

## クリシギゾウムシの蒸熱処理による防除技術の開発

岩本 哲弥

Controlling *Curculio sikkimensis* (Heller) Using High Moisture Hot Air

IWAMOTO Tetsuhiro

**Abstract:** We developed a technique for controlling *Curculio sikkimensis* (Heller) (chestnut weevils) and other chestnut pests using heat treatment with high moisture hot air. This treatment does not require the use of chemicals but uses hot air at 47°C for 40 min or at 48°C for 30 min to control chestnut weevils and *Cydia kurokoi* (Amsel). Under these conditions, the effect is equivalent to that of fumigation using methyl iodide. Additionally, no effect on the fruit luster was observed. Since the heating capacity of the hot air machine was improved, this method requires shorter treatment time compared with that of the previous heat treatment method. Moreover, this method possesses a treatment capacity almost equivalent to that of methyl iodide fumigation.

**Keywords:** Chestnut, *Cydia kurokoi* (Amsel), Methyl iodide fumigation

**キーワード:** クリ、クリミガ、ヨウ化メチルくん蒸

### 緒言

クリシギゾウムシ *Curculio sikkimensis* (Heller) (以下、クリシギと略)はクリミガ *Cydia kurokoi* (Amsel) と並び、クリ *Castanea crenata* Siebold et Zucc に大きな被害を与える果実害虫である。成虫は口吻を除いて体長約 8 mm、口吻は雄が約 5 mmに過ぎないのに対し、雌は約 8 mmと体長とほぼ同じ長さであることから、容易に雌雄を判別できる。体色はどちらも全体が光沢のある黒褐色で、口吻を除く全身が淡黄白色の体毛で覆われている(第1図)。クリシギは蛹で越冬し、8月上旬から10月上旬にかけて大半が成虫に羽化する。羽化から産卵までの約1か月間の行動については不明な点が多い。雌成虫は口吻を用いて毬を貫通して果実表面の鬼皮まで穿孔し、開けた穴の中に

産卵管を差し込んで産卵する。孵化した幼虫は表皮から果肉に食入して成長、産卵から約1か月で4齢まで成長する。この老熟幼虫は体長約12 mm、体色は全体が淡黄色で口器部は暗褐色である(第2図)。老熟幼虫は鬼皮に直径2~3 mmの円形の脱出孔を開けて果実外に脱出、土中に潜った後に土繭を形成して越冬、翌年春に蛹化する。雌成虫による産卵の開始は9月上旬以降であるため、9月後半頃に収穫する早生品種では産卵されても幼虫が成長する前に消費されることから問題になりにくい。一方、「岸根」に代表される晩生品種では消費者の手にクリ果実が渡った頃に老熟幼虫が脱出してくるため、クリシギの幼虫が残存している果実が消費者に届くとクレームに繋がる。このため、クリシギ等の果実害虫に対してはほぼ100%の防除価が求められる、しかし、立ち木での薬剤散布の防除効



第1 図 クリシギゾウムシの雌成虫



第2 図 クリシギゾウムシの幼虫(上)と被害果(下)

果は最大でも 90%程度である(黒木ら、1987)ことから、より効果の高い収穫後の臭化メチルくん蒸処理が行われていた。

山口県の代表的なクリ産地である岩国市美和町と美祿市西厚保においては、この果実害虫の防除に従来用いられてきた臭化メチルくん蒸処理に替わり、2014 年にヨウ化メチルくん蒸処理を新たに導入した。しかし、2016 年に使用していたヨウ化メチルボトル剤の国内唯一のメーカーが当剤の製造・販売を 2017 年で中止すると発表した。全国のクリ産地からの要望もあり、翌 2018 年に追加生産されたものの 2019 年には生産中止となった。ヨウ化メチル剤の有効期限は 3 年であり、2022 年以降くん蒸処理薬剤がなくなるため、早急に代替防除技術の探索等の対応が必要になった。

ヨウ化メチルくん蒸処理以外の防除方法としては、炭酸ガスくん蒸処理、温湯処理、氷蔵処理、蒸熱処理が開発されている。しかし、炭酸ガスくん蒸処理はクリ果実への影響を少なくするための処理庫が非常に高価なものになり、炭酸ガスは無味無臭であるため作業員が危険性を察知しづらい等の問題点がある(宮ノ下ら、2009)。温湯処理の処理施設は安価だが、果実表面のワックス層が温湯によって流失するため果実からつやが無くなり、常温ではカビが発生しやすくなることから、処理後直ちに通風乾燥を行った後に冷蔵保存する必要がある(二井ら、2014)。氷蔵処理はクリ果実への影響はないものの、他の処理方法と比較して殺虫効果がやや劣る上に、 $-2^{\circ}\text{C}$ で 3 ~4 週間という長期間処理しなければならないため、晩生品種では出荷が 11 月下旬以降までずれ込むという問題点がある(小林、

2014)。蒸熱処理については、 $49^{\circ}\text{C} \cdot 10$  分の蒸熱処理でクリシギに対する殺虫効果を得たと(一社)日本くん蒸技術協会は報告しているが、当時使用できる蒸熱処理機は大型かつ高価であったため実用化には至らず、現在協会にも具体的な記録は残っていない。その後、(国研)農研機構九州沖縄農業研究センターによってイチゴ苗のハダニ防除用に開発された小型かつ安価な簡易型蒸熱処理機が株FTH から販売されたが、これをクリの果実害虫防除に転用した場合の効果や処理に適した温度、加熱時間については不明な点が多かった。

そこで、簡易型蒸熱処理機を既存のヨウ化メチルくん蒸庫処理施設を利活用した防除技術の開発に 2020 年より取り組み、本試験の成果を取り入れて開発されたクリ用の改良型蒸熱処理機が 2024 年度に岩国市美和町の JA 選果場に導入され、その性能も確認することができたので併せて報告する。

本試験を実施するにあたり、ヨウ化メチルくん蒸処理施設の貸与および試験用果実の提供等にご協力をいただいた山口県農業協同組合岩国統括本部の皆様、簡易型蒸熱処理機の貸与と設置、クリ用の改良型蒸熱処理機の開発にご協力をいただいた株FTH の皆様に謝辞を申し上げます。

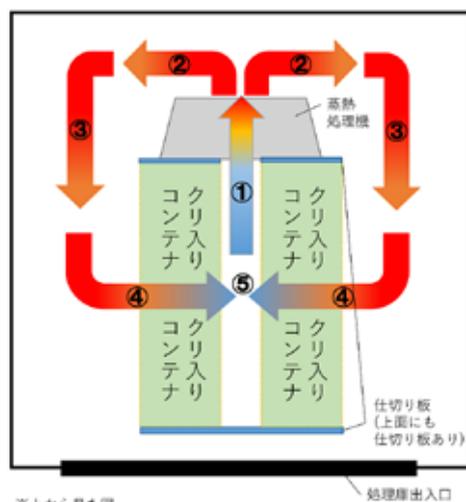
## 材料及び方法

蒸熱処理は電気ヒーターで加熱した空気に霧状の水を吹き付けて生成した熱気を吸気ファンにより断熱構造の室内に循環させ、熱気との接触時に起こる熱交換により対象物を加熱する技術である(第3 図)。本試

## クリシゴゾウムシの蒸熱処理による防除技術の開発

験では、(株)FTH製の簡易型蒸熱処理機(第4図)と岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設(第5図)を使用した。クリ果実は岩国市産の「岸根」を用い、ヨウ化メチルくん蒸と同様にコンテナに入れた状態で処理を行った。縦に4～5個積み上げたコンテナ段を蒸熱処理機の前に吸気口と同じ幅を開け、短辺側を蒸熱処理機に平行にして2つ並べた。このコンテナの積み上げを1セットとして、処理果実量によって2～3

セットのコンテナを並べた後に、コンテナの側面(長辺側)以外は仕切り板で塞いだ(第6図)。蒸熱処理機の果実表面温度測定用センサ(熱電対)は、結束バンドを用いてクリ果実に固定した後にコンテナの中央部に入れ、センサ付きの果実を入れたコンテナ段の中心付近に配置した。



- ①ファンでコンテナ間の空気を吸気し、電気ヒーターで加熱
- ②加熱した吸気に水を噴霧して熱気にする
- ③熱気が処理庫内を循環
- ④熱気がコンテナを通過する際に果実と熱交換を起こし、果実の温度が上がる
- ⑤熱交換によって低温になった空気がコンテナ間に戻る

※上から見た図

第3図 蒸熱処理の仕組み



第4図 簡易型蒸熱処理機(左から本体前面、同裏面、制御盤、電動ポンプ)



第5図 ヨウ化メチルくん蒸処理施設(岩国市美和町)

## 1 クリにおける蒸熱処理技術の確立

### 1) 防除に適した規定温度と処理時間の解明

#### (1) 2020 年度

日本くん蒸技術協会の「49℃・10 分間の蒸熱処理でクリシギを防除できる」という報告から、2020 年度に 49℃(果実表面温度。以下同じ)・10 分処理を対照に、48℃・0 分(48℃に到達した時点で処理終了)、47℃・10 分、45℃・10 分、45℃・20 分の各処理について、クリシギ及びクリミガに対する防除効果を確認した。各温度の設定は、クリ果実のタンパク質が変性を起こす 50℃以下から、温湯処理において防除効果が得られていない 45℃の間にとした。いずれの処理とも 3 つのコンテナからそれぞれ 10 kgずつ計 30 kg抽出したクリ果実をガラス温室に約 1 か月半静置し、果実から脱出してくるクリシギ及びクリミガの幼虫数を計数して判定した。

#### (2) 2021 年度

2021 年度は前年度の結果を踏まえ、47℃・40 分、48℃・20 分、48℃・30 分の各処理について、前年度と同様の方法で防除効果を確認した。

### 2) 処理果実量と処理時間の関係

#### (1) 2020 年度

2020 年度は処理果実量を 200 kg とし、果実表面温度が 49℃に到達するまでの時間を計測した。温度の計測には、蒸熱処理機に付属している加温対象物表面温度測定用センサを用いた。コンテナにはクリ果実を 10 kgずつ入れ、熱気を確実に果実に当てるために果実のない上半分の側面部を養生テープで目張りを行った。処理に使用したコンテナ数は 20 個(5 段積み 2 列を 2 セット)だった(第 7 図)。

#### (2) 2021 年度

2021 年度は処理果実量を 320~480 kg に増やし、果実表面温度が 45~48℃に到達するまでの時間を計測した。コンテナには満載になるクリ果実 20 kg を入れ、上面にベニヤ板を敷いた輸送パレットの上にコンテナを積み上げた。このため、コンテナ段の積み上げは前年の 5 段から 4 段に減少した。使用したコンテナ数は 320 kg 処理時が 16 個(4 段積み 2 列を 2 セット)、480 kg 処理時が 24 個(4 段積み 2 列を 3 セット)だった(第 8 図)。

この 2 年分の試験データを用いて、47℃・40 分処理と 48℃・30 分処理における推定処理時間を処理果実量別に算出した。条件を揃えるため、加熱開始時の果実温度を 10℃に固定し、同じ処理果実量のデータの

みを用いて算出した。

### 3) 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響

#### (1) 官能評価試験

2021 年度に、加熱に熱気を用いる関係上、温湯処理と同様に果実表面のつやの喪失やクリ果実への水分浸透による食味変化等が懸念されることから、果実の外観品質(つや)、粉質(しっとり~ホクホク)について官能評価を行った。無処理の果実を対照として、クリシギとクリミガに対する防除効果が高かった 47℃・40 分と 48℃・30 分処理した果実を供試した。ただし、粉質の評価には区別に塩ゆでした果実を用いた。調査対象者は農林総合技術センター関係者(23 名)とした。評価は中央値を 0 とした 5 段階とし、前者は「つやがある」を+2、「つやがない」を-2、後者は「しっとり」を+2、「ホクホク」を-2 として集計、Tukey 検定を用いて有意差を確認した。

#### (2) 保管試験・発芽試験

試験はどちらも(1)と同じ区の果実を用いて行った。保管試験は JA 選果場に併設されているクリ保管用冷蔵庫で行った。蒸熱処理の完了直後のコンテナ入りクリ果実 20 kg を 7 日間程度保管し、カビ等の発生の有無を確認した(反復なし)。

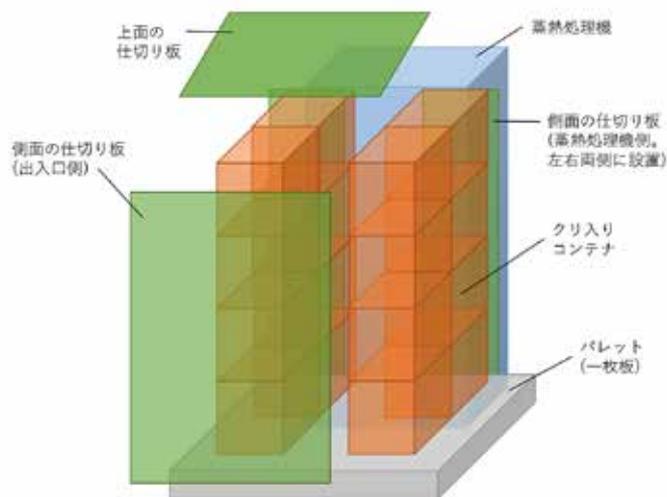
蒸熱処理によるクリ果実の発芽能力への影響を確認するため発芽試験を行った。2021 年 12 月 7 日に各区の果実 12 個をそれぞれ別のプランターに植えた後、プランターを網室に静置し、翌年 3 月 11 日に発芽状況を確認した(反復なし)。

## 2 効果的かつ効率的な蒸熱処理手順の確立

2022 年度に県農林水産事務所及び JA のクリ担当者と実際に蒸熱処理の作業を行いつつ蒸熱処理によるクリシギ防除の問題点を洗い出し、改善策を考案した。

## 3 改良型蒸熱処理機の性能確認

前述した改善策を盛り込んだ改良型蒸熱処理機の開発・製造を(株)FTH に依頼した。また、並行して岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設を蒸熱処理施設とするための改修も行われた。2024 年 9 月末に納入された改良型蒸熱処理機と蒸熱処理施設の性能を確認するため、10 月に 47℃・40 分処理を行った場合の果実表面温度の推移と処理時間の計測を行い、そのデータから推定処理時間を処理果実量別に算出した。1 の 2) と同様に、算出にあたっては条件を揃えるため、加



第6図 蒸熱処理におけるコンテナの配置



第7図 2020年度の蒸熱処理の様子(左：仕切り板設置前)と養生テープで目張りした側面(右)



第8図 2021年度の蒸熱処理の様子(仕切り板設置前)

熱開始時の果実温度を10℃に固定した。

## 結果及び考察

### 1 クリにおける蒸熱処理技術の確立

#### 1) 防除に適した規定温度と処理時間の解明

##### (1) 2020年度

2020年度の試験の結果、クリシギに対しては45℃・10分処理を除いて高い防除効果が得られたが、クリミガに対しては全ての処理区で十分な防除効果が得られなかった(第9図)。45℃・10分処理においてクリシギとクリミガともに無処理区と脱出幼虫数に差が見られなかったことから、蒸熱処理による45℃前後まで到達する程度の加熱では、これらの果実害虫に対して防除効果がほとんど得られないと考えられる。

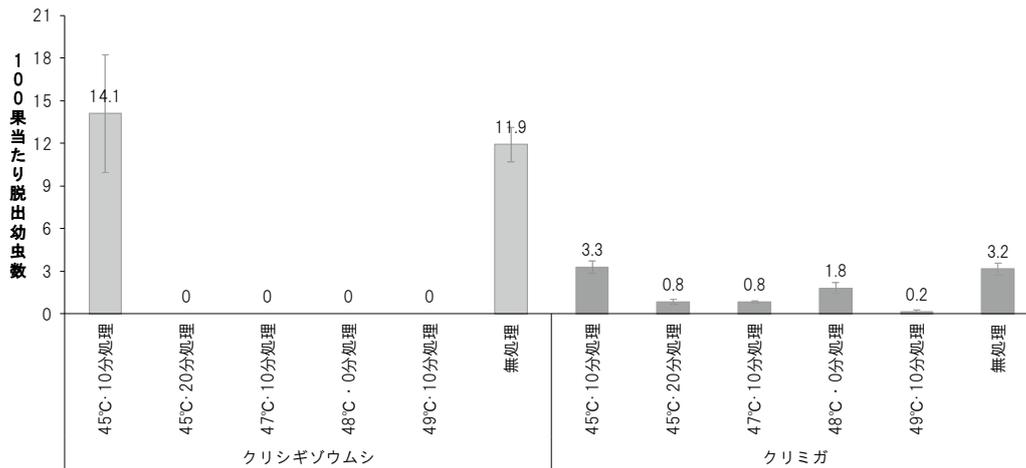
##### (2) 2021年度

2021年度の試験の結果、クリシギでは全ての処理区において脱出幼虫が認められず、クリミガでは48℃・20分処理区を除いて脱出幼虫が認められなかった(第10図)。

(1)、(2)の結果から、クリシギやクリミガ等を蒸熱処理で防除するには、高い防除効果が確認された47℃・40分処理または48℃・30分処理が適していると考えられる。

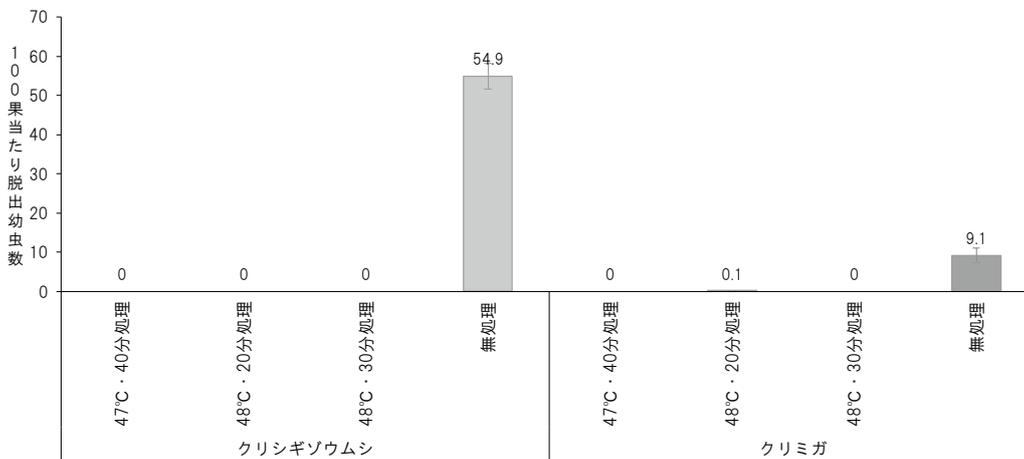
#### 2) 処理果実量と処理時間の関係

2年分の試験データから、処理果実量の増加に比例して果実表面温度の上昇に必要な時間が長くなることが明らかになった(第11図)。処理果実量別の47℃及び48℃までの到達時間の試算値にはどちらにも高い相関が見られ、相関係数は47℃が0.9998、48℃が



第9 図 蒸熱処理の果実害虫に対する防除効果(2020 年)

注) バーは標準誤差



第10 図 蒸熱処理の果実害虫に対する防除効果(2021 年)

注) バーは標準誤差

0.9968 だった。

この試験データから算出した47℃・40分処理と48℃・30分処理の推定処理時間から、処理果実量に関わらず総処理時間の短い47℃・40分処理の方が作業効率の点から見て適していると考えられる。

### 3) 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響

#### (1) 官能評価試験

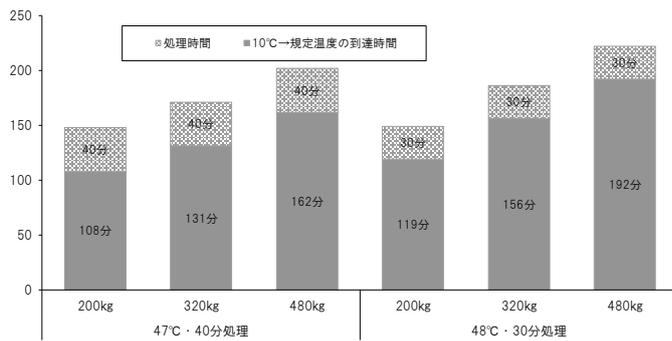
官能評価の結果、蒸熱処理を行った2つの区および無処理区の外観品質(つや)、粉質(しっとり～ホクホク)の両方について、有意差は認められなかった(第12図)。

この結果から、蒸熱処理による外観品質(つや)や粉質(しっとり～ホクホク)といったクリの果実品質に与える影響は小さいと考えられる。

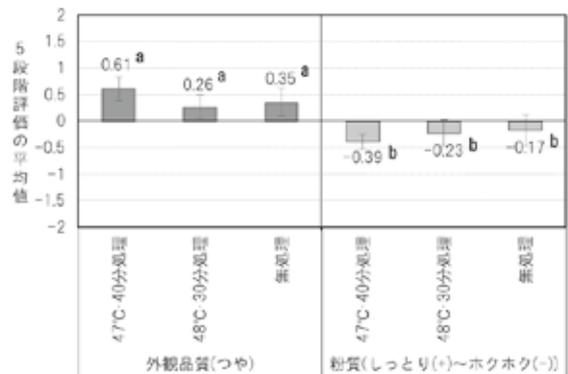
#### (2) 保管試験・発芽試験

冷蔵保管試験を行ったいずれの区においても、保管開始から約7日後の調査ではカビ等の発生は認められなかった。このことから、蒸熱処理終了直後から7日間程度の冷蔵保管では、カビの発生等による果実品質低下の可能性は低いと考えられる。

発芽数は47℃・40分処理区と48℃・30分処理区は共に12個中8個、無処理区は12個中6個だった。無処理区と比べて蒸熱処理を行った区の発芽数が多かったことから、蒸熱処理による種子組織の熱破壊はなく、発芽能力への影響はないと考えられる。ただし、無処理区の発芽開始が他の区より遅かったことから、蒸熱処理がクリ果実の休眠覚醒に影響を与えている可能性が考えられる。



第 11 図 処理果実量別の推定処理時間 (分)



第 12 図 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響(官能評価)

注) ナーは標準誤差。同一文字間には Tukey 検定により  $P > 0.05$  水準で有意差がないことを示す

## 2 効果的かつ効率的な蒸熱処理手順の確立

効率的な処理方法の改善では、蒸熱処理機の吸気口と同じ幅のスペーサーをコンテナ間に挿入した上で、コンテナ上部をゴムバンドで固定するとフォークリフト運搬が安定すること、果実表面温度測定用センサの果実への固定には大型クリップを用いると容易に安定できること等を明らかにした(第 13 図)。

また、現状の蒸熱処理機に付属する噴霧ポンプはタンク式であるため、処理中にタンクへの給水作業が必要になることから、作業効率改善には噴霧ポンプを水道直結型にする必要があること、ヨウ化メチルくん蒸庫の改修については、排水及び防錆対策等が施設維持のために必要であることも明らかにした。現状の蒸熱処理機はヨウ化メチルくん蒸処理と比較して処理時間は同程度だが、最大処理果実量は2分の1の24コンテナ(=480 kg)と少なく、作業効率が劣るといった問題があった。作業効率の改善には最大処理果実量の増加と処理時間短縮が必須と考えられたことから、電気ヒーターと吸気ファンを強化した改良型蒸熱処理機が必要という結論に至った。メーカーに依頼した改良型蒸熱処理機は、ヨウ化メチルくん蒸処理と比較して最大処理果実量が3分の2(32コンテナ=640 kg)にまで改善され、処理時間の短縮による作業効率の向上が見込まれた。

試験終了後にJA、農林水産事務所それぞれの担当者と意見交換を行い、効率的な作業や防除効果の安定に必要な注意点等をまとめた蒸熱処理導入マニュアルを作成し、山口県農林総合技術センターのホームページにおいて公開した。

<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachm ent/206258.pdf>

## 3 改良型蒸熱処理機の性能確認

改良型蒸熱処理機では電気ヒーターと吸気ファンがそれぞれ2連装に増設された(第 14 図)他、コンテナ設置面積増加のため噴霧ノズルの蒸熱処理施設壁面への移設、電動ポンプの大型化と水道直結、制御盤の集中化、処理状況表示灯の追加等、2で指摘のあった点も含めた改修が施された(第 15 図)。

岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設の改修としては、不要になったヨウ化メチルくん蒸処理用装備(検知管挿入用及びガス排気用の配管、ヨウ化メチル気化用の加熱プレート、循環扇等)を撤去して排水設備を追加、ローラー等の金属部分の防錆処理等、こちらも2で指摘のあった点も含めた改修が行われた(第 16 図)。また、作業を容易にするため、設置したまま蒸熱処理が行える格子型スペーサー(第 17 図)、仕切り板に代わる固定用フック付きシート(第 18 図)、空コンテナや果実量が少ないコンテナ用のスチロール製詰め物(第 19 図)、果実をより固定しやすい幅広のクリ果実固定用大型クリップ(第 20 図)等がJA選果場担当者らによって製作された。

算出された推定処理時間は、処理前の果実表面温度 10℃、処理果実量 240 kg の条件では果実表面温度 47℃到達まで約 53 分、総処理時間 93 分であった。

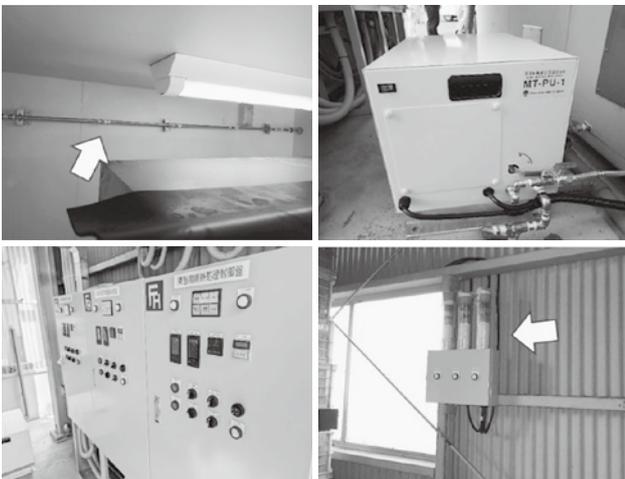
最大果実処理量の 640 kg に増やした場合、果実表面温度 47℃到達まで約 102 分、総処理時間 142 分となり、簡易型に比べ大幅な性能向上が確認された(第 21



第13 図 スペーサー(衣装ケースを使用)とゴムバンドにより固定したコンテナのフォークリフト輸送の様子(左)と果実固定用のクリップ(右: 電線は果実表面温度測定用センサ)



第14 図 正面から見たクリ用の改良型蒸熱処理機(左: 2 連装吸気ファンが見える)と同機の裏面にある2 連装電気ヒーター(右)



第15 図 壁面に移動した噴霧ノズル(左上)、水道直結した電動ポンプ(右上)、集中化した制御盤(左下)、新設された処理状況表示灯(右下)



第16 図 処理施設内に追加された排水溝と防錆処理済のローラー(左: 撮影のため排水溝の蓋を壁に立掛け 壁面の金属板はヨウ化メチルくん蒸処理用装備の撤去跡)、処理施設外部に追加された排水管(右)



第17 図 パレット上にコンテナと並べた格子型スペーサー



第18 図 フック付きシートで被覆されたコンテナ(左: 正面、右: 側面)



図)。今回算出した改良型蒸熱処理機での推定処理時間と1の2)の結果で試算した蒸熱処理機での推定処理時間は同じ果実処理量ではないため直接比較することはできないが、蒸熱処理機を用いた場合の処理果実量と果実表面温度47℃までの到達時間には相関関係があり、近似式を用いることで処理果実量640kg時の果実表面温度47℃までの到達時間が試算できる。この試算値と比較すると改良型蒸熱処理機による果実表面温度47℃までの到達時間は概ね半分程度に短縮されると推定でき、改良型蒸熱処理機の加熱能力の向上が確認できた。また、処理果実量が640kgまで処理可能になったことに、加熱能力の向上と合わせることで、ヨウ化メチルくん蒸処理と作業効率が同等になったことが確認できた。

本研究によってクリの蒸熱処理技術が確立されたが、クリ用蒸熱処理機の導入費はかつての大型蒸熱処理機と比べれば安価ではあるものの、遮熱構造かつ排

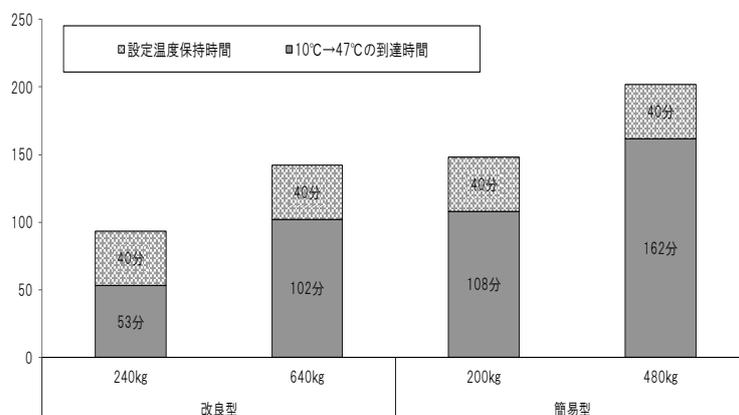
水設備を備えた処理施設が必要のため導入は容易ではない。一方、薬剤やガス検知管、ガスマスク等が不要なため、ランニングコストは機器や設備のメンテナンス費を除けば電気代と水道代程度で安価である。熱気の温度が50℃以下であることから作業員の安全性も高く、実際に運用するJA関係者から高く評価されている。2025年現在、岩国市美和町以外での導入は進んでいないが、ヨウ化メチルくん蒸処理施設、特にボトル剤に代わって実用化されたヨウ化メチルボンベ剤に対応したくん蒸施設であれば、岩国市美和町の事例のように蒸熱処理施設への改修は十分可能である。筆者としては、蒸熱処理の利点が広く認知され、既存のくん蒸施設に大規模な修繕が必要になった時などに、蒸熱処理を導入する産地が現れることを期待する次第である。



第19図 空コンテナ用の大型詰め物(左)とクリ果実不足コンテナ用の小型詰め物(右)



第20図 クリ果実固定用の大型クリップ (電線は果実表面温度測定センサ)



第21図 改良型蒸熱処理機の処理果実量別推定処理時間(分)

## 摘 要

蒸熱処理によるクリのクリシギゾウムシ等の防除技術を開発した。蒸熱処理は熱を利用した技術であるため、薬剤を必要としない。47°Cで40分間または48°Cで30分間蒸熱処理することで、クリシギゾウムシやクリミガを防除することができる。この条件での防除効果はヨウ化メチルくん蒸と同等であり、果実のつや等にも影響しない。47°Cで40分間処理した方が処理時間は短い。クリ用の改良型蒸熱処理機は加熱能力が向上しており、簡易型と比較して処理時間を短縮できる。従前のヨウ化メチルくん蒸処理とほぼ同等の処理能力を有する。

## 引用文献

- 二井清友・廣瀬敏晴・西口真嗣・川島誠蔵. 2014. 温湯処理技術の現状と問題点. 植物防疫. 68:226-230  
一般社団法人日本くん蒸技術協会 HP. 蒸熱消毒研究会  
[http://www.nikkunkyo.or.jp/development/steam\\_disinfection/](http://www.nikkunkyo.or.jp/development/steam_disinfection/) (令和7年9月30日現在)
- 小林正秀. 2014. 氷蔵によるクリシギゾウムシ駆除技術. 植物防疫. 68:231-236
- 黒木功令・児玉行. 1987. クリシギゾウムシの生態と立ち木防除. 山口農試研報. 39:67-75
- 宮ノ下明大・今村太郎. 2009. 高圧炭酸ガスを用いたクリシギゾウムシ殺虫技術. 植物防疫. 63:302-306
- 農研機構果樹茶業研究部門. 2017. 臭化メチル剤の全廃に伴うクリシギゾウムの代替防除技術について  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074089.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074089.html) (令和7年9月30日現在)