程度差があるのかを明らかにするために、本実験では品種が形態異常花序の発生に及ぼす影響を調査した。

#### 材料および方法

シュッコンカスミソウ‘アルタイル’，‘ブリストル・フェアリー’，‘ニューフェイス’，‘雪ん子’を供試した。発根苗を 2008 年 9 月 16 日に混合土を詰めた木箱（60 cm×36 cm×深さ 18cm）に 4 株ずつ定植した。それぞれ 9 月 21 日に 5 節残して摘心した。1 株あたり 2 本に調整した後、日最低気温 8℃以上に加温したプラスチックハウス内で栽培した。補光は定植 1 週間後からすべての個体が発蕾した 2009 年 1 月 19 日までとした。切り花の調査は発蕾日、開花日、第 1 花が萎れた時点での切り花長、切り花重、節数および形態異常花序の発生を調査し、調査個体数は 4 個体とした。

#### 供試品種の特徴

##### アルタイル

株式会社ミヨシが 2005 年に発売したオリジナル品種で、花持ちが非常に良く

花が密に咲いてボリューム感がある。花数が多く、茎が鮮明なグリーンで白い小花とのコントラストが美しい。早生，中大輪系である。茎は硬く，草姿はやや開張である。

### **ブリストル・フェアリー**

アメリカ合衆国のコネチカット州のブリストルナーセリーの Alex Cumming 氏が，1925 年～1935 年ごろに選抜したシュッコンカスミソウの代表的品種である。早生，小輪系，八重咲きの性質をもつ。高温や排水不良により，軟弱になりやすい。

### **ニューフェイス**

広島県甲田町の宮本仁郎氏が‘ブリストル・フェアリー’から選抜した品種で，極早生系である。‘ブリストル・フェアリー’よりも生育・発蕾が早く，茎が硬い。‘ブリストル・フェアリー’に比べて 20 から 30cm 程度草丈が短く，ロゼット化しにくい。分枝角度は鋭角で，小輪系である。

### **雪ん子**

茎が硬く，分枝の角度は鋭角。一重咲である。中生，中輪系である。茎は硬く，花首が伸びず花持ちが良い。高冷地での生産が盛んで，ほぼ周年流通する。高温期に奇形花の発生が少なく，枝が絡みにくいので作業性が良い。

## **結 果**

タイプ 3 による小花損失割合は‘アルマイル’で 4.0%と最も高く，その他の品種と比較して有意に高かった（第 1-5 図）。‘雪ん子’および‘ニューフェイス’のタイプ 3 による小花損失割合は 0.6%，0.1%であり，‘ブリストル・フェアリー’

においてタイプ 3 の発生は認められなかった。タイプ 1 およびタイプ 2 による小花損失割合は処理に関わらずそれぞれ 1~4%, 1~5%であった。

発蕾日は‘ニューフェイス’で 11 月 29 日と最も早く, ‘雪ん子’では 1 月 11 日と最も遅かった (第 1-1 表)。開花日は‘ニューフェイス’で 1 月 15 日と最も早く, ‘雪ん子’では 2 月 16 日と最も遅かった (第 1-1 表)。

‘ニューフェイス’の切り花長 (86.3cm) はその他の品種と比較して有意に低下した (第 1-1 表)。切り花重は‘アルマイル’で 243.8g と最も高く, ‘ブリストル・フェアリー’および‘ニューフェイス’と比較して有意に高かった。節数は‘ユキンコ’で 24.3 と最も高く, ‘ニューフェイス’と比較して有意に高かった (第 1-1 表)。

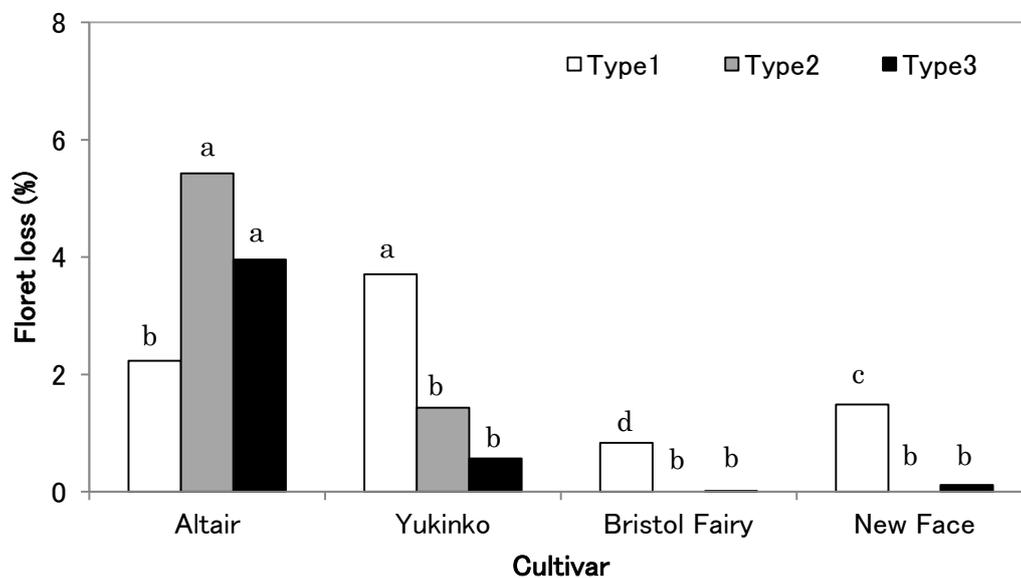
## 第 2 節 開花時期と形態異常花序発生との関係

### 目 的

産地 (熊本県, 高知県および和歌山県) での聞き取り調査の結果, 生産地によって形態異常花序の発生程度に差が認められ, 栽培年度によっても発生程度に差があるようである。さらに, 同じ生産地においても生産者によって発生程度に変動があり, 形態異常花序の発生は冬季から春季にかけて助長されるようであるが, その季節変動に関しては明らかになっていない。そこで, 開花時期が形態異常花序発生に及ぼす影響を調査した。

### 材料および方法

様々な時期に開花させるため, 発根苗を 2008 年 9 月 2 日, 9 月 16 日, 10 月 2 日, 10 月 16 日にベンチ (60 cm×150 cm×深さ 18 cm 容量) に 14 株ずつ定植した。それぞれ 9 月 7 日, 9 月 21 日, 10 月 9 日, 10 月 27 日に 5 節残し



**Fig. 1-5** Effect of cultivar on occurrence of abnormal inflorescence in *Gypsophila paniculata*.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

<sup>z</sup> Different letters within columns indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=4)

**Table 1-1.** Effect of cultivar on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata*.

Cultivar	Date of budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
Altair	18-Dec b <sup>z</sup>	4-Feb ab	131.5 b	243.8 b	20.8 ab
Yukinko	11-Jan c	16-Feb b	131.0 b	180.2 ab	24.3 b
Bristol Fairy	2-Jan bc	13-Feb b	132.5 b	129.6 a	20.5 ab
New Face	29-Nov a	15-Jan a	86.3 a	105.7 a	17.5 a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=4)

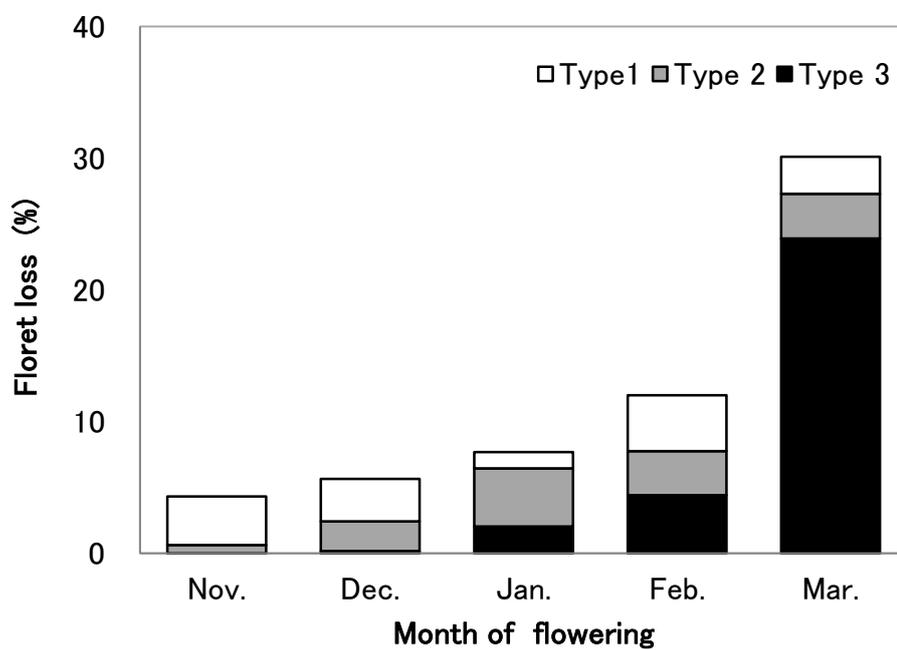
て摘心を行い，3本仕立てとした．明期延長処理は2008年9月2日からすべての個体が発蕾した2009年3月20日まで行った．

## 結 果

開花時期が形態異常花序の発生に及ぼす影響を形態異常の特徴と程度に基づいてタイプ1～3に分類して調査した．調査個体数は11～3月にかけてそれぞれ3，5，2，2，3個体であった．形態異常花序の発生は初冬から早春にかけて増加するという季節変動が確認され，産地での聞き取り調査の結果と一致した（第1－6図）．小花損失割合をタイプ別にみると，タイプ3による小花損失割合は11月開花では0%であったが，12月は0.2%，1月は2.0%，2月は4.4%となり，3月開花の個体で大幅に増加して23.9%となった．一方，タイプ1とタイプ2による小花損失割合は，それぞれ3～5%，1～9%と開花時期に関係なくほぼ一定であった．

## 第3節 考 察

本実験の結果から，いずれの品種でもタイプ1は1～4%，タイプ2は‘アルタイル’と‘雪ん子’のみ発生した．タイプ3の発生には品種間差があり，従来の主要品種である‘ブリストル・フェアリー’や‘雪ん子’と比較して‘アルタイル’でタイプ3の発生が顕著に高かった．土井（1993）は，シュッコンカスミソウでは，シュートの伸長と花芽形成が並行して起こり，正常な開花を得るには，この両者がバランスよく進行することが重要であり，開花を促して品質のよい切り花を得るには，生殖成長が優勢になるようにシュートの成長を調節して，茎頂における節の分化をある段階で止め，ひき続いて花芽の形成を下節位にまで誘起するような処理が有効と述べている．‘アルタイル’は‘ブリ



**Fig. 1-6.** Seasonal changes of floret loss (rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

ストル・フェアリー’と比較して花弁数が多く大輪で、ロゼット性が低く低温でも伸長することから、シュートの成長と生殖成長が同時に起こり、同化産物の分配がアンバランスになることで形態異常花序が生じるのかもしれない。形態異常花序の発生は初冬から早春にかけて増加するという季節変動が確認された。小花損失割合をタイプ別にみると、タイプ1とタイプ2による小花損失割合は開花時期に関係なくほぼ一定であった。一方、タイプ3による小花損失割合は3月開花の個体で大幅に増加した。タイプ1やタイプ2のように1~2節の分枝が異常となる場合には、あまり草姿が損なわれないため出荷可能であるが、タイプ3のように多数の節の分枝が異常な形態になると明らかに草姿が損なわれる。形態異常部位を取り除いて出荷しなければならないため、タイプ3による形態異常花序発生を抑制することが重要だと考えられる。

林ら(1992)は、シュコンカスミソウにおいて植物体内における同化産物の分配率は温度、日長、日射量等により変化すると報告している。本実験の結果から、タイプ3の発生には季節変動があることから、環境要因が大きく関与していることが示唆された。環境要因として日長、日射量、気温などの影響が考えられ、これらの要因について形態異常花序発生程度を調査する必要があると考えられた。

## 第 2 章 環境要因が形態異常花序発生に及ぼす影響

### 第 1 節 日長が形態異常花序発生に及ぼす影響

#### 目 的

第 1 章より、形態異常花序の発生には季節変動が確認されたことから、何らかの環境条件の影響が考えられた。林ら（1992）により、植物体内における同化産物の分配率が温度、日長、日射量等により変化すると報告されている。また、Shillo ら（1982）は、長日処理はシュッコンカスミソウの生育促進にはきわめて有効と述べている。そこで、日長が形態異常花序発生に及ぼす影響を調査した。

#### 材料および方法

##### 1) 3 月定植

発根苗を、2009 年 3 月 1 日にベンチ（60 cm×150 cm×深さ 18 cm 容量）に 14 株ずつ定植し、3 月 9 日に 5 節残して摘心を行い、3 本仕立てとした。最大シュート長が約 15cm に達した 2009 年 5 月 1 日から日長処理を行った。日長を 12 時間、16 時間、20 時間、24 時間とした。7 時 30 分から 17 時 30 分までは自然光下に置き、それ以外の時間はシェードを行い、それぞれの日長時間となるように蛍光灯（PPFD  $1\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）で補光した。花茎は発蕾日、開花日を記録し、第 1 花が萎れた時点で収穫し、花茎の長さ、重さ、節数および形態異常花序の発生を 8 個体について調査した。

##### 2) 10 月定植

発根苗を、2010 年 10 月 16 日に木箱（縦 60cm×横 35cm×深さ 18cm）に 4

株ずつ定植し、10月25日に5節残して摘心を行い、3本仕立てとした。最大シュート長が約15cmに達した2011年1月17日から日長処理を行った。自然日長と24時間日長とし、24時間日長区は自然日長に加え16:00~8:00まで白熱灯(PPFD  $3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )で補光した。花茎は発蕾日、開花日を記録し、第1花が萎れた時点で収穫し、花茎の長さ、重さ、節数および形態異常花序の発生を4個体について調査した。

## 結 果

### 1) 3月定植

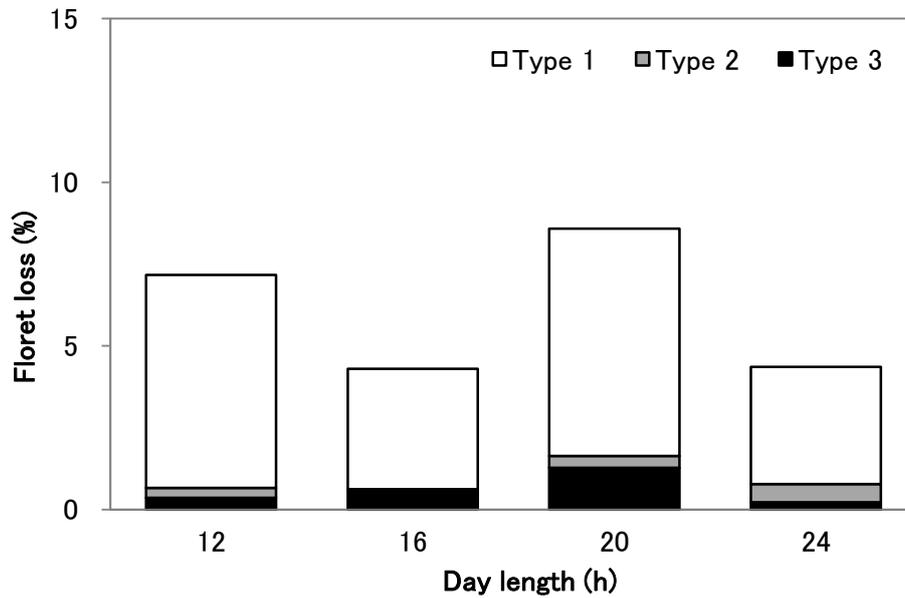
第2-1図に蛍光灯による日長延長が形態異常花序発生に及ぼす影響を示した。小花損失割合をタイプ別にみると、タイプ2およびタイプ3の発生はほとんど認められなかった。タイプ1はいずれの日長でも3~6%の発生が認められた。

発蕾は5月14~18日、開花は6月6日~9日であり、日長延長処理による有意な差は認められなかった(第2-1表)。切り花長、切り花重および節数において日長延長処理による有意な差は認められなかった(第2-1表)。切り花長は93~97cm、切り花重は86~110g、節数は20~21であった。

### 2) 10月定植

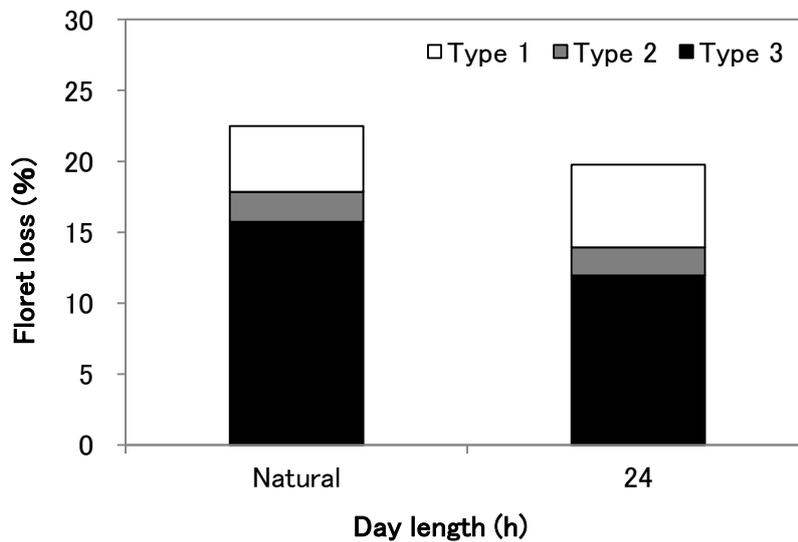
第3表に白熱灯による日長延長が形態異常花序発生に及ぼす影響を示した。24時間日長でタイプ3による小花損失割合はやや低下したが、両定植日とも日長の影響に一定の傾向は認められず、日長が形態異常の発生要因とは考えられなかった。いずれの日長でもタイプ1およびタイプ2による小花損失割合は5~6%、2~3%であった。

発蕾は自然日長区で2月7日、24時間区で2月14日、開花は自然日長区で



**Fig. 2-1.** Effect of day length on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* ‘Altair’ in 2009.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).



**Fig 2-2.** Effect of day length on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* ‘Altair’ in 2010.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

**Table 2-1.** Effect of day length on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’

Day length (h)	Date of flower budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
12	18-May a <sup>z</sup>	9-Jun a	93.1 a	99.2 a	20.5 a
16	17-May a	8-Jun a	95.3 a	86.3 a	21.6 a
20	15-May a	7-Jun a	95.8 a	109.6 a	19.6 a
24	14-May a	6-Jun a	97.0 a	101.8 a	19.9 a

<sup>z</sup> Different letters within columns indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD (n=8)

**Table 2-2.** Effect of day length on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’ in 2010.

Day length (h)	Date of flower budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
Natural	7-Feb	25-Mar	126.9	210.4	25.6
24	14-Feb	26-Mar	120.3	192.2	26.9

5月25日, 24時間区で5月26日であり, 処理による有意な差は認められなかった(第2-2表). 切り花長, 切り花重および節数において処理による有意な差は認められなかった(第2-2表) 切り花長, 切り花重および節数は自然日長区では, それぞれ126.9cm, 210.4g, 25.6, 24時間区では120.3cm, 192.2g, 26.9であった.

## 第2節. 補光の光強度が形態異常花序発生に及ぼす影響

### 目 的

日射量は日長以上にシュッコンカスミソウの生育に強い影響を及ぼすと言われている(吾妻ら, 1986; 須藤ら, 1987). また, スイートピーにおいて, 冬季の曇雨天により光合成の低下が植物体内の糖含有量の低下を引き起こし落らいと報告されている(大川ら, 1991). これらのことから, 形態異常花序は冬季の光合成量の低下によって発生するのかもしれない. そこで, 異なる光源を用いて補光を実施することで形態異常花序発生を抑制できないか検討した.

### 材料および方法

2009年10月3日に発根苗をベンチ(60cm×150cm×深さ18cm容量)に14株ずつ定植した. 10月13日に5節残して摘心を行い, 3本仕立てとした. 最大シュート長が約25cmに達した11月16日より, 電照をそれぞれ蛍光灯(処理開始時の草冠でPPFD  $1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 白熱灯(PPFD  $3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), メタルハライドランプ(PPFD  $14\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 高圧ナトリウムランプ(PPFD  $48\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )に切り替えた. 補光時間は4:00~9:00, 16:00~20:00(明期16h)で, 補光はすべての処理区で発蕾するまで(12月27日)行った. 花茎は発蕾日, 開花日を記録し, 第1花が萎れた時点で収穫し, 花茎の長

さ、重さ、節数および形態異常花序の発生を9個体について調査した。

## 結 果

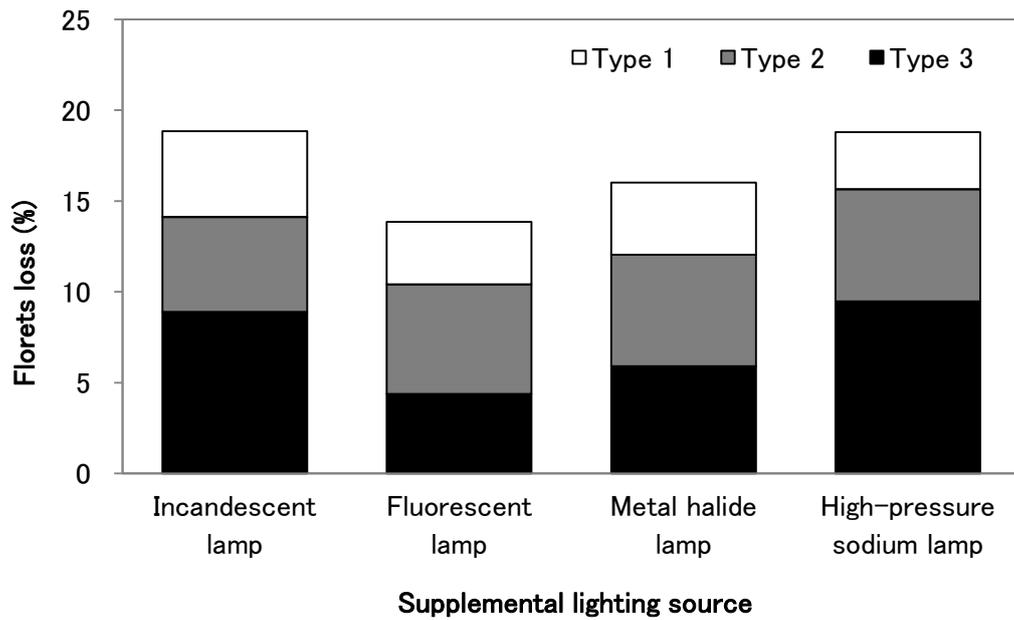
タイプ3による小花損失割合は蛍光灯、メタルハライドランプ、白熱灯、高圧ナトリウムランプの順で増加したが、その差は小さく、また光質や光強度との関係も認められなかった(第2-3図)。いずれの光源でもタイプ1による小花損失割合は3~5%、タイプ2による小花損失割合は5~6%認められた。タイプ3による小花損失割合は白熱灯と高圧ナトリウムランプで同様の値を示し、蛍光灯とメタルハライドランプはそれらよりわずかに増大したが、光源の違いにより、一定の傾向は認められなかった。白熱灯( $\text{PPFD } 3\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )と高圧ナトリウムランプ( $\text{PPFD } 48\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )という異なる光強度でも形態異常発生率は同様であったことから、補光強度が形態異常発生の要因とは考えられなかった。

発蕾は11月19~20日、開花は翌年1月25~27日であり、処理による有意な差は認められなかった(第2-3表)。切り花重は高圧ナトリウムランプ区で有意な差が認められ、切り花長は白熱灯区で有意な差が認められたが、光源の違いにより、一定の傾向は認められなかった。(第2-3表)。切り花長は127~137cm、切り花重は131~177g、節数は20~21であった。

### 第3節. 遮光時期が形態異常花序発生に及ぼす影響

#### 目 的

第1章より、形態異常花序の発生は初冬から早春にかけて増加するという季節変動が確認されたことから、日射量の影響が考えられる。そこで、遮光を行う時期を変え、遮光が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した。



**Fig. 2-3.** Effect of supplemental lighting source on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

**Table 2-3.** Effect of supplemental lighting source on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’ .

Types of supplemental lighting	Date of flower budding		Date of blooming		Cut flower length (cm)		Cut flower weight (g)		Number of nodes	
Fluorescent lamp	Dec-09	a <sup>z</sup>	Jan-10	a	127.7	a	131.3	a	21.2	a
Incandescent lamp	Dec-09	a	Jan-10	a	137.6	b	155.9	ab	21.3	a
Metal halide lamp	Dec-09	a	Jan-10	a	133.1	ab	141.7	a	20.8	a
High-pressure sodium lamp	Dec-09	a	Jan-10	a	134.8	ab	177.1	b	21.2	a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD test (n=9)

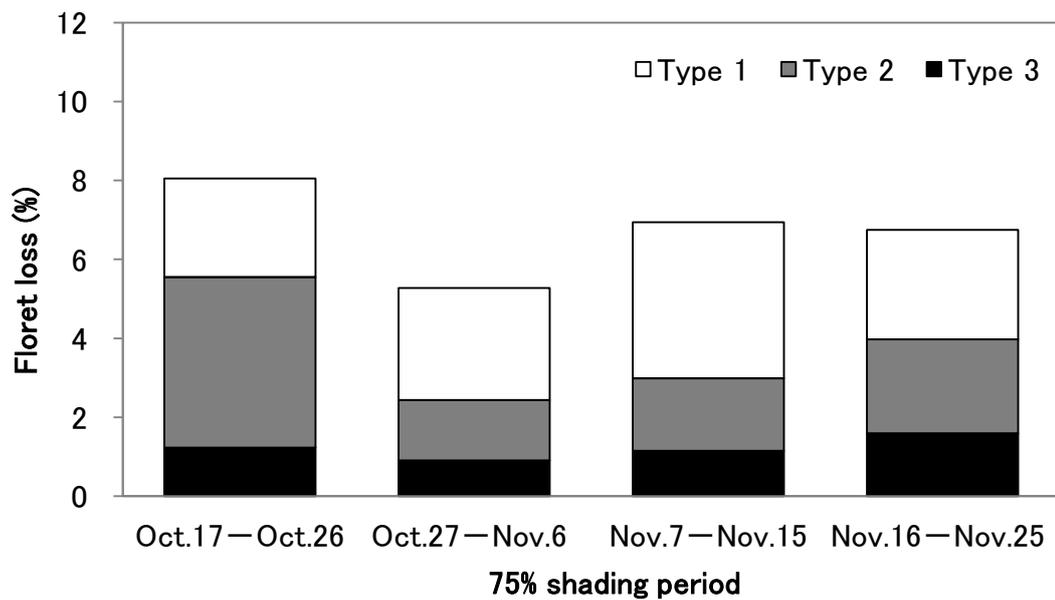
## 材料および方法

2008年9月16日に発根苗をベンチ（60 cm×150 cm×深さ 18 cm 容量）に12株ずつ定植した。9月21日に5節残して摘心を行い、3本仕立てとした。最大シュート長が約15cmに達した2008年10月17日からベンチを半分に区切り、6株ずつ寒冷紗を用いて75%の遮光処理を開始した。10/17-10/26 遮光区、10/27-11/6 遮光区、11/6-11/15 遮光区、11/16-11/25 遮光区の4処理区設けた。花茎は発蕾日、開花日を記録し、第1花が萎れた時点で収穫し、花茎の長さ、重さ、節数および形態異常花序の発生を6個体について調査した。

## 結 果

第2-4図に示したように、処理区間に差は認められず、遮光時期の違いに一定の傾向は認められなかった。タイプ3による小花損失割合は1~2%、タイプ2による小花損失割合は2~4%、タイプ3による小花損失割合は3~4%であった。

10/17-10/26 遮光区の発蕾、開花は12月4日、1月4日で、他の処理区と比較して発蕾、開花までに日数を要し、開花が約2週間遅れたが、切り花長は128cmで、切り花重（200g）と節数（24.5）は最も大きくなった（第2-4表）。その他の処理区の発蕾は11月13~16日、開花は12月19日~21日であり、切り花重、切り花長、節数はそれぞれ131~146g、115~130cm、21~23であった。切り花重および切り花長に有意な差は認められなかったが、節数は10/17-10/26 遮光区で有意な差が認められた。



**Fig. 2-4.** Effect of 75% shading period on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

**Table 2-4.** Effect of 75% shading period and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

Durarion of shading	Date of flower budding		Date of blooming		Cut flower weight (g)		Cut flower length (cm)		Number of nodes
Oct .17–Oct.26	Dec-08	b <sup>z</sup>	Jan-09	b	199.9 a		128.0 a		24.5 b
Oct.27–Nov. 6	Nov-08	ab	Dec-08	a	146.0 a		115.3 a		22.5 ab
Nov. 6–Nov.15	Nov-08	a	Dec-08	a	131.5 a		122.3 a		21.5 a
Nov.16–Nov.25	Nov-08	ab	Dec-08	a	131.5 a		129.8 a		23.5 ab

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD (n=6)

## 第 4 節. 加温温度が形態異常花序発生に及ぼす影響

### 目 的

グラジオラス (Cohat, 1993), キク (谷川ら, 1999), カーネーション (肥田ら, 1971; 奥殿ら, 1972; 吉田・上岡, 1972), バラ (Zaccari ら, 2009) において高温や低温が原因で形態異常が発生することが報告されている. シュコンカスミソウの形態異常花序発生においても栽培中の温度が影響している可能性が考えられる. そこで, 本実験では, 温度が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した.

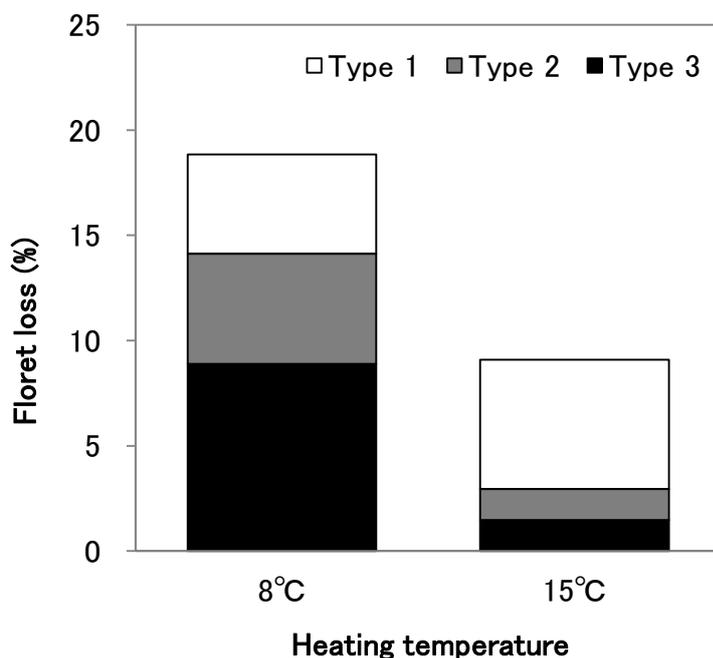
### 材料および方法

2009 年 10 月 3 日に発根苗を, 木箱に 4 株ずつ定植した. 10 月 13 日に 5 節残して摘心を行い, 3 本仕立てとした. 最大シュート長が約 15cm に達した 11 月 16 日に, 木箱の半分を日最低気温 15°C に加温したプラスチックハウスへ移した. 残りの木箱は日最低気温 8°C に加温したプラスチックハウス内で管理した. 花茎は発蕾日, 開花日を記録し, 第 1 花が萎れた時点で収穫し, 花茎の長さ, 重さ, 節数および形態異常花序の発生を 4 個体について調査した.

### 結 果

第 2-5 図に加温温度が形態異常花序発生に及ぼす影響を示した. タイプ 3 による小花損失割合は 15°C 区と比較して 8°C 区では明らかに低かった. タイプ 1 による小花損失割合は 15°C 区 5.6%, 8°C 区 4.7% と大きな差は認められなかったが, パターン 2 と 3 の発生は 15°C 区で 1.1%, 1.5%, 8°C 区では 5.1%, 8.7% であり差が大きかった.

第 2-5 表に, 加温温度が切り花形質に及ぼす影響を示した. 8°C 区と比較し



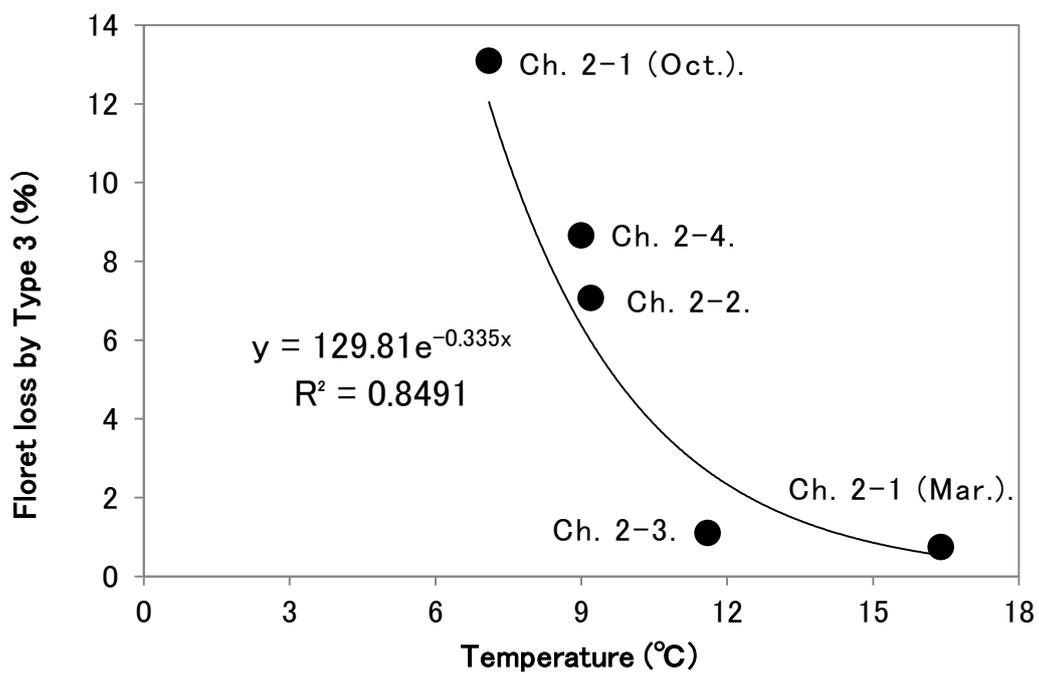
**Fig. 2-5.** Effect of heating temperature on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

**Table 2-5.** Effect of heating temperature on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Heating temperature	Date of flower budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
8°C	1/5 b <sup>2</sup>	2/16 b	127.3 b	164.6 a	22.8 a
15°C	12/10 a	1/1 a	104.5 a	100.5 a	21.5 a

<sup>2</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by t-test (n=4).



**Fig. 2-6.** Effect of average night temperature in each experiment on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair' in each experiment of chapter 2.

て 15℃区の切り花重，切り花長は大きく低下した．ただし，節数に有意な差は認められなかった．8℃区では開花までに日数を要し，15℃区よりも約 1 ヶ月半遅くなった．それぞれ切り花重，切り花長，節数は 8℃区では 164.6g, 127.3cm, 22.8, 15℃区では 100.5g, 104.5cm, 21.5 であった．

## 第 5 節 考 察

まず，日長，補光強度および 75%の遮光処理時期が形態異常花序の発生に及ぼす影響について調査したが，一定の傾向が認められなかった．唯一，加温温度を変えた第 4 節の実験のみ形態異常花序の発生を減少できた．8℃区と 15℃区は，処理開始以降の日中の温度，日長，日射量はほぼ同じであり，唯一異なるのは夜間の温度であることから，形態異常花序は，最低夜温に大きく影響される可能性が見出された．

そこで，それぞれの実験の形態異常発生率と処理開始から発蕾までの平均夜温の関係を見てみた（第 2-6 図）．タイプ 1 およびタイプ 2 は，いずれの時期にも一定の割合発生し，あまり草姿を損なわないため，生産地では特に問題とされない．しかし，タイプ 3 は明らかに草姿が損なわれ切り花形質が低下する．タイプ 3 に分類される形態異常花序発生部位を取り除き出荷しているため，タイプ 3 に着目した．小花損失割合（タイプ 3）は，第 1 節（10 月定植），第 4 節の 8℃区，第 2 節，第 3 節，第 1 節（3 月定植）の順で低下し，それぞれ平均小花損失割合は 13.1%，8.7%，7.1%，1.1%，0.7%であった．処理開始から発蕾までの平均夜温（20:00 から翌朝 6:00 まで）はそれぞれ 7.1℃, 9.0℃, 9.2℃, 11.6℃, 16.4℃となり，平均夜温が高くなるほど小花損失割合（タイプ 3）は低下し，最低気温が 12℃まではほとんどタイプ 3 の発生は認められなかったが，最低温度 9℃以下ではタイプ 3 の発生が増加した（第 2-6 図）．回帰式を算出すると  $y = 129.81e^{-0.335x}$  となり，寄与率（ $R^2 = 0.849$ ）が高かった．

これらから、形態異常花序発生には低温が大きく関与しているのではないかと考えられた。しかし、どの発育段階に低温の影響を受けるのかは本実験の結果からは明確ではない。また、これらの実験は、実施時期が異なるため、他の環境要因の関与も完全には否定できない。ヒマワリにおいては、低温期の1月に播種を行い4月に出荷の無加温栽培で、茎先端に複数の花が着く「複数花」、あるいは頂花と側花が癒着する「癒着花」などの奇形花が発生する。その発生要因は花芽発達期間中の氷点下の低温遭遇と報告されている(黒柳ら, 2003)。

ところが、最低夜温を上げると切り花重、切り花長が大きく減少し、切り花形質が低下した。昨今、原油高による燃料価格が高騰しており、生産現場での15℃加温は採算が取れないため、現状の普及は難しい。平均最低夜温が9.0℃では形態異常発生率は約7~9%(第2節, 第4節)だが、11.6℃(第3節)では形態異常発生率が1.1%に減少したことから、12℃前後まで加温温度を低下させれば、形態異常花序発生率を低下させた上に切り花形質も改善できるかもしれない。さらに、形態異常花序発生に影響する低温遭遇時期を特定できれば加温期間を短縮できる可能性がある。

以上のことから、形態異常花序発生は最低温度が大きく関与していることが明らかになった。しかし、どの発育段階にどの程度の低温の影響を受けるのかは本章の結果からは得られなかった。さらに最低夜温を上げると切り花形質の低下や暖房コストの問題が生じたため、形態異常花序を軽減しながら切り花形質の改善、暖房コストの削減を検討する必要がある。

### 第3章 温度条件が形態異常花序発生に及ぼす影響

#### 第1節 最低気温が形態異常花序発生に及ぼす影響

##### 目 的

最低気温を 15℃に維持したプラスチックハウスで栽培を行うと形態異常花序の発生は大きく減少したことから、本実験では最低気温に着目し、日最低気温 7℃、11℃および 15℃に制御したプラスチックハウス内で栽培を行った。夏季においても低温を与えることで形態異常花序が発生するのかを検証するために、冷蔵庫を用いて夜間の低温処理が形態異常花序発生に及ぼす影響を調査した。

##### 材料および方法

###### 1) 冬 季

発根苗を、2011年10月28日に園芸用プランター（縦 18 cm×横 41 cm×深さ 22 cm）に2株ずつ定植した。11月10日に5節残して摘心を行い、大きさの揃ったシュートを選び1本仕立てとし、日最低気温 7℃以上に制御したプラスチックハウスで栽培した。シュート長が約 5 cm に達した 2011年12月27日に日最低気温 11℃および 15℃以上に制御したプラスチックハウスへ3プランターずつ移した。残りのプランターは 7℃以上に制御したプラスチックハウス内で管理した。栽培期間中の温度はおんどとり（TR-71Ui, T&D）を用いて10分間隔で計測した。

###### 2) 夏 季

発根苗を2012年5月7日に6号プラスチックポットに1株ずつ定植した。5

月 21 日に 5 節残して摘心を行い, 1 本仕立てで栽培した. シュート長が約 5 cm に達した 2012 年 6 月 5 日に 17:00 から翌朝 8:30 まで 5°C に設定した冷蔵庫で 15 日間低温処理を行った. この実験では, 低温処理区および無処理区ともに白熱灯 (定植時の草冠で PFD  $3\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上) を用いて 24 時間の長日処理を行った. 無処理区の栽培期間中の日最高気温および最低気温の平均温度はそれぞれ 34.0°C, 19.1°C であった. 調査個体数は両処理区それぞれ 9 個体とした.

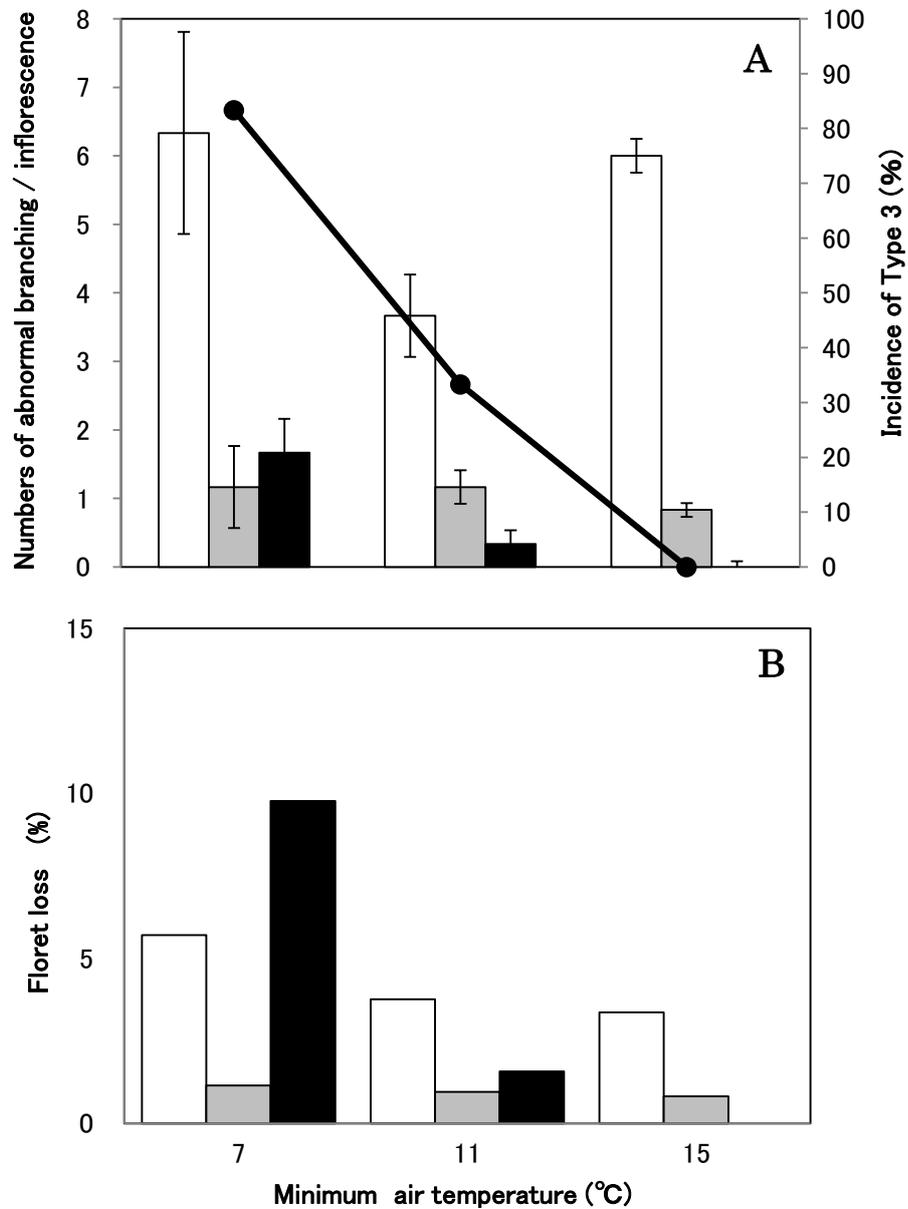
## 結 果

### 1) 冬 季

最低気温が高くなるほどタイプ 3 の発生率は低下することが明らかになった (第 3-1 図 A). 最低気温 7°C 区では 83.3%, 11°C 区では 33.3% の個体でタイプ 3 が発生したが, 15°C 区では全く発生しなかった (第 3-1 図 A). タイプ 3 の発生か所数も 11°C 区と比較して 7°C 区で多かった. 一方, タイプ 1 とタイプ 2 の発生か所数はいずれの温度でもタイプ 1 は 4~6 か所, タイプ 2 は 1 か所程度であり, 最低気温による違いは認められなかった. 7°C 区と 11°C 区のタイプ 3 による小花損失割合はそれぞれ 9.8% と 1.6% であり, 最低気温が高くなるほど小花損失割合は低下し, 15°C 区ではタイプ 3 による損失は認められなかった (第 3-1 図 B). 一方, いずれの温度処理区でもタイプ 1 による損失は 3~6%, タイプ 2 による損失は約 1% であり, 最低気温が低下するとわずかに増加する傾向にあったが, 大きな差は認められなかった.

### 2) 夏 季

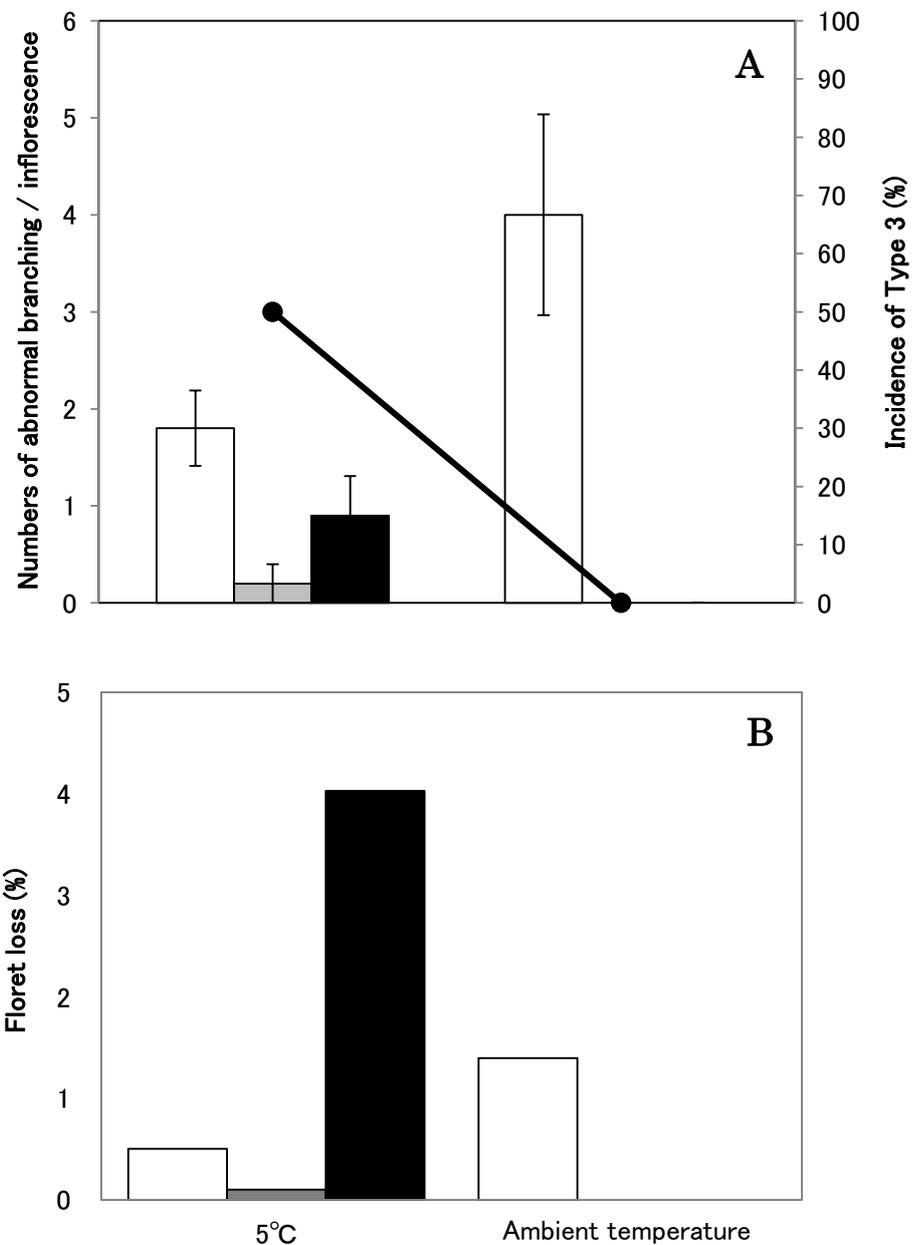
夜温 5°C 区では 50% の個体でタイプ 3 が発生したのに対して, 無処理区では全く発生は認められなかった (第 3-2 図 A). 夜温 5°C 区におけるタイプ 3 の



**Fig. 3-1.** Effect of minimum air temperature on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair' in winter.

(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching). Vertical bars indicate SE (n=6).

Types of abnormal branching: □ Type 1, ■ Type 2, ■ Type 3, ● Incidence of Type 3



**Fig. 3-2.** Effect of night temperature on occurrence of abnormal inflorescence in *Gypsophila paniculata* 'Altair' in summer.

(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching). Vertical bars indicate SE (n=9).

Types of abnormal branching: □ Type 1, ▒ Type 2, ■ Type 3, ● Incidence of Type 3

**Table 3-1.** Effect of minimum air temperature on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila*

Minimum air temperature (°C)	Date of flower budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
7	9-Mar b <sup>z</sup>	19-Apr b	117.5 b	166.6 a	33.0 b
11	11-Mar b	15-Apr b	95.0 a	143.8 a	34.2 b
15	25-Jan a	20-Feb a	88.5 a	88.6 a	27.3 a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6).

**Table 3-2.** Effect of night temperature on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila*

Night temperature (°C)	Date of flower budding	Date of blooming	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
5	5-Jul a <sup>z</sup>	23-Jul a	81.3 a	45.6 a	25.4 a
Ambient	22-Jun b	12-Jul b	79.8 a	57.0 b	21.1 b

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by t-test (n=9).

The average maximum temperature was 34.0°C and average minimum temperature was 19.1°C from planting to flowering.

発生か所数は平均 1 か所であり、小花損失割合は 4.0%であった(第 3-2 図 B)。一方タイプ 1 の発生か所数は夜温 5℃区で平均 2 か所、無処理区で平均 4 か所であった。タイプ 2 は夜温 5℃区でわずかに発生したのみであった。夜温 5℃区においてタイプ 1 による損失は 0.5%、タイプ 2 は 0.1%、無処理区のタイプ 1 による損失は 1.4%であった。

## 第 2 節 地温が形態異常花序発生に及ぼす影響

### 目 的

根域温度が低下するとエンゲルマントウヒの葉の気孔コンダクタンスと光合成速度が低下する (Delucia, 1986)。また、根域加温により、ナスの個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し、株の吸水量が大きくなり、主枝および根の生長が旺盛になったと報告されている (森山ら, 2012)。そこで、地温の管理による形態異常花序発生の抑制という観点から、地温 (8℃, 12℃, 16℃, 20℃) が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した。

### 材料および方法

発根苗を 2011 年 10 月 20 日に 6 号ポットへ 1 株ずつ定植した。11 月 1 日に 5 節残し摘心し一本仕立てとし、日最低気温 7℃以上のプラスチックハウスで栽培した。培地温度 8℃, 12℃, 16℃, 20℃の 4 区を設け、12 月 13 日から 3 月 22 日まで加温処理を行った。培地加温装置については第 3-3 図に示す。内側をビニルで覆ったベンチに水を張り、投げ込みヒーター(八光商事株式会社)で加熱した。加熱中は水温が均一になるようにポンプを用いて水を循環させた。水温が地上部に影響を及ぼさないように発泡スチロールで蓋をして、熱を遮断した。ポットに水が入らないように 2 重のビニルで包み処理を行った。灌水は

土壌の表面が乾いたときに 250ml ずつ行い、週に一度、大塚 A 処方培養液 1/2 濃度を施肥した。

## 結 果

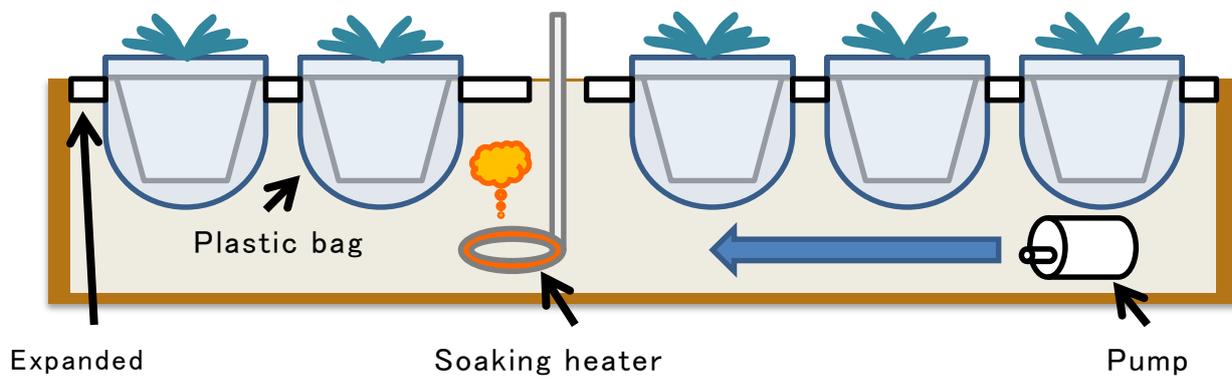
地温が形態異常花序発生に及ぼす影響を調査したが、タイプ 3 の発生率および発生か所数について地温の影響は認められなかった(第 3-4 図 A)。地温 8℃ 区は 70%の個体でパターン 3 が発生し、12℃区では 66.7%、16℃区では 77.8%、20℃区では 66.7%の個体で発生した。形態異常花序の発生か所数はタイプ 1 では平均 5~6 か所、タイプ 2 では平均 2~3 か所、タイプ 3 では平均 1 か所であった(第 3-4 図 A)。さらに小花損失割合にも差は認められず、いずれの地温でもタイプ 3 による損失は 5~7%、タイプ 1 は 4~6%、タイプ 2 は 1%であった(第 3-4 図 B)。

切り花長、切り花重および節数に関しても地温による有意な差は認められなかった(第 3-3 表)。

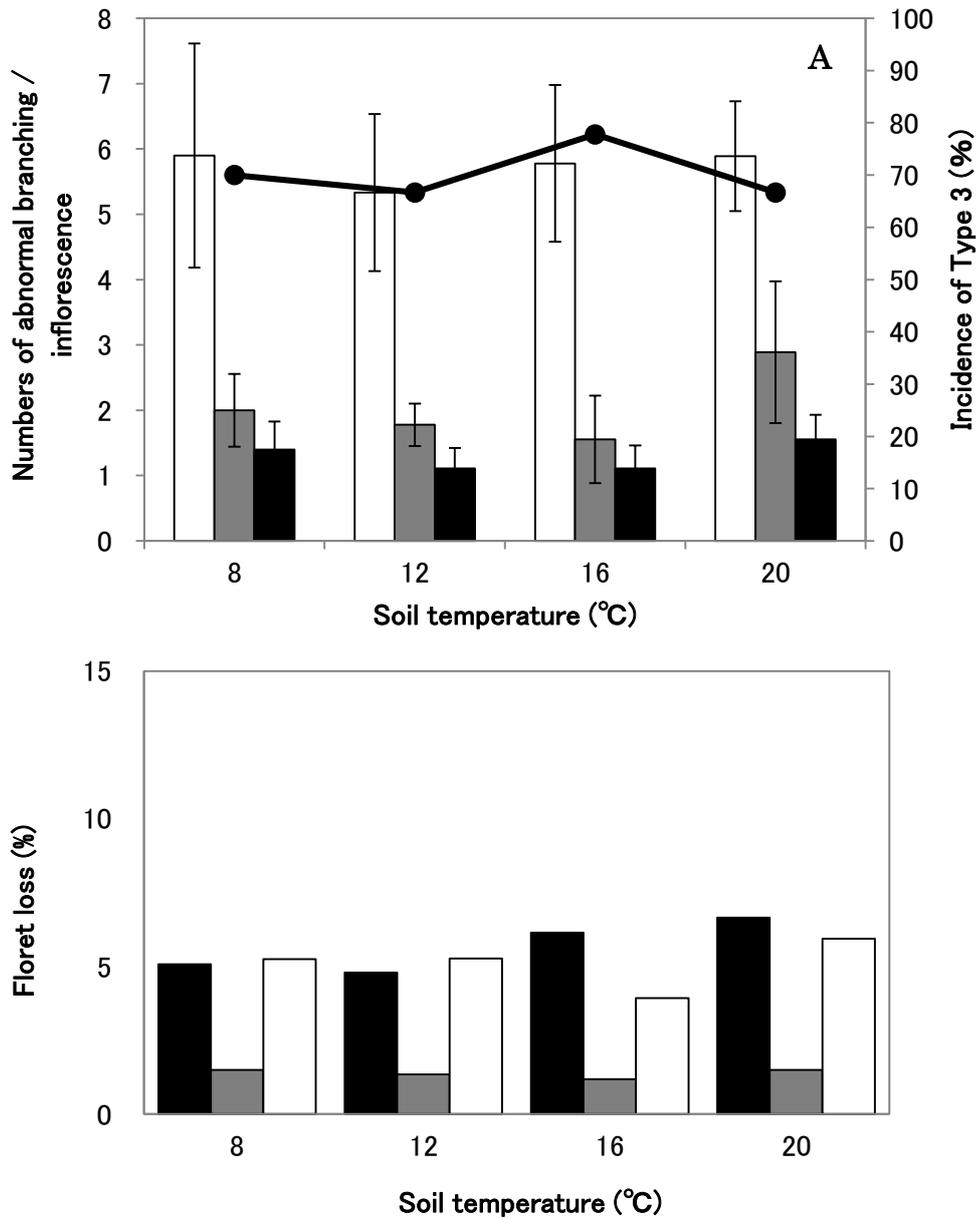
### 第 3 節 加温時期が形態異常花序発生に及ぼす影響

#### 目 的

第 2 章 第 4 節より、形態異常花序発生は最低温度が大きく関与していることが明らかになった。だが、どのような生育段階の植物体に加温処理すると効率的であるかを明確にするため、加温処理期間を 8 週間とし、そのうち 2 週間ずつ日最低気温 15℃以上に加温し、加温時期と形態異常花序の発生程度との関係を調査した。



**Fig. 3-3.** Scheme of heating device.



**Fig. 3-4.** Effect of soil temperature on occurrence of abnormal inflorescence in *Gypsophila paniculata* 'Altair'

(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching). Vertical bars indicate SE (n=9).

Types of abnormal branching: □ Type 1, ■ Type 2, ■ Type 3, ● Incidence of Type 3

**Table 3-3.** Effect of soil temperature on flowering and cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

Soil temperature (°C)	Date of flower budding		Date of blooming		Cut flower length (cm)		Cut flower weight (g)		Number of nodes	
8	28-Jan	a <sup>z</sup>	26-Mar	ab	142.7	a	210.6	a	29.0	a
12	30-Jan	a	27-Mar	b	145.0	a	212.4	a	29.4	a
16	27-Jan	a	27-Mar	ab	142.4	a	210.0	a	30.0	a
20	24-Jan	a	22-Mar	a	134.0	a	197.9	a	28.1	a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=9)

## 材料および方法

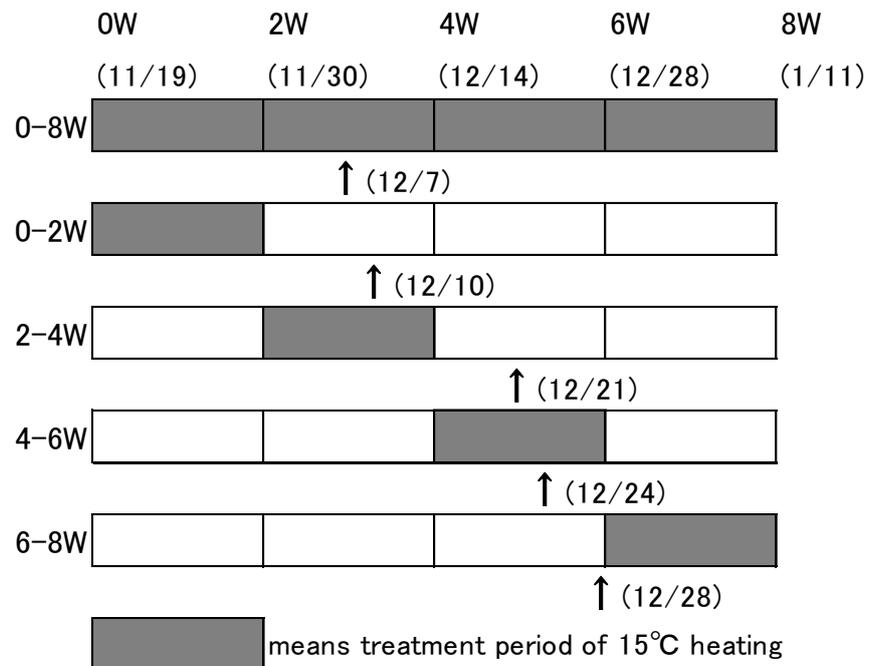
(株) ミヨシから入手したシュッコンカスミソウ ‘アルマイル’ の発根苗を 2010 年 10 月 1 日に混合土を詰めた木箱 (60 cm×36 cm×深さ 18 cm) に 4 株ずつ定植した。それぞれ、10 月 18 日に 5 節を残して摘心した。1 株当たり 3 本に調整した後、日最低気温 7℃に加温したハウス内で栽培した。シュート長が平均約 20 cm に達した 11 月 16 日から処理を開始した。処理期間を 8 週間とし、そのうち 2 週間ずつ日最低気温 15℃に加温したプラスチックハウスに木箱を移動させ管理した (第 3-5 図)。処理後は日最低気温 7℃に加温したハウス内で栽培した。花茎は発蕾日、開花日を記録し、第 1 花が萎れた時点で収穫し、長さ、重さ、節数および形態異常花序の発生を 6 個体について調査した。

## 結 果

7℃, 15℃区における 2 週間の日最高気温および日最低気温の平均温度を第 3-4 表に示した。15℃加温期間中の各処理区における最高気温および最低気温に大きな変動は認められなかった。

加温時期が初期の 0-2W 区で小花損失割合は最も低く、加温時期が遅くなるにつれて小花損失割合は増加した。6-8W 区の 6.7%と比較して 0-2W 区および 0-8W 区がそれぞれ 1.2%および 0.8%で小花損失割合は有意に低かった (第 3-6 図)。各処理区タイプ 1 による小花損失割合は 3~6%、タイプ 2 による小花損失割合は 0~7%であり、一定の傾向は認められなかった (データ未掲載)。

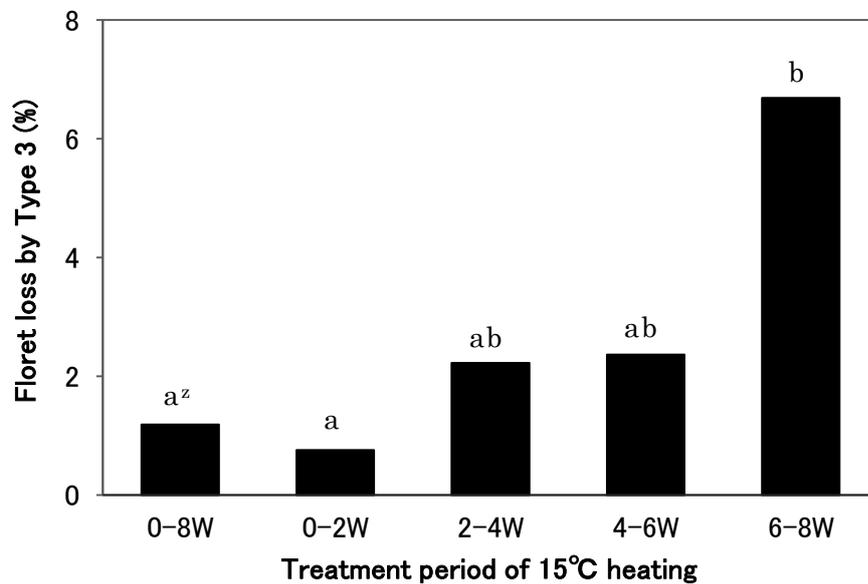
発蕾日は加温時期が遅くなるにつれて遅くなり、4-6W 区は処理中に、6-8W 区は処理開始時にはすでに発蕾していた (第 3-5 図)。切り花調査の結果 (第 3-5 表)、0-8W 区の切り花長は他の処理区と比較して有意に低下した。切り花重は 0-8W 区が 4-6W 区と比較して有意に低下した。節数には有意な



**Fig. 3-5.** Scheme of 15°C heating period and means date of flower budding in each treatment (arrows) in experiment of Ch. 3-3.

**Table 3-4.** Maximum air temperature and minimum air temperature in each treatment.

Heating temperature		15°C heating period			
		0-2W	2-4W	4-6W	6-8W
7°C	Maximum air temperature (°C)	23.4	21.8	22.1	21.4
	Minimum air temperature (°C)	8.4	7.7	7.9	6.9
15°C	Maximum air temperature (°C)	24.6	24.5	24.7	24.7
	Minimum air temperature (°C)	15.2	14.7	14.2	14.2



**Fig. 3-6.** Effect of 15°C heating period on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

Floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD test (n=6)

<sup>y</sup> See Fig. 3-5. for details of treatments.

**Table 3-5.** Effect of 15°C heating period on cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

15°C heating period	Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of nodes
0-8W	94.9 a <sup>z</sup>	106.3 a	20.4 a
0-2W	142.2 b	122.5 ab	19.5 a
2-4W	146.3 b	123.8 ab	21.9 a
4-6W	169.9 b	129.4 b	20.6 a
6-8W	150.2 b	126.3 ab	21.0 a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD test (n=6).

差は認められなかった。

#### **第4節 生育段階の異なるシュートに対する高温が形態異常花序発生に及ぼす影響**

##### **目 的**

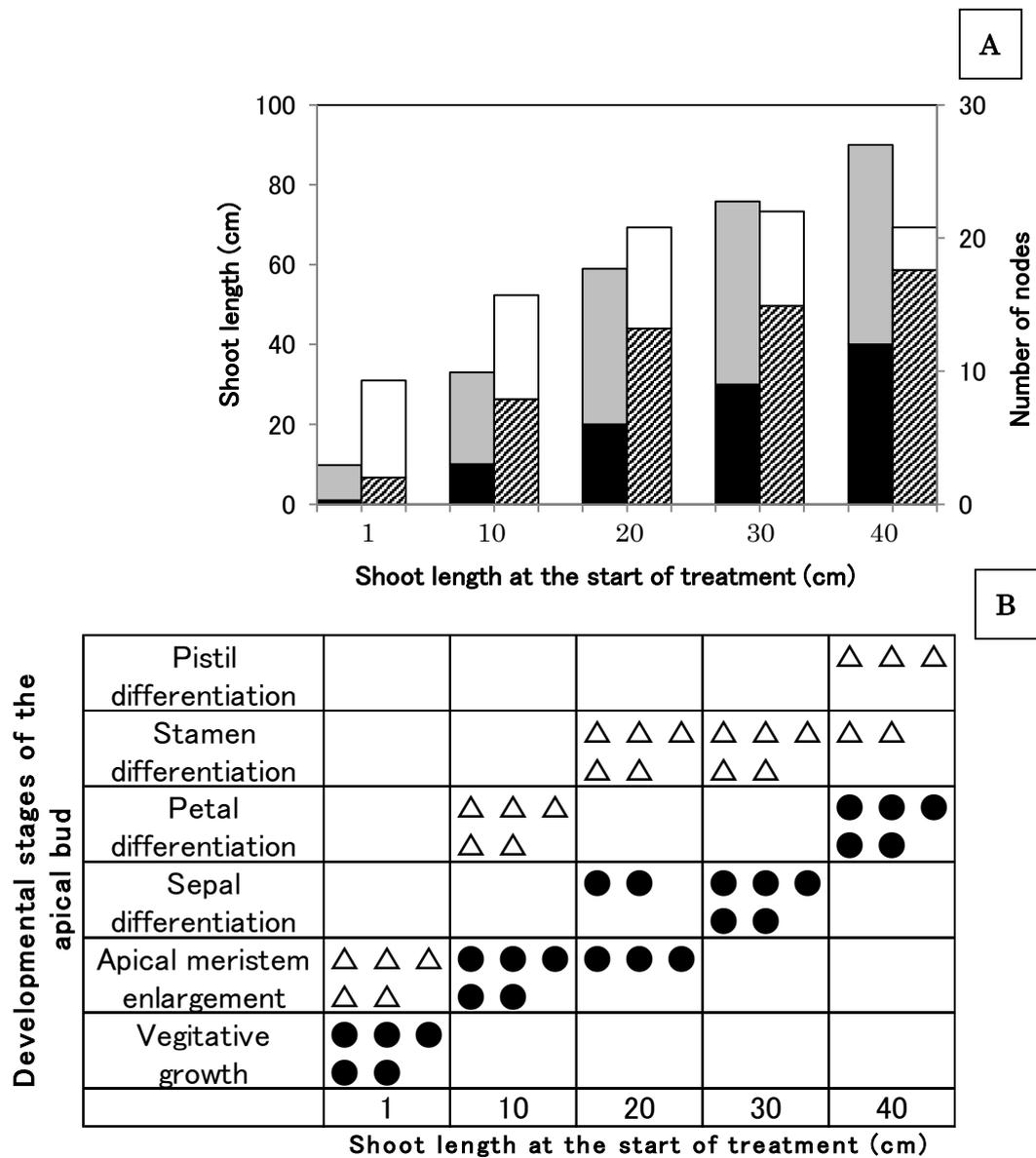
第3節では処理開始時のシュート長および節数の調査のみであるため、どのような生育段階の植物体に加温処理をすべきか明確ではない。また、シュート長 20 cm 未満における加温の影響についても調査するため異なる生育段階における加温と形態異常花序発生との関係および加温処理前後の花芽分化段階を観察した。

##### **材料および方法**

(株) ミヨシから入手した発根苗を 2012 年 11 月 26 日に 6 号ポットに 1 株ずつ定植し、12 月 7 日に 5 節を残して摘心を行い、1 本仕立てにした。シュート長がそれぞれ 1, 10, 20, 30 および 40 cm になった時点（それぞれ 12 月 7 日, 1 月 28 日, 2 月 16 日, 2 月 24 日, 3 月 8 日）から 15 日間、日最低気温 15℃に加温したプラスチックハウスへ移動させた。15℃加温処理以外の期間は日最低気温 7℃に加温したプラスチックハウスで管理した。各処理前後の花芽発育段階を土井ら（1990）の分類に基づいて各区 5 個体ずつ観察した。切り花形質および形態異常花序の発生は 10 個体について調査した。

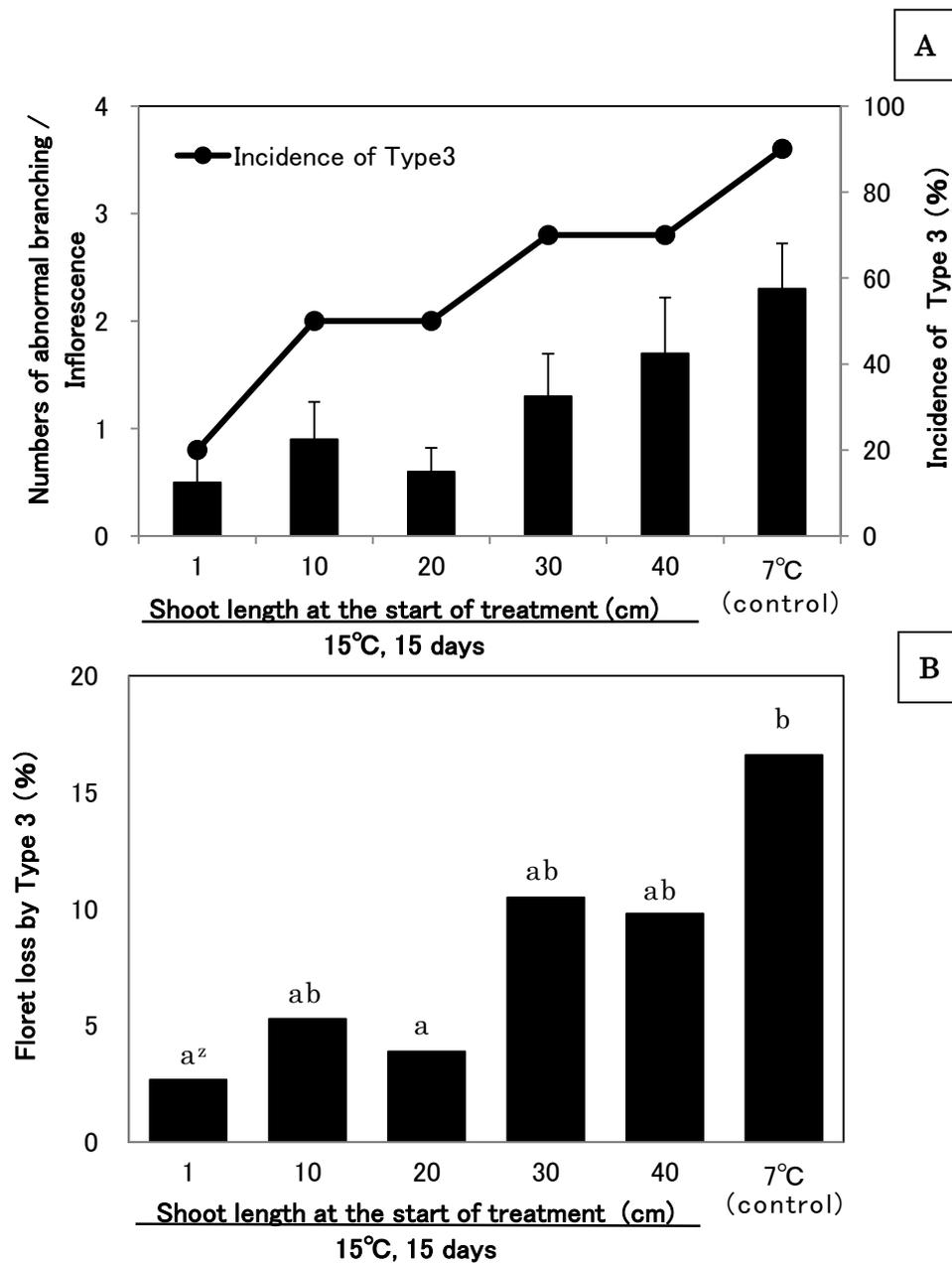
##### **結 果**

それぞれの処理区における 15 日間の日最高気温および日最低気温の平均温度は 1 cm 区で 25.3℃/15.4℃, 10 cm 区で 25.1℃/15.7℃, 20 cm で 24.8℃/15.3℃, 30 cm 区で 25.9℃/15.3℃, 40 cm 区で 26.4℃/15.3℃であった。



**Fig. 3-7.** Shoot growth (A) and developmental stages of the apical bud (B) in *Gypsophila paniculata* ‘Altair’ at the start ( ● ) and the end ( △ ) of 15°C heating for 15 days.

(A) At the start ( ■ ) and the end ( □ ) of 15°C heating for 15 days on shoot length. At the start ( ▨ ) and the end ( □ ) of 15°C heating for 15 days on number of nodes.



**Fig. 3-8.** Effect of heating (15°C, 15 days) at different developmental stages of shoot on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching). Vertical bars indicate SE (n=10)

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=10)

花芽発育段階を観察した。

それぞれの処理区における 15 日間の日最高気温および日最低気温の平均温度は 1 cm 区で 25.3℃/15.4℃, 10 cm 区で 25.1℃/15.7℃, 20 cm 区で 24.8℃/15.3℃, 30 cm 区で 25.9℃/15.3℃, 40 cm 区で 26.4℃/15.3℃であった。

処理開始時の花芽発育段階はシュート長 1, 10, 20, 30 および 40 cm でそれぞれ栄養成長, 茎頂膨大期, 茎頂膨大期〜がく片形成期, がく片形成期および花弁形成期に対応し, 節数は 2.0, 7.9, 13.2, 14.9 および 17.6 であった (第 3-7 図 A, B)。処理終了時の花芽発育段階は 1 cm 区で茎頂膨大期, 10 cm 区で花弁形成期であり, 20, 30 および 40 cm 区の発蕾日はそれぞれ 2 月 16 日, 3 月 7 日, 3 月 13 日であり, 処理期間中に発蕾した。処理終了時のシュート長および節数はシュート長 1 cm 区, 10 cm 区, 20 cm 区, 30 cm 区および 40 cm 区でそれぞれ 9.8 cm, 33.0 cm, 59.0 cm, 75.8 cm, 90.0 cm および 9.3, 15.7, 20.8, 22.0, 20.8 であった (第 3-7 図 B)。タイプ 3 の発生率は処理開始時のシュートが長くなるにつれて増加し, 対照区で最も高く 90% であった (第 3-8 図 A)。タイプ 3 の発生か所数においても同様の傾向が認められた。タイプ 3 の発生か所数は加温開始時のシュート長が 1 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm 区および対照区でそれぞれ 0.5, 0.9, 0.6, 1.3, 1.7 および 2.3 であった (第 3-8 図 A)。タイプ 1 およびタイプ 2 の発生か所数は処理に関わらずそれぞれ 2~5 か所, 1~2 か所であった (データ未掲載)。タイプ 3 による小花損失割合は処理開始時のシュートが長くなるにつれて増加し, 対照区で最も高かった (第 3-8 図 B)。対照区の 16.6% と比較して 1 cm 区は 2.7%, 20 cm 区は 3.9% でタイプ 3 による小花損失割合は有意に低下した (第 3-8 図 B)。タイプ 1 およびタイプ 2 による小花損失割合は処理に関わらずそれぞれ 2~6%, 1~2% であった (データ未掲載)。

## 第5節 生育段階の異なるシュートに対する低温が形態異常花序発生に及ぼす影響

### 目 的

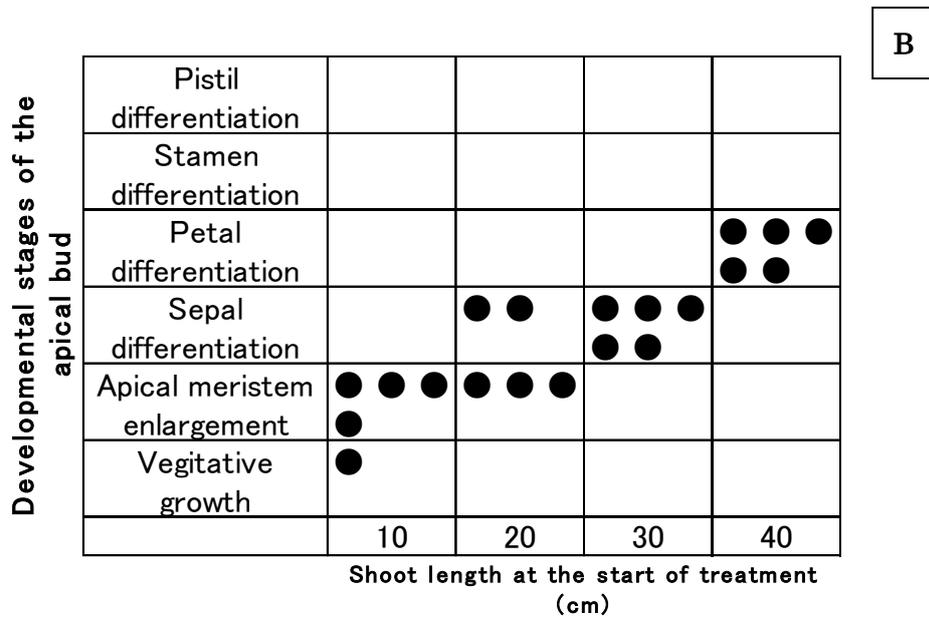
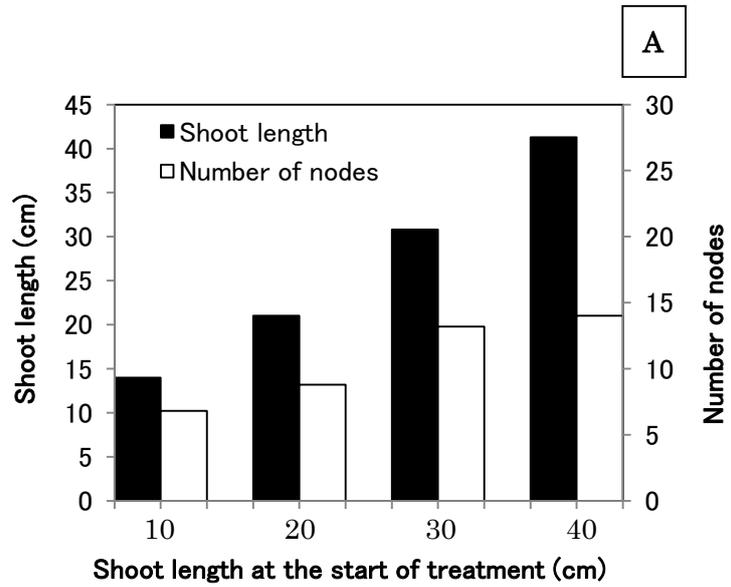
第4節では、低温遭遇時期が異なり、生育中の環境条件が異なっていた。そこで第5節では、低温処理時の環境条件を統一するため、低温に遭遇しないように栽培した個体を異なる生育段階になるように整枝し、一斉に低温に遭遇させ、低温遭遇ステージが形態異常花序発生に及ぼす影響および低温処理前後の花芽分化段階を観察した。

### 材料および方法

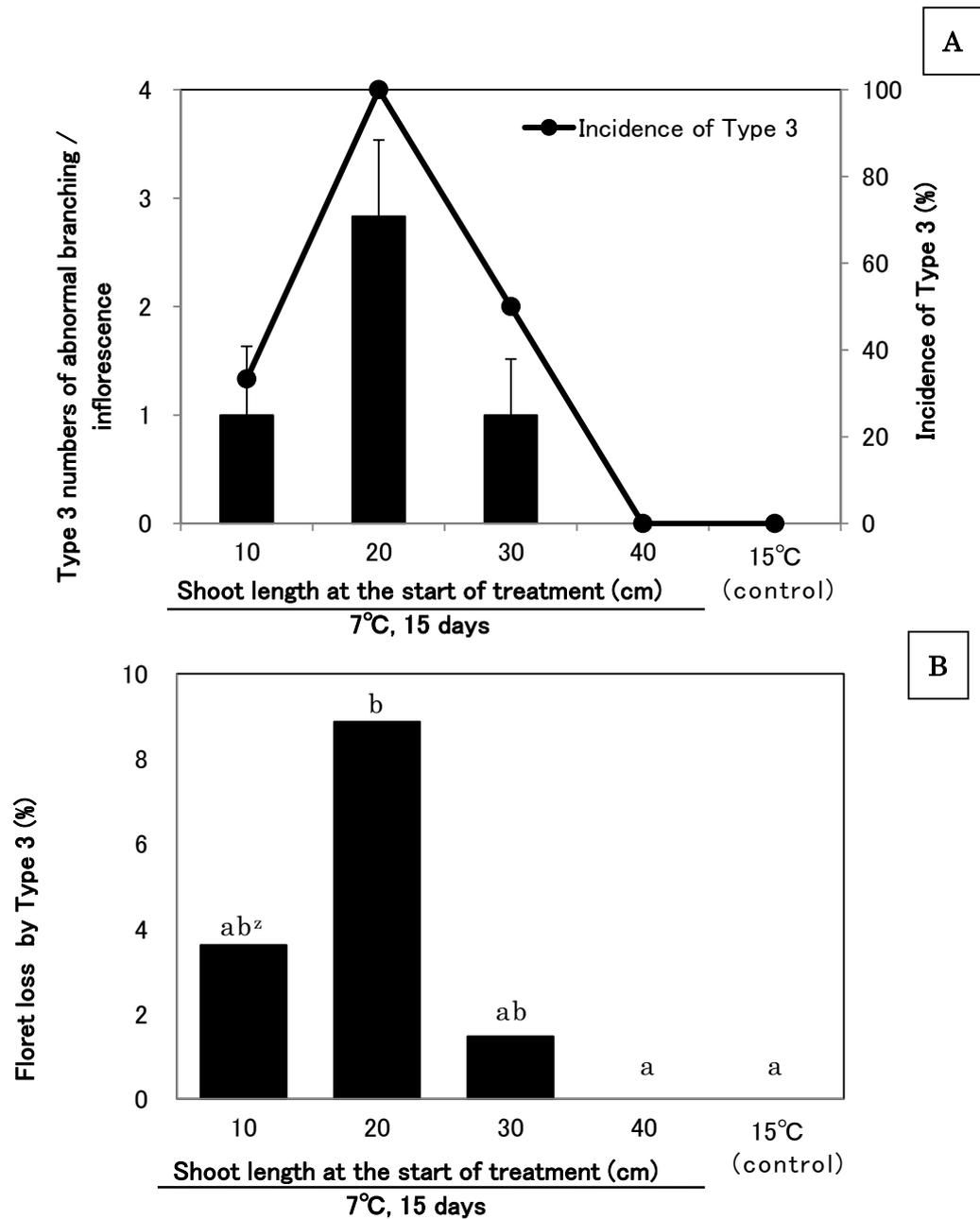
(株)ミヨシから入手した発根苗を2011年10月1日に6号ポットに1株ずつ定植した。10月7日に5節を残して摘心し、それぞれ異なるシュート生育段階となるよう平均10、20、30および40cmの長さの異なるシュートを1株当たり1本ずつ残し、11月22日から15日間、日最低気温7℃に加温したプラスチックハウスへ移動させた。低温処理以外の期間は日最低気温15℃のプラスチックハウスで管理した。各処理時の花芽発育段階を土井ら(1990)の分類に基づいて各処理区5個体ずつ観察した。切り花形質および形態異常花序の発生は6個体について調査した。

### 結 果

処理中の日最高気温および日最低気温の平均温度は22.7℃、7.9℃であった。処理開始時の花芽発育段階はシュート長14.0、21.2、30.8および41.3cmでそれぞれ栄養成長～茎頂膨大期、茎頂膨大期～がく片形成期、がく片形成期および花弁形成期に対応し、節数は6.8、8.8、13.2、14.0であった(第3-9図A, B)。タイプ3の発生率は20cm区で最も高くなり、30cm区では大きく低下



**Fig. 3-9.** Shoot growth (A) and developmental stages of the apical bud (B) in *Gypsophila paniculata* 'Altair' at the start ( ● ) of 7°C for 15 days.



**Fig. 3-10.** Effect of low temperature (7°C, 15 days) at different developmental stages of shoot on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching). Vertical bars indicate SE (n=6)

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6)

した． 対照区と 40 cm 区においてタイプ 3 の発生は認められなかった（第 3-10 図 A）． タイプ 3 の発生か所数においても同様の傾向が認められた． タイプ 3 の発生か所数は加温開始時のシュート長が 10 cm, 20 cm, 30 cm 区でそれぞれ 1.0, 2.8, 1.0 であった（第 3-10 図 A）． タイプ 1 およびタイプ 2 の発生か所数は処理に関わらずそれぞれ 9~15 か所, 1~3 か所であった（データ未掲載）．

タイプ 3 による小花損失割合は 20 cm 区で 8.9% と最も高く, 30 cm 区の 1.5% と比較して有意に高かった． 対照区と 40 cm 区においてタイプ 3 による損失は認められなかった（第 3-10 図 B）． タイプ 1 およびタイプ 2 による小花損失割合は処理に関わらずそれぞれ 4~5%, 1~4% であった（データ未掲載）．

## 第 6 節 考 察

第 1 節より, タイプ 3 の形態異常花序は夜間の低温によって発生すると推察された． また, 冬季の実験と比較して夏季の実験ではタイプ 3 の小花損失割合が低かった． 夏季の昼温は冬季と比較して著しく高いことから, 形態異常花序の発生には夜間だけでなく, 昼間の温度も関係すると推察される． また, 冬季の低温遭遇日数と比較して, 夏季の処理期間（5℃ 15 日間）が短いことも関係している可能性がある．

一方, タイプ 1 とタイプ 2 の発生には季節変動がみられず（第 1 節, 第 1-6 図）, いずれの温度でもほぼ一定の割合で発生が認められたことから（第 3-1 図）, タイプ 1 とタイプ 2 の発生は低温が主要因でないと考えられた．

根域温度が低下するとエンゲルマントウヒの葉の気孔コンダクタンスと光合成速度が低下する（Delucia, 1986）． また, 根域加温により, ナスの個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し, 株の吸水量が大きくなり, 主枝および根の生長が旺盛になったと報告されている（森山ら, 2012）． そこで, 地温の管理による形態異常花序発生の抑制という観点から, 地温（8℃, 12℃, 16℃,

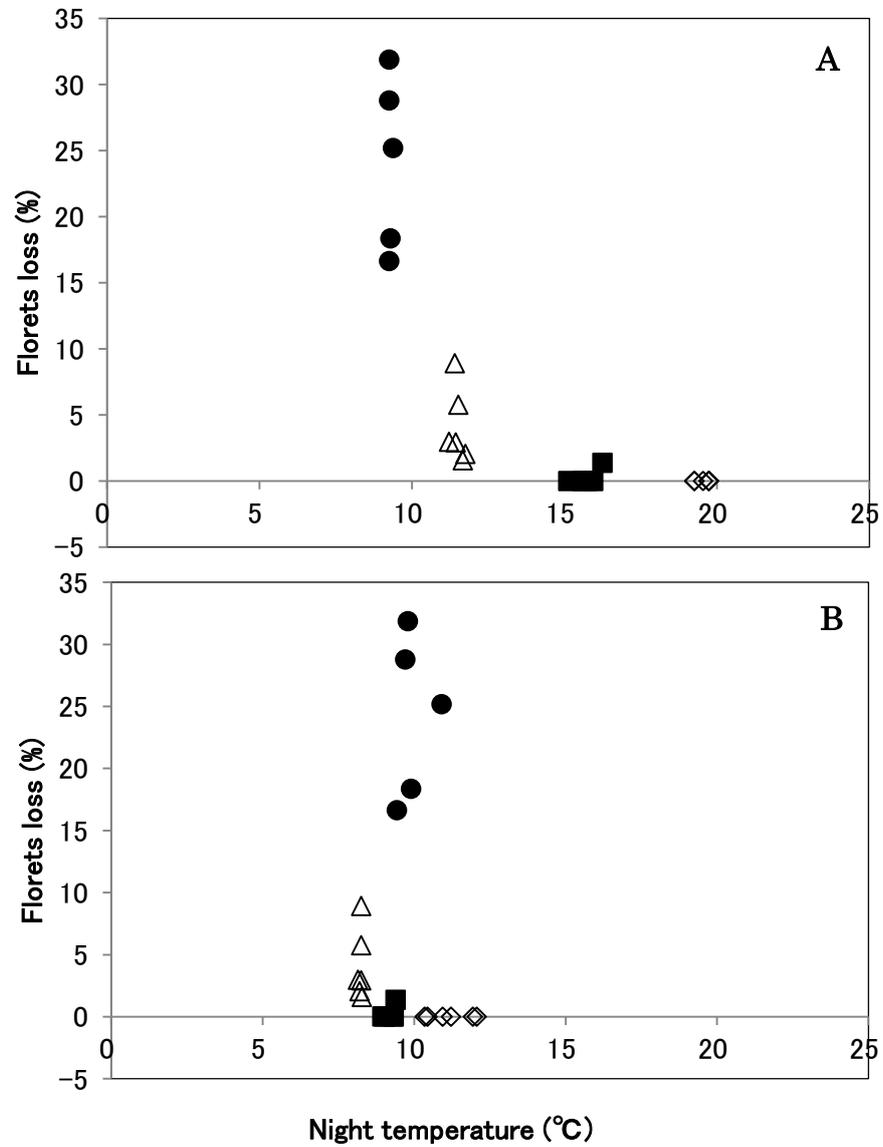
20℃)が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査したが、地温の影響は認められなかった(第3-4図)。地温8℃区は70%の個体でタイプ3が発生し、12℃区では66.7%、16℃区では77.8%、20℃区では66.7%の個体で発生し、発生割合にほとんど差がなかったうえに小花損失割合にも差は認められなかった。切り花長、切り花重および節数に関しても地温による有意な差は認められなかった。地下部の加温のみでは形態異常花序の発生を軽減できなかったことから、シュッコンカスミソウの形態異常花序の発生抑制には地上部を加温する必要があると考えられた。

冬季の切り花調査の結果、切り花長、切り花重および節数は最低気温が高くなるにつれて減少する傾向にあり(第3-1表)、切り花重および節数の値は7℃区および11℃区と比較して15℃区で著しく小さかった。夏季の冷蔵庫を用いた実験では、切り花重と節数は成り行き区と比較して夜温5℃区で有意に大きくなった(第3-2表)。切り花長には有意な差は認められなかった。

以上の結果より、切り花長および切り花重は最低気温が低いほど優れることが明らかになった。15℃区と比較して11℃区では有意な差はないものの切り花長および切り花重は増加したことから、形態異常花序発生の抑制と切り花のボリューム改善を両立するには11℃程度の加温が有効であると考えられた。

### **形態異常花序発生と低温遭遇時期および遭遇量の関係**

第1節の結果から、タイプ3の発生は最低気温が低いほど増加し、特に11℃以下の温度で増加することが示された。そこで、形態異常花序の発生はどの生育時期の低温が影響を及ぼしているのか検討するために、第1章 第1節の栽培期間中の平均夜温とタイプ3の小花損失割合との関係を分析した(第3-11図)。夜温は18:00から翌朝の6:00までとして1シュートごとに摘心から発蕾(第3-11図A)、発蕾から開花までの期間(第3-11図B)の平均夜温と小花損失割合との関係について調査した。9月16日、10月2日および10月



**Fig. 3-11.** Relationship between floret loss caused by Type 3 branching and mean night temperature (18:00-6:00) (A) from pinching to budding, and (B) from budding to flowering.

Planting date : ◇ 9/2, ■ 9/16, △ 10/2, ● 10/16

**Table 3-6.** Correlation coefficient between cumulative hours exposed to low temperature and floret loss caused by Type 3.

Temperature (°C)	Exposure period	
	Pinching to Budding	Budding to Flowering
≤ 9	0.819	0.010
≤ 11	0.788	0.016
≤ 13	0.766	0.004
≤ 15	0.745	0.010

16 日定植区の中に発蕾から開花までの平均夜温に差はほとんど認められないが（第 3-11 図 B），花序損失割合に大きな差が認められた（第 3-11 図 A）．また，摘心から発蕾までの平均夜温が約 11℃であった 10 月 2 日定植区は，約 9℃であった 10 月 16 日定植区より小花損失割合が著しく小さかった．よって，摘心から発蕾までにおける夜間の温度差が形態異常花序発生に強く影響を及ぼした可能性が高いと考えられる．第 1 節の結果と合わせて判断して形態異常花序発生の抑制のためには最低気温 11℃程度の加温が基準になり得ると考えられた．

摘心から発蕾までの低温遭遇による影響をさらに詳細に調査するために，摘心から発蕾までの期間における 9℃，11℃，13℃および 15℃以下の低温への積算遭遇時間とタイプ 3 による小花損失割合との相関係数を算出した（第 3-6 表）．併せて，発蕾から開花までの積算低温遭遇時間についても相関係数を算出した．タイプ 3 による小花損失割合と摘心から発蕾まで積算低温遭遇時間との間に高い相関が認められたが，発蕾から開花までとの間には相関は認められなかったことから，摘心から発蕾までの夜間の低温がタイプ 3 の発生に影響を及ぼしていることが確認された．また，第 3-6 表において低温遭遇温度が低くなるにつれて相関係数は高くなったことから，11℃以下の低温遭遇量が多いほどタイプ 3 による形態異常花序発生は量的に助長されることが明らかになった．低温遭遇量によって形態異常が助長される現象は，ヒマワリの無加温栽培でも認められている（黒柳ら，2003）．低温期の 1 月に播種を行い 4 月に出荷するヒマワリの無加温栽培では，茎先端に複数の花が着く「複数花」や頂花と側花が癒着する「癒着花」などの奇形花が発生する．その発生要因は花芽発達期間中の氷点下の低温遭遇であり，奇形花の発生率は 1 日当たりの低温遭遇時間および低温遭遇日数が多くなるほど高くなると報告されており，本研究の結果と類似している．よって，シュッコンカスミソウ‘アルタイル’において重度の

形態異常花序であるタイプ 3 の発生は最低気温を高くすることで抑制できることが明らかになった。一方、切り花長と切り花重は最低気温が低いほど優れた。形態異常花序発生を抑制した上で、十分なボリュームの切り花を得るためには 11℃ の加温が有効であると考えられた。

さらに温度データの解析から、摘心から発蕾の期間における低温遭遇が形態異常花序の発生に関与することが示唆されたため、第 3 節では、短期間の高温処理を行うことで切り花のボリューム感を保ちつつ、形態異常花序発生の抑制が可能か検討した。シュート長約 20 cm から 8 週間加温した 0-8W 区および 2 週間加温した 0-2W 区で小花損失割合は低くなり、加温時期が遅くなるにつれて小花損失割合は増加した（第 3-5 図）。切り花調査の結果、0-8W 区の切り花長は他の処理区と比較して低下したことから形質の低下が認められたが、2 週間のみの加温では形質は低下しなかった（第 3-5 表）。0-8W 区の切り花長の低下はその他の処理区と比較して開花が約 1 か月早くなったためであると考えられる。これらのことから、8 週間の全期間加温せずに、2 週間の加温のみでも形態異常花序の発生を抑制でき、切り花形質も改善できることが明らかになった。

第 3 節では処理開始時のシュート長および節数の調査のみであるため、どのような生育段階の植物体に加温処理をすべきか明確ではない。また、シュート長 20 cm 未満における加温の影響について調査するため、第 4 節では、異なる生育段階における加温と形態異常花序発生の関係を調査した。タイプ 3 による小花損失割合は処理開始時のシュートが長くなるにつれて増加し、対照区で最も高かった（第 3-8 図 B）。30 cm 区と 40 cm 区における小花損失割合は 20 cm 区と比較して約 2 倍となった。以上から、シュート長が 1 cm ~ 20 cm、頂花における花芽発育段階が栄養成長からがく片形成期の 15℃ 加温に最も形態異常花序の発生を抑制する効果が認められた。

‘アルタイル’の形態異常花序の発生に関しても低温の影響を受けやすい生育段階があることが判明したが、第4節では、低温遭遇時期が異なり、環境条件が異なっていた。そこで第5節では、低温処理時の環境条件を統一するため、低温に遭遇しないように栽培した個体を異なる生育段階になるように整枝し、一斉に低温に遭遇させ、低温遭遇ステージが形態異常花序発生に及ぼす影響を調査した。タイプ3による小花損失割合は20 cm 区で最も高くなり、30 cm 区と比較して有意に高かった。対照区と40 cm 区においてタイプ3による損失は認められなかった（第3-10図B）。処理開始時のシュート20 cm 区の頂芽における花芽発育段階は茎頂膨大期からがく片形成期であった（第3-9図）。第4、5節の結果から、形態異常花序の発生には、花芽分化開始からがく片形成期までの低温遭遇が大きく関与していると考えられた。頂芽の花芽発育段階が栄養成長からがく片形成期に加温を行い、その時期に低温に遭遇させないことで形態異常花序の発生をかなり抑制できると考えられた。

秋ギク‘秀芳の力’の電照抑制栽培において、1~2月にかけて発蕾後の花首が一定方向に曲がったり、頂芽の花首と摘蕾した後の腋芽の花首とが癒着し、癒着した方向に花首が曲がる形態異常（首曲がり症）が多発し、その大きな発生要因は電照打ち切り後の花芽分化・発達期における低温、寡日照および養水分過多であると考えられている（谷川ら、1999）。花首曲がりの症状が決定されるのは、短日開始1週間後から3週間後までの期間であり、その期間は頂芽では総苞形成期から発蕾であると報告されている。また、低温期の1月に播種を行い4月に出荷するヒマワリの無加温栽培では、茎先端に複数の花が着く“複数花”や頂花と側花が癒着する“癒着花”などの奇形花が発生し、その発生要因は成長点膨大期以降の花芽発達期における氷点下の低温遭遇であると報告されており（黒柳ら、2003）、いずれも低温に感応する時期が本研究と類似している。特に秋ギク‘秀芳の力’の形態異常の症状が‘アルタイル’の形態異常

花序と類似していることから、首曲がり症（谷川ら，1999）と同様に形態異常花序は維管束組織の発達阻害によって生じるのかもしれない。

本研究により，シュッコンカスミノウ‘アルマイル’の形態異常花序は低温によって誘発され，茎頂膨大期頃が最も敏感に低温に感応することが示唆された。生産現場では摘心後，側枝を1株当たり3～5本に仕立てるため，同時に摘心を行っても側枝のシュート長に10 cm前後の生育のばらつきが生じる。15℃加温では切り花形質が低下し，日最低気温が9℃以下ではタイプ3による形態異常花序が増加することから（山口ら，2013），摘心直後からハウス内の全分枝の70～80%がシュート長30 cm程度に達するまで日最低気温を11℃以上に維持することで形態異常花序の発生を効率よく抑制できると推察される。本実験の結果から，最低気温を高くすることで形態異常花序の発生を軽減できることが明らかになったが，最低気温を高くしなくても昼温を高くすることで形態異常花序の発生を軽減できる可能性は否定できない。昼温を高めるほうが暖房コストを軽減できる場合が多いので，今後切り花形質に及ぼす影響も調査しながら，詳細に検討する必要がある。

さらに，トマト果実の細胞数や形態は，開花期頃までにほぼ決定していること（斉藤，1984），花芽分化前あるいは花芽発達期間中の低温は子房に対して形態的な異常を誘起し，乱形果などの奇形果が増加すると報告されている（深沢ら，1993；Hosokiら，1985）ことから，今後，形態異常花序個体の組織構造を観察し，細胞数や細胞の大きさを調査することでその発生の仕組みを明らかにする必要がある。

## 第4章 形態異常花序発生抑制のための効率的な加温方法の検討

### 第1節 間欠加温が形態異常花序発生に及ぼす影響

#### 目 的

形態異常花序は15℃に加温することでその発生を防ぐことができるが、生産現場での15℃加温は暖房コストがかかりすぎるため現状の普及は難しい。また、最低気温を上げると切り花長と切り花重が減少し、切り花形質が顕著に低下した。生産現場では摘心後、側枝を1株当たり3～5本に仕立てるため、同時に摘心を行っても側枝のシュート長に10cm前後の生育のばらつきが生じる。また、収穫時期をずらすために定植時期が異なりプラスチックハウス内で生育差が生じることがある。そのため、低温に敏感である摘心直後からがく片形成期の期間のみを加温することは難しい。

よって、本実験では加温と低温を繰り返す間欠加温により、形態異常花序発生の軽減と切り花のボリューム改善を両立させた上で、暖房コストの削減が可能であるか検討した。

#### 材料および方法

##### 1) 2012年

発根苗を2012年10月16日に6号ポットに定植、10月7日に摘心し1本仕立てにした。日最低気温を7℃と15℃以上に管理したプラスチックハウス間1日、2日、3日および5日ごとに移動させ、形態異常花序発生を評価した。間欠加温処理は11月28日から各個体の発蕾まで行った。処理開始時の平均シュート長は17.5cm（栄養成長～茎頂膨大期）であった。調査個体数は各処理区それぞれ6個体とした。

## 2) 2013 年

発根苗を 2013 年 10 月 17 日に 6 号ポットに定植，10 月 31 日に 5 節残して摘心し 1 本仕立てにした．日最低気温を 7℃と 15℃に管理したプラスチックハウス間を 3 日および 5 日ごとに移動させ，形態異常花序発生を評価した．間欠加温処理は 12 月 4 日から各個体の発蕾まで行った．処理開始時のシュート長は 5 cm (栄養成長期)であった．調査個体数は各処理区それぞれ 7 個体とした．

## 結 果

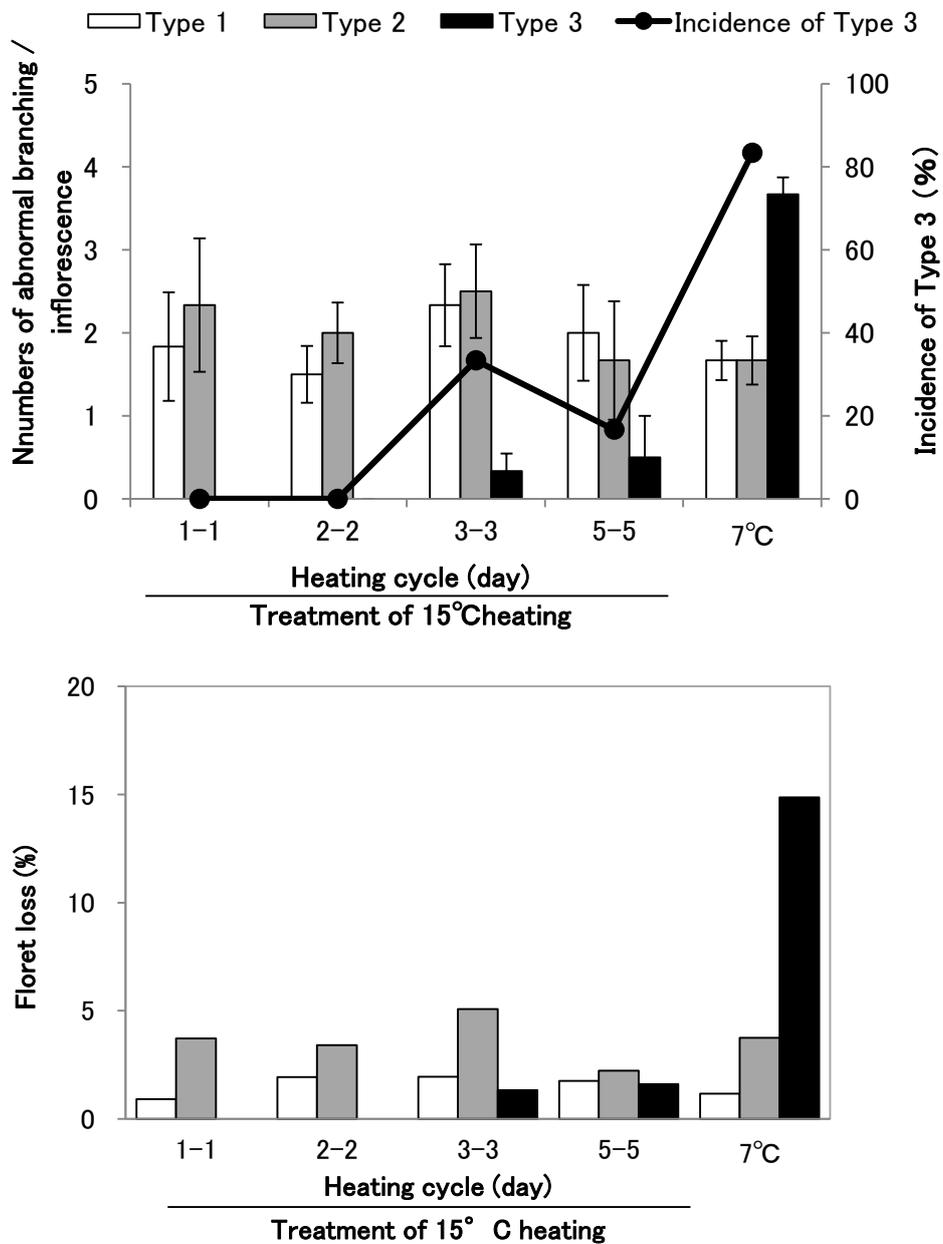
### 1) 2012 年

7℃区 (対照区) でタイプ 3 の発生率は最も高く，3-3，5-5 日区では大きく低下し，1-1，2-2 日区ではタイプ 3 の発生は認められなかった (第 4-1 図 A)．タイプ 3 の発生か所数も，7℃区で最も多く，3-3，5-5 日区では大きく低下した (第 4-1 図 A)．タイプ 1 およびタイプ 2 の発生か所数は処理に関わらずそれぞれ 1~2 か所であった．タイプ 3 の小花損失割合においても 7℃区で最も高く，3-3，5-5 日区では大きく低下し，1-1，2-2 日区では小花の損失は認められなかった (第 4-1 図 B)．

切り花長は 3-3 日区で最も大きくなった．間欠加温区と 7℃区に有意な差は認められなかった．切り花重は間欠加温区と比較して 7℃区で有意に大きくなった (第 4-1 表)．

### 2) 2013 年

7℃区のタイプ 3 発生か所数は他の処理区と比較して有意に増加した (第 4-2 表)．間欠加温区と 11℃区のタイプ 3 発生か所数に有意な差は認められなかった．タイプ 1 の発生か所数は処理に関わらずそれぞれ 3~6 か所で，タイプ 2 の発生か所数は処理に関わらずそれぞれ 1~2 か所であった．



**Fig. 4-1.** Effect of intermittent heating on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

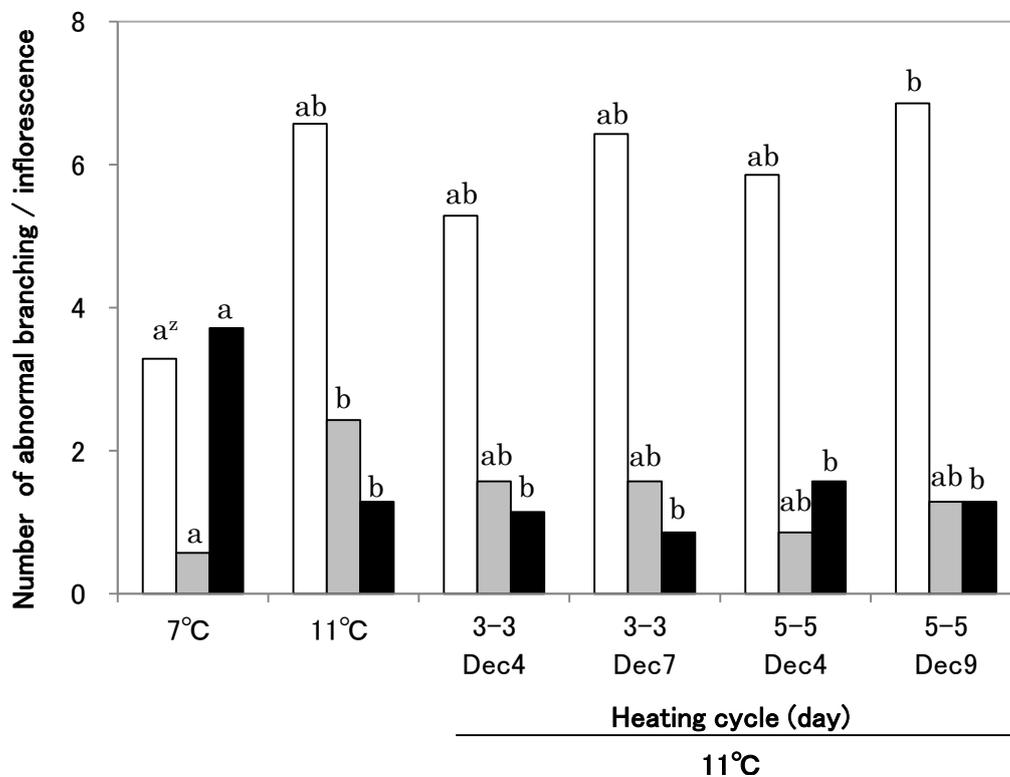
(A) Numbers of abnormal branches and rate of Type 3 incidence in an inflorescence, and (B) floret loss (= rate of non-marketable florets in an inflorescence caused by abnormal branching).

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6)

**Table 4-1.** Effect of intermittent heating on cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

Temperature	Heating cycle (day)	Date of flower budding		Date of blooming		Cut flower length (cm)		Cut flower weight (g)		Number of nodes	
7°C	—	1/1	b <sup>z</sup>	1/29	b	110.0	ab	102.5	b	19.8	a
15°C	1-1	12/17	a	1/14	a	105.5	a	69.0	a	19.0	a
	2-2	12/21	a	1/18	a	108.5	ab	74.5	a	20.2	a
	3-3	12/18	a	1/15	a	113.8	b	70.7	a	19.7	a
	5-5	12/17	a	1/12	a	108.3	ab	67.0	a	19.5	a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant difference at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6)



**Fig. 4-2.** Effect of intermittent heating on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6)

**Table 4-2.** Effect of intermittent heating on cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Temperature	Heating cycle	Date of Blooming		Cut flower length (cm)	Cut flower weight (g)	Number of Nodes
7°C	—	8-Apr	d <sup>z</sup>	119.3	128.6	25.4
	—	28-Feb	a	113.7	120.1	24.0
11°C	3D/3D-Dec4	25-Mar	bc	119.3	112.8	25.4
	3D/3D-Dec7	25-Mar	bc	120.0	118.3	25.7
	5D/5D-Dec4	31-Mar	bcd	115.0	103.7	26.0
	5D/5D-Dec9	25-Mar	b	123.6	127.0	25.4

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey's HSD test (n=6)

開花日は 11℃区，間欠加温区，7℃区の順に遅くなった（第 4-2 表）。いずれの処理区においても切り花長，切り花重に有意な差は認められなかった。11℃区において有意な節数の低下が認められた。

## 第 2 節 加温の時間帯が形態異常発生に及ぼす影響

### 目 的

トマトの変温管理法として，昼間の光合成によって生成された光合成産物は夕方から数時間で転流が始まるため，施設内の温度を高め設定し転流促進を図る。その後は呼吸による消費を抑制するために最低温度で管理する。更に，日の出とともに始まる光合成を促進するため，早朝にも温度を高め栽培することから（吉岡・高橋，1981），形態異常花序発生軽減と切り花のボリューム改善を両立させた上で，暖房コストの削減が可能であるか検討するため，夜間の加温時間を前夜半と後夜半に分け，加温の時間帯が形態異常発生に及ぼす影響を調査した。

### 材料および方法

発根苗を 2013 年 10 月 17 日に 6 号ポットに定植，10 月 31 日に 5 節残して摘心し 1 本仕立てにした。プラスチックハウス内に 120cm×160cm×140cm の枠を設置し，両サイドは換気できるようにビニルで覆った。電熱線を張ったすのこを用いて加温を行った（第 4-3 図）。加温時間は前夜半を 16：30～24：00，後夜半を 1：30～9：00 とした。処理は 2013 年 12 月 11 日から 2014 年 1 月 22 日まで行った。調査個体数は各処理区それぞれ 7 個体とした。



**Fig. 4-3.** Scheme of heating device.

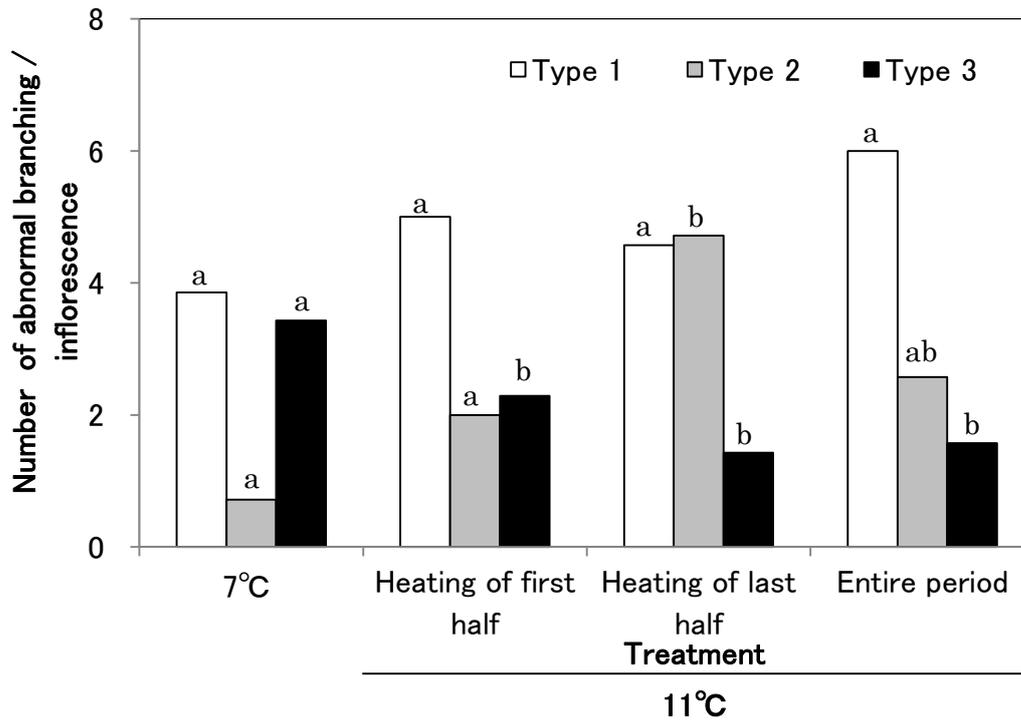
## 結 果

タイプ 3 の発生か所数は 7℃区で最も高く，その他の処理区と比較して有意に増加した（第 4-4 図）．タイプ 1 およびタイプ 2 の発生か所数はいずれの処理区でも 4~6 か所，1~5 か所であった．開花は 7℃区で有意に遅くなり，その他の処理区と比較して約 2 週間遅かった．いずれの処理区においても切り花長，切り花重および節数に有意な差は認められなかった（第 4-3 表）．

## 第 3 節 考 察

2012 年，2013 年ともに 7℃区と比較して間欠加温区のタイプ 3 の発生は有意に低下したことから，間欠加温は 11℃および 15℃加温と同程度の形態異常花序抑制効果が得られることが明らかになった．切り花調査の結果，2012 年度では，間欠加温区の切り花重に有意な低下が認められたが切り花長に有意な差は認められなかった．2013 年度では，切り花長，切り花重に有意な差は認められなかったことから，間欠加温することで長期加温による切り花品質の低下を抑制することができた．

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前夜半の温度で果実への同化産物の転流を促す効果があり，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と報告されており（吉岡・高橋，1981），本実験でも 7℃区と比較して後夜半区および前夜半においてタイプ 3 の形態異常花序発生か所数は有意に低下したことから，同化産物の転流が促進されたことにより形態異常花序は抑制された可能性がある．また，前夜半および後夜半ともに 11℃加温と同程度の形態異常花序抑制効果を得ることができた．処理期間中における 9℃以下の積算低温遭遇時間は 7℃区，前夜半区および後夜半区でそれぞれ 534.3h，299.5h，240.7h であり，8℃以下の積算低温遭遇時間は 7℃区，前夜半区および後夜半区でそれぞれ 444.8h，226.7h，



**Fig. 4-4.** Effect of heating period of a day on occurrence of abnormal branching in *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD test (n=6)

**Table 4-3.** Effect of heating period of a day on cut flower characteristics of *Gypsophila paniculata* ‘Altair’.

Temperature	Treatment	Date of Blooming		Cut flower length (cm)		Cut flower weight (g)		Number of Nodes	
7°C	Entire period	10-Apr	a <sup>z</sup>	117.9	a	116.4	a	25.9	a
	Heating of first half	30-Mar	b	121.4	a	117.6	a	26.3	a
11°C	Heating of last half	26-Mar	b	125.0	a	99.7	a	26.1	a
	Entire period	26-Mar	b	119.3	a	100.6	a	26.9	a

<sup>z</sup> Different letters indicate significant at  $P < 0.05$  by Tukey’s HSD test (n=7)

**Table 4-4.** Effect of heating period of a day on exposure period of *Gypsophila paniculata* 'Altair'.

Treatment	Exposure period (h)	
	$\leq 8^{\circ} \text{ C}$	$\leq 9^{\circ} \text{ C}$
7° C	444.8	534.3
Heating of first half	226.7	299.5
Heating of last half	160.3	240.7

160.3hであった。有意差はないものの前夜半区と比較して後夜半区でタイプ3の形態異常花序発生か所数が低下したのは積算低温遭遇時間が短いためだと考えられた。

以上から、間欠加温および変温管理は形態異常花序発生の防止に有効であることが明らかになった。また、間欠加温および変温管理することで切り花形質も改善することができた。

## 第 5 章 総 括

本研究では、形態異常花序は特徴と程度に基づいて 3 つのタイプ（1：茎が短い，2：2 本の茎が癒着，3：ひどく湾曲し変形）に分類し調査した。タイプ 3 の発生により多数の節の分枝が異常な形態になるため大きく草姿が損なわれ、生産者はタイプ 3 による形態異常花序部分を取り除いて出荷しなければならない。そのため、タイプ 3 の発生を抑制することが営利生産上重要である。よって、シュッコンカスミソウ‘アルマイル’における形態異常花序発生防止方法の開発を目的として、形態異常花序の発生要因を調査するとともに防止法を検討した。

第 1 章 第 1 節では、品種と形態異常花序発生との関係を調査した。タイプ 3 による小花損失割合は‘アルマイル’で 4.0%と最も高く、その他の品種と比較して有意に高かったことから、‘アルマイル’は従来のも主要品種である‘ブリストル・フェアリー’や‘雪ん子’と比較してタイプ 3 による形態異常花序の発生が増加することが明らかになった。

次に、第 2 節では形態異常花序発生の季節変動を調査したところ、形態異常花序の発生は初冬から早春にかけて増加するという季節変動が確認された。また、軽度なタイプ 1 とタイプ 2 による形態異常花序は、開花時期に関係なくほぼ一定の割合で発生が認められたのに対して、切り花の外観を大きく損なうタイプ 3 は 3 月開花の個体で大幅に増加した。

第 1 章で形態異常花序の発生に季節変動が認められたことから、なんらかの環境条件の影響が考えられた。そのため第 2 章では、環境要因として、日長、補光強度および 75%の遮光処理時期が形態異常花序に及ぼす影響について調査したが、一定の傾向は認められなかった。一方、タイプ 3 の発生は日最低気温 15℃に加温すると有意に低下した。ところが、切り花重と切り花長が減少するため、切り花としての価値が大きく低下した。また、生産現場での 15℃加温

は暖房コストが増加するため一般的な普及技術とはなり得ない。従って、形態異常花序発生を軽減および切り花のボリューム感改善を両立させた上で暖房コストの削減が可能な温度管理法を確立する必要があると考えられた。

第2章 第4節の結果よりタイプ3の発生には最低気温の影響が大きかったことから、第3章では温度条件が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査した。第1節では、最低気温に着目し、日最低気温7℃、11℃および15℃に制御したプラスチックハウス内で栽培を行った。その結果、最低気温が高くなるほどタイプ3の発生は低下し、切り花形質も低下することが明らかになった。夏季においても低温を与えることで形態異常花序が発生するのかを検証するために、冷蔵庫を用いて夜間（17:00～翌朝8:30まで）の低温処理が形態異常花序発生に及ぼす影響を調査した。その結果、無処理区（平均最低気温19.1℃）では全く発生は認められなかったのに対して、夜温5℃区では50%の個体でタイプ3が発生した。以上のことから、タイプ3の発生は夜間の低温によって誘発されると推察された。また、冬季の実験と比較して夏季の実験ではタイプ3発生割合が低かった。夏季の昼温は冬季と比較して著しく高いことから、形態異常花序の発生には夜間だけでなく、昼間の温度も関係すると推察された。また、冬季の低温遭遇日数と比較して、夏季の処理期間（5℃15日間）が短いことも関係している可能性がある。次に第2節では、地温の管理による形態異常花序発生抑制という観点から、地温（8℃、12℃、16℃、20℃）が形態異常花序発生に及ぼす影響について調査したが、地温の影響は認められなかった。切り花長、切り花重および節数に関しても地温による有意な差は認められなかった。地下部の加温のみでは形態異常花序の発生を軽減できなかったことから、シュッコンカスミソウの形態異常花序の発生抑制には地上部を加温する必要があると考えられた。以上の結果より、切り花長および切り花重は最低気温が低いほど優れることが明らかになった。15℃区と比較して11℃区では有意な差は

ないものの切り花長および切り花重は増加したことから、形態異常花序発生の抑制と切り花のボリューム改善を両立するには 11℃程度の加温が有効であると考えられた。

続いて第 3 節では、どのような生育段階の植物体に加温処理をすると効率的であるのかを明確にするため、加温時期と形態異常花序の発生程度との関係を調査したシュート長約 20 cm から 8 週間加温した 0-8W 区および 2 週間加温した 0-2W 区でタイプ 3 の発生は低下し、加温時期が遅くなるにつれてタイプ 3 の発生は増加した。切り花調査の結果、0-8W 区の切り花長は他の処理区と比較して短かったが、2 週間のみの加温では切り花形質は低下しなかった。0-8W 区の切り花長の低下はその他の処理区と比較して開花が約 1 か月早くなったためだと考えられる。これらのことから、処理直後 2 週間の加温のみでタイプ 3 の発生を抑制させ、切り花形質も改善できることが明らかになった。

第 4 節、第 5 節では低温処理および高温処理前後の花芽分化段階を観察した。

シュート長 10cm~40cm の個体に対して 15 日間の高温処理を行った結果、タイプ 3 の発生は処理開始時のシュートが長くなるにつれて増加した。また、シュート長 1cm~40cm の個体に対して 15 日間の低温処理を行った結果、タイプ 3 の発生は 20 cm 区で最も高くなり、30 cm 区と比較して有意に高かった。40 cm 区においてタイプ 3 の発生は認められなかった。最も低温処理の影響が大きかったシュート 20 cm 区の頂芽における花芽発育段階は茎頂膨大期からがく片形成期であった。従って、形態異常花序の発生には、頂花における花芽発育段階が栄養成長からがく片形成期までの低温遭遇が大きく関与していると考えられた。頂芽の花芽発育段階が栄養成長からがく片形成期に加温を行い、その時期に低温に遭遇させないことでタイプ 3 の発生をかなり抑制でき、タイプ 3 は低温によって誘発され、茎頂膨大期頃が最も敏感に低温に感応することが示唆された。生産現場では摘心後、側枝を 1 株当たり 3~5 本に仕立てるため、

同時に摘心を行っても側枝のシュート長に 10 cm 前後の生育のばらつきが生じる。15℃加温では切り花形質が低下し、日最低気温が 9℃以下ではタイプ 3 の発生が増加することから、摘心直後からハウス内全分枝の 70～80%がシュート長 30 cm 程度に達するまで日最低気温を 11℃以上に加温することで形態異常花序の発生を効率よく抑制できると推察された。

第 4 章では、生産現場においてハウス内で生育差が生じるため、低温に敏感である摘心直後からがく片形成期の期間のみを加温することは難しい。そこで、加温と低温を繰り返す間欠加温および夜間の加温時間を前夜半と後夜半に分け、加温の時間帯が形態異常発生に及ぼす影響を調査することにより、形態異常花序発生の軽減と切り花形質の改善を同時に解決するための加温方法および暖房コストの削減が可能であるか検討した。第 1 節の結果、タイプ 3 の発生は 7℃区と比較して間欠加温区で有意に低下した。よって、間欠加温は 11℃および 15℃加温と同程度の形態異常花序発生抑制効果が得られることが明らかになった。切り花調査の結果、2012 年度では、間欠加温区の切り花重に有意な低下が認められたが切り花長に有意な差は認められなかった。2013 年度では、切り花長、切り花重に有意な差は認められなかったことから、間欠加温することで長期加温による切り花品質の低下を抑制することができた。第 2 節の結果、7℃区と比較して後夜半区および前夜半においてタイプ 3 の形態異常花序発生か所数は有意に低下したことから、同化産物の転流が促進されたことにより形態異常花序は抑制される可能性が考えられた。また、前夜半および後夜半ともに 11℃加温と同程度の形態異常花序抑制効果を得ることができた。

以上のように、本研究の結果シュッコンカスミソウの中でも優れた切り花品質を有する‘アルマイル’の形態異常花序発生要因を解明し、発生防止を目的とする高品質な切り花生産のための温度管理技術を確立することができた。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり，終始懇切丁寧，かつ熱意のこもったご指導とご校閲を賜った岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の後藤丹十郎博士に対して深く感謝の意を表す．岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の吉田裕一博士には，植物形態学の観点から，ご指導とご鞭撻を賜った．岡山大学大学院環境生命科学研究科准教授の安場健一郎博士には，施設園芸での環境制御の観点から，ご指導とご鞭撻を賜った．ここに記し，厚く感謝の意を表す．元岡山大学大学院環境生命科学研究科准教授の村上賢治博士(現石川県立大学教授)，岡山大学大学院環境生命科学研究科助教の田中義行博士には，多くの有益な示唆と温かい激励を賜った．ここに記し，深謝する．

本研究を実施するにあたり，株式会社ミヨシ種苗谷一道氏，宮内勝久氏にはシュッコンカスミソウ‘アルタイル’に関する生産者の情報や供試苗をご提供頂いた．ここに記し，感謝の意を表す．

岡山大学農学部作物開花制御学研究室の皆様には，日々の栽培管理の支援や実験装置の製作および本研究の取りまとめにあたり多大なご協力を頂いた．ここに記し，深く感謝の意を表す．

## 引用文献

- 吾妻浅男・犬伏貞明．1986．シュッコンカスミソウの生育特性に関する研究(第1報)．さし芽苗のロゼット化の要因にて．高知園試研報．3：55－64．
- Cohat, J. 1993. Gladiolus. p. 297-320. In: De Hertogh, A., Le Nard, M. (Eds.), The physiology of flower bulbs. Elsevier, Amsterdam.
- Delucia, E. H. 1986. Effect of low root temperature on net photosynthesis, stomatal conductance and carbohydrate concentration in Engelmann

- spruce (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.) seedlings. *Tree Physiol.* 2: 143–154.
- 土井元章. 1993. シュツコンカスミソウの低温要求性に関する研究. 大阪府立大学紀要. 45 : 107–154
- 土井元章・武田恭明・浅平 端. 1990. シュツコンカスミソウの花芽形成. 園学雑. 59 : 621–626.
- Farina, E., Volpi, L. and Paterniani, T. 1984. Concetti essenziali relativi alla programmazione della fioritura della *Gypsophila paniculata* in condizioni di fotoperiodo *naturale*. *Risultati di un bienniodi prove*. *Ann. Ist. Sper. Flor.*, 15, 1–16. (InItalian)
- Farina, E., Volpi, L. and Paterniani, T. 1986. *Gypsophila paniculata* production in unheated greenhouse with normal day or long day conditions and comparison with open air production. Results of two-year trials. *Ann. Ist. Sper. Flor.*, 17, 1–15. (InItalian)
- 後藤丹十郎・小日置佳世子・大谷翔子・谷 一道・宮内勝久. 2011. シュツコンカスミソウの形態異常花序の発生要因について. 園学研. 10 (別 2) : 540.
- 林 孝洋・宮田弘恵・小西国義. 1992. シュツコンカスミソウの花序の構成と発達. 園学雑. 61 : 135–141.
- Hosoki, T., K. Ohta, T. Asahira and K. Ohta. 1985. Relationship between endogenous hormone and nutrient levels in shoot apices of tomato and occurrence of fruit malformation, and its control by auxin spray and nutritional restrictions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 54: 351–356.
- 深沢郁男・和田悦郎・木村 栄. 1993. トマトの窓あき果の発生要因について. 栃木農試研報. 40 : 13–28.

- 肥田和夫・村田治重・長池泰弘．1971．カーネーションの首曲がりに関する研究．園学要旨．昭46年春：284-285．
- 黒柳直彦・國武利浩・坂井康弘．2003．ヒマワリの4月出し栽培における奇形花発生と低温遭遇．福岡農総試研報．22：85－89．
- Kusey, W. E, Jr. T. C. Weiler, P. A . Hammer, B. K. Harbaugh and G. J. Wilfert. 1981. Seasonal and chemical influences on the flowering of *Gypsophila paniculata* 'Bristol Fairy' selections. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106 : 84－88.
- 斉藤 隆．1984．基礎編．果実の発育と成熟の生理生態．P115－142．農業技術体系野菜編トマト．農文協．東京．
- 三原義秋．1972．施設園芸の気候管理．p.102-104．誠文堂新光社．東京．
- 森山友幸・伏原 肇・奥 幸一郎．2012．局所加温の部位および時間帯がナスの形態および生理に及ぼす影響．園学研．11: 337-341．
- 農林水産省．2013．農林水産統計．平成24年度産花きの作付（収穫）面積および出荷量．  
〈<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000023543239>〉
- 大川 清・石原義啓・兵藤 宏・狩野 敦．1991．スイートピーの落らいに及ぼすエチレンの影響．園学雑．60：405-408．
- 奥殿 弘・谷口 保・藤本 治夫．1972．カーネーションの首曲がりに関する研究（第1報）栽培環境が首曲りの発生に及ぼす影響．兵庫農試研報．20：113-114．
- 佐本啓智．1986．カスミソウ p.168－173．阿部定夫他編著 花卉園芸の事典．朝倉書店．東京．
- Shillo, R. and A. H. Halevy. 1982. Interaction of photoperiod and temperature in flowering control of *Gypsophila paniculata* L. Sci. Hort.

16 : 385 – 393.

- 須藤憲一・国重正昭・西尾小作. 1987. 気温, 日長, 日射量がシュッコンカスミソウの生育に及ぼす影響. 野菜・茶試研報 A. 1 : 235-247.
- 高塚大資. 2014. いまこそ, カスミソウ. フローリスト. 32 : 66 – 67. 誠文堂新光社. 東京.
- 谷 一道. 2007. シュッコンカスミソウ「アルタイル」の栽培技術. 農耕と園芸 . 62 : 90 – 93. 誠文堂新光社. 東京.
- 谷川孝弘・小林泰生・松井 洋・松田由理子. 1999. キク花首曲がりの組織構造と‘秀芳の力’におけるその発生率の系統間差. 園学雑. 68 : 655 – 660.
- 山口訓史・後藤丹十郎・小日置佳世子・大谷翔子・吉田裕一. 2013. 日長, 補光強度, 遮光時期および最低夜温がシュッコンカスミソウ‘アルタイル’の形態異常花序発生に及ぼす影響. 岡山大農学報. 102 : 29 – 34.
- 山口訓史・大谷翔子・後藤丹十郎・小日置佳世子・大谷翔子・田中義行・吉田裕一. 2014. 最低気温がシュッコンカスミソウ‘アルタイル’の形態異常花序発生および切り花形質に及ぼす影響. 園学研. 13 : 161 – 167.
- 吉田 明・上岡誉富. 1972. カーネーションの首曲がりに関する研究(第2報) 日長と温度が首曲がりの発生に及ぼす影響. 兵庫農試研報. 20 : 115 – 118.
- 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(5) トマトにおける C 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. 野菜試験報 A. 9 : 63 – 81
- Zaccari, M., R. Ackerman, O. Genis, J. Riov and M. Zik. 2009. The bent peduncle phenomenon in roses is a developmental process involving auxin. Plant Sci. 176 : 736 – 743.