光質の相違がイヨカン果実の品質に及ぼす影響

渡部潤一郎¹・門屋一臣²

¹ 愛媛大学農学部附属農場 799-24 北条市八反地伊利

² 愛媛大学農学部 790 松山市樽味三丁目

Coloring of Iyo Fruit as Affected by Spectral Quality of Light

Junichiro Watanabe¹ and Kazuomi Kadoya²

¹ *Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Ehime University, Hojo, Ehime 799-24*

² *Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790*

Summary

To study the basis of pigment formation in Iyo fruit, the effect of spectral quality of light on color development was examined. In the first experiment, white, yellow, pink, red, blue, and violet cellophane bags were used. Fruit of 'Miyachi' Iyo were bagged on 2 August and 1 September and kept covered until they were harvested on 9 Jan. The harvested Iyo fruits were used for the second experiment. On 13 January, the uncovered fruits were irradiated with a 100 W mercury vapor lamp. The spectral quality of the lamp was red (600 to 700 nm).

1. Results of the August bagging revealed that the unbagged control fruit had the highest "a" value; fruits in the white or yellow bags had intermediate "a" values, whereas, those in the blue, red, and violet had the lowest values. The light intensities in the white and yellow bags were higher than were those in the pink bags; the light intensities in the blue, red, and violet bags were lowest and the color development of the fruit within was poorest. In the autumn bagging experiment, fruit color was most intense in the red bags.

2. Red light irradiation promoted pigment formation in stored fruit. Color development tended to highest at the stem end area of the fruit where light impinged on the surface directly; it was intermediate in the equatorial area and lowest at the stylar end.

3. Sugar content in the peel increased in response to the irradiation. Among the sugars, increase in sucrose was greatest.

4. Our results stress that red light irradiation with a 100 W mercury vapor lamp is useful for promoting color development of Iyo fruit during storage.

緒 言

イヨカン果実の着色はウンシュウミカンの果実の着色と同じように果実の品質評価に際して、重要な役割を果たす。カンキツ果実の着色については、光、温度、湿度などの環境要因が大きく関与していることが、多数報告されている(2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17)。このうち、光要因に関する報告は果実が生長している段階でのものが多く(5, 6, 7, 9, 13, 14)、貯蔵中の果実に対する光要因の関与についての報告は少ない。特に、「宮内」イヨカンについてはわずかに別府ら(2)の報告があるに過ぎない。

岩垣・工藤(5)はウンシュウミカン樹冠内の照度とウンシュウミカン果実の着色について、相対照度が50%以下になると着色が非常に抑えられることを指摘した。また、白石(13)は照度のみならず光質も果実の着色には影響することを報告している。「宮内」イヨカンの果実でも着色問題は栽培上の大きな課題であり、貯蔵期間中における着色の増進が強く望まれている。そこで、まず樹上の果実について照度と光質の影響を調べるとともに、貯蔵中の果実についても光照射が着色に及ぼす影響について調査した。本報告はその成果をとりまとめたものである。

材料および方法

10年生ウンシュウミカン樹に‘宮内’イヨカンを高接ぎして20年経過した樹を供試した。樹上の果実について照度と光質の影響を見るために、果実にセロハン紙の袋を掛けた。セロハン紙袋の種類は赤色、桃色、黄色、青色、紫色および白色の6種類とした。袋掛けをしていた期間は1987年8月2日から収穫時の12月16日までと、9月1日から収穫時までの2通りとした。セロハン紙袋は無底として、袋内の温度が対照区の果実温度となるべく差のないようにした。袋内の果実表面温度は熱電対で測定した。また、果実の肥大に伴って、袋の掛け替えを一度行った。

色調は収穫直後の12月19日にデジタルカラーメーター（東京電色 TC 360 OP 型）で測定した。袋内の照度の測定には光電池照度計（東京光学 KK 製 SPI-5 型）を使用した。

貯蔵果実についてはイヨカンを用いた。すなわち、1986年1月9日、57年生イヨカンの樹から収穫し、貯蔵箱に入れて1月13日ユニット型低温貯蔵庫に置いた。庫内の温度は10℃にした。果実は果梗部を上にして並べ、1区10果を使用して4反復で試験を行った。光照射にはハイビーム水銀灯（松下電工製）100 W（HF 100 X）を用い、果実の上1 mの距離から連続照射した。なお、対照の果実は暗所に置いた。果面温度や気温は熱電対を用いて測定した。果実の色調測定はデジタルカラーメーターで2月17日から3月27日にかけて3回行った。なお、相対湿度については80%に保った。

果皮および果汁中の糖と有機酸の分析には日立製 635 A 型の液体クロマトグラフを使用して4反復行った。すなわち果汁は1.2 μ mの薄膜フィルターでろ（濾）過し、

糖はそのまま、また有機酸は10倍に希釈して液体クロマトグラフに注入した。一方果皮は80%MeOHを加えてホモジナイズしたのち、湯煎器に1時間かけて抽出し、その後、エバポレータでMeOHを蒸発し、さらにZnSO₄・Ba(OH)₂で除タンパクしたのちエバポレータで水分を除き、1.2 μ m 薄膜フィルターで濾過し、糖はそのまま、有機酸は10倍に希釈して注入した。

実験結果

1. 各種の色紙製の袋掛けが果実の着色に及ぼす影響

紙製の袋掛けをすると果実内の照度は低下する。第1表は紙袋の色の相違が袋内の照度と果面温度に及ぼす影響を見たものである。白色と黄色はやや照度が低下するのみであるが、桃色になると相対照度が対照区の40%になる。赤色と青色になると20%以下となる。紫色が一番照度が低い。果面温度は午前中は袋掛け区の温度が対照区よりも低いのが午後になると反対に高くなる。

12月19日の収穫時に果面の色調測定をした結果を第2、3表に示す。夏季の袋掛けでは最も照度の低かった紫色区でa値が低い。ついで青色区のa値が低かった。一方、初秋季の袋掛けでは赤色区と青色区の相対照度がほとんど変わらなかったにもかかわらず、a値において大きい違いを示したことは注目に値する。さらに、桃色区は照度では赤色区よりも高かったにもかかわらず、a値では低い傾向が認められ、光の波長の相違が着色に影響を及ぼしていることが分かる。

第4、5表は袋掛けがa/b値に及ぼす影響を示す。a値と同様な傾向が認められ、赤色区や黄色区は対照区とほとんど変わらなかったのに対して、青色区や紫色

Table 1. Light intensity and temperature of the fruit surface as affected by enveloping fruits with colored cellophane bags.

Time	10 AM		3 PM	
Treatment	Light intensity (Klux)	Temp. of fruit surface (°C)	Light intensity (Klux)	Temp. of fruit surface (°C)
Control ^z	134	29.9	99	26.8
Red	18	22.6	16	27.9
Pink	54	22.8	37	27.4
Yellow	115	22.9	88	27.8
Blue	24	21.9	19	27.9
Violet	7	23.9	6	28.0
White	125	22.1	99	26.3

Mean temperatures and light intensities of the fruit surface measured on 2 December and 27 February.

^z Unbagged.

Table 2. “a” value of the peel as affected by enveloping fruits with colored cellophane bags in summer.

Treatment	Part of the fruit		
	Stylar end	Equatorial	Stem end
Control ^z	27.67 b	29.00	23.54 b
Red	24.35 ab	28.32	20.47 ab
Pink	24.34 ab	28.44	21.40 ab
Yellow	27.87 b	29.47	23.82 b
Blue	22.49 ab	25.35	18.76 a
Violet	19.71 a	25.34	17.36 a
White	27.12 b	28.90	22.81 b

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05. The “a” value was measured on 19 December.

^z Unbagged.

Table 3. “a” value of the peel as affected by enveloping fruits with colored cellophane bags in early autumn.

Treatment	Part of the fruit		
	Stylar end	Equatorial	Stem end
Control ^z	29.74 cd	29.16 ab	25.07 bc
Red	31.50 d	30.28 b	25.38 bc
Pink	27.86 bc	29.72 b	25.97 c
Yellow	30.60 d	30.10 b	24.04 bc
Blue	26.35 ab	27.67 a	22.08 ab
Violet	24.68 a	27.66 a	20.06 a
White	29.82 cd	30.26 b	24.58 bc

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05. The “a” value was measured on 19 December.

^z Unbagged.

区は低い a/b 値であった。

以上の結果から照度の低下は着色を抑えるが、赤色区は着色を促すといえる。

2. 赤色光の照射が果実の着色に及ぼす影響

1) 果面温度：果実の着色には温度要因も関係するものと考えられるが、今回の実験では第6表のとおり対照区と照射区の果面温度の間にはあまり差がなかった。

2) a 値 と b 値：収穫直後の果実はいずれも濃緑色であったが、2月17日になると明らかに赤色光の照射区でa値が高くなっている(第7表)。この傾向は3月6日の測定においても認められた。しかし、3月27日になると対照区のa値の高まりが顕著となり、照射区との間にほとんど差がなくなった。また、b値は照射区で低くクロフィルの分解が進んだことを示している(第8表)。

果実の部位別にa値やb値と照射との関係を見ると、果梗部と赤道部で照射の影響が最も強く現れて

Table 4. “a/b” value as affected by enveloping fruits with colored cellophane bags from 2 August to 16 December.

Treatment	Part of the fruit		
	Stylar end	Equatorial	Stem end
Control ^z	0.99 b	0.97	0.86 b
Red	0.82 ab	0.94	0.73 ab
Pink	0.83 ab	0.94	0.80 ab
Yellow	0.93 b	0.97	0.86 b
Blue	0.73 a	0.83	0.68 a
Violet	0.67 a	0.84	0.69 a
White	0.94 b	0.96	0.84 ab

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05. The “a/b” value was measured on 19 December.

^z Unbagged.

Table 5. “a/b” value as affected by enveloping fruits with colored cellophane bags from 1 September to 16 December.

Treatment	Part of the fruit		
	Stylar end	Equatorial	Stem end
Control ^z	1.08 cd	1.00 abc	0.98 bc
Red	1.13 d	1.04 bc	1.09 c
Pink	0.98 b	1.00 abc	0.94 b
Yellow	1.08 cd	1.05 c	0.87 ab
Blue	0.88 a	0.93 a	0.79 a
Violet	0.87 a	0.95 ab	0.77 a
White	1.04 bc	1.01 abc	0.90 ab

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05. The “a/b” value was measured on 19 December.

いる。すなわち光照射によってa値は高く、b値は低くなっている。そのため、a/b値も光照射区で果梗部と赤道部で高くなった(第9表)。

3. 光照射が果皮と果汁の糖含量に及ぼす影響

果皮と果汁中の糖含量を第10表に示す。主な糖組成はショ糖、ブドウ糖および果糖であるが、果汁中にはショ糖が多く、果皮中ではブドウ糖や果糖がショ糖よりも多い。

光照射によって果皮中の糖含量が著しく高くなった。特にショ糖の増加が著しい。糖の組成別に見ても、いずれの糖も例外なく照射区で高かった。

一方、果汁中の糖含量は光照射によってやや高くなる傾向が認められるものの、統計処理の結果は有意でない。組成別に見てもその傾向は変わらない。

Table 6. Temperature (°C) changes on the fruit surface throughout the red light irradiation treatment.

Time	Treatment	January			February					March			
		17	23	29	4	10	16	22	28	6	12	18	24
6 AM	Control ^z	7.0	8.3	7.3	7.0	6.2	8.2	7.8	6.9	8.1	10.4	10.5	9.6
	Irradiated	7.9	9.3	8.3	8.0	7.2	9.4	8.9	7.7	8.8	11.0	11.1	10.2
4 PM	Control ^z	8.5	9.0	8.1	7.5	7.2	8.8	9.0	7.7	9.3	11.5	10.7	10.7
	Irradiated	9.3	10.0	9.0	8.5	8.0	9.7	9.6	8.5	9.8	12.1	11.1	11.1

^z Not irradiated.**Table 7.** "a" value of the peel as affected by red light irradiation of 600 to 700 nm in wave length.

Part of the fruit	17 Feb.		6 March		27 March	
	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated
Stylar end	19.57 ± 0.57	22.57 ± 0.98*	26.89 ± 0.18	30.75 ± 0.35**	29.70 ± 0.43	30.29 ± 0.49
Equatorial	23.08 ± 0.32	27.50 ± 0.57**	29.74 ± 0.33	34.67 ± 0.16**	32.89 ± 0.21	33.43 ± 0.33
Stem end	22.49 ± 0.36	27.77 ± 0.12**	29.36 ± 0.38	32.34 ± 0.47**	31.76 ± 0.24	31.97 ± 0.44

*, **: Significant at P=0.05 or 0.01, respectively.

^z Not irradiated.**Table 8.** "b" value of the peel as affected by red light irradiation of 600 to 700 nm in wave length.

Part of the fruit	17 Feb.		6 March		27 March	
	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated
Stylar end	28.61 ± 0.56	27.91 ± 0.19	26.95 ± 0.39	25.40 ± 0.15*	24.72 ± 0.37	23.40 ± 0.41*
Equatorial	27.92 ± 0.25	26.62 ± 0.16**	26.45 ± 0.12	24.29 ± 0.22**	24.26 ± 0.14	22.30 ± 0.21**
Stem end	26.99 ± 0.03	24.78 ± 0.12**	25.66 ± 0.22	22.41 ± 0.40**	23.31 ± 0.28	21.12 ± 0.28**

*, **: Significant at P=0.05 or 0.01, respectively.

^z Not irradiated.**Table 9.** "a/b" value of the peel as affected by red light irradiation of 600 to 700 nm in wave length.

Part of the fruit	17 Feb.		6 March		27 March	
	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated	Control ^z	Irradiated
Stylar end	0.68 ± 0.02	0.81 ± 0.03*	1.00 ± 0.03	1.21 ± 0.01**	1.20 ± 0.01	1.29 ± 0.02**
Equatorial	0.83 ± 0.02	1.03 ± 0.03**	1.13 ± 0.01	1.43 ± 0.01**	1.03 ± 0.32	1.52 ± 0.02**
Stem end	0.83 ± 0.01	1.12 ± 0.01**	1.14 ± 0.02	1.43 ± 0.02**	1.36 ± 0.03	1.51 ± 0.01**

*, **: Significant at P=0.05 or 0.01, respectively.

^z Not irradiated.**Table 10.** Sugar content^z in the peel as affected by red light irradiation of 600 to 700 nm in wave length.

Part of the fruit	Treatment	Sucrose	Fructose	Glucose	Total sugar
Peel	Control ^y	0.83 ± 0.07	2.16 ± 0.06	2.95 ± 0.11	5.93 ± 0.16
	Irradiated	1.78 ± 0.02**	2.67 ± 0.09**	3.81 ± 0.14**	8.25 ± 0.23**
Juice	Control ^y	6.29 ± 0.20	2.19 ± 0.05	2.32 ± 0.05	10.80 ± 0.70
	Irradiated	6.66 ± 0.18	2.30 ± 0.09	2.40 ± 0.09	11.36 ± 0.27

**: Significant at P=0.01.

^z % of fresh weight basis.^y Not irradiated.

Table 11. Acid content² of the fruit as affected by red light irradiation.

Part of the fruit	Treatment	Citric acid	Malic acid
Peel	Control ¹	0.084 ± 0.016	0.363 ± 0.073
	Irradiated	0.125 ± 0.019	0.400 ± 0.017
Juice	Control ¹	2.234 ± 0.077	0.084 ± 0.005
	Irradiated	2.506 ± 0.076*	0.153 ± 0.036

*: Significant at P=0.05.

² % of fresh weight basis.¹ Not irradiated.

4. 光照射処理が果皮と果汁の酸含量に及ぼす影響

イヨカン果実の主な有機酸組成はクエン酸とリンゴ酸であるが、果皮ではリンゴ酸がクエン酸より多いのに対して、果汁ではクエン酸が有機酸のなかで大半を占める。

光照射によって果皮、果汁いずれも有機酸含量が高くなった(第11表)。

考 察

果実は着果位置によって果皮色に差がある。照度の低い樹冠の内部では着色が悪い。樹の外周部に結果した果実は一般に着色が良好であるが、直達光の当たる果面では川野ら(6, 7)の指摘するように果皮の着色がよくない場合がある。また、白石ら(14)によると赤色の袋掛けをした果実は着色が良好となるが、黒色では着色が悪い。青色と白色はその中間であったという。本実験においても初秋季から収穫時まで赤色のセロハン紙袋を掛けた果実の着色は非常に進んだ。しかし果実の発育段階がもっと早い時期から袋掛けをしても果実の着色は必ずしもよくなりず、むしろ袋掛けをすることによる照度の低下が着色にはマイナスとなっている。しかし、果実の発育が進んでカロチノイドが集積する段階になると光の波長の影響が強くてくるようである。

着色には温度要因も関係するものと考えられる。しかし今回貯蔵中における光照射実験では100 Wの水銀灯を果実上方1 mの距離から照射したところ、果面温度は対照区と光照射区の果実間であまり差がなかった。したがって、本実験においては温度要因による着色への影響は、光照射区でも特に考慮する必要はないであろう。

光照射に際して光質は強く着色に影響を及ぼす。今回の調査では、光照射に際して果梗部を上にして果実

を並べていたので、a 値は果梗部周辺で一番高くなった。次いで赤道部の a 値が高かった。一般に見られる果実の着色進行の過程は果頂部で最も早く、逆に果梗部で遅れる傾向にあるといわれている(15)。本実験において光照射区の果実で果梗部の a 値が高いことは、赤色光が着色に強く影響したものと考えられる。光合成速度に対しては、波長 600 ないし 680 nm の赤色光域が最も効果的であり、400 ないし 500 nm の青色光域はその半分以下であるといわれている(1)。着色の促進に対しても光合成と同様に光質の相違による影響が認められたことは興味深いことである。白石(13)も生育期間中のウンシュウミカン果実について波長 600 nm 以上の光はそれより波長の短い光よりも着色を促進する効果が高いと報告している。

クロロフィルが分解しただけでは果実はオレンジ色には着色しない。イヨカンにおける a 値の増加にはカロチノイドの増加が前提となる。カロチノイドの生成には必ずしも光を必要としないとの指摘(12)があるが、組織中に糖が蓄積していることがカロチノイドの生成を促進するうえで大切であることも報告されている(13)。本実験において光照射区の果実の a 値が高かったのは、果皮の糖が増加したことによってカロチノイドの生成を促したものと推察される。したがって、糖の集積とカロチノイドの生成集積との関係について今後さらに究明する必要がある。また、光照射処理による酸含量の変化についても、呼吸などとの関連について検討する必要がある。

摘 要

1987 年の 8 月 2 日と 9 月 1 日から 12 月 16 日の収穫期までの間、赤色、白色、黄色、青色および紫色のセロハン紙の袋を「宮内」イヨカンの果実に掛け、果実の着色に及ぼす影響を調査した。

また、1986 年 1 月 9 日に収穫したイヨカンの果実を供試して、1 月 13 日から 3 月 27 日までの間、100 W の水銀灯を照射し赤色光域の光照射が果実の着色や糖、酸含量に及ぼす影響を調査した。

1. 夏季の 8 月 2 日に袋掛けした果実は、照度の高い白色や黄色区で対照区と同様に着色が進んだ。袋内の相対照度の低い青色、赤色および紫色区では着色が抑えられた。しかし、初秋季の被袋では赤色区の果実の着色が促進され、紙袋の色の相違による差が認められた。

2. 赤色光域の光を果実に照射することによって着色が促進された。特に、直接光の当たった果梗部で最

も着色が進んだ、次いで赤道部であった。

3. 光照射によって果皮の糖含量が増加した。特に、ショ糖の増加が著しかった。

4. 以上の結果から貯蔵中におけるイヨカン果実の着色を促すには、100 W の水銀灯を照射することもある有効な手段であるといえる。

謝 辞 本学の松本和夫教授に本稿の校閲をいただいた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

1. 青木幹雄, 1984. 各種作物の光質反応. p. 120-122. 稲田勝美編著, 光と植物生育—光選択利用の基礎と応用—, 養賢堂, 東京.
2. 別府英治・石田善一・渡部悦也・大和田 厚・向井 武, 1979. 伊予柑の予措・貯蔵方法に関する研究. 愛媛果試研報, 7: 1-18
3. C. W. Coggins, Jr., A. E. Hall and W. W. Jones. 1981. The influence of temperature on regreening and carotenoid content of the 'Valencia' Orange Rind. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 251-254.
4. 長谷川美典・伊庭慶昭, 1983. カンキツ類の貯蔵に及ぼす温度の影響. I. 果皮色に及ぼす影響. 果樹試報, B 10: 119-128.
5. 岩垣 功・工藤和典, 1977. 温州密柑の樹形に関する研究. 第4報. 着果位置と品質に関する研究. 四国農試報, 30: 17-23.
6. 川野信寿・白石利雄・紫 茂, 1980. 宮内伊予柑の果実品質に関する試験. 園芸学会九州支部発表要旨: 18.
7. 川野信寿・小原 誠・紫 茂・財前富一, 1982. 宮内伊予柑の品質向上に関する研究. (第1報). 果皮色の退色について. 園芸学会九州支部発表要旨: 25.
8. 栗原昭夫, 1973. 制御環境下における温州ミカン果実の生長反応. III. 秋季における昼夜温度日較差が果実の發育ならびに着色, 品質に及ぼす影響. 園学雑, 42: 13-21.
9. 栗山隆明, 1988. ウンシュウミカンの品質改善に関する研究. 福岡農総試特別報告, 2: 1-135.
10. 牧田好高, 1987. ウンシュウミカンの予措温度条件と貯蔵果の品質. 農流技研会報, 96: 1506-1509.
11. 新居直祐・原田公平・門脇邦泰, 1970. 温度が温州ミカンの果実の肥大ならびに品質に及ぼす影響. 園学雑, 39: 309-317.
12. 大谷俊二, 1985. 紅葉の化学. 化学と生物 23: 701-708.
13. 白石真一, 1972. カンキツ果実の着色に関する研究. 福岡園芸試特別報告, 2: 1-53.
14. 白石利男・佐藤瑞穂・三股 正・佐藤 隆, 1985. 宮内伊予柑の樹上越年に関する研究. 袋掛け越年果の品質向上効果とその貯蔵性. 園学要旨, 昭60秋: 436-437.
15. 高木敏彦・増田幸直・大西智子・鈴木鉄男, 1989. ウンシュウミカンの果皮中の糖, N レベルが着色に及ぼす影響. 園学雑, 58: 575-580.
16. 宇都宮直樹・山田 寿・片岡郁雄・苦名 孝, 1982. ウンシュウミカン果実の成熟に及ぼす果実温度の影響. 園学雑, 51: 135-141.
17. Young, L. B. and L. C. Erickson. 1961. Influence of temperature on color change in Valencia oranges. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 78: 197-200.