

博士論文

岡山県のモモ栽培における気象変動
が生理障害発生に及ぼす影響の把握
と対策技術の開発

2021年3月

藤井 雄一郎

岡山大学大学院
環境生命科学研究科

目 次

謝辞	1
第1章 緒論	2
第2章 夏季の気象変動による果肉障害への対策技術開発	9
第1節 気温変動が果肉障害の発生に及ぼす影響の把握	9
第2節 気温変動に対応した新規機能性果実袋の開発	19
第3節 熟期促進と果肉障害回避を目的としたエテホン散布技術の開発	29
第4節 生育期の降水量増大への対策技術の開発	37
第5節 基部優先着果による果肉障害低減技術の開発	48
第6節 果肉障害対策技術の組合せによる総合実証	52
第7節 果肉障害果の非破壊判別技術の検討	56
第8節 考察	60
第9節 摘要	75
第3章 冬季から春季の気象変動によるモモ樹の凍害の発生およびその抑制対策	77
第1節 凍害の症状と発生要因の解析	77
第2節 台木による凍害回避	86
第3節 保温資材の効果と新規保護材の開発	95
第4節 考察	105
第5節 摘要	113
第4章 総合考察	114
総摘要・Summary	119
引用文献	124

謝 辞

本研究を行うに当たり、懇切なるご指導とご校閲を賜った岡山大学准教授 福田文夫博士に謹んで深謝の意を表します。また、終始適切なご指導とご教示を賜った前岡山大学教授 森永邦久博士に深謝の意を表します。さらに、取りまとめに際して、励ましを頂いた、岡山県農林水産総合センター農業研究所野菜・花研究室 森義雄博士、岡山大学教授 久保康隆博士、前 岡山大学教授 久保田尚弘博士には感謝の意を表します。

研究期間には、前果樹研究室 岸弘明氏、笹邊幸男氏、倉藤真弓氏、金澤淳氏、木香明子氏、片沼慶介氏、清水佐伯男氏、中島康夫氏、岸田勝彦氏、前田和久氏、現果樹研究室 安井淑彦氏、中島譲氏、荒木有朋氏、樋野友之氏、日原誠介氏、神谷忠利氏、久保田朗晴氏、鶴木悠治郎氏、河村美菜子氏、渡辺真帆氏、佐々木郁哉氏には心より感謝の意を表します。

果実袋の開発に当たり、テイカ株式会社の北小路明久氏、池田征弥氏、荒川徹氏、西日本果実袋株式会社の江見登吉氏、寺村学氏には心より御礼申し上げます。

モモ主幹部の新規保護資材の開発に当たり、前岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室の野上英孝氏、有限会社榎野木材の榎野広氏には心より御礼申し上げます。

研究の遂行に当たりご支援いただいた、農業研究所 谷名光治氏、井上幸次博士、前農業研究所 小野俊朗氏、田村史人博士には心より感謝の意を表します。

現地モモ園における実証試験、現地調査にあたりご協力を頂いた普及指導センターの方々、岡山県内のモモ栽培農家の方々に深く御礼申し上げます。

研究者として歩む契機とスキルを与えていただいた、前岡山大学教授 島村和夫博士、岡山大学名誉教授 岡本五郎博士に深く御礼申し上げます。

研究生生活を支えてくれた私の家族に深い感謝の意を表します。

最後に、本論文を慎重にご審査いただいた岡山大学教授 豊田和弘博士、齊藤邦行博士、後藤丹十郎博士に深く御礼申し上げます。

第1章 緒論

岡山県のモモ栽培は明治時代から本格化し、現在では県南部を中心に一大産地として全国に認められている。モモの生産面積は2019年度には、662ha（岡山県統計）と全国第6位を占め、生産額は13.3億円（全農岡山取り扱い金額）と主要な果樹となっている。特に、岡山県のモモは赤く着色させないため白い外観が特徴で、みずみずしく滑らかな果肉と相まって知名度が高く、ブドウと並んで主な主力果樹の一つとして地域ブランドの位置を揺るぎないものとしている（岡山県、2015）。

ところが、地球温暖化に起因すると考えられる気象変動により、日本の果樹生産が大きな影響を受けていることが報告されている（杉浦ら、2007）。その中でも、モモに関しては、果実のみつ症（水浸状果）の発生が増加傾向にあり、夏季の高温との関連が示唆されている。また、暖冬傾向から耐凍性の低下による凍害も増加傾向にあるとしている。

岡山県のモモ生産でも温暖化の影響が生じていると考えられる事例が増加傾向にあり、開花期や成熟期の前進などの生育時期の変動が報告されている（永井ら、2010）。また、収穫後の高温や少雨が、結果枝や花芽の充実不良の一因であることが指摘され、対策技術の検討も行われている（樋野ら、2012）。一方、霜害による結実不良の発生頻度が高くなり、燃焼法による回避技術についても検討されている（大浦ら、2012）。また、若木を中心に、衰弱や枯死する個体が増加傾向にあり、対策技術の確立が急務となっている。

加えて、夏季の異常な高温や大雨の影響も顕在化し始めており、核割れや生理的落果による減収や、成熟期が極端に前進、あるいは後退する場合もあるなど、大きな問題となっている（安井ら、2002）。特に果肉障害の増加は、これまで長年にわたって構築してきた高品質モモの生産地の高い信頼を揺るがせる大きな問題となりつつあり（森永ら、2016）、対策技術に関するモモ生産者の要望は非常に強い。

岡山県の主要品種であるモモ‘清水白桃’は7月下旬から8月上旬に成熟するが、果実発育第3期後半が梅雨明け後の気温上昇に遭遇することが多くなってきており、この期間の最高気温が平年を大きく上回ると、成熟が早まるのではなく、遅延する傾向が強い。成熟が遅延した場合には、通常、収穫期が重ならない他の主要品種である‘おかやま夢白桃’や‘川中島白桃’などと同時期に選果場に出荷されることもあるため、‘清水白桃’本来の進物需要に対応できないだけでなく、選果の遅延や、市場におけるモモの供給過剰による単価の大幅な下落が生じたという事例も報告されている（藤井、2008）。成熟遅延

に加えて、夏季の異常高温年や多雨年には、「赤肉症」や「水浸状果肉褐変症」などの果肉障害の発生が多いことも経験的に知られており、その発生要因の解明と対策技術の確立が求められてきている。

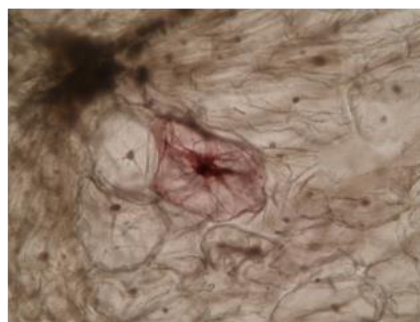
そのうち、「赤肉症」は収穫後、果実が成熟すると、第 1-1-1 図のように、果肉の一部または全体が桃赤色を呈する障害である。収穫後も症状を呈する部位が増加することから、市場流通時にはより発生程度が高まる可能性がある。発生程度が程度 2 以上に甚大（第 1-1-3 図）となると、果肉が粉質化して果汁が得られにくい場合もあり、モモらしい香りも減少することから、風味が著しく低下する。果肉のホウ素含量が少なく、ペクチン組成が変化することが、粉質になる原因と考えられ、また赤色色素のアントシアニンを多量に含むため（第 1-1-2 図）、果肉のポリフェノール含量が正常果より高くなっていることが特徴である（高田，2006）。また、多発樹では、果実発育が旺盛な時期に根の成長が伴わないことも報告されている（高田ら，2006）。赤肉症は、一旦多発すると、その樹での発生率が高く保たれてしまうことも報告されているため（高田ら，2006）対策技術の確立が急務である。

この赤肉症は、岡山県で多く確認されていて、‘清水白桃’や‘白鳳’によく見られる。樹勢を弱くしすぎたり、低施肥で栽培したりすると発生率が高まることが知られ、障害部位のアントシアニンの蓄積の量やパターンは品種間で少し異なることが知られている（高田ら，2006）。

樹内での発生部位は、樹冠の中位から基部側に多く、収穫時期が遅い果実で発生が急増する（高田ら，2006）。果実が成熟に達するまでの日数が長くなる「開花日の早い果実」で発生も高いことが示されていることから（Fukuda ら，2017）、成熟期に高温下で長くとどまることによる成熟の遅れや、物質の蓄積が緩慢になることが、赤肉症の発生を助長



第 1-1-1 図 赤肉症の果肉（右）



第 1-1-2 図 アントシアニンの集積



第 1-1-3 図 赤肉症の程度（（高田，2006）より引用）

- 0：正常
- 1：軽度（果肉の 1～2 割程度の発生）
- 2：中程度（果肉の半分程度の発生）
- 3：重度（果肉の 8 割以上の発生）

すると推測されている．このため，本障害の発生は，温度や降水量などの気象条件が左右するとみなされている．

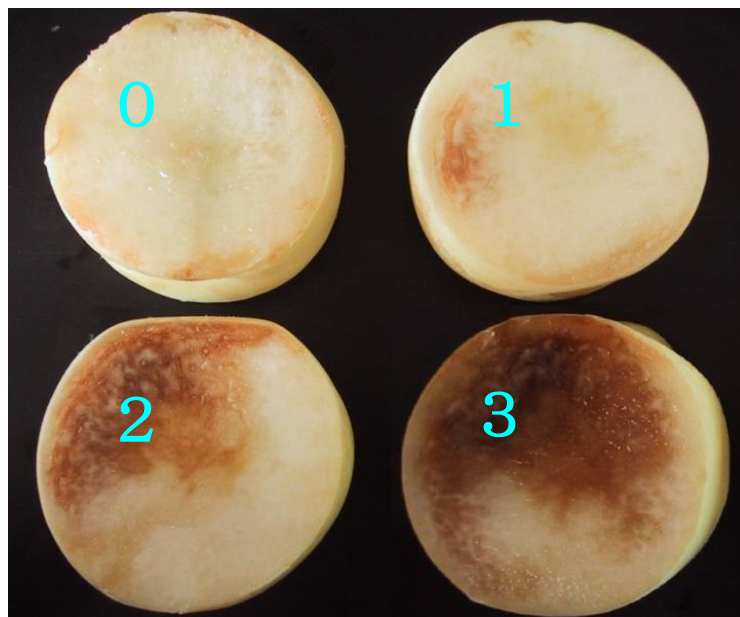
一方，モモの水浸状果は，地域によって様々な呼称があり，岡山県では「あん入り症」，「煮え果」などとも呼ばれる．成熟後期（収穫直前）に果肉の一部が水浸状となるためリンゴやナシの類似症状を指す「みつ症」と呼ばれてきたが，水浸後に時間が経つと，その部位が褐変する障害である（第 1-1-4 図，第 1-1-5 図）．褐変まで症状の進んだ場合は発酵臭を伴い，食味も低下する．そこで，高田ら（2006）は「水浸状果肉褐変症」と統一した．

大玉で，果肉が軟らかく，糖度の高い，いわゆる熟度の進んだ高品質な果実に水浸状果が発生しやすく（久保田ら，2012），近年は糖度等の果実品質を重視して，「完熟」で収穫することが多いため，収穫が適期より少しでも遅れると発生が急激に増加する．また，年次によっては収穫適期前でも果肉に障害が発生する場合があります．経験的には，糖度の上昇が順調で，成熟直前に大雨がある場合に多いなど，樹体への水分供給が高まる気象条件等の影響が示唆されるが，詳細は明らかとなっていない．

品種によって発生の多少に差はあるが、日本で栽培される多くの品種で発生することが確認されている。また、一般に、早生品種に比べて中生・晩生品種に発生が多いとされている（藤丸ら，2005，荻原ら，2008，2014）。この障害は、樹上において発生し、貯蔵中に新たに発生することはないとされるが、水浸状となった部位の褐変化は貯蔵中にも進行することが明らかとなっている（古屋ら，2011）。



第 1-1-4 図 水浸状果の果肉（右）



第 1-1-5 図 水浸状果肉褐変症の程度（（高田，2006）より引用）

0：正常

1：軽度（果肉の 1～2 割程度の発生）

2：中程度（果肉の半分程度の発生）

3：重度（果肉の 8 割以上の発生）

水浸症状の果実内の発生部位は、果頂部およびその両側の肩の部分に多く、縫合線の近辺では少ないことが明らかとなっていて、糖度の高い部位に発生しやすいとの指摘もある（高田ら、2006）。前出の赤肉症と併発する場合もあり、看過できない障害の一つとなっている。

このように、成熟遅延や果肉障害は岡山県のみならず、特に気温が高くなる傾向にある西日本のモモ産地である和歌山県、香川県および熊本県などでも喫緊の解決すべき課題として多数の生産地域から、大学や試験研究機関に要請がなされ、2013年から3年間、岡山大学を中核機関として、岡山県、和歌山県、農研機構果樹研究所および企業とコンソーシアムを組み、モモの果肉障害対策技術のプロジェクト研究を実施した。

このプロジェクトを実施するに当たり、対策技術を考える上で、果実発育のどの部分の気象条件が障害発生に関係するかを把握する必要があるため、まず、気温の影響を中心に検討を行った。また、降雨については、土壌水分に直結するため、樹冠下表面にマルチを敷設することで、水分制御を通して果肉障害に及ぼす影響について把握した。検討結果を基に、気温や土壌水分のコントロールを可能とする対策技術の開発を試みた。成熟の遅延対策としてはエテホン処理による成熟期の制御に関する検討を行い、果肉障害対策としては、遮熱性の高い果実袋の開発と部分マルチの敷設技術について検討した。一方、開花日によって果実発育様相が変わることから（Fukuda ら、2017）、開花日の早晩を考慮した着果法の確立も試みた。このように、環境への対策と着果法を組み合わせ、種々の面から成熟遅延および果肉障害を抑制する改善策の確立を試みた。

また、軽減技術によって発生率を低下させた後も、残った障害果を市場流通させないことが産地の信用を守る上で重要と考えられ、内部障害を非破壊で判別する技術の開発を要するとみなされた。果肉障害果は、外観からの判別が難しいため、内部の状態を把握する方法を用いる必要がある。音響振動法による共鳴周波数は、物質の硬さを推定することにより用いられ（Abbott ら、1968）、果実熟度を把握する検討が進められてきたが、二ホンナシの内部障害である心腐れの発生を共鳴周波数の閾値から決定することが可能であることが明らかにされた（Kadowaki ら、2012）。モモ果実でも、核割れ果の発生を共鳴周波数の比から判別することが可能であることを見出して（Nakano ら、2018）、内部状態の把握が音響振動法の利用で可能になる可能性がある。すなわち、モモの果肉が部分的に硬度低下していることから、共鳴周波数を利用できる可能性がある。そこで、判別方法開発

の一助として、収穫されたモモ果実での音響振動法に共鳴周波数の収集を行い、閾値による障害果と正常果との区別を検討し、その利用可能性を検討した。

前述の夏季の気象変動による熟期の変動や果肉障害の発生に加えて、晩冬から春季にかけての気象変動によって発生すると考えられるモモ樹の衰弱や枯死を症状とする障害が近年、岡山県内のモモ産地で顕在化し始めており、その対策は急務である。

岡山県の近年の晩冬から春季にかけての気象的な特徴として、2月の最高気温の上昇傾向や3月から4月にかけての最低気温の下降傾向が顕著になってきていることが報告されている（永井ら、2010）。それに応じてか、岡山県内の栽培者や普及機関から凍霜害対策に関する要望が寄せられるようになってきている。杉浦ら（2007）は、温暖化による気象災害に関する影響について、果樹での凍害および晩霜害の増加を指摘する都道府県が増加していることを示しており、全国的な問題であるとも考えられる。特にモモ樹の枯死や障害は、「通常より早い休眠覚醒後（吸水後）の強い冷え込みによる主幹付近部の凍害」が原因の生理障害であると考えられている。

この障害は開花後に急速に樹勢が衰弱し、新梢伸長もきわめて緩慢となる症状を示す。重症な場合は回復せず、枯死に至る（第1-1-6図）。枯死しない場合でも、主枝や亜主枝が基部から枯れ込むことがある。またこの障害は、植え付け直後の発生は比較的少ない。



第1-1-6図 春季に発生したモモの枯死症状

ところが、本格的な果実生産に移行する3～5年生の樹齢で発生が多く認められ、改植園など、ほぼ同樹齢の樹が多く植栽されている園地では、発生率が高いと成園化が遅れるばかりか、収量性が著しく低下するため栽培者の生産意欲を大きく低下させかねない。岡

山県ではモモ樹の衰弱や枯死については、かねてから一定の被害報告はあったが、春季に偏ることはなく、発生個体には、胴枯病菌の感染が認められ、病理的な原因が主要因であると診断されることが多かった。しかし、近年、春季に集中する衰弱や枯死したモモ樹の障害組織からは、胴枯病菌や他の枝幹病の原因となる病原菌が検出されないことが多く、枯死や衰弱は病理的な原因ではないと診断されることが多くなっている。

このことから、春季の衰弱および枯死は、気象変動とくに温度変化の影響を受けているのではないかと推測された。著者は早期の温度上昇が樹体内養分の消費を引き起こし、耐寒性が低下したところへ気温が低下することで、一種の凍害症状が生じるとの仮説を立て、2月~3月の樹体温度上昇や発育開始を遅らせ、発根開始時期の樹体の温度上昇を抑え、同時に保温による凍結を防ぐ資材と耐凍性が高いとされる台木の利用を考えた。

凍害対策として、長野県など冬季に寒冷な地域では稲わらによる主幹部の保護がすでに普及しているが、西南暖地の岡山県では、主幹部保護の必要性がほとんどなかったことから、凍害対策技術として記述（千葉ら、2008）はあるものの、実施例は非常に少なかった。そこで、本研究では主幹部保護の効果を確認した。また、保温性、作業性および耐久性に優れた保護資材を開発し、その有効性についても検討した。

また、台木での対処法の開発では、凍害に強いとされるモモ台木を導入し慣行台木と比較した。特に、凍害が発生しやすい条件として、堆肥や施肥量の増加による高地力園の再現と組み合わせることにより、岡山県の主要品種との親和性や樹体生育、収量、果実品質および耐凍性についても検討した。

本研究では、このように気象変動が影響するとみなされる生理障害、成熟時期の遅れについて、発生への気象要因の影響を把握するとともに、それに基づく対策技術を開発して、一定の当該障害の発生抑制効果を得たことから、博士論文にまとめた。すなわち、第2章で夏季の気象変動が果肉障害の発生を主とする果実の成熟への影響回避について、また、第3章で晩冬から早春の気象変動に伴う凍害回避策を論じた。さらに、総合考察で、モモ栽培における気象変動の影響を回避できた対策に着目し、モモ樹の発育生理を正常に保つ機構を推察した。

第2章 夏季の気象変動による果肉障害への対策技術開発

第1章で述べたように岡山県下のモモ栽培においては、成熟期の不安定化や果肉障害が問題となっており、果実生産に著しい困難を伴う可能性があり看過できない。これには成熟時期の気象変動が関係しているとみなされているが、具体的な知見は得られていない。果肉障害の中でも赤肉症は岡山県内でも県北部の比較的冷涼な地域では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対策も明らかにされていない。本章では、赤肉症の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検討し、それに基づき対策技術を開発する。

また、赤肉症とは異なり、降水量の変動により発生が助長されると考えられる果肉障害の「水浸状果肉褐変症」の発生について、その発生要因を明確にする実験を行い、それに対処した水分管理技術について開発する。さらには、果実発育特性の違いが果肉障害の発生に影響を与えるという知見を受け、栽培管理の改良による果肉障害の抑制法についても検討する。

第1節 気温変動が果肉障害の発生に及ぼす影響の把握

本節では、夏季の異常な高温や、局地的な大雨などによると考えられている成熟期の不安定化あるいは果肉障害の増加について、その背景と対策技術について検討した。まず、第1項では、気温変化が成熟と果肉障害の発生に及ぼす影響について把握するために、岡山県南部と北部地域のモモ‘清水白桃’の品質要素と赤肉果の発生率について検討した。第2項では、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、県南部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、品質要素と赤肉果の発生率について検討した。また、第3項では、夏季の大雨による多水状態を再現することにより果肉障害の発生に及ぼす影響について検討した。

第 1 項 栽培地がモモ果実の赤肉果発生に及ぼす影響

材料および方法

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（第 1-1-3 図）．さらに果肉着色が全面に見られるだけでなく，果肉が崩壊する場合は程度 4 として評価した．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，アタゴ（株）），ならびに果汁 pH は pH 計（LAQUAtwin-pH-22B，（株）堀場製作所）で測定した．

結 果

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‘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。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年から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2-1-1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2-1-1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。

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2-1-2図、第2-1-2表）。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℃、2016年は2.4℃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℃、第2期は2.8℃、第3期では2.5℃の差がみられた。第2、3

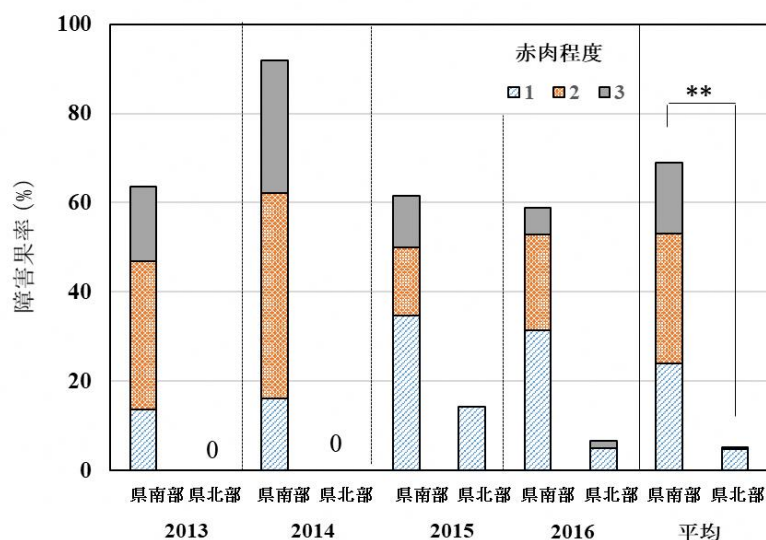
第2-1-1表 岡山県南部と県北部で栽培したモモ‘清水白桃’の果実品質

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

^xND：調査せず

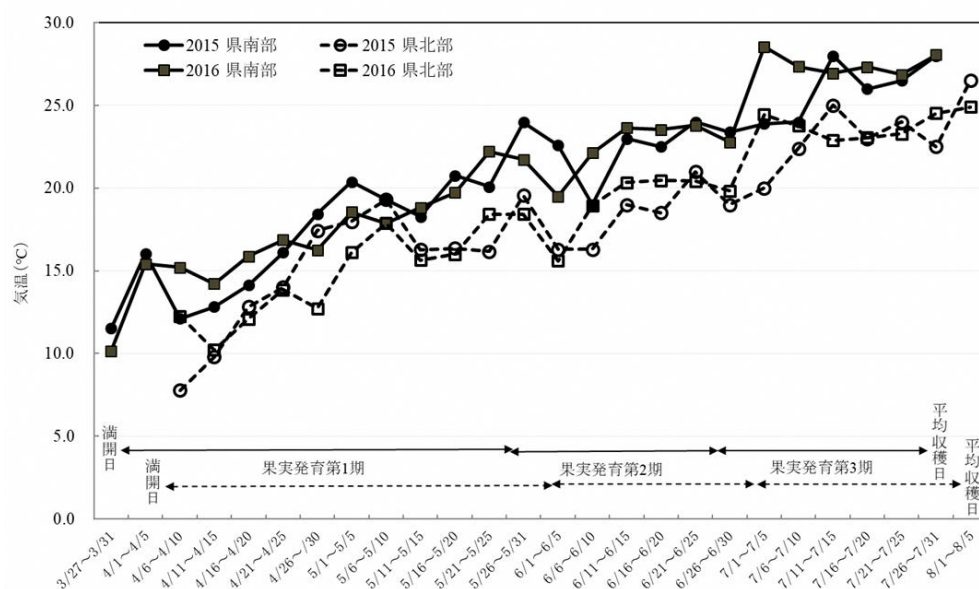


第 2-1-1 図 岡山県南部と県北部で栽培したモモ‘清水白桃’における赤肉果発生様相（2013～2016 年と年次平均）

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圏フィールド科学センター（岡山市），
県北部：果樹園（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 2-1-2 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 2-1-2 表 岡山県南部と県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2-1-1表参照

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 2-1-2 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伺えた。

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 2-1-3 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（1日毎の差）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 2-1-4 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遭遇した時間があつたことが伺えた（第 2-1-4 図上）。

第 2-1-3 表 岡山県南部と県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 (℃)	県北部 ^x (℃)	両地域の差 (℃)	両地域の比 ^w (%)	日当たり差 ^v (℃/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

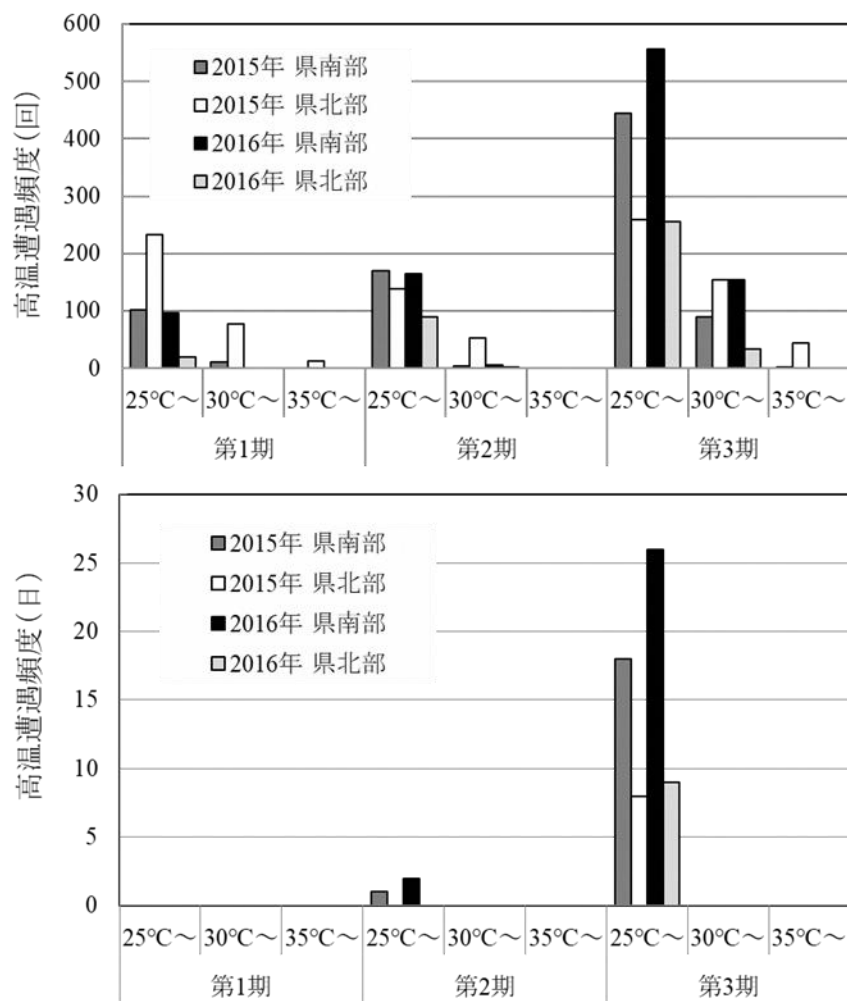
^y果実発育期間については第2表参照

^x第2-1-1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

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℃以上の日数は2015年には8日，2016年は9日であり割合にすると，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2-1-4図下）．



第 2-1-4 図 生育期間中における高温遭遇頻度の比較（上：高温遭遇頻度，
下：各期の日平均気温で出現した高温遭遇日数）

高温遭遇頻度は、各期間の 60 分ごとの平均気温 24 回/日における、
25°C、30°Cまたは 35°C以上の頻度で表した

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

第2項 県北部へ移動させたモモ個体における赤肉果の発生

材料および方法

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、第1項と同様の調査を行った。

結 果

果実重には明らかな差が見られなかった。果汁糖度は県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2-1-4表）。

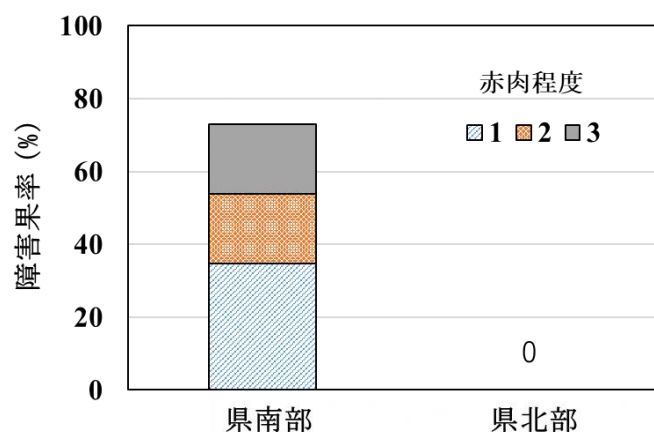
赤肉果発生をみると、県南部で栽培を継続したコンテナ植え個体では切断面のほぼ全面が赤肉を呈する障害程度3以上を含めて70%以上の果実に障害がみられたのに対し、県北部へ移送したコンテナ植え個体では赤肉果は全くみられなかった（第2-1-5図）。

第2-1-4表 岡山県南部と県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 ^z	16	178.2	0.36	18.1	4.91
有意性 ^y		ns	ns	**	ns

^z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

^{y**}：t検定によって1%水準で有意差あり，ns：有意差なし



第 2-1-5 図 岡山県南部および北部へ移動させたコンテナ植え‘清水白桃’樹の赤肉症発生率（2016 年）
 赤肉症の発生程度は、第 2-1-1 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

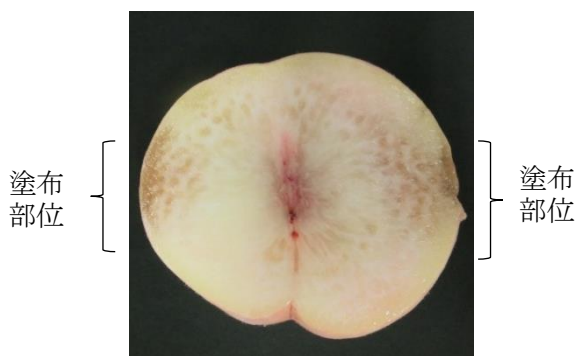
第 3 項 成熟時期の多雨を想定した果実の蒸散抑制の影響

材料および方法

2011 年に岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センターに植栽のモモ‘白鳳’を供試し、成熟前に両側のチーク部にワセリンを 10 円玉程度の大きさに塗布し、果皮表面からの蒸散を部分的に遮断した（第 2-1-6 図左）。



ワセリン処理の方法



ワセリン処理の収穫果の横断面

第 2-1-6 図 モモ‘白鳳’におけるワセリン処理の様子（左）と処理された収穫果の水平断面（右）

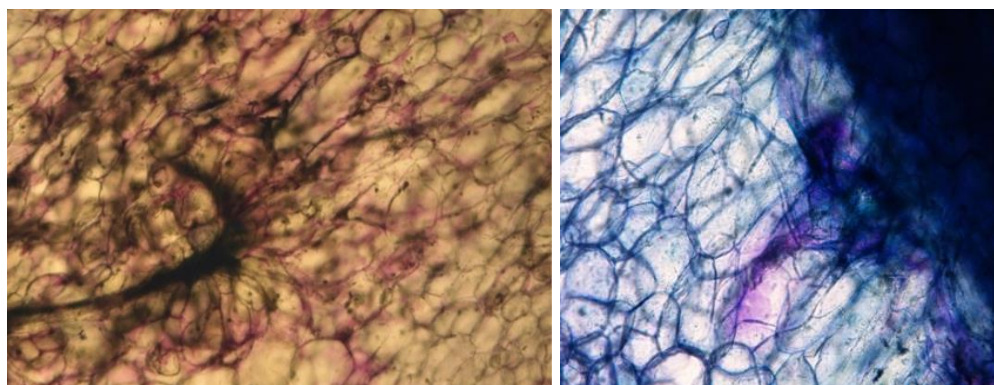
成熟適期に果実を採取し，赤道部で塗布部位を切断し，塗布部位の水浸果の有無を調査し，その発生率を算出した（第 2-1-6 図右）．合わせて，塗布部位の果肉硬度をレオメーター（fudoh，レオテック，5 mm 直径円柱プランジャー装着）で測定した．同様の外観で収穫した近傍の無処理果実を対象として，果肉障害の発生率や果肉硬度を比較した．また，塗布部位の果肉片を約 1 cm 角で切り出し，FAA で固定した後，マイクロスライサーで 200 μ m の果肉切片を作成し，光学顕微鏡で観察した．約 200 倍で撮影し，維管束や果肉柔細胞の組織形態を観察した．

結 果

ワセリン処理した果実は，処理部位の果肉硬度が対照区よりも低下した（第 2-1-5 表）．一方，赤肉果率には大差なく，水浸状果肉を有する果実の割合は著しく高くなった．さらに，顕微鏡下で，塗布部位では，果肉重細胞の間隙が近傍の維管束から流入した滲出物（トルイジンブルー o またはルテニウムレッドで紫色または桃色に染色される不定形の物質）に満たされていることが示された（第 2-1-7 図）．

第 2-1-5 表 モモ‘白鳳’におけるワセリン処理が果肉硬度と障害発生果率に及ぼす影響

	果肉硬度	赤肉果率	水浸状果肉果率
処理区	(N)	(%)	(%)
ワセリン塗布	2.6	47.1	76.5
対照	3.9	37.5	37.5



ルテニウムレッド染色

トルイジンブルー o 染色

第 2-1-7 図 モモ‘白鳳’のワセリン処理の塗布部位果肉における維管束からの滲出物の様子

第2節 気温変動に対応した新規機能性果実袋の開発

前節で赤肉症は高温による成熟の遅延が主要因と仮説を立て、岡山県南部と県北部の気温および赤肉症の発生について検討した結果、県南部での果実発育第3期での高温傾向が顕著であり、赤肉症の発生も多かった。赤肉症が高温により発生が助長されることが明らかとなったことから、その対策技術として遮熱性の高い果実袋を開発し、その被袋効果について検討した。第1項では個々の果実に高温を遭遇させ、果実のみの温度環境の変化が成熟期に及ぼす影響について検討した。第2項では第1項の結果を受け、果実袋に表面を遮熱性の高い酸化チタンを塗布した果実袋を作成し、果実温度および赤肉症の発生に及ぼす影響について検討した。また、果実袋としての通気性についても検討を行った。第3項では第2項での結果を受け、製品化に向けて、共同研究先である果実袋製造業者の製袋ラインでの酸化チタン含有塗料の塗布（印刷）方法について試験し、通気性の向上及び製袋効率の向上について検討した。その結果を受け、ほぼ実用化され市販品に近い仕様の機能性果実袋の性能と被袋効果について検討した。

第1項 果実温度と成熟との関係

材料および方法

果実発育後半の高温がモモ果実の成熟に及ぼす影響について検討した。2010年に「筑波5号」台の8年生「清水白桃」4樹を供試して、満開70日後から成熟期まで、10日間ごとに果実のみに高温を遭遇させる処理を行った。処理区は、満開70日後～79日後区、満開80日後～89日後区、満開90日後～99日後区、満開100日後～収穫区および無処理区とした。供試果実数は1区1樹当たり10果（1処理区当たり40果）とした。処理は無処理区を除いて、所定の処理期間に、外白内黒の果実袋（無底）を裏返しにして被袋し、その上から底を抜いたポリエチレン袋を笠状に被袋して、果実温度が上昇するように処理した。処理期間以外には慣行の果実袋である無底オレンジ袋をかけ直して被袋した。果実温度はデータロガー（TR71U）を用いて10分おきに果実温度を連続的に測定した。センサーは果実のチーク部の赤道部にパラフィルムを用いて固定した。収穫期の判断はクロロフィルメーターにより予め機械選果程度の果皮色を把握しておき、その基準に達した果実

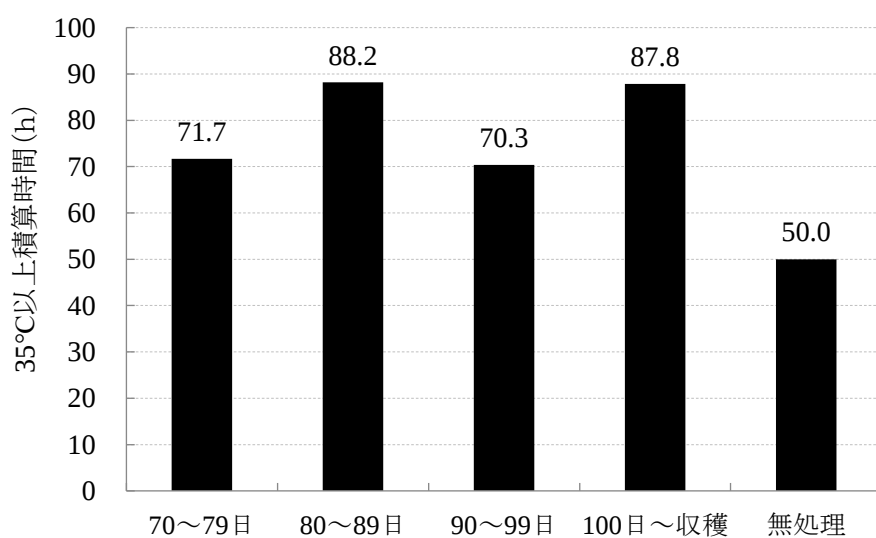
を，全果 7 月 27 日から毎日全ての果実の果皮色を観察し，所定の果皮色に達した果実を収穫した．

結 果

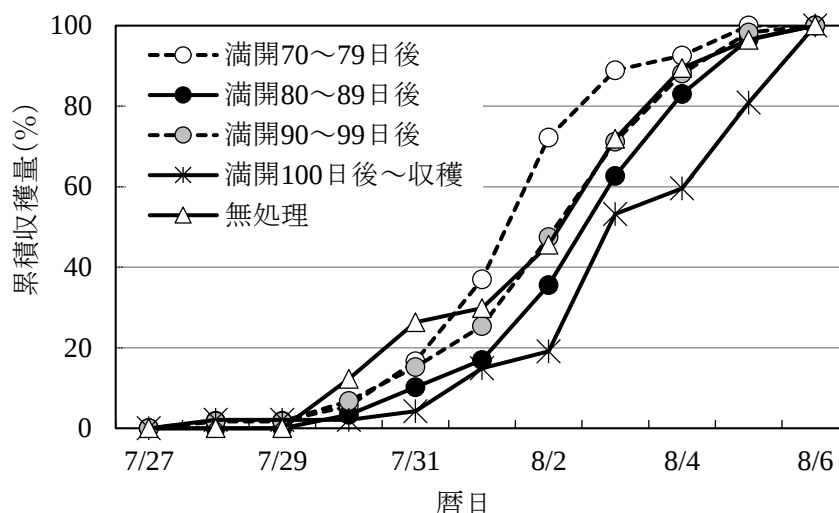
果実の最高温度は黒袋とポリエチレン袋を被袋すると 40℃以上になり，満開 90 日後以降に 45℃前後に達する場合があった．無処理区は 40℃以上にはならなかったが，満開 100 日後～成熟期には 39℃に達する場合があった．最低温度は処理による差はなく，平均温度は高温処理のいずれの区も 1～1.5℃高かった（第 2-2-1 表）．処理期間中における果実温度の 35℃以上の積算時間は，いずれも黒袋とポリ袋を被袋すると無処理よりも明らかに長か

第 2-2-1 表 時期別の高温処理が‘清水白桃’の各処理期間中の果実温度に及ぼす影響

	70～79日(℃)		80～89日(℃)		90～99日(℃)		100日～収穫(℃)	
温度	高温処理	無処理	高温処理	無処理	高温処理	無処理	高温処理	無処理
最高	42.9	33.8	41.7	36.1	45.5	36.4	45.1	39.7
最低	15.0	15.1	20.7	20.7	20.3	20.3	21.3	20.8
平均	25.8	24.2	27.5	26.4	26.5	25.4	29.7	28.5



第 2-2-1 図 各高温処理区の 35℃以上の満開 70 日後から成熟期までの果実温度積算時間



第 2-2-2 図 時期別の高温処理が‘清水白桃’の成熟期に及ぼす影響
高温処理は期間ごとに表面が黒い果実袋を被袋し処理期間が終了後に再度、慣行のオレンジ袋を被袋

った（第 2-2-1 図）。また，満開 70 日後から成熟にかけての各処理区の積算時間は無処理区が 50 時間，高温処理の各区が 70～90 時間程度となった（第 2-2-1 図）。収穫時期は満開 100 日後～収穫期の処理で無処理より 1 日遅れた。また，満開 70～80 日の処理で 1 日早まった（第 2-2-2 図）。

第 2 項 酸化チタン含有塗料を圧延塗布した機能性果実袋の遮熱性および通気性

材料および方法

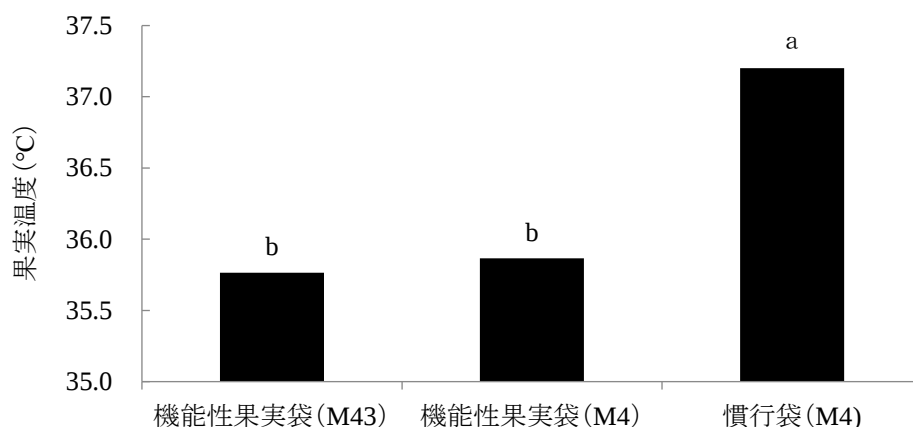
試験は 2013 年に実施した。岡山県で‘清水白桃’に慣行的に用いられている西日本果実袋株式会社製のオレンジ袋の M4（無底）を慣行袋区とし，その慣行袋の表面にテイカ株式会社製の酸化チタンの JR-1000 を含有した塗料を塗布した。この酸化チタンは波長 780～2500nm の光反射率が 83.3%と，通常の白色顔料用チタンの 75.2%よりも高い性質を持つ。テイカ株式会社岡山研究所において，圧延方式により全面塗布した袋を機能性果実袋（M4）区とした。さらに M4 よりも原紙の厚みが 10%程度薄く，早生品種の慣行袋として使用されているオレンジ袋の M43 についても，同様な塗布処理を行い機能性果実袋（M43）区とした。

果実温度の調査については、岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場で10年生‘清水白桃RS’4樹を供試し、6月30日に1樹当たり各区20果ずつ被袋した。被袋については、部位ごとの光環境は異なるため、その影響を最小限にするため、一部位にそれぞれの区の果実が隣接するように配置した。果実温度は満開105日後（成熟約5日前）の7月20日の13時から15時にかけて（晴天、圃場内の最高気温35℃）、被袋したまま果実袋底部の開口部から放射温度計（CHINO社製、IR-TAP）を用いて果実表面の温度を測定した。測定には樹冠外周の日当たりの良い部位の各樹10果（1区当たり40果）供試した。

また、供試果実袋の通気性については、岡山県工業技術センターにおいて、紙および透気抵抗度試験方法（中間領域）のガーレー法（JISP8117）により上記3区の供試袋の紙片を透気抵抗度試験機B型にセットし、一定圧をかけて、紙面を空気が通過する時間を測定した。

結 果

慣行袋区では果実温度が37.2℃であったのに対して、機能性果実袋（M4）区および機能性果実袋（M43）区は35.8℃および35.7℃であり、慣行袋区より有意に低く、その差は1.5℃であった。また、機能性果実袋（M4）区および機能性果実袋（M43）区の間には有



第 2-2-3 図 成熟前高温時の‘清水白桃RS’の果実温度に及ぼす果実袋種類の影響（2013 年）

果実袋名称の（ ）内は原袋の種類を示す

機能性果実袋は圧延法による全面手塗りの仕様

カラム上の異文字間には5%水準で有意差あり（Tukey 法）

第 2-2-2 表 機能性果実袋と慣行袋の通気性 (2013 年)

処理	通気抵抗度 ^Z (秒)	ISO通気度 ($\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$)
機能性果実袋 (M43) ^{yx}	∞	0
機能性果実袋 (M4)	∞	0
慣行袋 (M43)	12.9	9.96
慣行袋 (M4)	13.7	10.49

^Z岡山県工業技術センターにおいてガーレー法により測定

^y果実袋名称の()内は原袋の種類を示す

^x機能性果実袋は圧延法による全面手塗りの仕様

意差は認められなかった (第 2-2-3 図)。機能性果実袋の 2 区の紙片の通気性を測定したところ、いずれも紙としての通気性が認められなく、フィルムに近い通気性であることが明らかとなった。塗布前の慣行果実袋では M43 の通気性が M4 より高かった (第 2-2-2 表)。

第 3 項 機能性果実袋の実用化に向けた改良

材料および方法

試験は 2014 年に実施し、西日本果実袋の製袋ライン上で、酸化チタン（テイカ株式会社製，JR-1000）含有塗料を，回転する樹脂版により転写し，製袋と同時に塗布する方法を用いた。処理区は機能性果実袋・ドット（M43）区，機能性果実袋・全面（M43）区，慣行袋（M4）区とした。機能性果実袋・ドット（M43）区は，より通気性が高い M43 用の原紙を用いて，転写樹脂版に加工を施し，ドット状に印刷できる仕様とし，機能性果実袋・全面（M43）区は転写樹脂版に加工を施さず，全面に塗布する仕様とした（第 2-2-4 図）。

通気性については，岡山県工業技術センターにおいて，紙および透気抵抗度試験方法（中間領域）のガーレー法（JISP8117）により上記 3 区の供試袋の紙片を透気抵抗度試験機 B 型にセットし，一定圧をかけて，紙面を空気が通過する時間を測定した。



機能性果実袋
・ドット(M43) 機能性果実袋
・全面(M43) 慣行袋(M4)

第 2-2-4 図 供試した果実袋の外観（2014 年）

結 果

通気性については，全面塗布では慣行果実袋（M4）の 17.4%であった．一方，ドット塗装にすると慣行果実袋比で 82.4%の通気性を示した（第 2-2-3 表）．

第 2-2-3 表 酸化チタン含有塗料の塗布方法の違いが機能性果実袋の通気性に及ぼす影響（2014 年）

処理	通気速度 (秒)	ISO通気度 ($\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$)	慣行(M4)比 ^z (%)	慣行(M43)比 ^y (%)
機能性果実袋・ドット(M43) ^x	21.5	6.28	82.4	73.1
機能性果実袋・全面(M43)	101.7	1.33	17.4	15.5
慣行袋(M43)	15.7	8.60	112.7	100.0
慣行袋(M4)	17.7	7.63	100.0	88.7

^z慣行果実袋であるM4を100とした場合の比数

^y塗布原紙であるM43を100とした場合の比数

^x機能性果実袋は製袋機上で転写により酸化チタン含有塗料を塗布

第4項 機能性果実袋の特性と効果

材料および方法

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））に塗布した市販版の機能性果実袋を作成した（第 2-2-5 図）。



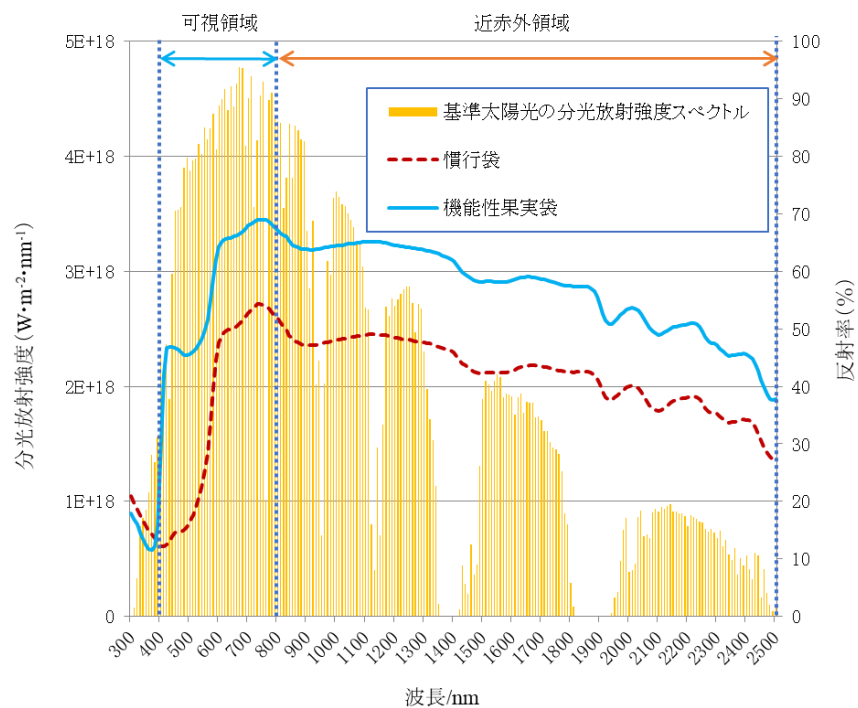
第 2-2-5 図 開発された機能性果実袋（左）と慣行袋（右）
機能性果実袋は製品化された仕様

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。栽培管理は岡山県栽培指針に準じて肥培，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（フルーツセクター K-BA100R，（株）クボタ）を用いて，糖度と果皮の緑色程度（450nm の吸光度）および果実重を測定した。測定後の果実を 25℃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

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 2-2-6 図に示した。機能性果実袋の日射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 2-2-4 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。また、発生程度 3 以上は機能性果実袋区で生じなかった。



第 2-2-6 図 機能性果実袋と慣行袋の分光反射率の違い
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

機能性果実袋を掛けた果実の収穫時の品質は、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（第 2-2-7 図）。また、機能性果実袋を被袋しても果実の外観には影響しなかった（第 2-2-8 図）。

第 2-2-4 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 (°C)	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	**

^z2014年7月18日に樹上で調査，平均値±SE（n = 17）

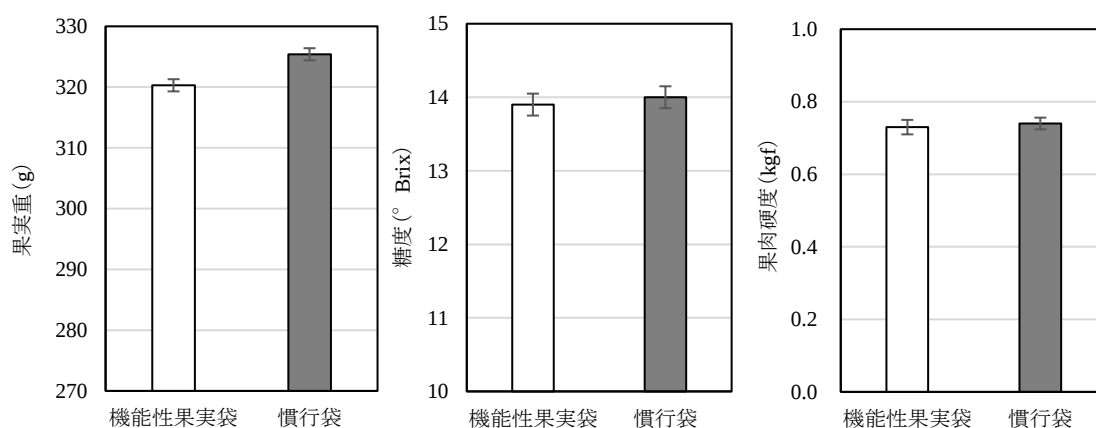
^y各区の平均収穫日はそれぞれ7月25日，26日

^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

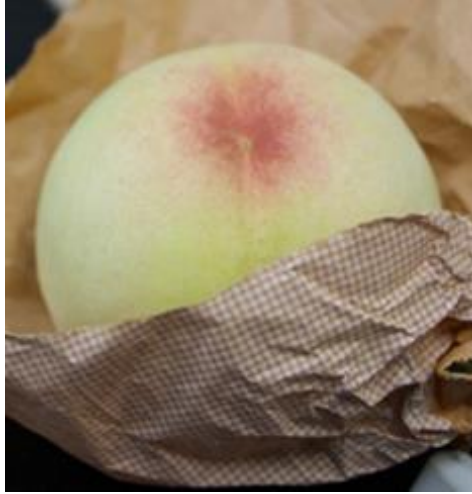
^w赤肉果率と程度別障害果率率：平均値 ± SE（n = 4）

^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 2-2-7 図 機能性果実の被袋がモモ‘清水白桃’の果実品質に及ぼす影響（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



第 2-2-8 図 機能性果実を被袋して栽培した
‘清水白桃’の果実の外観（2014 年）

第3節 熟期促進と果肉障害回避を目的としたエテホン散布技術の開発

前節までに、赤肉症が高温により発生が助長されることが明らかとなったことから、その対策技術として遮熱性の高い果実袋を開発し、その被袋効果について検討した。高温により成熟が遅延することも明らかとなったため、本節では、成熟促進効果が期待できる果実へのエテホンの処理法について検討した。第1項では個々の果実への処理時期および濃度の検討を行い、成熟前の異常高温時に‘清水白桃’で問題となる成熟遅延の抑制に有効な処理時期および濃度について検討した。第2項では、第1項での結果を受け、エテホン処理の作業効率の向上を目的に、立木全面散布法について検討した。

第1項 処理濃度および処理時期の違いが成熟期および果肉障害の発生に及ぼす影響

材料および方法

2009年：岡山県農林水産総合センター果樹研究室圃場において、‘筑波5号’台、7年生‘清水白桃RS’4樹を供試した。処理時期は満開85日後（7月3日）、満開90日後（7月8日）、満開95日後（7月13日）および満開100日後（7月18日）とし、それぞれの処理日にエテホン濃度が50ppmおよび100ppmの2処理を組み合わせた処理区を設定した。また、各処理区との比較のため、無処理区を設定した。反復は1区1樹4反復とし、1樹1区当たり5果（1区当たり20果）を供試した。処理薬剤にはエスレル10を用い、展着剤は使用しなかった。処理果実については、位置の影響を最小限にするため、一部位に上記9処理区の果実が隣接した一群になるように設定し、その群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。エテホンの処理は、果実のみに対して行い、被袋した慣行袋（西日本果実袋株式会社製M4）の無底袋の下部開口部から果頂部を中心に、ハンドスプレーを用いて、薬液が果実からしたたり落ちる程度に散布した。

調査項目は成熟期、糖度、果実硬度、果汁pH、赤肉症および水浸状果肉褐変発生率とした。成熟の判断はクロロフィルメーターにより予め機械選果程度の果皮色を把握しておき、満開102日後にあたる7月20日から毎日、全ての果実の果皮色（緑色の退色）を観察して、所定の果皮色に達した果実を収穫し、その個数から平均収穫日を算出した。収穫直後には果実重を計量、果汁糖度はクボタ社製非破壊糖度計（K-BA100）を用いて測定し、約25℃に保った部屋に3日間静置した後、果実硬度をフルーツテスター（Italtest社製、

0.5c m²円柱)を用いて測定し、果汁 pH は堀場社製 (B-212) で測定した。赤肉症および水浸状果肉褐変症については、果実の側面両面と縫合線の反対の面を切り出し、発生の有無を調査した。

2010 年：2009 年と同一の 4 樹を用いて、処理時期は満開 85 日後、満開 90 日後および満開 95 日後とし、それぞれの処理日にエテホン濃度が 50ppm, 100ppm, 200ppm の 3 処理を組み合わせた処理区を設定した。また、各処理区との比較のため、無処理区を設定した。反復は 1 区 1 樹 4 反復とし、1 樹 1 区当たり 15 果 (1 区当たり 60 果) を供試した。処理果実の樹冠内での配置および処理方法については 2009 年と同様とした。

調査項目は 2009 年と同じ項目に、満開 103 日後および満開 106 日後の果実のエチレン生成量を加えた。各測定日に、1 処理当たり 1 果ずつを 1 L のポリ容器に入れ 2 時間インキュベートした後にガスクロマトグラフィー (GC) で分析した。GC の分析条件は以下の通りで、GC 本体：島津 GC-14A, 検出器：FID, カラム：1m ステンレスカラム, 充填剤：活性アルミナ, カラム槽の温度：90°C, 検出器の温度：150°C, キャリヤーガス：N₂ 流量：50mL・min⁻¹ であった。なおエチレン生成量の測定は岡山大学農学部で実施した。

結 果

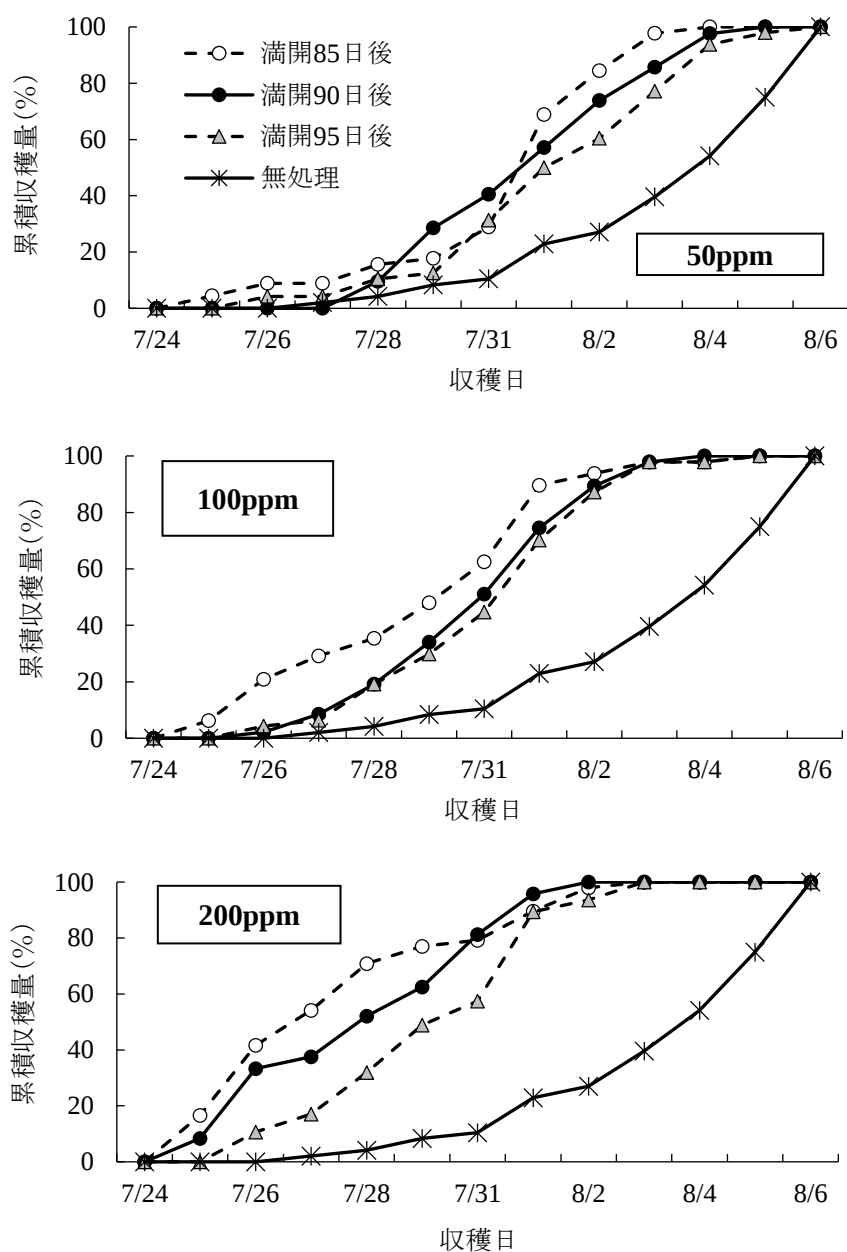
2009 年：成熟期は満開 85 日後 100ppm 処理の区が最も早く、無処理区よりも 4 日早まった。また、満開 85 日後 50ppm 処理区、満開 90 日後 50ppm 処理区、同日 100ppm 処理区では、無処理区より 2 日早まった (第 2-3-1 表)。果実重には処理区に有意な差がなく、

第 2-3-1 表 果実発育第 3 期のエテホン処理が「清水白桃」の収穫日、果実品質、果肉障害発生率に及ぼす影響 (2009 年)

区		平均		満開日から		無処理		果実		赤肉症		水浸状果肉					
処理時期	濃度	収穫日	収穫までの	との差	果実重	果汁糖度	果実	果汁	発生率	褐変症発生率							
(暦日)	(ppm)	(月/日)	日数	(日)	(g)	(°Brix)	(kgf)	pH	(%)	(%)							
満開85日後	50	7月25日	ab ^z	106	-2	267.3	ns	12.4	ab ^z	1.15	ns	4.39	ns	0	ns	20	ns
(7月3日)	100	7月23日	a	104	-4	260.3		12.7	a	1.15		4.36		0		0	
満開90日後	50	7月25日	ab	105	-2	270.3		12.2	ab	1.14		4.41		0		5	
(7月8日)	100	7月25日	ab	106	-2	263.6		12.1	ab	1.24		4.41		0		0	
満開95日後	50	7月27日	b	108	0	268.2		12.2	ab	1.18		4.47		0		15	
(7月13日)	100	7月26日	b	107	-1	269.5		11.9	b	1.16		4.40		0		15	
満開100日後	50	7月27日	b	108	0	284.2		11.8	b	1.25		4.46		0		5	
(7月18日)	100	7月27日	b	108	0	274.7		11.9	ab	1.19		4.46		0		5	
無処理	0	7月27日	b	108		276.6		12.1	ab	1.23		4.48		0		15	

²数値右の異なる符号間:5%水準で有意差あり、ns:5%水準で有意差なし(Tukey法)

一定の傾向も認められなかった。果汁糖度については満開 85 日後の 100ppm 処理区が満開 95 日後の 100ppm 処理区および満開 100 日後の 50ppm 処理区より有意に高かった以外には、有意な差は認められなかったが、処理時期が早いほうが高い傾向が伺われた。果実硬度、果汁 pH には処理区間に有意な差が認められなかった。また、赤肉症の発生はいずれの試験区でも認められなかった。水浸状果肉褐変果にはいずれの処理区間に有意差は認められなかった（第 2-3-1 表）。



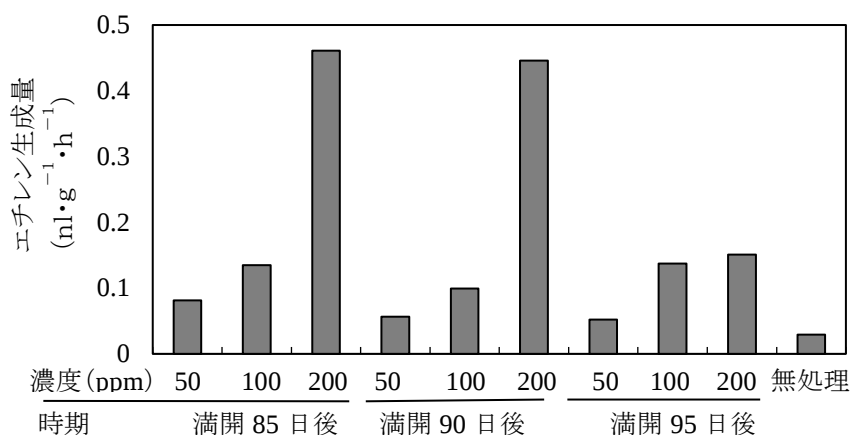
第 2-3-1 図 果実へのエテホン処理の時期、濃度が‘清水白桃’の収穫期推移に及ぼす影響（2010 年）

第 2-3-2 表 果実発育第 3 期のエテホン処理が‘清水白桃’の収穫日、果実品質に及ぼす影響 (2010 年)

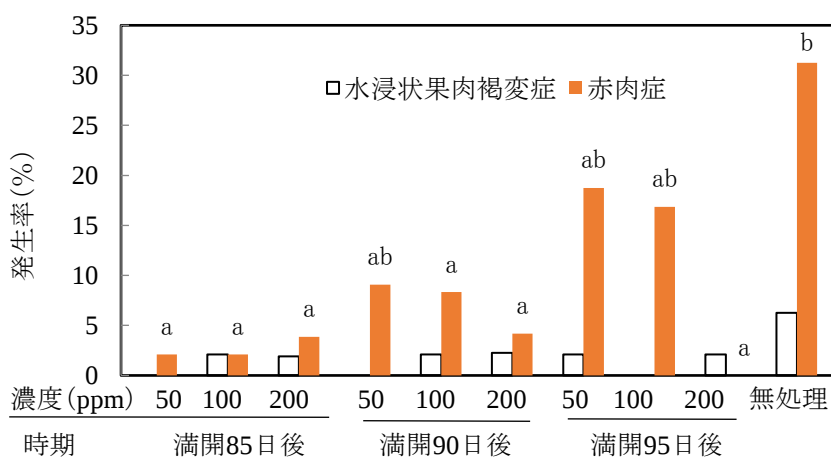
区	平均	満開日から	無処理				果肉		
時期 (暦日)	濃度 (ppm)	収穫日 (月/日)	収穫までの 日数	との差 (日)	果実重 (g)	果汁糖度 (°Brix)	硬度 (kgf)	渋み (0~4) ^y	果汁pH
満開85日後 (7月2日)	50	7月31日 bcd ^z	113	-3	268.9 abc ^z	13.2 ab	1.08 b	1.0 ns	4.54 abc
	100	7月29日 de	111	-4	263.3 abcd	13.1 ab	1.15 ab	1.0	4.49 c
	200	7月27日 e	109	-6	247.9 d	13.2 ab	1.34 a	1.1	4.45 c
満開90日後 (7月7日)	50	7月31日 bc	113	-2	272.8 abc	13.2 ab	1.04 b	1.1	4.61 ab
	100	7月30日 bcd	112	-3	267.1 abcd	12.9 ab	1.04 b	1.1	4.54 abc
	200	7月28日 e	110	-5	253.6 cd	13.2 ab	1.22 ab	1.1	4.51 bc
満開95日後 (7月12日)	50	8月 1日 ab	114	-2	273.4 ab	13.0 ab	1.09 b	1.1	4.61 ab
	100	7月31日 bcd	113	-3	262.5 abcd	12.8 b	1.06 b	1.1	4.55 abc
	200	7月30日 cde	112	-4	257.1 bcd	12.7 b	1.15 ab	1.1	4.51 bc
無処理		8月 3日 a	116	0	278.8 a	13.5 a	1.04 b	1.0	4.65 a

^z数値右の異なる符号間:5%水準で有意差あり(Tukey法)

^y官能により、0:無、1:微、2:少、3:中、4:多



第 2-3-2 図 果実へのエテホン処理の時期および濃度が‘清水白桃’の果実のエチレン生成量に及ぼす影響 (2010 年)



第 2-3-3 図 果実へのエテホン処理の時期および濃度が‘清水白桃’の果肉障害発生に及ぼす影響 (2010 年)
異文字間:5%水準で有意差あり (Tukey 法)

2010 年：エテホン処理を行った全ての区で成熟が無処理区より早まり、成熟日は、2 日～6 日程度、無処理と比較して早かった（第 2-3-2 表）。特に 200ppm 処理を行うといずれの処理日でも無処理より明らかに成熟が早まった。成熟直前の果実のエチレン発生量は、処理時期が早いほど、また、処理濃度が高いほど多い傾向が認められた（第 2-3-2 図）。

果実品質では、満開 85 日後の 200ppm 処理の果実重が他の処理区よりも小さかった。また、糖度は満開 95 日後の 100ppm および 200ppm の処理区で他の処理区よりも低かった。果汁 pH は満開 85 日後の 100ppm, 200ppm, 満開 90, 95 日後の 200ppm 処理区で低かった。果実硬度は満開 85 日後の 200ppm 処理区で無処理より高かった以外、明らかな差は認められなかった。渋みには大差が認められなかった（第 2-3-2 表）。

果肉障害の発生については、エテホンの処理時期が早く、濃度が高い区で赤肉症の発生率が無処理区よりも低かった（第 2-3-3 図）。水浸状果肉褐変果の発生は総じて低く、処理区間の有意差は認められなかったが、エテホン処理が全般に無処理区より少ない傾向が認められた。また、いずれの処理時期も 200ppm 処理区の果実では、果頂部からチーク部における果皮表面の水浸状のシミ、あるいは果肉まで達するような裂果や樹脂の溢出などが発生し、特に満開 85 日後処理区での発生が最も顕著であった（データ省略）。

第 2 項 実用化を目指した立木全面散布法の検討

材料および方法

2011 年：岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場に植栽されている 16 年生「清水白桃」4 樹を供試し、処理区は 100ppm 立木散布区および無処理区とし、側枝単位に散布の有無を設定し、100ppm 立木散布区は満開 90 日後に、エテホンを 100ppm の濃度で立木散布を行った。100ppm 立木散布区の処理薬剤にはエスレル 10 を用い、所定の濃度に希釈した。展着剤は使用しなかった。両区とも慣行袋として西日本果実袋社製 M4（無底オレンジ袋）を被袋し、100ppm 立木散布区は被袋したままで袋底部の開口部を中心に動力噴霧機を用いて散布した。隣接する無処理区へのドリフトを避けるため、ブルーシートで仕切りを入れて散布した。なお、100ppm 立木散布区は処理果実以外にも隣接した新梢や葉には薬剤が付着する状態であった。



第 2-3-4 図 エテホンの立木散布処理の様子

調査項目は成熟期，赤肉症発生率，水浸状果肉褐変症発生率，果実および枝葉の葉害の有無とした．成熟の判断はクロロフィルメーターにより予め機械選果程度の果皮色を把握しておき，満開 107 日後にあたる 7 月 25 日から毎日，全ての果実の果皮色（緑色の退色）を観察して，所定の果皮色に達した果実を収穫し，その個数から平均収穫日を算出した．赤肉症および水浸状果肉褐変症については，収穫果実を約 25℃に保った部屋に 3 日間静置した後，側面両面と縫合線の反対の面の計 3 面を切り出し，発生の有無，程度（0：無，1：微，2：少，3：中，4：多の 5 段階で分類）を目視により達観調査した．

2012 年：岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場に植栽されている‘筑波 5 号’台の 9 年生‘清水白桃’4 樹を供試した．処理区は 25ppm 立木散布区および無処理区とし，1 樹のうちで主枝あるいは亜主枝を処理単位として両区を交互に配置した．なお，果実袋の種類，使用薬剤，散布方法，調査項目ともに上記 2011 年の試験と同様とした．

結 果

2011 年：平均収穫日が無処理より約 3 日前進した．一方で，果肉障害の赤肉症および水浸状果肉褐変症については，発生率および程度 3 以上の発生率いずれも，有意な差は認められず，抑制効果は認められなかった（第 2-3-3 表）．また，処理後には，葉の黄変（第 2-3-5 図），結果枝表面からの樹脂の溢出などが観察された．

2012 年：平均収穫日は無処理より 3 日前進した．また 25ppm 立木散布区の方が無処理区より 3 日成熟が早まるとともに，赤肉症の発生率が有意に低く，水浸状果肉褐変症の発

生も少ない傾向が認められた（第 2-3-4 表）。果実品質については、いずれの項目にも有意な差認められなかったものの、やや小さい傾向があり、糖度がやや高い傾向が認められた。また果実硬度、果皮着色および渋みには明らかな差がなかった（第 2-3-5 表）。さらに、2011 年の 100ppm の立木散布で発生が見られた葉の黄変、結果枝表面からの樹脂の溢出などは観察されなかった。

第 2-3-3 表 満開 90 日後のエテホン 100ppm 立木散布処理が‘清水白桃’の成熟期と果肉障害に及ぼす影響（2011 年）

区	平均収穫日 (月/日)	無処理との差 (日)	赤肉症		水浸状果肉褐変症	
			発生率(%)	程度3以上の割合(%)	発生率(%)	程度3以上の割合(%)
100ppm立木散布	7月31日	-2.9	84.2	30.0	5.0	0
無処理	8月3日		78.9	28.4	8.0	0
有意性 ^z	*		ns	ns	ns	

^z*は5%水準で有意差あり、nsは有意差がないことを示す（発生率はアークサイン変換後t検定）



第 2-3-5 図 満開 90 日後のエテホン 100ppm 立木散布区に観察された‘清水白桃’の葉の黄変（2011 年）

第 2-3-4 表 満開 90 日後のエテホン 25ppm 立木散布処理が‘清水白桃’の成熟期と果肉障害に及ぼす影響（2012 年）

区	平均収穫日 (月/日)	無処理との差 (日)	赤肉症		水浸状果肉褐変症	
			発生率(%)	程度3以上の割合(%)	発生率(%)	程度3以上の割合(%)
25ppm立木散布	7月31日	-3.0	25.5	0	8.0	1.9
無処理	8月3日		57.4	6.4	4.4	0.9
有意性 ^z	*		*	ns	ns	ns

^z*は5%水準で有意差あり、nsは有意差がないことを示す（発生率はアークサイン変換後t検定）

第 2-3-5 表 満開 90 日後のエテホン 25ppm 立木散布処理が‘清水白桃’の果実
品質に及ぼす影響 (2012 年)

区	果実重 (g)	果汁糖度 (°Brix)	果実硬度 (kgf)	核割れ率 (%)	果皮着色 ^z (0~4)	渋み ^z (0~4)
25ppm立木散布	288.7	13.2	0.98	14.8	1.4	0.3
無処理	304.8	12.1	0.96	26.7	1.3	0.4
有意性 ^y	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^y官能および達観により、0: 無、1: 微、2: 少、3: 中、4: 多

^ynsは5%水準で有意差がないことを示す (t検定)

第4節 生育期の降水量増大への対策技術の開発

前節までは夏季の高温が成熟期の遅延および果肉障害のうち赤肉症の発生要因と対策について検討した。一方、水浸状果肉褐変症は、経験的に糖度の上昇が順調で、成熟直前に大雨がある場合に多いなど、樹体への水分供給が高まる気象条件等の影響が示唆されるが、詳細は明らかとなっていない。第1節第3項において、成熟時期の多雨の影響を検討する目的で、果皮表面にワセリンを塗布して、果実の蒸散を抑制した条件を再現した。その結果、水浸状果肉褐変症の発生が助長されることが明らかとなったことから水浸状果肉褐変症の抑制には、モモ樹体の水分制御が重要であることが示唆された。本節では、樹冠下のマルチが水分制御に有効であると考えられるため、その敷設効果について検討した。まず、第1項では適切なマルチ敷設面積を把握するためモモ成木の根域について調査した。その結果を受け、第2項では部分マルチを敷設し、樹体の反応および果肉障害の発生に及ぼす影響について検討した。第3項では、樹冠下の部分マルチ敷設時の灌水の目安を得るために、森永ら（2016）の開発した、「水分ストレス表示シート」の利用により、生産者でも利用可能な簡易な樹体水分状態の把握法について検討した。第4項では、第3項までに得られた情報を基に岡山県の主要モモ産地の現地栽培園における部分マルチの敷設効果について検討した。

第1項 水分流入に関係する根域の把握

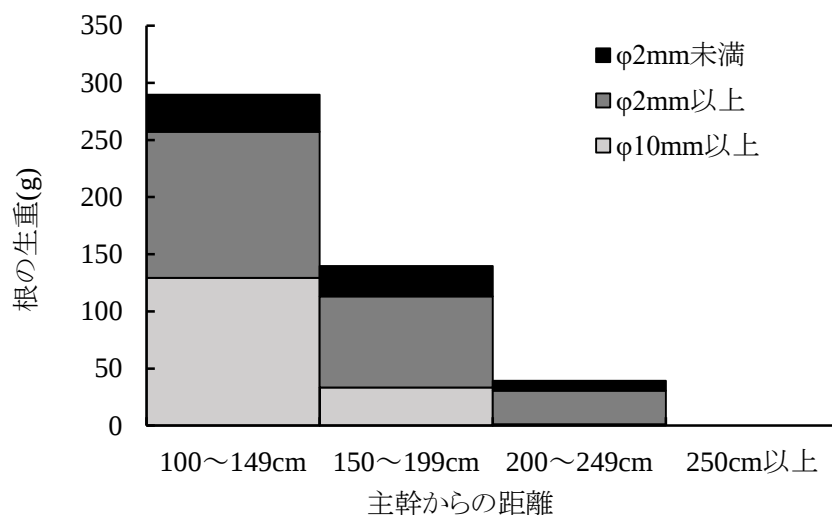
材料および方法

2007年に「筑波5号」台の11年生「清水白桃」の成木を供試し、伐採後、根の抜去時に株元からの距離ごとに根量を測定した。株元からの距離は100～149cm, 150～199cm, 200～249cm, 250cm以上と4区画に分けて根を掘り取り、それぞれの区画で直径2mm未満, 2mm以上9.9mmおよび10mm以上の太さに分けて、生重を測定した。

結 果

主幹からの距離が100cmから149cmまでの区分で最も根が多く、次いで200cmまでの区分で根が多く、根量の大半が主幹から200cmの間に存在していた。ただし、株元から

200cm 以上の区分でも，直径 2mm 以下の細根や 2mm 以上 10mm 未満の中根の分布は認められた（第 2-4-1 図）。



第 2-4-1 図 ‘清水白桃’の成木の主幹からの距離の違いが根量に及ぼす影響

第 2 項 部分マルチ敷設が生理障害に及ぼす影響

材料および方法

2010 年に岡山県農林水産総合センター農業研究所果樹研究室圃場に栽植された‘筑波 5 号’台の‘清水白桃’を，7 年生 4 樹および 8 年生 6 樹を供試した．満開 37 日後の 5 月



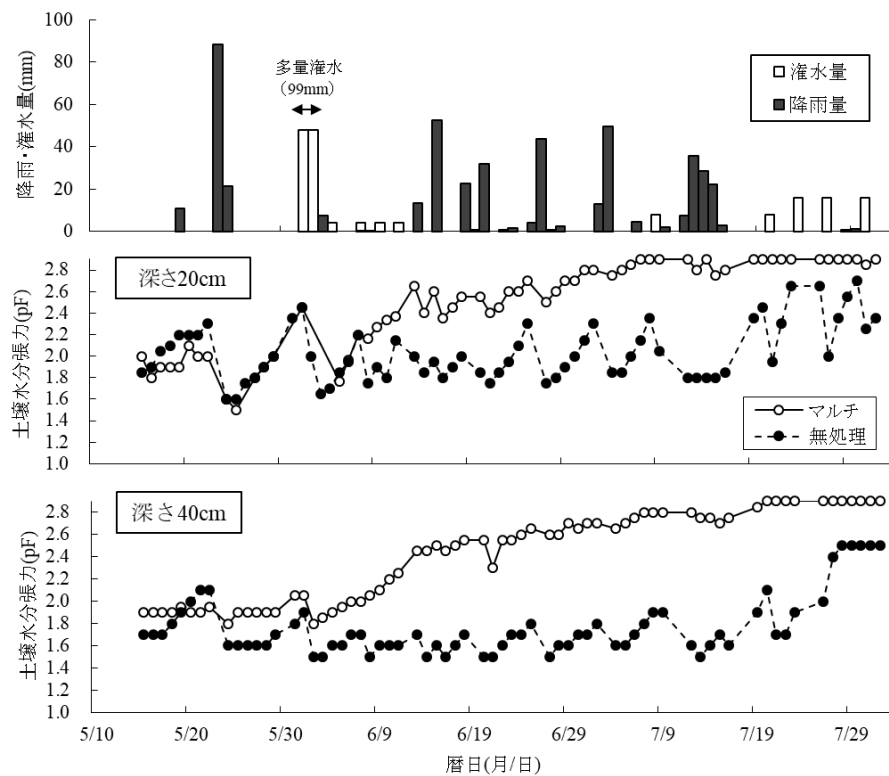
第 2-4-2 図 4m 四方の透湿防水シートによる部分マルチの敷設状況

14日から収穫終了後の8月5日まで、主幹を中心とした4m四方（敷設面積16 m²）に透湿性の多孔質防水マルチ（白黒マルチ名人，東洋紡社製）を敷設した5樹をマルチ区とし（第2-4-2図），マルチを敷設しない5樹を無処理区とした。

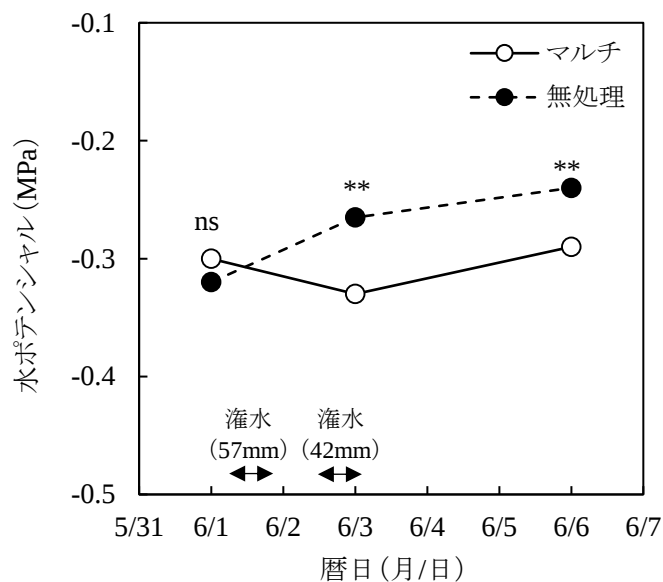
栽培管理として、晴天日が続いた場合は両区とも樹列に沿って株元に灌水チューブ（エバーフローS型，MKV社製）を設置し、適宜灌水を行い、マルチ区ではマルチの上から灌水を行い、マルチ外周に慣行区と同量の灌水量が散水されるようにした。硬核期の多雨を想定した多量灌水処理を、6月1日および6月2日（満開55日後および満開56日後）のそれぞれ17時から翌日5時までの12時間行った。着果管理は岡山県果樹栽培指針に準じて行った。5月25日に目標着果数の約1.5倍で摘果し、最終の摘果を7月1日に行った。

調査項目は、土壌水分、敷設期間の降水量、灌水量、新梢の水ポテンシャル、幼果の核割れ率、生理的落果率、成熟果の果実重、糖度および水浸状果肉褐変症の発生率とした。土壌水分は、1区あたり2樹の株元から100cm離れた位置で、地表面から20cm、40cmの深さにポーラスカップが埋設されるように設置したブルドン管式テンシオメーター（竹村電気製作所DM-8M）によりpF値を毎日、早朝に測定した。降水量は農業研究所気象観測システムの測定値とした。灌水量は灌水チューブの基に設置した流量計で測定した。新梢の水ポテンシャルは、多量灌水開始直前の6月1日、多量灌水後の6月3日および6月6日の午前5時に、伸長中の約20cmの新梢を先端から約15cmの長さで1樹当たり3本ずつ採取し、プレッシャーチャンバー（タイプ600，PMS社製）で測定した。核割れ率は、満開78日後にあたる6月24日に1樹当たり30果を採取し、核割れを生じた果実数から求めた。生理的落果率は、落果調査を開始した満開51日後の5月28日時点の全着果数に対する満開85日後の7月1日までの落果数の割合で示した。なお、最終の摘果の際に縫合線部分の黄化または果面に水浸症状が認められた果実については、摘果して落果数に含めた。成熟果の果実重および糖度については1樹当たり約100～130果を供試し、個々の果実重量を測定し、糖度は、近赤外分光光度計（フルーツセクターK-BA100，クボタ社製）を用いて赤道部を測定した。水浸状果肉褐変症率は、1樹当たり20果を無作為に抽出し、果実の両側面と縫合線の反面を切り出し、水浸症状の有無により判定し算出した。

結 果



第 2-4-3 図 部分マルチの敷設期間中の灌水，降水量および土壌水分の推移（2010 年）



第 2-4-4 図 部分マルチの敷設が‘清水白桃’の早朝時の新梢水ポテンシャルに及ぼす影響（2010 年）
 **: 1%水準で有意差あり，ns: 5%水準で有意差なし

マルチ敷設後には、5月下旬に100mmを超える降雨があり、その後、多量灌水处理時の灌水量は、6月1日および6月2日はそれぞれ57mmおよび42mmで、合計99mmであった。また、その後は40mm～60mm程度の降雨があり、7月10日以降には100mm近い降雨があった（第2-4-3図）。また、土壌pF値は、無処理区では降雨あるいは多量灌水によりpF1.7程度まで低下し、その後、再度上昇するという変動の大きい推移を示したが、マルチ区では深さ20cm、40cmともに高く推移する傾向が認められた。特に、多量灌水处理後には、一定の降雨があってもpF値は2.4以上で大きな変動がなく推移した（第2-4-3図）。新梢の水ポテンシャルは、多量灌水处理開始前の6月1日には処理区間で有意差がなかったものの、多量灌水处理終了直後の6月3日にはマルチ区は無処理区に比べて明らかに低かった（第2-4-4図）。幼果の核割れ率は、マルチ区が69.3%、無処理区が88.0%であり、処理区間に5%水準の有意差が認められた（第2-4-1表）。生理的落果率は、マルチ区が45.8%、無処理区が55.0%であったが両区間に有意な差は認められなかった。果実重は、マルチ区が341g、無処理区が340gであり、糖度は、マルチ区が14.6度、無処理区が15.0度であり、有意差は認められなかった。水浸状果肉褐変症の発生率は、無処理区が16%であったのに対し、マルチ区では4%と有意に低かった（第2-4-5図）。

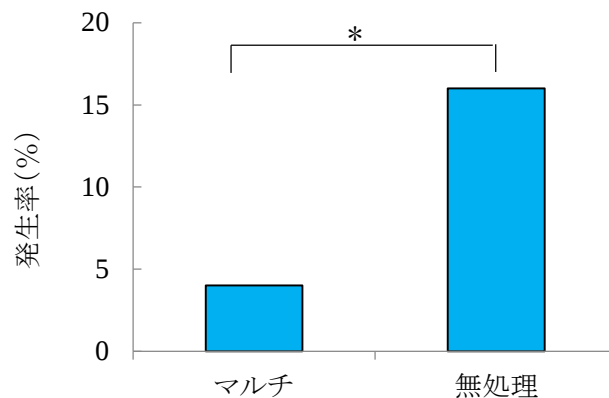
第2-4-1表 部分マルチの敷設が‘清水白桃’の幼果の核割れ、生理的落果および果実品質に及ぼす影響（2010年）

区	幼果の核割れ率 ^z (%)	生理的落果率 ^y (%)	果実重 (g)	果汁糖度 (° Brix)
マルチ	69.3	45.8	341.0	14.6
無処理	88.0	55.0	340.0	15.0
有意性 ^x	*	ns	ns	ns

^z 6月24日（満開78日後）に調査

^y 5月28日（満開51日後）時点の着果数に対する7月1日（開85日後）までの落果数合計の比率

^x *:t検定によって5%水準で有意差あり、ns:5%水準で有意差なし（発生率はアークサイン変換後検定）



第 2-4-5 図 部分マルチの敷設が‘清水白桃’の水浸状果肉褐変症の発生に及ぼす影響（2010 年）

*：t 検定によって 5%水準で有意差あり（アークサイン変換後検定）

第 3 項 部分マルチ敷設後の樹体水分状態の把握法の検討

材料および方法

岡山大学岡山大学内圃場で栽培されているコンテナ植えの‘清水白桃’5 年生 2 樹を供試した。定常制御型ポロメータ（LI-COR, Model LI-1600）を用いて、2012 年 7 月中旬から下旬にかけ、晴天の日が連続した 3 日ないし 4 日間、毎日午前 9 時から約 2 時間ごとに計 5 回、十分な水分状態からその後の水分供給を抑えて、しだいに水分ストレスが強くなる過程の蒸散速度を測定した。実験開始日に鉢およびコンテナ底面から十分に水があふれ出す程度の灌水を行い、その灌水量を 100%とすると、試験開始 1 日目にはその 50%の灌水、実験 1 日目終了時に 25%の灌水を行い、それ以降は灌水を行わなかった。計測した葉はおおよそ日射に正対し、1 時間以上十分に直達日射を受けている新梢の中間葉とし、損傷を受けていない葉を対象とした。各樹 5 枚の葉を用いた。また、蒸散速度を計測した葉のうち 2 枚について同じ葉を用いて水分ストレス表示シート（第 2-4-6 図）を貼付けて、シート表面の色変化表示部の色の変化（青部分が薄桃色に変化し、青色部分がほぼ認識できなくなるまでの時間）を調査した。



第 2-2-6 図 水分ストレス表示シートの外観（左：変色前，右：変色後）

2014 年に，岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場植栽のモモ‘清水白桃’11 年生を 8 樹供試して，そのうち 4 樹の樹冠下に 5 月上旬に透湿性防水マルチを 4 m 四方の部分マルチとして敷設した（マルチ区）．灌水はほとんど行わなかった．残りの 4 樹はマルチ設置を行わない自然降雨条件とした（無処理区）．これらの樹体について，1 樹当たり 6 枚の葉について蒸散速度ならびに表示シートの色変化時間を 7 月 11 日に計測した．計測対象葉については上記の 2014 年の試験と同様であった．

2015 年には，岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場植栽の 6 年生‘清水白桃’3 樹を供試して，満開 98 日後にあたる 7 月 14 日午前 10 時から試験を開始した．供試した 3 樹のうち 1 樹は，部分マルチを満開 38 日後の 5 月 15 日に敷設した樹を用い，残り 2 樹は無処理樹を用いた．1 樹当たり 9 枚までを日当たりのよい樹冠南側の中果枝の基部から数えて 10 枚目の葉に水分ストレス表示シートを貼り付け，変色時間を測定した．解析はデータの順番を変えず，供試枚数が 3 枚であればその樹の 1 番目に測定した葉から 3 番目に測定した葉の変色時間の平均値，標準誤差を示した．

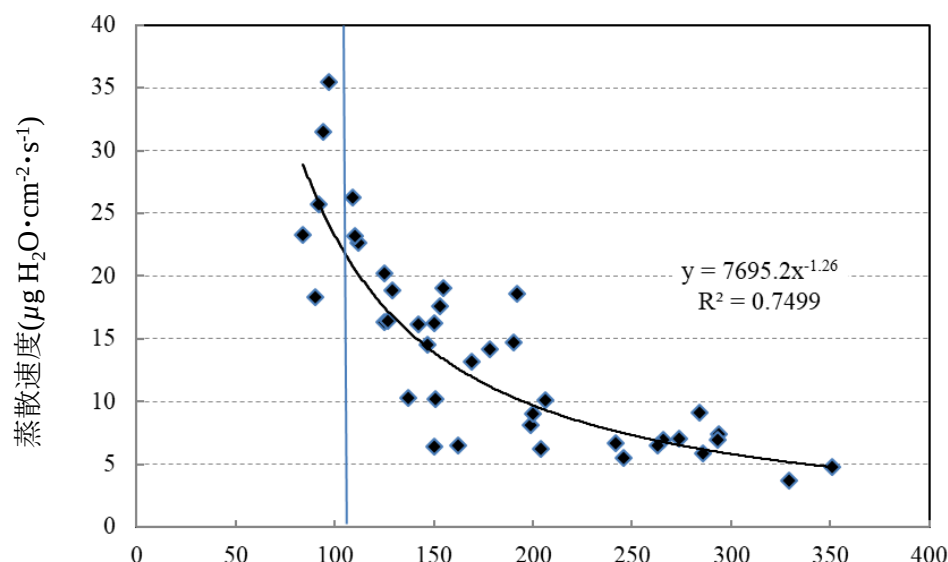
結 果

十分な水分状態から水分ストレス過程に至る樹体の蒸散速度の低下とそれに伴う水分ストレス表示シートの色変化の関係を，第 2-4-7 図に示した．平均蒸散速度が $20\mu\text{g H}_2\text{O}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ と比較的高い場合には表示シートの色変化時間は 100～110 秒であったが，200 秒になると蒸散速度は半減し， $10\mu\text{g H}_2\text{O}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 程度に低下した．また，蒸散速度が $5\mu\text{g H}_2\text{O}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ まで低下すると変色に要する時間は 300 秒以上であった．

また，2014 年に実施した部分マルチの敷設樹と無処理樹で蒸散速度と水分ストレス表示シートの変色時間についてプロットしたところ，分布に大きな偏りは認められず（第 2-4-8

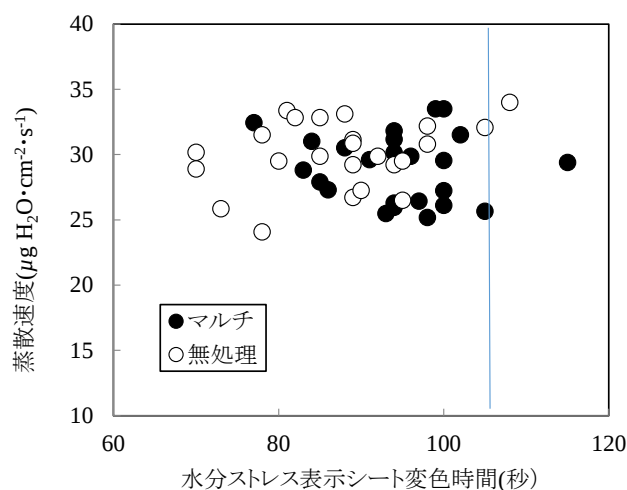
図), 蒸散速度の平均値および水分ストレス表示シートの変色時間にも有意な差は認められなかった (第 2-4-2 表).

2015 年に実施した水分ストレス表示シートの供試枚数の検討では, 1 樹当たり最大で 9 枚測定した場合, 3 枚測定した場合とそれ以上の枚数を供試しても, 平均値の変動は比較的小さく, 部分マルチの有無による明確な差も認められなかった (第 2-4-9 図).



葉への貼付け後時間 (秒)

第 2-4-7 図 モモ葉における蒸散速度と表示シート貼付け後の時間の变化 (2012 年)

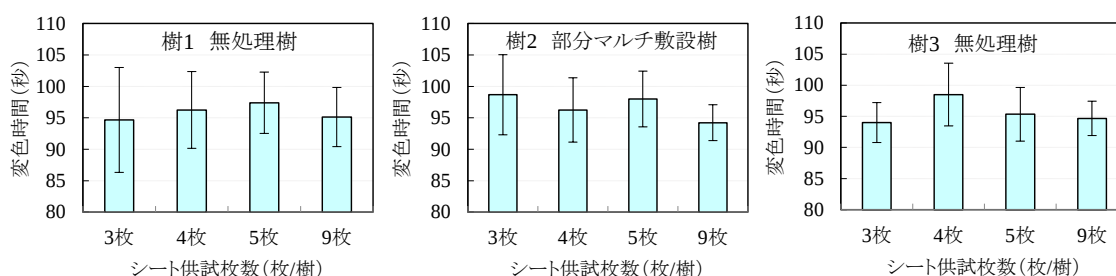


第 2-4-8 図 ‘清水白桃’の成葉の蒸散速度と水分ストレス表示シートの変色時間との関係 (2014 年)
測定は 7 月 11 日に実施
図中の垂線は過度な水分欠乏に至っていないと判断される目安

第 2-4-2 表 部分マルチの敷設が‘清水白桃’の成熟前の蒸散速度と水分ストレス表示シートの変色時間に及ぼす影響（2014 年）

区	蒸散速度($\mu\text{g H}_2\text{O}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	変色時間(秒)
マルチ	29.0	94.5
無処理	30.1	87.5
有意性 ^z	ns	ns

^yns:t検定によって5%水準で有意差なし



第 2-4-9 図 水分ストレス表示シートの供試枚数の違いによる変色時間とその誤差（2015 年）

9 年生‘清水白桃’を供試した
バーは標準誤差

第 4 項 部分マルチ敷設が水浸状果肉褐変症の発生に及ぼす影響（現地実証）

材料および方法

2012 年に、岡山県内の主要モモ産地である岡山市北区芳賀，倉敷市玉島，赤磐市鴨前の現地栽培園において，8 年生‘清水白桃’を各園 8 樹ずつ供試し，マルチ区，無処理区を設定した．区制は 1 区 1 樹 4 反復とした．マルチ区における敷設は，いずれの産地とも 5 月 23 日（倉敷市玉島は満開 40 日後，岡山市北区芳賀，赤磐市鴨前は満開 42 日後）から収穫終了の 8 月上旬まで主幹を中心とした 4 m 四方に透湿性の多孔質防水マルチを敷設した．両処理区ともに晴天日が続いた際には灌水を行い，マルチ区はマルチ外周部に灌水を行った．灌水量は園主に一任した．

調査項目は、敷設期間中に調査地域の降水量と水浸状果肉褐変の発生率とした。降水量についてはアメダスデータ（岡山市、倉敷市）あるいは農業研究所（赤磐市）の観測値を用いた。水浸状果肉褐変症の発生率は、機械選果程度の果皮色を把握しておき、満開 100 日後から 2 日おきに、全ての果実の果皮色（緑色の退色）を観察して、所定の果皮色に達した果実を収穫して調査した。調査個数は 1 樹当たり 20 果（1 区当たり 80 果）とし、約 25℃に保った部屋に 3 日間静置した後、果実の両側面と縫合線の反面を切り出し、水浸状障害の有無に区分し、発生率を算出した。

結 果

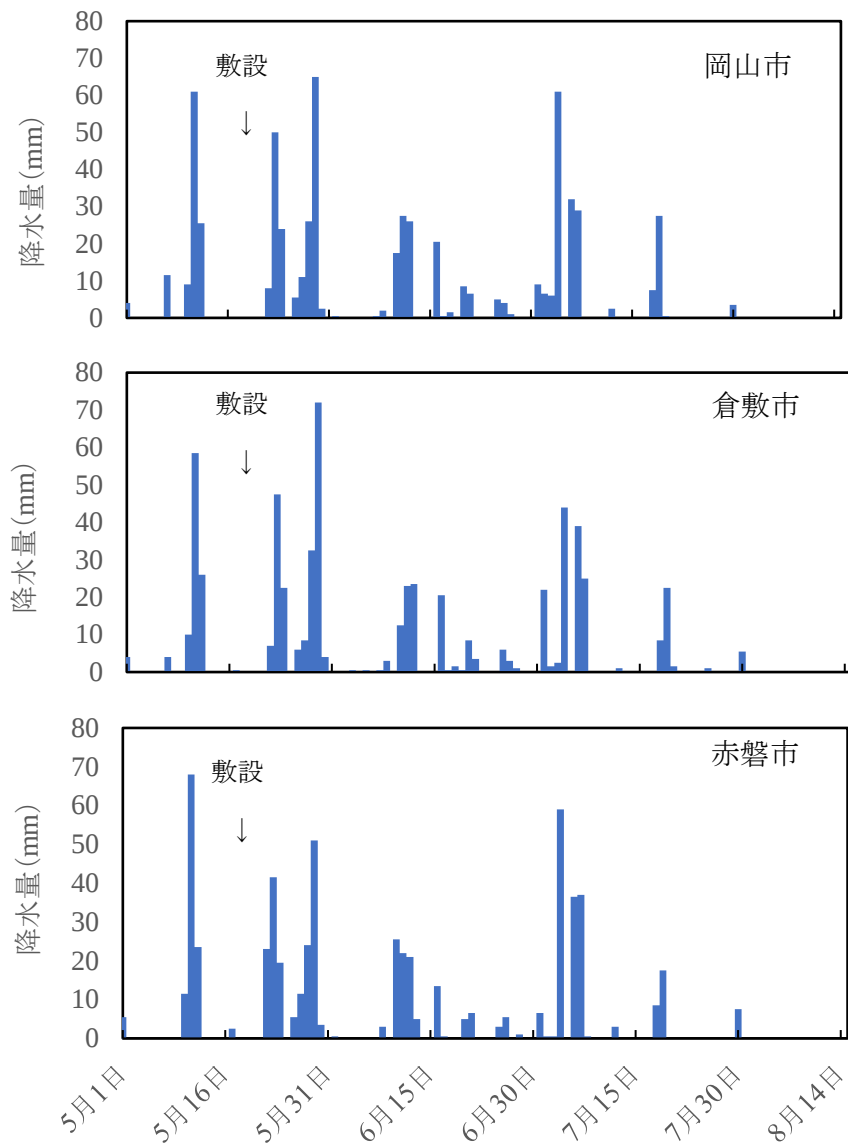
現地実証の試験期間中の降水量については、敷設期間中には岡山市で 491mm、倉敷市では 476mm、赤磐市では 446mm であった。敷設から 7 月 1 日の最終の摘果までの期間では岡山市で 306mm、倉敷市で 302mm、赤磐市で 269mm であった。その後の敷設終了までの降雨量は岡山市で 305.5mm、倉敷市で 305.5mm、赤磐市で 216.5mm であった。特に、5 月下旬と、7 月上旬に大雨があり降水量が多かった（第 2-4-10 図）。

水浸状果肉褐変症の発生率については、岡山市北区の A 園では無処理区が 23.7%、マルチ区が 21.7%となり、有意な差は認められなかったが、程度 3 以上の発生率は無処理区 9.4%であったのに対し、マルチ区は 1.6%となり、マルチ区の方が有意に低かった。また、倉敷市玉島の B 園では発生率が無処理区で 23.7%、マルチ区が 7.7%、赤磐市鴨前の C 園では無処理区で 22.3%、マルチ区が 12.8%となり、両園ともマルチ区が有意に低かった。また、倉敷市玉島 B 園と赤磐市鴨前の C 園では程度 3 以上の発生はほとんどなく、明らかな差は認められなかった（第 2-4-3 表）。

第 2-4-3 表 部分マルチの敷設が岡山県主要産地における‘清水白桃’の水浸状果肉褐変症の発生に及ぼす影響（2012 年）

区	A園(岡山市北区芳賀)		B園(倉敷市玉島)		C園(赤磐市鴨前)	
	発生率(%)	程度3以上(%)	発生率(%)	程度3以上(%)	発生率(%)	程度3以上(%)
マルチ	21.7	1.6	7.7	0	12.8	0
無処理	23.7	9.4	23.3	1.7	22.3	0
有意性 ^z	ns	*	*	ns	*	

^z*:t検定によって5%水準で有意差あり、ns:5%水準で有意差なし(アークサイン変換後検定)



第 2-4-10 図 岡山県主要産地における部分マルチ敷設期間の降水量の推移（2012 年）

第5節 基部優先着果による果肉障害低減技術の開発

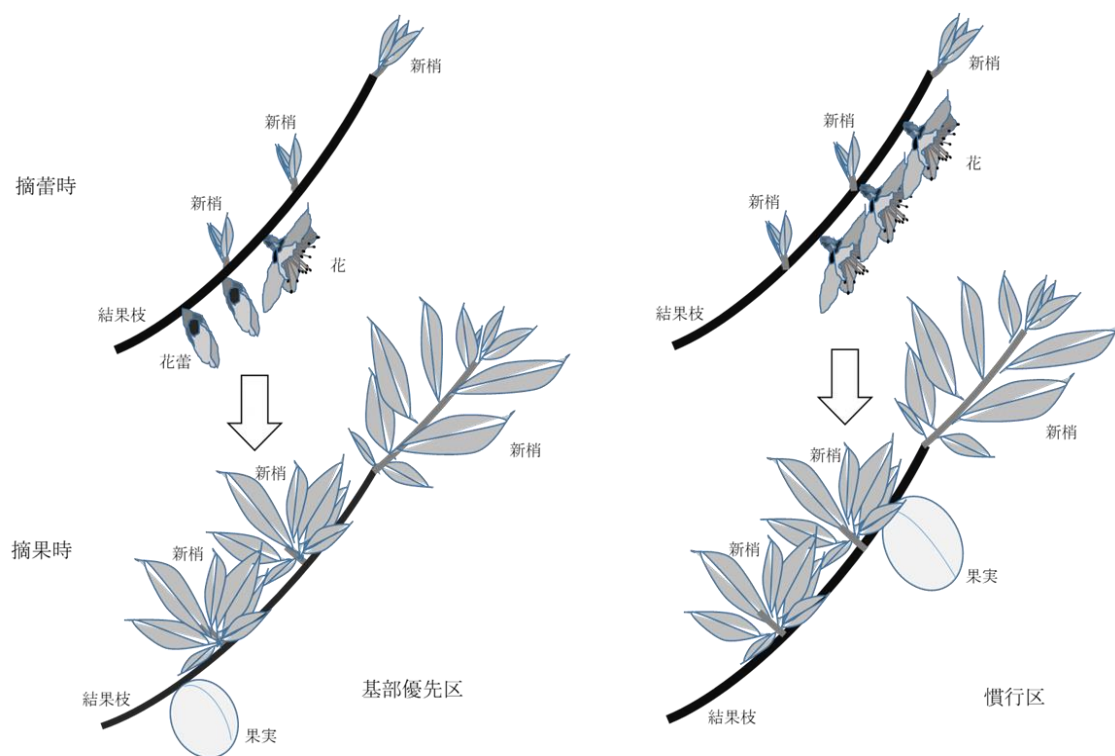
前節までに高温や多雨により発生が助長される果肉障害と、それに向けた対策技術について検討し有効な対策について述べた。より根本的に果肉障害の発生を抑制するために、樹内の影響要因を抽出し、それを改善する技術については依然として検討の余地がある。そこで、本節では、同一の結果枝内でも開花の遅い花を残すと果肉障害が少ないという Fukuda ら（2017）の研究結果を受けて、相対的に開花の遅い結果枝基部の優先着果について検討し、摘蕾および摘果法の側面から果肉障害の抑制が可能かという観点で、開花期を考慮した基部優先着果について検討した。

材料および方法

植物材料は岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場に植栽された6年生モモ‘清水白桃’を2014年に4樹供試した。試験区の設定と着果管理は各樹に垂主枝単位で、対照となる慣行の摘蕾と摘果を行う「慣行区」と、開花期が相対的に遅い結果枝基部の花蕾や果実を優先して残す「基部優先区」を設定した（第2-5-1図）。摘蕾処理は、慣行区では、岡山県栽培指針に準じて、4月2日に結果枝の中央部から先端にかけて結果枝上の全ての花蕾（花）数の約30%を残すこととした。一方、基部優先区では、4月1日に慣行区と同様な摘蕾程度としながら、花束状短果枝を除いて、結果枝（前年枝）の先端を中心に摘蕾し、中果枝以上（長さ約10 cm以上）は特に基部を中心に残した。摘果処理は、両区とも、慣行区の満開25日後に当たる5月2日に最終着果数の約2.5倍を残す予備摘果、満開39日後に当たる5月16日に最終着果数の1.5倍に調整する第2回目の摘果を行い、満開81日後に当たる6月27日に生理的落果の収束を確認して、最終着果数とする第3回目の摘果（仕上げ摘果）を行った。いずれの摘果日においても、基部優先区は結果枝の長さに関わらずその基部を中心に残す摘果を行った。両区とも、7月9日に慣行の果実袋（M-4、西日本果実袋株式会社製）を掛けた。

開花時期の調査は各処理区の開花日は全体の花数の約20%が開花した時点を開花始め、約80%が開花した時点満開日として達観調査した。収穫調査は各区20果ずつ、区内でばらつくように配置して、果実袋に印を付け、成熟期（7月20日以降）には2日おきに果皮の緑色の抜けを基準にその果実の収穫を行い、各樹の区毎の平均収穫日を算出した。収穫直後または25℃追熟3日後に、果実品質および果肉障害の発生を調査して、両区で比較

した．さらに，切り出したチーク部の果肉を搾汁し，pH 計（LAQUAtwin-pH-22B，（株）堀場製作所）での果汁 pH の測定を追加した．核割れについては，果実の縫合線部に沿って錐でおよそ 4 箇所穿刺し，発生の有無を調査した．



第 2-5-1 図 基部優先区（左）と慣行区（右）における摘蕾（花）時と摘果時の残す花蕾（花）と果実の選択（模式図）

結 果

開花日が相対的に遅い結果枝基部に優先して着果させるための摘蕾及び摘果法（第 2-5-1 図）を考案し，‘清水白桃’を用いて，慣行の着果法と比較した．摘蕾時には，結果枝上部の花蕾を摘蕾することから，開花日の違いを確認した（第 2-5-1 表）．その結果，慣行区と比べて，基部優先区では，開花始めが約 2 日後退し，満開日も 1.3 日後退した．

次に，区内のラベルした果実の平均収穫日と果実品質に及ぼす基部優先着果の影響を第 2-5-2 表に示した．慣行区よりも開花が全般に遅かった基部優先区では，平均収穫日に大差なかった．一方，適期収穫した果実のサイズは，両区とも 320g 前後で同じであった．平均糖度は 13 度と慣行区も高かったが，基部優先区で 13.7 度と有意に高かった．

また、果汁 pH は基部優先区の方が有意に低く、果肉硬度がわずかに高い傾向であった。核割れ果率については、両区間に有意差が認められなかった。なお、渋みの程度や果皮着色についても比較したが、両区に大差なく、食味や果実外観に影響を及ぼさなかった（データ省略）。果肉障害の発生率や程度について、第 2-5-3 図および第 2-5-3 表で比較したところ、赤肉症の発生が、慣行区で 40%以上の発生率であったのに対し、基部優先区では 20%と、有意に低かった（第 2-5-2 図）。

程度別の発生率では、果実の商品性に問題のない程度 1 には大差なかったものの、程度 2 は基部優先区が慣行区よりも有意に低く、3.8%であった（第 2-5-3 表）。赤肉指数も有意に低く、半減させた。一方、水浸状果肉褐変症については 10%程度の低下が認められたものの有意な差は認められなかった。

第 2-5-1 表 基部優先着果がモモ‘清水白桃’の開花期に及ぼす影響

試験区	開花始め ^z (月/日)	慣行との差 (日)	満開日 ^z (月/日)	慣行との差 (日)
基部優先	4月6日	1.8	4月8日	1.3
慣行	4月4日		4月7日	
有意性 ^y	**		**	

^z開花始めは全体の約20%、満開は約80%が開花した日とした

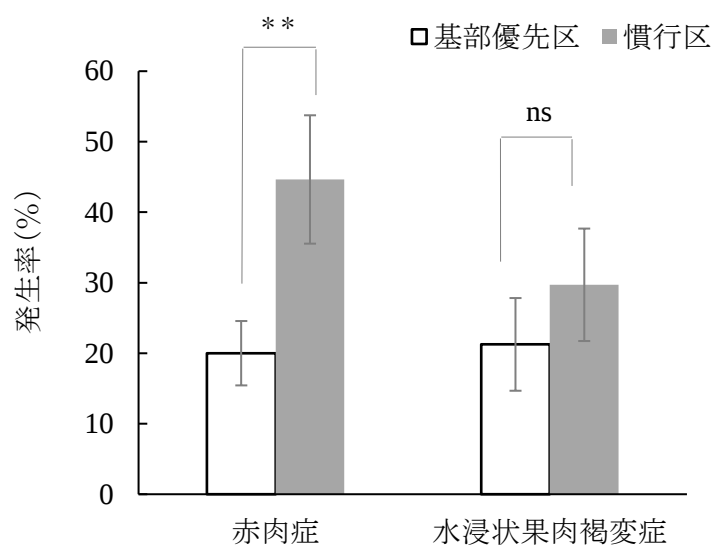
^y **: t検定によって、1%水準で有意差有り

第 2-5-2 表 基部優先着果がモモ‘清水白桃’の平均収穫日及び果実品質に及ぼす影響

試験区	果実数 (個)	平均収穫日 (月/日)	果実重 (g)	糖度 (°Brix)	果汁pH	果実硬度 (kgf)	核割れ果率 ^z (%)
基部優先	80	7月27日	321.4	13.7	4.36	0.86	26.3
慣行	80	7月28日	318.3	13.0	4.41	0.79	19.6
有意性 ^y		ns	ns	**	*	ns	ns

^z1樹1区20果のうち核割れが認められた果実の割合 (n=4)

^y *, **: 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 2-5-2 図 基部優先着果がモモ‘清水白桃’の果肉障害の発生率に及ぼす影響

** : t 検定によって 1%水準で有意差あり,

ns: 5%水準で有意差なし

バーは SE (n=4)

第 2-5-3 表 基部優先着果がモモ‘清水白桃’の赤肉果及び水浸状果肉褐変果の程度別発生率と発生指数に及ぼす影響

試験区	赤肉症				水浸状果肉褐変症			
	程度別障害果 ^{z,y} (%)			障害指数 ^{z,x} (0-4)	程度別障害果 ^{z,y} (%)			障害指数 ^{z,x} (0-4)
	程度1	程度2	程度3以上		程度1	程度2	程度3以上	
基部優先	15.0 ± 2.0	3.8 ± 2.4	1.3 ± 1.3	0.26 ± 0.08	12.5 ± 3.2	8.8 ± 4.3	0	0.30 ± 0.07
慣行	31.3 ± 6.9	12.5 ± 2.5	1.3 ± 1.3	0.60 ± 0.07	16.3 ± 5.2	13.8 ± 7.7	0	0.44 ± 0.08
有意性 ^w	ns	*	ns	**	ns	ns	ns	ns

^z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

^y程度別障害果率：平均値±SE（n=4）

^x障害指数：平均値±SE（n=80）

^w*, **: 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 節 果肉障害対策技術の組合せによる総合実証

本節では第 2 節から第 5 節にかけて記述した個々の果肉障害対策技術すなわち機能性果実袋，部分マルチ，エテホンの立木全面散布および基部優先着果の組合せ処理が，果肉障害および果実品質に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

開発した機能性果実袋，部分マルチ，エテホンの立木全面散布および基部優先着果の組合せ処理が，果肉障害および果実品質に及ぼす影響について，2015 年から 2017 年の 3 か年検討した．試験場所は岡山県赤磐市の岡山県農林水産総合センター農業研究所果樹研究室圃場，供試樹は 8 年生成木の‘筑波 5 号’台‘清水白桃’を用いた．2015 年，2016 年は 8 樹を供試，2017 年は 6 樹を供試し，半数を総合対策区，残り半数を慣行区とした．

総合対策区では，満開 38～41 日後（2015 年：5 月 15 日，2016 年：5 月 18 日，2017 年：5 月 20 日）から収穫終了後まで主幹を中心とした 4 m 四方に透湿性の多孔質防水マルチ（商品名：白黒マルチ名人）を敷設した（第 2-6-1 図）．いずれの処理区でも晴天日が続いた際には 1 回当たり 20mm 程度の灌水を行い，マルチ区はマルチの上からエバフローにより同量の灌水を行った．総合対策区は機能性果実袋のドットを小さくし，市販品とほぼ同じ仕様（無底 M43 ベース）のものを使用し，処理樹全果に被袋した．摘蕾は 4 月 4～5 日，予備摘果は満開 30 日後の 5 月 10 日，仕上げ摘果は満開 49 日後の 5 月 29 日，修正摘果は満開 80～81 日後の 6 月 29 日～6 月 30 日に行った．慣行区は通常の摘蕾，摘果を行う一方，総合対策区は結果枝基部に花蕾，果実を残した．中果枝以上の枝は基部，短果枝で構成される側枝の場合は側枝基部に近い短果枝に着果させた．エテホン処理は濃度 25ppm（エスレル 10 の 4,000 倍）で収穫予定 30 日前処理として 6 月 29 日に立木全面散布とした．

満開 80 日に，各樹 40 果を採取し，半割して核割れ率及び子葉胚長を求めた．生理的落果率は，修正摘果時に全果観察し，正常果と明らかに核割れあるいはしわが観察される果実数及び最終の着果数から求めた．平均収穫日は 1 日おきに果皮色を見て適期と判断された時点で収穫し，全果の収穫日と収穫個数から求めた．収穫日に，各樹の収穫個数の 20～30% 程度の個数の果実を無作為に抜き出し，調査果として調査時期に偏りが生じないように設定した．調査個数は 1 樹当たり 80 果，処理区当たりでは 2015 年，2016 年は 320 果，

2017 年は 240 果とした。収穫日当日に果実重を測定して、果皮着色を 0：無，1：微，2：少，3：中，4：多の基準で達観調査し、糖度をクボタ社製非破壊糖度計（K-BA100）を用い測定した。その後、約 25℃に保った部屋で 3 日間置いた後、果実硬度を藤原社製果肉硬度計（KM-5，円錐形）で測定し、縫合線部を中心に 3～4 か所穿刺し、核割れの有無を確認した。果汁 pH は堀場社製 B-712 を用いて測定した。渋みは 0：無，1：微，2：少，3：中，4：多の基準で官能調査した。果肉障害の調査は果実の両側面及び縫合線の反面の計 3 面を切り出し、赤肉症，水浸状果肉褐変症を 0：無，1：微，2：少，3：中，4：多の基準で判定した。

なお、核割れの発生については、2017 年のみ、満開 80 日後に、生理的落果率は、修正摘果までに落果した果実数、修正摘果時に摘除果を全果観察して正常果と、明らかに落果すると判別される果実数および最終の着果数から求めた。

結 果

赤肉症の発生は、2015 年では、総合対策区の方がいずれの程度区分でも有意に少なかった。特に程度 3 以上の発生程度が強い区分では、2015 年でも 1.1%であり、2016 年，2017 年ともに発生がほとんど認められなかった。水浸状果肉褐変症は、2015 年および 2017 年には発生率，発生程度が低く，処理区間にも明らかな差が認められなかった。

第 2-6-1 表 果肉障害対策の組合せ処理が‘清水白桃’の赤肉症および水浸状果肉褐変症の発生に及ぼす影響（2015 年～2017 年）

年度	処理区	赤肉症(%)			水浸状果肉褐変症(%)		
		程度1以上	程度2以上	程度3以上	程度1以上	程度2以上	程度3以上
2015	総合対策	9.3	3.2	1.1	2.5	0	0
	慣行	36.6	19.7	8.2	3.6	0.7	0
	有意性 ^z	**	**	**	ns	ns	
2016	総合対策	9.4	3.4	0.3	8.8	1.6	0
	慣行	31.9	15.6	3.8	29.4	16.3	4.1
	有意性	**	**	*	**	**	*
2017	総合対策	5.8	2.5	0	8.3	5.4	0
	慣行	24.6	11.3	9.2	13.3	3.8	1.3
	有意性	*	*	*	ns	ns	ns

^z*: ロジスティック回帰分析によって1%水準で有意差あり、*: 5%水準で有意差あり、ns: 有意差なし

一方、2016 年では慣行区で程度 1 以上が 29.4%と比較的高かったが、総合対策区は程度 1 以上では 8.8%と慣行区よりも有意に低く、程度 2 以上の発生率も有意に低かった。さらに程度 3 以上の果実は、総合対策区においては全く認められなかった（第 2-6-1 表）。

第 2-6-2 表 果肉障害対策の組合せ処理が‘清水白桃’の果実品質に及ぼす影響（2015 年～2017 年）

年度	処理区	平均収穫日 (月/日)	慣行との 差(日)	果実重 (g)	糖度 (°Brix)	果皮着色 (0～4)	果実硬度 (kgf)	果汁 pH	渋み (0～4)	核割れ果率 (%)
2015	総合対策	7/22	-2.7	354.2	13.8	1.4	1.18	4.40	0.8	50.7
	慣行	7/24		359.4	13.2	1.2	1.15	4.49	0.6	54.6
	有意性 ^z	**		ns	*	*	ns	ns	*	ns
2016	総合対策	7/21	-2.9	298.5	14.8	1.2	0.82	4.34	0.6	21.9
	慣行	7/23		322.2	14.4	1.0	0.81	4.42	0.7	51.9
	有意性	**		*	*	*	ns	ns	ns	*
2017	総合対策	7/27	-1.0	340.6	14.9	1.4	1.03	4.19	1.2	37.5
	慣行	7/28		345.9	14.6	1.3	1.06	4.29	1.3	51.7
	有意性	ns		ns	**	ns	ns	ns	ns	*

^z***: t検定によって1%水準で有意差あり、*: 5%水準で有意差あり、ns: 有意差なし(核割れ率はアークサイン変換後検定)

平均収穫日は、2017 年には総合対策区が慣行区より 1 日程度早まったが、有意差は認められなかった。その一方、2015 年、2016 年の両年とも、総合対策区の方が慣行区よりも 3 日程度の平均収穫日の前進が見られ、いずれも有意差が認められた（第 2-6-2 表）。果実重には 2015 年、2017 年には両区に明らかな差が認められなかったが、2016 年には慣行区と比べて総合対策区の果実重は有意に小さかった。糖度については、いずれの試験実施年度においても、有意に総合対策区の方が高かった。特に 2016 年、2017 年には総合対策区は平均糖度で 15 度近い数値であった。果皮着色については、2015 年、2016 年は総合対策区の方が有意に強かった。着色の様相については、果頂部の着色のみがやや強かった。果肉硬度については、いずれの試験実施年度においても、処理区間に明らかな差は認められなかった。果汁 pH については、いずれの試験実施年度においても明らかな差は認められなかった。渋みについては、2015 年が慣行区より総合対策区で有意に強かったが、2016 年、2017 年には両区間に有意な差は認められなかった。調査果実の核割れ果率については、2015 年には両区間に明らかな差が認められなかったが、2016 年、2017 年ともに慣行区より総合対策区の方が有意に低かった。

第 2-6-3 表 果肉障害対策の組み合わせ処理が‘清水白桃’の満開 80 日後の果実重、核割れ、子葉胚長および生理的落果率に及ぼす影響（2017 年）

処理区	果実重 (g)	核割れ果率		子葉胚長 (mm)	生理的落果率 ^z (%)
		縫合線割れ (%)	胎座部割れ (%)		
総合対策 ^y	95.3	28.3	4.2	13.4	11.3
慣行	98.3	54.2	14.2	11.9	27.9
有意性 ^x	ns	**	ns	*	*

^z生理的落果率は修正摘果までの落果した果実数と修正摘果時に摘除果を全果観察して求めた

^y被袋およびエテホン処理は実施前，部分マルチの有無と摘果法の違いのみ処理が実施されている時点の結果

^{x**}:t検定によって1%水準で有意差あり，*:5%水準で有意差あり(核割れ率，生理的落果率はアークサイン変換後検定)

満開 80 日後の仕上げ摘果時の果実重は総合対策区の方が慣行区より 3 g 程度小さかったものの，有意な差は認められなかった（第 2-6-3 表）。核割れ果率では，縫合線割れは，総合対策区では約 28%であったのに対し，慣行区では約 54%であり，有意に慣行区よりも低かった。胎座部割れでは発生率がいずれも 20%以下で有意ではなかったものの，総合対策区での発生率は約 4%と低かった。種子内の子葉胚長については，有意に総合対策区の方が長かった。生理的落果率については，慣行区が約 28%であったのに対し，総合対策区では約 11%と，有意に総合対策区の方が低かった。



第 2-6-1 図 果肉障害対策の組合せ処理区の様子

第7節 音響振動法による赤肉症果の判別

本節では、果肉障害果の市場流通を避けることを目的として、非破壊で、障害果を判別する方法が必要と考えられたことから、非破壊判別方法の検討を行った。古くから、果実の熟度や状態と関連する固有の振動があることがリンゴで見いだされていて（Abott ら、1968）、Cooke ら（1972）は硬さを推定する弾性指標の数式を考案した。Terasaki ら

（2001）は、周波数を変化させながら物体に振動を加え、物体の状態によって固有の共鳴を起こした周波数を計測する音響振動法を用い、Cooke が用いた振動数が、第2共鳴振動数であることを明らかにし、第2共鳴周波数が果実の状態を表すことを報告した。一方、二ホンナシにおいて、果実内部の果芯部の腐敗程度を評価することに、音響振動法が利用可能と報告された（Kadowaki ら、2012）。すなわち、心腐れの障害では、内部の異常が共鳴周波数の低下を引き起こすことで、正常な果実との違いが引き起こされることを明らかにした（Kadowaki ら、2012）。モモの果肉障害果も、追熟時に粉質状に肉質の変化が生じることから、果肉障害果では共鳴周波数が正常果と異なる可能性が考えられた。そこで、適期で収穫された果実を用いて、共鳴周波数と赤肉症の発生との関連付けを試みた。

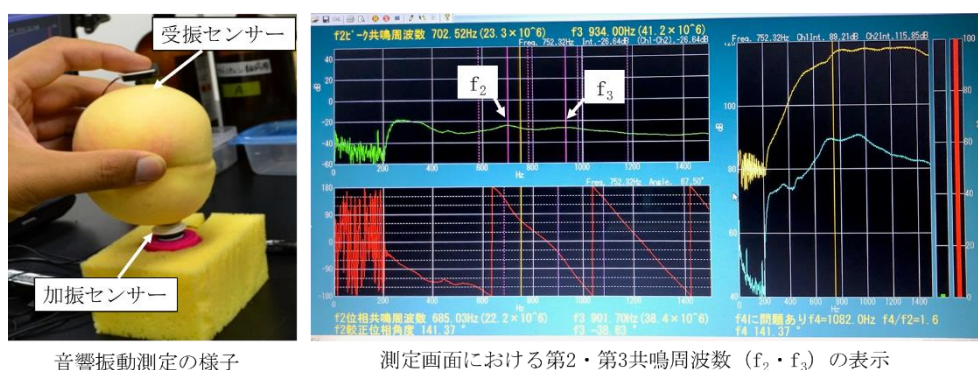
材料および方法

供試材料は2013年と2015年に、岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センターに植栽の‘紅清水’から一日に収穫された果実のうち、果皮の脱緑程度から収穫適期と判断されたものを、2013年は35個、2015年には24個を供試した。

品質調査は2013年の収穫果については、直ちに果実重を測定した後、据え置き型音響振動測定装置（聴振器、（有）生物振動研究所）を用いて、果実のチーク部に両センサーを配して、第2および第3共鳴周波数を調査した（第2-7-1図）。チーク部から半球状に果肉を切断し、その断面における赤肉症の発生程度を4段階（0：正常、1：一部の果肉に障害発生、2：ほぼ半分の果肉に障害発生、3：ほぼ全面に障害発生）で評価した。切り出した果肉から果汁を採取して、デジタル糖度計（（株）アタゴ、PR-1）で糖度を測定した。

2015年の収穫果については、収穫直後に、上述のように、果実重と、音響振動装置を用いて第2および第3共鳴周波数を調査した。その後、25℃に室温を設定した部屋に3日間置き、追熟後の共鳴周波数を再度調査した。チーク部から半球状に果肉を切り出し、上述のように、赤肉症の程度を評価するとともに、硬度を測定した。その断面における赤肉症

の発生程度を4段階（0：正常，1：一部に障害，2：ほぼ半分に障害，3：ほぼ全面に障害）で評価した。次に，半球状の果肉の上端の果皮を除き，果肉硬度を果実硬度計（KM-5，藤原製作所）で測定し，切り出した果実の果汁を採取してデジタル糖度計（PR-1，（株）アタゴ）で果汁糖度を測定した。



第2-7-1 図 音響振動法によるモモ果実での測定の様子（左）と測定画面における共鳴周波数の表示（右）

結 果

赤肉症の程度で分け，果実品質および共鳴周波数を比較したところ，2013年に供試した果実では，果実重が程度3で大きかった一方，果汁糖度が，程度1や2で程度0よりも低かった（第2-7-1表）。共鳴周波数の平均は第2，第3共鳴周波数とも赤肉症の程度が進むにつれて低くなった。一方，収穫時と追熟後に調査した2015年の果実では，果実重に赤肉症の程度との間には一定の傾向はみられなかったが，全体に果汁糖度が低い年で，程度が進むほど，果汁糖度は低くなった（第2-7-2表）。また，共鳴周波数は収穫時，追熟後も，赤肉症の程度が進むほど低くなる傾向で，第2，第3共鳴周波数とも，同様の傾向を示した。

第2-7-2図に，2013年に供試した果実の第2共鳴周波数の分布を赤肉症の程度別に示した。正常果では，800～550Hzに位置した一方，赤肉症果は，程度1で750～400Hz，程度2で650～200Hzと程度3が550～300Hzとなり，それらの結果は赤肉症の程度に対して有意な負の回帰を示した。正常果と赤肉果を判別する閾値を600Hzとすることで，正常果が1つ誤判定されるものの，赤肉果のうち，程度1は3個だけであったが，程度2を9個，程度3を6個すべて，正しく判別して取り除くことができた。

2015 年に供試した果実についても収穫時と追熟時の第 2 共鳴周波数の分布を赤肉症の程度別に示した（第 2-7-3 図）。追熟後には、共鳴周波数が全体的に下がったが、程度 2 以上の果実で共鳴周波数がさらに著しく低くなり、正常果と違いがみられた。追熟後だけでなく、収穫時の共鳴周波数でもその違いは顕著で、2013 年の調査と同様に、収穫時の閾値を 600Hz とすることで、正常果が誤判定されずに、赤肉果を 72.2%取り除くことができた。一方、追熟後において、450Hz に閾値を設定すると、軟化の進んだ一部の正常果を含んだものの、赤肉果を 88.9%取り除けた。

第 2-7-1 表 赤肉症の程度別にみた果実品質と共鳴周波数の比較（2013 年）

果実区分 ^z	果実数	果実重 (g)	果汁糖度 (°Brix)	f2 (Hz)	f3 (Hz)
正常	8	242.7 a ^x	15.4 a	664.2 a	868.7 a
程度1	7	253.6 a	14.5 a	632.9 b	872.3 a
程度2	12	236.8 a	13.6 b	527.9 b	826.6 a
程度3	6	295.6 b	15.1 a	421.9 c	675.1 b

^z赤肉症の程度 (1: 断面の一部に障害, 2: 約半分に障害, 3: ほぼ全体に障害)

^yf₂: 第2共鳴周波数, f₃: 第3共鳴周波数

^x異なる文字間: Tukey検定により5%水準で有意差あり

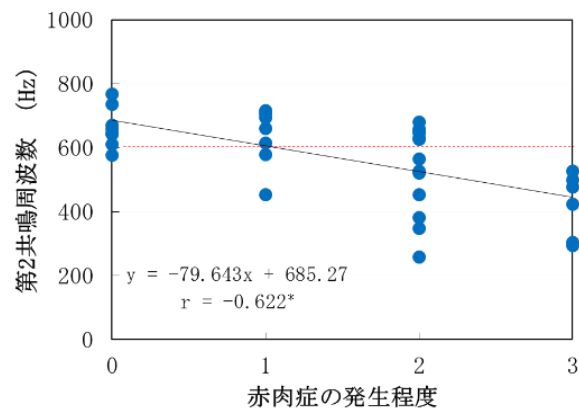
第 2-7-2 表 赤肉症の程度別にみた果実品質と収穫時と室温追熟 3 日後の共鳴周波数の比較（2015 年）

果実区分 ^z	果実数	果実重 (g)	果汁糖度 (%)	果肉硬度 (kg)	収穫時		室温追熟3日後	
					f2 (Hz)	f3 (Hz)	f2 (Hz)	f3 (Hz)
正常	6	271.8 a ^x	12.7 a	0.30 a	726.1 a	965.2 a	465.3 a	626.5 a
程度1	9	312.8 a	12.6 a	0.29 a	592.6 b	817.1 b	416.0 ab	565.5 ab
程度2	5	307.3 a	10.9 ab	0.25 a	588.4 ab	790.0 bc	375.2 bc	505.2 c
程度3	4	266.5 a	9.4 b	0.26 a	476.8 b	662.5 c	341.2 c	484.8 c

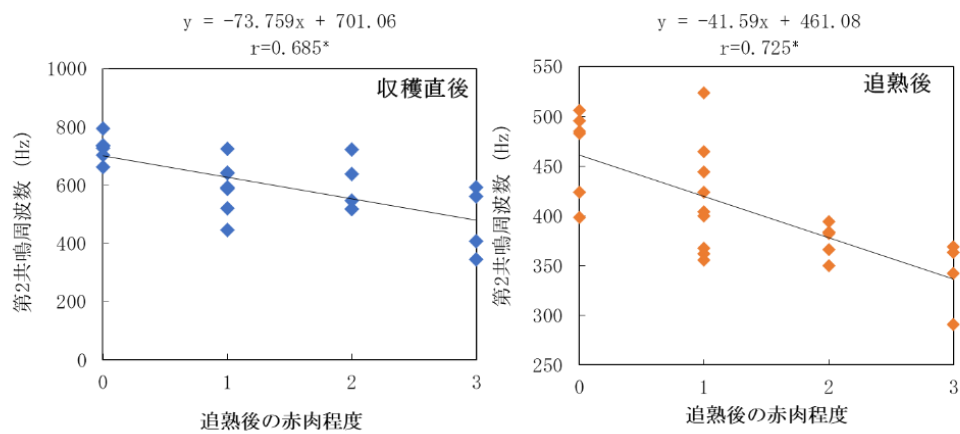
^z赤肉症の程度 (1: 断面の一部に障害, 2: 約半分に障害, 3: ほぼ全体に障害)

^yf₂: 第2共鳴周波数, f₃: 第3共鳴周波数

^x異なる文字間: Tukey検定により5%水準で有意差あり



第 2-7-2 図 赤肉症の程度と第 2 共鳴周波数の関係 (2013 年)
 * : 5%水準で有意な相関



第 2-7-3 図 収穫直後(左)と追熟後 (右) の赤肉症の程度と第 2 共鳴周波数の関係 (2015 年)
 * : 5%水準で有意な相関

第8節 考察

本章では、モモ栽培において成熟時期に生じている問題の、成熟遅延や果肉障害の発生について、夏季の気象の変化が問題の増加に関連しているのではないかと推測し、それらの関連の把握とその特徴に基づく対策技術の開発を実施し、問題解決を試みた。すなわち、気温の変化と、成熟時期や岡山県で特に問題となっている果肉障害の「赤肉症」との関連を検討し、気温が低下する資材の開発を進めた。次に、水浸状果肉褐変障害については果実への過剰な水分流入の関連が考えられたことから、樹体への水分流入を抑える「部分マルチ敷設法」を開発し、その効果を生産現場での実証を含めて検討した。さらに、これらの障害果の市場流通が産地の信用に悪影響を及ぼすため、それらの流通を抑制する一助として、非破壊判別方法も検討した。

1. 気温変化と機能性果実袋および熟期前進法の開発

初めに、気温変化が果肉障害の発生に及ぼす影響について把握するために、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‘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。

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、着果量の違いにより生じた差であり、気温の変動による差異ではないと考えられた。一方で赤肉果の発生はいずれの年も、県北部より県南部での発生が多く、発生程度も強かった。従って、栽培農家の経験則どおり、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、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2℃以上高い年もあった。

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県北部と県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と考えられた。

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。果汁糖度は県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。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。赤肉果の発生率をみると、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。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℃の温度差（アメダスデータ）に相当していることもよく符合する。今後、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、ホウ素などの微量要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）。Brownら（2002）はホウ素の欠乏はポリフェノール含量を増加させる

ことが明らかとしており、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。

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伺える。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。

前述のように、近年の気象変動による気温の変化から果肉障害の発生が助長されている可能性について論じた。中長期的にはモモの栽培地の移動を視野に入れる必要もあろうが、岡山県の場合、主たるモモ産地は南部に集中しており、まずは温度環境への変化に即した栽培技術による対応が重要であると考えられる。ブドウでは、夏季の高温により露地栽培で着色が劣る場合には、施設栽培を導入し、作型の前進化による着色期の高温遭遇を回避させる対応策があるが（苫名ら, 1979）、露地栽培が主体であるモモでは対応できない。そこで個々の果実の温度環境、特に果実発育に異常をきたす高温に対する遭遇を回避させる機能を付与した新たな果実袋の開発を目指した。

まず、個々の果実への高温遭遇が‘清水白桃’の成熟に及ぼす影響について検討した。その結果、収穫時期は成熟直前の満開 100 日後～収穫期の処理で無処理より 1 日遅れた。福田ら（2010）は、‘白鳳’を供試して、黒袋を被袋することにより、果実のエチレン生成が抑制され、成熟遅延が認められたことを報告している。本研究の‘清水白桃’におい

でも同様な状況が認められたことから、高温により発生が助長されていると推察される赤肉症の対策として、個々の果実において高温に対する遭遇を少なくすることが、対策の一環になることを支持すると考えられた。樹種は異なるが、羽山ら（2014）は、樹上でナシ‘新高’の果実を電熱線で覆い、果実温度を意図的に上昇させて果肉障害に及ぼす影響について検討しており、果実温度が高いとみつ症の発生が助長されることを示している。このことから、果実のみの温度制御によっても果肉障害の抑制に対して有効であるという仮説が支持される。

果実袋による温度制御に着目した筆者は、果実への異常高温の遭遇を回避させるため、通常の果実袋にアルミニウムの蒸着を試みるなど、様々な検討を行ったが、いずれも一般的な果実袋として用いられるような価格に収まらないことが問題であった（データ未発表）。そこで、より汎用性が高く、遮熱性の塗料などに用いられる資材として酸化チタンを見だし、その中でも特に赤外線反射機能が優れる酸化チタンであるテイカ株式会社製の JR-1000 を塗布した果実袋を作成し、本研究において改良を重ねた。

まず、2013 年に試作された 2 種の機能性果実袋では、成熟 5 日前の高温時の果実温度が慣行袋よりも 1.5℃前後低かった。しかし、いずれの果実袋も通気性が著しく低く、果実発育に必須の通気性が確認できなかった。これは、圧延法により酸化チタン含有塗料を慣行袋表面に全面塗布したことが主因であると考えられた。果実袋の通気性については、ニホンナシでの結果ではあるが、収穫時期に接触しガス交換や蒸散を左右することから、果実品質に影響を及ぼすことが報告されている（遠藤，1976）。また、本章第 1 節では、モモ‘白鳳’の果皮表面にワセリンを塗布して蒸散を抑制すると、水浸状果肉褐変症の発生が助長されることを明らかにしている。このため、慣行袋より通気性が著しく低いという点については改善が必要であると考えられた。

そこで、2014 年には、西日本果実袋株式会社と共同試験を開始し、製袋会社の製袋ライン上での塗布について検討した。全面塗布とドット状に印刷し仕様を比較したところ、ドット印刷では慣行果実袋の通気性の 80%程度の通気性を示し、顕著な通気性の改善が図られた。

ドット状に塗布した機能性果実袋を市販化に向けた試作品として、遮熱性、果実品質および果肉障害の発生に及ぼす影響について検討した。その結果、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（藤井，2018）。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 度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その場合、果実肥大がやや抑制され、糖度もオレンジ袋を被袋した場合より約 10%低くなってしまうことが別の試験で確認されていて、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、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。生産者は、主に地色の抜け具合から経験により、収穫時期や果実の熟度を果実外観から判断する。従って、慣行袋から機能性果実袋に切り替えても、判定経験の混乱が生じることもなく、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、袋単価が約 10～20%上昇するものの、流通関係者や消費者に違和感を生じさせず、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、機能性果実袋は「果実の育成促進袋」として特許を取得しており（藤井ら、2016a）、中華民国（藤井ら、2016b）および韓国（藤井ら、2017）でも同様の名称で特許を取得している。

第 1 節、第 2 節では果実の成熟に及ぼす果肉障害の発生要因と新たに開発した機能性果実袋による果肉障害の低減について論じた。特に、果実発育第 3 期の後半に、異常な高温に遭遇されると成熟が遅れることを示した。成熟の遅延に伴い果肉障害が増加する傾向があるため、成熟遅延の回避が果肉障害の抑制にも結びつくものと考えられる。成熟の遅延は主に果実のエチレン生合成の阻害によるものと考えられている。そこで、果実へのエテホン処理によるエチレンの外生的な処理が‘清水白桃’の成熟期および果肉障害の発生に及ぼす影響について検討した。

2009 年には、満開 85 日後から満開 100 日後までの間で、エテホン 50ppm および 100ppm の処理濃度を組み合わせて収穫期、果実品質および果肉障害に及ぼす影響について検討した。その結果、満開 90 日後まではいずれの処理濃度でも無処理区より成熟時期が早まり、満開 85 日後 100ppm 処理を行った区では無処理より 4 日収穫期が早まった。一方、満開 95 日後では処理濃度にかかわらず、成熟期の早期化は認められなかった。このことは、満開 95 日後以降では、既に果実本来のエチレンの生合成量が十分に多く、外生的に付与されたエチレンに対する反応が鈍化するのではないかと考えられた。

ところで、有意ではないが、成熟が前進化した処理区で、やや果実が小さい傾向が認められた。これは、収穫直前の果実が最も肥大する期間が、エテホン処理により、やや短縮されたことによるのではないかと考えられた。一方で、果汁糖度には、無処理との有意差は

なく、むしろ、満開 85 日後の処理では、無処理より高い傾向もあった。また、果実硬度や果汁 pH においても無処理区との間に差がないため、エテホン処理による 2~4 日の成熟促進では、果実品質を低下させる要因にはなりにくいことを示唆している。赤肉症は同年発生がなく、水浸状果肉褐変症についても明確な傾向は認められなかった。

2010 年には、満開 85 日後から 95 日後の期間において、さらに 200ppm の処理濃度を加えて試験を実施した。その結果、処理濃度が高いほど果実のエチレンの発生量が多く、成熟期の早期化が認められ、赤肉症の発生率が低かった。これらのことから、‘清水白桃’では満開 90 日後までの果実へのエテホン処理が、赤肉症の抑制に有効であることが示唆された。ただし、満開 85 日後の処理濃度が 200ppm の場合、果実表面の樹脂溢出、果皮の亀裂は比較的多く認められたことから、薬害であると考えられた。このことから、‘清水白桃’では、エテホンを果実のみに処理する場合には 100ppm 前後の濃度による処理が適していると思われた。

以上のように、2010 年までの試験結果では、エテホン処理による果肉障害の低減効果が示唆された。しかし、果実にのみ散布する方法では、煩雑であるため立木散布による処理であることが望ましい。そこで、2011 年には満開 90 日後の 100ppm による立木散布について検討した。その結果、成熟期の早期化が認められ、無処理より約 3 日前進した。ただし、果肉障害の発生に対しての抑制効果が認められなく、葉の黄変（第 2-3-5 図）、結果枝表面からの樹脂の溢出などが観察されたため、薬害であると思われた。宮本（2015）は核果類の枝や果実のエテホンを処理すると樹脂の分泌が促されることを示しており、前出の個々の果実での 200ppm の処理や立木散布における結果枝表面の樹脂の溢出の症状は、過剰なエチレン付与によって生じた傷害応答によるものと考えられた。

このように立木散布におけるエテホンの高濃度処理には薬害の恐れがあることが明らかとなったため、2012 年には、満開 90 日後に、中生品種‘白鳳’に農薬登録がある 25ppm の濃度で立木処理について検討した。その結果、成熟期の早期化が認められ、無処理より約 3 日前進し、赤肉症の発生率が有意に低く、水浸状果肉褐変症の発生も少ない傾向が認められた。また、2011 年の 100ppm 処理に認められた葉や結果枝における薬害も認められなかった。このため、‘清水白桃’のエテホン処理は、満開 85 日から 90 日後にかけて 25ppm の立木全面散布が望ましいと考えられた。

満開後 85~90 日の処理であると、‘清水白桃’の満開から成熟までに要する日数が通常 110~115 日程度であることを考えると、収穫 3 週間前に処理を行う必要がある。成熟期

に高温になることを見越した処理が前提となるため、より確実な高温予想が重要になると思われる。ただし、労力的な観点からすると、処理樹と無処理樹を一定割合ずつ設定するなどの工夫をすれば、処理の有無による作業分散が図られる可能性もある。

成熟時期の早まりと果肉障害の発生との間に明らかな関連が認められ、特に成熟期が早まると赤肉症の発生率が無処理区よりも低下した。このことは、エテホン処理が高温時に遅延傾向にある果肉の成熟を促すと同時に、高温遭遇期間を短くした結果ではないかと推察された。また、水浸状果肉褐変症においては、発生率そのものが低かったものの、成熟が早まった処理区で発生率が低い傾向が認められた。果実糖度そのものには大きな差が認められないことから、正常な果肉の成熟が水浸果の発生も抑制する可能性があると考えられた。

なお、エテホン処理による熟期促進はかつて、モモでは‘白鳳’のみの使用登録に限定されていたが、2013 年からのモモの果肉障害対策技術のプロジェクト研究の成果を基に（福田ら、2016）、使用登録の拡大が進められ、現在では、収穫予定の 35 日前以降 但し、収穫 21 日前までの処理時期での立木全面散布が全てのモモ品種で適用可能となっている。

2. 果実や樹体への水の流入の障害との関連とマルチ敷設法の開発

先述のように、成熟遅延や赤肉症の対策については、果実袋やエテホン処理により改善が見られたが、水浸状果肉褐変症においては、必ずしも同様な低下傾向を示さなかったことから発生原因が異なると考えられる。経験的には、糖度の上昇が順調で、成熟直前に大雨がある場合に多いなど水分との関連が深いと考えられてきた。

本章の第 1 節で述べたように、果実表面のワセリン処理によって、対照区よりも赤肉症の発生率は増大せず、水浸状果肉果率が著しく高くなったことから、蒸散の抑制のような水の移動を妨げるような多雨状態になると、水浸部位が生じやすいと推察される。また、その水浸化には維管束からの果肉組織への高分子の物質流入が関係している可能性も考えられた。ルテニウムレッドで呈色したことからこれはペクチン様物質であると推測される。ペクチンは樹脂の主成分であり、水分の滞留により根で形成され、果実へ流入してることが推測される。モモでは胴枯病（*Valsa loycostomata*）に侵されるとゴム物質（樹脂）が生成され木質組織に侵入して導管にまで達する（北島、1989）とされる。樹脂が水分の移動に伴って移動する可能性があることから、水分流入を抑えることは、果実への過

剰な水分流入を抑制するだけでなく、根を正常に保って樹脂を流入させない効果も有する可能性があり、水浸状果肉の発生を抑えることに最も重要になると推察される。

ところで、モモには過剰な吸水によって引き起こされるとされる果実の生理障害として、核割れとそれに起因する生理的落果がある。生理的落果の発生には、果実発育第2期の核割れが大きく影響するとされ（木村ら，1991；瓜生ら，1995；和中ら，2001），果実の急激な肥大がその要因であることが指摘されている（福田ら，2002；瓜生ら，1995）。土壤水分を湿潤に管理すると果実の肥大が促進され、核割れの発生が助長されることが報告されている（Claypool ら，1972）。

水分コントロールの一策として、モモでは、果実発育第2期にマルチを敷設し、降雨の流入を制限して土壤水分の変動を小さくすると生理的落果の発生が抑制されることが報告されている（依田ら，1980）。また、オウトウでは樹冠下にマルチを敷設することで急激な果実肥大を回避できるとされている（山本ら，2008）。しかし、これらは樹冠下への全面マルチの結果であり、敷設期間が長いと降雨が遮断されて土壤の過乾燥による弊害が懸念される。このため、マルチ下への灌水設備の設置が必要となり、きめ細やかな水管理が必須となる。そこで、主根群域による過剰な吸水を抑えつつも、周辺の根による吸水は容認させるという考えに基づき、部分的なマルチングについて検討した。

マルチの敷設範囲を把握するためには、モモの主根群域を明らかにする必要があるため、成木の抜去時に株元からの距離ごとに根量を測定した。その結果、株元からの距離が200cmまでの区分で、根量の大半が存在していた。果樹の主根域は樹種によって異なることが報告されているが（鳥取県他，2004），モモではかなり主幹部に近い位置に細根が集中していた。一方、株元から200cm以上の区分でも根の分布は一定量認められ、2mm未満の細根が存在したことから吸水を保つと見なされた。このことから、主根群域の株元から2mの範囲にマルチングを行い、過剰な吸水を抑えながら、不足が生じるのであれば、外周に対して灌水を行うことで樹体の水分状態の大きな変動を避けることができると考えられた。

上述のように、過剰な吸水が、水浸状果肉褐変症の発生を助長する可能性があることから、部分マルチの敷設が、土壤水分および樹体の水分状態に及ぼす影響について検討した。敷設以降、土壤pFは高く推移し、降雨や灌水処理後であっても変動が少なかった。また、極端な多水条件を再現するために実施した6月上旬の灌水処理においても、新梢の水分ポテンシャルの変動はマルチ区の方が明らかに小さく、部分マルチの敷設でも樹体の

水分変動が抑えられることが明らかとなった。水浸状果肉褐変症の発生に及ぼす影響について検討したところ、無処理区よりマルチ区で発生率が有意に低かった。水浸状果肉褐変症を生じた果実に見られる果肉内への樹脂の流動などが抑えられたのではないかと推察される。

手塚ら（2012）はハウス栽培のモモ‘白鳳’や‘川中島白桃’を供試して、収穫前の土壌水分の変動の有無が果肉障害の発生に及ぼす影響について検討しており、変動を抑制した処理で発生が少ないことを示しており、本研究での部分マルチ敷設による土壌水分の変動抑制が水浸状果肉褐変症の発生を抑えたことと一致している。

核割れ、生理的落果および果実品質に及ぼす影響についても検討したところ、核割れ果率が明らかに低くなり、生理的落果率も低下傾向にあり、水分の変動を抑制することが生理障害の回避につながることを示された。高野ら（1999）はモモ‘あかつき’の樹冠下に透水性防水シートを全面あるいは列状に敷設したところ、糖度向上効果が認められたとしている。一方、本試験では果実重、糖度には影響が認められなかった。高野らの試験では果実肥大がやや劣ったという結果が示されていることから、筆者らが実施した試験と比べて、より強い水ストレスがかかっていたのではないかと推察される。本試験のように、主幹から2mの範囲、すなわち4m四方の部分マルチの敷設では果実肥大に影響を及ぼすほどの過度な水分制限には至っていないことを示唆している。

以上のように、部分マルチの有効性については明らかとなったが、敷設後の灌水の必要の判断については、依然として各農家の判断に委ねられることから、灌水が必要な水分状況の把握については課題が残されていた。そこで、森永ら（2016）が開発した、水分ストレス表示シートの変色時間と、モモのマルチ敷設下における樹体水分の把握について、ポロメーターによる蒸散速度の測定値との関係について検討した。その結果、変色時間が110秒以下であると、比較的、蒸散速度が高く、200秒を超えると明らかに蒸散速度が低下するなど関連が強く示唆されたことから、本シートを用いることでモモ樹の水分状態の簡易診断が可能であることが示唆された。

‘清水白桃’を供試し、成熟直前の7月上旬のマルチ区と無処理区の蒸散速度と水分ストレス表示シートの変色時間についてプロットしたところ、分布に大きな偏りは認められず、蒸散速度の平均値および水分ストレス表示シートの変色時間にも有意な差は認められなかった。マルチ区では、無処理区と同じタイミングで4m四方のマルチ外周に灌水を実

施しており、マルチを敷設した部分より外に分布している根からの吸水のみでも、著しい過乾燥には至らないことを示唆している。

樹体水分の把握に水分ストレス表示シートが有効であることが明らかとなったが、モモにおいて信頼の置ける測定時の反復については明らかでなかったため、1 樹当たり最大 9 枚までの水分ストレス表示シートの供試数を検討した。その結果、3 枚でもそれ以上の枚数用いた場合との変色時間および誤差の変動が少なかったことから、水分ストレス表示シートを樹体水分の把握に用いる際には、実用上 1 樹当たり 3 枚程度でよいと思われた。

以上のように、部分マルチによる水分コントロールが水浸状果肉褐変症の抑制効果を示すことが明らかとなったが、さらに本技術の普遍性を明確にするため、現地における部分マルチの敷設効果について、岡山県南部の主要産地における現地実証試験を実施した。実施年にはいずれの園地でも 7 月に入って大雨があり、水浸状果肉褐変症の多発が懸念される条件下であった。岡山市の A 園では発生率には差がなかったものの、程度 3 以上の果実が少なかったことに加え、他の 2 園では発生率が明らかに低かった。このことは、部分マルチの敷設による水浸状果肉褐変症の抑制効果の普遍性を裏付ける結果であると思われた。部分マルチは、生理的落果の発生軽減効果を含めて満開後 40 日後を目安に敷設しているが、仕上げ摘果の繁忙期に当たるため、生理的落果の対策技術として有効であることが明らかとなっても、岡山県における普及は滞っていたが、水浸状果肉褐変症対策としても有効であることを理解すれば、現地での活用場面は増えると考えられる。

そこで、著者はより短時間に部分マルチの敷設を可能とする手順について果肉障害マニュアルで示した。これまでに、森永ら（2010）はカンキツの水分コントロールによる高糖度果実の安定生産を目的にマルチ・点滴灌水同時施肥システムである“マルドリ”栽培を提唱し、果樹園全面に透水性防水シートでマルチングを行い、マルチ下に灌水ラインを設置して水分要求量に応じて灌水量および施肥をコントロールする栽培法を確立した。その結果、カンキツのマルドリ栽培法は全国的な栽培普及に至っている。マルチの敷設は煩雑であることから、本来であればモモでも同様なシステムの導入が望ましいことから、かつて岡山農研でも検討され、高品質な果実生産が可能であることが示されたが（安井ら、2009）、スピードスプレーヤーの踏圧によるマルチシートの破損の恐れや、モモは脚立による高所作業が多く、全面マルチによる作業性の低下が懸念されたことから、現地での導入には至っていない。ただし、今後、より軽量の自動散布機や、低樹高栽培技術の開発が

進めば、モモ栽培でも“マルドリ”栽培が再び脚光を浴びる可能性もあり、今後の技術発展が期待される。

3. 樹体生理に基づく基部優先着果技術の開発

ここまで、主に気温や降水による影響の回避について検討したが、より根本的に果肉障害の発生を抑制するために、樹内の影響要因を抽出し、それを改善する技術を開発していくことが重要であると考えられる。近年、Fukuda ら（2017）は、‘紅清水’や‘清水白桃’などの中晩生品種において、樹内での赤肉果の発生の違いと開花日との関係を調査し、開花日が早かった果実では、果実肥大や糖蓄積も劣ったことから（福田ら，2014）、果実へのホウ素などの養分供給の劣りが関係して開花日の早さが果肉障害の発生を増大させると推察した。さらに、福田ら（2018）は、‘清水白桃’で開花の早い花の摘花を行い糖度が高まったにもかかわらず、水浸状果肉褐変果率を低下させることを示している。開花日が異なることで、水浸の原因となる過程の、細胞壁強度や細胞間隙への余剰の糖の蓄積抑制などに変化が生じるのか、今後詳細な解析を進めたい。

ただし、摘蕾で開花日の早い果実を直接減らすことは、果肉障害の発生抑制に、コストもかからず、とても有効であるとみなされるが、摘蕾で対応する時期は限られていたり、無花粉品種が園地構成に加わっていると、人工受粉作業と重複することから、実際栽培では、利用しづらいと考えられる。著者らは、観察により結果枝の基部の花芽で先端部よりも相対的に開花が遅く、さらに結果母枝の中では、基部側の結果枝の開花が遅いことを見出した。従って、結果母枝の基部に優先して果実を残すことで、開花の遅い果実の割合を高め、果実品質や果肉障害の発生抑制に有効となるのではないかと考えられた。

そこで、結果枝基部に優先して果実を着果させる摘蕾および摘果法を開発して基部優先着果とし、落果しやすい‘清水白桃’で慣行区と比較した。その結果、基部優先区で開花期が後退し、相対的に遅い開花日の果実を選択出来ていると考えられた。相対的に小さい果実を摘果時に残したが、収穫時期は大差なく、果実重も両区で大差なかった。適熟の果実において、基部優先区では、糖度が有意に高くなった。これらのことから、意図的に開花が遅い花由来の果実を残す処理を行っても、少なくとも果実品質面で劣る可能性は低いと考えられた。

一方、果肉障害の発生抑制についても、慣行区より優れることが明らかとなった。すなわち、‘清水白桃’では発生が多い「赤肉症」の発生率、特に商品性がないとみなされる

程度2の果実割合を低下させることが示された。外観、果肉ともに白色であることが期待される‘清水白桃’で、着果法のみで赤肉症の発生を抑制できたことは、生産者にとって有益な情報であると考えられる。しかしながら、水浸状果肉褐変症の発生には大差なかった。これは、品種として発生が少ないことが影響しているかもしれない。

本研究と同様の基部優先着果の影響を、和歌山県において水浸状果肉褐変症の発生が甚大となっている‘川中島白桃’で検討したところ、慣行の着果よりも低く抑えられたことを有田ら（2017）が報告している。このように、果肉障害の種類は異なるものの、果肉障害が発生しやすいとされる西日本の産地において同様な傾向を示したことは、開花の遅い花を残す、基部優先着果は、モモの品質向上に寄与する可能性が示唆された。

これまで、モモの着果管理については、予備摘果では、結実が明確になった時点で、結果枝の中央より先端にある肥大が良好な果実を優先して残すことが多い（松川，1984）。肥大が良好な果実は開花が早い結果枝の中央から先端に近い部位に位置することが多く、幼果において果実肥大が良好な果実であるほどシンク力が強く、成熟果の果実品質も優れると経験的に考えられていた。しかし、本実験の結果から、開花日の遅い果実、すなわち結果枝基部の果実は、十分に高いポテンシャルを有していることが示された。ただし、基部に優先して着果させる場合には、結果枝の先端や中央部に比べると、やや小さい果実を残す必要がある。外観で見劣りするやや小さい果実を残すことは、生産者の視点に立つと、途中で退化し早期落果しないだろうか？という不安材料になりかねない。この時期の早期落果は種子の退化に伴う競合力の低下が関係していると考えられるため（石田ら，1997），基部優先着果を実施する際には、摘蕾を確実に実施し、残した果実同士の養分競合を避けることや、無花粉の品種では人工受粉をていねいに行うなど、途中の種子の退化を防ぐ対策を取る必要があると考えられる。

以上のように、開花日を考慮した結果枝基部への着果の誘導は、摘蕾や摘果の基準を変える必要はあるが、非常に有効でかつ容易な果肉障害の対策技術となると示唆された。

4. 音響振動法による赤肉症果の判別

前述のように、果肉障害果を抑制する技術について検討し、一定の抑制効果が認められた。ただし、発生が完全に抑制されるには至らないため、わずかではあっても果肉障害果が出荷されることが想定される。そこで、果肉障害の中でも、特に赤肉症果の流通を抑制するために、ニホンナシで内部障害の判別に有効性が示された音響振動法をモモの果肉障

害の非破壊判別に利用できないか検討した。その結果、収穫直後の評価によって、赤肉症果、特に商品性が劣ると考えられている程度2以上の果実を判別することが可能であることが示された。赤肉果は、細胞壁が少なくなっている障害で、追熟させると、低温障害時に発生する状況（Lurie・Crisosto, 2005）と同様に、粉質になることが知られている（高田, 2006）。したがって、2015年の調査果実において追熟時に程度2以上の果実が著しく第2共鳴周波数が低下した。一方、追熟前の収穫時でも、2013年に供試した果実でも、その違いは明確に認められた。このことは、赤肉症を呈する果実が、収穫時からすでにその特徴を有していることを示唆しており、赤肉果については収穫時に判別が可能となることが明らかとなった。

一方、同じ程度の中でも共鳴周波数は一定の幅があることが明らかとなり、閾値の設定に年次によって調整が必要になる可能性があった。このように幅が生じる要因は明確でなく単一ではないとみなされるが、Kurokiら（2006）が弾性指標の算出には、共鳴周波数に加えて果実サイズが影響することを示しているように、果実サイズが影響したり、一般に外観の果皮地色の抜け具合から主観的な判断で収穫されていることから、果実の熟度も揃えられていない点に関係していると推測され、また果肉障害の同じ程度内でも障害部位の果肉の割合や障害部位の果肉の状態は異なることも、範囲を生じさせる要因かもしれない。程度1や2において、除去されなかった果実が商品性の高い状態であるかは今後さらに検討を行う必要がある。また、適期収穫についても樹上での評価を行うことができれば、斉一性を増すことが可能かも知れない。さらに、果肉の硬度以外にも反応していくのであれば、より早い果実発育時期に判別が可能となり、障害に伴う収量のロスを減じるかもしれない。‘清水白桃’において、赤肉症果は6月下旬の第2期末に果肉のホウ素含量の低下やポリフェノールの上昇が生じ始めると考えられている（Fukudaら, 2017）。‘清水白桃’の場合、7月初めに修正摘果を行うことが栽培指針にも取り上げられていることから（栽培指針など）、今後は、収穫果だけでなく、樹上での判別も可能となるように、障害果となる前に共鳴周波数の違いがあるかを検討していく必要がある。

このように、音響振動法を用いることで、果肉障害果についても一定の判別精度をえることが可能であった。現段階では、実験機器を用いた評価であるが、これらの知見を活かして、生産現場への利用も検討できたらと考える。近年、音響振動装置の改良が進み、センサー部が統合された1点式も開発されて特許出願されていて（櫻井・秋元, 2017）、この1点式センサーを用いても核割れなど従来の音響装置で行ってきたことを、1点接触に

より測定速度も向上しつつ、簡便に実現可能になってきている（福田ら，2019）．さらに，樹上で評価を可能とするモバイル型へと音響振動装置も展開してきていることから（福田ら，2020），上述の収穫熟度を揃えながら，第2共鳴周波数の低下から異常な果実を把握する技術の実用化を進めることが可能となるとみなされる．今後もこのような着眼点において，音響振動法による果肉障害果の判別の検討を続けていければと考えている．

以上のように，成熟時期の栽培状の問題には，夏季の気象が大きく関係していることが，本研究によって明らかになり，それらの原因に対処する技術開発によって果実発育特性を考慮した技術でも，これらの問題の発生軽減に導くことが可能であることが示唆された．対処技術の組合せが可能であり，その相乗効果については総合考察で議論したい．

第9節 摘要

第1節では果肉障害のうち、赤肉症は高温による成熟の遅延が発生を増大させるのではないかと仮説を立て、岡山県南部と北部の気温および赤肉症の発生について検討した。その結果、県南部での果実発育第3期での高温傾向が顕著であり、赤肉症の発生も多かった。さらに、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たところ、県南部で栽培を継続した個体では70%以上の果実に障害がみられたのに対し、県北部へ移送した個体では赤肉果は全くみられなかった。従って、赤肉果の発生には、果実発育第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。また、成熟時期の多雨の影響を検討する目的で、果皮表面にワセリンを塗布して、果実の蒸散を抑制した条件を再現した。その結果、水浸状果肉褐変症の発生が助長されることが明らかとなった。

第2節では、第1節で赤肉症の回避には、高温の遭遇回避が重要であることが示されたことから、高温の遭遇を回避させる方法として、赤外線反射率の高い酸化チタンを塗布した機能性果実袋を開発し、その効果について検討した。その結果、開発した果実袋を被袋すると成熟前の異常高温時の果実温度を、慣行袋より低く抑えることが可能となり、赤肉症を抑制する顕著な効果が認められた。

第3節では、高温による成熟期の遅延対策として、果実へのエテホンの処理法について検討した。成熟の遅延は主に果実のエチレン生合成の阻害によるものと考えられていることから、果実へのエテホン処理によるエチレンの外生的な処理が‘清水白桃’の成熟期および果肉障害の発生に及ぼす影響について検討した。その結果、満開90日後の25ppmでの立木散布が成熟期前進に有効であり、同時に赤肉症の抑制効果も認められた。

第4節では、過剰な吸水による多水状態により水浸状果肉褐変症の発生が助長される第1節での結果を受け、マルチの敷設による生育期の降水量増大への対策技術について検討した。透湿性防水シートで樹冠下に部分マルチを行うと、土壌および樹体の水分変動が小さくなり、水浸状果肉褐変症の発生が抑えられた。部分マルチ敷設による過度な吸水を抑制することがモモの水浸状果肉褐変症の抑制に有効であることが示された。部分マルチであっても極端に少雨な場合には灌水が必要となると考えられるが、灌水の要不要の判断に際しては、生産者でも利用可能な簡易で明確な指標がなかった。そこで、水分ストレス表

示シートの利用について検討し、変色時間による樹体の水分状態の把握が可能であることや、使用枚数が明らかとなった。

第5節では、より根本的に果肉障害の発生を抑制するために、樹内の影響要因を抽出し、それを改善する技術について検討した。同一の結果枝内でも開花の遅い花を残すと果肉障害が少ないという点に着眼し、相対的に開花の遅い結果枝基部の優先着果について検討したところ、果実品質を高めつつ、赤肉症の抑制効果が認められたことから、基部優先着果は、非常に有効でかつ容易な果肉障害の対策技術となるとみなされた。

第6節では、果肉障害対策技術すなわち機能性果実袋、部分マルチ、エテホンの立木全面散布および基部優先着果の組合せ処理が、果肉障害に及ぼす影響について検討したところ、赤肉症および水浸状果肉褐変症の抑制効果が認められた。

第7節では、赤肉症果の市場流通を抑制するために、音響振動法に非破壊判別技術の検討を行ったところ、2013年、2015年とも、赤肉症果は程度が高くなるにつれて、第2、第3共鳴周波数とも著しく低くなり、第2共鳴周波数について600Hzに閾値を設けることで、全体で約90%の赤肉症果を取り除くことができ、音響振動法の有効性を確認できた。今後、音響振動装置の改良や効率的な測定方法の開発を通して、実用的な技術となるように検討を進める必要があると考えられた。

以上のように、本研究を通して夏の栽培上の問題について気象条件との関連性を把握し、問題解決に有効な対策技術を開発することが出来た。今後、生産技術として活用を促していく。

第3章 冬季から春季の気象変動によるモモ樹の凍害の発生およびその抑制対策

第1章で述べたように岡山県下のモモ栽培においては、温暖化に伴う気象変動により凍害によると思われる衰弱および枯死が問題となってきた。顕在化すれば果実生産に著しい困難を伴う可能性があり看過できない。そこで第3章では、岡山県で問題となっている開花後の急激な衰弱および枯死についての発生状況について調査し、対策技術について検討した。

第1節 衰弱および枯死の症状と発生要因の解析

本節では、開花後の急激な衰弱および枯死の症状について現地調査および岡山県内のモモ生産者に対するアンケート調査により実態把握を行った。また、発生要因について冬季から春季にかけての気温の変動について検討した。第1項では開花後の急激な衰弱および枯死の症状について現地調査による実態把握を行った。第2項では、開花後の急激な衰弱および枯死の症状について、岡山県内のモモ生産者に対するアンケート調査により発生傾向などの実態把握を行った。第3項では、衰弱および枯死の発生要因について、冬季から春季にかけての気温の側面から検討した。

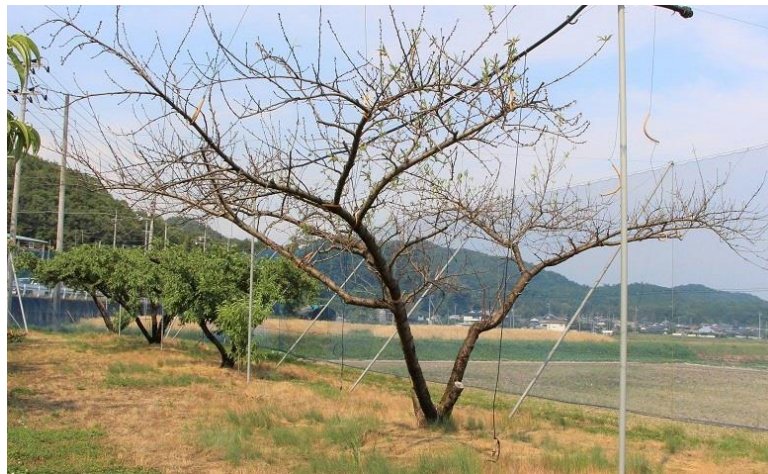
第1項 凍害の症状

材料および方法

岡山県内のモモ生産者の圃場で、春季の衰弱あるいは枯死が発生したと思われる報告を園主あるいは指導機関から受け、伐採に際して、症状が強く出ている主幹部や主枝の分岐部あるいは側枝など観察を行った。観察の実施は赤磐市今井で2013年5月9日に、5年生‘おはつモモ’台‘清水白桃’の衰弱個体を対象に実施し、赤磐市山口では、7年生‘おはつモモ’台‘白鳳’の衰弱個体を対象に2013年5月15日に実施した。外観の特徴の把握の後、主幹部、亜主枝の分岐部および側枝の横断面を切り出し、樹体内部を観察した。

結 果

樹勢が低下した樹では、新梢成長の著しい抑制が認められ（第 3-1-1 図）、開花期を過ぎ、ある程度展葉した後に新梢成長が停止し、葉の下垂や萎凋が発生していた（第 3-1-2 図）。著しい衰弱が発生した主枝を剪除し、残り 2 本の主枝が残存している樹では、主幹近くの樹皮に亀裂を生じていた（第 3-1-3 図）。著しく衰弱した個体の伐採に際して、主幹部や側枝の切断面を観察すると、樹皮下の形成層を中心に師部あるいは木部にまで褐変が生じており、断面からは強いアルコール臭がした（第 3-1-4 図）。一方で、これらの障害で枯死した樹では、第 3-1-5 図に示すような、胴枯れ菌による病態は観察されず、形成層などの組織から病原菌を単離しても、病害を引き起こすような菌の検出は認められなかった。



第 3-1-1 図 開花後わずかに展葉した後に枯死した‘白鳳’成木の様子（2013 年 5 月）



第 3-1-2 図 開花、展葉後に急速に衰弱した‘清水白桃’の様子（2013 年 5 月）



第 3-1-3 図 生存部の主枝表面の亀裂



第 3-1-4 図 健全樹の主枝の横断面（左側）と衰弱を生じた樹の主枝の横断面（右側）



第 3-1-5 図 病害により枯死したモモ樹の樹皮表面と樹皮下の様子

第2項 アンケートによる発生実態の把握

材料および方法

近年の岡山県でのモモ樹の衰弱・枯死の発生状況および想定される要因について岡山県果樹研究会モモ部会会員を対象に2012年にアンケート調査を行った。回答者は41名で、選択および記入によりアンケートを実施した。調査の質問項目については、以下の①～⑬に示した。

- ①圃場所在地：
- ②本年、あるいはこの2～3年間での、樹の衰弱・枯死の有無：ア.はい イ.いいえ
- ③衰弱・枯死した樹の樹齢：
- ④衰弱・枯死の状況：ア.部分的な衰弱・枝枯れ，イ.垂主枝，主枝単位での衰弱，ウ.衰弱→枯死，エ.ヤニ吹き，オ.その他
- ⑤発生した園地の植栽本数と衰弱あるいは枯死が発生した本数：
- ⑥発生園地の立地条件：ア.北斜面，イ.南斜面，ウ.平坦地，エ.くぼ地，オ.その他
- ⑦発生園地の環境条件：ア.暖かい，イ.風当たりが強い ウ.寒気がたまりやすい
- ⑧植え付け時の堆肥施用の有無：ア.はい，イ.いいえ
- ⑨発生圃場における前作：ア.水田，イ.野菜，ウ.果樹（樹種名）
- ⑩発生園での排水性：ア.良好，イ.中程度，ウ.不良
- ⑪衰弱・枯死の見られた穂木品種（複数可）：
- ⑫衰弱・枯死した樹の剪定時期：ア.12月，イ.1月，ウ.2月，エ.3月
- ⑬通常使用する台木：ア.実生（白桃など），イ.おはつモモ，ウ.筑波4号（赤芽），エ.筑波5号（赤芽），オ.筑波9号（青芽），カ.中間台樹（筑波2号（中間台）/筑波4号），キ.不明，ク.その他

また、2012年に県南部と県北部において衰弱・枯死の発生状況の違いが生じているかについて検討するため、普及指導センターの協力の下、アンケート調査を実施した。県南部の代表地区として倉敷普及指導センター管内のモモ栽培者44名、県北部の代表地区として新見普及指導センター管内のモモ生産者60名を対象に、上記の②の当年あるいはこの2～3年間での樹の衰弱・枯死の発生の有無、③の衰弱・枯死した樹の樹齢について記入による調査を実施した。

結 果

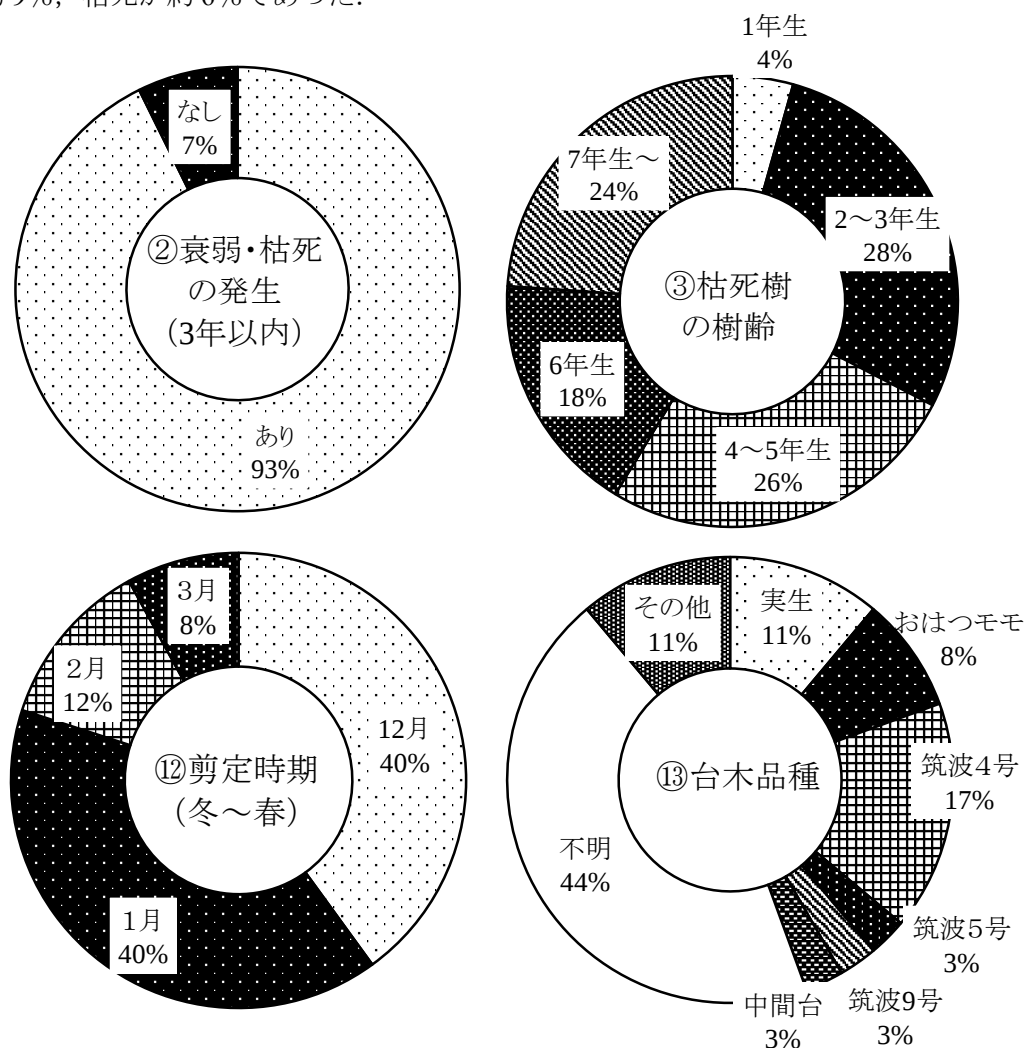
岡山県果樹研究会モモ部会員に対する調査では、発生園地が岡山市で最も多く約 37% であり次いで総社市が約 32% であった（第 3-1-1 表）。衰弱・枯死について、3 年以内に発生があるとした回答は 93% であった（第 3-1-6 図）。衰弱・枯死の発生した樹齢は、1 年生

第 3-1-1 表 岡山県果樹研究会モモ部会におけるモモ樹の衰弱、枯死に関するアンケート調査の結果

①圃場所在地					
岡山市	赤磐市	美作市	総社	倉敷市	その他
36.6 ²	9.8	2.4	31.7	14.6	4.9
④衰弱・枯死の状況					
部分的	主枝・垂主枝	枯死	ヤニふき	その他	
18.9	49.1	26.4	5.7	0	
⑤発生率(発生樹数／発生圃場の栽植本数*100)					
衰弱		枯死			
8.7		6.1			
⑥発生園の立地条件					
北斜面	南斜面	平坦地	くぼ地	その他	
7.7	25.6	48.7	0.0	17.9	
⑦発生園の環境条件					
暖かい	風が強い	寒気が溜まる			
24.1	44.8	31.0			
⑧植え付け時の堆肥施用の有無					
使用		使用しない			
62.9		37.1			
⑨発生圃場における前作					
水田	野菜	モモ			
18.8	9.4	71.9			
⑩発生園での排水性					
良い	中程度	悪い			
37.8	51.4	10.8			
⑪衰弱・枯死の見られた穂木品種					
清水白桃	おかやま夢白桃	白鳳	白麗	その他	
37.1	12.9	14.5	6.5	29.5	

²数値は全て割合（%）

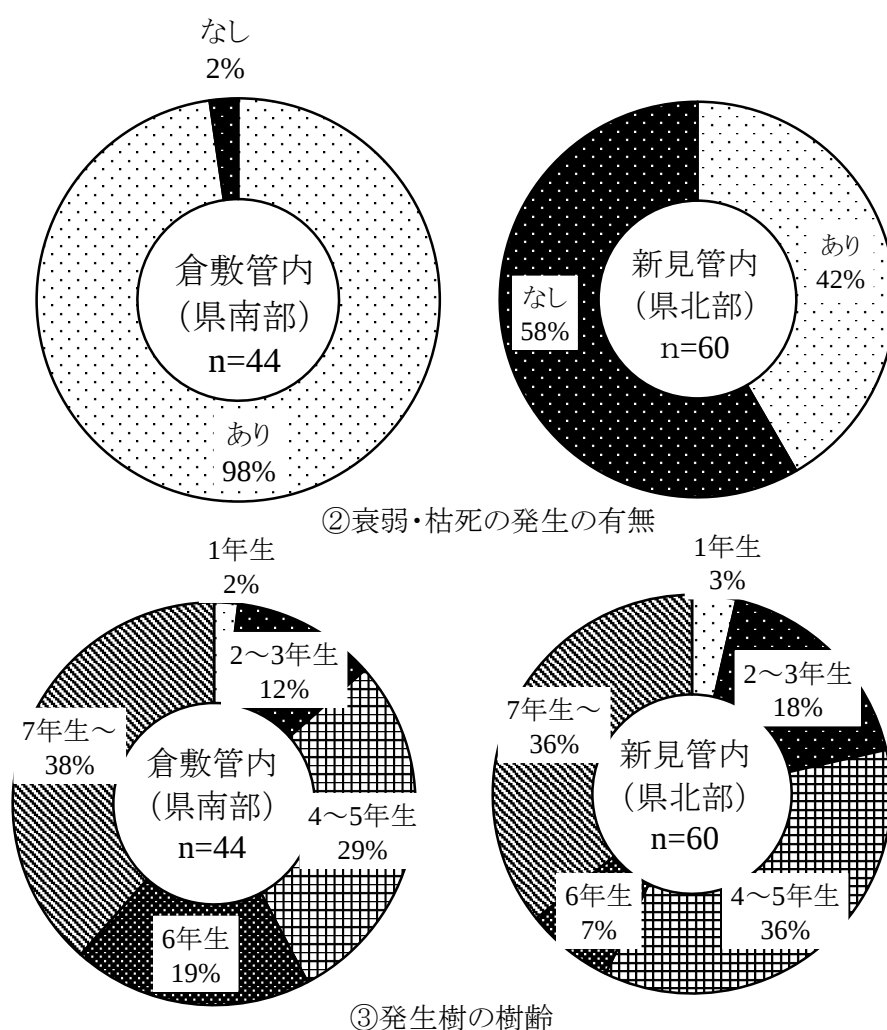
が4%，2～3年生が28%，4～5年生が26%，6年生が18%，7年生以上が24%であった（第3-1-6図）。衰弱・枯死の状況については主枝や垂主枝単位での衰弱が49%，次いで枯死が約26%，部分的な衰弱が約19%であった。発生園での衰弱・枯死の発生率は，衰弱が約9%，枯死が約6%であった。



第3-1-6図 岡山県果樹研究会モモ部会会員に対する春期のモモ樹の衰弱・枯死の発生の有無，発生樹の樹齢，冬季から春季にかけての剪定時期および使用している台木品種に関するアンケート調査結果
回答者数は41名

発生園の立地条件としては平坦地が約49%，次いで南斜面が26%，北斜面が約8%であった。発生園の環境条件では，風が強いが約45%，寒気が溜まるが31%であった。植え付け時に堆肥を使用する割合は約63%であった。発生圃場の前作はモモが最も多く約72%，次いで水田が約19%であった。発生園での排水性では中程度の回答が約52%，良

いが約 38%であった。衰弱・枯死の見られた穂木品種は，‘清水白桃’が 37.1%，‘白鳳’が 14.5%，‘おかやま夢白桃’が 13%であった（第 3-1-1 表）。冬から春にかけての剪定時期は，12 月と 1 月がそれぞれ 40%ずつを占めた。また，使用している台木は，「不明」と回答した生産者が最も多く，44%であり，次いで‘筑波 4 号’が 17%，栽培品種の実生が 11%，‘おはつモモ’が 8%となった（第 3-1-6 図）。



第 3-1-7 図 倉敷管内および新見管内での衰弱・枯死の発生（過去 3 年以内）の有無（上段）および発生樹の樹齢（下段）（2012 年）

県南部と県北部における 3 年以内の衰弱・枯死の発生は，倉敷管内では 98%，新見管内では 42%であった（第 3-1-7 図上段）。衰弱・枯死の発生した樹齢は，倉敷管内では 1 年生は 2%，2～3 年生が 12%，4～5 年生が 29%，6 年生で 19%となった。また，新見地域では 1 年生は 3%，2～3 年生が 18%，4～5 年生が 36%，6 年生で 7%となった（第 3-1-7

図下段)．いずれの産地も1年生樹ではほとんど認められなかったが、2年生以上では発生が多くなり、4～5年生での発生が多かった。

第3項 冬季から春季にかけての気温の変動傾向

材料および方法

増加傾向にある凍害の発生要因となる気温について、特に厳冬季から春季にかけての変動について検討した。解析に用いた気温は、岡山県赤磐市神田沖の岡山県農林水産総合センター農業研究所（東経134度0分、北緯34度46分、標高23m）にある気温観測装置により測定された数値を用いた。なお、気温観測値から1日の極値を最高気温および最低気温とし、その平均値を平均気温とし、それぞれ月平均値および年平均値を算出した。気温観測値については、1981～2008年までの28年にわたる1月から4月までの平均気温、最高気温、最低気温の年平均値および月平均値を算出し、回帰分析により気温の変化傾向を求め、年度との相関係数を算出し、ピアソンの相関係数により有意性の有無を検定した。

結 果

最高気温は2月に5%水準で有意な上昇傾向が認められ、それぞれ1.83℃上昇したと推測された。一方、最低気温は3月において5%水準で有意な下降傾向が認められ、1.87℃下降したと推測された（第3-1-2表、第3-1-8図）。

第3-1-2表 一次回帰分析による1月から4月までの赤磐市^zの28年間の気温の変化傾向(1981～2008年)

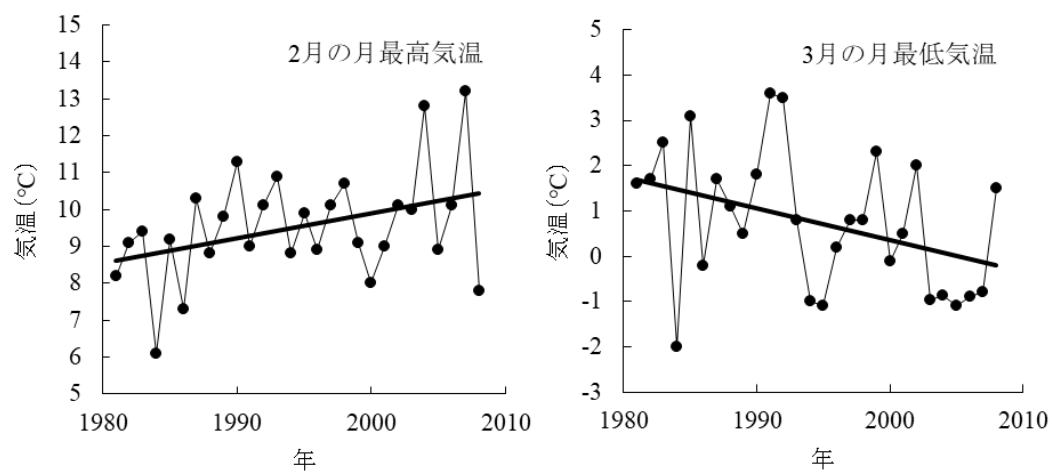
月	平均気温 ^y		最高気温		最低気温	
	回帰係数 (r)	変化傾向(推定値) ^x (℃)	回帰係数 (r)	変化傾向(推定値) (℃)	回帰係数 (r)	変化傾向(推定値) (℃)
1	0.155	+0.52	0.268	+0.97	0.019	+0.08
2	0.212	+0.84	0.376 ^{*w}	+1.83	-0.033	-0.15
3	-0.072	-0.26	0.367	+1.37	-0.374 [*]	-1.87
4	-0.048	-0.20	0.199	+0.82	-0.224	-1.20

^z 測定は岡山県赤磐市神田沖、農林水産総合センター農業研究所の気象観測装置による

^y 気温はそれぞれ日平均気温、日最高気温、日最低気温から算出した月平均値を示す

^x 変化傾向(推定値)は回帰式の傾きから算出した

^w *:5%水準で有意であることを示す(ピアソンの相関係数)



第 3-1-8 図 2 月の月最高気温（左）および 3 月の月最低気温（右）の年次推移（1981～2008 年）

第2節 台木による凍害回避の可能性

第1節では開花後の急激な衰弱および枯死の症状について実態把握を行い、発生要因について冬季から春季にかけての気温の変動について検討したところ、凍害による障害である可能性が示された。そこで、本章では、台木による本障害の回避の可能性について検討した。第1項では耐凍性の高い‘ひだ国府紅しだれ’台木を用いた‘清水白桃’の生育および果実品質に及ぼす影響について検討した。その結果を受けて、第2項では県内各地の凍害発生園において穂木品種に‘清水白桃’を用いて、台木の違いが春先の衰弱および枯死の発生に及ぼす影響を検討した。

第1項 耐凍性台木を用いた場合の樹体生育および果実品質

材料および方法

本試験は岡山県赤磐市に位置する岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場で実施した。台木品種は、岐阜県育成の‘ひだ国府紅しだれ’（‘紅しだれ’）と岡山県において慣行台木として用いられている独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所で選抜育成された‘モモ台木筑波5号’（‘筑波5号’）を供試した。

まず、植え付け前に地力の高い土壌条件を再現するため、2水準の土壌改良を設定した。2011年3月29日に幅2.5m×長さ48mの列植を長さ24mずつに区切り、多肥区として10a当たり6t、もう一方を慣行区として10a当たり2t換算になるように牛糞とバーク資材を原料としたたい肥を散布した。散布直後に深さ20cm程度の耕うんを行い整地した。

また、いずれの土壌処理においても、樹間3mの定植位置を中心に直径1.5mの範囲にpH未調整のピートモス85リットル、前述と同じたい肥を約50kg散布し、深さ50cm程度まで土壌と混和した。そして、翌3月30日に多肥区、慣行区に直交試験が出来るように2種の台木を同数定植し、その同日、穂木品種として‘清水白桃’を切り接ぎした。仕立て法は2本主枝の開心自然型とした。その後、2012年にはさらに多肥区と慣行区の土壌条件に差を付けるために硫酸の表層施肥を行った（第3-2-1表）。

なお、慣行区の‘紅しだれ’台樹1樹で生育期間中に接ぎ落ちが発生したため、紅・慣区のみ3反復、その他の区はそれぞれ4反復とした。

土壌調査は2012年6月から10月にかけて行い、主幹から30cm程度離れた位置で3～4か所より地表面から20cmまでの深さの土壌を採取し、室内で乾燥させ、均一になるよう

第3-2-1表 試験区の設定（供試品種、施肥時期及び施用量）

試験区	穂木品種	台木品種	たい肥 施用量 ^z (t/10a)	施肥時期・樹冠面積あたりの窒素施用量, gN・m ⁻¹ 量 ^y					計
				5/13	7/16	8/15	9/13	10/12	
台木・施肥									
紅・多		‘ひだ国府紅しだれ’	6	8.4	8.4	8.4	12.6	12.6	50.4
5号・多		‘筑波5号’							
紅・慣	‘清水白桃’	‘ひだ国府紅しだれ’	2	4.2	-	-	-	-	4.2
5号・慣		‘筑波5号’							

^z 植え付け直前に施用

^y 窒素成分量21%の硫酸を使用(2012年)

に砕いた後20gを取り、蒸留水50mlを加えて抽出してpHを測定、さらに蒸留水50mlを加えてECを測定した。また、2012年10月19日に主幹から30cm程度離れた位置で地表面から40cmまでの土壌を採取し、深さ0～20cmと20～40cmまでの深さに区分して風乾後、元素分析計（スミグラフNC-220F）で窒素を測定した。

樹体生育については、2011年と2012年に幹周（接ぎ木部、接ぎ木部より5cm下部：台木部、接ぎ木部より5cm上部：穂木部）、総新梢長をそれぞれ経時的に測定した。また、2012年は発芽期（50%程度の新芽が僅かに出現した時）、開花始め（全体の20～30%が開花した日）、満開（全体の70～80%が開花した日）、開花終わり（全体の20～30%の花弁が落ちた日）を観察した。花芽重は3月1日の剪定枝から採取した花芽の数と重量から求めた。子房および果実の大きさは満開日、満開10日後、20日後および30日後に、花あるいは幼果を10個／樹採取し、最大径を測定した。さらに、果実品質は1樹当たり5果程度を着果させ、収穫期、果実重、果実糖度（屈折計示度）、渋み（官能により0：無～4：多で評価）を調査した。

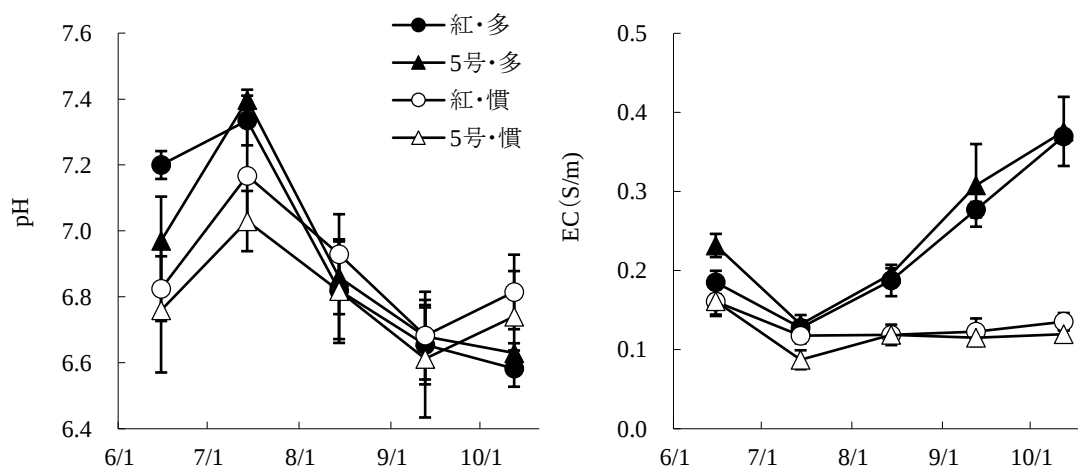
樹体内成分は、2012年に調査を行い、成葉を6月、8月、9月および落葉直前の11月に採取した。新梢の基部から5～7枚目（11月1日のみ新梢の中位）を1樹当たり15枚取り、1%酢酸水溶液で洗浄し、60℃に設定した乾燥機で乾燥させ、粉末にして葉中成分（窒素、リン酸、カリウム）を測定した。窒素は元素分析計（スミグラフNC-220F）を、その他成分は蛍光X線分析装置（OURSTEX160M）をそれぞれ用いた。

耐凍性に影響すると考えられる枝の水分は2012年に測定し、凍害を受ける危険性の高い時期である発芽前（3月1日）とハードニングが始まっていると思われる落葉後（11月19日）に主幹付近から発生した長果枝あるいは徒長枝を1樹当たり2～3本採取した。それらを採取時と60℃で乾燥させた後の重量を測定することで含水率を求めた。また、貯蔵養分については11月19日の枝を供試して、粉碎後デンプンはヨウ素デンプン反応、アミノ態窒素についてはニンヒドリン反応で比色定量した。

また、接ぎ木親和性を確認するために、2012年10月16日に完全に展開させた時の葉幅長と未展開時の葉幅長を測定し、未展葉時の葉幅長／展開時の葉幅長から葉巻き程度を求めた。また、台木部の幹周および接ぎ木部の幹周を測定して台負け率（台木部の幹周／接ぎ木部の幹周×100）を算出した。

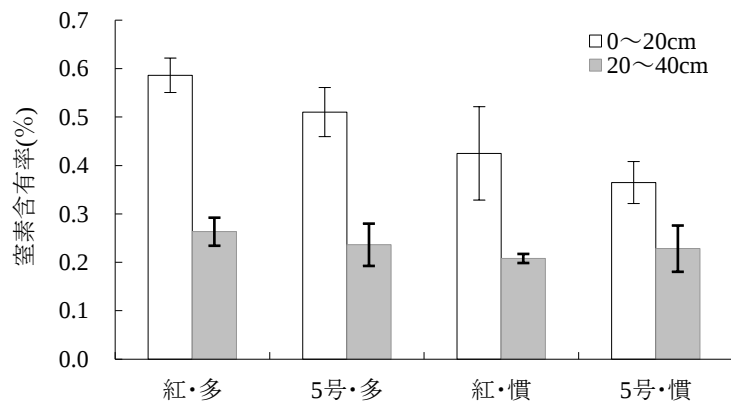
凍害による樹体の障害については、2012年5月、2013年5月に主幹障害の発生、衰弱・枯死の発生の有無を達観調査した。

結 果

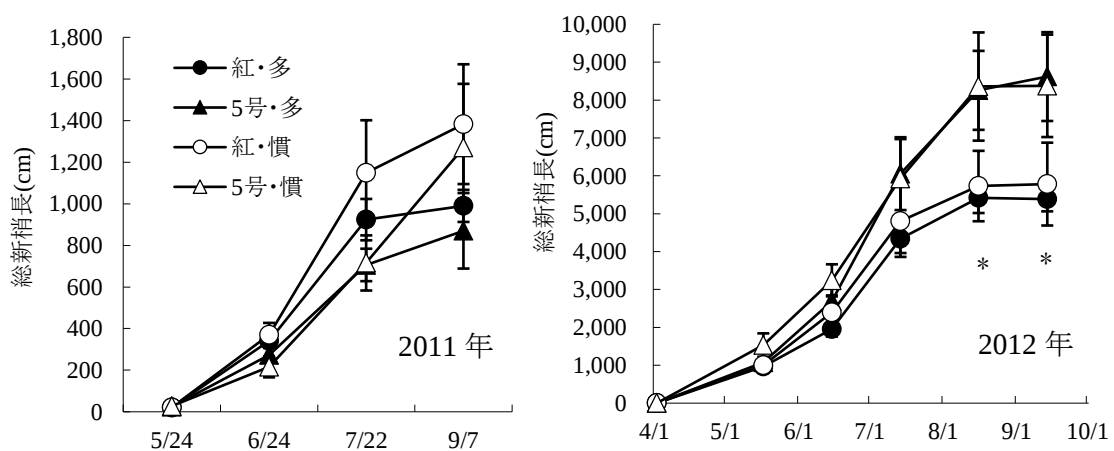


第3-2-1図 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の根域土壌のpH（左）とEC（右）に及ぼす影響

凡例の紅は‘ひだ国府紅しだれ’，5号は‘筑波5号’，多は堆肥および施肥量を増やして施用，慣は慣行量を施用したことを示す
バーは標準誤差（n=3～4）



第3-2-2 図 台木と施肥条件の違いが「清水白桃」根域土壌の窒素含有率に及ぼす影響 (2012 年)
バーは標準誤差 (n=3~4)



第3-2-3 図 台木と施肥条件の違いが「清水白桃」2年生樹および3年生樹の新梢成長に及ぼす影響 (2011, 2012 年)
バーは標準誤差(n=3~4)

*: 総新梢長が分散分析により 5%水準で台木間に有意差あり

第 3-2-2 表 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の幹周肥大に及ぼす影響

試験区	2年生					
	台木部			穂木部		
	幹周(cm)		肥大率	幹周(cm)		肥大率
	5/ 24	9/7	(%) ^z	5/ 24	9/7	(%)
紅・多	3.4	7.1	206	1.0	5.2	501
5号・多	3.1	5.9	189	1.2	4.7	410
紅・慣	3.2	7.7	243	1.1	6.3	567
5号・慣	3.4	6.5	190	1.3	5.3	415
分散分析 ^x						
台木(A)			ns			*
施用量(B)			ns			ns
A×B			ns			ns

試験区	3年生					
	台木部			穂木部		
	幹周(cm)		肥大率	幹周(cm)		肥大率
	4/2	10/16	(%)	4/2	10/16	(%)
紅・多	8.9	14.8	167 a ^y	6.7	12.4	185 a
5号・多	8.1	15.3	188 b	6.2	13.9	225 b
紅・慣	10.0	15.3	153 a	7.6	12.9	170 a
5号・慣	9.7	16.4	169 a	7.7	14.8	193 a
分散分析 ^x						
台木(A)			**			**
施用量(B)			**			**
A×B			ns			ns

^z(秋季測定値／春季測定値)×100で求めた

^y異なる英文字: Tukey法によって5%水準で有意差あり

^x **: 1%水準で有意差あり, *: 5%水準で有意差あり, ns: 5%水準で有意差なし

第 3-2-3 表 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の生育期、花芽重、子房および幼果の大きさに及ぼす影響 (2012 年)

試験区	発芽期 (月／日)	開花期(月／日)			花芽重 ^z (mg／個)	子房径・果実径(mm)			
		始	満開	終		満開	10日後 ^y	20日後	30日後
紅・多	4/1 bc ^x	4/14 c	4/15	4/18 b	25 a	1.8	4.1	8.0	18.6 b
5号・多	3/29 a	4/12 a	4/14	4/16 a	22 ab	1.8	4.0	7.5	16.1 a
紅・慣	4/2 c	4/14 c	4/16	4/19 b	25 a	1.7	3.8	7.9	18.5 b
5号・慣	3/31 ab	4/13 b	4/14	4/16 a	21 b	1.6	3.9	7.3	16.7 a
分散分析 ^w									
台木(A)	**	**	*	**	**	ns	ns	ns	**
施用量(B)	*	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
A×B	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z 3月1日のせん定枝から採取

^y 満開後日数を示す

^x異なる英文字: Tukey法によって5%水準で有意差あり

^w **: 1%水準で有意差あり, *: 5%水準で有意差あり, ns: 5%水準で有意差なし

第 3-2-4 表 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の収量，収穫期，果実重，糖度および渋みに及ぼす影響（2012 年）

試験区	果実数（個）	収穫期 （月／日）	果実重 （g）	糖度 （°Brix）	渋み （0～4） ^z
紅・多	21	8/2 b ^y	215 b	15.1 bc	0.00
5号・多	12	8/1 ab	172 a	13.8 a	0.08
紅・慣	18	7/31 a	247 b	15.5 c	0.00
5号・慣	17	7/30 a	225 b	14.4 ab	0.06
分散分析 ^x					
台木(A)		*	**	**	ns
施用量(B)		**	ns	ns	ns
A×B		ns	**	ns	ns

^z 0：無，1：微，2：少，3：中，4：多

^y 異なる英文字：Tukeyによって5%水準で有意差あり

^x **:1%水準で有意差あり，*:5%水準で有意差あり，ns:5%水準で有意差なし

第 3-2-5 表 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の新梢の含水率，貯蔵養分および接ぎ木親和性に及ぼす影響（2012 年調査）

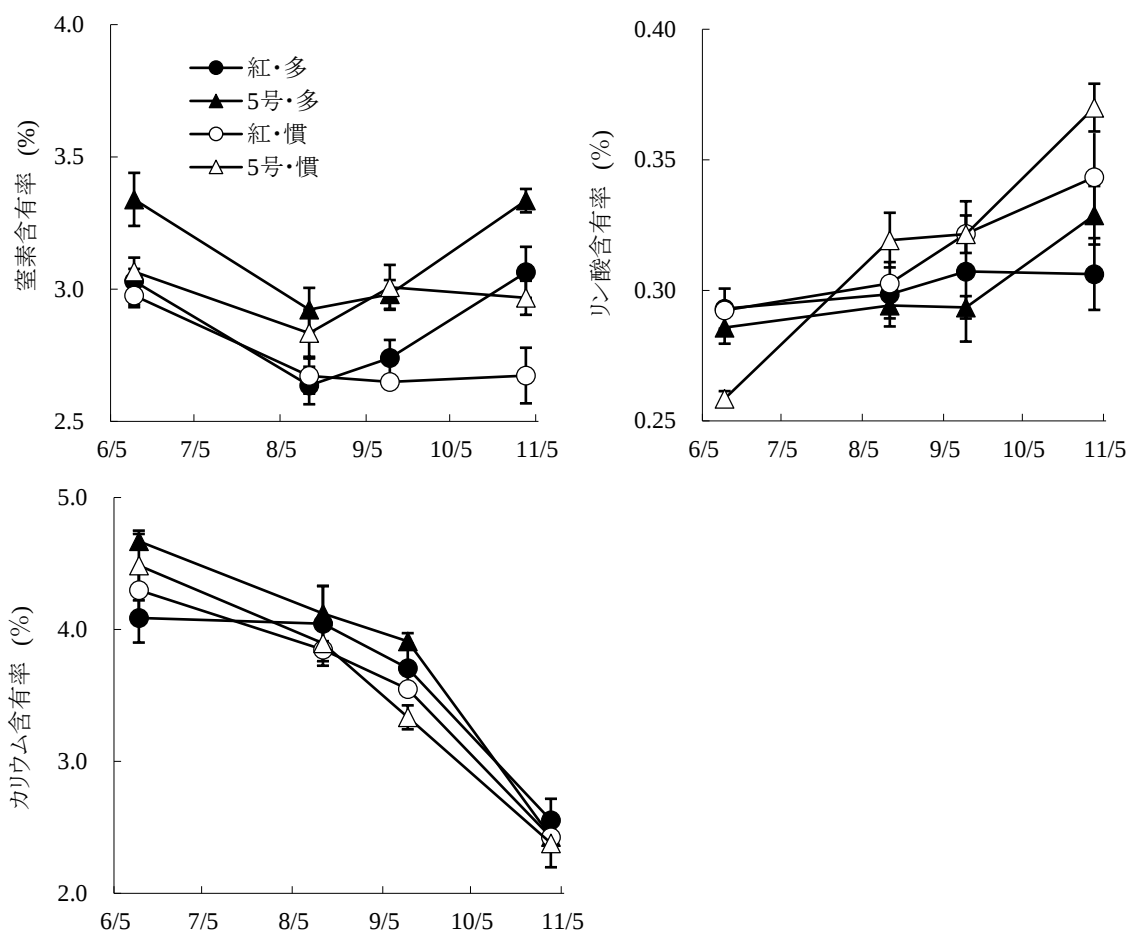
試験区	新梢含水率(%)		貯蔵養分含有率(%) ^z		葉巻き程度	台負け率 ^y
	3/1	11/19	デンプン	アミノ態窒素		
紅・多	49.2 a ^x	47.8 a	3.50 b	0.088 b	1.21 b	98.7
5号・多	51.7 b	49.7 b	3.14 a	0.083 b	1.14 a	96.4
紅・慣	49.0 a	48.2 a	3.85 b	0.060 a	1.21 b	98.5
5号・慣	50.7 ab	48.6 a	3.35 a	0.056 a	1.13 a	94.1
分散分析 ^w						
台木(A)	**	**	*	ns	*	ns
施用量(B)	ns	ns	ns	*	ns	ns
A×B	ns	**	ns	ns	ns	ns

^z 貯蔵養分は11月の新梢を分析した

^y 台負け率は(台木部の幹周／接ぎ木部の幹周×100)とした

^x 異なる英文字：Tukey法によって5%水準で有意差あり

^w **:1%水準で有意差あり，*:5%水準で有意差あり，ns:5%水準で有意差なし



第 3-2-4 図 台木と施肥条件の違いが‘清水白桃’の葉中の窒素、リン酸およびカリウム含有率に及ぼす影響（2012 年調査）
図中のバーは標準誤差（n=3~4）

施肥処理により、6 月の紅・多区を除いて土壌 pH には台木による差は認められなかったが、EC は 7 月以降の追肥によって多肥区で上昇し、慣行の施肥条件よりも明らかに高く推移した（第 3-2-1 図）。土壌中の全窒素含有率は、深さ 20~40cm の下層では台木の影響が認められなかったが、0~20cm の上層では多肥区で‘紅しだれ’台樹の方が明らかに高かった（第 3-2-2 図）。

樹体生育では 2 年生樹の幹周肥大では台木部・穂木部共に‘筑波 5 号’台樹の方が小さい傾向が認められたが、有意な差は認められなかった。しかし、3 年生樹では台木部・穂木部共に‘筑波 5 号’台樹で多肥条件を再現した区が他の 3 処理区と比較して肥大率が高かった（第 3-2-2 表）。総新梢長は 2 年生樹で同一の土壌条件において‘紅しだれ’台樹が‘筑波 5 号’台樹より大きく推移する傾向が認められた。3 年生樹ではその傾向が逆転した。また、2 年生樹は両台樹とも多肥条件で、3 年生樹は‘紅しだれ’台樹で 7 月以降の

新梢成長が鈍化した（第 3-2-3 図）。発芽期は 5 号・多区が最も早く、次いで 5 号・慣区、紅・多区、紅・慣区の順となり、台木では‘筑波 5 号’で、土壌では多肥区で早い傾向が認められた。開花始めは 5 号・多区、5 号・慣区、‘紅しだれ’台樹の順で早く、開花終わりは‘筑波 5 号’台樹が‘紅しだれ’台樹より早かったが、満開期に明らかな差は認められなかった。花芽重は‘紅しだれ’台樹が大きく‘筑波 5 号’台樹が小さかった。満開 30 日後の果実の大きさは、‘紅しだれ’台樹の方が大きかった（第 3-2-3 表）。

収穫期は 5 号・慣区で最も早く、紅・慣区、5 号・多区と続き、紅・多区が最も遅かった。果実重は 5 号・多区が他の 3 区と比較して軽く、糖度はいずれの施肥条件においても‘紅しだれ’台樹の方が高かった。渋みは‘紅しだれ’台樹では認められなかったが、‘筑波 5 号’台樹ではわずかに認められた（第 3-2-4 表）。

樹体内成分については、‘筑波 5 号’台樹が 9 月まで‘紅しだれ’台樹よりも葉中の窒素含有率が高く推移した。その後、9 月以降は両台樹の多肥区で含有率が上昇した。リン酸含有率は生育とともに全ての区で上昇したが、明らかな区間差は認められなかった。カリウムの含有率はいずれの区においても徐々に低下したが、明らかな処理区間の差は認められなかった（第 3-2-4 図）。

新梢の含水率は発芽前に‘筑波 5 号’台樹の方が高い傾向が認められ、特に多肥区ではその差が明らかであった。新梢の貯蔵養分含有率は、デンプンでは‘筑波 5 号’台樹より‘紅しだれ’台樹の方がいずれの施肥条件下でも明らかに高かった。また、アミノ態窒素については台木の違いによる差は認められず、多肥区において明らかに含有率が高かった。葉巻きの程度は‘紅しだれ’台樹の方がやや大きく、台負け率は全ての区間で著しい差は認められなかった（第 3-2-5 表）。凍害が主要因と考えられる樹体の障害、枯死は、各区でいずれも認められなかった（データ省略）。

第 2 項 耐凍性台木の現地実証

材料および方法

岡山県内の主要産地の現地圃場において、台木品種は‘ひだ国府紅しだれ’と現地慣行台木としては、栽培者の要望に合わせて‘筑波 5 号’あるいは‘おはつモモ’を用いた。現地調査圃場は同一園地内にほぼ同数ずつ‘ひだ国府紅しだれ’台樹と慣行台樹が定植さ

れている岡山県倉敷市玉島北 1 園，岡山市北区一宮 9 園，赤磐市山陽 1 園，赤磐市赤坂 2 園，総社市福谷 2 園の計 15 園であった。供試本数は‘ひだ国府紅しだれ’台樹が 33 樹，現地慣行台木は 36 樹とし調査樹の樹齢は 2～6 年生であった。定植時の土壌改良，定植後の栽培管理は栽培者に一任した。なお，凍害対策として実施される稲わら巻きなどの主幹部保護は両台樹ともに実施しなかった。調査は 2017 年の 4 月 20 日から 28 日にかけて実施し，枯死，衰弱，主幹障害の有無について評価した。

結 果

現地慣行台木を用いた樹では，軽微な主幹部の障害が 2.8%，衰弱が 5.6%および枯死が 8.3%発生した。一方，‘ひだ国府紅しだれ’台樹では全ての個体が健全であり，枯死などの症状は認められなかった（第 3-2-6 表）。

第 3-2-6 表 台木の違いが岡山県内主要産地のモモ樹の凍害による衰弱および枯死の発生に及ぼす影響（2018 年調査）

台木	調査個体数	割合 (%)			
		健全	主幹障害	衰弱	枯死
ひだ国府紅しだれ	33	100	0	0	0
現地慣行台木 ^z	36	83.3	2.8	5.6	8.3

^z現地慣行台木は‘筑波5号’および‘おはつもも’が主体

第3節 保温資材の効果と新規保護材の開発

第2節では障害の頻発する園地では耐凍性の高い台木の導入による凍害の回避について検討したが、凍害回避の目的のみで、台木すなわち既存樹を一斉に更新することは、経済的損失を考慮すると、現実的ではない。そこで、本節では凍害の発生が最も顕著に現れやすい主幹部に保護材を巻き付け、主幹部の温度変化を小さくする対策技術について検討した。第1項では既存技術の稲わらによる保温（第3-1-1図）が、モモ若木の衰弱および枯死対策として有効であるか検討した。第2項では作業性のよい新規保護資材の開発とその効果について検討した。第3項では開発された新規保護材の実証試験を、凍害の発生が認められている現地栽培園において検証した。開発された新規保護材は、繰り返し使用可能であると、コスト低減につながるため、第4項では新規保護材の耐久性について検討した。

第1項 稲わらによる主幹部保護の効果

材料および方法

2013年に岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場において、100リットル容のポットに植栽した3年生、‘筑波5号’台‘清水白桃’24樹を供試した。供試樹は主幹形整枝とし、100リットル容のポットに、赤玉土とバーク堆肥を容積比8対2で混和した培土を約80リットル入れ、樹の成長を確認しながら、適宜、速効性肥料を施用し、定植後の秋に地際からの樹高が約2mに達するように急速に生育させた個体を供試した。



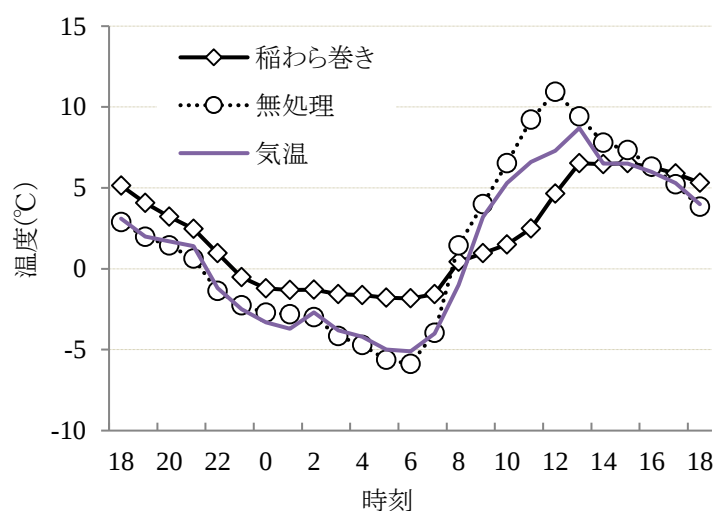
第3-3-1図 稲わら巻きによるモモの主幹部保護の様子

処理区は稲わら巻き区，無処理区を設けて1区1樹，12反復とした．稲わら巻き区は，地際から約40cmの高さまで，主幹部を乾燥稲わらで約3cmの厚さで覆いひもで固定した．処理時期は2月24日～4月28日とした．

調査項目は気温，主幹温度，主幹障害・枯死の有無とし，調査方法は，気温についてはデータロガー(TR72U)により10分間隔で測定した．主幹温度はポットの培土表面から20cmの高さに，データロガーのセンサーをパラフィルムで固定した．センサーは朝日が当たる南側とその反面の北側の2か所に設置した．主幹障害の発生は，樹皮の亀裂，主幹の不均衡な肥大の程度により判別．枯死の発生は4月から7月にかけて枯死した個体について数えた．

結 果

処理期間中，最低気温が最も低かった2月27日から28日にかけての温度変化を第3-3-2図に示した．当日の最低気温は -5.1°C まで低下した．無処理区と比べて稲わら巻き区では，午前2時頃までは 2°C 前後主幹部温度が高く，その後，午前6時頃までにかけて最大で 4°C 程度高く推移した．一方，夜明け後以降は無処理区より低く推移した．



第3-3-2図 主幹部への稲わら巻きがモモ‘清水白桃’若木の主幹部温度に及ぼす影響
(主幹部南側，2012年2月27～28日)

処理期間の主幹部の温度を第 3-3-1 表に示した。最低温度は、主幹の南側、北側いずれも無処理区が $-6\sim-7^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、稲わら巻き区は -2°C 前後と、無処理区より $4\sim5^{\circ}\text{C}$ 前後高かった。一方、最高温度は、無処理区より 5°C 前後低かった。また、 -2°C 以下の積算気温は、明らかに稲わら巻き区が小さく、ほとんど -2°C 以下の温度に晒されていなかった。枯死の発生率は無処理区が 33.3%であったのに対し、稲わら巻き区では 8.3%であった（第 3-3-2 表）。

第 3-3-1 表 主幹部への稲わら巻きが‘清水白桃’若木の主幹部温度に及ぼす影響

温度 ^z	主幹南側		主幹北側	
	稲わら巻き	無処理	稲わら巻き	無処理
最高(°C)	24.1	29.7	24.1	30.8
最低(°C)	-1.9	-6.0	-2.0	-7.0
平均(°C)	8.0	8.5	8.1	8.3
-2°C以下積算温度 (°C・h)	0	76.8	0.2	117.2

^z処理期間は2012年2月24日～4月28日

第 3-3-2 表 稲わら巻きによる主幹部保護が‘清水白桃’の若木の凍害による枯死の発生に及ぼす影響（2012 年）

処理区	供試樹数 (n)	枯死 ^z		正常	
		(n)	(%)	(n)	(%)
稲わら巻き	12	1	8.3	11	91.7
無処理	12	4	33.3	8	66.7

^z調査は7月まで実施

第 2 項 木質バイオマスを活用した新規保護材の開発

材料および方法

取り扱いが楽で、巻き付けの容易な主幹部保護材を開発するため、岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室と共同研究を実施した。断熱材（充填物）としては、

木質バイオマスに着目し、岡山県で生産の多いヒノキの製材で出るプレーナー（かんな）屑を用いた（第3-3-7図）。外装には、住宅用の壁面資材として用いられることが多い透湿性防水シート（商品名：アウトール）を用いた。このシートを熱融着させて、幅25cm、長さ2.5mの袋状に成型し、断熱材としてプレーナー屑を厚さ3cmになるように詰めて作成した（第3-3-3図）。



第3-3-3図 新規保護材の外観（左）およびモモ若木の主幹部に巻き付けた様子（右）

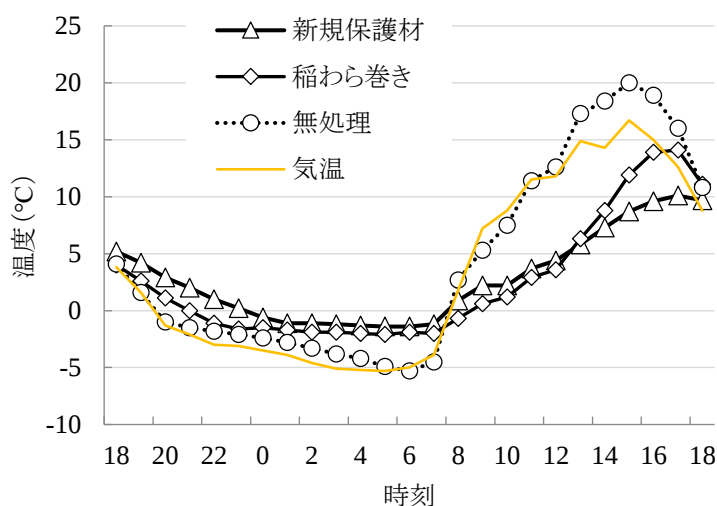
作成した資材と稲わら巻きと保温性や枯死および衰弱の発生について比較を行うため、2013年に岡山県農林水産総合センター農業研究所圃場において、100リットル容のポットに植栽した4年生、‘筑波5号’台‘清水白桃’21樹を供試した。供試樹の概要は第1項と同じである。処理区は新規保護材区、稲わら巻き区および無処理区とし、1区1樹7反復とした。新規保護材区は、地際から40cmまでの高さで隙間がないように、らせん状に巻き付けた。稲わら区は乾燥稲わらを地際から約40cmの高さまで、約3cmの厚さで覆い、ひもで固定した。主幹部の保護処理時期は2月9日～4月28日とした。

調査項目は気温、主幹温度、枯死および衰弱の発生とした。気温、主幹温度、枯死および衰弱の発生の有無に関しては、気温はデータロガー(TR72U)により10分間隔で測定した。主幹温度はポットの培土表面から20cmの高さに、同じデータロガーのセンサーをパラフィルムで主幹部の南側および南側の表面に固定した。枯死および衰弱については5月中旬にかけて発生個体数を数えた。なお、衰弱については、生存しているが新梢成長が著しく劣り、葉の萎凋が発生した状態とした。

新規保護材と稲わら巻きとの巻き付け時間について 2014 年 1 月に検討した。新規保護材区および稲わら巻き区を設定し、処理樹には開心自然形 2 本主枝の 4 年生「岡山 PEH7 号」4 樹と「岡山 PEH8 号」8 樹の計 12 樹を供試した。3 名の農業研究所職員が、それぞれ 4 樹のうち 2 樹ずつに稲わら巻きと新規保護材の巻き付けを行い、その作業時間を測定した。新規保護材区は 1 樹当たり 3 個、稲わら巻き区では、バインダー収穫の乾燥稲わらを 6 束用意した。

結 果

処理期間中、最低気温が最も低かった 3 月 14 日から 15 日にかけての温度変化を第 3-3-5 図に示した。当日の最低気温は -5°C 前後まで低下した。無処理区では、気温とほぼ同様な変化を示し、午前 6 時頃までに -5°C 前後まで低下した。一方、新規保護材区および稲わら巻き区では、 -2°C 前後まで低下したもの、午前 6 時頃までにかけて 4°C 程度高く推移した。夜明け後以降は無処理区が 20°C 前後まで、稲わら巻き区は約 15°C であったのに対し、新規保護材区では約 10°C と、稲わら巻き区よりさらに低く推移した。



第 3-3-5 図 主幹部に巻き付けた保温資材の違いがモモ
 ‘清水白桃’若木の主幹部温度に及ぼす影響
 (主幹部南側, 2013 年 3 月 14 日～15 日)

処理期間中の主幹部の最高温度は、無処理区で 29～30℃前後に達したが、稲わら巻きでは 25～26℃前後、新規保護材区では 20℃前後であった（第 3-3-3 表）。平均温度は 7℃前後で処理区間に大きな差がなかった。－2℃以下の積算温度は無処理区の主枝北側で 174℃・h、南側で 113.2℃・h であったが、稲わら巻き区は主枝北側で 0℃・h、南側で 16.5℃・h、新規保護材区では主枝の両側ともに 0℃・h であった。

第 3-3-3 表 主幹部に巻き付けた保護材の違いが‘清水白桃’若木の主幹温度に及ぼす影響

温度 ^z	主幹南側			主幹北側		
	新規保護材	稲わら巻き	無処理	新規保護材	稲わら巻き	無処理
最高(℃)	20.4	26.1	28.9	20.2	24.0	30.3
最低(℃)	-1.5	-2.6	-5.5	-1.4	-1.5	-6.3
平均(℃)	6.7	6.5	7.3	6.5	6.8	6.5
-2℃以下積算温度(℃・h)	0	16.5	113.2	0	0	174.2

^z処理期間は2013年2月9日～4月5日

第 3-3-4 表 主幹部に巻き付けた保護資材の違いがモモ‘清水白桃’若木の凍害の発生に及ぼす影響

処理区	供試数 (n)	枯死		衰弱 ^z		正常	
		(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)
新規保護材	7	0	0	0	0	7	100
稲わら巻き	7	0	0	2	28.6	5	71.4
無処理	7	2	28.6	3	42.9	2	28.6

^z調査は5月中旬に実施、衰弱は調査時点で生存しているが、新梢成長が著しく劣る個体

第 3-3-5 表 新規保護材と稲わら巻きとの巻き付け時間の比較^z

処理区	10a当たり巻き付け時間 ^y	比率(%) ^x
新規保護材	68分40秒	76
稲わら巻き	89分40秒	100
有意性 ^w	*	

^z4年生樹を供試、地際から高さ50cmまで巻き付けた

^y10a当たり10樹定植として計算

^x稲わら巻きを100とした場合の比率

^w*: t検定によって5%水準で有意差あり

枯死の発生では無処理区が供試した 7 個体中、2 個体が枯死した 28.6%であったのに対し、稲わら巻き区および新規保護材区では枯死個体はなかった。また、衰弱の発生は無処理区で 3 個体認められ 42.9%、稲わら巻区では 2 個体認められ 28.6%であった。新規保護材区では全ての個体が正常であった（第 3-3-4 表）。

作業時間については、稲わら巻き区が 10a 当たり約 90 分必要であるのに対して、新規保護材区では約 69 分であった。新規保護材区の方が有意に短く、約 25%の短縮効果が認められた（第 3-3-5 表）。

第 3 項 現地における新規保護材の実証

材料および方法

2015 年に岡山県久米郡久米南町の現地栽培園において新規保護材の実証試験を行った。新規保護材区および無処理区を設定し、開心自然形 3 本主枝の 3 年生‘白鳳’6 樹、‘さきがけはくとう’8 樹の計 14 樹を供試した。供試樹のうち‘白鳳’3 樹および‘さきがけはくとう’4 樹の計 7 樹には新規保護資材を巻き付けた。新規保護材は、岡山県農林水産総合センター森林研木材加工研究室で作成し、2014 年度までの仕様に加えて充填物の偏りや移動を制限するため、作成時に商札を留めるタグピンを充填部に約 30cm 間隔で入れた。巻き付けは地際から地上約 50cm の高さまで行い、1 樹当たり 2～3 本の新規保護材を使用した。処理期間は 2015 年 1 月 16 日～5 月 1 日とした。

調査項目は主幹部温度、枯死および衰弱の発生とした。気温、主幹温度、枯死および衰弱の発生の有無に関しては、気温はデータロガー(TR72U)により 10 分間隔で測定した。主幹部の温度はおんどとり (TR52i) のセンサーを主幹の地際から約 20cm 上の位置で南側に向いた面に設置して測定した。主幹の障害程度、枯死率については、5 月中旬に生育を観察、枯死あるいは衰弱の状況確認。衰弱樹については、生存しているが新梢成長が著しく劣る場合を衰弱と判定した。

結 果

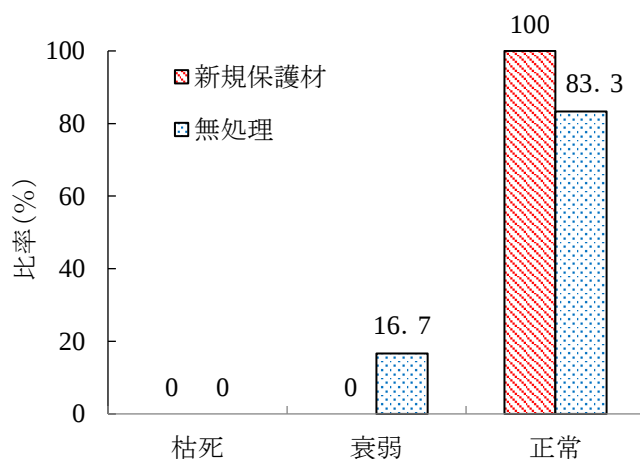
処理期間中の主幹部の最高温度は、無処理区で 34℃前後に達したが、新規保護材区では 21℃前後であった（第 3-3-6 表）。最低温度は無処理が-8.3℃であったが、新規保護材区では-3℃前後であった。平均温度は 6～7℃前後で処理区間に大きな差がなかった。－2℃以下の積算温度は無処理区で 46.7℃・h であったが、新規保護材区では 2.0℃・h であった。

枯死の発生では無処理区で供試した 7 個体中、1 個体に衰弱の発生が認められ 16.7%であったが、新規保護材区では全ての個体が正常であった（第 3-3-6 図）。

第 3-3-6 表 新規保護材による主幹部保護がモモ若木の主幹温度に及ぼす影響
(2015 年, 久米郡久米南町)

温度 ^z	主幹部温度		気温
	新規保護材	無処理	
最高(℃)	20.5	33.7	29.2
最低(℃)	-2.9	-8.3	-7.4
平均(℃)	6.1	6.9	6.5
-2℃以下積算温度(℃・h)	2.0	46.7	41.7

^z処理期間は2015年1月16日～5月1日



第 3-3-6 図 新規保護材による主幹部保護がモモ若木の障害に及ぼす影響（2015 年, 久米郡久米南町）
各区 7 樹を供試
カラム上の数値は比率を示す

第4項 新規保護材の外袋の耐用年数に関する検討

材料および方法

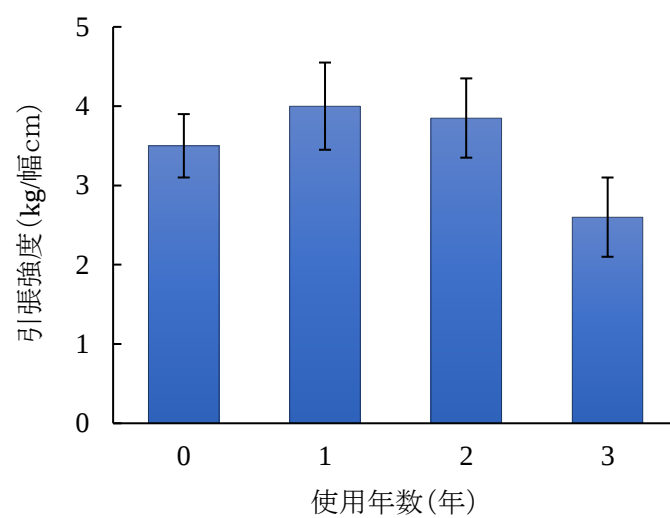
岡山県真庭市勝山の岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室敷地内の屋外に設置した木製看板杭に新規保護材を巻き付けた。1年経過後に取り外し、上部1/3を切り取り、切り取った資材のシートから試験片を採取して、引張強度を万能強度試験機（Instron 5585H）で測定した。保温資材の残りを再度巻き付け（切断部は再度シール）、上記操作を繰り返し2年目および3年目について同様な調査を行った。また、未使用状態のシートの引張強度についても測定した。引張強度の測定法はWPC引張法（産総研方式）を採用した。

結 果

使用2年目までは引張強度の急激な低下は認められず、使用開始時点と同等の引っ張り強度であった（第3-3-8図）。使用3年目を経過するとやや引張強度は低下する傾向があったが、巻き付け時に破れてしまうことはなく使用に耐える状況であった。また、3年間使用した新規保護材の充填物（プレーナー屑）には外観上、大きな変化がなく、カビなどの発生も認められなかった（第3-3-7図）。



第3-3-7図 新規保護材の3年使用後の充填物（プレーナー屑）の様子



第 3-3-8 図 使用年数が新規保護材の外装の引張強度に及ぼす影響
バーは標準偏差

第4節 考察

本章では近年増大している春季のモモ樹の枯死・枯死症状についてその解決策の検討を進めるため県内で発生している症状を、アンケート調査を通して解析するとともに、晩冬季から春季の一時的な温度上昇に着目して発生要因を議論した。さらに、この温度上昇の影響を受けにくい台木の導入や温度の上昇を抑える資材の開発によってこれらの障害抑制法を検討した。

1. 凍害の症状と発生要因の解析

岡山県におけるモモ樹に発生する春季の衰弱・枯死についてアンケート調査を実施した。このうち、岡山県果樹研究会モモ部会会員に対して実施したアンケート結果によると、過去3年間のうちにモモ樹の衰弱や枯死が認められた回答者は90%以上となり、極めて高い割合となった。栽培者の経営規模にもよるが、これだけ高い割合で枯死や衰弱が発生していることから推察すると、夏季の核割れや果肉障害による果実生産の損失に加えて、生産量の低下に拍車をかけるほどの障害であることが伺われた。

衰弱、枯死が発生した個体の樹齢に関する調査結果では、1年生樹での発生は約4%と非常に低いが、2年生から5年生までで50%を上回り、6年生まで含めると70%以上と、2年生以降の若木での発生が多いことが改めて裏付けられた。同様な傾向は山形県において発生したモモ若木に発生した立ち枯れ症（安藤ら，2003）、秋田県鹿角地域で発生した障害（原ら，2015）や山梨県でのモモ枯死障害の発生実態調査の結果（富田ら，2019）の報告と共通点が多い。

1～2年生で衰弱や枯死が生じた場合は改植や補植により、比較的早期に損失を補うことができるが、4年生～6年生樹のように成木化する直前あるいは成木化したばかりのステージで本障害が発生した場合、経営上の損失は非常に大きい。

品種ごとの発生率では、‘清水白桃’における発生率が最も高く、次いで‘白鳳’，‘おかやま夢白桃’の順であったが、岡山県下での生産量の第一位が‘清水白桃’，次いで‘白鳳’である点、または新品種の‘おかやま夢白桃’では特に若木が大勢を占める点を考慮すると、特定の穂木品種に集中して本障害の発生が多いとは考えられなかった。

また、台木では4割以上が不明であり、生産者も把握していない現状が伺われた。岡山県内の苗木業者は主に‘おはつモモ’を台木として用いているため、この不明という回答の中にはかなりの割合で‘おはつモモ’台木が含まれているのではないかと推察された。

いずれにしても台木については、凍害対策という考えの下に台木品種を選択しているという状況は伺うことができなかった。

剪定時期については、冬季剪定において、12月での実施とかなり早い時期で実施するという回答が多かった。山梨県の新谷（2014）はモモ若木で剪定時期が枯死障害に及ぼす影響について検討し、12月と3月の剪定時期を比較したが、12月の剪定での枯死が多いことを報告している。このことから、岡山県でも早期の剪定が枯死障害の発生を助長させている可能性があると考えられた。

次に、県南部と県北部で凍害の発生状況が異なるかについて、2012年に、県南部として倉敷地域と県北部の産地として新見地域の生産者に対して、アンケート調査を行った。障害の発生が見られた樹齢についての回答では、ほぼ60%以上が2～6年生に集中しており、岡山県南部と北部の間に明らかな違いはなく、果樹研究会モモ部会でのアンケート結果と同様に、いずれの地域でも若木での発生が多いことが明らかとなった。

一方、障害の発生については、岡山県南部の方が多いことを示唆する結果が得られた。岡山県北部では、県南部に比べると最低気温が低いため、凍害による障害と考えられる衰弱および枯死の発生は、岡山県北部において多いのではないかと想定していたが、むしろ県南部での発生が多いことが明らかとなった。このことは、単に低温に遭遇することだけが本障害の引き金になっているのではなく、休眠覚醒後の温度条件により強く影響を受けている可能性が示唆された。

そこで、休眠覚醒後の温度の変動について、岡山県南部に位置する農業研究所における1981～2008年までの28年にわたる1月から4月までの平均気温、最高気温、最低気温の年平均值および月平均値を算出し、回帰分析により気温の変化傾向を求めた。その結果、最高気温は2月に5%水準で有意な上昇傾向が認められ、1.83℃上昇したと推測された。一方、最低気温は3月において5%水準で有意な下降傾向が認められ、1.87℃下降したと推測された。温暖化という側面だけを捉えれば、期間全体の気温が上昇すると捉えられがちであるが、この例のように、気温がある期間上昇し、その後、寒の戻りのような冷え込み生じるという変動も、気象変動の他の側面である。気温の上昇とともに樹液の流動が早まり、主幹部の耐凍性が低下した場合には、通常ではさほど問題にならない程度の低温の遭遇でも凍結による組織の壊死が生じているのではないかと推察される。

神尾ら（2006）は他発休眠期の高温に敏感な‘おはつモモ’は水上げが早いことを示しており、主幹部での凍害が生じる可能性が高いとしている。また、岡沢ら（2011）は冬季

の高温がモモの耐凍性を低下させることを指摘しており、休眠覚醒により長時間、積算気温を必要とする台木の選択や、主幹部の保温による低温の遭遇を回避させることが本障害を回避する上で重要な技術であると考えられた。

2. 台木による凍害回避の可能性

前項で論じたように、岡山県のモモ栽培者は、凍害対策としては台木を選択しておらず、むしろ、使用している台木品種については特に意識もしていない状況が伺われた。凍害に強い台木としては、中国東北部原産の‘シベリアン C’（吉田ら，1995）が知られており、日本国内では、岐阜県の宮本ら（2011）は‘ひだ国府紅しだれ’を耐凍性台木として育成し、品種登録されている。西南暖地である岡山県では、耐凍性台木の導入は全く検討されていなかったが、近年の衰弱、枯死の増加傾向を受けて、‘ひだ国府紅しだれ’を導入し、岡山県の主要品種である‘清水白桃’を穂木品種として栽培試験を実施した。その際、枯死の発生が比較的多く認められる高地力圃場の条件を再現する処理区を組み合わせた。

その結果、台木の違いによる樹体成長における最も顕著な差は、幹周肥大および総新梢長に認められ、‘ひだ国府紅しだれ’台樹は‘筑波 5 号’台樹と比較するとやや劣った。このことは、本台木の育成者である岐阜県の神尾ら（2003，2006）が‘白鳳’を穂木品種として台木品種に慣行の‘おはつもも’と‘ひだ国府紅しだれ’を比較した結果とほぼ一致している。

しかし、樹冠拡大が著しく遅れるような極端なわい化を示すような状態ではなく、開花期以降の新梢伸長には 7 月までは明らかな差が認められず、その後の伸長停止が速やかであったことに示されるように、比較的落ち着いた生育になりやすい程度であると思われる。このため、樹体の充実が慣行台木よりも優れる可能性がある。実際に、本試験の結果では樹体の充実と関係が深いと思われる早春の花蕾の重さや、開花後の子房径が‘ひだ国府紅しだれ’台樹で大きい。

それに加え、樹体の充実はモモの若木における凍害の発生にも影響を与えているとされており、岐阜県の調査では樹体へのデンプン蓄積が不十分な場合には冬季における樹体の糖含量が低下を引き起こし、凍害が多発したとしている（神尾ら，2006）。本試験で得られた結果では、‘ひだ国府紅しだれ’台樹の方が慣行の‘筑波 5 号’台樹より新梢の遅伸びが少なく、枝のデンプン含量が高かった。このことから新梢の遅伸びが少ないことが

‘ひだ国府紅しだれ’台樹では、新梢先端と他の部位の養分競合がより少なく、貯蔵養分を蓄えやすいことがより高い耐凍性を示す一因であると考えられる。

前述したように、本試験では多肥条件を再現するため、植え付け前のたい肥の多投入と生育期間中に多量の追肥を行う処理を行った。その結果、土壌の EC は硫安を多肥区にのみ施肥し始めた 7 月以降に差がみられるようになり、10 月の時点では上限値の約 4 倍となり多肥条件が再現できたのではないかと考えられた。土壌中の窒素成分を確認するため、追肥処理が終了した時点での土壌の全窒素含有率を測定したところ、深さ 20~40cm の下層では同じ施肥条件であっても台木間で明らかな差は認められないが、深さ 0~20cm の同一施肥条件下では‘ひだ国府紅しだれ’台樹の根域土壌の全窒素含有率が高い傾向がみられた。このことは、主根域の違いあるいは養分の吸収能力が小さいために施肥した窒素成分が吸収されず残存している可能性を示唆している。実際に、調査期間を通じて‘ひだ国府紅しだれ’台樹では葉中窒素含有率が低い傾向を示した。特に、多肥区では、‘筑波 5 号’台樹では 3.0%前後かそれ以上で推移しているのに対し、‘ひだ国府紅しだれ’台樹では岡山県での‘清水白桃’の栽培管理における適正值 (2.5~2.9%) (高野ら, 2007) に近い範囲で推移した。

本試験では、根域の分布については未検討であるが、岐阜県の報告では‘ひだ国府紅しだれ’台樹は主幹近くに根量が多く、深根性であることが示されており (神尾ら, 2006)、岡山県からも荒木ら (2018) により、主根域が縦方向に広がりやすいことが報告されている。このような主根域の広がりやの違いが窒素吸収の差異を生じたのかもしれない。

ところで、モモ‘山陽水蜜’でユスラウメ台樹と共台樹を同じ濃度の液肥で養液栽培した場合には、比較的高濃度の窒素を与えても、ユスラウメ台樹の樹体生育は共台樹ほど強勢にならないという岡本ら (1989) や島村ら (1990) の報告がある。また、Yano ら (2002 ; 2003) はモモ‘川中島白桃’に異なる台木、および中間台を用いて ^{15}N の吸収および樹体内の分配を比較しているが、おい性台樹ではその吸収が少ないことを報告していることから、吸肥力の差が樹体成長の差を生じている可能性もある。

リンゴでは極端な多肥や有機物を慣行の 2~3 倍投入した園地では枝の二次伸長や遅伸びによって枝が充実不良となり、初冬でのハードニングの進行が遅れて凍害が助長されたとしている (中川, 1981)。施肥水準を変えた本試験においては、いずれの処理区でも凍

害の発生が認められなかった。同様の処理を継続するか、現地の高地力園での実証が必要であると考えられた。

なお、本試験において‘ひだ国府紅しだれ’台樹は‘筑波 5 号’台樹より発芽期が 2 日程度遅かった。特に、5 号・慣区を基準とすると 5 号・多区は 1.5 日程度早まったのに対して、紅・多区は 1.3 日程度遅れた。このことから、多肥条件では、‘ひだ国府紅しだれ’台樹で発芽がやや抑制されるとも考えられ、地力の高い園地では、本台木を導入することにより、早春における花や葉芽が受ける霜害の危険性もやや低減される可能性も示唆された。

ただし、樹体生育がやや抑制され、樹体の水分含量がやや少ないという傾向は、穂木品種との接ぎ木不親和性を示している可能性がある。モモでは穂木と台木との接ぎ木不親和に伴い、台勝ちや台負けあるいは主幹部木部の心材化などが認められることが形態観察されており（藤井ら，1993），通水阻害による水分ストレスが葉巻きを発生させ、光合成速度の著しい低下が見られたとしている（藤井，2000）。本試験では、台負け率には台木の違いによる明らかな差はなく、葉巻き程度は‘ひだ国府紅しだれ’台樹の方がやや大きかったものの著しい差ではなかった。ユスラウメ台やニワウメ台モモ樹で認められる極端な台勝ちや台負け、あるいは強度の葉巻き症状は観察されなかったため、‘清水白桃’と‘ひだ国府紅しだれ’の組合せでは、枯死に至るような強い接ぎ木不親和はないものと思われた。

収穫果実の品質において、糖度、果実重ともに‘ひだ国府紅しだれ’台樹は‘筑波 5 号’台樹に劣ることはなく、むしろやや優れる傾向が認められた。これは、糖度では、多肥条件においても、窒素の吸収が少ないためか新梢伸長の停止時期が早く、果実重では開花期以降の初期肥大が優れたことがそれぞれ影響しているものと推察された。樹相は栄養診断基準（高野ら，2005；高野ら，2007）に則しても高糖度なモモが生産できる範囲に入っており、高地力園に向けた台木であると考えられる。さらに、ユスラウメなど、わい性台木を用いた場合に発生が多いと報告される（久保田ら，1991）渋み果も‘ひだ国府紅しだれ’台樹では認められなかった。

以上のことから、多肥条件でも生育は安定し、水分および養分の吸収の面あるいは枝の貯蔵養分が多いことから、‘ひだ国府紅しだれ’は‘清水白桃’を栽培する上で、凍害に強い台木として有望であると考えられた。結果初年度でもあるため、樹冠拡大の程度、耐凍性、果実品質、生理障害の発生なども含めて今後経過を観察する必要があるものの、

‘ひだ国府紅しだれ’台樹は‘筑波5号’台樹と比較して樹体生育量が少なく、ニワウメやユスラウメなどのわい性台木に認められるような強い生育抑制（Yano ら，2002；Yano ら，2003）や，台勝ち，台負けなど接ぎ木不親和を示す症状（菊池ら，1990）も認められないため，ややわい性を示すモモ台木としての利用されていく可能性がある．

岡山県の主要産地において行った，‘ひだ国府紅しだれ’の現地実証では，穂木品種を‘清水白桃’として現地の慣行台木である‘筑波5号’や‘おはつモモ’との凍害に対する比較を行った．慣行台木では衰弱や枯死が認められた一方で，‘ひだ国府紅しだれ’台木では全く発生が認められなかった．これは岡山県農林水産総合センター農業研究所において実施された本研究で‘ひだ国府紅しだれ’の耐凍性が高い可能性があるとする結論を裏付ける結果であり，春先の衰弱および枯死の回避策として有望な台木であることが明らかとなった．

このため，まずは凍害による衰弱や枯死が頻発している園地や，水田転作園や前作に野菜などの栽培がされていた高地力園でのモモ栽培への導入が急がれる．また，本台木は岡山県の他の主要品種にも適合し，‘清水白桃’での結果と同様に凍害回避能力は高いことが荒木ら（2018）によって示されている．本台木は2018年から岡山県内の苗木業者でも導入が始まり，‘清水白桃’などの岡山県の主要品種と組合せて苗木生産され，岡山県内各地で使用され始めている．

本台木は比較的，樹高が低く抑えられる性質が見られることから，低樹高化や省力化にも寄与する可能性もあるため，新樹形による密植栽培や，岡山県育成のオリジナル新品種である‘岡山 PEH7 号’および‘岡山 PEH8 号’などの比較的樹勢が強く，樹高が過度に高くなりやすい品種の栽培にも活用できる可能性が河村ら（2020）の報告によって示唆されており，現在も検討が進められている．

3. 保温資材の効果と新規保護材の開発

第2節では耐凍性の高い台木の導入による凍害の回避について検討したが，慣行台木を用いた若木では，凍害を受けるリスクが依然として高い．そこで，凍害の発生が最も顕著に現れやすい主幹部に保護材を巻き付け，保温することがその発生に及ぼす影響について第3節で検討した．

まず，寒冷地で慣行的に行われている稲わら巻きによる主幹部の保護（国沢，1977）が‘清水白桃’若木の凍害の回避に有効であるかを検証した．主幹部の保護を行わない場合

には、夜間の主幹部表面の温度は、気温とほぼ同じ変化を示したが、稲わら巻きを行うと4℃ほど高く推移し、-2℃以下の遭遇時間も無処理より明らかに短かった。また、夜明けからは稲わら巻きの方が主幹部の温度上昇が小さかった。このことは稲わら巻きなどを行い、断熱性の高い素材で覆うことが主幹部の組織を凍結させてしまう恐れがある低温に対する遭遇を回避させる効果と、夜間と昼間の日較差を小さくする効果があることが示された。さらに、衰弱あるいは枯死の発生率を比較したところ、無処理の場合と比べて稲わら巻きを実施した処理区で発生が少なく、主幹部の保温の有効性が示された。このため、第1節のアンケート調査で示したように岡山県で発生が増加している春季の枯死については、稲わらによる主幹部の保護が解決策の一つになると考えられた。

ところで、稲わらは断熱性が高く、使用後も焼却できるなど、主幹部を保護する材料として大変優れた資材である。ただし、コンバイン収穫や積極的な飼料化の流れから入手が難しい場合がある。また、主幹部への稲わらの巻き付け作業は煩雑で時間がかかり、作業中に稲わらが皮膚に接触するとかゆみも伴うこともある。そのため、凍害の回避効果を理解していても、岡山県の実験圃での稲わらによる主幹部保護は限定的であった。

そこで、取り扱いが楽で、巻き付けの容易な主幹部保護資材を、岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室と共同して開発した。断熱材（充填物）としては、石油製品でない木質バイオマスに着目し、岡山県で生産の多いヒノキの製材で出るプレーナー（かな）屑を利用した。製材時に比較的多量に発生するが、嵩密度が小さく、熱量の割には輸送費がかかるため、プレーナー屑は近年、話題となっているバイオマス発電にも使われることはなく、ほとんどが製材所のボイラーで焼却されている未利用資源である点に着目した。同じ木質系のバイオマスでも、プレーナー屑は、おが屑や樹皮と比べて、乾燥後の木材を加工する際に発生するため、含水率が低く安定していることも特徴である。また、外装には、住宅用の壁面資材として用いられることが多い透湿性防水シートを用いた。透湿防水シートは比較的安価で、成形がしやすいこと、熱で素材同士を接着しやすいこと、および内容物が蒸れないことが特徴である。このシートを熱融着させて、幅25cm、長さ2.5mの袋状に成型し、プレーナー屑を封入したものを新規保護材とした。

新規保護材の実証試験には新規保護材区、稲わら巻き区および無処理区を設定し、‘清水白桃’を供試して保温効果および衰弱・枯死に及ぼす影響について検討した。その結果、新規保護材は稲わらとほぼ同様の保温効果を示し、無処理より4~5℃高かった。一方、最高温度は、稲わらより4~6℃、無処理より9~10℃低く、日較差が小さいことも明

らかとなった。また、無処理と比べて、衰弱や枯死する個体の発生が少なく、凍害による枯死や衰弱の回避効果が認められた。

他県でも稲わらに変わる保温資材の検討が行われており、秋田県の小林ら（2012）は紙おむつに用いられる高分子ポリマーの性質を利用し、吸水させた素材をモモ樹に巻き付ける方法を提唱している。また、長野県の岡沢ら（2012）は、片面にアルミ蒸着層がある断熱資材の巻き付けが凍害防止に有効であるとしている。これらの資材は、巻き付ける主幹部に小枝があると、切り込みを入れないと巻き付け時にやや作業性が劣るが、筆者らが開発した新規保護材は、意図的に細長い形状にしているため、切り込み等を入れることなく、分岐部や小枝を避けながら巻き付けられることが特徴である。本研究においては、稲わら巻きとの巻き付け時間について検討したところ、巻き付けの作業時間は約 25% 短くなり、作業時のかゆみなどがなく、作業性の面でも有効性が確認された。

稲わらや紙おむつなどの資材は、再利用することは耐久性の面から難があるが、経済性を考慮した場合、繰り返し使用できることが望ましい。そこで本資材の耐久性について検討した。充填物にヒノキを用いていることもあってか、資材の外側は幾分汚れるが、充填物であるプレーナー層の劣化は少なかったため、再利用には問題がなかった。ただし、外装の劣化により大きな破れが生じると保温性が損なわれることも考えられたため、3 年使用した条件を再現して外装の引張強度について検討した。その結果、使用 3 年目を経過するとやや引張強度は低下する傾向があったものの、巻き付け時に破れてしまうことはなかったことから、新規保護材は少なくとも 3 年間は使用可能であると考えられた。さらに、新規保護材の充填物、外装資材ともに組成元素が炭素、水素のみであるため、十分に使用した後、廃棄する際、可燃物として焼却処分できるところも利点であると考えられる。なお、この新規保護材については、2015 年 9 月に実用新案登録（野上ら、2015）されており、2019 年には市販化され普及段階に入っている。

以上のように、岡山県では南部特有の晩冬期の一時的な気温上昇で凍害を誘発することが明らかとなり、発育開始が遅く穂木部が温度上昇の影響を受けにくい‘ひだ国府紅しだれ’台木の利用や樹体温の日較差を小さく出来た新規保護材の開発により衰弱や枯死する個体を減らすことが可能となった。これらをさらに高めることで、樹体のロスを減じ、産地の安定を図ることが可能と考えている。

第5節 摘要

第1節では、晩冬から春季の気象変動が主要因と考えられる衰弱および枯死障害とその対策技術について検討した。まず、岡山県下における発生状況を調査すると若木での発生が多く、一定の穂木品種に多いという傾向はなく、県南部に発生が多いことが明らかとなった。岡山県南部に位置する農業研究所において晩冬から春季にかけての気温の変化について検討すると、2月の最高気温の上昇傾向と3月の最低気温の低下傾向が確認された。このことは早期の気温の上昇とともに樹液の流動が早まり、主幹部の耐凍性が低下した状態で再度、低温に遭遇して生じる凍害が、衰弱および枯死の主要因と推察された。

第2節では第1節での調査結果を受け、凍害回避が重要であると考え、耐凍性の高い‘ひだ国府紅しだれ’を台木として‘清水白桃’の栽培試験を実施した。凍害が生じやすいとされる高地力条件下でも、慣行台樹に認められた新梢の遅伸びが少なく、貯蔵養分の蓄積にも影響が見られなかったことから凍害の発生しにくい台木と考えられた。また岡山県内各地の凍害発生園で実施した実証試験では、慣行台樹では衰弱および枯死が一定数確認された一方、‘ひだ国府紅しだれ’台樹では全ての個体が健全であったため、本台木の導入は岡山県においても、凍害によると考えられる春季の衰弱および枯死の回避に有効であると考えられた。

第3節では、凍害回避のため、主幹部の保温について検討した。凍害の発生が最も顕著に現れやすい主幹部に保護材を巻き付け、主幹部の温度変化を小さくする対策技術についても検討した。その結果、既存技術の稲わらによる保温が、モモ若木の衰弱および枯死対策として有効であることが明らかとなった。しかし、巻き付けの煩雑さやかゆみなど作業性が劣るため、木質バイオマスを活用し、稲わらとほぼ同等の保温効果を示し、巻き付けやすく、3年程度使用できる耐久性を持つ新規保護材を開発した。現地実証においてもこの新規保護材による主幹部保護を行うと衰弱および枯死が発生しなかったため、その有効性が明らかとなった。

このように、本研究を通して晩冬から春季にかけての温度変化に対応する技術開発が出来、本技術はモモ樹体の安定に寄与することを可能にした。

第4章 総合考察

本研究では、岡山県のみも栽培において気象変動が主要因と考えられている障害に焦点を当て、その関連を把握するとともに、はじめに、夏季の異常な高温と成熟の遅延やそれに伴う果肉障害、特に赤肉症の発生原因との関連を検討した。岡山県南部と県北部の気温の違いを利用して成熟期の温度を変化させたところ、赤肉症の発生は県南部で多いことが明らかとなった。著者らは、岡山県での果肉障害の発生は、県南部で多く、特に高温年で顕著であることを経験的には認識していたものの、本研究により立証された。ただし、土壌や肥培管理の違いが影響している可能性が残されていた。そこで、同一条件で栽培されたコンテナ植えの‘清水白桃’の個体の半数を県南部から県北部に移動させて、赤肉症の発生について比較したところ、県北部での発生が認められなかったのに対し、県南部での発生率は高かったことから、栽培期間の気温と赤肉症の発生との関係が強いことが改めて確認された。

赤肉症の回避には、高温の遭遇回避が重要であることが示されたが、より気温の低い県北部への産地移動は現実的な対策とはならない。そこで、個々の果実について高温の遭遇を回避させる方法として、赤外線反射率の高い酸化チタンを塗布した機能性果実袋を開発し、その効果について第2章第2節で検討した。その結果、成熟前の異常高温時の果実温度を、慣行袋より約1.5℃低く抑えることが可能となり、顕著な赤肉症の抑制効果が認められた。岡山大学を中核機関とする果肉障害対策プロジェクトの中で、共同研究を実施した製袋会社において製袋時にドット状に塗布することで、課題であった通気性の改善も図られ、市販に至っており、岡山県を中心にのみも生産者による活用が開始されている。さらに本技術の応用により開発された、晩生ナシ専用の機能性果実袋は、高温による果肉障害が報告されている‘新高’のみつ症の抑制においても有効であることが明らかとなり（藤井ら、2015）、市販化に至っている。この例のように、本研究を通して開発された技術は樹種を超えて活用できることも示されている。

成熟期の遅延対策については、果実へのエテホン処理法が有効で、濃度や処理方法を検討することが出来た。個々の果実への処理時期および濃度の検討を行い、成熟前の異常高温によって成熟が遅延しやすい‘清水白桃’において、処理により成熟が前進するとともに、赤肉症の発生率が低下する傾向が認められ、成熟遅延の解消が果肉障害の抑制につながることも示唆できた。この成果を受けて、これまでに従来、‘白鳳’のみに限定されて

いた熟期促進を目的としたエテホンの農薬使用登録が、‘清水白桃’のみならず、モモ品種全般にまで登録が拡大されることのきっかけとなり、研究成果としての意義は大きいと考えられる。

次に、夏季の大雨の影響について検討した。成熟時期の多雨の影響を検討するために、果実の蒸散を抑制し、果実を水分過剰にした際の果肉障害の発生を確認した。蒸散抑制を目的にワセリン処理した果実は、果肉硬度が低く、水浸状果肉を有する果実の割合が著しく高くなったことや、マルチの敷設によって根域の水分状態を適切に保つことで、水浸果の発生が抑制できたことは過剰な吸水による多水状態は、モモの果肉障害を助長すると考えられ、水分制御の重要性が確認された。透湿性防水シートを用いて部分的にマルチを行うと、土壌および樹体の水分変動が抑えられ、水浸状果肉褐変症の発生が抑えられたことから、この有効性を岡山県内の主要産地で実証した場合でも水浸状果肉褐変症が抑えられる傾向が確認され、栽培技術として樹体への水分流入を抑えることは重要な位置づけになると考えられた。

また、樹体の生理に着目した「基部優先着果」についても検討した。すなわち、同一の結果枝内でも開花の遅い花を残すと果肉障害が少ないという点に着眼し、相対的に開花の遅い結果枝基部に果実を残す摘果法の開発に取り組んだ。その結果、基部優先着果を行うと赤肉症の発生が明らかに抑制された。さらに果実糖度も慣行着果法よりも高かったにも関わらず、水浸状果肉褐変症の発生には大きな影響はなかった。このことは、果実の発育状態が基部の果実の方が良好であることを示し、生理面でも興味深い特性が存在する可能性がある。栽培上も、特別な資材が必要でない面からも、生産者にとっては栽培管理の一環として最も取り組みやすい技術であると考えられる。

このように気象変動や樹体生理に基づいて得られた個々の果肉障害対策技術、すなわち機能性果実袋、部分マルチ、エテホンの立木全面散布および基部優先着果の組合せ処理が、果肉障害および果実品質に及ぼす影響について、2015年から2017年の3か年検討した。その結果、赤肉症の発生はいずれの年も明らかに抑制されており、特に程度2以上の発生はいずれの年も慣行栽培の1/5程度の発生率に抑えられた。水浸状果肉褐変症は2016年には慣行区での発生が比較的多い年であったが、程度2以上では慣行栽培の約1/10の発生率となった。このように、組合せの処理により果肉障害の発生率が連年低く抑えられていることは、確立された技術の普遍性を示していると考えられた。

収穫時期については総じて前進傾向を示し、1日～3日ほど早まった。これには、機能性果実袋の被袋効果も加味されていると考えられるが、主にはエテホンの立木散布処理の効果であると思われた。果実重には2015年および2017年には処理による差が認められなかったが、2016年には組合せ処理を実施した処理区の方が小さかった。収穫期の前進が最も顕著な年であったことから、最も果実肥大の活発な期間が短縮されたことにより、やや果実肥大が抑制された可能性がある。一方、糖度についてはいずれも明らかに総合対策区が高かった。第2章第5節に記述したように基部優先着果を行うと、慣行の着果より果実糖度が高いことがFukudaら（2017）により示されているが、その処理効果が顕著になっているのではないかと考えられた。果皮着色については、僅差ではあるが有意に総合対策区の着色程度が強かった。樹冠下に敷設した部分マルチからの反射光が果実底面に当たることが原因であると考えられたが、岡山県の“白桃”としての商品性を著しく損なうような強い着色ではなかった。なお、使用する透湿性防水マルチの種類によっては、片面が白色、その反面が黒色の仕様もあり、わずかでも果皮着色が敬遠される場合には、白色面を接地側にして敷設するとよいと考えられた。果実硬度、果汁pHには大差がないことは、成熟期の前進化による異常な果肉の軟化や、酸味が強く残るなどの問題は生じないと考えられた。さらに、部分マルチの敷設により懸念される渋みの発生についても処理による大差はなく、水分ストレス表示シートを有効に活用することによって、強い水ストレスが生じないような灌水管理を行えば、問題がないことを示唆している。

夏季の気象変動は、栽培年によって一定の傾向ではなく、今後、高温年または多雨年、あるいは双方の組合せというような場合も生じると推察されるが、基部優先着果は必須作業として実施しておき、高温年にはエテホン処理および機能性果実袋の被袋のみの実施、多雨年にはマルチの敷設のみの実施を行うという部分的な実施も考えられる。ただし、長期の気象予測には依然として不安定要因があるため、機能性果実袋、部分マルチおよび基部優先着果の組合せは基本技術として実施しておき、収穫予定の35日前頃～21日頃までの気象予報を目安に、エテホン処理の実施の有無を判断するという対応が現実的ではないかと考えられる。

ところで、この組合せ実証に際しては核割れや生理的落果についても検討しており、核割れ果については、2016年および2017年に総合対策区での発生率が有意に低かった。これは、2017年に実施した満開80日後における、果実の縫合線割れが明らかに少なかったことと関連が強く、満開40日後の部分マルチの敷設効果であると考えられた。また、生

理的落果率も有意に低かった。これらのことから、本組合せ処理は果肉障害の低減効果だけでなく、‘清水白桃’で生産上の不安定要因になっている核割れや生理的落果の抑制にも有効であることも実証された。総体として生産安定につながることを普及場面で強調することにより、より広く生産者に受け入れられるものと考えられた。

一方、晩冬から春季の気象変動が主要因と考えられる衰弱および枯死障害も岡山県では問題となっている。そこで、その対策技術について検討した。まず、第3章第1節では、岡山県下における発生状況を把握したところ、県南部に発生が多いこと、2～6年生の若木での発生が多く、一定の穂木品種で発生が多いという傾向はないこと、台木の影響は確認されていないことが明らかとなった。また、岡山県南部に位置する農業研究所において晩冬から春季にかけての気温の変化について検討すると、近年は2月の最高気温の上昇傾向と3月の最低気温の低下傾向があることが確認された。このことは早期の気温の上昇とともに樹液の流動が早まり、主幹部の耐凍性が低下した場合には、通常ではさほど問題にならない程度の低温の遭遇による凍害が、増加傾向にある衰弱および枯死障害の主要因と考えられた。

そこで、自発休眠後の温度上昇に対しても反応が小さい台木について着目し、耐凍性の高い台木による凍害回避の可能性について検討した。‘ひだ国府紅しだれ’を台木として‘清水白桃’の栽培試験を実施したところ、凍害が生じやすいとされる高地力条件下でも、慣行台に認められた新梢の遅伸びが少なく、貯蔵養分の蓄積にも影響が見られなかったことから凍害の発生しにくい台木と考えられた。岡山県内各地の凍害発生園で実施した実証試験では、慣行台樹では衰弱および枯死が一定数確認された一方、‘ひだ国府紅しだれ’台樹では全ての個体が健全であった。このことから、本台木の導入は岡山県においても、凍害によると考えられる春季の衰弱および枯死の回避に有効であると考えられた。

障害の頻発する園地での耐凍性の高い台木の導入による凍害の回避は可能であったが、凍害回避の目的のみで、台木すなわち既存樹を一斉に更新することは、経済的損失を考慮すると、現実的ではない。そこで、凍害の発生が最も顕著に現れやすい主幹部に保護材を巻き付け、主幹部の温度変化を小さくする対策技術について第3章第3節で検討した。その結果、既存技術の稲わらによる保温が、‘清水白桃’若木の衰弱および枯死対策として有効であることが明らかとなった。ただし、巻き付けの煩雑さやかゆみなど作業性はやや劣るため、筆者らは森林研究所木材加工研究室と共同して、木質バイオマスを活用した保護資材を開発した。稲わらと同等の保温効果を示し、巻き付けやすく、3年程度であれば

繰り返し使用できる耐久性を持つことが特長である。現地実証においてもこの新規保護材の処理区には衰弱および枯死が見られなかったため、その有効性が確認された。

以上、晩冬から春季の気象変動が主要因と考えられる衰弱および枯死障害とその対策技術として耐凍性の高い台木の導入あるいは、主幹部の保温による対策について論じた。

‘ひだ国府紅しだれ’台樹については、慣行台樹より樹が小さく、更新時には栽植密度などに留意する必要があるため、生産者自身が特徴を把握した上での導入が望ましい。一方、低樹高栽培用の台木としても活用できる可能性を秘めており、今後の取り組みが期待される。また、新規保護材はモモ以外の樹種の凍害対策にも有効であると考えられることから、より広範な活用方法については検討の余地がある。

本研究を通して、夏季および冬季の栽培上の問題について取りまとめ、さらに、対策技術の開発を行うことが出来た。著者は、研究者でありながら、生産者の目線から、生産者が取り組みやすいことを念頭に技術開発に取り組んできた。本論文では学術的な側面での検討が十分でない面もあるが、生産者の手に届けられる形として、技術の実用化を目指し、場合によっては製品化にまで注力したことも取りまとめた。本研究で得られた成果が、岡山県の果樹産業、特にモモ生産の安定に貢献できることを願ってやまない。開発技術の一部は他樹種の障害対策としても活用可能なことから、岡山県あるいはモモという枠を超えて、日本の果樹生産にも貢献できればさらに幸いである。

総摘要

本研究は、岡山県で増加傾向にあるモモの成熟期や春季の栽培上の問題に関係する生理障害について、近年の気象変動に着目して、原因の1つとしてその影響を把握するとともに、それに基づく対策技術の開発を試みたものである。

1. 夏季の気象変動が及ぼす果肉障害を主とした果実成熟への影響の回避

成熟時の果肉障害である「赤肉症」については、その発生が多い県南部で、そうでない県北部と比べて、モモ果実の発育期後半における高温遭遇時間が長いこと、県南部から県北部へ移動させたモモ樹で赤肉症の発生が抑えられたことから、成熟時期の温度の影響が密接に関係していることを明らかにした。また、果実発育に異常をきたす高温（異常高温）に遭遇させる試験において成熟が遅延し、赤肉症の発生も増大したことから、高温遭遇に伴う成熟遅延が赤肉症の発生を誘発することが示された。果実の気温上昇を抑える対策として、果実袋の改良を実施した。赤外光反射率の高い酸化チタン（JR-1000）を塗布した果実袋を試作し、塗布後も通気性を保持しつつ、果実温の上昇を抑える袋を開発でき、「機能性果実袋」と名付け、特許を取得した。この袋を用いて赤肉症の発生は有意に低下した。また、果実の成熟を前進させて、果肉障害の発生を抑制するために、エテホン処理法を検討し、満開90日後の25ppm立ち木全面散布が熟期促進に有効であることを示した。この結果を受けて、モモ全品種へエテホンの農薬登録拡大が行われ、成熟が遅れると予想される年に、生産者によるエテホン散布が利用可能となった。

果実へのワセリン処理で、水分を滞留させると、「水浸状果肉褐変症」（水浸症）の発生が増大し、水浸部位では果肉維管束から樹脂の流入によって細胞間隙が埋まることが観察されたことから、水浸症の発生軽減には、モモ樹への水分の過剰な流入を抑えることが有効と推測された。そこで、根域の多くを含むマルチサイズを検討し、4m四方の樹冠下の透湿性防水シートによる部分マルチによって根域の水分流入を抑制したところ、水浸果の発生率は有意に低下した。また、マルチ敷設時の灌水の目安として、変色時間から葉の水分状態を把握する「水分ストレス表示シート」の利用法も確立した。

併せて、果肉障害の発生抑制において、樹体生理の利用も検討した。モモでは開花の遅い果実が果肉障害の発生が少ないことを示した先行研究を受けて、相対的に開花が遅くな

る結果枝基部の果実を摘果時に優先的に残す「基部優先着果法」を開発し、果実品質を低下させることなく、果肉障害の発生を抑制できることを見出した。

これらの対策技術を組み合わせた試験を実施し、栽培年の気象変化にかかわらず安定して果肉障害の発生を抑制できることが明らかとなり、これらの改善機能が相補的であることが示された。

2. 晩冬から早春の気象変動に伴う凍害症状の回避策の検討

近年、春季の「衰弱および枯死障害」が多発し、モモの生産安定に悪影響を及ぼし始めていることから、本障害発生の県内の現状把握や、県南部に位置する農業研究所での栽培試験を進めた。その中で、キーとなる要素が、旺盛な成長を示す樹齢6年までの若木での多発や、気温の変動（2月の最高気温の上昇、3月の最低気温の低下傾向）であることが見出され、この発生を抑えるために、気温変化へ対応したり、旺盛な成長を抑える技術の開発を要することが示唆された。そこで、まず、著者は、凍害抑制に有効とされる‘ひだ国府紅しだれ’台木に着目し、その導入に向けた特性解析をおこなった。この台木に接ぐことで、穂木品種部の成長が少し抑制され、貯蔵養分の低下も緩慢であり、岡山県内各地の凍害発生園地での試験期間中、‘ひだ国府紅しだれ’台では衰弱や枯死の症状を生じさせなかったことから、台木の有するこれらの発育遅延効果が有効に働くのではないかと推察された。試験した台木は、その矮性効果も含めて有望視されており、今後の標準台木候補の1つとなると考えられる。次に、既存モモ園における凍害対策として、気温変化に伴う樹体の日較差を小さくする保護資材の開発を進めた。木質バイオマスを活用し、稲わらとほぼ同様の保温効果を有する「新規断熱巻き物」を開発することで、気温変化時期の樹体温度の日較差が小さくなり、処理樹において、衰弱および枯死症状が発生しなかったことから有効な対策資材を作成できた。これらのことから、2月および3月の気温変化が、晩霜害と同様に、樹体の成長再開を早めることで、衰弱・枯死障害にも密接に関係していることが明らかとなった。

以上のように、本研究を通して、近年、岡山県のモモ栽培において大きな問題となっている果肉障害や衰弱・枯死障害が気象変動を主因として発生増大していることを明らかにし、その影響を回避する技術を開発し、それを組み合わせることで対処できることを示唆した。

Summary

In this study, we focused on recent climate change as one of the causes and studied the effects on physiological disorders which are increasing in Okayama prefecture, especially in summer and spring. Based on these studies, methods and technology to control these disorders were developed.

1. Avoiding the effects of summer climate change on fruit ripening, mainly flesh disorder.

"Reddish pulp disorder", which is a flesh disorder at maturity, caused by high temperature exposure in the latter half of the fruit development period is greater in the warmer southern part of the prefecture, compared to the cooler northern part of the prefecture where it does not occur.

Since the occurrence of reddish pulp disorder was suppressed in the peach trees that were moved from the southern part of the prefecture to the northern part of the prefecture, it was clarified that the influence of temperature during maturity is closely related to the occurrence of the disorder. In addition, in a test in which high temperature (abnormally high temperature) was encountered which causes abnormal fruit growth, maturation was delayed and the occurrence of reddish pulp disorder increased.

As a measure to suppress temperature rise of fruits, we developed improved fruit bags. We developed a prototype fruit bag coated with titanium oxide (JR-1000), which has high infrared light reflectance and suppresses the rise in fruit temperature while maintaining breathability. We named it as "Functional fruit bag" and obtained a patent. The occurrence of reddish pulp disorder was significantly reduced using this bag.

In addition, in order to promote fruit maturation and suppress the occurrence of pulp damage, we examined ethephon treatment and showed that foliar spraying of 25 ppm at 90 days after full bloom is effective in promoting the ripening period. In response to this result, the PGR registration of ethephon was expanded to all peach varieties, and in the year when maturity was expected to be delayed, ethephon treatment became available to peach growers.

When the excess of water condition is retained by petrolatum treatment on the surface of fruits, the occurrence of "water-soaked brown flesh disorder" (water-soaked flesh) increases, and at the water-soaked site, the cell gaps may be filled by the inflow of resin from the flesh bundle. From

the observations, it was hypothesized that it is effective to suppress the excessive inflow of water into the peach tree in order to reduce the occurrence of water infiltration.

As reflecting the result, we investigated a multi-tree orchard where a partial mulch comprised of a moisture-permeable water proof sheet 4 m square was used to suppress the inflow of water in the root area. Due to the mulch treatment, the incidence of water infiltration was significantly reduced. In addition, as a guideline for irrigation with mulching, we have established a method of using a "water stress indicator sheet" that correlates the moisture state of leaves from the discoloration time.

At the same time, we examined the use of tree physiology in suppressing the occurrence of flesh disorder. In response to previous research showing that late-flowering fruits in peaches have less occurrence of flesh disorder, the "base-priority fruit-setting method" was adopted, in which the fruits at the base of the branches are preferentially left at the time of fruit thinning as a result of the relatively late flowering. It was developed and found that the occurrence of flesh disorder can be suppressed without reducing fruit quality.

A test combining these countermeasure technologies was conducted, and it was found that the occurrence of flesh disorder could be consistently suppressed regardless of the weather change in the cultivation year, and it was shown that these improvement functions are complementary.

2. Examination of measures to avoid freezing damage caused by climate change from late winter to early spring.

In recent years, "The sudden decline and death" of peach tree have frequently occurred in the spring, and it has begun to adversely affect the stable production of peaches. Among them, due to unseasonable rise in maximum temperatures in February followed by a sudden decrease of minimum temperatures in March are key factors which frequently causes young trees, up to 6 years old, to have vigorous growth in a warmer February and the new growth damaged by colder minimum temperature in March. In order to reduce the effects of this unseasonable temperature fluctuations, it is necessary to develop a technology that responds to temperature changes and suppresses vigorous growth early in the winter season.

Therefore, the author first focused on the ‘Hidakokufubenishidare’ rootstock, which is effective in controlling freezing damage, and analyzed the characteristics for its introduction. By grafting on this rootstock, the growth of the scion varieties is slightly suppressed, and the decrease in stored nutrients is slow. Since it did not cause symptoms of weakness or death during the tree planting test period of seriously damaged orchards from freezing in various parts of Okayama prefecture, it was hypothesized that the growth retarding effects of the rootstock might work effectively. The rootstock tested is promising, including its dwarfing effect, and is considered to be one of the standard rootstock candidates in the future.

Next, as a measure against freezing damage in the existing peach orchards, we proceeded with the development of protective materials for the trunk that reduce the daily temperature effects on the trees due to temperature changes. By developing a "new heat-insulating material" that uses woody biomass and has a heat-retaining effect, similar to that of rice straw, the daily temperature range becomes smaller for the trees reducing sudden decline and death.

This thermoprotective wrap material for peach trees reduces the temperature differential during the season and acts as an effective protective countermeasure. From these facts, it was shown that the temperature changes in February and March are closely related to the sudden decline and death by accelerating the resumption of tree growth followed by late freezing damage of the new growth.

As described above, through these studies, it is cleared that flesh disorder and the sudden decline and death of trees have become major problems in peach cultivation in Okayama prefecture, and are increasing due to climate change in recent years. However, those effects can be avoided by combining scientific knowledge of the disorders and developing technology and methodology.

引用文献

- Abbott, J. A., G. S. Bachman, N. F. Childers, J. V. Fitzgerald and F. J. Matusik. 1968. Sonic technique for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technol.* 22: 635-646.
- 荒木有朋・藤井雄一郎・樋野友之・宮本善秋. 2018. ‘ひだ国府紅しだれ’ 台木を用いたモモ樹の養分吸収特性. 園学研. (*Hort. Res. (Japan)*) (別) 1: 284.
- 荒木有朋・藤井雄一郎・片沼慶介・樋野友之・宮本善秋. 2017. ‘ひだ国府紅しだれ’ 台木を用いたモモ`清水白桃’の成木までの生育, 収量, 果実品質. 園学研. (*Hort. Res. (Japan)*) (別) 2: 379.
- 有田 慎・堀田宗幹・和中 学. 2017. モモ果実の水浸状果肉褐変症に関する研究 (第 1 報). 和歌山県農林水研報 5. 73-79.
- 安藤康隆・佐藤之信. 2003. モモ若木に発生した立ち枯れ症. 東北農業研究. 56. 157-158.
- 千葉和彦. 2008. 農業技術体系果樹編共通技術. 地域と環境: 106.
- Brown, P. H., N. Bellaloui, M. A. Wimmer, E. S. Bassil, J. Ruiz, H. Hu, H. Pfeffer, F. Dannel and V. Römheld. 2002. Boron in Plant Biology. *Plant Biol.* 4: 205-223.
- Claypool. L. L., K. Uriu, and P. F. Lasker. 1972. Split-pit of ‘Dixon’ cling peaches in relation to cultural factors. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97:181-185.
- Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Trans. ASAE* 15: 1075-1080.
- Costa, G. and G. Vizzotto. 2000. Fruit thinning of peach trees. *Plant Growth Regul.* 31: 113-119.
- 遠藤融郎. 1976. 和ナシ果実の日肥大周期に関する研究 (第 7 章). 園学雑. 44: 381-394.
- 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: 47-50.
- 藤井雄一郎. 2008. 今年の栽培反省と次年度対策ーモモー. 果樹 62 (12 月): 8-11.
- 藤井雄一郎. 2000. 岡山県農業総合センター農業試験場平成 12 年度試験研究主要成果. ‘清水白桃’の葉巻きと光合成との関係. 果樹部門 3.

- 藤井雄一郎・池田征弥. 2016a. 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. 2016b. 果実袋（果実の育成促進袋）. 中華民國特許公開 I－583300.
- 藤井雄一郎・池田征弥. 2017. 果実袋（果実の育成促進袋）. 大韓民国特許公開 10－1719289.
- 藤井雄一郎・樋野友之・北小路明久・池田征弥・荒川徹. 2015. ナシ‘新高’の果肉障害発生に及ぼす機能性果実袋被袋処理の影響. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 1: 273.
- 藤井雄一郎・見尾貞治・高木伸友. 1993. わい性台木に接いだモモ樹の接ぎ木部に見られる形態的異常. 園学雑 62 (別 2), 136－137.
- 藤井雄一郎, 片沼慶介, 宮本善秋. 2014. モモ‘清水白桃’の生育に及ぼす耐凍性モモ台木‘飛騨国府紅しだれ’の影響. 近畿中国四国農研. No.24, pp.35－42.
- 藤丸治・東光明・岡田眞治. 2005. 中晩生モモの「みつ症」の発生要因. 熊本農研センター研報. 13 : 93－99.
- 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.
- 福田文夫・河井 崇・松森史哉・深松陽介・秋元秀美・櫻井直樹・中野龍平. 2019. 圃場利用型音響振動測定試作機を用いた樹上モモ果実での核割れ判別と果実熟度推定の検討. 園学研. 18 (別 1) : 303.
- 福田文夫・河井 崇・中野龍平. 2020. 音響振動装置を用いたモモの非破壊内部診断. p.217－221. 最新農業技術. 果樹 vol. 13. 農文協. 東京.
- 福田文夫・田渕史子・久保田尚浩. 2002. モモ‘清水白桃’の剪定量の違いが生理的落果ならびに果実発育に及ぼす影響. 岡山農学報. 91 : 49－54.
- Fukuda, F., R. Yoshimura, H. Matsuoka and N. Kubota. 2006. Relationship between Fruit Enlargement and Seed Development with Respect to Physiological Fruit Drop in ‘Shimizu Hakuto’ Peach. J. Japan. Soc. Hort. Sci.. 75:213－218.
- 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.
- 古屋栄・手塚誉裕・渡辺晃樹・富田晃・新谷勝広・萩原栄. 2011. 低温保冷によるモモ水浸状果肉障害果の褐変抑制. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 384.

- 萩原栄揮・富田 晃・新谷勝広・古屋 栄・渡辺晃樹・手塚誉裕. 2008. モモ果肉障害の品種別発生状況. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) 7 (別) 2: 469.
- 萩原栄揮・渡辺晃樹・富田 晃・新谷勝広・古屋 栄・手塚誉裕・中込一憲. 2014. モモの果肉障害に関する研究 (1) モモ果肉障害の発生における品種間差異. 山梨果試研 第 13 号 : 57-63.
- 原加寿子・浅利正義・熊谷一・松山奈央. 2015. 秋田県鹿角地域で 2014 年に発生したモモの生育障害とその要因. 東北農業研究. 68 : 109-110.
- 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: 29-32.
- 樋野友之・安井淑彦・倉藤真弓・藤井雄一郎. 2012. 秋期の温暖化傾向がモモの翌年の生育に及ぼす影響およびその対策技術の確立. 園学研.(Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 135.
- 石田雅士・久保田尚浩. 1997. 第 6 章モモ. 447-493. 杉浦明編. 新編果樹園芸ハンドブック. 養賢堂. 東京.
- Kadowaki, M., S. Nagashima, H. Akimoto and N. Sakurai. 2012. Detection of Core Rot Symptom of Japanese Pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Kosui) by a Nondestructive Resonant Method. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81: 327-331.
- 神尾真司・宮本善秋・川部満紀・浅野雄二. 2006. モモ幼木の凍害による主幹部障害と枯死樹発生に及ぼす台木品種の影響. 園学研 5(4) : 447-452.
- 神尾真司・杉浦俊彦・浅野雄二・宮本善秋. 2003. 岐阜県飛騨地域におけるモモ障害樹発生要因の解析 1. 各種台木品種の自発休眠覚醒時期. 園学雑. 72(別 2) : 342.
- 河村美菜子・荒木有朋・樋野友之・鶴木悠治郎・佐々木郁哉・藤井雄一郎. 2020. ‘ひだ国府紅しだれ’ 台木を用いた岡山県オリジナル新品種の樹体生育の特性と果実品質. 園学研.(Hort. Res. (Japan)) (別) 1: 261.
- 北島 博. 1989. 果樹病害各論. 5. モモの病害 : 285-346. 養賢堂. 東京.
- 木村 剛. 1991. モモ ‘清水白桃’の果実肥大過程の相違と生理的落果. 岡山県立農業試験場研究報告. 9 : 53-56.
- 菊池秀喜・川原田忠信. 1990. ユスラウメ, ニワウメ台利用によるモモのわい化栽培. 東北農業研究. 43 : 185-186.
- 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.

- 久保田尚浩・廣田信一. 1993. モモ‘清水白桃’と‘白桃’における生理的落果と樹勢との関係. 農業および園芸. 68(10) : 1121-1124.
- 久保田尚浩・高木真吾・工藤正吾. 1991. モモ果実の渋味発生に及ぼす樹勢の影響. 園学雑. 60 別 2. 110-111.
- 久保田尚浩・金谷善泰・福田文夫・平野健. 2012. モモの果肉障害の特徴と"水浸状果肉褐変症"の発生に及ぼす環状剥皮処理の影響. 園学研.(Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 355.
- Kuroki, S., M. Tohro and N. Sakurai. 2006. Monitoring of the elasticity index of melon fruit in a green house. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 415-420.
- 国沢高明. 1977. モモ・ウメ幼木主幹部の凍害防止法について. 東北農業研究. 19. 120-121.
- 小林香代子・船山瑞樹. 2012. モモの樹幹凍害を軽減する被覆資材の検索. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 136.
- 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. 日食工誌. 32: 597-603.
- Konno, H., T. Yamaya, Y. Yamasaki and H. Matsumoto. 1984. Pectic polysaccharide breakdown of cell walls in cucumber roots grown with calcium starvation. Plant Physiol. 76: 633-637.
- Lurie, S. and C. H. Crisosto. 2005. Chilling injury in peach and nectarine. Post. Biol. Technol. 37: 195-208.
- 松川 裕. 1984. 摘果. 農業技術体系果樹編 6 (モモ) 基礎技術編 : 36-37.
- McCready, R. M. and E. A. McComb 1952. Extraction and determination of total pectic materials in fruits. Anal. Chem. 24: 1986-1988.
- 宮本健助. 2015. 植物における多糖性物質の溢泌に関する生理学的研究. 植物化学調節学会. 50. No.1 : 2-11
- 宮本善秋. 2012. モモの凍害発生と対策. 果実日本. 67(7) : 63-67.
- 宮本善秋・神尾真司・川部満紀. 2011. モモ台木品種‘ひだ国府紅しだれ’の育成とその特性. 園学研. 10(1) : 115-120.
- 森永邦久・古賀健一郎・伊賀悠人・遠藤直人・藤井雄一郎・横井秀輔・星 典宏・福田文夫・薬師寺博. 2016. 果樹における‘水分ストレス表示シート’を用いた樹体の水分状態の評価. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) 15 (4) : 401-407.

- 森永邦久・小池悠太・國峰慎平・藤井雄一郎・福田文夫. 2014. モモのかん水制御下における水分の動態と非破壊簡易把握法ならびに果肉障害発生について. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 1: 282.
- Morinaga, K., T. Murase, R. Kishimoto and F. Fukuda. 2015. Effect of environmental conditions on “Reddish pulp disorder” in flesh of peach fruit. Abst. Chugoku-Shikoku Br., Japan. Soc. Hort. Sci. 54: 8 (In Japanese).
- 森永邦久・吉川弘恭・草場新之介・島崎昌彦・中尾誠二・星 典宏・長谷川義典. 2010. かんきつのマルチ・点滴かん水同時施肥システムの開発と普及. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) 9(2) :129－135.
- 永井真弓・安井淑彦・藤井雄一郎・倉藤祐輝・尾頃敦郎・平松竜一・岸 弘明. 2010. 岡山県赤磐市における気温の年次変化とモモ・ブドウの生育との関係. 近畿中国四国農研. 16 : 75－80.
- 中川行夫. 1981. 果樹の凍害. 農業気象. 36(4) : 279－286.
- 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.
- Nakano, R., H. Akimoto, F. Fukuda, T. Kawai, K. Ushijima, Y. Fukamatsu, Y. Kubo, Y. Fujii, K. Hirano, K. Morinaga and N. Sakurai. 2018. Nondestructive detection of split pit in peaches using an acoustic vibration method. Hort. J. 87:499－507.
- 野上英孝・藤井雄一郎. 2015. 樹木用の寒害防止材. 実用新案登録第 3200112.
- 岡本五郎. 1993. 果実の発育とその調節(16). 農業および園芸. 68(4) : 529－534.
- 岡本五郎・藤井雄一郎・島村和夫. 1989. ユスラウメ台モモ樹の生育と果実品質に及ぼす培養液濃度の影響. 生物環境調節. 27. 83－87.
- 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.
- 岡山県農林水産部. 2015. 平成 29 年度果樹振興計画.
- 岡沢克彦・船橋徹郎・福田勉・小松宏光. 2012. モモ樹における樹体凍害回避のための稲わらに替わる被覆資材の選定. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 137.
- 岡沢克彦・船橋徹郎・小松宏光. 2011.モモ樹の冬季間における耐凍性の変化(第 2 報)冬季間の高温がモモの耐凍性に及ぼす影響. 園学研.(Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 383.

- 岡沢克彦・船橋徹郎・小松宏光. 2011. モモ樹及びリンゴ樹の冬季間における耐凍性の変化. 園学研.(Hort. Res. (Japan)) (別) 1: 317.
- 大浦明子・藤井雄一郎・樋野友之. 2012. 燃焼資材による低温時の気温及び樹体表面温度の上昇効果, 平成 24 年度主要成果果樹部門 (岡山県): 25-26.
- 櫻井直樹・秋元秀美. 2017. 一点接触硬度測定装置及び方法. 特願 2017-162122.
- 島村和夫. 1990. p. 121. モモの矮化栽培—その考え方と実際—. 旭出版. 岡山.
- 新谷勝広・猪俣雅人・富田 晃・渡辺晃樹. 2014. モモの枯死障害に及ぼす強剪定の影響. 山梨果試研第 13 号: 49-56.
- 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.
- 高野和夫. 2007. 糖含量の高いモモの生産と鮮度保持に関する研究. 岡山大学学位論文.
- 高野和夫・木村剛・山本章吾・森次真一・岡本五郎. 2007. ‘清水白桃’ 樹の窒素およびカリウム栄養状態と果実糖度との関係. 園学研. 6(4): 515-519.
- 高野和夫・山本章吾・森次真一・多田幹郎. 2005. 糖度の高いモモ生産のための栄養診断指標. 園学雑, 74 別 2, 129.
- 高野靖洋・志村浩雄. 1999. 透湿防水シートと雨よけ栽培がモモ‘あかつき’の果実品質に及ぼす影響. 東北農業研究. 52: 175-176.
- 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, 収穫期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. 栽培管理方の違いがモモ‘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.
- 手塚誉裕・萩原栄揮・富田晃・加藤治・三宅正則・古屋栄・山下(土橋)路子. 2012. 土壌水分量の変動がモモ果肉障害果の発生に及ぼす影響. 園学研. (Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 354.

- Terasaki, S., N. Sakurai, N. Wada, T. Yamanishi, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2001a. Analysis of the vibration mode of apple tissue using electronic speckle pattern interferometry. *Trans. ASAE*. 44: 1697-1705.
- 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）‘巨峰’果実の成熟に及ぼす樹体及び果実の環境温度の影響. *園学雑*. 48: 261－266.
- 富田晃・池田博彦・萩原栄揮・綿打享子・内田一秀・手塚誉裕・加藤治・國友義博・那須英夫. 2019. 山梨県におけるモモ枯死障害の現地発生実態. *園学研*. (Hort. Res. (Japan)) (別) 2: 332.
- 鳥取県園芸試験場・和歌山県農林水産総合センター果樹試験場・岡山県農業総合センター農業試験場・島根県農業試験場. 2004. 先端技術等地域実用化研究促進事業研究報告書－果樹の根域集中管理による環境負荷低減型施肥技術の確立－. 55－69.
- 瓜生康之・五井伸明・中野幹夫・片岡丈彦・石田雅士. 1995. モモ果実における核割れの発生要因. *園学雑*. 64(別 2) : 110－111.
- 瓜生康之・中野幹夫・片岡丈彦・石田雅士. 1995. モモ果実における核割れの組織学的観察及び核割れと生理的落果との関係. *園学雑*. 64(別 2) : 108－109.
- 宇都宮直樹・山田 寿・片岡郁雄・苫名 孝. 1982. ウンシュウミカンの果実の成熟に及ぼす果実温度の影響. *園学雑*. 51: 135－141.
- 和中 学. 2001. モモ‘清水白桃’における胚発育と生理的落果との関係. *和歌山農林水技セ研報*. 2 : 71－86.
- Yano, T., H. Inoue, Y. Shimizu and S. Shinkai. 2002. Dry matter partitioning and carbohydrate status of 'Kawanakajima Hakuto' peach trees grafted onto different rootstocks or with an interstock at pre-bloom period. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 71, 164－170.
- Yano, T., Y. Umemiya, H. Inoue, Y. Shimizu and S. Shinkai. 2003. Effects of rootstock and interstock on ¹⁵N-labeled nitrogen absorption and distribution in ‘Kawanakajima Hakuto’ peach trees. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 72, 177－181.
- 安井淑彦・藤井雄一郎・倉藤真弓. 2009. 平成 20 年度岡山県農業総合センター農業試験場試験成績書・モモ : 45－62.

- 安井淑彦・各務裕史・片岡繁也. 2002. モモ‘清水白桃’の最終摘果時期遅延が果実肥大に及ぼす影響. 岡山農試研報. 20: 23-26.
- 吉田雅夫. 1995. 第6章モモ. 3. 台木用植物の分類と特性. 347-357. 河瀬憲次編著. 果樹台木の特性と利用. 農文協. 東京.
- 依田征四・岩田信一・繁田充保・海野孝章. 1980. 岡山県南部地帯における晩生モモの生理的落果. 第1報. 後期落果の症状とそれを誘発する2~3の要因について. 園学要旨. 昭50秋: 64-65.
- 山本隆儀・奥谷紘平・田中宏幸・川上 晃・金本明洋. 2008. 根圏へのマルチ処理が甘果オウトウの裂果, 樹体水分状態, 果実肥大および品質に及ぼす影響. 園学研. 7: 351-358.
- 吉田雅夫・清家金嗣. 1981. モモのネコブセンチュウ抵抗性台木の育成(第2報) 交雑による抵抗性台木の育種. 果樹試報. A8: 31-44.
- 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.