Agricultural Sci. J. 37 : 5 (Suppl.) : 292-295 (2006) ว. วิทย. กษ. 37 : 5 (พิเศษ) : 292-295 (2549)

อิทธิพลของความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความช้ำของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง

Influence of Natural Frequency and Packaging upon Apple Bruising in Transport Container

ณัฐพงศ์ รัตนเดช[1] และ บัณฑิต จริโมภาส[1]
Nuttapong Ruttanadat[1] and Bundit Jarimopas[1]

Abstract

This research was the study of the influence of frequency and packaging upon apple bruising in transport container by means of simulated vibration based on ASTM Standards D99 Method A2. Experimentation included two control factors, i.e. a) two frequencies (2.5 and 3.5 Hz) ; b) three random packaging in plastic crate (without foam net, with foam net, with foam net and tight fill pack). At the testing frequency of 3.5 Hz, tight fill pack was divided into 2 types (with and without vertical load of 478.7 N/m^2 on top of the apples). The fruit samples were Chinese Red Fuji cultivar.

Results showed that 2.5 Hz vibration caused fruit damage in the without foam net (WOFN) packaging, with foam net (WFN) packaging, and WFN and tight fill pack (TFP) packaging at the amount of 15.7, 12.7 and 8.7% respectively. For the 3.5 Hz vibration, fruit damage was 36.7, 19.0, 15.0 and 11.3% for the WOFN, the WFN, the TFP, and the WFN and TFP plus vertical load packaging respectively (TFPL). Damage size, mostly occurring, ranged from 11 to 14 mm. for every packaging.

Keyword: Frequency, apple, packaging, bruising

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลจากความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความช้ำของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยใช้วิธีการจำลองการสั่นสะเทือนบนถนนด้วยเครื่องสั่นสะเทือนจำลองตามมาตรฐาน ASTM D999 method A2 การทดลองประกอบด้วยปัจจัยควบคุม 2 ตัวคือ ก) ความถี่มี 2 ขนาดคือ 2.5 และ 3.5 เฮิร์ต ข) วิธีการบรรจุแบบสุ่มในตะกร้าพลาสติก (ตะกร้าส้ม) 3 วิธีคือ 1) ไม่ห่อหุ้มผล 2) ใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผล 3) ใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลกับการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack สำหรับความถี่ 3.5 เฮิร์ตการทดสอบโดยการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack จะแบ่งเป็น 2 แบบคือมีและไม่มีภาระขนาด 478.7 นิวตัน/เมตร^2 วางทับด้านบนแอ็บเปิ้ลจีนพันธุ์ Red Fuji ผลการทดสอบปรากฏว่าการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ต มีความเสียหายเกิดขึ้นจากมากไปน้อยดังนี้ ผลไม่ห่อหุ้ม (15.7%) ใช้โฟมตาข่าย (12.7%) และแบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (8.7%) ขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้นมากที่สุดของบรรจุภัณฑ์ทุกแบบจะอยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-14 mm. สำหรับความถี่ 3.5 เฮิร์ตพบว่าความเสียหายเกิดขึ้นจากมากไปน้อยดังนี้ ผลไม่ห่อหุ้ม (36.7%) ใช้โฟมตาข่าย (19.0%) แบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (15.0%) และแบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack ที่มีภาระวางทับด้านบน (11.3%) ขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-14 mm. เช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: ความถี่สั่นพ้อง, แอ็บเปิ้ล, บรรจุภัณฑ์, การช้ำ

คำนำ

ความเสียหายประมาณ 10% ของผลผลิตเกษตรในช่วงของการขนส่งนั้นมาจากการสั่นสะเทือน (O'Brien *et al*., 1960) ปัจจัยของการสั่นสะเทือนที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายในผลผลิตเกษตรคือ ความกว้างของช่วงคลื่นและความถี่สั่นพ้องจากการสั่นสะเทือน (Gentry *et al.,* 1965) ควบคู่ไปกับระยะเวลาและลักษณะการเคลื่อนที่ (Peleg, 1985) Slaughter *et al.,* (1993) ได้ศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งของผล Bartlett pears ปรากฏว่าเกิดมากที่สุดที่ความถี่สั่นพ้อง 3.5 และ 18.5 เฮิร์ต Hinsch *et al*., (1993) รายงานว่ารถบรรทุกพ่วงที่มีระบบรองรับแบบสปริงเหล็ก และระบบรองรับแบบถุงลม ที่

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Kamphaengsaen campus, Nakhon Pathom, 73140

ใช้ในการขนส่งมะเขือเทศ มีความถี่สั่นพ้องในการสั่นสะเทือนที่ 3.5 เฮิร์ต ซึ่งสอดคล้องกับ Singh และ Marcondes (1992) สำหรับรถบรรทุกกระบะในประเทศไทยนั้น Jarimopas *et al*., (2005) พบว่ามีความถี่สั่นพ้องจากการสั่นสะเทือนอยู่ที่ 2.5 เฮิร์ต

แอ็บเปิ้ลเป็นผลไม้ต่างประเทศที่ได้รับความนิยมจากคนไทยมากมานาน ผลแอ็บเปิ้ลที่นำเข้ามาขายภายในประเทศนั้น ระยะหลังมาจากประเทศจีน ซึ่งมีราคาถูกว่าพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศสหรัฐอเมริกามาก เส้นทางการขนส่งส่วนใหญ่จะเป็นทางรถและทางเรือ ซึ่งลักษณะของบรรจุภัณฑ์ผลแอ็บเปิ้ลนำเข้านั้นจะบรรจุมาในกล่องกระดาษลูกฟูก มีน้ำหนักบรรจุ 20 กิโลกรัมต่อกล่อง โดยคัดแยกผลแอ็บเปิ้ลเป็นขนาดต่างๆกัน เช่น 85, 100, 113, 125 ผลต่อกล่อง เป็นต้น ผลแอ็บเปิ้ลแต่ละผลจะห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย โฟมเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่ง ที่มีน้ำหนักเบาและความหนาแน่นต่ำ และมีความเค้นภายในตัวน้อย แปรรูปง่าย ภายในมีฟองอากาศ ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานได้ดี จึงได้นำมาใช้ในการกันการกระเทือนระหว่างการขนส่ง (บัณฑิตและคณะ, 2543) นอกจากนี้โฟมตาข่ายที่ทำจากวัสดุพวกโพลีสไตรีน และโพลียูรีเทน เป็นฉนวนความร้อนและราคาถูก อีกทั้งยังสามารถห่อหุ้มได้แนบแน่นผลไม้อีกด้วย (พิชิต, 2521) Guillou (1963) พัฒนาการบรรจุผลไม้ให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งรู้จักกันในชื่อ “tight-fill” pack เป็นวิธีการบรรจุผลไม้ลงในภาชนะบรรจุแล้วเขย่าด้วยความถี่ 600 ถึง 900 รอบต่อนาที ด้วยช่วงชักสูงสุดด้วยอัตราเร่ง 2g ($a=r\omega^2$) นาน 5-10 วินาที แล้วใช้ภาระกดทับด้านบนภาชนะบรรจุ 10 ปอนส์ต่อตารางฟุต ซึ่งสอดคล้องกับ Jarimopas *et al*., (2004) ที่ระบุว่าการเขย่าตะกร้าส้มให้ผลส้มเคลื่อนที่เรียงตัวกันให้แน่นก่อนการขนส่งทำให้ความเสียหายเกิดขึ้นลดลง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของความถี่สั่นพ้องจากการกระเทือนและวิธีการบรรจุหีบห่อที่ส่งผลต่อความช้ำของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยประเมินผลความแตกต่างของรอยช้ำที่เกิดขึ้นในผลแอ็บเปิ้ลที่ระดับความถี่สั่นพ้อง 2.5 และ 3.5 เฮิร์ต, ความแตกต่างของบรรจุภัณฑ์แบบมีและไม่มีโฟมตาข่ายห่อหุ้ม และความแตกต่างที่เกิดจากการใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack

อุปกรณ์และวิธีการ

นำผลแอ็บเปิ้ลขนาดบรรจุ 100 ผลต่อกล่อง (No.100) บรรจุแบบสุ่ม (Random Pack) (Peleg k. and S. Hinga, 1986) ลงในตะกร้าพลาสติก (โดยทำตำหนิรอยช้ำที่เกิดขึ้นก่อนการทดสอบก่อน) จำนวน 7 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดมี 3 ตะกร้า ตะกร้าละ 100 ผล โดย 3 ชุดการทดลองแรกจะทดสอบที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ต และมีความแตกต่างกันที่การบรรจุหีบห่อคือ ชุดแรกผลแอ็บเปิ้ลจะไม่มีการห่อหุ้ม (WOFN) ชุดที่สองจะใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้ม (WFN) ส่วนชุดสุดท้ายจะห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFP) ส่วนอีก 4 ชุดการทดลองที่เหลือจะใช้ความถี่ที่ 3.5 เฮิร์ต โดยสามชุดจะมีลักษณะเหมือนกับการทดลองที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ต แตกต่างกันในชุดที่ 4 ที่จะเพิ่มเติมภาระ (Load) ขนาด 478.7 นิวตัน/เมตร^2 วางทับด้านบนแอ็บเปิ้ล ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFPL) ทั้งหมดจะทดสอบด้วยเครื่องจำลองการสั่นสะเทือน ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D999 Method A2 (ASTM, 1991; Chonhenchob and Singh, 2005) สำหรับการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack นั้น จะใช้ความถี่ที่ 10 เฮิร์ต นาน 5 วินาที แล้วจึงทำการสั่นสะเทือนที่ความถี่ทดสอบต่ออีก 1 ชั่วโมง ส่วนน้ำหนักภาระ (Load) ด้านบนจะใช้ถุงดินน้ำหนัก 9.95 กิโลกรัม จากนั้นทำการตรวจสอบรอยช้ำโดยใช้ ไม้บรรทัดที่มีรูกลมมาตรฐาน ขนาด 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 20, 22, 24, 30, 33 และ 40 มิลลิเมตรวางทาบเพื่อหาขนาดรอยช้ำ บันทึกขนาด จุดช้ำที่เกิดขึ้นต่อผล

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแต่ละขนาด} = \frac{\text{พื้นที่ความเสียหายในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้น} \times 100}{\text{พื้นที่ความเส้นหายที่เกิดขึ้นทั้งหมด}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดช้ำที่เกิดขึ้นต่อผล} = \frac{\text{ผลที่เกิดจำนวนจุดช้ำต่อผลที่ต้องการ} \times 100}{\text{ผลแอ็บเปิ้ลทั้งหมด}}$$

ผลและวิจารณ์

ผลจากการทดสอบสามารถหาค่าพื้นที่รอยช้ำที่เกิดขึ้นในความถี่สั่นพ้องและบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกันได้ ดังแสดงใน Table 1 ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติซึ่งแสดงใน Table 2 และ 3 เห็นได้ว่าผลกระทบของความถี่สั่นพ้องที่ 2.5 และ 3.5 เฮิร์ต ส่งผลต่อการทำให้เกิดพื้นที่การช้ำและจำนวนจุดช้ำที่แตกต่างกันโดยพื้นที่การช้ำรวมที่เกิดขึ้นกับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ตคือ 193.37 cm^2 ส่วนที่ความถี่ 3.5 เฮิร์ตเกิดขึ้นรวม 625.6 cm^2 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาถึงจำนวนจุดช้ำที่เกิดขึ้นต่อผล ปรากฏว่ามีผลแอ็บเปิ้ลเสียหายคิดรวมทั้งหมดดังนี้ คือผลที่มีจุดช้ำ 1 จุด

(13.14%), 2 จุด (2.73%), 3 จุด (0.61%), 4 จุด (0.33%), 5 จุด (0.19%) และไม่เสียหาย (82.99%) หากพิจารณาที่ขนาดของรอยช้ำปรากฏว่ารอยช้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm.เกิดขึ้นมากสุดคือ 31.66% รองลงมาคือขนาด 11 mm. คือ 29.24% จาก Table 2 ปรากฏว่าลักษณะที่แตกต่างของการบรรจุผลแอ็บเปิ้ลส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างกันของพื้นที่จุดช้ำบนผลหลังทดสอบ ซึ่งสามารถใช้ Duncan Multiple Range Test แบ่งกลุ่มของความแตกต่างของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อการเกิดพื้นที่การช้ำของผลแอ็บเปิ้ลได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้คือ กลุ่มที่1 คือผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย (WFN) และผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและทำการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFP) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% อีกกลุ่มคือผลที่ไม่มีการห่อหุ้มโฟมตาข่าย (WOFN) ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันกับกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยบรรจุภัณฑ์แบบ TPF เกิดพื้นที่รอยช้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ WFN และ WOFN ตามลำดับ

Table 1 Apple's damage for frequency 2.5 and 3.5 Hz.

	Frequency						
	2.5 Hz.			3.5 Hz.			
Type of Packaging	WOFN	WFN	TFP	WOFN	WFN	TFP	TFPL
Damage Area (cm^2)	109.72	44.57	39.08	362.22	161.63	101.75	48.78
Size of Damage (%)							
6 mm.	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	2.3
7 mm.	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0	1.9	2.3
8 mm.	7.7	5.0	6.1	3.3	1.4	1.9	4.7
9 mm.	5.8	12.5	6.1	1.1	4.2	1.9	11.6
10 mm.	15.4	10.0	6.1	12.0	2.8	13.2	20.9
11 mm.	26.9	37.5	30.3	23.9	33.3	22.6	30.2
14 mm.	26.9	30.0	45.5	34.2	34.2	34.0	16.3
17 mm.	5.8	5.0	3.0	7.6	7.6	15.1	7.0
20 mm.	3.8	0.0	0.0	8.7	8.7	3.8	2.3
22 mm.	1.9	0.0	0.0	1.6	1.6	0.0	2.3
24 mm.	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	1.9	0.0
30 mm.	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.9	0.0
33 mm.	1.9	0.0	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0
40 mm.	0.0	0.0	0.0	2.2	2.2	0.0	0.0
>40 mm.	3.8	0.0	0.0	0.5	0.5	1.9	0.0
Point / Fruit (%)							
0	84.3	87.3	91.3	63.3	81.0	85.0	88.7
1	14.0	12.0	7.3	22.0	15.0	13.0	8.7
2	1.7	0.7	0.7	9.0	3.0	1.7	2.3
3	0.0	0.0	0.3	2.7	1.0	0.0	0.3
4	0.0	0.0	0.3	1.7	0.0	0.3	0.0
5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0

Table 2 Duncan Multiple Range Test of frequency and type of packaging effects upon apple bruising area.

Packaging type	Bruising Area
TPF	1.5649 a ± 2.57
WFN	2.2914 a ± 3.69
WOFN	5.2442 b ± 7.20

* Number, followed by the same letter implies Insignificant in the same column differences of mean

Table 3 Duncan Multiple Range Test of frequency and type of packaging effects upon apple bruising points.

Packaging type	Bruising Points
TPF	11.83 a ± 4.45
WFN	15.83 a ± 4.45
WOFN	26.17 b ± 14.85

* Number, followed by the same letter implies Insignificant in the same column differences of mean

จาก Table 3 ปรากฏว่าบรรจุภัณฑ์แบบ TPF เกิดจุดช้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ WFN และ WOFN ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรากฏว่าการใช้ภาระ (Load) วางทับด้านบนของผลแอ็บเปิ้ลที่ห่อหุ้มและทำการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFPL) สามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ โดยสังเกตได้จากพื้นที่รอยช้ำ ที่ความถี่สั่นพ้อง 3.5 เฮิร์ต ในบรรจุภัณฑ์แบบ TFP ลดจาก 101.75 cm^2 ลดลงเหลือ 48.78 cm^2 ใน TFPL เมื่อใช้ Duncan Multiple Range Test ตรวจสอบความสัมพันธ์ของความแตกต่างของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อจำนวนจุดช้ำของผลแอ็บเปิ้ล ปรากฏว่าสามารถแบ่งลักษณะของบรรจุภัณฑ์ออกเป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกันคือ WFN กับ TFP ไม่มีความแตกต่างกับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความคลาดเคลื่อน 95% แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ WOFN ที่ความคลาดเคลื่อน 95%

สรุป

อิทธิพลของความถี่สั่นพ้องมีผลต่อการเกิดการช้ำในผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยมีพื้นที่การช้ำมากในความถี่สั่นพ้องที่ 3.5 เฮิร์ต คือ 625.6 cm^2 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติก็ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ค่าความคลาดเคลื่อน 95% ส่วนความแตกต่างของลักษณะการบรรจุภัณฑ์ปรากฏว่าบรรจุภัณฑ์แบบห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและทำการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFP) เกิดการช้ำน้อยสุด มีพื้นที่ 140.83 cm^2 ถัดมาคือผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย (WFN) และผลที่ไม่มีการห่อหุ้มโฟมตาข่าย (WOFN) มีพื้นที่ 206.2 cm^2 และ 471.94 cm^2 ตามลำดับ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชลประทาน เกษตร และอาหาร ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อทุนวิจัย อุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

บัณฑิต จริโมภาสม วสันต์ แสงนิล และศุภลักษณ์ วรรณพงษ์ใ 2543. การศึกษาการใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระการกระแทก. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2543; หน้า 126-136.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2521. พลาสติก. กองบริการอุตสาหกรรม; หน้า 35-40, 55-58.

American Society for Testing Materials. 1991. Standard method for vibration testing of shipping container. *Selected ASTM Standards on Packaging*. 3rd ed. Baltimore, U.S.A.

Chonhenchob, V. and S. P. Singh. 2005. Packaging performance comparison for distribution and export of papaya fruit. *Packag. Technol. Sci.* 18:125-131

Gentry, J.P., Mitchell, F.G. and Sommer, N.F. 1965. Engineering and quality of deciduous fruits packed by volume-filling and hand-placing methods. Transaction of the ASAE. 8(4): 584-589.

Guillou, R. 1963. Settling packed fruit by vibration. Transaction of the ASAE. 6(3): 190-192,194.

Hinsch, R.T., Slaughter D.C., Craig W.L.and Thompson J.F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. Transaction of the ASAE. 36(4): 1039-1042.

Jarimopas, B., Thairat, P. And P. Chen. 2004. Vibration-assisted tight-filling machine for Tangerine. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, Vol.11 No.1,46-50.

Jarimopas, B., S. Paul Singh and Saengnil, W. 2005. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged Tangerines during transit. Packaging Technology and Science. 18: 179-188

O'Brien, M., Claypool,L.L. and Leonard, S.J. 1960. Effects of mechanical vibrations on fruit damage during transportation. ASAE Paper No. 60-311, Am. Soc. Agr. Engrs. (Michigan:ASAE)

Peleg, K. 1985. Produce Handling. Packaging and Distribution. Avi Publ. Co. Inc., Westport, Connecticut. 625 p.

Peleg K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transaction of the ASAE. 29(2): 633-641.

Singh S.P. and Marcondes J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. J. Test. Evai. 20(6): 466-469.

Slaughter D.C., Hinsch R.T. and Thompson J.F. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. Transaction of the ASAE. 36(14): 1043-1047.