

一般論文

青果物用保冷外装材の評価方法

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1報)

打田宏* 中村洋** 東城清秀*** 太田英明****

Evaluation Method of Outer Packaging Materials for Cold Reservation of Fruits and Vegetables Studies on Cold Insulating Materials for Keeping Freshness of Fruits and Vegetables (Part 1)

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

This paper is described on comparison several outer packaging materials for cold reservation of fruits and vegetables.

Insulation, heat resistance and cool-storage properties of several insulating packaging materials such as expanded polystyrene (EP; 50 magnifications, thickness 16.6mm), EPS/Fiberboard, Corrugated boards (A, AB flute) and Corrugated boards (A, AB) / 12 μ PET / 700 μ meta-raized AL were measured by cold insulation container testing equipment.

It is known that cool-storage properties are not only depended on heat conductance and thickness of insulating materials but also surface heat conductivity.

Effects of coolants to cool storage properties in insulating packaging became relatively smaller because the head space temperature in box is early increase in the case of low heat insulation package and as a result, there were no difference in some kinds coolant.

Keywords : Insulation material, Package, Expanded polystyrene, Corrugated fiberboard, Heat conduction, Coefficient of thermal insulation, Insulation test

青果物を低温流通する保冷用外装材が数多く開発され、普及している。特に発泡スチロール容器は保温・保冷性能が優れているとして大量に利用されている。その根拠となっているのが熱伝導率が小さい事である。

そこで、市販されている数種の保冷用外装材の保冷特性評価のための実験を行った。

熱伝導から求めた材料内の熱コンダクタンスは、発泡スチロール (厚さ 16.6mm) と両面段ボール (A フルート厚さ 5.0mm) の比較では 1 : 5.73 であった。

熱伝達と熱伝導の複合した熱通過率では発泡スチロールと段ボールの比較で 1 : 2.36 であった。

また、断熱率では、発泡スチロール 84.5% に対して段ボール 62.0% であった。

包装材料は環境変化から中身を保護することが主な役割であり、保冷容器においては内容品の品温を保持することが求められる。したがって、材料内部の熱伝導だけでなく、外気の影響や接触する空気との熱伝達を含めた熱通過の考え方が必要である。

キーワード : 保冷用資材、包装、発泡スチロール、段ボール、熱伝導、断熱率、断熱性試験

* 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

国民の食生活の向上に伴い、鮮度の高い野菜へのニーズが高まり、予冷出荷される青果物は品目、量ともに増大してきた。同時に産地の遠隔地化が進んでおり、収穫から消費までの時間も増大傾向にある¹⁾。青果物の鮮度を保持し消費者に届けるためには低温流通が必要であるが、産地から消費地までのコールドチェーンは完備されているとはいえない。そのため、鮮度低下の著しい品目には、低温を持続するために保冷用資材が利用されている。

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つにわけられる。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^{2) 3)}。

発泡スチロール容器はリンゴで最初に導入され、最近では、予冷した後、保冷流通するためにネギ、ブロッコリー、アスパラガス、キヌサヤエンドウ、エノキダケなど多くの青果物で利用されるようになってきた。特にリ

ンゴ、漬物、ブロッコリー向けが多く、発泡スチロールの生産量約22万tのうち、農業用として約6%、1.4万t(平成4年)が使用されている⁴⁾。

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⁵⁾、また保冷用外装材と通常外装材で包装された青果物に明確な温度差が見られない場合もある⁶⁾。このような問題は予冷が不十分であったり、低温流通、コールドチェーンの未整備であることに起因するものも多いが、保冷用資材の不適切な利用による場合もある。

青果物の予冷や低温流通に関する研究、報告は多いが、保冷用外装材の保冷効果については殆ど検討されていない。そこで、保冷用外装材の保冷特性を把握するとともに適切な評価方法を求め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

2.1 保冷用外装材の熱伝導率

供試材料としては、市販されている代表的な保冷用外装材 (Table 1) を本実験に使用

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

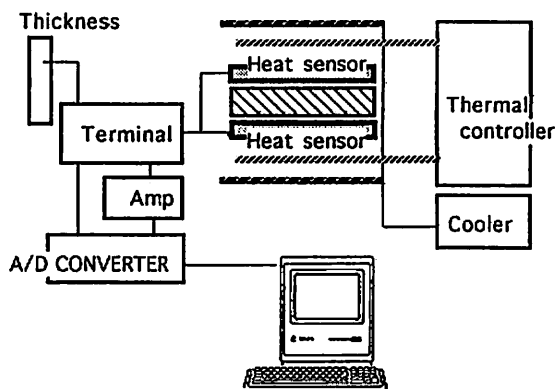


Fig. 1 Thermal conductivity test equipment

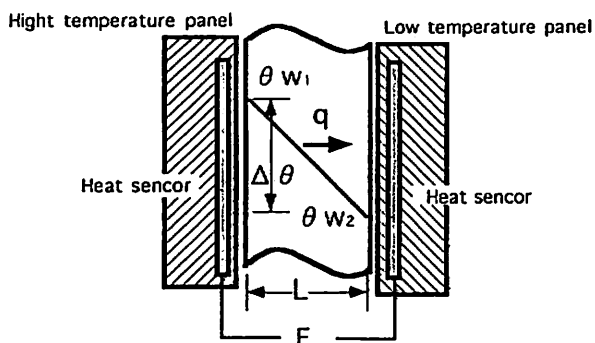


Fig. 2 Thermal conductivity test equipment

した。試料の熱伝導率 (λ) は熱流計法 (ASTM C518) に基づいた熱伝導度測定装置 (英弘精機 (株) HC - 071H) を用いた (Fig. 1)。

仕組みは Fig. 2 に示すように、高低温板にある一定の温度差をつけ、そのときの熱流センサー板の出力電圧 (E) と試料の両面の温度差 ($\Delta\theta$) を測定することにより、試料を流れる単位面積あたりの熱量 (q) から次式により求めた。高低温板の設定は、高温側は 35°C 、低温側は 5°C とした。

$$q = \frac{E}{s} = \frac{\lambda \cdot \Delta\theta}{L}$$

$$\lambda = \frac{EL}{\Delta\theta s}$$

- q : 試料を通過する単位面積あたりの熱量 (W/m^2)
- s : 熱流センサー板の感度 (mV/Wm^2)
- E : 熱流センサー板の出力電圧 (mV)
- λ : 試料の熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)
- $\Delta\theta$: 試料両面の温度差 (K)
- L : 試料の厚さ (m)

2.2 保冷用外装材の断熱性

供試材料は実験 2.1 と同じものを用いた。試験装置は ASTM D - 1518 - 57T に基づい

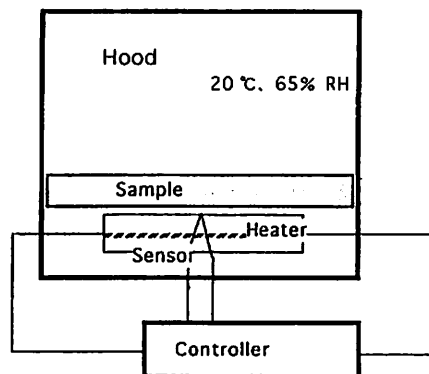


Fig. 3 Thermal insulation tester (ASTM-D1518)

た断熱試験機 (東洋精機 (株)、# 718 Fig. 3) を使用した⁷⁾。装置はヒーターとそのコントローラからなり、ヒーター表面が 35°C に保たれる電力量を測定する。試験は 20°C 、 65% RH の温湿度環境 (JIS P - 8111) に制御された恒温恒湿試験室内で試験した。

ヒーターの上面からの試験片の有無によるヒーター表面からの放熱量の比 (消費電力量の比に等しい) を求め、次式から断熱率を計算した。

$$\text{断熱率 (\%)} = (1 - b/a) \times 100$$

ただし、 a : 空試験による放熱量 (W/h)

b : 試験片を取り付けたときの放熱量

ヒーターの表面温度が35℃に一定に保たれているときの、ヒーター表面からの放熱量を基準値とする（ヒーター寸法：150×150mm、試料寸法：300×300mm）。

3. 実験結果

3.1 保冷用外装材の熱伝導率

熱伝導率および単位面積、単位時間、単位温度差あたりの熱通過係数である熱コンダクタンスを求め Table 2 に示した。

単位時間あたりに流れる熱量 Q は Fourier の法則より

$$Q = qAu = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{L} A$$

よって

$$q = \frac{\lambda}{L} (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\lambda}{L} \Delta \theta$$

また、

$$u = \frac{\lambda}{L}$$

で示される。

- Q : 伝熱量 (W), θ : 温度 (K), A : 表面積 (m²)
- λ : 熱伝導率 (W/mk), q : 熱流束 (W/m²)
- u : 熱コンダクタンス (W/m²K)
- L : 試料の厚さ (m)

熱伝導率は材料間の差があり、断熱材料は小さな値を示した。さらに熱コンダクタンスは材料によって、大きな差が見られた。

熱コンダクタンスは熱伝導率が同じであれば、厚いものが低い値を示す。発泡スチロールは熱伝導率が低く、厚さがあるため、熱コンダクタンスは小さな値を示す。以下、PSP (ポリスチレンペーパー) 段ボール、アルミラミネート複両面段ボール (ABフルート)、通常複両面段ボール (ABフルート)、アルミラミネート両面段ボール (Aフルート)、通常両面段ボール (Aフルート) の順で熱コンダクタンスが大きくなる。

3.2 保冷用外装材の断熱率

この試験機は供試品間の相対的な比較に用いる事ができる。外装材の断熱率は Table 3 に示したように求められた。

発泡スチロールは断熱率が最も大きく、PSP 段ボール、アルミラミネート複両面段ボール、アルミラミネート両面段ボール、通常複両面段ボール、通常両面段ボールの順に断熱率が小さくなる。

Table 2 Thermal conductivity of heat insulating materials

Packaging materials	L (mm)	λ (W/mK)	Ave Temp (°C)	u (W/m ² K)
EPS	16.6	0.0364	19.8	2.19
PSP Fiberboard	6.9	0.0479	19.8	6.94
AL Corrugated board (S)	4.8	0.0562	19.8	11.70
AL Corrugated board (W)	7.2	0.0543	19.8	7.54
Corrugated board (S)	5.0	0.0634	19.7	12.70
Corrugated board (W)	7.3	0.0562	19.8	7.70

L : Thickness (mm), λ : Thermal conductivity (W/mK)
u : Heat conductance (W/m²K)

Table 3 Insulation ratio of heat insulating materials

Packaging materials	Insulation ratio (%)
EPS	84.5
PSP Fibreboard	71.1
AL Corrugated board (S)	66.3
AL Corrugated board (W)	68.9
Corrugated board (S)	62.0
Corrugated board (W)	66.2

4. 考察

4.1 青果物保冷用外装材の熱移動

青果物は収穫後選果箱詰めし、予冷した後冷凍トラックなどで低温輸送されている。しかし卸売市場に到着した後は常温に積み上げ放置されることが多く、青果物品温も上昇する^{1) 5) 6)}。

包装された物はいろいろな熱の移動が行われ、単体では外気や床面から包装材料へ、さらにヘッドスペース、包装する対象へと熱が移動する。

4.2 実験の伝熱工学モデル化

今回の実験を伝熱工学のモデルにあてはめると、実験2.1は熱伝導で、実験2.2は気体と固体内の熱伝達と熱伝導で構成される熱通過である⁹⁾。

4.2.1 包装材料内の熱伝導

単位時間あたりに流れる熱量 Q はFourierの法則より

$$Q = qAu = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{L} A$$

と表され、熱量は熱コンダクタンスに比例す

る。熱コンダクタンスは材料によって、大きな差が見られ、例えば通常段ボールSは単位時間あたりに発泡スチロールの5.74倍の熱量が流れる。

仮に通常段ボールで発泡スチロールと同様に熱量の流れを抑制しようとする、重ね合わせによる熱伝導率の変化がないとして、現行の5.73倍の厚さ(28.7mm)が必要となる。

また、通常段ボールの比較では複両面段ボールは両面段ボールに比べ厚いため、熱伝導率はほぼ同じであるが、熱コンダクタンスでは大きな差が生じた。

4.2.2 外気と包装材料間の熱移動(熱伝達と熱伝導による熱通過)

次に、行った実験2.2は部分的には熱伝達と熱伝導から構成される。包装材料と外気との熱移動を見るためにFig. 4に示すように平面片面での熱伝達率および熱伝導の熱通過モデルにあてはめて試算をした。

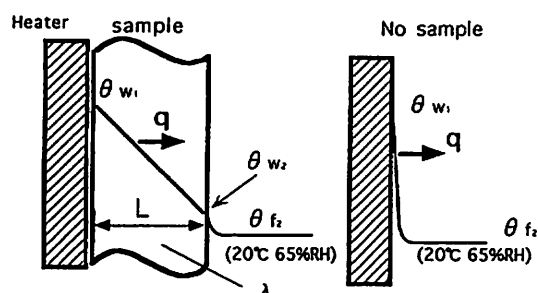


Fig. 4 Thermal insulation tester

実験2.1でもとめられた熱伝導率および実験2.2の条件から計算した。なお、自然対流中の低温度差における熱伝達率を $h_2 = 5.0$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)として試算した⁹⁾。

Newtonの冷却の法則より

$$h_2 = 5.0 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$\theta w_1 = 308 \text{ (K) (35}^\circ\text{C)}$$

$$\theta f_2 = 293 \text{ (K) (20}^\circ\text{C)}$$

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

$$q = k (\theta w_1 - \theta f_2)$$

包装材料内の熱伝導に外気である空気との熱伝達に加わることによって熱通過率は素材間に差がみられたが、熱コンダクタンスに比べ、小さいものとなった。

4.2.3 外装材の断熱率と片面の熱通過

実験2.2の試験機は、物理的に熱抵抗の相対的な比較しか行なえないが、断熱率と4.2.2で示された片面の熱通過モデルを対比させると、断熱率を求めるための放熱の比率 (b/a) と片面の熱通過率に相関係数0.975の相関がみられ、評価方法の一つとして利用できる (Table 4)。

4.3 伝熱性、断熱性能と保冷用外装材の評価

保冷用外装材で包装された青果物は伝熱工学的にみると様々な熱の移動が行われている。単体では外気や床面から容器へ、容器から容器内のヘッドスペース、青果物へと熱が移動する。そのため単一の方法では適切な評価はできない。

そこで今回の実験では、市販されている保冷用外装材を用いて、材料としての熱伝導率、また包装用外装材として熱伝導と熱伝達を加えた熱通過、さらに、保冷する容器として熱抵抗と考える断熱率の3つのモデルで保冷用外装材を評価した。

熱伝導から求めた熱コンダクタンスの比較では、今回実験の包装材料のなかで一番高いものと低いものである発泡スチロールと段ボールAフルードで1:5.73であった。

また、熱伝達と熱伝導の複合した片面の熱通過モデルで試算すると、発泡スチロールと段ボールの比較で1:2.36であった。

さらに、保冷用外装材ではどれだけ温度が

Table 4 Comparison of the insulation ratio and Coefficient of overall heat transmission

Packaging materials	u (W/m ² K)	k (W/m ²)	R (%) 1-b/a	b/a
EPS	2.19	1.52	84.5	15.5
PSP Fiberboard	6.94	2.90	71.1	28.9
AL Corrugated board (S)	11.70	3.50	66.3	33.7
AL Corrugated board (W)	7.54	3.01	68.9	31.1
Corrugated board (S)	12.70	3.59	62.0	38.0
Corrugated board (W)	7.70	3.03	66.2	33.8

λ : Thermal conductivity (W/mK)

u : Heat conductance (W/m²K)

k : Estimated heat transmission on panel, experiment 2.2 (W/m²K)

R : Insulation ratio on experiment (%)

b/a : Radiation ratio on experiment 2.2 (%)

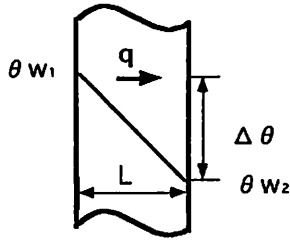


Fig. 5 Heat conduction

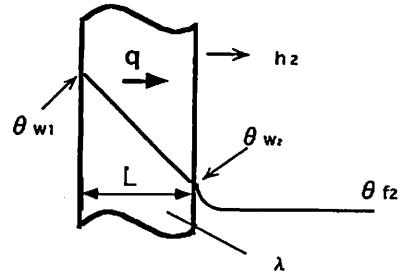


Fig. 6 Model of thermal insulation tester

維持されたかという抵抗の考え方もできる。断熱試験機を用いて断熱率を求めたところ、発泡スチロール84.5%に対して段ボール62.0%であった。

5. 結 論

包装材料は環境変化から中身を保護するのが役目であり、保冷容器においては素材内部の熱伝導だけでなく、外気の影響、接触する空気との熱通過の考え方が必要である。

さらに、材料としての評価だけでなく、容器や箱での評価は異なるものと思われ、さらに研究が必要である。

謝 辞

熱伝導率測定にあたっては本州製紙(株)、同開発研究所の多くの方のご協力を頂きました。深く感謝致します。

<引用文献>

- 1) 打田宏、アグリビジネス、8 (32), 95 (1993)
- 2) 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)
- 3) 正岡論、月刊紙器・段ボールの技術、84 (2), 98 (1989)
- 4) 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 (1991)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 兼子知行、松本頼明、渡辺伊太郎、包装研究、10 (1), 23 (1989)
- 8) 日本機械学会、“熱工学資料”、丸善、p.5 (1989)
- 9) 一色尚次、北山直方、“伝熱工学”、森北出版、p.31 (1990)

(原稿受付1993年11月10日)

(審査受理1994年11月11日)