イチゴ輸送中の衝撃解析と損傷発生予測

北澤裕明¹・石川 豊^{1*}・路 飛¹・胡 耀華²・中村宣貴¹・椎名武夫¹

¹ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所 305-8642 茨城県つくば市観音台

² 西北農林科技大学機械電子工程学院 712100 中華人民共和國陝西省楊凌区西農路

Analysis of Shock during Strawberry Transport and Damage Estimation

Hiroaki Kitazawa¹, Yutaka Ishikawa^{1*}, Fei Lu¹, Yaohua Hu², Nobutaka Nakamura¹ and Takeo Shiina¹

¹ National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

² College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Xinong Road, Yangling District, Shaanxi Province 712100 People's Republic of China

Abstract

To determine preventive measures for strawberry damage from shock during transport, we measured the shock frequency and level during actual transport using an acceleration recorder and determined these effects on the commercial quality of fruit. In addition, we investigated cushioning materials for use in reducing both shock and quality loss during transport. Shock was found to be concentrated in the bottom layer of boxes. The effect of shock severity and frequency on quality could be shown as a power approximate curve ($R^2 = 0.98$) and used to deduce quality loss from shock. Using this curve, the relationship between thickness of cushioning materials and the degree of reduction in quality loss of the fruit was determined. Based on these findings, packaging could be designed to reduce damage caused by shock during strawberry transport.

Key Words : acceleration, cushioning materials, export, packaging

キーワード : 緩衝材, 加速度, 包装, 輸出

緒 言

道路環境の整備や輸送トラックの性能向上(臼田ら, 2006)などにより, 輸送工程における青果物の損傷は以前と比較し, 軽減されつつあると考えられる。しかし, 軟弱果実の代表的存在であるイチゴにおいては, その輸送工程における果実の損傷が依然として問題となっている(中村ら, 2007, 2008)。近年では九州産の‘福岡 S6 号’(商標名: あまおう)が首都圏へ出荷されるなど, 国内におけるイチゴの輸送距離は従来と比較し, 長くなる傾向にあるが(中村ら, 2007), 輸送距離の増加によりイチゴが振動および衝撃を受ける機会が増加している可能性も考えられる。さらに, 近年イチゴの海外への輸出が拡大されつつあるが(農林水産省, 2009), 青果物の海外への輸送工程においては, 国内向けの輸送で想定される以上の振動および衝撃が発生することが報告されている(Ishikawa ら, 2009)。これらを踏まえると, イチゴの輸送工程における損傷が今後より一

層問題となる可能性も懸念され, 輸送工程における振動および衝撃発生状況を詳細に解明するとともに, 得られた知見に基づいた損傷防止のための緩衝包装設計が急務であると考えられる。

振動がイチゴの損傷発生に及ぼす影響に関しては, これまでに S-N 曲線理論の応用による損傷発生理論の構築(岩元ら, 1980)や輸送振動を考慮した緩衝包装設計(北澤ら, 2008; Singh, 1992)などの研究が行われてきた。しかし, イチゴにおいて衝撃の影響を詳細に解明し, その対策について研究した例はほとんど無い。一方, Ishikawa ら(2009)はオウトウの輸送工程における振動および衝撃の解析を行い, 輸送中の衝撃が果実の損傷発生の主要因となっていることを示唆しており, イチゴにおいても輸送工程における衝撃が損傷発生の大きな要因となっている可能性が考えられた。

本研究ではイチゴの損傷発生に及ぼす衝撃の影響に着目し, 実際のイチゴの輸送工程における衝撃発生状況を調査するとともに, イチゴの損傷に及ぼす衝撃加速度および衝撃繰り返し回数の影響を調査した。さらに, 想定される衝撃加速度および衝撃繰り返し回数に対応した緩衝包装設計のために, 厚さの異なる緩衝材を箱内底面に配置した際における衝撃および果実損傷の軽減効果を検討した。

2009 年 5 月 1 日 受付. 2009 年 8 月 25 日 受理.

本研究は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(課題番号 1913)により行われ, 一部は園芸学会平成 21 年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: yishi@affrc.go.jp

第1表 調査対象としたイチゴの輸送経路

日時（日本時間）	行程	輸送手段
1/24	5:00– 8:50 梱包・発送準備（福岡県久留米市） 宅配業者（福岡県久留米市）へ持ち込み	トラック
	13:30 頃 宅配業者発	
1/26	9:22 大田市場（東京都大田区）到着	
1/27	10:54 大田市場発	トラック
	12:03 成田国際空港（千葉県成田市）到着 20:00 成田国際空港発	
		飛行機
1/28	2:30 頃 スワンナプーム国際空港（タイ王国サムットプラカーン県）到着 17:05 スワンナプーム国際空港発	トラック
	21:00 現地販売店（タイ王国バンコク都）にて着荷確認	

材料および方法

1. 輸送工程における衝撃発生状況の調査（実験1）

1) 輸送経路

2009年1月24～28日にかけて、福岡県久留米市内からタイ王国バンコク都内までイチゴを輸送した際に発生する衝撃加速度および衝撃発生回数を調査した。輸送経路の詳細および各行程における輸送手段を第1表に示す。

2) 衝撃計測方法

供試した包装形態は、イチゴを9～15個ずつ詰めた発泡ポリエチレン製ソフトパックを段ボール箱（JIS Z1507, 0425）に2個ずつ梱包し、さらにこの段ボール箱を4個積み重ねてポリプロピレン製バンドで結束したものである。最下段の段ボール箱内のパックを1個取り除き、そのスペースに輸送環境記録計（DER-mini, 神栄テクノロジー、寸法130×90×62 mm、重量約800 g）を貼り付け（第1図）、輸送中の衝撃発生状況を調査した。包装の総重量は約5.3 kgであった。記録計の設定条件は、フレーム長：512ポイント、サンプリング周期：1.0 ms、フィルタモード：PASSおよびデットタイム：1 sとし、トリガレベル設定より2 G（1.0 G = 9.80665 m・s⁻²）以上の上下・左右・前後3方向の加速度をそれぞれ衝撃として記録した。

2. 落下の高さと衝撃加速度との関係（実験2）

1) 包装形態

ここでは、国内輸送において一般的に用いられている包装形態を用いた。すなわち果実を2段詰めしたPET製パック（外寸115×170×50 mm）を段ボール箱（JIS Z1507, 0425）に4個ずつ梱包し、さらにその段ボール箱を5個積み重ねてポリプロピレン製バンドで結束したものである。包装の総重量は約6.0 kgであった。

2) 落下の試験条件

落下高さは0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 および0.35 mとした。0.05～0.15 mでは手で鉄板上に落下させたが、0.20 m以上の高さでは包装容器を手動で垂直に落下させることが困難であったため、落下試験機（DTS-50, 神栄テ

クノロジー）を用いた。

3) 衝撃加速度の計測方法

パック内底面中央部に衝撃計測解析システム（SMH-12, 神栄テクノロジー）に接続された3次元加速度センサー

第1図 輸送工程における衝撃発生状況の調査における記録計の設置方法

第2図 落下時における衝撃加速度の計測方法

A：加速度センサーのパック底面への貼り付け方法、
B：粘土による加速度センサーの固定と重量の調整、
C：箱内に配置されたパック

(2366W, 昭和測器. 寸法 $8.0 \times 7.0 \times 5.5$ mm, 重量 1.2 g) を両面テープで貼り付け (第2図A), その上から粘土を詰めて固定した (第2図B). これを段ボール箱に梱包し, 1 (最下段) ~ 5 段目 (最上段) の箱内に配置することにより (第2図C), 落下時に各段のバックに係る衝撃加速度を計測した. 各箱内の残り3バック分のスペースには粘土のみを詰めたバック (ダミー) を配置した. 供試した包装形態における2L等級のイチゴ1バックあたりの重さは300~320 gの範囲にあったため, いずれのバックも重量が320 gとなるように調整した. 計測された衝撃加速度を衝撃・振動解析ソフトウェア (SMS-500, 神栄テクノロジー) に入力し, 3次元方向の衝撃加速度を合成することによりバックに生じた最大の衝撃加速度を算出した.

3. 衝撃加速度および衝撃繰り返し回数の違いが果実の損傷発生に及ぼす影響 (実験3)

1) 供試材料

茨城県内で生産され2日以内に収穫された‘とちおとめ’の果実 (等級2L) を用いた. あらかじめ目視による選抜を行い, 傷や腐敗が発生しているものや奇形果を除去した. さらに, その中から着色程度90%以上の果実のみを選抜し, 試験に供した. このような選抜を経た果実の硬度計 (KM-1, 藤原製作所) で測定した平均果肉硬度 (円筒形プランジャー (5 mm 径) 貫通時の最大抵抗力) は 0.57 ± 0.01 kgであった. 果実は1バック当たり15個詰め (上段: 3果×3列, 下段: 2果×3列) とした.

2) 損傷評価

試験に際し, イチゴの衝撃による損傷を判定するための基準に関する知見が見出せなかった. そのため, 本実験においてはISO 4180-1 付属書 (1980) に記載された損傷の数値化方法を参考に果実を落下させた際のオセ傷, 変形および果汁滲出の発生状況を以下の評点により数値化し, 評価することとした.

オセ傷なし:	0点
オセ痕あり:	1点
水浸状のスポットや変形を伴うオセ傷あり:	4点
果汁の滲出をともなう著しい変形あり:	7点

包装形態は実験2に準じ, バック下段の果実を調査対象とした. 実験2の結果に基づいて数段階設定した衝撃加速度を繰り返し印加した際のバック下段に配置した全果実の評点を平均化し, 1果当たりの評点が市販品の平均値である2.9 (予め6果×30バックについて調査を行い算出) を上回った際に商品性が喪失したと判定した. 反復数は3とした.

3) 損傷発生の予測式

S-N 曲線理論 (岩元ら, 1980) より, 衝撃の繰り返しによる果実の損傷を疲労破壊の一種であると仮定すると, 衝撃加速度 G と果実の商品性が喪失するまでの衝撃繰り返し回数 T との関係は以下の式で表される.

$$T = cG^{-b} \quad (1)$$

ここで, c および b は定数である. 実験3, 2) の結果を式 (1) に当てはめ, 商品性喪失に係る予測式を作成した.

4) 実輸送経路における損傷発生箇所の予測

実験3, 3) の理論より, ある衝撃加速度が発生した際に N 回の衝撃により果実の商品価値が喪失すると仮定すると, 1回の衝撃につき蓄積される損傷は N^{-1} となる. 従って, n 回衝撃が繰り返された際の果実の損傷度 D は

$$D = nN^{-1} \quad (2)$$

と定義される. 実験1の輸送経路において計測された衝撃加速度を積算し, 損傷度 D の総和が1となる地点を商品価値が喪失する箇所とした. 予測に際し, 実験1で用いた輸送環境記録計と実験2以降で用いた加速度センサーとの違いによる計測値の差異が想定された. Ishikawa ら (2009) は, 実験1で用いた輸送環境記録計を本調査と同一重量の包装容器に同一の取り付け方法 (箱内底面に貼り付け) で使用した場合, 0.20 m の高さから容器を落下させた際の衝撃加速度が約50 Gであったことを報告している. そのため, この報告における加速度値と実験2において包装容器を0.20 m の高さから落下させた際に計測された衝撃加速度を比較し, 実験1の経路における衝撃の積算値の補正を行った後に式 (2) を用いた予測を行うこととした.

4. 底面緩衝材による衝撃および果実損傷の軽減効果 (実験4)

1) 緩衝材

一般的な発泡ウレタンシート (密度 $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 25% 圧縮応力 1.85 kPa) を用いた. 厚さは5, 10 および 15 mm の3種類とした. 緩衝材は段ボール箱内底面とバックとの間に配置した.

2) 緩衝材による衝撃加速度および果実損傷の軽減効果

各厚さの緩衝材を1段目の箱内底面に緩衝材を配置した際における衝撃および果実損傷の軽減効果について, 実験2および3に準じた調査を行った.

結果および考察

1. 輸送工程における衝撃発生状況の調査 (実験1)

各行程における衝撃発生状況を第3図に示す. 陸路における衝撃加速度および衝撃発生回数についてその詳細をみると, 国内の行程においては衝撃の大半は5 G 未満であった (第2表). このような軽微な衝撃はトラック走行中における道路の轍や継ぎ目 (Lu ら, 2008) によるものと考えられた. また, 時折 20 G を超える衝撃の発生が認められたが, 日本国内におけるトラックの走行中においては, このレベルの衝撃発生は考え難い (Lu ら, 2008; Nei ら, 2008). さらに, これらの衝撃が発生する前後に全く衝撃が発生していない時間帯, すなわち輸送が停止していたと考えられる時間帯を伴う傾向がみられることから, このような衝撃

第2表 調査した輸送工程における衝撃発生頻度

行程	衝撃回数	衝撃加速度 (G) 区分					
		2-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
久留米市内～大田市場	86	67	13	4	— ^z	2	—
大田市場	17	14	3	—	—	—	—
大田市場～成田国際空港	165	152	13	—	—	—	—
成田国際空港	119	82	22	10	2	1	2
成田国際空港～スワンナプーム国際空港	—	—	—	—	—	—	—
スワンナプーム国際空港	38	33	4	1	—	—	—
スワンナプーム国際空港～現地販売店	70	64	1	5	—	—	—
全行程の合計	495	412	56	20	2	3	2

^z—は計測されなかったことを示す

第3図 調査したイチゴの輸送工程における衝撃加速度の変化

は宅配業者による積荷の中継時などにおける荷扱いによるものと推察される。タイ国内での輸送中における衝撃レベルおよび回数は日本国内のそれらと比較し大きく変わらなかった（第2表）。

成田国際空港到着から離陸までの間における衝撃の発生についてみると、10 G 以上 20 G 未満の衝撃が 10 回、20 G 以上の衝撃が 3 回、40 G 以上の衝撃が 2 回発生するなど、この行程における衝撃加速度は他の行程と比較して大きかった（第2表）。アウトウの空路による輸出において、空港における包装の積み込みおよび積み降ろし時に高レベルの衝撃が発生することが報告されている（Ishikawa ら、2009）。本調査においては、飛行機からの積み降ろし時（スワンナプーム国際空港内）に大きな衝撃の発生は考えられ

第4図 落下高さの違いが最下段の箱内に配置したパックに係る衝撃加速度に及ぼす影響

各点における調査数 = 4

衝撃加速度の計測に用いたセンサーの違いにより、本図中における衝撃加速度は第3図中で示した値よりも大きくなっている

なかったが、飛行機への積み込み直前の行程において大きな衝撃が発生する点に関して共通の結果となった。成田国際空港離陸後スワンナプーム国際空港着陸までの空路の行程において衝撃は確認されなかった（第2表）。

2. 落下の高さと衝撃加速度との関係（実験2）

包装容器を 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 および 0.35 m の各高さから落下させた際に 1 段目の箱内のパックに発生した衝撃加速度は、それぞれ 48, 83, 94, 117, 155, 193 および 220 G となり（第4図）、落下高さ h (m) と衝撃加速度 G との関係は、以下の通りとなった。

$$G = 451.9h^{0.77} \quad (R^2 = 0.95) \quad (3)$$

第3表 段ボール箱の位置の違いが落下時にパックに係る衝撃加速度に及ぼす影響

落下高さ (m)	衝撃加速度 (G)				
	1 段目	2 段目	3 段目	4 段目	5 段目
0.20	116.7 ± 4.5 ^z	57.1 ± 0.5	39.7 ± 1.3	36.0 ± 0.8	35.4 ± 0.5
0.25	154.6 ± 5.5	65.7 ± 0.7	57.8 ± 0.4	39.8 ± 0.8	35.4 ± 0.7
0.30	192.7 ± 3.7	71.8 ± 1.0	60.4 ± 2.7	48.1 ± 1.2	43.9 ± 1.4
0.35	220.2 ± 4.2	81.5 ± 0.9	64.7 ± 1.7	57.5 ± 0.6	45.7 ± 1.6

^z 平均値 ± 標準誤差 (n = 4)

第5図 バックに係る衝撃加速度の違いが果実の商品価値が喪失するまでの衝撃繰返し回数に及ぼす影響
各値は3反復の平均値
市販品における損傷程度の評点である 2.9 を上回るまでの衝撃繰返し回数

2, 3, 4 および 5 段目の箱内に発生した衝撃加速度は、それぞれ、1 段目の 37 ~ 49, 29 ~ 34, 26 ~ 31 および 21 ~ 30% 程度となり、1 ~ 2 段目の間での減衰が最も大きく、その後箱の段数が上がるにつれて、衝撃加速度はさらに小さくなった (第3表)。石川 (2008) はアウトウの 1 kg 箱を 5 段積み重ねた包装を用いた落下試験において、1 段目の段ボール箱が一種の緩衝材となり、上段の段ボール箱に伝達される衝撃加速度が大幅に減少することを示唆している。従って、本実験においても落下衝撃の大半は 1 段目の箱において吸収されたと考えられた。

3. 衝撃加速度および衝撃繰返し回数の違いが果実の損傷発生に及ぼす影響 (実験 3)

実験 2 の結果より、48, 60, 82 および 117 G の衝撃加速度を印加した際における果実の商品性が喪失するまでの平均落下回数を調査したところ、それぞれ 4.0, 3.3, 1.7 および 1.3 となった (第5図)。これらの結果を式 (1) に当てはめると以下の式 (4) が得られた。

$$T = 459.7G^{-1.23} \quad (R^2 = 0.98) \quad (4)$$

この式より、1 回の衝撃により確実に商品性が喪失すると予測される衝撃加速度は 148 G となる。

次に、式 (2) および式 (4) より実験 1 の経路で輸送した際に想定される衝撃加速度の積算値および商品性喪失箇所の推定を行った。実験 2 より、この実験における加速度センサーは、実験 1 の輸送環境記録計と同一高さから落下させた場合に、その計測値を 2 倍程度上回る値を示すことが明らかとなったことから、第3図の衝撃値を 2 倍した上で推定を行ったところ、1 段目に配置された果実の商品性は輸送開始から 9 時間程度の地点で喪失すると予測された (第6図)。従って、もし目的とする輸送工程において商品性に影響を及ぼすレベルあるいは回数の衝撃が想定される場合には、包装容器に係る衝撃を軽減する必要があると考

第6図 イチゴを第2図Cの包装形態により実験1で調査した経路で輸送した際に想定される衝撃加速度の積算値および最下段の箱内に配置された果実の商品性喪失箇所の予測
図中×は、商品価値が喪失すると予測される箇所を示す
実験1と実験2での加速度センサーの違いを考慮し、実験1で得られた衝撃加速度データを2倍した上で予測値を算出した

えられ、その一つの方法として包装容器における緩衝材の配置が考えられた。

4. 底面緩衝材による衝撃および果実損傷の軽減効果 (実験 4)

0.20, 0.25, 0.30 および 0.35 m の各高さから包装容器を落下させた際にバックに係る衝撃加速度は、緩衝材の厚さが 5 mm の場合、それぞれ 46, 56, 66 および 78 G となった (第7図)。同様に 10 mm では、それぞれ 31, 41, 49 および 59 G となり、15 mm では、それぞれ 22, 28, 32 および 39 G となった。これらの結果より、それぞれの緩衝材を使用した際における落下高さ h (m) とバックに係る衝撃加速度 G との関係は、以下の通りとなった。

$$5 \text{ mm: } G = 210.6h^{0.96} \quad (R^2 = 0.95) \quad (5)$$

$$10 \text{ mm: } G = 194.7h^{1.14} \quad (R^2 = 0.99) \quad (6)$$

$$15 \text{ mm: } G = 109.2h^{0.99} \quad (R^2 = 0.97) \quad (7)$$

第7図 緩衝材の厚さの違いが最下段の箱内に配置したバックに係る衝撃加速度に及ぼす影響
各点における調査数 = 4

第4表 緩衝材による衝撃加速度および果実損傷の軽減効果^z

緩衝材の厚さ (mm)	衝撃加速度 (G)		商品性喪失までの落下回数	
	予測値	実測値	予測値	実測値
0 ^y	148.6	144.2 ± 5.3 ^x	1.0	1.0 ± 0.0
5	52.1	52.6 ± 1.3	3.6	3.0 ± 0.0
10	37.3	36.8 ± 1.1	5.4	5.0 ± 0.0
15	27.7	25.0 ± 0.5	8.7	8.3 ± 0.3

^z 落下の高さ = 0.234 m^y 緩衝材無し^x 平均値 ± 標準誤差 (n = 3)

実験3において、1度の衝撃で商品性が喪失すると予想された衝撃加速度とほぼ同等の衝撃加速度（148.6 G、落下高さ = 0.234 m）を印加した際にパックに係る衝撃加速度は、緩衝材の厚さが5 mmの場合、式（5）より52.4 G、10 mmでは式（6）より37.3 G、そして15 mmでは式（7）より27.7 Gと予測された。また式（4）より、これらの衝撃により商品性が喪失するまでの落下回数は、それぞれ3.6、5.4および8.7回と予測された。実際にこれらの緩衝材を用いて調査を行った結果、3.0 ± 0.0、5.0 ± 0.0および8.3 ± 0.3回となり、おおむね予測通りとなった（第4表）。

これらの結果を、式（2）および（4）に当てはめ、実験1で調査した行程においてそれぞれの緩衝材を使用した際の1段目の果実における商品性の喪失箇所を予測すると、緩衝材の厚さを増加させるほど果実の商品性を維持できる区間は増加するものの、1段目の段ボール箱内に配置されたパック内の果実の商品性が成田国際空港に到着するまで維持される可能性は低いと考えられた（第6図）。従って、国内における長距離輸送や輸出を想定した場合、2段詰め包装以外の包装形態を用いること、実験1において大きな衝撃加速度の発生原因と考えられた積み荷の中継がなるべく行われない経路を選定することなどの対策が必要であると考えられた。

以上より、輸送経路や手段ごとの衝撃環境を把握した上で、実験室内の試験により果実の損傷程度や緩衝材の使用による衝撃の減衰程度を予め把握しておくことにより、各輸送条件下における商品性低下の発生を予測するとともに対策を講じることが可能になると考えられる。

摘 要

イチゴの輸送中に想定される衝撃加速度あるいは衝撃発生回数に対応した損傷防止対策のための基礎的知見を得るために、イチゴの輸送工程における衝撃加速度および衝撃回数を加速度記録計により調査し、それらがイチゴの商品性に及ぼす影響を調査した。さらに、緩衝材の使用によるそれらの衝撃および果実の商品性低下の軽減効果について検討した。その結果、輸送時における衝撃の大半が最下段の箱に集中することが明らかとなり、衝撃による損傷防止のための緩衝包装設計を行う場合、1段目（最下段）の包

装容器に係る衝撃加速度および衝撃回数について考慮すべきであることが示唆された。衝撃加速度と果実の商品性が喪失するまでの衝撃繰返し回数との関係は累乗近似曲線（ $R^2 = 0.98$ ）により表すことができ、この曲線により輸送工程における衝撃加速度および衝撃回数が果実の商品性に及ぼす影響を予測することができた。さらに、この曲線を用いることにより緩衝材の厚さと衝撃によるイチゴの商品性低下の軽減程度との関係を明らかにすることができた。以上の結果より、輸送経路あるいは手段ごとの損傷発生を予測することができ、的確かつ効率的な損傷防止対策が可能になると考えられた。

謝 辞 輸送工程における衝撃の計測および本文のとりまとめにあたり多大なるご協力を賜った独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター主任研究員、曾根一純氏に深謝し上げる。

引用文献

- 石川 豊. 2008. 輸出時に果実が受ける振動・衝撃解析. 農研機構シンポジウム「国産果実輸出促進を支援する技術開発の展望」講演要旨集：27-31.
- Ishikawa, Y., H. Kitazawa and T. Shiina. 2009. Vibration and shock analysis for fruit and vegetables transportation—Cherry transport from Yamagata to Taiwan by airplane—, *JARQ*, 43: 129-135.
- ISO 4180-1. 1980. Complete, filled transport packages—General rules for the compilation performance test schedules—Part 1. General principles: appendix.
- 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭. 1980. 青果物輸送の等価再現化に関する研究（第3報）. 一損傷に影響する振動加速度パワースペクトルの評価—. 農機誌. 42: 69-74.
- 北澤裕明・石川 豊・中村宣貴・椎名武夫. 2008. イチゴ輸送中の損傷を防止する新たな包装形態. 日食保蔵誌. 34: 19-23.
- Lu, F., Y. Ishikawa, T. Shiina and T. Satake. 2008. Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. *Packag. Technol. Sci.* 21: 479-489.
- 中村宣貴・梅原仁美・根井大介・岡留博司・石川 豊・中野浩平・前澤重禮・椎名武夫. 2008. 包装条件の違い

- がイチゴ果実の損傷に及ぼす影響. 農業施設. 39: 1–8.
- 中村宣貴・梅原仁美・岡留博司・中野浩平・前澤重禮・椎名武夫. 2007. 振動周波数および振動方向がイチゴの損傷に及ぼす影響. 農業施設. 38: 101–108.
- Nei, D., N. Nakamura, P. Roy, T. Orikasa, Y. Ishikawa, H. Kitazawa and T. Shiina. 2008. Wavelet analysis of shock and vibration on the truck bed. Packag. Technol. Sci. 21: 491–499.
- 農林水産省. 2009. 農林水産物・食品の輸出促進について. <http://www.maff.go.jp/j/export/pdf/meguzi_200904_01.pdf>
- Singh, S. P. 1992. New package system for fresh berries. Packag. Technol. Sci. 5: 3–12.
- 臼田浩幸・椎名武夫・石川 豊・佐竹隆顕. 2006. 青果物の3次元輸送振動シミュレーションのための基礎研究. 農業施設. 36: 215–222.