

## カンキツ類における日焼け果の発生要因の解明と軽減対策

兼常 康彦\*・世良 友香・西岡 真理

Studies on the Mechanism of Sunscald Occurrence and its Mitigation in Citrus Fruit

KANETSUNE Yasuhiko, SERA Tomoka and NISHIOKA Mari

Abstract: There is growing concern that damages such as sunscald on citrus fruit can be exacerbated by increased global warming. To decrease the intensity and the frequency of occurrence of such damages, the mechanism of sunscald formation in citrus fruit was investigated. The following observations were made. Firstly, the fruit surface temperature and transpiration rate of sunscalded fruit were higher than those of normal fruit. Secondly, upon heating the fruit surface by electrical wires, the intensity of sunscald occurrence increased with fruit maturation; sunscald happened when the fruit surface was heated to 45 °C for more than 1 h in August, and to 40 °C for more than 3 h, or to 45 °C for more than 1 h in September. In addition, sunscald occurred at a high level on the citrus cultivar, 'Setomi,' when its leaf water potential was maintained between -0.7 MPa and -0.9 MPa during late July to the middle of September. On the contrary, the sugar content and coloration of the fruit improved when the tree was kept hydrated (-0.5 MPa to -0.7 MPa) from late July to the middle of September and dried (-0.7 MPa to -0.9 MPa) from the middle of September to November. Mitigation measures were also investigated, and it was found that fruit sprayed with calcium carbonate had less sunscald, and the effective timing of the chemical's application was late July and the middle of August. The white stain of calcium carbonate on the fruit is removable by washing and brushing in the packinghouse lines. Also, the use of tetoron bags on fruits proved to be an effective mitigation measure, and offered the highest rate of protection from sunscald. In addition, attaching cloth masking tapes on the fruit was also effective for the prevention of sunscald and it did not leave any adhesive on the fruit's surface.

Key Words: calcium carbonate, stoma, transpiration, leaf water potential

キーワード: 炭酸カルシウム、気孔、蒸散、葉内最大水ポテンシャル

### 緒言

カンキツ果実の日焼けは 8~9 月にかけて発生し、特に極早生および早生ウンシュウミカンに多い果皮障害の一つである。日焼けの主要因は、日射による高温であることが知られている(真子, 1982)。

気候変動監視レポート 2018 (気象庁, 2019) によると、世界の年平均気温は上昇しており、上昇率は 100 年あたり 0.73°C、日本では 1.21°C と報告されている。下関地方気象台の周防大島町安下庄におけるアメダスデータを筆者らが分析すると、1978 から 2013 年までの期間で年平均気温は上昇の傾向が認められ、1984 から 2013 年までの 30 年間で 10 年毎に平均すると、最近 10

年 (2004~2014 年) の月別平均気温については特に 7~10 月が平年 (1981-2010 年) と比較して 0.5~0.9°C 高い。杉浦ら (2009) は、温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術について報告している。その中で、果樹では柑橘を含めてほとんどの樹種で日焼けなどの問題が顕在化しており、果樹は永年性作物であることと経済樹齢が長いことから他の作物と比べて温暖化の影響が著しいと述べている。今後、さらなる温暖化による夏季の高温が予想されるなか、被害の拡大が見込まれる。そこで、本研究では日焼け果の発生要因を解明するため温度条件や樹体乾燥条件を調査し、軽減対策についても検討していくつかの知見を得たので報告する。

\*現在: 柳井農林水産事務所

## 材料および方法

### 1 発生実態

#### 1) 品種別の日焼け果の発生

供試した品種は山口県農林総合技術センター柑きつ振興センターの水田埋め立て造成ほ場（2号ほ場）に栽植の「日南姫」、「日南1号」、「興津早生」、「南柑20号」、「石地」、「青島温州」、「宮内伊予柑」、「せとか」、「不知火」、「西南のひかり」、「はれひめ」および「南津海」の計12品種である。日焼け果の発生実態調査は「日南姫」を2017年9月29日に、それ以外の品種は10月26日に実施した。各品種1樹の樹冠外周部について50果程度を調査し、日焼け果の有無によって発生率を求めた。

#### 2) 品種別の果皮の形態特性

当センターの水田埋め立て造成ほ場（4号ほ場）に栽植されたウンシュウミカンの「日南1号」、「宮川早生」、「南柑20号」および「青島温州」並びに中晩生カンキツの「せとみ」、「不知火」および「せとか」を供試した。2017年7月から9月まで1か月毎に樹冠赤道部の果実を採取して、果皮表面の単位面積当たりの油胞数（ $\sqrt{\text{cm}^2}$ ）と気孔数（ $\sqrt{\text{mm}^2}$ ）並びにアルベドとフラベドの厚さを調査した。油胞数は赤道部の果皮を実体顕微鏡（Nikon社製 SMZ1000）で、気孔数は赤道部の果皮をスンプ法により光学顕微鏡（Nikon社製 ECLIPSE Ni-U）で観察した。なお、調査は1品種5果1反復とし、7月は5～6日に、8月は1～2日に、9月は4～5日に行った。

#### 3) 日焼け果および健全果における蒸散量と果皮特性の差異

当センターの4号ほ場に栽植された「日南1号」26

年生樹と「宮川早生」25年生樹を供試して、2016年と2017年に調査を行った。

2016年には、「日南1号」において同一樹内で日焼け果と近接する健全果の蒸散量を調査した。果皮表面からの蒸散量はポリエチレン製の袋を果実に被覆して、一定期間密封したのちに生じる袋内部の水滴の重さから求めた。試験は1区1樹1果の4反復とし、9月27日10時45分から15時15分までの蒸散量を測定した。

2017年は8月1日に「宮川早生」の日焼け果を採取し、採取した日焼け果における日焼け部（果頂）と発生していない健全部（果頂と赤道面）について、単位面積当たりの油胞数と気孔数を調査し、果皮の形状および色を観察した。なお、試験は5果の果実を調査し、油胞数と気孔数の調査方法は前述の試験と同様である。

### 2 日焼け果の発生要因の解明

#### 1) 日焼け果の発生と果皮表面温度との関係

当センターの4号ほ場に栽植された「宮川早生」25年生樹を供試した。試験は2017年と2018年に実施した。

2017年7月30日～8月1日に樹冠外周部の外成り果と内成り果の果皮表面温度を、T型熱電対とデータロガー（グラフテック社製 GL200）を用いて、測温接点果皮表面に接するように絶縁テープで貼り付けて調査した。なお、樹冠周辺部の気温もあわせて測定した。次に、2017年9月19～21日に、樹冠外周部の果実の果皮表面に電熱線をアルミテープで覆ったテープ片を果皮表面に張り付けて、温度調節器（アズワン社製 TXN-400）、ボルトスライダ（山菱電機株式会社製 TYPE V-130-5）を用いて所定の温度および時間で熱処理を行った（第1図）。処理温度は40℃、45℃、



（果皮表面に設置）



（電熱線の加工）

第1図 電熱線による熱処理方法

50℃、処理時間は1、3、5時間に設定し、処理部の症状を無（症状なし）、微（果皮がわずかに硬い）、軽（果皮がやや硬いが問題ないレベル〜少し果肉にす上がりの障害あり）、中（果皮が硬く、果肉の10〜20%にす上がりあり）、甚（果皮が硬く、果肉の20%以上にす上がりあり）の5段階で目視調査した。

なお、試験は1区3果の1反復で行った。

また、2018年に電熱線をアルミテープで覆ったテープ片を用いた同様の熱処理を8月8〜30日と9月11〜26日に行い、症状を前述と同様の方法で11月2日に調査した。なお、処理温度を40℃、45℃、処理時間を1、3、5時間とし、1区3果の1反復で行った。

## 2) 日焼け果の発生と樹体水分との関係

日焼け果の発生と樹体水分との関係を精密に調査するため、雨水を遮断できる移動式の屋根があり灌水の水が隣の樹に浸水しないようコンクリート枠で仕切られた、当センターの移動上屋に栽植された「せとみ」5年生樹を供試した。①前期湿潤・後期乾燥（梅雨明け〜9月中旬：湿潤・9月中旬〜11月：乾燥）、②前期乾燥・後期湿潤（梅雨明け〜9月中旬：乾燥・9月中旬〜11月：湿潤）、③全期湿潤（梅雨明け〜11月：湿潤）、以上の3つの乾燥条件を設けた。

樹体の乾燥程度は、湿潤条件では葉内最大水ポテンシャル（以下「LWP」という。）が-0.5〜-0.7 MPa、乾燥条件では-0.7〜-0.9 MPaとし、2016年7月20日から11月30日まで1週間おきにLWPを、プレッシャーチャンバー（大起理化工業株式会社製 DIK-7000）を用いて測定した。調査に用いた葉は、無着果新梢の中位葉とした。湿潤期間の灌水処理は1週間おきに30 mm程度を、乾燥期間の処理は基準のLWPを超える場合に10 mm程度とした。

2016年8月10日に果皮表面温度を赤外放射温度計（testo 830-T2）で測定した。8月15日に樹上果実の蒸散量を、10月6日に日焼け果の発生を前述と同様の方法で、2017年1月31日に果実品質を調査した。なお、試験の規模は1区1樹4反復で、LWPの調査では1区1葉4反復、果皮表面温度は1区5果4反復、果実の蒸散量は1区1果3反復、日焼け果の発生は1区30果程度4反復で行った。

## 3 日焼け果の軽減効果

### 1) 炭酸カルシウム剤の散布時期と白斑除去方法

#### (1) 散布時期

当センターの4号ほ場に栽植されたシートマルチ栽培の「日南1号」26年生樹を供試した。炭酸カルシウム水和剤（炭酸カルシウム95.0%、商品名：ホワイトコート）50倍液を、以下の3時期に樹冠散布し、あわせて無処理区も設けた。①6/下・7/中区（6月26日および7月15日に散布）、②7/下・8/中区（7月20日および8月15日に散布）、③8/下・9/中区（8月22日および9月13日に散布）。

2016年8月17日に各処理区の樹冠赤道部の果実について果皮表面温度を前述の2-2)と同様の方法で測定した。果皮表面温度の調査は1区5果4反復の計20果とした。

10月13日に樹上で樹冠外周部の果実30果で日焼け果の発生を調査した。翌日の10月14日に樹冠上部および赤道部から30〜50果程度採取し、浮皮および果実品質を調査した。日焼け果の発生程度は無、微、軽、中、甚の5段階、浮皮の発生程度はカンキツの調査法（農林水産省果樹試験場興津支場, 1987）に準じて無、軽、中、甚の4段階を目視で調査した。なお、試験は1区1樹4反復で行った。

### (2) 白斑除去方法

大島郡周防大島町久賀地区の現地ほ場における「宮川早生」6年生樹を供試し、2018年7月23日と8月30日に炭酸カルシウム水和剤（炭酸カルシウム95.0%）25倍を樹冠散布した。10月25日に収穫した果実を、JA山口大島柑橘選果場（現 JA山口県周防大島柑橘選果場）の選果ラインで水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤（商品名：フレッシュ・エバー）を塗布処理した。その後、白斑の残留程度を無（白斑なし）、少（白斑が散見される）、中（白斑が果面の1/4〜1/2に残留）、多（白斑が果面の1/2以上に残留）の4段階で達観調査した。試験は1区約100果の5反復とした。

また、2018年11月下旬に採取した当センター産の「南柑20号」果実を供試し、12月4日に炭酸カルシウム水和剤（炭酸カルシウム95.0%）を散布したのち、風乾した。12月5日に、前述と同様にJA山口大島柑橘選果場の選果ラインで一連の処理をした後、白斑の残留程度を調査した。炭酸カルシウム水和剤の希釈倍数は25倍、50倍、100倍、250倍、500倍、1,000倍、2,000倍の7種類とした。

### 2) 各種被覆資材による日焼け軽減効果

当センターの4号ほ場に栽植されたシートマルチ栽培

培の「日南1号」26年生樹を供試した。試験は2016年度と2017年度の2か年実施した。梅雨明け後の7月下旬から8月上旬にかけて樹冠外周部の果実に対して、第1表に示した白色と桃色の被覆資材を各々被覆し、または色や素材の異なる3種類のテープを果実の陽光面に各々貼り付け、併せて無被覆区も設けた。10月上中旬に果実を採取して、前述と同様、日焼け果の発生を5段階で調査するとともに、着色および果実品質の調査も実施した。なお、試験は1区3~4果、4~5反復とした。

## 結果

### 1 発生実態

#### 1) 品種別の日焼け果の発生

当センターの水田埋め立て造成ほ場における、品種別の日焼け果の発生率を第2図に示した。ウンシュウミカンについては、極早生の「日南姫」と「日南1号」、早生の「興津早生」で多かった。また、「南柑20号」はやや少なく、「石地」および「青島温州」では全く認められなかった。

中晩柑の日焼け果の発生は、「せとか」において最も多く、次いで「宮内伊予柑」および「西南のひかり」となり、「はれひめ」、「不知火」および「南津海」では全く認められなかった。

年度	被覆資材・テープ	処理日	採取・調査日
2016	テトロン製果実袋	白色	8月8日
		桃色	
	クラフトテープ	茶色	
	塗装用マスキングテープ	茶色	
2017	鉄鋼用養生テープ	白色	7月25日
	テトロン製果実袋	白色	
	クラフトテープ	桃色	
	床用養生テープ	茶色	
	鉄鋼用養生テープ	白色	10月4日

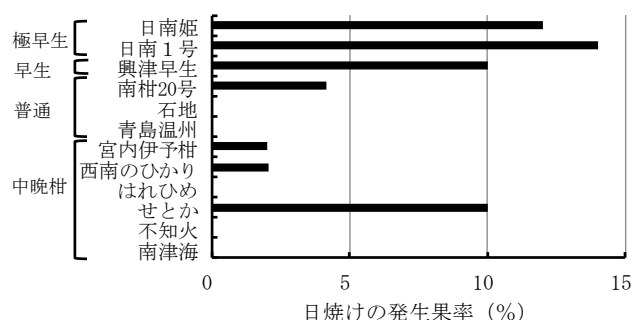
### 2) 品種別の果皮の形態特性

調査結果を第2表に示した。果皮表面の油胞数と気孔数は、ウンシュウミカンおよび中晩柑のいずれの品種とも、7月から9月にかけて少なくなり、アルベドは薄くなった。品種間差については、「せとか」は「せとみ」や「不知火」と比べて気孔数が少なく、アルベドおよびフラバドが薄かった。なお、ウンシュウミカンの品種間では、9月調査において熟期が早い品種ほど、油胞数と気孔数が少なく、アルベドが薄くなる傾向にあった。

### 3) 日焼け果および健全果における蒸散量と果皮特性の差異

日焼け果および近接する健全果の蒸散量を第3表に示した。日焼け果の蒸散量は2.49 mg/cm<sup>2</sup>/hとなり、健全果1.55 mg/cm<sup>2</sup>/hに比べて多かった。

また、日焼け果の日焼け部（果頂）の果皮は、発生していない健全部（果頂）と比較すると硬く、油胞は黄緑色から黒色に変色し、油胞間では緑色から黄緑色に変色した（第3図）。日焼け部（果頂）の果皮は健全部（果頂）と比較すると、油胞数が多く、気孔数は少なく、気孔の孔辺細胞が押しつぶされた状態に変化していた（第4表、第4図）。



第2図 カンキツの品種別日焼け果の発生  
注1) 調査: 2017年9月29日、10月26日  
注2) 各品種1樹50果程度調査

第2表 各品種における7~9月の果皮特性の推移

品種	7月				8月				9月			
	油胞数 (/cm <sup>2</sup> )	気孔数 (/mm <sup>2</sup> )	アルベド (mm)	フラバド (mm)	油胞数 (/cm <sup>2</sup> )	気孔数 (/mm <sup>2</sup> )	アルベド (mm)	フラバド (mm)	油胞数 (/cm <sup>2</sup> )	気孔数 (/mm <sup>2</sup> )	アルベド (mm)	フラバド (mm)
極早生 日南1号	191	13.2a	3.1	0.92	123a	9.6	1.7	0.85	80a	6.4a	1.3a	0.84
早生 宮川早生	221	12.4a	2.9	1.01	140ab	10.2	2.0	0.97	94ab	6.6a	1.6ab	1.01
中生 南柑20号	190	13.2a	3.1	1.01	145ab	10.8	1.9	0.93	113 bc	7.6 b	1.6 b	1.05
普通 青島温州	217	17.0 b	3.7	1.02	160 b	9.6	2.0	1.12	110 bc	7.3 b	1.7 b	1.08
有意性 <sup>2</sup>	n. s.	*	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	*	*	*	n. s.
中晩柑 せとか	266 b	8.4a	2.7a	1.05	163 c	5.8a	1.7a	0.99	105 b	3.2a	1.0a	0.80a
不知火	92a	18.8 b	5.1 b	1.45	85a	14.2 b	3.7 b	1.41	81a	10.2 b	2.5 b	1.35 b
せとみ	216 b	20.0 b	5.1 b	1.34	128 b	14.6 b	3.9 b	1.35	91ab	9.4 b	2.6 b	1.23 b
有意性 <sup>2</sup>	*	**	**	n. s.	**	**	**	n. s.	*	**	*	**

<sup>2</sup> Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*\*:1%, \*:5%) があることを示す  
調査日: 7月; 2017年7月5~6日 8月; 2017年8月1~2日 9月; 2017年9月4~5日

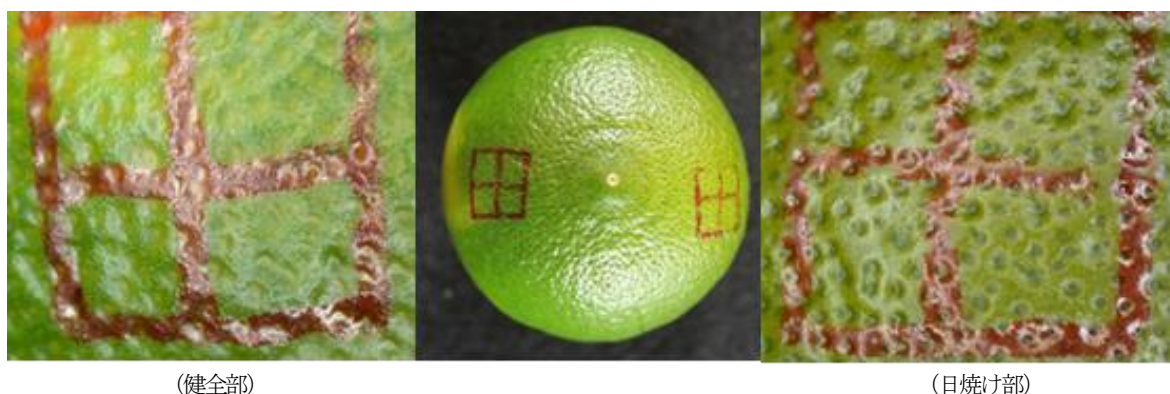
第3表 「日南1号」における果実の日焼けの有無が蒸散量に及ぼす影響

処理区		蒸散量 (mg/cm <sup>3</sup> /h)
日焼け	有り	2.49
	無し	1.55
有意性 <sup>z</sup>		*

<sup>z</sup>t検定 (\*:5%)

調査日:2016年9月27日

10時45分から15時15分まで「日焼け無し」は「日焼け有り」の隣接している果実を調査  
1区1樹1果4反復



(健全部)

(日焼け部)

第3図 「宮川早生」の日焼け果における日焼け部(果頂)と健全部(果頂)の果皮

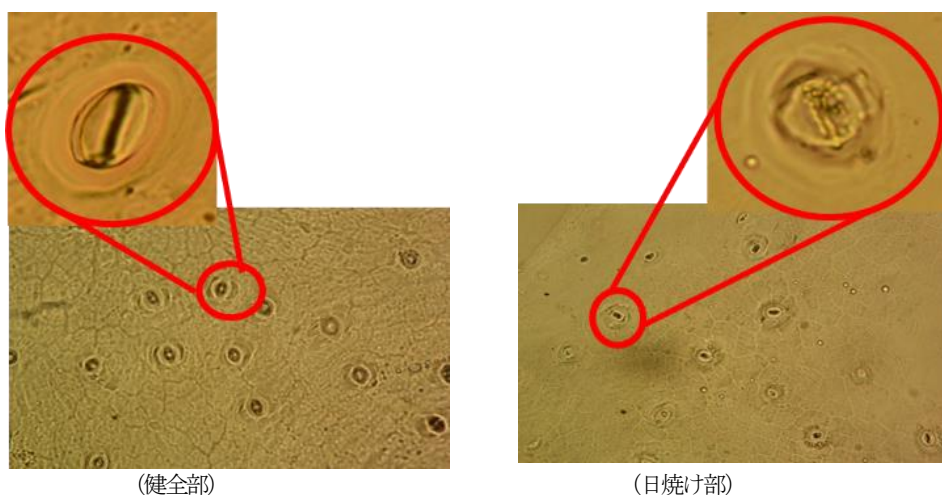
注)撮影日:2017年8月1日

第4表 「宮川早生」における日焼け果の日焼け部と健全部の果皮特性

調査部位	横径 (mm)	重さ (g)	油胞数 (/cm <sup>2</sup> )	気孔数 (/mm <sup>2</sup> )
日焼け部 (果頂)	42.8	37.4	169 b	6.3a
健全部 (果頂)			110a	9.2 b
(赤道面)			112a	9.5 b
有意性 <sup>z</sup>	—	—	**	**

<sup>z</sup>Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差(\*\*:1%)があることを示す

調査日:2017年8月1日



(健全部)

(日焼け部)

第4図 「宮川早生」の日焼け果における日焼け部(果頂)と健全部(果頂)の気孔

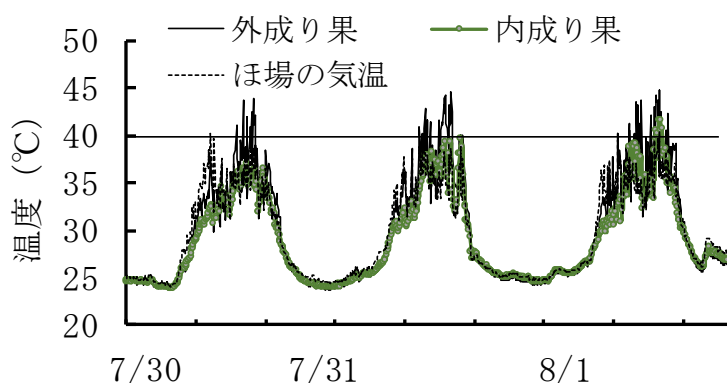
注)撮影日:2017年8月1日

## 2 日焼け果の発生要因の解明

### 1) 日焼け果の発生と果皮表面温度との関係

2017年7月30日から8月1日の晴天時では、当センター内のほ場における外気温は38℃程度まで上昇したのに対して、「宮川早生」の外成り果の果皮表面温度は43～44℃で5℃程度高くなり、内成り果では37℃程度であった(第5図)。なお、計測期間中の下関地方気象台安下庄アメダスポイントにおける最高気温は33.6℃であり、調査ほ場との差は4～5℃となった(データ略)。

電熱線を利用して果皮表面に異なる処理温度と処理時間を組み合わせて2017年9月に熱処理した結果、50℃処理区では処理時間にかかわらず果皮表面に褐変



第5図 外成り果と内成り果の果皮表面温度の推移

注) 調査: 2017年7月30日～8月1日

あるいは灰色化する障害(第6図)が発生し、40℃区では3時間処理区で果皮が硬くなる日焼けの症状が認められ、特に45、50℃区ではその発生は顕著であった(第5表)。

果皮表面への熱処理を2018年8月と9月の2時期に行うと、8月・40℃処理区では日焼けの症状は認められなかったが、9月・40℃処理区では3および5時間処理で認められた(第6表)。45℃処理区では8月および9月の両時期とも日焼けの症状が認められ、その発生程度は9月処理において顕著であった(第6表)。



第6図 熱処理(50℃)によって発生した果皮表面の障害(2017年)

注) 撮影日: 2017年9月26日

第5表 電熱線による熱処理が「宮川早生」の果皮障害に及ぼす影響(2017年)

処理区	温度	時間	障害の有無	日焼け <sup>z</sup>
40℃	40℃	1h	無	—
		3h	無	—～±
		5h	無	—～±
45℃	45℃	1h	無	±
		3h	無	±
		5h	無	±～+
50℃	50℃	1h	有	—～+
		3h	有	+
		5h	有	++

<sup>z</sup>日焼け: —; 無、±; 微、+; 軽、++; 中、+++; 甚  
調査: 2017年11月22日  
処理: 2017年9月19～21日 各処理区3果

第6表 「宮川早生」における時期別の熱処理が果皮の日焼け症状に及ぼす影響(2018年)

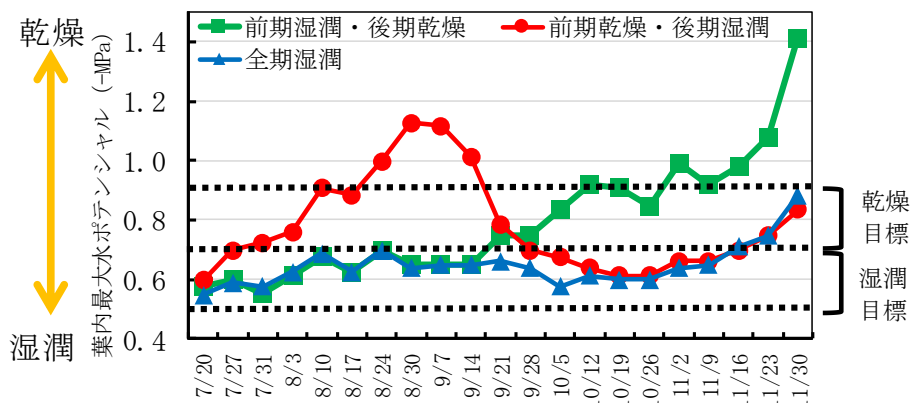
処理区	温度	時間	8月	9月
40℃	40℃	1h	— <sup>z</sup>	— <sup>z</sup>
		3h	—	—～+
		5h	—	+
45℃	45℃	1h	—～±	—～+
		3h	—～±	±～++
		5h	—～++	—～±

<sup>z</sup>: —; 無、±; 微、+; 軽、++; 中、+++; 甚  
調査: 2018年11月2日  
処理: 8月; 2018年8月8～30日  
9月; 2018年9月11～26日 各処理区3果

## 2) 日焼け果の発生と樹体水分との関係

「せとみ」におけるLWPは、前期乾燥・後期湿潤区において8月下旬から9月中旬まで低下し、やや強乾燥となったが、それ以外の期間、または他の処理区においては概ね目標（湿潤条件 -0.5～-0.7 MPa、乾燥条件 -0.7～-0.9 MPa）とする樹体の乾燥程度を推移した（第7図）。日焼け果の発生は前期乾燥・後期湿潤区で多く、前期湿潤・後期乾燥区および全期湿潤区で少なかった（第7表）。前期乾燥・後期湿潤区では、

他の区と比べて8月の果皮表面温度が高く、蒸散量は少なかった（第7表）。糖度は前期湿潤・後期乾燥および前期乾燥・後期湿潤区で高く、全期湿潤区でやや低かった（第8表）。クエン酸は前期乾燥・後期湿潤区で高く、前期湿潤・後期乾燥区と全期湿潤区でやや低かった（第8表）。8分以上着色果の割合は、前期湿潤・後期乾燥区と前期乾燥・後期湿潤区では100%と高かったが、全期湿潤区では87%程度とやや低かった（第8表）。



第7図 「せとみ」における樹体の乾燥処理と葉内最大水ポテンシャルの推移

前期湿潤・後期乾燥：梅雨明け～9/中 湿潤 + 9/中～11月 乾燥  
 前期乾燥・後期湿潤：梅雨明け～9/中 乾燥 + 9/中～11月 湿潤  
 全期湿潤：梅雨明け～11月 湿潤

第7表 「せとみ」における樹体の乾燥時期が日焼け果の発生、果皮表面温度および蒸散量に及ぼす影響

処理区	日焼け		果皮表面温度 (°C)	蒸散量 (mg/cm <sup>3</sup> /h)
	発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>y</sup>		
前期湿潤・後期乾燥	3.9a	1.8a	42.1a	3.72 b
前期乾燥・後期湿潤	12.1 b	3.7 b	44.8 b	3.03a
全期湿潤	3.9a	1.3a	42.1a	3.89 b
有意性 <sup>x</sup>	*	*	**	*

<sup>z</sup>アークサイン変換後に統計処理を行った

(微 × 1) + (軽 × 2) + (中 × 3) + (甚 × 4)

<sup>y</sup>指数： $\frac{\text{調査果数} \times 4}{\text{調査果数} \times 4} \times 100$

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*\*: 1%, \*: 5%) があることを示す

果皮表面温度の調査：2016年8月10日

蒸散量の調査：2016年8月15日11時から16時

日焼け果の調査：2016年10月6日

第8表 「せとみ」における樹体の乾燥時期が果実品質に及ぼす影響

処理区	果実重 (g)	糖度 (Brix%)	クエン酸 (%)	着色 程度	着色程度別果率 (%) <sup>z</sup>			
					1～4	5～7	8～10	うち完着果
前期湿潤・後期乾燥	170	14.2 b	1.46ab	9.1 b	0.0	0.0a	100.0 b	88.3
前期乾燥・後期湿潤	166	14.4 b	1.74 b	9.1 b	0.0	0.0a	100.0 b	85.2
全期湿潤	171	13.5a	1.36a	8.1a	0.0	12.9 b	87.1a	54.5
有意性 <sup>y</sup>	n. s.	*	*	*	n. s.	*	*	n. s.

<sup>z</sup>アークサイン変換後に統計処理を行った

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*: 5%) があることを示す

採収日：2017年1月20日 果実品質調査：2017年1月31日

### 3 日焼け果の軽減効果

#### 1) 炭酸カルシウム水和剤の散布時期と白斑除去方法

##### (1) 散布時期

炭酸カルシウム水和剤 50 倍液を 3 つの時期に変えて散布した結果を第 9 表に示した。日焼け果の発生は無処理区と比較して 7/下・8/中区で少なく、6/下・7/中区および 8/下・9/中区では差が認められなかった。果皮の表面温度は、7/下・8/中区が無処理区および 8/下・9/中区と比較して有意に低く、6/下・7/中区では同程度であった。また、浮皮の発生は炭酸カルシウム剤を散布した区で少なく、無処理区で

多かったが、散布時期による発生差は認められなかった。果実品質については、糖度およびクエン酸の区間差は認められなかった。

##### (2) 白斑除去方法

2018 年 7 月 23 日と 8 月 30 日に炭酸カルシウム水和剤 25 倍液を樹冠散布し、約 2 か月後の 10 月 25 日に収穫した果実の白斑は、選果場の選果ラインの一連の処理（水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布処理）によって除去された（第 8 図、第 9 図）。

第 9 表 炭酸カルシウム水和剤の樹冠散布時期が「日南 1 号」の日焼け果の発生、果皮表面温度および果実品質に及ぼす影響

処理区	果実重 (g)	糖度 (Brix%)	クエン酸 (%)	着色 程度	日焼け		浮皮		果皮表面温度 (°C)
					発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>y</sup>	発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>x</sup>	
6/下・7/中	113.4	11.0	0.71	5.9	12.8 b	4.7 b	6.4a	2.1a	41.2ab
7/下・8/中	112.3	10.7	0.65	5.3	3.2a	0.9a	3.3a	1.1a	39.7a
8/下・9/中	112.1	10.5	0.70	5.9	12.3 b	5.4 b	0.6a	0.2a	41.9 b
無処理	112.4	10.3	0.67	6.1	16.8 b	7.3 b	17.9 b	7.0 b	42.2 b
有意性 <sup>v</sup>	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	*	*	*	**

<sup>z</sup>アークサイン変換後に統計処理を行った

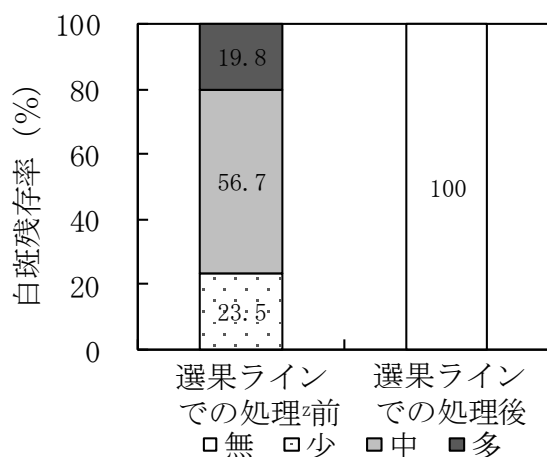
$$^y \text{指数} = \frac{(\text{微} \times 1) + (\text{軽} \times 2) + (\text{中} \times 3) + (\text{甚} \times 4)}{\text{調査果数} \times 4} \times 100$$

$$^x \text{指数} = \frac{(\text{軽} \times 1) + (\text{中} \times 2) + (\text{甚} \times 3)}{\text{調査果数} \times 3} \times 100$$

<sup>v</sup>Tukey の多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*:5%、\*\*:1%) があることを示す

果皮表面温度調査：2016 年 8 月 17 日、果実品質調査：2016 年 10 月 14 日

処理：6/下・7/中；2016 年 6 月 26 日、7 月 15 日、7/下・8/中；7 月 20 日、8 月 15 日、8/下・9/中；8 月 22 日、9 月 13 日



第 8 図 選果場の選果ラインでの処理が炭酸カルシウム水和剤処理果実の白斑に及ぼす影響（「南柑 20 号」）

<sup>z</sup>選果ラインでの処理：水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布

注 1) 炭酸カルシウム水和剤 25 倍液の処理日

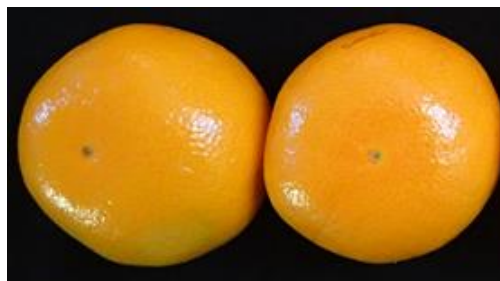
：2018 年 7 月 23 日、8 月 30 日

注 2) 採収日：2018 年 10 月 25 日

注 3) 選果ラインでの処理日・調査日：2018 年 11 月 1 日



(選果ラインでの処理前)



(選果ラインでの処理後)

第 9 図 選果ラインでの処理<sup>z</sup>による炭酸カルシウム水和剤処理果実の白斑除去効果（「南柑 20 号」）

<sup>z</sup>選果ラインでの処理：水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布

注 1) 炭酸カルシウム水和剤 25 倍液の処理日

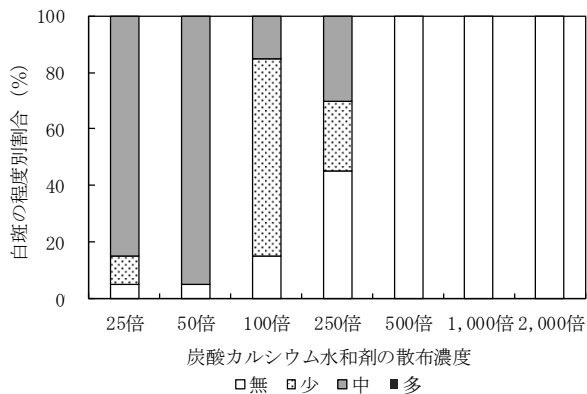
：2018 年 7 月 23 日、8 月 30 日

注 2) 採収日：2018 年 10 月 25 日

注 3) 選果ラインでの処理日・調査日：2018 年 11 月 1 日



一方、2108年12月4日に炭酸カルシウム水和剤25倍、50倍、100倍、250倍、500倍、1,000倍および2,000倍液を果実に処理した翌日に、選果場で洗浄した結果、炭酸カルシウム水和剤25倍～250倍までは白斑が残ったものの、500～2,000倍の濃度では認められなかった(第10図、第11図)。

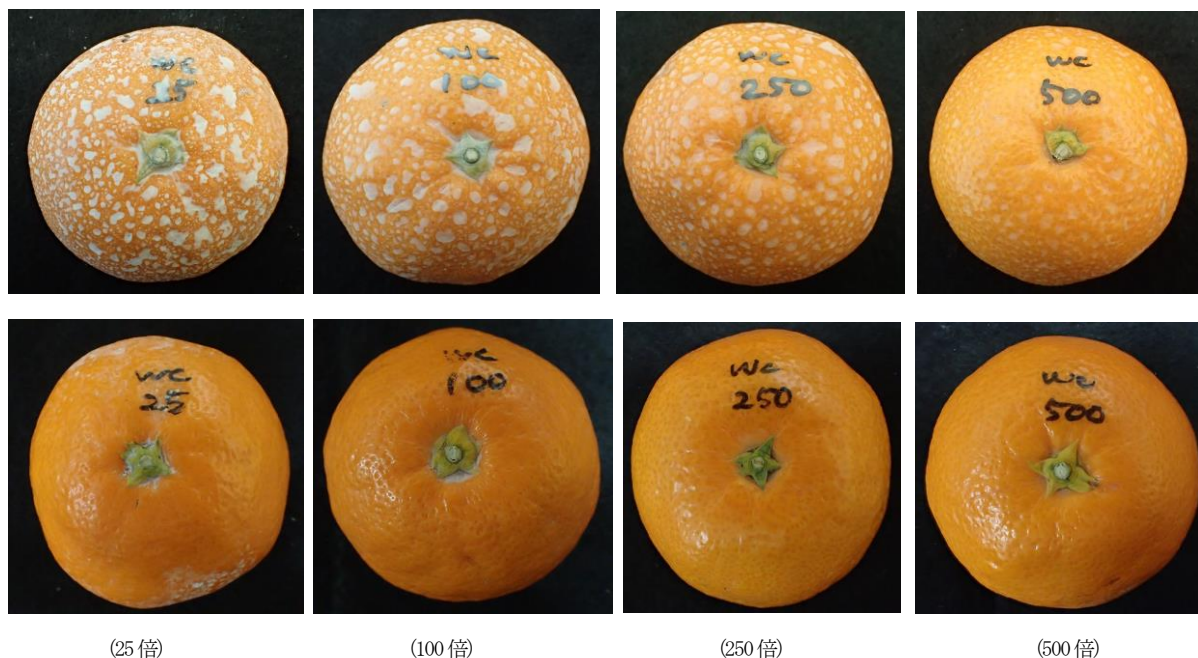


第10図 散布翌日の選果ラインでの処理濃度が異なる処理濃度の炭酸カルシウム水和剤による果実の白斑除去に及ぼす影響

選果ラインでの処理：水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布  
 注1) 炭酸カルシウム水和剤の処理：2018年12月4日に採取した果実に処理  
 注2) 選果ラインでの処理日・調査日：2018年12月5日

## 2) 各種被覆資材による日焼け軽減効果

異なる被覆資材を梅雨明け後に被覆して、日焼け果および果実品質を調査した2016年の結果を第10表、2017年を第11表に示した。日焼け果の発生は、2016年の試験では無処理区と比較して各処理区で少なく、2017年ではテトロン製果実袋・白色および桃色区、床用養生テープ区で少なく、クラフトテープおよび鉄鋼用養生テープ区では有意な差は認められなかった。2016年は、無処理区66.7%に対して各種テープ区では15～20%と日焼け果の発生は少なかったが、クラフトテープ区と塗装用マスキングテープ区の果皮表面にはのりの痕跡が認められ、鉄鋼用養生テープ区では認められなかった(第12図)。2017年の結果では、のりの痕跡はクラフトテープ区も含めて認められなかった。なお、糖度およびクエン酸は両年とも区間の差は認められなかった。



第11図 散布翌日の選果ラインでの処理濃度が異なる処理濃度の炭酸カルシウム水和剤による果実の白斑除去に及ぼす効果

選果ラインでの処理：水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布  
 注1) 上：選果ラインでの処理前 下：選果ラインでの処理後  
 注2) 炭酸カルシウム水和剤の処理：2018年12月4日に採取した果実に処理  
 注3) 選果ラインでの処理日・調査日：2018年12月5日

第10表 各種被覆資材が「日南1号」における日焼け果の発生および果実品質に及ぼす影響 (2016年)

処理区	日焼け		着色 程度	テープ 残存果率 (%) <sup>z</sup>	のりの痕跡		糖度 (Brix%)	クエン酸 (%)	
	発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>y</sup>			発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>x</sup>			
テトロン製果実袋	白色	5.0a	1.3a	4.4	—	—	8.8	0.70	
	桃色	0.0a	0.0a	4.3	—	—	8.9	0.68	
クラフトテープ		20.0a	12.5a	3.7	25.0a	70.0 b	30.0 b	9.0	0.74
塗装用マスキングテープ		15.0a	6.3a	3.5	88.3 b	100.0 c	81.1 c	9.2	0.70
鉄鋼用養生テープ		20.0a	6.3a	3.5	70.0 b	0.0a	0.0a	9.1	0.70
無処理		66.7 b	39.6 b	4.3	—	—	—	9.3	0.69
有意性 <sup>w</sup>		**	**	n. s.	*	**	**	n. s.	n. s.

<sup>z</sup>アークサイン変換後に統計処理を行った

(微 × 1) + (軽 × 2) + (中 × 3) + (甚 × 4)

<sup>y</sup>指数:  $\frac{\text{調査果数} \times 4}{\text{調査果数} \times 4} \times 100$

<sup>x</sup>指数:  $\frac{(\text{軽} \times 1) + (\text{中} \times 2) + (\text{甚} \times 3)}{\text{調査果数} \times 3} \times 100$

<sup>w</sup>Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*:5%、\*\*:1%)があることを示す

調査日:2016年10月12日 処理:2016年8月8日

第11表 「日南1号」における各種被覆資材が日焼け果の発生 および果実品質に及ぼす影響 (2017年)

処理区	日焼け		着色 程度	テープ 残存果率 (%)	のりの痕跡		糖度 (Brix%)	クエン酸 (%)	
	発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>y</sup>			発生果率 (%) <sup>z</sup>	指数 <sup>x</sup>			
テトロン製果実袋	白色	0.0a	0.0a	3.0	—	—	7.9	1.01	
	桃色	0.0a	0.0a	3.2	—	—	8.0	0.90	
クラフトテープ		41.7abc	16.7ab	3.1	8.3a	0.0	0.0	8.4	0.96
床用養生テープ		25.0 b	10.4ab	3.3	66.7 b	0.0	0.0	8.0	0.87
鉄鋼用養生テープ		33.3abc	10.4ab	3.0	66.7 b	0.0	0.0	7.8	0.91
無処理		66.7 c	29.2 b	3.3	—	—	—	8.0	0.92
有意性 <sup>w</sup>		*	**	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

<sup>z</sup>アークサイン変換後に統計処理を行った

(微 × 1) + (軽 × 2) + (中 × 3) + (甚 × 4)

<sup>y</sup>指数:  $\frac{\text{調査果数} \times 4}{\text{調査果数} \times 4} \times 100$

<sup>x</sup>指数:  $\frac{(\text{軽} \times 1) + (\text{中} \times 2) + (\text{甚} \times 3)}{\text{調査果数} \times 3} \times 100$

<sup>w</sup>Tukeyの多重検定により、異なる英文字間に有意差 (\*:5%、\*\*:1%)があることを示す

調査日:2017年10月4日 処理:2017年7月25日



(クラフトテープ)

(塗装用マスキングテープ)

(鉄鋼用養生テープ)

第12図 各種テープ貼り付け後におけるのりの痕跡 (「日南1号」 2016年)

注)撮影日:2016年10月13日

## 考 察

当センター内の同一ほ場における十数品種について、日焼け果の発生を調査した結果、極早生ウンシュウの「日南姫」と「日南1号」、早生ウンシュウの「興津早生」、中晩柑の「せとか」において日焼け果の発生が多かった。日焼け果の発生と果皮特性との間の関係については、日焼け果の発生が多い系統ほど着色の熟期が早く、しかもフラベドおよびアルベドとも薄い傾向にあると大垣ら(1967)によって報告されており、本試験においても同様な結果を得ている。さらに、本試験では果皮の単位面積当たりの気孔数は果実肥大に伴い少なくなり、日焼け果の発生が多い極早生および早生系統ほど少ない傾向にあることを確認した。

また、林田(2011)は中晩生カンキツの中では「せとか」と「麗紅」において日焼け果の発生が多いことを報告しており、比較した品種が同一でないものの、本試験でも「せとか」での発生が顕著であった。「せとか」は果皮の薄さに加えて、果皮の気孔数が著しく少ないことから、今後生理学的な観点からのさらなる研究が必要である。

日焼け果の症状について、日焼け部と健全部とを比較すると、油胞が褐色から黒色に変色、油胞間は脱緑のち黄緑色に変色して果皮は固くなるなどの特徴が認められ、既報告と一致した(近泉, 2007)。本試験における日焼け部(果頂)の油胞数が健全部(果頂)と比較して多かった原因は、日焼け部の果皮生長が停止したのに対して、健全部では果皮生長が継続している(近泉, 2007)ことによる密度低下と考えられる。一方で、日焼け部における果皮の気孔数が健全部と比べて少ないのは、本試験ではスンプ法によって果皮表面の形状を転写したものであり、日射で障害を受けた気孔の一部が転写できなかったためと推察されるが、詳細は不明である。本試験では、日焼け果の蒸散量は、その周囲で同様な日射条件の健全果と比べて大きいことを明らかにした。一方で、「せとみ」では、前期乾燥・後期湿潤区において日焼け果の発生が多く、前期乾燥時の8月の蒸散量が少なく、果皮表面温度が高かった。前者は健全果と日焼け果との蒸散量の比較で、後者は健全果における乾燥条件の違いによる蒸散量、果皮表面温度および日焼け果の発生の比較である。前者の結果から、日焼け果では気孔の損傷から開閉機能が働かなくなると蒸散量が大きくなっていると考えられる。一方、後者の結果からは、乾燥条件下では果実

の蒸散量が少なくなり、果皮表面温度が上昇して日焼け果の発生が多くなると推察される。すなわち、日焼け果の発生機構は、最初、果皮表面温度が上昇して油胞や気孔の損傷が発生して油胞、油胞間に変色あるいは黄変、次に気孔の損傷によって開閉機能が働かなくなり異常蒸散が生じて果皮の硬化、褐変、果肉のす上がりなどの症状へ進むものと示唆される。また、日焼け果が発生する果皮表面温度の上昇は、強日射によって果皮表面が高温となり果皮表面の蒸散による冷却機能の限界を超える、あるいは乾燥状態での冷却機能の低下によって生ずると推察される。

日焼け果の発生と温度との関係について調査した報告は多数あり、大垣ら(1967)の調査した結果では、9月10日と12日に果皮表面温度が43~45℃となり、気温に対して10~17℃高く、一方で日陰側の果皮では気温と同じ程度かむしろ2~3℃低いとしている。また、近泉(2007)は8月29日に調査して、気温が30℃前後の場合、日射部の果皮温度は40℃前後に高まって気温よりも約10℃高くなり、日陰部では1~3℃低くなることを報告している。本試験においても同様の傾向を示し、日焼け果が生じやすい外成り果の果皮表面温度は7月30日から8月1日の晴天時で43~44℃とほ場の外気温と比べて5℃、下関地方気象台の本センター内に設置されている安下庄アメダスポイントと比べて10℃程度高くなった。

次に、これらの果皮表面温度の実態を踏まえて、電熱線を利用して40~50℃の熱処理を行い、日焼け症状が発生する温度を明らかにした。すなわち、「宮川早生」において8から9月までの間では生育ステージが進んだ果実ほど日焼け症状が発生しやすく、8月では45℃以上に遭遇することで、9月については40℃以上に遭遇することで日焼けの症状が生ずると考えられる。なお、50℃の熱処理では、翌日に果皮が褐変あるいは灰色化したのが、通常の日焼け症状とは異なるように観察された。

日焼け症の発生は水分の供給不足が一要因とされており、山頂に近いところや稜線に沿った園地に多く、水田転換園で少ないなどの園地条件を調査した報告(倉岡ら, 1962)はあるが、日焼け症と樹体水分との関係を示した報告は少ない。山口県が「清見」を種子親に、「吉浦ポンカン」を花粉親に育成した中晩生カンキツ「せとみ」では、7月下旬から9月中旬までの期間にLWPが-0.7~-0.9 MPaの乾燥条件を継続させた場合に日焼け果が多発生した。その理由としては、

乾燥条件下の樹では蒸散量が少なく果皮表面温度が高かったことから、水分不足によって蒸散量が低下し、冷却機能が十分に働かなかつたためと推察される。さらに「せとみ」について、7月下旬から9月中旬まで湿潤状態(-0.5~-0.7MPa)と9月中旬から11月までを乾燥状態(-0.7~-0.9MPa)の維持は、日焼けの発生を軽減しつつ糖度や着色などの果実品質向上効果を可能にすることが明らかとなった。

筆者ら(2015)や副島ら(2012)は、炭酸カルシウム剤の樹冠散布が日焼け果の発生を抑制することを報告している。本試験では、日焼け果の発生軽減効果が高い散布時期を検討し、その散布は梅雨明け後の7月下旬と8月中旬の2回であることを明らかにした。日焼けが軽減される要因の一つとして、炭酸カルシウム剤の樹冠散布によって果皮表面温度が2°C程度低くなることを明らかにした。さらに、出荷時に問題となる炭酸カルシウム剤によって生ずる果皮表面の白斑除去方法について検討した。早生温州に炭酸カルシウム剤を7月下旬と8月下旬の2回散布をして、その約2か月後に収穫した果実の白斑は選果場の選果ラインでの一連の処理(水洗、ブラッシングおよび鮮度保存被膜剤の塗布処理)によって除去できることを明らかにした。また、収穫した果実に炭酸カルシウム剤を処理して翌日に同様の処理した結果、果皮の白斑は25~250倍の濃度では残ったが、500~2,000倍の濃度では除去された。この二つの結果と採取時の白斑の程度から、早生ウンシュウでは日焼け果軽減のための炭酸カルシウム剤25~50倍液の樹冠散布は問題なく、極早生ウンシュウにおいても散布から収穫までの間に1~2回降雨があれば問題なく使用できると推察される。今後は、極早生ウンシュウにおける採取時期と選果場での白斑除去の程度を、さらに選果場を使用しない直売所向けの果実を想定した効率的な除去方法についても検討する必要がある。

現場では日焼け軽減対策の一つとして、白色のテトロン製果実袋を被覆する方法やクラフトテープを果実の陽光面に貼る方法が実施されている。そこで、本試験では桃色のテトロン製果実袋や数種のテープ資材を供試して日焼けに及ぼす影響を調査した。日焼けの軽減効果はテトロン製果実袋が最も高く、次いで各種テープ資材であった。ただし、テープ資材を陽光面の果皮表面に張り付けると、クラフトテープと塗装用マスキングテープにおいてのり痕跡が認められた。大垣ら(1962)によると、新聞紙小片の果面貼り付け試験に

おいて市販ヤマト糊および自家製糊で貼り付けたものでは収穫して新聞紙小片を剥いた後が汚染されない一方、セロテープで張り付けたものは果面に痕跡が残ることを報告している。障害の認められたクラフトテープと塗装用マスキングテープの基材は各々、クラフト紙とクレープ紙、ゴム系の粘着剤であった。なお、果面にのりの痕跡が残らなかった鉄鋼用・床用養生テープは、基材がポリエチレンクロスで、粘着剤はアクリル系である。このことから、糊の痕跡要因は粘着剤と貼り付ける素材の種類や組み合わせによるものと推察される。なお、鉄鋼用養生テープと床用養生テープの粘着力は、前者が4.7N/10mm、後者が3.2N/10mmであり、強風による耐性を考えれば、粘着力の高い鉄鋼用養生テープが日焼け軽減資材として適すると推察される。本試験では、テトロン製果実袋またはテープを果皮表面に貼り付けることによる着色への影響はほとんど認められなかった。今後は、8分着色以上の果実を収穫する早生カンキツや被覆期間が長期にわたる中晩生カンキツなどで試験を実施して、着色および果皮色などへの影響を調査する必要がある。

## 摘要

世界および日本の年平均気温が上昇しており、今後、さらなる温暖化によって夏季の高温が予想される中、カンキツ果実において日焼けなどの被害の拡大が見込まれる。このため、日焼け果の発生要因および軽減対策について調査し、以下の結果を得た。日焼け果は健全果と比べて果皮表面温度が高くなり、蒸散量は多かった。日焼け部位の果皮をスンプ法で観察すると単位面積当たりの気孔数は少なく、孔辺細胞の形状が押しつぶされた状態に変化していた。夏季の晴天時、ほ場の外気温は38°C程度まで上昇するのに対して、樹冠外周部の外成り果の果皮表面温度は43~44°C、内成り果では37°C程度であった。この実態を踏まえて、電熱線を利用して40~50°Cの熱処理を行った結果、8から9月までの期間では生育ステージが進んだ果実ほど日焼け症状は発生しやすく、8月では45°C以上に、9月では40°C以上に3時間以上遭遇することで日焼けの症状が生じた。また、「せとみ」では7月下旬から9月中旬までの期間に葉内最大水ポテンシャル-0.7~-0.9MPaの乾燥条件を継続させた場合、日焼け果が多発生した。7月下旬から9月中旬まで湿潤状態(-0.5~-0.7MPa)と9月中旬から11月までを乾燥状態(-0.7~-0.9MPa)

の維持は、日焼けの発生を軽減しつつ、糖度や着色などの果実品質向上に有効であることが明らかとなった。軽減対策については、炭酸カルシウム剤を樹冠散布することによって日焼け軽減効果が認められ、効果の高い散布時期は梅雨明け後の7月下旬と8月中旬の2回であることを明らかにした。さらに、炭酸カルシウム水和剤を樹冠散布すると果実に白斑が付くものの、収穫した後の選果場の選果ラインでの一連の処理によって白斑が除去されることを確認した。テトロン製果実袋と数種のテープ資材を供試して日焼けに及ぼす影響を調査した結果、日焼け軽減効果はテトロン製果実袋が最も高く、テープ資材では粘着力が高く、のり跡も認められない鉄鋼用養生テープが有効と考えられる。

焼け障害防止に関する試験(第2報)防止試験(2)袋掛期間並びに、被害度と気象条件、光線の波長との関係. 神奈川園試研報. 10: 17-24.  
杉浦俊彦・杉浦裕義・阪本大輔・朝倉利員. 2009. 温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術. 地球環境. 14(2): 207-214.

## 引用文献

- 近泉惣次郎. 2007. カンキツ類の果皮障害の発生原因とその防止対策. 愛媛大学農学部紀要. 52: 13-123.
- 副島康義・宮崎俊英・荒牧貞幸. 2012. カンキツ黒点病に対する炭酸カルシウム水和剤の防除効果. 九州病害虫研究会報. 58: 121.
- 林田誠剛. 2011. 中晩生カンキツの果面障害発生実態と‘せとか’における発生軽減技術. 長崎農林技セ研報. 2: 129-142.
- 兼常康彦・西岡真理・宮田明義. 2015. 炭酸カルシウム剤の樹冠散布がウンシュウミカンの果実品質に及ぼす影響. 園学研. 14(別2).
- 倉岡唯行・松本和夫・門屋一臣・向井武. 1962. 早生ウンシュウミカン果実の日焼け防止に関する研究(第1報)日焼け発生と気象条件. 園学要旨. 昭37春: 6.
- 気象庁. 2019. 気候変動監視レポート2018. p. 29. 東京.
- 真子正史. 1982. 日焼け. p. 411-414. 農業技術体系果樹編1カンキツ. 農文協. 東京.
- 農林水産省果樹試験場興津支場. 1987. カンキツの調査方法-1987-. p. 12. 静岡.
- 大垣智昭・中島利幸・牛山鉄司. 1967. 早生温州果の日焼け障害防止に関する試験(第3報)発生限界果実温と機構および、網被覆による防止法について. 神奈川園試研報. 15: 1-8.
- 大垣智昭・関野茂・牛山鉄司. 1962. 早生温州果の日