# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับของผลส้มสายน้ำผึ้ง

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับ ใช้ผลส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 63.32 มิลลิเมตร เมื่อนำมาหาคุณสมบัติเบื้องต้นก่อนทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1

**ตาราง 4.1** สมบัติเบื้องต้นของผลส้มสายน้ำผึ้งที่นำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับ

| น้ำหนักผล (กรัม) | ขนาดผล (มิลลิเมตร) | | ความหนาของเปลือก (มิลลิเมตร) | | | ความชื้นเปลือก (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความสูง | เส้นผ่านศูนย์กลาง | ด้านขั้ว | ด้านข้าง | ด้านล่าง | |
| 129.12 | 56.29 | 63.32 | 2.43 | 2.21 | 2.08 | 70.09 |

### 4.1 แรงกดทับสูงสุด

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ด้วยเครื่อง texture analyzer โดยใช้หัวกดแบบแผ่นเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร (ภาพ 3.1 - 3.2) ซึ่งจำลองการถูกกดทับเมื่อผลส้มอยู่ด้านล่างสุดของภาชนะบรรจุ จากการทดสอบ พบว่า ที่ตำแหน่งด้านขั้ว (ตามแนวตั้งของกลีบส้ม) และด้านข้าง (ตามขวางของกลีบส้ม) ของผลส้มมีความสามารถในการรับแรงกดทับได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 4.2) โดยมีค่าแรงกดทับสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 120.7±19.9 และ 116.7±21.0 นิวตัน ตามลำดับ และในระหว่างการทดสอบพบว่า เมื่อกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้ว ผลส้มจะเกิดการปริแตกที่บริเวณด้านข้างของผลทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 4.1) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อกดทับบริเวณที่ถูกกดทับจะเกิดการยุบตัวลง และบริเวณด้านข้างจะพองออก เพราะผลิตผลมีความยืดหยุ่น (Satriana, 1993) และเกิดการแพร่กระจายของความเค้นตรงบริเวณที่ถูกกดและบริเวณใกล้เคียง จึงทำให้เกิดการปริแตกและการช้ำ (Nelson and Mohsenin,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2003) แต่เมื่อทำการกดทับที่ตำแหน่งด้านข้างของผลส้ม พบว่าผลส้มจะแตกบริเวณก้นผลทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 4.1) เนื่องจากตรงตำแหน่งด้านล่างของผลส้มมีลักษณะโค้งเว้า เมื่อกดทับตรงตำแหน่งด้านข้างจะทำให้การแพร่กระจายของความเค้นบริเวณด้านล่างไม่สม่ำเสมอกัน จึงทำให้บริเวณด้านล่างผลเกิดการปริแตกได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งด้านขั้ว

**4.1.2 ความยืดหยุ่นของผลส้ม**

จากผลการทดลองพบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วผล เกิดการแตกที่ระยะยุบตัว 22.3±6.5 มิลลิเมตร คิดเป็น 38.6±11.8 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับผลส้มที่ถูกกดทับด้านข้างผล ซึ่งเกิดการแตกที่ระยะยุบตัว 23.0±2.7 มิลลิเมตร หรือ 36.7±4.3 เปอร์เซ็นต์ของความสูง (ตาราง 4.2) และจากภาพ 4.2 จะเห็นได้ว่า การกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วผลยุบตัวได้มากกว่าการกดทับด้านข้างผล เนื่องจากรูปทรงมีความสม่ำเสมอกว่า และเมื่อพิจารณาถึงค่า Young's modulus of elasticity ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยืดหยุ่นของผลิตผลเมื่อถูกกดทับ พบว่า ตำแหน่งด้านข้างและด้านขั้วของผลส้มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 4.2) ซึ่งตำแหน่งด้านข้างมีค่าต่ำกว่าด้านขั้ว โดยมีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.01 และ 0.24 ± 0.05 นิวตัน/มิลลิเมตร$^2$ ตามลำดับ ตำแหน่งด้านข้างของผลส้มเป็นตำแหน่งที่อยู่ในแนวขวางของกลีบส้มจึงทำให้บริเวณดังกล่าวยืดขยายออกด้านข้างเนื่องจากการงอตัวของกลีบส้ม และเกิดแรงดันให้เปลือก ฉีกขาด การกดด้านขั้วผลมีค่าเฉลี่ยของความเค้น (stress) และความเครียด (strain) เท่ากับ 0.0060 นิวตัน/มิลลิเมตร$^2$ และ 0.03 ตามลำดับ ในขณะที่การกดด้านข้างผลมีค่าเฉลี่ยของความเค้นและความเครียดเท่ากับ 0.0066 นิวตัน/มิลลิเมตร$^2$ และ 0.04 ตามลำดับ (ตาราง 4.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.2** แรงสูงสุดที่ทำให้ผลส้มแตก ค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของระยะยุบตัวที่ผลส้มแตก เมื่อทดสอบการกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วและด้านข้างของผล

| ตำแหน่งที่ถูกกดทับ | ค่าแรงกดทับสูงสุดที่ทำให้ผลส้มแตก (นิวตัน) | ระยะยุบตัวที่ผลส้มแตก (มิลลิเมตร) | ระยะยุบตัวที่ผลส้มแตก (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|---|
| ด้านขั้ว | 120.7[a] | 22.3[a] | 38.6[a] |
| ด้านข้าง | 116.7[a] | 23.0[a] | 36.7[a] |
| %CV | 7.6 | 8.2 | 8.5 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

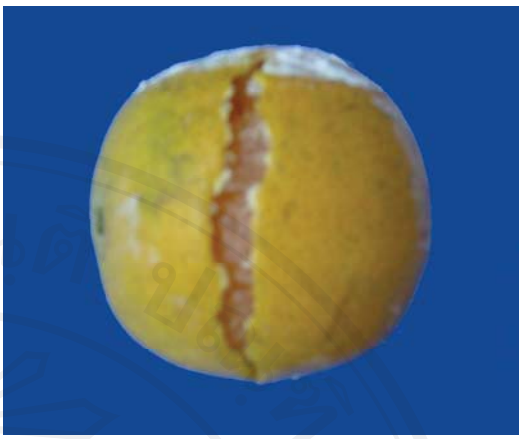
**ตาราง 4.3** ความเค้น (stress) ความเครียด (Strain) และ ค่า Young's modulus of elasticity เมื่อทดสอบกดทับผลส้ม ตำแหน่งด้านขั้วผลและด้านข้างผล

| ตำแหน่งของผลส้มที่ถูกกดทับ | Stress (นิวตัน/มิลลิเมตร$^2$) | Strain | Young's modulus of elasticity (นิวตัน/มิลลิเมตร$^2$) |
|---|---|---|---|
| ด้านขั้ว | 0.0060[a] | 0.03[b] | 0.24[a] |
| ด้านข้าง | 0.0066[a] | 0.04[a] | 0.16[b] |
| $LSD_{0.05}$ | 0.0008 | 0.004 | 0.03 |
| %CV | 13.6 | 14.5 | 16.6 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กดทับด้านขั้วผล



แตกด้านข้างผล

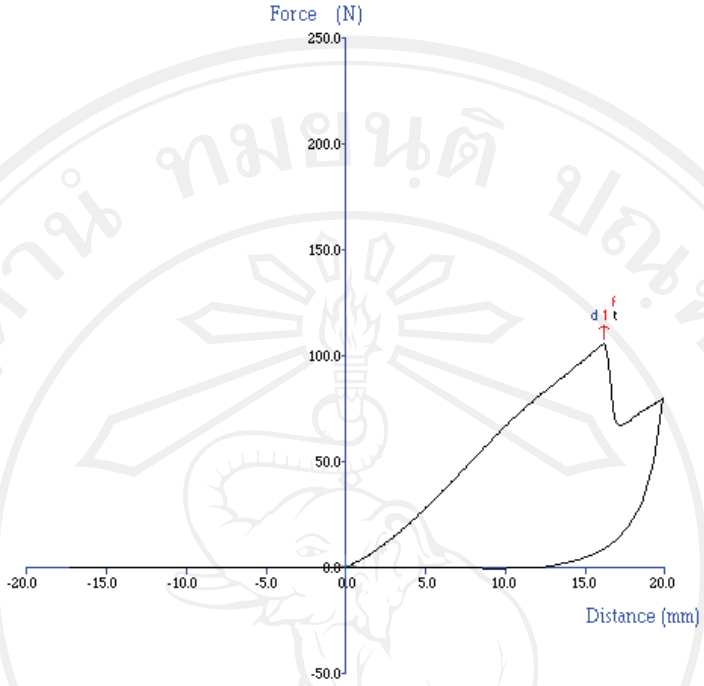
กดทับด้านข้าง

แตกด้านก้นผล

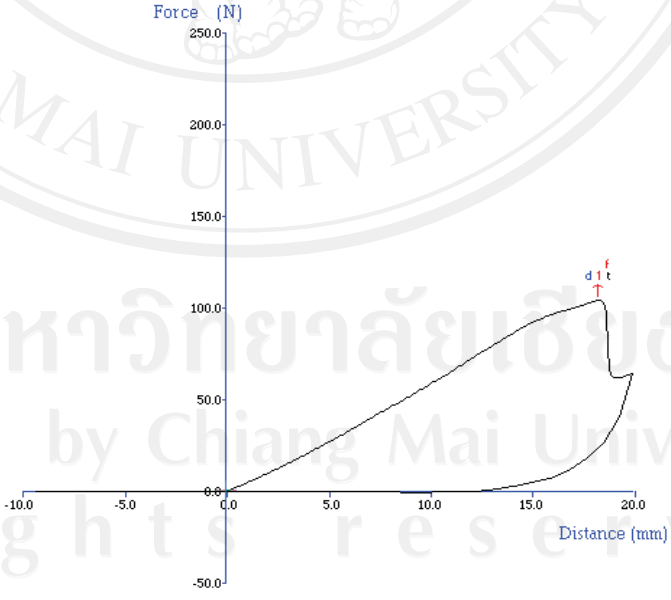
**ภาพ 4.1** ลักษณะของผลส้มสายน้ำผึ้งหลังจากทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับด้วยหัวกดแผ่นเรียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**A) การกดทับด้านขั้วผล**




**B) การกดทับด้านข้างผล**




**ภาพ 4.2** แรงกดทับสูงสุดและระยะทางกดทับของผลส้มสายน้ำผึ้ง เมื่อกดทับด้วยหัวกดแบบแผ่นเรียบบริเวณตำแหน่งด้านขั้ว (A) และด้านข้างผล (B)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบกดทับด้วยระยะเวลาสั้นๆ ที่ระยะยุบตัวต่างกัน**

การทดสอบการกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งที่ระยะยุบตัว 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลด้วยระยะเวลาสั้นๆ ใช้ผลส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2552 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 63.6 เซนติเมตร เมื่อนำมาหาคุณสมบัติเบื้องต้นก่อนการทดสอบกดทับ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.4

**ตาราง 4.4** สมบัติเบื้องต้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งก่อนทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัว 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล

| น้ำหนักผล (กรัม) | ขนาดผล (มิลลิเมตร) | | ความหนาของเปลือก (มิลลิเมตร) | | | ความชื้นเปลือก (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความสูง | เส้นผ่านศูนย์กลาง | ด้านขั้ว | ด้านข้าง | ด้านล่าง | |
| 119.7 | 52.8 | 63.6 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 67.5 |

**4.2.1 แรงกดทับสูงสุดและระยะทางที่กดทับ**

จากการทดสอบการกดทับผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจนมีระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล พบว่า ค่าแรงสูงสุดและระยะทางกดทับมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการยุบตัวของผลส้ม โดยที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงกดทับและระยะทางกดทับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 4.5) ซึ่งผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงกดทับสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 106.2±10.7 นิวตัน รองลงมา ได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงกดทับเฉลี่ยเท่ากับ 66.3±4.9 และ 31.6±6.1 นิวตัน ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับระยะทางที่กดทับ พบว่า ที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ ผลส้มถูกกดทับที่ระยะทางสูงที่สุดเฉลี่ย เท่ากับ 15.6±0.8 มิลลิเมตร รองลงมา ได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ มีระยะทางกดทับเฉลี่ยเท่ากับ 10.7±0.4 มิลลิเมตร และที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ มีระยะทางกดทับเฉลี่ยต่ำที่สุด เพียง 5.2±0.2 มิลลิเมตร (ตาราง 4.5) การกดทับจนมีระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล พบว่าผลส้มยังไม่เกิดการแตกแต่ไม่มีการคืนตัวกลับหลังจากที่กดทับ ทั้งนี้เนื่องจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกดทับที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดความเครียดแบบคงรูปหรือการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (plastic deformation or plastic strain) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำหรือความเค้นว่ามากหรือน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (elastic behavior) คือ การเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ วัสดุจะคงรูปเดิมไว้ได้ แต่ถ้าหากเกินกว่าพิกัดการคืนรูป วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (plastic deformation) (ชัชพงษ์, 2552) ส่วนการกดทับจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ ผลส้มมีการคืนตัวกลับเกือบเท่ากับความสูงเดิมของผลส้ม แสดงว่ากดกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ ผลส้มมีการยุบตัวเกินระยะ elastic ไปแล้ว ในขณะที่การกดทับที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ ผลส้มมีการคืนตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากผลการทดลอง พบว่า แรงกดทับสูงสุดและระยะทางที่กดทับเพิ่มขึ้นตามระยะการยุบตัวของผลส้ม สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Valero *et al*. 1998 ที่ได้ทดสอบการกดทับผลส้ม 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Clementine และพันธุ์ Fortune ด้วยแรง 0, 10, 20 และ 30 นิวตัน พบว่า ผลส้มทั้ง 2 สายพันธุ์มีการยุบตัวเพิ่มขึ้นเมื่อแรงกดทับเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับนวลฉวี (2550) ที่ได้ทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับของผลลำไยพันธ์ดอ ที่ระยะยุบตัว 5, 15 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของผล พบว่า ค่าแรงกดทับสูงสุดและระยะทางที่กดทับเพิ่มขึ้นตามระยะการยุบตัวของผลลำไย

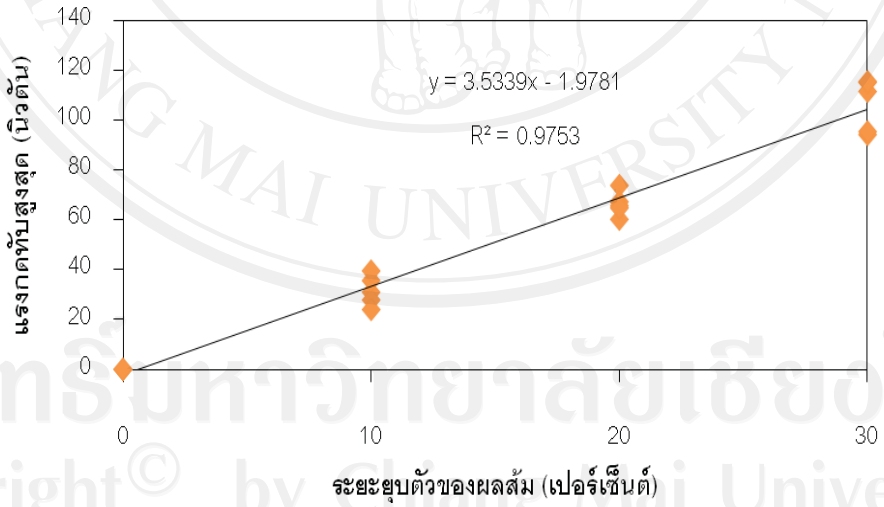
ระยะการยุบตัวของผลส้มมีความสัมพันธ์กับแรงกดทับสูงสุด เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวกับแรงกดทับสูงสุด (ภาพ 4.3) พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง มีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.97 โดยระยะการยุบตัวแปรผันตามกับแรงกดทับสูงสุด เมื่อระยะการยุบตัวเพิ่มขึ้น ค่าแรงกดทับสูงสุดจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.5** ค่าเฉลี่ยแรงกดทับสูงสุดและระยะทางที่กดทับผลส้ม เมื่อทดสอบกดทับผลส้มที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล

| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับสูงสุด (นิวตัน) | ระยะทางที่กดทับ (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|
| **10** | 31.6[c] | 5.2[c] |
| **20** | 66.3[b] | 10.7[b] |
| **30** | 106.2[a] | 15.6[a] |
| **$LSD_{0.05}$** | 10.5 | 0.7 |
| **%CV** | 11.2 | 5.2 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์




**ภาพ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้มและแรงกดทับสูงสุด เมื่อทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลและผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 4.2.2 ความเสียหายจากความช้ำเนื่องจากการกดทับในระยะเวลาสั้นๆ

เมื่อทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล แล้วความเสียหายเนื่องจากการช้ำโดยวิธีการต่างๆ เทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

**1. การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์**

ความเสียหายจากการช้ำของผลส้มเนื่องจากการกดทับ เมื่อพิจารณาจากการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเปลือกส้มภายหลังการกดทับ ดังแสดงในตาราง 4.6 พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับจนเกิดการยุบตัวที่ระยะ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) โดยผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 50.9 ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20, 10 และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.2 ± 1.3, 43.8 ± 0.7 และ 25.2 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4.6)

จากผลการทดลองพบว่า ผลส้มเริ่มช้ำเมื่อถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และเมื่อกดทับให้ผลส้มมีระยะการยุบตัวเพิ่มขึ้น พบว่า ผลส้มมีการช้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยมีความสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่า ผลิตผลที่เกิดความเสียหายเชิงกลมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มากกว่าผลปกติที่ไม่เกิดความเสียหาย (Mao *et al*., 2007) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของนวลฉวี (2550) ที่พบว่า ผลลำไยที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 5, 15 และ 23 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลลำไย มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มากกว่าผลลำไยที่ไม่ถูกกดทับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เป็นเพราะการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์จะเพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อพืช (Fuchs *et al*., 1989) ซึ่งสอดคล้องกับ Lafuente *et al*. (1991) ที่รายงานว่าการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และชี้ให้เห็นได้ว่าเซลล์ได้รับความเสียหายทางกล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้ม กับเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ พบว่า ระยะยุบตัวของผลส้มมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยจากกราฟมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง มีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.82 ซึ่งกล่าวได้ว่า เมื่อกดทับจนผลส้มมีระยะยุบตัวเพิ่มขึ้น ผลส้มจะมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ภาพ 4.4)

**2. อัตราการหายใจของผลส้มหลังจากกดทับ**

ความเสียหายที่เกิดจากการช้ำของผลส้มที่ผ่านการกดทับจนมีระยะยุบตัวต่างๆ โดยการวัดอัตราการหายใจของผลส้มหลังจากกดทับ พบว่า ผลส้มมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นทุกระยะการยุบตัว โดยผลส้มที่ถูกกดทับทุกระยะยุบตัวมีอัตราการหายใจแตกต่างจากผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล มีอัตราการหายใจไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.8±3.7 และ 50.0±4.4 $mlCO_2/kg.hr$ ตามลำดับ และมีความแตกต่างทางสถิติกับผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอัตราการหายใจเฉลี่ย 45.1±2.4 $mlCO_2/kg.hr$ ในขณะที่ผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีอัตราการหายใจเฉลี่ยต่ำที่สุดเพียง 23.7±1.5 $mlCO_2/kg.hr$ (ตาราง 4.7)

เมื่อผลิตผลได้รับความเสียหายทางกล จะส่งผลให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับที่พบในผลบลูเบอรี่ สวีทเชอรี่และทาร์เชอรี่ ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นหลังจากถูกกระแทกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Burton and Schulte – Paso, 1987) นอกจากนี้ยังพบว่าผล apricot ที่ได้รับความเสียหายเชิงกลมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลปกติอย่างเห็นได้ชัด (DeMartino *et al*., 2002) การที่ผลส้มได้รับความเสียหายทางกลเป็นการกระตุ้นให้เกิดการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในสภาพที่ผลส้มถูกกดทับทำให้ผลส้มเกิดความเครียด ซึ่งความเครียดต่างๆเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการหายใจและผลิตเอธิลีนเพิ่มขึ้นได้ (สายชล, 2528; ดนัย, 2534) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้มกับอัตราการหายใจของผลส้ม หลังจากกดทับ พบว่าระยะยุบตัวของผลส้มมีความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจของผลส้ม โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบโพลิโนเมียล มีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.92 (ภาพ 4.5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.6** การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้ม เมื่อถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ

| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| **0** | 25.2[d] |
| **10** | 43.8[c] |
| **20** | 48.2[b] |
| **30** | 50.9[a] |
| **$LSD_{0.05}$** | 1.2 |
| **%CV** | 2.2 |

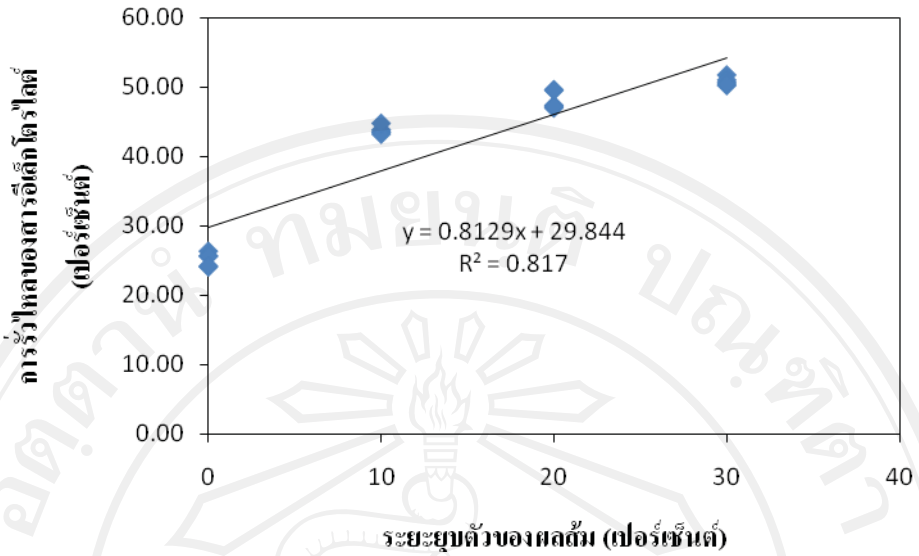
หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.7** อัตราการหายใจของผลส้ม หลังจากถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ

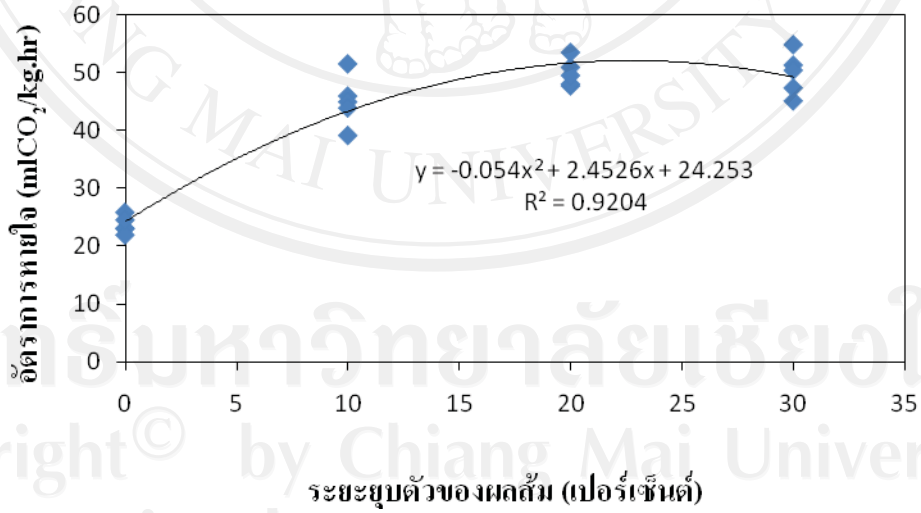
| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | อัตราการหายใจ ($mlCO_2/kg.hr$) |
|---|---|
| **0** | 23.7[c] |
| **10** | 45.1[b] |
| **20** | 50.0[a] |
| **30** | 49.8[a] |
| **$LSD_{0.05}$** | 4.3 |
| **%CV** | 7.7 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้ม และเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ เมื่อทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลและผลที่ไม่ถูกกดทับ




**ภาพ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้มกับอัตราการหายใจหลังจากกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3. การสูญเสียน้ำหนัก**

ผลส้มที่ผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 วัน พบว่า ผลส้มที่ผ่านการกดทับทุกระยะการยุบตัว มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบทุกระยะการยุบตัว พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา โดยที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 4.9 ± 0.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ และผลส้มที่ไม่ผ่านการกดทับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 ± 0.4 และ 3.2 ± 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังการเก็บรักษา จนไม่เป็นที่ยอมรับ พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 22.8±2.6 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส่วนที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์มีการสูญเสียน้ำหนักรองลงมาในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา โดยเฉลี่ยเท่ากับ 22.6±1.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์และไม่ถูกกดทับเก็บรักษานาน 16 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 21.6±1.7 และ 22.0±0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 4.6 และตาราง 4.8)

การสูญเสียน้ำของผลไม้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำหนักของผลไม้ลดลง และยังทำให้เหี่ยวจนขายไม่ได้ราคา (จริงแท้, 2542) ผลส้มพันธุ์ Valencia สูญเสียน้ำหนักมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลส้มเหี่ยวและเสียรูปทรง นอกจากนี้ยังทำให้เปลือกผลส้มบาง แข็ง ปอกยากและวางจำหน่ายไม่ได้ทั้งๆ ที่คุณภาพภายในผลส้มยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก การกดทับผลส้มทำให้ผลส้มได้รับความเสียหายทางกลเป็นเหตุให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้น ซึ่งผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าที่ระยะยุบตัวอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยการได้รับความเสียหายทางกลมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นในผลิตผลหลายชนิด ได้แก่ มะนาว (Martinez-Romero *et al*., 1999) ส้ม (Miller and Buns, 1991) และบลูเบอรี่ (Sanford *et al*., 1991) สอดคล้องกับ Ismail and Miller (1990) ที่กล่าวว่าผลิตผลที่เกิดความเสียหายทางกลมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลิตผลที่ไม่ได้รับความเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**4. การเน่าเสีย**

เมื่อวัดความเสียหายจากการช้ำเนื่องจากการกดทับ โดยประเมินจากเปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย (การเกิดโรค) ของผลส้มที่ผ่านการทดสอบกดทับจนมีระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์และผลส้มที่ไม่ผ่านการกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) ทุกๆ 2 วัน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสังเกตจากเชื้อราที่ติดบริเวณเปลือกผลที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย โดยพบว่าผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัวมากที่สุดคือ 30 เปอร์เซ็นต์ เกิดการเน่าเสียเร็วกว่าที่ระยะยุบตัวอื่นๆ โดยเริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส่วนผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 14 และ 16 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ และในผลส้มที่ไม่ผ่านการกดทับ พบว่าไม่เกิดการเน่าเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจนเหี่ยวหมดสภาพ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มจากการกดทับที่ระยะยุบตัวต่างๆ พบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผลส้มมีการเน่าเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) ไม่เกิดการเน่าเสีย นอกจากนั้นยังพบว่า ผลส้มที่ผ่านการกดทับทุกระยะการยุบตัว ไม่ได้เกิดการเน่าเสียทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ แต่มีการเหี่ยวจนหมดสภาพในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา (ภาพ 4.7 และตาราง 4.9)

จากการทดลอง พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับจนมีระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีการเน่าเสียสูงกว่าที่ระยะยุบตัวอื่นๆ เนื่องจากได้รับความเสียหายจากการช้ำมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ พบว่าไม่มีการเน่าเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจนหมดสภาพไป การเน่าเสียการเน่าเสียของผลส้มเกิดขึ้นจากการเกิดบาดแผล การช้ำ และการแตกของผล ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายผลส้มได้ง่าย (อนุชา, 2547) อาการเน่าเสียที่พบ คือ โรคเน่าที่เกิดจากราสีเขียว (green mold) และราสีน้ำเงิน (blue mold) ซึ่งเกิดจาก *Penicillium* spp. เชื้อราชนิดนี้เข้าทำลายทางบาดแผล อาการเน่าที่พบจะรุนแรงมากเมื่อเก็บเกี่ยวผลส้มในขณะที่เปียกชื้น (ดนัย, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การตัดสินว่าผลส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษายาวนานเท่าใด สามารถพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และลักษณะการเหี่ยวของเปลือกผล เมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผลส้มที่ผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด เพียงแค่ 11 วัน รองลงมาคือ ที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษา 14 วัน และที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษา 16 วัน เท่ากับผลส้มที่ไม่ผ่านการกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) โดยผลส้มที่ถือว่าหมดสภาพขั้วผลและเปลือกจะมีลักษณะเป็นสีคล้ำ เหี่ยวย่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.8** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์และผลที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์

| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0 วัน** | **2 วัน** | **4 วัน** | **6 วัน** | **8 วัน** | **10 วัน** | **12 วัน** | **14 วัน** | **16 วัน** |
| **0** | 0 | 3.2$^{c}$ | 6.3$^{c}$ | 9.0$^{c}$ | 11.7$^{c}$ | 14.7$^{c}$ | 17.4$^{c}$ | 20.0 | 22.0 |
| **10** | 0 | 3.2$^{c}$ | 6.5$^{c}$ | 9.1$^{c}$ | 11.8$^{c}$ | 14.7$^{c}$ | 17.1$^{c}$ | 19.5 | 21.6 |
| **20** | 0 | 3.8$^{b}$ | 7.3$^{b}$ | 10.3$^{b}$ | 13.3$^{b}$ | 16.8$^{b}$ | 20.1$^{b}$ | 22.6 | - |
| **30** | 0 | 4.9$^{a}$ | 9.1$^{a}$ | 12.5$^{a}$ | 15.7$^{a}$ | 19.4$^{a}$ | 22.8$^{a}$ | - | - |
| **$LSD_{0.05}$** | - | 0.4 | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.9 | 2.2 | - | - |
| **%CV** | - | 12.9 | 11.2 | 10.6 | 10.1 | 9.6 | 9.4 | - | - |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

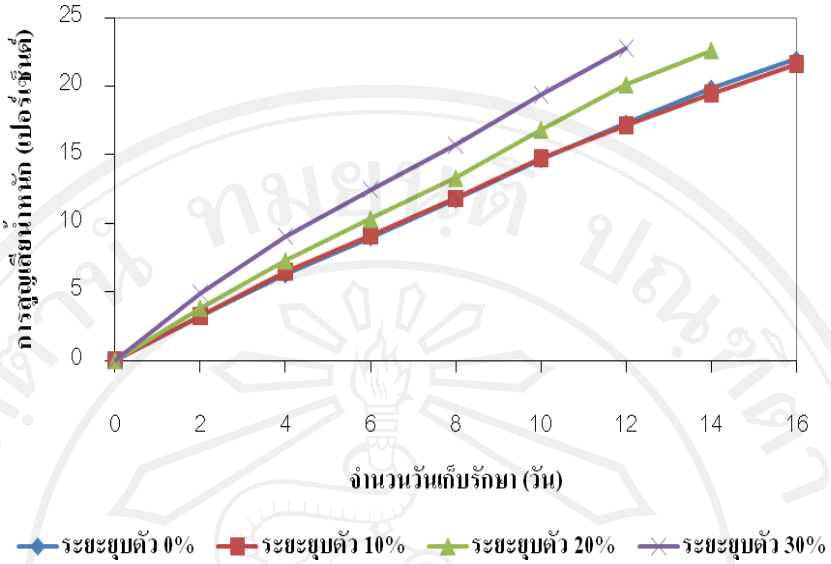
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.9** การเน่าเสียของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ30 เปอร์เซ็นต์ และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์

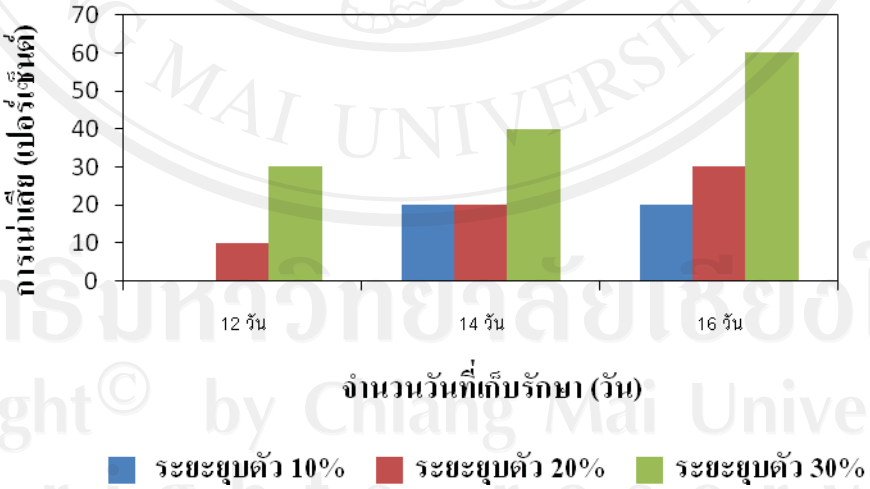
| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | การเน่าเสีย (เปอร์เซ็นต์) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 วัน | 2 วัน | 4 วัน | 6 วัน | 8 วัน | 10 วัน | 12 วัน | 14 วัน | 16 วัน |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{c}$ | $0^{c}$ | $0^{d}$ |
| **10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{c}$ | $20^{b}$ | $20^{c}$ |
| **20** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $10^{b}$ | $20^{b}$ | $30^{b}$ |
| **30** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $30^{a}$ | $40^{a}$ | $60^{a}$ |
| **$LSD_{0.05}$** | - | - | - | - | - | - | 5.1 | 3.7 | 4.3 |
| **%CV** | - | - | - | - | - | - | 8.9 | 6.4 | 7.1 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 4. 6** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับ ที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์




**ภาพ 4. 7** เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12, 14 และ 16 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**5. การติดสีแดงของเปลือกผลส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride**

การกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งด้วยระยะเวลาสั้นๆ ที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลและผลที่ไม่ถูกกดทับ เมื่อวัดความเสียหายจากการช้ำของผลส้ม ซึ่งประเมินจากการติดสีแดงของเปลือกเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride โดยการดูด้วยตาและให้คะแนน จากผู้ประเมินทั้งหมด 10 คน ซึ่งกำหนดให้คะแนนผลการประเมินการติดสีอยู่ในช่วง 0 - 4 คะแนน ซึ่งผลส้มที่ได้คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายถึง ผลส้มเริ่มเกิดการช้ำ

ผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะการยุบตัว 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนการติดสีแดงของเปลือกเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของ ผล มีการติดสีแดงอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 1.6 คะแนน รองลงมาได้แก่ ผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ มีการติดสีแดงอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 0.8 ส่วนผลส้ม ที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) อยู่ในระดับคะแนน 0.2 และ 0 คะแนน ตามลำดับ (ภาพ 4.9 และตาราง 4.10)

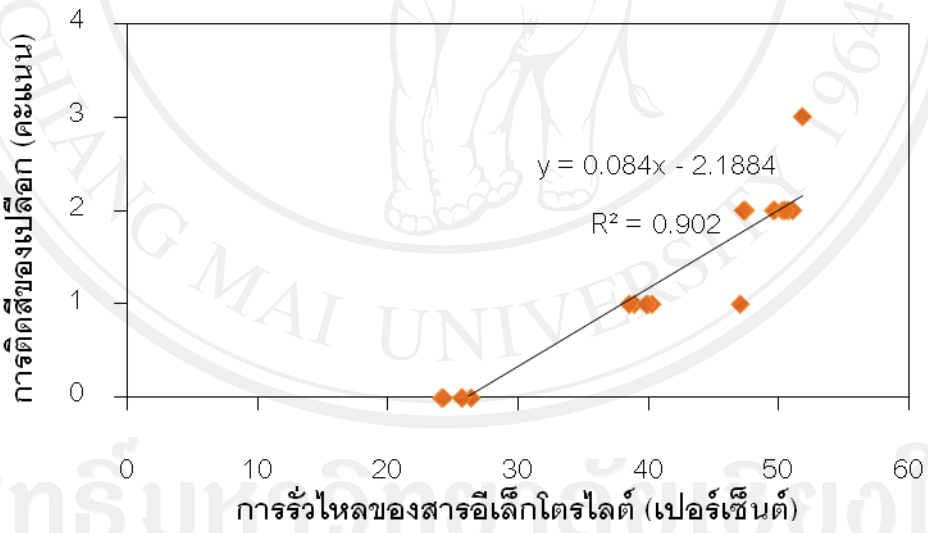
จากการประเมินพบว่า การช้ำของผลส้มเพิ่มขึ้นตามระยะการยุบตัวของผลส้ม โดยผลส้มเริ่มเกิดการช้ำจนสังเกตได้เมื่อกดทับที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยคะแนนการติดสีแดงของเปลือกอยู่ในระดับช้ำเล็กน้อย – ปานกลาง วิธีการนี้นิยมใช้ในการวัดความเสียหายของผลส้มระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในโรงคัดบรรจุ ซึ่งมีการรายงานของ Beckenbach (1997) ที่พบว่าการจุ่มผลส้มลงในสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride ทำให้บริเวณที่เกิดบาดแผลหรือเกิดการช้ำของผลส้มติดสีแดงเช่นเดียวกันกับสุธนัย (2549) ที่ได้ทดลองจุ่มผลส้มที่เกิดบาดแผลและมีอาการช้ำลงในสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride ความเข้มข้น 0.1 w/v ที่มีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่า เกิดการติดสีแดงบริเวณเปลือกผลส้มอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดความช้ำด้วยการประเมินการติดสีแดงของเปลือกผลส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride กับการวัดความช้ำด้วยวิธีการวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ การวัดอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนัก พบว่าวิธีการนี้ให้ค่าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่าความเป็นจริงมาก และมีการติดสีกับผลส้มที่มีตำหนิที่ไม่ได้เกิดจากการช้ำ เช่น ผิวลาย ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วัดความช้ำของผลส้ม

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์และการติดสีแดงของเปลือกส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง มีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.90 แสดงให้เห็นว่า เปลือกของผลส้มมีการติดสีแดงแปรผันตามปริมาณการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ เมื่อผลส้มมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มาก หากย้อมสีด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride ทำให้ติดสีแดงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์แสดงให้เห็นว่าเซลล์ของผลิตผลเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมสภาพ (Zhou *et al*., 2007) เมื่อย้อมสีจึงเกิดการติดสีแดง (ภาพ 4.8)




**ภาพ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์และคะแนนการติดสีของเปลือกส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride หลังจากกดทับที่ระยะยุบตัวต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**7. การเปลี่ยนสีของ indicator paper**

เมื่อวัดความเสียหายจากการเกิดความช้ำของผลส้ม จากการประเมินการเปลี่ยนสีของ indicator paper เป็นสีเหลืองส้ม โดยการดูด้วยตาและให้คะแนน จากผู้ประเมินทั้งหมด 10 คน ซึ่งกำหนดให้คะแนนผลการประเมินการติดสีอยู่ในช่วง 0 - 4 ผลส้มที่ได้คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายถึง ผลส้มเริ่มเกิดการช้ำ

ผลส้มที่ผ่านการกดทับทุกระยะการยุบตัวเมื่อนำมาสัมผัสกับ indicator paper และประเมินการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มของ indicator paper พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนการเปลี่ยนสีของ indicator paper แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และต่างจากผลส้มที่ถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์และไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) โดยที่ระยะการยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนการเปลี่ยนสีของ indicator paper เฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 1.4 คะแนน รองลงมาได้แก่ ที่ระยะยุบตัว 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.6 และ 0.2 คะแนน ส่วนผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีคะแนนต่ำที่สุด เท่ากับ 0 คะแนน (ภาพ 4.10 และตาราง 4.11)

จากการประเมินการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มของ indicator paper พบว่า ผลส้มเริ่มเกิด การช้ำเมื่อถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และเกิดการช้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อกดทับ ที่ระยะยุบตัวมากขึ้น โดยผลการประเมินผลส้มมีการช้ำอยู่ในระดับช้ำเล็กน้อย – ปานกลาง ซึ่งให้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดความช้ำของผลส้มด้วยวิธีการอื่นๆ การใช้ indicator paper สำหรับตรวจสอบบาดแผลบริเวณเปลือกส้มเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถใช้ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นๆ โดย indicator paper จะเปลี่ยนจาก สีแดงเป็นสีเหลืองส้มเมื่อสัมผัสกับน้ำมันบริเวณเปลือกของผลส้ม วิธีการนี้ใช้เพื่อประเมินความเสียหายของผลส้มภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ที่เกิดบาดแผลเพียงเล็กน้อย (Beckenbach, 1997) แต่อาจไม่เหมาะสมกับการประเมินการช้ำภายในผลส้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.10** ระดับคะแนนการติดสีแดงของเปลือกส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5- triphenyl tetrazolium chloride หลังจากผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ

| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | ระดับคะแนน |
|---|---|
| **0** | $0^{c}$ |
| **10** | $0.2^{c}$ |
| **20** | $0.8^{b}$ |
| **30** | $1.6^{a}$ |
| **LSD** | 0.6 |
| **%CV** | 4.2 |

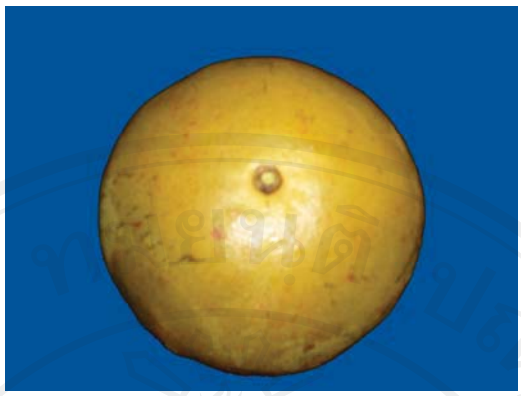
หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.11** ระดับคะแนนการเปลี่ยนสีของ indicator paper เมื่อสัมผัสกับเปลือกส้ม หลังจากกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ

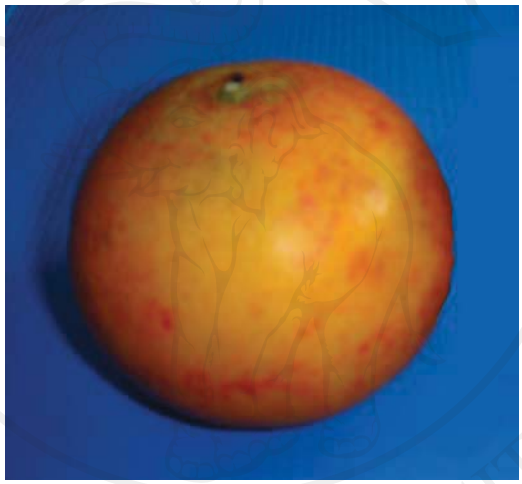
| ระยะยุบตัวของผลส้ม (เปอร์เซ็นต์) | ระดับคะแนน |
|---|---|
| **0** | $0^{c}$ |
| **10** | $0.2^{c}$ |
| **20** | $0.6^{b}$ |
| **30** | $1.4^{a}$ |
| **LSD** | 0.4 |
| **%CV** | 11.1 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ระดับคะแนน 0 คะแนน หมายถึง ไม่มีการติดสีแดงบริเวณเปลือกผลส้ม



ระดับคะแนน 1 คะแนน หมายถึง มีการติดสีแดงบริเวณเปลือก 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

ระดับคะแนน 2 คะแนน หมายถึง มีการติดสีแดงบริเวณเปลือก 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

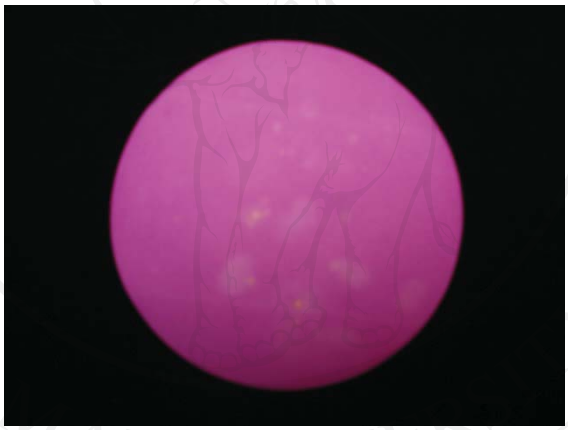
ระดับคะแนน 3 คะแนน หมายถึง มีการติดสีแดงบริเวณเปลือก 51 – 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

ระดับคะแนน 4 คะแนน หมายถึง มีการติดสีแดงบริเวณเปลือก 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

**ภาพ 4.9** การติดสีแดงของเปลือกผลส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5–triphenyl tetrazolium chloride หลังจากถูกกดทับจนมีระยะยุบตัวต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0 คะแนน เท่ากับ Indicator paper ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม (ไม่ช้ำ)

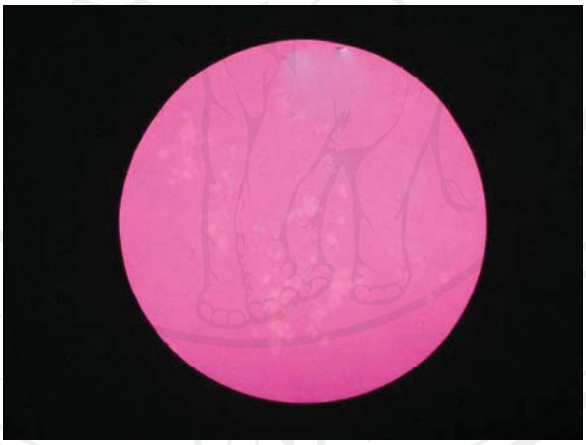


1 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำเล็กน้อย)

2 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำปานกลาง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 51 – 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมาก)



4 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมากที่สุด)

**ภาพ 4.10** การเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองของ indicator paper เมื่อสัมผัสกับเปลือกผลส้มหลังจากถูกกดทับที่ระยะยุบตัวต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 4.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบการกดทับอย่างต่อเนื่องยาวนาน

การทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน ใช้ผลส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 65.44 มิลลิเมตร เมื่อนำมาหาคุณสมบัติเบื้องต้นเฉลี่ย ก่อนการทดสอบกดทับเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.12

**ตาราง 4.12** สมบัติเบื้องต้นของผลส้มเฉลี่ยก่อนการทดสอบกดทับเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน

| น้ำหนักผล (กรัม) | ขนาดผล (มิลลิเมตร) | | ความหนาของเปลือก (มิลลิเมตร) | | | ความชื้นเปลือก (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความสูง | เส้นผ่านศูนย์กลาง | ด้านขั้ว | ด้านข้าง | ด้านล่าง | |
| 131.75 | 55.63 | 65.44 | 2.39 | 2.31 | 2.30 | 65.49 |

จากผลการทดลองที่ 2 ได้ทดสอบกดทับผลส้มเป็นระยะเวลาสั้นๆ ที่ระยะการยุบตัว 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และวัดความเสียหายจากการช้ำ โดยวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ อัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก การเน่าเสีย การติดสีแดงของเปลือกผลส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride และวัดการเปลี่ยนสีของ indicator paper พบว่า ผลส้มเริ่มเกิดการช้ำเมื่อกดทับจนมีระยะยุบตัวระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า น้ำหนักกดทับผลส้มไม่ควรเกิน 3,000 กรัม เพราะจะทำให้ผลส้มแตก ดังนั้นในการทดลองที่ 3 การทดสอบกดทับผลส้มเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนานจึงใช้น้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม วางบนผลส้มและนำน้ำหนักกดออกเมื่อผลส้มยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.3.1 ระยะเวลาในการกดทับจนผลส้มมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล**

เมื่อทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 65.44 มิลลิเมตร เป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนานจนผลส้มมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล โดยกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของน้ำหนักกดทับ จะใช้เวลาในการกดทับจนถึงระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลน้อยลง การกดทับด้วยน้ำหนักกดที่ต่างกันใช้ระยะเวลากดทับต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการกดทับด้วยแรงขนาด 700 กรัม ใช้ระยะเวลาในการกดทับเฉลี่ยยาวนานที่สุดถึง 70.4 ± 3.6 ชั่วโมง รองลงมาได้แก่ การกดทับด้วยแรงขนาด 1,400 และ 2,100 กรัม ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 16.4 ± 0.6 และ 3.6 ± 0.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการกดทับด้วยแรง 2,800 กรัม ใช้ระยะเวลาในการกดทับเฉลี่ยน้อยที่สุดเพียง 1.3 ± 0.5 ชั่วโมง (ตาราง 4.13) ระยะเวลาในการกดทับจนผลส้มยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นตัวกำหนดว่าการวางซ้อนทับกันควรใช้ระยะเวลานานเพียงใด

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักในการกดทับ ทำให้ระยะเวลาในการกดทับผลส้มจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์น้อยลง เช่นเดียวกันกับการรายงานของ Valero *et al*. (1998) ที่ทดสอบการกดทับผลส้มด้วยแรงกด 10, 20 และ 30 นิวตัน พบว่าระยะเวลาในการยุบตัวของผลส้มลดลงเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น โดยไม่ได้มีความสัมพันธ์กับระยะการแก่ของผลส้ม แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเปลือกผลมากกว่า เช่น ความหนาของเปลือก การพองตัวของเปลือก และการติดแน่นของกลีบผล และในการทดลองนี้ยังพบว่า หากกดทับผลส้มด้วยน้ำหนักกดทับ 700 กรัม เป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนานมากกว่า 70 ชั่วโมง จะทำให้ผลส้มยุบตัวเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการขนส่งหรือการวางขายส้ม หากมีการวางซ้อนผลส้มกดทับกันเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลส้มที่อยู่ชั้นล่างได้ แม้จะมีน้ำหนักกดทับไม่มากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.13** ระยะเวลาที่ใช้ในการกดทับผลส้มจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยน้ำหนักกดขนาด 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม

| น้ำหนักที่กดทับผลส้ม (กรัม) | ระยะเวลาที่กดทับ (ชั่วโมง) |
|---|---|
| **700** | 70.4[a] |
| **1,400** | 16.4[b] |
| **2,100** | 3.6[c] |
| **2,800** | 1.3[d] |
| **$LSD_{0.05}$** | 1.7 |
| **%CV** | 8.1 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**4.3.2 อัตราการยุบตัวของผลส้ม จนถึงระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล**

การกดทับผลส้มจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล หรือประมาณ 6.5 มิลลิเมตร ด้วยน้ำหนักกดทับขนาด 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม พบว่า ผลส้มมีอัตราการยุบตัวเพิ่มขึ้นตามขนาดของน้ำหนักกดทับที่เพิ่มขึ้น โดยการกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม ผลส้มมีอัตราการยุบตัวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักกดทับขนาดอื่นๆ แต่การกดทับด้วยน้ำหนัก 700 และ 1,400 กรัม มีอัตราการยุบตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งการกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม ทำให้ผลส้มมีอัตราการยุบตัวเร็วที่สุด เฉลี่ย 4.21 ± 0.6 mm/hr รองลงมา คือ การกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100, 1,400 กรัม อัตราการยุบตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1.75± 0.07 และ 0.32 ± 0.01 mm/hr ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักกดทับ 700 กรัม ทำให้ผลส้มยุบตัวช้าที่สุด ในอัตราเฉลี่ย 0.07 ± 0.003 mm/hr เท่านั้น (ตาราง 4.14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.14** อัตราการยุบตัวของผลส้มที่ใช้ในการกดทับผลส้มจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยแรงกดขนาด 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม

| น้ำหนักที่กดทับผลส้ม (กรัม) | อัตราการยุบตัวของผลส้ม (mm/hr) |
|---|---|
| **700** | $0.07^{c}$ |
| **1,400** | $0.32^{c}$ |
| **2,100** | $1.75^{b}$ |
| **2,800** | $4.21^{a}$ |
| **$LSD_{0.05}$** | 0.42 |
| **%CV** | 19.9 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**4.3.3 การวัดความเสียหายของผลส้มเนื่องจากกดทับเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน**

จากการทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน จนผลส้มมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม และนำมาวัดความเสียหายจากการช้ำ โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ พบว่า ได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

**1. การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์**

การกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน จนผลส้มมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล พบว่า เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นตามขนาดของน้ำหนักกดทับ และน้ำหนักกดทับทุกขนาด ทำให้ผลส้มมีค่าการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักกด 700 กรัม โดยผลส้มที่ใช้น้ำหนักกดทับ 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 39.6±9.9 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ผลส้มที่มีน้ำหนักกดทับ 2,100, 1,400 และ 700 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยเท่ากับ 36.4±8.2, 32.5±2.3 และ 26.7±2.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยต่ำที่สุดเพียง 25.2 ± 1.2 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4.15)

เมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราการยุบตัวของผลส้ม พบว่า มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยอัตราการยุบตัวที่เร็วกว่าจะทำให้เกิดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่าการกดทับด้วยอัตราการยุบตัวที่ช้า จากการทดลองแสดงว่า ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยอัตราการยุบตัวที่เร็วที่สุด คือ 4.21 mm/hr หรือน้ำหนักกดทับ 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์ การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยสูงสุด 39.6±1.9 เปอร์เซ็นต์ โดยจากผลการทดลองที่ 2 ซึ่งกดทับผลส้มด้วยอัตราการยุบตัว 1 mm/s หรือ 3,600 mm/hr จนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยน้ำหนักกดทับ 3,000 กรัม ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่าในการทดลองที่ 3 อย่างเห็นได้ชัดเจน เท่ากับ 43.8 ± 0.7 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4.6 และตาราง 4.15) เนื่องมาจากการกดทับด้วยอัตราการยุบตัวที่เร็วจะทำให้เซลล์เกิดการแตกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวออกสู่ภายนอกมาก ในขณะที่การกดทับด้วยอัตราการยุบตัวที่ช้า เซลล์มีการค่อยๆ ยืดขยายออกทีละน้อย โอกาสที่ของเหลวไหลออกสู่ภายนอกจึงน้อยตามไปด้วย ซึ่ง Fan and Sokorai (2005) กล่าวว่า การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เป็นปัจจัยที่ทำให้ทราบถึงความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อได้รับความเสียหายจะปลดปล่อยของเหลวออกมา และปริมาณการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์นี้ มีความสัมพันธ์กับขนาดของบาดแผลหรือขนาดความเสียหายของเซลล์ด้วย (Zhou *et al*., 2007)

**2. อัตราการหายใจของผลส้มเมื่อกดทับเป็นระยะเวลานาน**

ความเสียหายเนื่องจากการช้ำของผลส้มที่ถูกกดทับเป็นเวลานานด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม โดยวัดอัตราการหายใจของผลส้มหลังจากกดทับ 1 ชั่วโมง พบว่าผลส้มมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตามขนาดของน้ำหนักกดทับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ โดยน้ำหนักกดทับทุกขนาดผลส้มมีอัตราการหายใจแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีอัตราการหายใจเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 37.5±0.5 $mlCO_2/kg.hr$ รองลงมาได้แก่ ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 และ 1,400 กรัม มีอัตราการหายใจเฉลี่ยเท่ากับ 33.6±0.6 และ 28.0±0.6 $mlCO_2/kg.hr$ ตามลำดับ ส่วนผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัม และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีอัตราการหายใจไม่แตกต่างกันอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.8±0.6 และ 23.3±0.6 $mlCO_2/kg.hr$ ตามลำดับ (ตาราง 4.16)

อัตราการหายใจเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความเสียหายทางกล หรือการเกิดบาดแผลได้ทั้งเนื้อเยื่อพืชและผลไม้ การถูกกดทับทำให้ผลส้มเกิดความเครียดซึ่งความเครียดต่างๆ เป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการหายใจและผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นได้ (สายชล, 2528) เช่น ผลส้มพันธุ์ Hamlin และ Valencia ที่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นหลังจากได้รับความเสียหายทางกล (Miller and Burns, 1991) อย่างไรก็ตามยังมีรายงานถึงผลิตผลที่ไม่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นระหว่างเก็บรักษา หลังจากได้รับความเสียหายทางกล ได้แก่ มะละกอ (Quintana and Paull, 1993) และมังคุด (Ketsa and Koolpluksee, 1993) เมื่อพิจารณาผลของอัตราการยุบตัวของผลส้มต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ พบว่าอัตราการยุบตัวที่เร็วขึ้น ทำให้ผลส้มมีอัตราการหายใจสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการกดทับในการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราการยุบตัวเร็วกว่า ด้วยน้ำหนักกดทับใกล้เคียงกันและระยะยุบตัวเท่ากัน พบว่า มีอัตราการหายใจสูงกว่าในการทดลองที่ 3 อย่างเห็นได้ชัดหลังจากกดทับ (ตาราง 4.7 และตาราง 4.16) เนื่องจากผลส้มถูกกระตุ้นให้เกิดสภาวะเครียดอย่างรวดเร็ว จึงมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามาก สอดคล้องกับการรายงานของจริงแท้ (2542) ที่กล่าวว่า การกระทบกระเทือนหรือการได้รับความเสียหายทางกลของผลิตผลนอกจากจะก่อให้เกิดการชอกช้ำแล้วยังทำให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเนื่องจากสภาวะความเครียดทางกายภาพนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตเอทิลีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.15** การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้มที่ผ่านการกดทับ จนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยแรงกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ

| น้ำหนักที่กดทับผลส้ม (กรัม) | การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| **0** | 25.2[d] |
| **700** | 26.7[d] |
| **1,400** | 32.5[c] |
| **2,100** | 36.4[b] |
| **2,800** | 39.6[a] |
| **$LSD_{0.05}$** | 1.9 |
| **%CV** | 2.2 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.16** อัตราการหายใจของผลส้มสายน้ำผึ้งหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1400, 2100 และ 2800 กรัม เทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ

| น้ำหนักกดทับ (กรัม) | อัตราการหายใจ ($mlCO_2/kg.hr$) |
|---|---|
| **0** | 23.3[d] |
| **700** | 23.8[d] |
| **1,400** | 28.0[c] |
| **2,100** | 33.6[b] |
| **2,800** | 37.5[a] |
| **$LSD_{0.05}$** | 0.8 |
| **%CV** | 2.0 |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3. การสูญเสียน้ำหนัก**

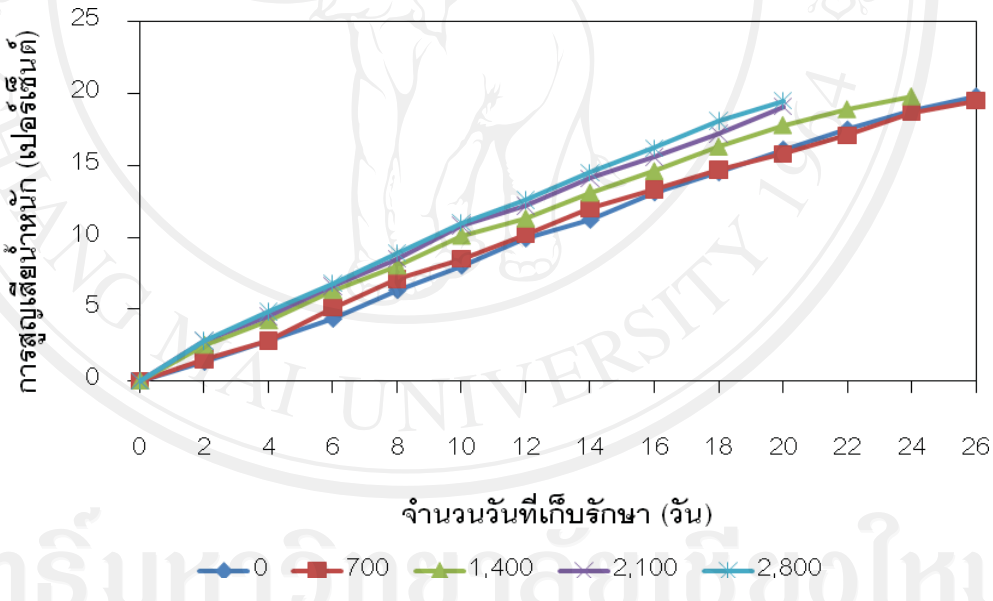
ผลส้มที่ผ่านการกดทับเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน ด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่กดทับทุกขนาด ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัมและผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักกดอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 1.5 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 และ 1,400 กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 และ 2,800 กรัม มีอายุการเก็บรักษา 20 วัน การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 19.5 และ 19.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400 กรัม มีอายุการเก็บรักษา 24 วัน การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 19.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลส้มที่กดทับด้วย 700 กรัมและผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีอายุการเก็บรักษานานถึง 26 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 19.5 และ 19.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 4.11 และตาราง 4.17)

จากการทดลอง พบว่า ผลส้มมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามขนาดของน้ำหนักกดทับ และเริ่มเกิดการช้ำเมื่อกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400 กรัม ปรากฏอาการช้ำโดยพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มในการทดลองที่ 2 (การกดทับผลส้มด้วยระยะเวลาสั้นๆ ที่ระยะยุบตัวต่างๆ) และการทดลองที่ 3 (การกดทับผลส้มเป็นระยะเวลานานจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยน้ำหนักกดทับขนาดต่างๆ) พบว่าผลส้มในการทดลองที่ 2 มีการสูญเสียน้ำหนักเร็วกว่าการทดลองที่ 3 อย่างเห็นได้ชัด โดยมีอายุการเก็บรักษาเพียงแค่ 16 วัน ในขณะที่ผลส้มในการทดลองที่ 3 มีอายุการเก็บรักษายาวนานถึง 26 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ขณะเก็บรักษา โดยการทดลองที่ 2 เก็บรักษาในช่วงฤดูร้อน ที่มีสัมพัทธ์ 68 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองที่ 3 เก็บรักษาในช่วงฤดูฝน ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า ดังรายงานที่ว่า อัตราการสูญเสียน้ำได้รับอิทธิพลมาจากความสัมพันธ์ของแรงดัน ได้แก่ แรงดันไอน้ำภายในและภายนอกผล (ความแตกต่างของแรงดันอากาศ) และผลของความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่า การสูญเสียน้ำหนักของผล grapefruit ขนาดผลที่มีเมล็ดน้อยกว่า 40 เมล็ด มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่อุณหภูมิเดียวกันที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า (McCornack, 1975) และอาจเนื่องมาจากขนาดของผลส้มที่ต่างกัน โดยการทดลองที่ 2 ผลส้มมีขนาดเล็กกว่าการทดลองที่ 3 (ตาราง 4.4 และ 4.12) ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักของส้มมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วน พื้นที่ผิวต่อปริมาตรซึ่งตรงข้ามกับขนาดของผลส้ม นั่นคือผลส้มที่มีขนาดเล็กมีการสูญเสียน้ำมากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก โดยผลส้มที่มีเปลือก หนาจะสูญเสียน้ำมากกว่าผลส้มที่มีเปลือกบางเนื่องจากผลส้มที่มีเปลือกหนา มีจำนวนปากใบ (Stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลส้มที่มีเปลือกบางมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่า ทำให้มีประสิทธิภาพการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า (Ketsa, 1990) หรืออาจเกิดจากอัตราการยุบตัวที่เร็วกว่า จนทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากกว่าหรือเกิดจากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ร่วมกัน




**ภาพ 4.11** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับเป็นระยะเวลานาน ด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4. การเน่าเสีย**

การเน่าเสียของผลส้มที่ผ่านการกดทับเป็นระยะเวลานาน จนผลส้มมีระยะยุบตัวเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม เริ่มเกิดการเน่าเสียก่อนผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักอื่นๆ โดยเริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ของผลทั้งหมด ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400 และ 2,100 กรัม เริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ของผลทั้งหมดเท่ากัน ส่วนผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัม เริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลส้มที่ไม่ถูกกดทับไม่เกิดการเน่าเสียจนกระทั่งหมดสภาพไป ซึ่งการหมดสภาพของผลส้มที่เก็บรักษาพิจารณาจากสภาพภายนอกของผลส้ม ความเหี่ยวของผล และการมีสีคล้ำของเปลือก ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษาผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีการเน่าเสียเฉลี่ยสูงที่สุดถึง 40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 กรัม มีการเน่าเสียเฉลี่ยเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400, 700 และไม่ถูกกดทับเมื่อหมดสภาพมีการเน่าเสียเฉลี่ยเท่ากับ 30, 10 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าผลส้มไม่เกิดการเน่าเสียทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะผลส้มเกิดการหมดสภาพไปก่อนที่จะเน่าเสีย (ตาราง 4.18)

เมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผลส้มที่ถูกกดทับ โดยพิจารณาจากสภาพภายนอกของผลส้ม การเหี่ยวของขั้วผลและเปลือกผล การมีสีคล้ำของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 และ 2,100 กรัม มีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 20 วัน ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400, 700 และผลที่ไม่ถูกกดทับมีอายุการเก็บรักษา 24 และ 26 วัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.17** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะยุบตัวเท่ากับ10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์

| น้ำหนักกดทับ | การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (กรัม) | 0 วัน | 2 วัน | 4 วัน | 6 วัน | 8 วัน | 10 วัน | 12 วัน | 14 วัน | 16 วัน | 18 วัน | 20 วัน | 22 วัน | 24 วัน | 26 วัน |
| **0** | 0 | 1.3$^{b}$ | 2.8$^{b}$ | 4.3$^{c}$ | 6.3$^{c}$ | 8.0$^{b}$ | 9.9$^{d}$ | 11.2$^{d}$ | 13.1$^{d}$ | 14.5$^{d}$ | 16.1$^{c}$ | 17.5 | 18.8 | 19.8 |
| **700** | 0 | 1.5$^{b}$ | 2.8$^{b}$ | 5.1$^{b}$ | 7.1$^{c}$ | 8.5$^{b}$ | 10.2$^{cd}$ | 12.0$^{cd}$ | 13.3$^{cd}$ | 14.7$^{cd}$ | 15.8$^{bc}$ | 17.1 | 18.7 | 19.5 |
| **1,400** | 0 | 2.5$^{a}$ | 4.2$^{a}$ | 6.3$^{a}$ | 8.0$^{b}$ | 10.1$^{a}$ | 11.3$^{bc}$ | 13.1$^{bc}$ | 14.6$^{bc}$ | 16.3$^{bc}$ | 17.8$^{ab}$ | 18.9 | 19.8 | - |
| **2,100** | 0 | 2.8$^{a}$ | 4.5$^{a}$ | 6.6$^{a}$ | 8.5$^{ab}$ | 10.8$^{a}$ | 12.2$^{ab}$ | 14.1$^{ab}$ | 15.6$^{ab}$ | 17.2$^{ab}$ | 19.1$^{a}$ | - | - | - |
| **2,800** | 0 | 2.8$^{a}$ | 4.8$^{a}$ | 6.8$^{a}$ | 8.9$^{a}$ | 11.0$^{a}$ | 12.6$^{a}$ | 14.5$^{a}$ | 16.2$^{a}$ | 18.1$^{a}$ | 19.5$^{a}$ | - | - | - |
| **$LSD_{0.05}$** | - | 0.3 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.9 | - | - | - |
| **%CV** | - | 12.0 | 13.8 | 8.3 | 8.2 | 7.7 | 7.6 | 7.5 | 7.3 | 7.6 | 8.3 | - | - | - |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.18** เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะยุบตัวเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์

| น้ำหนักกดทับ | การเน่าเสีย (เปอร์เซ็นต์) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (กรัม) | 0 วัน | 2 วัน | 4 วัน | 6 วัน | 8 วัน | 10 วัน | 12 วัน | 14 วัน | 16 วัน | 18 วัน | 20 วัน | 22 วัน | 24 วัน | 26 วัน |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{b}$ | 0 | 0 | 10 |
| **700** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{b}$ | 10 | 10 | 10 |
| **1,400** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $10^{a}$ | $10^{a}$ | $20^{b}$ | 20 | 30 | - |
| **2,100** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $10^{a}$ | $10^{a}$ | $20^{b}$ | - | - | - |
| **2,800** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $10^{a}$ | $10^{a}$ | $20^{a}$ | $20^{a}$ | $40^{a}$ | - | - | - |
| **$LSD_{0.05}$** | - | - | - | - | - | - | 1.5 | 1.3 | 2.5 | 2.9 | 2.7 | - | - | - |
| **%CV** | - | - | - | - | - | - | 17.7 | 17.0 | 13.4 | 12.7 | 15.3 | - | - | - |

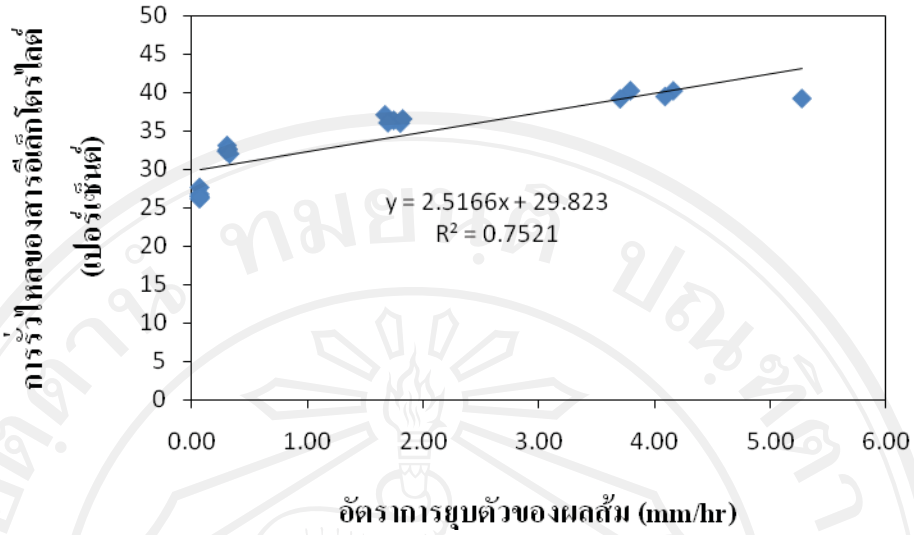
หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

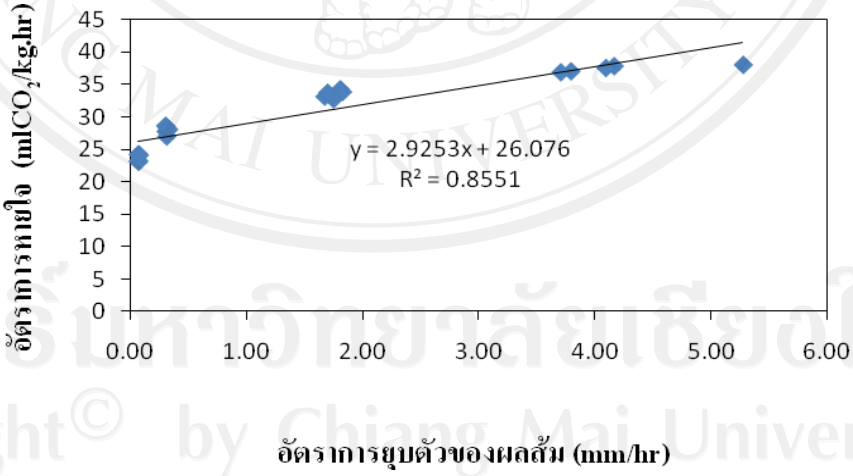
### 4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวผลส้มและความเสียหายจากการเกิดความช้ำ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวของผลส้ม และเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง ซึ่งมีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.75 (ภาพ 4.12) โดยผลส้มมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นตามอัตราการยุบตัวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกดทับเป็นด้วยอัตราการยุบตัวที่เร็ว ทำให้เซลล์ของผลิตผลเกิดการแตกหรือเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว สารอีเล็กโตรไลต์หรือของเหลวต่างๆจึงรั่วไหลออกมามากตามไปด้วย (Zhou *et al*., 2007) โดยความสัมพันธ์นี้เป็นไปในแบบเดียวกันกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวและอัตราการหายใจของผลส้ม ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง โดยมีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.85 (ภาพ 4.13) โดยอัตราการหายใจของผลส้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการยุบตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการได้รับสภาวะความเครียดทางกายภาพนี้เร่งให้เกิดการหายใจเพิ่มสูงขึ้น และการหายใจสูงขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายอื่นๆ ตามมาได้ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การเน่าเสีย และการอ่อนนิ่ม เป็นต้น (จริงแท้, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 4.12** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวของผลส้มและเปอร์เซ็นต์การั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ ภายหลังจากกดทับด้วยน้ำหนักขนาดต่างๆ จนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล




**ภาพ 4.13** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวและอัตราการหายใจของผลส้ม หลังจากกดทับจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.4 การทดลองที่ 4 การจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง**

การจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง ร่วมกับการกดทับผลส้มด้วยแรงกดทับขนาดต่างๆ ใช้ผลส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 64.89 มิลลิเมตร เมื่อนำมาหาคุณสมบัติเบื้องต้นเฉลี่ยก่อนการทดสอบกดทับอย่างต่อเนื่องยาวนาน ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.19

**ตาราง 4.19** สมบัติเบื้องต้นของผลส้มเฉลี่ยก่อนการทดสอบกดทับร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง

| น้ำหนักผล (กรัม) | ขนาดผล (มิลลิเมตร) | | ความหนาของเปลือก (มิลลิเมตร) | | | ความชื้นเปลือก (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความสูง | เส้นผ่านศูนย์กลาง | ด้านขั้ว | ด้านข้าง | ด้านล่าง | |
| 125.41 | 53.30 | 64.89 | 2.26 | 2.21 | 2.24 | 66.20 |

การทดลองนี้เป็นการกดทับผลส้มร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง โดยใช้น้ำหนักกดทับขนาด 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ในการกดทับร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นระยะเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที ตามมาตรฐาน ISO 4180/2 ซึ่งกำหนดไว้ว่า การจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งทางรถยนต์ที่มีระยะทาง 1,000 – 1,500 กิโลเมตร ควรจำลอง การสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 นาที การเดินทางมากกว่า 1,500 กิโลเมตรใช้เวลาสั่นสะเทือน 60 นาที และการเดินทางที่ใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง กำหนดให้สั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 นาที (ISO, 1980) จำลองการสั่นสะเทือนตามแนวตั้งด้วยความถี่ 4 Hz ดัดแปลงตามมาตรฐาน ASTM D 3580-95 (ASTM, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.4.1 ความเสียหายจากการช้ำเนื่องจากการกดทับร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือน**

เมื่อทดสอบกดทับผลส้มร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง แล้ววัดความเสียหายจากการช้ำด้วยวิธีการต่างๆ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

**1. การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (เปอร์เซ็นต์)**

จากการทดสอบการกดทับผลส้ม ร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง พบว่า น้ำหนักที่กดทับผลส้มมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน

เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของน้ำหนักที่กดทับและระยะเวลาที่ถูกสั่นสะเทือน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์โดยเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 35.3±2.9 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100, 1,400 และ 700 กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.8±1.6, 32..2±1.6 และ 30.2±2.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ต่ำสุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยเพียง 28.1±2.7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนมีผลต่อการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกระยะเวลาในการสั่นสะเทือนโดยผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีค่าโดยเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 37.2±2.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 และ 10 นาที มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยเท่ากับ 33.7±2.7 และ 30.3±2.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลส้มที่ไม่ผ่านการสั่นสะเทือนมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.5±3.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักที่กดทับผลส้มและระยะเวลาในการสั่นสะเทือน พบว่า การกดทับร่วมกับการสั่นสะเทือน ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเพิ่มปริมาณการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสาร อีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 40.7±0.6 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 4.14 และตาราง 4.20) เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การรั่วไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสารอีเล็กโตรไลต์ พบว่า ผลส้มเริ่มเกิดการช้ำเมื่อถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 นาทีโดยไม่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักใดๆ

การสั่นสะเทือนเป็นสาเหตุของความเสียหายทางกลประเภทหนึ่ง ทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหาย ผลจากการทดลอง พบว่า ผลส้มเริ่มเกิดความเสียหายเนื่องจากการช้ำ โดยพิจารณาจากการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ เมื่อถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 นาที โดยไม่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักใดๆ ซึ่งจากมาตรฐาน ISO 4180/2 เปรียบเทียบได้กับการเดินทางเป็นระยะทาง 1,000 – 1,500 กิโลเมตร แต่เมื่อกดทับผลส้มด้วยน้ำหนักเพียง 700 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 นาทีผลส้มจะเกิดความช้ำขึ้น เปรียบได้กับการเดินทางที่ใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงเท่านั้น (ISO, 1980) จากการรายงานของ Li *et al*. (2000) พบว่า ความเสียหายทางกลของผลกีวี เนื่องจากการสั่นสะเทือน เป็นผลให้กิจกรรมของ malonyl dialdehyde (MDA) และ lipoxygenase เพิ่มสูงขึ้น และด้วยเหตุนี้จึงเกิดการเร่งการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเนื้อเยื่อให้สูงขึ้น เช่นเดียวกันกับ Zhou *et al*. (2007) ที่พบว่า การสั่นสะเทือนที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลเฉพาะทำให้เกิดความเสียหายทางกลเท่านั้น แต่มีผลต่อปริมาณการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ในผลสาลี่ระหว่างการขนส่ง ทั้งนี้เนื่องมาจากการสั่นสะเทือนที่ระดับต่างๆ ทำให้ plasma membrane และปริมาณส่วนประกอบของ polysaccharide ในผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวออกสู่ภายนอกเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงสี การอ่อนนิ่ม ระหว่างการวางขายหลังจากการขนส่ง

**2. อัตราการหายใจ**

การทดสอบกดทับผลส้มด้วยน้ำหนักกดทับขนาดต่างๆ ร่วมกับการสั่นสะเทือนด้วยระยะเวลาต่างกัน เมื่อวัดอัตราการหายใจของผลส้มหลังจากกดทับ 1 ชั่วโมง พบว่าระดับของน้ำหนักที่กดทับมีผลต่ออัตราการหายใจของผลส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนมีผลต่ออัตราการหายใจของผลส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน

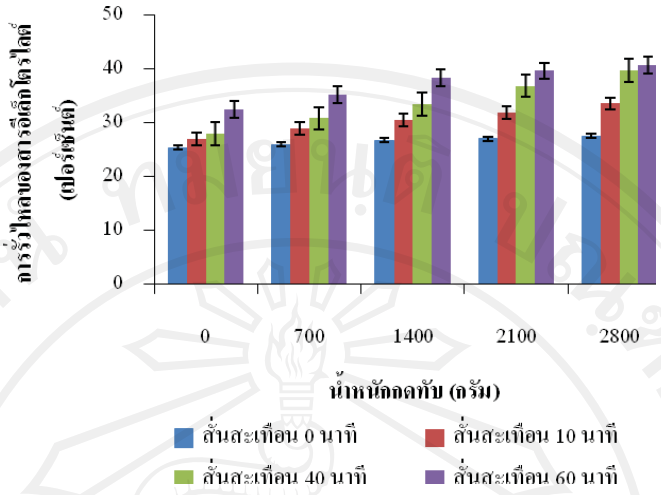
การวัดอัตราการหายใจของผลส้มหลังจากถูกกดทับ พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักแต่ละขนาด มีอัตราการหายใจต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีอัตราการหายใจเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 54.0±18.6 $mlCO_2/kg.hr$ รองลงมาได้แก่ ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100, 1,400 และ 700 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.5±11.1, 36.1 ±

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

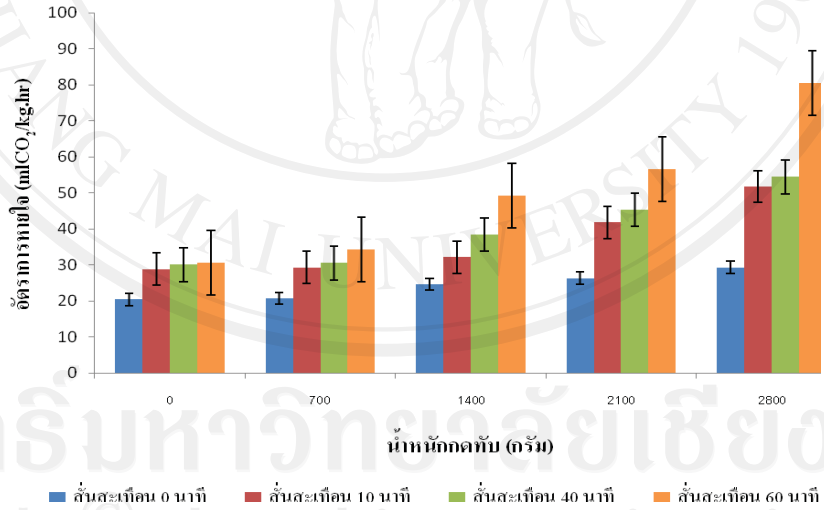
9.3 และ 28.7±5.1 $mlCO_2$/kg.hr ตามลำดับ ส่วนผลส้มที่ไม่ถูกกดทับมีอัตราการหายใจต่ำสุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพียง 27.5±4.5 $mlCO_2$/kg.hr และนอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนมีผลต่ออัตราการหายใจของผลส้ม ซึ่งทุกระดับของระยะเวลาในการสั่นสะเทือน มีอัตราการหายใจแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีอัตราการหายใจเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 50.2±18.3 $mlCO_2$/kg.hr รองลงมาได้แก่ การสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 และ 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.7±9.5 และ 36.8±9.0 $mlCO_2$/kg.hr ตามลำดับ ส่วนผลที่ไม่ถูกสั่นสะเทือนมีอัตราการหายใจเฉลี่ยต่ำที่สุดเพียง 24.3±3.6 $mlCO_2$/kg.hr เท่านั้น (ภาพ 4.15) เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหนักกดทับผลส้มและระยะเวลาที่สั่นสะเทือน พบว่ามีอิทธิพลร่วมกัน โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีอัตราการหายใจเฉลี่ยสูงที่สุดถึง 80.3±0.5 $mlCO_2$/kg.hr (ตาราง 4.21)

จากการทดลองผลส้มเริ่มเกิดความเสียหายจากการช้ำ โดยพิจารณาจากอัตราการหายใจของผลส้ม เมื่อถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 นาที โดยไม่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักใดๆ ตามมาตรฐาน ISO 4180/2 (ISO, 1980) เทียบได้กับการเดินทางโดยรถยนต์ที่ใช้เวลาเดินทางน้อยกว่า 1 ชั่วโมง เนื่องจากการสั่นสะเทือนขณะขนส่งทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อผลิตผลนอกจากจะทำให้เกิดอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเนื่องจากความเครียดทางกายภาพนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตเอทิลีน ผลส้มเกิดความเครียดก็ยิ่งเร่งอัตราการหายใจของผลส้มให้สูงขึ้นด้วย (จริงแท้, 2549) ผลมะเดื่อที่ถูกสั่นสะเทือนด้วยความถี่ระดับต่างๆ พบว่ามีปริมาณการผลิต $CO_2$ เพิ่มขึ้นตามความเร็วในการสั่นสะเทือน (Moa *et al*., 1995) สอดคล้องกับการรายงานของ Parker *et al*. (1984) ที่ทำการประเมินความเสียหายของผลไม้ตระกูลส้มในโรงคัดบรรจุที่ Florida โดยวัดการผลิต $CO_2$ ของผลส้มที่ผ่านกระบวนการต่างๆ พบว่าผลที่ได้รับความเสียหายทางกลมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ทั้งการใช้ $O_2$ และการผลิต $CO_2$ มากกว่าผลปกติ เช่นเดียวกันกับที่พบในผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการทดสอบการสั่นสะเทือน ด้วยความถี่ระหว่าง 7.5 ถึง 10 Hz มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับผลสตรอเบอรี่ที่ไม่ผ่านการสั่นสะเทือน (Fischer *et al*., 1990) นอกจากนี้จากการรายงานของณพวีร์ (2543) กล่าวว่า เมื่อทดสอบการสั่นสะเทือนของผลส้มโดยใช้ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยคือ ความถี่ในการสั่นสะเทือน แอมพลิจูด และระยะเวลาในการสั่นสะเทือน ซึ่งพิจารณาคุณสมบัติการสั่นสะเทือนของส้มจากตัวแปรที่ผันแปรได้ 3 ตัว คือ ค่าดัชนีการทรงตัว ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัว และเปอร์เซ็นต์ความช้ำ จากการทดสอบกับชุดทดสอบ พบว่า ปัจจัยควบคุมทั้ง 3 มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แก่ตัวแปรที่ผันแปรทั้ง 3 ตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 4.14** การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัมร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที




**ภาพ 4.15** อัตราการหายใจของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัมร่วมกับการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.20** การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัมร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **700** | **1,400** | **2,100** | **2,800** | |
| **0** | 25.3 | 25.9 | 26.7 | 27.0 | 27.5 | 26.5$^{d}$ |
| **10** | 26.9 | 28.9 | 30.4 | 31.9 | 33.5 | 30.3$^{c}$ |
| **40** | 27.9 | 30.8 | 33.4 | 36.8 | 39.7 | 33.7$^{b}$ |
| **60** | 32.4 | 35.2 | 38.3 | 39.6 | 40.7 | 37.2$^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 28.1$^{E}$ | 30.2$^{D}$ | 32.2$^{C}$ | 33.8$^{B}$ | 35.3$^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 0.4* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 0.4* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 0.9* | | | | | |
| **%CV** | 2.1 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.21** อัตราการหายใจของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย ($mlCO_2/kg.hr$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **700** | **1,400** | **2,100** | **2,800** | |
| **0** | 20.4 | 20.7 | 24.6 | 26.3 | 29.3 | $24.3^{d}$ |
| **10** | 28.9 | 29.3 | 32.1 | 41.7 | 51.8 | $36.8^{c}$ |
| **40** | 30.0 | 30.5 | 38.4 | 45.2 | 54.0 | $39.7^{b}$ |
| **60** | 30.6 | 34.2 | 49.2 | 56.5 | 80.3 | $50.2^{a}$ |
| **เฉลี่ย ($mlCO_2/kg.hr$)** | $27.5^{E}$ | $28.7^{D}$ | $36.1^{C}$ | $42.5^{B}$ | $54.0^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 0.5* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 0.5* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 1.0* | | | | | |
| **%CV** | 2.2 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3. การสูญเสียน้ำหนัก**

ผลส้มที่ผ่านการกดทับ 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนด้วยเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 4.16 – 4.19) เป็นเวลา 22 วัน พบว่า น้ำหนักที่กดทับผลส้มและระยะเวลาที่สั่นสะเทือนมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักอื่นๆ (ตาราง 4.22) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 2.3±0.6 รองลงมา ได้แก่ ผลที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 และ 1,400 กรัม เท่ากับ 2.0±0.5 และ 1.9±0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัม และผลที่ไม่ถูกกดทับ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากัน เฉลี่ยเท่ากับ 1.7±0.4 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการเก็บรักษา ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุดถึง 20.6±2.5 เปอร์เซ็นต์

ส่วนผลของระยะเวลาในการสั่นสะเทือน พบว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ผลส้มที่ผ่านการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที เริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 4.22 – 4.27) เมื่อเปรียบเทียบกับการสั่นสะเทือนด้วยระเวลาอื่นๆ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 4.5±0.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 และ 10 นาที ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8±0.9 และ 3.7±0.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลที่ไม่ผ่านการสั่นสะเทือนมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 3.8±0.6 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการเก็บรักษา ผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด 20.0±3.4 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างขนาดของน้ำหนักที่กดทับและระยะเวลาในการสั่นสะเทือน พบว่าทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

การสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งและการเสียดสีระหว่างผลิตผลกับภาชนะบรรจุ และการเสียดสีของผลิตผลกันเอง มีผลโดยตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การสั่นสะเทือนและเสียดสีขึ้นอยู่กับสภาพถนน สภาพของยานพาหนะและความเร็วของรถในระหว่างการขนส่ง ในการขนส่งระยะทางไกลๆ พบว่า การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นทำให้ผลิตผลเกิดการยุบตัวลงจึงเกิดช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ ช่องว่างด้านบนของภาชนะบรรจุที่เกิดขึ้นนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะทำให้ผลิตผลกระดอน และกระแทกกับผนังของภาชนะบรรจุ ซึ่งทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหาย (Peleg, 1985) และเป็นสาเหตุให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักสูง การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากจะทำให้น้ำหนักที่ขายได้ลดลงแล้ว ยังทำให้รสชาติของผลิตผลเลวลงด้วย โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวย่นไม่ดึงดูดใจผู้บริโภค (อนุชา, 2547) ในผลิตผลที่ได้รับความเสียหายมักจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าผลิตผลที่อยู่ในสภาพปกติ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์และเนื้อเยื่อสูญเสียความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ เกิดรอยแตกเล็กๆ บริเวณเซลล์ชั้นในและชั้นนอก บาดแผลเหล่านี้จะช่วยเร่งให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซรวมไปถึงการระเหยของน้ำด้วย (Woods, 1990)

**4. การเน่าเสีย**

เมื่อพิจารณาความเสียหายจากการช้ำเนื่องจากการกดทับร่วมกับการสั่นสะเทือน โดยการประเมินการเน่าเสียของผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2 ˚C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ขนาดของน้ำหนักที่กดทับและระยะเวลาในการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งผลส้มมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลส้มเริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ผลที่ถูกกดทับ 2,100 และ 1,400 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10, 5.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัมและผลที่ไม่ถูกกดทับยังไม่ปรากฏอาการเน่าเสีย (ตาราง 4.28 – 4.31) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการสั่นสะเทือน พบว่า ผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 และ 40 นาที มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเฉลี่ยเท่ากับ 8.0 และ 6.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 นาทีและผลที่ไม่ถูกสั่นสะเทือนยังไม่เกิดการเน่าเสีย ภายหลังการเก็บรักษา 22 วัน ผลส้มมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,100 กรัม เท่ากับ 27.5 และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400, 700 กรัม

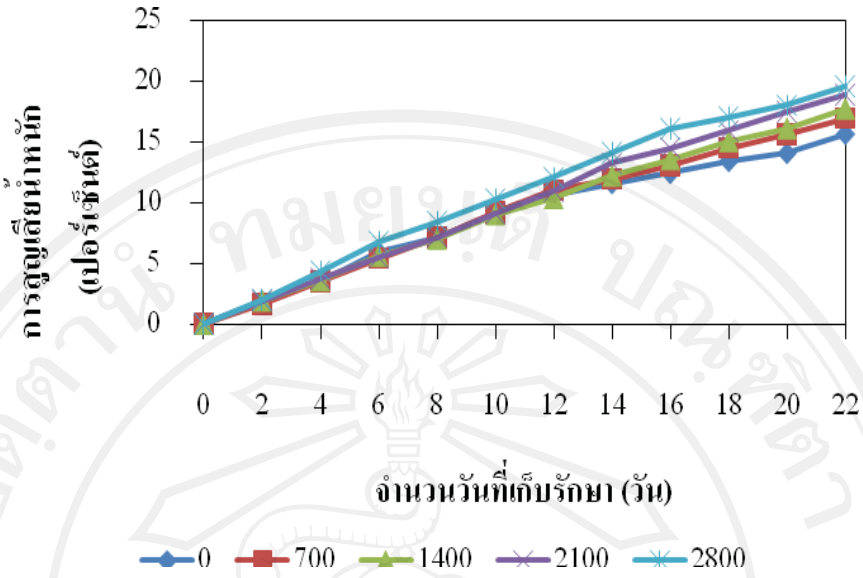
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และผลที่ไม่ถูกกดทับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.5, 10.0 และ 5.0 ตามลำดับ ส่วนผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 28.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผลส้มที่ถูกสั่นสะเทือน 40 นาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การสั่นสะเทือน 10 และไม่สั่นสะเทือน ผลส้มมีการเน่าเสียเฉลี่ยเพียง 8.0 และ 6.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างขนาดของน้ำหนักที่กดทับผลส้มและระยะเวลาในการสั่นสะเทือน พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้ม (ตาราง 4.28 – 4.31)

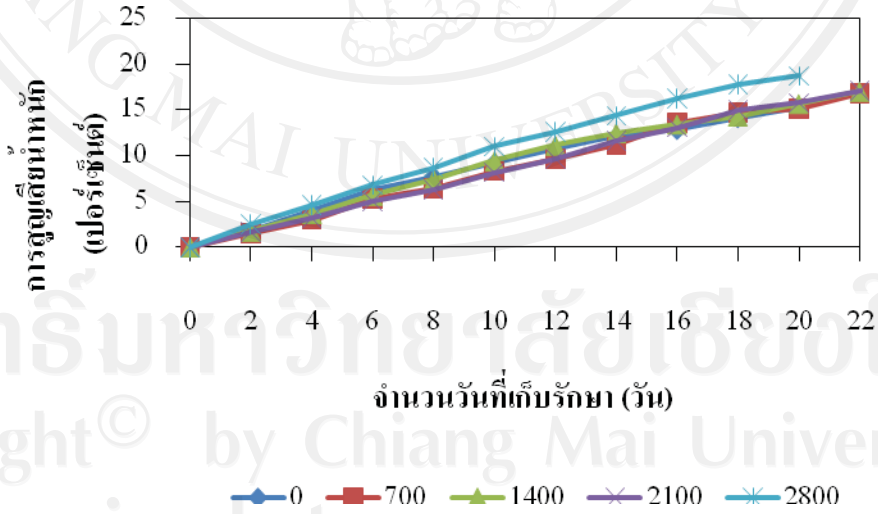
การที่ผลส้มได้รับความเสียหายจากการกดทับและการสั่นสะเทือน ทำให้ผลิตผลเกิดความอ่อนแอ ผิวของผลส้มได้รับการกระทบกระเทือน อาจเกิดรอยขีดข่วน ปริแตก หรือชอกช้ำ เป็นสาเหตุให้เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย เนื่องจากผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ ยังมีโครงสร้างที่แข็งแรง สามารถป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ดี เซลล์ที่ผิวของผลิตผล ได้แก่ epidermis และ periderm ป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (จริงแท้, 2542) นอกจากนี้การได้รับความเสียหายทางกลทำให้ผลิตผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาภายใน ได้แก่ การหายใจ การผลิตเอทธิลีนขึ้น ทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ง่าย (Kader, 1985) อาการเน่าเสียที่พบในผลส้มเช่นเดียวกันกับที่พบในการกดทับแบบต่อเนื่องยาวนาน

อายุการเก็บรักษาของผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลส้ม การเหี่ยวของขั้วผลและเปลือกผล การมีสีคล้ำของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า ผลส้มที่ผ่านการกดทับ 2,100 และ 2,800 กรัม มีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 18 วัน ส่วนการกดทับด้วยน้ำหนัก 1,400 กรัม มีอายุการเก็บรักษา 20 วัน ส่วนผลที่กดทับด้วยน้ำหนัก 700 กรัมและไม่กดทับมีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุดถึง 22 วัน ส่วนการสั่นสะเทือนที่ระดับต่างๆ พบว่าที่ 60 นาที ผลส้มมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดเพียง 18 วัน ในขณะที่การสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 และ 10 นาที ผลส้มมีอายุการเก็บรักษา 20 วัน ส่วนผลที่ไม่ถูกสั่นสะเทือนมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าถึง 22 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

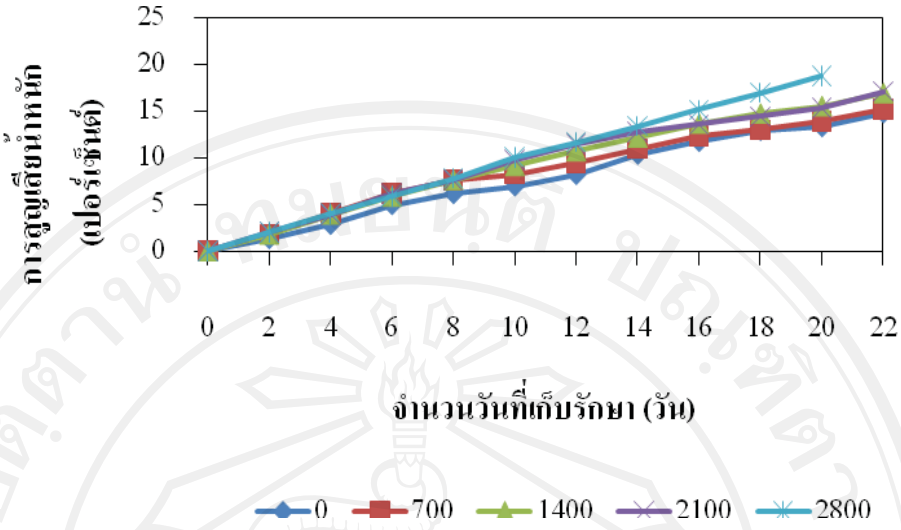



**ภาพ 4.16** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ที่ไม่ผ่านการสั่นสะเทือน

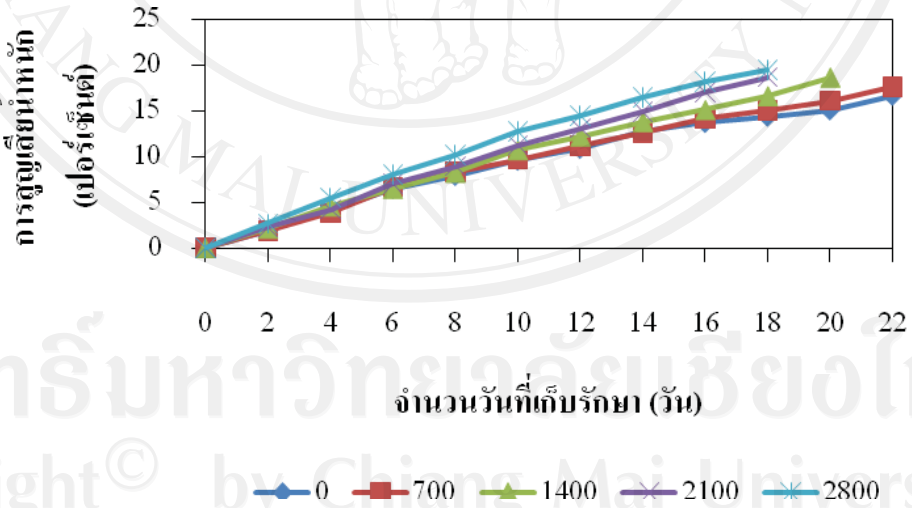



**ภาพ 4.17** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 4.18** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 40 นาที




ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ภาพ 4.19** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที

**4.4.2 ความเสียหายของผลส้มจากการกดทับร่วมกับการจำลองสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง**

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างขนาดของน้ำหนักกดทับ และระยะเวลาในการสั่นสะเทือนต่อความเสียหายของผลส้ม พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยปัจจัยทั้งสองเกื้อหนุนกัน ซึ่งผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยสูงถึง 40.7±0.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัม เพียงอย่างเดียว มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เฉลี่ยเพียง 27.5±2.9 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาทีเพียงอย่างเดียว มีค่าเพียง 32.4±2.6 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4.20) และในอัตราการหายใจของผลส้ม พบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจหลังจากกดทับ โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 2,800 กรัมร่วมกับการสั่นสะเทือน 60 นาที มีอัตราการหายใจเฉลี่ยสูงถึง 80.3±0.5 $mlCO_2/kg.hr$ (ตาราง 4.21) ส่วนการสูญเสียน้ำหนักและการเน่าเสียของผลส้มนั้น ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกันในการเพิ่มการสูญเสียน้ำหนักและการเน่าเสีย (ตาราง 4.22 และตาราง 4.31)

**4.5 การเปรียบเทียบความเสียหายจากการกดทับต่อเนื่องเป็นเวลานานและความเสียหายจากการกดทับร่วมกับการสั่นสะเทือน**

ความเสียหายของผลส้มที่ผ่านการกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เป็นเวลาต่อเนื่องจนผลส้มยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูง และผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักเดียวกันร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ พบว่า ผลส้มที่ผ่านการกดทับมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มากกว่าผลที่ไม่ผ่านการกดทับ และมากกว่าผลส้มที่ผ่านการสั่นสะเทือน (ตาราง 4.15 และตาราง 4.20) เนื่องจากการทดลองกดทับใช้ระยะเวลาค่อนข้างยาวนานกว่าการทดสอบสั่นสะเทือน โดยการทดสอบกดทับผลส้มด้วยน้ำหนัก 700 กรัม ให้มีการยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของผล ใช้เวลานานถึง 70.4 ชั่วโมง ในขณะที่การทดสอบสั่นสะเทือนร่วมกับการกดทับใช้เวลาสูงสุดเพียงแค่ 60 นาที เท่านั้น ซึ่งเมื่อเทียบตามมาตรฐาน ISO 4180/2 เท่ากับการเดินทางเป็นระยะทางมากกว่า 1,500 กิโลเมตร (ISO, 1980) ซึ่งถ้าความเร็วในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เดินทางเฉลี่ย 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะใช้เวลาในการกดทับประมาณ 18 – 19 ชั่วโมง ในขณะที่พิจารณาอัตราการหายใจของผลส้มหลังจากผ่านสภาวะเครียด พบว่า ผลส้มที่ผ่านการกดทับร่วมกับการสั่นสะเทือนมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลส้มที่ผ่านการกดทับต่อเนื่องยาวนาน (ตาราง 4.16 และตาราง 4.21) ส่วน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก อายุการเก็บรักษา และเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้ม พบว่า ผลส้มที่ถูกกดทับร่วมกับสั่นสะเทือนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในอัตราที่สูงกว่า และมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่า โดยผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนักขนาดต่างกันมีอายุการเก็บรักษาสูงสุดถึง 26 วัน ในขณะที่ผลส้มที่ถูกกดทับร่วมกับสั่นสะเทือน มีอายุการเก็บรักษาสูงสุดเพียง 20 วัน เท่านั้น (ตาราง 4.17 และตาราง 4.27) นอกจากนี้ผลส้มที่ถูกกดทับร่วมกับสั่นสะเทือนยังมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูงกว่าผลส้มที่ถูกกดทับต่อเนื่องยาวนาน โดยมีการเน่าเสียสูงสุดถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของผลส้มทั้งหมด ส่วนผลส้มที่ถูกกดทับเพียงอย่างเดียวมีการเน่าเสียสูงสุดเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (ตาราง 4.18 และตาราง 4.31)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.22** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 และ 4 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 2 วัน | | | | | | 4 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 1.9 | 1.7 | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 3.5 | 3.5 | 3.6 | 3.8 | 4.4 | 3.8$^{b}$ |
| **10** | 1.8 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 2.5 | 1.8 | 4.0 | 2.9 | 3.7 | 3.2 | 4.6 | 3.7$^{b}$ |
| **40** | 1.3 | 1.8 | 1.8 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 2.8 | 4.0 | 4.0 | 3.9 | 4.0 | 3.8$^{b}$ |
| **60** | 1.9 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.7 | 2.2 | 4.3 | 3.9 | 4.6 | 4.2 | 5.5 | 4.5$^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 1.7$^{B}$ | 1.7$^{B}$ | 1.9$^{B}$ | 2.0$^{B}$ | 2.3$^{A}$ | | 3.7$^{B}$ | 3.6$^{B}$ | 4.0$^{B}$ | 3.8$^{B}$ | 4.6$^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 0.4 | | | | | | 0.5 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 0.3 | | | | | | 0.5 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 0.8 | | | | | | 1.1 | | | | | |
| **%CV** | 14.4 | | | | | | 16.8 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.23** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 และ 8 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 6 วัน | | | | | | 8 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 5.9 | 5.4 | 5.6 | 5.5 | 6.8 | $5.8^{b}$ | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 8.5 | $7.4^{b}$ |
| **10** | 6.2 | 5.2 | 5.7 | 5.0 | 6.8 | $5.8^{b}$ | 7.7 | 6.4 | 7.4 | 6.3 | 8.7 | $7.3^{b}$ |
| **40** | 5.0 | 6.2 | 5.9 | 6.2 | 5.9 | $5.8^{b}$ | 6.1 | 7.6 | 7.7 | 7.8 | 7.6 | $7.4^{b}$ |
| **60** | 6.5 | 6.7 | 6.5 | 7.1 | 8.0 | $7.0^{a}$ | 7.9 | 8.3 | 8.3 | 9.0 | 10.2 | $8.7^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | $5.9^{B}$ | $5.9^{B}$ | $5.9^{B}$ | $6.0^{B}$ | $6.9^{A}$ | | $7.2^{B}$ | $7.4^{B}$ | $7.6^{B}$ | $7.6^{B}$ | $8.8^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 0.7 | | | | | | 0.8 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 0.7 | | | | | | 0.9 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 1.5 | | | | | | 1.8 | | | | | |
| **%CV** | 14.9 | | | | | | 14.4 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.24** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 และ 12 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 10 วัน | | | | | | 12 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 9.1 | 9.2 | 9.0 | 9.1 | 10.3 | $9.4^{b}$ | 10.6 | 11.0 | 10.4 | 11.0 | 12.1 | $11.0^{ab}$ |
| **10** | 9.2 | 8.3 | 9.4 | 8.1 | 11.0 | $9.2^{b}$ | 10.8 | 9.6 | 11.1 | 9.6 | 12.6 | $10.7^{b}$ |
| **40** | 7.3 | 8.3 | 9.1 | 9.8 | 10.0 | $8.9^{b}$ | 8.5 | 9.5 | 10.7 | 11.5 | 11.7 | $10.4^{b}$ |
| **60** | 9.6 | 9.7 | 10.7 | 11.3 | 12.8 | $10.8^{a}$ | 10.9 | 11.3 | 12.3 | 13.1 | 14.5 | $12.4^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | $8.8^{B}$ | $8.9^{B}$ | $9.6^{AB}$ | $9.6^{AB}$ | $11.0^{A}$ | | $10.2^{B}$ | $10.3^{B}$ | $11.1^{AB}$ | $11.3^{AB}$ | $12.7^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 0.9* | | | | | | 1.0* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 1.0* | | | | | | 1.1* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 1.9 | | | | | | 2.3 | | | | | |
| **%CV** | 12.2 | | | | | | 12.5 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.25** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 และ 16 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 14 วัน | | | | | | 16 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 11.6 | 11.9 | 12.2 | 13.3 | 14.1 | 12.6$^{b}$ | 12.6 | 13.1 | 13.5 | 14.5 | 16.1 | 14.0$^{b}$ |
| **10** | 12.1 | 11.1 | 12.5 | 11.6 | 14.4 | 12.3$^{b}$ | 12.8 | 13.6 | 13.4 | 13.0 | 16.2 | 13.8$^{b}$ |
| **40** | 10.4 | 11.0 | 12.2 | 12.8 | 13.4 | 12.0$^{b}$ | 11.7 | 12.4 | 13.7 | 13.6 | 15.2 | 13.3$^{b}$ |
| **60** | 12.7 | 12.5 | 13.8 | 15.0 | 16.5 | 14.1$^{a}$ | 13.8 | 14.2 | 15.2 | 17.1 | 18.2 | 15.7$^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 11.7$^{B}$ | 11.7$^{B}$ | 12.7$^{B}$ | 13.1$^{AB}$ | 14.6$^{A}$ | | 12.7$^{B}$ | 13.3$^{B}$ | 14.0$^{B}$ | 14.6$^{AB}$ | 16.4$^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 1.1* | | | | | | 1.2* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 1.2* | | | | | | 1.4* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 2.4 | | | | | | 2.7 | | | | | |
| **%CV** | 11.5 | | | | | | 11.7 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.26** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 18 และ 20 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 18 วัน | | | | | | 20 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 13.9 | 14.5 | 15.1 | 15.9 | 17.1 | 15.3$^{ab}$ | 14.6 | 15.6 | 16.1 | 17.5 | 18.0 | 16.4 |
| **10** | 14.1 | 14.7 | 14.3 | 14.9 | 17.7 | 15.1$^{ab}$ | 15.3 | 15.1 | 15.7 | 15.7 | 18.7 | 16.1 |
| **40** | 12.9 | 13.0 | 14.8 | 14.4 | 17.0 | 14.4$^{b}$ | 13.4 | 13.9 | 15.6 | 15.4 | 18.8 | 15.4 |
| **60** | 14.4 | 15.1 | 16.7 | 18.7 | 19.5 | 16.9$^{a}$ | 15.1 | 16.2 | 18.7 | - | - | - |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 13.8$^{B}$ | 14.3$^{B}$ | 15.2$^{B}$ | 16.0$^{AB}$ | 17.8$^{A}$ | | 14.6 | 15.2 | 16.5 | - | - | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 1.3* | | | | | | - | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 1.5* | | | | | | - | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 3.0 | | | | | | - | | | | | |
| **%CV** | 11.8 | | | | | | - | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตาราง 4.27** การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 22 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 22 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 15.8 | 17.0 | 17.8 | 19.0 | 19.6 | 17.8±2.0 |
| **10** | 17.0 | 16.8 | 17.0 | 17.1 | - | - |
| **40** | 14.9 | 15.2 | 17.0 | 17.1 | - | - |
| **60** | 16.7 | 17.7 | - | - | - | - |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 16.1 | 16.7 | - | - | - | |

หมายเหตุ : เครื่องหมาย - หมายถึง ผลส้มหมดสภาพก่อนการเน่าเสียจึงไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.28** การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 และ 12 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 10 วัน | | | | | | 12 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0.0^{c}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2.0 |
| **10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0.0^{c}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2.0 |
| **40** | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | $6.0^{b}$ | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | 6.0 |
| **60** | 0 | 0 | 10 | 10 | 20 | $8.0^{a}$ | 0 | 10 | 10 | 10 | 20 | 10.0 |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | $0.0^{B}$ | $0.0^{B}$ | $2.5^{B}$ | $5.0^{B}$ | $10.0^{A}$ | | $0.0^{B}$ | $2.5^{B}$ | $2.5^{B}$ | $5.0^{B}$ | $15.0^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 2.0* | | | | | | 7.0* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 5.0* | | | | | | 9.0 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 6.0 | | | | | | 9.0 | | | | | |
| **%CV** | 15.2 | | | | | | 13.3 | | | | | |

หมายเหตุ: ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.29** การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 และ 16 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 14 วัน | | | | | | 16 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2.0$^{b}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2.0$^{b}$ |
| **10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2.0$^{b}$ | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 4.0$^{b}$ |
| **40** | 0 | 10 | 10 | 20 | 20 | 12$^{a}$ | 0 | 10 | 10 | 30 | 40 | 18.0$^{a}$ |
| **60** | 0 | 10 | 10 | 20 | 30 | 14$^{a}$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 20.0$^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 0.0$^{B}$ | 5.0$^{B}$ | 5.0$^{B}$ | 10.0$^{B}$ | 17.5$^{A}$ | | 0.0$^{C}$ | 5.0$^{C}$ | 7.5$^{C}$ | 17.5$^{B}$ | 25.0$^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 10* | | | | | | 12* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 11* | | | | | | 7.0 | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 10 | | | | | | 16 | | | | | |
| **%CV** | 14.0 | | | | | | 16.8 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.30** การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 18 และ 20 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 18 วัน | | | | | | 20 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 4.0$^{b}$ | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 4.0$^{b}$ |
| **10** | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 4.0$^{b}$ | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 6.0$^{b}$ |
| **40** | 0 | 10 | 10 | 30 | 40 | 18.0$^{a}$ | 10 | 10 | 10 | 30 | 40 | 20.0$^{a}$ |
| **60** | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 20.0$^{a}$ | 10 | 10 | 20 | 30 | 50 | 24.0$^{a}$ |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 0.0$^{C}$ | 5.0$^{C}$ | 7.5$^{C}$ | 20.0$^{B}$ | 25.0$^{A}$ | | 5.0$^{C}$ | 5.0$^{C}$ | 10.0$^{C}$ | 20.0$^{B}$ | 27.5$^{A}$ | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 12* | | | | | | 13* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 5.0* | | | | | | 7.5* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 17 | | | | | | 19 | | | | | |
| **%CV** | 16.3 | | | | | | 11.3 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.31** การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 ± 2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 22 วัน

| ระยะเวลาที่สั่นสะเทือน (นาที) | 22 วัน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | แรงกดทับ (กรัม) | | | | | เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) |
| | 0 | 700 | 1,400 | 2,100 | 2,800 | |
| **0** | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 6.0[b] |
| **10** | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 8.0[b] |
| **40** | 10 | 10 | 10 | 30 | 40 | 20.0[a] |
| **60** | 20 | 20 | 20 | 30 | 50 | 28.0[a] |
| **เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)** | 7.5[B] | 10.0[B] | 12.5[B] | 20.0[B] | 27.5[A] | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา** | 11* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ แรงกดทับ** | 7.5* | | | | | |
| **$LSD_{0.05}$ ระยะเวลา x แรงกดทับ** | 20 | | | | | |
| **%CV** | 15.9 | | | | | |

หมายเหตุ : ตัวเลขแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขแนวขวางที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ : * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved