รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : แผนบูรณาการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร

2. **โครงการวิจัย** : เทคโนโลยีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพเงาะพันธุ์โรงเรียน

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : ผลกระทบของ Vapor Pressure Deficits ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของเงาะหลังการเก็บเกี่ยว

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Effect of vapor pressure deficits on physiology and bio-chemistry of rambutan fruit after harvest

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

   หัวหน้าการทดลอง : นางสาวเนตรา สมบูรณ์แก้ว

   ผู้ร่วมงาน : นางศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์
   นางสาวศุภรา อัคคะสาระกุล
   นางสาวคมจันทร์ สรงจันทร์
   กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

5. **บทคัดย่อ** :

ผลกระทบของ vapor pressure deficit (VPD) ต่อคุณภาพของผลเงาะยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างชัดเจน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารายละเอียดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) เอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลแอส (PAL) โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และความเข้มข้นของแอนโธไซยานินแต่ละชนิดในผลเงาะ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิควบคุม 3 ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 4 ระดับ และ VPD 4 ระดับ โดยนำเงาะสดพันธุ์โรงเรียนจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีและเก็บไว้ 9 วันที่อุณหภูมิ 5, 23 หรือ 30 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาพการเก็บรักษา เก็บเงาะในกล่องควบคุมสภาวะ RH ตลอดระยะเวลาของการทดลอง โดยใช้กลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นต่างกันในน้ำกลั่น พบว่าการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อของเงาะเพิ่มมากขึ้นในผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและระดับ VPD ที่ 1.27 kPa ขณะที่ TSS ในเนื้อเงาะที่เก็บใน 13°C และ VPD ที่ 0.42 kPa มีระดับคงที่ไม่ลดลง แอนโธไซยานินแต่ละตัวในเปลือกของเงาะที่เก็บไว้ที่ 13°C โดยมี VPD ที่ 0.15-0.45 เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่มี VPD เท่ากับ 0.90 ลดลงหลังจากเก็บไว้ 6 วัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลในเปลือกเงาะมีค่าสูงกว่าในเนื้อเยื่อของขน สารประกอบฟีนอลที่

13°C ลดลงช้ากว่าที่ 23 และ 30°C นอกจากนี้พบว่าการเก็บรักษาใน RH ต่ำและ VPD สูงทำให้สูญเสียสารประกอบฟินอลมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามกิจกรรมของ PPO และ PAL ของเนื้อเยื่อขนเงาะ มีค่าสูงกว่าเนื้อเยื่อจากเปลือก ค่า RH ที่ลดลงส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวสูงมากขึ้น
คำสำคัญ เงาะ เปลือก ขน ความต่างศักย์ความดันไอน้ำ

The effects of vapor pressure deficit (VPD) on rambutan fruit quality have not yet been fully defined. The aim of this study was to detail the changes in physiology, TSS, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO), and individual anthocyanin concentrations in rambutan fruit held at various controlled temperature, relative humidity (RH) and VPD levels. Fresh rambutans (cv. Rong Rian) were non-refrigerated supplied from Surat Thani Province and then stored for 9 days at either 5, 23 or 30°C to simulate shelf-life conditions. Fruits were stored under a series of controlled RH conditions for the duration of the trial using different concentrations of glycerol in deonized water. Weight losses and firmness of rambutan were greater in fruit stored at 30°C and a VPD of 1.27 kPa. At 13°C and a VPD of 0.42 kPa, total soluble solids in aril tissue were better maintained. Individual anthocyanins in pericarp of rambutan stored at 13°C with VPD of 0.15-0.45 increased during 9 days whilst rambutan with VPD of 0.90 decreased after day 6 of storage. Phenolic content in fruit peel were higher than in spintern tissues. Phenol compounds at 13°C decreased slower than at 23 and 30°C. Low RH and high VPD storages caused the greater loss of phenol content. On the other hand, activities of PPO and PAL of spintern tissues were higher the peel. The lower RH resulted to the greater activities of said enzyme. The detailed of biochemistry of rambutan effecting by VPDs are discussed.
Keyword rambutan, physiology, peel, spintern, PPO, PAL, cyanidin 3 rutinoside

6. คำนำ :

เงาะ (*Nephelium lappaceum* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจหลักและเป็นที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เนื่องจากมีรสชาติหวาน หอม เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของอุตสาหกรรมเกษตร เช่น การแปรรูปเป็นเงาะกระป๋อง และเงาะสอดไส้สับปะรด เป็นต้น พื้นที่ปลูกเงาะของประเทศไทยอยู่ทางภาคตะวันออกและภาคใต้ ที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ตราด นราธิวาส สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นต้น ในปี 2562 มีปริมาณผลผลิตเงาะรวมทั้งประเทศ 280,166 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) โดยในปี 2559 ประเทศไทยส่งออกเงาะผลสดไปจำหน่ายยังต่างประเทศ 10,288 ตัน มูลค่า 549.01 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

ปัญหาสำคัญที่พบในเงาะ คือ ขนหัก ขนเปลี่ยนเป็นสีดำ อาการเปลือกสีน้ำตาล แมลงที่ติดมาจากแปลงปลูก โรค และผลเกิดการเน่าเสีย ส่งผลให้เงาะมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยในแต่ละฤดูกาลผลิต เกษตรกรสามารถผลิตเงาะได้ในปริมาณมาก แต่ปริมาณเงาะที่มีคุณภาพดีไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด เนื่องจากมีผลเงาะที่เสียหายจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเงาะที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่ในปัจจุบันยังไม่เหมาะสม เช่น วิธีการเก็บเกี่ยว การรวบรวมผลิตผล วิธีการปฏิบัติในจุดรวบรวมผลิตผล/โรงคัดบรรจุ ตลอดจนการขนส่ง ซึ่งการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การจัดการในจุดรวบรวม/โรงคัดบรรจุ การขนส่ง ไปจนถึงวางจำหน่าย โดยในแต่ละขั้นตอนมีสาเหตุและปริมาณการสูญเสียแตกต่างกัน การทราบสาเหตุและปริมาณการสูญเสียในแต่ละขั้นตอนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว จะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มปริมาณผลเงาะคุณภาพดีให้มากขึ้น

เงาะเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลและเหี่ยวแห้งอย่างรวดเร็วภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั่วไป (Landrigan *et al*., 1996) แต่อุณหภูมิเย็นและความชื้นสัมพัทธ์สูงสามารถลดอัตราการเกิดสีน้ำตาลได้ (Wells and Bagshaw, 1989; Yingsanga *et al*., 2008) ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษานี้มีผลกระทบต่อการระเหยหรือคายน้ำของผลเงาะ หากความดันไอน้ำ (vapor pressure) ในอากาศมีค่าน้อยกว่าในผลเงาะ ทำให้ผลเงาะระเหยน้ำออกสู่สภาพแวดล้อมได้มาก ส่งผลให้เงาะเหี่ยวแห้งและเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ไม่เป็นที่ยอมรับจากตลาด ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำในสภาพแวดล้อมและในผลไม้นี้ เรียกว่า vapor pressure deficits หรือ VPD

การวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของความชื้นและ VPD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของเงาะมีเพียงเล็กน้อย เช่น งานวิจัย โดย Landrigan *et al*. (1996) ศึกษาผลของการเก็บรักษาเงาะพันธุ์ R134 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 และ 95%RH ที่ 20°C พบว่าเงาะที่เก็บที่ความชื้นต่ำมีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning) ขณะที่เงาะที่ความชื้นสูงเกิดสีน้ำตาลเช่นกัน แต่เป็นการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากภาวะที่มีน้ำแทรกซึมเข้าสู่เซลล์เงาะมากเกินไป (water infiltration) ในปี 2008 Yingsanga *et al*. (2008) ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) ในเปลือกและขนเงาะพันธุ์สีชมพูและพันธุ์โรงเรียน พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสามชนิด นอกจากนี้พบการศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์และ VPD นี้ในผลไม้วงศ์ Sapindaceae ชนิดอื่น เช่น ลิ้นจี่และลำไย (Jiang and Fu, 1999; Kaewchana *et al*., 2006; Somboonkaew and Terry, 2010) แต่ยังคงมีอยู่ในวงจำกัดการวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีการชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกและขนเงาะ ยังถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่จะสามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกเงาะสดไปยังต่างประเทศได้ ซึ่งอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ VPD เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเงาะ โดยมีผลกระทบต่อการคายน้ำของผลเงาะสด ถ้าความดันไอน้ำ (vapor pressure) ในอากาศมีค่าน้อยกว่าในผลเงาะ ปริมาณน้ำในผลเงาะจะระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมได้มาก ส่งผลให้เงาะเหี่ยวแห้งและเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำในสภาพแวดล้อมและในผลไม้นี้ เรียกว่า vapor pressure deficits หรือ VPD ค่า VPD จึงมีผลต่อคุณภาพและความสดของผลไม้ ปัจจุบันยังไม่มีผล

การศึกษาถึงผลกระทบของ VPD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของเงาะ แต่พบการศึกษาลักษณะนี้ในผลไม้วงศ์ Sapindaceae ชนิดอื่น เช่น ลิ้นจี่และลำไย (Jiang and Fu, 1999; Kaewchana *et al*., 2006; Somboonkaew and Terry, 2010) ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นี้มีปัจจัยด้านภาชนะบรรจุเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาให้คงที่ ช่วยลดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีขนของเงาะได้ นอกจากนี้การบรรจุผลิตผลในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมยังสามารถช่วยป้องกันการกระทบกระเทือนและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลิตผลระหว่างการขนส่งได้อีกด้วย ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลเงาะหลังการเก็บเกี่ยวและวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลเงาะสด

7. วิธีดำเนินการ :

อุปกรณ์

- เงาะพันธุ์โรงเรียน
- ห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- เครื่อง HPLC
- เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-400
- เครื่องวัดความแน่นเนื้อ ยี่ห้อ LLOYD Instrument รุ่น LF plus
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ยี่ห้อ Atago รุ่น PR-101
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
- ไนโตรเจนเหลว
- สารละลายกลีเซอรอล
- สารมาตรฐาน caynidin 3-glucoside cyanidin 3-rutinoside และ Malvidin 3-glucoside
- สารเคมีในการวิเคราะห์แอนโธไซยานิน ฟินอล เอนไซม์โพลิฟินอล ออกซิเดส (PPO) และเอนไซม์ฟินิลเอลานิน แอมโมเนียไลเอส (PAL)
- กล่องพลาสติก (Super Lock)

วิธีการ

1. เก็บเกี่ยวเงาะพันธุ์โรงเรียนจากสวนเกษตรกร โดยเก็บเกี่ยวเงาะในระยะที่เปลือกเป็นสีแดงอ่อนหรือระยะสามสีและขนเงาะยังเป็นสีเขียว จากนั้นคัดผลที่มีขนาดสม่ำเสมอและไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลง
2. ตัดแต่งก้านเงาะ ให้มีความยาวไม่เกิน 0.2 เซนติเมตร
3. สุ่มแบ่งผลเงาะที่ผ่านการคัดเลือกบรรจุในกล่องระบบปิดขนาด 7,200 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Super Lock) ที่ควบคุมระดับความชื้นในกล่องให้คงที่ได้ โดยใช้สารละลายกลีเซอรอลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ปรับระดับความชื้น มีระดับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความต่างศักย์ของความดันไอน้ำ (Vapor Pressure Deficit: VPD) แตกต่างกัน 9 กลุ่ม (Table 1) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดย

แต่ละกลุ่มมีผลเงาะ จำนวน 3 กล่อง/กลุ่ม/วันทดสอบ แต่ละกล่องมีผลเงาะประมาณ 13-14 ผล/กล่องและน้ำหนัก 400±10 กรัม/กล่อง สุ่มทดสอบคุณภาพกล่องละ 10 ผล ในวันที่ 0 3 6 และ 9 ของการเก็บรักษา

Table 1 Vapor Pressure Deficit (VPD) calculated from different temperature and relative humidity*

Temperature (°C)	Relative Humidity			
	70%	80%	90%	ambient
13 (average temperature during transportation to aboard)	0.45	0.30	0.15	0.90
23 (average temperature at destination market)	0.84	0.56	0.28	1.12
30 (average temperature at Thailand market during rambutan season)	1.27	0.85	0.42	1.70

∗ คำนวณจากวิธีการของ Jones (1992)

$$VPD = 0.61137et * (1 - UR/100) \quad (1)$$

Where: t is calculated by equation 2:

$$t = 17,502 * (Tar) / (240.97 + Tar) \quad (2)$$

Where: Tar = air temperature

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) วัดระดับสีผิวของเปลือกเงาะ สุ่มตัวอย่างเงาะจากทุกกลุ่มในวันที่ 0 3 6 และ 9 ของการเก็บรักษา จำนวน 10 ผลต่อกล่อง ด้วยเครื่องวัดสีด้วยระบบ LCh

2) วัดการสูญเสียน้ำหนักจำนวนเงาะทั้งหมด

3) วัดค่าความแน่นเนื้อจำนวน 5 ผลต่อกล่อง

4) นำเงาะจำนวน 5 ผลต่อกล่อง ทำแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว เก็บที่ -80°C เพื่อทยอยทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

5) นำเงาะแห้ง แยกส่วนเปลือก ขน และเนื้อเงาะ นำเปลือกและขนที่แยกไว้สกัดและวิเคราะห์

5.1 การสกัดแอนโทไซยานิน (cyanidin 3-glucoside cyanidin 3-rutinoside malvidin) ดำเนินการตามวิธีการของ Somboonkaew and Terry (2010) ชั่งน้ำหนักเปลือกแห้ง และขนแห้งจากแต่ละกรรม กรรมวิธีละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 150 มิลลิกรัม ใส่สารละลาย 70% เมธานอล: 29.5% น้ำ: 0.5% กรดไฮโดรคลอริก (v/v/v) HPLC grade ปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง บ่มที่ 35°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วย 0.2 μm nylon filter disc นำสารสกัดที่ได้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100 series) โดยโมบายเฟส (A) คือ 1% กรดฟอสฟอริค 10% กรดอะซิติก ในน้ำกลั่น (v/v/v) (B) อะซิโทไนไทรท์ ด้วยอัตราไหล 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์ Zorbax C8 (Agilent 250 x 2.1 มิลลิเมตร 5 μm particle size)

5.2 การสกัดสารประกอบฟีนอล สกัดตามวิธีการ Folin-Ciocalteu (Somboonkaew and Terry, 2010) นำขนเงาะและเปลือกเงาะแห้ง กรรมวิธีละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 150 มิลลิกรัม สกัดด้วยสารละลายเอธานอล 80% (v/v) บ่มที่อุณหภูมิ 70°C นาน 2 ชั่วโมง นำสารสกัดที่ได้กรองด้วย 0.22 μm filter

disc จากนั้นนำสารสกัดมาวิเคราะห์เพื่อหาสารประกอบฟินอล โดยนำสารสกัด 20 µl น้ำกลั่น 3.2 มิลลิลิตร Folin-Ciocalteu's phenol reagent 200 µl และ โซเดียมคาร์บอเนต (1.9M) 600 µl บ่มในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำสารสกัดที่ได้วัดการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยปริมาณฟินอลเทียบจากฟินอลมาตรฐานของกรดแกลลิค และมีหน่วยเป็น mg gallic acid equivalent (GAE) g^{-1} DW (น้ำหนักแห้ง)

5.3 กิจกรรมเอนไซม์ PPO และกิจกรรมเอนไซม์ PAL จากเปลือกเงาะและขนเงาะแห้ง นำขนหรือเปลือกเงาะแห้ง กรรมวิธีละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 150 มิลลิกรัม โดย PPO วิเคราะห์ตามวิธีการของ Benjamin and Moutgomery (1973) และ PAL ตามวิธีการของ จำเนียรและคณะ (2560)

เวลาและสถานที่

ระยะเวลา (เริ่มต้น – สิ้นสุด) : ตุลาคม 2560 ถึง กันยายน 2562

สถานที่ดำเนินการ : ห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ชั้น 7 กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาปัญหาการส่งออกผลเงาะ พบว่า เปลือกเงาะเหี่ยวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสมระหว่างการขนส่ง ทำให้ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ต้องการของตลาดปลายทาง จึงทำการทดสอบ Pre-Test หาสภาวะที่ต้องการ (ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิตาม Table 1) โดยใช้สารละลายกลีเซอรอล บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นภายในภาชนะ ด้วย Data Logger นาน 5 วัน ทดสอบจำนวน 6 รอบ พบว่าการใช้กลีเซอรอล 100% (ไม่ผสมน้ำกลั่น) ที่ปริมาตร 1,350 850 และ 400 มล./กล่อง ร่วมกับการเลือกจำนวน ขนาด และน้ำหนักของเงาะในแต่ละกล่องต้องไม่แตกต่างกัน สามารถดัดแปลงความชื้นสัมพัทธ์ได้ที่ 70 80 และ 90%RH ตามลำดับ โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละกรรมวิธีบันทึกด้วย Data Logger ตาม Figure 1

เงาะพันธุ์โรงเรียน จากพื้นที่ปลูกตำบลนาสาร อำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี เก็บเกี่ยววันที่ 9 กรกฎาคม 2561 หลังจากคัดขนาดและตัดแต่งก้านแล้ว บรรจุในตะกร้าพลาสติกแบบมีช่องระบายอากาศ กรุด้วยกระดาษสะอาด ตะกร้าละ 20 กิโลกรัม (Figure 2) ขนส่งด้วยรถตู้ปรับอากาศ ถึงอาคาร กวป. กรุงเทพฯ วันที่ 10 กรกฎาคม 2561 เวลา 10.00 น.

หลังจากบันทึกการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเงาะจากทุกกรรมวิธีระหว่างวันที่ 0 ถึงวันที่ 9 ของการทดลอง พบว่าเงาะจากทุกอุณหภูมิที่ทดสอบในกล่องที่มี VPD สูง (หรือที่กล่อง 70%RH และ ambient) มีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าเงาะที่เก็บในกล่องที่มี VPD ต่ำ โดยในทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 3) น้ำหนักที่สูญเสียจากการสูญเสียน้ำของเงาะแต่ละกรรมวิธีสู่บรรยากาศในกล่องที่เก็บรักษา ส่งผลต่อความแน่นเนื้อของผลเงาะ พบว่าเงาะที่เก็บรักษาในกล่องที่มีความต่างศักย์ไอน้ำสูงมีความแน่นเนื้อต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รวมถึงชุดควบคุม (Figure 4) และพบว่าความแน่นเนื้อของผลเงาะลดลงใน

อัตราที่เร็วกว่า อย่างไรก็ตามความแน่นเนื้อของเงาะที่เก็บที่อุณหภูมิ 23 และ 30°C จาก Figure 4 มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังจากเก็บรักษา 3 วัน ในความเป็นจริงเกิดจากเปลือกผลเงาะเปลี่ยนแปลงเป็นแห้งและแข็ง ทำให้ต้องใช้แรงในการเจาะทะลุ

โดยปกติเมื่อผลเงาะสูญเสียน้ำ ทำให้ผิวเหี่ยวแห้ง ผิวเปลือกเปลี่ยนจากสีแดงอมส้ม เป็นสีแดงเข้ม และเป็นสีน้ำตาลคล้ำ ขณะที่ขนสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและดำในที่สุด จากการทดลองพบว่าเงาะที่เก็บรักษาที่ 13°C มีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะช้าที่สุด ตามด้วยเงาะจากอุณหภูมิ 23 และ 30°C ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลกระทบของ VDP ในแต่ละอุณหภูมิ พบว่าเงาะจากทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษาในกล่องที่มี VPD 0.15 kPa (เส้นสีเหลือง Figure 5) มีสีเปลือกที่มีค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) และความเข้มของสี (C*) สูงที่สุด ขณะค่า Hue angle ในวันที่ 0 มีค่าเฉลี่ยที่ 71 (สีเขียวอมเหลือง Figure 6) ซึ่งเป็นค่าของสีขนเป็นหลักเนื่องจากขนยังมีความสด แผ่พื้นที่ปกคลุมผิวเปลือกเงาะ เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า hue จะลดลงตามการเปลี่ยนสีของขนเงาะที่เหี่ยวแห้งและเป็นค่าสีที่รวมกับสีแดงของผิวเปลือก เนื่องจากพื้นที่ของขนเงาะลดลง จากผลการทดลองพบว่าค่า VPD ที่ต่ำช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผิวเงาะได้ดีกว่า ค่า VPD ที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเงาะที่แสดงใน Table 2

สำหรับการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ในเนื้อเงาะ พบว่าเงาะจากทุก VPD ที่อุณหภูมิ 30°C มี TSS ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและลดลงมากกว่าเงาะที่เก็บรักษาที่ 13 และ 23°C โดยเงาะจากกล่องที่มี VPD ต่ำ (หรือที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด) จากอุณหภูมิ 23 และ 30°C มี TSS ลดลงมากกว่ากรรมวิธีอื่น (Figure 7) ทั้งนี้เนื่องจากพบการเจริญของเชื้อราและการเน่าเสียของเงาะกลุ่มดังกล่าว ซึ่งอาจสูญเสียอาหารให้แก่เชื้อจุลินทรีย์

สารประกอบฟินอลที่เปลือกในวันที่ 0 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 120 mg Gallic acid.g^{-1} DW ขณะที่ขนเงาะพบสารฟินอลประมาณ 80 mg Gallic acid.g^{-1} DW ในเปลือกจึงมีปริมาณสารฟินอลสูงกว่าในขนประมาณ 30% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Yingsanga *et al.* (2008) สารประกอบฟินอลในเปลือกและขนในทุกกรรมวิธีลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 8 และ Figure 9) ผลเงาะที่เก็บที่ 70%RH หรือที่ที่มี VPD สูงที่สุดของแต่ละอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟินอลลดลงมากที่สุด ขณะที่เงาะที่เก็บที่ที่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และ VPD หรือเงาะในกลุ่ม ambient air มีปริมาณสารประกอบฟินอลเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดระหว่างการเก็บรักษา ทำให้วันสุดท้ายของการเก็บรักษามีปริมาณฟินอลสูงที่สุดในทุกอุณหภูมิ ในทำนองเดียวกันขนเงาะที่เก็บรักษาที่ ambient air ของทุกอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟินอลลดลงช้ากว่าขนเงาะจากกรรมวิธีที่ 70-80%RH และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ นอกจากนี้พบว่าในเปลือกและขนเงาะที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีปริมาณสารประกอบฟินอลมากกว่า

การทดลองนี้เป็นการทดลองแรกที่ศึกษาถึงชนิดของสารแอนโธไซนานินในเปลือกเงาะ โดยพบว่า cyanidin 3-rutinoside (C3R) เป็นแอนโธไซยานินที่มีปริมาณมากที่สุด เฉลี่ย 40-100 μg.g^{-1} DW รองลงมาคือ cyanidin 3-glucoside (C3G) มีปริมาณเฉลี่ย 4-10 μg.g-1 DW และ malvidin 3-glucoside ในปริมาณเล็กน้อย (น้อยกว่า 1 μg. g^{-1} DW) C3G และ C3R ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา มีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 4 และ 20 μg.g^{-1} DW และค่อยๆ เพิ่มขึ้น (Figure 10 ละ 11) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสี ที่เริ่มต้นด้วยค่า

hue ที่ 71° ซึ่งให้สีเขียวอมเหลืองและลดลงจนเป็นสีแดงและกลายเป็นสีแดงปนน้ำตาล ที่ hue ประมาณ 20-30° ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา

ที่อุณหภูมิ 13°C ทั้ง C3G และ C3R ในเงาะจากกรรมวิธี 70, 80 และ 90%RH เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นเงาะที่กรรมวิธี ambient air ลดลงหลังจากเก็บรักษานาน 6 วัน ขณะที่อุณหภูมิ 23 และ 30°C แอนโธไซยานินทั้งสองชนิดจากเงาะทุกกรรมวิธีลดลงหลังจากเก็บรักษานาน 6 และ 3 วัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเงาะที่เก็บที่ที่มี VPD สูง (RH ต่ำ) พัฒนาสารแอนโธไซยานินในอัตราที่เร็วกว่าเงาะจากกรรมวิธีที่มี VPD ต่ำ (RH สูง) และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งสองชนิดลดลงอย่างรวดเร็วในปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลจากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้อง และพบการลดลงของแอนโธไซยานินในผลไม้สีแดงหลายชนิด เช่น ลิ้นจี่ (Jiang and Fu, 1999; Kaewchana *et al*., 2006)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) พบกิจกรรมของ PPO ในขนเงาะสูงกว่าในเปลือกเงาะ (Figure 12) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yingsanga *et al.* (2008) ที่พบว่าขนเงาะมีกิจกรรมของ PPO สูงกว่าเปลือก ซึ่งคาดว่าเกิดจากปริมาณสารฟินอลที่เปลือกลดลงในอัตราที่ช้ากว่าที่ขน แสดงให้เห็นว่าฟินอลในเปลือกถูกนำไปใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าที่ขน ส่งผลให้ขนเงาะแสดงอาการสีน้ำตาลเร็วกว่าที่เปลือก ทั้งนี้เกิดจากโครงสร้างของขนเงาะบอบบางกว่าเปลือกทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในเซลล์ โดยเฉพาะสารประกอบฟินอลออกจากเซลล์ได้ง่ายกว่า และออกมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายนอกทำให้เกิดสารสีน้ำตาลในปริมาณมาก

สำหรับกิจกรรม PPO ในเปลือก พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อกิจกรรมของ PPO เปลือกเงาะที่ ambient air (ประมาณ 55-60%RH/ VPD สูง) ที่13°C และที่ 30°C มีกิจกรรม PPO เกิดขึ้นสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับอื่น (Figure 12A) ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่ 23°C ไม่มีผลต่อกิจกรรมของ PPO สำหรับ PPO ในขนเงาะ ที่เก็บรักษาที่ 13°C ร่วมกับ 70%RH (VPD สูง) แสดงกิจกรรม PPO สูงที่สุด ขณะที่ขนเงาะจาก 23 และ 30°C ที่ ambient air มีกิจกรรมเฉลี่ยของ PPO สูงกว่ากรรมวิธีอื่น (Figure 12) ผลจากการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของ Landrigan *et al.* (1996) ที่รายงานว่าการเกิด enzymatic browning ในเงาะจะเกิดในเงาะที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (65%RH 20°C) มากกว่าที่เก็บในที่ที่มีความชื้นสูง (95%RH 20°C)

ปริมาณกิจกรรมของ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ในเปลือกสูงกว่าในขนเงาะ โดย PAL ในเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 และ 23°C กิจกรรมของ PAL ของเปลือกที่ 30°C ค่อย ๆ ลดลง ระหว่างวันที่ 0 และ วันที่ 9 สำหรับ PAL ที่ขนเงาะจากทุกอุณหภูมิลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามในทุกอุณหภูมิ กิจกรรม PAL จากแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 13)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

การเก็บรักษาเงาะสดในสถานที่ที่มี Vapor Pressure Deficits (VPD) แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิ 13, 23 และ 30° พบว่า VPD สูงกว่า ทำให้เงาะเกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากกว่า และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟินอล รวมถึงแอโธไซยานิน เอนไซม์ เช่น PPO และ PAL ร่วมกับออกซิเจน หรือเรียกว่า enzymatic browning ในอัตราที่สูงกว่าเงาะที่เก็บในที่ที่มี VPDต่ำ

(VPD 0.15-0.45) นอกจากนี้เงาะที่สูญเสียน้ำหนักในอัตราสูง ทำให้ความแน่นเนื้อและ TSS ลดลงมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นการเก็บรักษาเงาะหรือขนส่งเงาะผลสดควรเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 13°C ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 80%RH ซึ่งทำให้ความต่างศักย์ของความดันไอน้ำ (vapor pressure deficits: VPD) ในผลเงาะและสภาพอากาศรอบ ๆ ผลเงาะ มีความแตกต่างน้อย นำไปสู่การสูญเสียน้ำที่ต่ำ ทำให้เงาะสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อน้อยกว่า เซลล์มีความแข็งแรง และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีน้อยกว่าในที่ที่มี VPD สูงกว่า นอกจากการปรับสภาพการเก็บรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงแล้ว การใช้บรรจุภัณฑ์ เช่น MAP จะสามารถช่วยให้ VPD ภายในบรรจุภัณฑ์และผลเงาะมีความแตกต่างกันน้อย ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก คงความสด และลดการเปลี่ยนแปลงของชีวเคมีในผลเงาะได้หลายชนิด

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปเลือกใช้สภาพการเก็บรักษาเงาะผลสดระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งเงาะไปต่างประเทศ

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) :

ขอบคุณคุณสุมิตรา ศรีเอี่ยม คุณรัมภา ไวกวี คุณนารีรัตน์ สุนทรธรรม และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ กวป. ชั้น 7 และ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน กวป. สำหรับความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

12. เอกสารอ้างอิง :

กรมวิชาการเกษตร. 2550. ระบบการจัดการคุณภาพ GAP เงาะ. [ออนไลน์] สืบค้นจาก: gap.doae.go.th/toon/4/document/4.pdf.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จำเนียร ชมพู อภิรัฐ บัณฑิต และ ทศพล พรพรหม. 2560. กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนิลอลานีนแอมโม-เนียไลเอสและซินนาเมท 4-ไฮดรอกซีเลสที่เกี่ยวข้องกับผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก. *แก่นเกษตร.* 45(4): 675-684.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. เงาะ: เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2557-2560. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร/28628/TH-TH (18 กุมภาพันธ์ 2561).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. เงาะ: เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2562. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/rumbu62.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2563).

Benjamin, N.D. and M.W. Montegory. 1973. Polyphenol oxidase of Royal Ann Cherries: Purification and Characterization. *J. Food Sci. Tech*. 35(5): 799-806.

Jiang, Y.M. and J.R. Fu. 1999. Postharvest browning of litchi fruit by water loss and ts prevention by controlled atmosphere storage at high relative humidity. *LWT*. 32: 278-283.

Jones HG (1992) Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology.2. ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Kaewchana, R., W. Niyomlao and S. Kanlayanarat. 2006. Relative humidity influences pericarp browing of litchi cv. Hong Huay. *Acta Hortic*. 712: 823-827.

Landrigan, M., V. Sarafis, S.C. Morris and W.B. Mcglasson. 1994. Structural aspects of rambutan fruit and their relation to postharvest browning. *J. Hortic. Sci*. 69: 571-579.

Somboonkaew, N. and L.A. Terry. 2010. Altered physiology and biochemistry of imported litchi fruit held under different vapor pressure deficits. *J. Agr. Food Chem.* 58: 6209-6218.

Srilaong, V., S. Kanlayanarat and Y. Tatsumi. 2002. Changes in commercial quality of 'Rong-Rien' rambutan in modified atmosphere packaging. *Food Sci. Technol. Res.* 8, 337-341.

Well, I. and J. Bagshaw. 1989. Handling rambutans after harvest. *Queensland fruit Veg. News.* Feb. 16-17.

Yingsanga, P., V. Srilaong, S. Kanlayanarat, S. Noichinda and W.B. McGlasson. 2008. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo. *Postharvest Biol. Tec.* 50: 164-168.

Table 2 Visual appearance of rambutan fruit treated at different temperature, RH and VPD for 9 days

Temp/VPD	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
13C/ab0.89kPa				
13C/0.45kPa				
13C/0.30kPa				
13C/0.15kPa				
23C/ab1.12kPa				
23C/0.84kPa				
23C/0.56kPa				
23C/0.28kPa				
30C/ab1.70kPa				
30C/1.27kPa				
30C/0.85kPa				
30C/0.42kPa				

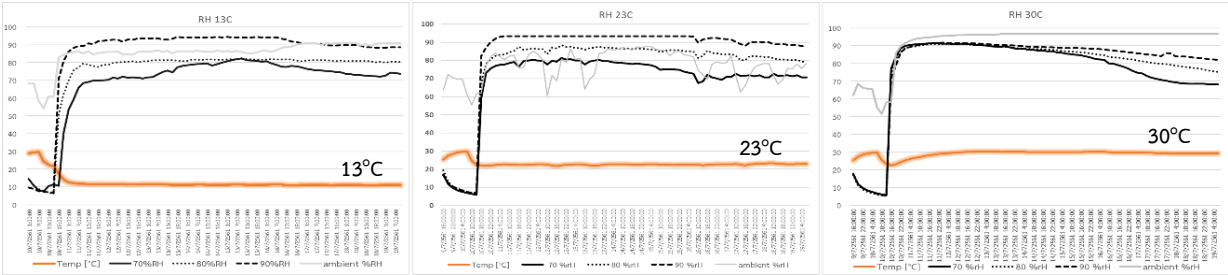


Figure 1 Relative humidity in containers contained with rambutan fruit. The containers were modified atmosphere to be 70 (▬) 80 (••) and 90 (- -) %RH compared to relative humidity in ambient air (—) at 13, 23 and 30°C for 9 days

Figure 2 Containers for supplying rambutan fruits from orchard at Ban Na San District, Surat Thani Province to Postharvest and Processing R&D Laboratory, Bangkok by refrigerated van

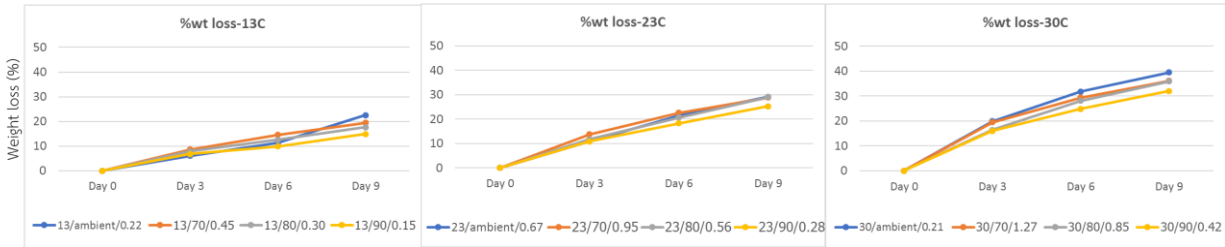


Figure 3 Weight loss (%) of rambutan fruits kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

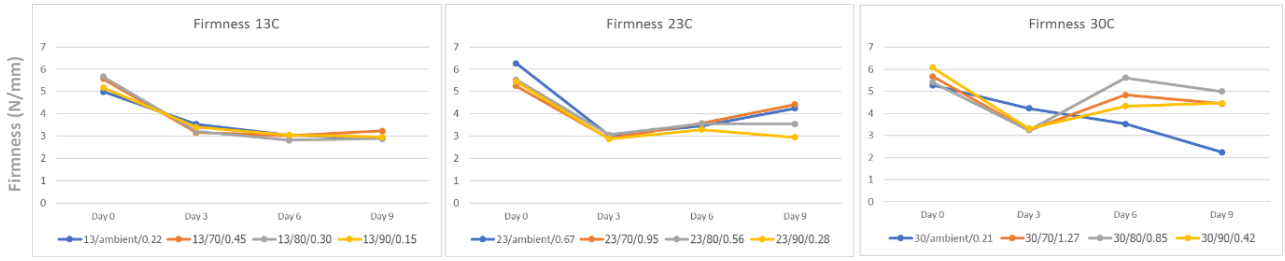


Figure 4 Firmness (N/mm) of rambutan fruits kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

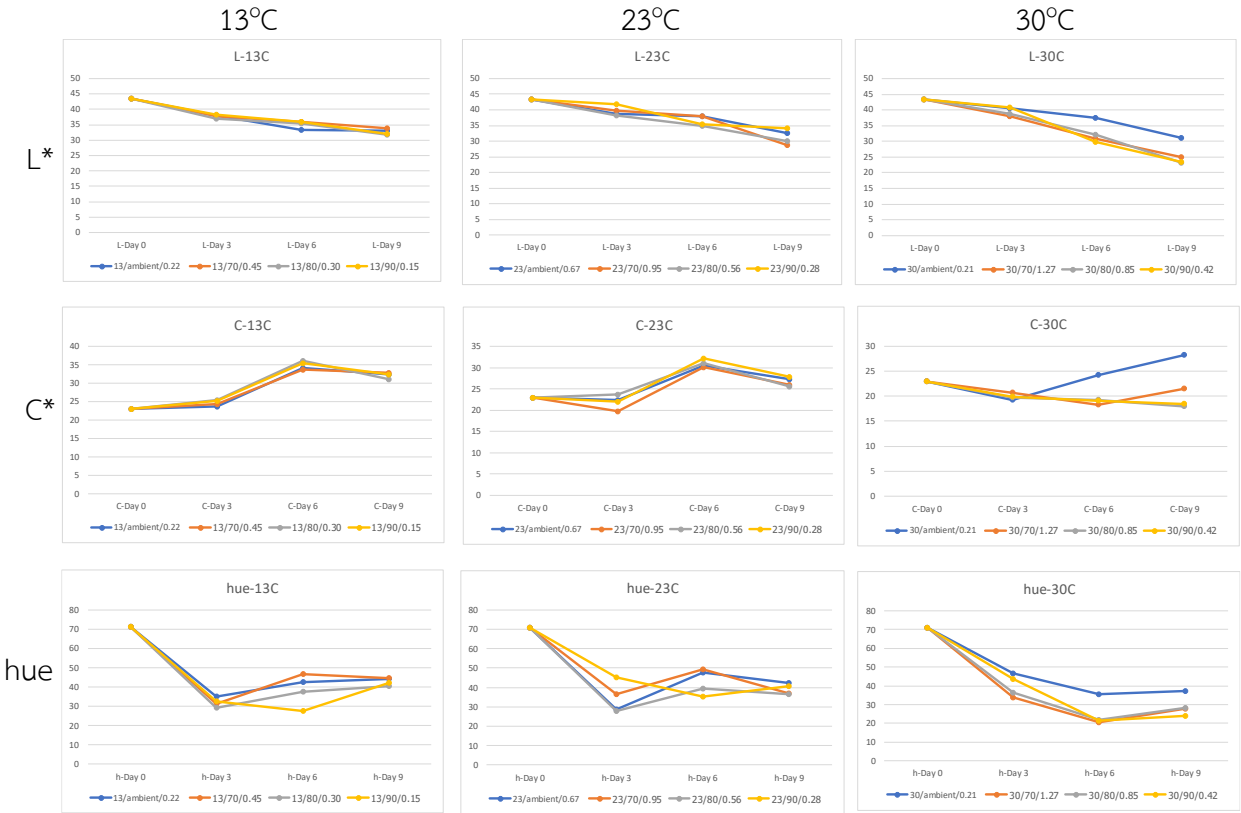


Figure 5 Changes of peel colour of rambutan fruits kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) for 9 days

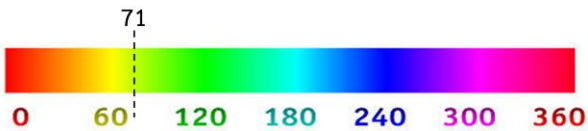


Figure 6 Hue angle chart

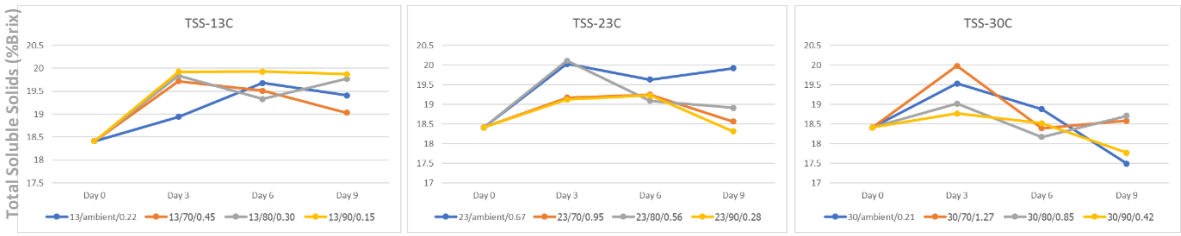


Figure 7 Changes of total soluble solid (TSS, %Brix) kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

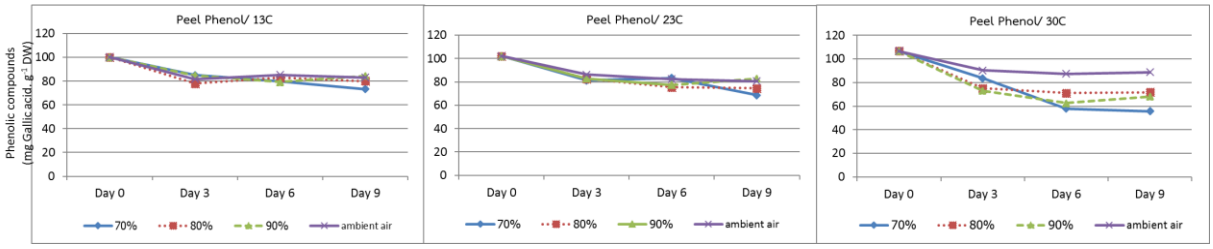


Figure 8 Changes of total phenolic compounds (mg Gallic acid equivalent (GAE) .g^{-1} DW) in rambutan peels kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

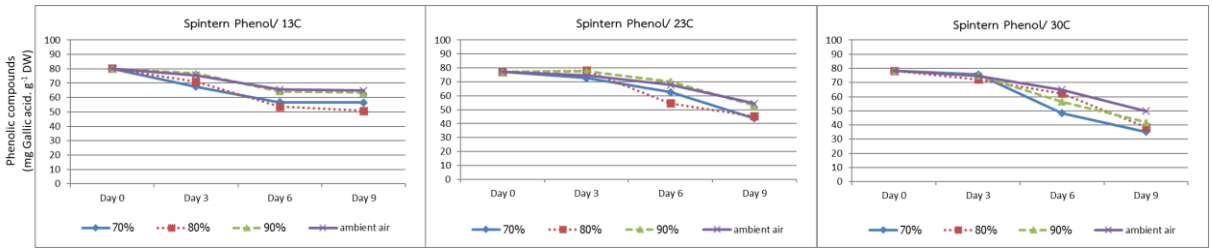


Figure 9 Changes of total phenolic compounds (mg Gallic acid equivalent (GAE).g^{-1} DW) in rambutan spinterns kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

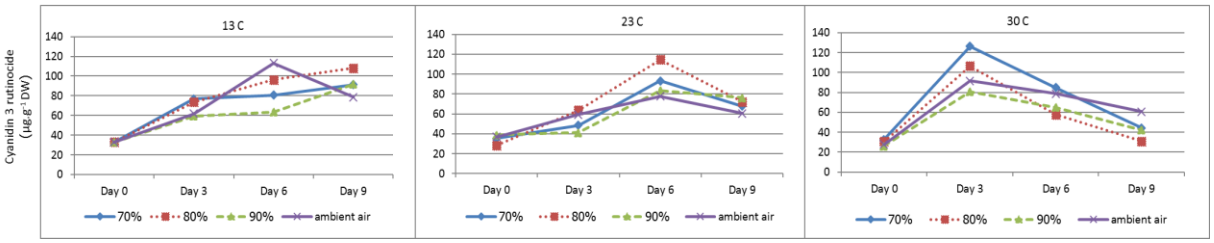


Figure 10 Changes of cyanidin 3-rutinoside (µg.g^{-1}DW) in rambutan peel kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70 , 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

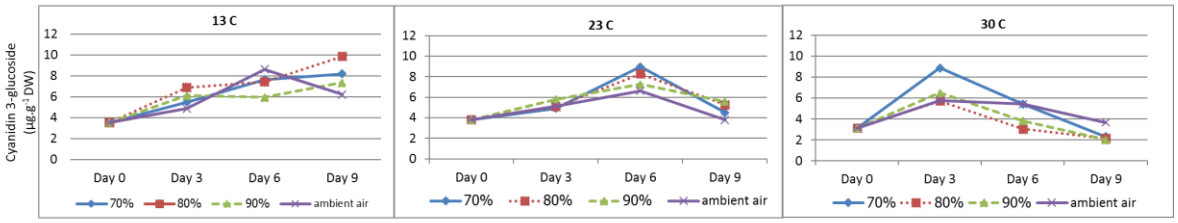
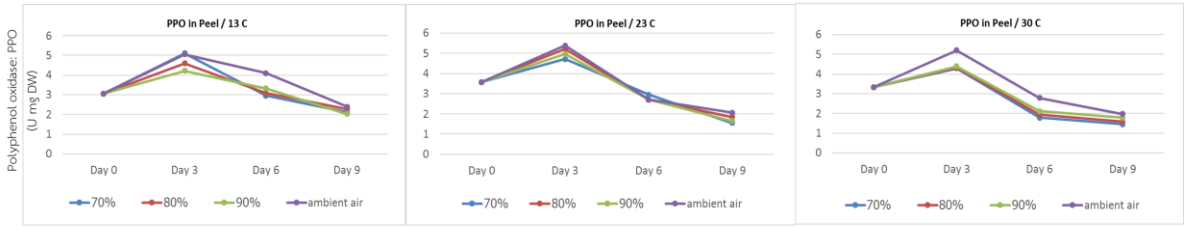


Figure 11 Changes of cyanidin 3-glucoside (µg.g^{-1}DW) in rambutan peel kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70 , 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

A: Peel



B: Spintern

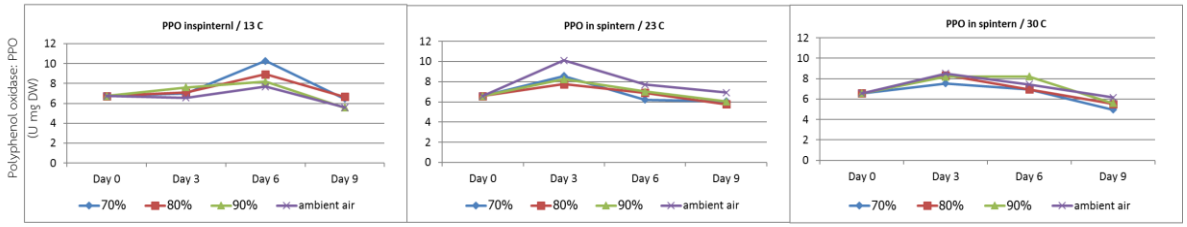
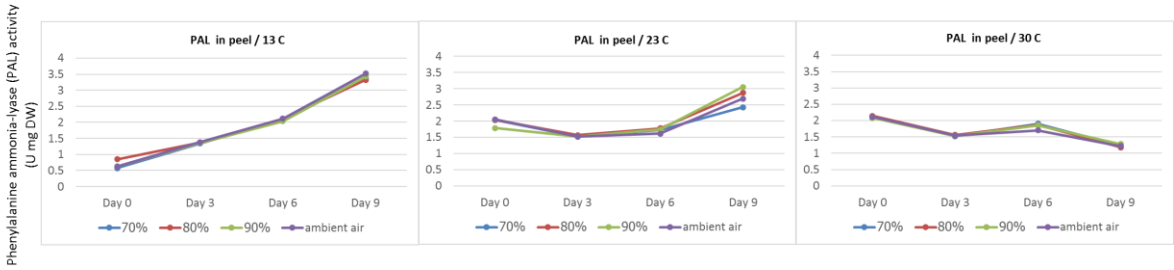


Figure 12 Changes of polyphenol oxidase (U mg DW) in rambutan peel (A) and spintern (B) kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days

A: Peel



B: Spintern

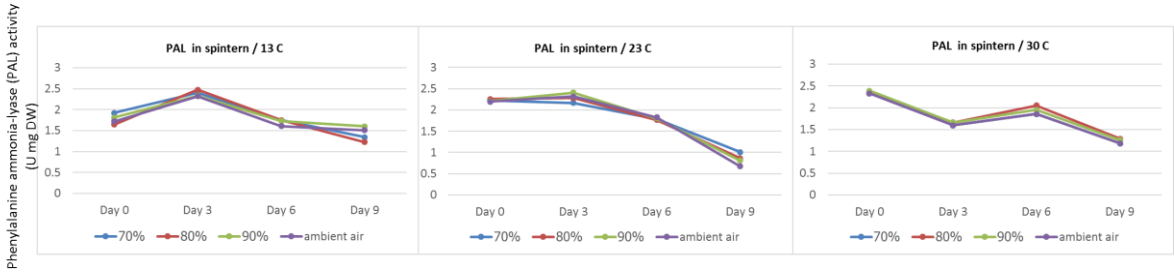


Figure 13 Changes of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity (**U mg** DW) in rambutan peel (A) and spintern (B) kept at different temperature (13, 23 and 30°C), relative humidity (70, 80, 90%RH and storage ambient), and vapour pressure deficit (between 0.15 and 1.70 kPa) storage for 9 days