

炭酸ガスと低温を組み合わせた カキ果実のフジコナカイガラムシ殺虫技術の開発

法村奈保子*¹⁾・江嶋亜祐子・塚崎守啓・馬場紀子・中山 孝²⁾・
武田在満²⁾・服部良隆²⁾・田中史彦³⁾・内野敏剛³⁾

カキ輸出における検疫上の問題となるフジコナカイガラムシを効率的に殺虫する技術について検討した。カボチャ果実片上で継代飼育したフジコナカイガラムシは大気や窒素ガスよりも炭酸ガスで高い殺虫効果が認められ、 -1°C の低温条件を組み合わせることでさらに死虫率が高くなった。 -1°C で殺虫効果が高かったのは、フジコナカイガラムシの凍死に加えて、体液への炭酸ガスの溶解が要因である可能性が示唆された。実際のカキ果実に寄生したフジコナカイガラムシの死虫率はカボチャ果実片を用いた試験より低い値を示した。これはフジコナカイガラムシが寄生しているへた下部の空気が停滞し、炭酸ガスが十分に置換できなかったことによると考えられた。へた下部の風速が 1m/sec 以上になるよう送風することで、カキのへた下のフジコナカイガラムシ寄生域に炭酸ガスが行き渡り、死虫率を高めることが可能になり、また、殺虫処理時間を短縮できる可能性が示唆された。

[キーワード：フジコナカイガラムシ，死虫率，炭酸ガス，貯蔵温度]

Development of Insecticidal Technology against Japanese Mealybug (*Planococcus kraunhiae*) Parasitized to Persimmon (*Diospyros Kaki* Thunb.) Fruits Using Carbon Dioxide and Low Temperature. NORIMURA Naoko, Ayuko ESHIMA, Morihiro TSUKAZAKI, Noriko BABA, Takashi NAKAYAMA, Arimitsu TAKEDA, Yoshitaka HATTORI, Fumihiko TANAKA and Toshitaka UCHINO (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 2:58-63 (2016)

The effect of high-concentration carbon dioxide (CO_2) and low temperature on mortality of Japanese mealybug (*Planococcus kraunhiae*; JM) that infests persimmon (*Diospyros Kaki* Thunb.) fruits, making them subject to quarantine, was investigated. Japanese mealybug is a subculture on pumpkin for which carbon dioxide can have a higher insecticidal effect against JM than air or nitrogen. The mortality ratio of JM can be increased by temperature reduction, especially to -1°C . It has been suggested that a -1°C environment is fatal for JM. In addition, the possibility of a synergistic effect of easy dissolution of CO_2 into JM body fluid at lower temperature, resulting in accelerated mortality, was considered. Mortality of JM attached between fruits and calyx was lower than that for JM on pumpkin. It was considered that this was due to non-replacement of stagnant air by CO_2 between fruits and calyx. Over 1m per second of air blowing could replace the stagnated air in CO_2 , this fact caused to increase the ratio of mortality of JM (When blowing was at speeds of more than 1m/sec , the stagnant air could be replaced, increasing JM mortality ratio). Moreover, blowing could reduce CO_2 treatment time.

[Key words : Japanese mealybug (*Planococcus kraunhiae*), mortality, carbon dioxide, storage temperature]

緒言

福岡県におけるカキの生産量は25,000トンで(福岡県2014)、国内有数の産地である。近年、カキは国内での需要が低迷しており、新たな販路として日本産カキの人気の高いタイなどへの輸出が期待されている。カキを海外へ輸出する際は、相手国の検疫条件を満たす必要があり、タイやシンガポールなどへは植物検疫証明書の提出が必要となっている。

カキ果実の検疫検査で問題となりやすいのはフジコナカイガラムシである。フジコナカイガラムシは果実のへた下に多く寄生しており(第1図)、樹上生育中の完全防除が難しい害虫である。収穫した果実にもフジコナカイガラムシが寄生していることがあり、このことがカキ輸出の大きな障壁となっている。輸出向け果実に対する

フジコナカイガラムシ対策として、圧縮空気(エアガン)を使った物理的除去が行われている。しかし、この作業は果実を1果ずつ手作業で行うため、作業が非効率で一



第1図 カキ果実のへた下に付着したフジコナカイガラムシ

*連絡責任者(福岡農林事務所:norimura-n4570@pref.fukuoka.lg.jp)

受付2015年8月3日;受理2015年11月19日

1) 現福岡農林事務所

2) 昭和電工ガスプロダクツ株式会社

3) 九州大学大学院農学研究院

度に大量処理することは難しい。

炭酸ガス（以下CO₂）は古くから貯蔵害虫のくん蒸剤として使用されており（中北 1993），クリの貯蔵害虫クリシキゾウムシ，クリミガ（平田・吉松 2003），ショウガの貯蔵害虫ショウガクロバネキノコバエ（小山 2009），ミカンキイロアザミウマをはじめ数種のアザミウマ類の成・幼虫（関・村井 2011, Seki・Murai 2012a b），リンゴまたはニホンナシの寄生害虫であるモモシンクイガ，ナシヒメシンクイおよびナミハダニ（土田ら 2011），イチゴ苗のナミハダニ（小山田・村井 2013）など，多くの害虫に対する殺虫効果について報告されている。しかし，本報告で対象としたフジコナカイガラムシに対するCO₂の殺虫効果に関する研究は関（2013）による報告のみであり，カキ果実の輸出検疫対策に用いる技術を構築するための知見としては十分でない。すなわち，関（2013）の研究は温度24～34℃の環境下で行われたのに対し，カキ「富有」の最適貯蔵温度は0℃と低温であり（樽谷・真部1960），高い温度域での殺虫処理は果実品質の低下が懸念される。また，関（2013）が行った実験では混合ガスが用いられているが，3種のガスの混合は設備費などのコストが高く，実用的でないと考えられた。

そこで本報告では，カキ果実を海外に輸出する際の検疫対策として，高濃度CO₂を用いたフジコナカイガラムシの殺虫技術について検討し，また，処理温度は，これまで多くの報告がある害虫の活動温度域だけでなく，カキの貯蔵温度帯である低温域での検討を行った。さらに，殺虫技術の実用的な場面を想定し，送風等による効率的殺虫方法についても検討した。

材料および方法

試験 1 ガス条件，処理温度および処理時間がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

フジコナカイガラムシの殺虫条件を明らかにするために以下の試験を行った。2011年，福岡県農林業総合試験場病害虫部で継代飼育されているフジコナカイガラムシの卵塊を黒川カボチャ果実に接種した。試験には，主に2齢幼虫を供試した。フジコナカイガラムシが50～60頭寄生したカボチャ果実片（約20 mm×20 mm）を，下記に示す（1）から（3）の試験に供試した。切り出したカボチャ果実片はプラスチック製シャーレ（直径90 mm×高さ12 mm）に静置し，ラミネートフィルム袋（旭化成パックス（株）製，飛竜Nタイプ）に入れた。処理後は，フジコナカイガラムシの生死を確実に判定するため，覚醒条件下（25℃ 24時間）にカボチャ果実片を静置した。生死判定は柄付き針で刺激し動かないものを死亡個体とみなした。死虫率は，供試したカボチャ果実片に寄生したフジコナカイガラムシ全頭数のうち死亡した頭数の割合で算出した。

（1） ガスの種類がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

フジコナカイガラムシを死滅させる目的で，N₂とCO₂が

死虫率に及ぼす影響を検討した。処理温度は，フジコナカイガラムシの内的自然増加率が最も高く（澤村・奈良井 2008），最適な飼育温度（24℃）（青野ら 2009）と同等の25℃とした。ガスの種類と濃度は，100% CO₂区，100%N₂区とし，対照として大気区を設定した。処理時間は48時間で，1試験区に用いたカボチャ果実片は各5個で試験は3反復行った。

（2） CO₂処理温度がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

CO₂を用いてフジコナカイガラムシを殺虫する場合における処理温度の影響について検討した。CO₂濃度は100%とし，処理温度は果実品質への影響を考慮し，25℃より低温の-1℃，10℃，20℃とした。温度のみの殺虫作用を確認するため，各温度区にそれぞれ大気区を設けた。処理時間は48時間で1試験区に用いたカボチャ果実片は各5個で試験は3反復行った。

（3） CO₂濃度および処理時間がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

フジコナカイガラムシを殺虫する場合におけるCO₂濃度および処理時間について検討した。CO₂濃度は30，40，50%（調整は大気）で，それぞれ24，48，72時間処理を行った。処理温度は-1℃で，1試験区に用いたカボチャ果実片は各6個で試験は2反復行った。

試験 2 カキ果実を用いたフジコナカイガラムシの殺虫条件の検討

（1） CO₂濃度とガスの攪拌がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

福岡県産のカキ「富有」のへた下部に試験1と同様に飼育したフジコナカイガラムシを寄生させた。すなわち，飼育したフジコナカイガラムシが寄生したカボチャ果実片3片を果実のへた付近に置き，25℃で1日静置しフジコナカイガラムシ（約50頭）を自力でへた下に寄生させることで行った。寄生した果実10果をアクリル樹脂製チャンパー（内寸W650mm×D550mm×H650mm）内に入れ，チャンパー内の最終ガス濃度が30%および40%になるようCO₂を封入した。これを-1℃の貯蔵庫内に静置し，24時間ないし48時間後に開封して果実を取り出し，死虫率を調査した。死虫率の調査方法は試験1に準じて行った。

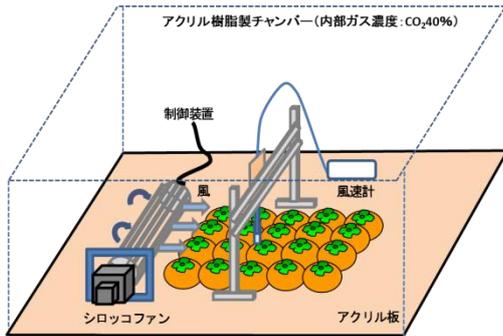
チャンパー内の攪拌は，ACプロペラファン（オリエンタルモーター（株）製，フレームサイズW119mm×H119mm×D38mm，平均風速1.8m/sec）を用いて行った。この試験を3回繰り返した。

（2） カキ果実のへた付近の風速がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

炭酸ガスは二酸化炭素くん蒸剤としてカキのフジコナカイガラムシを対象に農薬として登録されている（独立行政法人農林水産消費安全技術センター 2015；農薬登録番号 17890号）。使用量は「くん蒸中のガス濃度40%程度を維持するに必要な量」と規定されているため，果実を用いた試験にはCO₂濃度40%以下の条件で行った。試験2（1）と同様に，飼育したフジコナカイガラムシを寄生

させたカキ果実20果をアクリル樹脂製のチャンバーに入れた。チャンバー内のCO₂濃度を40%に調整し、風速可変型のシロッコファン（株）前川製作所製、最大風速7m/sec）を設置し、電圧により風速を0.1~2.9m/secに変化させ、24時間処理した。処理は-1℃の貯蔵庫内で行い、この試験を12回繰り返した。カキのへた付近の風速は、熱線式風速計（株）テスト社製、testo425）を固定して測定した（第2図）。

なお、試験 2は2012年10月~2013年3月にかけて行った。



第2図 シロッコファンを用いた風速試験（模式図）

統計処理

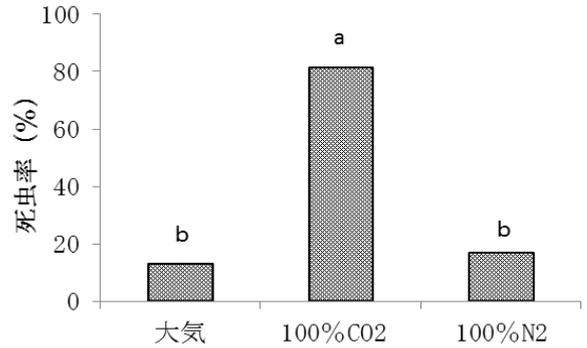
本報告で得られたデータは、2群についてはt検定を行った。3群以上はBartlett検定による等分散性を検討したが、本報告におけるデータは全て等分散性が棄却されたためKruskal Wallis検定法により有意差を検定した。

結果および考察

試験 1 ガス条件、処理温度および処理時間がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

(1) ガスの種類がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

CO₂で処理した方が大気やN₂を封入するより死虫率は明らかに高かった（第3図）。フジコナカイガラムシの死亡要因が酸素不足による窒息死であれば、CO₂のみでなく、N₂でも高い死虫率が得られると考えられる。しかし、本報では、N₂は、CO₂と同様の効果は認められなかった。CO₂は、センチクバエ等ある種の虫に対して毒性があると報告されている（Sherman・Hayakawa 1961）。また、コドリングを用いた試験においては、低濃度の酸素はATPの合成を阻害し、高濃度のCO₂はATPの利用を阻害することが報告されている（Neven・Hansen 2010）。さらに、関（2013）はハスモンヨトウ幼虫の体液pHを調査し、CO₂処理により体液内でCO₂が重炭酸塩となって蓄積し、pHがアルカリ性側へ移行することで個体が死亡すると推測している。本報告ではフジコナカイガラムシの殺虫機序については検討していないが、CO₂はN₂に比べて明らかに死虫率が高かった。このことから、フジコナカイガラムシは無酸素条件下で死滅するのではなく、炭酸ガスによ



第3図 雰囲気ガスの種類がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

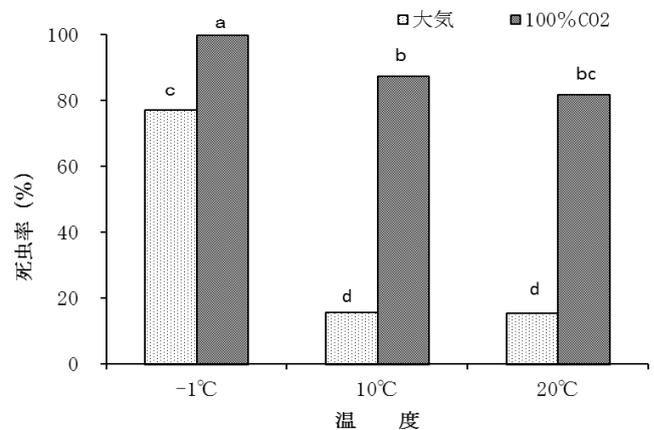
- 1) 25℃、48時間処理
- 2) グラフ中の異符号間に5%の有意差あり (Kruskal Wallis 検定法)

て致命的な作用が働いたと考えられた。

(2) CO₂処理温度がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

(1) で有望と考えられたCO₂を用い、処理温度について検討した。フジコナカイガラムシをCO₂で殺虫する場合の処理温度は、10℃、20℃に比べて-1℃で死虫率が有意に高くなった（第4図）。また、-1℃では100%CO₂区だけでなく大気区でも死虫率が高くなったことから、フジコナカイガラムシは、氷点下の環境で死虫率が高くなるものと推測された。

小山田・村井（2013）はナミハダニ雌成虫に対して、Carpenterら（1996）はアザミウマの成虫に対して60% CO₂で処理した場合の死虫率を温度別に検討し、処理温度が高いほど死虫率が高まることを報告している。また、関（2013）は、24℃~34℃の範囲でフジコナカイガラムシにCO₂処理した場合、温度が高いほど殺虫効果が高くなることを明らかにした。この中で関は、高CO₂分圧下で気管系からの対外排気を阻まれたCO₂が重炭酸塩として体液内に蓄積し、体液がアルカリ性に変化することで死滅する



第4図 処理温度がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

- 1) 各条件で48時間処理
- 2) グラフ中の異符号間に5%の有意差あり (Kruskal Wallis 検定法)

と推察し、体液量が比較的多いハスモンヨトウの幼虫にCO₂処理すると体液pHが実際に6.8から8.2へ変化したことを確認している。また、これらの温度域では処理温度が高いほど殺虫効果も高いのは虫のエネルギー代謝速度が速まるためと推察している。フジコナカイガラムシの発育零点は12.2°C、内的自然増加率が最も高くなる温度は24°Cであることから(澤村・奈良井 2008)、筆者らが行った10°Cと20°Cの条件下では、エネルギー代謝速度に明らかに差があると考えられた。しかし、本報では10°Cと20°Cの死虫率に有意差は認められず、これまでの報告とは異なる結果が示された。一般にCO₂の水に対する溶解度は低温ほど高くなることから、10°CではCO₂がフジコナカイガラムシの体液に多く溶解し、体液pHが変化することにより死虫率が向上したと考えられた。すなわち、本報では20°Cにおけるエネルギー代謝速度向上による殺虫効果と10°CにおけるCO₂の溶解性向上に伴う殺虫効果が相殺されたことにより、2温度間の死虫率に差が生じなかったと推察された。

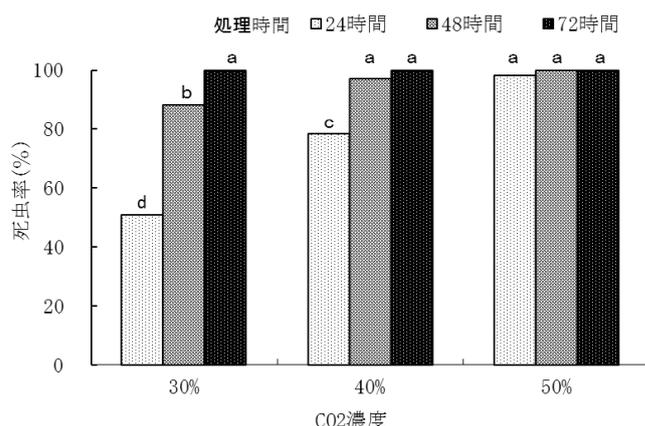
一方、大気区における10°C、20°Cの死虫率が15%程度であるのに対し、-1°Cでは80%近くにまで著しく上昇した。これはフジコナカイガラムシに対する凍死効果と考えられた。この効果はクリシキゾウムシでも確認されている(平田・吉松 2003)。さらに、-1°CでCO₂処理すると死虫率は有意に高くなった。前述のとおり、低温ほどCO₂の溶解度は高くなることから、-1°Cの温度帯における殺虫効果は凍死と体内へのCO₂の溶け込みとの相乗効果による可能性が示唆された。しかしながら、雰囲気から体液へのCO₂溶解や、それに伴うpHの変化に関する報告はないことから、低温条件下におけるCO₂の殺虫機序については現時点では十分な検証ができておらず、今後の課題として残された。

(3) CO₂濃度および処理時間がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

カキ果実をCO₂濃度60%以上で24時間処理すると品質は明らかに低下する(未発表)。そのため、60%より低い濃度で死虫率を高める条件を検討する必要がある。

第5図に示すように、CO₂濃度が高いほどフジコナカイガラムシの死虫率は高くなった。CO₂濃度が高まると死虫率が高くなるという濃度依存性については、CO₂濃度が50%、70%、80%、90%のときのミカンキイロアザミウマの死虫率がそれぞれ78%、92%、96%、100%であったことが報告されており(Aharoniら 1981)、著者らの結果と傾向が一致した。また、処理時間が長くなるほど死虫率は高くなり、CO₂濃度30%では72時間以上、40%では48時間以上、50%では24時間以上処理することでほぼ100%の死虫率が得られた(第5図)。

以上のことから、カボチャ果実片に寄生したフジコナカイガラムシはCO₂により死亡することが明らかになった。これはCO₂がフジコナカイガラムシ体内に溶解し、pHを変化させたという可能性が考えられるが、今後さらに検討が必要である。また、-1°Cという氷点下の環境下で死虫率が高くなること、CO₂濃度が50%以下の条件では濃度が



第5図 CO₂濃度および処理時間がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

- 1) グラフ中の異符号間に5%の有意差あり (Kruskal Wallis 検定法)

高いほど、処理時間が長いほど効果的であることが明らかになった。

試験 2 カキ果実を用いたフジコナカイガラムシの殺虫条件の検討

(1) CO₂濃度とガスの攪拌がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

空気を攪拌しない場合、フジコナカイガラムシの死虫率はCO₂濃度30%処理時間48時間の場合60.4%、40%48時間の場合84.8%であった(第1表)。これはカボチャ果実片を用いた場合の死虫率(それぞれ88.2%、97.2%; 第5図)より低い値であった。カキ果実においては、フジコナカイガラムシは果実とへたの隙間に寄生しており、カキのへた下の形状は複雑で、その大きさも様々である。そのため、その部分の空気が停滞しCO₂が十分に到達せず、死虫率が低下したと考えられた。そこで、CO₂がフジコナカイガラムシ寄生域に行き渡るよう、チャンバー内のガスを攪拌した。その結果、攪拌することで死虫率が上がることが明らかとなり、また、攪拌することで、24時間処理でも48時間処理した時と同等の殺虫効果が得られた(第1表)。これは、チャンバー内に対流を起こすことで、カキのへた下のフジコナカイガラムシ寄生域にもCO₂が十分行き渡ったためと考えられる。

(2) カキ果実のへた付近の風速がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

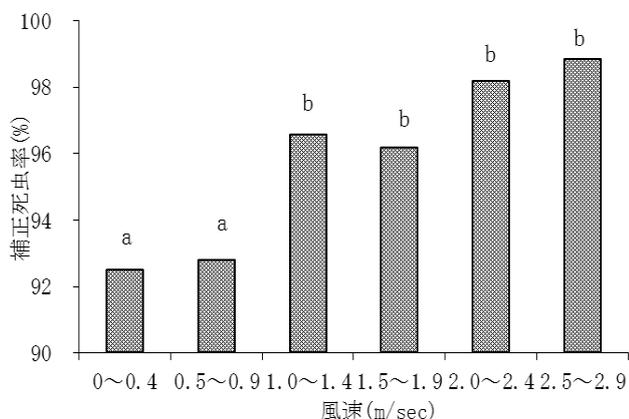
カキ果実のへた部の風速が1.0m/sec以上になると死虫率は高くなった(第6図)。また、カキのへた部に風速1.0m/sec以上の送風をすることで、処理時間を24時間に短縮しても高い死虫率が得られた。これらの結果から、カキ果実を低コスト、短時間で殺虫処理を行うためには処理庫内の攪拌が有効であることが示唆された。風速と死虫率との関係について検討した研究事例はほとんど無いため、今回の結果は、殺虫処理装置に設置するファン仕様等を決定する際の有効な情報と考えられた。

第1表 CO₂の攪拌がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

処理条件	死虫率(%)		
	30%	40%	40%
CO ₂ 濃度	30%	40%	40%
処理時間	48時間	48時間	24時間
攪拌無	60.4 c	84.8 a	78.6 b
攪拌有	79.7 b	95.8 a	92.9 a
	*	*	*

1) 縦系列の*に5%有意差あり (t検定)

2) 横系列の異符号間に5%有意差あり (Kruskal Wallis検定法)



第6図 果実のへた付近の風速がフジコナカイガラムシの死虫率に及ぼす影響

1) グラフ中の異符号間に5%の有意差あり (Kruskal Wallis 検定法)

以上のことから、CO₂濃度40%、処理温度-1℃、処理時間24時間、風速1.0m/sec以上で処理することで、カキ果実に寄生したフジコナカイガラムシを効率良く殺虫できることが明らかとなった。しかし、本条件におけるフジコナカイガラムシの死虫率は96.2~98.8%と高率ではあったものの、検疫対策として求められる要件を完全に満たすことはできなかった。土田ら(2011)はナミハダニについて、CO₂処理直後の苦悶虫が72時間後には死亡したと報告している。著者らも、CO₂濃度40%、処理温度-1℃、処理時間24時間、風速1.0m/sec以上で処理した場合の生存虫はほとんど動かない苦悶虫であることを確認している。このことから、時間経過とともに死虫率がさらに高くなることも期待できる。今後は処理時間の延長や、50%程度の高濃度CO₂を用いるなどの農薬登録条件の拡大を見据えた対策が必要と考えられる。また、本研究で得られた処理条件を検疫対策として確立するためには、大規模試験による実証が今後の課題である。そのため、JA筑前あさくら柿集荷場内に、共同研究機関である九州大学、(株)前川製作所および昭和電工ガスプロダクツ(株)により設計・施工された試験装置(外寸:幅3.3×奥行3.0×高さ2.5m、処理能力1.4トン/回)を設置し、実用

レベルの殺虫条件や作業性について検討を進めているところである。

本研究は、2010年度福岡県農林水産物輸出応援農商工連携ファンド事業、2011~2013年度農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業委託事業で実施した。また、本技術は、低温と炭酸ガスくん蒸を組み合わせたフジコナカイガラムシ殺虫技術として特許出願を行った(馬場ら2012)。

謝辞

本研究の実施にあたり、フジコナカイガラムシの飼育虫の提供や試験方法の助言等を頂いた、病害虫部の手柴真弓博士に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- Aharoni Y, Stewart J K, Guadagni D G(1981) Modified atmospheres to control western flower thrips on harvested strawberries. J. Econ. Entomol 74:338-340.
- 青野光男・宮下裕司・金崎秀司・大西論平(2009)カキのフジコナカイガラムシの発生増加の原因と防除方法に関する研究. 愛媛農水研報 1: 63-74.
- 馬場紀子・法村奈保子・江嶋亜祐子・服部良隆・中山孝・羽野秀樹・則松新介・矢野貴久(2012) 甘柿果実の炭酸ガスくん蒸方法および甘柿果実の炭酸ガスくん蒸装置. 特許公開2013-243937.
- Carpenter A, Wright S, Lash P (1996) Response of adult New Zealand flower thrips, *Thrips obscuratus* (thysanoptera: Thripidae) to high carbon dioxide and low oxygen atmospheres at various temperatures. Bull. Entomol. Res. 86:217-221.
- 独立行政法人農林水産消費安全技術センター(2015) 農薬登録情報提供システム. 独立行政法人農林消費安全技術センター, 東京, https://www.acis.famic.go.jp/index_kensaku.htm (2015年4月20日閲覧).
- 福岡県(2014) 福岡県食糧・農業・農村の動向ー平成25年度農業白書: 10.
- 平田達哉・吉松敬祐(2003) クリ貯蔵病害虫クリシキゾウムシ, クリミガの臭化メチルによらない殺虫技術. 山口農試研報54:53-56.
- 小山昌志(2009) ショウガクロバネキノコバエに対する二酸化炭素くん蒸の殺虫効果. 関西病虫研報51:79-80.
- 中北 宏(1993) ポストハーベスト農産物と農薬, 化学と生物31:665-673.
- Neven L G, Hansen L D(2010) Effects of Temperature and Controlled Atmospheres on Codling Moth Metabolism. ANN ENTOMOL SOC AMER 103:418-423.
- 小山田浩一・村井 保(2013) 高濃度二酸化炭素くん蒸処理のナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch に対す

- る防除効果とイチゴ苗に及ぼす影響, 応動昆
57:249-256.
- 澤村信生・奈良井祐隆(2008)フジコナカイガラムシおよびクワコナカイガラムシの発育と増殖能力に及ぼす温度の影響. 応動昆52:113-121.
- 関 昌夫・村井 保(2011)ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis*(Pergande)に対する高濃度炭酸ガスの殺虫効果. 応動昆55:174-177.
- Seki M, Murai T(2012a)Responses of five adult thrips species (Thysanoptera; Thripidae) to high dioxide atmospheres at different temperatures. Appl .Entomol. Zool. 47:125-128.
- Seki Masao and Tamotsu Murai(2012b)Insecticidal effect of high carbon dioxide atmospheres on thrips eggs oviposited in plant tissue. Appl . Entomol. Zool. 47:433-436.
- 関 昌夫(2013)園芸作物害虫に対する高濃度炭酸ガスの殺虫効果に関する研究. 東京農工大学学位論文.
- Sherman M, Hayakawa M(1961)Carbon Dioxide as an Anesthetizing Agent for the Flesh 1Fly, *Sarcophaga peregrina* Robineau-Desvoidy, JSAEZ 5:151-153.
- 樽谷隆之・真部正敏(1960)カキ果実の利用に関する研究 (第3報)カキ果の貯蔵温度について, 園学雑, 29:114-120.
- 土田 聡・中村ゆり・羽山裕子・村井 保・中田 健・望月雅俊(2011)高温・高濃度CO₂くん蒸の殺虫効果とリンゴ・ナシ果実品質への影響. 果樹研報12:15 - 26.