

瀬戸内沿岸部におけるブドウ‘安芸クイーン’の 高品質果実生産に関する研究

キーワード：ABA, ‘安芸クイーン’, アントシアニン, ブドウ, 着果量, 着色, 環状剥皮,
Myb, 根, 温度, 糖

山 根 崇 嘉

—2008—

目 次

| | |
|------------------------------------|----|
| 緒 言 | 1 |
| 第 1 章 ブドウ着色に及ぼす温度の影響 | 6 |
| 第 2 章 現地の着色実態 | 15 |
| 第 3 章 ブドウ着色と糖含量 | 19 |
| 第 4 章 環状剥皮の幅と時期が着色に及ぼす影響 | 26 |
| 第 5 章 環状剥皮の処理方法 | 33 |
| 第 6 章 現地における環状剥皮効果の実証試験 | 41 |
| 第 7 章 環状剥皮が着色を向上させるメカニズムについて | 45 |
| 第 8 章 温度とアントシアニン生合成との関係 | 51 |
| 総合考察 | 56 |
| 摘 要 | 64 |
| 謝 辞 | 67 |
| 引用文献 | 68 |
| Summary | 76 |

緒 言

わが国のブドウ品種は、昭和初期には‘デラウェア’、‘キャンベル・アーリー’、‘甲州’が主力であったが、戦後になると、これに‘マスカット・ベリーA’と‘巨峰’が加わった。過去20年間の変遷を見ると、‘キャンベル・アーリー’が激減、‘デラウェア’と‘マスカット・ベリーA’が漸減し、代わりに‘巨峰’と‘ピオーネ’（‘巨峰’×‘カノンホール・マスカット’）といった低酸、大粒の品種が著しく増大した。また、近年は種なしに対する需要が高まっており、ジベレリン処理によって容易に種なし果実を生産できる‘ピオーネ’の栽培面積が増加している。2005年の果樹統計（日本園芸農業組合連合会）によれば、‘ピオーネ’の東京、横浜、大阪、名古屋という、いわゆる4大市場における販売数量は1996年の2,607tから2005年の5,005tへ、この10年間で倍増している。しかし、単一品種の生産量のみが増加することに伴う価格低下の懸念や特色ある品種に対する高値販売への期待から、一部の地域では‘オリンピア’、‘紅伊豆’、‘紅瑞宝’、‘竜宝’などの4倍体の赤色系品種の栽培が試みられてきた。しかし、これらの品種は裂果の発生や、柔らかい肉質といった問題点があり、栽培面積はわずかであった。本研究で取り上げる‘安芸クイーン’は‘巨峰’の自家受粉により農林水産省果樹試験場（現在は独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所）で育成された品種（1991年に登録）で、‘紅伊豆’、‘紅瑞宝’、‘竜宝’よりも果粒が大きく、肉質が優れ、また‘オリンピア’よりも裂果が少ない赤色の優良品種である（山根ら、1992）。‘安芸クイーン’は高糖度で、豊かな香りを持っており、食味調査では‘ピオーネ’よりも高い評価を得ている。しかし、着色不良の発生という赤色系品種共通の問題点を抱えている。

着色不良とは果皮のアントシアニンが十分に蓄積せず、成熟しても品種本来の色とならない現象であり、‘ピオーネ’などの黒色品種では、十分着色しない赤熟れ果となり、‘安芸クイーン’などの赤色品種では、緑色に近い果実となる。このような着色不良は4倍体品種で問題となるが、色素量が多い‘キャンベル・アーリー’や‘マスカット・ベリーA’などの黒色2倍体品種ではほとんど問題にならない。また、4倍体品種の中でも‘安芸クイーン’などの赤色品種は、‘ピオーネ’や‘巨峰’などの黒色品種よりもさらに着色が不安定である。赤色品種は果皮のアントシアニン含量が黒色品種より少なく、わずかなアントシアニン含量の低下でも外観に及ぼす影響が大きく、着色不安定の一因となっていると考えられる。

1. 広島県瀬戸内沿岸部におけるブドウ栽培の問題点

成熟期の高温が着色不良を引き起こすことは古くから知られている（内藤・植田、1964）。広島県においてブドウは県北部から瀬戸内沿岸部までほぼ県内全域で栽培されているが、中でも瀬戸内沿岸部は‘マスカット・ベリーA’、‘デラウェア’を中心とした古くからのブドウの産地があり、県内の栽培面積330haの内210haを占めている。広島県のブドウ産地にお

いては近年、単価の高い4倍体品種への転換が進んでおり、‘安芸クイーン’は高値で取引されていることもあって、急速に栽培面積が増加している。しかし、主力産地である瀬戸内沿岸部では成熟期が高温となり、着色不良の問題が大きい。‘安芸クイーン’の場合、着色不良果は外観が劣るだけでなく糖度も低いため瀬戸内沿岸部産の‘安芸クイーン’に対する市場での評価は低く、北部産の着色良好果の半値以下で取引されている。したがって、広島県のブドウ生産を発展させるためには、糖度を高め、着色を良好にする技術開発が必要である。

2. 着色に影響を及ぼす要因

温度とブドウの着色との関係については、これまで昼温や夜温を一定の温度条件に設定した人工気象室を用いた実験などにより検討されている。例えば、Kliwer・Torres (1972)は‘Cardinal’、‘Pinot noir’および‘Tokay’のアントシアニンの蓄積は夜温が一定の場合、昼温35℃では阻害され、15℃で促進されることを報告している。苫名ら (1979b)は樹体温よりも果実温が‘巨峰’果皮のアントシアニン蓄積に重要な影響を及ぼし、果実温が15℃から30℃の範囲では高温になるほどアントシアニンの蓄積が劣ることを明らかにしている。生育ステージと温度との関係については、満開後35日以降の高温が‘デラウェア’の着色を抑制することが内藤・植田 (1964)によって報告されている。しかし、成熟期間中の生育ステージと温度との関係について詳細に検討した報告はない。

ブドウではベレゾーン期（この時期を境に果粒は軟化し、着色が始まる）以降の果実生長第Ⅲ期に果粒中のアブジシン酸 (ABA) 含量が急激に増加する (Coombe・Hale, 1973; Inabara, 1976; Kataokaら, 1983)。温度とABAとの関係を見ると、高温 (30℃) では内生ABA含量が低下し (苫名ら, 1979b)、また高温条件下であっても果房にABAを散布するとアントシアニン含量が向上することが報告されており (Kataokaら, 1984)、温度はABAを通じてアントシアニンの蓄積に影響している可能性が指摘されている (苫名ら, 1979b)。

ブドウの着色は温度やABA以外にも糖含量、施肥、着果負担、光および水ストレスなど多くの要因の影響を受けることが報告されている。糖と着色との関係については、Pirie・Mullins (1977)は果皮の乾物重あたりの糖含量とアントシアニン含量との間には高い相関があることから、糖の蓄積がアントシアニンの蓄積を支配する要因の一つであると考えている。苫名ら (1979b)は果実温は糖度に影響を及ぼさないが、樹体温は糖度に影響を及ぼし、樹体温30℃は20℃に比べ糖度が低いことを明らかにしている。小野ら (1993)は‘ピオーネ’において、着色不良樹では着色良好樹に比べて成熟期間を通して果実の糖含量が低く、特に成熟開始2~3週間以降の糖蓄積が劣ることを示している。また、そのような着色不良樹は良好樹に比べ、ベレゾーン以前の根発生が劣り、気孔抵抗が高く、果実への¹³C分配率が低いことが報告されている (小野ら, 2000a,b)。松島ら (1989)は‘オリンピア’に対するABAの処理効果は、果皮中の糖が急上昇するベレゾーン後2~3週間目に顕著であり、ABAがアントシアニンの蓄積を促進するためには果粒側に内的条件が整っていなければならないとしている。また、Pirie・Mullins (1976)は‘Cabernet Sauvignon’においてベレゾーン期の果粒

に果梗から ABA やショ糖を吸収させた場合、ショ糖のみの処理でも ABA の処理と同様にアントシアニン含量が増加することを報告している。着果量は糖含量とアントシアニン含量に影響を及ぼしており、摘房または剪定量の調節により着果負担を軽減すると、糖度 (Bravdo ら, 1985; Edson ら, 1995; Howell ら, 1987; 高橋, 1985) およびアントシアニン含量 (Kliewer・Weaver, 1971) が向上することが報告されている。

窒素の影響に関しては、養液栽培において硬核期あるいは着色開始期から成熟期まで窒素の供給を制限すると‘ブラック・クイーン’果実の糖度が高まり、着色が促進されることが報告されている (広保, 1963)。一般に窒素の遅効きは新梢伸長を旺盛にし、果実と新梢との間に養分競合を引き起こす結果、着色を阻害すると考えられている。しかし、Kliewer (1977) は‘Emperor’において窒素肥料をベレゾーン 2 週間前に 20L ポットあたり 3.4g 施用すると、1.7g の施用に比べ、糖含量とアントシアニン含量が低下し、同時にアルギニンと総アミノ酸含量が増加することを明らかにし、窒素は果粒内でのアミノ酸やタンパク質の合成を増大させ、糖含量を低下させる結果、果実の成熟の遅延と着色不良を招くと考えている。

水ストレスは着色および糖度を向上させる。Loveys・Kliedemann (1973) はその原因として水ストレスによって ABA 含量が高められることを挙げている。また、福井ら (2004) は土壌の乾燥処理が‘ピオーネ’果皮中の ABA 含量を高め、着色を向上させることを報告している。

光の影響については、樹上において果房を遮光するとアントシアニンの蓄積が抑制されること、品種により光の影響に差のあること (Kliewer, 1970; Kliewer・Lider, 1970; 内藤, 1964; 内藤ら, 1965)、また、完全遮光が‘巨峰’の L-フェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) の酵素活性を低下させること (Kataoka ら, 1984) などが明らかにされている。また紫外線の効果が大きく、紫外線透過率の低い資材で被覆すると着色が劣ることが報告されている (Kataoka ら, 2003)。

3. 着色促進技術

以上のような研究に基づき、これまで様々な着色促進技術が検討されてきた。温度に関しては、果房のみの冷却でも着色を促進できることが明らかにされ (苦名ら, 1979b)、‘赤嶺’および‘ルビー・オクヤマ’果房への部分冷却処理が試みられているが、1) 一般的な整枝法でない垣根仕立てに対応していること、2) 設備費の他に深夜のみの冷却でも 1 日 22.8KWh の消費電力が必要であること、などの課題がある (平瀬ら, 1999)。

果房への ABA 散布処理による着色促進については、これまで、ABA の種類 (合成型、天然型)、濃度、処理時期について検討されている。平 (1990) の総説によると、ABA には立体異性体が存在し、合成された ABA はラセミ体 (S 型と R 型の混合物) であり、天然に見出される ABA はすべて S 型であり、合成型 ABA の 2 倍以上の着色促進効果を示す。処理効果は、125, 250 および 500 ppm を比べると、濃度が高いほど着色促進効果が高い。また、ABA は果粒の着色のみを促進し、果汁の可溶性固形物含量や滴定酸含量にはほとんど影響を及ぼ

さないことが明らかにされている (Kataoka ら, 1982)。平ら (1990) によると ‘オリンピア’ においてベレゾーン以降の ABA 処理は着色を促進するとされており、収穫間際 (10 日前) の処理では効果は劣る。ABA 処理はこのように着色促進効果が高いが、実用場面においては、1) 虫害の防止や果面の保護のためにブドウ栽培では袋掛けが行われており、ABA 処理を行う場合には、袋を外し、ABA 散布後に再度掛け直す必要がある、2) 着色開始期以降は、葉液の付着により果面上の果粉が溶脱し、外観を損なう、3) 散布部位のみ着色が進むため、散布ムラがあると不均一な着色となる、4) 着果過多などにより低糖度の果実でも着色が良好となるので、外観と味が一致しない、などの問題点がある。ABA の実用化のためにはこれらの課題を解決する必要がある。

施肥法に関して、岡本ら (1991) は根域制限栽培の ‘巨峰’ において発芽前から液肥を施用し、着色期の前から窒素濃度を低下させると着色が向上するとしている。水ストレスについては、適度な水ストレスは着色を促進するが、過度の水ストレスは早期落葉や果粒軟化の原因となる。今井ら (1991a) はコンテナまたは鉢植えの ‘巨峰’ において、ベレゾーン期から成熟期に土壤水分ポテンシャルが pF 2.1~2.2 に達すると、結果枝の茎径が肥大から収縮に転じ、水ストレスを受け始めるとしている。そして、根域制限栽培の ‘巨峰’ で、ベレゾーン以降 pF 2.2 で管理した場合には、pF 1.5 で管理した場合に比べ、落葉や果粒軟化などの悪影響を与えることなく、糖度と着色が向上することを報告している (今井ら, 1991b)。根域制限栽培は成熟期に肥切れが良く、適度な水ストレスを与えることができる栽培法であり、技術が確立し、普及が進んでいる。しかし、施肥やかん水を最適な条件で行っている根域制限栽培においても、温暖地域では着色不良が発生していることが確認されており、現在のところ施肥やかん水の改善だけでは温暖地域の着色改善は不十分である。

光環境の改善による着色向上対策として、‘甲州’ では紫外線照射により着色が向上することが認められており、1) ハウス資材などに紫外線透過の低い被覆資材を使用しないこと、2) 枝葉の過繁茂を避け、棚面を適正な明るさに保ち、果実に十分光線のあたるような枝管理をすることが重要とされている (稲部, 1986)。紫外線照射による着色向上については、ガラス室栽培の ‘グロー・コールマン’ でも着色向上効果が認められているが、品種により影響が異なり、‘ピオーネ’ では着色向上効果はない (久保田・土屋, 2001)。広島県においても ‘安芸クイーン’ に紫外線照射が試みられたことがあるが、高温地域の着色不良を改善するほどの効果は認められていない。

以上のように既存の技術では ABA 散布のように着色は改善できても糖含量などを高めることができないか、温暖地域では着色改善、糖度向上効果が小さいという問題がある。

4. 果粒糖濃度向上技術

ブドウの糖度は品質を決める重要な要因の一つで、前述した摘房または剪定量の調節による着果量の調節 (Bravdo ら, 1985; Edson ら, 1995; Howell ら, 1987; 高橋, 1985) や成熟期における土壤乾燥処理 (El-Ansary ら, 2005; El-Ansary・Okamoto, 2007; Okamoto ら, 2004),

根域制限栽培（今井ら，1991b），環状剥皮などの技術が糖度を上昇させる上で有効であることが明らかにされている。

環状剥皮は，樹の皮層すなわち師管部をはぎ取り，葉の同化産物が地下部へ転流することを遮り，果実への分配を促す技術である。古くから知られており，大井上（1930）の著書「葡萄之研究」において剥皮時期により，着粒安定，果粒肥大促進および成熟促進などの効果が記されている。カリフォルニア州では環状剥皮が実際栽培で広く行われているようであり，‘Thompson Seedless’における果粒肥大促進のための開花前の環状剥皮処理（Jensen ら，1981）や，‘Red Maraga’における着色向上のための成熟前の環状剥皮処理（Peacock ら，1977）が報告されている。国内では‘巨峰’や‘紅瑞宝’，‘ピオーネ’において着色促進効果が認められている（山本ら，1992；藤島ら，2005）。これらの実験結果を受け，広島県の瀬戸内沿岸部でも環状剥皮が行われているが，着色向上効果は不安定であり，全く効果がない場合もある。また，環状剥皮は着色や糖度を向上させる一方で，根の伸長を抑制する（山本ら，1992）。大井上（1930）は環状剥皮は樹の衰弱を招くので，強勢樹に行うべきであるとしている。しかし，環状剥皮が樹の衰弱に及ぼす影響についての具体的な報告はない。このように効果の安定性や樹の衰弱などの解決すべき問題が残されている。

本研究では瀬戸内沿岸部での高品質‘安芸クイーン’果実の生産技術を確立するため，温度が着色に及ぼす影響を明らかにするとともに，高温下で環状剥皮が着色向上，糖度向上効果を発揮できる条件や，樹の衰弱を回避する剥皮方法について検討した。すなわち，生育ステージ別の温度が着色に及ぼす影響を明らかにするとともに，環状剥皮処理における着果量調節，環状剥皮の時期，幅，部位，処理方法が果実品質，樹の生育および剥皮部のゆ合に及ぼす影響について検討した。また，環状剥皮による着色向上のメカニズムおよび高温による着色不良の発生のメカニズムについて，ABA 含量やアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現の面から解明を試みた。

第1章 ブドウ着色に及ぼす温度の影響

温度とブドウの着色との関係については、これまで昼温や夜温を一定の温度条件に設定したコイトロンを用いた実験などによって検討されており、成熟期における30℃以上の高温はアントシアニンの蓄積を阻害すること（Kataokaら, 1984; Kliewer, 1970; Moriら, 2004; 苜名ら, 1979b）、樹体温だけでなく果実温も果皮のアントシアニン蓄積に重要な影響を及ぼすこと（苜名ら, 1979b）、温度の影響は品種により異なること（Kliewer・Torres, 1972）が明らかにされている。しかし、これらの温度処理は着色開始から収穫まで行われており、成熟期間中における温度感受性の時期的変化については検討されていない。温度処理時期の影響については、‘デラウェア’をガラス温室内で高温に遭遇させた場合、満開後35日以降の高温が同55日以降よりも着色を抑制すること（内藤・植田, 1964）が報告されているのみである。温度に敏感な時期をより詳細に特定することができれば、施設栽培での効果的な温度管理が可能となり、また気温の解析によって着色の面から見た栽培適地を明らかにすることも可能となると考えられる。そこで、本章では、温度感受性の時期的変化を明らかにすることを目的とし、生育ステージ別に温度処理を行った。

材料および方法

実験1. 着色開始前から収穫期までの2週間ごとの温度処理

2003年に広島県東広島市安芸津町の雨除けハウス内で育成した60Lのポット植え2年生ブドウ‘安芸クイーン’樹を用い、実験を行った。培地には花崗岩土壌にバークたい肥を体積比で10%混和したものを用いた。施肥は発芽前に化成肥料でN 4.5 g, P 3.0 g, K 4.5 gを施用した。かん水はテンシオメーターを用いた自動かん水とし、土壌水分吸引圧が-9.8 kPa (pF 2.0に相当)に達した時点で20 mm (4 L/樹)のかん水を行った。ブドウ樹は主枝1本を伸ばし、主枝から発生した結果枝は水平に誘引した。発芽3週間後に芽かきにより各樹3結果枝とした。結果枝は17 cm間隔で配置し、開花前に12節で摘心した。その後伸長した副梢は基部の1葉を残し適宜切除した。着粒安定、無核化および果粒肥大のため満開後3日目および13日目に花(果)穂をジベレリン(GA₃) 12.5 mg・L⁻¹とホルクロルフェニユロン(CPPU) 3 mg・L⁻¹溶液に浸漬処理した。満開2週間後に1結果枝1果房とし、1果房あたりの果粒数を30粒に調節した。

温度処理は昼夜温ともに20℃(±2℃)および30℃(±2℃)に設定したコイトロン内で行った。処理は着色開始前から収穫期にかけて2週間ごとに4回行った。すなわち、2003年6月24日～7月7日(着色開始3～1週間前, ステージ1-I), 7月7日～7月22日(着色開始7日前～着色開始後7日目, ステージ1-II), 7月22日～8月4日(着色開始後7～21日目, ステージ1-III), および8月4日～8月18日(着色開始後21～35日目, ステージ1-IV)

とした。処理はブドウ樹を期間中コイトロン内に運び込むことによって行い、処理期間以外は雨除けハウス内で育成した。全処理期間を通して、雨除けハウス内で育成した対照区も設けた。各処理3樹を供試した。対照区における満開日、ベレゾーンおよび着色開始日はそれぞれ、6月2日、7月14日および7月16日であり、ステージ1-IIの処理期間中に着色開始を迎えた。8月18日に全処理区の果房を一斉に収穫した。各処理期間の雨除けハウスの平均気温は16.1℃、17.6℃、20.1℃および21.3℃であった。処理期間中、雨天日や曇天日が多く、平年より低い温度であった。光は自然光条件とした。コイトロン（ガラス使用）と雨除けハウス（ビニール使用）の光条件はほぼ同じであったが、コイトロンの被覆資材は雨除けハウスの被覆資材に比べUV-Aの透過量が23%多く、UV-Bの透過量が16%少ない特性を持っていた。

アントシアニン含量と果実形質の分析のため、処理期間終了時と収穫時に各果房から、平均的な大きさの果粒3粒をランダムに採取した。アントシアニンは、各果粒から直径13 mmのコルクボーラーで果皮を採取し、50%酢酸10 mLを加え、4℃で24時間・暗黒条件下で抽出した。抽出液の520 nmにおける吸光度を分光光度計（日本分光、Ubest-30）で計測した。吸光度はシアニジン-3-モノグリコシドクロライド当量に換算した。糖度は屈折示度計を用いて測定し、酸含量は0.1N NaOHで滴定した値を酒石酸含量に換算した。

各樹3結果枝の平均値を樹の代表値とし、統計処理を行った。処理終了時の値については、処理期間ごとに分散分析を行い、Tukeyの多重検定を行った。収穫時の値については対照区と各処理区との差をDunnett法により検定した。

実験2. 成熟期前半における1週間ごとの温度処理

2004年にブドウ‘安芸クイーン’の60 Lポット植え3年生樹を用いて実験を行った。ブドウ樹の育成方法はGA₃とCPPUの処理方法を除いて実験1と同様に行った。GA₃とCPPUについては満開後3日目に花穂をGA₃ 25 mg・L⁻¹とCPPU 3 mg・L⁻¹溶液に、満開後13日目に果穂をGA₃ 25 mg・L⁻¹溶液に浸漬処理した。

温度処理は実験1と同様コイトロンで行った。2つの温度条件（高温区＝昼温33℃・夜温28℃、低温区＝昼温23℃・夜温18℃）とし、7:00～7:30と19:00～19:30に温度を切り替えた。処理は着色開始後4～32日目にかけて1週間ごとに行った。すなわち、2004年7月6日～7月13日（着色開始後4～11日目、ステージ2-I）、7月13日～7月20日（同11～18日目、ステージ2-II）、7月20日～7月27日（同18～25日目、ステージ2-III）および7月27日～8月3日（同25～32日目、ステージ2-IV）とし、計4時期の処理を行った。処理は実験1と同様に、ブドウ樹を期間中コイトロン内に運び込むことにより行い、処理期間以外は雨除けハウス内で育成した。全期間を通して雨除けハウスで育成した対照区を設けた。各処理3樹を供試した。対照区における満開日、ベレゾーンおよび着色開始日はそれぞれ、5月20日、6月30日および7月2日であった。8月11日に全処理区の果房を一斉に収穫した。各処理期間の雨除けハウスの平均気温は25.4℃、26.8℃、27.0℃および26.5℃であった。実験

1と同様に処理期間終了時および収穫時にアントシアニン含量および果実形質を分析した。加えて果皮の着色の推移を‘安芸クイーン’専用カラーチャート (Kondouら, 1998) を用い、1~2日ごとに調査した。

結 果

実験 1. 着色開始前から収穫期における 2 週間ごとの温度処理

各期間の温度処理終了時点のアントシアニン含量を第 1-1 表に示す。アントシアニン含量は処理終了時点においてはステージ 1-II および 1-III の 20°C 区で 30°C 区よりも有意に高くなった。特にステージ 1-III (着色開始後 7~21 日目) では 20°C 区でアントシアニン含量が大きく増加し、対照区よりも有意に高くなった。一方、ステージ 1-II, III および IV の 30°C 区では処

第 1-1 表 異なる生育ステージにおける温度処理が処理直後のブドウ ‘安芸クイーン’ の果皮のアントシアニン含量, 果粒重, 糖度および酸含量に及ぼす影響 (実験 1)

| ステージ ^a | 温度 | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ skin FW) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-------------------|------|-------------------------------------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 1-I | 20°C | 0.00a ^x | 4.0a | 4.8a | 2.91a |
| | 30°C | 0.01a | 4.0a | 5.8a | 3.29a |
| | 対照区 | 0.01a | 4.1a | 5.2a | 2.94a |
| | F 検定 | NS ^y | NS | NS | NS |
| 1-II | 20°C | 0.26a | 7.6a | 13.7a | 1.84a |
| | 30°C | 0.01b | 7.4a | 13.3a | 1.42a |
| | 対照区 | 0.17a | 8.0a | 13.3a | 1.33a |
| | F 検定 | ** | NS | NS | NS |
| 1-III | 20°C | 1.41a | 8.6a | 17.2a | 1.11a |
| | 30°C | 0.23c | 8.2a | 16.9a | 0.90b |
| | 対照区 | 0.72b | 8.9a | 17.3a | 0.85b |
| | F 検定 | * | NS | NS | ** |
| 1-IV | 20°C | 0.90a | 9.3a | 19.4a | 0.56a |
| | 30°C | 0.67a | 9.6a | 19.3a | 0.46b |
| | 対照区 | 0.76a | 10.3a | 19.7a | 0.45b |
| | F 検定 | NS | NS | NS | * |

^a ステージ 1-I, 着色開始 3~1 週間前 (6 月 14 日~7 月 7 日); ステージ 1-II, 着色開始 7 日前~着色開始後 7 日目 (7 月 7 日~7 月 22 日); ステージ 1-III, 着色開始後 7~21 日目 (7 月 22 日~8 月 4 日); ステージ 1-IV, 着色開始後 21~35 日目 (8 月 4 日~8 月 18 日)

^y **は 1%水準で, *は 5%水準で有意性あり, NS は有意性なし

^x 異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P=0.05)

処理終了時のアントシアニン含量は前のステージの対照区（各処理開始直前の値に等しい）と差がなく、30℃区ではアントシアニンの蓄積がほぼ完全に抑制されていた。

収穫時におけるアントシアニン含量を第1-2表に示す。ステージ1-IIIでの温度処理は収穫時のアントシアニン含量に影響を及ぼし、20℃区では対照区よりも有意に高くなり、30℃区では有意に低くなった。

着色開始前から温度処理を行ったステージ1-Iと1-IIでは、温度処理は着色開始日に影響を与えた。ステージ1-Iにおいては20℃区では着色開始日が7月5日となり、対照区（7月2日）よりも3日遅れ、30℃区では7月2日となり、対照区と変わらなかった。一方、ステージ1-IIにおいては20℃区では着色開始日が6月27日となり、対照区よりも5日早まり、30℃区では7月6日となり、対照区よりも4日遅れた。しかし、ステージ1-Iと1-IIにおけるこれらの着色開始日の違いは収穫日のアントシアニン含量には影響を与えなかった（第1-2表）。

果粒重と糖度は処理終了時および収穫時のいずれにおいても温度の影響を受けなかった（第1-1, 1-2表）。一方、酸含量は処理終了時点ではステージ1-IIIおよび1-IVの20℃区で高くなり（第1-1表）、収穫時においてはステージ1-IVの20℃区で対照区よりも有意に高い値となった（第1-2表）。

第1-2表 異なる生育ステージにおける温度処理が収穫時のブドウ‘安芸クイーン’の果皮のアントシアニン含量、果房重、果粒重、糖度および酸含量に及ぼす影響（実験1）

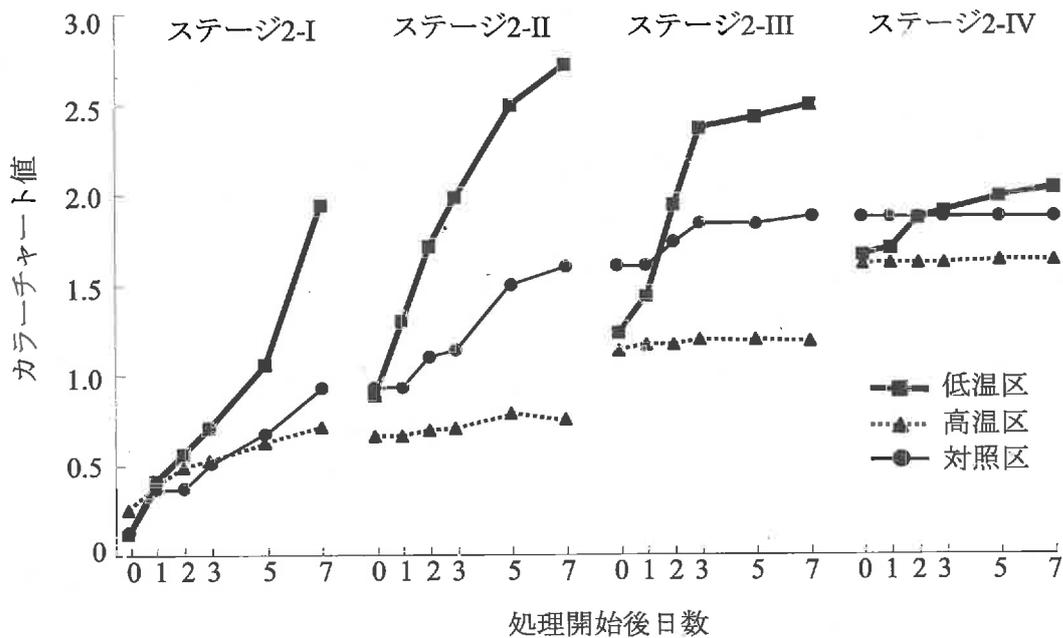
| ステージ* | 温度 | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ skin FW) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-------|-----|-------------------------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 1-I | 20℃ | 0.58 | 264 | 10.3 | 18.7 | 0.42 |
| | 30℃ | 0.76 | 247 | 9.7 | 20.9 | 0.45 |
| 1-II | 20℃ | 0.90 | 264 | 10.2 | 19.6 | 0.47 |
| | 30℃ | 0.63 | 299 | 10.0 | 18.5 | 0.49 |
| 1-III | 20℃ | 1.27** ^y | 271 | 9.6 | 19.2 | 0.49 |
| | 30℃ | 0.46* | 237 | 9.4 | 18.7 | 0.48 |
| 1-IV | 20℃ | 0.90 | 254 | 9.3 | 19.4 | 0.56** |
| | 30℃ | 0.67 | 232 | 9.6 | 19.3 | 0.46 |
| 対照区 | | 0.76 | 254 | 10.3 | 19.7 | 0.45 |

* ステージ1-I, 着色開始3~1週間前（6月14日~7月7日）；ステージ1-II, 着色開始7日前~着色開始後7日目（7月7日~7月22日）；ステージ1-III, 着色開始後7~21日目（7月22日~8月4日）；ステージ1-IV, 着色開始後21~35日目（8月4日~8月18日）

^y**は1%水準で、*は5%水準で対照区に比べて有意差あり（Dunnett法）

実験2. 成熟期前半における1週間ごとの温度処理

温度処理期間中のカラーチャート値の経時的変化を第1-1図に示す。高温区はステージ2-



第 1-1 図 異なる生育ステージにおける温度処理がブドウ‘安芸クイーン’の果皮の着色に及ぼす影響 (実験 2)

I のはじめの数日を除き、他のすべての期間で着色を阻害した。低温が着色に及ぼす影響はステージにより大きく異なった。すなわち、ステージ 2-I の低温区においては処理開始 2 日目までは他の処理区と同様に着色が進み、その後は他の処理区よりも急速に着色が上昇した。ステージ 2-II では処理期間を通して、低温区で着色が大きく上昇しつづけた。ステージ 2-III では始めの 3 日間は低温区で着色上昇速度が速かった。ステージ 2-IV の低温区においては着色がほとんど進まなかった。対照区の着色の推移は低温区と同様のパターンを示したが、着色の進行は低温区よりも小さかった。

第 1-3 表に処理終了時点のアントシアニン含量を示す。処理終了時点におけるアントシアニン含量はステージ 2-I, 2-II および 2-III の低温区で高温区よりも有意に高い値となり、ステージ 2-II および III の低温区で対照区よりも有意に高くなった。ステージ 2-IV では処理区間にアントシアニン含量の有意な差はなかった。処理終了時点で最もアントシアニン含量が高かったのはステージ 2-II の低温区であった。第 1-4 表に収穫時のアントシアニン含量を示す。収穫時におけるアントシアニン含量はステージ 2-II の低温区で対照区よりも有意に増加した。一方、ステージ 2-II および 2-III の高温区では対照区よりもアントシアニン含量は有意に減少した。

果粒重および糖度に関しては処理期間終了時と収穫時のいずれにおいても、温度処理の影響は認められなかった (第 1-3, 1-4 表)。処理終了時点における酸含量はステージ 2-I, 2-II および 2-III の低温区で高い値となり、特にステージ 2-I で他区との差が大きかった (第 1-3 表)。収穫時の酸含量はステージ 2-I で対照区よりも有意に高くなった (第 1-4 表)。

第 1-3 表 異なる生育ステージにおける温度処理が処理直後のブドウ '安芸クイーン' の果皮のアントシアニン含量, 果粒重, 糖度および酸含量に及ぼす影響 (実験 2)

| ステージ ^z | 温度 ^y | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ skin FW) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-------------------|-----------------|-------------------------------------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 2-I | 低温区 | 0.167a ^x | 12.4a | 13.0a | 1.60a |
| | 高温区 | 0.047b | 12.4a | 13.3a | 1.18b |
| | 対照区 | 0.073ab | 12.9a | 13.4a | 1.24b |
| | F 検定 | ** | NS | NS | ** |
| 2-II | 低温区 | 0.288a | 14.0a | 15.2a | 0.97a |
| | 高温区 | 0.042b | 14.0a | 15.0a | 0.90b |
| | 対照区 | 0.089b | 14.3a | 15.6a | 0.82b |
| | F 検定 | ** | NS | NS | * |
| 2-III | 低温区 | 0.230a | 14.4a | 17.0a | 0.80a |
| | 高温区 | 0.084b | 14.7a | 16.8a | 0.70b |
| | 対照区 | 0.136b | 15.0a | 17.4a | 0.70b |
| | F 検定 | ** | NS | NS | * |
| 2-IV | 低温区 | 0.178a | 14.7a | 17.8a | 0.61a |
| | 高温区 | 0.115a | 15.2a | 18.0a | 0.61a |
| | 対照区 | 0.141a | 14.8a | 18.5a | 0.58a |
| | F 検定 | NS | NS | NS | NS |

^z ステージ 2-I, 着色開始後 4~11 日目; ステージ 2-II, 着色開始後 11~18 日目; ステージ 2-III, 着色開始後 18~25 日目; ステージ 2-IV, 着色開始後 25~32 日目, なお, 着色開始日は 7 月 2 日

^y 低温区, 昼温 23°C・夜温 18°C; 高温区, 昼温 33°C・夜温 28°C; 対照区, 雨除けハウス内の自然温

^x 各生育ステージの処理内において異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

^w ***は 1%水準で, *は 5%水準で有意性あり, NS は有意性なし

第1-4表 異なる生育ステージにおける温度処理が収穫時のブドウ‘安芸クイーン’の果皮のアントシアニン含量、果房重、果粒重、糖度および酸含量に及ぼす影響（実験2）

| ステージ [※] | 温度 [†] | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ skin FW) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-------------------|-----------------|-------------------------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 2-I | 低温区 | 0.157 | 365 | 15.6 | 19.9 | 0.56** |
| | 高温区 | 0.105 | 402 | 15.9 | 19.3 | 0.51 |
| 2-II | 低温区 | 0.235*** | 385 | 16.6 | 19.0 | 0.53 |
| | 高温区 | 0.078** | 388 | 15.9 | 18.7 | 0.52 |
| 2-III | 低温区 | 0.188 | 429 | 15.9 | 18.7 | 0.53 |
| | 高温区 | 0.099* | 424 | 15.5 | 18.6 | 0.53 |
| 2-IV | 低温区 | 0.162 | 398 | 15.5 | 18.6 | 0.51 |
| | 高温区 | 0.120 | 418 | 15.6 | 18.9 | 0.51 |
| | 対照区 | 0.141 | 370 | 16.1 | 19.5 | 0.51 |

[※] ステージ 2-I, 着色開始後 4~11 日目; ステージ 2-II, 着色開始後 11~18 日目; ステージ 2-III, 着色開始後 18~25 日目; ステージ 2-IV, 着色開始後 25~32 日目, なお, 着色開始日は 7 月 2 日

[†] 低温区, 昼温 23°C・夜温 18°C; 高温区, 昼温 33°C・夜温 28°C; 対照区, 雨除けハウス内の自然温

***は 1%水準で対照区に比べて有意差あり (Dunett 法)

考 察

温度が着色に与える影響は時期により大きく異なった。実験1の着色開始3週間前から収穫期までの2週間ごとの温度処理では、着色開始後7~21日目(ステージ1-III)の温度処理の影響が大きく、20℃区で着色が大きく促進され、収穫時のアントシアニン含量が最も高くなった。この時期は対照区でも着色が進む時期であり、この期間にアントシアニンを蓄積しなかった30℃区は収穫時の着色が劣った。実験2では実験1で着色に対する影響の大きかった着色開始後7~21日目の期間を含む時期について、温度と着色との関係をより詳細に検討するため、1週間ごとの温度処理を着色開始後4~32日目に行い、処理期間中の着色の推移をカラーチャートを用いて1~2日ごとに調査した。その結果、ステージ2-Iの4日目からステージ2-IIIの3日目、すなわち着色開始後8~21日目に温度の影響が大きいことが明らかとなった。

Kliewer・Torres (1972) は 'Cardinal', 'Pinot noir' および 'Tokay' のアントシアニンの蓄積は品種間で程度の差はあるが、15℃で促進され、35℃で阻害されることを報告している。また、苫名ら (1979b) は果実温が15℃から30℃の範囲では高温になるほどアントシアニンの蓄積が劣ることを明らかにしている。本実験においては低温処理は実験1では昼夜とも20℃、実験2では昼温23℃・夜温18℃、高温処理は実験1では昼夜とも30℃、実験2では昼温33℃・夜温28℃とした。これらの温度の影響はKliewer・Torres (1972) および苫名ら (1979b) の報告と一致し、20℃前後で着色が促進された。30℃前後の高温はこれらの報告と同様に着色をほぼ完全に抑制したが、実験2の処理開始時にあたる着色開始後4~6日目の期間は高温区でも若干着色が進んだ(第1-1図)。この期間は低温区でも着色速度がそれほど大きくなかった。

糖度は温度処理の影響を受けなかった。苫名ら (1979a) は果実温が15℃~30℃では温度が高いほど糖含量が増加するが、樹体温は高温になるほど糖度を低下させることを報告している。一方、温度処理は糖の蓄積に大きな影響を及ぼさないとする報告もある(Buttroseら, 1971; Kliewer・Torres, 1972)。本実験での温度処理はこれらの報告に比べて処理期間が短く、糖度に対する温度の影響が現れにくかったと思われる。処理終了時点の酸含量については実験2の着色開始後25日目~32日目(ステージ2-IV)を除いて、着色開始以降のほとんどすべての低温処理で減酸が阻害された。このことは苫名ら (1979a) の報告と一致している。収穫時の酸含量については実験1の着色開始後21~35日目(ステージ1-IV)と実験2の着色開始後4~11日目(ステージ2-I)の低温区で高い値となった。このように実験1と実験2では収穫時の酸含量に低温が効果を示す時期が異なった。2003年の処理期間は雨天日が多く、2004年の処理期間は晴天が多かったことから、処理期間以外の気温や日射量の年次変動も酸含量に影響した可能性があると考えられた。

以上、'安芸クイーン' では着色開始後8~21日目を中心に着色が進み、この時期に低温に遭遇すると着色が向上すること、また、高温に遭遇すると収穫時の着色が劣ることが明らか

かとなった。広島県の瀬戸内沿岸部では簡易被覆栽培の‘安芸クイーン’の着色開始が7月上旬～中旬となり、着色開始後8～21日目は7月下旬～8月上旬に相当する。この時期は一年で最も暑い時期で熱帯夜となりやすく、瀬戸内沿岸部の着色不良をいっそう助長していると考えられた。また、施設の導入などによる作型の前進も着色不良を回避する手段の一つと考えられた。

第1章 要約

ブドウ果皮の着色に及ぼす温度の影響について、生育時期別の温度感受性を明らかにするため、コイトロンを用いて温度処理を行った。処理には‘安芸クイーン’60Lポット植え樹(2～3年生樹)を用いた。温度処理は、雨除けハウスで育成したブドウ樹を一定期間ごとに温度設定したコイトロンに運び込むことによって行った。処理時期を変えて2か年の実験を行った。実験1では着色開始3週間前から収穫期までを2週間ごとの4時期に分けて温度処理を行った。処理温度は昼夜温共に20℃および30℃とした。その結果、30℃区ではすべての処理時期で着色が抑制された。20℃区の影響は処理時期によって大きく異なり、着色開始後7～21日目の処理でアントシアニン含量が大きく増加した。実験2では着色開始後4～32日目までを1週間ごとに4時期に分けて温度処理を行い、処理期間中の着色の推移を1または2日ごとにカラーチャートを用いて調査した。温度処理は低温区(昼温23℃、夜温18℃)および高温区(昼温33℃、夜温28℃)とした。その結果、着色開始後8～21日目に温度の影響が最も大きく現れ、低温で着色が進むことが明らかとなった。

以上のことから、着色に対して温度の影響を受けやすい時期が明らかとなり、着色面から見た栽培適地や施設での温度管理に利用できると考えられた。

第2章 現地の着色実態

第1章で‘安芸クイーン’の着色は着色開始後8~21日目の気温が重要で、成熟後期の高温は着色に影響を及ぼさないことを明らかにしたが、広島県内の気温の差は大きく、北部ではリンゴが栽培され、南部の瀬戸内沿岸部ではカンキツ類が栽培されている。‘安芸クイーン’は北部から瀬戸内沿岸部までの各地で栽培されているが、瀬戸内沿岸部での着色不良の原因として、着色開始後8~21日目の気温が高く、着色不良を引き起こしている可能性が考えられる。そこで、本章では広島県内各地において、‘安芸クイーン’の着色実態と気温との関係を明らかにし、この点を確認めようとした。

材料および方法

広島県北部の山間部から南部の瀬戸内沿岸部までの各地に栽植されたブドウ‘安芸クイーン’について2001年に調査を行った。調査園は第2-1表に示すように、A園（三次市三良坂町、標高220m、長梢剪定整枝、10年生樹）、B園（三次市東酒屋町、標高200m、長梢剪定整枝、4年生樹）、C園（広島市安芸区、標高100m、短梢剪定整枝、5年生樹）、D園（広島市東区、標高110m、短梢剪定整枝、根域制限栽培、3年生樹）、E園（福山市沼隈町、標高100m、短梢剪定整枝、6年生樹）、F園（東広島市安芸津町、標高170m、短梢剪定整枝、根域制限栽培、7年生樹）、およびG園（東広島市安芸津町、標高30m、加温栽培、短梢剪定整枝、根域制限栽培、6年生樹）の全7園とした。加温栽培のG園以外は、トンネルによる簡易被覆栽培である。すべての園の果房に、着粒安定、無核化および果粒肥大のためGA₃ 12.5 mg・L⁻¹とCPPU 3 mg・L⁻¹を満開後3日目および13日目に花（果）穂に浸漬処理した。1果房あたりの着粒数は30~35粒とした。

第2-1表 広島県内各地のブドウ‘安芸クイーン’調査園の園地概要

| 園地 | 地域 | 標高 (m) | 整枝法 | 栽植方法 | 樹齢 (年生) |
|----|------|-----------|--------|------|------------|
| A | 三次市 | 220 | 長梢剪定整枝 | 地植え | 10 |
| B | 三次市 | 200 | 長梢剪定整枝 | 地植え | 4 |
| C | 広島市 | 100 | 短梢剪定整枝 | 地植え | 5 |
| D | 広島市 | 110 | 短梢剪定整枝 | 根域制限 | 3 |
| E | 福山市 | 100 | 短梢剪定整枝 | 地植え | 6 |
| F | 東広島市 | 170 | 短梢剪定整枝 | 根域制限 | 7 |
| G* | 東広島市 | 30 | 短梢剪定整枝 | 根域制限 | 6 |

* 加温ハウス

各園の発芽日、展葉日、満開日、着色開始日および収穫日を調査するとともに、成熟期の気温を1時間ごとに記録した。得られた気温については、着色開始後8~21日目についての日平均気温、日最高気温および日最低気温の平均値を求めるとともに、この期間の気温の分布を30℃以上、25℃以上30℃未満、20℃以上25℃未満、20℃未満に区分し、期間中の各温度帯の遭遇時間数を求めた。各温度帯の遭遇時間数は計測期間の日数で除し、1日あたりの時間数とした。

収穫日に果房を採取し、重さを計測した後、各房から5粒を選び、果粒重、果皮色（‘安芸クイーン’専用カラーチャート値）、糖度および酸含量を測定した。測定は第1章と同様の方法で行った。

結 果

第2-2表にA~G園の発芽日、展葉日、開花日、着色開始日および収穫日を示す。着色開始日はA, B, D, E, F園では7月中下旬であったが、C園は8月10日と他園よりも遅かった。加温栽培のG園は6月7日であった。収穫日はA~F園ではF園が最も早く8月25日であり、B園が最も遅く9月13日であった。G園は7月17日であった。

着色にとって重要な着色開始後8~21日目について気温と着色との関係を解析した結果、着色と20~25℃に遭遇する時間との間には有意な正の相関が認められた（第2-3表）。また、有意とはならなかったが、日平均気温および日最低気温と着色との間には-0.72, -0.75という負の相関が認められ、着色不良のCおよびD園で日平均気温および日最低気温が高く、最も着色が進んだA園は、日平均気温および日最低気温が低かった。加温栽培のG園は、最も気温が低く、20~25℃の遭遇時間が最も長かった。日最高気温と着色との相関は平均気温、最低気温に比べ、低かった。

第2-4表に各園の収穫時の果実形質および着果量を示す。果皮のカラーチャート値は、最も高いA園では4.5とチャートの最大値に近い値となり、最も低いC園では0.2とチャート

第2-2表 調査園の生育状況

| 園地 | 発芽日 | 展葉日 | 満開日 | 着色開始日 | 収穫日 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 5月2日 | - | 6月1日 | 7月15日 | 8月29日 |
| B | - | 5月3日 | 6月3日 | 7月27日 | 9月13日 |
| C | 4月9日 | 4月12日 | 6月1日 | 8月10日 | 9月12日 |
| D | 4月7日 | 4月15日 | 5月25日 | 7月19日 | 9月6日 |
| E | - | 4月25日 | 6月2日 | 7月15日 | 9月1日 |
| F | 4月9日 | 4月21日 | 6月1日 | 7月15日 | 8月25日 |
| G ² | 3月13日 | - | 4月17日 | 6月7日 | 7月17日 |

²加温ハウス

の最小値に近い値となった。着果量は最も少ないB園の1m²あたり0.8kgから最も多いD園の1m²あたり3.0kgまで最大3倍以上の差があったが、着果量と着色との間に明確な関係は認められなかった。CやD園などの着色不良園では果房重および果粒重が他園よりも大きく、糖度が低かった。栽培方法や樹齢の違いにかかわらず、糖度と着色との間には有意な正の相関が認められた。酸含量と着色との間に明確な関係はなかった。

第2-3表 各調査園の着色開始後8~21日目の気温

| 園地 | 日気温 | | | 温度の分布 (日あたり時間数) | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-----------------|---------|--------------------|--------|
| | 平均 | 最大 | 最小 | 30°C以上 | 25-30°C | 20-25°C | 20°C以下 |
| A | 25.3 | 31.3 | 20.9 | 3.6 | 8.1 | 11.2 | 1.1 |
| B | 25.8 | 32.6 | 21.0 | 5.0 | 6.4 | 11.9 | 0.6 |
| C | 27.3 | 32.8 | 22.8 | 6.1 | 9.9 | 7.9 | 0.0 |
| D | 27.0 | 31.4 | 23.6 | 4.7 | 11.6 | 7.7 | 0.0 |
| E | 27.1 | 34.3 | 22.5 | 6.7 | 7.4 | 9.9 | 0.0 |
| F | 25.9 | 31.5 | 22.4 | 3.6 | 9.0 | 11.4 | 0.0 |
| G ² | 22.5 | 27.4 | 19.7 | 0.1 | 5.0 | 13.4 | 5.4 |
| 着色との 相関係数 (r) | -0.72 | -0.52 | -0.75 | -0.69 | -0.55 | 0.82 ^{3*} | 0.50 |

² 加温ハウス

^{3*}は5%水準で有意性あり

第2-4表 調査園の果実形質

| 園地 | カラーチャート値 | 着果量 (kg m ⁻²) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (° Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|------------------|----------|---------------------------|---------|---------|--------------------|------------------------------|
| A | 4.5 | 1.3 | 494 | 13.6 | 18.7 | 0.57 |
| B | 2.1 | 0.8 | 462 | 13.6 | 18.7 | 0.71 |
| C | 0.2 | 1.7 | 558 | 19.2 | 16.1 | 0.51 |
| D | 0.4 | 3.0 | 589 | 15.2 | 17.0 | 0.46 |
| E | 1.2 | 1.2 | 458 | 13.5 | 18.3 | 0.50 |
| F | 3.2 | 2.7 | 440 | 13.0 | 18.7 | 0.42 |
| G ² | 3.5 | 2.2 | 395 | 14.7 | 18.9 | 0.66 |
| 着色との 相関係数 (r) | - | -0.12 | -0.67 | -0.61 | 0.82 ^{3*} | -0.32 |

² 加温ハウス

^{3*}は5%水準で有意性あり

考 察

本研究で調査を実施した7園では樹齢や栽培方法が異なったにもかかわらず、全体としてみると着色と気温および糖度との間に有意な正の相関が認められた。気温と着色との関係について、20~25℃の遭遇時間と着色との間には有意な正の相関が認められ、20~25℃の遭遇時間の少ない沿岸部地域の簡易被覆栽培では着色が不良となった。第1章では‘安芸クイーン’の着色は20℃で大きく促進することを確認しており、本実験結果とほぼ一致する。また、沿岸部地域であっても加温栽培のG園は成熟期が早いことから、20~25℃に遭遇する時間が長く、着色が良好となったと考えられる。

日最高気温は日平均気温や日最低気温に比べ、着色との相関は低かった。日最高気温は加温栽培のG園以外ではいずれの園も30℃以上となった。第1章において30℃以上の高温は着色をほとんど促進しなかったことから、最高気温が着色に与える影響は小さかったと考えられる。

一方、糖度と着色との相関も高かった。糖の蓄積はアントシアニンの蓄積と密接に関係しており、果皮の乾物重あたりの糖含量とアントシアニン含量との間には高い相関があること (Pirie・Mullins, 1977)、『ピオーネ』の着色不良樹では良好樹に比べて成熟期間を通して果実の糖含量が低く、特に成熟開始2~3週間以降の糖蓄積が劣ること (小野ら, 1993) が報告されている。また、近年ではショ糖がシグナル物質としてアントシアニン生合成を制御していることがモデル植物を用いた研究により明らかにされている (Solfanelli ら, 2006; Teng ら, 2005)。今回の結果とこれらの報告は、糖が着色を決定する重要な要素であることを示唆している。

本実験において気温が低く、20~25℃に遭遇する時間が長い園と糖度が高い園は一致していた。しかし、第1章において温度処理は糖の蓄積に影響を与えなかった。この原因は明らかではないが、第1章の温度処理期間が短かったことが関係している可能性がある。また、本実験において気温と糖度に差が認められないA, B, F園で着色に差が認められたことから、気温と糖度以外の要因も着色に関与していることが示唆された。

第2章 要 約

ブドウ果皮の着色に関与する要因を明らかにするため、広島県内の栽培条件の異なる7園について、ブドウ‘安芸クイーン’の着色実態を2001年に調査した。その結果、樹齢や栽培方法が異なったにもかかわらず、着色と糖度および着色開始後8~21日目における20~25℃に遭遇する時間との間に有意な正の相関が認められた。

第3章 ブドウ着色と糖含量

第2章において、瀬戸内沿岸部では着色開始後8~21日目の20~25℃の遭遇時間が短いことが確認された。また、着色度と糖含量、20~25℃の遭遇時間との間には相関が認められたことから、瀬戸内沿岸部における‘安芸クイーン’の栽培では着色だけでなく糖度の向上も重要であることが明らかとなった。

環状剥皮は一時的に師管を切除し、転流を遮ることにより、剥皮部より上部の葉や果実などに同化産物を集中させる技術である (Roper・Williams, 1989)。ブドウにおける環状剥皮の効果は処理時期により異なり、着粒前の剥皮は結実 (Brownら, 1988)、結実後の剥皮は果粒肥大 (Carreñoら, 1998)、着色前の剥皮は着色や成熟を促進する (Carreñoら, 1998; Peacockら, 1977)。着色促進効果は‘巨峰’、‘紅瑞宝’、‘ピオーネ’において報告されている (山本ら, 1992; 藤島ら, 2005)。しかし、広島県の瀬戸内沿岸部において‘安芸クイーン’の着色向上のために環状剥皮が試されたことがあるが、着色向上効果は不安定であり、全く効果がない場合もあったことから、現在はほとんど行われていない。

着果負担も着色や果実品質に影響を与え、着果負担を軽減することにより糖度 (Bravdoら, 1985; Edsonら, 1995; Howellら, 1987; 高橋, 1985) やアントシアニン含量 (Kliwer・Weaver, 1971) を高めることができる。着果負担の影響は環状剥皮処理した場合に顕著で、‘デラウェア’では葉数を変えた結果枝に環状剥皮した場合に、葉数の増加に比例して果実の糖度が増加することが報告されている (松井ら, 1979)。このように着果負担の軽減と環状剥皮を組み合わせることは着色改善や糖度の向上に有効と思われるが、着果負担と環状剥皮との関係についてのこれまでの研究は結果枝 (平野ら, 1994; 松井ら, 1979; Weaver, 1963) や側枝 (山本ら, 1992) といった樹の一部を用いた実験が行われているのみであり、樹全体の着果負担を変え、主幹に環状剥皮処理した報告はない。実際場面では結果枝への剥皮は多くの労力が必要なため、主幹に環状剥皮を行うことが一般的である。主幹への環状剥皮処理では主枝や結果枝への処理と異なり、根や幹といった強いシンクが影響を受けることや、非結果枝と結果枝との間での養分の転流が起こることから、着果量の軽減と環状剥皮を組み合わせることにより着色や糖度が向上するかは不明である。

環状剥皮は着色や糖度を向上させる一方で、根の伸長を抑制する (山本ら, 1992)。根の伸長抑制は樹勢の低下を招く可能性があり (Yang・Hori, 1980)、環状剥皮を行う上での大きな不安要素となっている。しかしながら、環状剥皮樹の根の伸長と翌年の生育について検討した報告はない。

本実験の目的は、着果量の異なる樹の主幹への環状剥皮処理が着色向上や糖含量の増加に及ぼす影響を明らかにするとともに、これらの処理が根の伸長および翌年の生育に及ぼす影響を明らかにすることである。

材料および方法

2004年に広島県東広島市安芸津町の雨除けハウス内で育成した80Lのボックス(40×49×35cm)植え3年生ブドウ‘安芸クイーン’樹を用い、実験を行った。培地には花崗岩土壌にパークたい肥を体積比で10%混和したものをを用いた。施肥は発芽前に化成肥料でN 12 g, P 6 g, K 12 gを施用した。かん水はテンシオメーターを用いた自動かん水とし、土壌水分吸引圧が-9.8 kPa (pF 2.0に相当)に達した時点で20 mm (3.9 L/樹)のかん水を行った。ブドウ樹は主枝1本を伸ばし、主枝から発生した新梢を水平に誘引した。発芽3週間後に芽かきにより各樹8新梢とした。新梢は17 cm間隔で配置し、開花前に12節で摘心した。その後伸長した副梢は基部の1葉を残し適宜切除した。慣行に従い、着粒安定、無核化のため満開後3日目に花穂をGA₃ 25 mg・L⁻¹とCPPU 3 mg・L⁻¹溶液、果粒肥大のため満開後13日目に果穂をGA₃ 25 mg・L⁻¹溶液に浸漬処理した。果房数は満開後14日目の6月6日に1樹(8新梢)あたり4果房(少着果区)および8果房(多着果区)を残し、他は切除した。同時に1果房あたりの果粒数を23粒に調節した。環状剥皮処理は満開後30日目の6月23日に地上約1 mの主幹に20 mm幅で行った。処理区は着果量の多少および環状剥皮の有無を組み合わせた4処理区とした。各区5樹を供試した。

果房は2004年8月10日に一斉に収穫し、収量を調査した。収穫果房のうち1樹あたり4果房について果房重を測定後、各果房から平均的な大きさの果粒5粒を無作為に採取し、重量を計測後、第1章と同様の方法で果皮のアントシアニン含量と果実形質を調査した。また、果皮の着色の推移を‘安芸クイーン’専用カラーチャートを用い、1週間ごとに調査した。

根の伸長はボックスの側面に34×25 cmのガラス板を設置し、ガラス面に現れた根の長さを2004年7月2日から9月2日まで、1または2週間ごとに計測した。ガラス面は黒色のシートで覆い、光を遮った。

2005年1月20日に剪定直後の一年生枝について、第3節と第4節の節間部を採取し、杉山・大城(2001)の方法に従いデンプン含量を調査した。処理翌年の生育について、発芽後1か月目の2005年5月13日に新梢長と葉面積を計測した。葉面積は第4節の本葉について調査した。その後、新梢と花(果)穂の管理は、前年の多着果区と同様に行った。2005年8月17日に一斉に果実を収穫し、前年と同様にアントシアニン含量および果実形質を調査した。両年とも各樹4果房(または新梢)の平均値を用いて統計処理を行った。着果量および環状剥皮の2要因について2元配置法による統計処理を行った。

結果および考察

第3-1表に着果量の違いと環状剥皮処理が果実形質に及ぼす影響を示す。果房重および果粒重は処理による影響はなかった。着果量と果粒重との関係については、着果量が多いと果粒重が小さくなる(Hummell・David, 1998; Kliewer・Weaver, 1971; Reynoldsら, 1986)が、そ

第 3-1 表 着果量の異なる樹における環状剥皮処理がブドウ‘安芸クイーン’の果実形質に及ぼす影響

| 着果量 | 環状剥皮処理 | 収量 (g 樹 ⁻¹) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) | アントシアニン 含量 (mg g ⁻¹ FW) |
|-------|--------|----------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 多 | なし | 2071 | 282 | 13.6 | 16.3 | 0.45 | 0.089 |
| 多 | あり | 2324 | 299 | 13.6 | 16.9 | 0.43 | 0.143 |
| 少 | なし | 1114 | 269 | 13.7 | 16.8 | 0.43 | 0.170 |
| 少 | あり | 1071 | 268 | 13.2 | 18.5 | 0.43 | 0.297 |
| F 検定 | | | | | | | |
| 着果量 | | **z | NS | NS | ** | NS | ** |
| 環状剥皮 | | NS | NS | NS | ** | NS | ** |
| A x B | | NS | NS | NS | * | NS | NS |

z **は 1%水準で, *は 5%水準で有意性あり, NS は有意性なし

の程度は品種 (Bravdo ら, 1984; Weaver・Pool, 1969) や年 (Reynolds ら, 1986) により異なるとする報告がある。一方で, 着果量は果粒重に影響を与えないとする報告もあり (Edson ら, 1995; Morris ら, 2004), その影響は一定しないようである。酸含量についても今回の実験では処理区間に差が認められなかった。着果量が酸含量に及ぼす影響についても, 着果量が増加すると酸含量が上昇するとした報告 (Bravdo ら, 1985) や低下するとした報告 (Reynolds, 1989; Wolpert ら, 1983) があり, その影響は明確ではない。

環状剥皮処理および着果量の軽減は糖度とアントシアニン含量を増加させたが, それらの増加量は小さかった (第 3-1 表)。一方, 環状剥皮と着果量の軽減を組み合わせるとその上昇程度は大きくなり, 糖度は 2.2 度上昇し, アントシアニン含量は 3.3 倍となった。特に, 糖度に及ぼす環状剥皮と着果量軽減の効果には有意な交互作用が認められ, 環状剥皮の効果は着果量を軽減した場合に顕著であった。Kliewer・Weaver (1971) は‘Tokay’において, 果実重に対する葉面積の割合が $14 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ までは葉面積が多いほどアントシアニン含量と糖度が高くなることを報告している。Howell (2001) はブドウ樹の生産性に関する総説の中で, 成熟に最適な葉面積の割合は, 果実 1 g あたり $7 \sim 14 \text{ cm}^2$ の間にあると結論している。本実験では, 果実 1 g あたりの葉面積は多着果区が 9.4 cm^2 , 少着果区が 18.9 cm^2 で, 少着果区で環状剥皮をしなかった場合, 多着果区に比べ着果量を半分に減らしたにもかかわらず, 糖度とアントシアニン含量は少着果と環状剥皮を組み合わせた区には及ばなかった。少着果区では果実 1 g あたりの葉面積が Kliewer・Weaver (1971) の基準とした値 (14 cm^2) を超えていたので, 品種によって糖度, アントシアニン含量と葉面積の関係が異なっている可能性が考えられる。

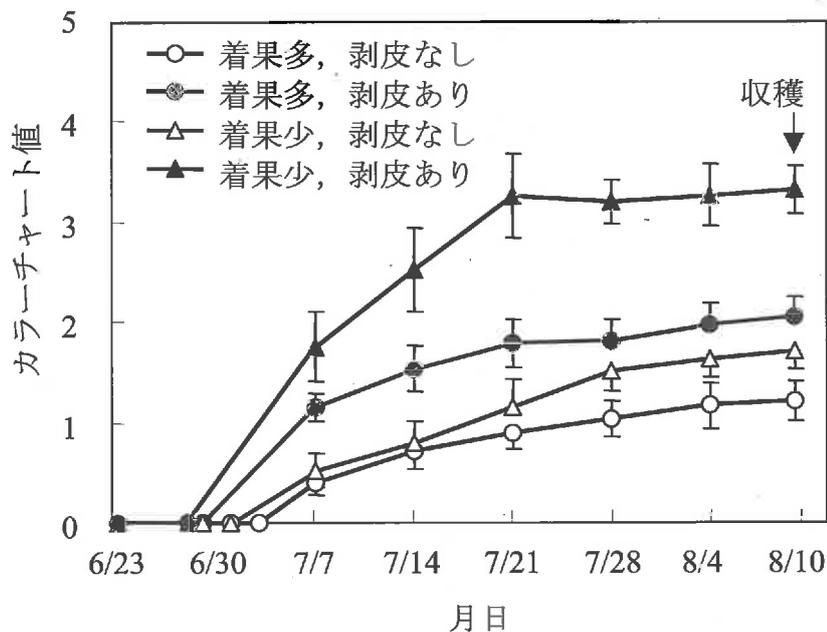
結果枝や側枝に環状剥皮した場合に着果負担の影響が強く現れ, 葉数の増加または着果量の軽減により糖度や着色が大きく向上することが既に報告されている (平野ら, 1994; 松井ら, 1979; Weaver, 1963; 山本ら, 1992)。主幹に環状剥皮した本実験においても, 結果枝処理の場合と同様に着果負担の影響が強く現れた。Quinlan・Weaver (1970) は環状剥皮しない樹では新梢間での同化産物の転流は少ないとしているが, このことが環状剥皮しない場合に非結果

枝の割合を増やし、着果量を減らしても着色や糖度がそれほど上昇しなかった原因の一つになっていると考えられる。一方、環状剥皮した場合に着果量の軽減により着色と糖度が大きく上昇したことは、環状剥皮樹では非結果枝で生産された同化産物が、隣接する結果枝へ転流し果実へ蓄積したことを示唆している。

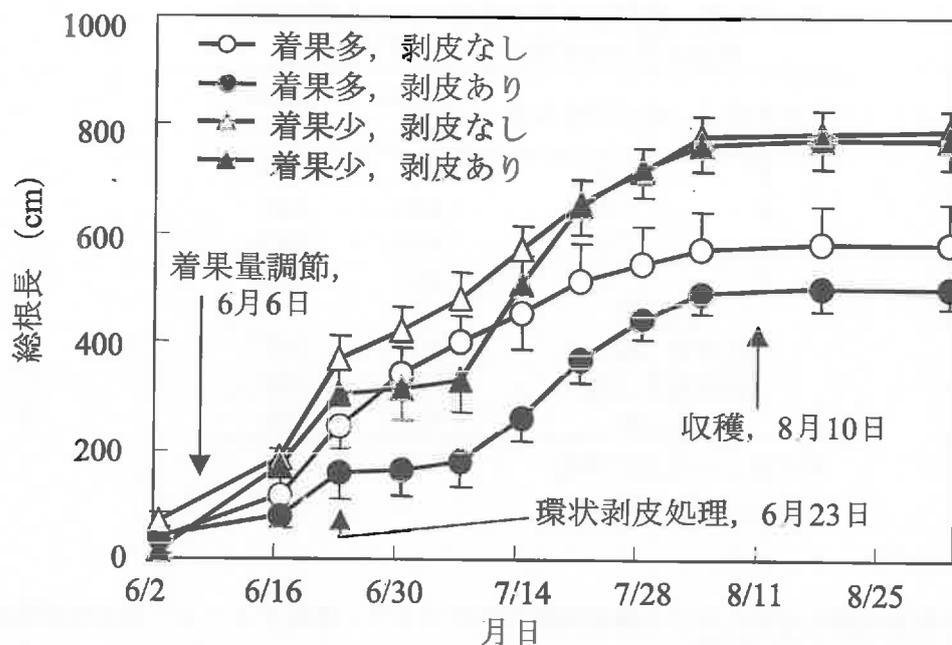
第3-1図にカラーチャートで着色の推移をみた結果を示す。環状剥皮処理区ではいずれの着果量でも着色開始が早かった。また、処理区間の差は7月下旬まで拡大し、その後着色は収穫までほとんど進まなかった。

第3-2図にガラス面に現れた根の長さの和の推移を示す。着果量の違いが根の伸長に及ぼす影響は、着果量を調節した10日後から現れ、少着果区では多着果区よりも総根長が大きくなった。環状剥皮をすると、着果量にかかわらず根長の増加は約2週間停止した。その結果、多着果区では環状剥皮によって、総根長は剥皮後2週間目には約200 cm減少した。しかし、剥皮部のゆ合に伴い、環状剥皮区では新根が旺盛に発生し、剥皮の有無による総根長の差は収穫時には100 cmにまで縮まった。少着果区では剥皮部ゆ合後の新根の発生が著しく、収穫時には総根長は剥皮しない区と同等となった。

環状剥皮は葉や茎の炭水化物含量を増加させることが報告されている (Roper・Williams, 1989; Weaver・McCune, 1959)。本実験においても環状剥皮により剪定枝中のデンプン含量が増加した (第3-2表)。計測したのは冬季の剪定枝中のデンプン含量であるが、剥皮による葉中の炭水化物含量の増加は生育期間中から認められることが報告されている (Roper・Williams, 1989)。根の伸長は剥皮のゆ合後に旺盛となったが、剥皮期間中に葉などに蓄積した同化産物が根へ旺盛に転流し、発根を促したのではないかと考えられる。



第3-1図 着果量の異なる樹における環状剥皮処理がブドウ‘安芸クイーン’の果皮の着色に及ぼす影響
縦線は標準誤差 (n=5)



第 3-2 図 着果量の異なる樹における環状剥皮処理がブドウ '安芸クイーン' の総根長に及ぼす影響
縦線は標準誤差 (n = 5)

第 3-2 表 着果量の異なる樹における環状剥皮処理が剪定枝のデンプン含量に及ぼす影響 (% DW)

| 着果量 | 環状剥皮処理 | 結果枝 | 非結果枝 |
|----------|--------|-----------------|----------------|
| 多 | なし | 5.52 | - |
| 多 | あり | 6.61 | - |
| 少 | なし | 5.22 | 5.67 |
| 少 | あり | 7.47 | 6.89 |
| F 検定 | | | |
| 着果量 (A) | | NS ^z | - ^y |
| 環状剥皮 (B) | | ** | - |
| A x B | | NS | - |

^z**は 1%水準で有意性あり, NS は有意性なし

^y統計処理なし

根の伸長には処理区間で差が認められたにもかかわらず, 翌年の新梢の生育や果実形質には処理区間に差が認められなかった (第 3-3, 3-4 表)。今井ら (1991b) は年間を通じた新根発生量の計測から, '巨峰' の新根は 4 月から 8 月にかけて発生し, 4 月から 6 月に年間発生量の約 60% の根が発生 (春根) することを示しているが, 本実験では環状剥皮を行ったのが 6 月下旬であり, 春根の発生は既に終わっていた。処理期間中の総根長の差は最大 37% であったが, 計測していない 4 月からの発根量 (全体の 60%) を合わせると, 1 年間に発生した

第 3-3 表 着果量の異なる樹における環状剥皮処理が翌年の新梢生育に及ぼす影響

| 着果量 | 環状剥皮処理 | 新梢長 (cm) | 葉面積 (cm ²) |
|----------|--------|-----------------|---------------------------|
| 多 | なし | 46.1 | 180 |
| 多 | あり | 44.1 | 168 |
| 少 | なし | 44.0 | 190 |
| 少 | あり | 44.5 | 184 |
| F 検定 | | | |
| 着果量 (A) | | NS ² | NS |
| 環状剥皮 (B) | | NS | NS |
| A x B | | NS | NS |

発芽後 1 か月目に調査

² NS は有意性なし

第 3-4 表 着果量の異なる樹における環状剥皮処理がブドウ '安芸クイーン' の翌年の収量および果実形質に及ぼす影響

| 着果量 | 環状剥皮 処理 | 収量 (g 樹 ⁻¹) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) | アントシアニン 含量 (mg g ⁻¹ FW) |
|----------|------------|----------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 多 | なし | 1884 | 267 | 12.8 | 16.2 | 0.40 | 0.117 |
| 多 | あり | 1876 | 249 | 12.3 | 16.6 | 0.40 | 0.150 |
| 少 | なし | 1881 | 267 | 12.6 | 16.2 | 0.39 | 0.114 |
| 少 | あり | 1827 | 251 | 12.2 | 16.0 | 0.39 | 0.144 |
| F 検定 | | | | | | | |
| 着果量 (A) | | NS ² | NS | NS | NS | NS | NS |
| 環状剥皮 (B) | | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| A x B | | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

² NS は有意性なし

総根長は環状剥皮あり・多着果区では環状剥皮なし・少着果区に比べ 15%程度 ($0.37 \times 0.4 = 0.148$) 小さくなるのが推定され、翌年の新梢生育や果実形質に影響を及ぼすほどの差ではなかった可能性がある。

以上のことから、着果負担の軽減と主幹への環状剥皮を組み合わせる処理した場合、アントシアニン含量および糖度が大きく向上したので、高温条件下での着色改善として有望な方法と思われた。環状剥皮は新根の発生を一定期間停止させるが、剥皮部がゆ合した後は新根の発生が旺盛となり、特に着果量が少ない場合は剥皮しない樹と同程度の総根長となった。本実験では着果量の違いや環状剥皮処理は翌年の生育および果実形質に影響を及ぼさなかったため、剥皮部のゆ合が順調であれば、環状剥皮は翌年の樹勢を低下させることはないと考えられる。

第3章 要約

着果量の異なるブドウ‘安芸クイーン’樹において主幹への環状剥皮処理が果実形質、根の伸長および翌年の生育に及ぼす影響について調査した。着果量の軽減と環状剥皮を組み合わせることで処理することにより、アントシアニン含量および糖度が大きく上昇した。着色の良好な処理区ほど着色開始が早く、成熟初期に着色が大きく進んだ。果粒重および酸含量は処理の影響を受けなかった。着果の多少にかかわらず、環状剥皮は新根の発生を約2週間停止させた。根の伸長は着果量の影響を強く受け、剥皮部が癒合した後の新根の伸長は、少着果で旺盛であった。翌年の新梢生育や果実形質については処理区間に差が認められなかった。

第4章 環状剥皮の幅と時期が着色に及ぼす影響

第3章では着果負担の軽減と環状剥皮を組み合わせることによって、高温条件下での着色不良と低糖度を同時に改善できる可能性があることを示した。本章では着果負担の軽減と組み合わせて環状剥皮を行った場合に、最も効果的な剥皮幅と剥皮時期について検討する。

剥皮幅について、大井上(1930)は主幹では2 cm、結果枝では1 cmが適当としており、国内では2 cm幅の環状剥皮が検討されている(藤島ら, 2005; 山本ら, 1992)。海外ではより狭い幅で主幹への環状剥皮が行われており、Jensenら(1975)は‘Tompson Seedless’において3.2 mm、4.8 mmおよび6.4 mmの剥皮幅を比較し、いずれの剥皮幅でも果粒肥大が促進され、幅の違いによる差はなかったとしている。また、主幹にナイフで傷を入れるだけでも成熟促進効果は認められるが、その効果は4.8 mm幅の環状剥皮よりも劣ることが報告されている(Jensenら, 1981)。

着色向上のための環状剥皮の処理時期に関しては、‘巨峰’では満開後30日目の処理はベレゾーン期にあたる満開後51日目の処理よりも効果が大きいことが報告されている(山本ら, 1992)。「ピオーネ」では満開後30日目、「Red Maraga」では着色開始日に環状剥皮を行った場合に着色が向上することが報告されている(藤島, 2005; Peacockら, 1977)。しかし、処理時期と処理効果との関係を詳細に検討した報告はない。

第3章の結果から、主幹への環状剥皮は根の伸長を一定期間停止させるが、剥皮部のゆ合が正常な場合、翌年の生育に影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかし、剥皮部のゆ合が不良な場合は樹が著しく衰弱し、場合によっては枯死に至る。環状剥皮による樹の衰弱を避け、かつ効果を発揮するためには、剥皮部がゆ合する期間を考慮し、最適な処理時期に、効果が得られる範囲で最小の幅とする必要があると考えられる。そこで、本章では環状剥皮処理の幅および時期が剥皮部のゆ合、着色、果実形質に及ぼす影響を調査した。ブドウの環状剥皮は主幹に処理されるのが一般的であるが、本実験ではより均質な材料を多数揃えることのできる結果枝を用い実験を行った。

材料および方法

実験1. 満開後13日目および30日目における果粒数の異なる結果枝への環状剥皮処理

2003年に広島県東広島市安芸津町の簡易被覆(トンネル)施設でH型短梢剪定整枝とした12年生ブドウ‘安芸クイーン’1樹を用い、実験を行った。結果枝は17cm間隔で配置し、開花前に12節で摘心した。その後伸長した副梢は基部の1葉を残し適宜切除した。着粒安定、無核化および果粒肥大のためGA₃ 12.5 mg・L⁻¹とCPPU 3 mg・L⁻¹を満開後3日目および13日目に花(果)穂に浸漬処理した。満開は5月28日であった。満開2週間後に1結果枝1果房とし、1果房あたりの果粒数を16, 35および53粒に調節した。その後、着色開始期(7月

16日)に果粒重、糖度および酸含量の調査のため各果房より3粒採取したため、最終的には13粒区、32粒区および50粒区の3水準とした。環状剥皮処理の時期は満開後13日目(6月10日)および30日目(6月27日)とし、環状剥皮無処理区を含め合計9処理区とした。処理には生育の揃った結果枝を各区5~7本供試した。環状剥皮は結果枝の基部から第1節と第2節の節間に幅20mmで処理した。トンネル被覆は着色開始前に除去した。8月19日に全処理区の果房を一斉に収穫した。

収穫した果房は重さを計測した後、各房から5粒を選び、果実形質の調査に供した。果皮のアントシアニン含量および果実形質については第1章と同様の方法で調査した。

実験2. 着色開始期前後における処理時期および幅の異なる環状剥皮処理

実験1と同様に育成した14年生‘安芸クイーン’1樹を用いて2005年に実験を実施した。新梢管理は実験1と同様に行った。着粒安定、無核化および果粒肥大のため GA_3 25 mg · L⁻¹とCPPU 3 mg · L⁻¹を満開後3日目に花穂に、 GA_3 25 mg · L⁻¹を満開後13日目に果穂に浸漬処理した。満開は5月25日であった。満開2週間後に1結果枝1果房、1果房22果粒に調節した。環状剥皮は結果枝の基部から第1節目と第2節目の節間に処理した。剥皮幅を3, 5, 10および20mmの4水準、剥皮時期を満開後35日目(2005年6月29日)、42日目(7月6日)、49日目(7月13日)、56日目(7月20日)および63日目(7月27日)の5水準とした。なお、対照として剥皮無処理区を加えたが、統計処理は剥皮幅と剥皮時期の2要因実験として実施し、剥皮無処理のデータは2要因の解析に含めなかった。生育の揃った結果枝を各区5本供試した。剥皮後1週間ごとに未ゆ合部の幅を計測した。着色開始以降1週間ごとに‘安芸クイーン’専用カラーチャートを用い果皮色を調査した。8月24日に全処理区の果房を一斉に収穫した。アントシアニン含量および果実形質は第1章と同様の方法で調査した。

結果および考察

実験1. 満開後13日目および30日目における果粒数の異なる結果枝への環状剥皮処理

第4-1表に着色開始時の果実形質を示す。果粒重、糖度、酸含量については、剥皮処理日と果粒数との間に有意な交互作用が認められた。満開後13日目処理では13粒区で果粒重が大きく、糖度が高かった。満開後30日目処理では13粒区と32粒区で着色開始が50粒区よりも早く、13粒区で糖度が高かった。酸含量に関しては処理区間に明確な差がなかった。

第4-2表に収穫時の果実形質を示す。剥皮処理日にかかわらず、粒数が多いほど果房重も大きくなった。収穫時のアントシアニン含量については剥皮処理日と果粒数との間に有意な交互作用が認められ、13粒区では環状剥皮処理によりアントシアニン含量が上昇したが、その増加量は満開後30日目処理で同13日目処理よりも大きかった。また、50粒区では満開後30日目処理でアントシアニン含量が低くなったが、有意差は認められなかった。果粒重、糖度および酸含量のいずれにおいても処理日と果粒数との間に有意な交互作用が認められ、処

第 4-1 表 環状剥皮処理日および果粒数が着色開始時期のブドウ '安芸クイーン' の果実形質に及ぼす影響

| 環状剥皮処理日 | 果粒数 | 着色開始日 | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-----------|-----|----------|--------------------|------------|------------------------------|
| 満開後 13 日目 | 13 | 7 月 12 日 | 15.0a ^z | 11.3a | 1.78a |
| | 32 | 7 月 12 日 | 13.3ab | 9.5b | 1.64a |
| | 50 | 7 月 12 日 | 12.0b | 8.4b | 1.68a |
| 満開後 30 日目 | 13 | 7 月 10 日 | 13.0ab | 11.7a | 1.55a |
| | 32 | 7 月 10 日 | 12.3b | 8.4b | 1.60a |
| | 50 | 7 月 15 日 | 12.1b | 8.0b | 1.79a |
| 剥皮なし | 13 | 7 月 16 日 | 12.1b | 9.3b | 1.76a |
| | 32 | 7 月 12 日 | 12.0b | 9.3b | 1.64a |
| | 50 | 7 月 12 日 | 12.5b | 9.5b | 1.50a |
| F 検定 | | | | | |
| 処理日 (A) | | - | NS ^y | NS | NS |
| 果粒数 (B) | | - | NS | ** | NS |
| A x B | | - | * | ** | * |

7 月 16 日調査

^z 同一処理日内で異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

^y **は 1%水準で, *は 5%水準で有意性あり, NS は有意性なし

第 4-2 表 環状剥皮処理日および果粒数が収穫時のブドウ '安芸クイーン' の果実形質に及ぼす影響

| 環状剥皮処理日 | 果粒数 | 果房重 (g) | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ FW) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-----------|-----|-------------------|-----------------------------------|---------|------------|------------------------------|
| 満開後 13 日目 | 13 | 238c ^z | 0.302b | 20.1a | 17.8ab | 0.38b |
| | 32 | 581b | 0.125cd | 16.5bc | 14.7cd | 0.43ab |
| | 50 | 691a | 0.093cd | 14.4c | 14.5cd | 0.44ab |
| 満開後 30 日目 | 13 | 206c | 0.393a | 16.5bc | 18.6a | 0.39b |
| | 32 | 451b | 0.132bc | 15.3bc | 14.5cd | 0.38b |
| | 50 | 712a | 0.032d | 16.3bc | 12.7d | 0.53a |
| 剥皮なし | 13 | 215c | 0.183bc | 16.9b | 16.0bc | 0.43ab |
| | 32 | 492b | 0.090cd | 16.9bc | 15.0cd | 0.40b |
| | 50 | 724a | 0.105cd | 16.2bc | 15.4c | 0.41ab |
| F 検定 | | | | | | |
| 処理日 (A) | | NS ^y | NS | NS | NS | NS |
| 果粒数 (B) | | ** | ** | ** | ** | ** |
| A x B | | NS | ** | ** | ** | ** |

^z 同一処理日内で異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

^y **は 1%水準で有意性あり, NS は有意性なし

理日により果実形質に与える影響は大きく異なった。すなわち、果粒重は満開後 13 日目処理の 13 粒区で他処理区よりも有意に増加した。糖度はアントシアニン含量と同様の傾向を示し、13 粒区では満開後 13 および 30 日目処理で増加し、50 粒区では満開後 30 日目処理で無処理区よりも減少した。酸含量は満開後 30 日目処理の 50 粒区で高い値となった。

結果枝に環状剥皮処理した場合、着色や糖度は葉数の影響を強く受ける (平野ら, 1994; 松

井ら, 1979; Weaver, 1963)。本実験では結果枝の葉数を一定とし、果粒数を変えているが、葉面積を変えた報告と同様、環状剥皮の効果は着果負担の影響を受けた。今回、果粒数が13の場合、アントシアニン含量は満開後30日目処理で同13日目処理よりも向上し、着色向上を目的とした場合、満開後30日目処理が同13日目処理よりも効果が大きかった。一方、13粒区の満開後13日目処理では果粒重が大きく増加しており、満開後13日目の処理は着色や糖度の増加だけでなく、果粒肥大にも有効であった。

果粒肥大のための環状剥皮は‘Tompson Seedless’では結実安定後、果粒横径が3~5 mmに達した時期に主幹部に行われている(Jensen ら, 1975)。「デラウェア」では果粒の横径が3.3 mm程度の満開後10日には果粒の大部分を占める内壁組織の細胞分裂が停止する(外壁組織の細胞分裂は満開後33日まで続く)(Nakagawa・Nanjo, 1965)。満開後約1か月間は果実が旺盛に肥大する果実発育第I期に相当し、細胞分裂が終了した後は個々の細胞容積が増大する。本実験において、満開後13日目は第I期の細胞容積増大期にあたるため、この時期の環状剥皮は果粒肥大を促進したと思われる。着色開始期から収穫期までに果粒重は3~5 g程度増加するにもかかわらず、満開後30日目の環状剥皮処理は収穫時の果粒重に影響しなかった。

一方、アントシアニンと糖の蓄積については満開後13日目の処理よりも30日目の処理の方が効果が大きく、30日目以降に維管束の連絡を絶つことが、それ以前に比べて重要と思われる。満開後30日目以降、果粒に転流される糖は果粒肥大よりもアントシアニン合成や液胞への蓄積に利用されることが多く、このため満開後13日目に比べ、30日目の処理の方がアントシアニンや糖蓄積に対して効果が大きかったと考えられる。

実験2. 着色開始期前後における剥皮処理時期および剥皮幅の影響

本実験では果粒数を広島県の一般栽培の32粒よりも少ない22粒とし、環状剥皮の効果が現れやすい処理とした。収穫時の果実形質を第4-3表に示す。アントシアニン含量はいずれの剥皮幅においても満開後35日目処理で最も高い値となった。また、満開後42日目処理が2番目に高い値となった。満開後35日目および42日目処理では、剥皮幅が広いほどアントシアニン含量が高くなる傾向にあったが、その差は有意ではなかった。満開後49日目以降の処理では処理日および幅の違いによるアントシアニン含量への明確な影響はなかった。果房重は10 mm幅区の満開後35日目処理で63日目処理に比べて小さくなった以外は、処理区間に明確な傾向が認められなかった。果粒重については処理幅と時期との間に有意な交互作用が認められた。満開後35日目処理の10 mm幅区で果粒重が小さかったが、このことがこれらの区でアントシアニン含量が高まった一因となっている可能性があるが、20 mm幅区では満開後35日目処理の果粒重および果房重は満開後42および49日目処理と同等であり、果房重、果粒重とアントシアニン含量との関係については明確な傾向はなかった。糖度に及ぼす処理時期と処理幅の影響には有意な交互作用が認められた。いずれの処理幅でも処理時期が早いほど糖度が高くなる傾向を示したが、5 mm幅区を除き有意差は認められなかった。酸含

第 4-3 表 環状剥皮処理の幅および処理日がブドウ '安芸クイーン' の果実形質に及ぼす影響

| 剥皮幅 | 処理日 (満開後 日数) | アントシアニン 含量 (mg g ⁻¹ FW) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|---------|--------------------|------------------------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 3 mm | 35 | 0.188ab ^z | 279bc | 13.3bc | 19.6ab | 0.44abc |
| | 42 | 0.127bcdef | 327abc | 14.9abc | 19.1abc | 0.44abc |
| | 49 | 0.124bcdef | 327abc | 15.0abc | 19.1abc | 0.48ab |
| | 56 | 0.091ef | 333ab | 15.0abc | 18.8bc | 0.48ab |
| | 63 | 0.126bcdef | 302abc | 14.5bc | 19.2abc | 0.48ab |
| 5 mm | 35 | 0.186ab | 293abc | 13.3bc | 19.8a | 0.47ab |
| | 42 | 0.159abcde | 299abc | 13.5abc | 19.7a | 0.44abc |
| | 49 | 0.116cdef | 305abc | 14.3abc | 19.3abc | 0.47ab |
| | 56 | 0.123cdef | 306abc | 14.6abc | 19.3abc | 0.48ab |
| | 63 | 0.108def | 324abc | 14.9abc | 18.5cd | 0.45abc |
| 10 mm | 35 | 0.219a | 268c | 13.2c | 19.8a | 0.46ab |
| | 42 | 0.161abcd | 300abc | 13.5bc | 19.6ab | 0.44abc |
| | 49 | 0.118cdef | 299abc | 14.0abc | 19.7ab | 0.48ab |
| | 56 | 0.148bcde | 314abc | 14.5abc | 19.5ab | 0.48a |
| | 63 | 0.138bcde | 338a | 15.5a | 18.8abc | 0.44abc |
| 20 mm | 35 | 0.225a | 281abc | 14.1abc | 19.7ab | 0.44abc |
| | 42 | 0.170abcd | 285abc | 13.8bc | 19.5abc | 0.39c |
| | 49 | 0.137bcdef | 289abc | 13.9abc | 19.2abc | 0.49a |
| | 56 | 0.102def | 319abc | 15.2ab | 19.0abc | 0.43abc |
| | 63 | 0.107def | 292abc | 14.8abc | 18.9abc | 0.44abc |
| 剥皮なし | | 0.071f | 312abc | 14.9abc | 17.8d | 0.42bc |
| F 検定 | | | | | | |
| 剥皮幅 (A) | | **y | * | NS | NS | ** |
| 処理日 (B) | | ** | ** | ** | ** | ** |
| A x B | | NS | NS | * | ** | NS |

^z異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P=0.05)

^y**は 1%水準で, *は 5%水準で有意性あり, NS は有意性なし

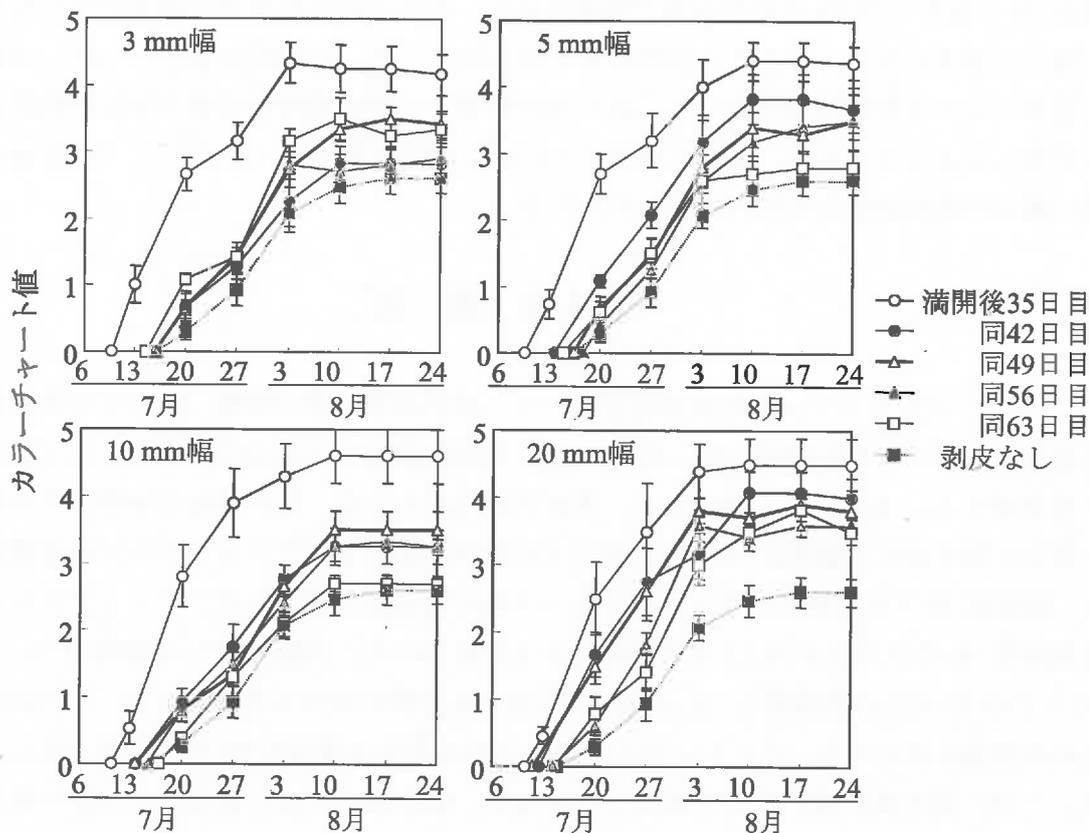
量は 20 mm 幅区の満開後 42 日目処理で低く, 満開後 49 日目処理で高かったが, 処理区間に明確な傾向は認められなかった。

第 4-1 図にカラーチャートでみた着色の推移を示す。満開後 35 日目処理区ではいずれの処理幅でも同様の着色推移を示し, 着色開始が無処理区よりも約 5 日早く, 7 月 10 日 (満開後 46 日目) から 8 月 3 日 (満開後 70 日目) までの 24 日間に急速に着色が進み, カラーチャート値 4 以上に達し, その後は 8 月 24 日 (満開後 91 日目) の収穫日までほとんど変わらなかった。満開後 42 日目以降の処理時期については, いずれの処理幅でも着色推移に大きな違いはなかった。

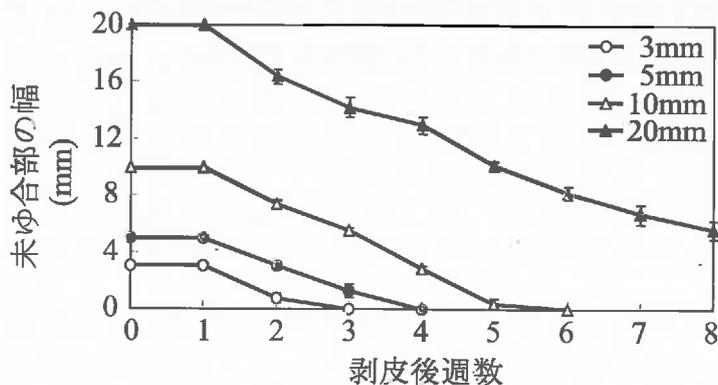
第 4-2 図に満開後 35 日目に環状剥皮した場合の処理幅とゆ合との関係を示す。いずれの処理幅においても剥皮後 1 週目ではカルスの発達はほとんど認められなかった。その後, 幅の違いにかかわらず, 一定の速度 (1 週間で約 2 mm) でカルスが発達し, 3 mm 幅区では剥皮 2

～3週間後、5 mm幅区では剥皮3～4週間後、10 mm幅区では5～6週間後にゆ合した。20 mm幅区では収穫時までゆ合しなかった。本実験ではカルス内での師管の分化時期を調べていないが、Sidlowskiら(1971)は‘Cardinal’において、ゆ合後数日でカルス中に師管が分化することを報告している。

本実験ではアントシアニン含量および糖度は環状剥皮の処理幅よりも処理時期に大きな影響を受けた。満開後49日目の環状剥皮処理はほぼ着色開始日にあたるが、これ以降の処理で



第4-1図 環状剥皮処理の幅および処理日がブドウ‘安芸クイーン’の果皮の着色に及ぼす影響
縦線は標準誤差 (n = 5)



第4-2図 環状剥皮幅の違いと未ゆ合部幅との関係 (満開後35日目処理)

縦線は標準誤差 (n = 5)

は環状剥皮の効果は不明確であった(第4-3表)。また、実験1において果粒数13粒とし環状剥皮した場合、アントシアニン含量が上昇したが、このような処理区では着色開始時点で既に他区に比べると、有意に糖度が高かった(第4-1, 4-2表)。これらのことから、着色開始までの糖蓄積がその後のアントシアニンの蓄積に大きな影響を与えている可能性が示唆された。

以上のことから、環状剥皮の効果は処理時期により異なり、着色および糖度の向上には満開後30日目および35日目の処理で効果が高く、それ以前の処理では効果はやや劣り、それ以降では効果が大きく劣ることが明らかとなった。一方、剥皮幅の違いについては環状剥皮の効果に与える影響は小さかった。第3章の結果から剥皮期間中は根の伸長が抑制されることが明らかとなっており、効果が同等であれば、ゆ合は速いほど好ましく、3~5mm程度の狭い幅での環状剥皮の実施が有効と思われる。

第4章 要約

ブドウ‘安芸クイーン’の結果枝を用いて、環状剥皮処理の時期、幅および果粒数が果皮の着色に及ぼす影響を検討した。実験1として満開後13日目および30日目に1果房あたりの果粒数を13, 32および50粒とし、環状剥皮処理をした。環状剥皮の影響は果粒数が少ない場合に強く現れ、満開後13日目処理で果粒肥大、糖およびアントシアニンの蓄積が促進され、満開後30日目処理ではアントシアニンと糖の蓄積が促進された。アントシアニンの蓄積は満開後30日目の方が同13日目処理よりも大きかった。実験2として満開後35, 42, 49, 56および63日目に処理幅3, 5, 10および20mmで環状剥皮処理を行った。その結果、いずれの剥皮幅においても、アントシアニンおよび糖の蓄積は満開後35日目処理で最も大きかった。一方、剥皮幅の違いによる差は小さかった。環状剥皮による着色向上は着色開始時点での糖の蓄積を伴っており、着色開始までの糖の蓄積がその後のアントシアニンの蓄積に寄与していると考えられた。

以上のことから、着色向上に対する環状剥皮の効果は、処理幅よりも処理時期によって大きな影響を受け、満開後30および35日目処理が着色改善効果が大きいこと、3~5mm程度の狭い幅の剥皮でも着色改善に効果的であることが明らかとなった。

第5章 環状剥皮の処理方法

環状剥皮の具体的な処理方法については、樹皮をはぎ取った後、剥皮部をビニルテープなどで被覆することが一般的である。また、剥皮処理する場合、薄皮状の組織が一度に剥がれ落ちず、残存する場合が多い。この組織は空気中にさらされるとすぐに褐変し始めることから、形成層を含む師部組織の一部と考えられる（コズマパール, 1970）。しかし、師部組織の除去程度については留意されない場合が多い。Jensen ら（1976）はカリフォルニア州で実際に行われている‘Thompson Seedless’の果粒肥大のための環状剥皮の中、90～95%は師部組織が残っている不完全なものであると指摘している。このような不完全な剥皮は効果が劣る（Winkler, 1962）。Jensen ら（1976）は幹周の一部を残して主幹に剥皮処理した場合、5%残すだけでも剥皮の効果が劣ること、また、このような不完全な剥皮処理による効果の低減は、着色開始期に行う成熟促進のための剥皮処理の方が、開花後に行う果粒肥大のための剥皮処理よりも大きいことを報告している。一方、剥皮部のビニルテープでの被覆が剥皮部のゆ合や着色向上効果に及ぼす影響についての報告はない。環状剥皮の処理部位と幅については、大井上（1930）は主幹への処理は2 cm、結果枝への処理は1 cmが適当としている。しかし、剥皮部の枝齢や主幹の処理位置について詳細に検討した報告はない。

本章では、環状剥皮処理を効果的に行うことと、剥皮部のゆ合不良による樹の衰弱を回避することを目的に、環状剥皮処理部位の枝齢、位置、被覆および師部組織の除去程度が剥皮部のゆ合および果実形質に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

実験 1. 剥皮部の枝齢および被覆が剥皮部のゆ合に及ぼす影響

2005年に東広島市安芸津町において簡易被覆（トンネル）下で栽培されている12年生ブドウ‘ピオーネ’の長梢剪定樹2樹を用いた。1樹（A樹）は主幹（12年生部）、亜主枝（5～10年生部）、側枝（2～4年生部）、結果枝（1年生部）に合計18カ所の環状剥皮を行った。すべての剥皮部において、剥皮部より先端側に必ず葉があり、また、幹上で剥皮部間に葉があるように配置した。しかし、一つの剥皮部より先に別の剥皮部が存在することが、何らかの影響を及ぼす可能性がある。その影響を確認するため、別に主幹（12年生部）のみに環状剥皮処理をする樹（B樹）を設けた。主幹への処理は両樹とも地上約1 mの位置に行った。環状剥皮は6月29日に幅10 mmで処理し、師部組織を完全に除去した。A樹は18カ所中9カ所、B樹は1カ所の剥皮部を、剥皮処理後5 cm幅のポリ塩化ビニル粘着テープ（ビニルテープ）で被覆した（被覆区）。A樹の残りの9カ所は剥皮部を露出させた（露出区）。剥皮部のゆ合は、剥皮部の上下からのカルスの肥大、または露出した木部から直接発生する素早いゆ合（以下‘ブリッジ’と呼ぶ）によって起こるので、それぞれの発現について調査した。

剥皮後数日は剥皮部の上下からのカサの発生が認められないので、ブリッジと区別できる。そこで、剥皮後7日目にブリッジの発生の有無と枝周に対するブリッジ発生部位の長さの割合を測定した。

実験2. 剥皮部における師部組織の除去程度および被覆が果実形質に及ぼす影響

2006年に東広島市安芸津町の15年生ブドウ‘安芸クイーン’1樹を用いた。環状剥皮処理は結果枝の基部(第1節と第2節の節間)に幅5または10mmで、満開後35日目(7月7日)に行った。満開日は6月2日であった。剥皮時に師部最内層の薄皮状の組織(形成層を含む師部組織の一部、以下薄皮と呼ぶ)を残した区(薄皮残存区)と師部組織を木部組織が露出するまで完全に除去した区(薄皮除去区)を設けた。薄皮の残存程度は処理個体により異なり、薄皮が枝周の3分の1程度残存した結果枝から完全に残存した結果枝まで存在した。また、薄皮残存区および除去区のそれぞれにおいて、剥皮後すぐにビニルテープにより剥皮部を被覆した区(被覆区)と剥皮部を露出した区(露出区)を設けた。なお、対照区として剥皮無処理区を加えたが、統計処理は剥皮幅、薄皮の有無および被覆の有無の3要因の実験として実施し、剥皮無処理のデータは3要因の解析に含めなかった。8月29日に一斉に収穫し、果実形質を調査した。

収穫した果房は第1章と同様の方法で果皮のアントシアニン含量と果実形質を調査した。着色開始以降1週間ごとに‘安芸クイーン’専用カラーチャートを用い果皮色を調査した。2006年12月11日に剥皮部を切り取り、軸に沿って切断した面について肉眼で観察し、髓部の褐変の発生を調査した。

実験に供試した結果枝は17cm間隔で配置し、開花前に12節で摘心した。その後伸長した副梢は基部の1葉を残し適宜切除した。着粒安定、無核化および果粒肥大のためジベレリン(GA_3) $25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ とホルクロルフエニユロン(CPPU) $3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ を満開後3日目に、 GA_3 $25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ を満開後13日目に花(果)穂に浸漬処理した。満開後2~3週目に1結果枝1果房とし、1果房あたりの果粒数を22粒に調節した。処理には生育の揃った結果枝を各区5~7本供試した。

実験3. 主幹における剥皮位置が果実形質に及ぼす影響

2006年に現地栽培園(広島県福山市)の9年生‘安芸クイーン’H型短梢剪定樹を用いて実験を行った。主幹における環状剥皮の処理位置を地上0.4, 0.7, 1.0および1.3mとした。無処理区を含め合計5処理区とし、各区4~6樹供試した。環状剥皮処理は満開後35日目の6月9日に幅5mmで行い、師部組織を完全に除去した後、剥皮部をビニルテープで被覆した。なお、満開日は5月5日であった。各樹3果房を8月1日に一斉に収穫し、果実形質を調査した。果実形質の調査方法は第1章と同様とした。栽培管理は現地園の慣行的な方法とした。

結果および考察

実験 1. 剥皮部の枝齢および被覆が剥皮部のゆ合に及ぼす影響

処理枝の周囲長は主幹で 24.0 cm (A 樹) または 35.0 cm (B 樹) であり、垂主枝では 8.2 ~ 15.5 cm, 側枝では 4.5 ~ 8.0 cm, 結果枝では 3.5 ~ 4.5 cm であった (第 5-1 表)。露出区では樹齢 8, 10 年生の垂主枝において、カルスの隆起によらない直接的で素早いゆ合 (ブリッジ) がわずかに発生した以外は、全くブリッジが発生しなかった。一方、被覆区ではほとんどの部位でブリッジが発生した。

環状剥皮処理をすると、切断面から樹液が溢泌するが、ビニルテープで被覆することにより、剥皮部に溢泌液や樹脂状の物質が留まり、剥皮部が保護された。被覆区において師部組織を完全に除去したにもかかわらず、ブリッジが発生した理由として、剥皮した時期はまだ幹 (枝) が肥大過程にあり、剥皮により露出した最外層の木部は完全に分化しておらず、保湿により形成層が分化した可能性がある。また、別の可能性として、形成層や師部組織がわずかに残っており、被覆により分裂能が保持され、ブリッジが発生した可能性も考えられるが、本実験からは詳細を明らかにできなかった。

第 5-1 表 環状剥皮処理部位の枝齢およびテープによる被覆が剥皮後 7 日目のブリッジ発生率に及ぼす影響 (実験 1)

| 処理樹 | テープ被覆 | 枝齢 | 処理部位 | 枝周 (cm) | ブリッジ発生率 ²⁾ (%) |
|-----|-------|----|------|---------|---------------------------|
| A | 被覆 | 12 | 主幹 | 24.0 | 50 |
| | | 10 | 垂主枝 | 15.5 | 20 |
| | | 8 | 垂主枝 | 10.5 | 70 |
| | | 3 | 側枝 | 4.5 | 0 |
| | | 4 | 側枝 | 8.0 | 80 |
| | | 4 | 側枝 | 7.0 | 5 |
| | | 1 | 結果枝 | 3.5 | 10 |
| | | 1 | 結果枝 | 4.5 | 20 |
| | | 1 | 結果枝 | 4.5 | 50 |
| | 露出 | 10 | 垂主枝 | 13.0 | 3 |
| | | 8 | 垂主枝 | 12.5 | 3 |
| | | 5 | 垂主枝 | 8.2 | 0 |
| | | 3 | 側枝 | 4.5 | 0 |
| | | 3 | 側枝 | 6.5 | 0 |
| | | 2 | 側枝 | 4.0 | 0 |
| | | 1 | 結果枝 | 3.5 | 0 |
| B | 被覆 | 12 | 主幹 | 35.0 | 60 |
| | | 1 | 結果枝 | 4.5 | 0 |
| | | 1 | 結果枝 | 4.0 | 0 |

環状剥皮処理は 10mm 幅で行い、師部組織を完全に除去した

²⁾ ブリッジ発生割合は枝周に対するブリッジ部位の割合とした

実験 2. 剥皮部における師部組織の除去および被覆が果実形質に及ぼす影響

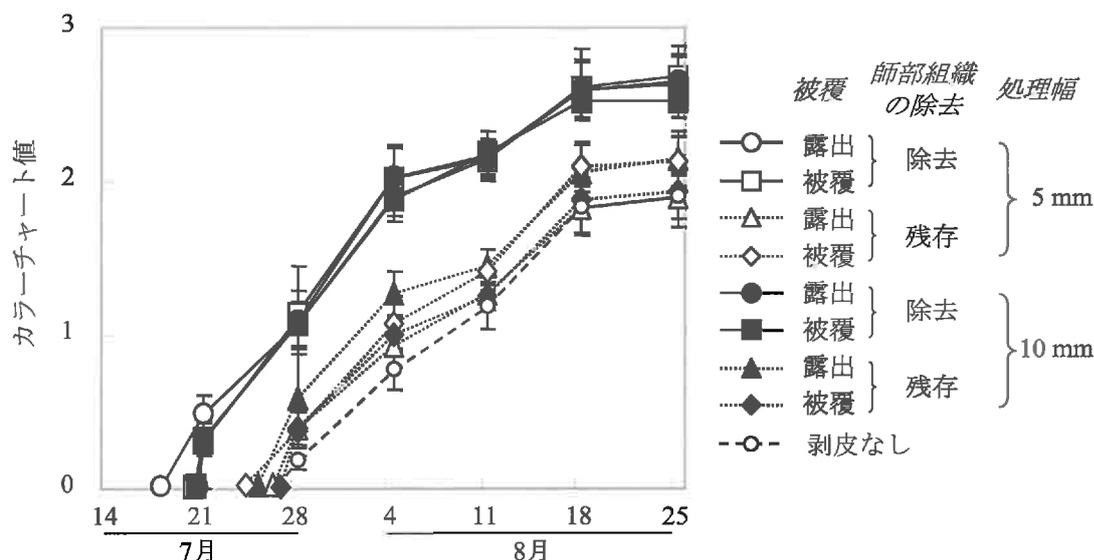
剥皮幅および被覆の有無はアントシアニン含量に有意な影響は及ぼさなかったが、師部組織の除去程度の影響は有意で、薄皮除去区でアントシアニン含量が高くなった（第 5-2 表）。糖度はアントシアニン含量と同様、師部組織の除去程度の影響を受け、薄皮除去区で高い値となった。また、糖度は剥皮部被覆の影響を受け、被覆区でわずかに低下した。果房重、果粒重および酸含量には処理の影響が認められなかった。剥皮幅や被覆の有無にかかわらず、薄皮除去区で着色開始が早く、その後の着色も優れた（第 5-1 図）。薄皮残存区は剥皮無処理区と同様の着色推移となった。12 月 11 日における剥皮部の様子を第 5-2 図に示す、薄皮除去区は被覆の有無にかかわらず、剥皮部中央部でカルスが 3 mm 程度隆起していたが、薄皮残存区ではカルスがほとんど隆起していなかった。

Jensen ら（1976）は幹周の 5%でも未剥皮部があると環状剥皮の効果は劣ると報告している。本実験において薄皮を残した場合、養分の転流が遮られず、環状剥皮の効果が現れなかったと考えられた。

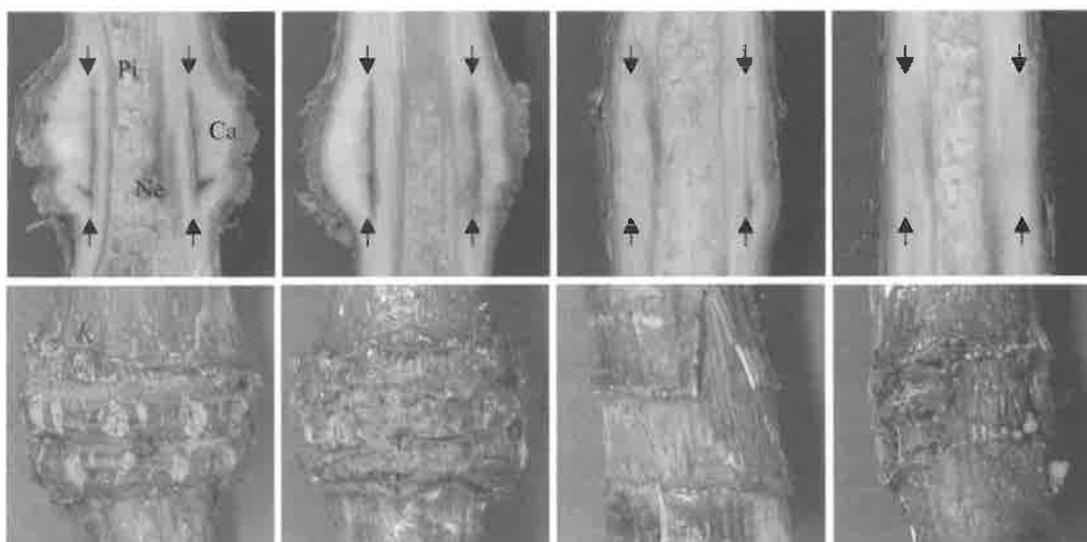
第 5-2 表 剥皮処理幅、師部組織の除去、剥皮部の被覆がブドウ ‘安芸クイーン’ の果実形質に及ぼす影響（実験 2）

| 処理幅 | 師部組織の除去程度 | 剥皮部の被覆 | アントシアニン含量 (mg · g ⁻¹ FW) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|-------------|-----------|--------|----------------------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 5 mm | 除去 | 露出 | 0.116 | 327 | 15.4 | 19.4 | 0.54 |
| | | 被覆 | 0.095 | 324 | 14.7 | 19.5 | 0.53 |
| | 残存 | 露出 | 0.072 | 349 | 15.8 | 18.4 | 0.55 |
| | | 被覆 | 0.069 | 329 | 15.6 | 18.3 | 0.53 |
| 10 mm | 除去 | 露出 | 0.117 | 329 | 15.4 | 19.7 | 0.53 |
| | | 被覆 | 0.094 | 330 | 15.7 | 19.6 | 0.52 |
| | 残存 | 露出 | 0.070 | 342 | 15.9 | 18.7 | 0.51 |
| | | 被覆 | 0.075 | 346 | 15.5 | 18.5 | 0.55 |
| | 剥皮なし | | 0.068 | 338 | 15.1 | 18.0 | 0.56 |
| F 検定 | | | | | | | |
| 処理幅 (A) | | | NS ^z | NS | NS | NS | NS |
| 師部組織の除去 (B) | | | ** | NS | NS | ** | NS |
| 被覆 (C) | | | NS | NS | NS | * | NS |
| A × B | | | NS | NS | NS | NS | NS |
| B × C | | | NS | NS | NS | NS | NS |
| C × A | | | NS | NS | NS | NS | NS |
| A × B × C | | | NS | NS | NS | NS | NS |

^z***は 1%水準で、*は 5%水準で有意性あり、NS は有意性なし



第 5-1 図 剥皮処理幅，師部組織の除去，剥皮部の被覆がブドウ '安芸クイーン' の果皮の着色に及ぼす影響 (実験 2) 縦線は標準誤差 (n = 5~7)



師部組織除去，露出 師部組織除去，被覆 師部組織残存，露出 師部組織残存，被覆
第 5-2 図 環状剥皮部における師部組織の除去および被覆が剥皮部のゆ合 (5mm 幅) に及ぼす影響 (実験 2)

縦断面の様子，矢印は剥皮位置，Pi は髓，Ca はカルス，Ne は壊死部位を示す

薄皮除去区で剥皮部を露出した場合，髓の一部が褐変し，壊死していた (第 5-2 図)。髓における壊死の発生率は，薄皮除去区において剥皮部を露出した場合，5 mm 幅区で 83.3%，10 mm 幅区で 100% となった (第 5-3 表)。その他の処理区ではほとんど壊死は発生しなかったが，5 mm 幅区の被覆区において薄皮を除去した区と薄皮を残した区で各 1 結果枝 (16.6%) に壊死が発生した。

第 5-3 表 剥皮処理幅、師部組織の除去、剥皮部の被覆が髓部の壊死の発生に及ぼす影響（実験 2）

| 処理幅 | 師部組織の除去程度 | 剥皮部の被覆 | 髓部における壊死の発生割合 (%) |
|-------|-----------|--------|-------------------|
| 5 mm | 除去 | 露出 | 83.3 |
| | | 被覆 | 16.6 |
| | 残存 | 露出 | 0.0 |
| | | 被覆 | 16.6 |
| 10 mm | 除去 | 露出 | 100.0 |
| | | 被覆 | 0.0 |
| | 残存 | 露出 | 0.0 |
| | | 被覆 | 0.0 |

2006 年 12 月 11 日に調査

山根・中野（1999）はモモの接ぎ木部において、削り出された木部では L-フェニルアラニンアンモニアリアーゼ（PAL）活性が高まり、リグニン含量が増加することを報告している。癒傷組織におけるリグニンの蓄積は病原体の進入からの防御反応とされており、Vance ら（1980）はリグニンによる防御には、リグニンの蓄積による組織の浸透性の低下や病原菌が出す毒素や酵素からの保護が関係しているとしている。本実験における髓部の壊死が菌の進入によるものかどうかは不明であるが、剥皮部の被覆は露出した木部の保護により壊死の発生を防いだと考えられた。

実験 3. 主幹における剥皮位置が果実形質に及ぼす影響

すべての処理区において、無処理区に比べアントシアニン含量および糖度が増加したが、処理位置の違いによるアントシアニン含量および糖度への影響はなかった（第 5-4 表）。果房重、果粒重および酸含量は処理による影響がなかった。

処理後 14 日目に剥皮部を観察したところ、切断面上部からカルスが発達するだけでなく、広い範囲でブリッジの発生が認められた（第 5-3 図）。

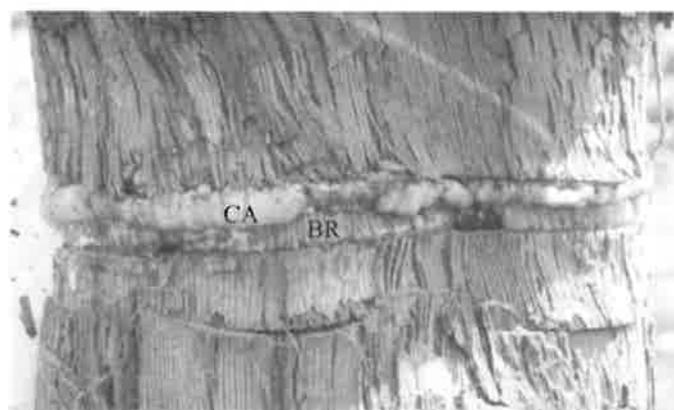
ブリッジの発生は実験 1 と同様に、剥皮部を被覆したことによるものと考えられた。実験 2 において、師部組織を完全に除去した場合に剥皮の効果が高かったが、ブリッジの発生が剥皮の効果に及ぼす影響は不明であった。しかし、実験 3 で主幹へ 5 mm 幅で環状剥皮処理し、師部組織を完全に除去した後、剥皮部を被覆したところ、剥皮幅が狭く、ブリッジが多く発生したにもかかわらず、無処理区よりもアントシアニン含量および糖度が上昇した（第 5-4 表）。Sidlowski ら（1971）はゆ合したカルス中には数日で師管が分化することを報告している。被覆によりブリッジが発生しても、師部組織が一度完全に除去されていることから、養分の転流はブリッジ中に師部組織が発達するまでの間遮られており、環状剥皮の効果が現れたものと考えられた。

第5-4表 主幹への環状剥皮処理位置がブドウ‘安芸クイーン’の果実形質に及ぼす影響（実験3）

| 処理位置 (地上高さ) | アントシアニン含量 (mg · g ⁻¹ FW) | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|----------------|----------------------------------------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 0.4 m | 0.097a ^z | 473a | 12.1a | 16.9a | 0.58a |
| 0.7 m | 0.080a | 553a | 12.1a | 16.4a | 0.61a |
| 1.0 m | 0.078a | 512a | 12.7a | 16.3a | 0.62a |
| 1.3 m | 0.088a | 463a | 11.9a | 17.1a | 0.60a |
| 剥皮なし | 0.039b | 529a | 12.5a | 15.5b | 0.59a |

環状剥皮は幅 5mm で処理を行い，師部組織を完全に除去した後，テープで被覆した

^z 異なるアルファベット間で有意差あり（Tukey 法，P = 0.05）



第 5-3 図 剥皮後 14 日目のゆ合の様子（実験 3，地上 1m 処理）

CA はカルス，BR はブリッジを示す

以上のことから，環状剥皮により着色および糖度を増加させるためには，師部組織を完全に除去する必要があること，師部組織を完全に除去した後，壊死の発生を防ぐため，剥皮部をテープにより被覆する必要があること，被覆によりブリッジが発生しても剥皮効果は認められること，主幹へ 5 mm といった狭い幅で処理しても環状剥皮の効果は発揮されること，主幹への剥皮処理位置は剥皮の効果に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

第 5 章 要 約

環状剥皮処理を効果的に行うことを目的に，環状剥皮処理部位の位置，被覆および師部組織の除去程度が剥皮部のゆ合および果実形質に及ぼす影響について調査した。剥皮部をビニルテープで被覆した場合は，カルスの隆起によらない木部露出面からの直接的で素早いゆ合が発生した。結果枝において師部組織の一部（師部最内層の薄皮状の組織）を残して剥皮した結果，着色向上効果はなく，糖度上昇程度も小さかった。一方，師部組織を完全に除去すると被覆の有無にかかわらず，着色および糖度が上昇した。また，師部組織を完全に除去し，

剥皮部を露出した区で、髄の一部が壊死した。主幹への剥皮位置の違い（地上 0.4～1.3 m）は、剥皮の効果に影響を及ぼさなかった。このときの剥皮幅は 5 mm で、師部組織を完全に除去した後に、剥皮部を被覆しており、広範囲にブリッジが発生したが、いずれの剥皮位置でも着色および糖度が上昇した。

以上のことから、師部組織を完全に除去し、剥皮部をテープで被覆することにより、壊死を発生させずに環状剥皮の効果を得られることが明らかとなった。

第6章 現地における環状剥皮効果の実証試験

第3～5章の結果から、環状剥皮が着色と糖度上昇に効果があること、また最も効果的な環状剥皮の時期や方法を明らかにした。しかし、実際のブドウ園では園によって土壌条件や気象条件が異なっており、また、栽培方法も斉一ではなく、樹の状態も均一ではない。そこで、環状剥皮が現地のブドウ園で実際に着色や糖度上昇技術として適用できるのか、どうかを明らかにするため、高温地域の着色不良園において環状剥皮と着果軽減の効果を調べた。

材料および方法

2005年に温暖地域の3園について環状剥皮と着果量の軽減を組み合わせた処理を行った。各園の栽培方法および樹齢を第6-1表に示す。すなわち、H園（広島市東区、標高110m、短梢剪定整枝、根域制限栽培、7年生樹）、I園（福山市沼隈町、標高100m、短梢剪定整枝、11年生樹）、J園（福山市沼隈町、標高100m、加温栽培、短梢剪定整枝、11年生樹）とした。HおよびI園はトンネルによる簡易被覆栽培である。

実験1と同様に成熟期の気温を1時間ごとに記録し、解析した。環状剥皮は満開後35日目に地上1mの主幹に処理した。剥皮幅はHおよびI園では10mm、J園では5mm幅で行った。処理日はH園6月27日、I園6月30日およびJ園5月18日となった。環状剥皮処理時に摘房により着果量を調節した。着果量は各園での慣行の着果量を基準とし、11～29%減らした区を設け、それぞれの区に環状剥皮処理を行った。すなわち、H園において環状剥皮をしない無処理区（1m²あたり5.5果房）、1m²あたり4.9果房として環状剥皮処理した区（着果量89%区）および1m²あたり4.0果房として環状剥皮処理した区（着果量73%区）を設けた。各区3樹供試した。I園において、環状剥皮をしない無処理区（1m²あたり3.5果房）、着果量を減らさずに環状剥皮処理した区（着果量100%区）、1m²あたり3.0果房として環状剥皮処理した区（着果量86%区）および1m²あたり2.5果房として環状剥皮処理した区（着果量71%区）を設けた。各区3樹供試した。J園では環状剥皮をしない無処理区（1m²あたり4.1果房）、着果量を減らさずに環状剥皮を処理した区（着果量100%区）と1m²あたり3.1

第6-1表 ブドウ‘安芸クイーン’における環状剥皮処理園の園地概要（2005年）

| 園地 | 地域 | 標高 (m) | 整枝法 | 栽植方法 | 樹齢 (年生) |
|----|----|-----------|--------|------|------------|
| H | 広島 | 110 | 短梢剪定整枝 | 根域制限 | 7 |
| I | 福山 | 100 | 短梢剪定整枝 | 地植え | 11 |
| J* | 福山 | 100 | 短梢剪定整枝 | 地植え | 11 |

* 加温ハウス

果房として環状剥皮処理した区（着果量76%区）を設けた。各区4樹供試した。また、環状剥皮時に葉色、新梢長、結果枝の葉面積および葉面積指数を調査した。各園5~10結果枝について調査した。葉色は基部から第8節目の本葉について、葉緑素計（SPAD-502, Minolta）を用いて計測した。結果枝の葉面積については、‘安芸クイーン’の葉身長と葉面積から得た式、 $y = 1.6165x^2 - 5.3696x$ ($R^2 = 0.971$, x: 葉身長, y: 葉面積)を用いて各葉の葉身長から算出した。葉面積指数については、結果枝葉面積と結果枝本数との積を樹冠面積で除して求めた。収穫時の果実形質は各樹より無作為に3~5果房を採取し、第1章と同様に調査した。

結 果

気温条件の異なる着色不良園3園について、着果量を軽減し、環状剥皮処理を行った。H園は第2章で高温であったCおよびD園よりもさらに気温が高く、日最低気温は24℃以上となり、20~25℃に遭遇する時間は5.6時間と著しく短かった（第6-2表）。I園は20~25℃に遭遇する時間が7.1時間と、第2章の着色不良園並の高温であった。加温栽培のJ園は第2章の加温栽培のG園より気温が低かったが、20℃以下の時間が13.4時間と長かったことから、20~25℃の時間は6.0時間と短かった。

これらの3園において、着果量を軽減し、環状剥皮処理を行った。基準とした慣行の着果量は園により異なり、H、IおよびJ園の1m²あたりの着果量はそれぞれ2.6、1.9および3.0kgとなった（第6-3表）。着果量を軽減し、環状剥皮を行うことにより、すべての園で果皮の着色が向上した。しかし、着色向上効果は園により異なり、H園では着果量73%とし、環状剥皮を処理することにより目標とするカラーチャート値3.0に達したが、I園では着果量71%とし環状剥皮処理をしてもカラーチャート値は1.3に留まった。加温栽培のJ園も着果量76%区でカラーチャート値は2.3と3未満であった。果房重および果粒重は、いずれの園においても処理による影響はなかった。糖度は果皮色と同様の傾向を示し、着果量を減らし、環状剥皮処理することにより有意に向上した。酸含量はH園で着果量を減らし、環状剥皮を処理することにより有意に低下したが、他園では処理区間に差はなかった。J園は他園に比べ、果房重および果粒重が特に大きく、糖度が低く、酸含量が高かった。

H園では他園よりも環状剥皮処理時の新梢長が短く、葉色が薄かった（第6-4表）。葉面積指数はH、IおよびJ園でそれぞれ2.3、2.5および2.9であった。

第6-2表 調査園の着色開始後8~21日目の気温

| 園地 | 日気温 | | | 温度の分布（日あたり時間数） | | | |
|----------------|------|------|------|----------------|--------|--------|-------|
| | 平均 | 最大 | 最小 | 30℃以上 | 25-30℃ | 20-25℃ | 20℃以下 |
| H | 27.9 | 32.5 | 24.2 | 6.6 | 11.8 | 5.6 | 0.0 |
| I | 27.9 | 33.6 | 23.3 | 7.3 | 9.6 | 7.1 | 0.0 |
| J ² | 19.8 | 26.9 | 14.2 | 0.1 | 4.5 | 6.0 | 13.4 |

²加温ハウス

第 6-3 表 着果量の異なる樹における環状剥皮処理がブドウ '安芸クイーン' の果実形質に及ぼす影響 (現地園, 2005 年)

| 園地 | 環状剥皮処理 | 着果量軽減割合 [†] | 着果量 (kg m ⁻²) | カラーチャート値 | 果房重 (g) | 果粒重 (g) | 糖度 (°Brix) | 酸含量 (g 100mL ⁻¹) |
|----------------|--------|----------------------|---------------------------|----------|---------|---------|------------|------------------------------|
| H | あり | 73% | 1.8c | 3.0a | 454a | 14.1a | 19.2a | 0.51b |
| | あり | 89% | 2.2b [*] | 2.1ab | 452a | 13.7a | 19.3a | 0.54ab |
| | なし | 100% | 2.6a | 1.1b | 466a | 13.7a | 18.4b | 0.59a |
| I | あり | 71% | 1.2b | 1.3a | 514a | 14.1a | 18.7a | 0.67a |
| | あり | 86% | 1.5ab | 0.8ab | 561a | 13.9a | 18.8a | 0.63a |
| | あり | 100% | 1.8a | 0.5ab | 537a | 14.6a | 18.2a | 0.65a |
| | なし | 100% | 1.9a | 0.3b | 587a | 14.5a | 17.7b | 0.71a |
| J [‡] | あり | 76% | 2.3b | 2.3a | 734a | 16.8a | 14.5a | 0.80a |
| | あり | 100% | 3.1a | 1.3b | 735a | 16.8a | 13.6ab | 0.80a |
| | なし | 100% | 3.0a | 0.6b | 693a | 16.8a | 12.7b | 0.88a |

[‡] 加温ハウス

[†] 剥皮処理していない対照区に対する着果量の割合

^{*} 同一園地内で異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

第 6-4 表 調査園の新梢生育

| 園地 | 新梢長 (cm) | 葉面積 (m ²) | 葉色 (SPAD 値) | 葉面積指数 |
|----------------|-------------------|-----------------------|-------------|-------|
| H | 109b [†] | 0.42a | 43.7b | 2.3 |
| I | 128a | 0.45a | 46.8a | 2.5 |
| J [‡] | 128ab | 0.43a | 46.6a | 2.9 |

環状剥皮処理時に調査

[‡] 加温ハウス

[†] 異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

考 察

環状剥皮処理と着果量の軽減による着色改善効果の程度は園により異なった。H園は着色開始後8~21日目の間に20~25℃に遭遇する時間が特に短く、高温な園であったが、環状剥皮処理と着果量の軽減により、着色および糖度が大きく向上した。

一方、J園は着果量を減らし、環状剥皮を行うことで着色は改善されたが、カラーチャート値は3に達せず、満足できる結果が得られなかった。さらに、I園は温度条件がH園よりも若干優れ、糖度も18度前後と比較的高かったにもかかわらず、着果量を1m²あたり1.2kgと大幅に減らしてもカラーチャート値は1.3にしかならなかった。これらのことは、温度や糖度以外にも着色阻害要因が存在することを示唆している。H~J園の葉面積指数は2.3~2.9であった。高橋(1985)は‘デラウェア’において最適葉面積指数は2よりも大きく3に近いとしている。本実験の葉面積指数はこの範囲内であり、環状剥皮効果の違いを葉面積指数の違いで説明することは困難であった。

I園とJ園の新梢生育は、H園に比べ旺盛であったことから、施肥管理などの土壌管理の違いが着色に影響を及ぼしている可能性があると思われる。窒素の影響に関しては、成熟期の窒素供給を制限すると糖度が高まり、着色が促進することが報告されている(広保, 1963; Kliever, 1977; 岡本ら, 1991)。H園は水はけのよい花崗岩土壌を培地とした根域制限栽培であり、夏期に土壌中の窒素濃度が非常に低くなる。一方、I園およびJ園は地植え樹で細粒黄色土の粘質な土壌である。このような土壌環境の違いにより、H園では地植えのI園、J園よりも新梢の生育が抑えられ、その結果、環状剥皮によって着色が著しく改善された可能性がある。

HおよびI園では環状剥皮を幅10mm、J園では5mmで行った。第3章での結果枝を用いた実験から、剥皮幅を5mm~20mmに変えても着色改善効果はほとんど同等であり、剥皮幅の違いによる影響は小さかったと考えられる。

以上のことから、高温条件下でも着果量を減らし、環状剥皮を行うことにより、着色および糖度が向上したが、新梢生育の旺盛な園では、着色改善効果が小さくなる可能性があることが明らかとなった。

第6章 要 約

2005年に栽培条件の異なる着色不良園3園において環状剥皮処理および着果量の軽減による着色改善を試みた。その結果、高温条件下でも着果量を減らし、環状剥皮を行うことにより、着色および糖度が向上したが、新梢生育の旺盛な園では、着色改善効果が小さく、気温や糖度以外にも着色阻害要因があることが示唆された。

第7章 環状剥皮が着色を向上させるメカニズムについて

アントシアニンの蓄積は糖の蓄積と密接に関係しており、果皮の乾物あたりの糖含量とアントシアニン含量との間には高い相関があること (Pirie・Mullins, 1977), 着色不良樹では良好樹に比べて成熟期間を通して果実の糖含量が低いこと (小野ら, 1993) が報告されている。第3章では、環状剥皮は糖蓄積を促すことによって、その後のアントシアニンの蓄積を促進している可能性を示した。

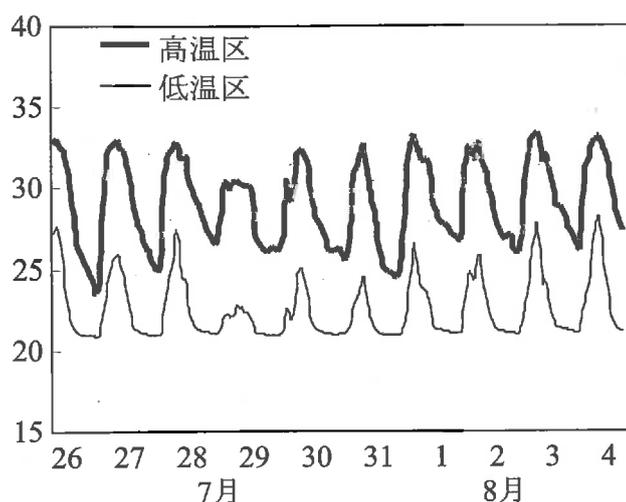
糖と ABA は協働してアントシアニンの蓄積を促進し、ABA 処理による着色促進は果皮中の糖含量の上昇と関係があることや (松島ら, 1989), 培養した果皮に ABA とともに糖を与えることにより、ABA のみの処理よりもアントシアニンの蓄積が促進されることが報告されている (Hiratsuka ら, 2001)。環状剥皮による着色向上についても、糖と ABA の両者が関与している可能性があるが、環状剥皮処理によって ABA 含量が上昇するかどうかについての報告はない。また、糖の中でもショ糖がシグナル物質として働き、Myb 様転写因子遺伝子を含むアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を制御していることがシロイヌナズナを用いた研究で明らかにされている (Solfanelli ら, 2006; Teng ら, 2005)。ブドウの果実に蓄積する糖は主としてブドウ糖および果糖であり、ショ糖が転流糖とされているが (Swanson・El-Shinshiny, 1958), 環状剥皮により増加する糖の種類については不明である。

本実験では環状剥皮による着色向上のメカニズムを解明するため、異なる温度条件下における環状剥皮処理が果皮の着色、ABA 含量および糖組成に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

2005 年に広島県東広島市安芸津町の雨除けハウス内で育成した 60 L のポット植え 4 年生ブドウ ‘安芸クイーン’ 樹を用い、実験を行った。培地には花崗岩土壌にバークたい肥を体積比で 10% 混和したものをを用いた。施肥は発芽前に化成肥料でポットあたり N 4.5 g, P 3.0 g, K 4.5 g を施用した。かん水はテンシオメーターを用いた自動かん水とし、土壤水分吸引圧が -9.8 kPa (pF 2.0 に相当) に達した時点で 20 mm (4 L/樹) のかん水を行った。発芽後 3 週間目に芽かきにより各樹 3 結果枝に調節した。結果枝は 17 cm 間隔で配置し、開花前に 12 節で摘心した。その後伸長した副梢は基部の 1 葉を残して切除した。着粒安定、無核化および果粒肥大のため、満開後 3 日目に花穂を GA₃ 25 mg・L⁻¹ と CPPU 3 mg・L⁻¹ 溶液に、満開後 13 日目に果穂を GA₃ 25 mg・L⁻¹ 溶液に浸漬処理した。満開後 2 週間目に 1 結果枝 1 果房とし、1 果房あたりの果粒数を 32 粒に調節した。

着色開始前から収穫時までの温度を 2 段階に変え、環状剥皮処理の有無と組み合わせた 4 処理を設けた。環状剥皮の効果は着果量に左右されるので、環状剥皮効果の現れにくい高温区については剥皮処理時に果粒数を 10 粒に減らす区を設けた。環状剥皮処理は満開後 35 日



第 7-1 図 高温区および低温区の気温の推移

目（6月29日）に行い、すべての樹において、3結果枝中2結果枝の基部に2cm幅で処理した。剥皮部は収穫時までゆ合することはなかった。温度処理はコイトトンネル内で行い、第7-1図に示すように変温させ、低温区は平均気温23℃、高温区は平均気温29℃となるようにした。温度処理は着色開始直前（7月5日）から収穫期（8月22日）まで行った。処理期間中1週間ごとに果皮のカラーチャート値を記録した。

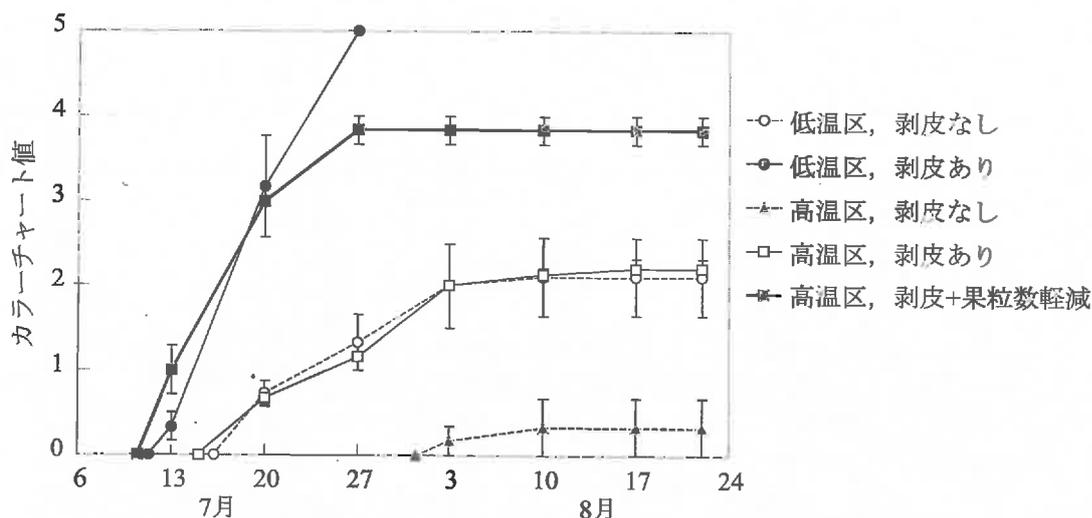
各区の着色がほぼ決定した8月5日に、各果房から平均的な大きさの果粒5粒を採取し、2粒をアントシアニン含量および糖組成の分析に、3粒をABA含量の分析に供試した。アントシアニン含量については第1章と同様の方法で分析した。

ABA含量はKoshitaら（1999）の方法に従い分析した。すなわち果皮サンプルに $^2\text{H}_6$ -ABAを内部標準として加えた後、抽出・精製した。その抽出物を高速液体クロマトグラフィーで分離、精製してABA画分を分取し、メチル化した。メチル化したABAはガスクロマトグラフ質量分析計（QP-5000、島津製作所）を用い、選択イオンモニタリング法で同定、定量した。

ショ糖、ブドウ糖および果糖の含量について、藤原（2005）の方法を若干修正し、高速液体クロマトグラフィー（日本分光、東京）を用い分析した。すなわち、果皮または果肉を搾汁し、搾汁後すぐに搾汁液50 μl を蒸留水で希釈して2.5 mlとした。この液をメンブレンフィルター（0.2 μm ）で濾過後、電子レンジで500W、40秒間加熱し、インペルターゼを失活させてショ糖の分解を防いだ。加熱後の溶液40 μl をHPLCに注入し、カラム（SG-101、島津、京都）温度50℃、流速0.8ml $\cdot\text{min}^{-1}$ の条件で分離し、RI検出器で検出した。

結 果

第7-2図にカラーチャート値の推移を示す。低温区で環状剥皮しなかった区は7月15日に着色が始まり、収穫時の着色はカラーチャート値で2.1となった。低温区で剥皮した場合に



第 7-2 図 異なる温度条件における環状剥皮処理および果粒数の軽減がブドウ‘安芸クイーン’の果皮の着色に及ぼす影響
縦線は標準誤差 (n = 3)
低温区の剥皮区では 7 月 27 日にカラーチャートの上限值を超えた

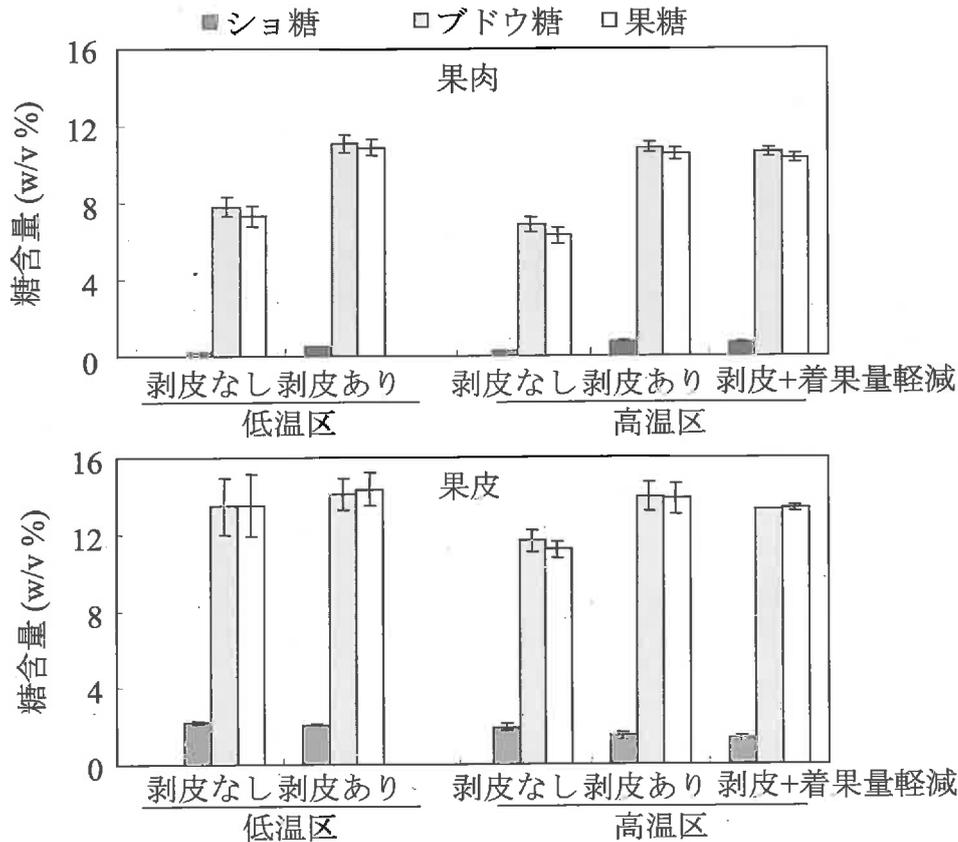
第 7-1 表 異なる温度条件における環状剥皮処理および果粒数の軽減がブドウ‘安芸クイーン’の果皮のアントシアニン含量, ABA 含量, 果粒の糖度および果粒重に及ぼす影響 (8 月 5 日)

| 温度処理 | 剥皮処理 | アントシアニン含量 (mg g ⁻¹ FW) | ABA含量 (ng g ⁻¹ FW) | 糖度 (°Brix) | 果粒重 (g) |
|------|----------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------|------------|
| 低温区 | なし | 0.122c ^a | 54.3c | 14.0c | 12.1a |
| | あり | 0.823a | 118.7ab | 17.1b | 12.6a |
| 高温区 | なし | 0.009d | 77.9c | 12.4d | 13.8a |
| | あり | 0.079c | 99.8b | 18.1b | 13.1a |
| | あり+果粒数軽減 | 0.262b | 134.8a | 20.2a | 12.1a |

^a 異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey 法, P = 0.05)

は, 着色が促進され, 7 月 27 日にカラーチャート値が 5 となった。高温区で剥皮しなかった区は着色開始が 7 月 31 日と遅く, 収穫時のカラーチャート値は 0.3 と低かった。高温区で剥皮した場合のカラーチャート値は, 低温区で剥皮しない区と同様に推移し, 収穫時のカラーチャート値は 2.2 となった。高温区で果粒数を軽減し, 環状剥皮した場合には, 着色開始が 7 月 12 日と最も早く, 収穫時のカラーチャート値は 3.8 となった。

8 月 5 日における果皮のアントシアニン含量はカラーチャート値と同様, 低温区で剥皮した場合に特に高く, 次いで高温区で果粒数を減らし, 剥皮した区で高かった (第 7-1 表)。高温区で剥皮しなかった区ではアントシアニンほとんど蓄積しなかった。果皮の ABA 含量は低温区では剥皮により著しく増加した。高温区でも剥皮により ABA 含量が増加し, 果粒数を軽減した区でさらに高くなった。温度の違いによる ABA 含量への影響は認められなかった。



第 7-3 図 異なる温度条件における環状剥皮処理および果粒数の軽減がブドウ '安芸クイーン' の糖含量に及ぼす影響 縦線は標準誤差 (n = 3)

低温区、高温区とも糖度は剥皮により増加した。高温区では、糖度は果粒数を減らした区で、さらに高くなった。果粒重は処理間で差がなかった。

果肉および果皮の糖組成を第 7-3 図に示す。果肉のショ糖、ブドウ糖および果糖含量は、低温区、高温区ともに剥皮により増加した。果粒数の影響は認められなかった。果皮のブドウ糖と果糖含量はいずれの区でも果肉よりも高い値を示した。また、果皮のブドウ糖と果糖含量に及ぼす環状剥皮の効果は、果肉のそれに比べて小さく、特に低温下では効果はつきりしなかった。果皮のショ糖含量は、処理の影響をほとんど受けなかった。

考 察

高温区でも果粒数を軽減し、剥皮処理することにより、着色が大きく向上したことは、第 6 章において高温地域の現地栽培園で着果量を減らし、環状剥皮した場合の結果と一致した。また、いずれの温度処理においても剥皮処理により果肉の糖度と果皮の ABA 含量が増加したことから、環状剥皮が着色向上、糖含量と ABA 含量の増加を引き起こしていると考えられた。

糖と ABA とアントシアニン含量との関係については、Pirie・Mullins (1976) は切断した果粒にショ糖または ABA を与えて培養した実験で、ショ糖または ABA は単独でもアントシ

アニン含量を高めるが、両者を同時に処理するとアントシアニン含量がさらに上昇することを報告している。ABA がアントシアニンの蓄積を促進するメカニズムについて、Joeng ら (2004) は ABA 処理により、*VvmybA1* を含む、アントシアニン合成系酵素遺伝子の発現が促進されることを示している。一方で、糖も植物ホルモンのようなシグナル伝達作用をもっており、シグナル伝達における主要なメッセンジャーとして、植物の生活環における多くの重要な過程を調節しているとされている (Smeekens, 2000; Rolland ら, 2002)。Teng ら (2005) はシロイヌナズナを用いて、ショ糖により誘導されるアントシアニンの蓄積について、量的形質遺伝子座の解析 (QTL, quantitative trait loci) を行い、*MYB75/PAP1* 遺伝子がショ糖により誘導されるアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現調節に決定的な役割を果たしていることを報告している。Solfanelli ら (2006) もシロイヌナズナにおいて、ショ糖がアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を直接制御していることを示している。これらの報告はシロイヌナズナの結果であるが、ブドウにおいても糖が ABA を介さずに、*Myb* 様転写因子遺伝子を含むアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を制御している可能性を示すものである。

糖と ABA は掛け合い応答 (クロストーク) することが ASR (ABA-, stress-, and ripening-induced) タンパク質との関連において報告されている (Çakir ら, 2003; Carrari ら, 2004)。ASR タンパク質は ABA や非生物的ストレス、糖により発現が誘導されるタンパク質であり、1993 年にトマトで初めて報告された (Iusem ら, 1993)。Çakir ら (2003) は ASR 相同遺伝子 (*VvMSA* 遺伝子) をブドウにおいて同定している。また、果肉細胞の懸濁液にショ糖またはブドウ糖を添加した場合に *VvMSA* 遺伝子の発現が促進され、糖と ABA を同時に処理した場合にはさらに発現が促進されるが、ABA のみの処理では発現が促進されないことを報告しており、*VvMSA* 遺伝子の発現には糖が ABA より優先する要因であることを示している (Çakir ら, 2003)。同様の現象はシロイヌナズナのデンプンの生合成でも認められており、ABA はショ糖によるデンプン生合成関連酵素遺伝子の発現を上昇させるが、ショ糖がなければ効果を示さないことが明らかにされている (Rook ら, 2001)。また、ABA と糖の両方に影響を受けるシロイヌナズナの変異体が存在することは、ABA と糖のシグナル伝達経路に強い関連があることを示唆している (Gazzarrini・McCourt, 2001)。これらの報告はアントシアニンの生成についてのものではないが、ブドウの成熟についても、環状剥皮によって上昇する糖が ABA と掛け合い応答し、ABA よりも糖が優先的にアントシアニンの生成に関与している可能性があると考えられた。しかし、Kataoka ら (1982) は摘葉し、糖度が低下したブドウに ABA 処理した場合、アントシアニンが蓄積したことを報告しており、ABA の影響は必ずしも糖に依存するものではないと考察している。このように ABA と糖がアントシアニンの生成に及ぼす影響には不明な点が残し、ABA と糖以外の要因を含めた今後の検討が必要である。

以上のことから、環状剥皮によってブドウの着色が向上し、果肉の糖濃度が上昇するのは、1) 環状剥皮によって果粒へ転流される糖が増える、2) 環状剥皮によって果皮の ABA 含量が増加する、3) 糖と ABA の含量増加によってアントシアニン合成が促進されるためと考えられる。

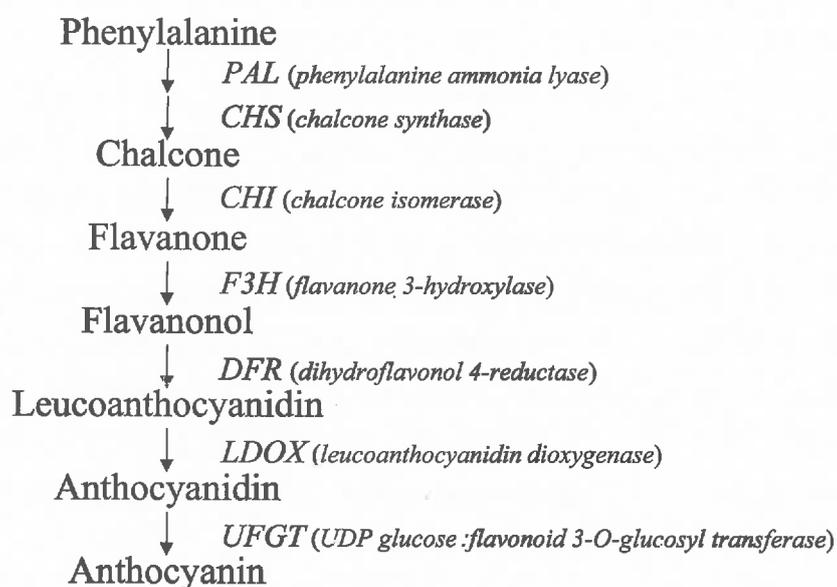
第7章 要約

環状剥皮による着色向上のメカニズムを解明するため、異なる温度条件下における環状剥皮処理が果皮の着色、果皮の ABA 含量および果皮、果肉の糖組成に及ぼす影響について調査した。その結果、環状剥皮処理は温度に関係なく、果肉の糖と果皮の ABA 含量を上昇させた。糖度と ABA 含量は果粒数を軽減し、剥皮した場合に最も高く、高温区にもかかわらず良好な着色となった。

以上のことから、環状剥皮による着色向上には、糖と ABA の増加が関係しており、着果量を軽減するとこれらの含量がさらに増加し、環状剥皮の効果が高まるものと考えられた。

第8章 温度とアントシアニン生合成との関係

アントシアニンの生合成経路に関してはモデル植物の研究によって詳しく調べられており (Dooner ら, 1991), ブドウにおいても第 8-1 図に示すようにいくつかのアントシアニン合成系酵素遺伝子が単離されている (Sparvoli ら, 1994)。中でも UDP-glucose:flavonoid 3-O-glucosyltransferase (UFGT) は果皮のみで発現すること, および赤色品種では発現するが, 黄緑色品種では発現しないことから, ブドウのアントシアニン生合成の鍵酵素であるといわれている (Boss ら, 1996a,b)。Kobayashi ら (2001) は黄緑色品種とその赤色枝変わり品種との間に *UFGT* の発現に差があるが, コード領域, プロモーター領域のいずれにおいても塩基配列には差がないことを明らかにしており, 赤色枝変わり品種は *UFGT* 遺伝子の発現を制御する上位の遺伝子に変異が起こったと考察している。一方, アントシアニン合成系酵素遺伝子は MYB および MYC と呼ばれるタンパク質性の転写因子に制御されている (Dooner ら, 1991)。Kobayashi ら (2002) は '巨峰' から *VmybAs* を単離し, これらの遺伝子が *UFGT* 遺伝子の発現を介してアントシアニン生合成を制御していることを報告している。また, 黄緑色品種から赤色品種への突然変異の原因として *Myb* 様転写因子 *VvmybA1* が決定的な役割を果たしており, 黄緑色品種ではレトロトランスポゾンが入り込んだ *VvmybA1* がホモで存在するため, この遺伝子の転写が完全に抑制されていること, 赤色品種では一方のレトロトランスポゾンが抜けて *VvmybA1* 遺伝子の転写が回復していることが報告されている (Kobayashi ら, 2004)。



第 8-1 図 アントシアニン生合成経路 (Sparvoli ら, 1994 より改変)

ベレゾーン期の ABA 処理は‘巨峰’においてアントシアニンの蓄積を促進するとともに、アントシアニン合成系酵素遺伝子である phenylalanine ammonia-lyase (*PAL*), chalcone isomerase (*CHI*), chalcone synthase (*CHS*), dihydroflavonol 4-reductase (*DFR*), leucoanthocyanidin dioxygenase (*LDOX*) および *UFGT* の発現を高めること (Ban ら, 2003) が知られており, ‘Cabernet Sauvignon’ への ABA 処理はアントシアニン合成系酵素遺伝子 (*PAL*, *CHI*, *CHS*, flavanone 3-hydroxylase (*F3H*), *DFR*, *LDOX*) とともに *VvmybA1* の発現を高めることが報告されている (Jeong ら, 2004)。このように ABA は *VvmybA1* の発現を促進し, *VvmybA1* の産物がアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を誘導することが示唆されている。

第 1 章において, ブドウの着色が着色開始後 8~21 日目の高温によって抑制されることを明らかにしたが, 温度がアントシアニン合成経路のどの段階でどのように関与しているかについては, まだ十分に解明されていない。わずかに Mori ら (2004) が夜温 15°C で *UFGT* の酵素活性が高まることを報告しているに過ぎず, 異なる温度条件下で *VvmybA1* を含む他のアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を見た報告はない。そこで, 本章では温度処理が果皮のアントシアニン合成系酵素遺伝子および ABA の発現に及ぼす影響を調べた。

材料および方法

供試材料には第 1 章の実験 1 において, 着色開始後 7~21 日目 (ステージ 1-III) に高温 (30°C) と低温 (20°C) で温度処理をした果粒を処理終了時に採取して用いた。果粒を採取後, 直ちに果肉から果皮をはぎ取り, 液体窒素で凍結させ, -80°C で保存した。各温度処理に供試した 3 樹について 1 樹あたり 3 果粒ずつを採取し, その果皮の一部を ABA の分析に供試した。1 樹 1 反復とし, データを t 検定により解析した。残りの果皮サンプルは 3 樹分を合わせて 1 サンプルとし, アントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の mRNA の定量に供試した。ABA 含量については第 7 章と同様の方法で分析した。

アントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の mRNA の定量は GeneAmp 5700 Sequence Detection System (Applied Biosystems) および Quantitect SYBR Green PCR kit (Qiagen) を用いたリアルタイム定量 PCR 法により行った。全 RNA は Loulakis ら (1996) の方法に従って抽出した。cDNA は全 RNA 50 ng/ μ L にオリゴdT プライマー 0.25 μ M とリバーシクリプターゼを加えて調整した。定量 PCR には反応液 20 μ L あたり cDNA テンプレート 1 μ L を用いた。最終的なプライマーの濃度は 0.5 μ M (*CHS2*, *CHS3*, *CHI1*, *F3H2*, *DFR*, *LDOX*) または 0.25 μ M (*UFGT*, *VvmybA1*, *VvUbiquitin1*) とした。定量 PCR は, 95°C で 15 分間の後, 95°C で 15 秒間, アニーリング温度で 20 秒間, 72°C で 20 秒間を 40 サイクル行った。プライマーの塩基配列とアニーリング温度は Jeong ら (2004) と同様である。定量 PCR は 1 cDNA サンプルに対して 4 回行い, その平均値を *VvUbiquitin1* とのモル比として示した。

結果および考察

果皮の ABA 含量は 20°C 区で 30°C 区よりも有意に高くなった (第 8-1 表)。菅名ら (1979b) は果皮の ABA 含量は樹体温よりも果実温に影響を受け、果実温が 15°C から 30°C の範囲では高温になるほど ABA 含量が低下し、果実温 20°C は果実温 30°C に比べ ABA 含量が約 1.7 倍となることを報告している。本実験では 20°C 区の ABA 含量は 30°C 区の 1.64 倍であり、菅名ら (1979b) の結果とほぼ一致した。一方、温度と ABA 処理との関係について、Mori ら (2005) は 30°C で処理した 'Pinot noir' に ABA を散布することにより夜温 15°C 区と同程度までアントシアニン含量が増加したことを報告しており、温度は ABA 含量を通じて果皮のアントシアニン蓄積に影響すると考えられる。

分析したすべてのアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の mRNA の発現量は 20°C 区で 30°C 区よりも高い値を示した (第 8-2 表)。20°C 区と 30°C 区の mRNA 発現量の差は最も小さい *LDOX* で 1.12 倍、最も差の大きい *CHS3* で 1.75 倍、平均 1.45 倍であり、ABA 含量の差と近い値であった。Joeng ら (2004) は 'Cabernet Sauvignon' の成熟期の果皮において *VvmybA1* の mRNA 発現量は他のアントシアニン合成系酵素遺伝子の mRNA 発現量に比べ、わずかな量であることを確認しており、*VvmybA1* が *UFGT* だけでなく他のアントシアニン合成系酵素遺伝子においても転写因子となっている可能性を示している。本実験においても *VvmybA1* の mRNA 発現量は他のアントシアニン合成系酵素遺伝子よりも著しく低く、Joeng ら (2004) の結果と一致した。

第 8-1 表 温度処理直後における果皮の ABA 含量

| 温度 | ABA 含量 (ng g ⁻¹ FW) |
|------|-----------------------------------|
| 20°C | 198 |
| 30°C | 121 |
| T検定 | ** |

**は 5% 水準で有意性あり

第 8-2 表 温度処理直後における果皮のアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA* の mRNA 発現量

| 温度 | <i>CHS2</i> | <i>CHS3</i> | <i>CHI1</i> | <i>F3H2</i> | <i>DFR</i> | <i>LDOX</i> | <i>UFGT</i> | <i>VvmybA1</i> |
|------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|-----------------------------------------------|
| 20°C | 15.0 ±1.2 ^z | 11.2 ±0.8 | 1.8 ±0.41 | 42.5 ±3.3 | 1.46 ±0.07 | 15.2 ±2.6 | 0.40 ±0.03 | 7.1×10 ⁻⁴ ±9.0×10 ⁻⁵ |
| 30°C | 9.5 ±1.1 | 6.4 ±0.6 | 1.2 ±0.25 | 21.9 ±3.6 | 1.21 ±0.10 | 13.6 ±1.8 | 0.33 ±0.02 | 5.6×10 ⁻⁴ ±9.7×10 ⁻⁵ |

^z 値は平均値±標準誤差 (mol/*VvUbiquitin1* mol)

Joeng ら (2004) は, *CHS*, *CHI* および *F3H* の 2~3 コピーの中で, *CHS1*, *CHI2* および *F3H1* についてはブドウ果皮中での発現量が低いことを報告している。そこで本実験では *CHS*, *CHI*, *F3H* についてはアントシアニンの蓄積と関係すると考えられる *CHS2*, *CHS3*, *CHI1*, *F3H2* についてのみ mRNA 発現量を調査した。発現量の特に少なかった *VvmybA1* を除いて, 20°C 区の mRNA 発現量は最も多い *F3H2* が 42.5, 次いで *CHS2*, *CHS3*, *LDOX* が 11.2~15.8, *CHI1*, *DFR*, *UFGT* が 0.4~1.8 mol / mol *VvUbiquitin1* と遺伝子によって大きく異なった。本実験の結果は *LDOX* が *CHI1*, *DFR*, *UFGT* と比較して発現量が多かったこと除いて, Joeng ら (2004) の 'Cabernet Sauvignon' の結果とほぼ一致した。このことからアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現量は, 温度や遮光処理, ABA 処理により増減するものの, 各遺伝子の発現量の比は品種や処理の違いにかかわらず, ほぼ一定の傾向を示すと考えられた。

これらの結果とこれまでの報告から, 温度は果皮中の ABA 含量に影響を及ぼし, ABA は *VvmybA1* の発現を促進し, 転写因子 *VvMYBA1* がアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を制御していると考えられた。一方, 第 1 章の実験において 30°C 区では温度処理前後でアントシアニン含量に差がなく, 処理期間中アントシアニンの蓄積が認められなかったが, 本実験の結果, 30°C 区でもすべてのアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の mRNA 量は 20°C 区の 50% 以上であった。Mori ら (2004) は '巨峰' 果皮の PAL および *UFGT* の酵素活性について, 高温区 (30°C) では低温区 (25°C) よりも酵素活性は低下するものの 0 とはならず, アントシアニン含量も増加することを報告している。Ban ら (2003) は '巨峰' に 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) を処理し, アントシアニンの蓄積を完全に抑制した場合のアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現をノーザンプロット法により解析し, 2,4-D 処理により *PAL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *LDOX* の発現が低下し, *UFGT* についてはほぼ完全に発現が抑制されることを報告している。本実験ではアントシアニンの蓄積が完全に抑制されている高温区でも *UFGT* や *VvmybA1* の発現が認められたことから, アントシアニン合成系酵素遺伝子や *VvmybA1* 遺伝子の発現だけで, アントシアニン生成の抑制を説明できないことが明らかとなった。Mori ら (2004) は高温ではブドウ果皮の PAL および *UFGT* の酵素活性が低下するとともに, アントシアニンの基質であるフェニルアラニン含量が低下することを報告している。また, 森ら (2006) は 'Cabernet Sauvignon' の培養果粒を 15, 25 および 35°C で温度処理すると, 35°C でアントシアニン含量が処理開始時点よりも減少したが, そのときのアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現はそれほど低下しないことを明らかにしており, 高温によるアントシアニンの蓄積阻害は, アントシアニン合成系酵素遺伝子の転写抑制に加え, 生合成されたアントシアニンの消失が関係していると考えられている。本実験におけるアントシアニンの蓄積抑制にもアントシアニンの消失が関係している可能性があると考えられた。

以上のことから, 低温によるアントシアニンの蓄積は果皮中の ABA 含量の増加と, それに伴うアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の発現量の増加によるものと考えられるが, 温度がアントシアニンの蓄積に及ぼす影響にはそれ以外のメカニズムも関与している可能性が残された。

第8章 要約

温度がアントシアニン蓄積に影響を及ぼすメカニズムを明らかにするため、温度処理が果皮のABA含量、アントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の発現に及ぼす影響を調査した。温度の影響を強く受ける着色開始後 7~21 日目に、コイトロン内で低温 (20°C) および高温 (30°C) に遭遇させた '安芸クイーン' の果皮を分析に供試した。その結果、果皮のABA含量およびすべてのアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* の mRNA 含量は 20°C 区で 30°C 区よりも高くなった。これらのことから、低温下で果皮中のアントシアニン含量が高まるのは、低温下でABA含量が高まると、*VvmybA1* の発現が促進され、転写因子 *VvMYBA1* がアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を促進するためと考えられた。しかし、高温下ではアントシアニンの蓄積がほぼ完全に抑制されていたにもかかわらず、すべてのアントシアニン合成系酵素遺伝子および *VvmybA1* は一定程度発現していたことから、アントシアニン合成系酵素遺伝子や *VvmybA1* の発現量だけではアントシアニン生成の違いを説明できないことが明らかになった。

総合考察

1. 気温と着色との関係

気温と着色との関係について、第1章において生育時期別の温度感受性を調査し、第8章において気温が着色に影響を及ぼすメカニズムの解明を試みた。その結果、‘安芸クイーン’においては着色開始後8~21日目に急速に着色が進むが、この期間に30℃の高温に遭遇した場合、果皮中のABA含量が低下し、*Myb*様転写因子遺伝子 *VvmybA1* やアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現が低下することが明らかとなった。そこで、高温下ではABA含量の低下により *Myb* 様転写因子遺伝子 *VvmybA1* の発現が抑制され、さらにアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現が *VvmybA1* の発現によって制御されていることが示唆された。また、第1章では処理期間が短かったことから、温度は糖度に明確な影響を及ぼさなかったが、第7章では剥皮しない対照区において高温区の方が低温区よりも糖度が低く、高温は着色だけでなく、糖度の低下も引き起こしている可能性が示された。

第2章において現地の着色と気温との関係を解析したところ、樹齢や栽培方法が異なったにもかかわらず、着色の程度と着色開始後8~21日目における20~25℃の温度に遭遇する時間との間に有意な正の相関が認められた。また、着色と糖度との間にも有意な正の相関が認められた。広島県の瀬戸内沿岸部では‘安芸クイーン’の着色開始日は7月上旬~中旬で、着色開始後8~21日は7月下旬~8月上旬に相当する。この時期は一年で最も暑い時期で熱帯夜となりやすく、このことが瀬戸内沿岸部での着色不良、糖含量の低下を引き起こす原因になっていると考えられた。着色を促進する対策として、冷房設備により圃場内の気温を下げることは、コスト面からみて現実的でない。しかし、施設の導入により作型を前進させ、着色開始後8~21日目を比較的涼しい時期に移動できれば、着色改善が期待できる。第2章において、加温ハウスで栽培されていたG園は沿岸部に位置していても着色開始後8~21日目の気温が最も低く、着色も良好で果粒の糖度も高かった。一方、現地の気温を解析した結果によれば、沿岸部において現在の成熟期を約1か月早めれば、着色良好な県中北部の産地並みの温度条件となる(山根, 未発表)。現地栽培園ではブドウ棚をビニル資材などで被覆することにより、簡易に保温し、成熟期を約1か月前進させている事例がある。このような方法は加温設備が不要であるとともに、既存のブドウ棚を利用することができる。また、収穫期間が需要の多い盆前に重なることから、今後の温暖地ブドウの栽培方法として有望と考えられた。しかし、標高100 m以上の地帯では簡易保温栽培によって発芽を促進すると霜害を受ける危険性が高まるので、簡易保温によって成熟期を前進させ、着色を促進させる方法は標高100 m以上の産地には適用できないと思われた。そこで、これらの産地に適用できる技術として、環状剥皮の有効性について調査した。

2. 環状剥皮技術の歴史

環状剥皮がブドウの着粒安定や果粒肥大，成熟促進に有効であることは古くから知られている。Winkler (1962) は「General Viticulture」の中で環状剥皮の歴史について記述しているが，それによると環状剥皮による着粒安定と成熟促進について最初の記述がみられるのは1776年のことである。また，1833年にギリシャにおいて，ラバをつないでいた縄が偶然ブドウの樹皮を削り，環状剥皮が起こって‘Black Corinth’の着粒が向上したことが紹介されている。その後，‘Black Corinth’の着粒安定および‘Thompson Seedless’の果粒肥大のために，環状剥皮が行われていたようである。‘Thompson Seedless’は現在においても主要な生食用（干しブドウを含む）ブドウであり，環状剥皮の幅や方法などに関する報告の多くは‘Thompson Seedless’の果粒肥大についてのものである(Jensen ら, 1975; Jensen ら, 1976; Jensen ら, 1981)。これに対して，我が国では環状剥皮の効果として主に成熟促進効果が重視されてきた。

大井上康は「葡萄之研究」(1930)に8頁にわたり環状剥皮の効果や処理方法について紹介したが，それから3年後に出版された川上善兵衛著「葡萄全書」(1933)では，環状剥皮について成熟促進効果や剥皮用具の説明を中心に26頁を割いて記載されており，当時，成熟促進のための環状剥皮が重要な技術として注目されていたことが伺われる。同書において環状剥皮が行われている事例として広島県竹原町（現竹原市）が紹介されている。竹原のブドウ栽培史については久保らが「竹原葡萄の先覚者 神田善太郎伝」(2004)として史料を整理しており，その中で竹原は明治の終わりから大正，昭和初期にかけて全国有数の‘キャンベル・アーリー’の産地であったが，成熟促進のために環状剥皮が行われていたことが記載されている。その部分を引用すると，「キャンベル・アーリーについて善太郎の葡萄栽培技術で特筆すべきものが3つあるが，その1つは環状剥皮であった。大正の末から昭和の初めにかけて和歌山県のデラ，広島・岡山・大阪のキャンベルおよび山形の欧州種には熟期促進を目的とする幹の環状剥皮がかなり広く行われた」とあり，全国的に環状剥皮が行われていたことが分かる。しかし，それ以降のブドウ栽培に関する書物では環状剥皮の記述が少なく，小林章著「果樹園芸総説」(1954)，中川昌一著「葡萄」(1960)，土屋長男著「葡萄栽培新説」(増補版1980，初版1955)，恒屋棟介著「巨峰ブドウ栽培の新技术」(1971)ではそれぞれ1～3頁を割いて環状剥皮を紹介しているが，いずれも樹勢を著しく衰弱させるので，主幹への処理や連年での処理は行うべきではないとしている。近年の堀内昭作編著「日本ブドウ学」(1996)や農業技術を網羅的に紹介している「農業技術体系 果樹編 ブドウ」(加除式)の中では環状剥皮の項目はない。このように環状剥皮は樹を衰弱させるので，行うべきではないとの考えが定着しているようである。

環状剥皮のマイナス面として，酸含量も大きな問題であった。かつて環状剥皮が行われていた竹原の‘キャンベル・アーリー’も，現在では全く環状剥皮が行われていないが，その最大の原因は高い酸含量にある。‘キャンベル・アーリー’は早生の黒色品種であるが，成熟を促進し，盆前に出荷することを目的に環状剥皮が行われていた。しかし，本研究の結果か

らも明らかなように、環状剥皮によって促進されるのは着色および糖度である。酸含量は環状剥皮により若干低下する場合もあるが、ほとんどの場合影響を受けない。そのため、環状剥皮処理したブドウを着色と糖度を基準に収穫すると、酸含量が高くなる。‘キャンベル・アーリー’は元来酸含量が高いという特徴があり、早採りした果房は特に「酸っぱいブドウ」として、竹原ブドウの評価を落とし、現在の低迷の一因となっている。そのため、同農協では環状剥皮したブドウの出荷を禁止しているほどである。しかし、環状剥皮は酸含量を高めるわけではないので、酸含量の低下を確認してから収穫すれば問題はない。‘安芸クイーン’は酸含量が低いことから、酸含量の高さは‘キャンベル・アーリー’ほど問題にならない。

近年、‘ピオーネ’の着色向上のため、環状剥皮技術が兵庫県（福井ら、2000）で再検討され、環状剥皮を連年処理しても樹勢の低下がなかったことが報告されてからは、若干の取り組みが認められるようになった（藤島ら、2005）。広島県の瀬戸内沿岸部においても‘安芸クイーン’に環状剥皮が実施されたが、高温条件下では十分な着色向上効果はなく、継続的な取り組みにはつながらなかった。

以上のように、これまでに環状剥皮技術が行われなくなったのは、環状剥皮による樹の衰弱や、熟期促進を狙ったための酸含量の高さが大きな理由であり、また、近年の成果が現場で定着していないのは、着色向上効果が必ずしも十分ではないことが理由と考えられる。そこで、本研究では環状剥皮の効果を高めることと、樹の衰弱を回避することの2つについて検討を行った。

3. 環状剥皮と樹の衰弱

環状剥皮と樹の衰弱の関係については、古い文献に比較的詳しい記述が認められるのみである。大井上（1930）は環状剥皮は樹を短命にし、落葉期までに剥皮部がゆ合しない場合は樹が枯死する場合もあると記述している。川上（1933）は環状剥皮による樹の衰弱について、主幹またはすべての結果（母）枝に環状剥皮処理を行うと、樹を衰弱させるとしている。また、川上（1933）は環状剥皮の方法として、ゆ合するにしたがい数回カルスを切除するのが一般的であるが、竹原の‘キャンベル・アーリー’に樹の衰弱がみられないのは、棚の直下にあたる主幹の上部に一回のみの環状剥皮が行われているからである、と述べている。Winkler（1962）も剥皮部のゆ合が重要であるとしており、4.8 mm 幅では剥皮部は3～6週間でゆ合するが、これ以上幅を広げたり、カルスを再度切断すると、樹を衰弱させる可能性が大きいとしている。また、樹を衰弱させる他の要因として、環状剥皮を着粒安定または果粒肥大促進のために行った場合、結果的に着果過多となり、樹勢の低下を招くことや、剥皮部がゆ合するまでの間にかん水が不十分であると、樹勢の低下を招くことを指摘している。逆に、着果制限や十分なかん水を行った場合、‘Thompson Seedless’において11年間連続して環状剥皮処理をしても、樹勢が低下しなかったことを報告している。これらの記述から、環状剥皮による樹の衰弱の原因は、1) 剥皮部のゆ合不良によるもの、2) 着果過多によるもの、3) かん水の不足によるものであると思われる。しかし、いずれの記述においても具体的なダ

一夕は示されていない。

剥皮部のゆ合不良に關与する要因として、剥皮幅、剥皮の時期、剥皮部位および剥皮方法が考えられる。剥皮幅については、これまで我が国では主幹に2 cm幅で処理されていたが(藤島ら, 2005; 大井上, 1930; 山本ら, 1992), 第4章において結果枝を用いて幅の検討をしたところ、カルスは1週間で約2 mm肥大し、3 ~ 20 mm幅では剥皮幅が狭いほど剥皮部がゆ合するまでの期間が短くなった。このとき剥皮幅は着色向上効果に影響を及ぼさなかった。また、第5章において、剥皮部のビニルテープによる被覆が剥皮部のゆ合に及ぼす影響について検討した結果、剥皮部をビニルテープで被覆することにより直接的で素早いゆ合(ブリッジ)が発生した。

山本ら(1992)は主幹に環状剥皮処理を行う場合、形成層(薄皮状の師部組織のことと思われる)を残し、剥皮部をテープで被覆し、ゆ合を促すこと推奨している。しかし、第5章の結果から、師部組織を残した場合、環状剥皮の効果はなかった。また、福井ら(2000)は‘ピオーネ’の主幹部に2~5 cm幅で環状剥皮処理し、その後剥皮部をテープで被覆すると、8年間連続して環状剥皮を行っても樹勢の低下は認められなかったことを報告している。ここでは師部組織の除去程度についてはふれられていないが、広い幅の環状剥皮により樹が衰弱しないのは、剥皮部を被覆し、ブリッジが発生していることが原因と考えられる。しかし、第5章の実験1のように被覆により発生するブリッジの割合は0~80%と一定しない。これらのことから、被覆によりブリッジの発生を促すことでは、完全にゆ合不良を回避することは困難と考えられる。実際に広島県内の栽培園において、2~5 cm幅で主幹に環状剥皮した事例では、剥皮部を被覆したにもかかわらず、21樹中4樹にゆ合不良が発生し、その内1樹は剥皮部より上部が枯死している。本研究では1) 剥皮幅を5 mmとした場合、剥皮部が素早くゆ合すること、2) 剥皮部の師部組織を確実に除去する必要があるが、このとき、剥皮部をビニルテープで被覆することによりゆ合不良と髓の壊死の発生が抑えられることを明らかにした。

環状剥皮による樹の衰弱と着果過多との関連については、根の伸長の面から議論が行われている。すなわち、着果量は特に成熟期の根の伸長に影響を及ぼし(Edsonら, 1995), 根の伸長が少ないと翌年の新梢生長が抑制され、樹勢が低下する(Yang・Hori, 1980)。満開後30~35日目に行われる着色向上のための環状剥皮では、果粒肥大が促進されることはないので、処理により着果量が増大することはないが、環状剥皮は剥皮部がゆ合するまで根の伸長を停止させることから、着色促進のための環状剥皮においても、発根阻害が樹勢に及ぼす影響を考慮しなければならない。第3章において剥皮時の総根長を調査した結果、根の伸長は環状剥皮直後から抑制されたが、剥皮後2週間目に剥皮部がゆ合した後は、新根発生が再び活発となった。成熟期の総根長は着果量にも強く影響を受け、着果量が少ない場合には環状剥皮により総根長が低下することはなかった。また、着果量が多く、環状剥皮により総根長が減少した区においても、翌年の生育は剥皮しない区と同等であった。このことから2週間程度の剥皮期間により減少した総根長は、翌年の新梢成長に影響を及ぼすほどの量ではなく、

剥皮部のゆ合が正常であれば、その間に抑制される総根長が樹勢の低下に及ぼす影響については、無視できると考えられた。

環状剥皮とかん水の交互作用が樹の衰弱に及ぼす影響について、山根ら (2006a) はポット植えブドウ樹に環状剥皮処理後、断水処理を行い、環状剥皮樹は剥皮しない樹に比べ吸水量が少なく、葉やけや萎れといった症状は剥皮しない樹よりも遅れて発現することを明らかにした。そのとき、環状剥皮樹では気孔コンダクタンスとともに蒸散量が低下していることから、土壌水分の吸収が抑制され、乾燥処理による水ストレスの発現が遅れたと考察している。環状剥皮が気孔コンダクタンスおよび光合成速度を低下させることは古くから知られており (Düring, 1978; Harrell・Williams, 1987; Hofacker, 1978; Roper・Williams, 1989), また Williams ら (2000) は環状剥皮樹は無処理樹に比べ蒸散量が少なく、その結果葉の水ポテンシャルが高いことを報告している。しかし、山根ら (2006a) は剥皮樹における水ストレス反応を茎径および果粒横径の変化量からみた場合、環状剥皮樹は強い水ストレスを受けた後にかん水を行っても、茎および果粒の肥大が回復しないことを明らかにしている。このことは、強い水ストレスは剥皮樹に何らかの不可逆的な負の影響を与えることを示唆している。

以上のことから、着果量を調節した上で、極端な水ストレスを与えずに満開後 30~35 日目に、剥皮幅を 5 mm とし、師部組織を完全に除去し、剥皮部をビニルテープで被覆する方法で環状剥皮を行えば樹勢への影響はほとんどないと考えられた。この方法については既にマニュアル化され、広島県のブドウ農家への指導資料となっている。また、環状剥皮による着色改善技術については広島県内で 2003 年から 2007 年の 5 年間で合計 26 回、のべ 2105 名の農業改良普及員、農業協同組合の指導員、生産者等に対し、講演または実演により技術移転を行っており、2006 年にはこの方法に従い、福山市、三次市、尾道市、広島市、竹原市といった広島県内の主要な生産地で広く環状剥皮が行われた。

4. 現地における実証

環状剥皮の効果が安定しない原因として着果過多の影響が考えられたので、第 3 章において着果負担の軽減と環状剥皮を組み合わせた処理を行った。その結果、両者を組み合わせることで着色が向上し、糖含量も上昇することが明らかになった。現地の栽培指針等では 10 a あたりの着果量については、1.5~2.0 t 程度が適当とされているが、第 6 章の J 園のように、着果過多樹では環状剥皮をしても転流を阻げられる養分自体が少なく、果実糖濃度はあまり上昇せず、着色向上効果も不十分であった。これに対して、H 園では 10 a あたりの着果量を 2.6 t から 1.8 t に減らし、環状剥皮処理することでカラーチャート値は 3 を超えたが、I 園では 1.2 t まで収量を減らしても十分な着色を得ることはできなかった。このように、着果量と剥皮を組み合わせた処理によって着色向上や糖含量の増加をはかることができるが、園によっては十分な効果を期待できない場合もあることが明らかとなった。このような効果の差は園による新梢生育の違いによると考えられ、栄養成長過多になると果実に転流すべき糖が減り、着果量を軽減し、剥皮をしても効果が現れないと思われる。

5. 着色向上技術の経済性について

これまでの議論から、高温地域での着色改善方法として、1) 着果量の軽減と環状剥皮の組み合わせ処理、2) 作型の前進の2つが考えられる。そこで、これらの技術について経済性を検討した。なお、以下に示す数字はすべて10aあたりの費用または労働時間とした。

着果量の軽減と環状剥皮の組み合わせ処理について、第6章のH園では着果量を27%減らして環状剥皮処理をした結果、カラーチャート値の平均値は3を超えた。カラーチャート値が3を超えると広島県瀬戸内沿岸部では秀品となり、2004年および2005年の実績によれば単価はkgあたり1650円である。カラーチャート値2以上3未満は優品でkgあたり1150円、カラーチャート値1以上2未満は並品でkgあたり530円、カラーチャート値1未満は外品でkgあたり341円である。H園において各処理区のカラーチャート値別の果実生産量（カラーチャート値の分布率と収穫量から推定した値）に単価をかけ、10aあたりの粗収入を計算すると、対照区では126万円、着果量を11%減らして環状剥皮処理した区では197万円、着果量を27%減らして環状剥皮処理した区では226万円となった。着果量を27%減らして環状剥皮処理した区では単価の低いカラーチャート値2未満の果実がほとんどなかったため、これ以上着果量を減らした場合、着色が向上しても粗収入は減少に転じることが予測された。環状剥皮は袋掛けの終わった後、余剰労力のある時期に行うことができ、作業時間は1樹あたり3～5分、10aあたり2～4時間である。一方、着果量を1～3割減らすと、摘粒作業が7～21時間、袋掛け作業が2～6時間、収穫・出荷作業が17～51時間軽減される（作業時間は2001年広島県農業経営指標による）。すなわち、着果量を3割減らして環状剥皮を行うことにより、粗収入が100万円増加し、環状剥皮作業を差し引いても年間作業時間が74時間減少する試算となった。

熟期の促進による高温期の回避方法について、加温施設を導入する場合には、着色がカラーチャート値で約2上昇し、単価の高い時期に収穫を迎えることから、粗収入は約200万円となる。しかし、ハウスおよび暖房機に600万円の設備投資、また年間の燃料費として20万円が必要である。一方、既存のブドウ棚を利用した簡易保温施設では、カラーチャート値が約1.5上昇し、出荷時期が盆前に重なることから粗収入は170万円となるが、ビニル資材とその設置に関わる設備費が15万円必要である。ただし、簡易保温施設とした場合には、3月から5月までの日中の高温回避のための換気に伴う労働時間が約25時間必要である。また、発芽期の前進に伴う防霜対策として3月から4月までの間に10日間ほど、早朝に火を焚く必要があり、約30時間の労働時間が必要である。防霜対策は防霜ヒータ35万円を設置することにより代替可能である。このとき燃料費は3万円必要となる。これらのことから、簡易保温施設の合計費用は防霜ヒータを設置した場合でも初期費用50万円、経常経費3万円/年となり、加温ハウスの600万円+20万円よりも安価であった。

以上のことから、着色改善には着果量の軽減と環状剥皮を組み合わせる処理が、設備費および労働時間が少なく粗収入が大きく増加し、最も効果的と考えられた。しかし、特に高温

な地域で着果量の軽減と環状剥皮のみでは着色が不十分な場合には簡易保温施設による作型の前進が有効と考えられた。

6. 着色適地別の栽培戦略

第2章の結果から、着色開始後8~21日の日最低気温が21℃より低いと、着色が良好に進むことが明らかとなった。広島県内で‘安芸クイーン’の成熟期にこのような温度となる着色適地を明らかにするため、7月中旬から8月中旬の各地の日最低気温について解析したところ、東広島市以北の標高300 mを超える県中北部地域では、この1か月間のほとんどの日が最低気温21℃以下となり、着色適地と考えられた。一方、東広島市以南の瀬戸内沿岸部地域では日最低気温が21℃を下回る日がほとんどなく、着色に不利な地域と考えられた。また、第2章の結果より日最低気温が23℃を超えると、着色不良となるが、標高100 m以下の島しょ部を含む海岸線付近の地域は日最低気温が23℃以上となる日が多く出現し、着色困難な地域と考えられた。本研究の結果に基づき、この3つの地域別に‘安芸クイーン’の栽培戦略を以下に示すと、1) 標高300 m以上の中北部地域は着色に有利であるので、‘安芸クイーン’の栽培を積極的に推進する、2) 標高100~300 mの瀬戸内沿岸部地域では着果量の軽減と環状剥皮を組み合わせた技術を導入する、3) 標高100 m未満の島しょ部を含む海岸線の地域では簡易保温施設の導入を基本とし、さらに秀品率を高めるため着果制限と環状剥皮処理を行うこととし、これらの方針に基づけば、県内のほぼすべての地域で‘安芸クイーン’の高収益栽培が可能と考えられる。なお、本研究の結果は2006年の広島県果樹振興計画に反映され、地域別の振興計画のために利用された。

7. 今後の課題

今後の課題として、窒素と着色との関係について検討が必要である。第6章で示したように、新梢生育が旺盛な園においては、着果制限と環状剥皮処理を行っても着色が向上しなかった。山根ら(2006c)は液肥による実験から開花期以降は肥効が持続するほど着色が不良となることを報告している。養分吸収は土壌水分状態に強く依存しており(Keller, 2005)、成熟期になっても窒素の肥効が続くような園は、粘質土壌で、排水不良である場合が多い。このような園では施肥方法だけでは肥効を調節することは困難である。広島県では水田跡地利用によるブドウ栽培が振興されているが、排水対策が不十分であると、良好な着色は期待できない。明渠や暗渠による排水対策や、畦立て栽培、根域制限栽培といった技術を導入していく必要がある、より低コストで効果的な土壌養水分の制御技術の検討が課題である。

また、環状剥皮に関連する課題として環状剥皮樹の光合成速度の向上が挙げられる。環状剥皮は果実品質を向上させる一方で、個葉の光合成速度を低下させることを先に述べた。Williamsら(2000)はこの原因は、水ストレスの付与や葉への同化産物の蓄積によるフィードバック阻害ではなく、ABAが葉へ蓄積することによる気孔コンダクタンスの低下が原因ではないかと考察している。一方、5-アミノレブリン酸(ALA)はクロロフィルやヘムに代表

されるテトラピロール化合物の共通前駆体であり、葉面散布によりハツカダイコン (Hotta ら, 1997) やホウレンソウ (西原ら, 2001) の光合成速度や生育を促進させることが報告されている。ALA の生育促進効果は環境ストレス下で現れやすく、イネの低温ストレス耐性の向上 (Hotta, 1998) や、コムギの耐塩性向上効果 (田中・倉持, 2001) が報告されている。山根ら (2006b) は ALA は環状剥皮により 50%程度に低下した光合成速度を、ほぼ 100%に回復させ、環状剥皮の効果を高めることを報告している。今後は ALA の有効利用技術について検討することにより、環状剥皮の効果をさらに高める可能性があると考えられる。

8. おわりに

高橋 (1987) は 1980 年代当時、‘巨峰’の人気の高い理由の一つとして、着色と品質が関連しているため、消費者の信頼を勝ち得たのではないかと述べている。ブドウは着色による価格差が大きく、着色良好果の価格が高いが、その理由は外観が良いからだけでなく、糖度が高く、食味が優れるからであると思われる。ミカンなどでは光センサーにより糖度を保証しているが、外観から品質が推測できるブドウは光センサーが不要である。本研究で取り上げた‘安芸クイーン’は着色が非常に不安定な品種であるだけに、着色と品質とはより密接に関連している。第 7 章において環状剥皮しない場合には高温は着色だけでなく、糖度も低下させた。近年 ABA を含有する資材が流通するようになり、処理上の問題をいくつか残しているが、果房への散布により、着色を向上させることが可能になっている。しかし、ABA 処理では糖度は上昇せず、外観と食味が一致しないことから、消費者に食味を保証できず、将来的に秀品の価値を低下させることが懸念される。一方、本研究で検討した着果量の軽減と環状剥皮による着色向上は糖度の上昇が伴っており、外観と食味の不一致という問題は起こらない。

岡本・賈 (2006) は、岡山におけるモモの高品質の基準が、食味から立派な外観に移ってきた感があるが、今後求められているのは、食べた人が感動するほどのすばらしい味と香り、肉質を備えたものであると述べている。このことはブドウにおいても同様であり、美味しいブドウこそが求められている。高温条件下で着色良好な‘安芸クイーン’を作る技術は、ブドウの成熟能力を最大限高める技術であり、新梢管理、着果管理から土壌管理までを含めた栽培技術全般を含む。そのため残された課題もあるが、それらの課題を乗り越えて得られた果実は、必ず食べた人に感動をもたらすと信じる。

摘 要

広島県においてブドウは県北部から瀬戸内沿岸部までほぼ県内全域で栽培されている。中でも瀬戸内沿岸部は‘マスカット・ベリーA’、‘デラウェア’を中心とした古くからのブドウの産地であるが、近年、大粒、良食味、赤色の品種である4倍体品種‘安芸クイーン’の導入が進んでいる。しかし、瀬戸内沿岸部では成熟期が高温となり、果皮の着色が不十分な着色不良果が発生する。着色不良果は糖度も低く、価格が大きく低下することから、着色向上、糖度の上昇は‘安芸クイーン’栽培上最も重要な課題である。着色と温度との関係については、これまで昼温や夜温を一定の温度条件に設定した人工気象室を用いた実験により検討されているが、実際の栽培期間中の温度との関係については明らかにされていない。また、環状剥皮は着色と糖度を向上させる技術として古くから知られているが、効果の安定性や樹の衰弱などの解決すべき問題が残されている。そこで、本研究では、温度が着色に及ぼす影響について調べるとともに、高温下における環状剥皮と着果負担の軽減の組み合わせ処理が着色向上、糖度向上に及ぼす影響や最も効果的な剥皮方法について検討した。

1. ブドウの着色に及ぼす温度の影響

ブドウ果皮の着色に及ぼす温度の影響を明らかにするため、着色開始3週間前から収穫期までを2週間ごとに4時期に分けて温度処理(20℃と30℃)を行った。その結果、30℃区ではいずれの処理時期でも着色が抑制された。20℃区では、処理時期によって着色程度が大きく異なり、着色開始後7~21日目の処理でアントシアニン含量が大きく増加した。次に、着色開始後7~21日を含む期間の温度の影響をより詳細に検討するため、着色開始後4~32日目までを1週間ごとに4つの時期に分けて温度処理(昼23℃/夜18℃, 昼33℃/夜28℃)を行った。その結果、着色開始後8~21日目に、昼温23℃, 夜温18℃にした場合に着色が促進された。

さらに、実際栽培における着色と温度との関係を明らかにするため、広島県内の栽培条件の異なる7園について、2001年に気温、‘安芸クイーン’の着色実態および果実品質を調査した。その結果、樹齢や栽培方法が異なったにもかかわらず、着色と糖度および着色開始後8~21日目における20~25℃に遭遇する時間との間に有意な正の相関が認められた。

これらの結果から、施設栽培によって作期を前進させ、着色開始後8~21日目が7月中旬以前となるようにすれば着色や糖度を向上できる可能性があると考えられた。

2. ブドウの着色、果粒糖含量に及ぼす環状剥皮の影響

着果量の異なるブドウ‘安芸クイーン’樹において主幹への環状剥皮処理が果実品質、根の伸長および翌年の新梢生育に及ぼす影響について調査したところ、着果量の軽減と環状剥皮を組み合わせて処理することにより、アントシアニン含量および糖度が大きく上昇した。

また、着色の良好な処理区ほど着色開始が早く、成熟初期に着色が大きく進んだ。果粒重および酸含量は処理の影響を受けなかった。着果の多少にかかわらず、環状剥皮は新根の発生を約2週間停止させた。根の伸長は着果量の影響を強く受け、着果量を減らすと剥皮部がゆ合した後の新根の伸長が旺盛となった。翌年の新梢生育や果実形質に対する環状剥皮や着果量の影響は認められなかった。

以上のことから、着果負担の軽減と主幹への環状剥皮の組み合わせ処理は翌年の樹勢を低下させることなく、アントシアニン含量および糖度を大きく向上させることができるので、高温条件下での高品質ブドウの生産技術として有望な方法と考えられた。

3. 環状剥皮の幅と時期が着色、果粒糖含量に及ぼす影響

環状剥皮による樹の衰弱を避け、かつ効果を発揮するためには、最適な処理時期に、効果が得られる範囲で最小の幅で環状剥皮する必要がある。そこで、環状剥皮処理の時期と果粒数が果皮の着色に及ぼす影響を検討するため、結果枝を用いて、満開後13日目および30日目に1果房あたりの果粒数を13、32および50粒とし、環状剥皮処理をした。環状剥皮の影響は果粒数が少ない場合に強く現れ、いずれの処理時期でも糖およびアントシアニンの蓄積が促進された。満開後13日目処理では果粒肥大も促進された。果粒数を13にした場合、アントシアニンの蓄積量、糖含量に対する剥皮の効果は満開後30日目処理の方が13日目処理よりも大きかった。次に、満開後35、42、49、56および63日目に処理幅3、5、10および20mmで環状剥皮処理を行ったところ、剥皮幅にかかわらず、アントシアニン含量は満開後35および42日目処理で有意に上昇した。一方、糖含量は、剥皮幅、処理時期にかかわらず、環状剥皮処理によって有意に上昇した。環状剥皮処理時期の比較では、35日目処理が42～63日目処理よりも効果が大きかった。剥皮幅の違いによる差は小さかった。

以上のことから、着色向上、糖含量増加に対する環状剥皮の効果は、処理幅よりも処理時期によって大きな影響を受け、満開後30～35日目処理が着色改善効果が大きいこと、3mmや5mm程度の狭い幅の剥皮でも着色改善に効果的であることが明らかとなった。

4. 環状剥皮の処理部位と処理方法が着色、果粒糖含量に及ぼす影響

環状剥皮処理を効果的に行うことを目的に、環状剥皮処理部位、被覆および師部組織の除去程度が剥皮部のゆ合および果実形質に及ぼす影響について調査した。剥皮部をビニルテープで被覆した場合は、カルスの隆起によらない木部露出面からの直接的で素早いゆ合（ブリッジ）が発生した。結果枝において師部組織の一部を残して剥皮した結果、着色向上効果はなく、糖度上昇程度も小さかった。一方、師部組織を完全に除去すると被覆の有無にかかわらず、着色および糖度が上昇した。しかし、師部組織を完全に除去し、剥皮部を露出した場合には、髓の一部が壊死した。地上0.4～1.3mの位置で剥皮幅5mmで環状剥皮を行い、師部組織を完全に除去した後に、剥皮部を被覆すると、広範囲にブリッジが発生したが、剥皮位置にかかわらず着色および糖度が上昇した。

以上のことから、師部組織を完全に除去し、剥皮部をテープで被覆することにより、環状剥皮の効果を安定的に発揮させることが可能になることが分かった。

5. 現地における環状剥皮効果の実証試験

2005年に栽培条件の異なる着色不良園3園において環状剥皮処理および着果量の軽減による着色改善を試みたところ、いずれの園においても着色および糖度が向上した。しかし、着色および糖度向上効果の程度は園によって異なり、新梢生育の旺盛な園では、着色改善効果が不十分で、気温や糖度以外にも着色阻害要因があることが示唆された。

6. 環状剥皮が着色を向上させるメカニズムについて

環状剥皮による着色向上のメカニズムを解明するため、異なる温度条件下における環状剥皮処理が果皮の着色、果皮のABA含量および果皮と果肉の糖組成に及ぼす影響について調査した。その結果、環状剥皮処理を行うと、温度に関係なく、果肉の糖と果皮のABA含量が上昇した。糖度とABA含量は果粒数を軽減し、剥皮した場合に最も高くなった。

以上のことから、環状剥皮による着色向上には、果肉糖含量と果皮のABA含量の増加が関係していることが示唆された。また、着果量を軽減するとこれらの含量がさらに増加し、環状剥皮の効果が高まるものと思われた。

7. 温度とアントシアニン生合成との関係

低温下でアントシアニン蓄積が促進されるメカニズムを明らかにするため、着色開始後7~21日目に低温(20℃)および高温(30℃)に遭遇させ、果皮のABA含量、アントシアニン合成系酵素遺伝子および*VvmybA1*の発現に及ぼす温度の影響を調査した。その結果、果皮のABA含量およびすべてのアントシアニン合成系酵素遺伝子および*VvmybA1*のmRNA含量は20℃区で30℃区よりも高くなった。これらのことから、低温下で果皮中のアントシアニン含量が高まるのは、低温下でABA含量が高まると*VvmybA1*の発現が促進され、転写因子VvMYBA1がアントシアニン合成系酵素遺伝子の発現を促進するためと考えられた。

以上要するに、‘安芸クイーン’では着色開始後8~21日目に高温に遭遇すると着色不良が起こり、同時に糖含量も低下することが明らかとなった。着色を向上させ、糖度を高めるには、作期の前進、あるいは、環状剥皮と着果量の軽減を組み合わせた処理が有効であり、地域に応じて、これらの技術のいずれか、あるいは両方を採用することによって、夏期に高温となる瀬戸内沿岸部においても‘安芸クイーン’の高品質果実の生産が可能であることを明らかにした。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、終始御懇篤なる御指導と御校閲の労を賜った東京大学教授杉山信男博士に対して哀心より深謝の意を表します。

本研究の実施ととりまとめにあたり、多大な御指導と温かい御激励を賜った独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所ブドウ・カキ研究チーム長小林省藏博士，独立行政法人酒類総合研究所主任研究員後藤奈美博士に心から深謝の意を表します。また，絶えず温かい御激励と御指導をいただいた広島県立総合技術研究所農業技術センター次長今井俊治博士に心より感謝の意を表します。

本研究の遂行に当たっては，多くの方々の御指導並びに御助力・御支援をいただきました。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上席研究員朝倉利員氏，同上席研究員薬師寺博博士，同主任研究員児下佳子氏，独立行政法人酒類総合研究所研究生鄭碩泰博士には，深謝の意を表します。

広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部（旧広島県立農業技術センター果樹研究所）元所長小川勝利氏，同農業技術センター次長長谷川繁樹氏，同部長新田浩通氏，同担当部長三善正道氏，同元研究員加藤淳子氏，同元研究員柴山勝利氏，同研究員浜名洋司氏，同行政職員唐田則彦氏，同元行政職員岡信秀樹氏，同元技術員要田宗毅氏には，多大な御援助と御協力をいただきました。心より感謝を申し上げます。

なお，研究実施にあたり圃場を快く提供していただくとともに，惜しめない御支援をいただいた沼隈町果樹園芸組合元組合長須野田弘氏，同農業者永井春男氏，同横井誠司氏，同大原俊郎氏，根城制限研究会会長宮崎孝之氏，三良坂ビオーネ生産組合組合長三上隆己氏，同農業者旗本健二氏，竹原市農業者神田吉也氏に深謝の意を表します。

さらに，本研究の遂行，取りまとめにあたっては，広島県立総合技術研究所農業技術センターの多くの方々から御指導，御協力ならびに御鞭撻をいただきました。心より感謝を申し上げます。

引用文献

- Ban, T., M. Ishimaru, S. Kobayashi, S. Shiozaki, N. Goto-Yamamoto and S. Horiuchi. 2003. Abscisic acid and 2,4-dichloroethoxyacetic acid affect the expression of anthocyanin biosynthetic pathway genes in 'Kyoho' grape berries. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 78: 586-589.
- Boss, P. K., C. Davies and S. P. Robinson. 1996a. Expression of anthocyanin biosynthesis pathway genes in red and white grapes. *Plant Mol. Biol.* 32: 565-569.
- Boss, P. K., C. Davies and S. P. Robinson. 1996b. Anthocyanin composition and anthocyanin pathway gene expression in grapevine sports differing in berry skin colour. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2: 163-170.
- Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen and H. Tabacman. 1984. Effect of crop level on growth, yield and wine quality of a high-yielding Carignane vineyard. *Amer. J. Enol. Viticult.* 35: 247-252.
- Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen and H. Tabacman. 1985. Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition, and quality of Cabernet Sauvignon. *Amer. J. Enol. Viticult.* 36: 125-131.
- Brown, K., D. I. Jackson and G. F. Steans. 1988. Effects of chlormequat, girdling, and tipping on berry set in *Vitis vinifera* L. *Amer. J. Enol. Viticult.* 39: 91-94.
- Buttrose, M. S., C. R. Hale and W. M. Kliewer. 1971. Effect of temperature on the composition of 'Cabernet Sauvignon' berries. *Amer. J. Enol. Viticult.* 22: 71-75.
- Çakir, B., A. Agasse, C. Gaillard, A. Saumonnear, S. Delrot and R. Atanassova. 2003. A grape ASR protein involved in sugar and abscisic acid signaling. *Plant Cell* 15: 2165-2180.
- Carrari, F., A. R. Fernie and N. D. Isuem. 2004. Heard it through the grapevine? ABA and sugar cross-talk: the ASR story. *Trend Plant Sci.* 9: 57-59.
- Carreño, J., S. Faraj and A. Martinez. 1998. Effects of girdling and covering mesh on ripening, colour and fruit characteristics of 'Italia' grapes. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73: 103-106.
- Coombe, B. G. and C. R. Hale. 1973. The hormone content of ripening grape berries and effects of growth substance treatments. *Plant Physiol.* 51: 629-634.
- Dooner, H. K., T. P. Robbins and J. A. Jorgensen. 1991. Genetic and developmental control of anthocyanin biosynthesis. *Annu. Rev. Genet.* 25: 173-199.
- Düring, H. 1978. Studies on the environmentally controlled stomatal transpiration in grape vines. II. Effects of girdling and temperatures. *Vitis* 17: 1-9.
- Edson, C. E., G. S. Howell and J. A. Flore. 1995. Influence of crop load on photosynthesis and dry matter partitioning of Seyval grapevines. III. Seasonal changes in dry matter partitioning, vine morphology, yield, and fruit composition. *Amer. J. Enol. Viticult.* 46: 478-485.

- El-Ansary, D. O., S. Nakayama, K. Hirano and G. Okamoto. 2005. Response of Muscat of Alexandria table grapes to post veraison regulated deficit irrigation in Japan. *Vitis* 44: 5-9.
- El-Ansary, D. O and G. Okamoto. 2007. Vine water relations and quality of 'Muscat of Alexandria' table grapes subjected to partial root-zone drying and regulated deficit irrigation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 76: 13-19.
- 堀内昭作編著. 1996. 日本ブドウ学. 養賢堂. pp. 561.
- 藤島宏之・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.
- 藤原孝之. 2005. 果実類の食味評価を目的とした糖および酸の簡易分析法に関する研究. 三重科学技術振興センター農学研究部特報. 11: 7-18.
- 福井謙一郎・浜田憲一・荒木 齊. 2000. 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. *園学雑.* 69 (別1) : 486.
- 福井謙一郎・濱田憲一・荒木 齊. 2004. 着色期の土壤乾燥処理がブドウ 'ピオーネ' の樹体の生育および果実品質に及ぼす影響. *近畿中国四国農研.* 4: 37-40.
- Gazzarrini, S., and P. McCourt. 2001. Genetic interactions between ABA, ethylene and sugar signaling pathways. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 4: 387-391.
- Harrell, D. C. and L. E. Williams. 1987. Net CO₂ assimilation rate of grapevine leaves in response to trunk girdling and gibberellic acid application. *Plant Physiol.* 83: 457-459.
- 平野 健・村上正明・岡本五郎. 1994. 結果枝上の葉面積がブドウ 'ピオーネ' の無核果の成熟に及ぼす影響. *ASEV Jpn. Rep.* 5: 27-34.
- 平瀬早苗・小池 明・赤井昭雄・板東成治・田村 収. 1999. 果房部分への冷却がブドウ '赤嶺', 'ルビー・オクヤマ' の着色に及ぼす影響. *徳島果試研報.* 27: 31-39.
- Hiratsuka, S., H. Onodera, Y. Kawai, T. Kubo, H. Itoh and R. Wada. 2001. ABA and sugar effects on anthocyanin formation in grape berry cultured in vitro. *Sci. Hort.* 90: 121-130.
- 広保 正. 1963. ブドウ樹の栄養生理学的研究 (第5報). 窒素, リン酸, 加里, 石灰の供給時期および期間がブドウ樹の生長, 収量, 品質におよぼす影響について. *園学雑.* 32: 20-26.
- Hofacker, W. 1978. Investigation on the photosynthesis of vines. Influence of defoliation, girdling and removal of grapes. *Vitis* 17: 10-22.
- Hotta, Y., H. Tanaka, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1997. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops. *Plant Growth Regul.* 22: 109-114.
- Hotta, Y., T. Tanaka, L. Bingshan, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1998. Improvement of cold resistance in rice seedlings by 5-aminolevulinic acid. *J. Pesticide Sci.* 23: 29-33.
- Howell, G. S., T. K. Mansfield and J. A. Wolpert. 1987. Influence of training system, pruning severity, and thinning on yield, vine size, and fruit quality of Vidal blanc grapevines. *Amer. J. Enol. Viticult.* 38: 105-112.

- Howell, G. S. 2001. Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: A review. *Amer. J. Enol. Viticult.* 52: 165-174.
- Hummell, A. K. and C. F. David. 1998. Interaction of crop level and fruit cluster exposure on 'Seyval Blanc' fruit composition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 755-761.
- 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1991a. ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化 (第 3 報). 土壌の乾燥と茎径ならびに果粒肥大の日変化特性. *生環調.* 29: 19-26.
- 今井俊治・藤原多見夫・田中茂穂・岡本五郎. 1991b. 根域制限栽培のブドウ '巨峰' の樹体生育と果実発育に及ぼす土壌水分の影響. *生環調.* 29: 133-140.
- Inaba, A., M. Ishida and Y. Sobajima. 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.
- 稲部善博. 1986. ブドウ果実の着色に及ぼす紫外線の影響. *砂丘研究.* 33: 16-22.
- Iusem, N. D., D. M. Bartholomew, W. D. Hitz and P. A. Scolnik. 1993. Tomato (*Lycopersicon esculentum*) transcript induced by water deficit and ripening. *Plant Physiol.* 102: 1353-1354.
- Jensen, F., H. Andris and R. Beede. 1981. A comparison of normal girdles and knife-line girdles on Thompson Seedless and Cardinal grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 32: 206-207.
- Jensen, F., D. Luvisi, F. Swanson, G. Leavitt, F. G. Mitchell and G. Mayer. 1976. Effects of complete and incomplete girdles on 'Thompson Seedless' and 'Ribier' table grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 27: 65-67.
- Jensen, F., F. Swanson, W. Peacock and G. Leavitt. 1975. The effect of width of cane and trunk girdles on berry weight and soluble solids in table 'Thompson Seedless' vineyards. *Amer. J. Enol. Viticult.* 26: 90-91.
- Jeong, S. T., N. Goto-Yamamoto, S. Kobayashi and M. Esaka. 2004. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. *Plant Sci.* 167: 247-252.
- Kataoka, I., Y. Kubo, A. Sugiura and T. Tomana. 1983. Changes in L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis during berry ripening of three grape cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 52: 273-279.
- Kataoka, I., Y. Kubo, A. Sugiura and T. Tomana. 1984. Effects of temperature, cluster shading and some growth regulators on L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin accumulation in black grapes. *Mem. Coll. Agric. Kyoto Univ.* 124: 35-44.
- Kataoka, I., A. Sugiyama and K. Beppu. 2003. Role of ultraviolet radiation in accumulation of anthocyanin in berries of 'Gros Colman' grapes (*Vitis vinifera* L.). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72: 1-6.
- Kataoka, I., A. Sugiura, N. Utsunomiya and T. Tomana. 1982. Effect of abscisic acid and defoliation

- on anthocyanin accumulation in Kyoho grapes (*Vitis vinifera* L. x *V. labruscana* BAILEY). *Vitis* 21: 325-332.
- 川上善兵衛. 1933. 葡萄全書 上巻. 西ヶ原刊行会. pp. 507-532.
- Keller, M. 2005. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. *Amer. J. Enol. Viticult.* 56: 267-283.
- Kliewer, W. M. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 693-697.
- Kliewer, W. M. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 28: 96-103.
- Kliewer, W. M. and L. A. Lider. 1970. Effect of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 766-769.
- Kliewer, W. M. and R. E. Torres. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Amer. J. Enol. Viticult.* 23: 71-77.
- Kliewer, W. M. and R. Weaver. 1971. Effect on crop level and leaf area on growth, composition and coloration of Tokay grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 22: 172-177.
- 小林 章. 1954. 果樹園芸総説. 養賢堂. pp. 194.
- Kobayashi, S., N. Goto-Yamamoto and H. Hirochika. 2004. Retrotransposon-induced mutations in grape skin color. *Science* 304: 982.
- Kobayashi, S., M. Ishimaru, C.K. Ding, H. Yakushiji and N. Goto-Yamamoto. 2001. Comparison of UDP-glucose: flavonoid 3- O -glucosyltransferase (UFGT) gene sequences between white grapes (*Vitis vinifera*) and their sports with red skin. *Plant Sci.* 160: 543-550.
- Kobayashi, S., M. Ishimaru, K. Hiraoka and C. Honda. 2002. *Myb*-related genes of the Kyoho grape (*Vitis labruscana*) regulate anthocyanin biosynthesis. *Planta* 215: 924-933.
- Kondou, H., H. Itou, H. Ishikawa, Y. Motonaga, A. Hashimoto and T. Kameoka. 1998. Color chart for fruits of grape 'Aki Queen' by digital image processing. *Agricultural Information Technology in Asia and Oceania 1998.* 197-202.
- Koshita, Y., T. Takahara, T. Ogata and A. Goto. 1999. Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Sci. Hort.* 79: 185-194.
- コズマパール. 1970. ブドウ栽培の基礎理論. 誠文堂新光社. pp. 143-149.
- 久保昭登・菅脩二郎・加藤俊彦・高橋 修・小島和子. 2004. 竹原葡萄の先覚者 神田善太郎 伝. 発行者 神田雄史・神田伸吾. pp. 13.
- 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光照射の影響. *岡山大農学報.* 91: 55-60.
- Loulakakis, K. A., K. A. Roubelakis-Angelakis and A. K. Kanellis. 1996. Isolation of functional RNA from grapevine tissues poor in nucleic acid content. *Amer. J. Enol. Viticult.* 47: 181-185.
- Loveys, B. R. and P. E. Kluedemann. 1973. Rapid changes in abscisic acid-like inhibitors following

- alterations in vine leaf water potential. *Physiol. Plant.* 28: 476-479.
- 松井弘之・湯田英二・中川昌一. 1979. ブドウ‘デラウェア’果実の成熟生理に関する研究. 果粒中の糖蓄積に及ぼす新梢上の葉数および果粒中の多糖類, 有機酸の変化. *園学雑.* 48: 9-18.
- 松島二良・平塚 伸・谷口典生・輪田竜治・須崎徳高. 1989. ABA 処理したブドウ‘オリンピック’の果皮中におけるアントシアニンおよび糖の変動. *園学雑.* 58: 551-555.
- 森健太郎・後藤 (山本) 奈美・北山雅彦・橋爪克己. 2006. *Vitis vinifera* ブドウ果粒のアントシアニン代謝に及ぼす温度の影響. 日本ブドウワイン学会 2006 年大会発表要旨 127-128.
- Mori, K., H. Saito, N. Goto-Yamamoto, M. Kitayama, S. Kobayashi, S. Sugaya, H. Gemma and K. Hashizume. 2005. Effects of abscisic acid treatment and night temperatures on anthocyanin composition in Pinot noir grapes. *Vitis* 44: 161-165.
- Mori, K., S. Sugaya and H. Gemma. 2004. Regulatory mechanism of anthocyanin biosynthesis in ‘Kyoho’ grape berries grown under different temperature conditions. *Environ. Control Biol.* 42: 21-30.
- Morris, J. R., G. L. Main and O. L. Oswald. 2004. Flower cluster and shoot thinning for crop control in French-American hybrid grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 55: 423-426.
- 内藤隆次. 1964. ブドウ果実の着色に関する研究 (第 5 報). 黒色種および赤色種の果色ならびに色素含量に及ぼす光度の影響. *園学雑.* 33: 213-220.
- 内藤隆次・植田尚文. 1964. ブドウ果実の着色に関する研究 (IV). 夏期の昼間の高温がデラウェア種果実の着色及び成熟に及ぼす影響. *島根農科大学研報.* 13: 10-14.
- 内藤隆次・許 唱範・角 利昭. 1965. ブドウ果実の着色に関する研究 (第 6 報). マスカット・ベリー A 種の果色ならびに色素含量に及ぼすしゃ光の影響. *園学雑.* 34: 145-151.
- 中川昌一. 1960. 葡萄. 朝倉書店. pp. 154-156.
- Nakagawa, S. and Y. Nanjo. 1965. A morphological study of Delaware grape berries. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 34: 85-95.
- 日本園芸農業組合連合会. 2005. 果樹統計. 日園連.
- 西原英治・高橋国昭・中田 昇・田中 浄・渡辺圭太郎. 2001. 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理がハウレンソウの光合成速度, 過酸化水素の生成, 抗酸化物質および活性酸素消去酵素に及ぼす影響. *園学雑.* 70: 346-352.
- 農山漁村文化協会. 2006. 農業技術体系 果樹編 2 ブドウ. 加除式. 農文協. (第 1 刷, 1981)
- 大井上 康. 1930. 葡萄之研究. 養賢堂. pp. 550-557.
- 岡本五郎・野田雅章・今井俊治・藤原多見夫. 1991. 根域制限した‘巨峰’ブドウの生育と果実の発育に及ぼす液肥濃度の影響. *岡山大農学報.* 78: 27-33.
- 岡本五郎・賈 惠娟. 2006. 岡山のモモ, 日本のモモ. 全国農業協同組合岡山県本部. pp. 212.
- Okamoto, G., T. Kuwamura and K. Hirano. 2004. Effects of water deficit stress on leaf and berry ABA and berry ripening in Chardonnay grapevines (*Vitis vinifera*). *Vitis* 43: 15-17.

- 小野俊郎・平松竜一・久保田尚浩・依田征四・高木伸友・島村和夫. 1993. 果実着色の異なるブドウ‘ピオーネ’の新梢生長および果実発育の様相. 園学雑. 61: 779-787.
- 小野俊郎・久保田尚浩・中山勝義・依田征四・高木伸友. 2000a. 同一園内において果実着色の異なるブドウ‘ピオーネ’樹における葉の生理機能と根の生長および生理活性. 園学雑. 69: 290-297.
- 小野俊郎・藤原康弘・依田征四・高木伸友・久保田尚浩. 2000b. 果実着色の異なるブドウ‘ピオーネ’樹における新梢内での¹³C光合成産物の転流と分配. 園学雑. 69: 629-634.
- Peacock, W., F. Jensen, J. Else and G. Leavitt. 1977. The effects of girdling and ethephon treatments on fruit characteristics of Red Malaga. Amer. J. Enol. Viticult. 28: 228-230.
- Pirie, A. and M. G. Mullins. 1976. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate, and abscisic acid. Plant Physiol. 58: 468-472.
- Pirie, A. and M. G. Mullins. 1977. Interrelationships of sugars, anthocyanins, total phenols and dry weight in the skin of grape berries during ripening. Amer. J. Enol. Viticult. 28: 204-209.
- Quinlan, J. D. and R. J. Weaver. 1970. Modification of pattern of the photosynthate movement within and between shoots of *Vitis vinifera* L. Plant Physiol. 46: 527-530.
- Reynolds, A.G. 1989. ‘Riesling’ grapes respond to cluster thinning and shoot density manipulation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 364-368.
- Reynolds, A. G., R. M. Pool and L. R. Mattick. 1986. Effect of shoot density and crop control on growth, yield, fruit composition and wine quality of ‘Seyval blanc’ grapevines. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111: 55-63.
- Rolland, F., B. Moore and J. Sheen. 2002. Sugar sensing and signaling in plants. Plant Cell (Suppl.) 14: S185-S205.
- Rook, F., F. Corke, R. Card, G. Munz, C. Smith and M. W. Bevan. 2001. Impaired sucrose-induction mutants reveal the modulation of sugar-induced starch biosynthetic gene expression by abscisic acid signaling. Plant J. 26: 421-433.
- Roper, T. and L. Williams. 1989. Net CO₂ assimilation and carbohydrate partitioning of grapevine leaves in response to trunk girdling and gibberellic acid application. Plant Physiol. 89: 1136-1140.
- Sidlowski, J. J., W. S. Phillips and J. R. Kuykendall. 1971. Phloem regeneration across girdles of grape vines. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 97-102.
- Smeekens, S. 2000. Sugar-induced signal transduction in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51: 49-81.
- Solfanelli, C., A. Poggi, E. Loreti, A. Alpi and P. Perata. 2006. Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 140: 637-646.
- Sparvoli, F., C. Martin, A. Scienza, G. Gavazzi and C. Tonelli. 1994. Cloning and molecular analysis of structural genes involved in flavonoid and stilbene biosynthesis in grape (*Vitis vinifera* L.). Plant Mol. Biol. 24: 743-755.

- 杉山泰之・大城 晃. 2001. ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比色法によるデンプン簡易測定法. 土肥誌. 72: 81-84.
- Swanson, C. A. and E. D. H. El-Shinshiny. 1958. Translocation of sugars in the Concord grape. *Plant Physiol.* 33: 33-37.
- 平 智. 1990. アブジシン酸の果実発育における生理作用とその利用研究. 植物の化学調節. 25: 173-182.
- 平 智・軽部 剛・田代重哉・高橋清重・高瀬絃一・渡部俊三. 1990. アブジシン酸 (ABA) 処理によるブドウ 'オリンピア' 果実の着色促進. 農および園. 65: 967-970.
- 高橋国昭. 1985. ブドウ 'デラウェア' の最適葉面積指数について. 園学雑. 54: 293-300.
- 高橋国昭. 1987. ブドウ栽培の新しい理論と実際 [3]. 農および園. 62: 446-452.
- 田中 徹・倉持仁志. 2001. 5-アミノレブリン酸の耐塩性付与効果. 植物の生長調節. 36: 190-197.
- Teng, S., J. Keurentjes, L. Bentsink, M. Koornneef and S. Smeeckens. 2005. Sucrose-specific induction of anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis* requires the MYB75/PAP1 gene. *Plant Physiol.* 139: 1840-1852.
- 苔名 孝・宇都宮直樹・片岡郁雄. 1979a. 樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響. ブドウ 'デラウェア' 果実の成熟に及ぼす樹体および果実の温度環境の影響. 園芸学研究集録. 9: 1-5.
- 苔名 孝・宇都宮直樹・片岡郁雄. 1979b. 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' の果実の着色に及ぼす樹体及び果実の環境温度の影響. 園学雑. 48: 261-266.
- 恒屋棟介. 1971. 巨峰ブドウ栽培の新技术. 博友社. pp.258-260.
- 土屋長男. 1980. 葡萄栽培新説. 社団法人山梨県果樹園芸会. pp.266-268.
- Vance, C. P., T. K. Kirk and R. T. Sherwood. 1980. Lignification as a mechanism of disease resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 18: 259-288.
- Weaver, R. J. 1963. Effect of leaf to fruit ratio on fruit quality and shoot development in 'Carignane' and 'Zinfandel' wine grapes. *Amer. J. Enol. Viticult.* 14: 1-12.
- Weaver, R. J. and S. B. McCune. 1959. Girdling: Its relation to carbohydrate nutrition and development of Thompson Seedless, Red Malaga and Ribier grapes. *Hilgardia* 28: 421-456.
- Weaver, R. J. and R. M. Pool. 1969. Effect of various levels of cropping on *Vitis vinifera* grapevines. *Amer. J. Enol. Viticult.* 20: 185-193.
- Williams, L. E., W. A. Retzlaff, W. Yang, P. J. Biscay and N. Ebisuda. 2000. Effects of girdling on leaf gas exchange, water status, and non-structural carbohydrates of field-grown *Vitis vinifera* L. (cv. Flame Seedless). *Amer. J. Enol. Viticult.* 51: 49-54.
- Winkler, A. J. 1962. General viticulture. p.292-301. Univ. California Press, Berkeley and Los Angeles.
- Wolpert, J. A., G. S. Howell and T. K. Mansfield. 1983. Sampling Vidal blanc grapes. I. Effect of

trainig system, pruning severity, shoot exposure, shoot origin, and cluster thinning on cluster weight and fruit quality. *Amer. J. Enol. Viticult.* 34: 72-76.

山本孝司・高橋国昭・高田 光. 1992. 環状はく皮によるブドウの品質向上技術. 近畿中国農研. 83: 38-42.

山根弘康・栗原昭夫・山田昌彦・永田賢嗣・吉永勝一・松本亮司・岸 光夫・小澤俊治・角利明・平林利郎・角谷真奈美・佐藤明彦. 1992. ブドウ新品種‘安芸クイーン’. 果樹試報. 22: 1-11.

山根崇嘉・中野幹夫. 1999. ユスラウメ系統台木におけるモモ芽接ぎ初期の接ぎ木部の組織化学的観察. 園学雑. 68 (別2) : 206.

山根崇嘉・柴山勝利・浜名洋司・薬師寺博. 2006a. 環状はく皮したブドウ樹の水ストレスに対する反応. 園学雑. 75 (別2) : 116.

山根崇嘉・鈴木貴也・岩井一弥・柴山勝利・薬師寺博. 2006b. 5-アミノレブリン酸が環状剥皮したブドウ結果枝の光合成速度に及ぼす影響. 園学雑. 75 (別1) : 82.

山根崇嘉・柴山勝利・浜名洋司. 2006c. 液肥の施用期間および環状はく皮処理がブドウ‘安芸クイーン’の果実品質に及ぼす影響. 日本ブドウワイン学会 2006 年大会発表要旨. 123-124.

Yang, Y. S. and Y. Hori. 1980. Studies on the retranslocation of accumulated assimilates in ‘Delaware’ grapevines. III. Early growth of new shoots as dependent on accumulated and current year reserves. *Tohoku J. Agric. Res.* 31: 120-129.

Improvement of the Fruit Quality of 'Aki Queen' Grapevines in the Coastal Areas of the Seto Inland Sea

Takayoshi YAMANE

Summary

Temperature is one of the most important factors affecting the accumulation of anthocyanins in berry skins. In grapes grown in the coastal areas of the Seto Inland Sea in Hiroshima, where the temperature is high during the ripening season, the skin color is poorer than that in grapes grown in cool regions of Hiroshima. The coloration of red grapes, such as 'Aki Queen' (*Vitis labrusca* L. x *V. vinifera* L.), is severely inhibited in the coastal areas of the Seto Inland Sea, which results in lower market prices. In this study, our objective was to clarify the effects of temperature on skin coloration and to establish a girdling technique for enhancing skin coloration under high-temperature conditions.

1. Effects of temperature on the skin coloration

To clarify the effects of changes in the sensitivity to temperature on skin coloration during ripening, temperature treatments were conducted in two glass growth cabinets under two conditions. In Exp. 1, 2 weeks temperature treatments were carried out at 4 developmental stages (from 3 weeks after veraison to harvest) at temperatures of 20°C and 30°C. Anthocyanin accumulation in the skins was significantly higher at 20°C than at 30°C after the temperature treatment, and the most sensitive stage for the temperature treatment was from one to three weeks after coloring began. In Exp. 2, 1 week temperature treatment was carried out at 4 developmental stages (from 4 to 32 days after the onset of coloring) at two temperature conditions; low temperature (23 °C daytime, 7:00-19:00 / 18 °C nighttime, 19:00-7:00) and high temperature (33 °C daytime / 28 °C nighttime). Low temperature treatment enhanced skin color from 8 to 21 days after the onset of coloring. These results indicate that the period between 8 and 21 days after was critical for coloration.

2. Skin coloration in several practical vineyards in Hiroshima

To clarify the relationship between skin coloration and temperature, fruit characteristics of 'Aki Queen' grapes in 7 vineyards of various culturing methods in Hiroshima were investigated. Despite differences in culturing methods and vine age, there were positive relationships among total soluble solids (TSS), the duration of plant exposure to temperatures between 20 and 25°C from 8 to 21 days after the onset of coloring and the coloration. These results suggest that both the temperature and TSS are important factors in determining skin coloration. Moreover, accelerating ripening period until June is considered to be an effective means to avoid high-temperature period.

3. The relation between skin coloration and sugar content

The effects of trunk girdling and crop load levels on skin color, juice composition, and root elongation, the subsequent season's shoot growth were investigated. The treatment of a low crop load with girdling significantly elevated the anthocyanin concentration in berry skin compared to that of a high crop load without girdling. The total soluble solid content of berries was significantly greater in a low crop load with girdling than in other treatments. Root elongation stopped for two weeks as a result of the girdling treatment, regardless of the crop load level. Root elongation after girdle healing was vigorous when the crop load was low. There were no differences in shoot growth and fruit quality and yield in the subsequent season. From these results, a combined treatment of cluster thinning and girdling is concluded to be effective to enhance skin coloration and TSS under high-temperature conditions.

4. Effects of treatment date and width of girdling on the skin coloration

The effects of the treatment date and width of girdling on skin coloration were investigated. In Exp. 1, girdling treatment on bearing shoots was conducted 13 days after full bloom (DAFB) and 30 DAFB, and the berry number of the clusters was thinned to 13, 32, or 50 berries on each treatment date. In clusters of 13 berries, girdling on 13 DAFB increased berry weight, total soluble solids (TSS), and anthocyanin content; and girdling on 30 DAFB also increased TSS and anthocyanin content. Anthocyanin content of 30 DAFB treatment was even more than that of 13 DAFB treatment. In Exp. 2, girdling treatment was conducted on 5 dates (35, 42, 49, 56, and 63 DAFB) and 4 widths (3, 5, 10, and 20 mm). Girdling treatments on 35 DAFB increased TSS and anthocyanin content more than later girdling treatments, regardless of the width of the girdle. The width of the girdle had little effect on TSS or anthocyanin content.

From these results, it is clarified that the suitable timing of girdling is during from 30 to 35 days after full bloom. Moreover, a narrow width of girdle such as 3 or 5 mm is sufficient to improve berry skin coloration.

5. Treatment methods of girdling

The effects of taping, branch age, position, and the extent of phloem removal of the girdle on healing of the girdle and fruit characteristics were investigated. Retaining a part of the phloem tissue, which was the thin innermost-layer tissue of phloem, did not increase anthocyanin concentration of skins or diminish the increase in total soluble solids (TSS) of berries. In contrast, complete removal of phloem tissue increased the anthocyanin concentration and TSS, whether the girdle was taped or exposed. When the girdle was exposed, necrosis appeared in part of the pith. Callus developed faster in old branches than in young branches. However, when the girdles were covered with vinyl-tape, branch age did not affect the rate of callus development. Furthermore, girdled areas healed directly and rapidly even though phloem tissue was completely removed. Trunk girdling height of 0.4, 0.7, 1.0, 1.3 m above the ground did not affect the fruit characteristics. From these results, complete removal of phloem tissue and covering of the girdled areas with tape is necessary to increase anthocyanin concentration and TSS without causing necrosis in pith.

6. Effects of girdling in practical vineyards

Girdling and cluster thinning increased the coloration and TSS in 3 vineyards where temperatures from 8 to 21 days after the onset of coloring were high. However, the effects of girdling and cluster thinning were low when shoot growth was vigorous. These findings indicate that factors other than the temperature and TSS, such as soil nutrition, are involved in the coloration of berry skins.

7. Mechanisms for enhancing skin coloration by girdling

To clarify the mechanisms for enhancing skin coloration by girdling, the effects of girdling on skin ABA concentration and sugar concentration of skin and flesh under different temperature conditions were investigated. Girdling increased both the flesh sugar concentration and skin ABA concentration regardless of the temperature conditions. The TSS and skin ABA concentration were the highest in the combined treatment of berry thinning and girdling. From these results, it was concluded that the flesh sugar concentration and skin ABA concentration are involved in enhancing skin coloration by girdling.

8. Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis

The mRNA levels of *VvmybA1* and anthocyanin biosynthetic pathway genes and ABA concentration in the berry skins were measured to determine the mechanisms that underlie the effect of temperature on anthocyanin accumulation. Skin ABA concentration was higher at 20°C than at 30°C, and the copy numbers of accumulated mRNA of anthocyanin biosynthetic enzyme genes and a *myb*-related regulate gene, *VvmybA1*, were also higher at 20°C than at 30°C. These results indicate that the high and low temperatures during ripening probably affect the production and/or degradation of ABA in the skins, and the endogenous ABA level affects the expression of *VvmybA1*; then the product of *VvmybA1* controls the expression of the anthocyanin biosynthetic enzyme genes.

To summarize, high temperature from 8 to 21 days after the onset of coloring induces poor skin coloration in 'Aki Queen' and decreases TSS. A combined treatment of girdling and cluster thinning and/or forcing culture can improve skin coloration and TSS in the coastal areas of the Seto Inland Sea in Hiroshima. Furthermore, in this study, the use of a girdling technique to prevent vine weakening was also demonstrated.

Key words: ABA, 'Aki Queen', anthocyanin, coloration, crop load, girdling, grape, Myb, root, sugar, temperature