

摘果や光環境等の栽培条件が赤果肉リンゴの果肉の着色に及ぼす影響

東京大学大学院
農学生命科学研究科附属
生態調和農学機構

本多 親子

果皮だけでなく果肉も赤い、赤果肉リンゴの新しい品種の登録が相次いでいる。古くから赤果肉リンゴ品種は存在していたが、酸味が強いこと等もあって、普及するには至っていなかった。最近の新品種では酸味が低だけでなく糖度が高く、食味が改善されていることから、今後はこのような新品種が普及することが期待される。苗木の購入が可能な赤果肉リンゴの品種としては、「ルビースイート」・「ローズパール」(農研機構果樹茶業研究部門育成)、「紅の夢」(弘前大学育成)、「ハニールージュ」・「ハニーレッド」(信州大学育成)、「なかの真紅」・「炎舞」・「ムーンルージュ」(吉家一雄氏育成)等が挙げられる。しかし、赤果肉リンゴでは、果肉の赤さの程度が果実によってばらつくことがあり、外観からは中の果肉の赤さの程度を推定できないことも相まって、生産上の大きな問題となっている。

本稿では、最初にリンゴ果実における着色の遺伝的な要因について説明し、次に栽培面での赤果肉リンゴの果肉の着色の変動要因について、現在までに得られている知見を紹介する。さらに、赤果肉リンゴの新品種である「ローズパール」および「ルビースイート」の特性についても紹介する。

1. 着色を決める遺伝的要因

リンゴ果実の果皮や果肉の赤い着色は、アントシアニン(主としてシアニン 3-ガラクトシド)が各組織で合

成され蓄積することによって生じる。果皮または果肉でアントシアニンが生成され組織が赤くなるかどうかは遺伝的に決まっており、その原因遺伝子が単離されている。すべて、MYB様転写因子をコードする遺伝子である(表-1)。

果皮に関しては、*MdMYBA* または *MdMYB10* (後述) が着色の原因遺伝子であることがわかっている。市販されている一般的なリンゴのほとんどは *MdMYBA* を持っているが、果皮でアントシアニンが生成されるかどうかは、その *MdMYBA* の遺伝子型で決まる。着色性の *MdMYBA* は優性で、着色性の対立遺伝子をホモ(AA)またはヘテロ(Aa)で持つと果皮が赤くなる。一方、果皮は黄色いリンゴ品種は非着色性の *MdMYBA* をホモ(aa)で持っているが、通常の条件下では *MdMYBA* はほとんど発現していないため、果皮にはアントシアニンはわ

ずかしか蓄積されない。しかし、カビに感染したとき等に一過的に感染部位が赤くなることがあり、非着色性の *MdMYBA* もアントシアニン生成を誘導する機能自体は有していることがわかる。

果肉に関しては、*MdMYB10* または *MdMYB110a* を持つと果肉が赤くなる。*MdMYB10* を持つ品種・系統(タイプ1)では、果皮や果肉だけではなく、葉や茎など樹全体が赤くなる。一方、*MdMYB110a* を持つリンゴ品種(タイプ2)では、果肉だけが赤くなり、他の外観は通常のリンゴと同じである。したがって、「Pink Pearl」のように、果皮については非着色性の *MdMYBA* を持ち、果肉を赤くする *MdMYB110a* を持つリンゴでは、果皮は黄色く果肉は赤くなる(表-1)。

表-1 リンゴの果皮および果肉でのアントシアニン生成を誘導する MYB 様転写因子遺伝子

果実の様子	果皮	果肉	第9染色体	第17染色体
	赤	白	<i>MdMYBA</i> (AA or Aa)	なし
	黄	白	<i>MdMYBA</i> (aa)	なし
	赤	赤	<i>MdMYBA</i> (AA or Aa)	<i>MdMYB110a</i>
	黄	赤	<i>MdMYBA</i> (aa)	<i>MdMYB110a</i>
	赤	赤	<i>MdMYB10</i>	なし

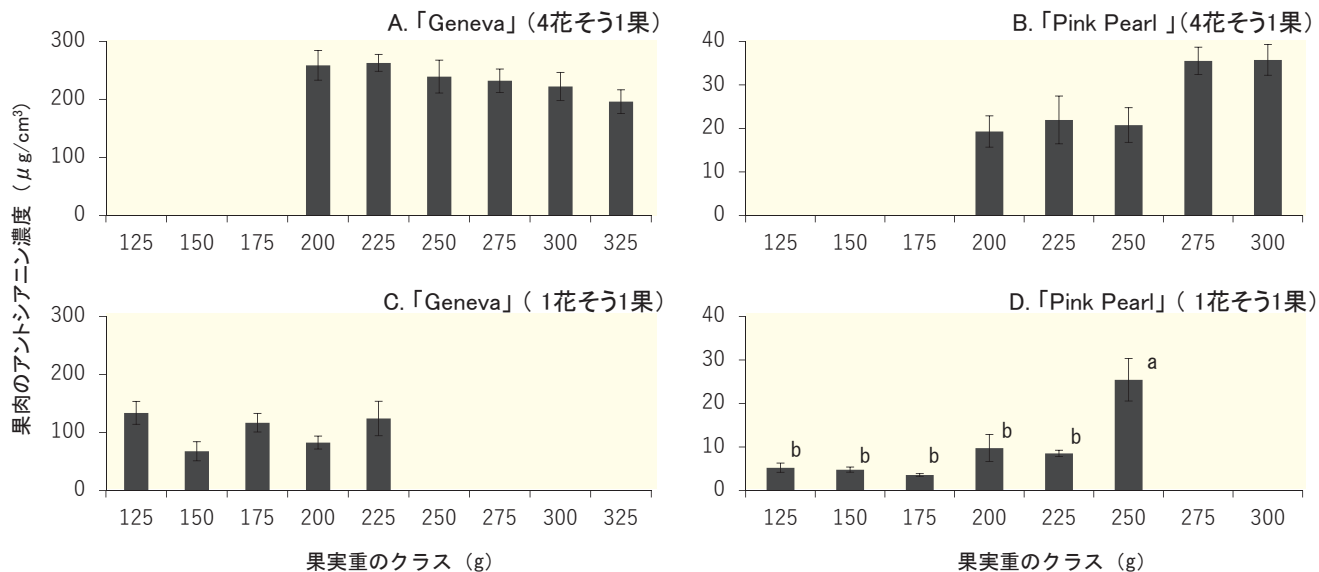


図-1 着果負担の異なる樹における果実の果肉のアントシアニン濃度
 岩手県盛岡市で収穫された果実で2014年に調査。図の値は、平均値±標準誤差を表す。
 果実中のクラスで例えば150と表示されているクラスには126-150gの果実が含まれる。
 異なるアルファベット文字はTukey法により5%水準で有意差あり、アルファベットなしは有意差なしを表す。

2. 着果負担の影響 —ならせ過ぎは禁物—

リンゴでは一つの花そうに四つから六つほどの花が咲く。この花をすべて結実させると、着果負担が大きくなり、販売には向かない小さくて糖度の低い果実が数多くなってしまう。そこで、実際の栽培では、花または幼果の段階で摘花・摘果を行い、着果数を減らして一つの果実を大きくするのが慣例である。一般的には、4花そう1果（一つの花そうの中の果実を一つだけ残し、残り三つの花そうの果実はすべて落とす）が標準な着果基準である。着果負担の差が赤果肉リンゴの赤さにどのように影響するかを調べるため、原因遺伝子の異なる2品種、「Geneva」（タイプ1）および「Pink Pearl」（タイプ2）を用いて、着果負担が4花そう1果（一般的な着果基準）の樹と1花そう1果（着果数が4倍多い）の樹を作り、果肉のアントシアニン濃度を比較した。その結果、一般的な着果

基準の樹の果実の方が、1花そう1果の樹よりも果実が大きくなるだけでなく、果肉のアントシアニン濃度が数倍高くなることが明らかとなった（図-1）。したがって、果肉が赤い果実を生産するためには、ならせ過ぎは禁物で、標準的な着果基準で栽培することが重要であることがわかった。また、両品種ともに、一般的な着果基準の樹では、1花そう1果と比較して、果実の糖度に差はないが、酸度は高くなる傾向が観察された（データ略）。

3. 光環境の影響 —陽が当たると赤くなる—

次に、着果基準によって果肉の赤さが異なることから、一般的な着果基準で着果させた場合に陽当たりが果肉の着色にどのように影響するかを調べた。「Geneva」および「Pink Pearl」の樹から日向と日陰の果実をそれぞれ分けて収穫し、果肉のアントシアニン濃度を比較した結果、両品種ともに、よく陽の当たった果実の方が日陰

の果実よりも果肉が約1.6倍赤くなることがわかった（図-2）。一方で、果実を完全二重袋で収穫時まで被覆しておく、両品種の果実で約60%程度のアントシアニンが蓄積されることもわかった（データ略）。通常の果皮が赤いリンゴ（着色性の*MdMYBA*を持つ）では、果実に光が当たらないと果皮は全く着色しないことが知られている。果実を着色開始前に完全二重袋で被覆しておく、果皮でアントシアニンが合成されず、果実は青いままである。したがって、果皮とは異なり、果肉では光が当たらなくても一定レベルのアントシアニンが生成されることがわかる。しかし、より果肉が赤くなるためには果実に十分な光が当たることが重要で、赤果肉リンゴの果肉におけるアントシアニン生合成に光は補完的な役割を果たしているということができる。

なお、前項2.の着果負担の調査は2014年に実施し、この光環境の調査は2015年に実施したが、「Geneva」では2015年の方が全般的に着色が悪

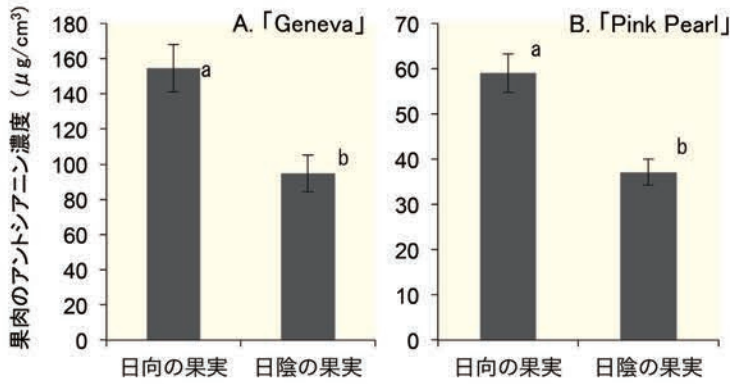


図-2 光環境の異なる果実のアントシアニン濃度
岩手県盛岡市で収穫された果実で2015年に調査。図の値は、
平均値±標準誤差を表す。異なるアルファベット文字はt検定
により5%水準で有意差ありを表す。

長野県須坂市



岩手県盛岡市

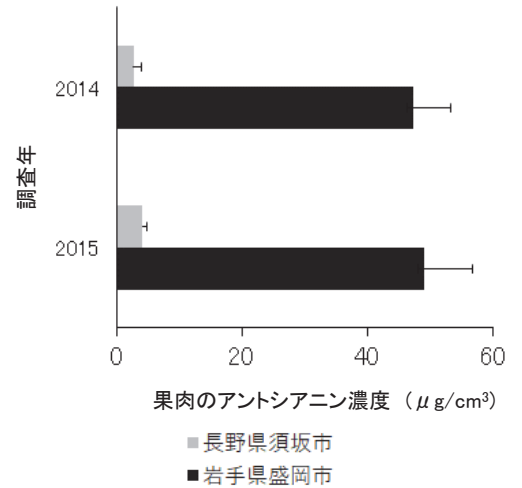


図-3 長野県須坂市および岩手県盛岡市で収穫された「Pink Pearl」の果実
左：写真は2015年の果実を撮影したもの、右：果肉のアントシアニン濃度の比較

く、図-2Aのアントシアニン濃度の値が図-1Aの値よりも低くなっている。一方で、「Pink Pearl」については、両年で果肉の着色に大きな差は見られなかった。

4. 気温の影響 —低温で赤くなる—

赤果肉リンゴの果肉の着色が生育地によってどの程度異なるのかを、岩手県盛岡市（年平均気温10.2℃）および長野県須坂市（同11.9℃）で収穫された「Pink Pearl」を用いて比較した。その結果、岩手県盛岡市で収穫された果実の果肉のアントシアニン濃度は長野県須坂市のものよりも10倍以上高いことがわかった（図-3）。長野

県須坂市での「Pink Pearl」の収穫期は、例年8月下旬であり、岩手県盛岡市の方が1週間ほど遅い。さらに、開花直後から収穫期までの間、岩手県盛岡市の方が気温が低く推移する。したがって、生育期間中の気温の低さが果肉でのアントシアニン合成を促進すると考えられる。

5. 赤果肉リンゴ新品種の紹介

農研機構果樹茶業研究部門で育成された「ローズパール」および「ルビースイート」は、いずれもタイプ2の赤果肉リンゴ品種で、片親が「ふじ」となっている。赤果肉リンゴ側の親品種は、それぞれ「Pink Pearl」と「JP114069」（遺伝資源の系統）であ

る。この新品種の果実形質を「Pink Pearl」および「ふじ」のものと比較した結果が表-2である。いずれも、「ふじ」と一代交配することで糖度が上がり滴定酸度が下がり、食味が大幅に改善されていることがわかる。「ルビースイート」の滴定酸度は0.36で、「ふじ」の0.42よりも低い。したがって、「ルビースイート」は生食向きであるといえる。「ローズパール」は、滴定酸度が0.52であり適度な酸味を有していることから、生食だけでなくジュースやジャム等の加工にも向いている。ただし、「ルビースイート」については、成熟期の気温が高い場合には着色が劣る可能性が指摘されており、この点について今後さらに調査を進める必要があると考えられる。

表-2 赤果肉リンゴの果実形質の比較

品種	果実重 (g)	硬度 (lbs)	糖度 (°Brix)	滴定酸度 (g・100mL ⁻¹)
Pink Pearl	312	14.2	12.2	1.20
ローズパール	407	15.0	14.3	0.57
ルビースイート	472	13.8	14.7	0.36
ふじ	352	16.9	15.2	0.42

「Geneva」および「Pink Pearl」を用いた研究により、赤果肉リンゴの果肉をより赤くするためには、通常の果皮の赤いリンゴと同様に、摘果を行った上で果実によく陽を当てること、生育期間中の気温が低い地域で栽培することが重要であることが明らかとなった。今回紹介した「Geneva」および「Pink Pearl」は、いずれも早生品種であり、リンゴとしてはまだ気温が高いうち収穫期を迎えるため、特

にその年の夏期の気温の影響を受けやすいと考えられる。気温が下がってから収穫期を迎える他の中生品種や晩生品種では、生育地の違いによってどの程度果肉の着色に差が生じるのか等、今後試験研究が進み新たな知見が得られることを期待したい。

参考文献

阿部和幸ら 2017. リンゴ新品種‘ローズパール’. 農研機構研究報告果樹茶業研究部門

(1) 9-17.

阿部和幸ら 2018. リンゴ新品種‘ルビースイート’. 農研機構研究報告果樹茶業研究部門 (2) 9-18.

Honda, C. and S. Moriya 2018. Anthocyanin biosynthesis in apple fruit. The Horticulture Journal. 87, 305-314.

Honda, C. et al. 2017. Thinning and bagging treatments and the growing region influence anthocyanin accumulation in red-fleshed apple fruit. The Horticulture Journal. 86, 291-299.

統計データから

平成 30 年産水稲の都道府県別の田植の状況

農林水産省が8月15日現在で取りまとめた平成30年産水稲の田植の状況を表に示した。

表中の田植期の始期、最盛期、終期とは、田植の面積割合がそれぞれ5%、50%、95%に達した期日である。わが国の田植は、2月18日の沖縄県の一期作の始期から、7月4日の熊本県の終期まで、約5カ月に渡って行われている。

この表から田植の時期の大まかな傾向を見ると、3月に田植の終期を迎えた沖縄県から順次、南九州の宮崎県、鹿児島県、四国の太平洋側の高知県、徳島県の早期作と進み、千葉県、三重県が4月中旬に最盛期を迎えている。

そして、5月上～中旬にかけ、北陸、関東、東北と順次北上し、5月23日には北海道で最盛期を迎える。その後は逆に、近畿、中国、九州へと南下する。最盛期が5月中のところが全体の約半数の51%、6月中が35%を占めている。

田植の始期から終期まで田植期間が40日以上に及んでいるところは、東日本の栃木、埼玉、静岡、愛知、岐阜、西日本の和歌山、岡山、山口、香川、徳島(普)、愛媛と、九州の福岡、佐賀、大分、熊本の各県である。一方、田植期間が20日以内に集中しているところは北海道に、東北の青森、秋田、岩手、宮城、山形、北陸の新潟、富山各県と、宮崎県の早期作となっている。(K.O)

平成 30 年産水稲の都道府県別の田植の状況 (8月15日現在)

都道府県	田植期(月・日)			都道府県	田植期(月・日)			都道府県	田植期(月・日)		
	始期	最盛期	終期		始期	最盛期	終期		始期	最盛期	終期
沖縄(一)	2.18	3.8	3.27	島根	5.1	5.16	6.3	山口	5.11	6.1	6.22
宮崎(早)	3.20	3.25	4.5	岩手	5.10	5.17	5.23	愛媛	4.23	6.1	6.22
				福島	5.8	5.17	5.26	神奈川	5.18	6.2	6.12
鹿児島(早)	3.18	4.3	4.16	広島	5.4	5.18	6.5	兵庫	5.12	6.3	6.15
高知(早)	4.2	4.11	4.21	山形	5.14	5.19	5.27	和歌山	5.2	6.3	6.17
徳島(早)	4.6	4.16	5.2	静岡	4.27	5.19	6.11	岡山	5.11	6.7	6.20
千葉	4.18	4.27	5.11				大阪	5.17	6.8	6.20	
三重	4.17	4.30	5.19	青森	5.15	5.21	5.28	奈良	5.7	6.8	6.14
				埼玉	4.28	5.21	6.25	東京	5.28	6.10	6.26
石川	4.29	5.4	5.23	京都	5.5	5.22	6.6				
茨城	4.26	5.5	5.24	長野	5.12	5.22	6.2	大分	5.16	6.12	6.28
栃木	5.1	5.6	6.14	北海道	5.18	5.23	5.30	群馬	5.21	6.13	6.26
滋賀	4.30	5.8	5.29	秋田	5.15	5.23	5.30	長崎	4.21	6.13	6.28
新潟	5.4	5.10	5.20	愛知	4.30	5.23	6.10	熊本	4.22	6.14	7.3
宮城	5.3	5.11	5.22	徳島(普)	5.2	5.23	6.13	香川	4.28	6.15	6.28
富山	5.1	5.12	5.18	鳥取	5.6	5.26	6.7	宮崎(普)	5.30	6.15	6.27
福井	5.1	5.15	5.27	高知(普)	5.17	5.27	6.13	福岡	5.15	6.16	6.27
				山梨	5.13	5.28	6.18	佐賀	5.5	6.19	6.29
				岐阜	5.2	5.28	6.10	鹿児島(普)	6.10	6.20	7.1

注：田植期の始期、最盛期、終期とは、田植の面積割合がそれぞれ5%、50%、95%に達した期日。
注：表中の地域区分は気象庁の区分に従い色分けした。

- 北日本は北海道、東北
- 東日本は関東、北陸、東海(三重県を除く)
- 西日本は九州、四国、中国、近畿、三重県