

第Ⅱ章 高温が開花及び生育に及ぼす影響

明期及び暗期温度が植物の花成や生育に及ぼす影響は品目によって異なることが古くから知られている。ダイズやオナモミ等の短日植物は明期温度より暗期温度が花成に強く影響するとされる(チャイラヒヤン, 1959; リュンガー, 1978)。一方で、長日植物の発育には明期温度の影響が大きいとされる(チャイラヒヤン, 1959)。エラチオール・ペゴニアの生育適温は一定温度の管理下では21℃前後とされる(Karlsson, 1992)が、明期と暗期の温度が異なる条件下では両温度の組み合わせにより花成及び生育が変化する。小泉(2002)は明期及び暗期温度と日長を組み合わせた実験において、開花は短日と長日のいずれにおいても温度が高いと早くなるとしている。また、草丈は短日条件では温度が高いほど長く、長日条件では温度の違いに関わらず短日条件に比べ長くなるとしている。しかし、これらの結果は明期30℃/暗期22.5℃以下の結果であり、近年の夏期の高温が開花及び生育に及ぼす影響については検討されていない。そこで、本章ではインキュベータを用いて人工的に気象を再現し、小泉(2002)の報告よりも高い温度域における明期及び暗期温度の違いが開花及び生育に及ぼす影響を検討した。

第1節 明期及び暗期温度の違いが開花及び生育に及ぼす影響

夏期の高温を想定した明期温度と暗期温度に設定し、明期温度と暗期温度が開花及び生育に及ぼす影響を検討した。

1. 材料及び方法

品種は「ネッチャダーク」(高松商事(株), 中生品種)を供試した。処理区は明期温度と暗期温度を組み合わせ、合計8区を設けた。インキュベータ(MIR-253, 三洋電機(株))の台数の関係から、1回の実験につき明期温度2水準と暗期温度2水準を組み合わせた4区を設け、2回実施した。1回目は明期温度30.0℃及び35.0℃, 暗期温度20.0℃及び25.0℃を組み合わせた4区とした。2回目は明期温度27.5℃及び32.5℃, 暗期温度20.0℃及び

25.0℃を組み合わせた4区とした。供試株数は1区4株とした。56日間育苗した発根苗を調整ピートモスとパーライトを1:1で混合した培養土を充填した3号黒色ポリポットに鉢上げし、上記設定のインキュベータに搬入した。インキュベータ搬入後は水溶性肥料(プロフェッショナルハイポネックス(N:P₂O₅:K₂O=20:20:20), ハイポネックスジャパン(株))の4,000倍液を溜めたトレイに高さ1cmで設置し、紐給水で管理した。相対湿度はなりゆき(46%~91%で推移)とした。明期は植物育成用蛍光灯(ビオルックスHG FL40SBR, NECライティング(株))をインキュベータ上部に設置し照射した。明期の光合成有効光量子束密度(以下PPFDとする)はポット表面で110~120 μmol/m²/sec, 照度は8,000~9,500lxであった。日長は、エラチオール・ペゴニアの限界日長が12.5時間~14時間である(小泉, 2002)ことと、9月~10月開花作型では栽培期間の大半が14時間以上の長日条件となり生産現場では栽培途中で短日処理を行うことから、インキュベータ搬入後14日間は16時間日長の長日条件、その後21日間は10時間日長の短日条件、短日処理終了以降から開花まで再度16時間日長の長日条件とした。調査は処理開始時(インキュベータ搬入日)、処理14日目(短日開始直前)、36日目(短日終了時)及び85日目(開花時)の主茎長及び主茎節数、処理開始85日目の乾物重(地上部及び地下部の合計)、到花日数及び第1花房の着生節位について実施した。

2. 結果

明期35.0℃の処理区は暗期温度の違いに関わらず、処理開始20日目頃から葉の黄化と生育の停滞が認められ、85日目までに全ての株が枯死した(写真1-1, 写真1-2)。そのため、以降の結果は明期35.0℃の処理区を除いて示した。

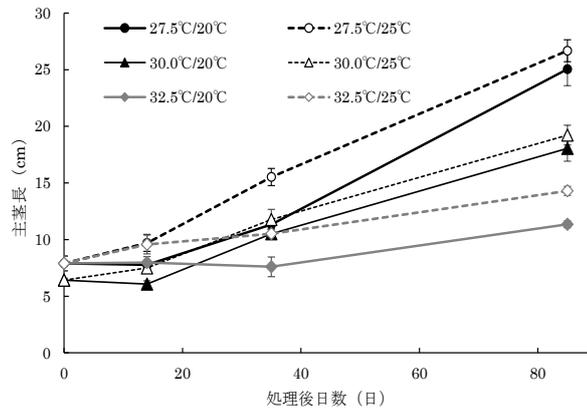
主茎長は、処理14日目までは温度の違いによる差は判然としなかったが、36日目以降は明期温度が低いほど長くなった。また、明期温度が同じ場合は、暗期温度が20.0℃区に比べ25.0℃区で長くなった(第2図)。



写真 1-1 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の開花及び生育に及ぼす影響①
 注) 左から明期温度/暗期温度 30.0°C/25.0°C, 30.0°C/20.0°C, 35.0°C/25.0°C, 35.0°C/20.0°C.



写真 1-2 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の開花及び生育に及ぼす影響②
 注) 左から明期温度/暗期温度 32.5°C/25.0°C, 32.5°C/20.0°C, 27.5°C/25.0°C, 27.5°C/20.0°C.



第 2 図 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の主茎長の推移に及ぼす影響
 注) 図中の縦棒は土標準誤差を示す (n=4).

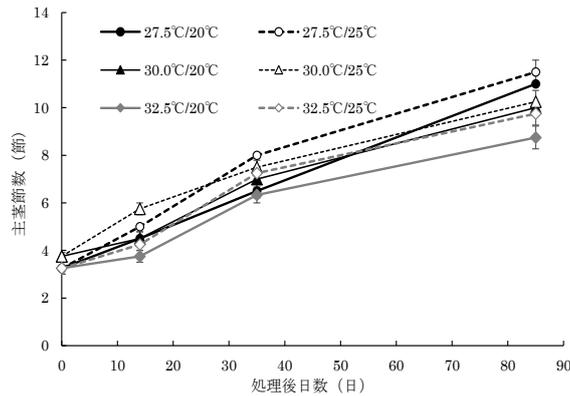
主茎節数は、同一の明期温度では、処理14日目以降に暗期温度25.0℃区が20.0℃区に比べ多くなる傾向が見られた（第3図）。

処理開始85日目時点の乾物重は、全ての区で変動係数が大きいものの、暗期温度の違いによる差は小さく、明期温度が高いほど乾物重が軽くなる傾向が見られた（第2表）。

到花日数は、明期27.5℃では暗期20.0℃区が25.0℃区に比べ約6日長

かった。明期30.0℃では暗期20.0℃区と25.0℃区で差はなかったが、20.0℃区に比べ25.0℃区の変動係数が大きかった。明期32.5℃では暗期20.0℃区が25.0℃区に比べ約6日早く、25.0℃区は変動係数が大きかった（第3表）。

第1花房の着生節位は、明期温度が同じ場合は、暗期温度20.0℃区に比べ25.0℃区で高節位となる傾向が見られた（第3表）。



第3図 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の主茎節数の推移に及ぼす影響
注) 図中の縦棒は土標準誤差を示す (n=4).

第2表 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の乾物重に及ぼす影響 (処理85日目)

明期 温度 (°C)	乾物重 (g)	
	暗期温度 (°C)	
	20.0	25.0
27.5	12.41 (0.23)	12.14 (0.18)
30.0	9.12 (0.18)	9.64 (0.16)
32.5	5.43 (0.09)	6.11 (0.14)

注) 各値は平均値 (変動係数) を示す (n=4).

第3表 明期及び暗期温度が「ネッチャダーク」の到花日数及び第1花房の着生節位に及ぼす影響

明期 温度 (°C)	到花日数 (日)		第1花房の着生節位 (節)	
	暗期温度 (°C)		暗期温度 (°C)	
	20.0	25.0	20.0	25.0
27.5	64.0 (0.05)	58.5 (0.01)	8.3 (0.05)	9.0 (0.00)
30.0	66.5 (0.04)	65.5 (0.17)	6.3 (0.07)	7.0 (0.10)
32.5	67.0 (0.00)	73.3 (0.13)	6.5 (0.08)	7.3 (0.06)

注) 各値は平均値 (変動係数) を示す (n=4).

3. 考察

小泉 (2002) はエラチオール・ペゴニアの温度と光の関係について、①人工光を用いて25°Cの条件とした際の光補償点は2,000~2,500lx, 光飽和点は20,000lx前後である、②自然光下の明期35°C/暗期25°Cでは葉のクロロフィル含有量が減少し、強光(110,000lx)では株が枯死し、弱光(43,000lx)でも株がわい化する、としている。また、自然光下で明期/暗期温度を25.0°C/17.5°C(中温区)もしくは30.0°C/22.5°C(高温区)とし、日長を8時間の短日もしくは4月~7月の自然日長下で管理を行うと、③草丈は短日条件では中温区より高温区で、自然日長では高温区より中温区で長くなる、④開花は短日条件と自然日長の両方で中温区より高温区で早くなる、としている。④の自然日長下の結果は、4月~7月の自然日長(日の出から日の入りの時間に常用薄明の40分を加えた値(米村, 1993))が13時間15分(4月1日)~14時間38分(7月31日)となり、エラチオール・ペゴニアの限界日長が12.5時間~14時間であることから、長日条件下での生育を示していると言える。

本実験は明期照度が8,000~9,500lxのインキュベータ内で管理を行い、27.5°C~32.5°Cの処理区については開花及び生育が認められた(写真1-1, 写真1-2)。このことに加え、上記の小泉の報告①から、光量不足による生育への影響は少ないと考えられた。主茎長は明期温度27.5°Cの処理区で最も長く、明期温度が高くなるに従い短くなり(第2図)、上記の小泉の報告③における自然日長での結果と同様の傾向を示したと言えた。これは、インキュベータ内で管理した85日間のうち短日条件とした21日間以外は長日条件であったため、長日条件下での生育に近い反応を示したためと考えられた。明期温度が高くなるに従い主茎長が短くなった原因として、明期温度が高いほど乾物重が軽かった(第2表)ことに加え、上記②の小泉の報告で温度が高いと葉のクロロフィル含有量が低下するとされていることから、温度が上がるにつれ光合成能力が低下し、同化量の減少を招いたためと推察された。一方で、明期温度が同じ処理では、暗期温度が低いと主茎長が短く、節数も少なくなり、その現象は明期温度が高い区ほど顕著となる傾向が見られた。カーネーションの同化産物は栽培気温もしくは植物体の温度の違いによって分配先が異なることが報告されている(Harris・Jeffcoat, 1974)。本実験では明期温度が同じ場合は暗期温度の違いに関わらず乾物重が同等であった(第2表)。このことから、暗期温度が異なることにより同化産物の分配が変化するために主茎長や節数が変化したと考えられた。

到花日数は、明期27.5°Cでは暗期温度の違いによる個体間差が小さく、暗期25.0°C区が20.0°C区に比べ早期に

開花した。しかし、明期30.0°C及び32.5°Cでは暗期20°C区は開花が安定する一方で、25.0°C区では個体差が大きくなる傾向が見られた(第3表)。上記④の小泉の報告(2002)では、日長の違いに関わらず、開花は中温区より高温区で早期に開花するとしている。そのため、本実験の明期27.5°Cの処理区については、暗期20°C区に比べ25.0°C区で平均気温が高くなることから、小泉の報告(2002)と同様の傾向を示したと言えた。一方で、明期30.0°C以上の処理区については平均気温が高くとも開花は早まらず、小泉の報告(2002)と異なる結果となった。開花の早晩を決定する要因として、花芽分化時期もしくは分化以降の発達速度の違いが想定される。花芽分化時期の指標として第1花房の着生節位を測定したところ、明期温度30.0°C及び32.5°Cでは、暗期温度の違いに関わらず、27.5°Cに比べ着生節位が低節位となった。また、明期温度の違いに関わらず、暗期温度が低いと第1花房の着生節位は低節位となった(第3表)。そのため、明期及び暗期温度は第1花房着生節位を変化させ、花芽分化時期に影響を及ぼすことが示唆された。しかし、主茎節数も暗期温度が同じであれば明期温度が低いほど少なく、明期温度が同じであれば暗期温度が低いと少なく推移した(第3図)。これらのことから、温度の違いによって到花日数が変化した原因は、花芽分化時期が変化したことによるものなのか、分化以降の発達が変化したためなのかは判断しなかった。また、明期30.0°Cの暗期25.0°C区と明期32.5°Cの暗期20.0°C区及び25.0°C区は上記④の小泉の報告(2002)にある高温区よりも更に高い温度設定であることから、より高い温度域が開花に及ぼす影響は、これまでの報告とは異なる反応を示すと推察された。

以上のことから、エラチオール・ペゴニアは明期温度が高くなるに従い暗期温度が開花及び生育に及ぼす影響が大きく変化すると考えられた。特に、開花については暗期温度が花芽分化もしくは発達に影響を及ぼしていると推察され、より詳細な分化・発達過程を明らかにする必要があると考えられた。

第2節 明期高温時の暗期温度が花芽分化及び発達に及ぼす影響

第II章第1節の結果から、明期30.0°C以上で短日処理を行うと暗期温度が低い条件で開花が安定することから、暗期温度は花芽の分化及び発達に強く影響することが示唆された。エラチオール・ペゴニアの温度に対する開花反応は古くから研究されている(Sandved, 1962; Powell・Bunt, 1985; Vogelesang, 1990)が、温度に対する花芽の分化及び発達に関する報告は見られない。そのため、暗期温度が花成に及ぼす影響を明らかとするに

は、花芽分化・発達過程を明らかにする必要がある。そこで本節では、インキュベータを用い、第II章第1節で開花への影響が最も顕著に表れた、明期32.5°C下における暗期温度の違いが花芽の分化及び発達に及ぼす影響を検討した。

1. 材料及び方法

品種は「ネッチャダーク」（高松商事(株)、中生品種）を供試した。試験区は明期温度を32.5°Cとし、暗期温度20.0°C区と25.0°C区の2区を設けた。赤土4：腐葉土3：ピートモス2：パーライト1の割合で混合した培養土を充填した3.5号黒色ポリポットに頂芽挿しを行い、挿し芽をした当日にインキュベータ（MLR-350、三洋電機(株)）に搬入した。処理を開始するまでは16時間日長で管理し、搬入後27日間は23.0°C一定で管理した。27日目に発根を確認した後、搬入後31日目までは25.0°C一定、35日目までは明期27.5°C/暗期25.0°C、41日目までは明期30.0°C/暗期25.0°Cと徐々に温度を上げ、高温順化を行った。42日目から上記試験区の条件で処理を開始し、日長は10時間とした。施肥は基肥として培養土緩効性肥料（マグアンプK（N：P₂O₅：K₂O=6：40：6））、ハイポネックスジャパン(株)を培養土に2g/Lを混合し、追肥として水溶性肥料（プロフェッショナルハイポネックス（N：P₂O₅：K₂O=20：20：20））、ハイポネックスジャパン(株)の2,000倍液を毎週1回底面給水で施用した。インキュベータ内の相対湿度はなりゆき（79%～90%で推移）とした。明期は植物育成用蛍光灯（ビオルックスHG FL40SBR、NECライティング(株)）をインキュベータの側面（3面）に設置し、インキュベータ中央部でPPFDを115～123 μmol/m²/secとした。調査は処理開始から42日目まで7日毎に実態顕微鏡（SZX10、オリンパス(株)）を用いて第1花房の花芽発達ステージを観察すると共に、第1花房の着生節位及び主茎節数を測定した。また、検鏡時に様々な花芽発達ステージの腋芽をサンプリングし、無水酢酸:95%エタノール:蒸留水=10:50:40の混合液に浸漬して保存した。保存したサンプルは後日デジタルマイクロスコ

ープ（VHX-2000、(株)キーエンス）を用いて写真を撮影した。調査株数は1回につき6株とした。調査を行う腋芽が第1花房であることの判断として、ベゴニア・センパフローレンス（*Begonia semperflorens*）では花房を形成した腋芽より上位節にある腋芽は全て花房となる（Berghof・Bruinsma, 1979）ことが報告されており、エラチオール・ベゴニアも同様であることから、調査時に最もステージが進んでいる最下節の腋芽を第1花房とした。

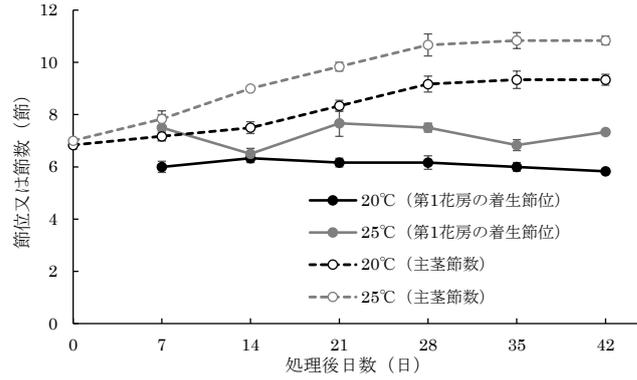
2. 結果

20.0°C区の第1花房の節位は調査終了まで6節前後で推移し、25.0°C区に比べ約1節少なかった。また、20.0°C区は処理7日目にステージIIの株が確認され、その時点の主茎節数は7節前後であった。20.0°C区の主茎節数は7日目から28日目にかけて増加し、28日目以降は主茎先端の成長点も花芽となり、最終的には9節前後となった。25°C区のステージIIの株は20.0°C区と同日の処理7日目に確認され、その時点の主茎節数は8節前後と20.0°C区に比べ約1節多かった。その後も20.0°C区に比べ25.0°C区の主茎節数は約1節多く推移した（第4図）。

写真2に花芽分化及び発達過程を示した。エラチオール・ベゴニアの花芽発達ステージについては報告が見られないことから、ベゴニア・ルツェルナ（*Begonia × lucerna hort.*）での報告（林, 1991）を基に雄花の発達状態で以下の7段階に分類した。

- ①ステージI：未分化
- ②ステージII：小花原基が分化
- ③ステージIII：苞葉原基が分化
- ④ステージIV：外花被が形成される
- ⑤ステージV：外花被の内側に内花被が形成される
- ⑥ステージVI：雄ずいが形成される
- ⑦ステージVII：雄ずい周辺の花弁が発達する

なお、ステージIIについては小花原基の肥大程度に個体差が認められたが、わずかでも肥大しており、苞葉原基の分化が認められなかった個体は全てステージIIと判断した。



第4図 明期 32.5°Cにおける暗期温度が「ネッチャダーク」の第1花房の着生節位及び主茎節数に及ぼす影響

注) 図中の縦棒は±標準誤差を示す (処理後日数7及び14はステージIIに移行した株数の誤差を, 処理後日数21以降はn=6の誤差を示す).

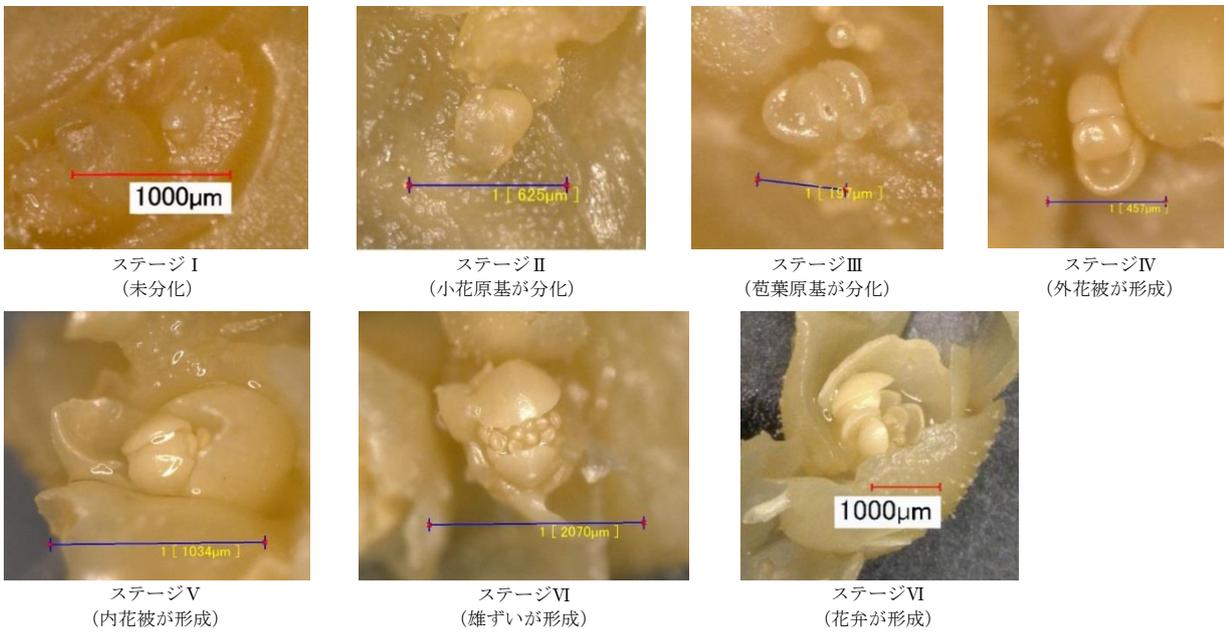


写真2 「ネッチャダーク」の花芽分化及び発達ステージ

第 5-1 図及び第 5-2 図に花芽分化及び発達ステージの推移を示した。両区とも処理 7 日目にはステージⅡに移行している株が現れたが、14 日目には 20.0℃区で全ての株がⅡ以上のステージに移行したのに対し、25.0℃区では調査株の半分以上がステージⅠであった。21 日目は、20.0℃区はステージⅣの株が多かったが、25.0℃区はス

テージⅢの株が多かった。28 日目以降は、20.0℃区では 28 日目はステージⅣの株が多く、35 日目と 42 日目はステージⅤの株が多かった。25.0℃区では、28 日目以降は個体差が大きくなる傾向が見られ、調査を終了した 42 日目ではステージⅢからステージⅦの株が混在していた。

処理後 日数 (日)	花芽分化・発達ステージ						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
0	● ●						
7	● ●	●					
14		● ●	●				
21			●	● ●	●		
28			●	● ●	●		
35			●	●	● ●		
42					● ●	●	

処理後 日数 (日)	花芽分化・発達ステージ						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
0	● ●						
7	● ●	●					
14	● ●	●					
21			● ●	●			
28			●	● ●	●	●	
35			●		● ●		
42			●		●	●	● ●

第 5-1 図 明期 32.5℃、暗期 20.0℃における「ネッチャダーク」の花芽分化及び発達推移

注) 花芽分化及び発達ステージは写真 2 を参照。

●は調査時に各ステージに該当した個体を示す (n=6)。

第 5-2 図 明期 32.5℃、暗期 25.0℃における「ネッチャダーク」の花芽分化及び発達推移

注) 花芽分化及び発達ステージは写真 2 を参照。

●は調査時に各ステージに該当した個体を示す (n=6)。

3. 考察

20.0℃区の第1花房の着生節位は25.0℃区に比べ1節程度低節位であった。また、処理7日目～14日にかけて両区とも多くの株がステージⅡに移行したが、その時点で20.0℃区の主茎節数は25.0℃区よりも1節程度少なかった(第4図, 第5-1図, 第5-2図)。そのため、20.0℃区の第1花房の着生節位が25.0℃区に比べ低節位となった原因は、主茎の生育速度が緩慢であることも影響したと考えられた。

検鏡の結果、エラチオール・ベゴニアの花芽分化及び発達はベゴニア・ルツェルナでの報告(林, 1991)と類似した変化を示した。すなわち、腋芽は苞葉の原基が分化(ステージⅢ)した後外花被が形成(ステージⅣ)し、その後内花被が形成された(ステージⅤ)。内花被が形成されると中心部で雄ずいとなるべき部位が形成された(ステージⅥ)が、「ネッチャダーク」の雄花は最終的に八重咲きとなることから、次第に形質が変化し、花弁状となった(ステージⅦ)となった。花芽分化及び発達の推移は、20.0℃区に比べ25.0℃区はステージⅠからステージⅣへの発達が遅かった。また、25.0℃区はステージⅢ以降の発達に個体差が見られた(第5-1図, 第5-2図)。そのため、25.0℃区は20.0℃区に比べ花芽分化が遅く、発達も抑制されると考えられた。林(1991)は、ベゴニア・ルツェルナ及びベゴニア・センパフローレンスでは光量を少なく同化量を不足させると花序の分枝数や小花数が減少するとしている。また同報(林, 1991)の中で、ベゴニア・ルツェルナの小花数を決定する小花原基の分化

は外花被形成期であると報告している。これらのことから、上記品目では同化量が不足すると外花被形成期までの分化・発達が抑制されると考えられる。また、キクでは暗期温度が高いと開花が抑制される(中野ら, 2017)が、その原因は高温により花芽の発達が抑制するためとされる(Nakanoら, 2013)。エラチオール・ベゴニアの花序はベゴニア・ルツェルナ及びベゴニア・センパフローレンスと同様の集散花序である(植村, 1994)ことから、花序の分化・発達は両種と類似することが示唆される。第Ⅱ章第1節では、明期温度27.5℃以上では温度が高くなるに従い同化量が減少した。そのため、明期温度が32.5℃である本実験は適温域の生育に比べ同化量が少ない環境にあったと言えた。これらのことから、本実験で25.0℃区が20.0℃区に比べ花芽分化及び発達が緩慢であった原因は、明期が高温で同化量が少ない条件になると、他のベゴニア属と同様に、花芽分化及び発達が抑制されやすい状態になり、その様な条件下では高温の暗期温度は花芽分化及び発達の抑制を助長するためと考えられた。

以上のことから、エラチオール・ベゴニアの開花は明期32.5℃下では暗期が高温になると花芽の分化・発達の抑制を助長すると考えられた。そのため、同様の明期温度下においても、暗期温度を低下させることにより、花芽の分化及び発達を安定できると考えられた。そのため、実際の栽培においても、明期が高温の条件下でも暗期温度を低下されることで開花揃いを改善できることが示唆された。