

トサカケイトウのベタレイン系色素生成に関する研究

I. 光の影響について

坂田祐介・有隅健一

(観賞園芸学研究室)

昭和54年8月20日 受理

Studies on the Synthesis of Betalains in the Inflorescence of *Celosia cristata*

I. On the Effect of Light

Yūsuke SAKATA and Ken-ichi ARISUMI

(Laboratory of Ornamental Horticulture and Floriculture)

緒 言

ヒユ科植物のベタレイン系色素生成については、Garay および Towers⁴⁾ が *Amaranthus tricolor* の実生葉中のアマランチン合成に光が必要であることを報告して以来、Piattelli ら^{10,11,12)}、Stobart ら¹⁵⁾ および Nicola ら^{5,6)} は同種のアマランチン合成に対する光、前駆物質および生長調節物質の影響を詳細に検討している。また *A. caudatus* についても同様な報告があり^{2,3,8,9,16,17)}、両種の実生葉中でのベタレイン系色素の生合成について、全容がほぼ明らかにされるに至っている。

一方、*Celosia* 属植物では *C. plumosa* の実生葉中のベタレイン系色素生合成に関して、Sciuto ら¹⁴⁾ はベタキサンチン合成能を持つ品種に適当な前駆物質を与え、ベタシアニンが生成されることを認めているが、前述の *Amaranthus* 属植物で見られるような詳細な検討はなされていない。

ところで、トサカケイトウ (*C. cristata*) の花序の着色はベタレイン系色素によるものであるが、著者らはこれらの色素が光条件下で蓄積し、暗黒下で逆に減少するという現象を見出した。すなわち、赤色の花序は強光下でさらに赤く着色し、暗黒下で白化、およびその後強光下におくと再び赤く着色する (Fig. 1)

本研究は、このような光条件の如何によって着色→白化→再着色をするという特異な性質を持つトサカケイトウの花序について、ベタレイン系色素と光との関係を検討したものである。

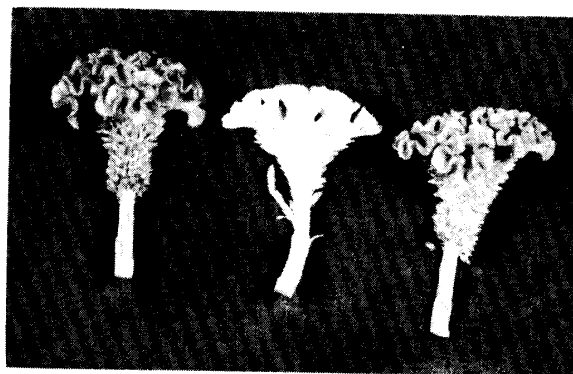


Fig. 1. Effect of light on the synthesis of betalains in the inflorescence of *Celosia cristata*.

- A: under natural day-light
B: 8 days dark-treatment
C: 8 days light-treatment after 8 days dark-treatment

材料および方法

トサカケイトウ「ピラミッド久留米」を3月下旬および5月中旬に播種し、それぞれ6月初旬および同下旬に露地に定植した。出蕾後、花序の長径は5月播種のものでは7月中旬にはほぼ3cm(出蕾後10~14日、発達前期)に、また3月播種のものでは6月下旬にほぼ5cm(出蕾後20~25日、発達中期)、7月下旬にほぼ9cm(出蕾後35~40日、発達後期)にそれぞれ達した。

これらの発達段階の異なる3つの花序をアルミ箔で被覆し(暗処理)、4日ごとに10花序ずつ採取して色素を分析した。一方発達前期と中期の花序について、それぞれ12日間と20日間の暗処理を行ない、いったん

花序を白化させた後アルミ箔を取り去り、再度太陽光にさらして明処理を行なった。花序の採取は明処理についても4日ごとに10花序ずつを取った。

ベタレイン系色素の抽出は Koehler⁹⁾ の方法に従った。すなわち、花序の先端部 3~4 mm の部分を切り取って細かく刻み、新鮮重 1 g あたり 5 ml の割合で蒸留水を加え、-20°C で凍結後解凍した。この凍結と解凍の操作を2回反復し得られた色素抽出液を綿栓ろ過後、ろ液をただちに島津二波長分光光度計 UV-200 型にかけ、400~700nm の範囲の吸収 (optical density) を測定した。本実験で用いたトサカケイトウの場合、ベタシアニン類は 534 nm、およびベタキササンチン類は 483 nm 付近で極大吸収を示し、690 nm より長波長域では吸光度はほぼ零であった。したがって、両色素の極大吸収波長における吸光度から 700 nm での吸光度をそれぞれ差引き、ベタシアニンとベタキササンチン色素の相対的濃度を算出した。

結果および考察

植物色素の生合成には光が大きく関与する。これまでこの方面の研究が広範に行なわれてきたのはアントシアニン色素についてであるが、光が充分に与えられないと色素の生成が抑えられたり、あるいはまったく生成されなかったりする例がイチゴ、リンゴ、バラおよびキンギョソウなどの果皮や花卉で知られている⁷⁾。これはベタレイン系色素についても同様で、*A. tricolor* や *A. caudatus* の実生を暗黒下で育てると、葉中にはアマランチンはほとんど生成されないという。本実験に供試したトサカケイトウの花序の色素も、*Amaranthus* 同様ベタレイン系色素にもとづくものであるが、Fig. 1 に示したように8日間の暗処理でほぼ完全に白化し、その後8日間明処理すると再びもとのように赤く着色した。その意味では本植物の色素の生合成も光が決定的な役割を果していることになるが、特に興味深いのは、いったん生成された色素が暗黒下で消失し、光によって再び生成されるという点である。著者らの知るかぎりでは、このような生成→消失→再生成が起る例はこのトサカケイトウが最初の事例である。

トサカケイトウの色素生成にはこのように特異的なところがある。本実験はその生合成の全ぼうを明らかにするための最初の段階として、花序の発達にともなう色素の量的変遷と光の影響を調べたものである。まず Fig. 2 は、花序の発達前期から後期にかけての自然光下でのベタレイン系色素の全量を経時的に測定し

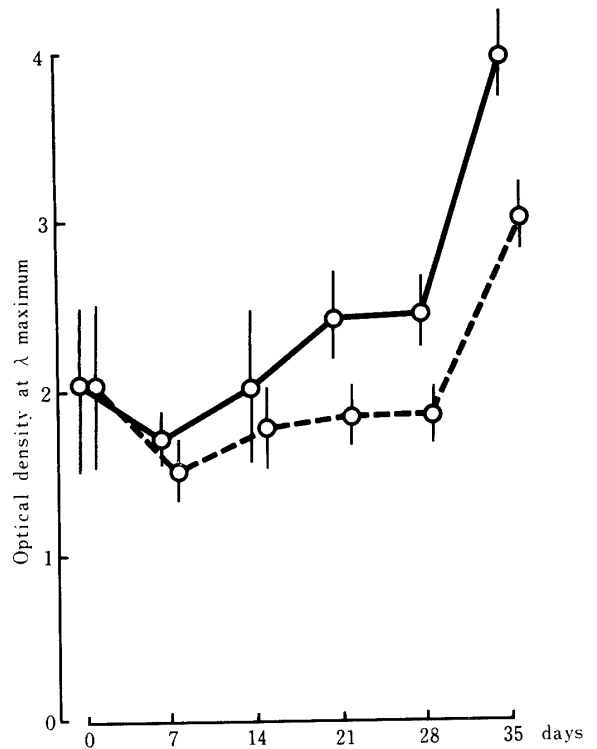


Fig. 2. Changes in the development of betalains during the development of inflorescence.

— betacyanins --- betaxanthins

たものであるが、ベタシアニン、ベタキササンチン両色素とも前期から中期にかけての増加はきわめて緩慢にしか行なわれないのに対し、後期に入ると急速に蓄積が高まった。また両色素は、初めは伯仲した量比を示したが、花序の発達にともない前者の量が後者のそれを上まわるに至った。このような花序 (花卉) の発達段階に応じて色素の量比が異なる例は、バラ¹⁾ やスイートピー¹³⁾ のアントシアニン色素でも知られている。

つぎに、種々の発達段階の花序について暗処理および明処理した場合の色素の量的変遷をそれぞれ Fig. 3, 4, 5 に示した。

まず暗処理についてであるが、発達前期の花序は両色素とも初めはほぼ吸光度が 1.6 の色素量であったのに対し、12日間の暗処理によってベタシアニンおよびベタキササンチン色素はそれぞれ 0.26 および 0.32 となり、ほぼ完全に白化した。これに対し、中期の花序が同様な色素量に達するにはほぼ 18 日間の暗処理を要した。また後期の花序は 12 日間までの暗処理しか行なわなかったが、Fig. 5 から明らかなように両色素の減少は顕著ではなかった。このような減少の実態を減少率としてとりまとめて示したのが Fig. 6 であるが、花序の age が進むにつれて白化に時間を要すること、また各発達

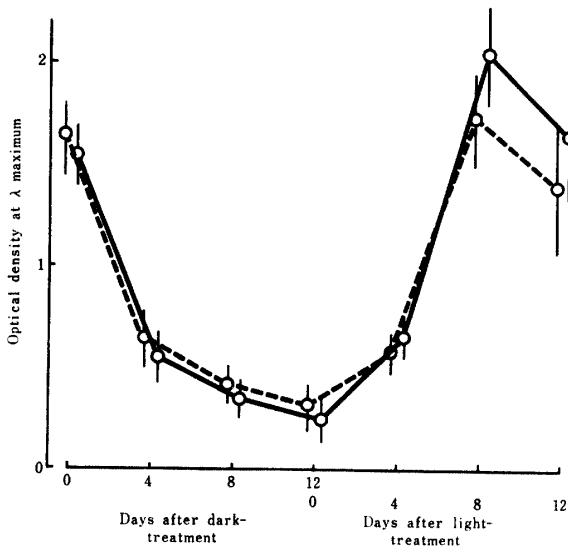


Fig. 3. The effect of light on the synthesis of betalains in the earlier developmental stage of inflorescence.

— betacyanins --- betaxanthins

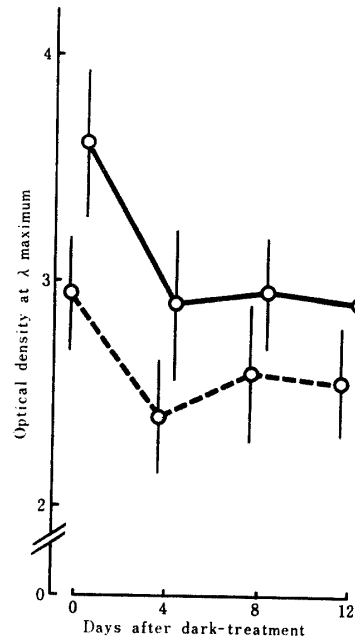


Fig. 5. The effect of light on the synthesis of betalains in the later developmental stage of inflorescence.

— betacyanins --- betaxanthins

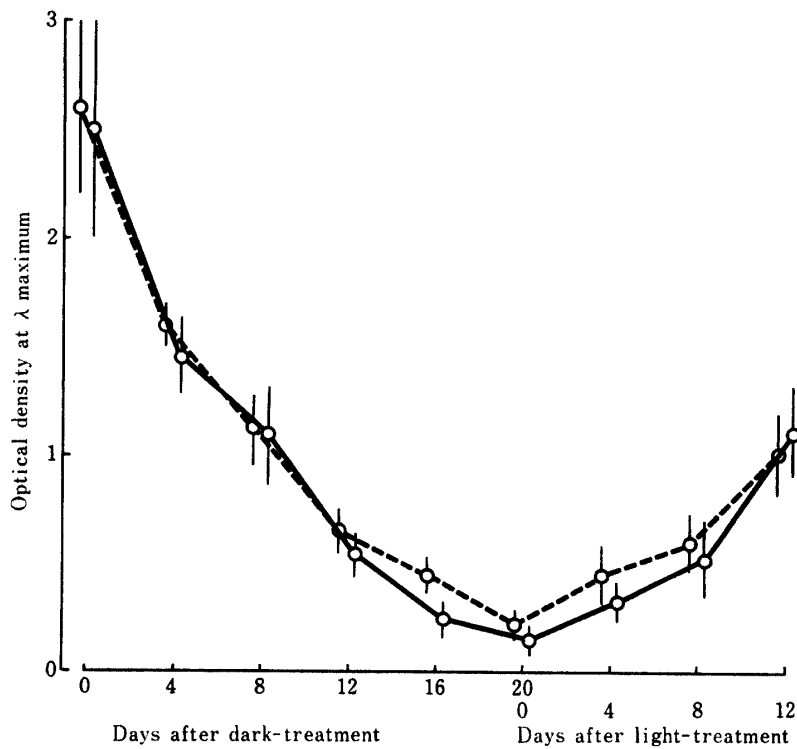


Fig. 4. The effect of light on the synthesis of betalains in the intermediate developmental stage of inflorescence.

— betacyanins --- betaxanthins

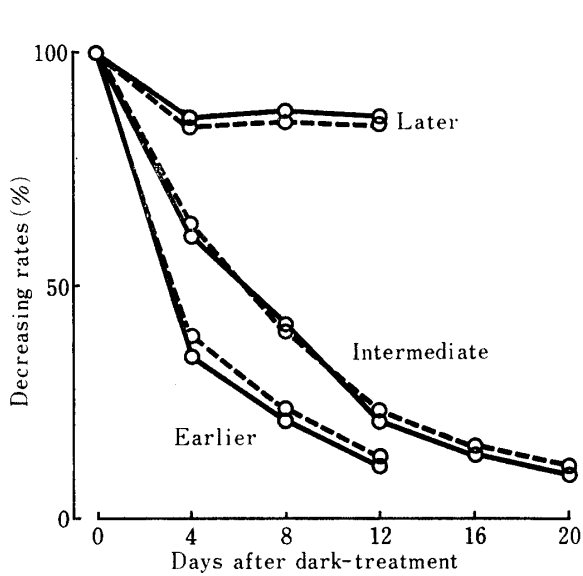


Fig. 6. Changes in the decreasing rates of betalains after dark-treatment.

— betacyanins --- betaxanthins

段階の花序とも両色素はほぼ同じ速度で減少してゆくとわかる。

一方、白化後の明処理による再着色の実験は、前期と中期の花序のみで後期のそれについては行なわなかったが、前期の花序では8日目にベタシアニンとベタキサンチン色素量がそれぞれ吸光度2.05および1.72になったのに対し、中期の花序では12日目になっても1.10および1.00にしかならなかった。Fig. 7はそれを増加率として示したものであるが、色素の増加もまたageが進むにつれて緩慢にしか起らないようになること、また前述の白化の場合と違って再着色の場合は両色素の生成速度が異なり、ベタシアニンがベタキサンチン量を上まわることがわかる。

このように、トサカケイトウは出蕾後日数がたち花序が発達するにつれて暗処理や明処理に対する色素の消失や再合成の能力が鈍化してゆく。Frenchら²⁾は*A. caudatus* 実生のageとアマランチン合成能の関係を調べ、合成能が極大に達するのは発芽後25~40時間の実生に照射した場合で、その前後はいずれも合成量が少ないことを見ている。トサカケイトウの場合、出蕾後ごく若い時点から暗処理を始めると花序がいつまで発達しないため、このような初期の段階の合成能を調べることはできなかった。したがって*A. caudatus* と直接的に対比することはできないけれども、両者ともageによって合成能が異なるという点に関しては、軌を一にしているといえることができる。

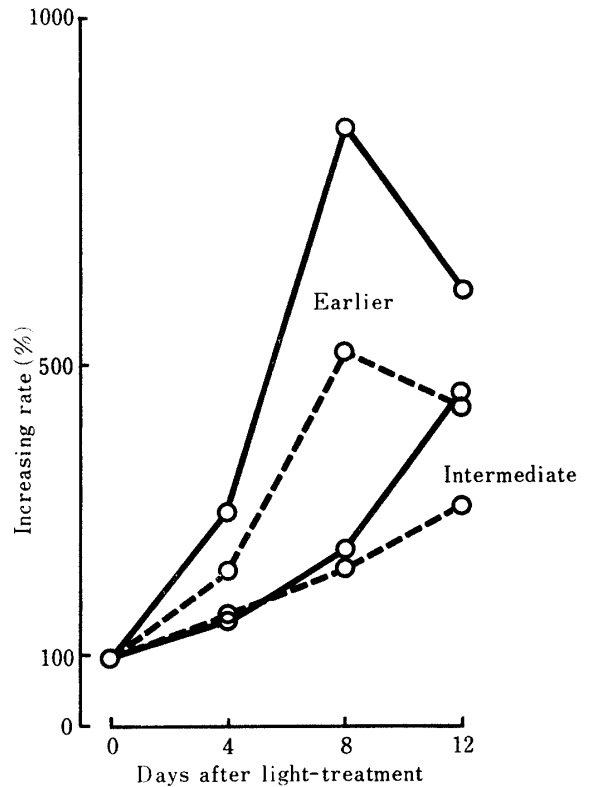


Fig. 7. Changes in the increasing rates of betalains after light-treatment.

— betacyanins --- betaxanthins

また、トサカケイトウのベタシアニンとベタキサンチン色素は消失の速度は同じでも生成の速度が異なっていた。Sciutoら¹⁴⁾は*C. plumosa*の実生にアマランチンの前駆物質であるcyclo DOPAやそのglucosideを与え、その後生成されるベタニンとアマランチンの合成量を見ているが、後者の量が前者のそれより圧倒的に多かった。ベタニンはアマランチンの前駆物質でもあるが、この関係はベタキサンチンとベタシアニンの間にも当てはまり、前者は後者の前駆物質であるとされている。このようなことから、これら両植物におけるベタレイン系色素の生合成機構には相通ずるものがあると思われる。

いずれにしても、トサカケイトウのベタレイン系色素は暗処理によって消失し、光によって再合成される。著者らは*A. caudatus*の着色した実生葉と*A. tricolor*の同様に着色した成熟葉に暗処理を加えてみたが、ベタレイン系色素の消失はまったく起らなかった(未発表データ)。一方は葉他方は花序という違いはあるにしても、暗処理による色素の消失はトサカケイトウのきわめて特徴的な側面といえよう。

一方、再合成の場合は*A. caudatus*, *A. tricolor*お

よび *C. plumosa* などとその機作に共通の部分が多いようにもうかがわれたが、この場合もこれらの植物が時間単位、長くてもせいぜい2日もあれば濃く着色するのに対し、トサカケイトウの場合は反応がにぶくかなりの日時を要した。これも植物の部位の相違にもとづくものであるかもしれないが、今後光量、光質および生長調節物質等の影響を細かく検討し、その生合成の実態を明らかにしていきたいと考えている。

要 約

トサカケイトウ「ピラミッド久留米」の花序のベタレイン系色素生成に対する光の影響について検討した。得られた結果の概要はつぎのとおりであった。

1. 着色した花序は暗処理すると色素が消失し白化した。つづく明処理により色素が生成され再び着色した (Fig. 1)。
2. 花序の発達段階が進むにつれて、暗処理および明処理に対する色素の消失や再合成の反応が小さくなる傾向を示した (Fig. 3, 4, 5)。
3. ベタシアニンとベタキササンチン色素とで暗処理による消失の速度は同じであったが (Fig. 6)、明処理による生成のそれは前者が後者より速かった (Fig. 7)。

謝辞 当研究室の吹留いづみ嬢に色素分析の協力を得た。記して深謝の意を表します。

文 献

- 1) 有隅健一・坂田祐介・青木正隆・河原壮拓：バラの花色に関する研究、特に遺伝生化学的分析とその育種に対する応用について V. 鹿大農学術報告, **27**, 23-30 (1977)
- 2) French, C. J., Pecket, R. C. and Smith, H.: Effect of light and exogenously applied precursors on amaranthin synthesis in *Amaranthus caudatus*. *Phytochem.*, **12**, 2887-2891 (1973)
- 3) French, C. J., Pecket, R. C. and Smith, H.: Effect of exogenous DOPA and tyrosine on amaranthin synthesis and pigment type in *Amaranthus*. *Phytochem.*, **13**, 1505-1511 (1974)
- 4) Garay, A. S. and Towers, G. H. N.: Studies on the

- biosynthesis of amaranthin. *Can. J. Botany*, **44**, 231-236 (1966)
- 5) Giudici de Nicola, M., Piattelli, M., Castrogiovanni, V. and Molina, C.: The effect of short-term irradiation on kinetin-induced amaranthin synthesis in *Amaranthus tricolor* seedlings. *Phytochem.*, **11**, 1005-1010 (1972)
 - 6) Giudici de Nicola, M., Piattelli, M., Castrogiovanni, V. and Amico, V.: The effects of light and kinetin on amaranthin synthesis in relation to phytochrome. *Phytochem.*, **11**, 1011-1017 (1972)
 - 7) Harborne, J. B.: Comparative biochemistry of the flavonoids. p. 273-275, Academic Press, London and New York (1967)
 - 8) Kinsman, L. T., Pinfield, N. J. and Stobart, A. K.: The hormonal control of amaranthin synthesis in *Amaranthus caudatus* seedlings. *Planta*, **127**, 207-212 (1975)
 - 9) Koehler, K. H.: Photocontrol of betacyanin synthesis in *Amaranthus caudatus* seedlings in the presence of kinetin. *Phytochem.*, **11**, 133-137 (1972)
 - 10) Piattelli, M., Giudici de Nicola, M. and Castrogiovanni, V.: Photocontrol of amaranthin synthesis in *Amaranthus tricolor*. *Phytochem.*, **8**, 731-736 (1969)
 - 11) Piattelli, M., Giudici de Nicola, M. and Castrogiovanni, V.: The inhibition by actinomycin D and puromycin of light-stimulated amaranthin synthesis. *Phytochem.*, **9**, 785-789 (1970)
 - 12) Piattelli, M., Giudici de Nicola, M. and Castrogiovanni, V.: The effect of kinetin on amaranthin synthesis in *Amaranthus tricolor* in darkness. *Phytochem.*, **10**, 289-293 (1971)
 - 13) 坂田祐介・上本俊平：スイートピーの花色に関する研究 (第1報). 春咲種のアントシアニン色素組成について. 園学雑誌, **45**, 181-186 (1976)
 - 14) Sciuto, S., Oriente, G., Piattelli, M., Impellizzeri, G. and Amico, V.: Biosynthesis of amaranthin in *Celosia plumosa*. *Phytochem.*, **13**, 947-951 (1974)
 - 15) Stobart, A. K., Pinfield, N. J. and Kinsman, L. T.: The effects of hormones and inhibitors on amaranthin synthesis in seedlings of *Amaranthus tricolor*. *Planta*, **94**, 152-155 (1970)
 - 16) Stobart, A. K. and Kinsman, L. T.: The hormonal control of betacyanin synthesis in *Amaranthus caudatus*. *Phytochem.*, **16**, 1137-1142 (1977)
 - 17) Woodhead, S. and Swain, T.: Effects of light on betalain and cinnamic acid biosynthesis in *Amaranthus caudatus*. *Phytochem.*, **13**, 953-956 (1974)

Summary

The present experiment was carried out for ascertaining the effect of light on the synthesis of betalains, i.e., on betacyanins and betaxanthins, in the inflorescence of *Celosia cristata* in the three differential developmental stages. The results obtained were summarized as follows.

1. The dark-treatment brought forth an almost complete disappearance of betalains which was followed by a reproduction of pigments induced by the successive light-treatments. Thus, the red coloured inflorescence became almost white in the dark, and the whiteness got coloured again in the light.

2. In accordance with the aging of inflorescence the decreasing and increasing responses of pigment-synthesis to the light became weaker.
3. The decreasing rate of betacyanins after the dark-treatment was similar to that of betaxanthins. On the other hand, the increasing rate of betacyanins after the light-treatment was faster than that of betaxanthins.