

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780020

研究課題名(和文)リンゴの果肉・果芯の着色要因は光か?温度か? - 機構解明と安定化技術の開発

研究課題名(英文)Which is the factor of apple flesh and core coloration, light or temperature? - Mechanism elucidation and development of stabilization technic

研究代表者

松本 和浩 (Matsumoto, Kazuhiro)

弘前大学・農学生命科学部・助教

研究者番号：60508703

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：果肉が赤く着色する新規リンゴ品種「紅の夢」等を用いて、果肉の着色に影響を及ぼす要因について主として光および低温の面から調査した。果実に光非透過の果実袋をかけて栽培したところ、果皮は全く着色しなかったのに対し、果肉は色が薄いものの着色が見られた。続いて、果実袋の周辺にシリコンチューブを巡らせ、内部に冷却水を循環させる低温処理を行った。この結果、低温処理の温度と期間が長いほど果肉の着色が良好になった。以上の結果から、果肉が赤く着色するリンゴ「紅の夢」の果肉の着色には着色程度には影響を及ぼすものの光が必ずしも必要がなく、一方で、低温の程度と期間の影響を強く受けることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The red fleshed newly apple 'Kurenainoyume' was mainly used in this experiments. The objective of the experiment was the clarification of factors which affect to the flesh and the core coloration. Light and temperature were mainly regarded as the factors. By the fruit bagging treatment, the fruit was covered by the light non-penetrable paper bag, fruit fresh was colored though fruit skin was never colored. Low temperature treatment was performed by the circulation of cold water in the silicon tube around the fruit bag. When the temperature became low and the period became long, the coloration of the flesh became well. In conclusion, the main factor of flesh coloration of red fleshed newly apple 'Kurenainoyume' was low temperature. The light was not always necessary to the flesh coloration but it influence to the better coloration.

研究分野：園芸学

キーワード：新品種 加工 6次産業化 アントシアニン ポリフェノール 温暖化 生産技術

### 1. 研究開始当初の背景

果皮の着色については着色要因が明らかになり、栽培技術により着色の管理が可能となっている。

一方、消費者ニーズの多様化や農業の第6次産業化、健康食品ブームなどの背景から、リンゴ果実の果肉が着色する品種開発に注目が集まり、品種育成とともに様々な独自ブランド商品の開発が進んでいるが、果肉の着色要因については良くわかっていない。

申請者が所属する弘前大藤崎農場は、本農場で育種し2010年に品種登録した赤い果肉のリンゴ新品種「紅の夢」を有する(第1図)。

予備的な実験で果肉着色は光の影響よりも低温の影響を受ける事が予想されている。



第1図 紅の夢

### 2. 研究の目的

本申請ではそれぞれ果肉の着色機構が異なることが予想される2系統のリンゴ果実内部着色系品種「紅の夢」または「御所川原」を用い、それぞれの品種の果実内部の着色を最も良好にする光および温度条件を明らかにすることを目的とする。

「紅の夢」および「御所川原」に光の透過量の異なる果実袋(白1重袋、茶1重袋、非透過2重袋)をかけ、果実内部の着色への影響を調査する。また、非透過2重袋をかけた果実は収穫適期1月前から5日おきに除袋し、除袋時期が果実内部の着色に及ぼす影響を調査する。

「紅の夢」に非透過2重袋をかけ、袋の外部を冷却水の循環チューブを這わせ、袋内の温度を上昇あるいは低下できるようにする。収穫適期1月前から果実の昼温を制御し、温度が果実内部の着色に及ぼす影響を調査する。

両実験とも、果皮、果肉、果芯に分けてサンプリングを行い、果実調査を行う。その上で光および温度と果肉の着色との関係を明らかにし、それぞれの品種に最適な果肉着色条件を決定する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 光が果肉着色に及ぼす影響

実験1では、「紅の夢」および「御所川原」の着色機構が異なることを科学的に明らかにするために、両品種の果実成長にともなう

果肉着色の様子を比較した。同時に光非透過2重袋をかけて栽培し、果皮の着色要因の1つである光の有無が果肉の着色に及ぼす影響を調査した。実験2では、3種類の光の透過率が異なる果実袋をかけて栽培し、果実が受ける光の多少が果肉の着色に及ぼす影響を明らかにした。さらに、実験3では、除袋する時期を変えて有袋栽培を行い、果皮と同様に果肉も遮光後に光を受ける期間の長さによって果肉の着色度合いが異なるか否かを調査した。

#### (2) 低温が「紅の夢」の果肉着色に及ぼす影響

低温が「紅の夢」の果肉着色に及ぼす影響について2年間調査した。非透過2重袋をかけて栽培したか果実の周囲にシリコンチューブをめぐるせ、5 または 10 の冷却水を1年目は収穫前30日間にわたり1日、日中の5時間、2年目は収穫前50日間にわたり1日日中の9時間循環させ、低温が果肉着色に及ぼす影響を調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) 光が果肉着色に及ぼす影響

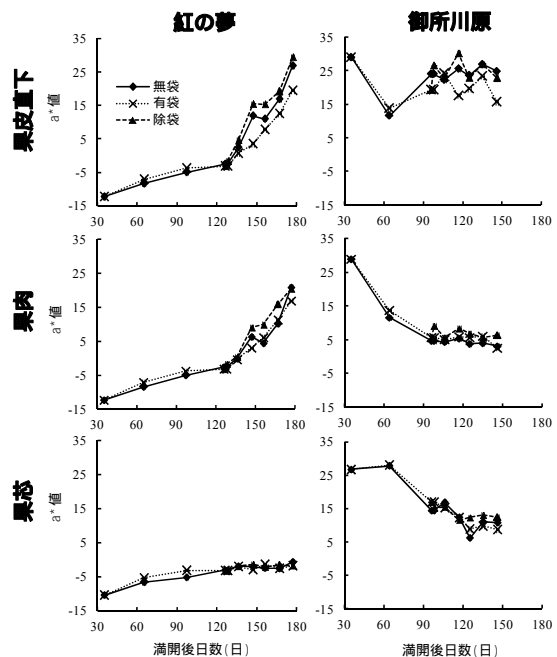
果肉が赤いリンゴ品種には果肉のみが赤く着色する系統(タイプ1)と果肉のみならず果芯までもが赤く着色する系統(タイプ2)の2つの系統が存在することが報告されている(Chagnéら、2013)。現在までの予備的な観察から、青森県津軽地方で栽培されている「紅の夢」は果芯が着色しないためタイプ1に「御所川原」は果芯まで着色するためタイプ2に分類されると考えられている。そこで本実験では「紅の夢」および「御所川原」の着色機構の差異を科学的に明らかにするため、両品種の着色の様子を経時的に調査した。「紅の夢」では幼果期(33 DAFB: 満開後日数)の果芯、果皮直下および果肉のいずれもが着色は見られず、124 DAFB以降赤く着色した。一方「御所川原」では幼果期(35 DAFB)から既に果芯、果皮直下および果肉は赤く着色しており成熟にともなって退色していった。収穫適期の両品種の着色の様子をみると「紅の夢」は果皮直下および果肉は赤く着色したものの、果芯は最後まで着色しなかった。一方「御所川原」は幼果期よりも薄くなるものの果皮直下および果肉のみならず果芯も着色していた。果皮直下は収穫適期に近づくにつれてやや赤みが増した。以上の結果より「紅の夢」および「御所川原」はChagnéら(2013)の報告にあるように、それぞれタイプ1およびタイプ2に分類され、着色機構が異なる系統であることが明らかとなった。

リンゴの果皮の着色については研究が進んでおり、着色期(収穫1ヶ月前~収穫)の光(UV-B)、低温(15~20)および成熟が果皮の着色を促進する主要因であることが明らかになっている(荒川、2000)が、果肉の着色要因については不明である。そこで果肉の着色要因を明らかにするため、果皮の

着色要因である光に注目し、果肉が赤い両品種に袋をかけて完全に遮光して栽培を行うことで着色が抑制されるか否かを調査した。本実験において両品種ともに収穫まで除袋しなかった有袋区および収穫1ヶ月前に除袋した除袋区でも果肉が着色したことから、果皮とは異なり果実に直接光が当たらなくても着色することが明らかになった。しかし、両品種において光を遮光したまま栽培した有袋区の果肉の $a^*$ 値(値が大きいほど赤いことを示す)が他の処理区と比べて低かったことから、光が果肉着色の発現を誘導する主要因ではないものの、着色を促進する要因である可能性が示唆された。そこで、果実が受ける光量の多少が「紅の夢」および「御所川原」の果肉着色に及ぼす影響を調査するため、光の透過率が異なる3種類の袋をかけて栽培を行った。その結果、「紅の夢」は袋の光の透過率に関わらず有袋区の果皮直下および果肉の着色が抑制された。同様の袋をかけ、除袋の有無のみが異なる有袋区と除袋区を比べると除袋区の方が果肉の着色が良好であり、有袋区内で袋の種類による着色の差異がなかったことから、袋をかけている期間(43 DAFBから129 DAFBまで)の果実の受光量ではなく、129 DAFB以降に受光量が果肉着色の促進に関わっていると考えられた。また果皮をみると、「紅の夢」および「御所川原」ともに有袋区では果皮が着色せず白くなり、除袋区では鮮紅色を呈した。リンゴの果皮は9番染色体上にあるMdMYB1転写因子が活性化することで着色することが知られている(梅村ら、2012)。しかし、果皮と果肉の着色は別々遺伝子によって制御されていることが報告されている(Richardら、2009)。「紅の夢」のような果芯が赤くならない品種の果肉の転写因子は果皮とは異なり、17番染色体上に存在するMdMYB110aとされている。また、「御所川原」のような果芯までも赤くなる品種の果肉の転写因子は果皮と同様に9番染色体上にあるとされているが、転写因子は果皮とは異なりMdMYB10だと報告している(Richardら、2009)。また、Richardら(2009)は果芯が赤くなる系統は果皮、果肉および葉も赤くなることを報告している。以上の結果から、本実験において「紅の夢」および「御所川原」ともに有袋区において果皮が着色しなかったにもかかわらず、果肉が着色したことはこれと矛盾せず、光は果肉の着色を促進するために必要であるが、果皮とは異なり着色の発現を誘導する要因ではないことが示唆された(第2図)。

次に除袋後に光を受ける期間の差異によって果肉の着色が促進されるか否かを検討するため、光非透過2重袋を使用して異なる除袋時期が果肉の着色に及ぼす影響を調査した。本実験では「紅の夢」では収穫45~15日前、「御所川原」では収穫35~5日間に除袋を行った。なお、通常果皮の着色を目的とした場合、除袋は収穫1ヶ月前に行う。

その結果、「御所川原」ではすべての部位で果肉の着色に影響を及ぼさなかった。しかし、「紅の夢」において45 DBH~25 DBHに除袋した処理区では果皮直下および果肉は他の処理区と比べ着色が促進された。さらに、果皮と同様に、除袋する時期が遅くなると着色が抑制された。果皮では袋をかけた後除袋することで赤い色素が結合したアントシアニン合成に関する光受容体であるフィトクロム含量が増加し、果皮の着色が促進される。しかし、除袋する時期が遅くなるとアントシアニンの合成が収穫に間に合わず着色が不良になる。本実験により果肉についても同様に除袋時期が遅くなることで成熟によるアントシアニンの合成量が減少したため、果肉の着色が不良になったと考えられた。以上の結果から「紅の夢」の果肉はリンゴの果皮と同様に1度遮光してから再び光に当てることで着色が促進されるが、除袋する時期が遅い、または除袋しないと果肉の着色が無袋区と同程度となることが明らかとなった。



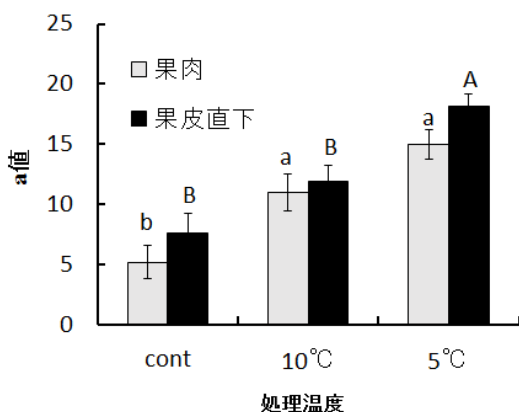
第2図 袋かけ処理が「紅の夢」および「御所川原」の果実内部の着色に及ぼす影響

(2) 低温が「紅の夢」の果肉着色に及ぼす影響

処理期間における日中(11時から16時)の袋内の果実表面温度は1年目では10および5処理区が対照区に比べて平均でそれぞれ、1.5および3.1低下した。2年目では10および5処理区が対照区に比べて平均でそれぞれ、8.0および11.8低下したことから、低温による果肉着色の影響を調査する実験方法としては問題がないものと考えられた。なお、1年目に比べて2年目における果実表面温度が大きく低下している原因は、1年目の処理期間が収穫前30日間の1日5時間であったのに対し、2年目は、処理期間を収穫前50日間の1日9時間と処理期間およ

び時間を約2倍としたことによる影響と考えられた。

次に、各温度処理区における果肉の着色をみると、2ヶ年ともいずれの処理区も収穫期まで光を当てずに栽培したにもかかわらず果肉が着色していた。これは、向後(2012)の報告とも一致し、「紅の夢」の果肉着色には果皮の着色要因と異なり、光が重要な要因ではないことが明らかとなった。また、果実内部の着色の状況を見ると、果芯は全ての処理区で2ヶ年ともに着色しなかったことから、これまでの報告(向後、2012)のとおり「紅の夢」は果肉のみが赤く着色する系統(タイプ2)であった。一方、果肉および果皮直下の着色は2ヶ年とも低温処理による影響を受けた。いずれも、処理温度の低下とともに赤色の程度を示す $a^*$ 値が上昇し、着色が向上する事が明らかとなった(第3図)。また、処理期間および時間を約2倍とした2年目は、果皮直下および果肉ともに低温処理によって赤色の程度を示す $a^*$ 値が上昇し、着色がより鮮明になり、収穫前の低温による期間および時間が長いほど、「紅の夢」における果肉着色は向上した。このことから、「紅の夢」における果肉の着色要因は低温であることが明らかであった。しかし、果肉着色以外の果実品質をみると、1年目は処理による影響がなかったものの、2年目は果肉硬度が対照区と比べて5処理区が高く、可溶性固形物含量では低温処理をした10および5処理区が対照区に比べて、0.9N低かった。山田ら(1988)によると、リンゴ果実の成熟に対しては果実そのものの温度環境が直接的に作用すると報告していることから、2年目の極端な低温処理が影響したものと考えられた。



第3図 温度処理が「紅の夢」の果肉着色に及ぼす影響

このように、果肉が赤いリンゴ「紅の夢」の果肉の着色は光に対する反応が鈍い(向後、2012)一方で、低温により着色が向上する事が明らかとなった。このことから、「紅の夢」における果肉着色は低温によって誘導されることが明らかとなった。今後は、実際に栽培を行っている生産者が、どのように果実に対し低温を与えることができるのかを検討

し、果肉着色の安定した「紅の夢」を生産する栽培技術を確認する必要があるものと考えられた。

#### <引用文献>

- Chagné, D., V. Lin-Wang, V. Richard, K. Richard, K. Volz, M. Natalie, M. Carlisle, K. Satish, S. Nihal, M. Diego, M. Tony, R. McGhie, N. Ross and R. Crowhurst, 2013. An Ancient Duplication of Apple MYB Transcription Factors Is Responsible for Novel Red Fruit-Flesh Phenotypes. *Plant Physiol.* 161: 225-239.
- 荒川 修. 2000. リンゴ果実の着色生理. *植物の化学調節*. 35:149-159
- 梅村ひとみ・前島 勤・小松宏光. 2012. リンゴ「ピンクパール」由来の赤肉系統における新規 MYB 転写因子の機能解析. *園学研*. 別冊 11(2):126
- Richard, V., C. B. Espley, D. Chagne, S. Kutty-Amma, V. Richard, P. Jo, J. Schouten, E. Susan, R. Gardiner, P. Roger and C. Andrew. 2009. Multiple Repeats of a Promoter Segment Causes Transcript Factor Autoregulation in Red Apples. *Plant. Cell.* 21:168-183
- 向後智陽. 2012. 果肉まで赤いリンゴ「紅の夢」の安定生産に向けた栽培生理学的研究. 弘前大学農学生命科学研究科修士論文
- 山田寿・浜本清・杉浦明・苫名孝. 1988. リンゴ果実の成熟に及ぼす果実温度の影響. *園学雑*. 57: 173-177.

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表](計10件)

- 小林 達・向後智陽・藤田知道・佐藤早希・松本和浩. 果肉の赤いリンゴ「紅の夢」の果皮に発生する斑点状障害は袋かけにより抑制できる. 日本園芸学会秋季大会(福井県立大学). 2012.
- 向後智陽・小林 達・藤田知道・佐藤早希・前多隼人・荒川 修・松本和浩. 果肉の赤いリンゴ「紅の夢」,「御所川原」の果肉着色に及ぼす光の影響. 日本園芸学会秋季大会(福井県立大学). 2012.
- 藤田知道・向後智陽・佐藤早希・前多隼人・荒川 修・松本和浩. 除袋時期の差異が果肉の赤いリンゴ「紅の夢」および「御所川原」の着色に及ぼす影響. 日本園芸学会秋季大会(岩手大学). 2013.
- 松本和浩. 新たな市場開拓に向けた果肉まで赤いリンゴ新品種「紅の夢」の研究. 日本農芸化学会東北支部第13回若手の会. 招待講演.(弘前市). 2012.
- 松本和浩. 次世代リンゴのトレンドは「果肉の色」! ~赤い果肉のリンゴ「紅の夢」の可能性~. 第6回レドックス・ライフイノベーション第170委員会. 招待講演.(弘前市). 2013.

松本和浩. 次世代のトレンド「赤い果肉のリンゴ」の可能性と研究・育種の現状. 第2回油化学セミナー サビにくい体する抗酸化食品の健康調節機能. 招待講演. (弘前市). 2013.

Matsumoto, K, H. Maeda, T. Fujita, S. Sato, Y. Shiozaki, and F. Tamura. Apple breeding programs at Hirosaki university, Japan: yellow skin, red flesh, and large size. International Horticultural Congress. (Brisbane, Australia). 2014.

松本和浩・藤田知道・佐藤早希. 果肉の赤いリンゴ「紅の夢」の果肉着色に及ぼす温度の影響. 日本園芸学会秋季大会(佐賀大学). 2014.

藤田知道・佐藤早希・松本和浩. 貯蔵方法の違いが果肉の赤いリンゴ「紅の夢」の貯蔵性に及ぼす影響. 日本園芸学会秋季大会(佐賀大学). 2014.

松本和浩・前多隼人. 大学発! 美味しいバイオ. 切った瞬間、驚きに包まれるリンゴ「紅の夢」. 生物工学会誌. 92. 34-35. 2014.

〔その他〕

ホームページ等

<http://nature.cc.hirosaki-u.ac.jp/kurenainoyume/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松本 和浩 (MATSUMOTO, Kazuhiro)

弘前大学・農学生命科学部・助教

研究者番号: 60508703