

## การประเมินคุณภาพภายในและความบิรุณของมะพร้าวอ่อนน้ำหอมอย่างไม่ทำลายด้วยเทคนิค NIR Nondestructive Assessment of Internal Quality and Maturity of Young Aroma Coconut by NIR Technique

รณฤทธิ์ ฤทธิธ<sup>1,2</sup> ศุทธหทัย โภชนาภรณ์<sup>1</sup> น้ำฝน สามสาลี<sup>1</sup> ชัชญา เกตุเตียน<sup>1</sup> พีรพงษ์ แสงวานงกุล<sup>2,3</sup>  
ยุพิน อ่อนศิริ<sup>3</sup> และ สมนึก ทองบ่อ<sup>3</sup>

Ronnarit Rittiron<sup>1,2</sup>, Suttahatai Pochanagone<sup>1</sup>, Namfon Samsalee<sup>1</sup>, Chatchaya Kettian<sup>1</sup>, Peerapong Sangwanangkul<sup>2,3</sup>,  
Yupin Onsiri<sup>3</sup> and Somnuk Thongbor<sup>3</sup>

### Abstract

There are no measureable values for discrimination of maturity of young aroma coconut fruit and nowadays, internal quality assessment is random checking with destroying samples. Therefore, this research defined the criteria for each maturity stage according to layers of pulp formed. Nondestructive quality evaluation was developed by relationship between internal quality and absorbed energy in near infrared (NIR) region measured by portable NIR spectrometer in interactance mode in the wavelength region of 700-1100 nm.

From the results, it was found the pulp thickness near the stem end was used to define the maturity stage. A calibration equation developed by destructive quality parameters could predict the number of layers of pulp correctly 84.54% of the time. For nondestructive NIR technique, a calibration equation could predict coconut groups according to layers of pulp formed overall correctly 90.21% of ground young coconut fruit. Moreover, calibration equations developed for determination of total soluble solids of juice, dry matter, total oil and total nonstructural carbohydrate of pulp could predict those values rapidly, accurately and nondestructively without significant difference between NIR predicted values and actual values at confidence interval of 95%

**Keywords:** young aroma coconut, near infrared, quality

### บทคัดย่อ

มะพร้าวอ่อนน้ำหอมที่ผลิตเพื่อการจำหน่ายไปยังผู้บริโภคนั้น การกำหนดเกณฑ์คัดแยกความบิรุณของผลมะพร้าว ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว ยังไม่มีค่าเป็นตัวเลขที่สามารถวัดค่าได้ และการตรวจสอบคุณภาพภายในของ มะพร้าวอ่อนน้ำหอมใช้วิธีการสุ่มตรวจสอบแบบทำลายผลผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดเกณฑ์การคัดแยกความ บิรุณขึ้นจากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ นอกจากนี้การวิเคราะห์คุณภาพแบบไม่ทำลายถูกสร้างขึ้นโดยความสัมพันธ์ของ ค่าคุณภาพภายในกับการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดที่วัดได้จากเครื่อง Near Infrared (NIR) spectrometer แบบ พกพา ในระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเกณฑ์การคัดแยกความบิรุณของมะพร้าวอ่อนน้ำหอมจะใช้ความหนาเนื้อ รอบตาใหญ่ ซึ่งผลการตรวจสอบแบบทำลายตัวอย่างพบว่า สมการเทียบมาตรฐานทำนายจำนวนชั้นเนื้อของมะพร้าวมี ความสามารถในการทำนายได้ถูกต้องถึง 84.54% และการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิค NIR พบว่าแบบจำลอง การคัดแยกกลุ่มของมะพร้าวที่แบ่งโดยจำนวนชั้นของเนื้อมีความสามารถทำนายได้ถูกต้อง 90.21% นอกจากนี้สมการเทียบ มาตรฐานวิเคราะห์ค่าความหวานของน้ำมะพร้าว น้ำหนักแห้งของเนื้อ ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ไม่ อยู่ในรูปโครงสร้าง พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ อย่างแม่นยำ รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง

**คำสำคัญ:** มะพร้าวอ่อนน้ำหอม อินฟราเรดย่านใกล้ คุณภาพ

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

<sup>2</sup> Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhonpathom 73140

<sup>3</sup> ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

<sup>2</sup> Postharvest Technology Innovation Center, Commission on higher Education, Bangkok 10400

<sup>3</sup> ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

<sup>3</sup> Postharvest Technology Center, Research and Development Institute at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

## คำนำ

มะพร้าวอ่อนน้ำหอมเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในผู้บริโภคทั้งชาวไทยและต่างประเทศ ด้วยความต้องการของตลาดที่สูงขึ้น การพัฒนาคุณภาพการผลิตเพื่อส่งเสริมให้มะพร้าวอ่อนมีคุณภาพตามที่ต้องการจึงมีความสำคัญมาก แต่ปัจจุบันการจำหน่ายมะพร้าวอ่อนไปยังผู้บริโภคยังไม่มีเกณฑ์กำหนดความบริสุทธิ์ที่แน่นอน การตรวจสอบความบริสุทธิ์ใช้การนับอายุการเก็บเกี่ยว และวิธีการผ่าดูลักษณะความเจริญของเนื้อภายในผล ซึ่งเป็นวิธีการที่กำหนดจากลักษณะทางกายภาพซึ่งต้องอาศัยสายตาและประสบการณ์จึงไม่สามารถวัดค่าได้ ทำให้ผลการประเมินในแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกัน ความบริสุทธิ์ของมะพร้าวอ่อนจึงไม่มีความสม่ำเสมอ การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายผลผลิตด้วยเทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่แก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเกณฑ์กำหนดความบริสุทธิ์ของมะพร้าวอ่อน สร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวอ่อน และสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าคุณภาพภายในของมะพร้าวอ่อนโดยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลผลิต ด้วยเทคนิค NIR กับมะพร้าวอ่อนที่มีรูปแบบการตัดแต่งในลักษณะมะพร้าวเจีย เนื่องจากการตัดแต่งลักษณะแบบนี้มะพร้าวจะมีขนาดเล็กและสามารถบรรจุในภาชนะเพื่อการส่งออกได้ปริมาณมากกว่าการตัดแต่งมะพร้าวในลักษณะควั่น หรือมะพร้าวอ่อนทะเลลาย

## อุปกรณ์และวิธีการ

นำมะพร้าวอ่อนเจียจำนวน 172 ผล มาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพารุ่น FQA-NIRGUN ในช่วงความยาวคลื่น 700-1000 nm ที่บริเวณตาใหญ่ กลางผล และท้ายผล จากนั้นนำมะพร้าวอ่อนมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพประกอบด้วย จำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว (มกช. ,2550) ความหนาของเนื้อมะพร้าวบริเวณตาใหญ่และกลางผลโดยเครื่องเวอร์เนียดิจิตอล (Mitutoyo, Japan) การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีประกอบด้วย น้ำหนักแห้งของเปลือกและของเนื้อโดยตูบอบลมร้อน (IKAMAG, Germany) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำมะพร้าวโดยเครื่อง Digital Brix Refractometer (Atago, Japan) ปริมาณน้ำมันโดย Soxhlet extraction (VELP Scientifica, USA) และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้างโดยวิธีของ Nelson (Hodge and Hofreiter, 1962) จากนั้นนำค่าคุณภาพเหล่านี้มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนชั้นเนื้อของมะพร้าวเพื่อกำหนดเกณฑ์ความบริสุทธิ์ การสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวอ่อน และสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าคุณภาพภายในของมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Multiple Linear Regression Discriminant Analysis (MLR-DA) โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่มคือ Calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐาน และ Validation set ใช้สำหรับทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยอาศัยโปรแกรม CA Maker

## ผล

### 1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าคุณภาพกับจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว

การวิเคราะห์ Pearson Correlation โดยอาศัยโปรแกรม SPSS ระหว่างจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวกับค่าคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ความหนาของเนื้อบริเวณตาใหญ่ ความหนาของเนื้อกลางผล น้ำหนักแห้งของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำมัน และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้าง พบว่าจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับความหนาของเนื้อบริเวณตาใหญ่ ด้วยค่า Correlation coefficient (R) = 0.965 รองลงมาคือความหนากลางผลที่มีค่า R = 0.837 และความหนาบบริเวณตาใหญ่กับกลางผลมีความสัมพันธ์กันด้วยค่า R = 0.870 ดังนั้นจึงใช้ความหนาบบริเวณตาใหญ่ในการสร้างเกณฑ์กำหนดจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว ซึ่งสอดคล้องกับ มกช. ที่กำหนดจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวตามลักษณะของเนื้อมะพร้าวบริเวณตาผล

### 2. กำหนดเกณฑ์ในการคัดแยกจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว

ค่าความหนาของเนื้อรอบตาใหญ่ในแต่ละชั้นของเนื้อมะพร้าว ที่ประเมินจำนวนชั้นด้วยสายตา แสดงดัง Table 1 พบว่าความหนาของเนื้อมะพร้าวบริเวณตาใหญ่กับจำนวนชั้นของเนื้อในแต่ละชั้นมีการซ้อนทับกัน เนื่องจากความผิดพลาดจากการใช้สายตาดูลักษณะทางกายภาพของเนื้อ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลใหม่ โดยอาศัยค่าทางสถิติและฮิสโตแกรม เพื่อปรับค่าความหนาให้เหมาะสมกับจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวในแต่ละชั้นที่กำหนดขึ้น แสดงดัง Table 2

Table 1 Pulp thickness near the stem end in each layer of pulp (evaluated by eyesight)

Pulp thickness near the stem end (mm)	Number of layers of pulp					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Maximum	2.19	3.23	5.08	6.92	8.21	8.98
Minimum	0.24	1.27	1.34	2.69	2.80	3.67
Average	1.31	2.14	2.93	4.29	5.25	5.89
Standard deviation	0.50	0.39	0.70	0.83	1.01	1.04

Table 2 Criterion development of pulp thickness near the stem end in each layer of pulp.

Number of layers of pulp	Pulp thickness near the stem end (mm)	Number of layers of pulp	Pulp thickness near the stem end (mm)
0.5	thickness < 1.75	2	3.75 ≤ thickness < 5.25
1	1.75 ≤ thickness < 2.75	2.5	5.25 ≤ thickness < 6.25
1.5	2.75 ≤ thickness < 3.75	3	thickness ≥ 6.25

เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาบริเวณตาใหญ่กับจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว ได้สมการเทียบมาตรฐานทำนายจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว ที่มีความสามารถในการทำนายได้ถูกต้อง 85.07% สำหรับกลุ่ม Calibration และ 84.54% สำหรับกลุ่ม Validation แสดงดังสมการที่ 1

$$\text{Level} = 0.138 + 0.407X_{\text{thickness E}} \tag{1}$$

โดย Level คือจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว  $X_{\text{thickness E}}$  คือความหนาของเนื้อรอบตาผล (มม.)

### 3. การสร้างแบบจำลองการตัดแยกกลุ่มจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวน้ำหอมด้วยเทคนิค NIR

กำหนดกลุ่มตัวอย่างมะพร้าวน้ำหอมเป็น 2 กลุ่มตามจำนวนชั้นของเนื้อ ได้แก่ มะพร้าวที่มีจำนวนชั้น 0.5 ถึง 1 ชั้น กำหนดให้เป็นตัวอย่างกลุ่ม 0 และมะพร้าวที่มีจำนวนชั้น 1.5 ถึง 3 ชั้น กำหนดให้เป็นตัวอย่างกลุ่ม 1 จากแบบจำลองการตัดแยกจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าว พบว่าตำแหน่งที่วัดสเปกตรัมบริเวณท้ายผลมีความแม่นยำที่สุด ด้วยความสามารถการทำนายสำหรับ Calibration set ตัวอย่างกลุ่ม 0 ทำนายถูกต้อง 90 % กลุ่ม 1 ทำนายถูกต้อง 100 % ความถูกต้องรวม 95 % และ Validation ตัวอย่างกลุ่ม 0 ทำนายถูกต้อง 92.31 % กลุ่ม 1 ทำนายถูกต้อง 88.10 % ความถูกต้องรวม 90.21 % แสดงดัง

Figure 1

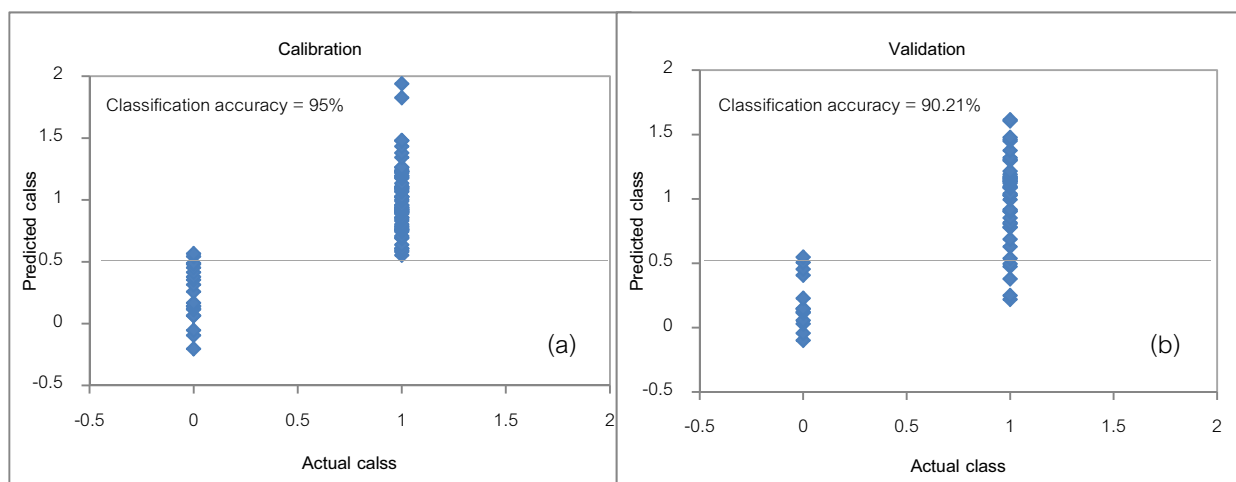


Figure 1 Classification plots of actual and predicted class for discriminant model of young aroma coconut group for (a) calibration set and (b) validation set.

#### 4. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าคุณภาพภายในของมะพร้าวด้วยเทคนิค NIR

สมการเทียบมาตรฐานทำนายคุณภาพภายในของมะพร้าวน้ำหอม สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพที่วิเคราะห์ได้จากวิธีทางเคมีและค่าการดูดกลืนพลังงานย่าน NIR บริเวณทำผลมะพร้าว แสดงดัง Table 3 พบว่าค่าที่ได้จากเทคนิค NIR ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

Table 3 Results of calibration equations for determination of internal quality in young aroma coconut.

Internal quality	Internal quality		calibration						validation		
	R	SEC	Wavelength (nm)						R	SEP	Bias
			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>			
Total soluble solids (Brix)	0.67	0.39	708	784	864	940	992	-	0.65	0.36	0.08
Dry matter (%)	0.88	0.78	708	780	824	868	908	-	0.86	0.89	0.02
Total oil (%)	0.86	7.07	740	756	864	896	960	-	0.86	6.82	-1.09
Total nonstructural carbohydrate (g. D-glucose/g. dry matter)	0.83	0.07	736	824	876	892	916	972	0.81	0.09	-0.00

A<sub>x</sub>: Absorbance at wavelength x nm

#### วิจารณ์ผล

จากการวิเคราะห์ Pearson Correlation พบว่าจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวมีความสัมพันธ์สูงสุดกับความหนาของเนื้อมะพร้าวบริเวณตาใหญ่ เกณฑ์กำหนดความบริสุทธิ์ของมะพร้าวจึงสร้างจากความหนาของเนื้อบริเวณตาใหญ่ นอกจากนี้จะเห็นว่า ความหนาบริเวณตาใหญ่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับความหนากลางผล เนื่องจากการพัฒนาของผลมะพร้าวจะเริ่มสร้างเนื้อเป็นวุ้นบางๆ บริเวณทำผลและพัฒนาไปจนถึงขั้วผลหรือบริเวณตาผล (พานิชย์, 2544)

การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยการสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มจำนวนชั้นของเนื้อมะพร้าวด้วยเทคนิค NIR มีการแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่ม 0 เป็นกลุ่มที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่ำกว่ามาตรฐานของ มกอช. ส่วนกลุ่ม 1 เป็นกลุ่มที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเหมาะสมสำหรับมะพร้าวเจีย และตำแหน่งที่วัดสเปกตรัมบริเวณทำผลมีความแม่นยำมากกว่าบริเวณตาใหญ่ เนื่องจากผิวของกะลาบริเวณตาใหญ่จะไม่เรียบและมีความหนาแน่นที่สุด ทำให้น้ำมะพร้าวซึมออกมาภายนอกบริเวณค่าการดูดกลืนที่แท้จริงของตัวอย่าง สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าคุณภาพภายในของมะพร้าว พบตัวแปรที่มีความสำคัญในสมการทำนายคุณภาพภายในต่างๆ ได้แก่ สมการทำนายความหวานที่การดูดกลืน 992 nm ตรงกับการดูดกลืนของน้ำตาลซูโครส สมการทำนายน้ำหนักแห้งของเนื้อที่การดูดกลืน 908 nm สอดคล้องกับการดูดกลืนของ CH<sub>3</sub> ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างของ Starch สมการทำนายปริมาณน้ำมันที่การดูดกลืน 756 nm ตรงกับการดูดกลืนของน้ำมัน สมการทำนายคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้างที่การดูดกลืน 892 และ 972 nm ตรงกับการดูดกลืนของ starch และน้ำตาลซูโครส และฟรุกโตส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า R ของสมการต่างๆ พบว่าสมการทำนายความหวานมีค่า R น้อยที่สุด เนื่องจากมีช่วงข้อมูลของค่าทางเคมีแคบ จึงส่งผลให้ค่า R มีค่าน้อย อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากสมการเทียบมาตรฐานทำนายคุณภาพภายในของมะพร้าวทุกสมการ ไม่แตกต่างกับค่าจริงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### สรุป

การกำหนดเกณฑ์การคัดแยกความบริสุทธิ์ของมะพร้าวน้ำหอมจะใช้ความหนาเนื้อรอบตาใหญ่ ผลการสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มของมะพร้าวที่แบ่งโดยจำนวนชั้นของเนื้อมีความสามารถทำนายได้ถูกต้อง 90.21% และสมการเทียบมาตรฐานวิเคราะห์คุณภาพภายในของมะพร้าว พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย และมูลนิธิโครงการหลวงที่อนุเคราะห์เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา

#### เอกสารอ้างอิง

- พานิชย์ ยศปัญญา. 2544. มะพร้าวพืชสารพัดประโยชน์. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ. 41 หน้า.สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2550. มะพร้าวน้ำหอม. มกอช. 15 เล่ม 125 ตอนพิเศษ 3 ง
- Hodge, J.E. and B.T. Hofreiter. 1962. Determination of reducing sugar and carbohydrate. Methods in carbohydrate chemistry. Academic Press. USA. 380-394 pp.