

パパイヤの蒸熱処理

—— ウリミバエの殺虫とパパイヤの熱障害 ——

砂川 邦男・久米加寿徳・石川 昭彦
岩泉 連

那覇植物防疫事務所国内課

杉本 民雄・田辺 和男

横浜植物防疫所調査課

Efficacy of Vapor Heat Treatment for Papaya Fruit Infested with Melon Fly, *Dacus cucurbitae* (COQUILLET) (Diptera: Tephritidae). Kunio SUNAGAWA, Kazunori KUME, Akihiko ISHIKAWA and Ren IWAIZUMI (Domestic Section, Naha Plant Protection Station), Tamio SUGIMOTO, and Kazuo TANABE (Yokohama Plant Protection Station). *Res. Bull. Pl. Prot. Japan* 25: 23-30 (1989).

Abstract: A vapor heat treatment, for 30 minutes at $45.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, was developed as a plant quarantine procedure for papaya, *Carica papaya* L., against melon fly, *Dacus cucurbitae* COQUILLET. The temperature of papaya fruits was risen in unsaturated water vapor. Melon flies infesting fruits were killed completely without thermal injuries of fruits.

はじめに

ウリミバエ (*Dacus cucurbitae* COQUILLET) の発生している地域からは、その寄主となる植物の生果実類は未発生地域への移動が禁止されている。

しかし、一部の植物については、消毒方法を開発することによって、条件付きで移動が解禁されている。

近年、EDB はくん蒸後の残留値に規制措置がきびしくとられたため、インゲンマメ、パパイヤ、メロン等は代替消毒技術の開発が必要となった。

このような背景から、パパイヤのEDBくん蒸に代わる消毒方法として、蒸熱処理の実用化の可能性について検討するため、パパイヤに寄生したウリミバエの殺虫試験及び果実に対する障害試験を行なった。

本文に先立ち、貴重な御助言をいただいた、日本くん蒸技術協会井上亨氏(元那覇植物防疫事務所長)、大阪植物防疫協会和气彰氏(前那覇植物防疫事務所長)、那覇植物防疫事務所上地穰国内課長に対し感謝の意を表す。また、果実の入手に当り、種々の協力をいただいた沖縄県経済連園芸部、沖縄県パパイヤ生産組合、並びに(有)三島商事の方々に厚く御礼申しあげる。

I. 基礎試験

実用化試験に先立ち、殺虫試験ではパパイヤ(*Carica*

papaya L.) に寄生した状態でウリミバエの蒸熱に対する耐熱性について調査して最も抵抗性の強いステージを選びだし、障害試験では障害の発生の少ない処理条件を見い出だすために基礎試験を実施した。

使用機材および材料

1) 蒸熱処理装置

試験に使用した蒸熱処理装置は、三州産業製 EHK-500A 型で、処理室の内容積は 0.5 m^3 ($95 \times 75 \times 80 \text{ cm}$) である。この装置の温度制御の精度は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、処理庫内温度分布は $\pm 0.4^\circ\text{C}$ であり、湿度は 95% 以上で作動する。

2) インキュベータ

試験に使用したインキュベータはサンヨーの MIR-150 型で、内容積は 0.126 m^3 である。試験中は湿度を保つため庫内底部に水を張ったバットを置いた。この装置の温度制御の精度は庫内温度が $30 \sim 40^\circ\text{C}$ の範囲においては $\pm 0.6^\circ\text{C}$ であった。庫内温度及び果実温度の測定はサーミスター温度計を使用した。

3) 供試虫

八重山群島竹富町で採取したウリミバエで、当所のミバエ飼育室内 ($27 \pm 1^\circ\text{C}$, 湿度 $75 \pm 5\% \text{ R.H.}$) で人工飼育により累代 (43 世代) 飼育した成虫から採卵して得た。

4) 供試果実

沖縄県内で栽培されているパパイヤは交雑種が多く、固定されている品種は少ない。供試果実は品種不明の交雑種を使用した。

方 法

1. 殺虫試験

1) 寄生果の調製

ウリミバエの各ステージの寄生果は、次のようにして得た。

- 1 日齢卵：処理前日採卵し、パパイヤ1果当り200卵埋め込んだ。寄生果実は処理するまで27℃の試験室内に保管した。
- 1 齢幼虫：処理予定日の2日前に採卵した。以下1日齢卵と同じ。
- 2 齢幼虫：処理予定日の3日前に採卵した。以下1日齢卵と同じ。
- 3 齢幼虫：処理予定日の5日前に採卵し、人工培地で飼育して処理前日にパパイヤ内に1果当り幼虫100頭埋め込み、処理するまで27℃の実験室内に保管した。

2) 蒸熱処理

処理庫内の温度を44℃とし、試験区は果実中心温度が43℃以上になってから0分間(43℃に達した時点)、20分間、40分間、60分間、80分間、及び100分間処理する処理区と無処理区の7区とした。

3) 殺虫効果の調査

処理した果実は、蒸熱処理終了後、無処理区と同様に砂を敷いた保管箱(5面ポリエステル布張、45×45×45cm、以下「保管箱」)に入れて、27℃で保管した。処理効果の判定として、3齢幼虫は処理後2日目に、その他は無処理区の果実に寄生している幼虫が老熟幼虫になっていることを確認した後、果実を切開して生存虫数を計数した。

4) 果実温度の測定

果実中心温度は、果実の中央空間部を測定した。これは、予備試験で幼虫がパパイヤの中心部に集まって死んでいたことや、果実内でもっとも温度の上昇が遅い部分と考えられたからである。また、この温度測定用果実は処理庫の中央部に配置した。

2. 果実障害試験

今回の試験に先立ち実施された予備試験結果(未発表)からパパイヤは蒸熱に対して弱い果実であり、蒸熱障害を少なくするためには、蒸熱処理直前に果実温

度を上げておく前処理が必要と判断した。

蒸熱処理条件(果実中心温度が45℃に達してから30分間処理)は一定にして、前処理条件を変えた試験区を次のように設けた。

- ① 蒸熱処理(庫内温度46.0℃、95% R.H.以上)のみを行った区
- ② インキュベータの庫内温度を35、38、及び40℃にそれぞれ設定し、湿度70~80% R.H.で果実を16時間処理した区
- ③ インキュベータの庫内を常に70~80% R.H.に保ち、温度を室温から2時間おきに3℃ずつ43℃まで、6時間または8時間かけて上昇(以下「シフト上昇」)させて果実を処理した区
- ④ 蒸熱処理装置を使用して庫内を常に95% R.H.以上に保ち、温度を43℃まで8時間かけてシフト上昇させて果実を処理した区

処理後の供試果は30℃前後の室温に保管し、果実が食べ頃に追熟した時点で、果実の外観、果肉の変化、果実の重量、糖度、及び食味について調査を行った。

結 果

1) 殺虫試験

パパイヤに寄生したウリミバエの1日齢卵、1齢幼虫、2齢幼虫、3齢幼虫の処理時間と殺虫効果については、第1表に示した。

殺虫効果は、1日齢卵では60分間処理区で0.17%の生存虫がみられたが、80分間以上処理した区には生存虫はみられなかった。1齢幼虫は、処理時間が最も長い100分間処理区まで生存虫がみられた。2齢幼虫は80分間区、3齢幼虫は40分間処理区まで生存幼虫がみられた。

以上の結果から、パパイヤに寄生した状態のウリミバエの蒸熱処理に対する耐性は1齢幼虫が最も強いと考えられた。このことから実用化試験では、ウリミバエの1齢幼虫を用いることにした。

2) 障害試験

各試験区のパパイヤに与える影響については第2表に示した。これまでの予備試験結果から、蒸熱による障害はパパイヤ果実内の果肉が硬くなる状態や果肉が分離する状態(果肉の硬い部分と軟らかい部分が分離して変色する)が知られている。

蒸熱処理のみを行った区では、重量減少や外観等に

第1表 処理時間とウリミバエの生存率

処理区	供 試 ス テ ー ジ			
	1日齢卵	1齢幼虫	2齢幼虫	3齢幼虫
無 処 理	71.08%	80.58%	77.50%	85.33%
43°C— 0分	39.58	48.58	38.92	42.17
— 20分	11.33	29.50	22.58	1.17
— 40分	0	36.33	5.50	0.17
— 60分	0.17	4.67	4.75	0
— 80分	0	2.83	0.08	0
—100分	0	6.42	0	0

注) 1処理区につき3果使用した。試験は2反復行った。

第2表 基礎障害試験結果

試験区	前処理条件			反復回数	蒸熱処理の区別	調査果数	果肉の硬さ ¹⁾			食 味 ²⁾			果実の重量減少(%)	糖度(Brix%)		
	庫内温度(°C)	時間	庫内湿度				軟	普	硬	良	普	悪				
①	前処理なし			3	無処理	15	93%	0%	7%	67%	13%	20%	6.0	10.5		
							28	15	57	13	15	72			6.6	11.4
②	一定 ³⁾ 35°C	16 hr	70~80%	2	無処理	9	78	11	11	78	11	11	6.6	—		
							30	45	25	30	45	25			6.8	—
							100	0	0	80	20	0			5.8	—
							50	30	20	60	30	10			6.8	—
③	シフト上昇 ⁴⁾	6	"	1	無処理	5	100	0	0	60	0	40	5.2	10.5		
							100	0	0	50	50	0			5.2	10.4
④	"	8	95%以上	1	処理	10	90	10	0	80	0	20	5.9	11.0		
							30	30	40	50	10	40			4.4	11.7

注) 試験区の6と7の無処理区は、5のものと同じ

- 1) 果肉の硬さ 軟: 果肉はやわらかい 普: 果肉は少し硬く硬く感じるが食用に適すもの 硬: 果肉はあきらかに硬く食用に適さないもの
- 2) 食 味: 良: 非常においしいもの 普: おいしいもの 悪: おいしくなく食用に適さないもの
- 3) 一 定: 庫内温度を設定温度で一定に保つ
- 4) シフト上昇: 庫内温度を46°Cまで徐々に上昇させる方法(第1図参照)

は無処理区と差は見られなかったが、50%以上の果実に果肉が硬くなる等の障害が現れた。また、95%以上の湿度で前処理を行った区でも果肉が硬くなる等の障害が現れた。前処理条件の庫内温度が35°C及び38°Cの区では、蒸熱障害発現は少ない傾向にあったが、完全に抑えることはできなかった。庫内湿度が70%~80%で庫内温度を43°Cまで6時間または8時間かけてシフト上昇させた区では、果肉が硬くなる等の蒸熱障害はほとんど見られなかった。

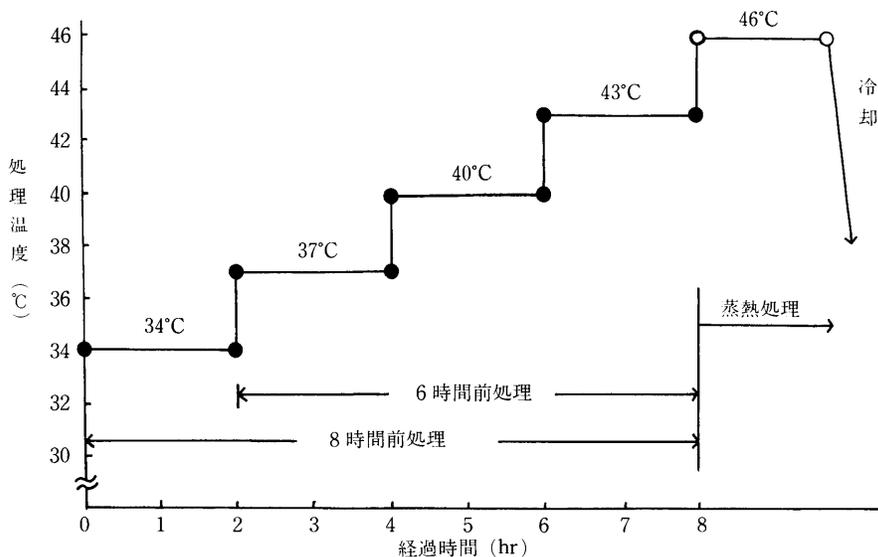
重量減少や糖度等については、前処理の有無に関係なく蒸熱処理による差はなかった。

以上の基礎試験の結果から蒸熱障害を抑える方法

は、蒸熱処理を行う前に湿度が70~80% R.H.の状態ですらに庫内温度を上昇させる必要があると思われた。

実用化試験では、前処理条件を庫内温度が43°Cまで6又は8時間かけてシフト上昇させる処理を行った後、蒸熱処理により果実中心温度が45°Cに達してから30分処理する方法を中心に検討していくこととした。

この処理方法のモデル図を第1図に示した。



第1図 シフト上昇による前処理及び蒸熱処理の庫内温度上昇モデル

II 実用化試験

試験機材および材料

1) 蒸熱処理装置およびインキュベーターは基礎試験に使用したものと同一。

2) 供試虫

糸満市喜屋武で採集し、当所のミバエ飼育室内で人工飼料により累代(26世代)飼育した成虫から採卵して得た。

方 法

1. 殺虫試験

1) 供試果実

供試果実は、沖縄本島産の交雑種で熟度は果実表面が50%以上黄色に着色した果実を供試した。果実重量は500~900gのものをを用いた。供試果実数は、無処理区が1反復5果で3反復の合計で15果、処理区は1反復10果で3反復の合計で30果とした。

2) 供試果実の調製

自然産卵法と埋め込み法の2種類の方法で行った。

自然産卵法

供試果実は、昆虫針で数箇所穴を開けて、ウリミバエ成虫が約3,000頭入っている飼育箱(5面サランネット張り、32×45×40cm、以下「飼育箱」)に入れ、自然産卵させ、その後実験室内(27°C)で2日間保管した後1齢幼虫で供試した。

埋め込み法

飼育箱の中に、カボチャの果汁を入れた人工採卵器(一戸ら、1976)を置き、約1時間産卵させた後、卵を回収した。供試果実は、メスでパパイアの果肉を三角形に切り取って、その部分に卵を1果当り1,500卵ずつ埋め込み、切り取った切片を戻してふたをした。その際ミバエが窒息しないように通気孔を開けた。通気孔は蒸熱処理時には密閉して、卵を果実が自然果に近い状態になるように配慮した。埋め込んだ果実は、2日間実験室(27°C)で保管した後処理した。

3) 蒸熱処理

1齢幼虫を寄生させた果実を各区ごとにゴース袋に入れて脱虫防止をした後、前処理(湿度70~80% R.H., 庫内温度は43°Cまで6時間かけてシフト上昇)(第1図)を行うためにインキュベーターに入れた。前処理終了後、あらかじめ果実温を42°C前後に上げておいた充填用果実と混合して蒸熱処理専用果実箱(36×50×15cm、以下「果実箱」)に均等になるように入れ、蒸熱処理庫に収容後、処理庫内温度46°C(湿度95~100% R.H.)の定値制御で、果実温が45°Cになってから30分の処理をした。処理は、果実箱を8箱(2列、4段重ね)配置し、果実収容量は140kg/m³で行った。

4) 殺虫効果の調査

処理した果実は、無処理区と同様に砂を敷いた保管箱にいれ、実験室(27°C)に保管した。果実は10日間の保管を行った後、砂中の蛹数を調査した。また、果実も全て入念に切開調査した。

第3表 殺虫試験結果

(果実収容量 140 kg/m³)

反復	供試果作製法	無処理区			処理区				殺虫率
		供試果数	供試虫数	踊化数	供試果数	供試虫数	補正供試虫数	踊化数	
1	埋め込み	5	7,500	5,708	10	15,000	11,416	0	100%
2	〃	5	7,500	5,484	10	15,000	10,968	0	100%
3	自然産卵	5	—	5,007	10	—	10,014	0	100%
合計		15		16,199	30		32,398	0	

2. 障害試験

1) 供試果実

供試果実は、沖縄本島産のソロ種、台農2号及び交雑種、南大東産の在来種、宮古島産の交雑種(台農2号×在来種)を用いた。果実の熟度は、果実表面の黄色の割合で区分し、0~100%の果実を用いた。果実の重量はサイズの異なるものを用い、小さい果実は202g、大きいものは2,040gであった。

パパイアは生食用のほかに、未熟な果実を調理・加工して利用することが多い。このため沖縄本島産及び南大東産の在来種の未熟な果実を調理用果実として供試して、蒸熱処理の影響を調べた。

2) 蒸熱処理

6時間または8時間の前処理終了後、蒸熱処理を行って、果実温度が45℃に達してから30分の処理をした。処理後は25~30℃で保管した。また、蒸熱障害の発現を比較するため、前処理をしない区及び輸送の事も考慮に入れて、処理後の保管を1日間10℃に置き、その後25~30℃に保管する区を設けた。

3) 障害調査

果物用は、食べ頃になった時点(3~5日後)で、果肉の外観、糖度、重量減少率、果肉の硬さ及び食味について調査した。調理用については、7~8日後に硬度、重量減少率、果肉及び種子の色の変化を調査した。硬度は池本理化工業(株)製の硬度計を使用して計測した。

結 果

1. 殺虫試験

パパイアに寄生した1齢幼虫の殺虫試験の結果は第3表のとおりである。埋め込みによる殺虫数は1回目10果11,416頭、2回目10果10,968頭であり、3回目の自然産卵させたパパイアの殺虫数は、10果10,014頭と

なった。大量殺虫試験によって、合計32,398頭の供試虫を1頭の生存虫もなく、完全に殺虫することができた。

2. 障害試験

結果を第4,5表に示した。

1) 重量変化

処理前日及び当日から調査日までの重量減少率を測定した結果、処理区、無処理区間に差は見られなかったことから、前処理及び蒸熱処理による影響はないと考えられる。

2) 糖度

果汁を採取してアップ屈折計(ブリックス%)により糖度の測定を行った結果、処理区、無処理区間に差は見られなかった。供試パパイアの糖度は9~13%の範囲のものが多く、極端に低い果実は4.5%、高い果実は16.3%と範囲が広く、個体差が大きかった。

3) 果肉の硬さ

果肉の硬さの調査は、スプーンの入具合及び歯応えによって行った。前処理なしで蒸熱処理を行った場合、果肉全体が未熟果のように硬くなったり、柔らかい部分と硬い部分の分離が見られたり、果肉のかたまりが口の中に残るといったような蒸熱障害が見られた。

今回、蒸熱処理前に6時間又は8時間の前処理(第1図)を行ったものでは、どちらも無処理区と変わらない肉質が得られた。また、処理時に熟度の異なる果実についても調査したが差は見られなかった。

4) 食味

食味調査は基礎試験から引き続き一貫して同じメンバーが行った。蒸熱処理前に6時間又は8時間の前処理を実施した区ではほぼ無処理区と変わらない結果が得られた。味の劣る果実は処理区及び無処理区のいずれにも同程度見られており、処理による影響はないと考えられた。第5表に見られるように前処理なしの区には、果肉硬くならなかった果実でも悪臭を有する果

第4表 前処理¹⁾を行った品種(産地)間の比較 (果実中心温度 45°C・30分間)

品種(産地)	反復	蒸熱処理 の区別	調査 果数	果肉の硬さ ²⁾			食 味 ²⁾			果実の重量 減少(%)	糖度 (Brix%)
				軟	普	硬	良	普	悪		
交雑種	1	無処理	3	100%	0%	0%	100%	0%	0%	3.1	—
台農2号		処 理	4	100	0	0	75	0	25	4.2	—
×在来種	2	無処理	5	100	0	0	100	0	0	3.1	10.2
(宮古島)		処 理	5	100	0	0	100	0	0	4.1	10.0
交雑種	1	無処理	5	100	0	0	80	20	0	5.2	8.5
		処 理	5	100	0	0	80	20	0	6.3	7.9
(沖縄本島)	2	無処理	5	100	0	0	60	20	20	2.9	8.3
		処 理	5	100	0	0	60	40	0	4.5	11.0
在来種	1	無処理	5	100	0	0	100	0	0	4.9	12.0
		処 理	5	100	0	0	100	0	0	5.6	11.7
	2	無処理	5	100	0	0	100	0	0	7.8	11.0
		処 理	10	100	0	0	100	0	0	6.1	12.7
(南大東島)	3	無処理	10	100	0	0	100	0	0	4.7	—
		処 理	10	100	0	0	100	0	0	7.0	—
	4	無処理	5	100	0	0	100	0	0	4.1	—
		処 理	10	100	0	0	70	20	10	5.7	—
ソロ種	1	無処理	5	80	20	0	40	60	0	11.2	—
		処 理	5	80	20	0	0	100	0	11.7	—
(沖縄本島)	2	無処理	5	100	0	0	100	0	0	6.9	14.0
		処 理	10	100	0	0	90	10	0	7.6	14.5
台農2号	1	無処理	5	60	40	0	80	20	0	5.7	10.6
(沖縄本島)		処 理	10	100	0	0	100	0	0	6.6	10.8

1) 70~80%R.H.で43°Cまで6時間でシフト上昇

2) 果肉の硬さ, 食味の分類は第2表と同じ

第5表 前処理の有無の比較 (果実中心温度 45°C・30分間)

品種(産地)	蒸熱処理 の区別	前処理条件 ³⁾	調査 果数	果肉の硬さ ¹⁾			食 味 ¹⁾			果実の重量 減少(%)	糖度 (Brix%)
				軟	普	硬	良	普	悪		
在来種	無処理	—	5	100%	0%	0%	100%	0%	0%	7.8	11.0
(南大東島)	処 理	なし	7	0	29	71	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	6.3	—
	処 理	6時間	10	100	0	0	100	0	0	6.1	12.2
交雑種	無処理	—	3	100	0	0	100	0	0	3.1	—
台農2号	処 理	なし	2	0	0	100	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	4.8	—
×在来種	処 理	6時間	4	100	0	0	100	0	0	4.2	—
(宮古島)											

1) 果肉の硬さ, 食味の分類は第2表と同じ

2) 果肉が硬く, 悪臭もあったので食味調査はおこなはなかった

3) 70~80%R.H.で43°Cまでシフト上昇

第6表 処理後の保管条件の違いによる比較 (果実中心温度 45°C・30分間)

処理後の保管条件	蒸熱処理の区別	前処理条件 ²⁾	調査果数	果肉の硬さ ¹⁾			食味 ¹⁾			果実の重量減少 (%)	糖度 (Brix%)
				軟	普	硬	良	普	悪		
20~30°C	無処理	—	5	100%	0%	0%	100%	0%	0%	7.8	11.0
	処理	6時間	10	100	0	0	100	0	0	6.1	12.2
	処理	8時間	10	100	0	0	100	0	0	6.3	12.3
10°Cに1日保管後	無処理	—	5	100	0	0	100	0	0	4.9	12.0
	処理	6時間	5	100	0	0	100	0	0	5.6	11.7
	処理	8時間	10	100	0	0	100	0	0	16.2	11.8

1) 果肉の硬さ, 食味の分類は第2表と同じ

2) 70~80%R.H.で43°Cまでシフト上昇

第7表 調理用果実の障害試験 (果実中心温度 45°C・30分間)

品種(産地)	蒸熱処理の区別	前処理条件 ²⁾	調査果数	硬度 (kg) ¹⁾		果肉および種子の色	重量減少率 (%)	
				処理前	処理後			
在来種 (南大東島)	無処理	—	5	—	—	無処理区と差はなし	5.0	
	処理	8時間	5	—	—	〃	5.4	
	〃	無処理	—	5	—	—	〃	5.8
	〃	処理	なし	5	—	—	〃	5.5
在来種 (沖縄本島)	無処理	—	5	1.0	0.92	〃	6.5	
	処理	6時間	5	1.0	0.98	〃	5.6	
	〃	無処理	—	5	1.0	0.96	〃	6.0
	〃	処理	なし	5	1.0	0.98	〃	5.7

1) 硬度計の最大加圧重は1kgのためそれ以上は1.0とした

2) 70~80%R.H.で43°Cまでシフト上昇

実があった。

5) 品種(産地)の差

第4表に示したように, 品種(産地)間で果実の硬さや食味に差は見られなかった。

6) 処理後の保管温度

第6表に示したように, 処理後25~30°Cで保管した区と処理後10°Cに1日保管した後25~30°Cで保管した区の比較を行ったが, 果実の硬さや食味に差は見られなかった。

7) 調理用果実

第7表に示したように前処理の有無と関係なく, 処理区, 無処理区間に重量減少率, 硬度, 果肉及び種子の色に差は見られなかった。

考 察

基礎試験で得たウリミバエの殺虫及び障害試験の結果をもとにして, 実用化試験を行った。

大量殺虫試験では, 処理果実に1頭の生存虫もなく, 合計32,398頭の供試虫が完全に殺虫された。この結果から果実中心温度が45°Cになってから30分間処理することによってパパイアに寄生したウリミバエを完全に殺虫できると判断された。

障害試験において, 果物用果実は, 蒸熱処理をする前に70~80%R.H.で6時間又は8時間かけて庫内温度を上げる前処理をすることにより処理区, 無処理区間に, 果肉の硬さ, 重量減少率, 糖度, 食味の差は見られなかった。未熟で追熟を必要としない野菜用果実

殺虫・障害試験の結果から、前処理（湿度 70～80% R.H. 庫内温度を 43℃ まで 6 時間でシフト上昇）を行った後、蒸熱処理（90% R.H. 以上、庫内温度 46.0±0.5℃、果実収容量 140 kg/m³）で果実中心温度が 45℃ になってから 30 分間処理を行うことによって、ウリミバエが発生している地域のパイアヤを未発生地域へ移動することが可能であると考えられる。

引用文献

一戸文彦・竹内秀健・尊田望之（1976） ウリミバエの

産卵数 植防研報 13：60-63.

杉本民雄・古沢幹士・溝淵三必（1983） ピーマンの蒸熱処理によるミカンコミバエの殺虫および障害試験. 植防研報 19：81-88.

砂川邦男・久米加寿徳・岩泉 連（1987） マンゴウの蒸熱処理 植防研報 23：13-20.

砂川邦男・久米加寿徳・石川昭彦・杉本民雄・田邊和男（1988） ツルレイシの蒸熱処理 植防研報 24：1-5.