モモ‘清水白桃’の赤肉果発生に及ぼす気温の影響 および障害を抑制する機能性果実袋の開発

藤井雄一郎^{1,2**}・森永邦久^{2**}・村瀬拓也²・岸本里菜³・嶋田真耶³・
北小路明久⁴・池田征弥⁴・荒川 徹⁴・江見登吉⁵・寺村 学⁵・
荒木有朋¹・樋野友之¹・河井 崇²・平野 健²・福田文夫^{2*}

¹ 岡山県農林水産総合センター農業研究所 709-0801 岡山県赤磐市神田沖

² 岡山大学大学院環境生命科学研究科 700-8530 岡山市北区津島中

³ 岡山大学農学部 700-8530 岡山市北区津島中

⁴ テイカ株式会社岡山研究所 704-8136 岡山市東区西幸西

⁵ 西日本果実袋株式会社 700-0807 岡山市北区南方

Effects of Ambient Temperature during Fruit Development on the Incidence of Reddish-pulp Disorder and Development of Functional Fruit Bag to Control Reddish-pulp Disorder in ‘Shimizu-hakuto’ Peach

Yuichiro Fujii^{1,2**}, Kunihisa Morinaga^{2**}, Takuya Murase², Rina Kishimoto³, Maya Shimada³,
Akihisa Kitakoji⁴, Masaya Ikeda⁴, Toru Arakawa⁴, Nariyoshi Emi⁵, Manabu Teramura⁵,
Aritomo Araki¹, Tomoyuki Hino¹, Takashi Kawai², Ken Hirano² and Fumio Fukuda^{2*}

¹ *Agricultural Institute, Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries,
Kodaoki, Akaiwa, Okayama 709-0801*

² *Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530*

³ *Faculty of Agriculture, Okayama University, Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530*

⁴ *Teika Corporation, Nishikozai, Higashi-ku, Okayama 704-8136*

⁵ *Nishinihonkajitai Corporation, Minamigata, Kita-ku, Okayama 700-0807*

Abstract

The occurrence of reddish-pulp fruit was consistently lower in Niimi, Okayama (the north area) than in Okayama City (the south area) in 2013–2016 in field-grown ‘Shimizu-hakuto’ peach. A similar trend was observed in 2016 on comparison with peach trees grown in container boxes, which had been grown in the south area under the same conditions for several years and then transferred to the north area just before the onset of the 2016 growing season. The field temperature in the north area was lower than in the south area by 2°C during the peach fruit growing season in all experimental years. Especially, it was clearly shown that fruit in the south area encountered a higher air temperature (more than 25°C) compared with fruit in the north area during Stage 3 of fruit growth, in which fruit were covered with a fruit bag. These observations suggest that Reddish-pulp fruit disorder is stimulated by a high temperature during the fruit growing season. In order to control the temperature around fruit, a functional fruit bag coated with oxidized titanium, with high light reflecting performance, was developed. Fruit bagging by the functional bag during the growing season lowered the fruit surface temperature by 1.5°C and suppressed the development of Reddish-pulp fruit disorder. Fruit quality such as size, appearance, sugar and pH levels in juice, and harvesting time were not affected by the functional fruit bagging, compared with conventional bagging. The developed functional fruit bag provides a practical technique to control Reddish-pulp fruit disorder.

Key Words : flesh disorder, infrared light reflection, oxidized titanium

キーワード : 果肉障害, 酸化チタン, 赤外光反射

2020年5月30日 受付. 2020年9月23日 受理.

本研究の一部は園芸学会平成24年度秋季大会, 園芸学会中四国支部平成28年度大会で発表した.

本研究の一部は農林水産省委託プロ「農林業に係る気候変動の影響評価」及び同省農食事業「西日本におけるモモの果肉障害の発生要因と対策技術」において行われた.

市販型の機能性果実袋の紹介が, 果実日本誌 (2018年6月号) に掲載された.

* Corresponding author. E-mail: ffukuda@okayama-u.ac.jp

** これらの著者は本研究において等しく貢献した.

緒 言

岡山県のモモ生産では, ‘清水白桃’を主力として, 果皮着色の少ない品種に, 濃色の果実袋を掛けることで白い果皮を有し, 白い溶質の果肉が重要視されている. しかしながら近年, 果肉にアントシアニンが蓄積し桃赤色を呈する「赤肉果」あるいは「赤肉症」と呼ばれる障害の発生が報告されている (高田ら, 2005; 高田, 2006). 赤肉果は肉

質が粗く、もろいために食感が劣る傾向があるが、果皮表面からの障害の把握は困難であるため、視覚による選果では障害果を除去しきれない。従って、卸売・小売市場および消費者からのクレーム対象となり、生産地の信用低下につながるため、看過できない問題となっている。

赤肉果の発生は、同一園地内でも樹体間の違いが大きく、年次による変化もあるが、一旦、発生が始まると翌年以降も多発し、継続するとされている（高田ら，2005）。また、栽培方法による違いも認められ、高糖度・大果の多収を目的とした弱剪定栽培によって発生が助長されることが示されている（高田ら，2008）。さらに乾燥などの樹体の生理的ストレス、土壌条件など多くの観点からの要因も指摘されているが、普遍的な発生要因としては明確でない部分が多い。岡山県内のモモ産地では赤肉果の発生は以前にはあまり問題視されていなかったが、2000年以降には産地における大きな問題となってきた。一方、赤肉果発生の概況を全国のモモ産地でみると、西南暖地で多く、関東や東北などの東日本では現在もほとんど問題視されていない（私信）。また、岡山県内でも県北部の比較的冷涼な地域ではこの生理障害の発生が極めて少なく、成熟期の気温が高い県南地域では県北地域よりも多発しているとの情報が寄せられており、気温が赤肉果の発生に影響を及ぼす要因である可能性が経験的に認識されていた。しかし、異なる生育地域間で赤肉果の発生頻度を比較調査した研究例はこれまで報告されておらず、発生抑制に有効な栽培方法も明らかにされていない。

本論文では、赤肉症発生要因を気温の違いから検討することを目的として、果実発育中、特に成熟時期の気温が異なる岡山県の生育地域（県北部と県南部）におけるモモの赤肉果発生状況の違いを調査し、どれくらいの高温で発生が多くなるかといった気温と赤肉果発生との関連について考察した。さらに、モモの生産現場において障害の発生を抑えることができ、同時に労力、コスト面から大きな負担とならない方法として、赤外光反射機能の高い特殊な酸化チタンが塗布されて果実温度の上昇抑制が可能な果実袋（機能性果実袋）を開発し、その障害発生抑制の効果を検討した。

材料および方法

1. 栽培地の気温がモモ果実の赤肉果発生に及ぼす影響

1) 環境条件の異なる地域における赤肉果の発生

岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センター（岡山市，県南部，標高6m）と岡山県新見市の果樹栽培園（県北部，標高445m）に栽植の18年生「清水白桃」2樹（2013–2016年）について赤肉症の発生を調査した。栽培園地の土壌は県南部が真砂土，県北部はクロボク土であった。いずれの園地でも岡山県の栽培指針に準じて栽培した。気温および降水量を県南部では岡山大学フィールド科学センターの複合気象観測装置（クリマテック（株））を、

県北部では複合気象観測装置（Campbell Scientific 社）ならびに小型温度データロガー（おんどとり TR52i，（株）ティアンドデイ）を用いて記録した。なお、温度は県北部では2013，2014年は果実発育第1期後半の5月中旬から収穫期まで，2015，2016年は開花期から収穫期まで記録した。

果実発育時期の区分については、両地域での満開日ならびに平均収穫日から，県南部では果実発育第1期は3月27日から5月27日，第2期はその後6月27日まで，第3期は平均収穫日の7月29日までとし，県北部は県南部よりそれぞれおよそ8日から10日遅いと考えられた。

両地域において，商業的収穫適期に収穫基準に沿って果実を収穫し，25℃で3日間追熟後に赤肉果発生を調査するとともに，品質要素として果実重，果肉硬度および果汁の糖度とpHを測定した。赤肉果の発生程度は，高田ら（2005）の基準に従って，正常果（障害がないもの）を0，軽度（果肉の1～2割程度の発生）の障害果を程度1，中程度（果肉の半分程度の発生）の障害果を程度2，重度（果肉の8割以上の発生）の障害果を程度3とする4段階で評価した。果肉硬度は果実硬度計（KM-5型，（株）藤原製作所），果汁糖度は屈折糖度計（MASTER-T，（株）アタゴ），ならびに果汁pHはpH計（LAQUAtwin-pH-22B，（株）堀場製作所）で測定した。

2) 県北部へ移動させたモモ個体における赤肉果の発生

岡山大学農学部研究圃場内で育成してきた4年生のコンテナ箱植え「清水白桃」6樹を供試した。2016年に3樹は農学部研究圃場（県南部）で保持し，他の3樹は岡山県新見市（県北部）の前項と同じ園地へ発芽前の2月29日に移動させ，栽培した。満開日は県南部で3月28日，県北部では4月7日であった。それぞれの栽培地で商業的収穫適期と想定できる時期（平均収穫日は県南部で7月29日，県北部では8月6日）に果実を収穫基準に沿って収穫し，前項と同様の調査を行った。

2. 機能性果実袋の開発とその赤肉果発生抑制効果

赤外線反射・散乱率の高い酸化チタン（JR-1000，テイカ（株））を慣行袋（モモ中生用のオレンジ袋M-4，西日本果実袋（株））に塗布した機能性果実袋を作成した（第1図右）。機能性果実袋と慣行袋と比較した分光反射率スペクトルを第1図左に示した。機能性果実袋の分光反射率は慣行袋より，近赤外～赤外域では約40%，可視領域では約50%高かった。

機能性果実袋の効果を検討するために，岡山県農林水産総合センター農業研究所（赤磐市）の圃場植栽の11年生（2014年）「清水白桃」4樹を供試した。岡山県栽培指針に準じた肥培，着果管理を行った。機能性果実袋および慣行袋を6月30日に1樹当たり各20果ずつ被袋した。被袋については，両果実袋区間の光環境の違いを最小にするため，両区の果実が隣接するように一対にし，その対が樹冠外周部の全方位にほぼ均等になるように配置した。成熟約7日前の7月18日，14時–15時に，果実袋底部の開口部

第1図 機能性果実袋と慣行袋の分光反射率の違い(左)および酸化チタンを塗布して開発された機能性果実袋と慣行袋(右) 基準太陽光の分光放射強度スペクトルは、ISO 9845-1:1992を参照し作成

から放射温度計 (IR-TAP, (株)チノー) を挿入し, 果実表面の温度を測定した. 慣行収穫熟度で果実を収穫し, 青果物品質評価装置 (フルーツセレクター K-BA100R, (株)クボタ) を用いて, 糖度と果皮の緑色程度 (450 nm の吸光度) および果実重を測定した. 測定後の果実を 25°C の調査室で 3 日間静置した後, 前項と同様に, 赤肉症発生程度 (4: 果肉が崩壊を評価に加え, 5 段階とした) を評価し, 果肉硬度を測定した.

結果および考察

1. 栽培地の気温がモモ果実の赤肉果発生に及ぼす影響

岡山県南部地域にある岡山大学フィールド科学センター (県南部) と北部地域に位置する新見市 (県北部) のモモ

第1表 岡山県南部と北部で栽培したモモ‘清水白桃’の果実品質

年	地域 ^z	果実数 (個)	果実重 (g)	硬度 (kgf)	果汁糖度 (°Brix)	果汁 pH
2013	県南部	66	406.3	0.49	14.2	ND ^x
	県北部	52	281.7	0.54	12.3	ND
	有意性 ^y		**	ns	**	
2014	県南部	37	315.6	0.38	12.7	4.65
	県北部	20	286.8	0.35	12.2	4.72
	有意性		**	*	ns	ns
2015	県南部	21	347.7	0.40	13.3	4.61
	県北部	68	369.4	0.38	14.5	4.45
	有意性		**	ns	ns	*
2016	県南部	51	389.1	0.36	13.1	4.79
	県北部	60	376.3	0.33	15.4	5.30
	有意性		ns	*	**	ns

^z 県南部: 岡山市, 県北部: 岡山県新見市

^y *, **: t 検定によってそれぞれ 5%, 1% 水準で有意差あり,

ns: 有意差なし

^x ND: 調査せず

‘清水白桃’の品質要素と赤肉果の発生率を 2013 年から 2016 年にかけて調査した (第1表, 第2図). 2013 年の県南部では県北部よりも果実が大きく, 糖度も高かったが, これは両区の着果量に違いがみられたことが影響していたと考えられる. 2014–2016 年では, 葉果比の調整により両区で果実重の差は小さくなり, 年次によって糖度と pH に栽培地間の差異はあったものの, 一貫した傾向ではなかった (第1表). 赤肉果の発生はいずれの年も県南部で 50% 以上に達し, 障害程度 2, 3 の果実も多数見られた (第2図). 一方, 県北部の調査樹では, 赤肉果の発生は 2013, 2014 年には全くみられず, それ以後の年も 15% 以下に抑えられていた. また, 県北部では障害が著しい程度 2, 3 の果実はほとんどみられなかった. 従って, 栽培農家の経

第2図 岡山県南部と北部で栽培したモモ‘清水白桃’における赤肉果発生様相 (2013～2016 年と年次平均)

赤肉症の発生程度は, 4 段階 (0: 正常, 1: 切断面の一部, 2: 切断面の約半分, 3: 切断面のほぼ全面) で評価

県南部: 岡山大学農学部附属山陽園フィールド科学センター (岡山市), 県北部: 果樹栽培園 (岡山県新見市), 各年度各区で 20–60 果実を調査

** : アークサイン変換後の t 検定によって 1% 水準で有意差あり

第2表 岡山県南部と北部の果実発育時期別および全期間の
日平均気温とその差

果実発育期 ^{z,y}	年	県南部 ^w (°C)	県北部 ^w (°C)	両地域の差 (°C)
第1期	2015	16.9	15.2	1.7
	2016	16.9	14.5	2.4
	平均	16.9	14.9	2.1
第2期	2013	23.7	21.4	2.3
	2014	23.1	19.6	3.5
	2015	22.4	18.9	3.5
	2016	22.5	20.7	1.8
	平均	22.9	20.1	2.8
第3期	2013	27.6	25.3	2.3
	2014	26.6	23.5	3.1
	2015	25.5	23.9	1.6
	2016	26.8	23.8	3.0
	平均	26.6	24.1	2.5
全期間 (開花～収穫期)	2015	21.6	19.3	2.3
	2016	22.1	19.7	2.4
	平均	21.9	19.5	2.4

^z 第1期は県南部が3月27日～5月27日、県北部が4月4日～6月5日、第2期は県南部が5月28日～6月27日、県北部が6月6日～7月5日、第3期は県南部が6月28日～7月29日、県北部が7月6日～8月6日

^y 両地域とも、第1期が62日間、第2期が31日間および第3期が32日間で、満開期から収穫期まで125日間の日平均気温を示した

^w 第1表参照

験則どおり、県北部の‘清水白桃’では赤肉果発生が少ないことが示された。

開花期から収穫期まで記録した2015、2016年の両地域の気温をみると、発育期が進むにつれて気温は上昇していったが、県南部が常に高く推移していることが明らかであった(第2表、第3図)。両地域の日平均値の差異は、開花期から収穫期までの全発育期間では2015年は2.3°C、2016年は2.4°C県南部が高かった。また果実発育期別でみると、第1期では平均で2.1°C、第2期は2.8°C、第3期では2.5°Cの差がみられた。第2、3期の平均気温の差は年によっては3°C以上も異なった(第2表)。県北部と県南部ではモモの収穫期には1週間以上の違いがあることを考慮しても、モモの果実発育第2期以降の生育・成熟期の平均気温は県南部では県北部よりも約2.5°C以上高く、果実発育第2、3期の高温が赤肉果発生と関連性が高いことがうかがえた。

積算気温について全発育期間ならびに各発育期間における両地域の気温およびその差を第3表に示した。発育期間全体、また各発育期間別の比をみると県南部は県北部のおよそ10%程度高く、第2期では20%程度高い年もあり、差が最も大きかったのは第2期であった。期間別積算気温をそれぞれの期間日数で除した値(日当たり差)も第2期が高かった。

一方、各発育期間別に25、30および35°C以上を指定気温の値としてそれぞれの高温に遭遇した頻度を第4図に示した。時間単位(毎時の平均気温で指定気温値以上の高温であった時間数)でみると、第1、2期にもいくらか高温に

第3図 2015および2016年における開花期から収穫期までの両地域の気温推移
両地域とも満開期から収穫期まで半旬ごとの平均気温で示した
県南部は3月27日～7月29日、県北部は4月4日～8月6日
発育期間は実線が県南部、破線が県北部を示す

第3表 岡山県南部と北部の果実発育時期別および全期間の積算気温^z

果実発育期 ^y	年	県南部 ^x (°C)	県北部 ^x (°C)	両地域の差 (°C)	両地域の比 ^w (%)	日当たり差 ^v (°C/日)
第1期	2015	1047.1	959.9	87.2	109	1.4
	2016	1049.9	916.2	133.7	115	2.2
	平均	1048.5	938.1	110.4	112	1.8
第2期	2013	734.7	641.1	93.6	115	3.0
	2014	717.1	587.7	129.4	122	4.2
	2015	694.1	565.7	128.4	123	4.1
	2016	697.0	622.2	74.8	112	2.4
	平均	710.7	604.2	106.6	118	3.4
第3期	2013	884.6	809.1	75.4	109	2.4
	2014	850.1	753.4	96.6	113	3.0
	2015	816.0	763.3	52.7	107	1.6
	2016	858.6	762.9	95.7	113	3.0
	平均	852.3	772.2	80.1	110	2.5
全期間 (開花～収穫期)	2015	2557.2	2288.9	268.3	112	2.1
	2016	2605.5	2301.4	304.1	113	2.4
	平均	2581.4	2295.2	286.2	112	2.3

^z 果実第1期および全期間の気温は2015, 2016年のみ計測^y 果実発育期間については第2表参照^x 第1表参照^w 県南部÷県北部×100^v 両地域の差を各発育期間日数で除した値

遭遇した時間があったことが伺える(第4図上)。さらに、日単位(日平均気温が指定気温以上の高温であった日数)でみると第2期の県南部ではわずかに出現するが、第3期(32日間)になると最も遭遇頻度が高く両地域で大きな差異がみられた。すなわち、県北部では25°C以上の日数は2015年には8日、2016年は9日であり、期間中の割合にすると両年とも30%に達していなかったのに対し、県南部ではそれぞれ18日、26日で、割合では56%、81%と増加していた(第4図下)。

これまで述べたように、平均気温や積算気温の両地域間の差異では第1期と比べると第2期以降がより大きくなる傾向があったが、第2期と第3期のどちらがより差異が大きいかは必ずしも明確ではなかった。しかし、気温の絶対値では全発育期とも県南部で常に高い状態であり、当然ながら第2期、第3期とステージが進むほど高くなった。

さらに、高温遭遇頻度をみると第2期では少ないとはいえ、県南部では第2期からの高温も影響していることも否定できないが、県南部で第3期に最も顕著な遭遇頻度がみられたことから、第3期のより高く、かつ長く継続した高温によって赤肉症の発生が促された可能性が大きいと考えられた。

果肉中にアントシアニンが集積する赤肉果の生理的機構の解明は今後の課題であり、果皮とは別のメカニズムによるかもしれないが、果皮のアントシアニンは第3期から集積することと関連性があるとすれば第3期の環境の影響が大きいことが想定される。今後、代謝生理への時期別の温

度の影響を明らかにすることが求められる。

一方、生育・成熟期の降水量は年次変動が大きかったものの北部と南部に一貫した大きな傾向の違いはなかった(データ略)。両地域の土壌の違いの影響も考慮する必要があるかもしれないが、これらの結果は、生育・成熟期の温度環境が赤肉果発生の重要な要因となっていることを示唆している。

そこで、気温が赤肉果発生に及ぼす影響をより正確に評価するために、2016年には岡山大学の研究圃場で育成しているコンテナ植え‘清水白桃’樹の一部を県北部へ移動させて栽培し、調査を進めた。果汁糖度は北部栽培で高かったものの、果汁のpHや果肉硬度はほとんど変わらなかった(第4表)。すなわち、両栽培地の調査果実の熟度に違いはないと考えられた。赤肉果発生をみると、県南部で栽培を継続したコンテナ植え個体では果実切断面のほぼ全面が赤肉を呈する障害程度3以上を含み70%以上の果実に障害がみられたのに対し、県北部へ移送したコンテナ植え個体では赤肉果は全くみられなかった(第5図)。従って、赤肉果の発生には、生育・成熟期の果実発育第2期から第3期の高温、特に前述したように第3期の高温環境が重要な要因となっていると考えられた。

県南部と北部の気温の差異は岡山県や和歌山県など西日本のモモ産地で赤肉症が発生している地域と、山梨県、福島県など、現在まだ赤肉症が大きな問題になっていない東日本の地域との成熟期の6月、7月の約2°Cの温度差(アメダスデータ)に相当していることともよく符合する。今

第4図 生育期間中における高温遭遇頻度の比較（上：高温遭遇回数，下：各期の日平均気温で出現した高温遭遇日数）
 高温遭遇回数は、各期間の60分ごとの平均気温24回／日における、25℃、30℃または35℃以上の出現頻度で表した
 第1期（62日間）：県南部3月27日～5月27日，県北部4月4日～6月5日
 第2期（31日間）：県南部5月28日～6月27日，県北部6月6日～7月5日
 第3期（32日間）：県南部6月28日～7月29日，県北部7月6日～8月6日

後、温暖化が進行する状況においては、本試験で示された県南部のような気温条件を将来的な全国の赤肉症発生予測の閾値として利用できる可能性も考えられる。

高田ら（2005, 2008）は、モモ赤肉症の発生率は同一園地でも樹体間で大きく異なり、一度発生した樹では翌年以降も多発すること、弱剪定栽培では多発することを報告している。さらに、弱剪定栽培では地上部重量と地下部重量との比率（TR率）が低い樹体での発生が多いことや、ホウ素などの微量元素が不足していることも発生要因として指摘している（高田, 2006）。従って、モモ果実の赤肉症発生には、発育に伴い果実内の代謝生理の変化が進む過程で、高温が温度ストレスとして樹体ストレスと複合的に作用し果実の代謝生理の変化、たとえば果実内のアントシアニン生成の異常をもたらす要因となっている可能性も推察される。今後、赤肉症の発生要因については、モモ果実発育期の温度上昇と成熟生理の解析、ならびに高田ら（2005, 2008）やFukudaら（2017）の指摘する生理的発生要因への温度上昇の影響を含めて、関連性を明らかにしていくことが重要であると思われる。

第4表 岡山県南部と北部へ移動させて栽培したコンテナ植えモモ‘清水白桃’の果実品質

	果実数 (個)	果実重 (g)	硬度 (kgf)	果汁糖度 (°Brix)	果汁 pH
県南部	26	184.9	0.34	15.2	4.96
県北部 ²	16	178.2	0.36	18.1	4.91
有意性 ³		ns	ns	**	ns

² 県北部：県南部から2016年2月29日に移動させた3樹、それまで同様に栽培

³ **: t検定によって1%水準で有意差あり, ns: 有意差なし

第5図 岡山県南部および県北部へ移動させたコンテナ植え‘清水白桃’の赤肉症発生率（2016年）
 赤肉症の発生程度は、第2図参照
 県北部（新見市）のコンテナ植え個体は県南部から2016年2月29日に移動させて栽培

我が国の温暖化が果樹生育に及ぼす影響に関する試験研究機関へのアンケート調査では、既に、気象変動による着色不良や品質への影響を含め、果樹でも生育障害発生の増加傾向が指摘されている（杉浦ら, 2007）。その中で、モモでは開花期と成熟期がともに前進する果実生育前進タイプであり、全国的には、果肉障害の一つ、水浸状果肉褐変症（みつ症）も増加したと報告されている。この発生は果実生育期の高温とともに、降雨量が多いなど水分条件によってもたらされるとされ、赤肉症との合併障害を起こすことも指摘され（福田ら, 2016）、両障害とも高温が大きな要因となっていることがうかがえる。岡山市において、この30年（1986年から2016年）ほどで7月の日平均気温が25.9℃から27.5℃と1.6℃上昇している。水浸状果肉褐変症と赤肉症は異なる果肉障害ではあるが、岡山県南部地域における赤肉果の発生増加にも、ここ数十年内の気象変化が要因となっているのかもしれない。

2. 機能性果実袋の開発とその赤肉果発生抑制効果

前項でモモ赤肉果発生に栽培地の気温が重要な要因になっていることが示された。夏季の温度抑制法として、ブドウでは、施設栽培を中心に、遮光資材による被覆で一定程度可能であることが示されている（釘宮ら, 2011）。一方、立木露地栽培が主体のモモでは、地上部全体の寒冷紗の被覆による遮光や樹上からの継続的散水による温度制御が考えられる。しかし、これらの方法では労力、資材などの面で大きな困難を伴う。従って、より簡易で低コストの対応策が求められる。

ブドウやウンシュウミカンでは樹体全体の温度を制御しなくても、成熟期の果実周辺の温度を下げるだけで、果実の着色が顕著に改善することが知られている（苦名ら、1979; 宇都宮ら、1982）。福田ら（2010）は、果実発育第3期に、わずかに高温となる素材の果実袋をモモに掛けると、慣行袋より成熟が前進すると報告している。つまり、果実袋資材によって樹上の果実周辺の温度を変化させ、モモの果実生理に影響を与えることが可能であると考えられた。そこで、果実周辺の温度上昇を抑制することを目的に、近赤外光や赤外光の反射率の高い酸化チタン（JR-1000）を塗布した機能性果実袋を試作した（第1図右）。この酸化チタンは波長780～2500 nmの光反射率が83.3%と、通常の白色顔料用チタンの75.2%よりも高い性質を持つ。

機能性果実袋および慣行袋を掛けた成熟約7日前のモモ果実温度および収穫3日後の赤肉症の発生率と赤肉指数を第5表に示した。果実温度が慣行袋内では35.5℃であったが、機能性果実袋内では34.0℃となり、1.5℃低かった。2014年は平均収穫日が慣行区で7月26日と相対的に早く、7月25日であった機能性果実袋区と大差なかったものの、赤肉症の発生率は、赤肉果率が慣行袋で25%以上となり、機能性果実袋よりも有意に劣った（第5表）。また、発生程度3以上は機能性果実袋区で生じなかった。

このように、機能性果実袋では果実袋内の温度を1.5℃低下させることが示され、これは岡山県北部と県南部の気温差ほどではなかったものの、両地域の差に近い抑制効果であった。さらに果実袋内の温度を35℃未満に下げて成熟直前の果実の温度環境を改善することで、同一樹内でも赤肉症の発生が有意に低下したことは、発生機構への関連も含め、以下の観点からも興味深い。すなわち、モモを含むクライマクテリック型果実では、エチレンを介して成熟が制御されていて、果実温度が円滑な成熟進行や軟化に影響することが知られている（中野、2015）。エチレンを生成する酵素活性には温度が制限要因となり、収穫後の調査であるが、35℃ではモモ果実の場合、エチレン生成を抑えてしまう（小宮山・辻、1985）。低温障害の一つで、“赤肉症”の肉質と似た貯蔵障害である、Woolinessの発生率

はエチレン生成を高めて貯蔵すると有意に低下することから（Zhouら、2001），“赤肉症”でも肉質変化に果実の温度を介したメカニズムがあり、機能性果実袋がその境界をコントロールできたのかもしれない。今後、両区の果実袋内の温度が異なることによる果実のエチレン生成などの変化を詳細に解析し、抑制方法の解明も進めていく必要がある。

機能性果実袋の利用によって、商品性のなくなる果実（発生程度2以上）の発生が抑制できたことは、産地への信頼や収益を確保するという安心感が付加できるものと思われる。なお、高田ら（2006）は、‘武井白鳳’果実に、橙色袋の上から黒色袋を掛けると収穫時の赤肉症の発生率を抑制するが、収穫4日後には白色袋の果実とほとんど変わらなかったことを報告している。黒色袋では、太陽光線を吸収してアントシアニン蓄積が妨げられることから、収穫時には明確となっていなかった障害果が収穫後に着色したと推測される。一方、今回開発した機能性果実袋は、完熟となる収穫3日後に赤肉症の発生程度を評価しても、発生率が低く明確な抑制効果を示しており、実用技術として有望と考えられる。

岡山県では、着色品種の‘川中島白桃’において、着色のない「白い」仕上がりにするため、外側が白色、内側が黒色の紙を用いた遮光度の高い果実袋が用いられている。遮光度が高く光線透過率を0.1%にする黒色袋では慣行果実袋や無袋よりも果汁糖度を1°以上低下させることが示されており（岡山県うまいくだものづくり推進本部、2003）、果実の受光環境の変化は果実品質に影響する可能性も考えられる。本研究で機能性果実袋を掛けた果実の収穫時の品質は、第6図左に示したように、慣行袋区と比べて、果実重、糖度および果肉硬度にはいずれも有意な差は認められなかった。岡山県の‘清水白桃’は、出荷時に共同選果が行われ、果実重および糖度（非破壊検査）により等級分けされている。この条件下では本機能性果実袋を導入しても、選果時に不利になることはないといえる。また、機能性果実袋区の果実外観に変化が生じず、地色の抜けや果頂部の着色が慣行袋区と大差なかった（第6図右）。生産者は、主に経験により、果実外観および地色の抜け具合から

第5表 被袋果実温度と収穫3日後における赤肉果発生率ならびに赤肉指数に及ぼす機能性果実袋の影響

処理区	被袋果実温度 ^z (℃)	赤肉果率 ^{x,w} (%)	程度別障害果 ^{x,w} (%)			赤肉指数 ^{x,v} (0–4)
			程度1	程度2	程度3以上	
機能性果実袋 ^y	34.0±0.2	8.8±4.3	7.5±3.2	1.3±1.3	0	0.10±0.04
慣行袋	35.5±0.2	26.3±8.0	18.8±4.3	6.3±4.7	1.3±1.3	0.35±0.07
有意性 ^u	**	*	*	ns	ns	**

^z 2014年7月18日に樹上で調査、平均値±SE (n=17)

^y 各区の平均収穫日はそれぞれ7月25日、26日

^x 赤肉症の発生程度は、5段階（0：正常、1：切断面の一部、2：切断面の約半分、3：切断面のほぼ全面、4：果肉が崩壊）で評価

^w 赤肉果率と程度別障害果率：平均値±SE (n=4)

^v 赤肉果指数：平均値±SE (n=80)

^u *, **: t検定によって、それぞれ5%, 1%水準で有意差有り、ns：有意差なし

第6図 機能性果実袋の被袋がモモ‘清水白桃’の果実品質(左)と果実外観(右)に及ぼす影響(2014年)
機能性果実袋区と慣行袋区の平均収穫日はそれぞれ7月25日、26日(n=4, 各反復当たり20果)
糖度と果肉硬度は収穫3日後に調査
バーはSEを示す

収穫時期や果実の熟度を判断する。従って、慣行袋から機能性果実袋に切り替えても、判断経験の混乱が生じることなく、乳白色の果皮を重視する岡山県のモモ生産において、機能性果実袋は悪影響を及ぼさないことが示された。

このように、本機能性果実袋を掛けると、果実温度の上昇が抑えられ、赤肉症の発生は抑制されるが、糖度や硬度などの内部品質および果実の外観ともに、慣行袋との差がないことが示された。従って、慣行袋からの切り替えは、流通関係者や消費者に違和感を生じさせず、袋単価が約10~20%上昇するものの、果実袋のサイズ、紙質および掛け方が変わらないため、作業性にも悪影響がないことから、生産者に受け入れやすい対策と考えられる。

なお、本技術は、「果実袋」として国際特許および中華民国で特許を申請し、日本(藤井・池田, 2016)、中華民国(藤井・池田, 2017a)および大韓民国(藤井・池田, 2017b)で特許を取得している。また、本試験に用いたものとはほぼ同仕様の機能性果実袋は2017年から市販されており、果肉障害発生軽減および温度制御実用技術として、モモ生産者による利用が始まっている(藤井, 2018)。

今後は、他のモモ品種への適用拡大を検討していくとともに、高温によって着色が抑制される黒紫色ブドウの着色改善や異常な高温により果肉障害のみつ症が発生するとされるニホンナシ(羽山, 2014)にも本技術の応用が期待できるかもしれない。実際に本研究の知見を活用して、同様に作成された果実袋を掛けることによって、ニホンナシでもみつ症の発生を抑制する可能性も示されている(藤井, 2018)。

以上のように、モモの赤肉果の発生には果実発育期、特に果実発育第3期の温度が密接に関係している可能性が示された。モモの慣行栽培では果実発育第2期の硬核期に果実袋がかけられるが、機能性果実袋を用いることで成熟期の高温抑制効果がより高まると考えられる。開発された機能性果実袋は、作業効率を低下させることなく、低コストで成熟時期の果実温度の上昇を抑える効果があり、赤肉症の発生抑制に有効であることが本試験により確かめられた。

摘 要

岡山県内の新見市(県北部)と岡山市(県南部)で露地栽培したモモ‘清水白桃’について2013年~2016年に赤肉果発生率を調査したところ、県南部の発生率は県北部よりも顕著に高かった。県南部においてコンテナで数年間育成した後、県北部へ移動させて栽培したモモ樹と県南部で継続栽培した個体との2016年の比較調査でも同様な傾向がみられた。モモの生育・成熟期間中、いずれの年でも県南部は県北部よりも2℃以上高かった。従って、赤肉果発生は高温環境で促進されることが推察され、特に果実発育第2, 3期、とりわけ第3期の高温遭遇頻度が影響している可能性が考えられた。次いで、果実周辺の温度制御を目的として、慣行袋に近赤外および赤外光の反射率の高い酸化チタンを塗布した機能性果実袋を試作した。この機能性袋のモモ果実への被袋が、成熟前の果実温度を約1.5℃低下させ、赤肉果発生を抑制した。一方、機能性果実袋は果実重や外観、糖度、pHなどの品質要素および収穫時期ならびに作業労力や導入費用には大きな負担を与えるものではなかった。この機能性果実袋は簡易かつ安価な赤肉症抑制に対する実用的技術となり得ることが示された。

謝 辞 本原稿の作成に当たり、岡山大学大学院環境生命科学研究科の久保康隆教授、岡山県農林水産総合センター農業研究所の野菜・花研究室室長の森 義雄博士に懇切丁寧なご助言をいただきました。ここに記して深く感謝いたします。

引用文献

- 藤井雄一郎. 2018. 特集・モモ産業を展望する. 機能性果実袋による果肉障害の低減. 果実日本. 73(6): 47-50.
- 藤井雄一郎・池田征弥. 2016. 果実袋(果実の育成促進袋). 特許公開2016-5877441.
- 藤井雄一郎・池田征弥. 2017a. 果実袋. 中華民国特許公開I583300.
- 藤井雄一郎・池田征弥. 2017b. 果実袋. 大韓民国特許公開10-1719289.

- 福田文夫・羽山裕子・森永邦久・山根崇嘉. 2016. I. モモの果肉障害と発生要因. p. 1–7. 岡山大学編. 西日本のモモ生産安定のための果肉障害対策技術の開発研究成果集. モモ果肉障害対策技術開発共同研究機構. 岡山市岡山大学内.
- Fukuda, F., Y. Tomita, Y. Aishima, K. Koumoto, Y. Fujii, K. Hirano, K. Morinaga and N. Kubota. 2017. Effect of flowering time on occurrence of reddish pulp in the peach. Hort. J. 86: 145–150.
- 福田文夫・横山 愛・久保田尚浩. 2010. モモ‘清水白桃’の収穫時期, 果実品質および果梗離脱果発生に及ぼす果実袋とエテホン処理の影響. 園学研. 9 (別2): 390.
- 羽山裕子. 2014. 温暖化の克服に向けて (第8回) 日本ナシ「新高」のみつ症は収穫6～3週間前に果実周囲を加温すると発生が助長される. 果実日本. 69(8): 29–32.
- 小宮山美弘・辻 政雄. 1985. 収穫果実の高温領域での生理変化とその貯蔵への利用. 日本食品工業学会誌. 32: 597–603.
- 釘宮伸明・今井 寛・川田重徳・清原祥子・植山昌人. 2011. ブドウ「ピオーネ」の着色向上法. 大分県農林水産研究指導センター研報 (農). 1: 89–101.
- 中野龍平. 2015. 10. 果実の成熟と収穫後生理. p. 134–153. 米森敬三編著. 果樹園芸学. 朝倉書店. 東京.
- 岡山県うまいくだものづくり推進本部. 2003. I. モモ. p. 1–55. 果樹栽培指針. 全国農業協同組合連合会岡山県本部. 岡山.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義. 2007. 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研. 6: 257–263.
- 高田大輔. 2006. モモの果肉障害“赤肉症”と“水浸状果肉褐変症”に関する研究. 岡山大学大学院自然科学研究科学位論文.
- 高田大輔・福田文夫・久保田尚浩. 2006. モモの赤肉果発生に及ぼす着果位置, 収穫日および袋掛けの影響. 園学研. 5: 33–37.
- 高田大輔・福田文夫・久保田尚浩. 2008. 栽培管理法の違いがモモ‘紅清水’の赤肉果発生と果実発育に及ぼす影響. 園学研. 7: 367–373.
- 高田大輔・田上健太郎・福田文夫・久保田尚浩. 2005. モモ果実の生理障害“赤肉症”の特徴. 園学雑. 74: 407–413.
- 苫名 孝・宇都宮直樹・片岡郁雄. 1979. 樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響 (第2報) ブドウ‘巨峰’果実の着色に及ぼす樹体及び果実の環境温度の影響. 園学雑. 48: 261–266.
- 宇都宮直樹・山田 寿・片岡郁雄・苫名 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.
- Zhou, H.-W., L. Dong, R. Ben-Arie and S. Lurie. 2001. The role of ethylene in the prevention of chilling injury in nectarines. J. Plant Physiol. 158: 55–61.