



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์



T137627

การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
Prediction of Density of Mangosteen by Imaging Analysis

นายสนธิสุข ชีระชัยขยติ

RCH
ร192 ก
2557
ก. 2

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137627
รับเดือนปี 13 ก.ค. 2558

.b. 12696๑47
.i.

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ

ชื่อโครงการ Prediction of Density of Mangosteen by Imaging Analysis

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 30,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2556 - 30 กันยายน 2557)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยดี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ความหนาแน่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของผลไม้ ที่สามารถถูกนำมาเพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ในหลายๆชนิด สำหรับมังคุด ได้ใช้เทคนิคการลอยน้ำโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นมาใช้ในระบบคัดแยกคุณภาพ แต่พบว่าไม่สะดวกและใช้เวลาในการดำเนินงานมาก เทคนิคที่ประยุกต์โดยการวิเคราะห์ภาพถูกนำมาศึกษาเพื่อหาความหนาแน่นของผลมังคุด ภาพสีที่ถ่ายแบบดิจิตอลถูกนำมาแปลงเป็นภาพขาวดำ จำนวนพิกเซลของภาพผลมังคุดแต่ละด้านที่ถ่ายโดยการหมุนจำนวน 8 ภาพ ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับแผ่นวงกลมอ้างอิง การผลการวิเคราะห์ภาพ สามารถคำนวณหาปริมาตรของผลมังคุดและคำนวณหาความหนาแน่นได้ ค่าความหนาแน่นของมังคุดที่ทำนายจำนวน 80 ผล จากเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นที่วัดได้จริง ได้ผลที่ดีโดยพิจารณาจาก correlation coefficient ($R=0.91$) จากผลการทดลอง แสดงว่า เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามารถที่จะนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการคัดแยกคุณภาพภายในของมังคุดโดยพิจารณาจากค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้

คำสำคัญ: ไม่ทำลาย, วิเคราะห์ภาพ, ความหนาแน่น, คุณภาพ, การทำนาย

Abstract

Density is one of the important physical properties of fruit. It is used to predict the internal quality of various fruits. For mangosteen, a floating technique based on density is used routinely as the sorting system for quality classification but it is inconvenient and time consuming. The applied image analysis technique was studied to evaluate the density of mangosteen. RGB digital 2-D pictures were converted to binary images. Pixels of mangosteen from eight pictures taken using different views were averaged and compared to the pixels of a reference circle plate. From the image analysis, the average volume of mangosteen was first calculated and then the average density of mangosteen was determined. The predicted densities of 80 fruits using the image analysis technique were compared with the measured densities and obtained a high correlation coefficient ($R=0.91$). The results showed that the image analysis technique could be applied for nondestructive sorting to evaluate the internal quality of mangosteen based on the predicted density.

Keywords: nondestructive, image analysis, density, quality, prediction

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติเงินงบประมาณเพื่อมาสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

รศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยชยติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 สมมติฐานงานวิจัย	3
1.6 คำสำคัญของการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/ทวนวรรณกรรม	5
2.1แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็น	5
2.2งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	8
3.1 วัตถุประสงค์	8
3.2 อุปกรณ์	8
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์	8
3.4 สถานที่ดำเนินการ	8
3.5 การดำเนินงาน	8
บทที่ 4 ผลการวิจัย	14
4.1 ผลการวัดมวลและความหนาแน่นของมังกูด	14
4.2 การคำนวณหาความหนาแน่นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	18
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก	20
ประวัตินักวิจัย	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1

คุณลักษณะของตัวอย่างมังคุดที่ใช้ในการทดลอง

14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ภาพการชั่งมวลผลม้งคุดในน้ำ	2
1.2	ตำแหน่งในการถ่ายภาพม้งคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกา	3
3.1	ตำแหน่งในการถ่ายภาพม้งคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกา	9
3.2	ลักษณะการวางผลม้งคุดในการถ่ายภาพทั้ง 8 ด้าน ให้อยู่ตรงกลางวงกลม มาตรฐาน	9
3.3	ภาพลักษณะของผลม้งคุดทั้ง 3 ส่วนที่ใช้ในการวัดความหนาแน่น	10
3.4	ภาพการชั่งน้ำหนักผลม้งคุดในน้ำ	11
3.5	หน้าจอโปรแกรม MATLAB	11
3.6	ภาพของผลลัพธ์ของการเขียนโปรแกรม MATLAB ของวงกลมมาตรฐานและ คำนวณค่า pixel ของวงกลมมาตรฐาน	12
3.7	ภาพของผลลัพธ์ของการเขียนโปรแกรม MATLAB ของผลม้งคุดและคำนวณ ค่า pixel ของผลม้งคุด	12
3.8	ม้งคุดเมื่อทำให้เป็นสีขาวดำ (a) ภาพถ่ายจริง (b) ผลม้งคุด และ (c) วงกลม มาตรฐาน	13
4.1	การวิเคราะห์ภาพของผลม้งคุด: ภาพสี่เริ่มต้น (a); ภาพขาวดำของผลม้งคุด แผ่นอ้างอิงและพื้นหลัง (b); ภาพขาวดำของแผ่นอ้างอิงและพื้นหลัง (c)	14
4.2	การทดลองเพื่อหา Pixel ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะความสูงต่างๆ	15
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับค่าตัวคูณที่ใช้ในการปรับแก้ จำนวน pixel	16
4.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความหนาแน่นของผลม้งคุดจากการวัด จริงด้วยวิธีแทนที่น้ำและความหนาแน่นของผลม้งคุดจากการทำนายด้วยการ วิเคราะห์ภาพและความผิดพลาด	16
4.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความหนาแน่นของผลม้งคุดจากการวัด จริงด้วยวิธีแทนที่น้ำและความหนาแน่นของผลม้งคุดจากการทำนายด้วยการ วิเคราะห์ภาพภายหลังการปรับแก้	17

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมปลูกในแถบทวีปเอเชีย ลักษณะของผลมังคุดทางสรีรวิทยามีลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกนอกแข็ง ส่วนเนื้อมังคุดด้านในมีสีขาว อาจมีเมล็ดอยู่ในเนื้อผลไม้ มีกลิ่นเฝิงเป็นที่นิยมรับประทานมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีรสชาติที่อร่อยเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว แต่การที่จะลิ้มรสอร่อยของมังคุดนั้น ใ่วามังคุดทุกผลจะมีลักษณะคุณภาพภายในเป็นปกติ จึงพบปัญหา ลักษณะคุณภาพภายในหลายอย่าง ได้แก่ อาการยางไหล อาการเนื้อแก้ว และอาการเปลือกแข็งของเนื้อผลมังคุด ซึ่งเป็นอาการที่ไม่ยอมรับของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ส่งผลกระทบ การสูญเสียและเป็นปัญหาสำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อการขยายตลาดมังคุดทั้งในประเทศและต่างประเทศ

การคัดแยกมังคุดที่มีอาการผิดปกติต่างๆออกจากมังคุดปกติที่เกษตรกรใช้คือการจุ่มน้ำหรือการคัดแยกโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น นับเป็นวิธีการที่ง่ายแต่พบว่าเป็นกระบวนการที่ทำให้ผลมังคุดเปียกและต้องนำมาผ่านกระบวนการเป่าให้แห้งอีก ทำให้การทำงานมีหลายขั้นตอนและใช้เวลานาน เพื่อเป็นการปรับปรุงพัฒนากระบวนการดังกล่าว จึงนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพมาใช้ในการทำนายความหนาแน่นของผลมังคุด จะเป็นวิธีการที่ไม่ทำให้ผลมังคุดเปียกและสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว จะสามารถทำให้ทราบความหนาแน่นของมังคุดแต่ละผลแบบไม่ทำลายและนำไปใช้ในกระบวนการคัดแยกคุณภาพได้ต่อไป

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาหาความหนาแน่นของผลมังคุดแบบไม่ทำลายในการทำนายคุณภาพของมังคุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพของมังคุดเพื่อประโยชน์ทางการค้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาข้อมูลความหนาแน่นของผลมังคุด โดยนำข้อมูลความหนาแน่นที่วัดได้จริง โดยวิธีการแทนที่นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อมาคำนวณหาความหนาแน่นของผลมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่าง จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคนี้ในการหาความหนาแน่นของผลมังคุดที่วิเคราะห์ได้กับความหนาแน่นของผลมังคุดจริง

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

นำผลมังคุดวัยสีน้ำตาลแดง (ระดับ 4) ที่ซื้อจากตลาดผลไม้ ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำมังคุดแต่ละผลไปตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1.4.1 การวัดน้ำหนัก

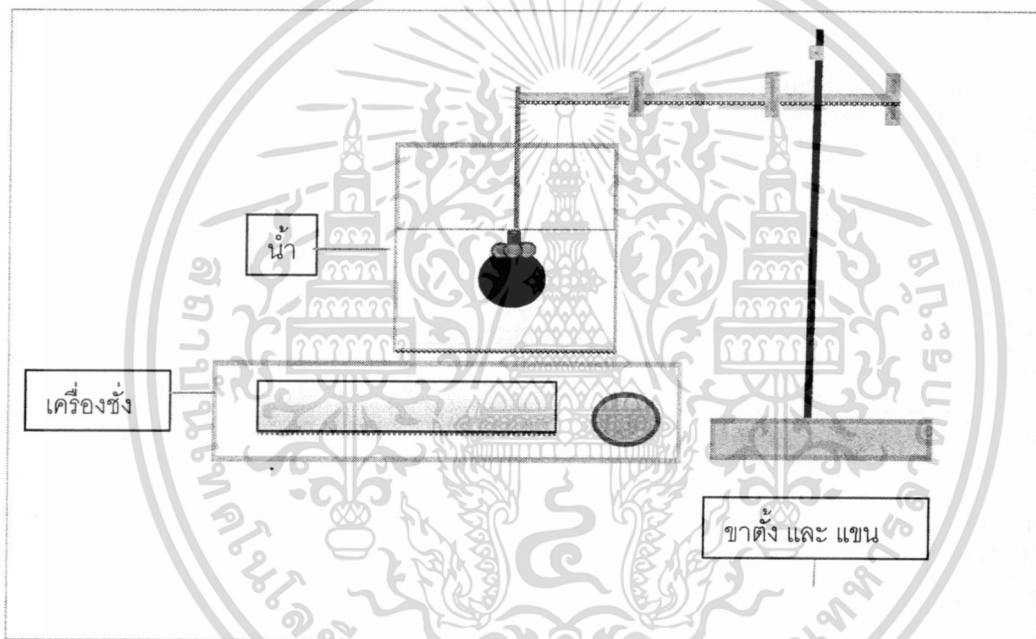
ทำการชั่งมวลผลมังคุดด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (g) ด้วยเครื่องชั่ง ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผลมังคุด

1.4.2 การวัดขนาด

วัดขนาดผลมังคุด (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด-สูงสุด และความสูง) ด้วยดิจิตอลเวอร์เนียคาลิเปอร์

1.4.3 วัดความหนาแน่น (density)

โดยการวัดมวลของมังคุด (W_1) และมวลของมังคุดในน้ำ (W_2) และหาความหนาแน่นดังภาพที่ 1.1

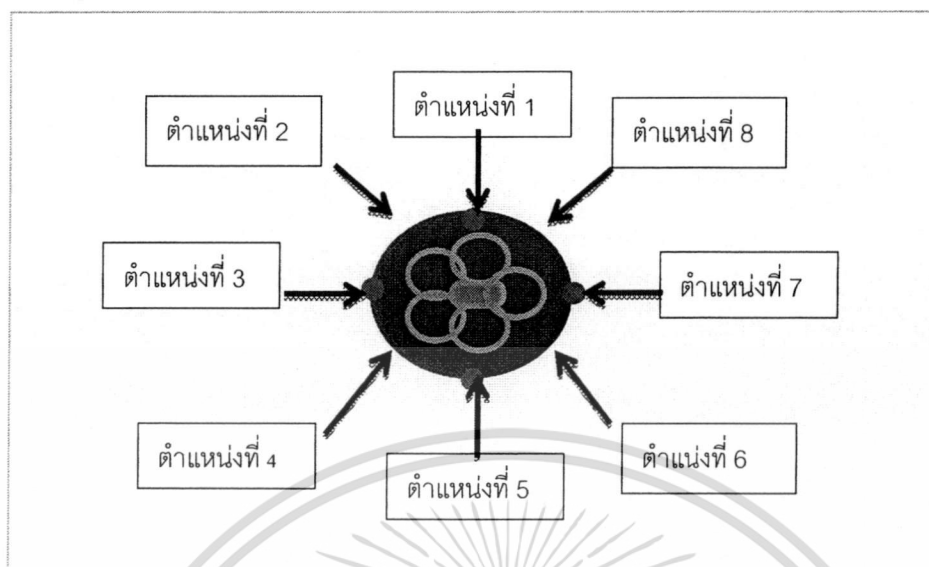


ภาพที่ 1.1 ภาพการชั่งมวลผลมังคุดในน้ำ

1.4.4 การถ่ายภาพ (image processing)

- วางผลมังคุดให้อยู่ตรงกลางวงกลมมาตรฐาน
- โดยถ่ายภาพจากด้านบนของลูกมังคุดซึ่งในการถ่ายภาพจะมีฉากกั้นสีดำเพื่อควบคุมสภาวะ
- ถ่ายภาพมังคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่งโดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกาตั้งภาพที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.2 ตำแหน่งในการถ่ายภาพมังคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกา

1.4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ภาพเพื่อหาความหนาแน่นจากภาพ โดยสร้างสมการทำนายค่าความหนาแน่นของมังคุดจากภาพ โดยวัดขนาดจากภาพผลมังคุดมาคำนวณหาปริมาตรของผลตามจำนวน pixel โดยใช้โปรแกรม photoshop และ MATLAB

นำสมการที่ได้ไปใช้ประเมินความถูกต้องในการคัดแยกมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ

1.5 สมมติฐานงานวิจัย

ความหนาแน่นของผลมังคุดมีความสัมพันธ์กับคุณภาพภายในของผลมังคุด จึงใช้ความหนาแน่นในการคัดแยกมังคุดที่มีอาการผิดปกติต่างๆออกจากมังคุดปกติ การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพหาความหนาแน่นของมังคุดจึงเป็นเทคนิคที่ง่ายและไม่ทำลายตัวอย่าง

1.6 คำสำคัญของกรวิจัย

mangosteen, density, nondestructive, image, มังคุด, ความหนาแน่น, ไม่ทำลาย, ภาพ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก เทคนิคการทำนายคุณภาพของผลมังคุดโดยการวิเคราะห์ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่น สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการคัดคุณภาพของมังคุด เพื่อการ
บริโภคและการส่งออกให้เป็นที่ยอมรับ ได้มาตรฐาน และช่วยเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตเกษตร ได้ผลงานทาง
วิชาการตีพิมพ์เผยแพร่เป็นความรู้ให้แก่บุคคลทั่วไป งานวิจัยนี้จะเป็นองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์สามารถถ่าย
ทอดให้แก่ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมวัตถุดิบที่จะจัดจำหน่าย จะได้บทความวิจัย
ตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับชาติและสามารถสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/ทวนวรรณกรรม

2.1. แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็น

มังคุด (*Garciniamangostana* Linn. วงศ์ Guttiferae) เป็นผลไม้ที่มีประโยชน์หลากหลายตั้งแต่ต้นมังคุด เนื้อมังคุด รวมถึงเปลือกมังคุดและในแง่ของสมุนไพรนั้น มังคุดได้ถูกนำมาใช้เป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณด้านต่าง ๆ เช่น เปลือกผลมีรสฝาด บดเป็นผงหรือชงหรือต้มรับประทานเป็นยาแก้ท้องร่วง แก้บิด มูกเลือด แก้ไข้ท้องเสีย ถ้านำมาผสมกับน้ำปูนใสจะใช้ทาแก้แผลเน่าเปื่อยพุพอง ช่วยสมานแผลสด หรือใช้ต้มชะล้างบาดแผลก็ได้ โดยมีวิธีใช้ คือ ให้นำเปลือกผลแห้งประมาณครึ่งผล (4 กรัม) ย่างไฟให้เกรียม ผนกับน้ำปูนใสประมาณครึ่งแก้ว หรือบดเป็นผงละลายน้ำข้าว (น้ำข้าวเช็ด) หรือน้ำสุก ดื่มทุก 2 ชั่วโมง จนกว่าอาการท้องเดินจะดีขึ้น มีรายงานการศึกษาเป็นจำนวนมากที่รายงานเกี่ยวกับสารเคมีที่พบเป็นองค์ประกอบในเปลือกผลมังคุด คือ สารแทนนิน (tannin) 8.8 – 10.5 % ที่มีฤทธิ์แก้อาการท้องเดิน นอกจากนี้ยังมีสารเคมีอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น สารกลุ่มแซนโทน (xanthones) ที่ประกอบด้วยสารหลักคือ แอลฟา-แมงโกสติน (α -mangostin) เนื้อหุ้มเมล็ด ซึ่งก็คือส่วนที่เป็นเนื้อสีขาวที่เรารับประทานเป็นผลไม้ นอกจากมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวอร่อยแล้ว ยังมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงกำลังบำรุงร่างกายแก้ร้อนใน ยางที่ได้จากผล ซึ่งมีลักษณะเป็นยางสีเหลือง จะมีรสฝาด มีสรรพคุณเป็นยาได้เช่นกัน คือนำมาใช้เป็นยาแก้บิด แก้ท้องร่วงและแก้แผลหนอง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) เนื้อมังคุดมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโพแทสเซียม โปรตีน สารใย วิตามินซีฟอสฟอรัสแคลเซียมและแมกนีเซียม จากการตรวจวิเคราะห์พบว่าในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตรประกอบด้วยโพแทสเซียมปริมาณสูงถึง 87.14 มิลลิกรัม แคลเซียม 34.53 มิลลิกรัมและแมกนีเซียม 111.22 มิลลิกรัมนอกจากนี้ในเนื้อมังคุดยังประกอบด้วยคุณค่าด้านโภชนาการของธาตุอาหารจำนวนมาก (สุธีวงศ์ พงศ์ไพบูลย์, 2544)

โรคยางไหลที่ผลจะพบได้ทั้งระยะผลอ่อนและผลแก่ อาการยางไหลระยะผลอ่อน เกิดจากเชื้อไฟลุคกินน้ำเลี้ยงระยะผลอ่อน ทำให้เกิดยางไหลออกมาจากผิวเปลือกเป็นสีเหลือง ทำให้ผลมีการเจริญเติบโตช้า การป้องกันกำจัดอาการยางไหลของผลอ่อน โดยการป้องกันกำจัดเชื้อไฟ ตั้งแต่มังคุดเริ่มออกดอก และอาการยางไหลระยะผลขนาดใหญ่ พบอาการยางไหลในขณะที่ผลใกล้แก่ แต่ยังมีสีเขียวอยู่ ยังไม่พบสาเหตุที่แน่นอน สันนิษฐานว่าเกิดจากมังคุดได้รับน้ำมากเกินไป ทำให้ปริมาณน้ำยางในผลมีมาก และปะทุออกมาเอง หรืออาจมีแมลงไปทำให้เกิดบาดแผลทำให้ยางไหลออกมาได้ซึ่งภายหลังจากการเก็บเกี่ยวก็สามารถขูดยางเหล่านี้ออกได้โดยผลไม่เสียหายแต่สิ้นเปลืองเวลาและแรงงาน

อาการเนื้อแก้ว เป็นอาการของเนื้อมังคุดที่มีสีขาวใสในบางกลีบ โดยมากมักเป็นที่กลีบมังคุดที่มีขนาดใหญ่ ในบางครั้งก็เป็นเนื้อแก้วทั้งผล อาการเนื้อแก้วนี้จะสังเกตได้จากลักษณะภายนอก โดยพบว่าผลที่มีรอยร้าวอยู่ที่ผิว มักจะมีอาการเนื้อแก้วด้วย แต่ในบางครั้งลักษณะภายนอกเป็นปกติ เมื่อผ่าดูอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบอาการเนื้อแก้วได้เช่นกัน สังเกตได้จาก อาการยางไหลภายในผล และพบยางสีเหลืองอยู่ตรงกลางระหว่าง 7 กลีบผลอาการนี้มักพบคู่กับอาการเนื้อแก้ว หรืออาจพบแต่อาการยางไหลเพียงอย่างเดียวก็ได้ อาการเนื้อแก้วและยางไหลภายในผล ยังไม่พบสาเหตุที่แน่ชัด แต่ถูกพบมากในมังคุดที่ขาดการดูแลรักษา เช่น ได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอ หรือขาดน้ำเป็นเวลานาน ๆ เมื่อได้รับน้ำจากฝนที่ตกชุกในช่วงผลใกล้แก่ผลมังคุดได้รับน้ำอย่างกะทันหัน เปลือกขยายตัวไม่ทันเกิดรอยร้าว ท่อน้ำภายในผล ก็ได้รับน้ำมากเช่นกัน เกิดแรงดันมากจึงปะทุแตก มีน้ำยางไหลออกมา นอกจากนั้นแล้ว การบำรุงรักษาไม่ถูกต้อง มังคุดได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพออาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีกาเจอร์ณเติบโต ผิดปกติเกิดเป็นเนื้อแก้วได้

การประมวลผลและจำแนกข้อมูลภาพ (สุภาสพงษ์ รุ่งทันทอง, 2556) โดยหลักแล้ว แบ่งเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

-image-centered approach ซึ่งเป็นวิธีการในการเอาข้อมูลมาสร้างแบบจำลองแล้วใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นประมาณการณปรากฏการณ์หรือสิ่งที่สนใจ

-data-centered approach ซึ่งเป็นวิธีการในการเอาข้อมูลมาแบ่งกลุ่มและจำแนกชั้นข้อมูล เช่น แบบ supervised, unsupervised, hybrid classification เพื่อจำแนกสิ่งต่างๆ

ทั้งนี้ในด้านรีโมทเซนซิงการประมวลผลและจำแนกข้อมูลภาพดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับจุดภาพ (pixel) ที่ปรากฏบนภาพถ่าย โดยมีลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการนำจุดภาพไปใช้วิเคราะห์สามประการ คือ ขนาด ตำแหน่ง และค่าประจำของแต่ละจุดภาพ โดยจุดภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นภาพเชิงวัตถุ (object image) ซึ่งเป็นกลุ่มของจุดภาพที่มีความหมายเพื่อแปลตีความและอธิบายลักษณะที่ปรากฏจริงต่อไป

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

ประเทศไทยมักพบปัญหาที่สำคัญคือคุณภาพของผลไม้ที่ผลิตได้ไม่สม่ำเสมอจึงมีผลต่อการจำหน่ายทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ เช่น ส้ม มักพบปัญหาอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในผลที่สำคัญคือ อาการผลฟ้ามและผลหลวม ดังนั้นจึงมีความพยายามหาวิธีการหรือเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการคัดคุณภาพ ซึ่งหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมมากคือ การใช้ค่าความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่น จากการวิจัยพบว่าเทคนิคของค่าความถ่วงจำเพาะสามารถนำมาใช้ตรวจสอบอาการผลฟ้ามและหลวมของส้มฟริ้มองด์และส้มผิวทองโดยมีความสัมพันธ์ด้วย $R^2 = 0.75$ และ 0.61 ตามลำดับ, มะม่วง มักมีปัญหาคารส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศคือพบปัญหาคุณภาพของผลเมื่อถึงปลายทางไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ถูกต้อง มีการใช้ความถ่วงจำเพาะมาตรวจสอบผลมะม่วงพันธุ์แรดที่ความแก่แตกต่างกันพบว่ากลุ่มของผลมะม่วงที่มีความแก่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสุกภายใน 2 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มของผลมะม่วงที่มีความแก่ 95, 85 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสุกภายใน 7, 10 และ 12 วัน ตามลำดับ ดังนั้นเทคนิคทางความถ่วงจำเพาะสามารถใช้คัดแยกมะม่วงที่แก่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณภาพต่ำออกจากมะม่วงที่มีความแก่ 95-80 เปอร์เซ็นต์ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ธงชัย ชันตรีศรี 2542) นอกจากนี้มีผลงานวิจัยที่นำค่าความหนาแน่นมาคัดแยกคุณภาพของผลมังคุดเพื่อคัดแยกมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว (Teerachaichayut et al., 2008) เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคใหม่ๆมาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลายงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพเพื่อหาความหนาแน่นของผลมังคุดมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 มังคุด

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ (sphericity: vernier caliper)
- 3.2.2 กล้องถ่ายภาพ (Canon, EOS 550D, Japan)
- 3.2.3 ฉากสำหรับถ่ายภาพ
- 3.2.4 ขาตั้งและตัวหนีบขาตั้ง
- 3.2.5 บีกเกอร์ ขนาด 500 ml
- 3.2.6 น้ำกลั่น
- 3.2.7 กระดาษทิชชู

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องชั่งดิจิตอล (electronic balance: Sartorius, BSA3202S-CW; max 3200g, d= 0.01g)

3.4 สถานที่ดำเนินการ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 การดำเนินงาน

- 3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพแบบไม่ทำลายผลไม้ (non-destructive method)

3.5.1.1 การถ่ายภาพ (image processing)

เครื่องมือ

กล้องถ่ายภาพ (Canon, EOS 550D, Japan)

ขาตั้งกล้อง

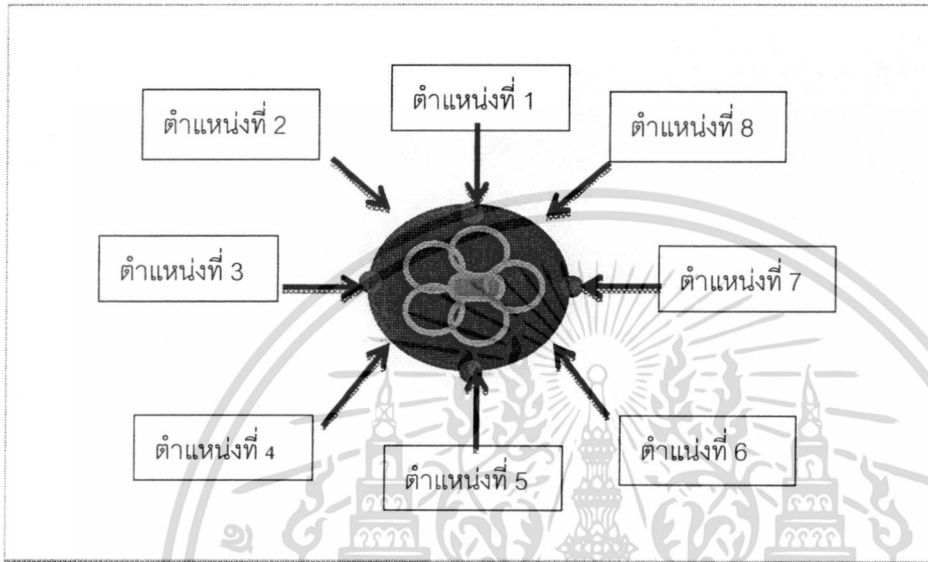
ฉากสำหรับถ่ายภาพ

วงกลมมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร

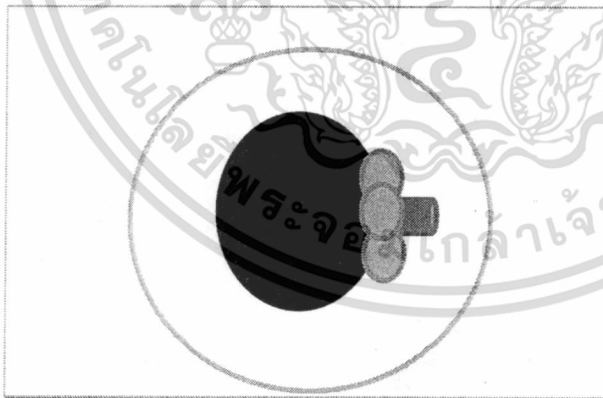
วิธีการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางผลมั่งคุดให้อยู่ตรงกลางวงกลมมาตรฐาน
โดยถ่ายภาพจากด้านบนของลูกมั่งคุดซึ่งในการถ่ายภาพจะมีฉากกั้นสี่
คำเพื่อควบคุมสถานะ
ถ่ายภาพมั่งคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่งโดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งในการถ่ายภาพมั่งคุดทั้งหมด 8 ตำแหน่งโดยหมุนลูกตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการวางผลมั่งคุดในการถ่ายภาพทั้ง 8 ด้าน ให้อยู่ตรงกลางวงกลมมาตรฐาน

3.5.1.2 วัดความหนาแน่น (density)

เครื่องมือ

เครื่องชั่งดิจิตอล (electronic balance: Sartorius, BSA3202S-CW; max

3200g, d= 0.01g)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาตั้งและตัวหนีบขาตั้งหรือแขนจับ

บีกเกอร์ขนาด 500 ml

มีด

วิธีการวัด

โดยการวัดน้ำหนักอากาศ (W1) และน้ำหนักในน้ำ (W2) และหาความหนาแน่น

แบ่งวัดทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ทั้งลูกมังกุด เฉพาะลูกมังกุดตัดหัวจุกออกและ เฉพาะหัวจุกมังกุด

เริ่มจากการชั่งน้ำหนักในอากาศของทั้งลูกมังกุดจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักในน้ำ

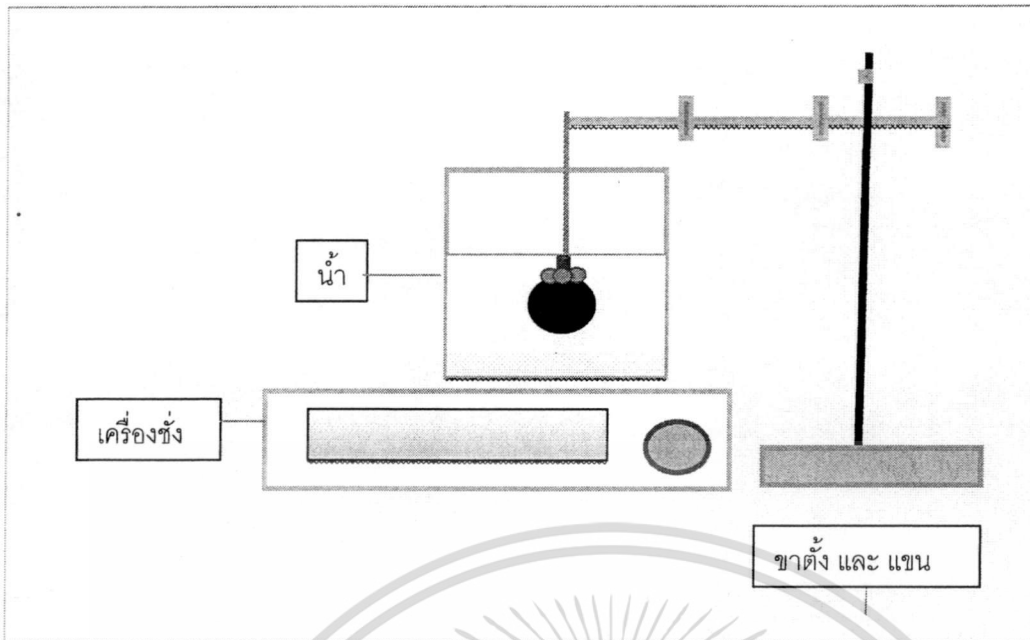
จากนั้นตัดจุกของลูกมังกุดออกแล้วชั่งน้ำหนักอากาศและในน้ำทำเช่นเดียวกันนี้กับหัวจุกของมังกุด

ชั่งน้ำหนักมังกุดทั้ง 3 ส่วนดังภาพ



ภาพที่ 3.3 ภาพลักษณะของผลมังกุดทั้ง 3 ส่วนที่ใช้ในการวัดความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ภาพการชั่งน้ำหนักผลมั่งคุดในน้ำ

3.5.2 การวัดความหนาแน่นจากภาพ (Calculated density from image)

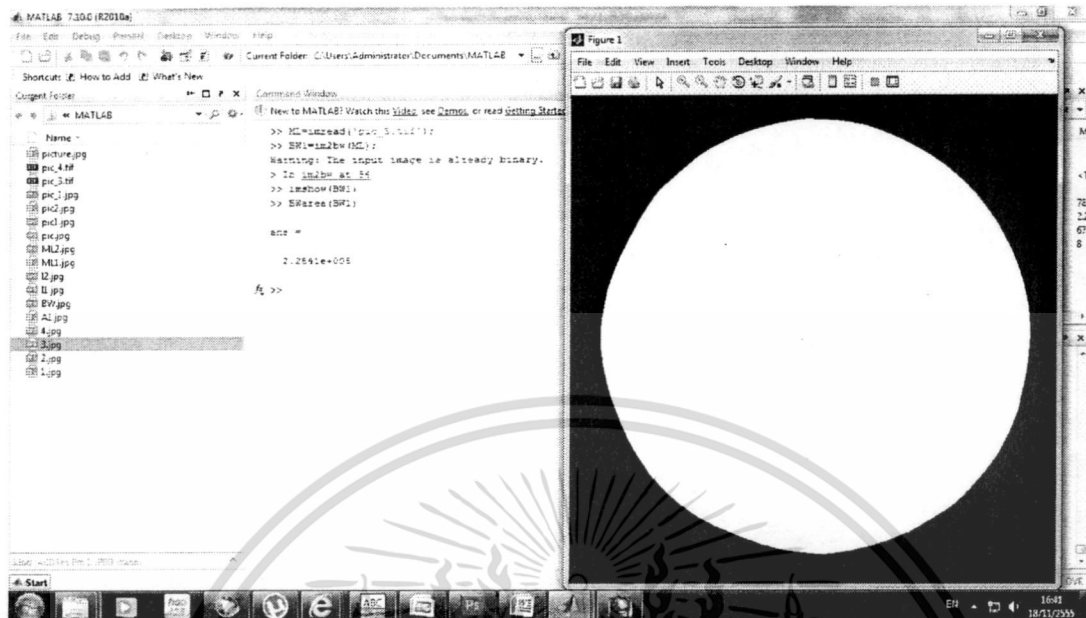
โปรแกรม MATLAB---->clc ---->clear all---->help---->helps ...



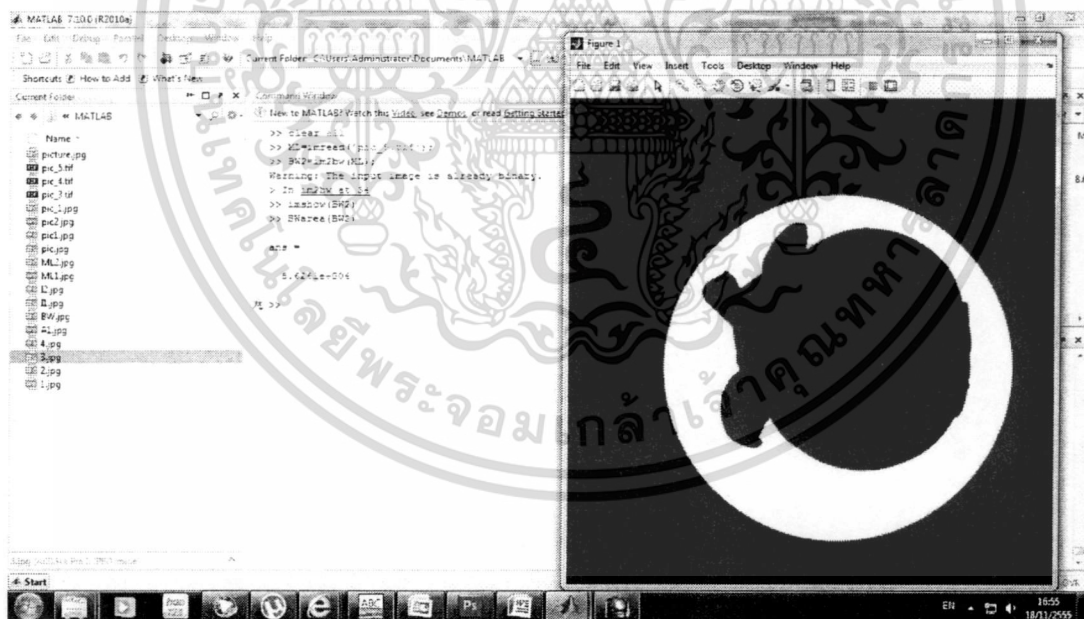
ภาพที่ 3.5 หน้าจอโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนโปรแกรมเพื่อทำภาพ ให้เป็นสีขาวดำทั้งผลมั่งคุดและวงกลมมาตรฐาน

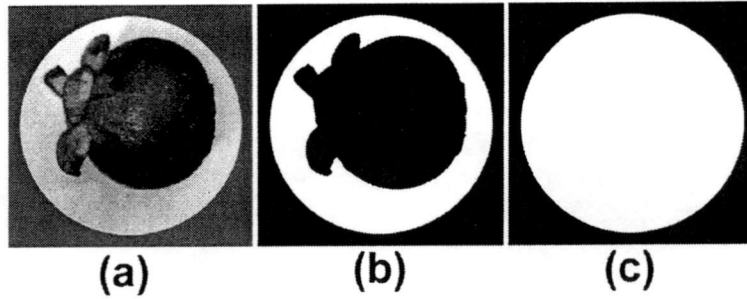


ภาพที่ 3.6 ภาพของผลลัพธ์ของการเขียน โปรแกรม MATLAB ของวงกลมมาตรฐานและจำนวนค่า pixel ของวงกลมมาตรฐาน



ภาพที่ 3.7 ภาพของผลลัพธ์ของการเขียนโปรแกรม MATLAB ของผลมั่งคุดและจำนวนค่า pixel ของผลมั่งคุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 มังคุดเมื่อทำให้เป็นสีขาวดำ (a) ภาพถ่ายจริง (b) ผลมังคุด และ (c) วงกลมมาตรฐาน

การคำนวณหา pixel จากภาพ (b) ผลมังคุดและ(c) วงกลมมาตรฐาน

$$V \text{ ทรงกลม} = 2.2841 \times 10^5 \text{ pixel}$$

$$= (4/3)\pi D^3 \text{ cm}^3$$

$$V \text{ ผลไม้} = 8.6241 \times 10^4 \text{ pixel}$$

$$= (4/3)\pi D^3 \times (8.6241 \times 10^4 / 2.2841 \times 10^5) \text{ cm}^3$$

$$= (4/3)\pi D^3 \times (0.3776) \text{ cm}^3$$

$$\text{Calculated density } (\rho) = m / V \text{ ผลไม้}$$

จะได้ค่าเปรียบเทียบจริงและค่าจากภาพ โดยการพลอตกราฟ จะได้ค่า R^2

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวัดมวลและความหนาแน่นของมังคุด

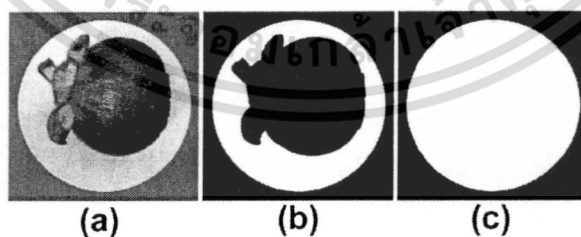
ตัวอย่างมังคุดจำนวน 80 ผล ถูกนำมาทำการวัดที่ตัวอย่าง ได้ผลมวลและความหนาแน่น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของตัวอย่างมังคุดที่ใช้ในการทดลอง

จำนวน	มวล (g)		ความหนาแน่นวัดโดยวิธีแทนที่น้ำ (g/cm ³)		
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	SD
80	47.8-130.1	78.3	0.88-1.05	0.98	0.04

4.2 การคำนวณหาความหนาแน่นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ

ภาพของตัวอย่างมังคุดแต่ละผลถูกนำมาวิเคราะห์ทีละผล ทำการเปลี่ยนจากภาพสี (RGB image) มาเป็นภาพขาวดำ (binary image) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ในภาพแสดงให้เห็นภาพสีของผลมังคุด (ภาพที่ 4.1a) ภาพจากผลเดียวกันถูกเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ (ภาพที่ 4.1b) และภาพของแผ่นอ้างอิงที่เปลี่ยนเป็นขาวดำจากภาพเดียวกัน (ภาพที่ 4.1c) จากภาพขาวดำที่ได้ของแต่ละผลตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์ผลเพื่อหาจำนวน pixel ของแต่ละส่วน ได้แก่ ผลมังคุด แผ่นอ้างอิง และส่วนที่เป็นพื้นหลัง

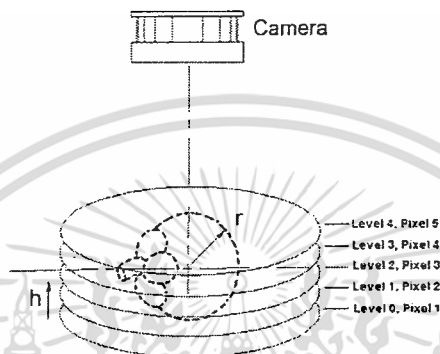


ภาพที่ 1.1. การวิเคราะห์ภาพของผลมังคุด: ภาพสีเริ่มต้น (a); ภาพขาวดำของผลมังคุด แผ่นอ้างอิงและพื้นหลัง (b); ภาพขาวดำของแผ่นอ้างอิงและพื้นหลัง (c)

ภาพของผลมังคุดและแผ่นอ้างอิงในภาพเดียวกันถูกนำมาเปรียบเทียบ เป็นจุดสำคัญที่จำนวน pixel ของแต่ละส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์จะต้องหามาจากภาพเดียวกันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ถ่ายเป็นภาพถ่ายในระนาบเดียว (2D) ดังนั้นจึงเห็นภาพแสดงเฉพาะในแนวนอน ไม่เห็นในแนว ลึกหรือความสูง แต่ในความเป็นจริงภาพที่ปรากฏให้เห็นอยู่ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน ภาพที่อยู่ใกล้ กับกล้องมากกว่าจึงมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกัน ดังนั้นเหตุนี้ ภาพของตัวอย่างมังคุดที่ปรากฏจึงมี ขนาดใหญ่กว่าภาพของแผ่นอ้างอิงที่อยู่ด้านล่าง จากเหตุผลดังกล่าว จึงต้องมีการปรับขนาดของ pixel ที่ หาได้ เพื่อเสมือนว่าภาพที่ปรากฏอยู่ในระนาบเดียวกันจริงๆ โดยวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่าง pixel กับระยะความสูง โดยทำการทดลองถ่ายภาพแผ่นอ้างอิงที่ระดับความสูงต่างๆ เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวน pixel ที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความสูงต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.2

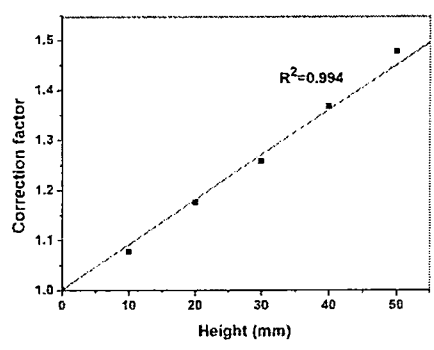


ภาพที่ 4.2. การทดลองเพื่อหา Pixel ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะความสูงต่างๆ

ผลการทดลองเมื่อพิจารณาอัตราส่วน pixel ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะความสูง (h) สามารถหา ความสัมพันธ์เพื่อเป็นค่าปรับแก้ตามระยะความสูงโดยมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ระยะความสูงนี้นับจากระยะแผ่นอ้างอิงจนถึงกล้องที่ถ่าย ทั้งนี้สมการที่ใช้ในการปรับแก้ตามระยะ ความสูงนี้ มีความถูกต้องสูงโดยพิจารณาจาก coefficient of determination ที่มีค่าสูงเข้าใกล้ 1 ($R^2=0.994$) และสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าปรับแก้ตามความสูงสามารถแสดงได้ตามสมการที่ 4.1:

$$\text{ค่าปรับแก้ (Correction factor)} = 0.901h+1 \quad (4.1)$$

ในการปรับแก้ค่า pixel ได้ดำเนินการเฉพาะ pixel ของผลตัวอย่าง เนื่องจากภาพของผลมังคุด ตัวอย่างที่ปรากฏจะอยู่สูงจากแผ่นอ้างอิงที่ระยะรัศมีของผลมังคุดนั่นเอง ดังนั้นระยะความสูงที่ใช้ คำนวณเพื่อปรับแก้ pixel ของผลมังคุด สามารถหาได้จากการแทนค่าระยะจากจุดกึ่งกลางของผลมังคุด ถึงแผ่นอ้างอิงหรือรัศมีของผลมังคุดนั่นเอง



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับค่าตัวคูณที่ใช้ในการปรับแก้จำนวน pixel

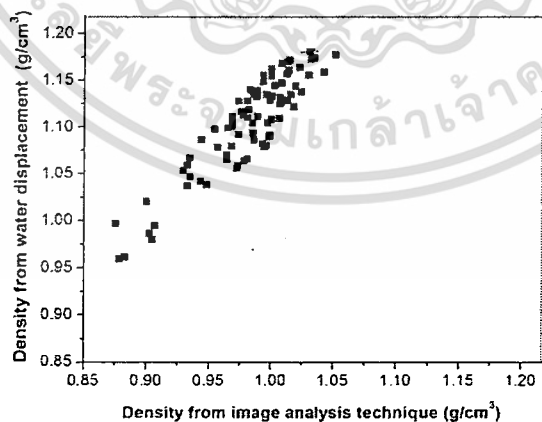
ในการวิเคราะห์จะใช้ แผ่นอ้างอิงในแต่ละภาพในการเปรียบเทียบ โดย pixel จะแปลงมาเป็นระยะทางในหน่วยเซ็นติเมตร และคำนวณหารัศมีเทียบเท่า (equivalent radius) จาก pixel ของมั่งคุดตัวอย่าง โดยหาค่าเฉลี่ยจากภาพถ่ายที่หมุนตัวอย่างในแนวนอน (XY plane) 6 ภาพ และ อีก 2 ภาพในแนวตั้ง (XZ plane) จากนั้นนำค่ารัศมีเทียบเท่าเฉลี่ยนี้เปลี่ยนเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและนำไปคำนวณหาปริมาตรของผลมั่งคุดจากสูตร

$$V = (4/3)\pi D^3$$

จากนั้นนำไปหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยจากสูตร

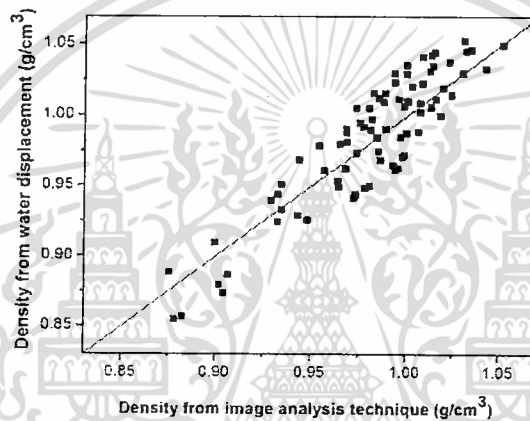
$$\rho = m / V$$

นำค่าความหนาแน่นที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพแต่ละผล ไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นที่วัดได้โดยวิธีแทนที่น้ำ ผลแสดงให้เห็นว่ามีความความสัมพันธ์ที่ดี เมื่อพิจารณาจากค่า correlation coefficient เข้าใกล้ 1 ($R = 0.91$) และมีค่า standard error of the estimate ที่ต่ำ ($SEE = 0.016 \text{ g/cm}^3$) ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความหนาแน่นของผลมั่งคุดจากการวัดจริงด้วยวิธีแทนที่น้ำและความหนาแน่นของผลมั่งคุดจากการทำนายด้วยการวิเคราะห์ภาพและความผิดพลาด

ถึงแม้ว่าค่าความหนาแน่นจากการวัดจริงและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิควิเคราะห์ภาพจะ
 ได้ความสัมพันธ์ที่ดี แต่จะเห็นว่ามีความผิดพลาด เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุความผิดพลาดในการคำนวณ
 สามารถสันนิษฐานได้ว่า ความผิดพลาดเกิดจากการคำนวณปริมาตรจากภาพผิดพลาด ทั้งนี้ ในภาพที่
 ปรากฏในส่วนของกลีบผล ในความเป็นจริงกลีบผลจะโปร่งด้านใน (เป็นอากาศ) แต่ในการวิเคราะห์ด้วย
 ภาพจะคำนวณเป็นเนื้อเดียวกันคำนวณเป็นปริมาตรทั้งหมด จะเห็นได้ว่า ปริมาตรที่คำนวณได้จากภาพจึง
 มีมากกว่าความเป็นจริงและเมื่อคำนวณเป็นความหนาแน่นแล้วก็จะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าความเป็น
 จริง ในกรณีนี้จึงเป็นไปได้เพื่อทำการปรับแก้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพด้วยการหารด้วยด้วย 1.122
 เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นเทียบเคียงเท่ากับค่าจริง และได้ผลแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความหนาแน่นของผลมังคุดจากการวัดจริงด้วย
 วิธีแทนที่น้ำและความหนาแน่นของผลมังคุดจากการทำนายด้วยการวิเคราะห์ภาพ
 ภายหลังการปรับแก้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ภาพเพื่อหาความหนาแน่นโดยวิธีการเปรียบเทียบกับแผ่นอ้างอิงสามารถนำไปใช้ได้กับผลตัวอย่างที่มีรูปร่างลักษณะไม่สม่ำเสมอ มีก้านผล หรือกลีบผล การดำเนินการทำโดยเปลี่ยนภาพเป็นขาวดำและวิเคราะห์หาจำนวน pixel ของผลตัวอย่างในมุมมองต่างๆ จากนั้นนำมาหาปริมาตรจากภาพและคำนวณหาความหนาแน่น ผลการทำนายความหนาแน่นด้วยวิธีนี้ได้ค่า correlation coefficient สูงเข้าใกล้ 1 และได้ค่า standard error of the estimate ที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์หาความหนาแน่นจากภาพมีความเป็นไปได้

สามารถนำไปประยุกต์ใช้แทนการคัดแยกโดยวิธีจุ่มมังคุดในน้ำ เพื่อทำนาย อากาศยางไหล เนื้อแก้ว เปลือกแข็งได้ในอนาคต อันจะเป็นประโยชน์อย่างมาก ในการแก้ปัญหาคุณภาพมังคุดเพื่อการส่งออกสู่ต่างประเทศของประเทศไทยในอนาคต



เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2546). “มังคุดคุณภาพเพื่อการส่งออก”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

[http:// kaewpanya.rmutl.ac.th/2552/attachments/732.pdf](http://kaewpanya.rmutl.ac.th/2552/attachments/732.pdf) (29 กันยายน 2553)

กัลยา วานิชย์บัญชา(2551). การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท
ธรรมสาร จำกัด.

เพชรน้อย สิงห์ช่างชัย. (2549). หลักการและการใช้สถิติการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว สำหรับการ
วิจัยทางการพยาบาล. พิมพ์ครั้งที่ 3. สงขลา : ชานเมืองการพิมพ์.

เพ็ญแขแสงแก้ว. (2544). สถิติเพื่อการวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ (SPSS Version 10.0). โรงพิมพ์ห้าง
หุ้นส่วนจำกัดพันธ์พิภพบลิซซิ่ง, กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

[ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551

ศิริชัย กาญจนวาที (2550) . การวิเคราะห์พหุระดับ (Multi-Level Analysis) . พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนั่น สุภธีรสกุล. (2547). “มังคุด (ที่ไม่ “คุด”)”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

[http://pcog.pharmacy.psu.ac.th /thi/article/2547](http://pcog.pharmacy.psu.ac.th/thi/article/2547) (15 กุมภาพันธ์ 2553)

สุธีวงศ์พงษ์ไพบุลย์. (2544). โครงการ”แผนที่ภูมิทัศน์ภาคใต้: ฐานเศรษฐกิจและทุนวัฒนธรรม”

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?

สุภาสพงษ์ ฐู่ทำนอง. หลักการจำแนกข้อมูลเชิงวัตถุ. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.gotoknow.org/posts/492648>

ภาษาอังกฤษ

“Discriminant Analysis.” [online]. www.anchor.au.edu/iknow/as787/discriminant.docJha, S.N.,

Jaiswal, P., Narsaiah,K., Gupta, M., Bhardwaj,R., Singh,A.K.,2012. “Non-

Destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared

Spectroscopy.”*Scientia Horticulturae*. 138: 171-175.

Wanitchang, P., Terdwongworakul, A., Wanitchang, J., Nakawajana, N. (2011). Non-

destructivematurity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties.

Journal of Food Engineering, 477-484.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Address: Unit B on 15th Floor Eu Yan Sang Tower, Nos. 11/15, Chatham Road South, Kowloon, Hong Kong, Email: admin@cbees.org
Tel: +852-3500-0137 (HK), +1-206-456-6022 (USA), +86-28-86528465 (CN Branch)

Notification of Acceptance of the ICFAE 2015

May 12-13, 2015, Warsaw, Poland

<http://www.icfae.org/>



Paper ID : F1001

Paper Title : Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density

Dear Sontisuk Teerachaichayut, Wipawee Yokswad and Picha Charonckad, Anupun Terdwongworakul, Piyamart Jannok, Sofia Velez Fernandes,

First of all, thank you for your concern. 2015 International Conference on Food and Agricultural Engineering -ICFAE 2015 review procedure has been finished. We are delighted to inform you that your manuscript has been accepted for presentation at International Conference on Food and Agricultural Engineering-ICFAE 2015, Warsaw, Poland. Your paper was tripling blind-reviewed and, based on the evaluations. The reviewers' comments are enclosed.

The conference received papers from about 20 different countries and regions during the submission period. And there are about 50 papers, accepted by our reviewers who are the international experts from all over the world. The selected papers could be published in our conference proceeding with high quality. According to the recommendations from reviewers and technical program committees, we are glad to inform you that your paper identified above have been selected for publication and oral presentation. You are invited to present your paper and studies during our ICFAE conference that would be held on May 12-13, 2015, Warsaw, Poland.

The ICFAE 2015 is co-sponsored by Asia-Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society (APCBEES)

This paper will be published in the Journal of Advanced Agricultural Technologies (JOAAT, ISSN:2301-3737), and all papers will be included in the Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, EBSCO, Engineering & Technology Digital Library, Crossref and Electronic Journals Digital Library.

(Important Steps for your registration): Please do finish all the 6 steps on time to guarantee the paper published in the proceeding successfully:

- 1 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Address: Unit B on 15th Floor Eu Yan Sang Tower, Nos. 11/15, Chatham Road South, Kowloon, Hong Kong, Email: admin@cbees.org
Tel: +852-3500-0137 (HK), +1-206-456-6022 (USA), +86-28-86528465 (CN Branch)

1. Revise your paper according to the Review Comments in the attachment carefully. (Five authors at most each paper)

2. Format your paper according to the Template carefully.

http://www.icfae.org/ETP_template.doc

(DOC Format)

3. Download and complete the Registration Form.

<http://www.icfae.org/reg.doc>

(English)

4. Finish the payment of Registration fee by Credit Card. (The information can be found in the Registration form)

<http://www.icfae.org/reg.doc>

(English)

5. Finish the Copyright Form

http://www.icfae.org/ETP_Copyright.doc

6. Send your final papers (both .doc and .pdf format), filled registration form (.doc format), copyright form (.jpg format) and the scanned payment (in .jpg format) to us at icfae@cbees.net. (Before February 10, 2015) (Very important)

ICFAE 2015 will check the format of all the registered papers first, so the authors don't need to upload the paper to the system. After the registration, we will send all qualified papers to the publish house and index organization for publishing directly.

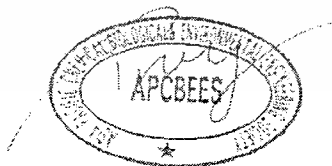
We are looking forward to meet all the authors in our conference. But if you and your co-author(s) could not attend ICFAE 2015 to present your paper for some reasons, please inform us. And we will send you the official receipt of registration fee, journal and/or other materials after ICFAE 2015 free of charge.

Please strictly adhere to the format specified in the conference template while preparing your final paper. If you have any problem, please feel free to contact us via icfae@cbees.net. For the most updated information on the conference, please check the conference website at <http://www.icfae.org>. The Conference Program will be available at the website in late April, 2015.

Again, congratulations. I look forward to seeing you in Warsaw, Poland.

Yours sincerely,

ICFAE 2015 Organizing Committees



Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density

Sontisuk Teerachaichayut*, Wipawee Yokswad and Picha Charonekad
Department of Food Process Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: ktsontis@kmitl.ac.th

Anupun Terdwongworakul
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,
Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140, Thailand
Email: fengant@ku.ac.th

Piyamart Jannok
Department of Post-Harvest and Processing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000, Thailand.
Email: kungpiyamart@gmail.com

Sofia Velez Fernandes
Department of Agro-Industry, Superior Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon,
Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal.
Email: sofiazita.velez@gmail.com

Abstract Density is used to predict the internal quality of various fruits. For mangosteen, a floating technique based on density is used routinely as the sorting system for quality classification but it is inconvenient and time consuming. The applied image analysis technique was studied to evaluate the density of mangosteen. RGB digital 2-D pictures were converted to binary images. Pixels of mangosteen from eight pictures taken using different views were averaged and compared to the pixels of a reference circle plate. From the image analysis, the average volume of mangosteen was first calculated and then the average density of mangosteen was determined. The predicted densities of 80 fruits using the image analysis technique were compared with the measured densities and obtained a high correlation coefficient ($R=0.91$). The results showed the image analysis technique could be applied for nondestructive sorting to evaluate the internal quality of mangosteen based on the predicted density.

Index Terms nondestructive, image analysis, density, quality, prediction

I. INTRODUCTION

Density is an important index for the quality evaluation of fruits and is often related to the internal quality in fruits such as internal breakdown, water

distribution, decay and insect infestation [1]. Density is also correlated to the soluble-solids content (SSC) in many kinds of fruit. Knowledge of physical properties like density is fundamental to the design and optimization of processing operations in the fruit puree industry [2], [3]. Fruit sorting obtained high accuracy when density was used for SSC prediction of grape berries [4]. Density could be used to estimate the dry matter (DM) and SSC of kiwifruit with high correlation [5], [6], [7]. Furthermore, density has been found to be related to both hollowness and the SSC in watermelon [8]. It was also used as an important parameter to detect internal damage in fruit [9].

Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) is considered as the queen of tropical fruits. Thailand is the largest producer in the world [10]. The postharvest quality of mangosteen is affected by several internal factors such as translucent flesh, the existence of gamboges and the hardening pericarp as well as by external factors like colour, shape, size, skin blemishes, latex staining and insect damage. These factors are considered in determining the quality of mangosteen for consumer acceptance and satisfaction. Internal disorders cannot be identified by visual evaluation but a recent report indicated that internal defects correspond to the density of mangosteen [11]. The floating technique is applied as a sorting method in order to predict internal defects in mangosteen based on differences in density. However,

Manuscript received; revised;
accepted

Corresponding author tel.: +6623298526; fax: +6623298527
E-mail address: ktsontis@kmitl.ac.th (S. Teerachaichayut)

this approach makes the products wet and requires additional processes such as water treatment, drying and a handling system which are inconvenient and time consuming. Hence, a simple and non-destructive technique to predict the internal quality of mangosteen is required.

Mass is normally used to classify the size of fruits. Good appearance and the absence of defects certainly contribute to consumer preference [12]. Visual sorting is normally used by the consumer to determine the quality of products. An image analysis technique as well as visual inspection can be applied for quality evaluation and the classification of fruit and vegetables. Recent studies have presented the use of image analysis techniques to evaluate fruit attributes such as skin defects in citrus fruits [13], firmness and soluble solids content of apples [14], internal quality of blueberries [15], bruises on Chinese bayberries [16], bruise on kiwi fruits [17], fungal infection of date fruits [18], fruit fly infestation in mangoes [19], size and shape features of walnuts [20], size of grapevine berries [21] and maturity of persimmon fruits [22].

The volume of a fruit is also one of the key parameters to assess its quality. Fruit volume has been applied to estimate the relationship between the fruit expansion rate and physiological disorders in bell pepper fruit [23]. Reports showed that the volume of agricultural products could be predicted by the ellipsoid approximation method using digital images for watermelon [24], barley grain [25], kiwifruit [26] and citrus fruits [27].

An image analysis technique can be applied in an on-line sorting system. It is fast, simple, convenient and non-destructive. However fruit such as mangosteen and many other kinds of fruit have a calyx, stem and various curves on the surface, so it is not easy to identify the volume from the images using calculations based on a mathematical formula for the geometric model of the volume. Therefore, this study aimed to develop a new, simplified technique of image analysis to determine the volume and subsequently to calculate the density of mangosteen.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Fruit

Mangosteens were purchased from a wholesale market in Bangkok, Thailand. Different-sized fruits were sampled (N=80) with good appearance and a maturity stage of 4-5 [28] were selected and used in this study.

B. Density measurement

The mass of each sample was measured using an electronic balance (Sartorius, BSA3202S-CW). The volume of each fruit was determined by the water displacement method as described by [29]. According to Archimedes' principle, the volume of an object is equal to the weight of the water displaced. As the density of water is 1.0 g/cm³, the mass of the water displaced by

the sample is equal to its volume. Thus, the volume of the displaced water was determined by mass measurement while submerging the sample in water without the sample being in contact with the sides of the container as shown in Figure 1. Density (ρ) can be defined as the ratio of an object's mass (m) to its volume (V). Therefore, the sample's density can be calculated using equation (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

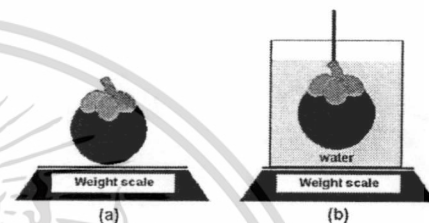


Figure 1. Sample presentation for density measurement: sample was weighed in air (a) and in water (b).

C. Image acquisition

Each sample was placed in a special cardboard box to control the light level when taking photographs. Pictures of each sample were captured using a digital camera (Canon, EOS 550D, Japan) as shown in Figure 2. Due to the shape of the mangosteen and calyx varying when considered from different views, six pictures of each fruit were captured when each sample was randomly oriented in a horizontal position (XY plane view) and rotated around the calyx alignment every 30° in a clockwise direction as well taking two pictures in the vertical position (XZ plane view) at the top and bottom of the fruit. A circular piece of white cardboard with a fixed diameter (10 cm) was used as a reference plate as the background for all the pictures.

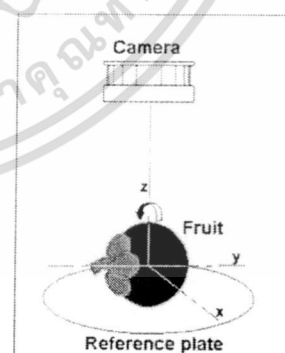


Figure 2. Schematic diagram of picture taking with digital camera

D. Image analysis

Each picture of the sample and the reference plate was converted into a binary image. The pixels of each part in the image were then examined by the

segmentation method using the image processing toolbox in the MATLAB software (MATLAB 7, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA). Pixels of the reference plate in each picture were used as a standard size in the image processing and were compared to those of the piece of fruit in the same picture. Pixels of the reference plate and pixels of each sample were used for volume calculation. The volume of the reference plate could be calculated as the volume of a sphere in terms of its radius (r) using equation (2):

$$\text{Volume of sphere} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (2)$$

The reference plate was analyzed using the number of pixels in the binary image. A spherical volume of the reference plate was assumed and then the radius of the reference circle in pixels was determined using equation (2). Therefore pixels could be converted to centimeters to determine the radius of the reference plate. Even though the sample was not spherical, it was assumed to have the equivalent radius of a sphere. Pixels in the binary image of the sample were analyzed to calculate the volume as well as to determine subsequently the equivalent radius in pixels. The equivalent radius of the sample in pixels was converted to centimeters and then the predicted volume of the sample was calculated using equation (2).

The 2-D digital image of each picture showed only a single horizontal plane view such as the XY plane or XZ plane, but in fact, each real sample had height in the other perpendicular axis. The pixels of a picture in each horizontal layer varied according to the distance from the camera. Figure 3 shows how the pixels of the reference plate image were determined at various heights. This information was used to define a correction factor for the calibration of the sample pixels during the image processing. The pixels of each sample image were adjusted according to the height. The height of each fruit, indicated by the boundary body line in the picture, was assumed to be at the middle of the fruit body or approximated to be the radius of each fruit (r). Therefore it was necessary to calibrate the equivalent radius of the sample using a correction factor due to the height effect. The equivalent radius in pixels was converted into the distance in centimeters. Thus, the predicted volume of the sample could be calculated using equation (2) and then the predicted density of the sample was determined using equation (1).

The predicted densities of samples from the application of the image analysis were compared with the measured densities of the samples from water displacement. The predictive accuracy was considered using the correlation coefficient (R) and the standard error of the estimate (SEE). The R computer software package (Version 3.1.2) was used for statistical analysis.

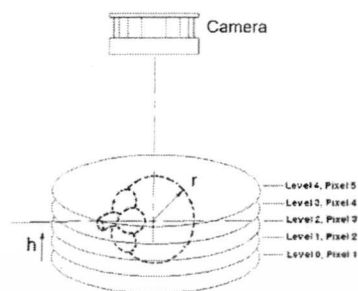


Figure 3. Pixel adjustment in various vertical levels of the reference plate

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Acquisition of mass and density measurement

All samples ($N=80$) were measured for mass and density as shown in Table 1.

TABLE I. CHARACTERISTICS OF MANGOSTEEN SAMPLE.

No	Mass (g)		Density from water displacement (g/cm^3)		
	Range	Averaged	Range	Averaged	SD
80	47.8-130.1	78.3	0.88-1.05	0.98	0.04

B. Density calculation using image analysis

All acquired pictures were converted from RGB images into binary images. In Figure 4, the RGB image (Figure 4.a) was converted into a binary image (Figure 4.b) and a binary image of the reference plate (Figure 4.c). The number of pixels in each part in the same picture of the reference plate and the background were calculated.

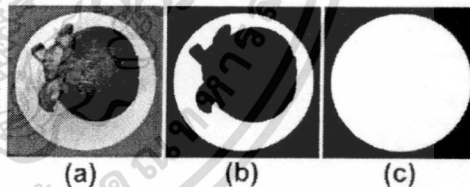


Figure 4. Image processing for mangosteen: RGB image: (a) Binary image of sample and reference plate, (b) Binary image of reference plate (c)

The sample and the reference plate in each picture were comparable. It was very important that the pixels in each part had to be individually determined and used for comparison with the reference plate only in that picture.

The 2-D digital image showed only a single horizontal layer but each part in the picture had to be compared using pixels. This was achieved using the effect between the 2-D image and the real objects because of the height in the perpendicular axis. For this reason, the pixels of the sample image had to be adjusted by the correction factor based on the height. The results of the test for pixel adjustment at various

vertical levels of the reference plate showed that each level of the reference plate image contained different pixels. The ratio of pixel variation was calculated depending on the distance or the height (h) from the reference plate to the camera. The relationship of the ratio and the height showed a significant linear trend (Figure 5). The linear relationship between the correcting factor and the height was determined with a high coefficient of determination ($R^2 = 0.994$) using equation 3:

$$\text{Correction factor} = 0.901h + 1 \quad (3)$$

The pixel adjustment of each sample required the acquired pixels of the sample picture from the binary image to be multiplied by the correction factor (equation 3) using the equivalent radius of the fruit for h with the height of the sample viewed in the picture being estimated to be at the mid height of the fruit.

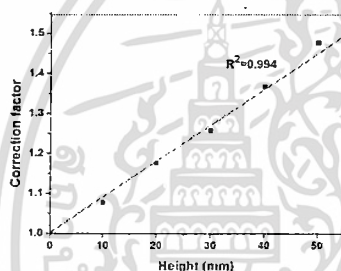


Figure 5. Relationship between correcting factor and the height

Using the reference plate for comparison, the pixels were converted to centimeters, the equivalent radius from the six pictures in the XY plane view as well as from the two pictures in the XZ plane view (top and bottom) of the sample was averaged, and then the average volume of each sample was calculated using equation (2). The average volume of each sample was then used to determine the average density. Finally, the predicted density of each sample was determined using equation (1).

The average density from the image analysis was compared with the density obtained using the water displacement method. The relationship showed a high correlation coefficient ($R = 0.91$) and a low standard error of the estimate ($SEE = 0.016 \text{ g/cm}^3$) as shown in Figure 6. The analysis revealed that mangosteen samples had a calyx which was void under thin sepals. This part of the calyx image was also used for volume determination. In this case, it might be possible that there was air under the sepals. Therefore, the predicted volume from the image analysis contained an error in each fruit. The results showed the over prediction of density due to the volume of the samples from the image analysis was generally larger than that of the real objects. Thus, the value of the average density from the image analysis was lower than that of the density

obtained by the water displacement method. The precision of prediction can be improved by slope adjustment. In the plot shown in Figure 7, the average density from the image analysis was divided by 1.122.

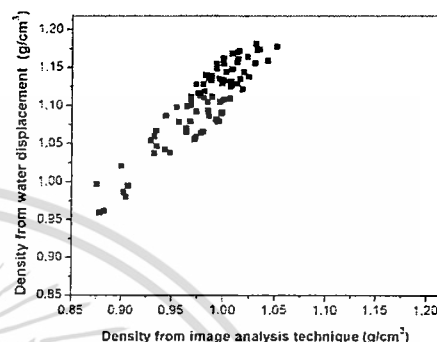


Figure 6. Scatter plot of the density from water displacement method against average density from image analysis with a prediction error

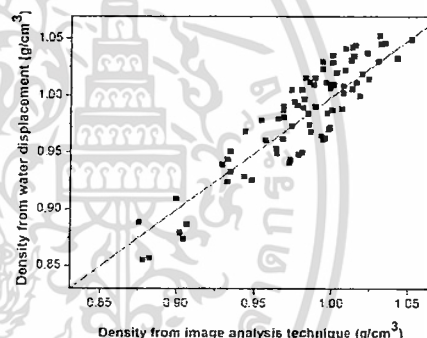


Figure 7. Scatter plot of the density from water displacement method against average density from image analysis after improvement by slope adjustment

IV. CONCLUSION

The comparison between a reference plate and a whole fruit sample could be used to determine the fruit volume using an image analysis technique. This technique could be used for fruit having an irregular shape, calyx and stem. The predicted volume was determined using binary image analysis and then the average density was calculated. A high correlation coefficient and a low standard error of the estimate were obtained from the results of the predictive evaluation. Nevertheless, the precision of the prediction could be improved by slope adjustment of the prediction curve. The study showed that the image analysis procedure was effective for use in an on-line sorting system to evaluate the fruit quality based on the predicted density instead of the traditional floating technique. Therefore, the image analysis technique has potential to be used with fruit having various geometrical attributes and could be applied for an on-line sorting system.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Department of Food Process Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for the use of laboratory and financial support.

REFERENCES

- [1] J. A. Abbott, "Quality measurement of fruits and vegetables," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 15, pp. 207-225, March 1999.
- [2] A. M. Ramos, and A. Ibarz, "Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature," *Journal of Food Engineering*, vol. 35, pp. 57-63, January 1998.
- [3] J. H. Tsen, and V. A. E. King, "Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature," *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp. 305-308, December 2002.
- [4] T. Sugiura, H. Kuroda, D. Ito, and H. Honjo, "Correlations between specific gravity and soluble solids concentration in grape berries," *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, vol. 70, no. 3, pp. 380-384, 2001.
- [5] R. B. Jordan, E. F. Walton, K. U. Klages, and R. J. Seelye, "Postharvest fruit density as an indicator of dry matter and ripened soluble solids of kiwifruit," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 20, pp. 163-173, September 2000.
- [6] V. A. McGlone, R. B. Jordan, R. P. Seelye, and J. Martinsen, "Comparing density and NIR methods for measurement of kiwifruit dry matter and soluble solids content," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 26, no. 2, pp. 191-198, September 2002.
- [7] V. A. McGlone, C. J. Clark, and R. B. Jordan, "Comparing density and VNIR methods for predicting quality parameters of yellow-fleshed kiwifruit (*Actinidia chinensis*)," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 1-9, October 2007.
- [8] K. Kato, "Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon," *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 67, pp. 161-170, June 1997.
- [9] G. P. Moreda, J. Ortiz-Cañavate, F. J. Garcia-Ramos, and M. Ruiz-Alsient, "Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination - a review," *Journal of Food Engineering*, vol. 92, pp. 119-136, May 2009.
- [10] M. B. Osman, and A. R. Milan, *Mangosteen - Garcinia mangostana*, U.K.: Southampton Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, 2006, p. 170.
- [11] S. Teerachaichayut, K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase, and Y. Nakanishi, "Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 43, pp. 202-206, February 2007.
- [12] C. Corrado, F. Antonucci, F. Pallottino, J. Aguzzi, D. W. Sun, and P. Menesatti, "Shape Analysis of agricultural products: A Review of recent research advances and potential application to computer vision," *Food Bioprocess Technology*, vol. 4, pp. 673-692, July 2011.
- [13] F. Lopez-Garcia, G. Andreu-Garcia, J. Blasco, N. Aleixos, and J. Valiente, "Automatic detection of skin defects in citrus fruits using a multivariate image analysis approach," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 71, pp. 189-197, February 2010.
- [14] F. Mendoza, R. Lu, D. Ariana, H. Cen, and B. Bailey, "Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 62, pp. 149-160, May 2011.
- [15] G. A. Leiva-Valenzuela, R. Lu, and J. M. Aguilera, "Assessment of internal quality of blueberries using hyperspectral transmittance and reflectance images with whole spectra or selected wavelengths," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 24, pp. 2-13, March 2014.
- [16] H. Zheng, B. Jiang, and H. Lu, "An adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS) for detection of bruises on Chinese bayberry (*Myrica rubra*) based on fractal dimension and RGB intensity color," *Journal of Food Engineering*, vol. 104, pp. 663-667, February 2011.
- [17] L. Qiang, and T. Mingjie, "Detection of Hidden Bruise on Kiwi fruit Using Hyperspectral Imaging and Parallelepiped Classification," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 12, pp. 1172 - 1179, 2012.
- [18] M. A. Teena, A. Manickavasagan, L. Ravikanth, and D. S. Jayas, "Near infrared (NIR) hyperspectral imaging to classify fungal infected date fruits," *Journal of Stored Products Research*, vol. 59, pp. 306-313, October 2014.
- [19] R. P. Haff, S. Saranwong, W. Thanapase, A. Janhira, S. Kasemsunran, and S. Kawano, "Automatic image analysis and spot classification for detection of fruitfly infestation in hyperspectral images of mangoes," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 86, pp. 23-28, June 2013.
- [20] S. Ercisli, B. Sayinci, M. Kara, C. Yildiz, and I. Ozturk, "Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing," *Scientia Horticulturae*, vol. 133, pp. 47-55, 2012.
- [21] S. Cubero, M. P. Diago, J. Blasco, J. Tardaguila, B. Millan, and N. Aleixos, "A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis," *Biosystems Engineering*, vol. 117, pp. 62-72, 2014.

- [22] V. Mohammadi, K. Kheiralipour, and M. Ghasemi-Varnamkhasi, "Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique," *Scientia Horticulturae*, vol. 184, pp. 123-128, 2015.
- [23] M. Ngouajio, W. Kirk, and R. Goldy, "A simple model for rapid and nondestructive estimation of bell pepper fruit volume," *HortScience*, vol. 38, no. 4, pp. 509-511, July 2003.
- [24] A. Koc, "Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 45, pp. 366-371, September 2007.
- [25] C. K. Walker, and J. F. Panozzo, "Measuring volume and density of a barley grain using ellipsoid approximation from a 2-D digital image," *Journal of Cereal Science*, vol. 55, pp. 61-68, January 2012.
- [26] M. Rashidi, and G. Mohammad, "Determination of kiwifruit volume using ellipsoid approximation and image-processing methods," *International Journal of Agriculture & Biology*, vol. 10, pp. 375-380, 2008.
- [27] M. Omid, M. Khojastehnazhand, and A. Tabatabaeeifar, "Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique," *Journal of Food Engineering*, vol. 100, pp. 315-321, April 2010.
- [28] Y. Palapol, S. Ketsa, D. Stevenson, J. M. Cooney, A. C. Allan, and I. B. Ferguson, "Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit during ripening and after harvest," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 51, pp. 349-353, March 2009.
- [29] N. N. Mohsenin, *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986, p. 841.

Assoc. Prof. Sontisuk Teerachaichayut was born in Nakornnayok, Thailand and received Ph.D. in the field of Postharvest Technology from Kasetsart University, Thailand in 2007. He is a lecturer in Faculty of Agricultural Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalokkrung Road, Ladkrabang Bangkok 10520, Thailand. Some of his published papers were followings:

- S. Teerachaichayut, K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi, "Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 43, no. 2, pp. 202-206, November 2007.
- S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, J. Phnomdom and W. Uamsatianporn, "The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy," *Global Science Books, Fresh Produce*, vol. 3, no. 1, pp. 60-63, May 2009.
- S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and K. Kiji, "Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy," *Journal of Food Engineering*, vol. 106, no. 3, pp. 206-211, October 2011.
- S. Teerachaichayut, S. Suktanarak and S. Kasumsumran, "Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind

using short wavelength near infrared spectroscopy," *Acta Horticulturae (ISHS)*, vol. 1053, pp. 113-119, October 2014.



Wipawee Yokswad lives in Samut Prakan, Thailand. She received bachelor's degree of science from Department of Food Process Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand in 2012.



Picha Charonekad lives in Bangkok, Thailand. She received bachelor's degree of science from Department of Food Process Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand in 2012.

Assoc. Prof. Anupun Terdwongworakul was born in Petchburi, Thailand and received Ph.D. in Agricultural Engineering from Cranfield University, UK in 1995. He is currently a lecturer in Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand. Some of his published papers were as follows:

- P. Kuson and A. Terdwongworakul, "Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement," *Journal of Food Engineering*, vol. 116, no. 1, pp. 50-56, 2013.
- A. Puangsombut, S. Pathaveerat, A. Terdwongworakul and K. Puangsombut, "Evaluation of internal quality of fresh-cut pomeelo using Vis/NIR transmittance," *Journal of Texture Studies*, vol. 43, no. 6, pp. 445-452, 2012.
- A. Terdwongworakul, N. Nakawajana, S. Teerachaichayut and A. Janhuran, "Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance," *Journal of Food Engineering*, vol. 109, no. 1, pp. 114-119, 2012.
- P. Timkhum and A. Terdwongworakul, "Non-destructive classification of durian maturity of 'monthong' cultivar by means of visible spectroscopy of the spine," *Journal of Food Engineering*, vol. 112, no. 4, pp. 263-267, 2012.

Piyamari Jannok is a lecturer in Faculty of Department of Post-harvest and Processing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI), Nakhonratchasima 30000, Thailand. Some of his published papers were as follows:

- P. Jannok, K. Petcharaporn and S. Teerachaichayut, "Detection of Internal Mold Infection in Tomato by Transmittance Near Infrared Spectroscopy," *Acta Horticulturae (ISHS)*, vol. 1053, pp. 93-99, October 2014.
- P. Jannok, S. Ratree, K. Uchida and S. Kawano, "Development of a universal NIR calibration model for determining the Brix value of intact apple, pear and persimmon fruits," in *Proc. the 3rd Asian Near-Infrared Symposium (ANS2012)*, Thailand, 2012, pp. 14-18.

Sofia Velez Fernandes was born on 30 September 1986 in Portugal. She lives in Avenida João Paulo II, 7, 2^oC, 1950-152 Lisbon, Portugal. She received master degree in food engineering from Instituto Superior de Agronomia (ISA)- Universidade Técnica de Lisboa.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.SontisukTeerachaichayut
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1002-01948-41-2
- หน่วยงานที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โทรศัพท์ 02-3298000 ext. 7267 โทรสาร 02-3298627
E-mail :ktsontis@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
ปร.ค.(เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)	2550	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย
วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี)	2537	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยประเทศไทย
วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร)	2529	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย

- ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

5.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :

สนธิสุข ธีระชัยชยติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งชาว โปดออน.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ, น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม, น.ส.วรรณชยา เอี่ยมเสถียรพร.2552.การสร้างโมเดลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมัจจูดจากสเปกตรัมสะท้อนกลับความยาว คลื่นไกลอินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศวรกุล, วารุณี ธนะแพสย.2552.เทคนิคการตรวจสอบเปลือกแข็งในมัจจูดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูคลื่นแสงในย่านไกลอินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศวรกุล, วารุณี ธนะแพสย.2553.เทคนิคการตรวจสอบยางไหลภายในผลมัจจูดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูคลื่นพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงไกลอินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก น.ส.มาลินี รังษี 2553.การทำนายอาการฟ้ามในผลสมแบบไม่ทำลายโดยไซคาทางไฟฟ้า.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแก้ว.

สนธิสุข ธีระชัยชยติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูคลื่นพลังงานแสงในช่วงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยวาคถึนไคถึอินฟราเรดช่วงคถึนสัันแบบทะลู่ผ่าน.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2555. การสัักค่น้ำสัับประดและผลิดเชือเพลิงแข็งชีววมวลจากเปลือกสัับประด.

5.2 ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2535. อุดสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร.วารสารการวิจัยและพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 67-70.

ศรีศัคคี่ ตรังวัชระกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2535. โรงงานนำทางผลิดถัณฑ์น้ำผลไม้ วท.
วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 73-82.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, ค่างรัช สัทธิสั่าอากค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภััทรา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทัับนา
โคก.2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบค่อเนื่องชนิดเคลือบเค็้มสั้าหรับอาหารขบเค็้ม.

โครงการวิจัยที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ.2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง
12(2):39-41.

วารุณี ธนะแพสย์, สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, สุมาพร เกษมสั้าราญ, and Young Kil Kwon.2548. การ
ตรวจสอบคุณภาพภายในของสั้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านไคถึอินฟราเรดในช่วง
คถึนสััน. สัम्मนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศั้วรกุล,สุมาพร เกษมสั้าราญ.2551. การหา
ปริมาณน้ำคาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคถึนไคถึ
อินฟราเรดช่วงคถึนสััน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร39 (3 พิเศษ): 156-159.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศั้วรกุล,สุมาพร เกษมสั้าราญ.2552. การประเมิน
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคถึนไคถึ
อินฟราเรดช่วงคถึนสััน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 55-64.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, อนุพันธ์ เทอดวงศั้วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดมและวรรณชยา เอื้ออมเสถียรพร. 2553.
การทำนายอาการเนือแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการคูดกลืนแสงในช่วงความยาวคถึนไคถึ
อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1 พิเศษ): 385-388.

ขนิษฐา แสงแก้วและสนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, 2553. คุณสมบัตัทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการค
กระทบ.วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, อนุพันธ์เทอดวงศั้วรกุล, วารุณีธนะแพสย์และขนิษฐาแสงแก้ว. 2554. ความเป็นไป
ได้ในการคัคแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี.วารสาร
อุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 3(1): 44-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาหรือปีเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และวารุณี ธนะแพสย์. 2554. ความเป็นไปได้ในการประเมินระดับอาการยางไหลในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (3 พิเศษ): 173-176.
- นารัตระพี นาคะวัจนะ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, สนธิสุข ชีระชัยชยุติ และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2554. การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 123-126.
- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.
- กัญญาพัชร เพชรารภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.
- ศรัณญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแห้งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.
- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, ฐิติพงศ์ ทิพย์แก้ว, ธนภฤต ชูตระกูล และรัชคม ลีลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.
- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556: 194-210.
- ปิยะมาศ จานนอก, อิศยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาถ, อัฐพศ จานนอก, ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.
- Teerachaichayut, S., K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 43. 202–206.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

- Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefuji, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. Proceeding of The First Asian NIR Symposium and The 24th Japanese NIR Forum, 158-159. Tsukuba city, Japan, 10-14 November.
- Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy, 284-285. Hanyang University, Korea, 28-30 June.
- Thanapase, W., S. Kasemsumran, A. Janhiran, S. Teerachaichayut, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2009. Recent collaborative researches between Japan and Thailand on NIR applications for Tropical Fruits. Proceedings of the 25th NIR Forum. 31-35. Japan, 13-15 May.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, J. Phonudom and W. Uamsatianporn. 2009. The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Global Science Books, Fresh Produce 3(1): 60-63.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R. Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. Proceedings of the 2nd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.
- Teerachaichayut, S, W. Thanapase, S. Kasemsumran, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2010. The methods of illumination and scanning for detecting internal disorders and quality of mangosteen by near infrared spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14th international Conference. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. Journal of Food Engineering 106 (2011) 206-211.
- Terdwongworakul, A., N. Nakawajana, S. Teerachaichayut, A. Janhiran. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. Journal of Food Engineering 109: 114-119.

- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul. 2012. Empirical investigation of the optimal fruit presentation in near infrared transmittance for mangosteen quality evaluation. NIR news 23(1):8-18.
- Teerachaichayut, S., K. Petcharaporn and S. Suktanarak. 2012. Calibration model of soluble solids content for Intact Tomato by Transmittance SW-NIR Spectroscopy. Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July, P0122.
- Terdwongworakul A., S. Teerachaichayut, S. Noypitak. 2012. Non-Destructive Classification of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Interactance. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July. C0059.
- Sompong Nandee and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Brix-acid ratio detection for pomegranates using multivariate equation. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 82-86.
- Sineenart Suktanarak and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Detection for Moisture Content of Sweet Tamarind flesh by Transmittance Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 71-75.
- Kanyapat Petcharaporn and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Detection of Undesirable Internal Discoloring of Intact Tomatoes by Non-Destructive, Transmittance VIR-NIR Spectroscopy. International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, 6-7 February. Chiang Mai, Thailand. 82-86.
- Suktanarak, S. and S. Teerachaichayut. 2013. Quantitative Analysis of Total Soluble Solids and Titratable Acidity of Sweet Tamarind by SW-NIRS. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 3, No. 4, 328-331.
- Sukwani, S. and Teerachaichayut, S. 2013. Non-destructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. Acta Hort. (ISHS) 989: 395-399.
- Kaewsaard, S., Kerdpi boon, S., Peuchkamut, Y., Teerachaichayut, S. 2013. Relationships between Physical property, Chemical composition and Marbling Score of Sirloin Beef Steak. 13th

ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability.

Siriporn Kaewsaard, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Srikalong and Soraya Kerdpiboon. Correlation determination between morphology, chemical compositions and physical properties of sirloin beef steak. 2014. The proceedings of 52th Kasetsart university annual conference, Thailand, February 4-7, 201-207.

Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Journal of Advanced Agricultural Technologies, Vol. 1, No.1, 65-68.

Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Proceeding of The 4th International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2014), Bangkok, Thailand, June 9-10, 33-36.

Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. Proceeding of The 4th Asian NIR Symposium, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.

Sontisuk Teerachaichayut, Isayaporn Kanrungrueng, Orawan Thongnak, Oattharod Channok, Panuwat Supprung, Piyamart Jannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR Spectroscopy Based on Specific Gravity. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.

Pattama Supaphon, Soraya Kerdpiboon, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Srikalong, Panadda Nonthanum. 2014. Surface Images and Physical Properties Correlation of Sirloin Steak by Pearson's Correlation And Multiple Linear Regression Analysis. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 593-601.

Jannok, P., Petcharaporn, K. and Teerachaichayut, S. 2014. Detection of internal mold infection in tomato by transmittance near infrared spectroscopy. Acta Hort. (ISHS) 1053:93-99.

Teerachaichayut, S., Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. 2014. Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. Acta Hort. (ISHS) 1053:113-119

Srivichien, S., A. Terdwongworakul, S. Teerachaichayut. 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. Journal of Food Engineering 150: 29-34.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้