昼夜温度がキクの伸長成長に与える影響

誌名	植物環境工学
ISSN	18802028
著者名	清水,浩 高野,愛
発行元	日本植物工場学会
巻/号	20巻1号
掲載ページ	p. 8-13
発行年月	2008年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

昼夜温度がキクの伸長成長に与える影響

清水 浩・高野 愛

茨城大学農学部 300–0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3–21–1

Effect of day and night temperatures on stem elongation in *Chrysanthemum morifolium* Ramat.

Hiroshi SHIMIZU and Ai TAKANO

School of Agriculture, Ibaraki University, Ami, Ibaraki 300–0393, Japan

Abstract

Stem elongation in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Reagan' subjected to various DIF conditions (+10 DIF (day temperature:25℃/night temperature:15℃), 0 DIF (20/20) −10 DIF (15/25)) was analyzed using an image processing system. Fluorescent lamps provided photosynthetic photon flux (PPF) of 150 μmol m^{-2} s^{-1} on the canopy level with a 9 h photoperiod. Images of five plants were captured and stored every 10 minutes for 6 days. The stored images were analyzed using sub-pixel estimation with area based pattern matching. It was observed that daily stem elongation in *C. morifolium* Ramat. 'Reagan' responded well to DIF, and that stem elongation rapidly increased shortly after night began under all DIF conditions. This steep rise continued for approximately 60 minutes, and then the slope of the stem elongation decreased slightly. Stem elongation during the day was 0.5 to 1 mm under each DIF condition. However, stem elongation was 3 mm or more under + DIF condition, while it was only 1.5 mm under a −DIF condition during the dark period. It was found that the tendency toward extension growth was almost determined by the tendency of stem elongation during the night. Another interesting phenomenon was that stem elongation was greater under the lower temperature of 15℃ at night under a +DIF condition to a high temperature of 25℃ at night under a −DIF condition.

Keywords: chrysanthemum, DIF, image processing, kinetics,

はじめに

キクは花きの中でも生産量が最も多く重要な品目である．品種も多く鉢花，切花，食用までさまざまなものが栽培されている．これまで環境要因がキクの伸長成長に与える影響については多くの知見が得られている．Heins ら[1]が報告した DIF による草丈調節技術はキクにも有効であることが確認されており，現場でもこの技術が利用されている[2]．DIF に対するキクの反応に関しての研究では，Jensen[3]，Jacobsen ら[4]，Langton ら[5]の報告がある．これらの研究は，複数の DIF 環境下でキクを一定期間栽培し，最終的にどのような相違が見出されたかという手法である．Langton らは 24 通りもの昼間温度 (DT) と夜間温度 (NT) の組合せで実験を行ない，キクの伸長成長には DT，NT，DIF のうちいずれが最も影響を与えるのかを調べている．その結果，伸長成長には DIF よりも DT，NT が大きな影響を与えているとの結論を得ている．一方，DIF 環境下での差動変圧器やポテンショメータを用いた接触型の計測装置で，キクの伸長成長量を連続計測した研究もいくつか報告されている[6–9]．これらの報告ではいずれ

2007 年 6 月 8 日受付
2007 年 10 月 15 日受理
Corresponding author: Hiroshi Shimizu
(hshimizu@mx.ibaraki.ac.jp)

も暗期に顕著な伸長を示し，明期では伸長量は小さいと報告しており，Langtonら[5]の結果と一致しない点もある．一般に植物は接触することによりその伸長パターンが変化することも報告されており[10]，Langtonら[5]の結果と連続計測の結果の相違が接触計測に起因している可能性も否定できない．

そこで，本研究では，複数個体の植物を同時に非接触計測できる画像処理システムを用い，キクを対象としてDIF環境下における昼間および夜間の伸長成長量に着目して解析することを目的とした．

材料および方法

供試植物にはキク（*Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Reagan'）を用いた．親株から切り取ったさし穂（4～5 cm）を培土（ナプラ培土H150（ヤンマー（株））とバーミキュライトを1：1で混合）を充填したセルトレイ（128穴，口径30 mm，深さ45 mm）に挿し，気温20℃，光合成有効光量子束（PPF）100 μ mol m^{-2} s^{-1}（調光型蛍光灯，松下電工FHF32EX-N-Hを使用．PPFはLI-190 Quantum Sensor，LI-CORにて計測），日長12時間（06：00～18：00），光中断4時間（22：00～02：00，ナショナル シリカ電球40形LW100V36W，キャノピーレベルでのPPF実測値は約7 μ mol m^{-2} s^{-1}）に設定したグロースチャンバで3週間育苗した．十分な発根を確認したのち，親株の高温遭遇による苗の伸長低下を打破するため，気温5℃，PPF20 μ mol m^{-2} s^{-1}，日長12時間（06：00～18：00），光中断4時間（22：00～02：00）に設定したグロースチャンバで低温処理を1ヶ月施した．低温処理後，同様の培土を充填したプラスチックポット（口径10 cm，深さ9 cm）に鉢上げし気温20℃，湿度は成り行き，日長12時間（06：00～18：00），光中断4時間（22：00～02：00）の環境条件で10日間育苗し，計測に供試した．鉢上げ後は，液肥（ハイポネックス液，（株）ハイポネックスジャパン，N：P_2O_5：K_2O = 6：10：5）を100倍に希釈して潅水した．

Shimizuら[11]によって開発された画像処理システム3台をそれぞれ異なるDIF条件に設定した3つのグロースチャンバに設置した．チャンバの温度設定は，+10 DIF（DT：25℃/NT：15℃），0 DIF（20/20），−10 DIF(15/25)とし，PPF（150 μ mol m^{-2} s^{-1}）および日長（9時間，09：00～18：00）はいずれのチャンバでも同一とした．画像処理システムはステッピングモータで駆動されるCCDカメラの周囲に複数個体（最大10個体）の植物を配置し，任意のインターバル（ただし，ステッピングモータ駆動に要する時間以上）での画像取得が可能である．

供試したキクの葉身長約5 mmの未展開葉の節部に光反射シート（ライブラリー（株））から切出した約1 mm四方の切片（以後，反射マーカーと呼ぶ）を貼り付け，画像取込時に2秒だけ850 nmの赤外線照明装置を点灯し画像を取得した．なお，CCDカメラには赤外線フィルタを装着しており，赤外領域で画像取込を行なうことで，チャンバ内の蛍光灯の影響を排除し，昼夜とも同程度の濃度値を持つ画像を得た．

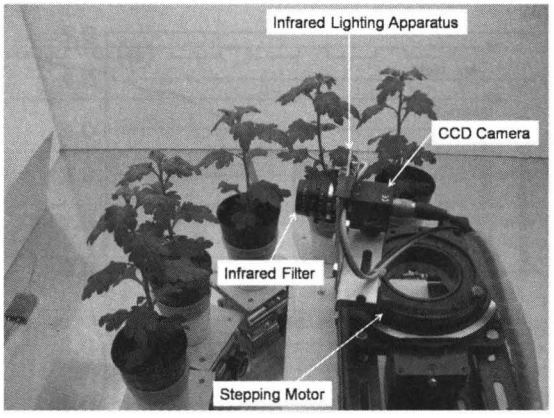

Fig. 1　Experimental setup.

本実験ではインターバルを10分に設定し，6日間画像取込を行ないコンピュータに保存した．6日間の画像取込終了後に保存された画像を順次ロードし画像解析を行なった．画像解析はサブピクセル手法のアルゴリズムを採用し[12]，画像分解能以下の推定が可能で，本システムにおいても0.1ピクセルまで正確に推定できることを確認した[11]．供試したキクの総数は15個体（各チャンバ，5個体）とした．画像計測時の様子をFig. 1に示す．なお，本論文では，未展開葉の節部に貼り付けた反射マーカーの縦軸方向の移動量をキクの伸長成長量と定義し，以下，この定義に従って伸長成長量の用語を使用する．

結果および考察

6日間のキクの伸長成長量の変化の一例（+10 DIFの条件）をFig. 2に示す．Fig. 2 (A)より，6日間で約20 mm伸長しており，一日目の伸長成長量が最も大きく日数が経過するにしたがって一日当りの伸長成長量が漸減していることがわかる．Fig. 2 (B)に6日間における一日ごとの伸長成長量を示す．計測開始1日目には約6 mmの伸長成長していたが，日を追うごとに一日当りの伸長成長量が減少し，6日目には2 mm程度しかないことがこの図からも明らかである．

このように実験開始後の日数によって一日当りの伸長成長量が大きく異なるため，各DIF条件ごとに2日目および3日目のデータを平均したものをFig. 3（各条件n = 5）に示す．こ

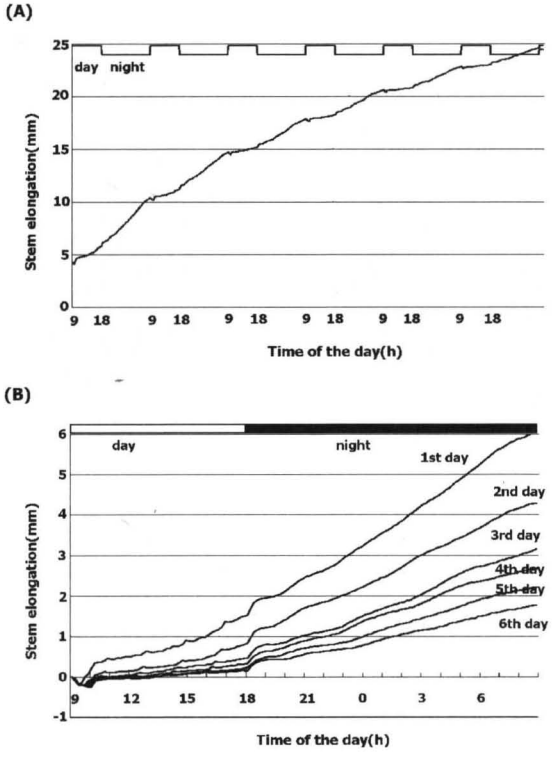

Fig. 2 Stem elongation profile in in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Reagan' under + 10 DIF condition.

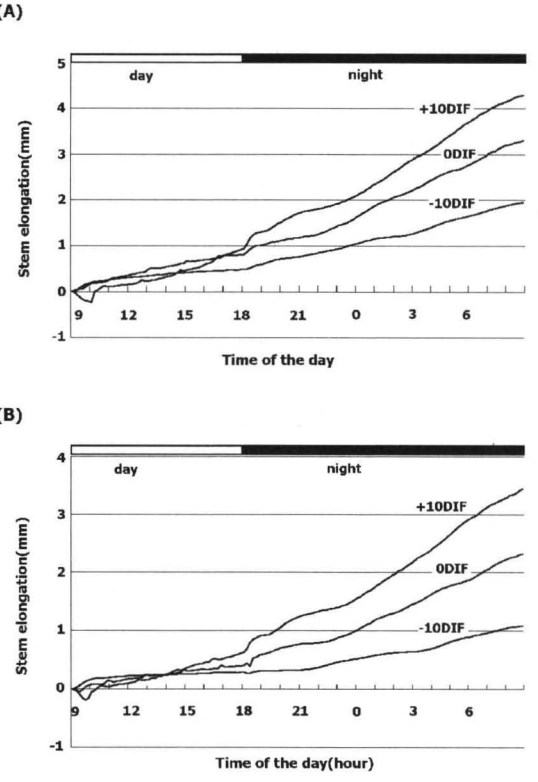

Fig. 3 Daily stem elongation under three DIF conditions.

こで第1日目のデータを用いなかったのは，実験環境条件に十分順化していない可能性も考えられたためである．また，4日目以降は伸長成長量が小さかったため，対象としなかった．Fig. 3よりいずれの日においても一日当りの伸長成長量は+ 10, 0, −10 DIFの順になっており，Heinsらの提唱しているDIFの値が大きくなるほど伸長成長量が促進されるというDIFの法則に当てはまっていることがわかる．また，DIF値が大きくなればキクの伸長成長量も増加するという結果は，Heinsら[13]がキクはDIFに反応するという報告や，Jensen[3]が *Dendranthemum grandiflorum* 'Choral Charm' やJacobsenら[4]が *Dendranthemum grandiflorum* 'Garland'を対象として0 DIFおよび負のDIFの影響を調べた報告と一致している．

一日当りの伸長パターンについてはいずれのDIF条件においても基本的に類似しており，暗期の伸長成長量は明期のそれよりも大きかった．伸長成長が最も著しかったのは，暗期開始後約1時間 (18:00 ～ 19:00) の期間で，DIF値が大きいほど顕著であったが，これは長くは持続せず暗期開始2時間後 (19:00頃) には傾きが緩やかになるが，それから約4時間後の23:00頃から再び若干上昇する傾向が観察された．暗期の伸長成長量が明期よりも大きいという結果については，ポテンショメータで *Dendranthema grandiflorum* 'Spice' の伸長成長量を連続的に計測したJacobsonら[8]の結果や，差動変圧器で *Dendranthema grandiflorum* 'Envy' の伸長成長量の連続計測をしたTuttyら[7]と同様であった．ただ，Jacobsonら[8]の報告では本研究で観察されたような暗期における伸長成長量の変化については言及されたおらず，掲載されているグラフからも判別できなかった．一方，Tuttyら[7]は差動変圧器から得られた値を差分やデジタルフィルタによる平滑化を行ない，伸長成長率 (Stem Elongation Rate:SER) を求め，暗期の後半にSERが次第に増加することや+ DIF条件下で明期の始まりにSERの顕著な増加があることを指摘しており，これらは本研究での結果と一致する．

さて次にこれらのデータから各DIF条件における2日目，3日目の一日当り，明期および暗期の伸長成長量を求めた結果をFig. 4に示す．つまり，明期と暗期の伸長成長量を加えると一日当りの伸長成長量になる．Fig. 4 (A) は2日目のデータであるがこれより，明期では平均値だけを見ると明期温度が

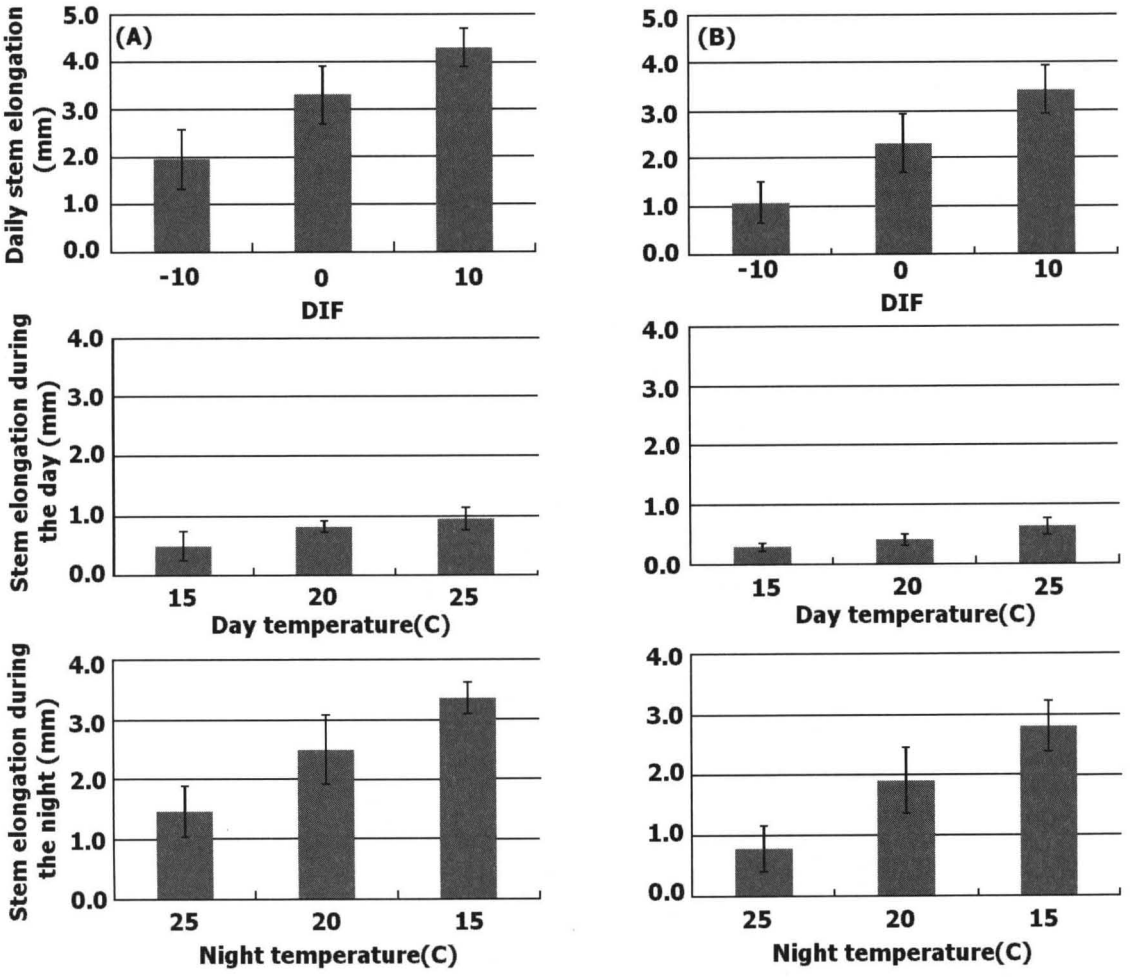

Fig. 4 Comparison of the amount of stem elongation in daytime and the night.

上昇するにしたがって大きくなっているが，いずれのDIF条件でも一日あたり0.5～1 mm程度の伸長であり大きな差があるとは言えない（統計的処理については後述）．一方，暗期では−10 DIFで一日あたり1.5 mmであるのに対して+10 DIFでは3 mm以上の伸長成長量であり，−10，0，+10 DIF条件での一日当りの伸長成長の傾向はほとんど暗期の伸長成長量の傾向で決定されていることがわかった．3日目(Fig. 4 (B))についても同様の傾向が認められ，明期はいずれのDIF条件下でも0.3～0.6 mmの伸長成長量であるのに対して，暗期では0.8～2.8 mmの伸長成長量があり，やはり一日当りの伸長成長量の傾向は暗期のそれでほぼ決まることが観察された．ここで興味深いのは，暗期温度と暗期の伸長成長量の関係で，−10 DIFの暗期温度が25℃，+10 DIFの暗期温度が15℃であり，2日目，3日目のいずれにおいても15℃の場合が25℃の場合の2倍以上の伸長成長を示した．Jacobsonら[4]やTuttyら[7]はこの点について特に触れていないが，彼らの論文のグラフを見る限り，温度そのものが低い+DIF条件の暗期の方が，温度が高い−DIF条件の暗期よりも伸長成長量あるいは伸長成長率が高いという類似の結果が得られている．

これらの統計的処理の結果をTable 1に示す．Table 1では，一日当り，明期および暗期についてDIF条件の効果があるか否かを分散分析によって求め，さらに多重比較(Scheffeの方法)も行なった．Table 1 (A)は2日目の結果であるが，分散分析の結果は一日当りと暗期の伸長成長量に1%水準で有意差が認められ，明期でも5%水準で有意差が認められた．一日あたり，明期，暗期のいずれにおいても分散分析の結果，有意差が認められたので，多重比較を行なったところ，

Table 1 Results of ANOVA and multiple comparison of DIF effect on stem elongation in one day, a light period, and a dark period.

(A)

ANOVA table

Subject	Factor	SS	df	MS	F	P
Daily elongation	DIF	12.522	2	6.2609	19.075	0.0003
	Error	3.6105	11	0.3282		
Elongation during the day	DIF	0.497	2	0.2485	6.7743	0.0121
	Error	0.4035	11	0.0367		
Elongation during the night	DIF	8.0963	2	4.0481	19.622	0.0002
	Error	2.2693	11	0.2063		

Sheffe test for multiple comparison

Subiect	Level 1	Level 2	P
Daily elongation	−10	10	0.0108
	−10	10	0.0003
	0	0	0.0760
Elongation during theday	−10	10	0.0631
	−10	10	0.0166
	0	0	0.6410
Elongationduring thenight	−10	10	0.0139
	−10	10	0.0003
	0	0	0.0495

(B)

ANOVA table

Subject	Factor	SS	df	MS	F	P
Daily elongation	DIF	12.393	2	6.1964	22.707	0.0001
	Error	3.0018	11	0.2729		
Elongation during the day	DIF	0.2584	2	0.1292	12.091	0.0017
	Error	0.1175	11	0.0107		
Elongation during the night	DIF	9.1589	2	4.5794	22.216	0.0001
	Error	2.2674	11	0.2061		

Sheffe test for multiple comparison

Subiect	Level 1	Level 2	P
Daily elongation	−10	0	0.0111
	−10	10	0.0001
	0	10	0.0272
Elongation during theday	−10	0	0.2554
	−10	10	0.0018
	0	10	0.0259
Elongation during the night	−10	0	0.0086
	−10	10	0.0001
	0	10	0.0413

一日当りの伸長成長量に関しては −10 DIF と 0 DIF, −10 DIF と+ 10 DIF の間にそれぞれ 1%, 5%水準で有意差が認められ, 暗期ではいずれの区間においても 1%あるいは 5%水準での有意差があったものの, 明期では −10DIF と+ 10DIF の間のみに 5%水準の有意差が認められたのみであった. 3日目 (Table 1 (B)) に関してもほぼ同様の結果が得られており, 分散分析では一日当り, 明期および暗期ともに 1%水準で有意差が認められ, 多重比較では一日当りと暗期で全ての組合せで有意差が認められ, 明期では −10 DIF と 0 DIF の間に有意差が認められなかった.

以上のように各 DIF 条件における暗期の伸長成長量について, 温度そのものが低い+ DIF の方が, 温度そのものが高い −DIF よりも大きくなることが統計的に認められたわけであるが, 一般に植物は適温の範囲内であれば, 温度が高い方が成長がよいとされている[14]. ただ, この一般論は明暗期の温度が同一か, あるいは自然界のように明暗期に温度差があっ

たとしても暗期の温度が高いときには明期の温度も高いような条件で言われていることであり，−DIF 条件のような人為的に創造しなければ起こり得ない環境条件では当てはまらないのかもしれない．

Langton ら[5]は明期温度および暗期温度について 24 通りの組合せでキクとトマトの伸長成長量を調べ，キクでは明期温度が大きな影響があると述べている．本研究では暗期温度を同一にし明期温度のみを変化させた実験区を組んでいないので直接的な比較はできないが，少なくとも明期温度が高い+ DIF 条件の方が伸長成長量が大きくなるという結果は得られているので，ある意味では同じなのかもしれない．

明期におけるキクの伸長成長は小さいことが本研究や Tutty ら[7]，Jacobson ら[4]の研究で確認されており，明期の温度は重要ではなさそうな印象をうけるが，Langton ら[5]の明期温度がトータルの伸長量に影響を与えるという報告や，本研究で得られた暗期温度が低い+ DIF 条件のほうが暗期における伸長成長量が大きくなるという現象から，明期の温度がそれに続く暗期の伸長成長に大きな影響を与えていることを示唆していると考えられる．

なお，本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究 (B)）「植物の茎頂部温度調節による多種の花壇苗に対応するわい化剤代替技術の開発」の助成を受けた．

摘　要

キク(*Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Reagan')を対象として，+10 DIF (DT：25℃/NT：15℃)，0 DIF (20/20)，−10DIF (15/25) の環境下での伸長成長量を画像計測システムで非接触連続計測（それぞれ n = 5) を行なった．その結果，いずれの DIF 条件においても暗期の伸長成長量が明期よりも大きいという結果となり，これまでに差動変圧器など接触型計測装置での報告と一致した．一日当りの伸長成長パターンについては暗期開始後約 1 時間に顕著な伸長があり，これは長くは持続せず暗期開始約 2 時間後には傾きが緩やかになるが，約 4 時間後に再び若干上昇する傾向が観察され，これは DIF 値が大きくなるほど顕著であった．明暗期それぞれにおける伸長成長量は，明期ではいずれの DIF 条件でも顕著な伸長は認められなかったが，暗期では DIF 値が大きいほど，つまり暗期温度が低いほど伸長成長が大きくなるという結果を得た．本研究での結果と過去の知見との考察より，明期の温度がそれに続く暗期の伸長成長に大きな影響を与えていると推察された．

引用文献

1) Heins RD, Erwin JE, Berghage RD, Karlsson MG, Biermbaum JA, Carlson WH. Use temperature to control plant height. Greenhouse Grower 6(9): 32–34. 1988.
2) Kauck DL. Growers on DIF. Greenhouse Grower 8(3): 67–70. 1990.
3) Jensen HEK. Influence of duration and placement of a high night temperature on morphogenesis of *Dendranthema grandiflorum* Tzvelev. Scientia Horticulturae 54(4): 327–335. 1993.
4) Jacobsen LH, Amsen MG and Nielsen OF. Negative DIF: Mean room temperature control and its effect on short-day plants. Danish Journal of Plant and Soil Science. 95: 41–447. 1991.
5) Langton F A, Cockshull KE. Is stem extension determined by DIF or by absolute day and night temperatures? Scientia Horticulturae 69: 229–237. 1997.
6) Bertram L, Karlsen P. Patterns in stem elongation rate in chrysanthemum and tomato plants in relation to irradiance and day/night temperature. Scientia Horticulturae 58: 139–150. 1994.
7) Tutty JR, Hicleton PR and Kristie DN. The influence of photoperiod and temperature on the kinetics of stem elongation in *Dendranthema grandiflorum*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(2): 138–143. 1994.
8) Jacobson BM, Willits DH and Nelson PV. Dynamic internode elongation in chrysanthemum. Applied Engineering in Agriculture 14(3): 311–316. 1998.
9) Hickleton P. DIF, limited DIF and stem elongation pattern in pot chrysanthemum. Greenhouse Canada 12(12): 28–29. 1992.
10) Jaffe MJ. Thigmomorphogenesis: The response of plant growth and development to mechanical stimulation. Planta 114: 143–157. 1973.
11) Shimizu H and Ma Z. Machine vision system for analysis of plant morphogenesis. Trans. of the ASAE. Submitted.
12) 清水雅夫，奥富正敏．画像のマッチングにおけるサブピクセル推定の意味と性質．電子情報通信学会論文誌．VOL. J85–DII No.12: 1791–1800. 2002.
13) Heins RD, Erwin J. Understanding and applying DIF. Greenhouse Grower 8(2): 73–78. 1990.
14) Heins RD. Choosing the best temperature for growth and flowering. Greenhouse Grower 8(5): 64–71. 1990.