การพัฒนาและการทดสอบเบื้องต้นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด

Development and Preliminary Testing of Mangosteen Harvesting Equipment

ขจรรัฐ ทองโย[1] และ ศุภกิตต์ สายสุนทร[1]
Khajornrut Thongyo[1] and Supakit Sayasoonthorn[1]

Abstract

This research was to develop and preliminary test the mangosteen harvesting equipment (MHE). The principle of the equipment is similar to holding and twisting the fruit from the stem. The electronic color and force sensors were attached to the equipment in order to check the maturity stage of mangosteen (MT) and to protect the damage of MT during harvesting respectively. The methodology consisted of 1) testing of the electronic color and force sensors in laboratory with tennis ball and 2) preliminary testing of the MHE in the orchard. The results showed that 1) the MHE can be operated both manually which inspecting the maturity stage and harvesting by the operator or semi-automatic which inspecting maturity stage by electronic color sensor. When the inspected fruit was detected as the calibrated color, the equipment will hold and twist the fruit from the stem, The two installed electronic sensors can work together effectively and 2) the capacity of MHE was 180 and 210 fruits/hr. for semi-automatic and manual operating system respectively. The results showed that there was no damage on MT harvested by the equipment. However, there are some limiting factors that need further development.

Keywords: harvesting, harvesting equipment, mangosteen

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อการพัฒนาและการทดสอบเบื้องต้นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด หลักการทำงานของอุปกรณ์คล้ายกับการเก็บโดยการจับ และบิดให้ผลมังคุดหลุดออกจากต้น อุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุดถูกติดตั้งเซ็นเซอร์วัดสี เพื่อตรวจสอบระยะสุกแก่ของผลมังคุด และเซ็นเซอร์วัดแรง เพื่อป้องกันความความเสียหายของผลมังคุดจากแรงบีบของอุปกรณ์ระหว่างการเก็บเกี่ยว วิธีการศึกษาประกอบด้วย 1) การทดสอบระบบเซ็นเซอร์วัดสีและเซนเซอร์วัดแรงในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ลูกเทนนิสเป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ และ 2) การทดสอบอุปกรณ์เบื้องต้นในสวนผลไม้ ผลการศึกษา พบว่า 1) อุปกรณ์สามารถทำงานได้ทั้งสองระบบ ได้แก่ ระบบแมนนวล ซึ่งตรวจสอบระยะสุกแก่และเก็บเกี่ยวโดยผู้ปฏิบัติงาน และระบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งตรวจสอบระยะสุกแก่โดยเซ็นเซอร์วัดสี โดยก่อนตรวจสอบจะต้องมีการสอบเทียบค่าสีกับระยะสุกแก่ที่ต้องการเก็บเกี่ยวก่อน เมื่อผลมังคุดถูกตรวจพบว่าอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว อุปกรณ์จะจับผลมังคุดแล้วบิดให้ผลหลุดออกจากต้น และเซนเซอร์ทั้งสองชนิดทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี 2) ความสามารถของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด มีค่าเท่ากับ 180 และ 210 ผล/ชั่วโมง สำหรับระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบแมนนวล ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า ไม่พบความเสียหายของผลมังคุดในระหว่างเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการพัฒนาข้อจำกัดบางประการต่อไป

คำสำคัญ: การเก็บเกี่ยว มังคุด อุปกรณ์เก็บเกี่ยว

คำนำ

มังคุด (*Garcinia mangostana Linn.*) เป็นหนึ่งในสินค้าส่งออกหลักของประเทศไทยที่ส่งไปยังต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และอื่นๆ ซึ่งทำผลกำไรให้กับเกษตรกรเป็นอย่างมาก มังคุดเป็นผลไม้ที่มีสีม่วงเข้ม หรือ มีสีออกแดงๆ เนื้อมีสีขาวนวล และมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย (Jung *et al*., 2006)สีของผลมังคุดจะเป็นตัวที่บ่งบอกระยะสุกแก่ของผลมังคุดที่พร้อมเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวผลมังคุดมีหลายระยะที่แตกต่างกัน (Paull and Ketsa, 2004) อย่างไรก็ตามวิธีการเก็บเกี่ยวและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน หากวิธีการเก็บเกี่ยวและอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เหมาะสม จะทำให้ผลมังคุดเกิดความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ และยังลดอายุการเก็บรักษาของมังคุดอีกด้วย การขาดแคลนเทคโนโลยี และการใช้

[1] ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพ 10900
[1] Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, 50 Phahon Yothin Rd, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

อุปกรณ์ไม่เหมาะสม ส่งผลให้รายได้เกษตรกรลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาและทดสอบเบื้องต้นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุดที่ใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีเข้าช่วยในการยกระดับคุณภาพชีวิตในการทำงานของเกษตรกรให้ดีขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด (Figure 1) ประกอบด้วย 1) ด้ามจับที่สามารถปรับความยาวได้ ขนาด 3 ม. 2) ฐานยึดของมือจับ 3) มือจับ ทำจากอลูมิเนียม สามารถจับ-ปล่อยผลมังคุดโดยการบีบเข้า-ออก และสามารถหมุนเพื่อปลิดให้ผลหลุดออกจากต้น โดยหมุนได้ทั้ง 2 ทิศทาง ทั้งทวน-ตามเข็มนาฬิกา 4) เซอร์โวมอเตอร์ ขนาด 12 V.DC. จำนวน 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่ในการควบคุมให้มือจับ จับ-ปล่อยผลมังคุด และตัวที่สองหน้าที่ควบคุมให้มือจับหมุนทวน-ตามเข็มนาฬิกา 5) เซ็นเซอร์ใช้แสงควบคุม (Photo interrupter sensor) ใช้ในการควบคุมองศาการหมุนของชุดมือจับ 6) เซ็นเซอร์วัดค่าสี (Color measurement sensor) ใช้ในการตรวจสอบความสุกแก่ของผลไม้ 7) เซ็นเซอร์วัดแรง (Force Sensor) ใช้ควบคุมแรงบีบของมือจับไม่ให้ส่งผลต่อความเสียหายของผลมังคุดที่เก็บเกี่ยว รูปร่างเป็นแผ่นแบน ณ ตำแหน่งที่วัดแรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. จำนวน 1 ตัว ติดตั้งไว้หลังแผ่นยางกันช้ำที่ด้านในของมือจับ 8) จอยสติ๊ก ใช้ในการควบคุมการทำงานเซอร์โวมอเตอร์ 9) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ภาษา Visual C++ ในการเขียนโปรแกรม 10) แบตเตอรี่ ขนาด AA 1000 mAh-1.2 V จำนวน 8 ก้อน และ 11) ถุงตาข่ายไนลอน ใช้รองรับผลมังคุดที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้ว น้ำหนักรวมของอุปกรณ์ ประมาณ 3 กก. (ด้ามจับ 1 กก. และ มือจับ 2 กก.)

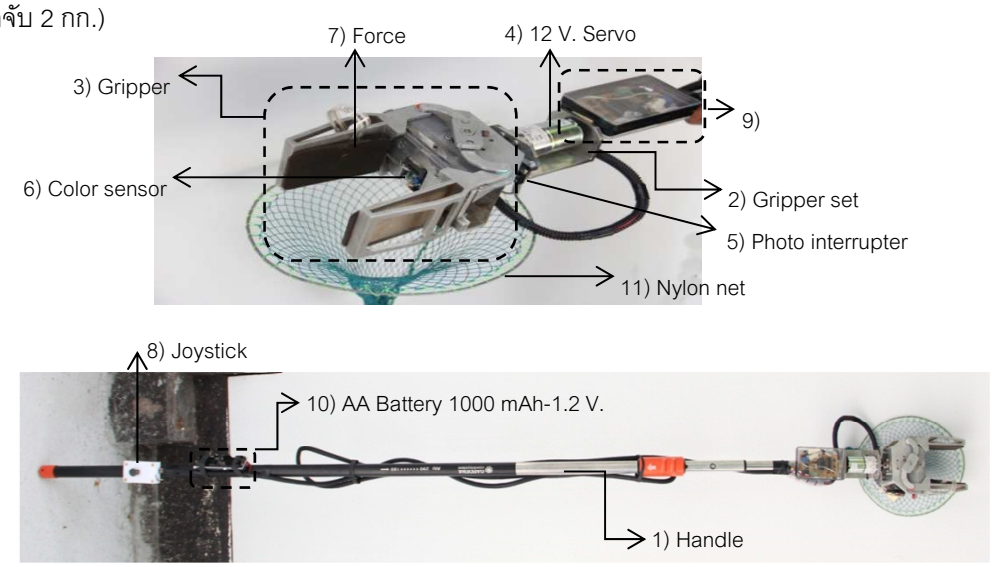

Figure 1 Mangosteen harvesting equipment

อุปกรณ์สามารถทำงานได้ ระบบ 2 คือ แมนนวล และกึ่งอัตโนมัติ สำหรับการทำงานระบบ แมนนวล เริ่มจากเปิดสวิตช์แมนนวล และเคลื่อนอุปกรณ์ไปที่ผลมังคุด ผู้ปฏิบัติงานใช้จอยสติ๊กควบคุมมือจับให้ 1) จับผลมังคุดแน่น 2) หมุนเพื่อปลิดให้ผลหลุดออกจากกิ่ง 3) ปล่อย เพื่อให้ผลมังคุดลงในตาข่ายไนลอน และ 4) บังคับให้มือจับหมุนกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น พร้อมสำหรับเก็บเกี่ยวผลต่อไป

สำหรับการงานระบบกึ่งอัตโนมัติ เริ่มจากเปิดสวิตช์ระบบกึ่งอัตโนมัติ และทำการสอบเทียบ (Calibrate) เซ็นเซอร์วัดค่าสีของผลไม้ (ทำก่อนใช้งานเพียงครั้งเดียว) จากนั้นผู้ปฏิบัติงานนำอุปกรณ์ไปไว้ในตำแหน่งที่จะเก็บเกี่ยวผลมังคุดเพื่อให้เซ็นเซอร์วัดค่าสีตรวจสอบค่าสีของผลไม้ เมื่อพบค่าสีถูกต้อง (ได้ระยะสุกแก่) เซ็นเซอร์วัดค่าสีจะทำงาน (ในกรณีที่ค่าสีไม่ตรงตามค่าที่ตั้งไว้เซนเซอร์จะไม่ทำงาน) และส่งสัญญาณให้มือจับทำการบีบจับผลไม้ โดยมีเซ็นเซอร์วัดแรง เป็นตัววัดแรงบีบเมื่อมือจับบีบจับผลมังคุดได้ตามค่าแรงบีบที่ตั้งไว้ มือจับจะหยุดบีบทันที และหมุนไปเป็นมุม 75° จากตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อทำการปลิดให้ผลมังคุดหลุดออกจากขั้ว จากนั้นมือจับก็จะคลายออกให้ผลมังคุดหล่นใส่ถุงตาข่ายที่อยู่ด้านล่าง จากนั้นมือจับจะหมุนกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม เสร็จสิ้นการทำงานในหนึ่งรอบ

การทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1) การทดสอบการเคลื่อนไหวเชิงกลของอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบ 1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม้ที่มือจับสามารถจับได้ 2) ความคลาดเคลื่อนขององศาการหมุนของมือจับ และ 3) ระยะเวลาในการทำงานต่อหนึ่งรอบของการเก็บเกี่ยวผลไม้

2) การทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์วัดค่าสี เป็นการวัดระยะทำงานของเซ็นเซอร์วัดค่าสีเมื่อมีวัตถุอยู่ใกล้ ทดสอบ 3 ระยะได้แก่ 4, 3 และ 2 ซม. ทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หลอดแบบ Day light ซึ่งให้แสงใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ และใช้ลูกเทนนิสสีเขียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 ซม. ผูกด้วยเส้นด้ายเป็นวัตถุแทนผลไม้ในการทดสอบ ในระหว่างการทดสอบต้องระวังไม่ให้เกิดเงาบริเวณที่ทดสอบ และต้องให้เซ็นเซอร์วัดค่าสีบริเวณที่เป็นสีเขียวเท่านั้น

3) การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดแรง ใช้ Force gauge ยี่ห้อ Digicon FG–20KG สอบเทียบกับค่าแรงที่ตั้งไว้ โดยกดลงที่เซ็นเซอร์วัดแรงในแนวที่ตั้งฉากกับเซ็นเซอร์

4) การทดสอบความต้านทานแรงดึงขั้วผลมังคุด ใช้อุปกรณ์ทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Instron Universal Machine (model 5569) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวดึง 12.5 มม. ต่อวินาทีในการทดสอบความต้านทานแรงดึงขั้วผลมังคุด จำนวน 30 ผล ที่ระยะเก็บเกี่ยวของผลมังคุดที่ระยะ 5

การทดสอบอุปกรณ์เบื้องต้นในสวนผลไม้

1) การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุดทั้งสองระบบ ได้แก่ แมนนวลและกึ่งอัตโนมัติ โดยทดสอบที่ระยะเก็บเกี่ยวผลมังคุดที่ระยะ 5 ทดสอบระบบละ 30 ตัวอย่าง จำนวน 3 ซ้ำ ความสูงของต้นมังคุดเฉลี่ย 2.5 – 3.0 ม. จากนั้นเปรียบเทียบกำลังการผลิต และความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวิธีการเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิม

2) การทดสอบความเสียหายของมังคุดหลังเก็บเกี่ยวและทดสอบความแข็งของเปลือก ใช้มังคุด 60 ผล สำหรับการทำงานทั้งสองระบบ สังเกตความเสียหายของมังคุดหลังเก็บเกี่ยวเก็บ และผลมังคุดที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้วถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อตรวจสอบอาการเปลือกแข็งอันเนื่องมาจากการถูกมือจับบีบ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบความแข็งของผลไม้แบบมือถือ (FHR-5, Nippon Optical Work Co., Ltd., Tokyo) (Teerachaichayut *et al*., 2011) กับหัวกดแบบกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. และความลึกที่ 3.5 มม. โดยทดสอบ ณ ตำแหน่งที่มือจับสัมผัสกับผลมังคุด 2 ตำแหน่ง

ผล

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า ขนาดผลไม้ที่มือจับสามารถจับได้ มีค่าระหว่าง 3-8.6 ซม.มือจับสามารถหมุนได้180 องศา ทั้งทวนและตามเข็มนาฬิกา องศาการหมุนที่ตั้งไว้ คือ 75 องศา มีความคลาดเคลื่อน 3 องศา ระยะการทำงานของเซ็นเซอร์สีอยู่ที่ 2 ซม ที่ระดับความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 แรงที่มือจับบีบมีค่า 3.56 N และเวลาการทำงานของการเก็บเกี่ยวต่อ 1 รอบ มีค่าเท่ากับ 9 และ 6 วินาที สำหรับระบบแมนนวล และกึ่งอัตโนมัติ ตามลำดับ ความต้านทานแรงดึงขั้วผลมังคุด มีค่าเท่ากับ 2.14 N

Table 1 Capacity rate of MHE comparing to convention method

System	Average diameter of MT (mm)	Average MT Tree high (m)	Capacity (fruits/hr)
Conventional			228±15
Manually operated	4.83 - 5.3	2.46 – 2.53	210±15
Semi-automatic			180±15

การทดสอบอุปกรณ์เบื้องต้นในสวนผลไม้

Table 1 เปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุดกับวิธีเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิม ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมังคุดอยู่ที่ 4.83 – 5.3 มม. ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นมังคุดอยู่ที่ 2.46 – 2.53 ม. อัตราการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิมสามารถเก็บมังคุดได้ 228 ผลต่อชั่วโมง ส่วนอัตราการเก็บเกี่ยวโดยใช้อุปกรณ์เก็บเกี่ยวที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ 210 และ 180 ผลต่อชั่วโมง สำหรับระบบแมนนวลและกึ่งอัตโนมัติ ตามลำดับ โดยอุปกรณ์ไม่สร้างความเสียหายให้กับผลมังคุด สำหรับผลของการทดสอบความแข็งของเปลือกมังคุด พบว่า ความแข็งของเปลือกมังคุด มีค่าเท่ากับ 1.59, 1.62 และ 1.67 กก. สำหรับวิธีการเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิม ระบบแมนนวล และระบบกึ่งอัตโนมัติตามลำดับ

วิจารณ์ผล

จากการพัฒนาและการทดสอบเบื้องต้นของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุด พบว่า อุปกรณ์สามารถทำงานได้ทั้งระบบแมนนวลและกึ่งอัตโนมัติ โดยเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งไว้สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี อุปกรณ์สามารถใช้ได้กับผลไม้ที่มีลักษณะทรงกลมหลายชนิดซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระยะการทำงานของมือจับ สำหรับองศาการหมุนของมือจับสามารถตั้งค่าได้ตามความต้องการขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเกิดจากความเร็วของ Servo motor สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราทดของเกียร์ สำหรับเซ็นเซอร์วัดค่าสี พบว่า เมื่อระยะห่างจากเซ็นเซอร์กับวัตถุน้อยลงความแม่นยำจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นค่าความแม่นยำจะลดลง นอกจากนี้แล้วสภาพแสงในระหว่างเก็บเกี่ยวมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์ด้วย สำหรับเซ็นเซอร์วัดแรง พบว่า ทำงานได้ตรงตามค่าที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามรูปร่าง ตำแหน่งติดตั้ง และจำนวนของเซ็นเซอร์ มีผลต่อความเสียหายของผลไม้โดยตรง หากนำไปประยุกต์ใช้กับผลไม้รูปทรงอื่นๆ

อัตราการเก็บเกี่ยวด้วยระบบแมนนวล สามารถเก็บเกี่ยวได้มากกว่าระบบกึ่งอัตโนมัติ เนื่องจาก ระบบแมนนวล ผู้ใช้สามารถหมุนมือจับได้ทั้งสองทิศทางซึ่งง่ายต่อการปลิดผลมังคุดให้หลุดออกจากต้น ในขณะที่ระบบกึ่งอัตโนมัติ ผู้ใช้ต้องรอเซ็นเซอร์วัดค่าสีทำงาน และบางครั้งขึ้นอยู่กับสภาพของแสง และเงาของใบไม้ที่บังแสงแดด ทำให้เซ็นเซอร์ทำงานได้ช้าลง นอกจากนี้แล้วการเก็บเกี่ยวโดยวิธีแบบดั้งเดิมมีอัตราการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการใช้อุปกรณ์เก็บเกี่ยวทั้งสองระบบเนื่องจาก อุปกรณ์เก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิมมีน้ำหนักเบากว่า ในขณะที่อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีน้ำหนักมาก ดังนั้นเมื่อต้องใช้งานเป็นเวลานานจึงเกิดความเมื่อยล้าทำให้อัตราการเก็บเกี่ยวลดลง

สำหรับการตรวจสอบค่าความแข็งของเปลือกมังคุด พบว่า วิธีการเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิม ระบบแมนนวล และระบบกึ่งอัตโนมัติ มีค่าความแข็งที่เปลือกน้อยกว่า 2.0 กก. สอดคล้องกับ (Teerachaichayut *et al*., 2011) ที่รายงานว่า ค่าของเปลือกมังคุดปกติอยู่ที่ 0.75-1.9 กก. และถ้าเปลือกแข็งจะมีค่ามากกว่า 2 กก. หรือเทียบเท่ากับผลมังคุดตกจากที่สูง 20 ซม. หรือมากกว่าจะทำให้เปลือกแข็ง (Tongdee and Suwanagul,1989) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการนำเซนเซอร์วัดแรง และตำแหน่งการติดเซ็นเซอร์วัดแรงมีความเหมาะสม สามารถป้องกันความเสียหายในระหว่างการเก็บเกี่ยวผลมังคุดได้ อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์วัดแรงจะไม่ทำงานในระบบแมนนวล ดังนั้นผู้ใช้ควรมีประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์เก็บเกี่ยวนี้ก่อน และต้องมีความระมัดระวังในระหว่างใช้งาน

สำหรับการทดสอบแรงดึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของขั้วผลมังคุดมีค่าเฉลี่ย 2.14 N จึงสามารถปลิดขั้วผลมังคุดออกจากกิ่งได้ โดยทิศทางของการดึงขนานไปกับแกนขั้วผลมังคุด แต่อุปกรณ์นี้ใช้แรงเฉือนในการเก็บเกี่ยวผลมังคุดให้หลุดออกจากต้น อย่างไรก็ตาม ด้วยหลักการดังกล่าวสามารถปลิดให้ผลมังคุดหลุดออกจากต้นได้โดยง่าย

สรุป

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลมังคุดที่พัฒนาขึ้น ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ช่วยในการตรวจสอบความสุกแก่ และการป้องกันความเสียหายของผลมังคุดในระหว่างเก็บเกี่ยว เซนเซอร์ทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี กำลังการผลิตในการเก็บเกี่ยวผลมังคุดเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการพัฒนาข้อจำกัดบางประการต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนทุนวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

Jung, H.A., B.N. Su, J.K. William, R.G. Mehta and D. Kinghorn. 2006, Antioxidant Xanthones from pericarp of Garcinia mangostana (Mangosteen), Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 2077–2082.

Paull, R.E. and S. Ketsa. 2004. Mangosteen. In : K.C. Gross, C.Y.Wang and M.E. Salveit (Eds.). The Commercial Storage of Fruits Vegetables and Florist and Nursery Stocks. USDA, ARS, Washington DC. 433 pp.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase and K. Kiji. 2011, Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy, Journal of Food Engineerin: 206-211.

Tongdee, S.C. and A. Suwanagul. 1989, Postharvest mechanical damage in mangosteen. ASEAN Food Journal 4: 151–155.