HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	赤色系大粒ブドウ‘ルビーロマン’（Vitis labrusca × vinifera）の着色不良果発生原因の解明と着色促進技術の開発に関する研究［全文の要約］
Author(s)	松田, 賢一
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第14808号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87015
Type	doctoral thesis
File Information	Matsuda_Kenichi_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

博 士 論 文 の 要 約

博士の専攻分野の名称： 博　士（農学）　　氏名　　松　田　賢　一

学　位　論　文　題　名

赤色系大粒ブドウ‘ルビーロマン’(*Vitis labrusca* × *vinifera*) の着色不良果
発生原因の解明と着色促進技術の開発に関する研究

世界のブドウ生産量は 7,918.6 万 t（2018 年）で，うち加工用（主にワイン用）が 7 割，生食用が 3 割を占めている（公益財団法人中央果実協会，2020）．日本のブドウ生産量は 17.5 万 t（2018 年）で，うち生食用が 9 割，加工用（主にワイン用）が 1 割を占めており，世界とはその割合が逆転している．日本の生食用ブドウの栽培面積は 13,268.9ha（2018 年）で，果粒の大きさ別には‘巨峰’等の大粒種が 66.7%，‘キャンベルアーリー’等の中粒種が 17.3%，‘デラウエア’等の小粒種が 16.0%の割合であり，大粒種の栽培が多い（農林水産省，2021）．さらに，大粒種（66.7%）を果皮色別にみると，紫黒色系品種が 49.8%，赤色系品種が 3.0%，黄緑色系品種が 13.9%で構成されており，紫黒色系品種の栽培が多く，赤色系品種の栽培が極めて少ない．

ブドウは通常二倍体であるが，突然変異による四倍体が発見され，四倍体枝変わり品種の交雑により‘巨峰’が日本で育成された（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構，2021）．四倍体は大粒になるため日本では盛んに育種が行われ，‘ピオーネ’，‘藤稔’等の生食用品種が多数育成されている．これらの品種は，現在，日本のブドウ生産の主流となっており，‘巨峰’群と呼ばれる品種群を形成するに至っている．日本の生食用ブドウの品質は，大粒で糖度が高いことなどから，海外でも高く評価されており，輸出量は 2014 年からの 4 年間で 3 倍近くに増え，2018 年には 1,492 t に達している（農林水産省，2020）．輸出先の大半を占めているのが，香港，台湾，シンガポールなどのアジア諸国であり，今後も輸出の拡大が期待されている．これらの地域では果物を贈答品に用いる風習があり，特に果皮が赤色の果物は縁起が良いとされ人気が高い．

ブドウ‘ルビーロマン’は，石川県が 1995 年に‘藤稔’の自然交雑種子から育成した四倍体の

欧米交雑種（*Vitis labruscana* × *vinifera*）で，果粒重が‘巨峰’の約 2 倍と大きく，鮮赤色の果皮を特徴とする（嶋ら，2006）．石川県のブランド品種であり，多くが生食用高級ブドウとして高値で取引されているが，時に着色不良果を多発し生産が不安定となる点が大きな問題である．そこで，本研究では，着色不良を引き起こす環境要因を明らかにするとともに，着色を安定化させるための栽培技術開発を目指した．第 1 章では，栽培（生産者）圃場で着色不良果が多発している原因を推測した．第 2 章では，果皮着色を客観的な指標で捉えるための方法を確立した．第 3 章では，第 1 章で推測した原因について，圃場試験等で外部環境等が果皮着色に及ぼす影響を解析した．第 4 章では，第 3 章の結果を受けて，着色に及ぼす温度の影響に着目し，温度以外の要因を最小限とするために *in vitro* の果粒培養実験で各成熟時期の温度反応性を検証した．第 5 章では，第 3 章および第 4 章の結果を受けて，スポットクーラーを用いた冷却処理が果皮着色に及ぼす影響を解析した．第 6 章では，第 1 章から第 5 章で得られた結果について，総合的な考察を加えた．

本論文の主要な結果は，以下のとおりに要約される．

1. 専用カラーチャート（10 段階）とアントシアニン含量との関連

ベレゾーンから完熟までの果皮色を段階的に捉えた‘ルビーロマン’専用カラーチャート（CC1～10）を作製し，各指数値に該当する果皮のアントシアニン含量を，HPLC を用いて分別定量し比較した．成熟果（CC9）から 17 種類のアントシアニンを検出し，‘ルビーロマン’特有のアントシアニン組成が明らかになった．また，カラーチャートの指数値とアントシアニン総含量に強い正の相関関係（$P<0.005$，$R^2=0.937$）が認められ，専用カラーチャートを用いて果皮着色（アントシアニン集積）の正確なモニタリングが可能であることを示した．

2. ポット栽培における外気温が果皮色に及ぼす影響

着色期の気温が果皮色に及ぼす影響を調べるため，‘ルビーロマン’ポット栽培樹（5 年生）を用いて，全日光環境制御型温室で 9 日間の低温処理（昼 28°C／夜 20°C）を行った．処理は，4 つの生育ステージ，すなわち 54 日区（満開後 54～63 日），63 日区（63～72 日），72 日区（72～81 日）および 81 日区（81～90 日（収穫日））に分けて実施し，低温処理以外の期間は高温（昼 35°C／夜 27°C）条件下で管理した．この場合，全期間を低温または高温とした区（各々低温区および高温区）を設け比較したところ，果粒の着色は低温区が最も濃く，54 日区と高温区が最も薄かった．低温処理期間別では，満開後 63 日目（着色開始後 22 日目）と 72 日目（着色開始後 31 日目）

からの低温処理は着色向上効果が顕著であり，満開後 63〜80 日の果粒で低温感受性が高いことがわかった．満開後 81 日から 90 日（収穫）までの間でも低温処理による着色促進効果が認められた．この試験結果は‘安芸クイーン’の低温感受性の高い時期が着色開始後 8〜21 日であること（Yamane・Shibayama，2006）と異なっている．宇土ら（2010）は，紫黒色系四倍体品種のアントシアニン集積の品種間差を調査し，‘巨峰’に比べ，‘藤稔’では収穫始期以降も多く集積することを報告している．‘ルビーロマン’は‘藤稔’の自殖後代，‘安芸クイーン’は‘巨峰’の自殖後代であり，それぞれの遺伝的特性を受け継ぎ‘ルビーロマン’と‘安芸クイーン’の着色に対する温度への反応が異なり，前者は果実の生育後期で低温に対する感受性が高く，収穫直前でも低温処理が着色に有効である可能性が示唆された．

3. 培養果粒における温度処理が果皮着色に及ぼす影響

成熟期の‘ルビーロマン’の果粒を培養し，ベレゾーン後の時期別の温度処理が果皮の着色に及ぼす影響を検討した．試験は，7 月 10 日（満開 50 日後），7 月 20 日（満開 60 日後），7 月 30 日（満開 70 日後），8 月 9 日（満開 80 日後）に無作為に採取した果粒（各時期の平均果粒重は，各々19.6 g，26.2 g，28.0 g，28.2 g）を用い，簡易果粒培養法（薬師寺ら，2012）に従い行った．すなわち，微生物培養用プレート（24 穴，直径：15.3 mm，深さ：16.6 mm，サーモフィッシャーサイエンティフィック（株)）の穴に蒸留水で湿らせた脱脂綿を詰め，果粒を静置し人工照明付き植物環境制御装置（LH-30-8CT,（株）日本医化器械製作所，照明は昼光色蛍光灯 FL8D，波長域 310〜780 nm，静置果粒の果頂部付近の光合成有効光量子束密度約 60 μmol・m^{-2}・s^{-1}，14 h 照明／10 h 暗黒）内で 10 日間培養した．培養温度が異なる 5 処理区①18°C 区，②21°C 区，③24°C 区，④27°C 区，⑤30°C 区を設けた．満開後 50 日の果粒では，18〜30°C のいずれの処理区でも着色が促進されたのに対し，満開後 60 および 70 日の果粒では 24°C 以下の区で，ならびに満開後 80 日の果粒では 18°C 区のみで着色が促進された．このことは，成熟初期の果粒は低温処理と無関係に着色するが，満開後 60 日以降に低温要求性が高まることを示している．

4. 果皮着色（アントシアニン集積）に及ぼす高気温の影響

圃場に栽植された樹体を用いて，果皮の着色（アントシアニン集積）に及ぼす高気温の影響に関する実証実験を行った．果皮アントシアニン集積の抑制が始まる転換温度に関して，昼間の高温がアントシアニン集積を阻害することが指摘されている（Kliewer，1970 ; Kobayashi ら，1967 ; Mori ら，2004）が，これらの研究は人工気象室を用いて気温を一定温度に保った条件下で行われ

ており，閾値（転換温度）の特定には至っていない．実験は，果房周辺気温を外気温よりも 4～5°C 低く保つことができるスポットクーラーシステムを用いて，満開後 60～70 日の期間果房を冷却する 3 つの処理，すなわち連続（0:00～24:00）冷却区，昼間（6:00～18:00）冷却区，および夜間（18:00～6:00）冷却区を設け，対照（非冷却）区と比較した．その結果，連続冷却区における果粒の着色指数が対照区のそれよりも高く推移し，両者に統計的有意差（$P<0.05$）が認められた．果皮のアントシアニン集積に及ぼす日射の有無（明期と暗期）ならびに温度帯の影響を明らかにする目的で，<21，21～24，24～27，27～30，30～33，33～36，36 ˚C≤ の各温度帯への曝露時間の割合を，明期と暗期で別々に計算した．Δ 時間％（各処理区と対照区との暴露時間%の差）と Δ 着色指数（各処理区と対照区との着色指数の差）の相関を調べた結果，明期の 30 ˚C 未満で正の相関，30 ˚C 以上で負の相関が確認された．暗期にこのような関係は認められず，着色に日射が影響することが明らかになった．また，明期の 27～30 ˚C（正の相関）および 33～36 ˚C（負の相関）における相関係数が統計的に有意（$P<0.05$）であり，これに基づき果皮着色抑制の開始温度が 30～33 ˚C の範囲内に存在することを見出した．

5. 果房冷却処理が果実着色に及ぼす影響

農作物の局所の温度を多点で同時に制御できる多点同時局所環境制御装置（実用新案登録第 3204876 号）を共同で考案した（杉浦ら，2016）．これを用いて，市販のスポットクーラーで発生させた冷気を多数の果実袋内に均一に供給可能なシステムを構築した．これは，1）加圧空気発生装置（スポットクーラー），2）ブドウ果房を覆う袋体（有孔ポリプロピレンフィルム袋），3）両者をつなぐ配管から構成される．熱流体力学に基づく配管設計により，スポットクーラー1 台から最大 13m 離れた果房を外気温より 4.4～4.5 ˚C 低い温度まで冷却可能で，全長 26m の範囲にある 60 果房を均一に冷却できた．着色促進効果を検証するため，装置を栽培農家圃場に設置し，稼働した結果，品質基準（カラーチャート値 7～9）を満たす果房の割合が，冷却処理により 15.8～40.3％増加することを確認した．この技術は，地域や作型にかかわらず有効で採算性も高く，‘ルビーロマン’果実の着色改善技術として普及の拡大を図ることが期待される．

以上のように，本研究は，赤色系大粒ブドウ‘ルビーロマン’の着色不良果発生原因が，特に日中の高気温（33°C 以上）であることを解明するとともに，着色不良果の発生防止に向け，市販のスポットクーラーで発生させた冷気を多数の果実袋内に均一に供給可能なシステムを構築し，日中の果房周辺気温を 30°C 以下に保つことで着色改善が図れることを実証した．石川県では，

‘ルビーロマン’の導入をブドウ産地復興の起爆剤と考えていることから，本研究の成果が生産現場における‘ルビーロマン’の商品化率を改善し，ブドウ生産者の収益安定化に貢献することが期待される．

引用文献

Kliewer, W.M., 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 95, 693–697.

Kobayashi, A., Fukushima, T., Nii, N., Harada, K., 1967. Studies on the thermal conditions of grapes. VI. Effects of day and night temperatures on yield and quality of Delaware grapes. J. Japan. Soc. Hortic. Sci., 36, 373–379.

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構. 2021. ブドウ 24 品種の DNA 品種識別技術. SSR マーカーによるブドウ 24 品種の果実の DNA 品種識別技術.

公益財団法人中央果実協会. 2020. 世界の主要果実の生産概況 2019 年版, 4, 15.

Mori, K., Sugaya, S., Gemma, H., 2004. Regulatory mechanism of anthocyanin biosynthesis in ‘Kyoho’ grape berries grown under different temperature conditions. Environmental Control Biology, 42, 21–30. https://doi.org/10.2525/ecb1963.42.21.

農林水産省. 2020. 農林水産物輸出入概況 2019 年（令和元年）, 38.

農林水産省. 2021. 平成30年産特産果樹生産動態等調査. ぶどう（生食用）.

嶋　雅康・田村茂之・稲部善博・野畠重典・高山典雄. 2006. ブドウ新品種‘ルビーロマン’. 石川農総研究セ研報, 27, 33–36.

杉浦裕義・薬師寺　博・松田賢一・高野昌宏・宮川広康・早川隆宏・伊達彩香. 2016. 多点同時局所環境制御装置. 実用新案登録第3204876号.

宇土幸伸・東　暁史・齊藤典義・里吉友貴・薬師寺　博・小林省藏. 2010. 巨峰系四倍体品種におけるアントシアニン合成関連遺伝子の時期別発現とアントシアニン蓄積との関係. 園学

研, 9（別 1）, 82.

薬師寺　博・東　暁史・杉浦裕義・山﨑安津. 2012. 温度・遮光条件がブドウ培養果粒の着色および糖度に及ぼす影響. 園学研, 11（別2）, 339.

Yamane, T., Shibayama, K., 2006. Effects of changes in the sensitivity to temperature on skin coloration in ‘Aki Queen’ grape berries. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 75, 458-462.

参考論文

本論文には，以下の 3 編の参考論文が付されており，本文中にはそれらの内容が含まれている．

1. Suppression of red color development associated with anthocyanin accumulation in the epicarp of grape (*Vitis labrusca* × *vinifera* cv. Ruby Roman) berries caused by air temperature in daylight periods higher than 33°C during maturation. Scientia Horticulturae. 288, 110381, 2021.
https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110381
著者名: Kenichi Matsuda, Mei Gao-Takai, Ayaka Date, Takashi Suzuki.

2. ブドウ‘ルビーロマン’の培養果粒における温度処理が果皮着色に及ぼす影響. 園芸学研究. 19, 39-47, 2020.
https://doi.org/10.2503/hrj.19.39
著者名: 松田賢一・片山（池上）礼子・東 成美・酒井賀乃子・中野眞一・玉村壮太・早川隆宏・伊達彩香・高居恵愛

3. ブドウ‘ルビーロマン’のポット栽培における着色期の温度が果皮着色に及ぼす影響. 園芸学研究. 19, 29-38, 2020.
https://doi.org/10.2503/hrj.19.29
著者名: 松田賢一・片山（池上）礼子・東 成美・酒井賀乃子・中野眞一・玉村壮太・早川隆宏・伊達彩香・高居恵愛