

果実の成熟・品質の制御 ー生理活性物質による着色の促進(ブドウ)ー

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所
ブドウ・カキ研究チーム 児下佳子

1. はじめに

ブドウの果皮色は大きく黒色、赤色、黄緑色の3つに分類することができる。このうち黒色ブドウと赤色ブドウの着色程度は、アントシアニン色素の含量と組成により決定される。黄緑色のブドウでは着色程度がそれほど問題とならないが、黒色や赤色のブドウの着色程度は糖度や酸などの食味形質と同様にブドウの市場価格を左右する重要な要因である。そのため生産者は単価を向上させるため、外観の優れたブドウを生産することに重点を置いている。それぞれの品種には最も特徴的で望ましいとされる果皮色があり、収穫期にその色が出ていないと高値は望めない。例えば代表的な黒色ブドウ品種の「巨峰」は、十分に着色しないまま収穫期を迎えた場合に果皮が赤味を帯びた状態となるが、これは「赤熟れ果」と呼ばれる。「赤熟れ果」は赤色ブドウとして扱われることはなく、着色不良と認識され、商品価値が低くなる。したがって品種特有の果皮色を出すことは、果実の市場価値を高める上でも重要である。

ブドウの果実生長は二重S字曲線を描き、生長の速さから第Ⅰ期から第Ⅲ期まで3つのステージに分けられる。第Ⅲ期に入ると急激に果粒糖度の上昇、酸含量の低下、果肉の軟化、そして着色が起こる。このとき果肉は水がまわったように透明感が出てくるが、このステージをフ

ランス語でベレーゾンと呼び、日本では水まわり期と呼ぶこともある。ベレーゾンの前後で起こる変化を明らかにするための研究は古くから行われてきた。着色機構の解明もそのうちの一つであるが、ベレーゾン前後にアントシアニン合成に関連する何らかの遺伝子の発現が誘導され、着色が進行すると考えられる。またブドウの着色は温度や光などの環境要因や着果量、果粒の糖度などの影響を受ける。成熟に伴って着色することや、栽培環境・条件が違う場合に着色程度が異なってくる現象には生理活性物質が影響していることがこれまでの研究から予想されている。ブドウの場合、その中で着色に直接的に関与しているのはアブシジン酸 (ABA) であると考えられている。

2. アブシジン酸 (ABA) とは

ABAの研究の歴史は古く、最初ワタの果実から単離結晶化された。現在も様々な植物で生理学的な研究が続いている。植物の個体レベルにおけるABAの主な生理作用は種子の形成・休眠、芽の休眠、乾燥ストレス耐性の付与、器官の老化・脱離などが有名である。細胞レベルでは孔辺細胞や細胞壁に作用し、気孔開閉や発芽に関与することや、 K^+ や Na^+ の膜透過性にも影響して塩類に対する耐性の付与に関与することなどが知られており、どちらかという植物が不

適切な環境に遭遇した時に働く植物ホルモンとして認識されている。ABAの生合成経路が完全に明らかとなったのは1990年代の後半である。近年シロイヌナズナなどを用いた遺伝子解析が急速に進み、突然変異体の解析を中心にABAの生合成機構や生理作用発現機構が解明されている。特に生合成経路や分解経路を中心とした新しい知見もここ数年で急速に増えた。

3. ブドウの着色と生理活性物質との関係

ブドウ果粒での成熟に伴う着色は、ベレーゾン以降の急激なABAの増加と深く関連している。またインドール酢酸 (IAA) は成熟に伴い減少することも確認されている。一般的に果実の成熟ホルモンとしてよく知られているのはエチレンである。クライマクテリックライズ型の果実では成熟に伴いエチレン発生量の増加が観察される。ブドウの成熟はベレーゾンを境に急激に進み、生理的に大きく変化するという点ではクライマクテリックライズ型の果実と似ているが、ベレーゾンではエチレンの急激な発生を伴わず、そのかわりにABAが顕著に増加し、IAAは減少する¹⁾。ABAとオーキシンは内生レベルで成熟に関与するだけではなく、外生的に与えても着色に影響を及ぼす。例えばABAを果皮に直接散布すると着色が促進され、合成オーキシンであるナフタレン酢酸 (NAA) や2,4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2,4-D) を散布すると着色は抑えられる²⁾。またIAAの極性移動阻害剤のうち、2,3,5トリヨード安息香酸(TIBA)を果房に散布すると着色が促進されるが、1-N-ナフチルフタル酸 (NPA) を散布しても着色に変化がみられない。同じオーキシン極性移動阻害剤のうちTIBAで着色促進効果がみられ、NPAではみられないことについては、これら二つの薬剤

は極性移動の阻害機構が異なるためであると考察されている。またオーキシンに対して拮抗的な阻害作用を持つマレイン酸ヒドラジド (MH) を散布しても着色の向上はみられなかった³⁾。したがってABA処理、あるいはIAA活性の阻害によりブドウのアントシアニン生成は促進させられる。

4. ブドウの着色に影響を及ぼす様々な要因と内生生理活性物質との関係

ブドウの着色はABAやIAAなどの生理活性物質に影響を受けるため、様々な栽培管理や処理を通してABA含量を高めたり、またオーキシンの活性や生合成を阻害したりすることが出来れば、生理活性物質を散布しないで着色を改善できる可能性があると考えられる。実際、日本では外観の優れる果実の市場価値が高いことから、ブドウの栽培条件・管理と着色との関係は以前から関心が高く、着色を促進させるための栽培技術の開発を目的とした研究例も多い。ここでは着色に影響を及ぼす環境要因、樹体要因および栽培技術が内生生理活性物質に及ぼす影響について、研究の現状を紹介する。

1) 温度

ブドウの着色は一般的に着色期の高温によって阻害され、逆に低温で促進される。つまり低温条件ではアントシアニン合成が盛んに起こる。例えばポット植の‘巨峰’を成熟期に20℃と30℃で栽培し、更に果房の温度を15, 20, 25, 30℃に設定して栽培すると、樹体温が低いほど、また果房温度が低いほどアントシアニン含量が高いという結果が得られている。このとき、果皮のABA含量を測定すると低温条件で高く、高温で低い⁴⁾。この結果は低温に

よる着色の促進をABA内生量との関連から捉えた最初の報告である。同様の現象は‘安芸クイーン’でも確認されている。すなわち果房の夜温をベレゾン以降自然温 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ にコントロールした場合、自然温プラス 5°C 区では対照区より果皮のABA含量が低く、着色が劣り、マイナス 5°C 区では対照区よりABA含量が高く、着色も優れていた。つまり高温や低温によって生じた着色の差異はABA内生量の変化を伴っていると考えられる^{4,5)}。

2) 水分ストレス

適度な水分ストレスを与えて栽培すると果実の品質が向上することはウンシュウミカン⁶⁾やモモ⁷⁾で報告がある。ブドウについても同様の報告例があり、特に根域制限栽培では通常の圃場栽培に比べて水分ストレスを受けやすいが、水分ストレスを受けると果粒糖度の上昇や着色の向上がみられることが報告されている。‘ピオーネ’の着色と果実品質は着色期に水分ストレスを受けることにより確実に向上する。またこのときの果皮のABA含量は水分ストレス区では対照区よりも高い⁸⁾。

3) 果房周辺の湿度

ベレゾン開始からおよそ5週間‘安芸クイーン’の果房周辺の湿度を低下させるとアントシアニンの蓄積が促進され、同時に可溶性固形物含量も増加し、ABA含量は低湿度で高くなる。果房周辺の低湿度条件は果径に影響が少なく、また酸含量には影響しない。そのため乾燥による糖度の上昇や着色の向上は乾燥したことによる単なる濃縮効果によるものではないと考えられている⁹⁾。

4) 環状剥皮

果樹の一般的な栽培技術として環状剥皮処理が挙げられる。ブドウでも環状剥皮処理は光合成同化産物の果房への蓄積を促進させるため、果実重を増加させたり熟期を促進させたりすることが報告されている^{10), 11)}。日本の主力栽培品種である‘ピオーネ’に環状剥皮処理を行うと着色が向上し^{12), 13)}、連年処理による樹勢の低下も認められない¹²⁾。‘安芸クイーン’に環状剥皮を行った場合も‘ピオーネ’同様着色の向上と糖度の増加が観察される¹⁴⁾。これらの技術の一部は栽培現場で応用されている。環状剥皮処理を行うと葉のABA含量が上昇することが報告されており¹⁵⁾、葉のABAが果実に転流して着色が促進されるとする考え方もあるが、葉に多く蓄積したABAが果皮の着色に及ぼす影響については今後さらに検討をしなければならない分野である。

5) 光

ブドウの着色は光に影響を受ける。黒色や赤色のブドウは着色の光に対する反応性から直光着色品種と散光着色品種に分けられる。直光着色品種は太陽光を直接受けた場合のみ完全に着色し、散光着色品種は太陽光が果房に直接あたらなくても散乱光があたると着色する。光の波長も着色に影響し、直光着色品種と散光着色品種とでは着色に有効な光の波長が異なることが報告されている。例えば直光着色品種の‘グローコールマン’の場合UV-A(波長320~400nm)の照射によりアントシアニン生成が促進されることが確認されているが、散光着色品種の‘ピオーネ’はUV-Aを照射しても着色が促進されない¹⁶⁾。UV-Aの照射は直光着色品種の着色向上に有効で

あると考えられる。UV-A が直光着色品種の果皮の内生生理活性物質に及ぼす影響については、今のところ報告がない。

6) 樹の栄養条件やウイルス感染

着果過多は果実間の栄養的競合を引き起こし、果実の糖含量の低下や着色不良を招く。また樹勢が旺盛な場合、新梢などの栄養器官に光合成同化産物が多く分配されるため、果実への分配は減少する。またリーフロールウイルスとフレックスウイルスに重複感染すると、味なし症状を示すことが知られているが、味なし症状を示した果実は糖度が著しく低下しているだけではなく、着色不良を呈している。これら栄養条件やウイルス感染による着色不良と内生生理活性物質との関連についてはこれまで報告がない。

5. 生理活性物質の散布による着色向上の可能性

ブドウの着色を向上させるための植物成長調節剤は現段階では登録がない。しかし、これまでの研究結果から、成熟期のブドウ果房にABAを散布すれば着色の向上が望めることは容易に判断できる。また乾燥処理などの栽培管理で内生ABAを上昇させることができるため、栽培管理によりABAを増加させることで着色の促進も期待される。さらにABA生合成のキーエンザイムをコードする遺伝子の発現を時期別・器官別に調べたり、同位体標識したABAを用いたトレーサー実験を行ったりすることで、ブドウにおけるABAの動態が解明され、着色機構が一層明らかになると考えられるため、今後もデータを蓄積していく必要がある。また果房へのABA散布により着色が向上したとする研究例は多いが、散布濃度や処理時期の検討を更に重ねるこ

とでより確実な着色向上技術が確立するであろう。今後、ABA散布による着色向上が様々な品種について行われたり広域的に試験が行われたりすることによって、ABAの着色促進剤としての利用が図られることに期待したい。

6. おわりに

地球規模の気候温暖化が問題となっているが、今後は温暖化に伴う着色不良が増える懸念があるため、着色不良対策となりうる栽培技術が早急に確立されることが望まれる。同時に乾燥処理や環状剥皮処理などの技術を品種ごとに処理時期や方法を中心に検討し、栽培現場で応用してゆくことも意義があると思われる。

引用文献

- 1) Inaba A, Ishida M, Sobajima Y. 1976. Changes in endogenous hormone concentrations during berry development in relation to the ripening of Delaware grapes. J. Japan Soc. Hort. Sci. 45, 245-252
- 2) Ban T, Ishimaru M, Kobayashi S, Shiozaki S, Goto-Yamamoto N, Horiuchi S. 2003. Absciscic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic pathway genes in 'Kyoho' grape berries. J. Hortic. Sci. Biotech. 78, 586-589
- 3) Yakushiji H, Morinaga K, Kobayashi S. 2001. Promotion of berry ripening by 2,3,5-triodobenzoic acid in 'Kyoho' grapes. J. Japan Soc. Hort. Sci. 70, 185-190
- 4) 茗名孝・宇都宮直樹・片岡郁雄. 1979. 樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響(第2報) ブドウ「巨峰」果実の着色に及ぼす樹体及び果実の環境温度の影響. 園芸学会雑誌. 48,

- 261-266
- 5) 児下佳子・福田浩幸・朝倉利員・土田靖久.
2004. ブドウ '安芸クイーン' 果房への温度
処理が果皮の着色と果実のABA含量に及ぼ
す影響. 園学雑 73 別 1, 63
- 6) 鈴木鉄男・橋爪光一・高木敏彦・岡本 茂.
1981. 温州ミカン樹における水ストレスが果
実, 葉中の糖, 有機酸, アミノ酸, ABA 含量
に及ぼす影響. 静岡大学農学部研究報告. 31,
9-20
- 7) Kobashi K, Gemma H, Iwahori S. 1997.
Effect of water stress on fruit quality and
endogenous abscisic acid (ABA) content in
peach fruit. Environ. Control in Biol. 35, 275 -
282
- 8) 福井謙一郎・濱田憲一・荒木 斉. 2004. 着
色期の土壌乾燥処理がブドウ 'ピオーネ' の
樹体の生育および果実品質に及ぼす影響. 近畿
中国四国農業研究センター研究報告. 4, 37-40
- 9) 朝倉利員・児下佳子・土田靖久・福田浩幸.
2004. ブドウの糖度, 着色は果房を低湿度条
件にすることにより促進される. 園学雑 73 別
1, 237
- 10) Carreño J, Faraj S, Martinez A. 1998.
Effects of girdling and covering mesh
on ripening, colour and fruit characteristics
of 'Italia' grapes. J. Hortic. Sci. Biotech. 73, 103-
106
- 11) Peacock W, Jensen F, Else J, Leavitt G.
1977. The effects of girdling and ethephon
treatment on fruit characteristics of Red
Malaga. Am. J. Enol. Vitic. 28, 228-230
- 12) 福井謙一郎・浜田憲一・荒木 斉. 1999. 環
状はく皮連年処理がブドウ 'ピオーネ' の果
実品質と生育に及ぼす影響. 平成11年度園芸
学会近畿支部研究発表要旨. 7
- 13) 藤島広之・白石美樹夫・下村昌二・堀江裕
一郎. 2005. 環状はく皮処理がブドウ 'ピオー
ネ' の果実品質に及ぼす影響. 園学研. 4, 313-
318
- 14) Yamane T, Shibayama K. 2006. Effects of
trunk girdling and crop load levels on fruit
quality and root elongation in 'Aki Queen'
grapevines. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75, 439-444
- 15) During H. 1978. Studies on the
environmentally controlled stomatal
transpiration in grape vines. II. Effects of
girdling and temperatures. Vitis 17, 1-9
- 16) 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. 岡山
大農学部学術報告. 91, 55-60



カヤツリグサ科入門図鑑

谷城 勝弘

A5変形判 定価2,940円(税込)

ごく普通に見られる約200種を取り上げ、大きな写真、
ていねいな写真説明でわかりやすく解説します。

- 第1部 カヤツリグサ科の形
- 第2部 カヤツリグサ科200種
- 第3部 カヤツリグサ科の生える環境
- 第4部 標本でみるカヤツリグサ科

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-27-11

TEL03-3839-9160 FAX03-3839-9172

<http://www.zennokyo.co.jp>