

ウメ ‘露茜’ 果実の大量追熟法およびそれに適した収穫時期 簡易判定法の開発

北村祐人¹・大江孝明¹・下 博圭^{1,3}・竹中正好^{1,4}・城村徳明¹・佐原重広^{2,5}
・植田栄仁²・川村 実^{2,6}

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所

²和歌山県日高振興局農林水産振興部農業水産振興課

Bulk Force-ripening Method for Japanese Apricot ‘Tsuyuakane’ Fruit and Simplified Determination Criteria of Optimum Harvesting Time

Yuto Kitamura¹, Takaaki Oe¹, Hiroyoshi Shimo^{1,3}, Masayoshi Takenaka^{1,4}, Noriaki Jomura¹, Shigehiro Sahara^{2,5}, Yoshihito Ueda² and Minoru Kawamura^{2,6}

¹*Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experimental Station, Wakayama Prefecture*

²*Hidaka Promotions Bureau, Wakayama Prefecture*

緒 言

和歌山県におけるウメ生産量は約 60,300 トンであり、全国生産量の約 65%を占める（農林水産省、2016）。その主力品種‘南高’は県内生産量の 80%を占めるトップブランドとなっており、大半が梅干しに加工されて流通・消費されている。しかし近年、食生活の西洋化や景気の低迷により、高級贈答品を中心とした梅干しの消費は減少を続け、購入額および購入量ともに 2015 年にはピーク時である 2002 年の約 70%まで落ち込んでいる（総務省、2016）。したがって、ウメ産地では梅干し以外の加工用途に適した品種開発が望まれている。独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下農研機構）果樹研究所（現：国立研究開発法人農研機構果樹茶業研究部門）でニホンズモモ（*Prunus salicina*）‘笠原巴旦杏’とウメ（*P. mume*）‘養青’との種間交雑により育成され、2009 年に品種登録された‘露茜’は、果皮および果肉が赤色に着色し、梅酒や梅シロップ等の加工品に適する品種として注目されている（八重垣ら、2012；山口ら、2008）。

‘露茜’は樹上で果実が完熟して赤く着色する品種であるが、筆者らはこの果実を完熟前に収穫して、エチレン発生剤に由来するエチレン処理によって 4 日間追熟することで、樹上完熟果実よりも果肉中のアントシアニン含量を大幅に高めることができることを明らかにしている（大江ら、2013、2016）。この技術は果実に付加価値をもたらすだけでなく、樹上完熟で問題となる鳥獣被害を回避できる手段としても有効である。近年、産地の拡大および収穫量の増加に伴い、追熟処理のスケールアップおよび効率化が求められている。さらに筆者らは、追熟に適した‘露茜’果実の収穫時期として、果皮の着色指数および果肉硬度に基づいて追熟後のアントシアニン含量が最も多くなる時期

³現在：和歌山県総務部財政課

⁴現在：和歌山県西牟婁振興局農林水産振興部農業水産振興課

⁵現在：和歌山県農林水産部農林水産政策局農林水産総務課

⁶現在：和歌山県農林水産部農業生産局経営支援課

の判別基準を報告している（大江ら，2017）．しかし，生産者一人一人が詳細な果皮色および果肉硬度基準を判断して収穫することは困難であるため，より簡易な収穫時期判定方法の提示も求められてきた．そこで本研究では，ウメ産地で用いられている収穫用コンテナをビニル資材で被覆することで大量の‘露茜’果実を一度に追熟する方法を考案し，その追熟環境の条件検討を行った．さらに，特殊な機器を用いることなく生産現場で収穫適期を判断できる果皮色に基準を限定し，果皮の着色程度と追熟後のアントシアニン含量との関係に基づいた簡易収穫適期判別法を開発した．なお，本研究は農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「高機能性ウメ品種「露茜」の需要拡大を目指した安定生産技術並びに加工技術の開発」により実施した．

材料および方法

1. ‘露茜’果実の大量追熟法の開発

本項目の試験において，供試した‘露茜’果実を採取した樹は以下の通りである．

- ・和歌山県果樹試験場うめ研究所植栽の‘古城’への高接ぎ樹（以下，うめ研究所植栽樹）
- ・和歌山県日高郡みなべ町気佐藤地区現地園植栽の6年生苗木（2013年時点，以下，気佐藤園植栽樹）
- ・和歌山県日高郡みなべ町清川地区現地園植栽の‘南高’への高接ぎ樹（以下，清川園植栽樹）

1) ビニル被覆期間およびコンテナ資材の検討

2013年6月20日にうめ研究所植栽樹から，2014年7月11日に清川園植栽樹から‘露茜’果実を収穫した．20kgずつ収穫コンテナ（容量約55L）に入れ，1コンテナあたり5袋のエチレン発生剤（熟れごろ，日園連）を入れて農業用ポリ塩化ビニルシートで被覆し，ゴムバンドで固定・密封した．追熟は常温で4日間，うめ研究所の屋内で行い，うちビニル被覆期間を2013年は1～4日，2014年は1～3日とする試験区を設定した．また，2014年は底面が板状になっている通常のコンテナ（以下，通常コンテナ）に加えて，底面が網状になったコンテナ（以下，網コンテナ）を用い，同様にビニル被覆期間を1～3日として追熟を行った．処理開始から4日後，果実全体の重量減少率，果実に濃い緑色の残る不完全着色果実発生率，腐敗した果実の発生率および乾燥してしわの生じた果実の発生率（全て重量ベース）を調査した．

2) 追熟に用いるエチレン発生資材およびその処理量の検討

(1) エチレン発生剤

2013年6月14日に気佐藤園植栽樹から，6月20日にうめ研究所植栽樹から，2014年7月1日に清川園植栽樹から，2015年6月8日に気佐藤園植栽樹から‘露茜’果実を収穫した．20kgずつ収穫コンテナに果実を入れ，2013年は上記と同様のエチレン発生剤を1コンテナあたり3もしくは5袋，2014および2015年は1コンテナあたり3，4もしくは5袋ずつ入れ，上記試験と同様の方法でビニル被覆期間を2日として追熟を行った．追熟終了後，果実重減少率，不完全着色果実発生率および腐敗果実発生率を調査した．

(2) ‘南高’完熟落下果実

2013年7月4日，2014年7月1日および2015年6月26日に清川園植栽樹から‘露茜’果実を収穫した．20kgずつ収穫コンテナに果実を入れ，‘露茜’果実に対して2013年は1/5，1/7および1/9量，2014年は1/10量，2015年は1/10，1/20および1/40量の‘南高’完熟落下果実（試験当日に落

下したものを)を入れたコンテナを同じビニル内に封入し、上記と同様にビニル被覆期間を2日として追熟を行い、果実重減少率、不完全着色果実発生率および腐敗果実発生率を調査した。

(3) ボンベ式のエチレンガス

2016年6月9日および6月16日に気佐藤園植栽樹から‘露茜’果実を収穫し、10~17kgずつ収穫コンテナに入れてビニルで被覆した。その後ボンベ式のエチレンガス(ジエチレンサイエンス)を、濃度が480ppm, 720ppm および960ppmになるように注射器を用いて各コンテナに注入した。また、2016年6月23日に清川園植栽樹から採取した果実を用いて同様に被覆し、濃度が240ppm, 360ppm および480ppmになる量のエチレンを処理開始時および24時間後に2回注入し、同様に追熟して果実重減少率、不完全着色果実発生率および腐敗果実発生率を調査した。

(4) 果実由来のエチレン量測定

2013年7月10日にうめ研究所植栽の‘露茜’から硬い(果実硬度0.5kg以上)、やや硬い(果実硬度0.3~0.4kg程度)および柔らかくて赤く着色した(果実硬度0.3kg以下)果実を5果ずつ、‘南高’からは果皮色が緑、黄緑、黄、橙黄および橙となった果実を3果ずつ採取した。各果実の重量を測定したのち、密封容器に入れて‘露茜’は1300~1600分後、‘南高’は100~200分後にシリンジで容器内の空気を吸い取り、ガスクロマトグラフィー(GC-14B, 島津製作所)によりエチレン含量を測定した。

2. 大量追熟に適した収穫期判定法の開発

1) 果実の収穫および品質調査

2014~2015年にかけて、和歌山県日高郡みなべ町気佐藤園(海岸から約1.3km)および清川園(海岸から約13.0km)において‘露茜’果実を収穫した。気佐藤園では2014年時点で7年生の苗木3樹を用い、清川園では‘南高’成木へ高接ぎした‘露茜’3樹を用いた。2015年の清川園では6年生の苗木3樹も用いた。2014年は気佐藤園では6月10日、清川園では2014年6月19日から樹上完熟期まで3日ごとに果実を1樹あたり10果採取した。2015年には気佐藤園では6月3日から、清川園では高接ぎ樹は接ぎ木部から先端までの中間点を境にして樹冠外層と内層に分け、苗木は6月15日から、高接ぎ樹の外層および内層はそれぞれ6月21日および6月27日から、前年と同様に3日ごとに果実を採取した。採取した果実は重量を計測し、レオメーター(COMPAC-100II, サン科学)を用いて果実硬度を測定した(60mm/m定深度測定, 直径5mm円柱, 侵入1mm)。また、大江ら(2013)の方法に従って果皮の着色指数を決定した。すなわち、果皮の紅色着色程度を6段階(0:着色なし, 1:薄紅色, 3:朱色, 5:濃赤色, 2および4はそれぞれ1と3および3と5の中間)に分類し、着色程度別の果皮面積割合を5%刻みで目視で評価し、以下の式を用いて着色指数を算出した。

$$\text{着色指数} = \frac{\sum(\text{着色程度} \times \text{面積割合})}{5}$$

2) 追熟果実におけるアントシアニン含量の測定

採取した果実は容量約21Lの機能性段ボール箱(羽山ら, 2009)に入れ、エチレン発生剤3袋とともに密封して20℃の恒温室で4日間追熟した。追熟後の果実は、果実の一部に緑色が残る不完全着色果実の数を計測し、核を除いて分析に用いるまで-20℃で保存した。果実中のアントシアニン含

量は大江ら（2013）の方法に従い測定した。すなわち、果皮および果肉を含む試料を5%ギ酸中、マルチディスペーサー（PB95、エスエムテター）を用いて15000rpmで1分間ホモジナイズし、4℃で24時間抽出した。2300gで10分間遠心分離したのち、上清を0.45 μ mのメンブレンフィルターでろ過し、octadecylsilyl（ODS）カラム（Shim-pack VP-ODS、島津製作所）を装着した高速液体クロマトグラフィー（LC-10Avp、島津製作所）を用いて測定した。標準物質として、‘露茜’果実の主なアントシアニン成分であるシアニジン-3-グルコシドおよびシアニジン-3-ルチノシドを用い（赤木ら、2011）、これらの合計値をアントシアニン含量とした。

3) 追熟前の果皮着色および追熟後の果肉色に基づく収穫期判定基準

2015年に採取した‘露茜’果実を用い、着色指数0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80および80以上の7段階に果実を分類した。それぞれの範囲に収まる代表的な果実を選定し、縫合線に対して垂直な方向から果実外観の写真を撮影した。また、それらの果実を上記と同様の条件で追熟し、追熟果実を縫合線に沿った面で切り、その断面の写真を撮影した。なお、着色指数0~10の果実については、追熟後の写真は不完全着色果実を選んで撮影した。

結果および考察

1. ‘露茜’果実の大量追熟法の開発

1) ビニル被覆期間およびコンテナ資材の種類と追熟後の果実品質

これまでに筆者らは、外生エチレン処理を行い20℃で4日間追熟することで、‘露茜’果実のアントシアニン含量を増加させることができることを報告している（大江ら、2016）。本研究では、収穫コンテナに入った多量の果実に対しても追熟可能な環境条件を特性化することを目的とした。機能性段ボール箱を用いた場合は4日間箱を密封したままで追熟が可能であるが（大江ら、2016）、ポリ塩化ビニルシートの場合はガス透過性が異なる可能性があり、同様の条件で追熟が可能かどうかは不明である。そこで、まずは果実を密封してエチレン処理をする最適な期間を見いだすため、ビニル被覆期間ごとの追熟果実品質を調査した。

2013年および2014年ともに、被覆期間1日でも不完全着色果実の発生は少なく、追熟は可能であった（第1表）。ただし、被覆期間1日では乾燥果実の発生が見られたことと、果実重の減少率がやや多い傾向にあった。これは、外気に曝される時間が長くなることで呼吸や蒸散による果実からの水分放出量が多くなるためと考えられる。被覆期間が長くなるにしたがって、果実重減少率は少なくなる傾向にあったが、逆に3日以上被覆期間を設けると不完全着色果実や腐敗果実が増加する結果となった。これは長期間の密封状態による低酸素条件や結露水の影響であると考えられ、本結果からはビニル被覆期間を2日間とし、その後開放してさらに2日間追熟させる方法が最適であると判断された。多くのクライマクテリック果実は内生エチレンによって成熟が促進されるが（Lelièvreら、1997）、キウイフルーツ（*Actinidia spp.*）など一部の果実は果実の追熟にエチレン処理が必要とされている（矢野・長谷川、1993）。そのエチレンの作用は二酸化炭素によって阻害されることも報告されており（Kuboら、1989）、本試験の‘露茜’果実においても、呼吸によって生じた二酸化炭素の蓄積により、被覆期間が長くなった場合に追熟に対して障害が発生した可能性がある。なお、コンテナ中の通気性確保や結露の抑制のため、底面が網状になった網コンテナを用いたところ、ビニル被覆期間3日でも腐敗果実の発生を抑制することができた。ただし、不完全着色果

実はやや多く発生したことに加え、追熟に伴い果実の軟化が進むため、コンテナ底面に接した果実に網目状の跡が残るもの観察された。‘露茜’果実は現在全て加工原料として出荷されていることから果実外観が問題視されることは少ないが、今後の用途の展開によっては商品性を損なう可能性もあり、網コンテナの使用には注意を払う必要がある。

第1表 ビニル被覆期間および収穫コンテナの種類と追熟後の‘露茜’果実品質

試験年度	コンテナ	被覆期間(日)	果実重減少率(%)	不完全着色果実発生率(%)	腐敗果実発生率(%)	乾燥果実発生率(%)
2013	通常	1	-	0.4	5.1	1.8
		2	-	1.3	2.0	0.0
		3	-	0.7	21.5	0.0
		4	-	8.7	4.8	0.0
2014	通常	1	3.8	1.1	0.2	0.0
		2	3.0	0.6	0.4	0.1
		3	2.6	1.9	4.3	0.1
	網コンテナ	1	3.6	1.1	0.0	0.1
		2	2.7	1.0	0.1	0.0
		3	2.5	6.0	0.4	0.1

2) エチレン発生資材の種類および処理量と追熟後の果実品質

エチレン発生剤を用いた追熟では、2013 および 2015 年の試験において 1 コンテナあたり 3 袋では不完全着色果実が比較的多く発生した(第2表)。年次による差はみられたものの、4 袋以上では不完全着色果実の発生率に差はなく、安定して追熟が可能であると考えられた。エチレン発生剤の数量によって果実重の減少率や腐敗果実の発生率に差はみられなかった。

一般にウメはクライマクテリック型の果実であり(久保, 2002)、自身でエチレンを生合成して熟度が進行する。そこでウメ‘南高’の果実から発生するエチレンを用いて‘露茜’果実の追熟を行うことを検討した。2013 年は‘露茜’果実に対して 1/5, 1/7 および 1/9 量の‘南高’完熟落下果実を用いて追熟を行ったところ、やや多くの不完全着色果実が発生したが、‘南高’果実量による差はみられなかった(第2表)。2014 年以降、徐々に‘南高’果実量を減らして追熟を行ったところ、‘露茜’果実の 1/20 量の‘南高’果実でも不完全着色果実の発生を少なく抑えることができた。

さらに省力的・低コストなエチレン供給源として、ガスボンベ式のエチレンガスを用いて追熟を行った。480ppm および 720ppm のエチレンガス処理では、960ppm 処理に比べて不完全着色果実の発生が多くなる傾向にあった(第2表)。また、上記処理区の半量のエチレンを 24 時間おきに 2 回に分けて処理したところ、いずれの処理区でも不完全着色果実の発生は少なく抑えられた。なお、いずれの処理区間においても、果実重減少率や腐敗果実発生率に顕著な差はなかった。不完全着色果実の発生は追熟中の温度による影響を受けるほか(大江ら, 2016)、後述するが果実の熟度や大きさにも左右される。年次間でみられる全体的な不完全着色果実発生程度の差は、このようなエチレン処理方法以外の要因によるものであると推測される。

第2表 エチレン発生源の種類および処理量と追熟後の‘露茜’果実品質

エチレン発生源	試験年度	数量 ²	果実重減少率 (%)	不完全着色果実発生率 (%)	腐敗果実発生率 (%)	
発生剤	2013	3袋	-	7.6	-	
		5袋	-	2.4	-	
	2014	3袋	2.6	2.1	0.1	
		4袋	2.8	1.7	0.3	
		5袋	2.8	1.3	0.2	
	2015	3袋	3.0	6.2	0.1	
		4袋	3.6	5.2	0.4	
		5袋	2.8	5.1	0.1	
	‘南高’果実 ³	2013	1/5	1.9	7.7	-
			1/7	1.8	9.8	-
			1/9	2.0	7.6	-
		2014	1/10	3.0	2.6	0.0
2015		1/10	4.2	1.6	2.2	
		1/20	4.4	2.7	0.5	
		1/40	4.0	10.9	0.2	
ガスボンベ		2016	480ppm	3.5	4.2	0.2
			720ppm	3.5	5.1	0.4
	960ppm		4.0	2.2	0.2	
	240ppm×2 ⁴		3.9	1.4	1.4	
	360ppm×2 ⁴		3.5	1.8	0.5	
	480ppm×2 ⁴		4.1	1.9	2.0	

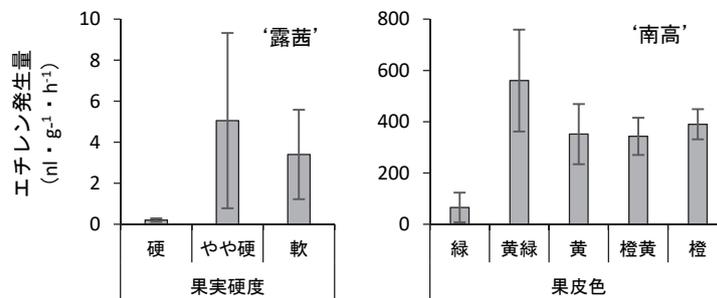
²収穫コンテナ1個あたりの数量

³処理当日に完熟落果した‘南高’果実

⁴処理開始時およびその24時間後に処理

ウメと同様、ニホンスモモもクライマクテリック型果実に分類されるが、果実からのエチレン発生量はウメよりも少ないとされている(久保, 2002)。それらの種間雑種である‘露茜’も自身では内生エチレンをほとんど産生しなかったが(第1図)、人為的なエチレン処理によって急速に追熟が進むことから、分類上はクライマクテリック型の果実である。すでに商業的にエチレン処理による追熟が実施されているキウイフルーツでは、500ppmのエチレンを20時間処理することで果実の自己触媒作用によるエチレン生成が誘導され、数日で追熟できることが示されているが(Whittakerら, 1997)、エチレン生成能力や感受性は植物種・品種によっても大きく異なる(立木, 2007)。本試験で用いたエチレン発生剤は、規格上は1袋あたり約20mlのエチレンを発生するとされている。これは収穫コンテナ中では約360ppmに相当する量であり、追熟効果が安定する4袋(約1440ppm)は、ガスボンベを用いた試験結果と比べてもかなり多い。しかし、この発生剤はエチレンを放出する状態(ピンで袋に穴を開ける)にしたのち、2時間程度で大部分が放出される仕様となっており(データなし)、コンテナをビニル被覆する作業中にも相当量が外気中に放出されていることが予想される。このことが、少ない発生剤量での追熟効果を不安定にしている要因と推測される。‘南高’

黄熟果実から発生するエチレン量は緑色の果実では少なく、やや黄色がかった果実で最も多かった(第1図)。完熟落果直後の果実に相当する黄色果実では2~3時間後における測定で約 $360\text{nl}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ であり、これを1kg、48時間あたりに換算すると約18mlとなる。‘露茜’果実に対して1/20量の‘南高’果実でも追熟が可能であったことは、‘露茜’果実20kgを充填した収穫コンテナ1個あたり1kgの‘南高’果実、すなわち18mlのエチレン(約330ppm)で追熟が可能であることを意味している。これはガスボンベを用いた試験結果よりも少ないが、試験開始時に一度だけエチレンを処理した場合と異なり、果実からは随時少量ずつのエチレンが発生するため、少ないエチレン総量であってもほぼ全ての‘露茜’果実が追熟可能であるものと推察される。このことは、エチレンガスを2回に分けて処理することで比較的少量のエチレンで追熟が可能であったという結果からも支持されるとともに、ビニル被覆中であってもエチレンはビニルを透過し、外気へ徐々に拡散されていることも示している。したがって、‘露茜’果実を追熟する際は、エチレン供給形態や被覆資材のエチレン透過性を勘案して行う必要がある。



第1図 ‘露茜’および‘南高’果実から発生するエチレン量
注) 縦棒は標準誤差を示す(‘露茜’: n=5, ‘南高’: n=3)

2. 大量追熟に適した収穫期判定法の開発

1) 収穫時期と果実の着色程度および追熟後の果実品質の関係

2014年は、気佐藤園の‘露茜’苗木および清川園の高接ぎ樹について、経時的に採取した果実の果実重、果実硬度および着色指数を測定し、追熟後の不完全着色果実の発生率およびアントシアニン含量を調査した。いずれの園地においても、採取が遅くなるほど果実重および着色指数は大きく、果実硬度は小さくなった(第3表)。気佐藤園の苗木において、6月10日に採取した果実では追熟後に10%以上の不完全着色果実が発生したが、6月16日以降に採取した果実では発生は見られなかった。また、追熟果実中のアントシアニン含量は6月13日採取の果実で最も多くなった。清川園の高接ぎ樹においては、初回の6月19日に採取した果実では追熟後の不完全着色果実が27%程度発生し、その後7月1日採取果実まで7%程度の発生が見られた。アントシアニン含量は6月22日採取の果実で最大となった。清川園において果実成熟後期まで不完全着色果実の発生が比較的多く見られたことは、高接ぎ樹の樹冠面積が大きく、同一樹体内でも果実の成熟程度に大きなばらつきがあったためであると考えられる。また、追熟後のアントシアニン含量は全体的に気佐藤園より清川園の方が多かった。アントシアニン含量が最大となって以降、果実重の増大に伴ってアントシアニン含量は減少する傾向にあるが、気佐藤園ではアントシアニン含量が最大となった6月13日採取でも果実重は40gを超えており、清川園に比べて果実重が大きかったことがその一因と考えられる。

大江ら (2016) は 4L 階級までの‘露茜’果実では追熟後のアントシアニン含量に果実サイズによる顕著な差はないことを報告しているが、4L 果実の重量は平均 41g 程度であり、それ以上の果実重に関しては検討されていない。今回の結果は、ウメでは階級区分のないほどに肥大した果実では追熟後のアントシアニン含量は減少することを示唆している。

2014 年の結果を受けて、2015 年には清川園の高接ぎ樹を、果実成熟が比較的早く進むと考えられる樹冠の外層と、成熟が遅れる内層とに区別して調査を行った。前年と同様、いずれの園地・作型においても採取日が遅くなるほど果実重および着色指数は増加、果実硬度は減少した。追熟後の不完全着色果実の発生は、気佐藤園の苗木では 6 月 9 日、清川園の苗木では 6 月 21 日、高接ぎ樹の外層では 6 月 24 日、内層では 6 月 30 日に初めて 5% を下回った。また、追熟果実のアントシアニン含量が最大となったのは、気佐藤園では 6 月 6 日、清川園の苗木と高接ぎ樹外層では 6 月 21 日、高接ぎ樹内層では 6 月 27 日であった。高接ぎ樹を 2 つの層に分けたことで、不完全着色果実の発生は採取開始後比較的早期に減少した。このことは、樹冠の拡大した‘露茜’樹においては、少なくとも 2 度に収穫期を分散させる必要があることを意味している。‘露茜’の苗木は他のウメ品種ほど樹勢が強くなく、樹冠拡大は制限されると言われているが (八重垣ら, 2011)、高接ぎは早期の品種更新のために広く行われており、そのような園地においては収穫時の熟度のばらつきに注意する必要がある。

2) 追熟前の果実品質と追熟後の不完全着色果実発生との関係

2014 年および 2015 年ともに、果実重と着色指数の増加および果実硬度の減少に伴い、追熟後の不完全着色果実の発生は少なくなる傾向にあった (第 2 図)。果実重が 35~40g 程度にまで肥大した果実では、不完全着色果実の発生割合は極端に少なくなった。既報では、階級別に不完全着色果実の発生が調査されており、3L 以上の果実ではその発生割合が少なくなることが報告されている (大江ら, 2017)。35~40g というのは階級でいえば 3L~4L に相当し、本研究の結果は既報とほぼ一致しているといえる。不完全着色果実の発生が少なくなる時期の果実硬度には年次および園地によってやや幅があり、おおむね 1.5~2.0kg の時期であった。既報では果実硬度が 1.3kg 以下になると不完全着色果実の発生が減少することが報告されているが (大江ら, 2017)、本研究の結果を踏まえても、果実硬度と不完全着色果実との関係には年次によるばらつきが大きく、果実硬度は追熟に適した果実熟度の指標としてはやや信頼性に欠けると判断される。また既報では着色指数が 10 以上となる時期から不完全着色果実が減少することにも言及されており (大江ら, 2017)、本研究においても不完全着色果実が比較的多く発生したのは着色指数が 10 未満の果実においてであった。したがって、不完全着色果実の発生を低減するためには、果実サイズと着色に注目し、果実重は 35g 以上、着色指数が 10 以上となった果実を収穫することが有効であることは本研究からも確認された。

3) 追熟前の果実形質と追熟後のアントシアニン含量との関係

2014 年における追熟果実のアントシアニン含量は、果実重および着色指数が増加するほど、また果実硬度が減少するほど 2 次関数的に減少する傾向にあった (第 3 図)。2015 年においては、ややばらつきが大きかったものの、果実重は約 30g、果実硬度は約 2.3kg、着色指数は約 3 のときに最大値となる 2 次曲線で近似された。筆者らは、2011~2013 年の調査において、追熟後の‘露茜’果実のアントシアニン含量が最大となるのは、着色指数が約 10、果実硬度が約 1.5kg となった時期であることを報告している (大江ら, 2017)。本研究でも、着色指数が 10 程度のときはまだアントシア

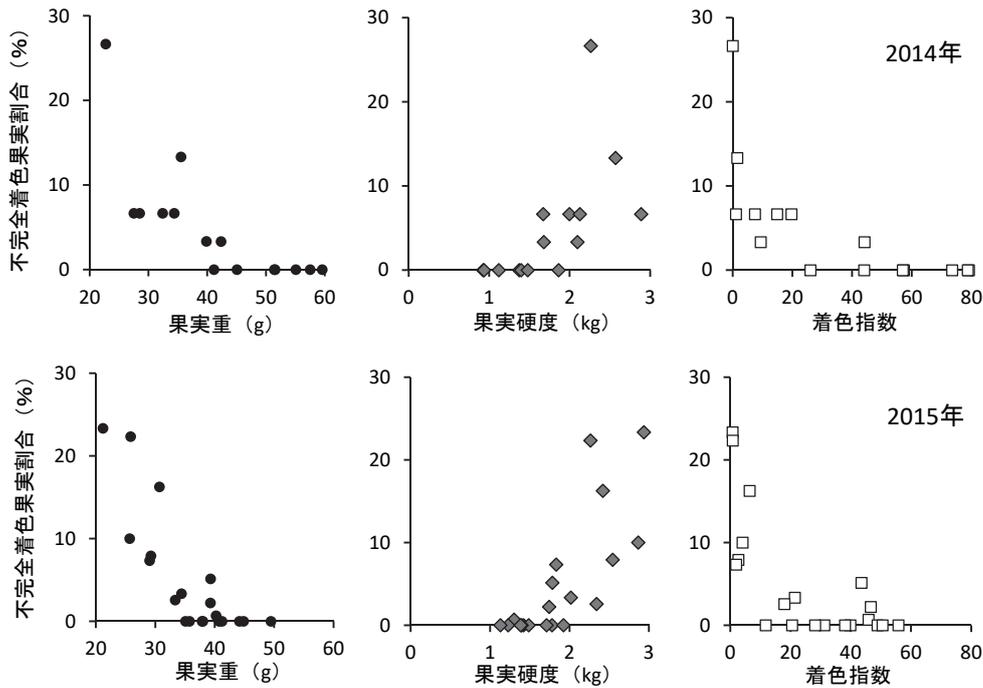
ニン含量もピークに近い値を示すことで既報と整合性が取れているが、果実硬度が 1.5kg のときとなると、かなりピーク時と比べてアントシアニン含量が低い値を示す結果となっている。したがって、不完全着色果実発生の結果と同様、作型や年次によらない普遍的な追熟の適否を判断する熟度指標として果実硬度を用いることは困難であると、本結果からも考えられた。

第3表 各園地における‘露茜’果実採取日と追熟前後の果実品質

年度	園地	苗木／ 高接ぎ	採取日	追熟前			追熟後 ²		
				果実重 (g)	果実硬度 (kg)	着色 指数	不完全着色果実 発生率 (%)	アントシアニン含量 (mg・100g ⁻¹ FW) ³	
2014	気佐藤	苗木	6/10	35.5	2.57	1.5	13.3	15.5	
			6/13	42.3	2.10	9.4	3.3	22.0	
			6/16	45.1	1.86	26.1	0.0	14.8	
			6/19	51.6	1.37	57.3	0.0	11.0	
			6/22	55.1	1.40	73.5	0.0	16.4	
			6/25	59.6	0.93	79.1	0.0	7.9	
			6/28	57.5	0.93	78.7	0.0	4.3	
	清川	高接ぎ	6/19	22.7	2.26	0.0	26.7	18.2	
			6/22	27.5	2.89	1.1	6.7	39.0	
			6/25	28.5	2.00	7.4	6.7	20.2	
			6/28	32.4	2.13	14.9	6.7	21.5	
			7/1	34.4	1.67	19.7	6.7	21.6	
			7/4	39.9	1.68	44.2	3.3	19.2	
			7/7	41.1	1.48	44.0	0.0	21.2	
2015	気佐藤	苗木	6/3	21.2	2.94	0.7	23.3	20.8	
			6/6	25.7	2.87	4.0	10.0	35.3	
			6/9	34.4	2.02	21.4	3.3	23.4	
			6/12	37.9	1.78	39.9	0.0	17.3	
			6/15	40.2	1.30	45.9	0.7	13.8	
	清川	苗木	6/15	25.8	2.26	0.8	22.3	31.6	
			6/18	30.7	2.42	6.4	16.3	32.6	
			6/21	33.3	2.34	17.9	2.6	38.4	
			6/24	39.3	1.78	43.5	5.1	35.9	
			6/27	39.3	1.74	46.6	2.2	31.7	
		高接ぎ (外層)	6/21	29.3	2.54	2.7	7.9	33.2	
			6/24	38.0	1.92	11.7	0.0	29.7	
			6/27	40.7	1.71	31.2	0.0	31.8	
			6/30	44.2	1.42	48.9	0.0	22.8	
			7/3	49.5	1.23	55.8	0.0	22.6	
			高接ぎ (内層)	6/27	29.0	1.83	1.9	7.3	33.1
				6/30	35.7	1.49	20.5	0.0	24.2
				7/3	35.1	1.40	28.2	0.0	30.7
				7/6	41.2	1.39	38.1	0.0	21.0
7/9	44.8	1.13	50.5	0.0	19.5				

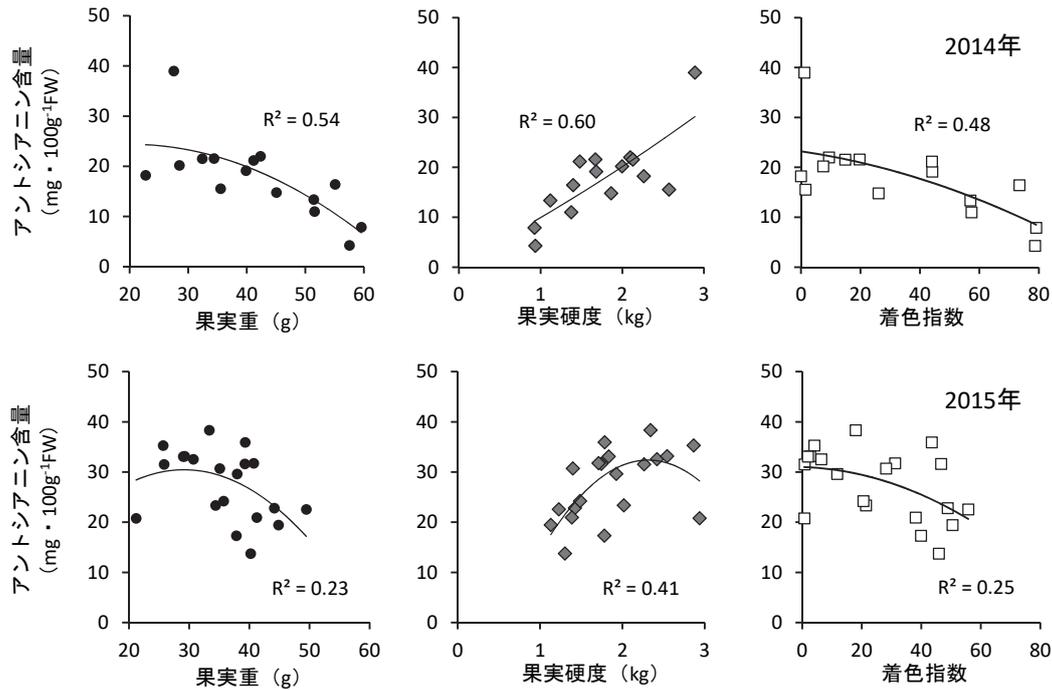
²追熟は 20°C で 4 日間

³アントシアニン含量はシアニジン-3-グルコシドとシアニジン-3-ルチノシドの総和



第2図 追熟前の果実重、果実硬度および着色指数と追熟後の不完全着色果実発生割合との関係

上記の結果から、追熟果実のアントシアニン含量には果実重および着色指数が大きく関与していると考えられた。そこで、これらの2成分をもとに追熟後のアントシアニン含量を予測するモデルを検討するため、アントシアニン含量 ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$) を目的変数 (A)、果実重 (g) および着色指数を説明変数 (それぞれ x および y) にした重回帰分析を行った。その際、アントシアニン含量の変動は非線形であるため、次数を2とした回帰式 $A = a_1 x^2 + a_2 xy + a_3 y^2 + a_4 x + a_5 y + a_6$ を用い、最小二乗法により係数の決定を行った。その偏回帰係数および、各項の寄与率となる標準偏回帰係数を第4表に示す。この結果からは、着色指数よりも果実重の方が寄与率は大きいことが読み取れるが、さらにそれよりも果実重と着色指数の交互作用が与える影響が大きいことを示している。この回帰式による予測値と実測値を比較したところ、決定係数 (R^2) は0.51となった(第4図)。したがって、予測精度は決して高くはないものの、おおよそのアントシアニン含量の予測に耐えうる水準の回帰式であることは示された。なお、本回帰式を偏微分することによってアントシアニン含量が最大値となるときの各変数を求めると、果実重が30.1g、着色指数が1.42のとき、アントシアニン含量が最大で $31.1\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ となる。ただし、各変数がこれらの値を示す時期は、まだ多くの不完全着色果実の発生が懸念される熟度であるため、実際にはもう少し果実サイズが大きく、着色の進んだ果実を収穫することが理想と考えられる。仮に果実重を35gに固定すると、着色指数が40程度まで進んだとしても、 $20\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ 程度のアントシアニン含量は期待できることになる。このためには、収穫期において果実重が35g程度(3L級)となる果実を安定して生産する技術が必要となる。これまでに、‘露茜’の着果安定のための受粉対策技術や整枝せん定技術も講じられてきており(下ら, 2017; 竹中, 2016; 竹中ら, 2013), それらも含めた総合的な技術結集が安定供給には必要である。

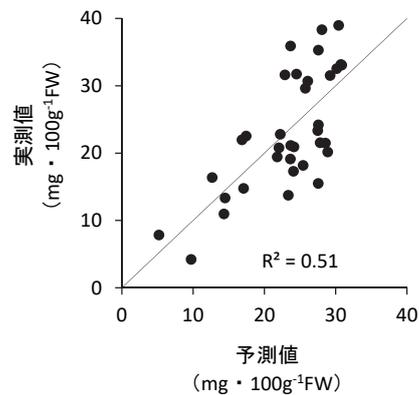


第3図 追熟前の果実重、果実硬度および着色指数と追熟後のアントシアニン含量との関係

第4表 重回帰分析における各項の係数²

	偏回帰係数	標準偏回帰係数
a ₁	-0.121	-10.716
a ₂	0.059	21.193
a ₃	-0.007	-1.405
a ₄	7.178	7.878
a ₅	-1.943	-1.303
a ₆	-75.383	-

² 目的変数をアントシアニン含量 (A), 説明変数を果実重 (x) および着色指数 (y) とし,
 $A = a_1x^2 + a_2xy + a_3y^2 + a_4x + a_5y + a_6$ を用いて回帰分析



第4図 回帰式によるアントシアニン含量の予測値と実測値との関係

4) 追熟前の果皮色に基づいた追熟用果実収穫期の判断基準

上記の結果より、果実重と着色指数をもとにして追熟の効果を判断できることが示されたが、着色指数は詳細な観察とやや複雑な算出方法によって導き出される値である。収穫時にこの値を生産者が瞬時に評価することは困難であるため、より簡易な判断指標として、着色指数に基づいて果実外観を7段階(0~6)に分類してカラー写真で示した収穫指標を作成した(第5図)。古くから果実の収穫期判断には果実の特定部位の色を単色で段階的に示したカラーチャートが用いられてきた(山崎・鈴木, 1980)。ウメ‘南高’においても梅酒品質に影響する熟度を示したカラーチャートが開発されているほか(大江ら, 2014), ニホンスモモ‘サマーエンジェル’では果皮の赤色着色に基

づいたカラーチャートも実用化されている（富田ら，2013）．しかし，今回用いた‘露茜’の熟度は特定の部位の色ではなく，果実によっても着色部位の異なる赤色の変化を捉えたものであるため，単一の標準色ではなく果実外観全体の写真で示すこととした．同様の写真による熟度指標は，同じくニホンスモモとウメの種間雑種である‘紅の舞’でも開発されているが（平井ら，2013），追熟前後の対比を示したものは本報告が初めてである．本研究で開発した‘露茜’の指標区分でいえば，指標0（着色指数0～10）の果実では追熟しても不完全着色果実の発生が多くなることを示しており，指標1～3（着色指数10～40）の果実が追熟後に比較的多くのアントシアニンを確保できる範囲であることを示している．したがって，生産者に対しては本指標を参考に指標1～3での収穫を推奨することが適当と考えられる．本指標は当研究所発行の管理マニュアルにも掲載して配布し，広く普及を推進しているところである（和歌山県果樹試験場うめ研究所，2016）．今後はさらなる生産拡大に向けた追熟処理の効率化や，出荷時期調整のための収穫果実の貯蔵性評価試験なども実施する必要がある．



第5図 追熟前の果皮色および追熟後の果肉色を示した収穫指標

摘要

本研究では，収穫コンテナを用いた‘露茜’果実の大量追熟技術を開発するとともに，追熟に適した生産者向けの収穫期判断基準を提示するため，果皮色に基づいた簡易な熟度指標を作成した．

1. 収穫コンテナにエチレン発生剤を入れてビニル被覆することによって‘露茜’果実を追熟することができ，そのときのビニル被覆期間は2日が最適であることを明らかにした．
2. 収穫コンテナを用いた‘露茜’果実の追熟におけるエチレン発生資材は，エチレン発生剤では4袋以上，‘南高’落下果実では‘露茜’の1/20量以上，エチレンガスを注入する際は960ppm以上もしくはより少ない量を複数回に分けて処理することが適切であると判断された．
3. 果実重35～40g，着色指数10程度の果実を追熟すると，不完全着色果実の発生が少なく，アントシアニン含量も高まることが確認された．
4. 着色指数に基づくカラー写真の収穫指標を作成した．

本研究の実施にあたり，収穫作業および果実品質調査に協力いただいた紀州農業協同組合およびみなべ町役場の関係諸氏と，園地の使用を快諾していただいた株式会社池田土木および山本茂氏に深く感謝の意を表す．

引用文献

- 赤木知裕・大崎秀介・有田 慎・三宅英伸・根来圭一・末原慎也・佐藤尚也・仲 幸彦・松川哲也・三谷隆彦. 2011. 梅果実の紅色色素に関する研究. 農化講演集: 237.
- 羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり・檜村芳記. 2009. 硬肉タイプのモモを軟化させるための簡便なエチレン処理方法. 日食保蔵誌. 35: 235-240.
- 平井一幸・吉岡正明・佐藤正義・北爪雅恵. 2013. ウメ品種「紅の舞」の人工受粉とカラーチャートを利用した効率的な収穫法. 群馬農技研報. 10: 57-63.
- 久保康隆. 2002. 収穫後の果実の取り扱い. P.195-217. 水谷房雄ら著. 最新果樹園芸学. 朝倉書店. 東京.
- Kubo, Y., A. Inaba and R. Nakamura. 1989. Effects of high CO₂ on respiration in various horticultural crops. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58. 731-736.
- Lelièvre, J. M., A. Latchè, B. Jones, M. Bouzayen and J. C. Pech. 1997. Ethylene and fruit ripening. Physiol. Plant. 101: 727-239.
- 農林水産省. 2016. 作況調査 (果樹).
- 大江孝明・岡室美絵子・根来圭一・北村祐人・小西博文・原 大輔. 2014. ウメ‘南高’果実の収穫適期把握のためのカラーチャートの開発. 和歌山農林水研報. 2: 115-124.
- 大江孝明・竹中正好・北村祐人・根来圭一・岡室美絵子・土田靖久. 2017. アントシアニン増量のための追熟に適したウメ‘露茜’果実の収穫指標. 和歌山農林水研報. 5: 91-98.
- 大江孝明・竹中正好・根来圭一・北村祐人・松川哲也・三谷隆彦・赤木知裕・古屋挙幸・岡室美絵子・土田靖久. 2016. ウメ‘露茜’果実の追熟条件がアントシアニンの蓄積とその他機能性成分含量に及ぼす影響. 園学研. 15: 439-444.
- 大江孝明・竹中正好・櫻井直樹・根来圭一・古屋挙幸・岡室美絵子・土田靖久. 2013. ウメ‘露茜’果実の熟度と着果条件がアントシアニンの蓄積およびその他の機能性成分含量に及ぼす影響. 園学研. 12: 411-418.
- 下 博圭・竹中正好・北村祐人・佐原重広・川村 実. 2017. ウメ‘露茜’の安定生産のためのせん定法の確立. 和歌山農林水研報. 5: 99-105.
- 総務省. 2016. 家計調査.
- 竹中正好. 2016. ウメ「露茜」の早期多収生産および高品質果実の供給技術. P.61-65. 果実日本. 71. 日本園芸農業協同組合連合会. 東京.
- 竹中正好・佐原重広・大江孝明・北村祐人. 2013. ウメ‘露茜’に適した授粉品種の選定. 園学研. 12 (別2): 108.
- 立木美保. 2007. エチレンによる果実の成熟・老化制御機構. 果樹研報. 6: 11-22.
- 富田 晃・萩原栄揮・鈴木文晃・串田賢一. 2013. スモモ‘サマービュート’および‘サマーエンジェル’の収穫適期の把握と専用カラーチャートの開発. 山梨総合理工学研報. 8: 63-66.
- 和歌山県果樹試験場うめ研究所. 2016. ウメ「露茜」の早期多収生産及び高品質果実供給技術栽培管理マニュアル.
- Whittaker, D. J., G. S. Smith and R. C. Gardner. 1997. Expression of ethylene biosynthetic genes in *Actinidia chinensis* fruit. Plant Mol. Biol. 34: 45-55.

-
- 八重垣英明・山口正己・土師 岳・末貞佑子・三宅正則・木原武士・鈴木勝征・内田 誠. 2012. ウメ新品種‘露茜’. 果樹研報. 13 : 1-6.
- 山口正己・八重垣英明・末貞佑子・土師 岳・三宅正則・内田 誠. 2008. ウメ新品種‘露茜’. 園学研. 7 (別1) : 299.
- 矢野昌充・長谷川美典. 1993. キウイフルーツの収穫後における自己触媒的なエチレン生成の特徴について. 園学雑. 62 : 625-632.