

# 温度と紫外線がイチゴ‘あまおとめ’果実の色調と アントシアニン生成に及ぼす影響

石々川 英樹

## Effects of Temperature and UV Irradiation on Color and Biosynthesis of Anthocyanin in Fruit of ‘Amaotome’ Strawberry

ISHIISHIKAWA Hideki

### 要 旨

着色開始期に果柄をつけて採取したイチゴ‘あまおとめ’の果実を吸水させながら、採取しない果実と同じ環境に72時間置いた場合、両者の果実色調およびアントシアニン含量には有意な相関関係が認められた。このことから、採取した果実の果実色調やアントシアニン含量から採取しない果実の色調やアントシアニン含量の推定が可能と考えられた。

採取した果実を異なる明期温度や光条件下で吸水させながら72時間処理した場合、紫外線が強く、明期温度が高い条件で果実色調は濃くなりアントシアニン含量が増加した。

果実色調およびアントシアニン含量を目的変数とする重回帰分析から、果実色調とCy3G含量に及ぼす影響は温度よりも紫外線強度が大きいのに対し、Pg3GおよびPg3MG含量に及ぼす温度と紫外線強度の影響は同程度であった。

**キーワード：** イチゴ, あまおとめ, 果実, 着色, アントシアニン, 紫外線

### 1. 結 言

イチゴの果実色は重要な外観品質の一つであり、着色を良くするために、温度や光条件などの環境制御の他、品種によっては葉よけなどの栽培管理により、鮮やかな赤色を発現させるための努力がなされている。愛媛県の育成品種である‘あまおとめ’（‘とちおとめ’×‘さがほのか’）は、果実の色調が‘さがほのか’と同程度であるが、特に高設栽培の日射が不足する条件で果実が薄い赤色の色調となるため、濃い赤色に近づけるための技術対応が望まれている。

イチゴの着色に関するこれまでの研究では、浦田ら（1991）が‘とよのか’は、果実表側の着色には光の影響が大きいのに対し、裏側では温度の影響が大きいことを報告している。また、前川（1992）は、同じく‘とよのか’の着色には紫外線が関与し、反射資材を利用することによって、果実裏側の着色改善が可能であることを果実抽出液

の吸光度から推定したアントシアニン含量と関連づけて報告している。曾根ら（2001）は、イチゴに含まれる主要な3種類のアントシアニンのうち、果実色調と相関が認められるのは、*pelargonidin 3-glucoside*（以下「Pg3G」という）含量、*cyanidin 3-glucoside*（以下「Cy3G」という）含量および総アントシアニン含量であり、*pelargonidin 3-malonylglucoside*（以下「Pg3MG」という）含量との相関は認められないことを報告し、Wang and Zheng（2001）はイチゴの生育温度が高いほどPg3G、Cy3Gなど果実中のアントシアニン蓄積量が増加することを報告している。

著者らがこれまでに行った‘あまおとめ’の果実色調とアントシアニンに関する研究では、Pg3MGを含む3種類のアントシアニンが果実表層部に多く含まれ、果実色調はPg3GおよびCy3G含量と相関があること（石々川・伊藤, 2007）、また、果実の受光体勢を良くすることで着色が改善され、その際にPg3G/Cy3G比が小さくなることを報告

している(石々川・伊藤, 2008)。

これらから, ‘あまおとめ’では栽培期間中のハウス内温度を高め維持し, 紫外線を中心とする光を十分に取り入れることによって, Pg3GやCy3G含量が増加し, 着色の改善が可能と考えられる。しかしながら, 12~4月に収穫される促成栽培においては, ビニル資材の多重被覆によってハウス内温度を高め管理する方法がハウス内の紫外線強度を低下させることにつながるため, ‘あまおとめ’の果実を濃い赤色に近づけるための管理方法として, 温度と紫外線のどちらを重視すべきかの結論が得られていない。

そこで本実験は, ‘あまおとめ’において温度や紫外線強度の異なる環境に置かれた果実の色調やアントシアニン含量を測定することで, 温度と紫外線が果実の着色に与える影響を個別に評価し, 果実を濃い赤に近づけるための効果的な栽培管理法を明らかにする目的で実施した。

その手順として, まず, 着色開始期に果柄をつけて採取した果実(以下「採取果実」という)を吸水させながら, 株に着生したままの果実(以下「着生果実」という)と同じ環境に72時間置き, 採取果実と着生果実の色調および果実のアントシアニン含量を比較することで, 採取果実から着生果実の着色を推定することの妥当性について検討した。採取果実を材料とする目的は, 均一な温度や光条件を設定しやすい小規模環境制御条件で精度の高い試験を実施するためである。

次に, 採取果実を異なる温度や光条件下に72時間置いた後, 果実の色調とアントシアニン含量を測定し, 温度と紫外線が着色やアントシアニンの生成に及ぼす影響を重回帰分析により解析した。

## 2. 材料および方法

果実色調およびアントシアニンの分析には, 愛媛県農林水産研究所の100m<sup>2</sup>ガラス温室で土耕・促成栽培して得たイチゴ‘あまおとめ’果実を供した。研究所においてポット育苗した苗を2008年9月10日に, 畝間140cm, 条間50cm, 株間23cmの内成りに定植し, 施肥量はN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1.6:2.5:2.6kg・a<sup>-1</sup>とした。温度管理は7℃で加温, 25℃で換気を行い, その他の管理は一般的な促成栽培方法によった。白熟期を過ぎて, ごくわずかに着色が認められるステージ(以下「着色開始期」

という)の果実を目視により選抜し, 果柄を5cm程度残して採取した果実を供試した。この時期の果実を供試する理由は, 処理前の果実に含まれるアントシアニンが少ないことと, ステージの判定基準が明確で目視による果実の選抜が容易なためである。このことにより, 処理期間中に生成されるアントシアニン量の測定が可能となる。

### 2.1 採取果実の色調とアントシアニン生成量(実験1)

2008年12月~2009年3月の間に10回(12月5日, 2月8, 16, 19日, 3月3, 13, 17, 23, 24, 27日), 着色開始期にある果実で, 可能な限り大きさや形状の揃った果実を8果選抜し, そのうちの4果を採取果実とした。採取果実は, ガラス温室内の栽培床に蒸留水を満たした試験管を設置し, 果柄部を浸漬して吸水させながら, 引き続き栽培環境下に置いた(図1)。残りの果実は着生果実としてラベルをつけ栽培を継続した。採取果実を試験管に浸漬してから72時間後に, 採取果実と着生果実すべてを回収し, 直後に色彩色差計(MINOLTA CR-200)を用いて, 果実の着色が最も良好な部分の色調を測定するとともに, アントシアニンの分析を行った。

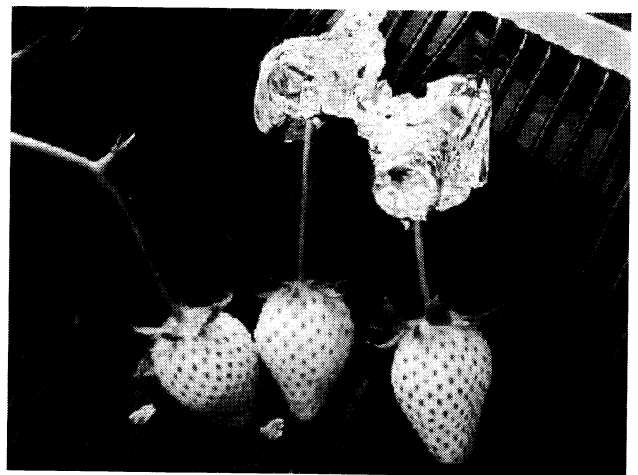


図1 採取果実の処理状況  
処理開始時, 右側2果が採取果実

ここで, 処理時間を72時間とした根拠はあらかじめ実施した採取果実と着生果実の色調(高野・常松(1992)の方法を参考に, 色彩色差計の測定値から $[a^* \times 1,000 / (L^* \times b^*)]$ より求めた値)の調査結果から, 両者の色調の差が小さいこと

(図2), また96時間処理した場合に, 採取果実では明らかに果実の光沢が失われることが観察されたためである。

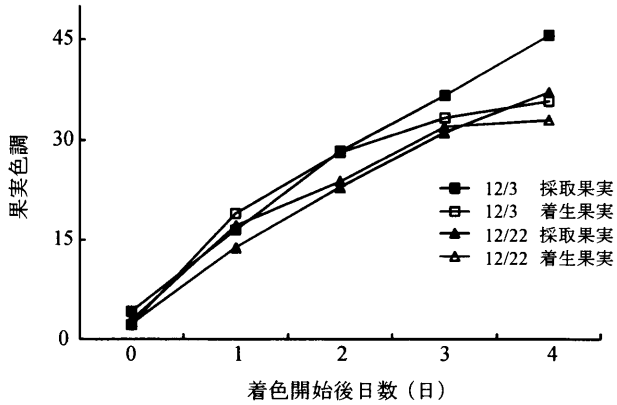


図2 ‘あまおとめ’の採取および着生果実の色調推移  
果実表側の最も着色が良好な部分の果実色調 (n=6)

アントシアニンの分析は, 抽出溶媒には2%トリフルオロ酢酸を用い, 果実を常温で溶媒に24時間浸漬した後, 遠心分離(3,000 rpm・5分間)を行い, 上清液を回収した。残渣に再度抽出溶媒を加えて十分に攪拌した後, 同じ条件で遠心分離し上清液を回収した。集めた上清液を定容後, 0.45 $\mu$ mのフィルターでろ過し, 高速液体クロマトグラフにより, Pg3G, Cy3GおよびPg3MGの定量を行った。

分析は, カラム (SHISEIDO CAPCELL PAK C8DD), UV/VIS検出器 (SPD-6AV 520 nm 島津製作所) を取り付けた液体クロマトグラフ (SCL-6B 島津製作所) で行った。溶離液には, A液(1.5%リン酸溶液)とB液(1.5%リン酸, 20%酢酸, 25%アセトニトリル)を用い, B液は20分間に濃度を25~45%に上昇させた。

アントシアニン濃度は, Cyanidin 3-Glucoside Chloride (フナコシ株式会社, 特級) で作成した検量線から算出し, 果実1g当たりアントシアニン含量をCy3G相当量として求めた。

## 2.2 温度および紫外線が採取果実の色調とアントシアニン生成に及ぼす影響 (実験2)

実験1と同様に選抜調整した採取果実の果柄部をトレイに設置した蒸留水入りサンプルチューブに浸漬し, トレイ全体をポリエチレン製袋で保護した後, 異なる温度・光条件下で72時間処理を行った。温度および明期時間の設定は, 冬期のイ

チゴ栽培ハウス内環境を想定して行なった。処理開始日と設定温度は表1に示すとおりで, 温度は9~17時の間を処理日別に8段階(10, 12, 15, 18, 20, 25, 28および30 $^{\circ}$ C)に設定し, 17時から翌日9時までにはすべての区で10 $^{\circ}$ Cの一定とした。なお, 処理開始時期が3月上旬から4月上旬となり, その間の栽培環境の変化により供試する果実の条件に違いが生じる可能性があるため, その影響を小さくする目的で, ここでは処理日ごとの明期温度をランダムに設定した。

表1 処理開始日と明期温度の設定

処理開始日	3月							4月
	6	9	13	17	23	26	30	6
明期温度( $^{\circ}$ C)	20	25	12	15	30	10	18	28

光条件は各温度区に対して強UV区, 弱UV区, 白色蛍光灯区の3区を設定し, 9~17時を明期, それ以外の16時間を暗期とした。果実に照射される紫外線強度は強UV区で約0.4mW $\cdot$ cm $^{-2}$ , 弱UV区で約0.2mW $\cdot$ cm $^{-2}$ であり, 両試験区は同一のUV-A光源(ブラックライト FL20S-BLB-A 東芝ライテック ピーク波長:352nm)からの距離を違えることにより設定した。また, 蛍光灯 (FL20SS-D/18 三菱) 区の紫外線強度は約0.01mW $\cdot$ cm $^{-2}$ , 照度は約1,800 lxで放射照度は0.6mW $\cdot$ cm $^{-2}$ であった。

すべての試験区に4個の採取果実を供試し, 恒温室(エスベックTBR-2.5W)内で明期開始の9時から72時間の処理を行った。処理終了直後に実験1と同じ方法で果実色調を測定するとともに, アントシアニンの定量を行った。また, 着色開始期の果実を適宜採取し (n=8), 処理前果実のアントシアニン含量を測定した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 採取果実の色調とアントシアニン生成量

各調査時における72時間処理後の着生果実色調を図3に示す。処理時期が遅くなるほど果実色調を示す数値が大きくなり, 着色が良好となる傾向がみられた。

採取果実と着生果実の72時間処理後における果実色調および, 各アントシアニン含量との相関を図4に示す。採取果実の色調を示す値は着生果実

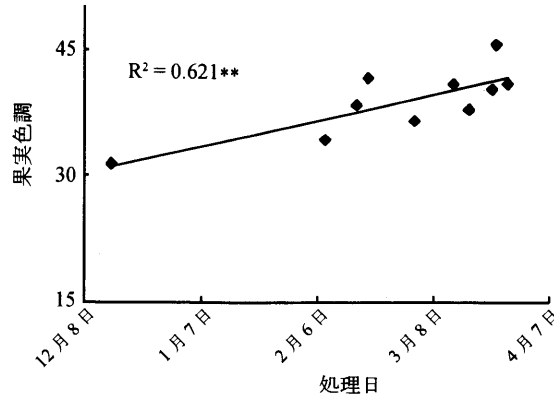


図3 処理時期別の着生果実色調

果実表側の最も着色が良好な部分の果実色調 (n=4)  
 $R^2$  は、果実色調と処理日 (日付関数) との相関係数  
 \*\*は1%水準で有意であることを示す

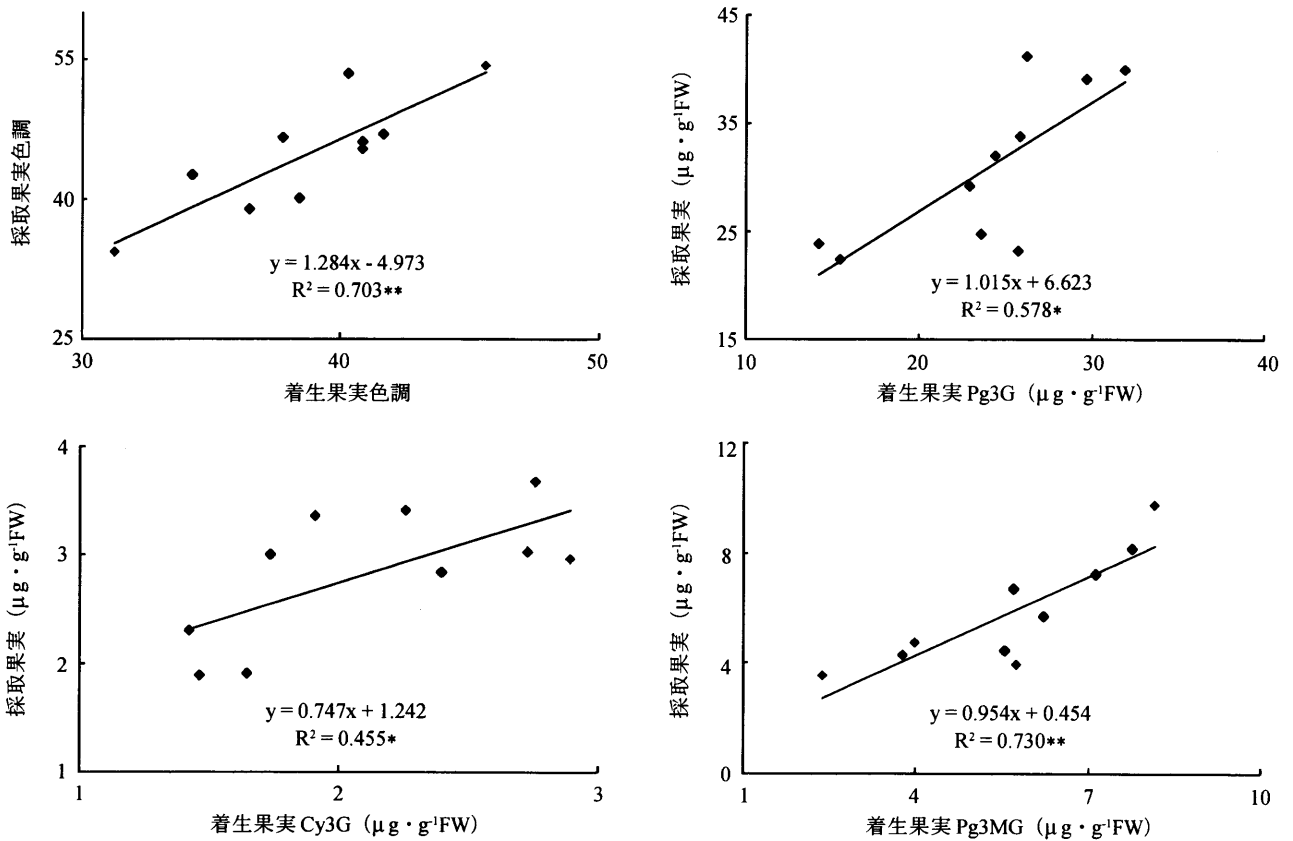


図4 採取果実と着生果実の色調およびアントシアニン含量の相関

各プロットは調査日ごとの採取果実4果と着生果実4果の平均値  
 \*, \*\*はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す

よりも6程度大きく、採取果実の方が濃い赤色となる傾向であった。採取および着生果実間の決定係数は0.703で、両者には1%水準で有意な相関が認められた。果実1gあたりPg3G含量は採取果実が着生果実より29%多く、Cy3G含量についても採取果実で33%多い結果となり、いずれの含量も採取果実と着生果実の間に5%水準で有意な相関

が認められた。Pg3MG含量は、採取果実と着生果実ほとんど差がみられず、両者には1%水準で有意な相関が認められた。

これらのことから、採取後72時間以内については果実を異なる温度や光条件に置いた場合の果実色調やアントシアニン含量から、着生果実の果実色調やアントシアニン含量を推定できると考えら

れた。

### 3.2 温度および紫外線が採取果実の色調とアントシアニン生成に及ぼす影響

明期温度および光条件の違いによる‘あまおとめ’の果実色調、アントシアニン含量の平均値を図5に示す。果実色調は紫外線が強く、明期温度が高い条件で濃い赤色に近づく傾向であったが、紫外線がほとんど無い蛍光灯区においては果実色調と明期温度との関連はみられず、温度の違いによる色調の変化は認められなかった(図5A)。この傾向はCy3G含量と明期温度および光条件との関係でより顕著となり、蛍光灯区に加え弱UV区においても明期温度の違いによるCy3G含量への影響は観察されなかった(図5C)。Pg3Gについても、紫外線の存在によって含量が増加する傾向がみられたが、Cy3Gとは異なり弱UV区あるいは蛍光灯区においても、明期温度が高い条件で含量の増加が認められた(図5B)。Pg3MGは、Pg3Gと類似した傾向であったが、含量と処理温度との関連は明確ではなかった(図5D)。なお、72時間処理前

果実のアントシアニン含量は、Pg3Gが $0.18\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、Cy3Gが $0.11\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、Pg3MGが $0.02\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ とほとんど含まれていなかったことから、処理後に測定されたアントシアニンの大部分が処理期間内に生成されたと考えられた。

明期温度および紫外線が果実色調やアントシアニンの生成に及ぼす影響を個別に解析するため、果実色調を目的変数(各試験区の平均値:n=24)、明期温度および紫外線強度(強UV区0.4、弱UV区0.2、蛍光灯区0.01)を説明変数とする重回帰分析を行った結果、重回帰式は1%水準で有意となり、温度および紫外線の偏相関係数も1%水準で有意であることから、果実色調が温度や紫外線と関連していることが裏付けられた(表2)。

次に、Pg3G、Cy3GおよびPg3MG含量を目的変数として同様の重回帰分析を行った結果、Pg3G、Pg3MGでは果実色調と同様に温度および紫外線の相関係数がともに有意であったのに対し、Cy3Gについては紫外線の相関係数のみが1%水準で有意であり、温度の相関係数については有意性が認められなかった。このことは、重回帰式にお

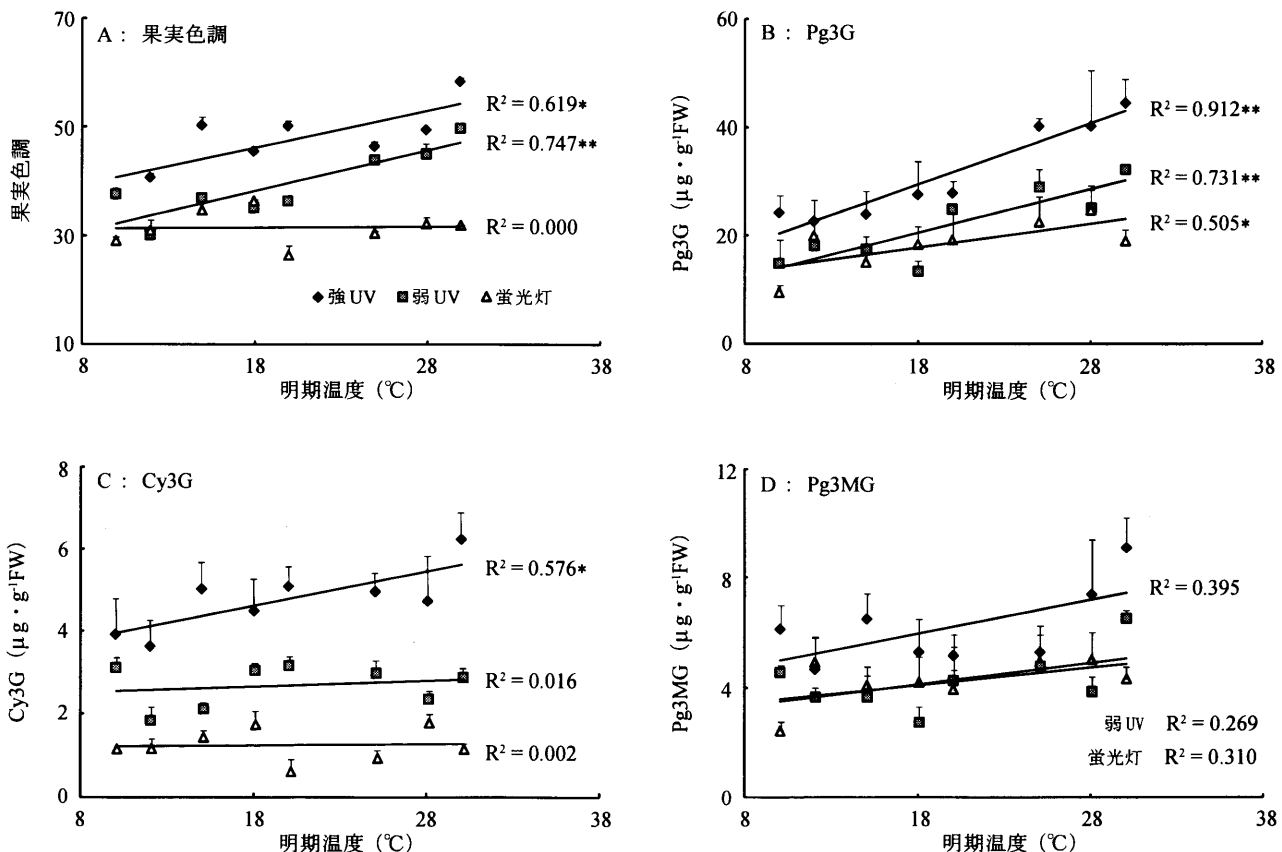


図5 温度および光条件が採取果実の色調とアントシアニン生成に及ぼす影響(72時間処理後)

縦線は標準誤差を示す (n=4) \*, \*\*はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す

表2 重回帰分析の結果

目的変数		果実色調	Pg3G	Cy3G	Pg3MG
重相関係数		0.880 ** z	0.895 **	0.942 **	0.771 **
偏相関係数	温度	0.638 ** z	0.821 **	0.354	0.522 *
	紫外線	0.857 **	0.813 **	0.940 **	0.628 **
回帰係数	温度	0.466 ** y	0.790 **	0.029	0.090 *
	紫外線	40.535 **	33.226 **	9.094 **	5.124 **
	定数項	22.214 **	1.596	0.482	2.057 **
寄与率 (%)	温度	33.3 x	50.8	12.0	43.1
	紫外線	66.7	49.2	88.0	56.9

z \*, \*\* は分散分析によりそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す

y \*, \*\* はt検定によりそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す

x 標準偏回帰係数の比から算出した各説明変数の寄与率

ける各回帰係数の有意性においても同様であった。

ここで、温度および紫外線の影響をより明確にするため、各説明変数の標準偏回帰係数の比率から果実色調あるいはアントシアニン含量に対する寄与率を算出したところ、Pg3G, Pg3MGでは温度と紫外線の寄与率が50%前後を示した。それに対し、果実色調では紫外線の寄与率が66.7%と温度の寄与率33.3%よりも大きく、さらにCy3Gにおいては紫外線の寄与率が88%を示すことから、果実色調の発現において、紫外線が重要な役割を果たしており、特にCy3Gの生成に深く関与していると考えられた。寄与率が88%であることは、Cy3G含量が紫外線強度によってほぼ決定されることを示しており、アントシアニンの種類によって温度や紫外線に対する反応が異なることが示された。

イチゴ以外の園芸作物の着色とアントシアニン含量および光条件との関連については、松添ら(1999)がナスの果実を暗黒処理した場合に、Nasuninを主なアントシアニンとする品種では著しく着色が劣るが、そうでない品種‘早生米国大丸’では暗黒処理による着色への影響が小さいことを報告している。また、久保田・土屋(2001)は成熟期のブドウにUV-Aを照射した場合に、‘グロー・コールマン’ではアントシアニン含量が増加し着色が良好になるのに対し、‘ピオーネ’では照射の影響が小さいことを報告している。さらに、有隅ら(1997)はバラの花弁に含まれるCy3Gの生成において、光を必要とするタイプと必要としない交配系統があることを報告するなど、アントシアニンの生成が作物の遺伝的な性質やアントシアニンの種類、光条件など複数の要因により決定されることを示す事例が明らかにされている。

イチゴの果実色調やアントシアニン含量と温度

や紫外線との関連を検証する場合、ハウス内の温度と紫外線強度がともに日射量と密接に関連するため、それらを説明変数として分析する場合に、変数間の内部相関が高くなることが予想される。このことは栽培果実のみをサンプルとした調査分析からは、果実色調やアントシアニンの生成に及ぼす温度と紫外線の影響を個別に評価することを難しくする原因となる。採取果実を利用した今回の実験では、温度と紫外線を独立して変化させることで変数間の内部相関を排除し、温度や紫外線が果実の色調やアントシアニンの生成に及ぼす影響の強さの個別推定を行った。

その結果、今回設定した明期温度(10~30℃)および紫外線強度(0.01~0.4mW・cm<sup>-2</sup>)の範囲内においては、温度の変化よりも紫外線強度の変化が‘あまおとめ’採取果実の色調に大きく影響し、果実に紫外線が多く照射される環境で着色が改善されることが示された。

今後の課題としては、採取果実から得られた重回帰式の栽培現場における適合度について検証を行うとともに、より栽培環境に近い光条件(可視光+紫外線)や暗期の温度条件(夜温)を変化させた場合の果実色調とアントシアニン含量についてさらに詳細な分析を行うことにより、‘あまおとめ’の果実色調制御に向けた温度や紫外線管理最適化法の開発が考えられる。

## 引用文献

- 有隅健一・坂田祐介・青木正隆・河原壮拓(1977):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.
- 石々川英樹・伊藤博章(2007):イチゴ‘あまおとめ’, ‘さがほのか’の果皮色とシアニジン量の相関, 園学研, 6

(別2), 217.

石々川英樹・伊藤博章(2008):イチゴ果実のペラルゴニン/シアニジン比と色調との関連, 園学研, 7(別1), 134.

高野 浩・常松定信(1992):イチゴ‘とよのか’の果実着色推進に関する研究,(第1報)果実着色における温度と光の強さの影響, 園学雑, 61(別2), 446-447.

久保田尚浩・土屋幹夫(2001):ブドウ果実の着色に及ぼす成熟期の紫外線照射の影響, 岡大農学術報告, 91, 55-60.

前川寛之(1992):イチゴ品種‘とよのか’の着色に関する研究,(第2報)果実日裏面の受光程度および受光波長分布と着色の関係, 奈良農試研報, 23, 21-26.

松添直隆・山口雅篤・川信修治・渡部由香・東 華枝・坂田祐介(1999):果実への暗黒処理がナスの果色と果皮のアントシアニン組成に及ぼす影響, 園学雑, 68(1), 138-145.

曾根一純・山口雅篤・沖村 誠・北谷恵美(2001):数種イチゴにおける貯蔵による果実中のアントシアニン含量および組成の変化, 園学雑, 70(別2), 376.

浦田丈一・田中龍臣・松尾孝則(1991)イチゴ品種‘とよのか’の果実着色に及ぼす環境要因の影響, 佐賀農試研報, 27, 61-72.

Wang, S.Y. and W. Zheng (2001): Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *J. Agric. Food. Chem.* 49, 4977-4982.