

クリ果実内のクリシギゾウムシ幼虫に対する ドライアイスを用いた炭酸ガスくん蒸の有効性

鹿島哲郎・杉山恵乃*・長塚 久**・氏家有美***・草野尚雄・冨田恭範

Effects of Carbon Dioxide Gas Treatment with Dry Ice on the Larvae of
Curculio sikkimensis (HELLER) in the Chestnut

Tetsurou KASHIMA, Ayano SUGIYAMA, Hisashi NAGATSUKA, Yumi UJIE,
Hisao KUSANO and Yasunori TOMITA

Summary

Over 95% of *Curculio sikkimensis* larvae were destroyed by carbon dioxide gas treatment under 2-3 atm pressure for 48 h at 30°C, under 1-3 atm pressure for 48 h at 35°C and under 5 atm pressure for 7-14 days at 2°C. Carbon dioxide gas treatment of chestnut resulted in alcohol production 6 h after treatment and a serious reduction in the quality of taste. The optimum carbon dioxide gas treatment that did not damage the chestnut was 6 h at 20°C.

キーワード：クリ, クリシギゾウムシ, くん蒸, 炭酸ガス, ドライアイス

I. 緒言

クリシギゾウムシ (*Curculio sikkimensis*) は、幼虫がクリ果実を食害して収穫物に直接被害を及ぼすが、産卵された果実を選別することが事実上困難であることから、クリの重要害虫となっている。1960年代に、二硫化炭素剤やリン化アルミニウム剤、臭化メチル剤を用い、収穫後にクリ果実をくん蒸することによって果実内の卵および幼虫を防除することが検討された。その結果、大量のクリ (10 m²当たり最大 3t) を短時間 (2時間) に処理できて薬害も起りにくい臭化メチル剤が採用され、今日に至っている。

しかし、臭化メチルは、1992年のモントリオール議定書締約国会合においてオゾン層破壊物質に指定され、1997年の締約国会合では2005年までに全廃することが決定された。クリを含む一部の作物では、2005年以降も不可欠用途として臭化メチル剤の使用が認められてきたが、代替技術を開発することが求められている。

クリのクリシギゾウムシに対する臭化メチル剤によ

るくん蒸の代替技術としては、臭化メチル代替物質の探索、クリ生育期における殺虫剤による防除、天敵糸状菌による防除、収穫後の温湯処理による防除などが検討されてきた。クリ生育期における殺虫剤による防除は、臭化メチルの全廃が決まる前にも検討されたが、クリシギゾウムシ成虫の羽化時期が8月中旬から9月上旬までと長く、産卵は10月中旬頃まで続くことから、頻繁に防除を行わなければ実用的な防除効果が得られず、防除コストや労力を考慮すると現実的ではない。天敵糸状菌による防除は、実用的な防除効果が得られる菌濃度ではコストがあまりにも高くなり、実用性があるとは考えにくい (長塚ら, 未発表)。また、温湯処理は、クリ 100kg を 50°C の湯で 30 分間処理することにより防除効果が得られるが (神尾, 2007)、本県の産地では1日の集荷量が数トンに及ぶことから、温湯による大規模処理技術の確立や新たな処理施設の導入が不可欠であり、本県においては早急に導入できる技術とは言えない。

そこで、本県では、臭化メチルの代替物質としてヨウ化メチルに着目し、防除効果や薬害について検討し

* 現茨城県南農林事務所つくば地域農業改良普及センター

** 現茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

*** 現茨城県立農業大学校

てきた。その結果、既存のクリくん蒸施設を用いて臭化メチルと同等の防除効果が得られたことから、臭化メチル代替物質として有望であることが明らかになった（大竹ら、2006）。ヨウ化メチル剤は、2009年にクリのクリシギゾウムシに対して農薬登録され、今後は、現地において適応試験が進められる予定である。

一方、炭酸ガスは、臭化メチルやヨウ化メチルよりも更に環境への付加が小さい物質であり、貯穀害虫を対象に常圧高濃度処理による防除技術（川上、1995）および高圧処理による防除技術が検討され（平野・中北、1995）、クリシギゾウムシ防除への応用が期待されている。日本では、高圧炭酸ガス処理のクリシギゾウムシに対する防除効果が検討されている（宮ノ下、2003）が、高圧炭酸ガス処理には高価な設備を新規に導入しなければならないこと、一回の処理量が少ない（約100kg）ことなどから、実用化までにはまだ時間を要すると考えられる。

また、炭酸ガスの常圧高濃度処理は、高価な設備を要しない反面効果発現までに時間がかかるため（貯穀害虫の場合一般的には7日～10日間程度）、処理能力やクリの品質低下の点で問題がある。そのため、ドライアイスを用いることにより、炭酸ガスのある程度の加圧状態にして処理する方法が提唱された（梅谷、未発表）。これにより、比較的安価な設備を用いて短時間で防除効果が得られないか期待された。そこで筆者らは、炭酸ガス源としてドライアイスを用い、密閉容器内で昇華させることによってある程度の加圧条件を作り、炭酸ガスのクリシギゾウムシに対する防除効果およびクリ果実品質に及ぼす影響について検討した。

II. 材料および方法

1. ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸のクリシギゾウムシに対する防除効果

試験は、2004年10月6日までに現地クリ園（笠間市吉岡）より採取したクリ果実（品種：「筑波」および「石鎚」）を約5℃の冷蔵庫に保管し、試験前日に必要量を取り出して常温に戻したものを供試して行った。

くん蒸試験は、ステンレス製の円筒形耐圧容器（直径228mm×高さ555mm、耐圧5atm）の内部にフィルム製袋（（株）ダイワパックス製、縦1100mm×幅400mm、厚さ0.08mm）を装着し、その中にクリ果実4kgと所定のくん蒸圧になる量のドライアイスを入れ、2分間脱気した後シール機を用いてシールした。

これを、所定温度に設定した人工気象器内に置いてくん蒸処理を行った。くん蒸処理は、10月4日から12月8日までに行った。

試験区は、下記により設定し、各区とも3反復で行った。

くん蒸温度 くん蒸圧 くん蒸時間 処理果量
(20,25,30,35℃) × (1,2,3atm) × 48時間 × 4kg

処理後、クリ果実をプラスチックトレイに取り出して実験室内に置き、処理後60日間に果実から脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した。葉害は、くん蒸処理後に果実鬼皮の変色の有無を肉眼観察により調査した。

2. 炭酸ガスを低温で長時間処理した場合および脱酸素剤を併用した場合のクリシギゾウムシに対する防除効果

試験は、2005年9月に所内クリ園（笠間市安居）より採取したクリ果実（品種：「筑波」）を約5℃の冷蔵庫に保管し、試験前日に必要量を取り出して常温に戻したものを供試して行った。

くん蒸試験は、ステンレス製の円筒形耐圧容器（直径228mm×高さ555mm、耐圧5atm）の内部にフィルム製袋（（株）ダイワパックス製、縦1100mm×幅400mm、厚さ0.08mm）を装着し、その中にクリ果実2kg（無処理区は1kg）と所定のくん蒸圧になる量のドライアイスおよび区により酸素を確実に除去するために脱酸素剤（エージレス®、三菱ガス化学（株）製）を入れ、2分間脱気した後シール機を用いてシールした。これを、所定温度に設定した人工気象器内に置いてくん蒸処理を行った。くん蒸処理は、12月7日および12月12日の2回行った。

試験区は、下記により設定し、処理数1～3で行った。

くん蒸温度 くん蒸圧 くん蒸時間 脱酸素剤 処理果重
2℃ × 5atm × (7日, 14日) × (有, 無) × 2kg

処理後、クリ果実をプラスチックトレイに取り出して実験室内に置き、処理後60日間に果実から脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した。

3. 炭酸ガスによるくん蒸がクリ果実品質に及ぼす影響

1) 試験 1

フィルム製袋にクリ果実4kg（品種「筑波」および「石鎚」）および袋内が1.5～1.8気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃に設定した人工気象器内に置き、「筑波」は24

時間または48時間くん蒸し、「石鎚」は6時間、12時間または24時間くん蒸した。表3および表4に示したくん蒸中の時間に、包装内の炭酸ガス濃度、酸素濃度およびエタノール濃度を測定した。また、くん蒸後に、各区の果実を茹でクリにし、くん蒸を行わないクリを対照として官能評価を行った。官能評価は、同一条件で茹でた各処理区のクリを用いて所内18名のパネラーにより行った。採点は、無処理区を基準値4とし、無処理区と比較して「甘味」、「味」、「香り」、「総合評価」については「かなり悪い・弱い」を1、「かなり良い・強い」を7とし、「悪臭」、「酸味」については「かなり感じる」を1、「かなり感じない」を7として行った。

2) 試験2

フィルム製袋内にクリ果実（品種「筑波」および「石鎚」）と袋内が3気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃または35℃に設定した人工気象器内に置き、24時間くん蒸した。クリ果実封入の際、くん蒸中の圧力により発生する水分を取り除くため、袋内に除湿用として市販の紙おむつを入れた。くん蒸後に、各区の果実を茹でクリにし、くん蒸を行わないクリを対照として官能評価を行った。官能評価は、同一条件で茹でた各処理区のクリを用い、所内18名のパネラーにより行った。採点は、無処理区を基準値4とし、無処理区と比較し

て「外観」、「香り」、「悪臭」、「甘味」、「酸味」、「総合評価」については「かなり悪い・弱い」を1、「かなり良い・強い」を7とし、「肉質」については「かなり粘質」を1、「かなり粉質」を7として行った。また、商品価値の有無を、「無し」0、「有り」1で採点した。

Ⅲ. 結果

1. ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸のクリシギゾウムシに対する防除効果

48時間処理を行った場合、くん蒸温度20℃では、くん蒸圧が2気圧および3気圧で、無処理区に比べ脱出幼虫数が少なかったが、それぞれ無処理区の72.7%、56.1%で、防除効果は認められなかった（表1）。

くん蒸温度25℃では、くん蒸圧が2気圧および3気圧で、無処理区に比べ脱出幼虫数が少なかったが、それぞれ無処理区の77.5%、70.2%で、防除効果は認められなかった（表1）。

くん蒸温度30℃では、くん蒸圧が1気圧、2気圧および3気圧のいずれにおいても無処理区に比べ脱出幼虫数が少なく、2気圧および3気圧区ではそれぞれ無処理区の2.0%、2.1%となり、100果当たりの脱出虫数も2頭前後と少なかったことから、高い防除効果が認められた（表1）。

表1 クリ果実を炭酸ガスによりくん蒸処理した場合のクリシギゾウムシに対する殺虫効果

試験区		処理時間 (h)	処理果重量 (kg)	クリシギゾウムシ 脱出幼虫数 (頭/100調査果)		葉害*
くん蒸温度 (°C)	くん蒸圧力 (atm)					
20	1	48	4	84.6	(99.5)	—
	2	48	4	61.8	(72.7)	—
	3	48	4	47.7	(56.1)	—
無処理	—	—	4	85.0	(100)	—
25	1	48	4	96.9	(106.0)	—
	2	48	4	70.9	(77.5)	—
	3	48	4	64.3	(70.2)	—
無処理	—	—	4	91.5	(100)	—
30	1	48	4	30.3	(31.5)	—
	2	48	4	1.9	(2.0)	—
	3	48	4	2.0	(2.1)	—
無処理	—	—	4	96.4	(100)	—
35	1	48	4	0	(0)	—
	2	48	4	0.1	(0.2)	—
	3	48	4	0.3	(0.5)	—
無処理	—	—	4	54.8	(100)	—

() 内の数値は、対無処理比を表す。

* 葉害は、鬼皮の変色を指す。

くん蒸温度 35℃では、くん蒸圧が1気圧、2気圧および3気圧のいずれにおいても無処理区に比べ脱出幼虫数が少なく、それぞれ無処理区の0%、0.2%、0.5%となり、100果当たりの脱出虫数も0～0.3頭と少なかったことから、高い防除効果が認められた(表1)。

以上より、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸では、25℃、3気圧以下の条件では実用的な防除効果は得られないが、30℃では2～3気圧条件下で、35℃では1～3気圧条件下で48時間処理した場合にクリシギゾウムシ幼虫に対する高い防除効果が得られると考えられた。

なお、いずれの処理区においても、果実果皮の変色は認められなかった。

2. 炭酸ガスを低温で長時間処理した場合および脱酸素剤を併用した場合のクリシギゾウムシに対する防除効果

2℃、5気圧で7日間くん蒸処理した区および同一処理条件下で脱酸素剤を併用した区の脱出幼虫数は、

表2 フィルム製袋および耐圧容器を利用して低温条件下で炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合のクリシギゾウムシに対する殺虫効果

くん蒸処理日 (2005年)	試験区	処理数	ドライアイス 処理量(g)	タンク 内圧力 (atm)	処理 温度 (℃)	脱酸素剤 の有無	処理 時間 (日)	処理 果重 (kg)	総脱出幼虫数 (頭)
12月7日	処理区	2	157	5	2	無	7	2	6.5 (4.2)
	処理+脱酸素区	3	157	5	2	有	7	2	4.7 (3.0)
	無処理区	1	—	—	室温	—	—	2	155 (100)
12月14日	処理区	1	157	5	2	無	14	2	17 (21.3)
	処理+脱酸素区	1	157	5	2	有	14	2	5 (6.3)
	無処理区	3	—	—	室温	—	—	2	80.0 (100)

()内の数値は、対無処理比を表す。

3. 炭酸ガスによるくん蒸がクリ果実品質に及ぼす影響

1) 試験1

20℃条件下でドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸を行った場合、品種「筑波」ではくん蒸開始時および24時間後の包装内炭酸ガス濃度はそれぞれ85.3%、80.9%で、24時間後も高く保たれていた(表3)。

表3 炭酸ガスくん蒸中の包装内のCO₂濃度およびO₂濃度

くん蒸時間 (時間)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
0	85.3	0.2
24	80.9	0.2

品種：「筑波」

フィルム製袋にクリ果実4kgおよび袋内が1.5～1.8気圧なる量のドライアイスを入れ、シール機でシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。所定時間経過後に、シリンジを用いて袋内の気体を採取し、CO₂およびO₂濃度を測定した。

無処理区に対してそれぞれ4.2%、3.0%で、果実2kg当たりの脱出幼虫数は無処理区の155頭に対してそれぞれ6.5頭、4.7頭と少なく、高い防除効果が認められた(表2)。脱酸素剤の併用が防除効果に与える影響は、判然としなかった。

2℃、5気圧で14日間くん蒸処理した区の脱出幼虫数は、無処理区に対して21.3%で、果実2kg当たりの脱出幼虫数は無処理区の80.0頭に対して17頭と少なく、防除効果が認められた。また、同一処理条件下で脱酸素剤を併用した区の脱出幼虫数は、無処理区に対して6.3%、脱出虫数は5頭と少なく、高い防除効果が認められた(表2)。

以上より、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸を2℃、5気圧の条件下で行った場合、7日間または14日間の処理で防除効果が得られると考えられた。また、14日間処理した場合、脱酸素剤を併用することによりやや高い防除効果が得られると考えられた。

くん蒸中の袋内のエタノールの発生は、測定を開始した6時間後から認められ、「筑波」では48時間後に0.89%、「石鎚」では24時間後に1.10%に達した(表4)。くん蒸中は酸素が消費されなかった(表2)ことから、嫌氣的呼吸によりエタノールが発生したと考えられた。

表4 炭酸ガスくん蒸中の包装内のエタノール濃度

供試品種	くん蒸時間 (時間)	エタノール濃度 (%)
筑波	12	0.22
	24	0.56
	48	0.89
石鎚	6	0.19
	12	0.55
	24	1.10

フィルム製袋にクリ果実4kgおよび袋内が1.5~1.8気圧なる量のドライアイスを入れ、シール機でシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。所定時間経過後に、シリンジを用いて袋内の気体を採取し、エタノール濃度を測定した。

表5 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価(品種「筑波」)

	処理時間		
	無処理	24h	48h
甘味	4.0	2.9	3.0
味	4.0	2.8	2.6
香り	4.0	2.7	2.7
悪臭	4.0	2.7	2.5
酸味	4.0	3.4	3.1
総合評価	4.0	2.6	2.5

表6 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価(品種「石鎚」)

	処理時間			
	無処理	6h	12h	24h
甘味	4.0	4.3	3.8	3.5
味	4.0	4.2	3.4	3.0
香り	4.0	3.8	3.5	2.9
悪臭	4.0	3.9	3.2	3.1
酸味	4.0	4.1	3.6	3.4
総合評価	4.0	4.0	3.2	2.9

フィルム製袋にクリ果実4kg(品種「筑波」および「石鎚」)および袋内が1.5~1.8気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。

無処理区を標準としてその評価値を4とした。18名のパネラーにより評価した。

基準と比較してその前後3段階ずつ、計7段階で評価し、下記に従って採点した場合の平均値を示した。

甘味, 味, 香り, 総合評価

かなり悪い・弱い(1)~標準と同じ(4)~かなり良い・強い(7)

悪臭, 酸味

かなり感じる(1)~標準と同じ(4)~かなり感じない(7)

所定時間くん蒸後に茹でクリにした場合の官能評価は、「石鎚」の6時間処理区のみが無処理区と同程度で、それ以外の処理区では無処理区より劣り商品価値を失った(表5, 表6)。悪臭を感じるとした要因は、主に発酵臭によるものであった。

以上より、20℃条件下で炭酸ガスによるくん蒸を行った場合、クリの品質を損なわないくん蒸時間は6時間までで、それ以上ではエタノールの発生などにより品質が損なわれると考えられた。

2) 試験2

炭酸ガスにより24時間くん蒸処理を行った場合、20℃条件下では、クリらしい香りがやや損なわれる傾向が認められた。悪臭および総合評価の評価値はそれぞれ4.4および3.8と無処理区とあまり変わらなかったが、半数近いパネラーが商品価値はないと評価した。35℃条件下では、外観やクリらしい香り、甘味が著しく損なわれ、強い悪臭が感じられるようになり、商品価値は無いと評価された(表7)。

表7 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価（品種：「筑波」）

	くん蒸処理温度	
	20℃	35℃
外観 (果実の可食部の色)	4.1	3.8
クリらしい香り	3.3	1.8
異臭・悪臭	4.3	5.8
甘味	3.9	2.5
酸味	3.9	4.3
肉質	4.4	4.5
総合評価	3.7	1.6
商品価値	0.6	0

フィルム製袋にクリ果実(品種「筑波」)および袋内が3気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして所定温度に設定した人工気象器内に24時間置いた。

無処理区を標準としてその評価値を4とした。

18名のパネラーにより評価した。

基準と比較してその前後3段階ずつ、計7段階で評価し、下記に従って採点した場合の平均値を示した。

外観、香り、悪臭、甘味、酸味、総合評価：

かなり悪い・弱い(1)～標準と同じ(4)～かなり良い・強い(7)

肉質：かなり粉質(1)～標準と同じ(4)～かなり粘質(7)

商品価値：無し(0)～有り(1)

以上より、炭酸ガスによるくん蒸処理を20℃または35℃の3気圧で24時間行った場合、クリの商品価値が低下することが明らかとなった。特に35℃条件下では、クリの品質が著しく低下して商品価値が完全に損なわれることが確認された。

IV. 考察

ドライアイスを用いた炭酸ガスによるクリのくん蒸試験では、30℃の2気圧および3気圧で48時間処理した場合、35℃の1気圧、2気圧および3気圧で48時間処理した場合、2℃の5気圧で7日間および14日間処理した場合にクリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。一方、炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合、20℃条件下で12時間くん蒸した場合にクリ果実の商品価値が著しく低下し、くん蒸による防除効果が得られる48時間よりも短い時間でも品質が損なわれることが明らかとなった。また、2℃の5気圧で処理するためには、冷蔵、加圧できる新たな設備の導入が必要となるため、実用性は低いといえる。このことから、炭酸ガスによるくん蒸技術を実用化するためには、常温での処理時間を短縮する技術を検討する必要があると考えられた。有効な手段として圧力

を高くすることが考えられるが、そのためには高圧炭酸ガス処理に用いる設備に近い構造や強度が求められることが予想され、そもそも「高価な設備を要しないある程度の高圧条件」という本研究の目標に適さないことになる。

代替技術の導入に伴って設備投資が必要になる場合、本県におけるクリの産出額が15億円、10a当たりの農業所得が4.6万円であることを考慮すると、可能な限りコストを下げなければならない。臭化メチル代替物質の候補の一つであったリン化アルミニウム(特定毒物)の実用性について検討したときは、特定毒物の処理に適合した新たな施設を導入する必要があることが実用化の検討を打ち切った理由の一つであった。

本試験によって、2～3気圧程度の炭酸ガスによるくん蒸でクリシギゾウムシを防除できる処理条件が明らかになった。しかし、炭酸ガス処理が果実品質に及ぼす影響や、くん蒸施設の開発・導入にかかるコスト、さらに代替技術の開発には迅速性が求められていることなどを考慮すると、クリシギゾウムシに対する炭酸ガスによるくん蒸処理は、臭化メチル剤によるくん蒸の代替技術としては有効でないと考えられた。

V. 摘要

クリのクリシギゾウムシに対する臭化メチルによるくん蒸の代替技術として、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸の防除効果および果実品質に及ぼす影響について検討した。

1. 30℃の2気圧および3気圧で48時間処理した場合、35℃の1気圧、2気圧および3気圧で48時間処理した場合に、クリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。
2. 2℃の5気圧で7日間および14日間処理した場合に、クリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。
3. 炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合、6時間後には果実からアルコールの発生が認められ、食味低下に影響した。
4. 炭酸ガスによるくん蒸処理がクリ果実の商品価値に影響を及ぼさない処理時間は、20℃条件下で6時間までで、それ以上では果実の商品価値が著しく低下した。

謝辞 本研究を実施するにあたり、臨時職員の安部栄子氏、久保田光江氏、津曲光子氏および友部まさ子氏には多大なご協力を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 平野耕治・中北宏. 高圧炭酸ガスによる貯蔵食品害虫の新駆除法. 植物防疫. 49:24-28.
- 神尾真司. 2007. 温湯消毒機を用いたクリの温湯浸漬処理によるクリシギゾウムシの防除. 岐阜県普及に移す技術.
- 川上房男. 1995. 二酸化炭素くん蒸による貯蔵穀類の植物検疫消毒法. 植物防疫. 49:506-510.
- 宮ノ下明大. 2003. 高圧炭酸ガスを用いたクリシギゾウムシの防除. 果実日本. 58:40-43.
- 大竹恵乃・草野尚雄・中村善二郎・長塚久. クリシギゾウムシに対するヨウ化メチルくん蒸の効果. 茨農総七園芸研究所研究報告. 14:53-58.