# การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกมังคุดภายหลังการกดอัด
# Anatomical Change of Mangosteen Exocarp After Compression

**รัตติกาล วงศ์ฝั้น**[1] **วลัยพร มูลพุ่มสาย**[2] **และ ธนะชัย พันธ์เกษมสุข**[2]
Rattikarn Wongfun[1] Walaiphon Munphumsai[2] and Tanachai Pankasemsuk[2]

**Abstract**

The anatomical change of mangosteen exocarp after compression was studied by CRD, three replications; ten fruit per replication. Mangosteen fruit, 80-110 grams/fruit, were pressed withy by a pendulum sensor size p/1S of a texture analyzer Model (TA-XT2i/50) at the compression forces of 3, 4, 5 and 6 kg/cm$^2$ at the side of each fruit. Exocarp change after compression was observed immediately after the compression and every 30 minutes after that by a microtome technique. It was found that the latex vessels in the pressing areas were broken and the yellow latex was leaked out to the surrounding tissues. All compressed fruit was developed hard exocarp symptom at the pressing areas. The hard exocarp symptom of the exocarp which received the compression forces of 3, 4, 5 and 6 kg/cm$^2$ were observed at 410, 300, 210 and 150 min after the compression respectively. For the treatments of 5 and 6 kg/cm$^2$ compression forces, the fruit not only developed hard exocarp symptom but also the flesh of the fruit changed their color from white to brown at the pressing areas. The breaking of latex vessel and latex harden in exocarp might be the important factors in developing hard exocarp symptom of mangosteen fruit.

**Keywords**: hard exocarp, mangosteen, compression

**บทคัดย่อ**

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกมังคุดภายหลังได้รับแรงกดอัด คัดเลือกผลมังคุดที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีน้ำหนักผล 80-110 กรัม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ประกอบไปด้วย 4 กรรมวิธี วิธีละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ผล ให้ผลมังคุดได้รับแรงกดที่เปลือกด้านข้างของผลโดยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT2i/50 หัววัดลูกตุ้มขนาด (p/1S) ให้ผลมังคุดได้รับแรงกดอัดขนาด 3, 4, 5 และ 6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร บันทึกการเปลี่ยนแปลงของเปลือกผลมังคุดหลังได้รับแรงกดอัดแล้วทันทีจากนั้นจึงเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที แล้วทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ ภายใต้กล้องจุลทัศน์ (microtome technique) พบว่าท่อน้ำยางในบริเวณนั้นเกิดการแตกและเกิดน้ำยางสีเหลืองบริเวณรอบของเนื้อเยื่อและผลมังคุดมีอาการเปลือกแข็ง จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้นจะทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งเร็วขึ้น โดยแรงกดที่มีขนาด 3, 4, 5, และ 6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อาการเปลือกแข็งเกิดในระยะเวลา 410, 300, 210 และ 150 นาทีตามลำดับหลังได้รับแรงกดอัด สำหรับกรรมวิธีให้ผลมังคุดได้รับแรงกดอัด ที่ 5 และ 6 กิโลกรัม นอกจากเกิดอาการเปลือกแข็งบริเวณที่ถูกกดอัดแล้วยังทำให้เนื้อผลมังคุดด้านในเกิดสีน้ำตาล การแตกของท่อน้ำยางในเปลือกของผลและการแข็งตัวของน้ำยางน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดอาการเปลือกแข็งของผลมังคุดได้

**คำสำคัญ**: เปลือกแข็ง, มังคุด, แรงกดทับ

## คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน อมเปรี้ยว อร่อย แต่เป็นที่ต้องการสูงทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ แต่ละปีมีผลผลิตมังคุดรวมทั้งประเทศประมาณ 160,000 ถึง 190,000 ตัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากปริมาณพื้นที่ปลูกซึ่งมีประมาณ 300,000 ไร่ แต่ที่ให้ผลแล้วมีเพียง 160,000 ไร่ ปัญหาในเรื่องของคุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้ ถือเป็นปัญหาที่สำคัญ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเก็บเกี่ยวและตลอดจนกระบวนการลำเลียงขนส่งซึ่งสาเหตุเกิดจากการกระทบกระแทกและการกดอัดระหว่างผลจึงทำให้ผลมังคุดมีอาการเปลือกแข็ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) ดังนั้น

[1] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center, Chiangmai University Chiangmai 50200
[2] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2] Department of Plant Science and Natural Research, Faculty of Agriculture Chiangmai University Chiangmai 5200

การศึกษาเกี่ยวกับกลไกการแข็งตัวของเปลือกมังคุดที่เกิดจากการกดอัดดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงเน้นที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายวิภาครวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเปลือกมังคุดเมื่อได้รับแรงกดอัดเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการแก้ไขปัญหาเปลือกแข็งของมังคุดและการป้องกันการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกมังคุดโดยการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design(CRD) ผลมังคุดที่ใช้อยู่ในระยะที่ 4 ซึ่งมีลักษณะสีผิวเป็นสีแดงอมน้ำตาล โดยมีกรรมวิธีดังนี้ ให้แรงกดของผลมังคุด 4 ขนาด คือ 3, 4, 5 และ 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้วยเครื่อง texture analyzer โดยใช้แรงกดที่ด้านข้างของผลในแต่ละกรรมวิธีทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ผล และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเปลือกมังคุดส่วนที่ได้รับความเสียหายตั้งแต่เริ่มใช้แรงกดอัดไปจนถึงเปลือกตรงส่วนที่ได้รับความเสียหายเกิดการแข็งตัว โดยศึกษาทุก 30 นาที ให้ผลมังคุดที่ไม่ได้รับความเสียหายเป็นชุดควบคุม โดยศึกษาไปจนเกิดเปลือกแข็ง และทำการบันทึกการทดลองดังนี้คือ ความแน่นเนื้อของเปลือก เนื้อเยื่อเปลือกมังคุด วัดสีของเปลือกมังคุดโดยเครื่อง chrometer รุ่น CR-300 หัววัด CR-310 ของบริษัท mindta ประเทศญี่ปุ่น หัววัดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

## ผลการทดลอง

ผลมังคุดที่ไม่ได้รับแรงกดอัด พบว่าไม่เกิดอาการเปลือกแข็งตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (440นาที, Table1and Figure 1) โดยมีความแน่นเนื้อของเปลือกผล 0.11 ถึง 0.13 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรผลมังคุดที่ได้รับแรงกด 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าการแข็งตัวของผลนั้น เกิดขึ้นเฉพาะจุดของเนื้อเยื่อเปลือกบริเวณที่ได้รับแรงกดเท่านั้น และมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้นในทุกๆ 30 นาที สังเกตพบอาการเปลือกแข็ง หลังจากได้รับแรงกดอัดแล้ว 390 นาที โดยมีความแน่นเนื้อเป็น 0.83 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเปลือกมังคุด ยังคงมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 0.90 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหลังได้รับแรงกดอัดแล้ว 440 นาที ผลมังคุดที่ได้รับแรงกด 4, 5 และ 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีการแข็งตัวของเปลือกผลทั้งบริเวณที่ได้รับแรงกดอัดและบริเวณรอบๆ พื้นที่ที่เกิดอาการเปลือกแข็งเพิ่มขึ้นตามแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาที่พบอาการเปลือกแข็งลดลงตามแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น โดยพบอาการเปลือกแข็งภายหลังได้รับแรงกดอัดแล้ว 300, 210 และ 150 นาที ตามลำดับ ความแน่นเนื้อของเปลือกที่พบอาการเปลือกแข็งเป็น 0.80,0.83 และ 0.83 กิโลกรัมต่อตามรางเซนติเมตร ตามลำดับ และภายหลังได้รับแรงกดอัดแล้ว 440 นาที เปลือกมังคุดที่แสดงอาการเปลือกแข็งมีความแน่นเนื้อเป็น 0.94, 0.94 และ 0.94 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

Table 1 Firmness changes of mangosteen exocarp exposed to compression force

| Time (min) | compression force (kg/cm2) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0(control) | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | 0.11a | 0.13a | 0.34a | 0.22a | 0.51a |
| 30 | 0.14a | 0.34bc | 0.42ab | 0.56b | 0.59a |
| 60 | 0.14a | 0.33b | 0.46abc | 0.59b | 0.63a |
| 90 | 0.13a | 0.43bc | 0.50abcd | 0.62b | 0.67ab |
| 120 | 0.11a | 0.48bcde | 0.57bcd | 0.64b | 0.68ab |
| 150 | 0.13a | 0.49bcdef | 0.58bcd | 0.67b | 0.83bc |
| 180 | 0.12a | 0.46bcd | 0.62cde | 0.67b | 0.93c |
| 210 | 0.13a | 0.44bcd | 0.62cde | 0.83c | 0.94c |
| 240 | 0.13a | 0.51cdef | 0.67de | 0.85c | 0.94c |
| 270 | 0.12a | 0.51cdef | 0.67de | 0.92d | 0.94c |
| 300 | 0.13a | 0.60defg | 0.80e | 0.94d | 0.94c |
| 330 | 0.13a | 0.66fg | 0.85e | 0.94d | 0.94c |
| 360 | 0.12a | 0.65efg | 0.94e | 0.94d | 0.94c |
| 390 | 0.12a | 0.72fg | 0.94e | 0.94d | 0.94c |
| 410 | 0.12a | 0.89g | 0.94e | 0.94d | 0.94c |
| 440 | 0.13a | 0.90g | 0.94e | 0.94d | 0.94c |
| $LSD_{0.05}$ | 0.03 | 0.67 | 0.65 | 0.53 | 0.46 |
| C.V.(%) | 15.61 | 6.81 | 10.45 | 14.25 | 15.5 |

[1/] Means within the same column followed by different letters were significantly different at P>0.05

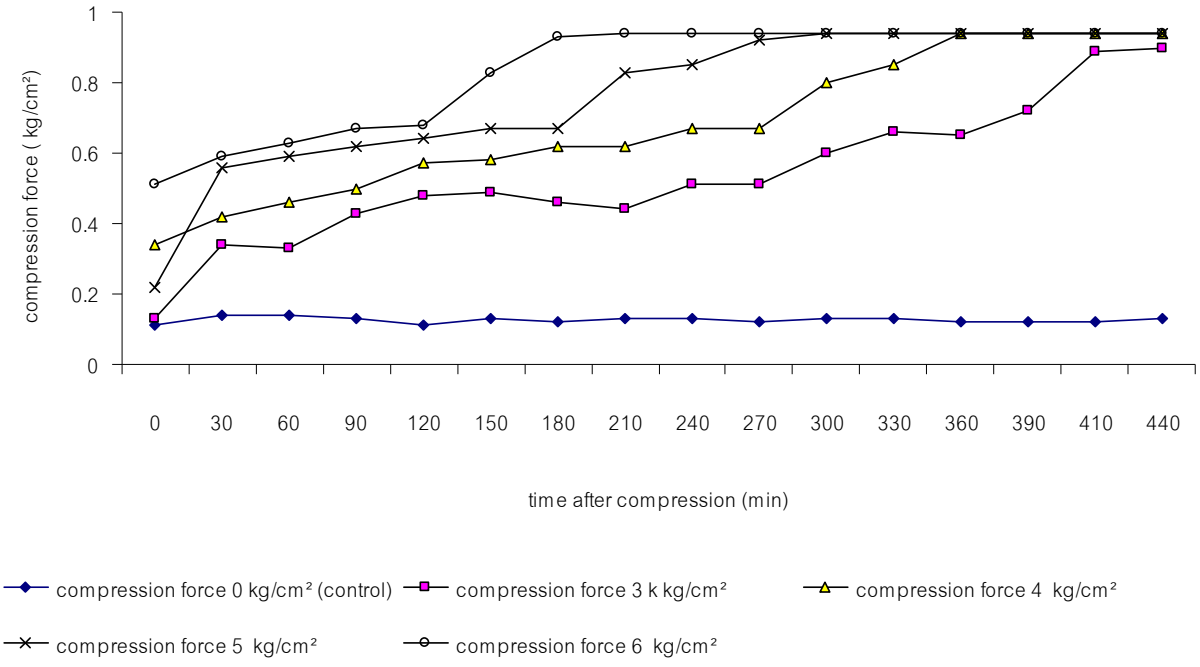
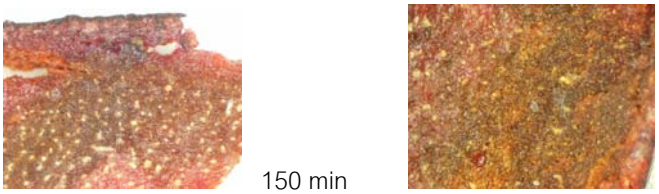



Figure 1 Firmness changes of mangosteen exocarp exposed to compression force

จากการศึกษาภาพตัดขวางของเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทัศน์ พบว่าเนื้อเยื่อปกติของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับแรงกดอัด (figure 2) มีท่อน้ำยางเป็นจุดสีเหลืองกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อเยื่อของเปลือก เมื่อเปลือกได้รับแรงกดอัดแล้วพบว่าท่อน้ำยางมีการแตกมีน้ำยางไหลออกมาเนื้อเยื่อในบริเวณนี้มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเป็นวง สีน้ำตาลตามลักษณะของตุ่มน้ำหนักที่ใช้ในการกดอัด เนื้อเยื่อที่ได้รับแรงกดอัดและเมื่อเวลาผ่านไป ท่อน้ำยางในบริเวณนี้มีการแตกเพิ่มมากขึ้น จนทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีดำ ซึ่งเป็นลักษณะของเนื้อเยื่อที่แสดงอาการเปลือกแข็ง และมีการขยายตัวของเนื้อเยื่อที่มีสีน้ำตาลดำซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่แสดงอาการเปลือกแข็งเพิ่มมากขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลดำทั้งในเนื้อเยื่อบริเวณที่ได้รับการกดอัดและเนื้อเยื่อที่อยู่โดยรอบบริเวณที่ได้รับแรงกดอัด

(a) normal exocarp (b) exocarp at 0 min after exposed to6 km/cm$^2$ compression force



150 min 440 min

(c) hard exocarp (150 and 440 min after exposed to 6 km/cm$^2$ compression force)

Figure 2 Cross section (100X) of mangosteen exocarp exposed to compression force

## วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าการเกิดอาการเปลือกแข็งของผลมังคุดมีความสัมพันธ์กับแรงกดอัด Tongdee and Swuwanagul (1989) และ Bunsiri *et al.*(2003) ได้รายงานว่าการแข็งตัวของเปลือกมังคุดพบว่าความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดหลังการตกกระทบนั้นเกิดขึ้นเฉพาะจุดของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายหรือเกิดขึ้นตรงบริเวณที่มีการตกกระทบเท่านั้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อเนื้อเยื่อเปลือกผลได้รับแรงกดอัด 5 และ 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพราะเนื้อเยื่อในบริเวณข้างเคียงกับบริเวณที่ได้รับแรงกดอัด แสดงอาการเปลือกแข็งด้วยและอาการเปลือกแข็งนี้สามารถขยายออกไปเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เก็บรักษาผลไว้ ดังนั้นน้ำยางที่ไหลไปสู่เนื้อเยื่อบริเวณข้างเคียงน่าจะทำอันตรายต่อเซลล์ ทำให้เซลล์ตายและชักนำให้เกิดการแตกของเซลล์ท่อน้ำยางในเนื้อเยื่อบริเวณที่ได้รับน้ำยางด้วยจึงทำให้ มีการขยายตัวของเนื้อเยื่อที่แสดงอาการเปลือกแข็ง นอกจากนั้น สมศักดิ์และสายชล (2540) รายงานว่าเนื้อเยื่อบริเวณที่แสดงอาการเปลือกแข็งมีการสร้างลิกนินเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งการเกิดอาการเปลือกแข็งในลักษณะนี้ไม่น่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดเปลือกแข็งในบริเวณที่ได้รับแรงกดอัดเนื่องจาก อาการเปลือกแข็งสามารถเกิดขึ้นได้ภายใน ระยะเวลาเพียง 150 นาที ภายหลังจากได้รับแรงกดอัด 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งเป็นเวลาที่ไม่เพียงพอที่เซลล์พืชจะสร้างลิกนินจำนวนมากจนทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งได้ อาการเปลือกแข็งของผลมังคุดตรวจพบได้เมื่อเปลือกมังคุดมีค่าความแน่นเนื้อ มากกว่า 0.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและเปลือกของมังคุดจะแข็งมากเมื่อมีความแน่นเนื้อตั้งแต่ 0.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป

## สรุปผลการทดลอง

การแตกของท่อน้ำยางและการแข็งตัวของน้ำยางภายหลังได้รับแรงกดอัด น่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลมังคุดมีอาการเปลือกแข็ง โดยความรุนแรงของอาการเปลือกแข็งมากขึ้นตามขนาดของแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาในการเกิดอาการเปลือกแข็งลดลงเมื่อได้รับขนาดของแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และ ภาควิชาพืชสวน ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยและขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

กรมการส่งเสริมการเกษตร. 2550. ไม้ผลปี 2550 ของจังหวัดระยอง . [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://doae.go.th/hort 2550.htm (10 ธันวาคม 2550).

สมศักดิ์ อตัญธี และ สายชล เกตุษา. 2540. การแข็งตัวของเปลือกมังคุดหลังการตกกระทบ. รายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชสวนครั้งที่ 4 สำนักงานคณะกรรมการวิจัย. 130 น.

Bunsiri, A., S. Ketsa and R.E. Paull. 2003. Phenolic metabolism and lignin synthesis in damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. Postharvest Biology and Technology 29:61-71

Tongdee, S.C. and A. Suwanakul. 1989. Postharvest mechanical damage in mangosteens. ASEAN Food Journal 4:151- 155