

一般論文

青果物における保冷用容器と蓄冷材の利用について

青果物鮮度保持出荷のための保冷用資材に関する研究 (第2報)

打田宏* 中村洋** 東城清秀*** 太田英明****

Evaluation of Cold Insulation Container and Coolants for Fruits and Vegetables Studies on Cold Insulating Materials for Keeping Freshness of Fruits and Vegetables (Part 2)

Hiroshi UCHIDA*, Hiroshi NAKAMURA**, Seisyu TOJO***, Hideaki OHTA****

This paper is described on experimental results of insulating effects of outer packaging containers which envelope some style of cooled trial fruits and evaluation of cool storage properties of coolants.

Insulating effects of several kinds of outer packaging containers as reported in part 1¹⁾ was tested with contents of 5Kg cooled trial fruits.

Temperature elevation time of expanded polystyrene and A flute corrugated containers from 0°C to 35°C was 1 : 1.5 at 10°C and 20°C in cooled trial fruits.

In the case of corrugated container and AL corrugated containers, insulating effects of both containers were no difference but reservation effects of temperature by using inner bag of plastic film or bag were improved in poor insulating corrugated containers.

Style and capacity of coolants largely depends on insulating effects and air space in containers has an very much influence to reservation effects.

Keywords : Insulation material, Package, Expanded polystyrene, Corrugated fiberboard, Heat conduction, Insulation, Heat resistance, Coolant

1. 保冷用容器

模擬果実を使用した保冷用容器の保冷特性実験を行った結果、発泡スチロール容器の保冷性が高く、模擬果実の温度が10°Cおよび20°C以下に維持された時間は段ボール箱(Aフルート)の1.5倍であった。容器での保冷性には、断熱素材の熱伝導率と厚さだけでなく、表面熱伝達が重要な要因であった。また、段ボール箱とアルミラミ段ボール箱では両面と複両面の差は小さかったが、表面熱伝達抵抗が大きく、材料内部の熱伝導率の差は熱通過率に影響が小さいことを示した。

さらに、箱としての断熱構造の欠陥を持つ、段ボール箱の形状をした容器では、フィルム袋などで断熱性を補えば、保冷効果向上がみられた。

保冷性を評価するには熱抵抗としての断熱性が有効である。

2. 蓄冷材の保冷特性

蓄冷材の温度は蓄冷材の容量・形状により特性の差異が見られた。容量の小さいものほど温度上昇が速く、容量の大きいものほど温度上昇が遅かった。

また、外装材の断熱性が低い場合、容器内のヘッドスペース温度が速く上昇し、初期の保冷効果は相対的に小さくなり、蓄冷材による特性差は小さかった。

キーワード : 保冷用資材、包装、発泡スチロール容器、段ボール箱、熱伝導、断熱率、熱抵抗、蓄冷材

* 全国農業協同組合連合会(〒100 東京都千代田区大手町1-8-3): National Federation of Agricultural Co-operative Associations, 1-8-3, Ootemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 ** 全国農業協同組合連合会東京支所(〒101 東京都千代田区内神田1-1-2): Tokyo branch, National Federation of Agricultural Co-operative Associations, 1-1-2, Uchikanda, Chiyoda-ku, Tokyo, 101 *** 東京農工大学農学部(〒183 東京都府中市幸町3-5-8): Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8, Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo, 183 **** 農林水産省中国農業試験場(〒721 広島県福山市西深津町6-12-1): Chugoku National Agricultural Experiment Station, Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries, 6-12-1, Nishifukatsu-cho, Fukuyama-shi, Hiroshima, 721

1. 緒言

我が国における青果物流通技術は、昭和40年に科学技術庁資源調査会がまとめた「食生活の体系的改善に資する食料流通体系の近代化に関する報告」以後研究開発が進められ、低温流通を中心とした品質保持法が用いられている。

そして、予冷出荷する青果物は、新鮮さを求める消費ニーズに対応し、品目、量とも増大してきた。産地では出荷前に青果物を冷やす予冷処理が増加し、予冷出荷比率は1990年は1980年の4倍の12.7%となっている¹⁾。

同時に青果物の主要産地の大型化と遠隔地化が進んでおり、また、中央市場を經由して地方市場へ配送される「転送品」の物量も増大し、収穫から消費までの時間も増大傾向にある²⁾。青果物の鮮度を保持し、高品質な青果物を消費者に届けるためには低温流通が必要である。

しかし、実際の流通では市場着荷時の青果物の温度が低温で維持されていないものも多く³⁾、また保冷用外装材と通常外装材で出荷された青果物に明確な温度差が見られない場合もある⁴⁾。このような問題は、コールドチェーンの未整備に起因する 경우가多く、冷凍車などの車両は不足し、保冷施設を持つ卸売市場は数少なく、また販売がセリ場で行われている⁵⁾、などの例が挙げられる。そこで保冷用資材などの包装技術が青果物流通を支えている。

現在、保冷用資材には多くの種類があるが、大別すると、蓄冷材および外からの熱を遮断するための保冷用外装材の2つに分けられる。保冷用外装材としては、従来から利用

されている発泡スチロール容器を中心に⁶⁾、段ボールに断熱材料や各種フィルムを貼合した箱などがある^{7) 8)}。

また、保冷用外装材は熱を遮断するが完全ではなく、青果物では呼吸熱が発生するため、一定の温度を維持するためには蓄冷材が利用されている^{9) 10)}。

そこで前報¹¹⁾に引き続き、保冷用資材の適切な評価方法を求めるとともに保冷特性を把握し、青果物流通での適切な利用方法を得るために実験を行い、2、3の知見が得られたので報告する。

2. 実験材料および方法

2.1 保冷用容器の特性評価

供試品は現在、市販されている代表的な保冷用外装材で、前報¹¹⁾と同材質を用いて内寸法を同一にした容器を試作した。この容器に同量の模擬果実5Kg（ゲル状のCMC500gをナイロン・ポリエチレンラミネート袋250×200mmに封入したものを10個）を詰め1実験区とした（Table 1）。

さらに、通常封緘とフィルム袋密封区を設け、フィルム袋の内装の効果を調べた。なお通常封緘方法として、発泡スチロールはテープなし、段ボール箱はI貼、フィルム密封区は角底袋を用い模擬果実を包みヘッドスペースを大きくとり上部を密封した。

温度変化は個々の内部ヘッドスペースおよび積み重ねた模擬果実の内側表面をフィルム状T（C-C）熱電対で測定し、温度データ取り込み装置（共和電業（株）製、ユーカム）およびパーソナルコンピュータにより10分間隔で記録した（Fig. 1）。

Table 1 Outer packaging materials for cold-reservation

Packaging materials	Structure
EPS	Expanded polystyrene (Expanded 50 times)
PSP Fibreboard	Fibreboard + Expanded polystyrene paper
AL Corrugated board (S)	Single wall corrugated board (A flute) + Aluminium metallized film
AL Corrugated board (W)	Double wall corrugated board (AB flute) + Aluminium metallized film
Corrugated board (S)	Single wall corrugated board (A flute)
Corrugated board (W)	Double wall corrugated board (AB flute)

Aluminium metallized film : PET (12 μm) / Aluminium metallized 700 Å
 Inside size of case 392 × 283 × 180mm, Thickness S = 5mm, W = 8mm

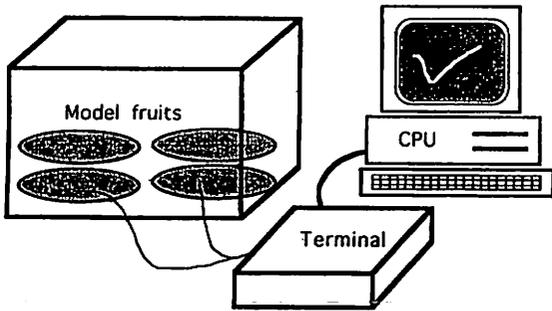


Fig. 1 Cold insulation container testing equipment using trial fruits

各試験試料は温度を0℃に設定した環境試験室に置き、数日間一定にして、測定点を揃えた。模擬果実は凍結せず、相変化はなかった。その後、環境試験室を35℃に昇温させ、温度変化を見た。環境試験室は約2時間で35℃になった。

2.2 蓄冷材の保冷特性

2.2.1 実験材料および実験方法

容量および形状の異った蓄冷材 (Table 2) 8kgを同材質、同寸法の両面段ボール箱 (内寸法 392 × 283 × 180mm) に詰め、テープでI型に封緘をし、1実験区とした。

Table 2 Style of coolants

	Weight	Size	Contents
1 stick	90g	24mm φ × 210mm	Water
2 stick	250g	44mm φ × 170mm	Water
3 sheet	1000g	295 × 260 × 15mm	Gelatin

温度変化は実験2.1と同様の装置を用いて、個々の内部ヘッドスペースおよび積み重ねた蓄冷材の内側表面をフィルム状T (C-C) 熱電対で測定し、記録した。各試験試料は凍結状態からの蓄冷材の性能差を把握するために、環境試験室を-20℃に設定し、数日間一定にして、蓄冷材を凍結させると同時に測定点を揃えた。その後、環境試験室を35℃に昇温させ、その後の温度変化を測定した。環境試験室は約4時間で35℃になった。

また、それとは別に融解後の特性をより正確に把握するために、環境試験室を0℃に設定し数日間一定にし、測定点を揃えた後、環境試験室を30℃に昇温させ、その後の蓄冷材の温度変化を測定した。環境試験室は約2時間で30℃になった。

3. 実験結果

3.1 保冷用容器の特性評価

3.1.1 容器間の品温の差異

発泡スチロール容器が他に比べ高い保冷性を示した。次に、アルミラミネート複両面段ボール箱 (W、ABフルーツ)、同両面段ボール箱 (S、Aフルーツ)、PSP段ボール箱、通常段ボール箱 W (ABフルーツ)、同 S (Aフルーツ) の順であった。

発泡スチロール容器の実験区は昇温が緩やかであったが、アルミラミネート段ボール箱との差は小さかった。アルミラミネート段ボール箱 S、同 W の差は小さく、同様に通常段ボール箱の S、同 W の差は小さい。

模擬果実の品温が 10℃以下に保たれる時間は発泡スチロール容器では 8 時間で、通常

段ボール箱 S では 5 時間であった。また、20℃以下に保たれる時間は発泡スチロール容器では 20 時間で、通常段ボール箱 S では 13 時間で、それぞれの温度までの保冷時間は発泡スチロール容器は通常段ボール箱 S の約 1.5 倍であった (Fig. 2)。

3.1.2 容器間のヘッドスペース (箱内部) 温度の差異

ヘッドスペース温度は品温に先行して上昇し、その温度差は品温の差と同様であり、断熱性のある容器は保冷性が高い。4 時間後で発泡スチロール容器は 15.4℃であったが、通常両面段ボール箱 S で 21.8℃まで昇温した。そして通常両面段ボール箱では、25℃前後まで急速に上昇し、以後は箱内外の温度差の縮小により上昇が緩やかになる。また、両面 (S) と複両面 (W) に保冷性の差が殆ど見られなかった (Fig. 3)。

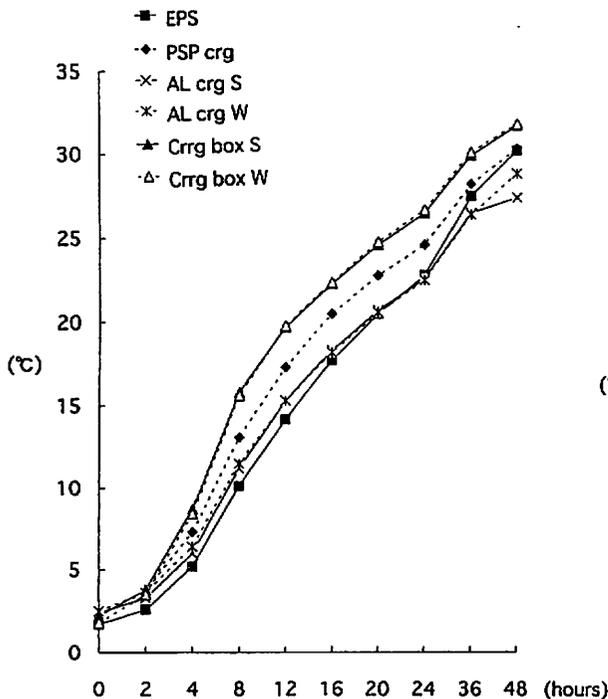


Fig. 2 Trial fruit temp. in container

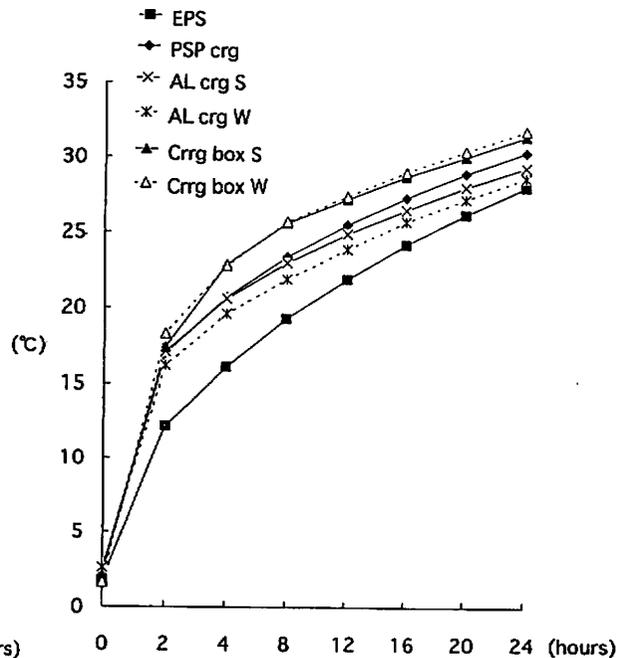


Fig. 3 Headspace temp. in container

3.1.3 気密封緘方法による保冷性の差異

いずれの外装材でもフィルム袋内包装が保冷性向上において有効であり、通常段ボール箱などの、断熱性の低いものほど効果は顕著であった (Fig. 4)。

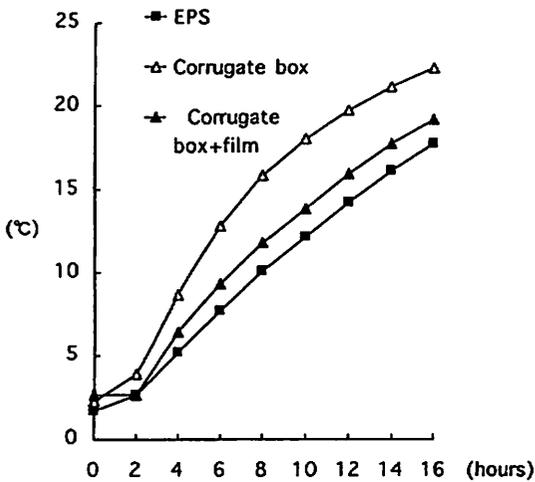


Fig. 4 Trial fruit temp. using inner bag

3.2 蓄冷材の保冷特性

3.2.1 蓄冷材の凍結時の容量・形状による特性差異

蓄冷材の温度は蓄冷材1は6時間後に0°C近くまで上昇し、蓄冷材2では12時間、蓄冷材3では16時間であった。また、融解し、再び温度上昇するのが蓄冷材1は16時間後、蓄冷材2では32時間、蓄冷材3では44時間であり、蓄冷材の容量、形状によって特性に大きな差異が見られた。

ヘッドスペース温度 (箱内部温度) は急速に昇温し、2~3時間で0°C以上になり、実験区間の差が小さい (Fig. 5, 6)

3.2.2 蓄冷材の融解後の容量・形状による特性差異

蓄冷材の温度は容量の小さいものほど上昇

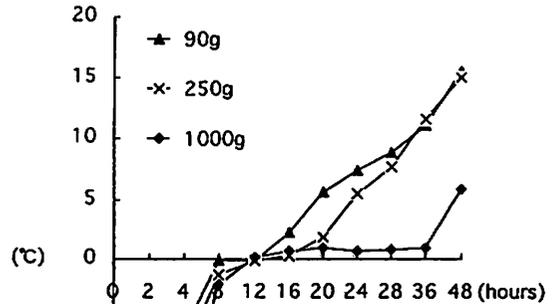


Fig. 5 Temp. of coolant (on freeze)

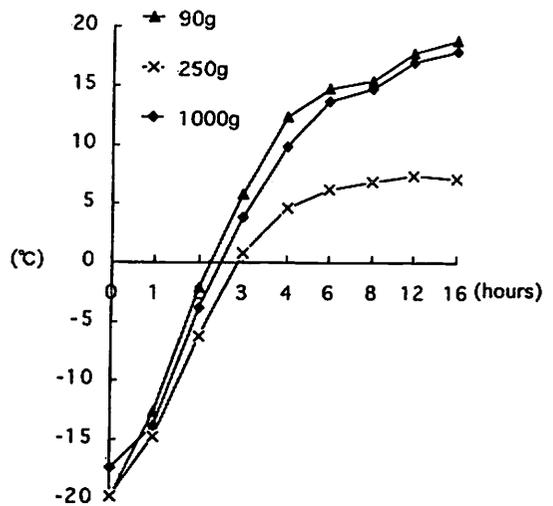


Fig. 6 Headspace temp. using coolant (on freeze)

が速く、容量の大きいものほど上昇が遅い。

1個の容量の小さい蓄冷材1では、10°Cに上昇するまでの時間が7時間、20°Cで21時間であったが、容量の大きな蓄冷材3では10°Cまで11時間、20°Cで29時間であった (Fig. 7)。

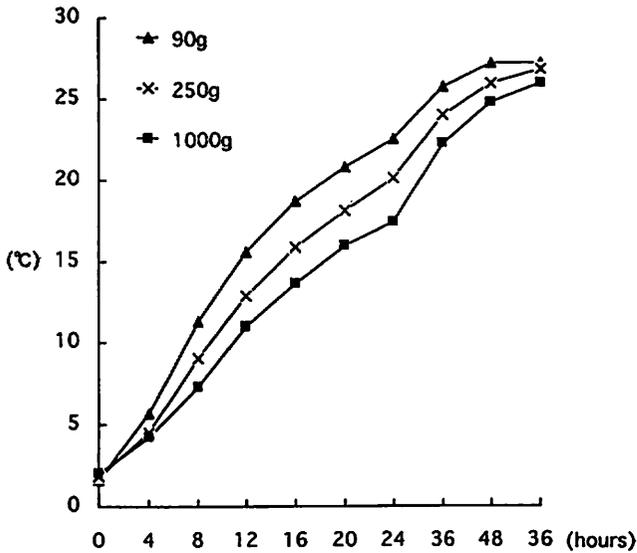


Fig. 7 Temp. of coolant (after melt)

4. 考 察

4.1 保冷用容器の性能評価

4.1.1 保冷用容器の保冷性の差異

保冷用容器間の特性に差異があり、容器内の模擬果実の品温およびヘッドスペース温度に差が見られた。

前報で示したように、熱通過率には断熱材の熱伝導率と厚さだけでなく、表面熱伝達(係数)が重要な要因であり、箱での保冷性も同様な傾向を示した。

また、段ボール箱とアルミラミ段ボール箱では両面S (Aフルーツ) と複両面W (ABフルーツ) 段ボール箱の差は小さかったが、これは表面熱伝達抵抗が大きい場合、材料内部の熱伝導率の差は熱通過率に影響が小さいことを示した。

前報の熱伝導率の結果から断熱材の両面熱通過率を次式のように求めた¹²⁾ (Table 3)。

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2}}$$

k: 熱貫流率 (W/m²K), λ: 熱伝導率 (W/mK)
L: 試料の厚さ (m)

低温度差における熱伝達率を h_1 と $h_2 = 5.0$ (W/m²K) として試算した¹²⁾。

また、見かけの移動熱容量は容器内の模擬果実とヘッドスペースの熱容量から下式で試算し、移動熱量を比較した (Table 4)。

$$Q = (V_0 - V_1) \times \rho_0 \times C_0 \times \theta_0 + V_1 \times \rho_1 \times C_1 \times \theta_1$$

ただし、 V_0 : 容器内容積, V_1 : 模擬果実容積
 C_0 : 空気の比熱, C_1 : 模擬果実の比熱
 ρ_0 : 空気の比重, ρ_1 : 模擬果実の比重
 θ_0 : 容器内温度上昇, θ_1 : 模擬果実温度上昇

4.1.2 気密封緘方法による保冷性の差異

段ボール箱の断熱特性がフィルム内装によって改善されるのは、これはガスバリアー性によって対流(物質移動に伴う)による熱移動を減少させる効果やフィルム表面の熱伝達抵抗による効果でフィルムが断熱壁として作用した。

箱としての断熱構造の欠陥を持つ、段ボール箱の形状をした容器でも、フィルム袋などで断熱性を補えば、大幅な保冷効果向上がみられた (Table 5)。

4.1.3 保冷用外装材の熱工学的な考え方

(1) 熱通過の考え方から

保冷用外装材の熱の移動は、例えば、底面では壁を挟んだ固体と固体との熱伝導などがあり、側面は部分的な接触による熱通過などで、上面からは空気と包材壁と空気の熱通過などで、形態は様々である。また、熱流入には包材の構造欠陥による外気からの流入、拡散が考えられる。

Table 3 Comparison of the insulation ratio, heat transmission and cool-retaining time under 10°C, 20°C

Packaging materials	u (W/m ² K)	k ₂ (W/m ²)	Cool-retaining time	
			10°C (h)	20°C (h)
EPS	2.19	1.34	7.8	19.5
PSP Fiberboard	6.94	1.84	5.7	15.5
AL Corrugated board (S)	11.70	2.06	7.0	18.0
AL Corrugated board (W)	7.54	1.88	7.2	19.0
Corrugated board (S)	12.70	2.09	5.0	13.0
Corrugated board (W)	7.70	1.89	5.3	13.3

u : Heat conductance (W/m²K)¹¹⁾

k₂ : Estimated heat transmission on panel, double side (W/m²K)

Table 4 Outlook of heat movement (KJ)

Container	Δ Q			
	2 to 4h	4 to 6h	6 to 8h	(20 to 24h)/2
EPS	54.4	52.3	50.2	24.0
PSP Fiberboard	75.3	66.9	54.4	18.8
AL Corrugated board (S)	56.5	58.5	50.2	19.9
AL Corrugated board (W)	58.6	60.6	46.0	19.9
Corrugated board (S)	102.5	85.7	62.7	19.9
Corrugated board (W)	102.4	85.7	64.8	19.9

Table 5 Improvement of cool retention by using inner bag

Container	Reduction of heat entering in 4 hours (%)
EPS	6
PSP Fibreboard	20
AL Corrugated board (S)	24
AL Corrugated board (W)	21
Corrugated board (S)	42
Corrugated board (W)	40

(2) 熱抵抗の考え方から

熱流束はニュートンの冷却の法則により $q = h(\theta_1 - \theta_2)$ で表される。保冷用容器の断熱による熱抵抗を考えると一次的に

は下記のとおり表すことができる。

$$q = \Delta\theta / R = \Delta\theta / rNb$$

q : 熱流束 (W/m²), θ : 温度 (K), R : 全熱抵抗, r : 断熱率, N : 定数, b : 構造的断熱性

保冷用外装材は3次元での材料の熱伝導率、熱通過率と構造的な断熱性から構成されると考え、保冷性を評価するには熱抵抗としての断熱性が有効である。

4.2 蓄冷材の保冷特性

蓄冷材の温度は蓄冷材の容量・形状により特性の差異が見られた。容量の小さいものほど温度上昇が速く、容量の大きいものほど温度上昇が遅い。

しかし、蓄冷材は侵入熱を吸収するので熱容量が同じであれば形状による特性差は保冷性の優劣を示すものではない。温度上昇の早い蓄冷材は侵入した熱を早く吸収し0℃前後に精度良く維持するのに適している。また、温度上昇の遅い蓄冷材は保冷容器内を低温に保つ時間が長い。

また、段ボール箱のように外装材の断熱性が低い場合、蓄冷材による特性差は小さい。ヘッドスペース温度が上昇し、初期の保冷効果は相対的に小さくなる。

5. 結 論

青果物における保冷用資材の利用は、青果物は冷凍品と異なり、保冷する際に0℃を大きく下回ることにはできない。また、青果物は生理作用を続けており、呼吸熱を出すなど独特の特性がある。そのため青果物個々に適正な保冷用包装についての設計が必要である。そのため、保冷容器の3次元での熱通過の解析や予冷、出荷、流通を通じての熱工学的な把握を行いたい。

また、今回、供試できなかった外装材としては、PSP段ボールのフルーツの一部を加工して熱対流による熱交換を防止した断熱段ボール¹³⁾ やフルーツがハニカムコア状になった段ボールなどがあり、今後の研究につなげたい。

一方、保冷性能の向上に有効であったフィルム包装は、同時に青果物鮮度保持の手法のひとつであるMAP (MA包装) 効果¹⁴⁾ も考えられ、大きな鮮度保持効果が期待できる。

今回の実験は模擬果実による実験であり、実際の青果物の包装においては別の挙動を示

すものと想定される。呼吸熱やガス組成による青果物生理活性の変化や、輸送振動による影響などの要因があり、これも今後の研究課題としたい。

<引用文献>

- 1) 斉藤良治、アグリビジネス、8 (32), 30 (1993)
 - 2) 打田宏、アグリビジネス、8 (32), 95 (1993)
 - 3) 邨田卓夫、兵藤宏、山脇和樹、田中邦明、園芸学会雑誌、60 (2), 634 (1991)
 - 4) 渡辺兼五、東城清秀、広瀬雅機、藍房和、打田宏、中村洋、“平成3年度第50回農業機械学会要旨集”、p.195 (1991)
 - 5) 初谷誠一、“鮮度保持流通技術の実用知識”、流通システム研究センター、p.110 (1993)
 - 6) 河合保、“93年版農産物流通技術年報”、流通システム研究センター、p.93 (1994)
 - 7) 三宮篤實、“90年版農産物流通技術年報”、流通システム研究センター、p.86 (1991)
 - 8) 正岡論、月刊紙器・段ボールの技術、84 (2), 98 (1989)
 - 9) 五十嵐秀夫、食品流通技術、18 (6), 205 (1989)
 - 10) 大畑孝、食品技術、27 (67), 710 (1989)
 - 11) 打田宏、中村洋、日本包装学会誌、4 (1), 1 (1995)
 - 12) 一色尚次、北山直方、“伝熱工学”、森北出版、p.31 (1990)
 - 13) 望月紀寿、菅沼広行、斎藤昭三、荻野貞良、杉山直人、倉田俊彦、“静岡県富士工業技術センター報告” 第2号、p.55 (1992)
 - 14) 石谷孝佑、渡邊好昭、平田孝、“日本包装学会第2回年次大会要旨集”、p.18 (1993)
- (原稿受付1993年11月10日)
(審査受理1994年11月11日)