

蒸熱処理装置の原理と特性



蒸熱消毒研究会

封鎖・殺菌の自動化技術

目 次

1. まえがき	3
2. 蒸熱処理装置の原理	
1. 差圧方式	5
2. 吹込方式	10
3. 水平気流棚方式	11
3. 差圧方式の特性	12
果実別果実センサーの差し方	14

食料加工技術

【写真提供】
三州産業株式会社
株式会社竹中工務店
株式会社ダイヤモンドスター

1 まえがき

ミカンコミバエ種群、ウリミバエ、チチュウカイミバエ等は生果実の大害虫として世界的に有名で、未発生国は厳重な植物検疫を行って、これらミバエ類の侵入阻止に努めています。

植物検疫で最も厳しい処置は、その害虫の寄主植物の輸入を禁止することですが、輸出国が完全な殺虫技術を確立した場合、一定の処理を条件に輸入を認めるというのが世界のすう勢です。現在、生果実を対象としたミバエ類の殺虫には主に蒸熱処理及び低温処理の二つが利用されており、それぞれ生果実に適した処理方法が選ばれています。

蒸熱処理が植物検疫の処理方法として初めて取り上げられたのは1929年(昭和4年)のことで、アメリカ合衆国フロリダ州にチチュウカイミバエが侵入し、まん延を防止する措置として、同州から他州へ移動する生果実を全て蒸熱で処理することになったものです。日本の植物検疫で蒸熱処理が初めて登場したのは1969年(昭和44年)のことで、ハワイ産パパイヤの輸入を解禁するための措置でした。蒸熱処理基準はアメリカの試験結果を受け入れたものですが、日本の輸入検査で生きたミバエ幼虫が発見され、解禁後間もない1970年(昭和45年)に蒸熱処理が中止されました。

その後は、当時のもう一つの処理方法であったEDB剤によるくん蒸方法に移行しましたが、本剤も人の健康に害を及ぼす恐れがあるとの理由で1980年代(昭和55年)の前半に使用中止となり、再び蒸熱処理が登場しました。

再登場した蒸熱処理装置は“差圧方式”と呼ばれ、差圧を利用して強制的に空気の流れを作り、果実と果実の間の全ての隙間を差圧により蒸熱を通過させ、すべての果実にむらなく蒸熱が作用する方式が採用されました。この蒸熱処理装置はハイテク機器が装備され、高性能の温度センサーや温度を0.1℃、湿度を1%刻みで正確に制御できるコンピューターが組み込まれており、日本のメーカーにより開発されたものです。現在、蒸熱処理を条件に日本に輸入されているほとんどの生果実は、この方式の処理装置で処理されています。

ハワイ産パパイヤの解禁以降、マンゴウ、イエローピタヤ、マンゴスチン、レイシ等の品目や輸出国が増える中で、事故もなく長年にわたり蒸熱処理が行われてきました。しかし、残念なことに、2002年(平成14年)にフィリピン産パパイヤからミカンコミバエの生きた幼虫が発見される事故が発生しました。この原因は、施設側が蒸熱処理装置メーカーの保守管理を無視して補修改造を行い、十分な性能が確保されないまま使用されていたことが事故の発生につながったものと考えられています。

蒸熱消毒研究会では、わが国で開発された蒸熱処理機について理解を深めていただくため、差圧式蒸熱処理装置の原理、従来の吹込式や水平気流棚方式処理装置との相違点等について解説書を作成しました。本資料が関係者の参考になれば幸いです。

なお、わが国が蒸熱処理を条件に輸入を認めている生果実は、2008年(平成20年)8月現在、次表のとおりです。

品目	国名又は地域名	解禁年次	品 種	処 理 基 準
パパイヤ	ハワイ	昭和44年	ソロ種	飽和蒸気で生果実の中心温度が47.2℃になるまで処理
	フィリピン	平成6年	ソロ種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で70分間処理
	台湾	昭和57年	ソロ種	相対湿度40～60%の条件下で、生果実の中心温度が一定の上昇率で43℃まで上げ、引き続き飽和蒸気により中心温度が47.2℃になるまで処理
マンゴウ	フィリピン	昭和50年	マニラスーパー種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で10分間処理
	タイ	昭和62年	ナンカンワン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、46.5℃以上で10分間処理 生果実の中心温度を一定の上昇率で43℃に上げ、その後飽和蒸気で、生果実の中心温度を47℃にし、47℃で20分間処理
			ナンドクマイ種 ビムセンダン種 ラッド種 マハチャノ種	飽和蒸気で生果実の中心温度を一定の上昇率で43℃に上げ、その後、生果実の中心温度を47℃にし、47℃で20分間処理
			アーヴィン種 ハーティン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、その温度以上で30分間処理
	台湾	昭和57年	アーヴィン種 ハーティン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、その温度以上で30分間処理
	オーストラリア	平成6年	ケンジントン種 R2E2種 ケイト種 ケント種 バルマー種	飽和蒸気で生果実の中心温度を47℃にし、47℃以上で15分間処理
	ハワイ	平成12年	ケイト種 ヘイデン種	飽和蒸気で生果実の中心温度が47.2℃になるまで処理
インド	平成18年	アルフォンソ種 ケサー種 チョウサ種 バンガンバリ種 マリカ種 ラングラ種	飽和蒸気で段階的に庫内温度を50℃以上とし、生果実の中心温度を47.5℃にし、47.5℃以上で20分間処理	
イエローピタヤ	コロンビア	平成11年		飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で20分間処理
マンゴスチン	タイ	平成15年		相対湿度50～80%の蒸気を利用して、一定の上昇率で43℃に上げ、その後飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で58分間処理
レイシ	台湾	昭和55年		(1) 蒸熱処理 飽和蒸気で生果実の中心温度を30℃から41℃まで45分以内で直線的に上げ、その後生果実の中心温度を46.2℃にし、46.2℃以上で20分間処理 (2) 低温処理 蒸熱処理終了後、6時間以内に生果実の中心温度を2℃にし、2℃42時間低温処理
	中国	平成6年		(1) 蒸熱処理 飽和蒸気で生果実の中心温度を30℃から41℃まで50分以内で直線的に上げ、その後生果実の中心温度を46.5℃にし、46.5℃以上で10分間処理 (2) 低温処理 蒸熱処理終了後、6時間以内に生果実の中心温度を2℃にし、2℃で40時間低温処理

2 蒸熱処理装置の原理

1. 差圧方式

●三州産業(株)製

a) パネルタイプ

生果実を積み込んだ底に孔の開いたプラスチック製のカゴを積み上げて煙突状の処理槽を作ります。この上部に軸流ファンを乗せたラッパ状のフードをかぶせ、ファンを作動させることによって1つの差圧ユニットにします。この差圧ユニットを温湿度コントロールされた空気が循環しているパネル処理庫の中に複数設置してあるのがパネル方式の蒸熱処理装置です。

通常1つのユニットにカゴを42個(1面6個の7段積)セットします。

標準的なマンゴウで1ユニット当たり約530kg処理できます。

1つのパネル処理庫に設置する差圧ユニットの数により、1バッチ当たりの処理量が決まってきます。(差圧ユニット10組の場合、 $530\text{kg} \times 10\text{組} = 5,300\text{kg}$ /バッチ)

但し、1バッチ当たりの処理量が少ない場合は、果実をセットした差圧ユニットのファンのみ作動させることにより無駄のない処理ができます。

b) コンテナタイプ

パネルタイプと同じプラスチック製のカゴを積み上げ煙突状の処理槽を作ります。このユニットをコンテナ状の処理庫に複数セットし、複数個の差圧ファンを作動させることにより温湿度コントロールされた空気が処理庫全体の各ユニット内の果実を包み込みます。コンテナ方式の場合、処理庫全体が差圧となります。

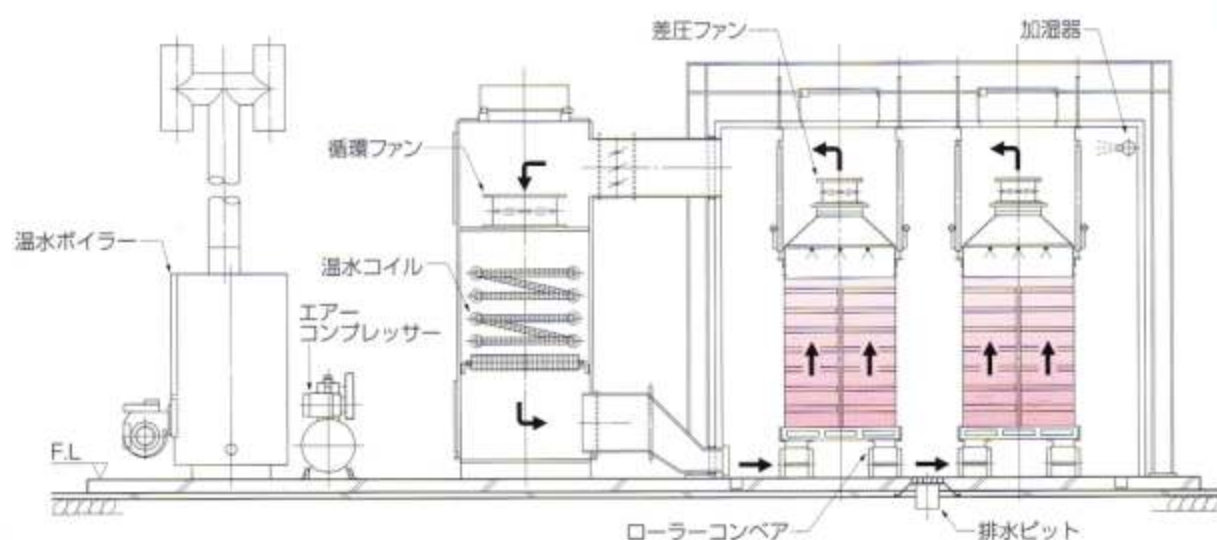
1つのユニットにカゴを36個(1面6個の6段積)セットします。

標準的なマンゴウで1ユニット当たり約460kg処理できます。

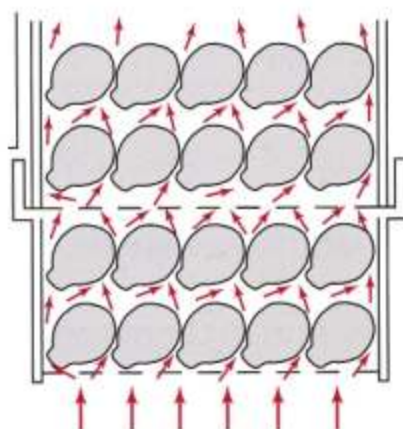
1つのコンテナ処理庫に設置するユニットの数により、1バッチ当たりの処理量が決まってきます。(ユニット10組の場合、 $460\text{kg} \times 10\text{組} = 4,600\text{kg}$ /バッチ)

1バッチ当たりの処理量が少ない場合は、各ユニットの積み込み量を減らし各ユニットの積み込み量を均一にして処理します。

三州産業（株）製の蒸熱処理装置の概略

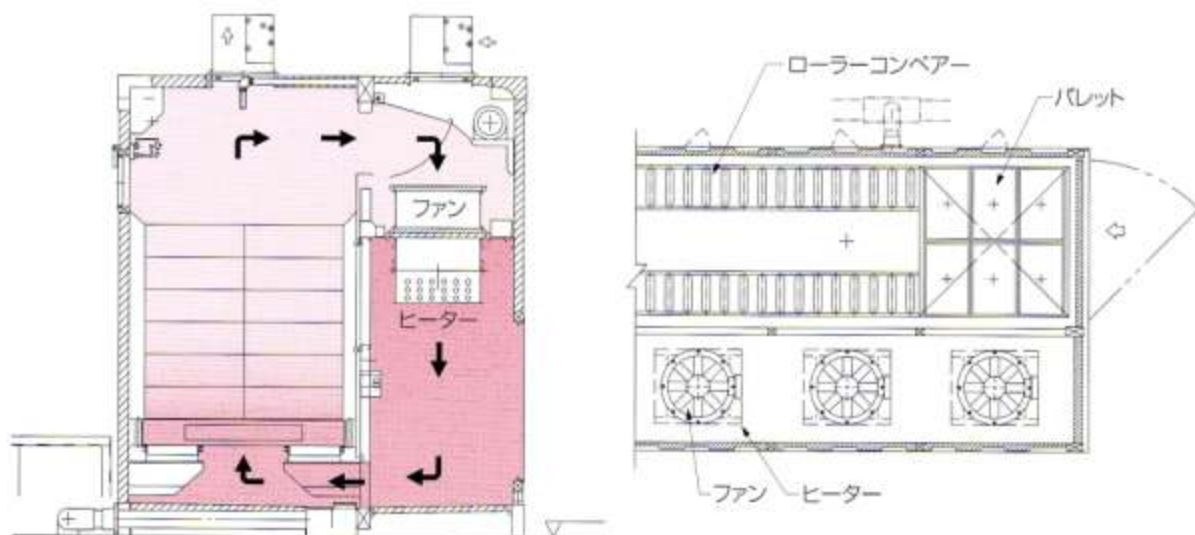


パネル型 EHK-500MP



■パネルタイプ

形式	EHK-500MP	EHK-1000MP	EHK-1200MP	
処理量(マンゴウの場合)	5,000Kg/回	7,500Kg/回	9,000Kg/回	
処理パレット数	10パレット	15パレット	18パレット	
処理室(mm)	L4,200×W7,200×H3,500	L6,000×W7,200×H3,500	L6,000×W8,400×H3,500	
性能	温度範囲	室温+10℃～60℃		
	湿度範囲	55%～95%RH		
	温度調節幅	0.1℃		
	湿度調節幅	0.1%RH		
定格	電源	3Φ 50/60Hz 200V		
	最大消費電力	94Kw	140Kw	150Kw
	最大消費水量	116 ℓ/hr.(蒸熱時)	165 ℓ/hr.(蒸熱時)	194 ℓ/hr.(蒸熱時)
		630 ℓ/min.(冷却時)	945 ℓ/min.(冷却時)	1134 ℓ/min.(冷却時)
最大消費油量	20.0 ℓ/hr.(蒸熱時)	26.4 ℓ/hr.(蒸熱時)	40.7 ℓ/hr.(蒸熱時)	



コンテナ型 EHK-200MC

■コンテナタイプ

形式		EHK-230MC	EHK-460MC
処理量(マンゴウの場合)		2,300Kg/回	4,600Kg/回
処理パレット数		5パレット	10パレット
処理室(mm)		L6,320×W2,350×H3,160	L12,500×W2,350×H3,160
性能	温度範囲	室温+10℃~60℃	
	湿度範囲	55%~95%RH	
	温度調節幅	0.1℃	
	湿度調節幅	0.1%RH	
定格	電源	3Φ 50/60Hz 200V	
	最大消費電力	115Kw	230Kw
	最大消費水量	27ℓ/hr.(蒸熱時) 300ℓ/min.(冷却時)	68.5ℓ/hr.(蒸熱時) 600ℓ/min.(冷却時)

● (株)竹中工務店製

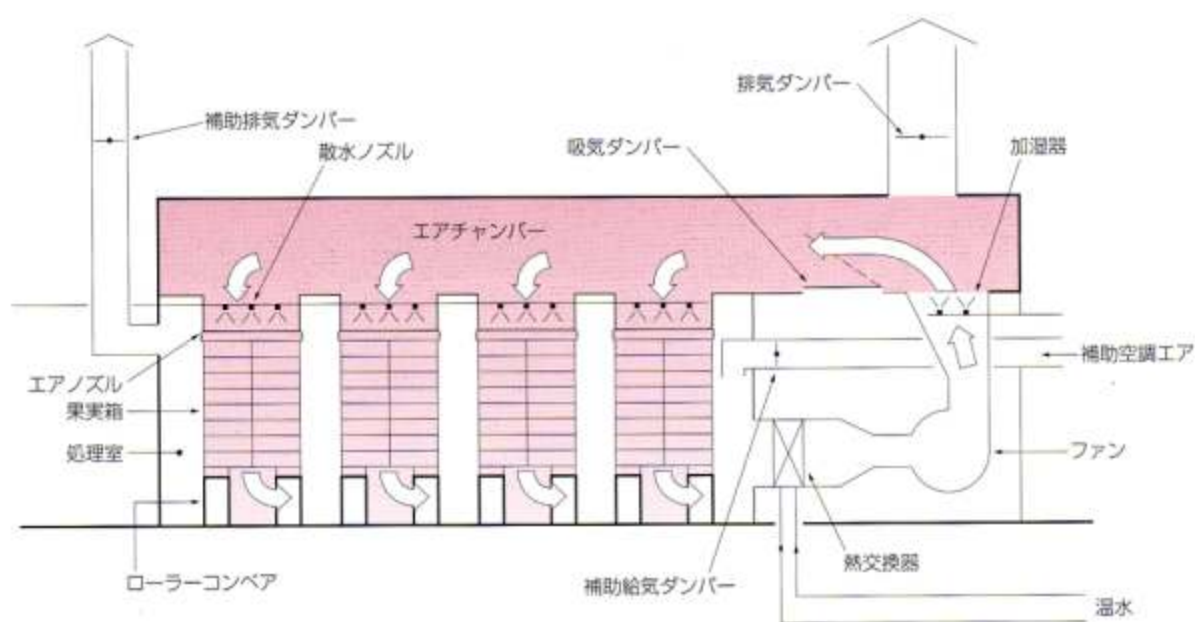
処理庫全体を1つの処理ユニットとして、強制循環ファンを用いて差圧状態を作り処理するシステムです。処理庫内に底に孔の開いたコンテナに果実を充填して、1パレット上に積み上げて煙突状の処理槽を作ります。

最大20パレット(1パレットは1段に8コンテナの7段積みで計56コンテナ、果実重量1t)処理ができます。

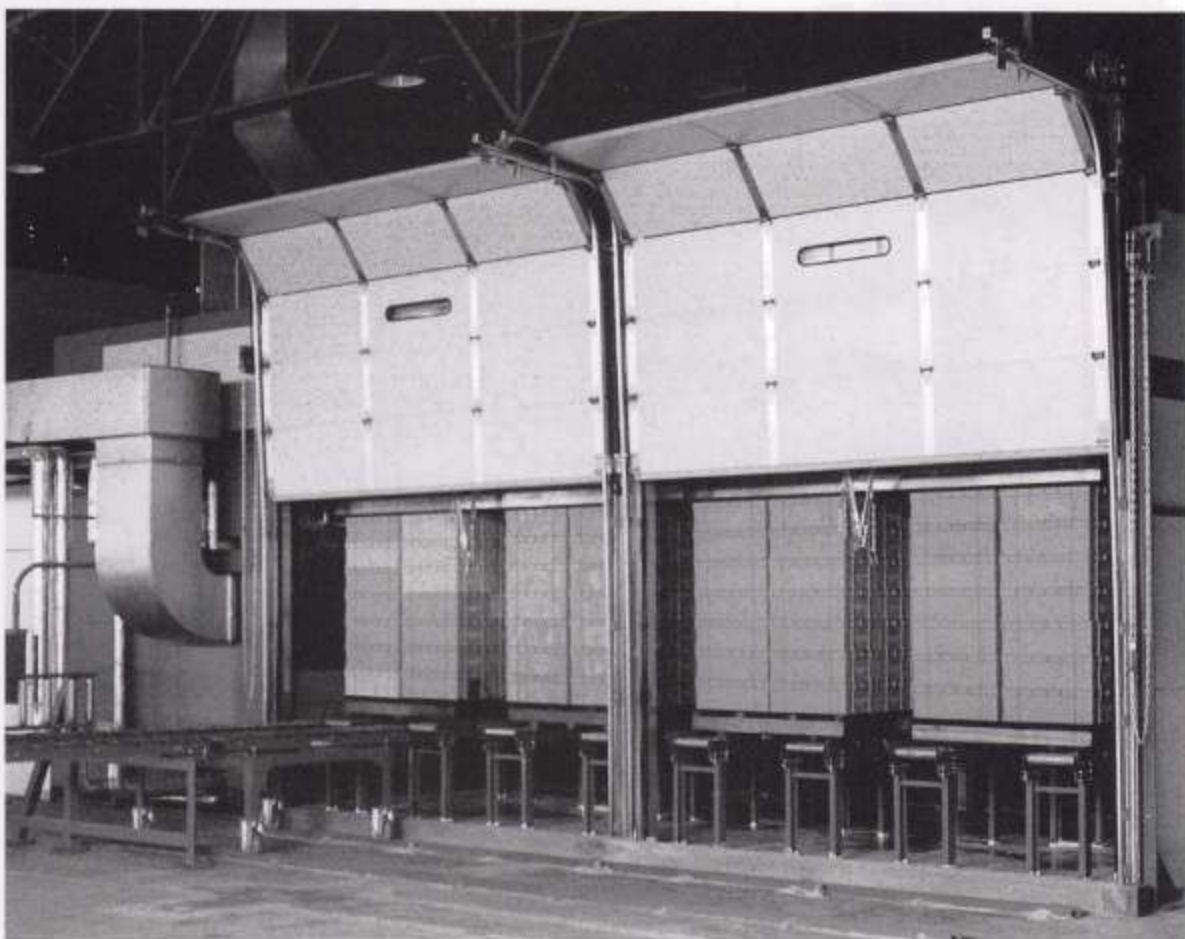
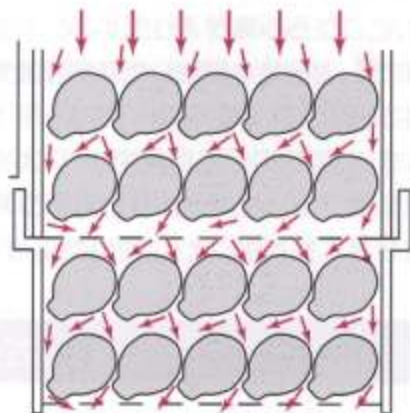
処理中は下図のエアチャンバーが伸縮することにより、各パレットと結合して差圧に必要な密閉状態を作り出し、温湿度制御された空気が上部より入り、果実の隙間を通過し下部へ抜けるようになっています。

処理中は常に一定の風量を循環させて温湿度分布を安定させ、果実の温度上昇にバラツキがないよう配慮して最良の状態で行います。果実が所定の温度を確保した後に、排気ダンパーと吸気ダンパーを開放して、外気を庫内に取り入れて果実を冷却します。

(株)竹中工務店製の蒸熱処理装置の概略



此種蒸籠式蒸籠係由多個蒸籠單元組成，每個蒸籠單元均設有蒸籠蓋及蒸籠體，蒸籠蓋及蒸籠體均設有蒸氣孔，蒸氣可由蒸籠蓋及蒸籠體之蒸氣孔排出。



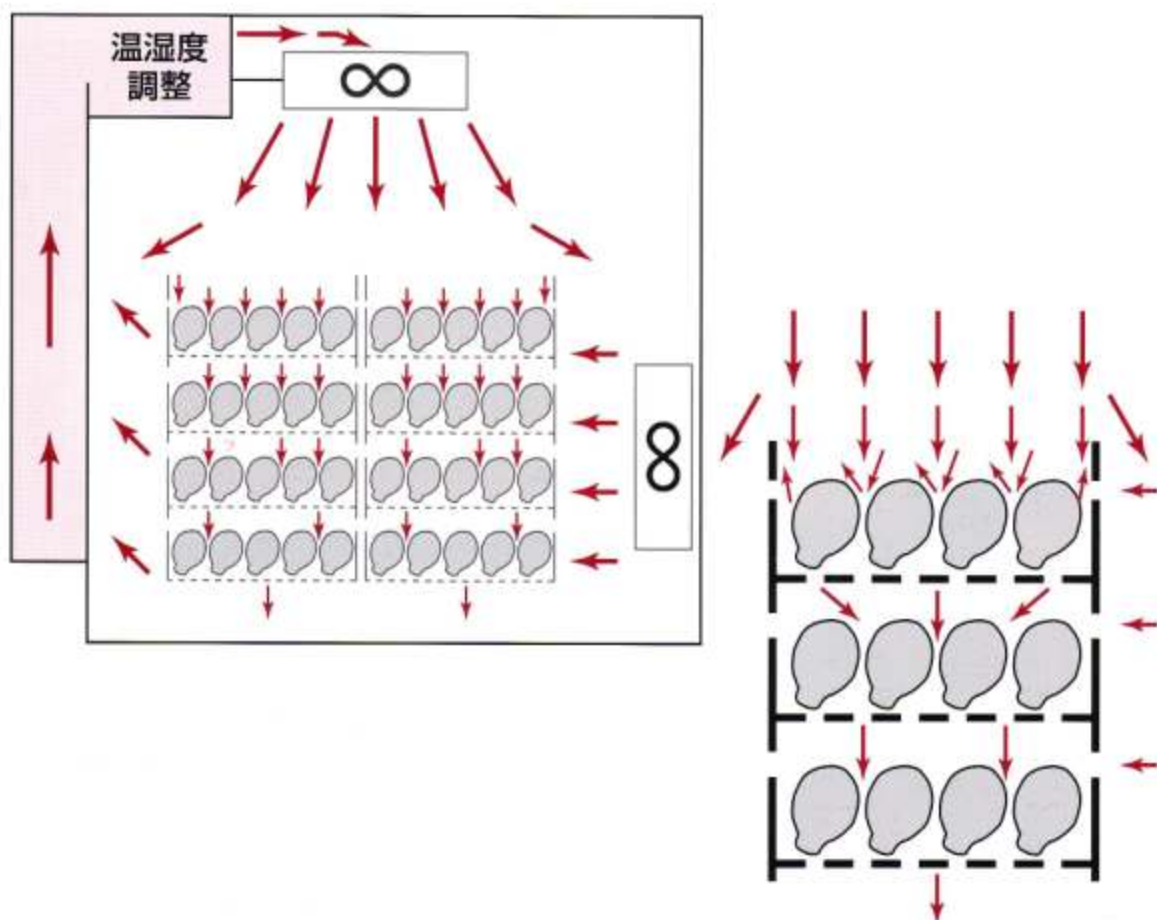
2.吹込方式

1960年代後半まで使用された方式です。処理庫内のパレット上に生果実を収容した木箱を数段に積み上げます。木箱の底と側面の棧に隙間があり、風が通る構造です。また、箱の横面に手持ちのための孔があり、ここからも風が入ります。

処理庫には、温湿度を調整した蒸熱が連続して送り込まれ、部屋の天井及び側方に置かれた強力なファンにより、生果実の箱に風が送られます。

この方式は、気流の径路が拘束されていないため、抵抗の少ない箱外側に大半の風が流れ、抵抗の多い箱内部には風が少しかいかないという欠点があります。そのため上位の果実と箱内部の果実との間に、蒸熱の接触量に差が生じます。短時間処理の場合、果実の置かれた位置によって温度上昇に差が生じます。

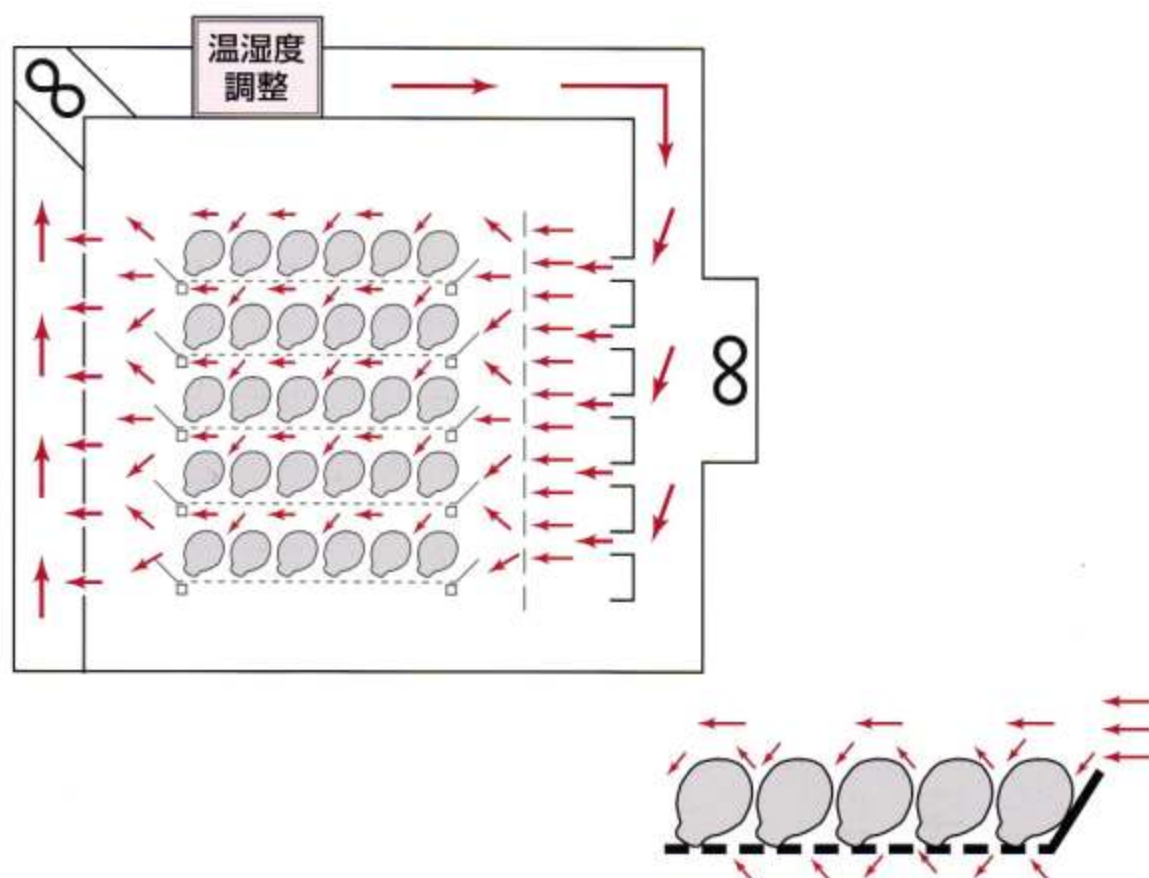
吹込方式蒸熱処理装置の概略



3.水平気流棚方式

吹込方式の欠点を補った改良型で、蚕の飼育棚のような間隔をとった多重棚構造が特徴です。各棚毎に一層に並べられた果実が、すべて横風にあたるよう工夫されています。蒸熱と果実の接触は、吹込方式に較べるとかなり良く、差庄方式に近づいたといえます。風は、果実の上面を多く通過し、また、棚の下の開放部分からも作用します。しかし、基本的な問題として気流径路の拘束がないため、抵抗の少ない果実上面部に多くの風が流れ、果実と果実の接触部及び果実下部への風の流れは少ないこととなります。そこで、「邪魔板」等を適当に配置して、乱気流を作り、それでカバーする対応策が考えられていますが、差庄方式に較べると熱効率は均等でなく、処理毎に温度の上昇に再現性が得られないという問題があります。

水平気流棚方式蒸熱処理装置の概略



3 差圧方式の特性

差圧方式の特性について少し詳しく述べることにします。

①差圧を利用した強制循環が第1の特徴です。処理庫の中に、果実の収容容器を利用してチムニー（煙突の束）を作り、ファンの作動によって生じる差圧を利用したものであることは、原理の項で述べたとおりです。

差圧方式は蒸熱が処理槽内の果実と果実の隙間を強制的に通り返る仕組みです。ですから、積み込まれた果実全部に蒸熱がむらなく作用します。積み込んだ果実の量が少なくてより、ある程度多い方が、熱効率は高まります。果実の量が少なくて荷のない部分の通気抵抗が少なくなるため多くの空気がこの部分を通り、通気抵抗の大きい荷のある部分を通る空気が少なくなり、果実の温度上昇に寄与する空気が効率的に流れなくなりますが、果実の量を多くし、荷が全体にまんべんなく配置されると、全体の通気抵抗が一様になるため、空気と果実の熱交換が効率的に行われます。

②果実の収容容器（コンテナ）が第2の特徴です。容器は上面が空いた立方体で、4側面は壁状、底面は空気が自由に通過するよう多数の小孔が規則正しく開けられています。この孔は、処理する果実の種類や大きさによって変えなければならないことがあります。

当然のことですが、孔の直径は果実の直径より小さいことが必要です。また、果実が密着して孔をふさぐと風が通らなくなります。孔の上に果実が位置した場合でも、風が抜けるように孔の開け方に工夫がされています。

差圧方式の基本は、この孔あき容器にあるといえます。孔と通風との間には次の関係があります。

イ) コンテナ内を通る蒸熱の量は、孔を通過する風速に比例する。

ロ) 差圧の圧力は、孔を通過する風速の2乗に比例する。

ハ) 通風量は、果実中心温度の上昇時間に反比例する。

こうした関係からいえることは、果実温度を早く上げるため、風量を多くしても、圧力ばかりが高くなり、効果は低いこととなります。それに、果実の種類による大小、あるいは積み込んだコンテナの高さ等によっても差がでます。

その果実、果実により、自ずと適正値がありますので、あらかじめ実験を繰り返し、その果実に合った処理の仕方を探し出すことが必要です。

③**クイックランアップ(短時間での温度上昇)が可能**ことが第3の特徴です。差圧方式以外では、クイックランアップは不可能です。パパイヤ処理の場合、12時間というような長時間処理でよいなら、どの方式でも温度は均一に上がります。しかし、5時間で仕上げるとなると、差圧方式以外は温度にバラツキが生じます。さらに短時間で処理したい場合は、これはもう差圧方式以外では不可能です。

差圧方式なら、比較的大型果実のパパイヤでも、100~120分で均一に温度を上昇させることが可能です。こうした能力が、温度上昇についてさまざまなバリエーションを可能にするわけで、果実にダメージを与えない加熱法が選べることになります。

④**果実温度上昇のバラツキの少なさ**、これが第4の特徴です。差圧方式と水平気流棚方式で、同条件の場合、果実温度の上昇にどの程度バラツキの差がでるか、パパイヤで試験を行った結果があります。パパイヤの大きさは470g前後、処理は6~7時間、果実中心温度は47.2℃という条件設定でした。差圧方式では、最初の果実が47.2℃になってから、全部のものが所定温度になるまで40分を要しました。水平気流棚方式の方は90分でした。この能力の違いが果実に与えるダメージに影響します。また、さらに大切なことは、果実温度の上昇を確認する温度センサーの配置数に関係するということです。水平気流棚方式が、処理毎にコールドスポットの箇所が一定しないという、言いかえると、温度上昇に再現性がないという問題があるため、温度確認センサーは、差圧方式よりかなり多くを必要とします。センサーを十分に使用しなければ、コールドスポットを見逃し、最悪の場合、不完全殺虫という事態が生じる恐れがあります。

⑤**処理後果実の冷却が短時間で可能**です。これが第5の特性といってよいでしょう。処理後、早いうちに果実温度を元に戻し、さらには、一定の低い温度に冷却することは、果実の品質保持に直結します。差圧方式だと、冷気を強制循環させることが可能ですから、他方式に比べ短時間で冷却が可能となります。また、さらに、チムニー方式の処理槽を利用してシャワー冷却も可能です。

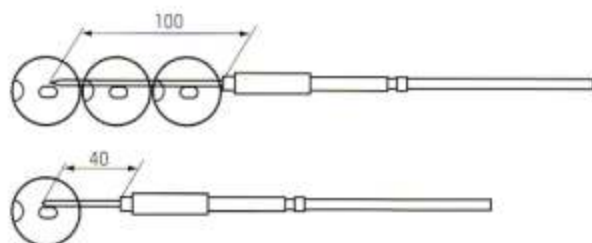
⑥**果実搬送容器がそのまま蒸熱の処理容器**となるため、輸送効率は抜群です。これが第6の特徴であるといえます。

果実別 果実センサーの差し方

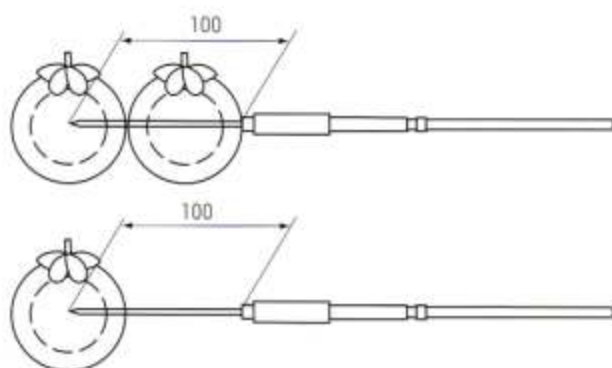
センサーの感温部が果実の中心にくるようにセットする。

下記のセンサーの感温部は先端にある。

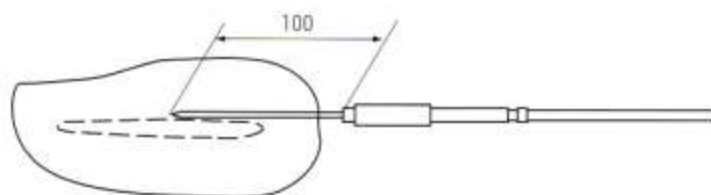
レイシ



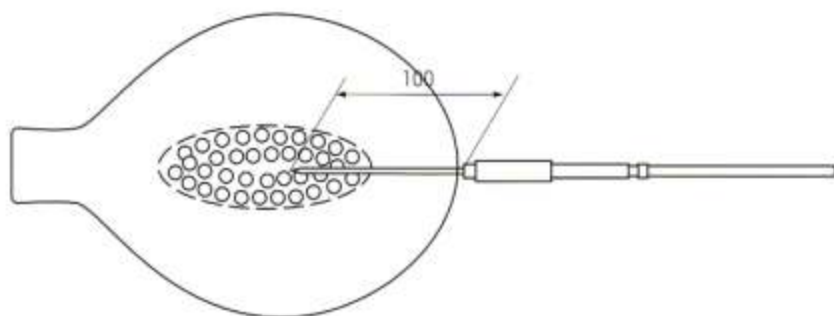
マンゴスチン



マンゴウ



パパイヤ





発行 1995年3月

改訂 2004年6月

2008年9月

発行所 蒸熱消毒研究会

事務局 (社)日本くん蒸技術協会

Japan Fumigation Technology Association (JAFTA)

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6

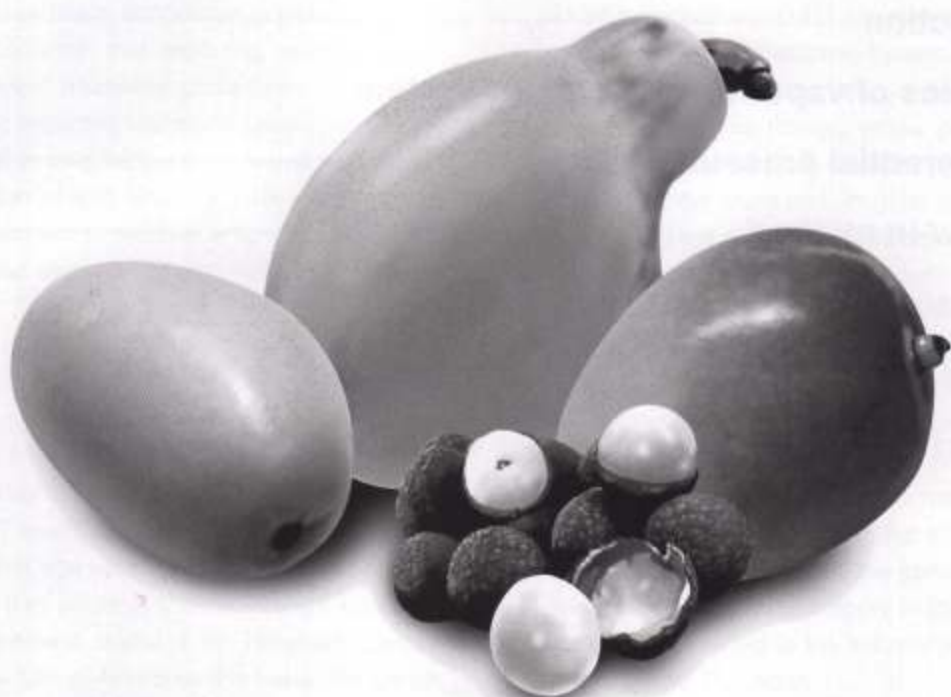
TEL03-3833-6923

FAX03-3833-6925

差圧方式と水平気流棚方式及び吹込方式の特性比較

項目	差圧方式	水平気流棚方式	吹込方式	コメント
蒸熟と果実の接触面積	広い	普通	狭い	温度上昇時間の遅速に関係
空隙部の風速	早い	多少遅い	遅い	
温度上昇の均一性	均一的に上昇	ほぼ均一的に上昇	バラツク	果実温度確認のセンサー配置数に影響する。
コールドスポットの再現性	再現性あり	多少再現性あり	再現性なし	差圧方式はコールドスポットの発生は少なく、発生した場合も同様の箇所に発生する
コールドスポットの再現性発生箇所(少なさ)	ほとんどない	少ない	多い	
果実中心温度の上昇の速さ	速い	普通	遅い	温度上昇パターンが多くなれば、処理ダメージの回避につながる。また、短時間処理が可能。
処理時間設定の容易さ	簡単	難しい	やや簡単	果実温度確認のセンサー配置数に影響する。
果実の処理容器	輸送容器になる	輸送容器にならない	輸送容器になる	処理容器そのものが輸送容器となる。
収容率	多い	少ない	少ない	
冷却時間	短い	普通	やや長い	
施設の建設コスト	高い	安い	安い	

Principles and Features of the Vapor Heat Treatment System



Vapor Heat Treatment Research Group
Japan Fumigation Technology Association
(JAFTA)

Contents

1. Introduction	3
2. Principles of vapor heat treatment system	
(1) Differential pressure method	5
(2) Blow-in method	10
(3) Horizontal air-stream method	11
3. Features of the differential pressure treatment system	12
Installing thermal sensor probe into various fruits	14

Photos given by courtesy of ; Sanshu Sangyo Co., Ltd
Takenaka Corporation
Diamond Star Corporation

1 Introduction



Fruit flies, such as Oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* species complex), melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) and/or Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*), are known worldwide as destructive pests of fruit crops of major economic importance. Those countries where such fruit flies do not occur are exercising every effort to prevent the entry of such pests by stringent phytosanitary measures.

The most stringent of all is the import ban of the host plants of these pests. However, when exporting country has developed complete disinfection method against these pests, importation is globally accepted on the condition that exporting country undertakes pre-export treatment procedures specifically agreed by the importing country. In recent years, either vapor heat or cold temperature is mainly used for the sterilization of fruit flies. For both methods, the standard treatment procedure which is suitable for each particular species of fresh fruit is selected for use.

Vapor heat treatment (VHT) was adopted as a quarantine measure in 1929 when Mediterranean fruit fly invaded into the State of Florida. As a quarantine safeguard to prevent its spread, all fresh fruits shipped from Florida to other States were treated with vapor heat. VHT emerged in Japanese plant quarantine in 1969 when it was approved as a key condition for lifting import ban on fresh fruits of papaya from Hawaii. The treatment standard for Hawaiian papaya was drawn by USDA-APHIS on the basis of a series of experiments. Unfortunately, however, its use was suspended after only one year (1970) because live larvae of fruit fly were discovered on a certified shipment at the port-of-entry inspection. Export treatment of Hawaiian papaya then switched over to ethylene dibromide (EDB) fumigation, another effective alternative treatment for fruit flies. Due to the possible hazard to human health, EDB itself was phased out in the first half of 1980s. Vapor heat thus revived as a non-hazardous tool of disinfection and the various modes of its application have been investigated.

The most outstanding innovation in vapor heat technology was the development of so-called 'differential pressure treatment system' which expanded the scope of vapor heat application to a wide range of

fresh fruits. Treatment system of this type uses differential pressure to induce efficient circulation of vapor heat through all spaces in-between fruits so that every each individual fruit is always evenly and uniformly exposed to vapor heat atmosphere. The most sophisticated system which was developed by Japanese manufacturers is equipped with high-technology instruments, high-precision temperature sensors as well as built-in computers to control temperature exactly at 0.1°C level and humidity at 1% level. At present, almost all fresh fruits being imported to Japan on the condition of VHT are processed with differential pressure type treatment system.

Since the lifting of import ban of Hawaiian papaya, other fruits such as mango, yellow pitaya, mangosteen and litchi were gradually ban-lifted from various countries in the world and, in most cases, VHT has been carried out successfully without any problem for many years. However, one accident arose in 2002 when live larvae of oriental fruit fly were detected on the treated papaya shipments from the Philippines. Investigations for the cause revealed that the owner of the facilities had neglected manufacturer's maintenance, frequently repeated repairs on his own and, in the course of 15 years, almost remade his facilities. It is, therefore, considered that improper maintenance seriously downgraded the performances of facilities to give rise to cold spots in the treated fruits which, eventually, led to the survival of fruit fly in the export shipment to Japan.

In order to promote understanding of the VHT system developed by Japan, VHT Research Group of Japan Fumigation Technology Association (JAFTA) has compiled in this brochure the principles of differential pressure VHT system and its features compared with the conventional blow-in type and horizontal airstream type VHT systems. We trust this will be a useful reference for those who are interested in VHT technology.

Fresh fruits which can be imported to Japan on the condition of VHT (as of March, 2009) are given in the following table.

Fresh fruits which can be imported to Japan on the condition of VHT in the countries of origin(as of March, 2009)

Fruits	Country/Region	Year /Ban-lifted	Variety/Cultivar	Treatment standards
Papaya	Hawaii	1969	Solo type	Fruit-core temperature is raised up to 47.2°C with saturated vapor.
	Philippines	1994	Solo type	Fruit-core temperature is raised up to 46°C with saturated vapor and treated for 70 min. at 46°C or above.
	Taiwan	1982	Solo type	Under relative humidity of 40-60%, fruit-core temperature is raised at a constant pace up to 43°C and then continuously treated with saturated vapor up to 47.2°C.
Mango	Philippines	1975	Manila Super	Fruit-core temperature is raised up to 46°C with saturated vapor and treated for 10 min. at 46°C or above.
	Thailand	1987	Nan Klarngwan	①Fruit-core temperature is raised with saturated vapor up to 46.5°C and treated for 10 min. at 46.5°C or above. ②Fruit-core temperature is raised at a constant pace up to 43°C, then with saturated vapor up to 47°C and treat for 20 min. at 47°C.
			Nam Dorkmai Pimsen Daeng Rad Mahachanok	Fruit-core temperature is raised at a constant pace up to 43°C, then with saturated vapor up to 47°C and treat for 20 min. at 47°C.
	Taiwan	1982	Irwin Harden	Fruit-core temperature is raised with saturated vapor up to 46.5°C and treat for 30 min.
	Australia	1944	Kensington R2E2 Keitt Kent Palmer	Fruit-core temperature is raised up to 47°C with saturated vapor and maintained for 15 min. at 47°C or above.
	Hawaii	2000	Keitt Haden	Fruit-core temperature is raised with saturated vapor up to 47.2°C.
	India	2006	Alphonso Kesar Chausa Banganpalli Mallika Langda	Chamber is heated with saturated vapor up to 50°C or above. Fruit-core temperature is raised up to 47.5°C and maintained for 20 min. at 47.5°C or above.
Yellow pitaya	Colombia	1999		Fruit-core temperature is raised with saturated vapor up to 46°C and maintained for 20 min. at 46°C or above.
Mangosteen	Thailand	2003		Using vapor of 50-80% relative humidity, fruits are heated at a constant pace up to 43°C and then fruit-core temperature is raised up to 46°C with saturated vapor and maintained for 58 min. at 46°C or above.
Litchi	Taiwan	1980		(1) Vapor heat treatment Fruit-core temperature is raised with saturated vapor straight from 30°C to 41°C within 45 min. and then up to 46.2°C, and treat for 20 min. at 46.2°C or above. (2) Cold treatment After vapo rheat treatment, fruit-core temperature is cooled down to 2°C within 6 hours and treat for 42 hours at 2°C.
	China	1994		(1) Vapor heat treatment Fruit-core temperature is raised with saturated vapor-straight from 30°C to 41°C within 50 min. and then up to 46.5°C, and treat for 10 min. at 46.5°C or above. (2) Cold treatment After vapo rheat treatment, fruit-core temperature is cooled down to 2°C within 6 hours and treat for 40 hours at 2°C.

2 Principles of vapor heat treatment system



1. Differential pressure method

● Sanshu Sangyo Company

a) Panel type facilities

In the interior of treating chamber, fruit containers of plastics with perforated bottom are stacked onto a pallet up to several layers thereby forming a chimney-shaped processing space (hereafter referred to as 'chimney'). This chimney is covered with a bell-shaped hood having an axial fan on top. By running axial fan, the chimney turns into a differential pressure unit. The panel type system consists of plural number of differential pressure units accommodated in a panelized treatment chamber which is provided with temperature and humidity conditioned air by forced circulation.

One unit load of fruits usually involves 42 containers (6 containers/layer×7 layers). About 530 kg of average-sized mango can be treated per one unit.

The amount of fruits that can be treated at one batch depends on the number of differential pressure units housed in one treatment chamber. (In case of a chamber having 10 differential pressure units: 530 kg ×10 units = 5,300 kg/batch)

When fruit load/batch is smaller than the maximum capacity, only fruit-loaded unit may be subjected to the treatment for economy.

b) Container type facilities

Plastic containers of similar standards are stacked onto a pallet up to several layers to form a chimney-shaped processing unit. Plural numbers of this unit are set in one containerized treatment chamber. By operating plural fans, temperature and humidity controlled air envelopes all the fruits in each unit in one treatment chamber. In case of the container type facility, all the interior of one containerized chamber turns into a differential pressure condition.

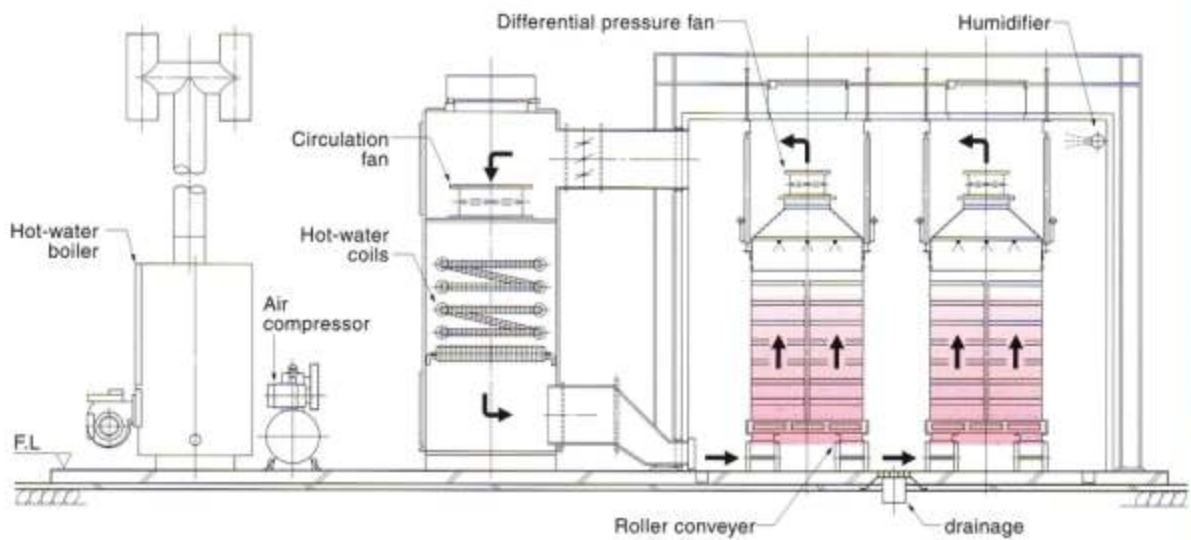
One unit load of fruits usually involves 36 containers (6 containers/layer×6 layers). About 460 kg of average-sized mango can be treated per one unit.

The amount of fruits that can be treated at one batch depends on number of units accommodated in one containerized treatment chamber. (In case of a chamber having 10 differential pressure units: 460 kg ×10 units = 4,600 kg/batch)

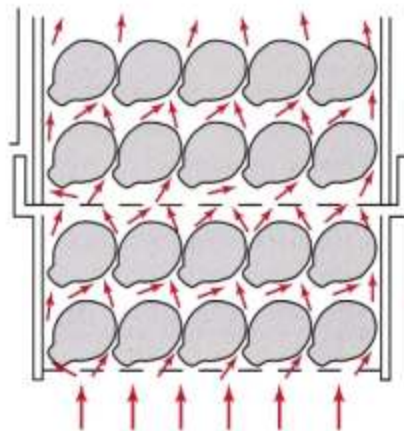
When the load of fruits/batch is smaller than the maximum capacity, fruit load/unit is coordinated and approximately equal amount of fruits should be divided into each processing unit.

※Overview of the vapor heat treatment system of Sanshu Sangyo Company

Overview of Vapor Heat Treatments System of Sanshu Sangyo Type

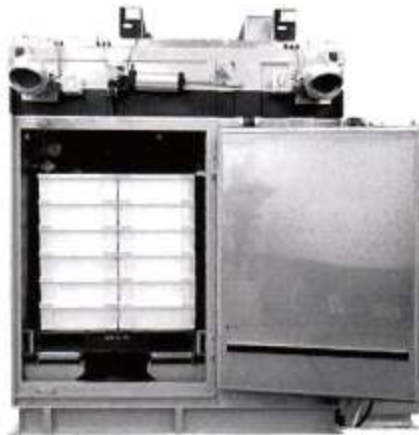
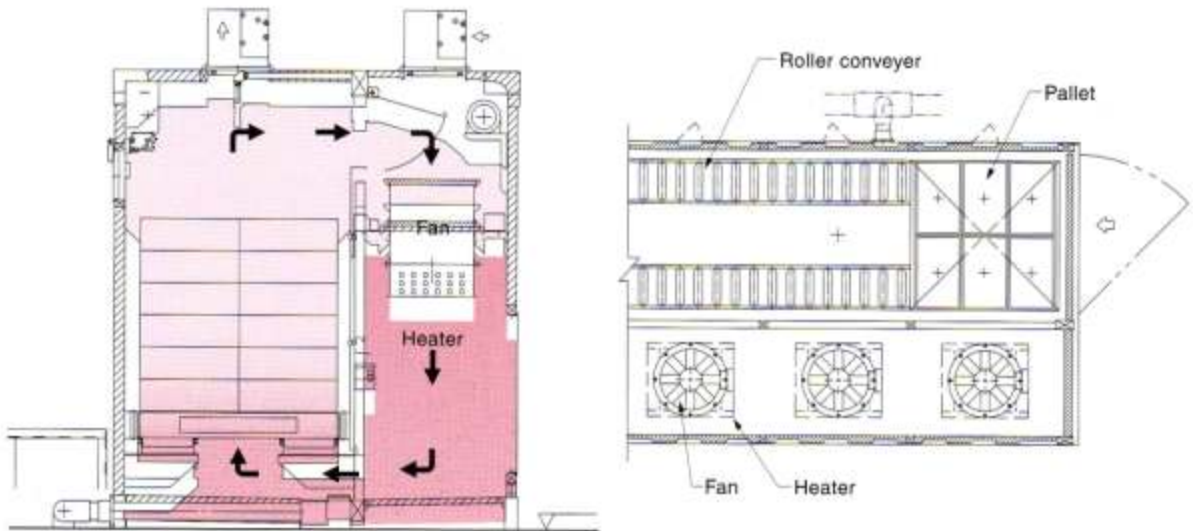


Panel type EHK-500MP



■ Panel type

Model		EHK-500MP	EHK-1000MP	EHK-1200MP
Treatment capacity (Mango fruits)		5,000 Kg/batch	7,500 Kg/batch	9,000 Kg/batch
Treatment pallets		10 pallets	15 pallets	18 pallets
Treatment chamber (mm)		L4,200×W7,200×H3,500	L6,000×W7,200×H3,500	L6,000×W8,400×H3,500
Performance	Operating temperature range	Room temp. +10°C~60°C		
	Operating humidity range	55%~95%RH		
	Temperature control accuracy	0.1°C		
	Humidity control accuracy	0.1%RH		
Rating	Power source	3Φ 50/60Hz 200V		
	Maximum power consumption	94Kw	140Kw	150Kw
	Maximum water consumption	116 ℓ /hr.(during VH treatment)	165 ℓ /hr.(during VH treatment)	194 ℓ /hr.(during VH treatment)
		630 ℓ /min.(during cooling time)	945 ℓ /min.(during cooling time)	1134 ℓ /min.(during cooling time)
Maximum oil consumption	20.0 ℓ /hr.(during VH treatment)	26.4 ℓ /hr.(during VH treatment)	40.7 ℓ /hr.(during VH treatment)	



Container type EHK-200MC

■ Container type

Model		EHK-230MC	EHK-460MC
Treatment capacity (Mango fruits)		2,300 Kg/batch	4,600 Kg/batch
Treatment pallets		5 pallets	10 pallets
Treatment chamber (mm)		L6,320×W2,350×H3,160	L12,500×W2,350×H3,160
Performance	Operating temperature range	Room temp. +10°C~60°C	
	Operating humidity range	55%~95%RH	
	Temperature control accuracy	0.1°C	
	Humidity control accuracy	0.1%RH	
Rating	Power source	3Φ 50/60Hz 200V	
	Maximum power consumption	115Kw	230Kw
	Maximum water consumption	27 ℓ /hr.(during VH treatment) 300 ℓ /min.(during cooling time)	68.5 ℓ /hr.(during VH treatment) 600 ℓ /min.(during cooling time)

● Takenaka Corporation

The whole treatment chamber is a processing unit by creating differential pressure condition with forced circulation blowers.

Plastic containers with perforated bottom are filled with fresh fruits and stacked onto a pallet up to 7 layers thereby forming a chimney-shaped processing space.

One pallet load of fruit involves 56 containers (8 containers/layer×7 layers) weighing 1 metric ton. The maximum load of 20 pallets (totaling 20 metric tons) can be treated at one batch.

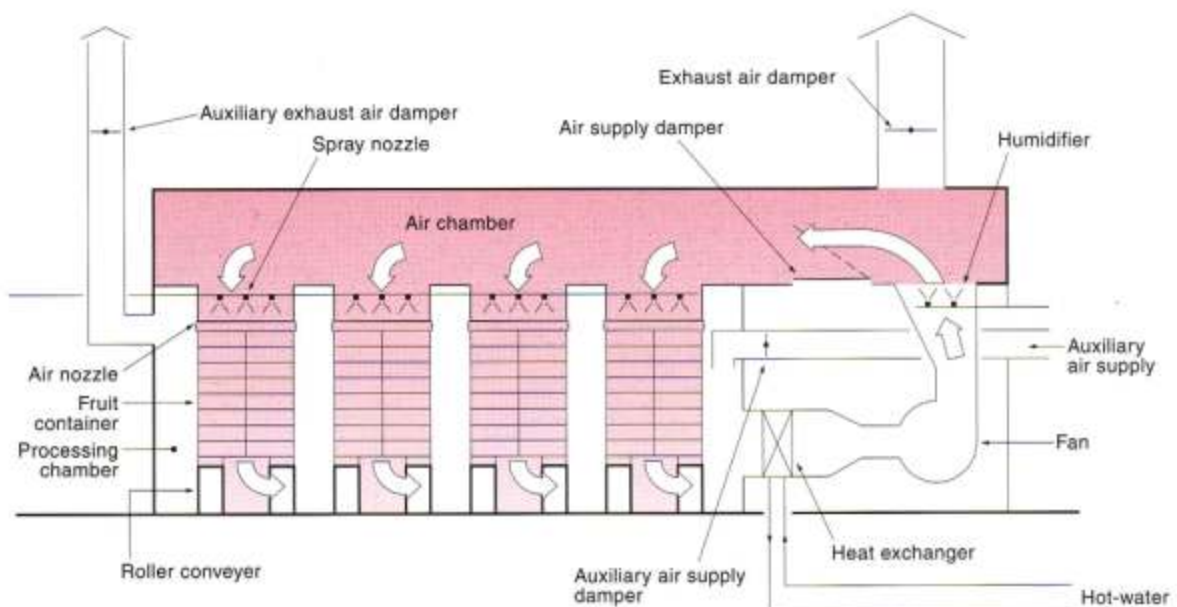
As shown in the figure below, the palletized unit of fruit containers joins with air chamber at the top. Blast-hole of air chamber is made flexible to fit securely with the top of palletized unit to ensure airtight

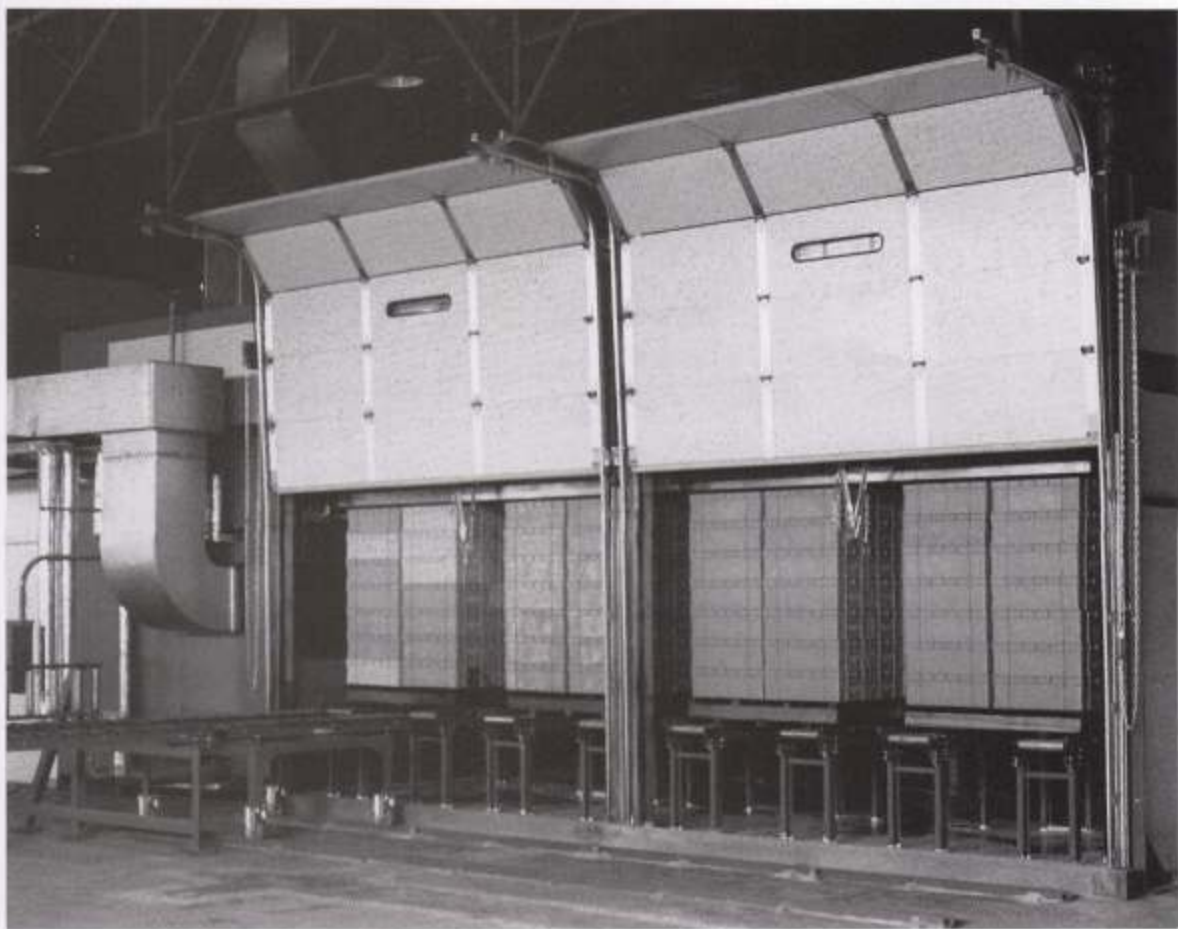
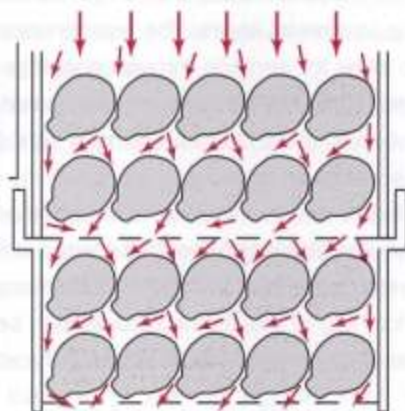
condition which is necessary for creating differential pressure inside the enclosed processing space.

Temperature and humidity controlled air circulates from the top down to the bottom through the space in-between layered fruits. In order to obtain the best conditions for fruits under treatment, a regular volume of air is constantly supplied to ensure stable distribution of temperature and humidity so that no unevenness may arise in running up fruit temperature at every spot of fruit stacks. When the fruits have achieved the prescribed temperature, both exhaust and air supply dampers are released to introduce fresh air into the chamber for cooling down the treated fruits.

※ Overview of the vapor heat treatment system of Takenaka Corporation

Overview of Vapour Heat Treatments System of Takenaka Corporation





2. Blow-in method

This type of treatment was used until the late 1960s. Fruit loaded wooden boxes are stacked onto a pallet up to several layers. The wooden box is designed to allow for aeration through openings at the bottom and spaces between side crosspieces. Two holes for handling the box on opposite side frames serve for aeration as well.

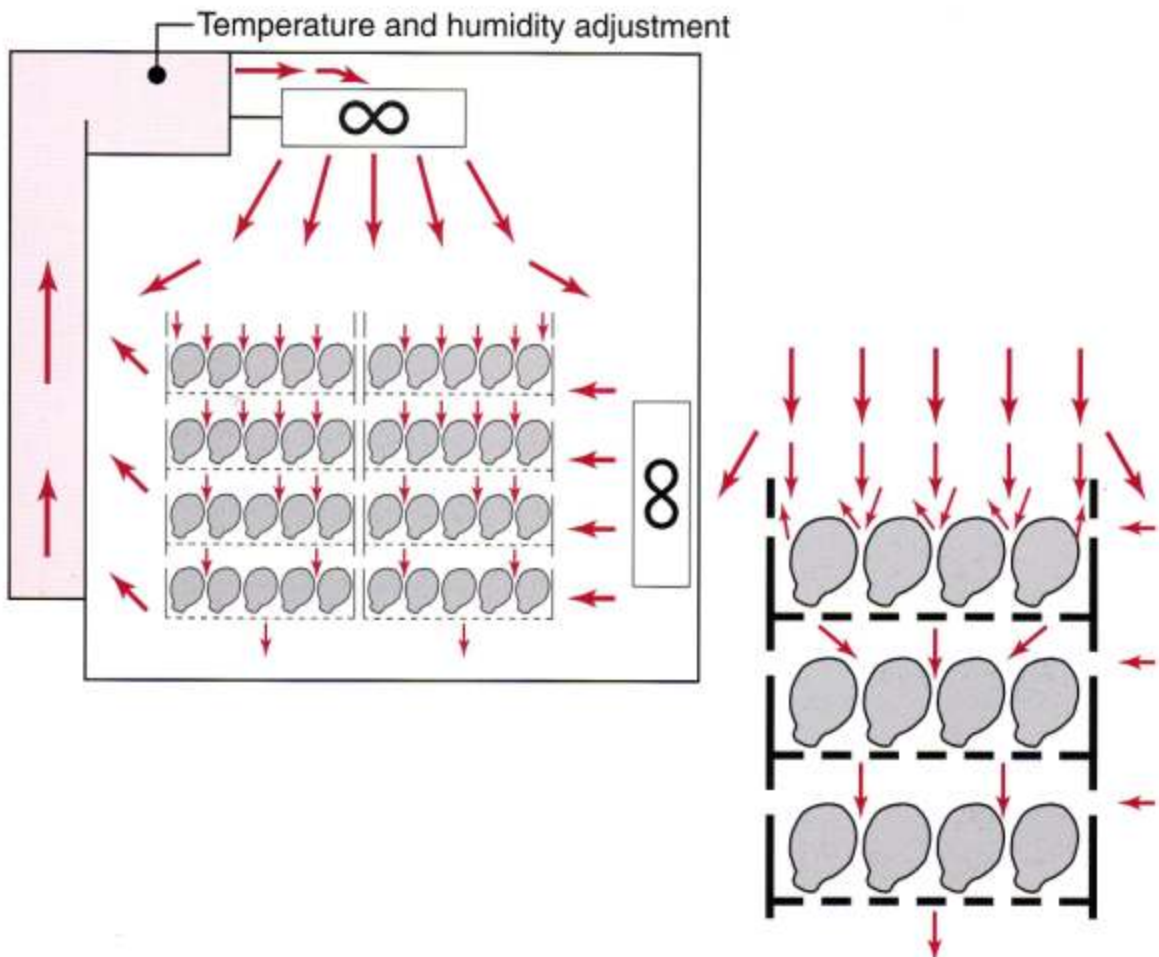
Temperature and humidity conditioned vapor heat is continuously blown into the fruit loaded boxes by fans from the ceiling and the side wall positions.

A shortcoming of this method lies in that, because the course of air stream is not restrained, most of the blown air flows through the less air-resistant space outside of wooden boxes and relatively small portion

flows into the air-resistant interior of wooden boxes. More or less difference in exposure to vapor heat is inevitable between the fruits of upper layers and those at the inmost part of wooden boxes. Consequently, in short exposure treatment, significant difference in the run-up of fruit temperature arises depending on the laid position of treated fruits.

※ Diagram of the blow-in vapor heat treatment system

Diagram of blow-in type vapor heat treatment system



3.Horizontal air-stream method

This is an improved version of the blow-in type treatment in which the original defect has been alleviated to a considerable extent. It features multi-layered treating shelves which are interspaced like the rearing shelves of silkworms used in sericulture.

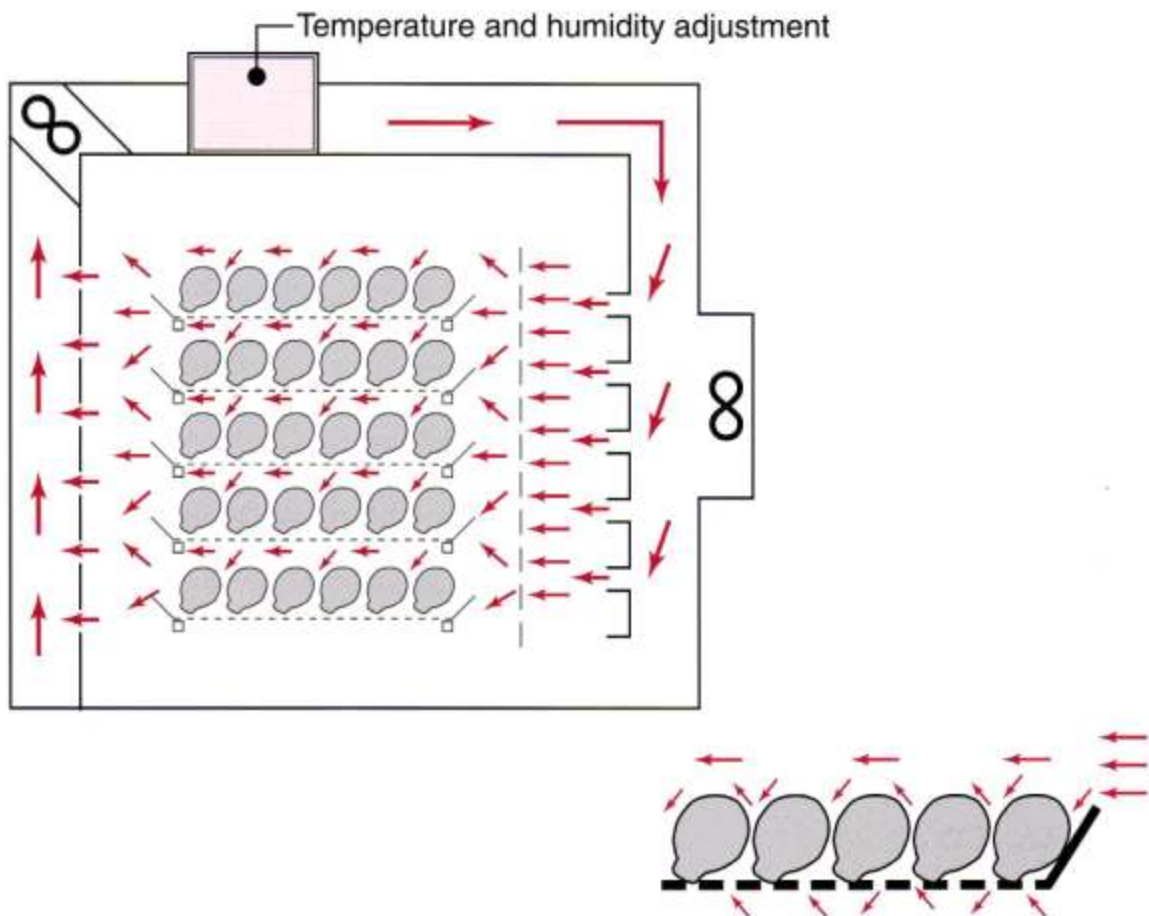
All the fruits laid in one layer in the shelf are designed for exposure to horizontal air streams. Air passes mostly on the upper surface of laid fruits and also partly on the lower surface through openings underneath the fruit layer. Fruit contact with vapor heat is better than that of the blow-in type treatment and gets closer to that of the differential pressure treatment. However, because the course of air stream is not fully restrained, the basic problem remains that

more air flows over the top surface of treated fruits while the flow is much less in the air-resistant space such as the contact points between fruits and the lower side of fruit layers.

Combined use of turbulence by adequately placing baffle plates has been introduced to improve the uniformity of vapor heat distribution. However, compared with the differential pressure system, the inherent problems such as uneven thermal efficiency and non-repeatability in the rise of fruit temperature are yet to be resolved.

※ Diagram of the horizontal air-stream vapor heat treatment system

Diagram of horizontal air stream type vapor heat treatment system



3 Features of differential pressure treatment

Features of the differential pressure treatment system are detailed below.

(1) The first feature of this system lies in the forced circulation of air by differential pressure. As mentioned in the preceding article, fruit containers of special designs are employed to make chimneys (or chimney bundles) which give definitely high treatment performance in combination with differential pressure generated by axial fans.

Differential pressure treatment system is a system in which vapor heat forcibly passes through the space in-between fruits laid in chimneys so that vapor heat works uniformly on all the fruits loaded. Thermal efficiency increases with higher load of fruits to a certain extent.

When fruit load is smaller than the optimum, air-resistance in the empty space decreases thereby incurring a lot of air to pass through whereas the air-resistance in the loaded space oppositely increases thereby lessening the air flow which works on the rise of fruit temperature.

On the contrary, when the fruit load is large enough to spread uniformly throughout the chimney, air-resistance becomes also uniform throughout the fruit stacks whereby enabling efficient thermal exchange between fruits and air.

(2) The second feature of this system lies in the container for holding fruits for the treatment. It is a top-less cube with four solid sides and many small holes regularly punched on the bottom which allows air to pass freely. Size and number of this hole is subject to change with the kind and size of fruits to be treated.

It is natural that diameter of the hole must be smaller than that of fruits. When the fruit is laid across the hole, it blocks the hole and prevents air flow through the hole. In order to avoid this disadvantage, the hole is configured in such a way as to afford aeration even if it is covered with the laid fruit.

Thus, the use of unique fruit containers specially designed for the treatment holds a key for high performance of differential pressure system.

The following relationships exist between the hole and the velocity of air passing through it.

- (a) The volume of vapor heat passing through the container is proportional to the velocity of air passing through the hole.
- (b) The differential pressure is in proportion to the square of velocity of air passing through the hole.
- (c) The volume of aeration is in inverse proportion to the rise of fruit-core temperature.

On the basis of such relationships, it can be said that, even if the volume of air is increased to accelerate the rise of fruit temperature, it only adds to the pressure with relatively little effect on the fruit temperature. Performance of differential pressure treatment also varies with factors such as the size of fruits due to the species and the height of stacking fruit containers, etc. There is an optimal condition for the treatment of each different fruits. It is, therefore, necessary that the most suitable treatment condition for each kind of fruits should be sought after by repeating experiments.



(3) Third feature is the possibility of quick run-up treatment (to raise fruit temperature in short time). Quick run-up is not possible by the conventional treatments. When a long exposure treatment of 12 hours is satisfactory, any type of treatment can afford uniform rise of fruit temperature. When the treatment is to be finished in 5 hours, however, aberrance in the warm-up speed of fruit temperature is unavoidable with the conventional methods of treatment. Also, it is entirely beyond hope to minimize the treatment time any further without recourse to the differential pressure treatment.

The differential pressure treatment can uniformly raise temperature of papaya which is relatively larger than other fruits within 100–120 minutes. Such a high performance can provide diverse treatment patterns thereby enabling the choice of a best treatment procedure which is completely effective yet non-damaging to the fruit quality.

(4) The fourth feature is scarce irregularity in the run-up of fruit temperature. Irregularities in the rise of fruit temperature was compared between the differential pressure treatment and the horizontal air-stream treatment of papaya fruits

Papaya fruits of ca. 470 grams were treated for 6–7 hours to achieve the fruit-core temperature of 47.2°C. The lapse of time needed for all individual fruit finally attaining 47.2°C after the initial single one was, respectively, 40 minutes for differential pressure treatment and 90 minutes for horizontal air-stream treat-

ment. Such difference in time factor has a significant impact on the possible outbreak of heat injuries. It also directly influences numbers and patterns of distribution of thermal sensors required for monitoring fruit temperature during the treatment. In the horizontal air-stream treatment, cold spots occur unpredictably at various spots in each treatment so that the rising patterns of fruit temperature are not reproducible. Therefore, the number of thermal sensors required is considerably greater than that of the differential pressure treatment. If the number of sensors for use is insufficient, cold spot may not be detected and, in the worst case, may cause incomplete sterilization of contaminated shipments.

(5) Quick post-treatment cooling can be cited as the fifth feature of differential pressure treatment. To cool treated fruits quickly down to the normal temperature and, if necessary, to a certain cold storage temperature is vital for preserving fruit quality. In the differential pressure system, treated fruits can be cooled down more quickly than other methods by forced circulation of cold air. Furthermore, shower cooling (hydro-cooling) can be done easily by making use of the chimney-type structure.

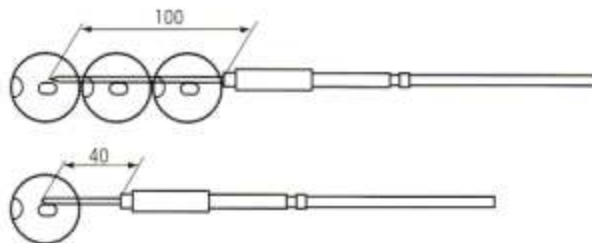
(6) Container for treatment can also serve as container for transport thereby increasing transport efficiency of post-harvest fruit packing operation. This may be cited as an additional feature of differential pressure treatment system.

Installing thermal sensor probe into various fruits

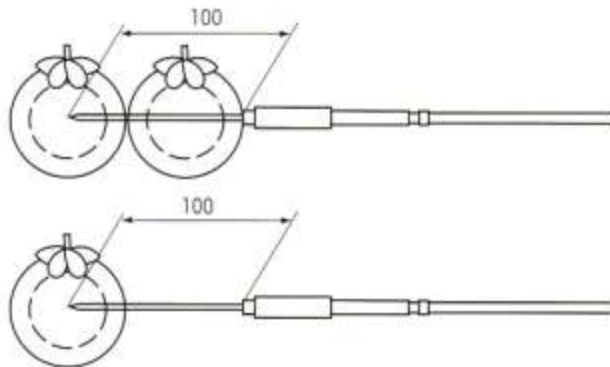


Thermal sensor probe must be installed into the inmost center of fruit to be treated.
In the diagrams below, sensing point lies at the tip of the instrument.

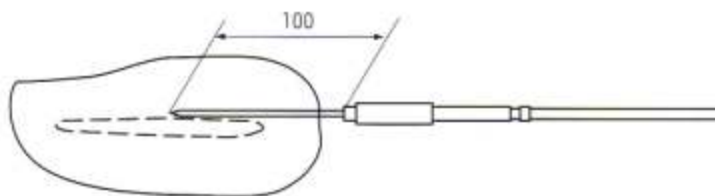
Litchi



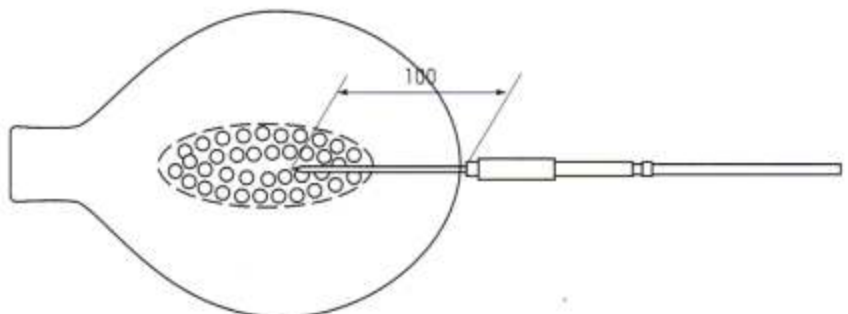
Mangosteen



Mango



Papaya





Published: March, 1995

Revised: June, 2004
March, 2009

Publisher: VHT Research Group
Japan Fumigation Technology Association (JAFTA)
1-26-6 Taito, Taito-ku, Tokyo, Japan 〒110-0016

T e l . 03-3833-6923

F a x . 03-3833-6925

Comparison of features among differential pressure, horizontal air-stream and blow-in methods

Item	Differential pressure method	Horizontal air-stream method	Blow-in method	Remarks
Ratio of fruit surface exposed to vapor heat	Maximum	Moderate	Minimum	Factors relating to the speed of heating up treated fruits
Velocity of air flow in-between treated fruits	High	Moderately slow	Low	
Uniformity in run-up of fruit-core temperature	Uniform	Nearly uniform	Not uniform	Relates to number of sensor probes for reading fruit-core temperature
Reproducibility of cold spot	Reproducible	More or less reproducible	Not reproducible	Cold spot occurs seldom in differential pressure method. If it does occur, it recurs at the same spot of fruit stacks.
Recurrence of cold spot	Very few	Occasional	Frequent	
Speed in run-up of fruit-core temperature	High	Moderate	Slow	High speed in running up fruit-core temperature provides practical quick treatment procedure. It also affords choice of treatment patterns not damaging to fruit quality.
Ease of setting treatment time	Easy	Difficult	Relatively easier	Relates to number of sensor probes for reading fruit-core temperature
Usability of treating container for transport	Usable	Not usable	Usable	Treating container can be used for transporting fruits
Load ratio of treated fruits	Large	Small	Small	
Cooling time	Short	Moderate	Relatively longer	
Cost for construction	High	Low	Low	