การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในแป้งกล้วย เพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพ

A Study of Potassium and Magnesium in Banana Flour for Substituting Wheat Flour in Healthy Cookie Product

สุวนันท์ ยอดสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในแป้งกล้วย เพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพ

สุวนันท์ ยอดสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในแป้งกล้วยเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพ

A Study of Potassium and Magnesium in Banana Flour for Substituting Wheat Flour in Healthy Cookie Product

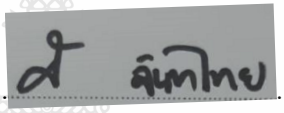
ชื่อ – นามสกุล นางสาวสุวนันท์ ยอดสาร

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.

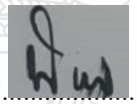
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



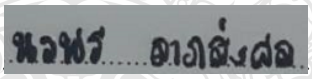
.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีนวล จันทไทย, Dr.nat.techn.)



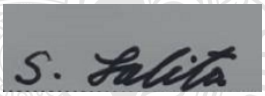
.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์ชนก นันทะไชย, ปร.ด.)



.....กรรมการ

(อาจารย์นวพร ลาภส่งผล, วท.ด.)



.....กรรมการ

(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)

วันที่ 8 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในแป้งกล้วยเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพ
ชื่อ – นามสกุล นางสาวสุวนันท์ ยอดสาร
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และปริมาณแทนนิน ในแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 2) เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งต่อคุณสมบัติของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก และ 3) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพจากแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนิน ของแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก โดยทำการวิเคราะห์ความสุกของกล้วยทั้งหมด 3 ระยะ ดังนี้ ระยะที่ 1เปลือกมีสีเขียว ผลแข็ง (ไม่มีการสุก) ระยะที่ 2 บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลือง และ ระยะที่ 3 บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลือง เลือกระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองที่มีปริมาณสาระสำคัญมากที่สุดไปศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมต่อการทำแป้งกล้วย ด้วยการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยอบในตู้อบลมร้อน (ที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส) และ การทำแห้งด้วยการตากแดด จากนั้นเลือกวิธีการทำแห้งที่ให้แป้งกล้วยที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดไปผลิตแป้งกล้วย และนำไปทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยทดแทนแป้งสาลีในสูตรคุกกี้ ทั้งหมด5 สิ่งทดลอง (สิ่งทดลองที่ 1 สูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%), สิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยน้ำว้า 100%, สิ่งทดลองที่ 3 แป้งกล้วยน้ำว้า 50%,สิ่งทดลองที่ 4 แป้งกล้วยหอมทอง 100% และสิ่งทดลองที่ 5 แป้งกล้วยหอมทอง 50%) เปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญระหว่างผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือกทั้ง 5 สิ่งทดลอง (สูตร)และทดสอบความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ จำนวน 100 คน

จากผลการศึกษา พบว่า ระยะการสุกของกล้วยมีผลต่อปริมาณสาระสำคัญในแป้งกล้วยพร้อมเปลือก ซึ่งกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองระยะที่ 1 (เปลือกมีสีเขียว ผลแข็ง) มีปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนิน สูงกว่าระยะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาสภาวะการทำแห้ง 2 วิธี พบว่า การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 8 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยการตากแดดใช้เวลา 16 ชั่วโมง ในการลดปริมาณความชื้นของกล้วยพร้อมเปลือกให้อยู่ในช่วง 13-14% และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.55-0.60 จากผลการทดลองจึงเลือกวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไปใช้ในการผลิตแป้งกล้วย

พร้อมเปลือก และนำไปทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ จากผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของคุกกี้ทั้ง 5 สิ่งทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 (แป้งกล้วยน้ำว้า 100%) และสิ่งทดลองที่ 4 (แป้งกล้วยหอมทอง 100%) มีปริมาณสารโพแทสเซียม แมกนีเซียม และเส้นใยอาหาร มากกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี) นอกจากนี้ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับในคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้า 100% มากที่สุด จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าทั้งแป้งกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก สามารถนำมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้อาจจะเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วย และการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ: กล้วย โพแทสเซียม แมกนีเซียม แทนนิน คุกกี้

Thesis Title	A Study of Potassium and Magnesium in Banana Flour for Substituting Wheat Flour in Healthy Cookie Product
Name – Surname	Miss Suwanan Yodsarn
Program	Food Technology
Thesis Advisor	Miss Lalita Siriwattananon, Ph.D.
Academic Year	2019

ABSTRACT

The objectives of this study were to: 1) analyze the proportion of potassium, magnesium and tannin in Kluai Namwa and Kluai Homthong flour with peels, 2) investigate impacts of drying methods on the qualities of Kluai Namwa and Kluai Homthong flour with peels and 3) develop a new healthy cookie product from both kinds of flour.

According to an analytical study on potassium, magnesium and tannin in Kluai Namwa and Kluai Homthong flour with peels, bananas were carried out with 3 phases of ripeness as follows: in the first phase, they were unripe (green peel); in the second phase, they were naturally ripened (yellow peel); and in the third phase, they were ripened by acetylene gas (yellow peel). The preferred ripeness phase with the highest proportion of potassium, magnesium and tannin was selected to study the drying method which was suitable for making banana flour. Two drying methods, which were hot air oven drying (at 60 degree Celsius) and sunlight drying. Then, the drying method providing the best qualities of the flour was used to produce the banana flour. Then, it would be substituted wheat flour in the healthy cookie product. Cookies were made from five different substitutions as the followings: the control sample 1 (100% of wheat flour), sample 2 (100% of Kluai Namwa flour), sample 3 (50% of Kluai Namwa flour), sample 4 (100% of Kluai Homthong flour) and sample 5 (50% of Kluai Homthong flour. The qualities of five different samples of cookies were analyzed to compare the amount of potassium, magnesium and tannin as well as do the sensory evaluation tests for the different samples with 100 participants.

The study results showed that the differences of the ripeness phases affected contents in the banana flour. The first phase of Kluai Namwa and Kluai Homthong (unripe and

green peel) had higher proportion of potassium, magnesium and tannin in the banana flour than other phases with statistical significance ($p \leq 0.05$). Furthermore, the results from studying on the two drying methods indicated that using the hot air oven drying was more efficient than the sun drying method. The hot air oven drying (at 60 degree Celsius) was able to reduce water content to approximately 13-14% and water activity to approximately 0.55-0.60 within 8 hours; meanwhile, the sun drying method took approximately 16 hours to reach the properties needed. According to the results, the hot air oven drying method was selected for producing the banana flour substituted for wheat flour in the cookies. From the development of the cookies and sensory evaluation towards the five different samples, the results showed that the sample 2 (100% of Kluai Namwa flour); and the sample 4 (100% of Kluai Homthong flour) had higher amounts of potassium, magnesium and fiber than the control one (wheat flour). In addition, the results of sensory evaluation test with the 100 participants showed that they accepted the cookies substituted by 100% of Kluai Namwa flour (sample 2) the most. In conclusion, using Kluai Namwa flour (sample 2); and Kluai Homthong flour (sample 4) could be substitutions for wheat flour substitution in the cookies to increase the nutrient levels of the products. Additionally, the results of this study could be a value-added alternative to bananas and develop further healthy products.

Keywords: banana, potassium, magnesium, tannin, cookie

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษา วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ ดร.ลลิตา ศิริวัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทุนการดำเนินงานวิจัย และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีนวล จันทไทย ประธานกรรมการสอบ และกรรมการสอบผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันท์ชนก นันทะไชย และ ดร.นวพร ลาภส่งผล ที่ได้ให้ความกรุณา ในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณบุคลากร และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เสียสละเวลาในการตอบแบบสอบถาม

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง เพื่อนที่แสนดีและคุณครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานค้นคว้าฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหากการศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุวนันท์ ยอดสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(17)
บทที่ 1 บทนำ	19
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	19
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	20
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	20
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	21
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	21
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.1 กล้วย	22
2.2 เปลือกกล้วย	39
2.3 สารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการของกล้วย	42
2.4 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	48
2.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนิน	50
2.6 เอทิลีน (Ethylene)	52
2.7 การบ่มผลไม้	58
2.8 การทำแห้ง	64
2.9 แป้งกล้วย	67
2.10 ผลิตภัณฑ์คุกกี้	69
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	71
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วิธีการทดลอง	72
3.3 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือก	79
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	79
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	80
4.1 ผลการศึกษากระบวนการบ่มต่อคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี	80
4.2 ผลการศึกษาสภาวะการทำแห้ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของแป้งกล้วยพร้อมเปลือก	88
4.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสาระสำคัญของแป้งกล้วยดิบพร้อมเปลือก	91
4.4 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือก	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	103
5.1 สรุปผลการวิจัย	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	105
บรรณานุกรม	106
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก แบบสอบถาม	119
ภาคผนวก ข วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	121
ภาคผนวก ค วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	127
ภาคผนวก ง วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	136
ประวัติผู้เขียน	158

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของกล้วยในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 36

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินต่างๆของกล้วยชนิดต่างๆในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 37

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเกลือแร่ของกล้วยชนิดต่างๆในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 37

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ แสดงการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่างๆของกล้วย (หน่วย: ร้อยละ) 38

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลโภชนาการคุกกี้ 70

ตารางที่ 3.1 สูตรคุกกี้เนยสดทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยทั้ง 2 ชนิด 78

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองด้วยวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน 82

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 83

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 84

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 85

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 86

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 87

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 89

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสี และปริมาณน้ำอิสระของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 92

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม ปริมาณแทนนิน ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 94
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองที่มีระยะการสุกที่แตกต่างกัน 95
ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 97
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 97
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 98
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 100
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 101
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมดิบทองพร้อมเปลือก 102
ตารางผนวกที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแทนนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นำโนเมตร 133
ตารางผนวกที่ ง.1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 137
ตารางผนวกที่ ง.2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 137
ตารางผนวกที่ ง.3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 137

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ง.4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 138

ตารางผนวกที่ ง.5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 138

ตารางผนวกที่ ง.6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 138

ตารางผนวกที่ ง.7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแน่นเนื้อของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 139

ตารางผนวกที่ ง.8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแน่นเนื้อของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 139

ตารางผนวกที่ ง.9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 139

ตารางผนวกที่ ง.10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 140

ตารางผนวกที่ ง.11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 140

ตารางผนวกที่ ง.12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 140

ตารางผนวกที่ ง.13 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 141

ตารางผนวกที่ ง.14 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 141

ตารางผนวกที่ ง.15 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 141

ตารางผนวกที่ ง.16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 142

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ง.17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 142
ตารางผนวกที่ ง.18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 142
ตารางผนวกที่ ง.19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 143
ตารางผนวกที่ ง.20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 143
ตารางผนวกที่ ง.21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 143
ตารางผนวกที่ ง.22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 144
ตารางผนวกที่ ง.23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 144
ตารางผนวกที่ ง.24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 144
ตารางผนวกที่ ง.25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 145
ตารางผนวกที่ ง.26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 145
ตารางผนวกที่ ง.27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 145
ตารางผนวกที่ ง.28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 146
ตารางผนวกที่ ง.29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอะไมโลสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 146

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ง.30 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอะไมโลสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 146

ตารางผนวกที่ ง.31 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณกลูโคสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน 147

ตารางผนวกที่ ง.32 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณกลูโคสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน 147

ตารางผนวกที่ ง.33 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 147

ตารางผนวกที่ ง.34 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 148

ตารางผนวกที่ ง.35 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 148

ตารางผนวกที่ ง.36 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 148

ตารางผนวกที่ ง.37 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 149

ตารางผนวกที่ ง.38 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ 149

ตารางผนวกที่ ง.39 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 149

ตารางผนวกที่ ง.40 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 150

ตารางผนวกที่ ง.41 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 150

ตารางผนวกที่ ง.42 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 150

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ง.43 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 151

ตารางผนวกที่ ง.44 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการแตกหักในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 151

ตารางผนวกที่ ง.45 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความกรอบในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 151

ตารางผนวกที่ ง.46 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 152

ตารางผนวกที่ ง.47 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 152

ตารางผนวกที่ ง.48 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 152

ตารางผนวกที่ ง.49 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 153

ตารางผนวกที่ ง.50 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 153

ตารางผนวกที่ ง.51 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 153

ตารางผนวกที่ ง.52 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 154

ตารางผนวกที่ ง.53 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 154

ตารางผนวกที่ ง.54 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 154

ตารางผนวกที่ ง.55 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 155

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ง.56 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสสีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 155
ตารางผนวกที่ ง.57 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสกลิ่นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 156
ตารางผนวกที่ ง.58 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสรสชาติในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 156
ตารางผนวกที่ ง.59 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 157
ตารางผนวกที่ ง.60 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก 157

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหง้ากล้วย (A) และใบธงของกล้วย (B) 24

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของหัวปลี(A) และผลของกล้วย (B) 24

ภาพที่ 2.3 กล้วยน้ำว้า เป็นกล้วยที่นิยมปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศไทย 27

ภาพที่ 2.4 แหล่งปลูกกล้วยไข่ที่สำคัญของประเทศไทยคือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง 28

ภาพที่ 2.5 แหล่งปลูกกล้วยหอมที่สำคัญของประเทศไทยคือ ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี 29

ภาพที่ 2.6 ระยะการสุกของผลกล้วย 32

ภาพที่ 2.7 ส่วนกล้วยที่มีความแตกต่างกัน 33

ภาพที่ 2.8 กล้วยน้ำว้า 33

ภาพที่ 2.9 กล้วยหอม 35

ภาพที่ 2.10 เปลือกกล้วย 39

ภาพที่ 2.11 โครงสร้างเซลลูโลส 41

ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของแทนนิน 43

ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (แกลโลแทนนิน) 44

ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน 45

ภาพที่ 2.15 โครงสร้างทางเคมีของกรดแทนนิก 47

ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของเอทิลีน 53

ภาพที่ 2.17 ลักษณะ triple response ของต้นกล้า 54

ภาพที่ 2.18 การเจริญของต้นกล้าหลบสิ่งกีดขวางใต้ดิน 55

ภาพที่ 2.19 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้บ่มสุก 56

ภาพที่ 2.20 อัตราการหายใจของผลไม้บ่มไม่สุก 57

ภาพที่ 3.1 ระยะการสุกของกล้วย 72

ภาพที่ 3.2 ถ่านแก๊สอะเซทิลีน 72

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) 74

ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์คุกกี้ 78

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนสีเปลือกกล้วย 81

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการตากแดด (a) และกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการอบแห้ง (b) 90

ภาพที่ 4.3 กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกก่อนอบแห้ง (a) และแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก (b) 95

ภาพที่ 4.4 คุกกี้สูตรควบคุม (Control), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ 100% (a), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยหอมทองดิบ 100% (b), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ 50% + แป้งสาลี 50% (c), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยหอมทองดิบ 50% + แป้งสาลี 50% (d) 96

ภาพผนวกที่ ข1 แสดงการบ่มแก๊สอะซิทีลีนของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองในภาชนะปิดสนิท 122

ภาพผนวกที่ ข2 แสดงการวัดค่าสีเปลือก และเนื้อของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง 123

ภาพผนวกที่ ข3 แสดงการวัดความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง โดยเครื่อง Fruit Pressure Tester 124

ภาพผนวกที่ ข4 แสดงการวัดปริมาณน้ำอิสระของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (Aqua Lab Model : Series 4 TE) 125

ภาพผนวกที่ ข5 แสดงการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile) ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าการแตกหัก (Fracturability) และค่าความกรอบ (Crispness) 126

ภาพผนวกที่ ค.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) 131

ภาพผนวกที่ ค.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิกจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร 133

ภาพผนวกที่ ค.3 กราฟมาตรฐานของกลูโคสจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร 134

ภาพผนวกที่ ค.4 กราฟมาตรฐานของอะไมโลสจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร 135

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าสนใจ เป็นพืชที่ปลูกง่ายในทุกภาคของประเทศ เติบโตเร็ว ให้ผลตลอดปี ผลกล้วยเหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย ตั้งแต่ทารกจนถึงวัยชรา เพราะเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร ในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นอาหารทั้งคาวและหวาน ส่วนอื่นๆของกล้วยยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น ไอโอดีน แมกนีเซียม เหล็ก และโพแทสเซียม [1] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม แทนนิน องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแป้งกล้วย และหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย เพื่อต่อยอดสู่การนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยการคัดเลือกนำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมมาทำการศึกษา เนื่องจากกล้วยหอมเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่ากล้วยสายพันธ์อื่นๆ ส่วนกล้วยน้ำว้ามีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่ากล้วยสายพันธ์อื่นๆ เช่นกัน [2] ซึ่งโพแทสเซียมเป็นแร่ธาตุที่ช่วยลดความดันเลือดและช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ และมีหน้าที่ควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ ลดความเสี่ยงจากอาการเส้นเลือดตีบตันในสมอง และแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุที่ช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอล ป้องกันการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ ช่วยทำให้หลอดเลือดและหัวใจแข็งแรง ช่วยป้องกันโรคหัวใจเฉียบพลัน ช่วยบรรเทาอาการอาหารไม่ย่อยในกระเพาะ และช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุนได้ [1]

ในปัจจุบันมีเปลือกกล้วยที่เหลือใช้จากการบริโภคสดในปริมาณมาก เพื่อเป็นการลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ จึงมีการศึกษาแป้งกล้วยพร้อมเปลือก ซึ่ง Poltanov EA et al. (2009) ได้กล่าวว่า แทนนินที่สกัดจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกกล้วย ผลไม้ที่มีแทนนินสูง พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เป็นสมุนไพรรักษาอาการอักเสบติดเชื้อของเนื้อเยื่อและรักษาอาการท้องร่วง [3] และเนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น เน่าเสียง่าย การศึกษาสภาวะความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยให้อยู่ในรูปของแป้งกล้วย จึงเป็นการลดปริมาณน้ำในกล้วย เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา ยีสต์ แบคทีเรีย ที่เป็นสาเหตุให้กล้วยเสื่อมเสีย ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค และนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ และการนำกล้วยไป

แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น การทำกล้วยฉาบ กล้วยเชื่อม กล้วยตาก กล้วยอบ เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปส่วนใหญ่จะเป็นการแปรรูปด้วยหลักการถนอมอาหารแบบต่างๆ เท่านั้น [4] งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม และแมกนีเซียมจากแป้งกล้วยพร้อมเปลือกที่ระยะที่มีปริมาณมากที่สุด รวมถึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คุกกี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนินในแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งต่อคุณสมบัติของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

1.2.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อสุขภาพจากแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษากล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง จากตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยการทำแห้งจากผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก โดยศึกษาดัชนีระยะความสุกแบ่งเป็น 3 ระยะการสุก โดยมีกล้วยดิบ (ระยะที่ 1 เปลือกสีเขียวเข้ม) กล้วยสุกแบบธรรมชาติ และสุกแบบบ่มถ่านแก๊สอะซิทิลีน (ระยะที่ 6 เปลือกสีเหลือง) วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนิน คุณภาพทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี

1.3.2 ศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมพร้อมเปลือกด้วยวิธีการใช้เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) และการตากแดด (Sundry) โดยทำการวัดความชื้นทุกๆ 1 ชั่วโมง จนมีค่าความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์

1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมพร้อมเปลือกรวมถึงศึกษาปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนินในแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิด

1.3.4 พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมพร้อมเปลือกที่มีปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนินมากที่สุด เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย ตั้งแต่ทารกจนถึงวัยชรา เพราะเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร ในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นอาหารทั้งคาว และหวาน ส่วนอื่นๆ ของกล้วยยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุหลายชนิด เช่น ไอโอดีน แมกนีเซียม เหล็ก และโพแทสเซียม [1] โดยกล้วยหอมมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่ากล้วยสายพันธุ์อื่นๆ ส่วนกล้วยน้ำว้ามีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่ากล้วยสายพันธุ์อื่นๆ [2] และเปลือกกล้วยมีปริมาณแทนนิน ที่ช่วยรักษาอาการอักเสบติดเชื้อของเนื้อเยื่อ และรักษาอาการท้องร่วง [3] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษากล้วยทั้ง 2 ชนิด คือ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง นำมาทำแป้งกล้วยพร้อมเปลือก และทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญโพแทสเซียม และแมกนีเซียมในแป้งกล้วยพร้อมเปลือกทั้ง 2 ชนิด โดยเปรียบเทียบระยะการสุก และการทำแห้งของกล้วยที่มีผลต่อปริมาณสาระสำคัญของแป้งกล้วยพร้อมเปลือกทั้ง 2 ชนิด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกสามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่างๆได้

1.5.2 สามารถลดส่วนเหลือใช้จากเปลือกกล้วยและสามารถเปลี่ยนเป็นมูลค่าได้

1.5.3 สร้างองค์ความรู้ใหม่จากงานวิจัยและสามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการหรือวารสารวิจัยในระดับชาติหรือนานาชาติ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่คนไทยรู้จัก และนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นพืชปลูกง่ายให้ผลผลิตเร็ว และสามารถนำทุกส่วนของกล้วยมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ใบ กาบ หัวปลี และผล [5] สามารถปลูก และมีการเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ทั่วภูมิภาคของประเทศ และให้ผลผลิตตลอดทั้งปี ปริมาณการปลูกกล้วยของประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 3 ของทวีปเอเชีย ซึ่งมีปริมาณการส่งออกต่างประเทศจนติดอันดับโลก ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 866,410 ไร่เป็นพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ 74,225 ไร่ กล้วยหอม 105,248 ไร่ และกล้วยน้ำว้า 686,937ไร่ มูลค่าการส่งออกกล้วย 35,266 ตัน มูลค่า 799.83 ล้านบาท เป็นการส่งออกกล้วยไข่ 27,155 ตัน มูลค่า 290.46 ล้านบาท กล้วยหอม 3,297 ตัน มูลค่า 99.17 ล้านบาท กล้วยอื่นๆ (ทั้งผลสด และแปรรูป 4,814 ตัน มูลค่า 410.20 ล้านบาท) [6]

กล้วย (*Musa spp.*) เป็นผลไม้เขตร้อนในวงศ์ Musaceae เป็นพืชเมืองร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีป เอเชีย โดยเฉพาะเอเชียตอนใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ เป็นอาหารชนิดแรกๆ ของมนุษย์ เป็นผลไม้เก่าแก่พอๆ กับข้าว เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ปลูกง่าย และใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่ใช้เป็นอาหาร ใช้ทำเครื่องมือ เครื่องใช้ เป็นเส้นใยสิ่งทอ เป็นสมุนไพร และอุปกรณ์ทางการแพทย์ กล้วยชอบอากาศร้อนชื้น มักพบกล้วยพื้นเมืองที่ทั้งที่มีเมล็ด และไม่มีเมล็ด ปลูกกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปแบบปล่อยปละละเลยเสมือนพืชป่า ไม่มีการดูแลเหมือนพืชปลูก [7] ประเทศไทยเป็นแหล่งพันธุกรรมกล้วยหลากหลายชนิด จึงมีกล้วยป่า และกล้วยปลูกอยู่ทั่วไปนับเฉพาะกล้วยกินได้ไม่รวมกล้วยป่า อาจมีมากกว่า 50 ชนิด ที่รู้จักแพร่หลาย เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยหักมุก กล้วยเล็บมือนาง ส่วนกล้วยชนิดอื่นๆ อาจเป็นที่รู้จักเฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น เช่น กล้วยนางพญา กล้วยหิน กล้วยสา กล้วยไล ทางภาคใต้กล้วยนมสาว กล้วยหอมกะเหรี่ยง ทางภาคตะวันตก กล้วยหอมทองสั้น กล้วยนวล ทางภาคอีสาน หรือกล้วยน้ำนม กล้วยหอมจันทร์ ทางภาคเหนือ เป็นต้น

กล้วยเป็นไม้ผลที่คนไทยรู้จักกันมานาน เนื่องจากกล้วยมีถิ่นกำเนิดในเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในภูมิภาคดังกล่าว จากการศึกษาพบว่า กล้วยมีวิวัฒนาการถึง 50 ล้านปีมาแล้ว ดังนั้นจึงเป็นไม้ผลที่มนุษย์รู้จักบริโภคเป็นอาหารกันอย่างแพร่หลาย เชื่อกันว่ากล้วยเป็นไม้ผล ชนิดแรกที่มีการปลูกเลี้ยงไว้ตามบ้าน และได้แพร่พันธุ์จากเอเชียใต้และเอเชีย

ตะวันออกเฉียงใต้ไปยังดินแดนอื่นๆ ในระยะเวลาต่อมา [8] กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความหลากหลายทางธรรมชาติ มีการปรับปรุงพันธุ์ และการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่า และใช้ประโยชน์จากความหลากหลายของกล้วย [9]

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกล้วย

กล้วยเป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่ที่คนไทยรู้จักกันดีมาตั้งแต่อดีต เนื่องจากมีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งบริโภคเป็นอาหารใช้ส่วนประกอบของกล้วยในพิธีกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน กล้วยจัดอยู่ในวงศ์ Musaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum L.* และมีชื่อสามัญว่า Banana มีหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้ากล้วยน้ำไท กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว กล้วยไข่ กล้วยตานี กล้วยหักมุกกล้วยเล็บมือนาง กล้วยหิน กล้วยนาค กล้วยงาช้าง เป็นต้น [10]

อนุกรมวิธานของกล้วย [11]

อาณาจักร (Kingdom) : Plantae

ดิวิชั่น (Division) : Magnoliophy

ชั้น (Class) : Liliophyta

อันดับ (Order) : Zingiberales

วงศ์ (Family) : Musaceae

สกุล (Genus) : Musa

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วย

กล้วยมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังนี้

2.1.2.1 ลำต้น กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่า หัวหรือเหง้า (Rhizome) ที่หัวมีตา (Bud) ซึ่งจะเจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อ เรียกว่า การแตกกอหน่อที่เกิด หรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดินไม่ใช่ลำต้น แต่จะเรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudo stem) ส่วนนี้เกิดจากการอัดกันแน่นของกาบใบที่เกิดจากจุดเจริญของลำต้นใต้ดิน กาบใบจะชูก้านใบ และใบ ที่จุดเจริญนี้จะมีการเจริญเป็นดอก หลังจากสิ้นสุดการเจริญของใบ ซึ่งใบสุดท้ายก่อนการเกิดดอกเรียกว่า ใบธง (ภาพที่ 2.1B)

A

B

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหง้ากล้วย (A) และใบธงของกล้วย (B)

ที่มา: http://storyofbananas.blogspot.com/2014/05/blog-post_13.html. [12]

2.1.2.2 ดอก กล้วยออกดอกเป็นช่อ (Inflorescence) ในช่อดอกยังมีกลุ่มของช่อดอกย่อยเป็น กลุ่ม ๆ ระหว่างกลุ่มของช่อดอกย่อยแต่ละช่อจะมีกลีบประดับ หรือที่เรียกกันว่า กาบปลี (Bract) มีสีม่วงแดงกั้นไว้ กลุ่มดอกเพศเมียอยู่ที่โคน และกลุ่มดอกเพศผู้อยู่ที่ปลาย เป็นส่วนที่เรียกว่า หัวปลี (Male bud) (ภาพที่ 2.2) ระหว่างกลุ่มดอกเพศเมีย และดอกเพศผู้มีดอกกะเทย แต่บางพันธุ์ก็ไม่มีในช่อดอกย่อย แต่ละช่อมีดอก เรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว ถ้าเป็นดอกเพศเมียดอกเหล่านี้จะเจริญต่อไปเป็นผล (ภาพที่ 2.2B)

2.1.2.3 ผล ผลกล้วยเกิดจากดอกเพศเมียซึ่งอยู่ที่โคนกลุ่มของดอกเพศเมีย 1 กลุ่ม เจริญเป็นผล เรียกว่า 1 หวี ช่อดอกเจริญเป็น 1 เครือ ดังนั้น กล้วย 1 เครือ อาจมี 2-3 หวี หรือมากกว่า 10 หวี โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์กล้วยและการดูแลรักษา (ภาพที่ 2.2)

A

B

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของหัวปลี(A) และผลของกล้วย (B)

ที่มา: http://www.thaikasetsart.com/ข้อมูลของกล้วย/ [13]

2.1.2.4 ราก เป็นระบบรากฝอย แผ่ไปทางด้านกว้างมากกว่าทางแนวดิ่งลึก

2.1.2.5 ใบ ใบกล้วย มีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ มีความกว้างประมาณ 70-90 เซนติเมตร ความยาว 1.7-2.5 เมตร ปลายใบมน รูปใบขอบขนาน โคนใบมน และแผ่นใบมีสีเขียว

2.1.3 การเจริญของผลกล้วย

กล้วยชอบอากาศร้อนชื้น และอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-35 องศาเซลเซียส ชอบดินที่สมบูรณ์ระบายน้ำ และหมุนเวียนอากาศดี มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4.5-7 แต่ที่ชอบที่สุดที่ระดับ 6 พบกล้วยได้ทั่วไปในพื้นที่แถบเอเชีย เจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสม่ำเสมอในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนยาวนาน แต่มีการชลประทานที่ดีระยะเวลาการปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลใช้เวลาประมาณ 1 ปี ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงแทงปลี ใช้ระยะเวลา 250-260 วัน แทงปลีถึงระยะเก็บเกี่ยว 110-120 วัน [14] ผลกล้วยเจริญเติบโตมาจากรังไข่ของดอกตัวเมีย ซึ่งการเจริญของผลมีทั้งแบบผสมพันธุ์ และไม่ต้องผสมพันธุ์ แบบผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกด้วยเมล็ด ซึ่งดอกตัวเมียจำเป็นที่จะต้องผสมพันธุ์ก่อนที่จะพัฒนาเป็นผลกล้วย ส่วนแบบไม่ต้องผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกโดยการแตกหน่อผลกล้วย ทั้งหมดเกิดจากช่อดอกเรียกว่า เครือ (Bunch) ส่วนผลกล้วยจากกลุ่มดอกแต่ละกลุ่มบนช่อดอกเรียกว่า หวี (Hand) ส่วนปลายผลที่มีจุกสีดำ คือ ดอกตัวเมียที่หลุดล่วงไป เนื้อกล้วย คือ เนื้อเยื่อชั้นนอกระหว่างเกสรตัวเมียกับรังไข่จุดเล็กๆ สีน้ำตาลที่ไส้กล้วย คือ เกสรตัวเมียที่เป็นหมันไม่สามารถผสมพันธุ์ได้

2.1.4 การจำแนกกลุ่มของกล้วย [15]

ปัจจุบันกล้วยในประเทศไทย สามารถจำแนกกลุ่มตามจีโนมได้ 8 กลุ่ม คือ

2.1.4.1 กลุ่ม AA เป็นกล้วยที่มีกำเนิดมาจากกล้วยป่า ซึ่งอาจเกิดจากการผสมภายในชนิดย่อย (Subspecies) หรือระหว่างชนิดย่อย หรืออาจเกิดจากการกลายพันธุ์ กล้วยกลุ่มนี้มักมีขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะไม่มีเมล็ด รสหวาน กลิ่นหอม รับประทานสด ได้แก่กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยไข่จีน กล้วยน้ำนม กล้วยไล กล้วยสา กล้วยหอม กล้วยหอมจำปา กล้วยทองกาบดำ

2.1.4.2 กลุ่ม AAA เป็นกล้วยที่มีกำเนิดคล้ายกับกลุ่ม AA แต่ได้มีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมขึ้นเป็น 3 เท่า โดยมีจำนวนโครโมโซม 2n = 33 ผลจึงมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก รูปร่างผลเรียวยาว มีเนื้อนุ่ม รสหวาน กลิ่นหอม รับประทานสด ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยนาก กล้วยครั่ง กล้วยหอมเขียว กล้วยกุ้งเขียว กล้วยหอมแม้ว กล้วยไข่พระตะบอง กล้วยคลองจัง

2.1.4.3 กลุ่ม BB ในประเทศไทยมีแต่กล้วยตานี ซึ่งเป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่ง แต่ไม่ได้มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย รับประทานผลอ่อนได้ โดยนำมาใส่แกงเผ็ด ทำส้มตำ ไม่นิยมรับประทานผลแก่

เพราะมีเมล็ดมาก แต่คนไทย และคนเอเชียส่วนใหญ่รับประทานปลี และหยวก ในประเทศไทยไม่มีกล้วยกินได้ในกลุ่ม BB แต่พบว่า มีที่ประเทศฟิลิปปินส์

2.1.4.4 กลุ่ม BBB เป็นกล้วยที่มีกำเนิดมาจากกล้วยตานี กล้วยชนิดนี้มีแป้งมาก เมื่อดิบมีรสฝาดมาก เมื่อสุกก็ยังมีแป้งมาก จึงไม่ค่อยหวาน ขนาดผลใหญ่ เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยความร้อนจะทำให้รสชาติดีขึ้น เนื้อเหนียวนุ่ม ได้แก่ กล้วยเล็บช้างกุด

2.1.4.5 กลุ่ม AAB เป็นกล้วยลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี โดยมีเชื้อของกล้วยป่า 2 ใน 3 และมีเชื้อของกล้วยตานี 1 ใน 3 กล้วยชนิดนี้มีรสหวาน มีแป้งผสมอยู่บ้างในเนื้อ ทำให้มีความเหนียวบางชนิดรับประทานสดได้ บางชนิดต้องทำให้สุก กล้วยในกลุ่มนี้ได้แก่ กล้วยน้ำฝาด กล้วยนมสวรรค์ กล้วยนิ้วมือนาง กล้วยไข่โบราณ กล้วยทองเดช กล้วยศรีนวล กล้วยขม กล้วยนมสาวแต่มีกล้วยกลุ่ม AAB บางชนิดคล้ายกับกลุ่ม ABB คือ เนื้อจะค่อนข้างแข็ง มีแป้งมาก เมื่อสุกเนื้อไม่นุ่ม โดยอาจได้รับเชื้อพันธุกรรมของกล้วยป่าที่ต่าง Subspecies กัน จึงทำให้ลักษณะต่างกัน กล้วยในกลุ่มนี้เรียกว่า Plantain subgroup ซึ่งจะต้องทำให้สุกด้วยการต้ม ปิ้ง เผา เช่นเดียวกับกลุ่ม ABB ได้แก่ กล้วยกล้าย กล้วยงาช้าง กล้วยนิ้วจระเข้ กล้วยหิน กล้วยพม่าแหกคุก

2.1.4.6 กลุ่ม ABB เป็นกล้วยลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานีเช่นกัน แต่มีเชื้อของกล้วยป่าอยู่น้อยกว่าเชื้อของกล้วยตานีคือ มีเชื้อของกล้วยป่าอยู่เพียง 1 ใน 3 และมีเชื้อของกล้วยตานี 2 ใน 3 เนื้อกล้วยมีแป้งมากขนาดผลใหญ่ไม่นิยมรับประทานสด เนื่องจากผลสุกรสไม่หวานมาก บางครั้งมีรสฝาด เมื่อนำมาต้ม ปิ้ง ย่าง และเชื่อม จะทำให้รสชาติดีขึ้น กล้วยในกลุ่มนี้ได้แก่ กล้วยหักมุกเขียว กล้วยหักมุกนวล กล้วยเปลือกหนา กล้วยส้ม กล้วยนางพญา กล้วยนมหมี กล้วยน้ำว้า สำหรับกล้วยน้ำว้า แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสีของเนื้อคือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลืองคนไทยรับประทานกล้วยน้ำว้า ทั้งผลสด ต้ม ปิ้ง และนำมาประกอบอาหาร

2.1.4.7 กลุ่ม ABBB เป็นกล้วยที่เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานีเช่นกัน เป็นกล้วยที่มีจำนวนโครโมโซมมากเป็น 4 เท่า จึงมีผลขนาดใหญ่มาก กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียว คือ กล้วยเทพรส กล้วยชนิดนี้จะมีเชื้อของกล้วยป่าอยู่เพียง 1 ใน 4 และมีเชื้อของกล้วยตานีอยู่ 3 ใน 4 มีแป้งมาก ผลที่สุกงอมจะมีรสหวาน นอกจากนี้บางครั้งมีดอกเพศผู้หรือปลี แต่หากไม่มีดอกเพศผู้จะไม่เห็นปลี และมีผลขนาดใหญ่ ถ้ามีดอกเพศผู้ผลจะมีขนาดเล็กกว่า มีหลายหวี และหลายผลการมีปลี และไม่มีปลีนี้เกิดจากการกลายพันธุ์แบบกลับไปกลับมาได้ ดังนั้น ในกอเดียวกันอาจมีทั้งกล้วยเทพรสมีปลีและไม่มีปลี หรือบางครั้งมี 2-3 ปลี ในสมัยโบราณเรียกกล้วยเทพรสที่มีปลีว่า กล้วยทิพรส

2.1.4.8 กลุ่ม AABB กล้วยกลุ่มนี้เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี โดยมีเชื้อของกล้วยป่าอยู่ครึ่งหนึ่ง และกล้วยตานีอีกครึ่งหนึ่ง มีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ผลจึงมีขนาดใหญ่ กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวในประเทศไทย คือ กล้วยเงิน รูปร่างคล้ายกล้วยไข่ เมื่อสุกผิวสีเหลืองสดใส เนื้อผลสีส้ม มีแป้งมากรับประทานผลสด

2.1.5 การปลูกกล้วยเพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย [16]

ปัจจุบันกล้วยที่นิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย มีอยู่ 3 ชนิด คือกล้วยน้ำ ว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 866,410 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ 74,225ไร่ กล้วยหอม 105,248 ไร่ และกล้วยน้ำว้า 686,937 ไร่ มูลค่าการส่งออกกล้วย 35,266 ตัน มูลค่า 799.83 ล้านบาท เป็นการส่งออกกล้วยไข่ 27,155 ตัน มูลค่า 290.46 ล้านบาท กล้วยหอม 3,297 ตัน มูลค่า 99.17 ล้านบาท กล้วยอื่นๆ (ทั้งผลสด และแปรรูป 4,814 ตัน มูลค่า 410.20 ล้านบาท) [6] โดยกล้วยแต่ละชนิดจะมีแหล่งปลูกที่สำคัญ ดังนี้

2.1.5.1 กล้วยน้ำว้า เป็นกล้วยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย (ภาพที่ 2.3) สามารถทนทานสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่ากล้วยพันธุ์อื่นๆ การดูแลรักษาง่าย และการใช้ประโยชน์จากผล ต้น ใบ ดอก มากกว่ากล้วยชนิดอื่น ลำต้นสูงปานกลาง เมื่อสุกรสชาติหวาน เนื้อแน่น สีเหลืองอ่อน สามารถจำเป็นพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้าเหลือง และกล้วยน้ำว้าค่อม โดยแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของกล้วยน้ำว้า คือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา

ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี อ่างทอง นนทบุรี ประจวบคีรีขันธ์

ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดอุตรดิตถ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก พิจิตร เชียงใหม่ สุโขทัย แม่ฮ่องสอน

ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา

ภาพที่ 2.3 กล้วยน้ำว้า เป็นกล้วยที่นิยมปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศไทย
ที่มา: https://www.technologychaoban.com/news_detail.php?tnid=684. [17]

2.1.5.2 กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่มีการปลูกกันทั่วไปเกือบทุกภาคของประเทศ (ภาพที่ 2.4) มีลักษณะลำต้นสูงบาง สีใบ และก้านใบสีเหลืองอ่อนไม่มีนวล กาบใบมีสีน้ำตาล หรือสีช็อคโกแลต เครือเล็ก ผลมีขนาดเล็กเปลือกบาง เมื่อสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่น รสหวาน เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่ม โดยแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของกล้วยไข่ คือ

ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ ตาก กำแพงเพชร สุโขทัย

ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง

ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี

ภาพที่ 2.4 แหล่งปลูกกล้วยไข่ที่สำคัญของประเทศไทยคือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง
ที่มา : http://m.matichon.co.th/readnews.php?newsid=1441855587 [18]

2.1.5.3 กล้วยหอม เป็นกล้วยที่มีการปลูกทั่วทุกภาคของประเทศ (ภาพที่ 2.5) ทั้งพันธุ์กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว และกล้วยหอมค่อม มีลักษณะลำต้นใหญ่แข็งแรง ผลยาวเรียว เปลือกหนา เมื่อสุกเนื้อมีรสชาติหอมหวาน โดยแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของกล้วยหอม คือ

ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี

ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี สระบุรี นนทบุรี พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี

ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย

ภาพที่ 2.5 แหล่งปลูกกล้วยหอมที่สำคัญของประเทศไทยคือ ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี

ที่มา: http://bighealthyplant.com/กล้วย-การปลูกกล้วย/กล้วยหอมทอง/ [19]

2.1.6 องค์ประกอบของผลกล้วย

กล้วยจัดได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถรับประทานได้ทั้งผลดิบ ผลสุก และแปรรูป ในกล้วยประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรท โปรตีน แคลเซียม เหล็ก และโพแทสเซียม เป็นต้น ในกล้วยดิบจะมีเพคติน และสารให้รสฝาด ส่วนในกล้วยสุกจะมีนอร์ริพิเนฟรีน (Norepinephrine) และ เซอโรโทนิน (Serotonin) จะพบในเปลือก และเนื้อกล้วยทุกชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน กล้วยมีคุณค่าสูง มีไขมัน และคอเรสเตอรอลต่ำ แต่ให้พลังงานสูง มีวิตามินเอ บีหก และวิตามินซี กล้วยสุกมักมีรสหวาน ย่อยง่าย ใช้เป็นอาหารลดความอ้วน มีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย แต่มีโพแทสเซียมอยู่สูง ช่วยให้ผิวพรรณดี ช่วยให้ระบบขับถ่ายคล่อง และช่วยลดความดันโลหิต

2.1.6.1 คาร์โบไฮเดรทในผลกล้วยดิบอยู่ในรูปของแป้งเป็นส่วนใหญ่ (20-25%) พบน้ำตาลเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ในระหว่างการสุกแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลทำให้เหลือแป้งอยู่ในผลกล้วยเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ส่วน และทำให้ส่วนของน้ำตาลเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 - 25 [20] ในระหว่างการสุกนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรททั้งหมดจะลดลงไป เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (Respiration) น้ำตาลที่พบมากในกล้วย คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรุกโตส ในอัตราส่วนของซูโครสร้อยละ 66 กลูโคสร้อยละ 22 ฟรุกโตสร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลมอลโตส และน้ำตาลแรมโนสอยู่เล็กน้อย [21] กล้วยดิบมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงประมาณร้อยละ 8 - 10 และจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1 เมื่อกล้วยสุก ปริมาเซลลูโลสมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในระหว่างการสุกปริมาณโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงจากร้อยละ 0.5 เหลือร้อยละ 0.3 แต่ปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น [22]

2.1.6.2 โปรตีนในระหว่างการสุกของกล้วย พบว่าโปรตีนยังคงมีปริมาณคงที่ ที่ระดับร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนัก กรดอะมิโนที่สำคัญที่พบในกล้วยสุก ได้แก่ Glutamine, Asparagine, Histidine, Arginine และ Leucine [23]

2.1.6.3 ไขมันเนื้อกล้วยสุกมีไขมันต่ำ ประมาณร้อยละ 0.2 -0.5 ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid, Oleic acid และ Linolenic acid ในระหว่างการสุกอัตราส่วนของกรดไขมันในเปลือกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดลงโดยเฉพาะ Palmitic acid [24]

2.1.6.4 สารประกอบที่ให้กลิ่นรส (Flavor constituents) องค์ประกอบของที่ให้กลิ่นรส คือ สารระเหยในกล้วย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ bananalike flavor ได้แก่ สารพวกเป็น amyl และ isoamyl เอสเทอร์ของกรดอะซิติก โพรไพโอนิก และบิวทีริก และ green woody หรือ mustry ได้แก่ สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ หรือคาร์บอนิล [25]

2.1.6.5 กรดอินทรีย์กรดที่พบมากในกล้วย คือ กรดมาลิก และยังมีกรดออกซาลิก และกรดซิตริกกรดมาลิก จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในระหว่างการสุก ในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยา decarboxylation ของสารประกอบพวกออกซาเลต อีกทั้งยังเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนิน ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนที่เกิดขึ้นนี้ มีผลทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง เมื่อกล้วยสุก [22]

2.1.6.6 สารประกอบฟีนอลลิก ที่พบในกล้วยคือ Dopamine ซึ่งพบมากที่สุดคือ ในส่วนของเปลือก มีประมาณ 700 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในส่วนเนื้อพบประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดย Dopamine จัดเป็นสับสเตรทของการเกิดปฏิกิริยา enzymatic browning ที่ส่งผลทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วย จะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนิน ทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง [22]

2.1.6.7 เม็ดสีในระหว่างการสุกของผลกล้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกอย่างชัดเจน กล้วยดิบส่วนของเปลือกมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อกล้วยสุก โดยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจากช่วง Climateric peak และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเต็มที่ภายใน 3-7 วันที่อุณหภูมิปกติ ในเปลือกกล้วยดิบประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัม แซนโทฟิลล์ 5-7 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคโรทีนอยด์ 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (ของน้ำหนักกล้วยสด) ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวหมด คงเหลืออยู่ แต่เม็ดสีเหลืองในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ [26] จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ของเปลือกกล้วยสุก พบว่า มีalpha-carotene ร้อยละ 7 beta-carotene ร้อยละ 14 lutein ร้อยละ 33 และในส่วนเนื้อมี alpha-carotene ร้อยละ 31 beta-carotene ร้อยละ 28 lutein ร้อยละ 56

2.1.6.8 เอนไซม์ ในผลกล้วยสุกมีกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด ทั้งไฮโดรไลติก และออกซิเดทีฟเอนไซม์ เอนไซม์ที่ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทที่พบ ได้แก่ โพลีกาแลคทูโรเนส เพคตินเมธิลเอสเทอร์เรส ลามินาริเนส แอลฟาแมนโนซิเดส เบต้ากาแลคโตซิเดส อะไมเลส เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส เอนโดเบต้าแมนนาเนส และกาแลคทาเนส ในระหว่างการสุกเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบเพคติน ได้แก่ เอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนกิจกรรมเอนไซม์เพคตินเมธิลเอสเทอร์เรสจะเพิ่มขึ้นหลังจาก climateric peak กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส และเฮมิเซลลู-เลสจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการสุก และจะลดลงเมื่อผลกล้วยสุกแล้ว กิจกรรมเอนไซม์ไซแลนเนส และอะไมเลสคงที่ ในขณะที่เอนไซม์แอลฟาแมนโนซิเดส และลามินานิเลส จะมีกิจกรรมสูงในช่วง climateric ส่วนเอนไซม์เอนโดเบต้าแมนนาเนส และกาแลคทาเนสมีกิจกรรมต่ำระหว่างการสุก [27]

2.1.6.9 ความแน่นเนื้อ ผลกล้วยเมื่อเริ่มสุกจะเปลี่ยนแปลงลักษณะความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย โดยระหว่างการสุกปริมาณน้ำในเปลือกกล้วย และที่ก้านผลจะลดลง ส่วนความชื้นในเนื้อกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มสุก เนื่องจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรท และทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเนื้อ และน้ำหนักของเปลือกเปลี่ยนไป โดยน้ำหนักของเนื้อจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่น้ำหนักในส่วนของเปลือกจะลดลง

2.1.6.10 วิตามิน กล้วยมีวิตามินสูง แต่จะสูญเสียไปเมื่อถูกความร้อน กล้วยสดมีคุณค่าทางอาหารมากกว่ากล้วยแปรรูป ปริมาณของวิตามินซีในกล้วยสุกจะน้อยกว่าในกล้วยดิบ กล้วยน้ำว้าดิบ 100 กรัม มีปริมาณวิตามินซีอยู่ 30 มิลลิกรัม แต่เมื่อสุกปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 24 มิลลิกรัม และเมื่อสุกงอมปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 19 มิลลิกรัม และเมื่อแปรรูปเป็นกล้วยตากปริมาณวิตามินซีจะยิ่งลดลงเหลือเพียง 3 มิลลิกรัม [28]

2.1.7 การสุกของกล้วย

กล้วยจัดว่าเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit เมื่อผลสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น และมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้น เอทิลีนจะช่วยกระตุ้นให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น ระยะกล้วยดิบเกิดการสังเคราะห์เอทิลีนน้อยมาก ระยะการสุกของกล้วยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีการสุกของกล้วยหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงสรีระ และเคมี การเปลี่ยนแปลงเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสังเคราะห์น้ำตาล ก๊าซเอทิลีน และมีอัตราการหายใจเปลี่ยนไป ผลไม้สุกส่วนมากเนื้อจะนิ่ม เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโมเลกุลต่างๆ การสุกของผลกล้วยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนตามดัชนีการเปลี่ยนสีเปลือก [29] และดัชนีความแก่ของกล้วยที่ขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย ดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียวผลแข็ง ไม่สุก

ระยะที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

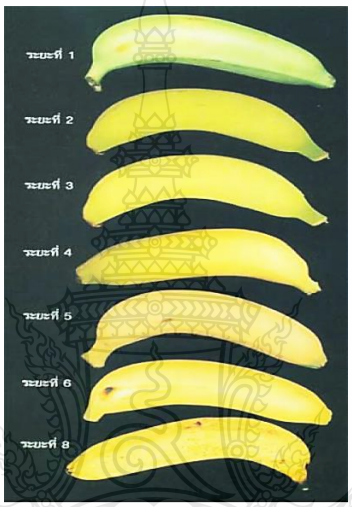
ระยะที่ 3 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดประสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม)



ภาพที่ 2.6 ระยะการสุกของผลกล้วย

ที่มา : เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545) [30]

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีภายในผลกล้วยระหว่างระยะเวลาการสุก ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยเฉพาะปริมาณของสตาร์ชที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลกล้วยสุกงอมเต็มที่ [30]

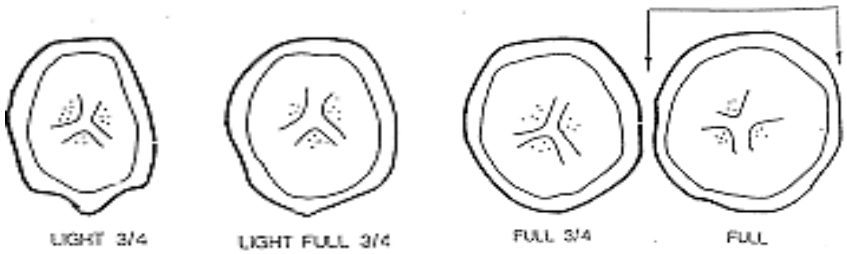
ดัชนีเก็บเกี่ยวกล้วยตามมาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย [30] ดังนี้

ผลแก่เต็มที่ 100 % (Full) คือ ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลย

ความแก่ประมาณ 90 % (Full ¾) คือ ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน

ความแก่ประมาณ 80 % (Light full ¾) คือ ผลที่เห็นเหลี่ยมชัดเจน

ความแก่ประมาณ 70 % (Light ¾) คือ ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลโตเต็มที่



ภาพที่ 2.7 ส่วนกล้วยที่มีความแตกต่างกัน
ที่มา : เบญจมาศ (2545) [30]

ภาพตัดขวางของกล้วยระยะต่างๆ ดังแสดงใน ภาพที่ 2.7 โดยดัชนีเก็บเกี่ยวของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความแก่ 70 80 90 และ 100 % สามารถเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าหลังจากที่กล้วยแทงปลีแล้ว 15 16 17 และ 18 สัปดาห์ตามลำดับ [31]

ภาพที่ 2.8 กล้วยน้ำว้า
ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

กล้วยน้ำว้า เป็นพืชล้มลุกในสกุล *Musa* วงศ์ Musaceae กล้วยน้ำว้าลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียวอมชมพู ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้นปลายมน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม เครือห้อยลง เครือหนึ่งมี 7 - 10 หวี หวีหนึ่งมี 10 - 16 ผล [30] กล้วยน้ำว้าเป็นกล้วยลูกผสมที่พัฒนามาจากกล้วยป่ากับกล้วยตานี มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บริโภคกันแพร่หลาย ปลูกง่ายรสชาติดี เมื่อผลกล้วยน้ำว้าสุก สีของเปลือก เนื้อ ไส้กลาง และรสชาติแตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถแบ่งสายพันธุ์ย่อยของกล้วยน้ำว้าได้ [33]

1. กล้วยน้ำว้าดำ

กล้วยน้ำว้าดำ เป็นกล้วยพันธุ์ผสมระหว่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยตานี ที่มีลักษณะค่อนไปทางกล้วยตานี ลำต้นเทียมสูง 3.5-5 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีปื้นดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว หลังใบมีนวล ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้น ปลายป้าน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม ในหนึ่งเครือมี 8-10 หวี แต่ละหวีมี 10-16 ผล ผลมีเหลี่ยมเปลือกหนา เปลือกผลตอนยังอ่อนจะเป็นสีน้ำตาลแดงถึงเข้มคล้ายสีสนิมแดง จากนั้นจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อผลแก่จัด หรือสุก จึงมีเรียกอีกชื่อว่า "กล้วยน้ำว้าทองสัมฤทธิ์"

2. กล้วยน้ำว้านวลจันทร์

กล้วยน้ำว้านวลจันทร์มีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบลำต้น ด้านนอกสีเขียวอ่อน ผลดิบมีสีเขียวนวล เมื่อสุกเปลือกมีสีเหลืองนวล เนื้อเหนียวสีขาวนวล ไส้กลางสีเหลือง มีรสหวาน

3. กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง

กล้วยน้ำว้ามะลิอ่องมีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบใบสีเขียวหม่น ในหนึ่งเครือมี 7 หวี หวีหนึ่งมี 12-14 ผล ผลอ้วนป้อมสม่ำเสมอ เปลือกไม่มีเหลี่ยม

4. กล้วยน้ำว้าค่อม

กล้วยน้ำว้าค่อม กลายพันธุ์มาจากกล้วยน้ำว้ากาบขาว มีลำต้นสูงประมาณ 2 เมตร ใบค่อนข้างใหญ่ และเปราะผลมีขนาดสั้นป้อมอ้วน เนื้อเยอะ มีรสหวาน

5. กล้วยน้ำว้าไส้แดง

กล้วยน้ำว้าไส้แดง มีลักษณะลำต้นคล้ายกล้วยน้ำว้ากาบขาว เมื่อสุกเนื้อกล้วยมีสีปนชมพู ไส้กลางมีสีชมพูแดง เนื้อเหนียว มีรสหวาน

6. กล้วยน้ำว้าเขียว

กล้วยน้ำว้าเขียว มีกาบลำต้นสีมะกอก ผลดิบมีสีเขียวสดไม่มีนวล เปลือกหนา เมื่อสุกเหลี่ยมจะลบ มีสีเหลืองอมเขียว ที่สันเหลี่ยมยังคงมีสีเขียวจางๆ เนื้อมีสีขาว ไส้กลางมีสีเหลือง เนื้อเหนียว มีรสหวานอมเปรี้ยว

7. กล้วยน้ำว้ากาบขาว

กล้วยน้ำว้ากาบขาว มีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน ผลดิบสีเขียวนวล เมื่อสุกเปลือกมีสีเหลืองนวล เนื้อสีขาวนวล ไส้กลางสีเหลือง มีรสหวาน

ภาพที่ 2.9 กล้วยหอม
ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

กล้วยหอมทอง มีชื่อพื้นบ้านว่า กล้วยหอมทอง กล้วยหอม มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Gros Michel มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa* (AAA group) จัดอยู่ในวงศ์ *Musaceae* ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ กล้วยหอมทองจัดเป็นไม้ล้มลุกที่มีลำต้นเทียม มีความสูงต้นประมาณ 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำ กาบต้นด้านในมีสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายชมพู ใบก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบมีสีเขียว ดอกของกล้วยหอมทอง มีก้านเครือจะมีลักษณะคล้ายขน มีปลีรูปไข่ ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนมีสีแดงอมม่วง ด้านในมีสีแดงซีด ผลกล้วยหอมทองในเครือหนึ่งๆจะมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลมีความกว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุก เห็นได้ชัดเปลือกผลบาง ผลเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุกจะมีสีเขียว แล้วเปลี่ยนสีในภายหลัง เนื้อผลมีสีเหลืองเข้ม มีกลิ่นหอม และมีรสหวาน

กล้วยหอมทองเป็นพันธุ์ที่รู้จักกันมานานกว่า 4000 ปี มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนิเซีย ลาว กัมพูชา พม่า เวียดนาม บรูไน สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ ติมอร์ตะวันออก และประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในแถบนี้จึงมีการปลูกกล้วยกันมาช้านาน กล้วยหอมทองจึงเป็นอีกหนึ่งพันธุ์ที่นิยมปลูกเกือบทั่วทุกภาคของไทย การแพร่พันธุ์ของกล้วยมีการเดินทางออกไปในแถบเอเชียตะวันออกสู่ประเทศอินเดีย และแพร่พันธุ์ไปสู่ทวีปแอฟริกา และทวีปอเมริกา ประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน แถบหมู่เกาะแปซิฟิก เป็นลำดับ

กล้วยอุดมด้วยน้ำตาลธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ซูโครส ฟรุคโทส และกลูโคสรวมกับเส้นใยและกากอาหาร กล้วยจะช่วยเสริมเพิ่มพลังงานให้กับร่างกาย มีงานวิจัยพบว่า กินกล้วยแค่ 2 ผลก็สามารถเพิ่มพลังงานให้อย่างเพียงพอกับการออกกำลังกายอย่างเต็มที่ได้นานถึง 90 นาที กล้วยมีธาตุโพแทสเซียมอยู่สูง โพแทสเซียมเป็นสารอาหารสำคัญที่ช่วยให้การเต้นของหัวใจเป็นปกติ การส่งออกซิเจนไปยังสมองและปรับระดับน้ำในร่างกาย เวลาเกิดอารมณ์เครียด อัตรา Metabolic ในร่างกายของเราจะขึ้นสูง และทำให้ระดับโพแทสเซียมในร่างกายของเราลดลงแต่โพแทสเซียมที่มีอยู่สูงมากในกล้วยจะช่วยให้เกิดความสมดุลและมีปริมาณเกลือต่ำทำให้เป็นอาหารที่สมบูรณ์แบบที่สุดที่จะช่วยลด

ความดันโลหิตสามารถลดอันตรายที่เกิดกับเส้นโลหิตแตกได้ถึง 40% มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับกล้วย เช่น การพัฒนาการผลิตเครื่องดื่มทั้งที่มีแอลกอฮอล์และไม่มีแอลกอฮอล์จากกล้วย การทำซอสกล้วยปรุงรส โดยศึกษากรรมวิธี การผลิต และการเก็บรักษาจากการใช้กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอมทอง ซึ่งพบว่า กล้วยน้ำว้าเหมาะสมที่สุดเพราะมีราคาถูกและเก็บไว้ได้นานโดยไม่แยกชั้น [32]

การใช้ประโยชน์จากกล้วย สามารถการใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร และการใช้ประโยชน์ทางด้านที่ไม่ใช่อาหาร ดังที่แสดงปริมาณคุณค่าทางอาหารของกล้วยชนิดต่างๆในตารางที่ 2.1 ปริมาณวิตามินในกล้วยชนิดต่างๆในตารางที่ 2.2 และปริมาณวิตามินของกล้วยชนิดต่างๆในตารางที่ 3 มีผลกล้วยหลายชนิด/พันธุ์ที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร เช่น กล้วยหอมบริโภคสด กล้วยน้ำว้ามีการใช้ประโยชน์โดย ผลกล้วยดิบที่แก่จัดก็ใช้ประโยชน์เป็นกล้วยฉาบชนิดแว่น/ชนิดแผ่นและแป้งกล้วย ผลกล้วยห่ามแต่ยังไม่สุกก็เป็นกล้วยปิ้งและกล้วยทอด ผลกล้วยสุกเป็นส่วนผสมของขนม เช่น ขนมกล้วย กล้วยแผ่นและทองม้วนกล้วย กล้วยตาก /อบชนิดผลหรือแผ่น ผลกล้วยที่งอมทำกล้วยกวน กล้วยไข่บริโภคสดและกล้วยไข่ที่ห่ามเกือบสุกจะนิยมทำกล้วยเชื่อมทั้งเปียกและแห้ง กล้วยไข่ที่สุกก็ทำข้าวเม่าทอด กล้วยหักมุกใช้ทำกล้วยฉาบชนิดแว่นหรือแผ่น กล้วยหักมุกขาวหรือเหลืองทำกล้วยปิ้ง/เผา กล้วยเล็บมือนางทำกล้วยตาก/อบและการใช้ประโยชนทางด้านไม่ใช่อาหาร เช่น เศษเหลือจากการใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารก็มีเปลือกกล้วย เศษเหลือจากการเกษตรก็มีใบกล้วย ก้านกล้วย ต้นกล้วย และหนอกล้วย สำหรับหน่อกล้วยใช้ทำพันธุ์ ใบกล้วยใช้ห่อขนม เช่น ข้าวต้มผัดไส้กล้วย ข้าวเหนียวปิ้งไส้กล้วย ขนมกล้วย ใช้ห่อแหนมหมูยอและปลาส้ม ใบกล้วยใช้ทำกระทงน้ำจิ้มและกระทงขนมเข่ง ต้นกล้วยมาทำเป็นเส้นแล้วถัก/ร้อย/สานเป็นประเป๋าถาดและเสื่อ ก้านกล้วยและต้นกล้วยทำกระดาษ [32]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของกล้วยในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ปริมาณสารอาหาร	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอมทอง	กล้วยเล็บมือนาง	กล้วยหักมุก
พลังงาน (แคลอรี่)	122.00	145.00	131.00	81.00	112.00
โปรตีน (กรัม)	1.20	1.50	1.0 0	1.80	1.20
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	26.10	34 . 40	31.40	18 .00	26 .30
ไขมัน (กรัม)	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20

ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินต่างๆของกล้วยชนิดต่างๆในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

วิตามิน	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอมทอง	กล้วยเล็บมือนาง	กล้วยหักมุก
เอ (ยูนิต)	375.00	633 .00	132.00	133 .00	116 .00
บีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	0.30	0.02	0.04	0.03	0.04
บีสอง (มิลลิกรัม)	0.04	0 .09	0 .03	0.0 4	0.10
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0 .60	1.40	1.00	0.60	0.80
ซี (มิลลิกรัม)	14 .00	16 .00	7.00	8 .00	16.00

ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเกลือแร่ของกล้วยชนิดต่างๆในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

เกลือแร่	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอมทอง	กล้วยเล็บมือนาง	กล้วยหักมุก
แคลเซียม (กรัม)	12.00	24 .00	26.00	10 .00	18.00
ฟอสฟอรัส (กรัม)	32.00	22 .00	46.00	24.00	22.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.80	0.50	0.60	1.30	0.40
น้ำ (กรัม)	71.60	62 .80	66.30	79.20	71.20

ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

กล้วย ส่วนใหญ่จะนำมารับประทานในรูปแบบรับประทานผลสด และนำมาแปรรูป ผลกล้วยรับประทานได้ทั้งดิบและสุก เป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุและในแป้งกล้วยมีค่าไกลซิมิค อินเดกซ์ (Glycemic Index: GI) และปริมาณคอเลสเตอรอล (LDL) ต่ำ การบริโภคกล้วยหรือแป้งกล้วยจึงสามารถช่วยป้องกันโรคเบาหวาน โรคมะเร็ง โรคอ้วน และโรคหัวใจได้ นอกจากนี้แป้งกล้วยยังมีกลิ่นเฉพาะตัว เกิดการพองตัวใส เมื่อได้รับความร้อน และละลายน้ำได้ดี และเป็นแหล่งที่ดีของสารประกอบพวกฟีนอลิก (Phenolic compounds) จากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ในการอนุมูลอิสระหลายชนิด

Lii *et al*. (1982) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ โดยบ่มกล้วยด้วยก๊าซเอทิลีนและได้แบ่งระยะของการสุกออกเป็น 8 ระยะ เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วย พบว่า แต่ละระยะของการสุกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีเพียงเล็กน้อย ได้แก่ โปรตีนไขมัน และเส้นใย ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ขณะที่ปริมาณสตาร์ชจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในระยะแรกที่ 0 ลักษณะของเปลือกกล้วยยังคงมีสี

เขียว และผลของกล้วยยังไม่สุก เนื่องจากยังไม่มีการสังเคราะห์เอทิลีนมากระตุ้นให้เกิดการสุก โดยระยะดังกล่าวมีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 61.74และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเหลือร้อยละ 2.58 ในระยะที่ 8 ซึ่งเป็นระยะที่ลักษณะของเปลือกกล้วยเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ระยะการสุกต่างๆ [34] แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ แสดงการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่างๆของกล้วย (หน่วย: ร้อยละ)

ระยะการสุก	น้ำตาลรีดิวซ์	ซูโครส	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	สตาร์ช	เถ้า
0	0.34	1.23	5.30	0.78	0.49	61.74	3.28
1	1.30	6.01	5.62	0.80	0.49	58.58	3.31
2	10.76	18.42	4.88	0.75	0.60	42.42	3.53
3	11.45	21.35	4.93	0.73	0.62	39.78	3.54
4	12.39	27.88	5.38	0.74	0.68	37.59	3.58
5	25.00	53.07	5.77	0.76	0.78	9.70	3.90
6	31.22	51.89	5.65	0.71	0.49	6.30	3.73
7	33.82	51.98	5.60	0.83	0.30	3.33	4.05
8	33.57	53.22	5.52	0.68	0.30	2.58	4.09

ที่มา : Lii *et al* (1982) [34]

จิรนาถ และคณะ (2558) ได้ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งกล้วยดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลาย ด้วยเอนไซม์ (Resistant starch; RS) โดยแปรผันแป้งกล้วย ดิบ 3 ชนิด คือ แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ14–16 สัปดาห์ หลังแทงปลี) แป้งกล้วยหอมทองดิบ (13–15 สัปดาห์หลัง แทงปลี) และแป้งกล้วยไข่ดิบ (6–8 สัปดาห์หลังแทงปลี) จากการศึกษาปริมาณ RS และสมบัติทางเคมีกายภาพ และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์พบว่า พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบ ทดแทนเซโมลินามีปริมาณเส้นใย และเถ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาบางส่วนทุกสูตร มีปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าสูตรควบคุม โดยพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบสูตรทดแทนร้อยละ 45 ถูกย่อยสลายได้ กลูโคสปริมาณต่ำที่สุด [4]

จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) ได้ศึกษาคุณภาพของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม และระดับของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยอบม้วน จากการทดลองพบว่า กล้วยสุกที่นำมาผลิตมีค่าสี

โดยค่าความสว่าง (L*) มีค่าระหว่าง 57.03 ถึง 65.15 ค่าความเป็นสีแดง (a*) มีค่าระหว่าง -0.47 ถึง 1.76 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าระหว่าง 6.00 ถึง 13.80 และค่าเนื้อสัมผัสโดยวัดค่าความความแน่นเนื้ออยู่ระหว่าง 541 ถึง 825 กรัม และความเหนียว 584 ถึง 1695 กรัมต่อนาที และอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม คืออุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 ชั่วโมง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอมเหลือง คือ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 43.29 6.72 และ 21.17 และค่าความแน่นเนื้อ และความเหนียว เท่ากับ 411±88.17 กรัม 468±85.11กรัมต่อนาที ผลประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภค ให้คะแนนความชอบมากที่สุดด้านสี เท่ากับ 6.67คะแนน ด้านกลิ่นรส เท่ากับ 6.73 คะแนน คะแนนด้านรสชาติ เท่ากับ 6.83 คะแนน ด้านเนื้อสัมผัส เท่ากับ 6.37 คะแนน และความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.43 คะแนน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า ด้านสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) [32]

2.2 เปลือกกล้วย

ภาพที่ 2.10 เปลือกกล้วย
ที่มา : จันทร์เพ็ญ และเสน่ห์ (2555) [32]

ประเทศไทยมีการแปรรูปผลไม้จำนวนมาก โดยเฉพาะกล้วย เพื่อเป็นทั้งผลไม้ และอาหารแปรรูปต่างๆ เช่น กล้วยบด กล้วยแช่แข็ง กล้วยแผ่น กล้วยตาก กล้วยอัดเม็ด ก่อให้เกิดเปลือกผลไม้ ซึ่งเป็นสิ่งเหลือใช้ในระดับอุตสาหกรรม เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จะสังเกตได้จากปริมาณพื้นที่ในการเพาะปลูกของเกษตรกร พบว่า กล้วยน้ำว้าสามารถผลิตออกสู่ตลาดได้ทั้งตลอดปี เปลือกกล้วยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้ง และสารประกอบฟีนอล จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเปลือกของผลไม้เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอล แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสารสำคัญอื่นๆ [35] โดยมีรายงานว่า เปลือกกล้วย และเปลือกมะเขือเทศ เป็นแหล่งของสารประกอบแคโรทีนอยด์ที่ดี [36] นอกจากนี้ยังพบว่า เส้น

ใยอาหารที่ได้จากเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกมะม่วงมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูง โดยพบว่า มีประสิทธิภาพสูงกว่า DL-α-tocopherol ที่ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันทางการค้า [37]

2.2.1 สารอาหารที่พบในเปลือกกล้วย

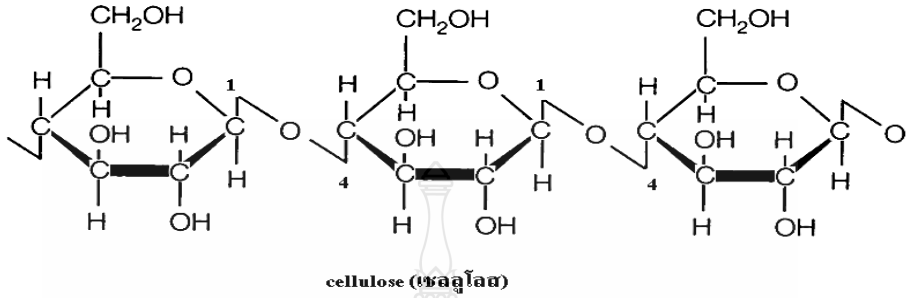
เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่ายจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก [38]

2.2.1.1 เซลลูโลส (Cellulose) เซลลูโลสเป็นสารคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด โดยมีสารอื่นร่วมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพกติน (Pectin) และลิกนิน (Lignin) โดยเซลลูโลสอยู่ในชั้นในสุดของผนังเซลล์พืช ซึ่งจัดเรียงตัวอยู่ในชั้นไมโครไฟบริล (Microfibril) ที่ห่อหุ้มด้วยร่างแห (Matrixs) ของเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีลักษณะแข็งหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์พืช โดยเซลลูโลสทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับพืช เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ในธรรมชาติ คือ ใยฝ้าย หรือสำลี ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสที่เรียกว่า เซลลูโลส ประมาณร้อยละ 98 ในใบไม้มีเซลลูโลสประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40-50 [39] ในต้นหญ้า และต้นถั่วที่มีอายุน้อยจะมีเซลลูโลสอยู่ประมาณร้อยละ15 ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้เซลลูโลสยังได้จากวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ปริมาณของเซลลูโลสในพืชชนิดเดียวกันย่อมจะแตกต่างกันไป อาจขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การจัดการ และอายุการเก็บเกี่ยว [40]

1) สมบัติของเซลลูโลส เซลลูโลสเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber, IDF) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในด่าง และตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ (Deveries and Reinhold, 1992) เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิว จึงเกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาทึบเป็นเส้นหยาบ มีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรง ไม่เปราะง่าย แต่มีบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จับกันไม่แน่น ส่วนนี้เองที่สามารถดูดซับน้ำ ได้จึงเกิดการพองตัว [41] ซึ่งความสามารถในการพองตัวทั้งในน้ำและสารละลายจะแตกต่างกันไป โดยเมื่อเรียงลำดับตามความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสในสารละลาย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < เกลือ < กรด < ด่าง

2) โครงสร้างในด้านโครงสร้างทางเคมีเซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) จำนวน 1,000-10,000 โมเลกุลต่อกันเป็นโพลี-เมอร์ (Polymer) เชื่อมกันด้วย β-1, 4-Glycosidic bond ระหว่าง Alcoholic hydroxyl groups โดยโมเลกุลสายยาวของเซลลูโลส ประกอบด้วยกลูโคส 2,000-15,000 โมเลกุล และมีน้ำหนักโมเลกุล

ประมาณ 20,000-2,400,000 ดาลตัน (Dalton) การเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นส่วนตรงไม่มีแขนงย่อยมีสูตรเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างเซลลูโลส
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา (2559) [42]

2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซส และเพนโทส น้ำตาลที่พบมาก คือ น้ำตาลไซโลส และอะราบิโนส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนิน และเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง

2.2.1.3 ลิกนินประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ พืชจะผลิตเมื่อมีอายุมาก ลิกนินทนต่อการทำลาย และต้องการสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายลิกนิน ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้น และแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ ประกอบกับลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรด และด่าง จึงไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ ลิกนินพบมากในพืชค่อนข้างแก่ และผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ [43]

2.2.1.4 องค์ประกอบอื่นๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวติน และไขมัน พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช หรืออยู่บนผิวนอกของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำปกติจะพบในปริมาณที่น้อย [44]

2.2.1.5 เพคติน พบใน Middle lamellae ของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโลนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง (1->4) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดย

โมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง เพคตินละลายน้ำได้ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับ Degree of esterification ของกรดกาแล็กทูโรนิก เพคตินมีความสามารถในการเกิดเจล และมีความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพคตินพบมากในผลไม้ตระกูลส้ม และแอปเปิ้ล [44]

2.3 สารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการของกล้วย

2.3.1 โพแทสเซียม (Potassium)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการให้รสหวานของกล้วย นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจ มีความสำคัญต่อการเกิดแป้ง การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ทำให้พืชมีความต้านทานต่อเชื้อโรค มีความสำคัญต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ รวมทั้งเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์บางชนิด หากพืชขาดธาตุโพแทสเซียมจะแสดงอาการคือการสังเคราะห์แสงจะลดลง แต่การหายใจจะเพิ่มขึ้นใบจะเหลือง (Chlorosis) เป็นทางๆ ในใบแก่ก่อนและใบจะแห้งตาย เป็นจุดๆบริเวณขอบและปลายใบหรือใบอาจม้วนงอ ลำต้นจะมีข้อปล้องสั้น ลำต้นมักแคระแกรนเป็นโรคง่าย พืชส่วนใหญ่มักต้องการธาตุโพแทสเซียมใน ปริมาณสูง แต่หากได้รับธาตุโพแทสเซียมมากเกินไปจะทำให้การดูดธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมของพืชไปใช้ลดลง

เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย โดยมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้การทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายเป็นปกติ เช่น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมสมดุลของอิเล็กโตรไลต์ และสมดุลของกรด-เบสในร่างกาย ป้องกันภาวะกรดเกิน (Hyperacidity) และควบคุมความดันโลหิตที่สูง ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ และหลอดเลือด

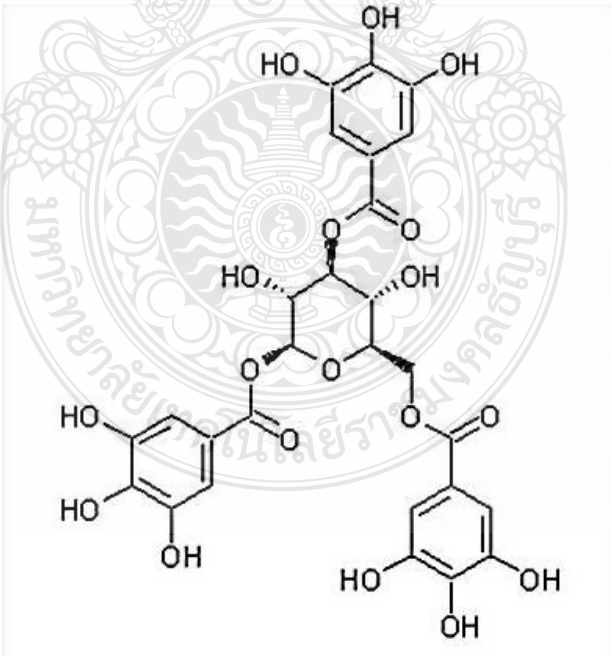
2.3.2 แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งนี้เพราะแมกนีเซียมเป็น องค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด มีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกายมนุษย์ต้องการ ปริมาณแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 300 - 400 มิลลิกรัม/วัน [45] ถ้าร่างกายไม่ได้รับแมกนีเซียมเพียงพอ จะทำให้สมองได้รับการกระทบกระเทือนได้ง่าย กล้ามเนื้อยืดและเจ็บปวดกล้ามเนื้อ หัวใจ ท้ายสุดทำให้เป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจ แมกนีเซียมมีความสำคัญมากในพืช กล่าวคือเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ ที่ทำให้พืชสามารถใช้พลังงานแสงเพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรทเพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณแมกนีเซียมใน คลอโรฟิลล์มี 15 - 20 เปอร์เซ็นต์

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและช่วยเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในกระบวนการสร้างเมตาโบลิซึมต่างๆ [46]

2.3.3 แทนนิน (Tannin)

แทนนิน มีรากศัพท์มาจากคำว่า “แทนนิ่ง (Tanning)” แปลว่า การรักษาไว้และกันน้ำ แทนนิ่ง คือ กรรมวิธีในการเปลี่ยนหนังสัตว์ที่ตายแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการใช้สารสกัดจากพืช แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 4 มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน มีรสฝาด จึงเป็นสารที่ให้ความฝาดในพืช พบได้ในส่วนต่างๆ ของพืชหลายชนิด แทนนินมีคุณสมบัติ ช่วยในการตกตะกอนโปรตีนทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้สารแทนนินในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง ในทางการแพทย์พบว่า สารแทนนินสามารถใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารแทนนินบางประเภทมีฤทธิ์ในการยับยังการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่น ทีโอแกลลิน (Theogallin) กรดแกลลิก (Gallic acid) และกรดเอลลาจิก (Ellagic acid) เป็นต้น [47] นอกจากนี้สารละลายแทนนินยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก ตะกั่วและสังกะสีได้ [48] การเกิดปฏิกิริยา พบวาเมื่อไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินทำปฏิกิริยากับเกลือของเฟอร์ริก เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน - ดำ ส่วนคอนเดนส์แทนนิน จะตกตะกอนสีน้ำตาลเขียว [49]

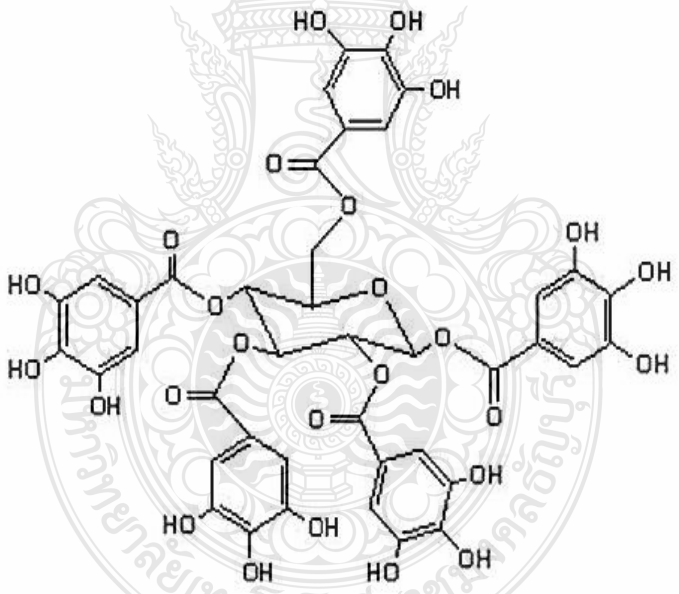


ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของแทนนิน

ที่มา : O’ Connell (2000) [50]

ประเภทของแทนนิน แทนนินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (Hydrolyzable tannins) ดังแสดงในภาพที่ 5 เป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาล โดยส่วนมากพบว่าเป็นน้ำตาลกลูโคส หรืออาจเป็นสารประกอบโพลีออล (Polyols) อื่น ๆ และส่วนที่สองเป็นกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) เช่น กรดแกลลิก หรือกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก (Hexahydroxydiphenic acid; HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์พบส่วนที่เป็นกรดฟีนอลิก มากกว่าส่วนของน้ำตาล หรือโพลิออลเชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเตอร์ที่เรียกว่า เดปไซต์ ลิงเกจ (Depside linkage) ซึ่งพันธะเอสเตอร์นี้ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ในสภาวะที่มีน้ำและถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดเบส หรือเอนไซม์แทนเนสให้กรดฟีนอลิกและน้ำตาล หรือโพลิออลเมื่อนำไปกลั่นแบบแห้ง สารประกอบกรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนเป็นไพโรแกลอล (Pyrogallol) ดังนั้นไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินจึงเรียก อีกอย่างว่า ไพโรแกลอล แทนนิน (Pyrogallol tannins) มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระ 3 หมู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีน้ำเงิน [51]



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (แกลโลแทนนิน)
ที่มา : Von Elbe และ Schwartz (1996) [52]

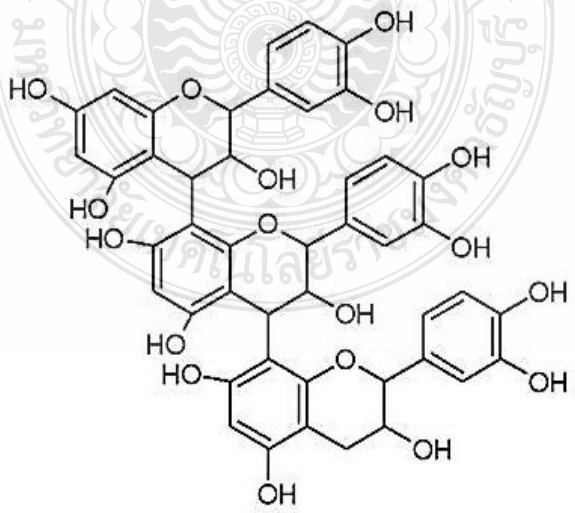
สารประกอบกลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนี้

1.1) แกลโลแทนนิน (Gallotannins) เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยกรดแกลลิกเชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะเอสเตอร์เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเกิดการสลายตัว จะให้สาร 2 ชนิด คือ กรดแกลลิก และน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของแกลโลแทนนิน ได้แก่ กรดแทนนิก

(Tannic acid หรือ Chinese gallotannin) และทารา แกลโรแทนนิน (Tara gallotannin) พืชที่เป็นแหล่งของแกลโลแทนนิน ได้แก่ โกศน้ำเต้า กานพลูและกลีบกุหลาบแดง เป็นต้น

1.2) แอลลาจิก แทนนิน (Ellagic tannins) เป็นกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล ที่ประกอบไปด้วยกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก โดยอยู่รวมกับน้ำตาล แอลลาจิกแทนนินเมื่อเกิด การสลายตัวแบบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด ส่วนของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกจะแยกตัวออก และเกิดปฏิกิริยาแลกโทไนเซชัน (Lactonization) ให้กรดแอลลาจิก ตัวอย่างของแอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เพดังคูลาจิน (Pedunculagin) และกรดชิบูลาจิก (Chebulagic acid) พืชที่นำไปใช้เป็นยาที่เป็นแหล่งของแอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เปลือกผลทับทิม ผลสมอไทย เปลือกต้นโอ๊คและใบยูคาลิปตัส เป็นต้น

2) คอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซยานิดิน (Proanthocyanidins) เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลีฟีนอลที่มีความซับซ้อน และสลายตัวด้วยน้ำ ยากกว่ากลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน โครงสร้างพอลีฟีนอลในกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ดังแสดงในภาพที่ 2.14 พืชที่เป็นแหล่งของคอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้ เปลือก และใบชา เป็นต้น สารประกอบกลุ่มนี้ เมื่อนำมาต้มกับกรด หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์จะได้สารประกอบพอร์ลิเมอร์รูปอสัณฐานสีแดง ไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า โฟบาฟิน (Phobaphenes) หรือแทนนิน แดง (Tannin red) จึงเรียกสาร กลุ่มนี้ว่า โฟบาแทนนิน (Phobatannins) เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้ มาทำการกลั่นแบบแห้งจะได้สารประกอบที่เป็นแคทีคอล แทนนิน (Catechol tannins) สารในกลุ่มคอนเดนส์แทนนิน ประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซีอิสระ 2 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีเขียว



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน

ที่มา : Deshpande, Cheryan และ Salunkhe (1986) [53]

2.1 สมบัติของแทนนิน

1) มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลอ่อน ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์

2) สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขั้ว เช่น น้ำ เอทานอล อะซิโตน และไพริดีน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์

3) เมื่ออยู่ในน้ำมีสภาพเป็นคอลลอยด์ ไม่สามารถตกผลึก

4) มีสมบัติเป็นอัลคาลอยด์รีเอเจนต์ เช่น สามารถตกตะกอนเกลือของโลหะหนักได้

5) สามารถตกตะกอนโปรตีนได้

6) เมื่อถูกออกซิไดส์ทำให้มีสีเข้มขึ้น

2.2 การตรวจสมบัติของแทนนิน แทนนินที่สกัดได้ประกอบด้วยสารหลายชนิดปะปนกันอยู่ ดังนั้นในการตรวจสมบัติของแทนนิน จึงใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ แทนนินจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน เมื่อเติมโฟลิน - เดนนิส รีเอเจนต์ วิเคราะห์ปริมาณแทนนินโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 745 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ การตรวจสมบัติการละลายแทนนินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน อีเทอร์ เบนซีน และคลอโรฟอร์ม

การตรวจสมบัติทางเคมีแทนนิน เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือของเหล็ก เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ จะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินแกมเขียว เพราะเป็นสารประกอบประเภทฟีนอลิก เมื่อทำปฏิกิริยากับเลดอะซิเตต ทำให้เลดอะซิเตตตกตะกอน เนื่องจากแทนนินมีคุณสมบัติในการจับไอออนของโลหะหนักและตกตะกอนโปรตีน เช่น อัลบูมิน และเจลาติน ได้

2.3 ประโยชน์ของแทนนินในอุตสาหกรรม

1) ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

2) ใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด

3) ใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อม น้ำหมึก และหมึกพิมพ์

4) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เช่น เบียร์ ไวน์ สาเก น้ำผลไม้ ชา และกาแฟ

5) ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

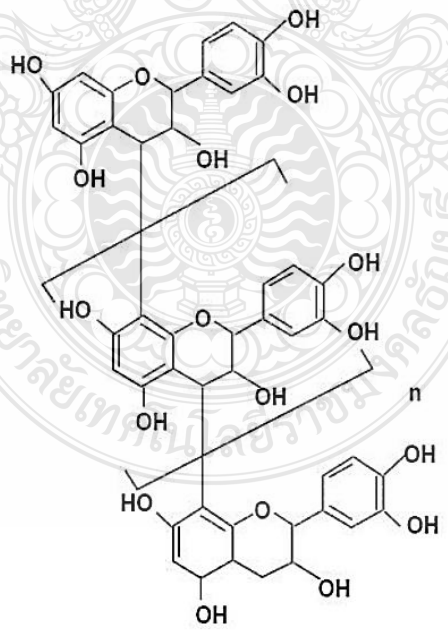
6) ใช้ในอุตสาหกรรมยา

7) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

วิภาและชิดชม (2537) ได้สกัดแทนนินจากเปลือกกล้วยพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยน้ำว้าและกล้วยไข่ที่มีระยะเวลาในการสุกแตกต่างกัน คือ ดิบ ห่าม และสุก พบว่าพันธุ์กล้วยและระยะเวลาในการสุกมีผลต่อปริมาณแทนนิน กล้วยหอมทองจะมีปริมาณแทนนินสูงกว่ากล้วยน้ำว้า เมื่อระยะในการสุกเท่ากับ 1 และ 3 และสูงกว่ากล้วยไข่ เมื่อระยะเวลาในการสุกเท่ากับ 1, 3 และ 6 กล้วยดิบมีปริมาณแทนนินสูงสุด และจะลดต่ำเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น อัตราการลดลงของปริมาณแทนนินในเปลือกกล้วยไข่สูงกว่าในกล้วยพันธุ์อื่นๆ [51]

2.3.4 กรดแทนนิก (tannic acid)

โครงสร้างซับซ้อน โดยประกอบด้วยกรดเอลลาจิก 9 โมเลกุล และน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล โดยมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.15 หลังจากที่สกัดพืช หรือผลไม้ที่มีกรดแทนนิกแล้ว จะทำให้เกิดความรู้สึกฝาดที่ปาก และขม กรดแทนนิกสามารถพบได้ทั้งในใบของพืชหลายชนิด ผลไม้ดิบ เมล็ดผลไม้ หรือแม้กระทั่งเปลือกของผลไม้ โดยกรดแทนนิกมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น มีฤทธิ์ในการตกตะกอนโปรตีน ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และเชื้อรา ใช้เป็นยาแก้ท้องร่วง แก้บิด สมานแผล กรดแทนนิกยังพบมากในผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น มะนาว มะนาวเหลือง ส้ม และกล้วย โดยเมื่อผลไม้เหล่านี้สุก ระดับของกรดแทนนิกก็จะลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสจะเพิ่มขึ้น อีกทั้งการปลอกเปลือกผลไม้ออกจะเป็นการลดปริมาณกรดแทนนิกลงอีกด้วย [54] [55] [56]



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างทางเคมีของกรดแทนนิก

ที่มา : Labieniec and Gabryelak (2003) [57]

กรดแทนนิก คือ แทนนินที่สกัดได้จากธรรมชาติ แล้วผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งสมบัติของกรดแทนนิกมีดังต่อไปนี้

(1) สูตรโมเลกุล $C_{76}H_{52}O_{46}$ ซึ่งโครงสร้างของกรดแทนนิก

(2) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีน้ำตาลอ่อน มีสมบัติเป็นยาฝาดสมาน

(3) เป็นของแข็งอสัณฐาน ละลายน้ำได้

(4) มีจุดหลอมเหลว 210 องศาเซลเซียส

(5) ติดไฟได้เองที่ 526 องศาเซลเซียส

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เทคนิค AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่น และมีสภาพไวสูง ความสามารถของเทคนิคนี้สูงมาก สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ โดยอาศัยกระบวนการที่เกิดอะตอมเสรี (Free Atom) ของธาตุแต่ละชนิด ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นโดยเฉพาะปริมาณของแสงที่ดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของธาตุนั้นที่แสงส่องผ่านเพิ่มขึ้น และแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่ถูกดูดกลืนแสงนั้น [58]

กมณชนก (2560) ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ทองแดง และสังกะสี ในข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิดำ และข้าวสังข์หยดโคราช ในพื้นที่อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p\leq0.05$ ยกเว้นปริมาณทองแดง และสังกะสีที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p\leq0.05$ ระหว่างพันธุ์ปลูก ฟอสฟอรัสมีปริมาณธาตุเฉลี่ยสูงสุด (341.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ โพแทสเซียม (204.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แมกนีเซียม (182.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สังกะสี (32.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และทองแดง (0.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้าวแต่ละพันธุ์พบว่าข้าวหอมมะลิดำมีปริมาณแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และทองแดงสูงที่สุด ส่วนข้าวสังข์หยดโคราชมีปริมาณสังกะสีสูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบพันธุ์ของข้าวพบว่า ในข้าวหอมมะลิดำ และข้าวสังข์หยดโคราชมีปริมาณธาตุสูงกว่าข้าวหอมมะลิ และยังพบว่า ข้าวหอมมะลิดำมีปริมาณธาตุสูงกว่าข้าวสังข์หยดโคราช การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวในพื้นที่อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา มีคุณสมบัติ

ที่ดีในด้านของแร่ธาตุ ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว และพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป จากผลการศึกษาร้อยละการได้กลับคืนมา พบว่า ร้อยละการได้กลับคืนมาอยู่ในช่วง 98.84 - 100.38 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับ และผลการศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด พบว่า มีค่าต่ำกว่าปริมาณต่ำที่สุดของธาตุที่วิเคราะห์ได้ แสดงว่า การวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีความถูกต้อง และมีความแม่นยำสูง [59]

Lin *et al*. (2004) ได้ศึกษาผลของปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่อคุณภาพของผลผลิตพืชบางชนิด ได้แก่ การศึกษาผลของระดับโพแทสเซียมต่อปริมาณสารให้กลิ่นของผลแตงเทศที่ปลูกในวัสดุปลูก โดย แปรเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของ โพแทสเซียม 3 ระดับคือ 120, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบวา ที่ความเข้มข้น 240 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้สารที่มีกลิ่นหอมคือ n-amyl acetate, 2-butoxyethyl acetate, benzyl acetate, benzyl acetic acid ester, nonadien, acetic acid phenethyl ester, cinnamic acid และ phthalic acid diisobutyl ester มีปริมาณสูงที่สุด [60]

นฤมล และคณะ (2554) ได้ศึกษาการหาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรด์ในน้ำมะพร้าวด้วยเทคนิค Capillary Electrophoresis โดยกล่าวว่า น้ำมะพร้าวเป็นเครื่องดื่มที่คนทั่วไปนิยม โดยเฉพาะนักกีฬา เนื่องจากมีความเข้มข้นของแร่ธาตุ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรด์ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายสูงและมีกลิ่นหอม การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำมะพร้าวให้ได้ผลเร็วสามารถใช้เทคนิค Capillary electrophoresis ที่มี Capillary column ยาว 45 เซนติเมตร ทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 206 นาโนเมตร และ Background electrolyte ประกอบด้วย imidazole, alanine และ 18 crown 6 ที่ pH 6 โดยใช้วามต่างศักย์ +25 กิโลโวลล์ และเวลาที่ใช้ในการฉีดสาร 7 วินาทีที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ สำหรับคลอไรด์ใช้ Capillary column ยาว 50 เซนติเมตร เคลือบด้วย Poly (Diallyl Dimethy Lammonium Chloride) และ Background electrolyte ที่ประกอบด้วย 4 mM ของ Chromate ใน Tris buffer ที่ pH 3 ใช้ความต่างศักย์ -30 kV เวลาที่ใช้ในการฉีดสาร 10 วินาที ที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ ผลการทดลองตรวจ พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรด์ ที่มีต่างกันในน้ำมะพร้าวขึ้อยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวผลมะพร้าว [61]

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนิน

ผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ประกอบด้วยสารประกอบแทนนินหลายชนิดรวมกันอยู่ ยากที่จะทำให้บริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ปฏิกิริยาทางเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน โดยการเติมรีเอเจนต์เพื่อทำให้แทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน หลักการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินใช้วิธีของโฟลิน - เดนนีส คือ สารละลายแทนนินจะถูกออกซิไดส์ด้วยโฟลิน - เดนนีส รีเอเจนต์ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต อิ่มตัวจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน จากนั้นวัดปริมาณแทนนิน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 745 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี -วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐาน

วิธีโฟลิน – เดนนีส เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินทั้งหมดในพืชผัก ผลไม้ และเครื่องดื่มต่างๆ โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ของโซเดียมทังสเตต กรดฟอสโฟโมลิบดินัม (VI) ไอออน (Mo(VI)) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารประกอบประเภทฟีนอลแล้ว จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมลิบดินัม (V) ไอออน (Mo(V)) ซึ่งมีสีน้ำเงิน และสามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 745 นาโนเมตร ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ สะดวกง่ายรวดเร็ว และมีความแม่นยำ [62]

อัญมณี (2540) ศึกษาการสกัดสารแทนนินจากเปลือกลูกตาล โดยใช้วิธีการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว ไม่มีการกวนผสม โดยใช้น้ำ และสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเปลือกลูกตาลต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1 : 10 เวลา 1 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแทนนินได้ร้อยละ 22.57 ของน้ำหนักเปลือกลูกตาลสด และเมื่อใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเปลือกลูกตาลต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 : 10 เวลา 1 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแทนนินได้ร้อยละ 26.64 ของน้ำหนักเปลือกลูกตาลสด [63]

ชุติกาญจน์ (2551) ศึกษาความสามารถต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผักจำนวน 23 ชนิด โดยการสกัดสารตัวอย่างด้วยเมทานอล เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์จึงควรละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วใกล้เคียงกัน รวมทั้งในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเมทานอล จะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเกิดความเสถียรแล้ว นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบค่า IC50 กับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก พบว่า ในตัวอย่างผักที่นำมาศึกษาทุกชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และมีบางชนิดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์เช่น ขี้เหล็ก ผักหวาน ผักติ้ว

เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธีโฟลิน –ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ และวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 750 นาโนเมตร พบว่า ตัวอย่างผักทั้งหมด มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 10 - 170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิก ผักติ้วมีสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผักชนิดอื่นๆ และพบว่า ผักที่นำมาศึกษาทั้งหมด มีความสอดคล้องกัน คือ ผักที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง จะมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย [64]

ธีรวุฒิและคณะ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝาดดอกแดงต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp.* โดยการใช้น้ำเป็นตัวสกัด สารสกัดหยาบจากใบ และเปลือกของฝาดดอกแดงที่รวบรวมจากป่าชายเลนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังจังหวัดตรัง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp.* ที่แยกได้จากปลากะพงแดงที่มีอาการป่วย พบว่า สารสกัดหยาบจากส่วนของเปลือกสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี โดยมีค่า MIC เท่ากับ 300 ไมโครลิตรต่อ suspension ของเชื้อแบคทีเรีย 5 มิลลิลิตร (20.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ขณะที่สารสกัดหยาบจากส่วนของใบไม่มีผลต่อเชื้อแบคทีเรีย และเมื่อนำส่วนใบ และเปลือกไปวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน โดยวิธี colorimetric method (AOAC, 1990) [66] โดยกำหนดให้สัดส่วนระหว่างใบหรือเปลือกต่อน้ำเป็น 1 : 5 ที่อุณหภูมิ 70องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 1 - 2 ชั่วโมง พบว่า เปลือกจะมีปริมาณแทนนิน 8.9 ไมโครกรัมต่อกรัม ขณะที่ส่วนใบมีปริมาณแทนนินเพียง 1.3 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นการยืนยันว่า สารสกัดจากเปลือกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงกว่า [65]

กมณชนก และปนัดดา (2557) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนิน จากตัวอย่างใบมันสำปะหลังที่เก็บมาจากอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย คือ น้ำ เมทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 เอทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 และอะซิโตน อะซิโตนกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 โดยปริมาตรอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างใบมันสำปะหลังต่อตัวทำละลาย คือ 1 : 10 1 : 20 1: 30 และ 1: 40 กรัมต่อมิลลิลิตรอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด คือ อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 1 3 และ 5 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว และวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินทั้งหมดโดยให้สารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับโฟลิน - เดนนีส รีเอเจนต์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี -วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจากตัวอย่างใบมันสำปะหลัง คือ อะซิโตนกับน้ำร้อยละ 80 อัตราส่วน 1 : 20 ทำการสกัดที่อุณหภูมิ50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารแทนนินสูงที่สุด คือ 644.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [67]

Comanidini *et. al*. (2014) ศึกษาการพัฒนาเทคนิค HPLC - DAD – MS สำหรับวิเคราะห์สารแทนนิน และสารประกอบฟีนอลอื่นๆ จากตัวอย่างเปลือกเกาลัด 4 ยี่ห้อ จากการศึกษาพบว่าสารประกอบทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ เวสคาลิน (vescalin) เคสทาลิน (castalin) กรดแกลลิก (gallic acid) เวสคาเลกิน (vescalagin) วัน - โอ - แกลโลอิล เคสทาเลกิน (1 - O -galloyl castalagin) เคสทาเล-กิน (castalagin) และกรดแอลลาจิก (ellagic acid) ซึ่งพบวัน - โอ –แกลโลอิล เคสทาเลกินเป็นครั้งแรกในตัวอย่างเปลือกเกาลัด ดังนั้นเทคนิคนี้สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบ และคุณภาพของตัวอย่างเปลือกเกาลัด ซึ่งแทนนินเป็นสารที่มีความสำคัญทางการค้า เพราะมีคุณสมบัติทางชีวเคมี จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร [68]

2.6 เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊ส มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่เมล็ดงอกจนต้นพืชตาย โดยมีบทบาทที่สำคัญทั้งในการพัฒนาและการเสื่อมถอยของพืช เช่น การเกิดการตอบสนอง 3 แบบ (Triple Response) ในต้นกล้าของพืชใบเลี้ยงคู่ การกระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง การควบคุมการสุกของผลไม้ รวมทั้งการหลุดร่วงของใบ ดอก และผล เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้ โดยปกติพืชมีการสร้างเอทิลีนในปริมาณน้อย แต่เมื่อผลไม้สุกหรือมีการกระทบกระเทือนของผล เช่น การช้ำ หรือการเกิดบาดแผล รวมทั้งพืชที่เผชิญกับสภาวะเครียดเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินเค็ม อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป พืชจะมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น และเอทิลีนที่พืชสร้างขึ้นนี้สามารถไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ที่ตอบสนองต่อเอทิลีนให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น การสุก การเปลี่ยนสีของเปลือกผล การหลุดร่วงของดอกและใบ และการวายของพืช

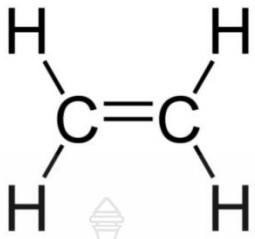
การค้นพบเอทิลีน

ในปี ค.ศ. 1901 นักศึกษาชาวรัสเซียพบว่าเอทิลีนเป็นหนึ่งในแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่ใช้เป็นแหล่งแสงสว่างตามท้องถนนในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 หลังจากนั้นได้มีการพิสูจน์ให้เห็นว่าเอทิลีนเป็นแก๊สที่พืชสังเคราะห์ขึ้นได้ในปริมาณน้อยและสามารถเร่งกระบวนการสุกของผลไม้บางชนิดได้ จึงจัดเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญทางด้านสรีรวิทยาหลังเก็บเกี่ยว และพบต่อไปอีกว่าเอทิลีนสามารถควบคุมพัฒนาการทางสรีระของพืชในด้านต่างๆ นอกเหนือจากการควบคุมการสุกของผลด้วย เช่น การกระตุ้นการออกดอก

โครงสร้างของเอทิลีน

เอทิลีนมีสูตรโครงสร้างคือ C_2H_4 (ภาพที่ 2.16) เอทิลีนเป็นแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 28 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสร้างเอทิลีนคือ กรดอะมิโน methionine Shang Fa Yang เป็นผู้ค้นพบวัฏจักร

การสังเคราะห์เอทิลีนที่สมบูรณ์ เรียกว่า วัฏจักร Yang เนื่องจากคุณสมบัติของเอทิลีนที่เป็นแก๊สทำให้เอทิลีนสามารถแพร่ผ่านเนื้อเยื่อพืชได้ง่าย



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของเอทิลีน
ที่มา : กนกวรรณ (2555) [69]

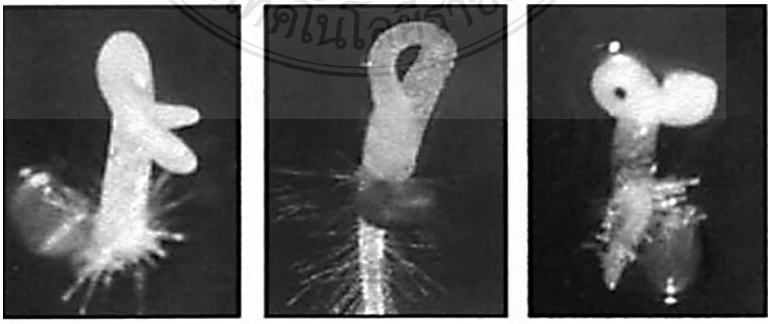
บริเวณที่สร้างเอทิลีน

เนื้อเยื่อแทบทุกส่วนของพืชสามารถสร้างเอทิลีนได้ในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อและระยะพัฒนาการของพืช เนื้อเยื่อบริเวณผลของผลไม้หลายชนิดสามารถสร้างเอทิลีนได้สูงมากกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ

เอทิลีนและการเกิด Triple Response

ในปี ค.ศ. 1901 Neljubow พบว่า ในการงอกของเมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ ต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดที่อยู่ใต้ดินจะมีลักษณะพิเศษ คือ อ้วน สั้น และไม่มีทิศทางการเจริญที่แน่นอนหรือไม่ตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก รวมทั้งยอดยังมีลักษณะงอเป็นตะขอ (Hook) ชัดเจน (ภาพที่ 2.17) ลักษณะทั้งหมดดังกล่าวเป็นการตอบสนองต่อเอทิลีนที่ต้นกล้าสร้างขึ้นขณะกำลังงอก เรียกลักษณะการตอบสนองเช่นนี้ว่า Triple Response ดังนั้นอาจสรุปลักษณะของ Triple Response ได้ดังนี้

1. ลำต้นเตี้ย สั้น เนื่องจากการยับยั้งการยืดตัวของลำต้น
2. ลำต้นอ้วน เนื่องจากการส่งเสริมให้มีการเติบโตด้านข้าง
3. ลำต้นเติบโตในแนวนอน เนื่องจากลำต้นไม่มีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก



ลำต้นเตี้ย สั้น ลำต้นอ้วน ลำต้นเติบโตในแนวนอน

ภาพที่ 2.17 ลักษณะ triple response ของต้นกล้า
ที่มา : กนกวรรณ (2555) [69]

ลักษณะ Triple Response มีประโยชน์ต่อต้นกล้าที่งอกอยู่ใต้ดิน โดย Hook ที่ปลายยอดทำหน้าที่ป้องกันยอดอ่อนและทำให้ต้นกล้ามีแรงดันดินขึ้นมาเหนือดินได้และหากต้นกล้าต้องเผชิญกับก้อนหินทำให้ไม่สามารถงอกผ่านขึ้นมาได้ แรงกดที่ก้อนหินมีต่อยอดพืชจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนในต้นกล้าให้มากขึ้น ทำให้ยอดหยุดยืดตัวและเจริญออกทางด้านข้างแทน ทำให้ต้นกล้ามีแรงดันมากขึ้น และถ้าต้นกล้ายังไม่สามารถดันก้อนหินขึ้นไปได้ พืชจะมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นไปอีก และทำให้ลดการตอบสนองของต้นกล้าต่อแรงโน้มถ่วงของโลก ต้นกล้าก็จะสามารถเจริญไปในแนวนอนหลบอุปสรรคสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่มีอยู่ได้ (ภาพที่ 2.18) และเมื่อต้นกล้างอกพ้นดินพ้นจากแรงกดดัน ปริมาณเอทิลีนก็จะลดลง และเมื่อได้รับแสง Hook ของต้นกล้าก็จะคลาย ทำให้ต้นกล้าเจริญตั้งตรงเป็นปกติได้

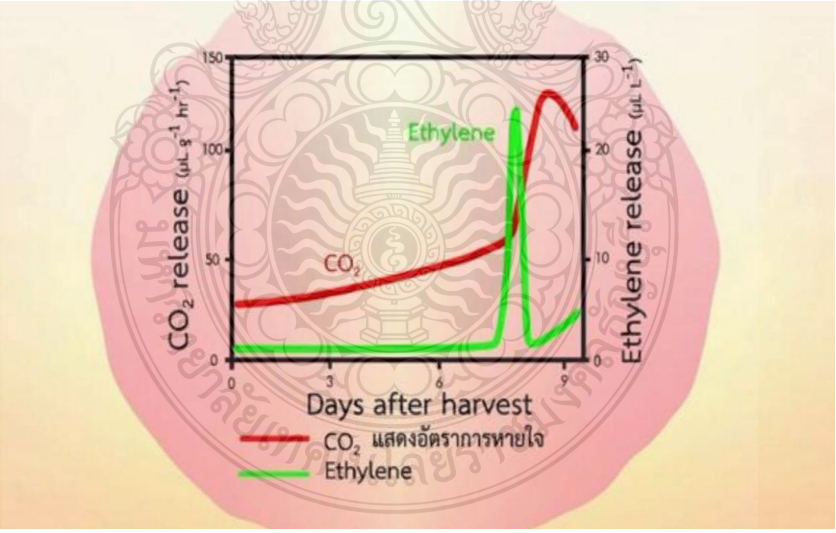
ภาพที่ 2.18 การเจริญของต้นกล้าหลบสิ่งกีดขวางใต้ดิน
ที่มา : กนกวรรณ (2555) [69]

ผลของเอทิลีนต่อพัฒนาการด้านต่างๆ ของพืช

เอทิลีนและการสุกของผลไม้

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่มีความสลับซับซ้อน ผลไม้มีการเจริญเต็มที่และพัฒนาเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะรูปร่าง ขนาด รสชาติ สีและกลิ่น ก่อนที่จะพัฒนาอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ระยะสุกงอมและเสื่อมสภาพในที่สุด การสุกของผลไม้สามารถจัดแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม ดังนี้

1. ผลไม้บ่มสุก หรือ Climacteric fruit หมายถึง ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอายุนับจากที่ผลไม้แก่เต็มที่หรือมีการพัฒนาของผลบริบูรณ์ (Maturity) อัตราการหายใจของผลไม้จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Climacteric peak) จากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้เริ่มงอม (ภาพที่ 2.19) ผลไม้บ่มสุกนี้ในระยะอ่อนหรือก่อนบริบูรณ์มีการสังเคราะห์เอทิลีนน้อยมาก หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะผลบริบูรณ์ เอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้นมีผลเร่งให้ผลไม้ในกลุ่มนี้สุก และมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ รสชาติ สีและกลิ่น โดยเอทิลีนที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการทำงานของเอนไซม์ที่กระตุ้นการย่อยผนังเซลล์มากขึ้นทำให้เปลือกและเนื้อผลไม้อ่อนนุ่มลง เอทิลีนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสลายของแป้งเป็นน้ำตาล และกระตุ้นการสลายของคลอโรฟิลล์ที่เปลือกของผลไม้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและเนื้อ มีรสชาติและกลิ่นที่ชวนรับประทานมากขึ้น ซึ่งการตอบสนองของผลประเภทนี้ต่อเอทิลีนมีประโยชน์ในการช่วยส่งเสริมการกระจายพันธุ์ของพืชในธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก



ภาพที่ 2.19 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้บ่มสุก
ที่มา : กนกวรรณ (2555) [69]

ตัวอย่างของผลไม้บ่มสุก ได้แก่ ทุเรียน กล้วย มะม่วง มะละกอ ขนุน มังคุด ละมุด ฝรั่ง น้อยหน่ามะเขือเทศ พริก แอปเปิ้ล พลับ อาโวกาโด กีวี่ แคนตาลูป เป็นต้น

จากกลไกการทำงานของเอทิลีนในการกระตุ้นการสุกของผล ทำให้มีการนำความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการสุกของผลไม้ทั้งในแง่การชะลอและการกระตุ้นการสุก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งออกผลไม้ไปยังต่างประเทศที่ต้องใช้ระยะเวลายาวนานในการขนส่ง จำเป็นต้องหาวิธีชะลอการสร้างเอทิลีนหรือกำจัดเอทิลีนออกไปในช่วงเก็บรักษาก่อนขนส่งและในช่วงขนส่ง เช่น การเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ หรือในห้องเย็นเพื่อลดอัตราการหายใจ การเก็บรักษาในห้องควบคุมสภาพบรรยากาศโดยจำกัดปริมาณแก๊สออกซิเจนหรือเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผสมสารดูดซับเอทิลีน หรือการเคลือบผลไม้ด้วยสารเคลือบผลไม้หรือ Wax เพื่อลดการคายน้ำและแลกเปลี่ยนแก๊สของผลไม้ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ให้อยู่ในสภาพเดิมได้นานที่สุดก่อนถึงมือผู้บริโภค

นอกจากนี้ ผลไม้บ่มสุกสามารถเก็บเกี่ยวจากต้นได้เมื่อผลไม้ยังไม่สุกเต็มที่แล้วนำมาบ่มให้สุกต่อ โดยใช้เอทิลีนหรือใช้สารสังเคราะห์ที่สามารถปลดปล่อยเอทิลีนได้ สารสังเคราะห์ที่นิยมนำมาใช้ในทางการค้าเพื่อกระตุ้นการสุกของผลไม้บ่มสุกแทนการใช้เอทิลีน ได้แก่

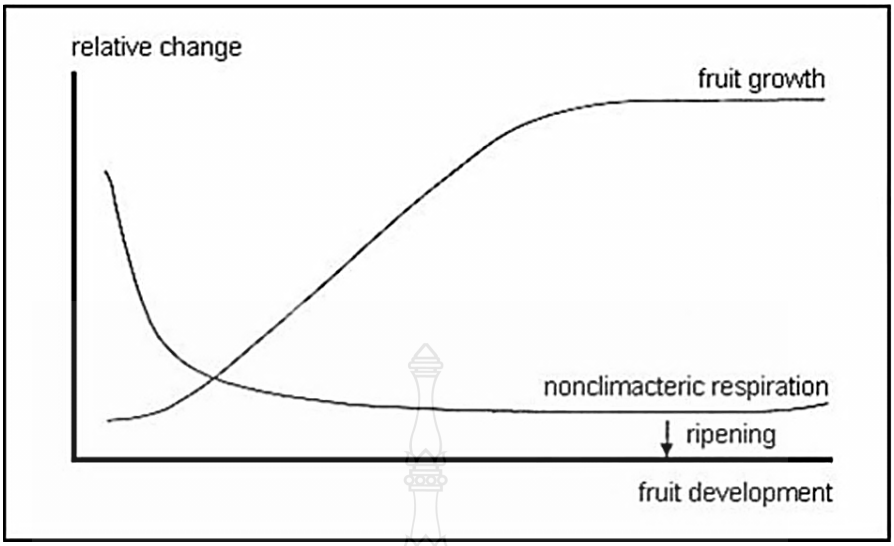
1.1 ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide) เมื่อถ่านแก๊สทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene; C_2H_2) ดังสมการ

$$CaC_2 + 2\ H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Ca\ (OH)_2$$

แก๊สอะเซทิลีนมีสูตรโครงสร้างและคุณสมบัติคล้ายเอทิลีน และมีผลเร่งการสุกของผลไม้เหมือนกับเอทิลีน นิยมนำมาใช้บ่มผลไม้เช่น มะม่วง ละมุด

1.2 เอทิฟอน (Ethephon) เอทิฟอนมีชื่อทางเคมีว่า 2-Chloroethylphosphonic acid ($C_2H_6ClO_3P$) เอทิฟอนเป็นสารที่สามารถปลดปล่อยเอทิลีนได้อย่างช้าๆ มีจำหน่ายภายใต้ชื่อการค้าว่า อีเทรล (Ethrel®) พืชสามารถดูดซึมได้ จึงสามารถนำมาใช้บ่มผลไม้ให้สุกเร็วขึ้นและพร้อมกันทั้งหมดได้ในทางการเกษตรยังมีการนำเอทิฟอนมาใช้แทนเอทิลีนเพื่อเร่งการไหลของน้ำยางพารา เร่งการออกดอกของสับปะรด เป็นต้น

2. ผลไม้บ่มไม่สุก หรือ Non-Climacteric fruit เป็นผลไม้ที่อัตราการหายใจของผลไม้เพิ่มขึ้นระหว่างที่ผลมีพัฒนาการสุก และส่วนใหญ่อัตราการหายใจของผลไม้ในกลุ่มนี้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้อายุมากขึ้น (ภาพที่ 2.21) ดังนั้น เมื่อเก็บผลไม้ในกลุ่มนี้มาจากต้นแล้วผลไม้จะไม่สุกต่อ และไม่สามารถบ่มผลไม้ในกลุ่มนี้ให้สุกได้โดยใช้เอทิลีน เนื่องจากผลไม้ในกลุ่มนี้ไม่มีการตอบสนองต่อเอทิลีนแล้วทำให้เกิดการสุกมากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรควรเก็บเกี่ยวผลไม้ในกลุ่มนี้เมื่อสุกเต็มที่เพื่อให้ได้ผลไม้ที่รสชาติดี อย่างไรก็ตาม ผลไม้ในกลุ่มนี้หากได้รับเอทิลีนในปริมาณมากหรือความเข้มข้นสูงอาจจะส่งผลกระตุ้นการวายหรือการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้



ภาพที่ 2.20 อัตราการหายใจของผลไม้บ่มไม่สุก
ที่มา : กนกวรรณ (2555) [69]

ตัวอย่างของผลไม้บ่มไม่สุก ได้แก่ ส้ม ส้มโอ มะนาว ชมพู่ เงาะ สับปะรด แตงโม ลำไย ลิ้นจี่ ลางสาด ลองกอง สตรอเบอรี่ สาลี่ สละ ระกำ เป็นต้น

เอทิลีนและการหลุด ร่วงของใบ

การหลุดร่วงของใบทั้งที่เกิดขึ้นจากภาวะเครียดเนื่องจากพืชต้องเผชิญกับภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือการหลุดร่วงของใบที่เกิดจากการปรับตัวของพืชในฤดูกาลต่างๆ เช่น ฤดูแล้งพืชผลัดใบเนื่องจากต้องการลดการคายน้ำ และก่อนที่จะมีการหลุดร่วงของใบ พืชจะเคลื่อนย้ายแร่ธาตุต่างๆ ไปเก็บไว้ที่ลำต้น เอทิลีนจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม Cellulase ที่สามารถย่อยสลายเนื้อเยื่อบริเวณผนังเซลล์ การร่วงของใบเกิดบริเวณ Abscission zone ที่โคนก้านใบ โดยผนังของเซลล์ในบริเวณ abscission zone เกิดการแยกออกจากกิ่งหรือต้นทำให้ใบร่วง โดยเอทิลีนจะชักนำการสร้างเอนไซม์ไฮโดรไลติก (Hydrolytic enzymes) เช่น เอนไซม์เซลลูเลสไปย่อยสลายเซลลูโลสที่ผนังเซลล์บริเวณ Abscission zone ทำให้เกิดรอยแยกและใบหลุดร่วงไปในที่สุด

2.7 **การบ่มผลไม้**

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ทำให้ผลไม้ดิบมีการสุก และมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการรับประทาน โดยมีสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อ

สัมผัส ดึงดูดให้ผลไม้น่ารับประทาน ดังนั้นการบ่มผลไม้จึงเป็นการกระตุ้นกระบวนการสุกของผลไม้ดิบให้เกิดเร็วขึ้น

ประโยชน์ของการบ่มผลไม้

การบ่มผลไม้มีประโยชน์หลายอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับการปล่อยให้ผลไม้สุกเองตามธรรมชาติโดยที่ไม่มีการบ่ม

1. ผลไม้สุกเร็ว ผลไม้ประเภท Climacteric จะสุกช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับว่าผลไม้นั้นสามารถสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นมากถึงจุดหนึ่งที่จะชักนำให้เกิดกระบวนการสุกของผลไม้นั้น ถ้าปล่อยให้ผลไม้สุกเองตามธรรมชาติ ผลไม้จะใช้เวลานานในการสุก เพราะต้องใช้เวลานานหลายวันในการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าบ่มผลไม้ คือ ให้ผลไม้ได้รับเอทิลีน สารที่ทำหน้าที่คล้ายเอทิลีน หรือวิธีการที่กระตุ้นให้ผลไม้สร้างเอทิลีนได้เร็วขึ้น กระบวนการสุกของผลไม้จะถูกชักนำให้เกิดขึ้น ถ้าปล่อยให้ผลไม้สุกเองโดยธรรมชาติ อาจจะใช้เวลา 5-7 วันแต่ถ้าผลไม้ได้รับการบ่ม อาจจะใช้เวลาในการสุกเพียง 3-4 วัน หรือเร็วกว่านี้ได้ การที่ผลไม้สุกเร็วมีประโยชน์หลายอย่าง โดยเฉพาะในการค้า เพราะจะทำให้ผลไม้ขายได้ราคาดี

2. ผลไม้สุกเป็นจำนวนมาก ผลไม้ที่ปล่อยให้สุกเองโดยธรรมชาติจะทยอยสุกเรื่อยๆ ครั้งละไม่มากดังนั้นจะมีจำนวนผลไม้สุกแต่ละวันไม่มาก ในทางตรงกันข้ามกับผลไม้ที่มีการบ่ม จะสุกพร้อมกันมากครั้งเดียว มีประโยชน์อย่างมากแก่การขาย เพราะจะได้ผลไม้สุกเป็นจำนวนมากตามที่ตลาดต้องการ

3. ผลไม้สุกมีสีผิวดี ผลไม้หลายชนิดเมื่อสุกจะเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลือง ส้ม แดง ชมพู หรือสีอื่นๆ ตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่ปล่อยให้สุกเองโดยธรรมชาติ มักจะมีสีผิวพัฒนาไม่สมบูรณ์ หรืออีกนัยหนึ่งคือมีสีผิวไม่สม่ำเสมอเมื่อผลไม้สุก ทำให้ผลไม้สุกไม่ดึงดูดใจผู้บริโภค แต่การบ่มจะช่วยให้ผลไม้สุกพัฒนาสีผิวเร็วสมบูรณ์ และสม่ำเสมอ ทำให้ผลไม้สุกมีสีผิวสวยและดึงดูดใจผู้บริโภค

4. ผลไม้ไม่เหี่ยว ผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจากต้นจะสูญเสียน้ำหนักสดตลอดเวลา เนื่องจากการคายน้ำและไม่ได้ส่วนชดเชยจากต้นเดิมผลไม้ที่สูญเสียน้ำหนักสดมากๆ จะเหี่ยว ผลไม้ที่สุกเองตามธรรมชาติจะสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าผลไม้สุกที่ถูกบ่ม เพราะผลไม้ที่สุกเองโดยธรรมชาติจะใช้เวลาในการสุกนานกว่าผลไม้ที่ถูกบ่ม ดังนั้นผลไม้ที่ปล่อยให้สุกเองโดยธรรมชาติมักจะแสดงอาการเหี่ยวของผลให้ปรากฏมากกว่าผลไม้สุกที่ถูกบ่ม

5. ผลไม้สุกมีการเน่าเสียน้อย โรคหลังการเก็บเกี่ยวบางชนิดจะทำให้ผลไม้แสดงการเน่าเสียเมื่อผลไม้สุก เพราะเชื้อโรคชนิดนี้เป็นเชื้อโรคแฝง (Latent Infection) กล่าวคือผลไม้ติดเชื้อโรคขณะยังอยู่บนต้นเดิม เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลไม้และผลไม้สุก จะพอดีกับเวลาที่เชื้อโรคแฝงที่มากับผลไม้มีการ

พัฒนาและเข้าทำลายผลไม้สุก ผลไม้จะแสดงอาการเน่าเสียอย่างรุนแรงเมื่อสุกงอมมากขึ้น ขณะที่ผลไม้สุกโดยการบ่มจะเน่าเสียน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย เพราะการบ่มผลไม้ช่วยเร่งให้ผลไม้สุกเร็วโดยที่เชื้อโรคแฝงที่ติดมากับผลไม้ยังไม่ทันได้พัฒนาและไม่ทันเข้าทำลายผลไม้

วิธีการบ่มผลไม้

การบ่มผลไม้ให้สุกมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน

1. เอทิลีน เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่ถูกนำมาใช้ในการเกษตรมากที่สุดทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เอทิลีนที่ใช้ในการบ่มผลไม้เป็นชนิดเดียวกัน และมีสมบัติเช่นเดียวกับเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้นมา เพื่อกระตุ้นผลไม้เองให้สุกเอทิลีน สำหรับการบ่มผลไม้ในทางปฏิบัตินั้นมีทั้งที่มีสถานะเป็นแก๊ส (Gaseous Ethylene) และสารละลาย (Liquid Ethylene) การบ่มผลไม้โดยใช้เอทิลีนเป็นวิธีการบ่มแบบอื่นๆ แต่การบ่มผลไม้ด้วยเอทิลีนในสถานะแก๊สเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ต้องมีห้องบ่มที่สามารถป้องกันการรั่วไหลของแก๊สได้และต้องมีอุปกรณ์พิเศษ (Regulator) ที่ควบคุมการปลดปล่อยเอทิลีนจากถังเก็บเอทิลีนความดันสูง และต้องมีมาตรวัด (Flow Meter) สำหรับควบคุมปริมาตรของแก๊ส เอทิลีนที่ปล่อยเข้าไปในห้องบ่ม การใช้เอทิลีนที่เป็นแก๊สบ่มผลไม้ในประเทศไทยมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ หาซื้อแก๊สเอทิลีนได้ยาก ปัจจุบันมีบริษัทในอเมริกาได้ประดิษฐ์เครื่องกำเนิดเอทิลีน (Ethylene Generator) เพื่อใช้เฉพาะกับการบ่มผลไม้ บ่มผิว และบ่มใบยาสูบ โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ตัวเครื่อง (1-3) กับสารละลาย (4) สารละลายนี้จะถูกปล่อยให้ผ่านเครื่องที่เปิดให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้สารละลายนี้แตกตัว และได้แก๊สเอทิลีนที่กระตุ้นการสุกของผลไม้ได้ เพียงแต่ยกเครื่องนี้ไปตั้งไว้ในห้องบ่ม เติมสารละลายในเครื่องที่กดสวิตช์เปิดไฟฟ้า เอทิลีนจะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้ผลไม้สุกได้

การบ่มผลไม้ด้วยเอทิลีนที่อยู่ในรูปของสารละลายสามารถทำได้ง่าย เพราะสามารถวัดตวงปริมาตร และจุ่มผลไม้ลงในสารละลาย หรือฉีดพ่นผลไม้ด้วยสารละลายนี้ได้สารละลายนี้ทีชื่อเรียกทางเคมี คือ 2-Chloroethyl Phosphonic Acid และมีชื่อสามัญ (Common Name) เรียกทั่วไปว่า เอทิลีน (Ethephon) บริษัทที่เกี่ยวของได้ผลิตสารนี้ โดยใช้ชื่อทางการค้า (Commercial Name) เช่น Ethrel และ Prothrel สารละลายที่ผลิตจะมีสภาพเป็นกรด (pH 3-4) ซึ่งทำให้มีเสถียรภาพไม่แตกตัวได้ง่าย และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เมื่อนำสารละลายนี้มาใช้งาน เพียงแค่เติมน้ำเพื่อเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการก็จะทำให้สารละลายที่มี pH เพิ่มขึ้นไปทางเป็นด่าง และทำให้สารละลายนี้แตกตัวง่ายและได้แก๊สเอทิลีน (C_2H_4) ดังสมการ

$$Cl - CH_2 - CH_2 - PO_2H_2 + OH \longrightarrow C_2H_4 + Cl + H_2PO_2$$

แก๊สเอทิลีนที่ได้จากการแตกตัวของเอทิฟอนนี้ มีสมบัติเหมือนกับเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้น เพื่อกระตุ้นการสุกของผลไม้เอง และเหมือนกับแก๊สเอทิลีนที่อยู่ในถังเก็บความดันสูงเกษตร และพ่อค้าแม่ค้าในประเทศไทยใช้สารละลายนี้บ่มผลไม้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ในต่างประเทศไม่ใช้สารละลายนี้ในการบ่มผลไม้ แต่จะใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น เช่น การปลิดผลบางส่วนเมื่อต้นไม่ติดผลมากเกินไป การชักนำให้พืชแกดอกเร็ว การทำให้ผลไม้แก่พร้อมกัน การทำให้ผลไม้ร่วงง่ายเมื่อใช้เครื่องจักรกลเก็บเกี่ยว และการทำลายการพักของพืชหัวบางชนิด

2. ถ่านแก๊ส (Calcium CarBide, CaC_2) การบ่มผลไม้ด้วยถ่านแก๊ส หรือแคลเซียม-คาร์ไบต์ ยังเป็นที่นิยมปฏิบัติของเกษตรกรและพ่อค้าแม่ค้า เพราสามารถจับหรือสัมผัสเพื่อชั่ง และหาซื้อได้ง่าย ถ่านแก๊สนี้มีลักษณะเป็นก้อนของแข็งคล้ายกับก้อนหิน แต่สามารถทุบให้แตกเป็นก้อนขนาดเล็กได้ง่าย และเหมาะสมกับการใช้งาน ถ่านแก๊สนี้จำทำปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศดังสมการ

$$CaC_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_4 + CaO$$

ซึ่งจะให้แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene, C_2H_2) และแก๊สอะเซทิลีนนี้ทำหน้าที่กระตุ้นให้ผลไม้สุกเหมือนกับเอทิลีน แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าเอทิลีนมาก ถ่านแก๊สนี้จะปล่อยแก๊สอะเซทิลีนออกมาตลอดเวลาที่ทำปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศ โดยที่แก๊สอะเซทิลีนนี้ติดไฟ ดังนั้น จะต้องเก็บรักษาถ่านแก๊สไว้ในภาชนะปิดตลอดเวลา เมื่อต้องการใช้จึงนำออกมาทุบให้มีขนาดเล็กแล้วห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ประมาณ 50 กรัมต่อห่อ นำห่อถ่านแก๊สนี้ไปไว้ในภาชนะบรรจุที่มีผลไม้โดยใช้อัตราผลไม้ประมาณ 5 กิโลกรัมต่อถ่าน แก๊ส 50 กรัม หลังจากนั้นจึงเปิดฝาภาชนะบรรจุผลไม้ การบ่มผลไม้โดยถ่านแก๊สๆ ไม่ต้องเติมน้ำลงบนก้อนถ่านแก๊ส มิฉะนั้นจะเกิดปฏิกิริยาและปล่อยแก๊สอะเซทิลินออกมาสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็วจนไม่มีแก๊สอะเซลีนเหลืออยู่ในบรรยากาศพอที่จะกระตุ้นการสุกของผลไม้ได้ ถ่านแก๊สที่อยู่ในห่อหนังสือพิมพ์จะค่อยๆ ทำปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศที่เกิดขึ้น เพราะผลไม้คายน้ำออกมา ถ่านแก๊สจะค่อยๆ ปล่อยแก๊สอะเซทิลีนไปกระตุ้นการสุกของผลไม้ การบ่มผลไม้ด้วยถ่านแก๊สต้องระวังอย่าใช้ถ่านแก๊สมากเกินไป เพราะจะทำให้ผลไม้สุกมีกลิ่นผิดปรกติซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ ถ้าใช้ถ่านแก๊สมากเกินไปและผลไม้อยู่ใกล้ห่อถ่านแก๊สมากๆ โดยเฉพาะถ่านแก๊สที่ไม่ได้อยู่ในห่อกระดาษหนังสือพิมพ์ ผลไม้อาจได้รับความร้อนมากและเสียหายได้ เพราะถ่านแก๊สที่ทำปฏิกิริยากับไอน้ำจะปล่อยความร้อนออกมาด้วย

3. การจุดธูป ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องแหล่งของเอทิลีน ว่าการเผาวัสดุต่างๆ ทำให้เกิดควันซึ่งมีเอทีลีน อยู่ด้วย การบ่มผลไม้ด้วยการจุดธูปต้องนำผลไม้ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด เช่น ตุ่มขนาดพอเหาะกับจำนวนผลไม้ ถ้าเป็นไปได้ควรจะมีวัสดุรองกันตุ่มเพื่อป้องกันการช้ำเนื่องจากวางผลไม้กับกันมากๆ วัสดุที่ใช้อาจเป็นฟางหรือใบตองแห้ง จุดธูป 3-5 ดอก แล้วปักธูปไว้ในตุ่มที่มีผลไม้และปิดฝา ควันจากธูปที่

จุดจะปล่อยแก๊ส เอทิลีนออกมาเรื่อยๆ จนกว่าธูปจะดับ การจุดธูปมีข้อดีหลายอย่าง คือธูปที่จุกจะไม่ไหม้ไฟอย่างรวดเร็วเหมือนกับการจุดไฟเผาวัสดุอย่างอื่น และการจุดธูปจะไม่มีความร้อนเกิดขึ้นมากเกินไป อีกทั้งไม่มีกลิ่นเหมือนการบ่มด้วยถ่านแก๊ส นอกจากนี้การบ่มผลไม้ด้วยการจุดธูปยังสามารถทำได้ง่ายอีกด้วย

4. ใบไม้ ใบไม้ที่ใช้มากในการบ่มผลไม้คือ ใบขี้เหล็ก (Cassia Siamea) และใบกุ่ม ซึ่งมีทั้งกุ่มบกและ [Crateva Adansonii Dc,subsp. Trifoliata (Roxb.)] และกุ่มน้ำ [Crateva magna (Lour.) DC] แล้วแต่จะหาใบไม้ชนิดใดได้ ชาวสวนที่ปลูกมะม่วงมักนิยมใช้ใบไม้เหล้านี้บ่มผลมะม่วงโดยวางผลมะม่วงบนใบไม้ที่วางอยู่บนพื้น ถ้ามีใบไม่มากอาจวางใบไม้บนผลมะม่วงอีกก่อนที่จะใช้กระสอบคลุมด้านบน มีข้อมูลรายงานว่าหลังจากที่ได้เด็ดใบจากต้นแล้วใบไม้เหล่านี้ปลดปล่อยเอทิลีนออกสู่บรรยากาศมากกว่าใบไม้อื่นๆ หลายชนิดเมื่อเกิดภาวะเครียดของการขาดน้ำ (Water Stress) เอทิลีนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากใบไม้เหล่านี้จะช่วยกระตุ้นการสุกของผลไม้ นอกจากนี้ใบไม้ที่ใช้ในการบ่มยังคายน้ำออกสู่บรรยากาศด้วย ทำให้บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงซึ่งจะทำให้ผลไม้สุกมีการพัฒนาสีผิวที่สวยและสม่ำเสมอ

5. วิธีอื่นๆ ยังมีวิธีอื่นๆ ที่สามารถกระตุ้นให้ผลไม้สุกได้เร็วแม้ว่าประสิทธิภาพจะด้อยกว่าวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่สามารถทำให้ผลไม่สุกเร็วกว่าผลไม้ที่ปล่อยให้สุกเองโดยธรรมชาติ เช่น การห่อผลมะม่วงแต่ละผลด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยอาจจะนำไปใส่ไว้ในโหลแก้ว หรือหม้ออะลูมิเนียมแต่เปิดฝาเผยอไว้ไม่ให้ปิดสนิท มิฉะนั้นจะไม่มีออกซิเจนเพียงพอสำหรับสร้างและการทำงานของเอทิลีน เมื่อปิดฝาสนิทอาจจะทำให้ผลมะม่วงไม่สุก การที่เราห่อผลมะม่วงด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์และใส่ในภาชนะปิดฝาไม่สนิทจะช่วยทำให้ผลมะม่วงสุกเร็ว เพราเอทิลีนที่ผลมะม่วงค่อยๆ สร้างเพียงเล็กน้อยจะถูกกักขังและสะสมอยู่รอบๆ ผลมะม่วงจนกระทั่งถึงระดับความเข้มข้นที่สามารถกระตุ้นการสุกของผลไม้ได้

การบ่มผิว

การบ่มผิวผลไม้ (Degreening) เป็นการใช้แก๊สเอทิลีนกระทำแก่ผลส้มชนิดต่างๆ กลังการเก็บเกี่ยว วิธีการนี้นิยมปฏิบัติในต่างประเทศเพื่อทำให้ผิวส้มพัฒนาสีผิวที่สม่ำเสมอและสวยงาม ส้มเป็นผลไม้ประเภท Non-climacteric ผลส้มจึงสร้างเอทิลีนได้เพียงเล็กน้อย แต่ผลส้มไม่เป็นที่ดึงดูดใจผู้ซื้อ การบ่มผิวส้มโดยใช้ เอทิลีนจะช่วยเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียว และขณะเดียวกันเอทิลีนยังช่วยเร่งการ สังเคาระห์รงควัตถุสีเหลืองและสีส้มอีกด้วย การบ่มผิวผลส้มด้วยเอทิลีน ทำเช่นเดียวกับการบ่มผลไม้ด้วยเอทิลีนในปัจจุบันมีบริษัทในสหรัฐอเมริกาประดิษฐ์เครื่องกำเนิดเอทิลีนที่ใช้ในการบ่มผิวผลส้ม ซึ่งใช้ง่ายและสะดวก

ปัจจัยของการบ่มผลไม้

การบ่มผลไม้เกี่ยวของกับปัจจัยหลายอย่าง แต่ละอย่างมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลไม้สุกที่เกิดจาการบ่ม

1. ประเภทของผลไม้ ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในการจำแนกผลไม้ตามพฤติกรรมของการหายใจและการสร้างเอทิลีนระหว่างการสุก ผลไม้ที่ต้องการเอทิลีนเพื่อกระตุ้นการสุกก็คือผลไม้ประเภท Climacteric เท่านั้น ดังตัวอย่างผลไม้ประเภท Climacteric ผลไม้ที่นิยมบ่มในประเทศไทย ได้แก่ กล้วย มะม่วง มะละกอ ละมุด มังคุด และทุเรียน ส่วนผลไม้ที่ต่างประเทศนิยมบ่ม ได้แก่ กล้วย กีวี่ แตงเทศ มะเขือเทศ สาลี่ และพลับ ดังนั้น ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะบ่มผลไม้ประเภท Non - climacteric ยกเว้นผลส้มที่มีการบ่มผิว

2. ความแก่ของผลไม้ ผลไม้ที่นำมาบ่มต้องแก่พอเหมาะ หรืออีกนับหนึ่งคือผลไม้จะต้องไม่อ่อน ผลไม้ที่ยังไม่แก่นั้นเมื่อนำมาบ่ม แม้ว่าจะสามารถสุกได้แต่คุณภาพสำหรับการรับประทานจะไม่มีเท่ากับผลไม้ที่แก่ ผลไม้ที่แก่เมื่อบ่มให้สุกจะได้รสชาติหวานและมีกลิ่นดี แต่ผลไม้ที่ยังไม่แก่เมื่อบ่มให้สุกจะมีรสชาติเปรี้ยวมากกว่ารสหวาน และมีกลิ่นไม่ดี ทั้งนี้เพราะผลไม้ที่แก่สะสมแป้งมากเป็นแป้งน้ำตาลได้มากและมีรสชาติไม่เปรี้ยว ขณะที่ผลไม้ที่อ่อนสะสมแป้งน้อยและมีกรดมากเมื่อบ่มให้สุกจึงเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลได้น้อยและมีรสชาติเปรี้ยว

3. เอทิลีน ผลไม้ประเภท Climacteric ต้องการเอทิลีนกระตุ้นกระบวนการสุก ดังนั้น การใช้เอทิลีนหรือวิธีการอื่นๆ จะต้องแน่ใจว่าเอทิลีนหรือสารอื่นที่ใช้มีความเข้มข้นหรือปริมาณที่เหมาะสม มิฉะนั้นผลไม้อาจจะไม่ถูกกระตุ้นให้สุกเร็ว

4. เวลาที่ใช้ในการบ่ม โดยปรกติเราจะไม่บ่มผลไม้จนกระทั้งผลไม้สุกงอมพร้อมรับประทาน โดยเฉาพะอย่างยิ่งที่บ่มผลไม้เพื่อการค้าเพราจะทำให้ไม่สามารถวางขายได้นานหรอเก็บรักษาผลไม้สุกไว้ได้ไม่นาน ปรกติในทางการค้าจะบ่มให้ผลไม้สุกประมาณร้อนล่ะ 60-70 เท่านั้น โดยสังเกตจาการพัฒนาสีผิวของผลไม้สุก เช่น การบ่มผลกล้วย ผิวของผลกล้วยที่บ่มให้สุกควนมีสีเหลืองพอๆ กับสีเขียว

5. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการบ่มผลไม้ในเขตร้อนที่ปลูกในประเทศไทยควรอยู่ระหว่าง 28-29 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายในอาคาร ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้ผลไม้สุกช้า ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ผลไม้ที่บ่มสุกเร็ว แต่คุณภาพผลไม้อาจจะไม่เหมาะสมแก่การรับประทาน ยกเว้นผลกล้วยพันธุ์แกรนด์แนน (Grand Nain) ซึ่งเป็นกล้วยหอมในกลุ่ม Caveandish (*Musa acumainta, AAA Group*) และอยู่ในกลุ่มเดียวกับกล้วย หอมเขียวของไทย ผลกล้วยพวกนี้ต้องการ

อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส สำหรับการบ่มที่จะให้ได้ผลกล้วยสุกที่พัฒนาสีผิวดี ซึ่งแตกต่างจากผลกล้วยหอมทองซึ่งอยู่ในกลุ่ม Gross Michel และสามารถบ่มให้สุกที่อุณหภูมิห้องโดยการพัฒนาสีผิวได้ดี

6. ความชื้นสัมพัทธ์ การบ่มผลไม้ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 85-95 ในบรรยากาศรอบผลไม้ที่กำลังบ่ม เพราะจะช่วยทำให้ผลไม้สุกไม่ปรากฏริ้วรอยตำหนิชัดเจนที่เกิดจากปฏิบัติก่อนที่จะมีการบ่ม และยังช่วยให้การพัฒนาสีผิวของผลไม้สุกสม่ำเสมอ การใช้ใบไม้บางชนิดบ่มผลไม้นั้น นอกจากใบไม้บางชนิดบ่มผลไม้นั้น นอกจากใบไม้จะปล่อยเอทิลีนออกมาทำให้ผลไม่สุกเร็วแล้วยังคายน้ำออกสู่บรรยากาศรอบๆ ผลไม้ระหว่างการบ่ม ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงและผลไม้สุกมีการพัฒนาสีผิวที่สมบูรณ์ในทางตรงกันข้ามบรรยากาศรอบผลไม้ระหว่างบ่มที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะส่งให้ผลไม้สุกมีตำหนิปรากฏเด่นชัดขึ้นและสีผิวผลไม่สุกจะด้าน มีข้อควรระวังในการบ่มผลกล้วยทุกชนิดคือความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการบ่มผลกล้วยจะสูงในช่วงแรกของการบ่มไม่เกิน 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะต้องนำผลกล้วยออกสู่บรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเช่น อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 60-70 มิฉะนั้นผลกล้วยที่บ่มให้สุกโดยใช้ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงตลอดเวลาจะหลุดร่วงจากหวี (Finger Drop) ได้ง่ายเมื่อยกหวีกล้วย

7. ออกซิเจน การบ่มผลไม้ต้องการออกซิเจน เพราะการสร้างเอทิลีนของผลไม้และการทำงานของ เอทิลีนที่กระตุ้นการสุกของผลไม้ต้องการออกซีเจน ถ้าในบรรยากาศรอบๆ ผลไม้ที่กำลังบ่ม มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ผลไม้จะไม่สุก การกระตุ้นในกระบวนการสุกเกิดขึ้นโดยเอทิลีนต้องการออกซิเจน การบ่มที่ใช้ภาชนะปิด จะต้องไม่ปิดฝาจนสนิท เพราะจะทำให้ภายในภาชนะปิด มีออกซิเจนไม่เพียงพอแก่การสร้างและ/หรือการทำงานของเอทิลีน

2.8 การทำแห้ง

การทำแห้ง Dehydration คือ การทำแห้งหรือการดึงน้ำออกอาจเรียกว่า Drying การทำแห้งเป็นวิธีการถนอม อาหารที่นิยมใช้มานานโดยลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำด้วยการอบแห้ง การทอดหรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออกวัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสียจาก เชื้อจุลินทรีย์ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ทำให้มีใช้ยามขาดแคลนสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใส่ ตู้เย็นไม่ต้องเปลืองค่าใช้จ่ายลดน้ำหนักอาหารทำให้สะดวกในการบรรจุเก็บรักษาและขนส่ง ปัจจัยที่มี ผลต่อการทำแห้งได้แก่ธรรมชาติของอาหารขนาดและรูปร่างตำแหน่งของอาหารในเตา ปริมาณอาหารต่อถาดความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อนอุณหภูมิของอากาศร้อนและ

ความเร็วของลมร้อน การเปลี่ยนแปลงของอาหาร เนื่องจากการอบแห้งการอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ อาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งดังนี้ คือ

1. การหดตัวการเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอกอาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวและบิดเบี้ยวมากการทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งแบบช้าๆ

2. การเปลี่ยนสีอาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการ เกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้น10-20% มีผลต่อความเข้มของสีจึงควรหลีกเลี่ยง อุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3. การเกิดเปลือกแข็งเป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปน้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทันหรือมีสารละลายของน้ำตาลโปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิวสามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มี ความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพอาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพแต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิมเพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุนของผนังเซลล์สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำอาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุดเพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาร์ช และโปรตีน

5. การสูญเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหยเกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแครอทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไรโบฟลาวินจากแสงไทอะมีนจากความร้อนยิ่งใช้เวลาในการทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกับการสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (จิตธนา และคณะ, 2543) [69]

อาหารที่นำมาทำแห้งมีหลากหลายวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็น ของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็งให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสถานะเป็นของแข็งซึ่งอาจเป็นชิ้น เป็นแผ่น หรือเป็นผงที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนทำแห้ง อาหารแห้งที่พบทั่วไปได้แก่ ผักผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง ชากาแฟ โกโก้ น้ำตาล เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ อาหารทะเล เห็ด ก๋วยเตี๋ยว พาสต้า สมุนไพร เครื่องเทศ วัตถุเจือปนอาหาร เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการอบแห้ง อาหารเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนมวลที่ถ่ายเทระหว่างการทำแห้งอาหาร ส่วนใหญ่คือน้ำที่มีอยู่ในอาหารระหว่างการอบแห้งอาหารจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆขึ้นมากมายทั้งที่ต้องการและที่ไม่ต้องการ การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูงต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้ หลังจากการทำแห้งเช่นการนำมาคืนตัว

(Rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่คุณค่าทางโภชนาการ สีกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปทรง ทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานมีการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย [54]

เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง

เครื่องมือที่ใช้ในการอบอาหารจำนวนมากในคราวเดียวกันให้แห้งนั้นมีหลายแบบ และแต่ละแบบก็มีหลายขนาด ดังนั้นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพของอาหารที่จะทำการอบและคุณสมบัติที่ต้องการของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งยกตัวอย่างเครื่องมือที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

1. ตู้อบหรือโรงอบที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ข้อดีสำหรับการใช้ตู้อบที่ ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์นี้ คือได้ผลิตภัณฑ์สีสวย และสม่ำเสมอ สะอาดเพราะสามารถควบคุมไม่ให้ฝุ่นละอองหรือแมลงเข้าไปได้ ใช้เวลาน้อยกวาการตากแดดตามธรรมชาติ ทำให้ประหยัดเวลาในการตากได้ประมาณหนึ่งในสาม ประหยัดพื้นที่ในการตากเพราะในตู้อบสามารถวางถาดที่จะใส่ ผลิตผลได้หลายถาดหรือหลายชั้น

2. เครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น ความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบ ประเภทนี้ส่วนมากจะได้จากกระแสไฟฟ้าหรือก๊าซ ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้อบอาหารให้แห้งในระบบ อุตสาหกรรมมีหลายแบบหลายขนาดโดยใช้หลักการที่แตกต่างกันเช่น

3. เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบตู้หรือถาด มีลักษณะเป็นตู้ที่บุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนมีถาดสำหรับวางอาหารที่จะอบ ความร้อนกระจายภายในตู้โดยแผงที่ช่วยการไหลเวียนของลมร้อนหรือโดยพัดลม เครื่องมือชนิดนี้จะใช้อบอาหารที่มีปริมาณน้อยหรือสำหรับงานทดลอง

4. เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง มีลักษณะคล้ายอุโมงค์นำอาหารที่ต้องการอบแห้งวางบนสายพานที่เคลื่อนผ่านลมร้อนในอุโมงค์เมื่ออาหารเคลื่อนออกจากอุโมงค์ก็จะแห้งพอดีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วของสายพานที่เคลื่อนผ่านลมร้อนในอุโมงค์ ตัวอย่างอาหารเช่น ผักหรือผลไม้อบแห้ง

5. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย การทำงานของเครื่องอบแบบนี้ คือ ของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งต้องฉีดพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีลมร้อนผ่านเข้ามา เมื่อละอองของอาหารและลมร้อน สัมผัสกันจะทำให้น้ำระเหยออกไปแล้วอนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลมเข้าสู่เครื่องแยกเป็นผงละเอียดแล้วนำอาหารผงนั้นบรรจุในภาชนะต่อไป เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง น้ำผลไม้ผง ซุปผง เป็นต้น

6. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กไร้สนิม อาจเป็นแบบลูกกลิ้งคู่หรือลูกกลิ้งเดี่ยวก็ได้ภายในมีลักษณะกลวง และทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ หรือไฟฟ้า อาหารที่จะทำแห้งต้องมีลักษณะเละๆ ป้อนเข้าเครื่องตรงผิวนอกของลูกกลิ้งเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ แผนฟิล์มของอาหารที่แห้งติดบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง แซะออกโดยใบมีดที่ติดให้ขนานกบผิวหน้าของลูกกลิ้งจะได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เป็นแผนบางๆ และกรอบเป็นเกล็ดหรือเป็นผง

7. เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง ประกอบด้วยเครื่องที่ทำให้อาหารเย็นจัด แผนให้ความร้อนและตู้สุญญากาศ หลักการในการทำแห้งแบบนี้ คือ การไล่น้ำจากอาหารออกไปใน สภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็งแล้วกลายเป็นไอหรือที่เรียกว่าเกิดการระเหิดขึ้นภายในตู้สุญญากาศ ผลิตภัณฑ์เยือกแข็งจะวางอยู่ในถาดและถาดวางอยู่บนแผ่นให้ความร้อนถ้าใช้ไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้ง ร่วมกับการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จะช่วยลดเวลาของการทำแห้งลงไปในถึงหนึ่งในสิบ ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด คือ กาแฟผงสำเร็จรูป

8. ตู้อบแห้งแบบที่ใช้ไมโครเวฟ เพื่อลดความชื้นของผัก เช่น กะหล่ำปลี จาก 90 -95% เหลือความชื้นเพียง 5-7% เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน จะช่วยลดเวลา เหลือเพียงหนึ่งในห้า ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และผลิตภัณฑ์ที่จะมีคุณภาพดี และมีสีสวย [70]

2.9 แป้งกล้วย

แป้งกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกล้วยดิบมาแปรรูปเป็นแป้ง เพื่อเป็นการถนอมอาหารและสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ได้แก่ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ขนมไทย

กล้วยดิบมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย น้ำ แป้ง โปรตีน ไขมัน เส้นใย วิตามิน เกลือ แร่ต่างๆ โดยมีปริมาณแป้ง แคลเซียม เหล็ก และโพแทสเซียม สูงกว่าแป้งหลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ ได้แก่ เอนไซม์เพคติน แทนนิน ฯลฯ มีการใช้กล้วยดิบ เพื่อเป็นยาโดยทำให้แห้งแล้วบดผสมกับน้ำหรือน้ำผึ้งเพื่อป้องกันและรักษาแผลในกระเพาะอาหาร แก้ท้องเสีย นอกจากนี้กล้วยดิบยังมีฤทธิ์ป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียอีกด้วย

แป้งกล้วยจะมีกลิ่นเฉพาะตัว มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีรวมตัวกับน้ำได้ดีคือ เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวใส เมื่อปล่อยให้เย็นจะเกิดลักษณะคล้ายวุ้น เนื่องจากเป็นแป้งที่มีอะไมโลสสูง จึงทำให้มีคุณสมบัติพิเศษเหมาะที่จะนำมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ดีบางชนิดของผลิตภัณฑ์สามารถทดแทนได้สูงถึงร้อยละ 50 [71]

คุณภาพของแป้งกล้วย จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ความสะอาด และความสุกของกล้วยเป็นสำคัญ กล้วยดิบจะมีปริมาณแป้งและแทนนินสูง ปริมาณน้ำตาลน้อย การสุกของกล้วยทำให้คุณค่าทางอาหาร เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะแป้ง จะลดลงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมากขึ้น ทำให้กล้วยมีรสหวาน โดยเฉพาะกล้วยหอม กล้วยไข่ แป้งจะลดลงอย่างมาก เมื่อกล้วยสุก และปริมาณกรดค่อนข้างต่ำ แต่กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุกมักมีแป้งมากเมื่อดิบ เมื่อสุกปริมาณแป้งก็ยังมีมากอยู่จึงทำให้กล้วยมีลักษณะเหนียวและมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย

ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) ของเนื้อผลดิบ จะอยู่ 5.0-5.8 คือ เนื้อผลจะมีปริมาณกรดสูงสุดและจะลดลงเมื่อผลใกล้สุกหรือกำลังสุก ค่าความเป็นกรดของผลสุกอยู่ระหว่าง 4.2-4.8 กรดที่พบมากที่สุดในผลดิบ คือ กรดออกซาลิก รองลงมาคือมาลิก และซิตริก แต่เมื่อผลสุก จะมีปริมาณกรดออกซาลิกลดลง ทำให้ปริมาณกรดมาลิกสูงที่สุด

กล้วยดิบที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาผลิตแป้งจะต้องมีเปอร์เซ็นต์ความสุกอยู่ในช่วง 70-80% ถ้าใช้กล้วยดิบมากเกินไปจะมีปริมาณแทนนินสูง เมื่อนำแป้งกล้วยไปผสมในผลิตภัณฑ์จะทำให้มีรสฝาด ในกรณีที่กล้วยสุกมากเกินไป ปริมาณน้ำตาลสูง จะมีผลต่อกระบวนการผลิตแป้ง และมีผลต่อกลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ ส่วนน้ำตาลที่พบในผลสุกส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลกลูโคส รองลงมาเป็นฟรุกโทส และซูโครส ตามลำดับ

แป้งกล้วยที่ผลิตโดยกรรมวิธีอบแห้ง หรือตากแดดจนแห้งที่อุณหภูมิ 55-60°C องศาเซลเซียส แป้งที่ได้สีจะไม่ขาวเหมือนแป้งจากธัญพืชประเภทหัว เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสีเมื่อนำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ หรือขนมไทยผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จะมีสีค่อนข้างคล้ำ ซึ่งผู้บริโภคจะพึงพอใจมากกว่าใช้แป้งกล้วยที่ผ่านกระบวนการฟอกสีผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะทางกายภาพดี จัดเป็นอาหารสุขภาพ นอกจากนี้แป้งกล้วยดิบมีคุณสมบัติช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้นานกว่าใช้แป้งสาลีหรือแป้งข้าวเจ้าอย่างเดียว เนื่องจากแป้งกล้วยดิบมีฤทธิ์ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย [71]

จิรนาถ และคณะ (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งกล้วยดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Resistant starch; RS) โดยแปรผันแป้งกล้วยดิบ 3 ชนิด คือ แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ14–16 สัปดาห์หลังแทงปลี) แป้งกล้วยหอมทองดิบ (13–15 สัปดาห์หลังแทงปลี) และแป้งกล้วยไข่ดิบ (6–8 สัปดาห์หลังแทงปลี) จากการศึกษาปริมาณ RS และสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่า แป้งกล้วยหอมทองดิบ มีปริมาณ RS สูงกว่าแป้งกล้วยไข่ดิบและแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ ปริมาณอะไมโลสมีค่าสูงอยู่ระหว่างร้อยละ 38.33-44.67 แต่ร้อยละการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนกำลังการพองตัวมีค่าต่ำอยู่ระหว่าง 6.12–7.92 เท่า จากนั้นคัดเลือกแป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีปริมาณ RS สูงสุด มาผลิตพาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบ

ทดแทนเซโมลินาบางส่วน ที่ระดับร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ลดลงตามปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบที่มากขึ้น ค่า Hue (°) อยู่ระหว่าง 73.51-82.92 ซึ่งแสดงสีส้มแดง-สีเหลือง และพาสต้าที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบ ร้อยละ 45 มีค่า ΔE สูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ค่า Cooking yield อยู่ในช่วงร้อยละ 215.70–225.17 และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่า พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินามีปริมาณเส้นใย และเถ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาบางส่วนทุกสูตร มีปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าสูตรควบคุม โดยพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบสูตรทดแทนร้อยละ 45 ถูกย่อยสลายได้กลูโคสปริมาณต่ำที่สุด [4]

2.10 ผลิตภัณฑ์คุกกี้

คุกกี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรสหวานมัน กรอบร่อน ชิ้นเล็กๆ มีหลากหลายในรูปทรง ขนาด ความยาว รสชาติ และปริมาณความชื้น เครื่องปรุงหลักของคุกกี้ ประกอบด้วย แป้งสาลี ไขมัน ไข่ น้ำตาล ของเหลว และสารให้กลิ่นรส โดยใช้ผงฟูหรือเบคกิ้งโซดา เป็นตัวช่วยให้ขนมมีความเบา ขึ้นฟู และมีปริมาตรเพิ่มขึ้น [72]

ประเภทของคุกกี้

คุกกี้ แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

คุกกี้เนย มีสูตรโครงร่างเหมือนกับเค้กเนย แต่มีของเหลวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเค้ก เหตุที่ต้องลดของเหลวลง เพราะคุกกี้จะต้องแข็งพอที่จะหยอดให้เป็นรูปร่างตามต้องการได้ คุกกี้เนยยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

คุกกี้เนยชนิดนุ่ม คุกกี้ชนิดนี้จะมีปริมาณความชื้นสูง จึงใช้ไข่ในปริมาณมากเพื่อช่วยในการให้โครงร่างของคุกกี้มากกว่าชนิดอื่น คุกกี้ชนิดนี้เมื่ออบเสร็จแล้วจะอ่อนนุ่ม

คุกกี้เนยชนิดแข็ง คุกกี้ชนิดนี้จะต้องลดปริมาณของเหลวในตำรับลง เพราะต้องการให้คุกกี้แห้งขึ้นระหว่างอบ และจะกรอบเมื่ออบเสร็จแล้ว

คุกกี้เนยชนิดกรอบร่วน คุกกี้ชนิดนี้จะมีปริมาณไขมันสูง ทำให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้กรอบร่วนเมื่อสุกแล้ว ไขมันที่นิยมใช้มากคือเนยสด [72]

คุกกี้ไข่ ต่างจากคุกกี้เนยทั้งวิธีการผสม และปริมาณไขในส่วนผสม ซึ่งจะมีมากกว่าในสูตรของคุกกี้เนย ไข่จะช่วยให้ขึ้นฟู และเป็นโครงร่างของคุกกี้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

เมอร์แรงก์เชลล์ ทำจากไข่ขาวตีกับน้ำตาล เพื่อเก็บอากาศ โดยการตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูจนเนื้อเนียนแข็งพอที่จะอุ้มส่วนผสมอื่นที่ใช้ในสูตรไว้ได้ แล้วจึงผสมส่วนอื่นๆ เข้าไป โดยผสมอย่างเบามือ

มาการูนคุกกี้ ส่วนมากทำจากอัลมอนด์เพสต์ผสมกับน้ำตาล และไข่ขาวตีจนเนียน ส่วนผสมที่แข็งอาจทำให้อ่อนตัวได้ โดยนำไปอุ่นหรือทำให้ร้อนในหม้อตุ๋นจนอ่อนตัว แล้วจึงหยอดใส่ถาด

สปันจ์คุกกี้ มีส่วนผสม และวิธีการทำเช่นเดียวกับสปันจ์เค้ก แต่สปันจ์คุกกี้ใช้แป้งในปริมาณที่มากกว่า [73]

คุกกี้ แบ่งตามวิธีการทำรูปร่าง แบ่งออกเป็น 6 ประเภท

คุกกี้หยอด คุกกี้ชนิดนี้มีรูปร่างไม่คงที่ และไม่สม่ำเสมอ ทำรูปร่างโดยการใช้ช้อนตักหยอดบนถาด

คุกกี้กด คุกกี้ชนิดนี้มีส่วนผสมข้นกว่าคุกกี้หยอด ทำรูปร่างโดยการใช้กระบอกกด

คุกกี้ปั้น คุกกี้ชนิดนี้ส่วนผสมค่อนข้างแห้ง มีปริมาณไขมันสูง อาจจะมีการสอดไส้ในคุกกี้แล้วปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ

คุกกี้คลึง คุกกี้ชนิดนี้ส่วนผสมจะแห้ง สามารถใช้ไม้คลึงเป็นแผ่นได้ แล้วใช้พิมพ์กดคุกกี้เป็นรูปต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ

คุกกี้แท่ง คุกกี้ชนิดนี้มีส่วนผสมใกล้เคียงกับเค้ก แต่มีปริมาณของเหลวน้อยกว่า มักเทส่วนผสมให้เต็มพิมพ์อบแล้วตัดเป็นชิ้น

คุกกี้แช่เย็น คุกกี้ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะม้วนเป็นแท่ง และเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง จึงต้องแช่แข็งให้อยู่ตัว แล้วจึงนำมาหั่นเป็นชิ้นก่อนนำเข้าอบ [74]

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลโภชนาการคุกกี้

คุกกี้ (ปริมาณต่อ 100 g)			
แคลอรี (kcal) 501			
ไขมันทั้งหมด 24 g			
ไขมันอิ่มตัว 6 g			
ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 3.2 g			
กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่เดี่ยว 13 g			
คอเลสเตอรอล 20 mg			
โซเดียม 524 mg			
โพแทสเซียม 100 mg			
คาร์โบไฮเดรต 65 g			
ใยอาหาร 1.8 g			
น้ำตาล 15 g			
โปรตีน 6 g			
วิตามินเอ	86 IU	วิตามินซี	0 mg
แคลเซียม	35 mg	เหล็ก	2.7 mg
วิตามินดี	4 IU	วิตามินบี6	0.1 mg
วิตามินบี12	0.1 µg	แมกนีเซียม	17 mg

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย (2544) [75]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

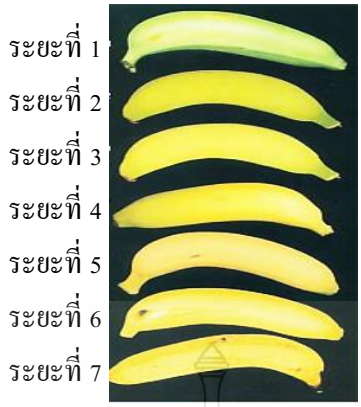
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

3.1.1 แหล่งที่มาของวัตถุดิบ

กล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง ซื้อจากตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยเลือกกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองที่มีการขนส่งกล้วยในลักษณะเป็นเครือผลสดไม่ผ่านการบ่ม และไม่มีบาดแผลจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว นำมาตัดเป็นหวี คัดเลือกหวีที่มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยขนาดผลของกล้วยน้ำว้าจำนวนหวีต่อเครือประมาณ 9 - 10 หวี หนึ่งหวีมีประมาณ 12 - 14 ผล ขนาดผลยาว 8 - 10 เซนติเมตร และขนาดผลของกล้วยหอมทองจำนวนหวีต่อเครือประมาณ 4 - 6 หวี หนึ่งหวีมีประมาณ 12 - 16 ผล ขนาดผลยาว 21 - 25 เซนติเมตร

3.1.2 การแบ่งระยะการสุกของกล้วย

นำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง ที่คัดเลือกเพื่อนำมาทดลอง โดยคัดเลือกดัชนีระยะความสุกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง แบ่งตามขั้นตอนตามดัชนีการเปลี่ยนสีเปลือกของ Mendoza and Aguilera, (2004) ผันแปรระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง โดยพิจารณาจากสีผิวของเปลือก ระยะที่ 1 คือ เปลือกมีสีเขียว ผลแข็ง (ไม่มีการสุก), ระยะที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย, ระยะที่ 3 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง, ระยะที่ 4 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว, ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว, ระยะที่ 6 ทั้งผลสีเหลือง (ผลสุก) และระยะที่ 7 ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดประสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม) ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ระยะการสุกของกล้วย
ที่มา : เบญจมาศ (2545) [30]

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาวิธีการบ่มกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

นำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทองระยะที่ 1 มีเปลือกสีเขียว ผลแข็ง มาศึกษาการบ่ม 2 สภาวะ ได้แก่ การบ่มแบบธรรมชาติ และการบ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน

3.2.1.1 การบ่มธรรมชาติ ใช้การบ่มในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิห้อง 25 - 28 องศาเซลเซียส ทำการบ่มจนกว่าจะได้ผลกล้วยที่สุกสีเหลือง (ระยะที่ 6)

3.2.1.2 การบ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene, C_2H_2)

$$CaC_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_2 + CaO$$

ภาพที่ 3.2 ถ่านแก๊สอะเซทิลีน
ที่มา : ภัณฑิลา (2557) [76]

นำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทองระยะที่ 1 มาทำการบ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน โดยใช้ในอัตราส่วน ผลกล้วย 1 กิโลกรัม ต่อ ถ่านแก๊สอะเซทิลีน 10 กรัม ถ่านแก๊สอะเซทิลีนถูกทุบให้มีขนาดเล็ก แล้วห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับผลกล้วย นำถ่านแก๊สอะเซทิลีนใส่ในภาชนะที่บรรจุผลกล้วย หลังจากนั้นปิดฝาภาชนะบรรจุผลกล้วย ทำการบ่มจนกว่าจะได้ผลกล้วยที่สุกสีเหลือง (ระยะที่ 6) (ภาคผนวก ข1)

3.2.2 การศึกษาผลของการบ่มกล้วยแบบธรรมชาติ และแบบใช้ถ่านแก๊สอะเซทิลีนต่อคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี

นำกล้วยตัวอย่างทั้ง 6 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้า ระยะที่ 1 (ดิบ)
สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 3 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทอง ระยะที่ 1 (ดิบ)
สิ่งทดลองที่ 5 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 6 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำก่อนหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งแต่ละสิ่งทดลองใช้ 4 ผล ต่อ 1 ชุดการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ดังนี้

3.2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสี

ด้วยเครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Color Flex รุ่น EZ ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* (ภาคผนวก ข2)

2) ความแน่นเนื้อ (ภาคผนวก ข3)

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องตรวจสอบความแน่นเนื้อผลไม้ (Fruit Pressure Tester) กดบริเวณผลกล้วยตรงกลางผลทั้ง 3 ด้าน ทำการกดให้หัวกดลงไปจนสุด อ่านค่าบนมาตรวัด จากนั้นนำมาคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)

3) ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) (ภาคผนวก ข4)

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดปริมาณน้ำอิสระโดยวัดจากตัวอย่างที่ผ่านการสับผสมของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยทั้ง 2 ชนิด จำนวน 3 กรัม วัดค่า

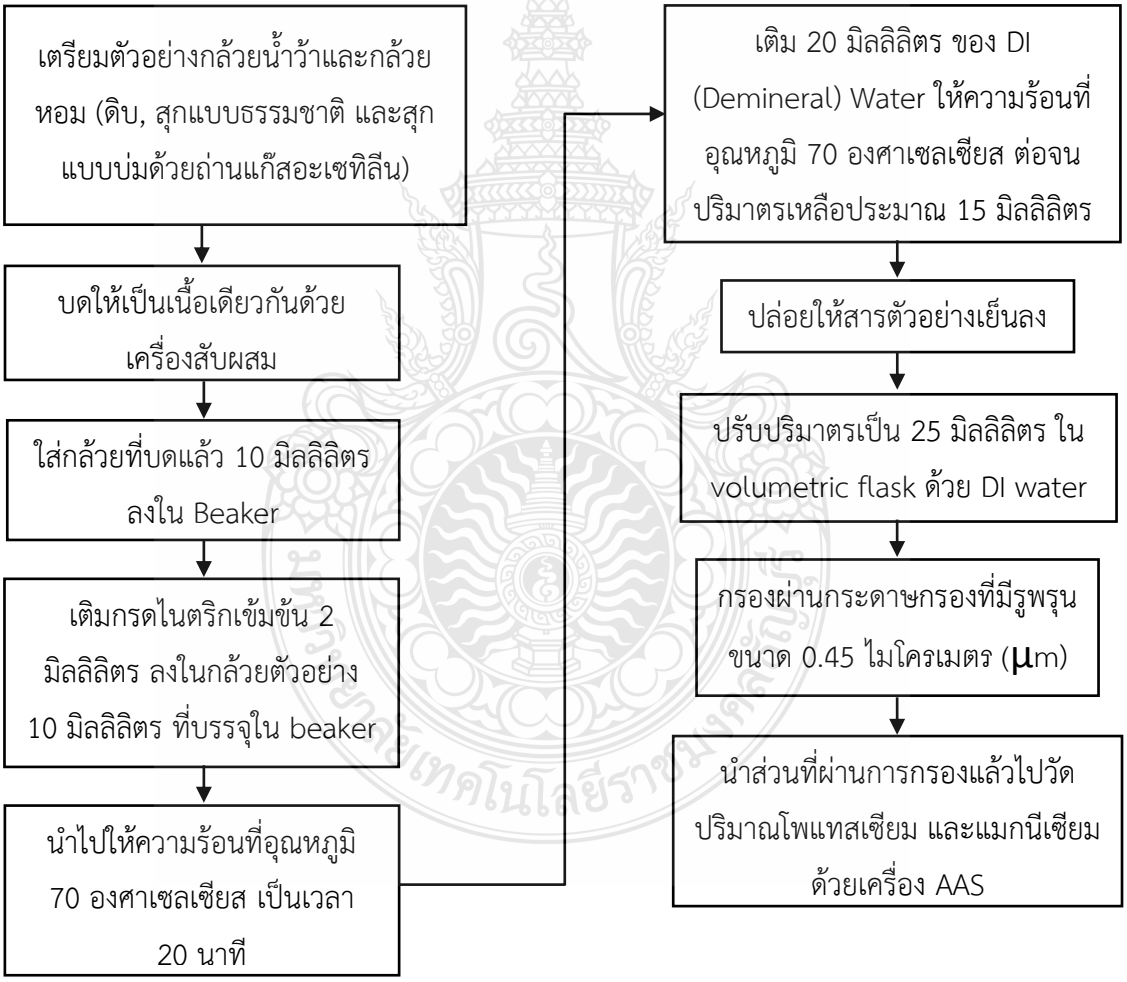
วอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดแบบพลวัต (Aqua Lab Model : Series 4 TE) โดยเครื่องจะใช้เวลาในการวัดค่า a_w ภายใน 5 นาที จากนั้นเครื่องจะแสดงผลบนหน้าจอพร้อมบันทึกค่า

3.2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เส้นใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ตามวิธี AOAC (2000) [77] (ภาคผนวก ค1)

2) ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียม

การวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำตามวิธีของ Solangi and Iqbal (2011) [78] โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 3.3 (ภาคผนวก ค2)



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ที่มา : Solangi and Iqbal (2011) [78]

3) ปริมาณแทนนิน (ดัดแปลงจากวิธีของ Hou *et al*., 2003; Ye *et al*., 1999) [79] [80]

นำตัวอย่างเนื้อกล้วยพร้อมเปลือก สกัดด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:30 (w/v) เขย่าสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินทั้งหมด โดยนำสารสกัดเนื้อกล้วยพร้อมเปลือก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม 10% Folin-Ciocalten reagent ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2 CO_3) ความเข้มข้น 7.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณปริมาณของสารประกอบแทนนินของสารสกัดเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม tannic acid/100 กรัม (ภาคผนวก ค3)

3) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยวิธี Dinitrosalicylic Method (DNS) ตามวิธีของ Miller (1959) [81] (ภาคผนวก ค4)

4) ปริมาณอะไมโลสด้วยวิธีไอโอดีน ดัดแปลงวิธีการจากพักตร์ประไพ (2546) [82] (ภาคผนวก ค5)

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี เลือกสิ่งทดลองของกล้วยทั้ง 2 ชนิดที่มีปริมาณสารสำคัญ คือ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมมากที่สุด นำไปศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นแป้งกล้วยพร้อมเปลือกต่อไป

3.2.3 การศึกษาวิธีการทำแห้ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของแป้งกล้วยพร้อมเปลือก

เลือกตัวอย่างกล้วยหอมที่มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด และตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีปริมาณแมกนีเซียมสูงที่สุด นำตัวอย่างกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมที่ต้องการ หั่นเป็นแว่นพร้อมเปลือกหนา 1 มิลลิเมตร มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำไปทำแห้ง เปรียบเทียบ 2 วิธี ดังนี้

1) การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

นำตัวอย่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีการสุ่มตัวอย่างวัดความชื้นทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะวัดปริมาณความชื้นสุดท้ายได้ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์

2) การทำแห้งด้วยการตากแดด (Sundry)

การทำแห้งด้วยการตากแดด โดยนำตัวอย่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม ตากแดดในช่วงเวลา 08:00 – 16:00 น. (อุณหภูมิประมาณ 28 – 39 องศาเซลเซียส) โดยมีการสุ่มตัวอย่างวัดความชื้นทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะวัดปริมาณความชื้นสุดท้ายได้ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์ (ระหว่างรอการตากเก็บตัวอย่างในกล่องปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง 25 - 30 องศาเซลเซียส)

โดยการศึกษาวิธีการทำแห้ง มีสิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้า อบด้วยตู้อบลมร้อน

สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้า ตากแดด

สิ่งทดลองที่ 3 กล้วยหอม อบด้วยตู้อบลมร้อน

สิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอม ตากแดด

จากนั้นนำตัวอย่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมที่ผ่านการทำแห้งแล้ว มาบดด้วยเครื่องบด (Blender) นำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 212 ไมโครเมตร จนได้ผงกล้วยที่มีขนาดอนุภาค 212 ไมครอน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี ดังนี้

3.2.3.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1) ค่าสี

ด้วยเครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Color Flex รุ่น EZ ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* (ภาคผนวก ข2)

2) ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) (ภาคผนวก ข4)

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดปริมาณน้ำอิสระ โดยวัดจากตัวอย่างที่ผ่านการสับผสมของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยทั้ง 2 ชนิด จำนวน 3 กรัม วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดแบบพลวัต (Aqua Lab Model : Series 4 TE) โดยเครื่องจะใช้เวลาในการวัดค่า a_w ภายใน 5 นาที จากนั้นเครื่องจะแสดงผลบนหน้าจอพร้อมบันทึกค่า

3.2.3.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

1) ปริมาณความชื้น

นำกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการอบแห้ง และการตากแดด นำไปชั่ง วิเคราะห์ ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) [77] (ภาคผนวก ค1.1)

เลือกตัวอย่างตัวอย่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมหลังการทำแห้งแล้ว เปรียบเทียบค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นนำตัวอย่างกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมที่ต้องการไปบดร่อน เพื่อนำไปศึกษาวิเคราะห์ทางกายภาพ และทางเคมี ของแป้งกล้วยพร้อมเปลือกต่อไป

3.2.4 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของแป้งกล้วยดิบพร้อมเปลือก

แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี เช่นกับข้อ 3.2.2.2

3.2.4.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1) ค่าสี

นำแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งแบบอบแห้ง มาวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Color Flex EZ รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* (ภาคผนวก ข2)

2) ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) (ภาคผนวก ข4)

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดปริมาณน้ำอิสระ โดยวัดจากตัวอย่างที่ผ่านการสับผสมของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยทั้ง 2 ชนิด จำนวน 3 กรัม วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดแบบพลวัต (Aqua Lab Model : Series 4 TE) โดยเครื่องจะใช้เวลาในการวัดค่า a_w ภายใน 5 นาที จากนั้นเครื่องจะแสดงผลบนหน้าจอพร้อมบันทึกค่า

3.2.5 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือก

นำแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งแบบอบแห้ง ที่ได้จากข้อที่ 3.2.4 มาทดแทนแป้งสาลีในสูตรคุกกี้ โดยมี 5 สิ่งทดลอง โดยแบ่งตามการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วย คือ แป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (แป้งสาลี)

สิ่งทดลองที่ 1 สูตรควบคุม (แป้งสาลี)

สิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยน้ำว้า 100%

สิ่งทดลองที่ 3 แป้งกล้วยน้ำว้า 50%

สิ่งทดลองที่ 4 แป้งกล้วยหอมทอง 100%

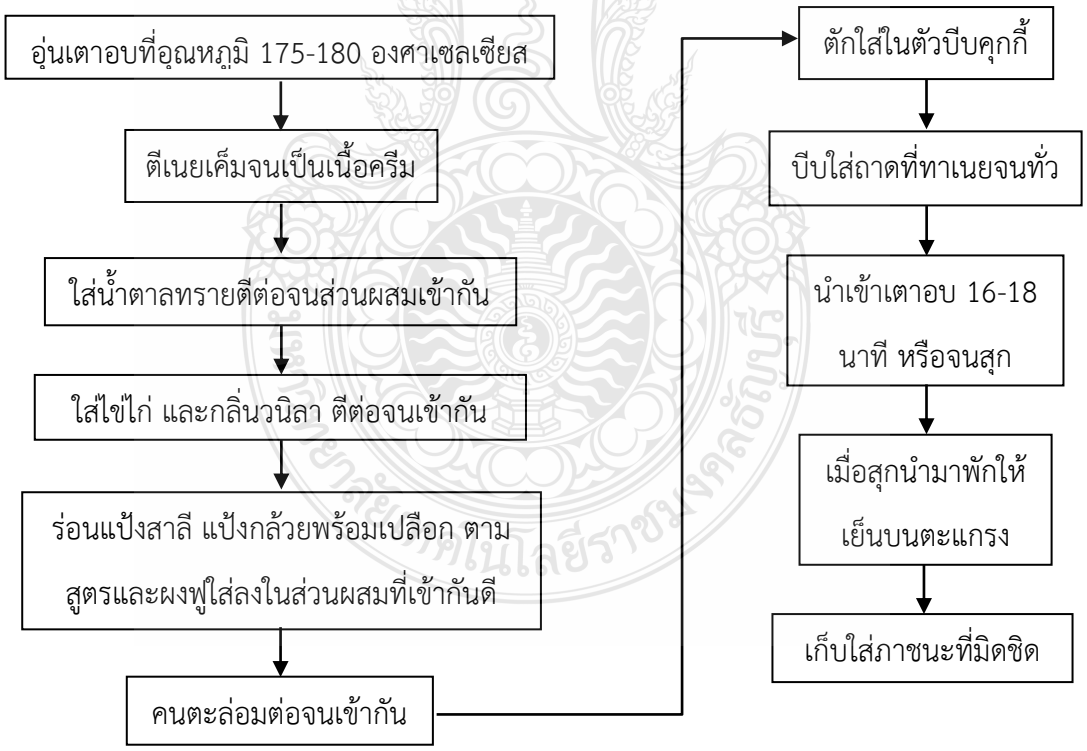
สิ่งทดลองที่ 5 แป้งกล้วยหอมทอง 50%

ซึ่งแต่ละสิ่งทดลองใช้สัดส่วนการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรคุกกี้เนยสดทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยทั้ง 2 ชนิด

สิ่งทดลอง	ส่วนผสม (กรัม)							
	แป้งสาลี	แป้งกล้วยน้ำว้า	แป้งกล้วยหอมทอง	เนยสดชนิดเค็ม	น้ำตาล	ไข่ไก่	ผงฟู	Baking soda
1 (ควบคุม)	200	0	0	200	150	50	1	0.5
2	0	200	0	200	150	50	1	0.5
3	100	100	0	200	150	50	1	0.5
4	0	0	200	200	150	50	1	0.5
5	100	0	100	200	150	50	1	0.5

ที่มา : ดัดแปลงจาก โรงเรียนอาหารนานาชาติสวนดุสิต (2553) [83]



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์คุกกี้

ที่มา : ดัดแปลงจาก โรงเรียนอาหารนานาชาติสวนดุสิต (2553) [83]

นำผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือกทั้ง 5 สูตร มาทำการตรวจวิเคราะห์ทางกายทางเคมี และปริมาณสารสำคัญ คือ คือ โพแทสเซียม และแมกนีเซียม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยมี 5 สิ่งทดลอง ตามตารางที่ 3.1 ซึ่งแต่ละสิ่งทดลองใช้ 6 กรัม ต่อ 3 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเทางคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.1 และข้อ 3.2.2.2 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ตามวิธีการของ วราทิพย์ (2552) และศศิวิมล และคณะ (2550) บันทึกค่าการแตกหัก (Fracturability) ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความกรอบ (Crispness) (ภาคผนวก ข5)

3.3 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือก

ทำการทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือกทั้ง 5 สูตร ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน อายุเฉลี่ย 21 – 30 ปี เพศชาย 37 คน และเพศหญิง 63 คน ทำการประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) กำหนดให้ 9 คือ ชอบมากที่สุด, 8 คือ ชอบมาก, 7 คือ ชอบปานกลาง, 6 คือ ชอบเล็กน้อย, 5 คือ เฉยๆ, 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง, 2 คือ ไม่ชอบมาก และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด (ภาคผนวก ก)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Test ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูปอัตโนมัติ SPSS

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาวิธีการบ่มกล้วยต่อคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี

จากการศึกษาผลของการบ่มกล้วยแบบธรรมชาติ และแบบใช้ถ่านแก๊สอะเซทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนิน ในกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง ทั้งหมดรวม 6 สิ่งทดลอง ดังต่อไปนี้

สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้า ระยะที่ 1 (ดิบ)
สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 3 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทอง ระยะที่ 1 (ดิบ)
สิ่งทดลองที่ 5 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6
สิ่งทดลองที่ 6 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

4.1.1 ผลของวิธีการบ่มต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วย

จากการศึกษาผลของการบ่มต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าสีของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง (ดิบ) มีค่าความสว่าง L* ของกล้วยทั้ง 2 พันธุ์ ทั้ง 3 ระยะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่า a* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีแนวโน้มของค่าสีเขียวลดลงในระยะการสุกที่ 6 (ทั้งสุกแบบธรรมชาติ และสุกแบบบ่มก๊าซ) และค่า b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มของค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้น ในระยะการสุกที่ 6 (ทั้งสุกแบบธรรมชาติ และสุกแบบบ่มก๊าซ) ในระหว่างการสุกของผลกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลอย่างชัดเจนเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญในระหว่างกระบวนการสุกของผลกล้วยดิบเปลือกจะมีสีเขียวและเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลายทำให้สีเขียวหายไป [83] โดยเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจากช่วง Climacteric peak และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเต็มที่ภายใน 3 - 7 วันที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งจะเห็นสีเหลืองจากแคโรทีนอยด์ได้ชัดเจนขึ้น ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวหมด คงเหลืออยู่แต่เม็ดสีเหลืองในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ [85]

ทั้งนี้กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ที่ผ่านการบ่มด้วยวิธีธรรมชาติ และการบ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน ใช้เวลาเพื่อให้ผลกล้วยเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (ระยะสุกที่ 6) ต่างกัน โดยกล้วยที่บ่มด้วยวิธีธรรมชาติใช้เวลาในการบ่ม 7 – 8 วัน ขณะที่กล้วยที่บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีนใช้เวลาเพียง 3 – 4 วัน

โดยการใช้แก๊สอะเซทิลีนในการบ่มกล้วยจะช่วยให้ระยะเวลาในการบ่มสั้นลงกว่าการบ่มแบบธรรมชาติ ซึ่งการบ่มด้วยแก๊สอะเซทิลีนยังช่วยให้สีของกล้วยสุกเหลืองสม่ำเสมอ และสามารถคงรูปร่าง ลักษณะปรากฏของผลกล้วยได้ดีมากกว่าการบ่มแบบธรรมชาติ เนื่องจากแก๊สอะเซทิลีนนี้ทำหน้าที่กระตุ้นให้ผลไม้สุกเหมือนกับเอทิลีน โดยการบ่มผลไม้ คือ ให้ผลไม้ได้รับเอทิลีน สารที่ทำหน้าที่คล้ายเอทิลีน หรือวิธีการที่กระตุ้นให้ผลไม้สร้างเอทิลีนได้เร็วขึ้น กระบวนการสุกของผลไม้จะถูกชักนำให้เกิดขึ้น ถ้าปล่อยให้ผลไม้สุกเองโดยธรรมชาติ อาจจะใช้เวลา 5 - 7 วันแต่ถ้าผลไม้ได้รับการบ่ม อาจจะใช้เวลาในการสุกเพียง 3 - 4 วัน หรือเร็วกว่านี้ได้ และผลไม้ที่ปล่อยให้สุกเองโดยธรรมชาติ มักจะมีสีผิวพัฒนาไม่สมบูรณ์ หรืออีกนัยหนึ่งคือมีสีผิวไม่สม่ำเสมอเมื่อผลไม้สุก [86]

ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนสีเปลือกกล้วย

a = สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้า ระยะที่ 1

b = สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

c = สิ่งทดลองที่ 3 กล้วยน้ำว้า บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

d = สิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทอง ระยะที่ 1

e = สิ่งทดลองที่ 5 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยวิธีธรรมชาติ จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

f = สิ่งทดลองที่ 6 กล้วยหอมทอง บ่มด้วยถ่านแก๊สอะเซทิลีน จนมีสีเหลืองระยะที่ 6

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองด้วยวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง		ค่าสี		
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย	L^{ns}	a	b
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	69.48 ± 0.39	0.26 ± 0.44^{c}	21.86 ± 0.20^{c}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	68.77 ± 0.64	4.25 ± 0.4^{a}	33.08 ± 0.46^{a}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	68.08 ± 0.33	3.82 ± 0.78^{b}	32.99 ± 0.15^{b}
กล้วยหอมทอง	ดิบ	69.91 ± 0.47	0.84 ± 0.98^{c}	25.17 ± 0.22^{c}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	68.87 ± 0.81	2.31 ± 0.32^{b}	34.04 ± 0.36^{a}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	68.24 ± 0.55	2.42 ± 0.21^{a}	31.88 ± 0.36^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ

ผลจากการศึกษาค่าความแน่นเนื้อของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ทั้ง 6 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในระยะดิบมีค่าเท่ากับ 6.96 นิวตันต่อมิลลิเมตร ในระยะสุก มีค่าเท่ากับ 2.94 นิวตันต่อมิลลิเมตร และในระยะสุกแบบบ่มก๊าซ มีค่าเท่ากับ 4.22 นิวตันต่อมิลลิเมตร ส่วนค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองในระยะดิบ มีค่าเท่ากับ 5.74 นิวตันต่อมิลลิเมตร ในระยะสุก มีค่าเท่ากับ 2.41 นิวตันต่อมิลลิเมตร และในระยะสุกแบบบ่มก๊าซ มีค่าเท่ากับ 3.78 นิวตันต่อมิลลิเมตร ค่าแรงกดที่กระทำต่อผลกล้วยในระยะดิบจะมีแรงกดสูงกว่าในระยะสุก และระยะสุกแบบบ่มก๊าซ แต่ในระยะสุกแบบบ่มก๊าซจะมีแรงกดที่มากกว่าระยะสุกแบบธรรมชาติ เนื่องจากการบ่มด้วยก๊าซจะช่วยเพิ่มเอทิลีนทำให้ผลกล้วยสุกเป็นสีเหลืองได้เร็วขึ้น แต่ความแน่นเนื้อของผลกล้วยจะอ่อนนิ่มช้ากว่าการสุกแบบธรรมชาติ [30]

การอ่อนนิ่มของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองเป็นการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อที่พบได้ทั่วไปในระหว่างการสุกของผลกล้วย โดยสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์ หรือวัตถุที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริเวณ Middle Lamella ซึ่งจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนในผลอะโวกาโด แอปเปิล และสาลี่ ซึ่งพบว่า บริเวณ Middle Lamella ของผลที่ยังไม่สุกจะมีบริเวณที่ติดสีที่ย้อมเข้ม แต่เมื่อผลสุกบริเวณนี้จะถูกย่อยหายไป [87] โดยกลไกในการนิ่มลงของผลในระหว่างการสุก พบว่ามีการสูญเสีย

แรงเต่ง และมีการย่อยสลายแป้งทำให้ปริมาณแป้งลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เอนไซม์ที่เร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และองค์ประกอบของผนังเซลล์เป็นกลไกหลักในการทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผล [88]

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง		ความแน่นเนื้อ (N·mm)
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย	
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	6.96 ± 0.51^{a}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	2.94 ± 0.25^{c}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	4.22 ± 0.20^{b}
กล้วยหอมทอง	ดิบ	5.74 ± 0.23^{a}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	2.41 ± 0.23^{c}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	3.78 ± 0.50^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ผลจากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 6 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณน้ำอิสระที่มากที่สุด คือ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองในระยะที่สุกโดยธรรมชาติ และสุกแบบบ่มก๊าซ มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 1.0 เนื่องจากเมื่อระยะการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น กล้วยจะมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากเปลือกมาสู่เนื้อกล้วย ทำให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อที่ลดลง เนื่องจากกล้วยสุกมากขึ้น เซลล์เนื้อเยื่อจะอ่อนตัวลง เกิดจากการสลายตัวของสารที่เป็นโครงสร้างเซลล์ ได้แก่ เพคติน เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ Polygalacturonase และ Pectin Esterase [89]

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง		ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย	
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	0.98 ± 0.68^{b}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	1.00 ± 0.38^{a}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	1.00 ± 0.51^{a}
กล้วยหอมทอง	ดิบ	0.99 ± 0.33^{ns}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	1.00 ± 0.40^{ns}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	1.00 ± 0.17^{ns}

หมายเหตุ: $^{a, b}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลกล้วยพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 3 ระยะ (ดิบ, สุก และสุกแบบบ่มก๊าซ) แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย และปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในระยะที่ 6 (สุกแบบธรรมชาติ) ของกล้วยแต่ละพันธุ์ มีปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้นมากที่สุด ส่วนปริมาณโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เมื่อเปรียบเทียบกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกทั้ง 3 ระยะ และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 3 ระยะ พบว่า ในระยะที่ 1 (ดิบ) ของกล้วยแต่ละพันธุ์ มีปริมาณเถ้า และคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ สุนทรีย์ (2543) [91] กล่าวว่า กล้วยเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ต่างๆ โดยคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้ามีปริมาณโปรตีน 1.1 %, ไขมัน 0.2 %, คาร์โบไฮเดรต 33.1 %, ใยอาหาร 2.3 % และเถ้า 0.7 % ส่วนของกล้วยหอมมีปริมาณโปรตีน 0.9 %, ไขมัน 0.2 %, คาร์โบไฮเดรต 29.8 %, ใยอาหาร 1.9 % และเถ้า 0.9 % [90] นอกจากนี้กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้วิเคราะห์กล้วยน้ำว้า พบว่า มีส่วนประกอบของโปรตีนในปริมาณใกล้เคียงกับน้ำนมแม่มาก จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นอาหารเสริมให้กับเด็กทารกเป็นอย่างยิ่ง [91]

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง		องค์ประกอบทางเคมี (%)					
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	ความชื้น	คาร์โบไฮเดรต
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	4.14 ± 0.98[a]	0.47 ± 0.77[c]	1.21 ± 0.33[c]	1.94 ± 0.62[a]	71.51 ± 0.32[c]	9.73 ± 0.31[a]
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	3.78 ± 0.22[c]	0.56 ± 0.61[a]	1.74 ± 0.38[b]	1.87 ± 0.24[b]	79.63 ± 0.40[a]	1.42 ± 0.86[c]
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	3.88 ± 0.36[b]	0.52 ± 0.21[b]	1.63 ± 0.54[a]	1.84 ± 0.35[c]	79.25 ± 0.69[b]	1.88 ± 0.38[b]
กล้วยหอมทอง	ดิบ	3.84 ± 0.23[a]	0.50 ± 0.51[c]	1.26 ± 0.25[c]	1.94 ± 0.27[a]	70.14 ± 0.20[c]	11.32 ± 0.45[a]
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	3.54 ± 0.38[c]	0.61 ± 0.28[b]	1.77 ± 0.74[a]	1.74 ± 0.74[c]	79.68 ± 0.33[a]	1.66 ± 0.55[c]
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	3.68 ± 0.21[b]	0.55 ± 0.14[a]	1.64 ± 0.41[b]	1.81 ± 0.53[b]	79.58 ± 0.21[b]	1.74 ± 0.38[b]

หมายเหตุ: [a, b, c] = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนินของผลกล้วยพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 3 ระยะ (ดิบ, สุก และสุกแบบบ่มก๊าซ) แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียม ทั้งในกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกระยะที่ 1 (ดิบ) มีปริมาณมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yingqiang Wang *et al*.; Chong และ Noor Aziah (2010) พบว่า ในกล้วยระยะที่ 1 (ดิบ) มีปริมาณเส้นใย และปริมาณเถ้าสูง ส่งผลให้ปริมาณแร่โพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียมสูงตามมาด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการสุกในระยะอื่น [92] Anhwange *et al.* (2009) ที่มีการรายงานว่ากล้วยที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูง จะช่วยรักษา และควบคุมของเหลวในร่างกายได้ดี [93] นอกจากนี้ Mount และ Zandi-Nejad (2012); Malnic *et al*. (2013); Linus และ Wingo (2014) ที่สรุปว่าโพแทสเซียมมีอิทธิพลต่อกระบวนการทาง

สรีรวิทยา รวมถึงศักยภาพในการทำงานกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจ เส้นประสาทการควบคุมความดันโลหิต ระบบการไหลเวียนในทางเดินอาหาร การเผาผลาญอินซูลิน และกลูโคส และช่วยให้การทำงานของไตดีขึ้น [94] [95] [96]

นอกจากนี้ ถวัลย์ และคณะ (2561) กล่าวว่า แมกนีเซียมมีความสำคัญต่อการทำงานของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นแร่ธาตุที่ช่วยผ่อนคลายความเครียด ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล ทำให้หลอดเลือดและหัวใจแข็งแรง ช่วยป้องกันโรคหัวใจเฉียบพลัน และมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในเลือดให้เป็นพลังงาน [97] และผลจากการศึกษาปริมาณแทนนิน พบว่า ทั้งในกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกระยะที่ 1 (ดิบ) มีปริมาณมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภา และชิดชม (2537) ได้รายงานผลจากการศึกษาหาปริมาณแทนนินในเปลือกของผลกล้วยสด พบว่า ระยะเวลาในการสุกของกล้วยที่ระดับเดียวกัน เปลือกกล้วยหอมทองจะมีปริมาณแทนนินสูงกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้า ยกเว้นเมื่อกล้วยสุกเต็มที่ปริมาณแทนนินในกล้วยหอมทองจะน้อยกว่ากล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอมทองดิบจะมีปริมาณแทนนินมากที่สุด [51] ปริมาณสารแทนนินจะสูงเมื่อผลดิบ (แก่) และปริมาณลดลงเมื่อผลสุกมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผล เนื่องมาจากแทนนินรวมตัวกับโปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรท หรือโดยการรวมตัวของแทนนินเอง การเกิดปฏิกิริยา Ezymatic Browning ที่ส่งผลทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ในระหว่างการสุกของกล้วย เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนิน ทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง [22] สายพันธุ์ และสภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารแทนนิน หรือสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกผลกล้วย [98]

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง		โพแทสเซียม	แมกนีเซียม	แทนนิน
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	383.02 ± 0.63^{a}	37.12 ± 0.22^{a}	62.11 ± 0.38^{a}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	324.50 ± 0.27^{c}	27.08 ± 0.37^{b}	54.61 ± 0.41^{b}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	373.20 ± 0.31^{b}	35.41 ± 0.60^{a}	54.14 ± 0.38^{b}
กล้วยหอมทอง	ดิบ	462.60 ± 0.52^{a}	20.66 ± 0.48^{ns}	66.64 ± 0.87^{a}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	444.87 ± 0.20^{b}	19.28 ± 0.68^{ns}	49.76 ± 0.66^{c}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	431.01 ± 0.31^{c}	20.28 ± 0.55^{ns}	51.80 ± 0.29^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส และปริมาณน้ำตาลกลูโคส ของผลกล้วยพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกทั้ง 3 ระยะ (ดิบ, สุก และสุกแบบบ่มก๊าซ) แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคส มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณอะไมโลสมีมากที่สุดที่ระยะที่ 1 (ดิบ) ของทั้งกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อกล้วยเข้าสู่ระยะการสุก ส่วนปริมาณกลูโคสมีปริมาณมากที่สุดที่ระยะที่ 6 (สุก) แบบที่เป็นการสุกแบบธรรมชาติ ซึ่งปริมาณกลูโคสจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริรัฐ (2546) [99] ที่ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์กล้วย *Musa sapientum* L. ตาก พบว่า เมื่อกล้วยสุกมากขึ้น จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งจะถูก Hydrolyse เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลมากขึ้น ดังนั้นเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นจึงมีความหวานมากขึ้น และมีปริมาณแป้งลดลง [99]

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง		อะไมโลส (mg/100 g)	กลูโคส (mg/100 g)
ชนิดของกล้วย	ระยะการสุกของกล้วย		
กล้วยน้ำว้า	ดิบ	0.95 ± 0.51^{a}	0.53 ± 0.86^{c}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	0.48 ± 0.23^{c}	3.78 ± 0.23^{a}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	0.55 ± 0.36^{b}	3.35 ± 0.68^{b}
กล้วยหอมทอง	ดิบ	0.95 ± 0.28^{a}	0.62 ± 0.39^{c}
	สุก (บ่มแบบธรรมชาติ)	0.48 ± 0.24^{c}	4.60 ± 0.41^{a}
	สุก (บ่มด้วยแก๊สอะเซทีลีน)	0.52 ± 0.39^{b}	4.42 ± 0.84^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เลือกระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่มีปริมาณสารสำคัญโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแทนนินมากที่สุดของกล้วยแต่ละชนิด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงเลือก สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้า ระยะที่ 1 และสิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทอง ระยะที่ 1 เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่อในขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลการศึกษาวิธีการทำแห้ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของแป้งกล้วยพร้อมเปลือก

จากการศึกษาวิธีการทำแห้ง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพในกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง โดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน

สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ตากแดด

สิ่งทดลองที่ 3 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน

สิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ตากแดด

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าสีของกล้วยหลังการทำแห้ง

ผลจากการศึกษาค่าสีของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกหลังการทำแห้ง เปรียบเทียบการทำแห้ง 2 วิธี คือ การอบแห้ง (Hot Air Oven) และการตากแดด (Sundry) ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าความสว่าง L* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความสว่าง L* เท่ากับ 49.12 ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความสว่าง L* เท่ากับ 43.73 แสดงให้เห็นว่า ค่าความสว่างสิ่งทดลองที่ 2 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ตากแดด มีแนวโน้มเข้าใกล้สีดำมากที่สุด เช่นเดียวกับค่าความสว่างของสิ่งทดลองที่ 4 กล้วยหอมทอง ดิบพร้อมเปลือก ตากแดด ซึ่งการทำแห้งแบบอบแห้งจะช่วยให้สีของกล้วยพร้อมเปลือกของทั้ง 2 ชนิด มีความขาวมากกว่าการทำแห้งแบบตากแดด ส่วนค่า a* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสีที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 แบบ มีค่าแนวโน้มการเป็นสีแดงมากกว่ากล้วยน้ำว้า ส่วนค่า b* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยซึ่งในกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 แบบ จะมีค่าแนวโน้มการเป็นสีเหลืองมากกว่ากล้วยหอมทอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภวรรณ (2562) [100] ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้ม และพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า : จลนพลศาสตร์คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นทั้งกรณีการอบแห้งด้วยโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยจะมีความสว่าง (ΔL^*) ความเป็นสีแดง (Δa^*) ความเป็นสีเหลือง (Δb^*) มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และกรณีโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 71 องศาเซลเซียส จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^* ที่คำนวณ) มีค่าสูงที่สุด มีความหมายทางกายภาพว่า กล้วยอบแห้งมีสีน้ำตาลเข้มกว่าการอบแห้ง กล้วย

ด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำกว่า โดยมีสาเหตุของความเข้มสีที่สูง มาจากการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลในผลกล้วยที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยระหว่างกระบวนการอบแห้ง [100] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tasara (2011) [101] และ สมชาติ (2540) [102]

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

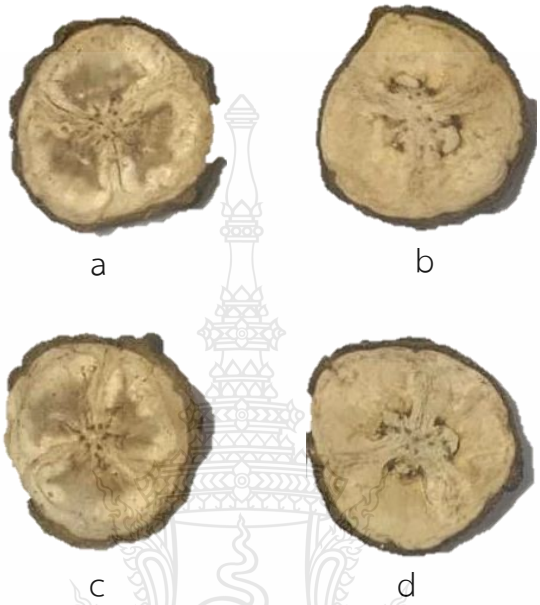
สิ่งทดลอง		ค่าสี		
ชนิดของกล้วย	การทำแห้ง	L	a	b
กล้วยน้ำว้าดิบ	อบลมร้อน	49.12 ± 0.62^{b}	4.10 ± 0.58^{b}	19.71 ± 0.47^{b}
	ตากแดด	51.31 ± 0.25^{a}	4.02 ± 0.44^{a}	19.83 ± 0.55^{a}
กล้วยหอมทองดิบ	อบลมร้อน	43.73 ± 0.41^{b}	4.35 ± 0.44^{b}	18.54 ± 0.63^{b}
	ตากแดด	45.12 ± 0.39^{a}	4.51 ± 0.37^{a}	18.73 ± 0.54^{a}

หมายเหตุ: $^{a, b}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งของกล้วยแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของกล้วยหลังการทำแห้ง

ผลจากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองหลังการทำแห้ง เปรียบเทียบการทำแห้ง 2 วิธี คือ การอบแห้ง และการตากแดด โดยวัดค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณน้ำอิสระของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ชั่วโมงที่ 8 มีค่าปริมาณน้ำอิสระที่เหมาะสมต่อการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งแบบตากแดด ซึ่งมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.60-0.65 เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณความชื้นของเนื้อกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองหลังการทำแห้ง โดยวัดค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก็พบว่า ปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ชั่วโมงที่ 8 มีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งแบบตากแดด มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 13-14 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรนาถ และคณะ (2558) ที่ทดลองอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นร้อยละ 13 [4] ส่วนกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำแห้งแบบตากแดด พบว่า ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นไม่เหมาะสม ส่งผลให้ลักษณะปรากฏของกล้วย (ภาพที่ 4.2 และ 4.3) ที่ได้จากการทำแห้งแบบตากแดด มีสีคล้ำ มีกลิ่นเหม็นจากการหมักในระหว่างการเก็บเพื่อรอการตากแดดซ้ำจนแห้ง และการอบแห้งแบบลมร้อนยังเป็นการทำแห้งในระบบปิด สามารถป้องกันสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่อาจจะปะปนอยู่ในอากาศได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภวรรณ (2562) [100] ได้ศึกษาการ

อบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้ม และพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่า การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (66 และ 71 องศาเซลเซียส) จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากกว่าการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (56 องศาเซลเซียส) [100]



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการตากแดด (a) และลักษณะของกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการอบแห้ง (b) ลักษณะของกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการตากแดด (c) และลักษณะของกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการอบแห้ง (d)

เลือกวิธีการทำแห้งของกล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกที่เหมาะสมต่อการนำมาทำแป้งกล้วยมากที่สุดของกล้วยแต่ละชนิด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ เนื่องจากการทำแห้งแบบวิธีการตากแดด ส่งผลให้กล้วยที่ได้มีกลิ่นเหม็นจากการหมักระหว่างการเก็บ มีสีคล้ำ ไม่สม่ำเสมอ และใช้เวลาในการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งแบบอบแห้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน และสิ่งทดลองที่ 3 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณสารสำคัญต่อในขั้นตอนการทำแป้งกล้วยพร้อมเปลือกต่อไป

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของแป้งกล้วยดิบพร้อมเปลือก

จากการศึกษาสภาวะการทำแห้ง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนิน ในกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง และกล้วยหอมทอง โดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 2 สิ่งทดลอง ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก

สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก

4.3.1 การวิเคราะห์ค่าสี และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาค่าสีของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.8 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความสว่าง L* เท่ากับ 51.20 ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความสว่าง L* เท่ากับ 47.67 แสดงให้เห็นว่า ค่าความสว่างของสิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความสว่าง L* มากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก เนื่องจากในกล้วยน้ำว้าดิบจะมีปริมาณอะไมโลสมากกว่ากล้วยหอมทองดิบ จึงส่งผลให้ค่าความสว่างของสิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ส่วนค่า a* ของ สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าแนวโน้มเข้าใกล้สีแดงมากกว่า สิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน แต่ค่า b* ของสิ่งทดลองที่ 1 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และสิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าแนวโน้มเข้าใกล้สีเหลืองใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shayma *et al.* (2018) [103] ได้ศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์การทดแทนแป้งเปลือกกล้วยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะการไหลของแป้งสาลี และการทำงานของยีสต์ในช่วงการเกิดโด พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับสีของตัวอย่างแป้ง เป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณโลหะ ซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าสูงขึ้น และทำให้ระดับสีเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Ramil *et al.* (2009) [104]; Futeri และ Pharmayeni (2014) [105] ที่กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของระดับสีของตัวอย่างแป้งมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์เถ้าที่เพิ่มขึ้น [103] [104] [105]

ผลจากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.8 พบว่า กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.2634 และ 0.2944 ตามลำดับ แสดงให้เห็น

ว่า สิ่งทดลองที่ 2 กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าปริมาณน้ำอิสระมากกว่ากล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก อบด้วยตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ปริมาณน้ำอิสระ
	L	a	b	(a_w)
แป้งกล้วยน้ำว้า	51.20 ± 0.22	4.12 ± 0.54	19.62 ± 0.55	0.2634 ± 0.20
แป้งกล้วยหอมทอง	47.67 ± 0.41	4.41 ± 0.36	18.62 ± 0.28	0.2944 ± 0.14

4.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.9 พบว่า องค์ประกอบทางเคมี มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น ของสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าเท่ากับ 4.45, 1.56, 3.45, 22.02 และ 6.78 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีค่าเท่ากับ 4.38, 1.45, 1.89, 21.56 และ 6.26 % ตามลำดับ แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีค่าเท่ากับ 64.46 % มากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ที่มีค่าเท่ากับ 62.07 % เนื่องจากปริมาณอะไมโลสของกล้วยน้ำว้าดิบมีมากกว่ากล้วยหอมทองดิบ จึงส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Carolina *et al.,* (2013) [107] พบว่า แป้งกล้วยแบบไม่ปลอกเปลือกมีปริมาณแร่ธาตุสูง และผนังเซลล์มีปริมาณเส้นใยส่วนใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำ [107] ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมันในตัวอย่างแป้งกล้วยไม่ปอกเปลือกนั้นใกล้เคียงกับปริมาณที่ Borges และคณะ (2007) ซึ่งมีค่า 4.73 และ 0.70 g/100 g ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ [106] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shayma *et al.* (2018) ได้ศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์การทดแทนแป้งเปลือกกล้วยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะการไหลของแป้งสาลี และการทำงานของยีสต์ในช่วงการเกิดโด พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มขึ้น จะสัมพันธ์กับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น [103] และสอดคล้องกับงานวิจัยของสุดาทิพย์ (2545) ซึ่งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้า โดยมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 9.85, 2.73, 0.54, 2.32, 0.84 และ 83.73 % โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ [31] และสอดคล้องกับรายงานของวราภรณ์ (2551) ซึ่งพบว่า

แป้งกล้วยมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 2.68, 0.36 และ 2.27 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ [108]

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

สิ่งทดลอง	องค์ประกอบทางเคมี (%)					
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	ความชื้น	คาร์โบไฮเดรต
แป้งกล้วยน้ำว้า	4.38 ± 0.32	1.45 ± 0.47	1.89 ± 0.78	21.56 ± 0.44	6.26 ± 0.22	64.46 ± 0.77
แป้งกล้วย หอมทอง	4.45 ± 0.42	1.56 ± 0.52	3.45 ± 0.65	22.02 ± 0.63	6.78 ± 0.85	62.07 ± 0.54

4.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม ปริมาณแทนนิน และปริมาณอะไมโลส และปริมาณน้ำตาลกลูโคสของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียมของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนิน ของสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 1697 mg/100 g ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีปริมาณเท่ากับ 1133.23 mg/100 g ส่วนปริมาณแมกนีเซียม สิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณเท่ากับ 697.25 mg/100 g ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีปริมาณเท่ากับ 625.10 mg/100 g ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nareman S. Eshak (2016) ที่ได้ศึกษาการประเมินทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของขนมปังแผ่นแบนที่เสริมด้วยเปลือกกล้วยที่เป็นแหล่งใยอาหารตามธรรมชาติ พบว่า ในแป้งกล้วยที่มีการผสมเปลือกในระยะที่1 (ดิบ) มีปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียมสูงที่สุด [109] และปริมาณแทนนินของสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณเท่ากับ 35.39 mg/100 g ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ที่มีปริมาณเท่ากับ 34.45 mg/100 g

ผลจากการศึกษาปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ค่าแสดงใน ตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคส ของสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบ

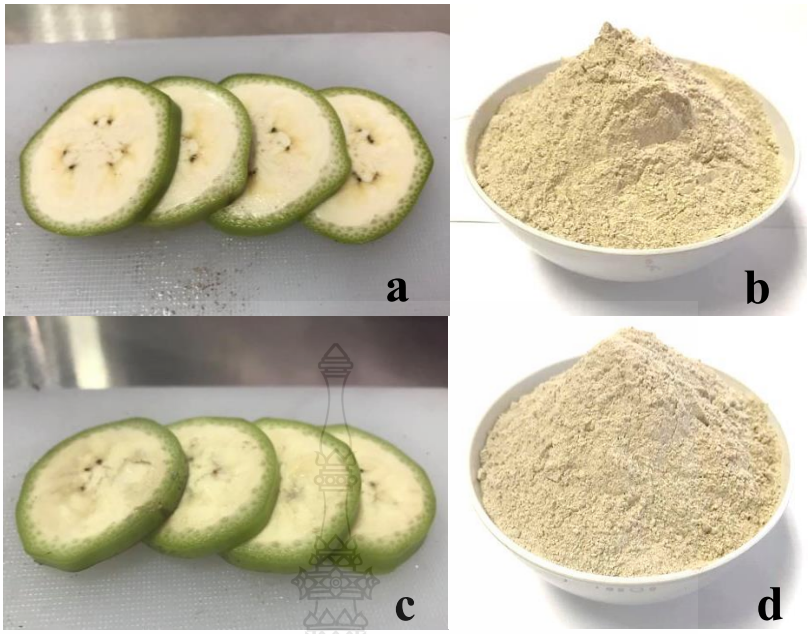
พร้อมเปลือก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าเท่ากับ 1.82 mg/100 g ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีค่าเท่ากับ 1.64 mg/100 g แต่ปริมาณกลูโคส พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีค่าเท่ากับ 1.85 mg/100 g ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 2 แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีค่าเท่ากับ 1.21 mg/100 g ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรนาถ และคณะ (2558) จากการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส พบว่า แป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างสูง (ร้อยละ 38.33 - 44.66) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งกลุ่มธัญพืช และแป้งจากหัว/ราก นอกจากนี้ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้ [4] จากการงานวิจัยของ Vatanasuchart *et al.* (2009) ซึ่งรายงานว่าแป้งกล้วยดิบสายพันธุ์ทั่วไป (Common Cultivars) มีปริมาณอะมิโลส อยู่ระหว่างร้อยละ 25.8 - 37.1 อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้อาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกล้วย ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและเขตพื้นที่การเพาะปลูกที่แตกต่างกัน [110]

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม ปริมาณแทนนิน ปริมาณอะไมโลส และปริมาณกลูโคสของแป้งกล้วยกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

สิ่งทดลอง	โพแทสเซียม (mg/100 g)	แมกนีเซียม (mg/100 g)	แทนนิน (mg/100 g)	อะไมโลส (mg/100 g)	กลูโคส (mg/100 g)
แป้งกล้วยน้ำว้า	697.25 ± 0.32	625.10 ± 0.81	35.39 ± 0.27	1.82 ± 0.70	1.21 ± 0.33
แป้งกล้วยหอมทอง	1697.00 ± 0.55	1133.23 ± 0.49	34.45 ± 0.66	1.64 ± 0.29	1.85 ± 0.61

4.3.5 การวิเคราะห์ผลผลิตเปรียบเทียบกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ต่อแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณผลผลิตของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ได้ปริมาณผลผลิตของแป้งกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือก (ภาพที่ 4.4) เท่ากับ ร้อยละ 22.66 และปริมาณผลผลิตของแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ภาพที่ 4.5) เท่ากับ ร้อยละ 18.48 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 กล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือกก่อนอบแห้ง (a), แป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก (b), กล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกก่อนอบแห้ง (c) และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก (d)

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

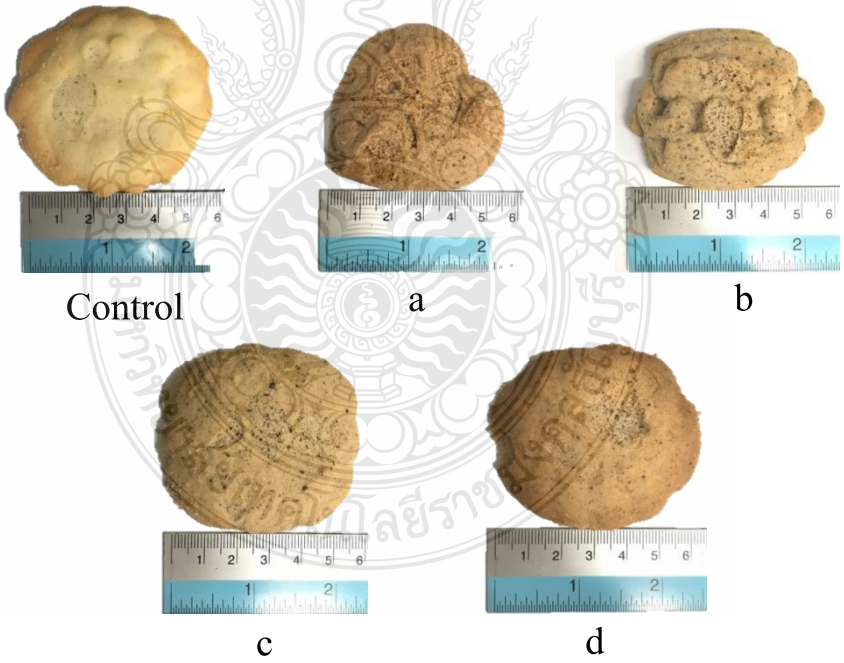
สิ่งทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้น (g)	น้ำหนักแป้ง (g)	ปริมาณผลผลิต (%)
แป้งกล้วยน้ำว้า	154.90 ± 0.36	35.10 ± 0.33	22.66
แป้งกล้วยหอมทอง	342.18 ± 0.25	63.22 ± 0.41	18.48

จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงเลือก กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองระยะที่ 1 (ดิบ) ที่ผ่านการทำแห้งแบบอบแห้ง เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณสารสำคัญต่อในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยพร้อมเปลือกต่อไป

4.4 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งกล้วยพร้อมเปลือก

4.4.1 การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ภาพที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.12) พบว่า ค่าความสว่าง L* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสูตรควบคุม (Control) มีค่าความสว่างมากที่สุด และมีแนวโน้มความสว่างลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ส่วนค่า a* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสีที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยจะมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงเมื่อมีการการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น เช่นเดียวกับค่า b* ที่จะมีแนวโน้มสีเหลืองลดลงเมื่อมีการการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น



ภาพที่ 4.4 คุกกี้สูตรควบคุม (แป้งสาลี), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ 100% (a), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยหอมทองดิบ 100% (b), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ 50% + แป้งสาลี 50% (c), คุกกี้สูตรแป้งกล้วยหอมทองดิบ 50% + แป้งสาลี 50% (d)

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง	ค่าสี		
	L	a	b
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	72.13 ± 0.32[a]	3.23 ± 0.62[a]	31.40 ± 0.45[a]
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	49.11 ± 0.61[e]	2.27 ± 0.33[e]	27.43 ± 0.36[e]
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	61.51 ± 0.44[c]	2.46 ± 0.25[d]	27.91 ± 0.69[d]
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	57.02 ± 0.52[d]	2.42 ± 0.82[c]	27.63 ± 0.47[c]
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	65.24 ± 0.55[b]	2.51 ± 0.36[b]	28.20 ± 0.75[b]

หมายเหตุ: [a, b, c, d, e] = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ตารางที่ 4.13) พบว่า ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์คุกกี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกที่มากขึ้น

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)[ns]
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	0.5822 ± 0.25
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	0.6629 ± 0.36
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	0.6512 ± 0.47
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	0.6326 ± 0.68
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	0.6212 ± 0.25

หมายเหตุ: [ns] = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4.3 การวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ตารางที่ 4.14) พบว่า ค่าความแข็ง และค่าการแตกหักของสูตรควบคุม (แป้งสาลี) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทอง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธิดารัตน์ และคณะ (2558) ที่กล่าวว่า การใช้กล้วยน้ำว้าทดแทนน้ำตาลทรายในคุกกี้กล้วยน้ำว้า ทำให้ค่าการแตกหัก และค่าความแข็งลดลง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่สอดคล้องในส่วนที่กล่าวว่า ค่าความกรอบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) การทดแทนน้ำตาลทรายในคุกกี้ด้วยกล้วยน้ำว้า ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ เนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นจำนวนมาก และมีความชื้นสูงเมื่อเพิ่มกล้วยน้ำว้าเข้าไปในสูตรคุกกี้มากขึ้น ค่าการแตกหัก ค่าความแข็ง และค่าความกรอบของคุกกี้จึงมีแนวโน้มลดลง [111] เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ค่าความกรอบของสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้า 100% มีค่าความกรอบมากที่สุด และมากกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี) เนื่องจากการเติมแป้งกล้วยน้ำว้า 100% ทำให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้แน่นกว่าสูตรควบคุม จึงให้ความกรอบที่มากกว่าสูตรควบคุม

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง	เนื้อสัมผัส (Texture Profile) (N)		
	ค่าความแข็ง (Hardness)	ค่าการแตกหัก (Fracturability)	ค่าความกรอบ (Crispness)
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	1.03 ± 0.22^{a}	9.85 ± 0.61^{a}	6.39 ± 0.23^{b}
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	0.98 ± 0.12^{b}	9.14 ± 0.78^{b}	6.84 ± 0.68^{a}
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	0.88 ± 0.17^{c}	6.92 ± 0.51^{c}	3.41 ± 0.38^{e}
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	0.68 ± 0.17^{d}	4.09 ± 0.31^{e}	4.44 ± 0.86^{d}
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	0.44 ± 0.40^{e}	5.47 ± 0.33^{d}	5.88 ± 0.68^{c}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d, e}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ตารางที่ 4.15) พบว่า ปริมาณโปรตีนของสูตรควบคุม (แป้งสาลี) และสูตรที่มีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุม (แป้งสาลี) จะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อยู่ประมาณ 2 เท่า ส่วนปริมาณไขมัน และปริมาณเส้นใยของสูตรที่ทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณสูงกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันมาก ปริมาณเถ้าของสูตรที่มีการทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณมากกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี) ปริมาณความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการทดแทนของแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดต่างๆ แต่ในสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก 100% มีปริมาณความชื้นมากกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี) เล็กน้อย และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณนนท์ และคณะ (2554) ศึกษาเรื่องการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ ซึ่งจากการนำแป้งกล้วยน้ำว้ามาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับแป้งสาลี พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งสาลีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งกล้วยน้ำว้าที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และเถ้าสูงกว่าแป้งสาลี ปริมาณโปรตีนของแป้งกล้วยต่ำกว่าแป้งสาลี [112] แต่ปริมาณไขมันจากการทดลองมีมากกว่าสูตรแป้งสาลี ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณนนท์ และคณะ (2554) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของแป้งกล้วยและแป้งสาลี คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งแป้งกล้วยมีปริมาณร้อยละ 86 ทำให้สามารถพิจารณานำแป้งกล้วยมาใช้ทดแทนแป้งสาลีได้ แต่ปริมาณโปรตีนของแป้งกล้วยที่ต่ำกว่าแป้งสาลีถึง 6 เท่า ทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำแป้งกล้วยมาทดแทนแป้งสาลี ซึ่งแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตบราวนี่เป็นแป้งสาลีที่โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7 - 9 [113] แต่ผลการทดลองที่ได้สูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณโปรตีนต่างจากสูตรแป้งสาลีเพียง 2 เท่าเท่านั้น องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยที่ผลิตได้มีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ สุดาทิพย์ (2545) ซึ่งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้า โดยมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 9.85, 2.73, 0.54, 2.32, 0.84 และ 83.73 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ [31] และสอดคล้องกับรายงานของ วราภรณ์ (2551) ซึ่งพบว่า แป้งกล้วยมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 2.68, 0.36 และ 2.27 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ [108]

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง	องค์ประกอบทางเคมี (g/100 g)					
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	ความชื้น	คาร์โบไฮเดรต
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	6.26 ± 0.85^{a}	31.50 ± 0.54^{c}	22.38 ± 0.44^{c}	1.07 ± 0.78^{e}	4.37 ± 0.66^{b}	56.80 ± 0.55^{e}
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	3.44 ± 0.51^{e}	32.71 ± 0.22^{a}	24.63 ± 0.65^{a}	1.91 ± 0.31^{b}	2.99 ± 0.39^{e}	58.95 ± 0.62^{b}
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	5.23 ± 0.36^{c}	31.99 ± 0.81^{b}	23.42 ± 0.33^{b}	1.55 ± 0.61^{d}	3.30 ± 0.23^{d}	57.93 ± 0.30^{d}
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	3.12 ± 0.45^{d}	30.72 ± 0.39^{d}	21.37 ± 0.14^{e}	2.26 ± 0.22^{a}	4.41 ± 0.53^{a}	59.49 ± 0.50^{a}
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	5.46 ± 0.63^{b}	30.58 ± 0.44^{e}	22.13 ± 0.68^{d}	1.63 ± 0.51^{c}	3.88 ± 0.74^{c}	58.45 ± 0.88^{c}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d, e}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ผลจากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก (ตารางที่ 4.16) พบว่าปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนิน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกมีปริมาณมากกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี) ถึง 8 เท่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนของแป้งกล้วยดิบพร้อมเปลือกที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bello-Perez *et al.* (1999) ที่กล่าวว่าแป้งกล้วยที่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าแป้งสาลี แสดงให้เห็นว่า แป้งกล้วยมีปริมาณแร่ธาตุมากกว่า ซึ่งแร่ธาตุที่พบมากในกล้วย ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม [114]

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยพร้อมเปลือกของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

สิ่งทดลอง	โพแทสเซียม (mg/100 g)	แมกนีเซียม (mg/100 g)	แทนนิน (mg/100 g)
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	38.29 ± 0.36^{e}	9.93 ± 0.19^{e}	6.02 ± 0.62^{c}
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	218.74 ± 0.25^{b}	23.96 ± 0.55^{a}	11.79 ± 0.89^{a}
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	148.38 ± 0.25^{d}	16.88 ± 0.64^{c}	5.81 ± 0.45^{d}
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	322.24 ± 0.55^{a}	22.84 ± 0.85^{b}	11.48 ± 0.28^{b}
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	185.49 ± 0.63^{c}	16.67 ± 0.44^{d}	5.71 ± 0.33^{e}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d, e}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมดิบทองพร้อมเปลือก

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค จำนวน 100 คน ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ดังแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่า การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค จำนวน 100 คน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีของผลิตภัณฑ์สูตรควบคุม และสูตรทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก 100% มีค่าการยอมรับของผู้บริโภคที่สูงมากกว่าสูตรอื่นใกล้เคียงกัน ส่วนการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความโดยรวม ผู้บริโภคให้การยอมรับต่อสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก 100% มากที่สุด รองลงมาคือ สูตรควบคุม และสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก 100% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการยอมรับที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมดิบทองพร้อมเปลือก

สิ่งทดลอง	การทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม (แป้งสาลี)	$7.84^{a} \pm 0.53$	$8.35^{a} \pm 0.55$	$8.35^{b} \pm 0.29$	$8.31^{b} \pm 0.25$	$8.20^{b} \pm 0.28$	$8.21^{b} \pm 0.89$
แป้งกล้วยน้ำว้า 100%	$7.82^{b} \pm 0.22$	$8.31^{b} \pm 0.36$	$8.40^{a} \pm 0.30$	$8.39^{a} \pm 0.62$	$8.29^{a} \pm 0.31$	$8.36^{a} \pm 0.77$
แป้งกล้วยน้ำว้า 50% + แป้งสาลี 50%	$7.01^{e} \pm 0.65$	$7.10^{e} \pm 0.25$	$7.63^{e} \pm 0.30$	$7.73^{e} \pm 0.66$	$8.08^{e} \pm 0.38$	$6.72^{e} \pm 0.45$
แป้งกล้วยหอมทอง 100%	$7.71^{d} \pm 0.63$	$7.25^{c} \pm 0.56$	$8.11^{d} \pm 0.78$	$8.26^{d} \pm 0.70$	$8.16^{c} \pm 0.33$	$7.69^{d} \pm 0.33$
แป้งกล้วยหอมทอง 50% + แป้งสาลี 50%	$7.77^{c} \pm 0.63$	$7.21^{d} \pm 0.48$	$8.23^{c} \pm 0.52$	$8.29^{c} \pm 0.48$	$8.11^{d} \pm 0.41$	$7.81^{c} \pm 0.58$

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d, e}$ = มีความแตกต่างกันทางสถิติในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ทั้ง 3 ระยะ พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียม ทั้งในกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกระยะที่ 1 (ดิบ) มีปริมาณมากที่สุด ส่วนจากการศึกษาปริมาณแทนนิน พบว่า ทั้งในกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกระยะที่ 1 (ดิบ) มีปริมาณมากที่สุด

5.1.2 จากการศึกษาปริมาณอะไมโลส และปริมาณน้ำตาลกลูโคสของผลกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ทั้ง 3 ระยะ พบว่า ปริมาณอะไมโลสมีมากที่สุดที่ระยะที่ 1 (ดิบ) ของทั้งกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อกล้วยเข้าสู่ระยะการสุก ส่วนปริมาณกลูโคสมีปริมาณมากที่สุดที่ระยะที่ 6 (สุก) แบบที่เป็นการสุกแบบธรรมชาติ ซึ่งปริมาณกลูโคสจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ดังนั้นระยะของกล้วยที่เหมาะสมต่อการนำมาทำแป้งกล้วยพร้อมเปลือก คือ ระยะที่ 1 (ดิบ)

5.1.3 จากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของของแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก โดยแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 1697 mg/100g ซึ่งมากกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีปริมาณเท่ากับ 1133.23 mg/100g ส่วนปริมาณแมกนีเซียม แป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณเท่ากับ 697.25 mg/100g ซึ่งมากกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก ที่มีปริมาณเท่ากับ 625.10 mg/100g

5.1.4 จากการศึกษาค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก พบว่า ค่าความสว่าง L* ในสูตรควบคุม (Control) มีค่าความสว่างมากที่สุด และมีแนวโน้มความสว่างลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก ส่วนค่า a* มีค่าสีที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยจะมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงเมื่อมีการการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น เช่นเดียวกับค่า b*

ที่จะมีแนวโน้มสีเหลืองลดลงเมื่อมีการการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น

5.1.5 จากการศึกษาเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก พบว่า ค่าความแข็ง และค่าการแตกหักของสูตรควบคุม (แป้งสาลี) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทอง

5.1.6 จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก พบว่า สูตรควบคุม (Control) จะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสูตรที่มีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก อยู่ประมาณ 2 ส่วนปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าของสูตรที่ทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก มีปริมาณสูงกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย ปริมาณความชื้นจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการทดแทนของแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดต่างๆ แต่ในสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก 100% มีปริมาณความชื้นมากกว่าสูตรควบคุม (Control) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกในปริมาณที่มากขึ้น

5.1.7 จากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนินของสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือกมีปริมาณมากกว่าสูตรควบคุม (Control) ถึง 8 เท่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนของแป้งกล้วยดิบพร้อมเปลือกที่มากขึ้น

5.1.8 จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า การยอมรับด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์สูตรควบคุม และสูตรทดแทนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก 100% มีค่าการยอมรับของผู้บริโภคที่ใกล้เคียงกัน ส่วนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก 100% มากที่สุด รองลงมาคือ สูตรควบคุม และสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก 100% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการยอมรับที่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณแทนนิน อาจเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยของกล้วยในแต่ละช่วงการเก็บเกี่ยว สายพันธุ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำแห้ง

5.2.2 ระยะเวลาในการทำแห้งที่มีผลต่อปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ อาจเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยของกล้วยในแต่ละช่วงการเก็บเกี่ยว สายพันธุ์ ก่อนการทำแห้งจึงควรหั่นผลกล้วยให้มีขนาดบางใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระที่สม่ำเสมอกัน

5.2.3 สีของแป้งกล้วยพร้อมเปลือก อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามสีของวัตถุดิบ สายพันธุ์กล้วย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำแห้ง

5.2.4 ลักษณะปรากฏ และรสชาติของผลิตภัณฑ์คุกกี้ อาจเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของเปลือกกล้วย และสายพันธุ์ของกล้วยในช่วงการเก็บเกี่ยวนั้นๆ

5.2.5 สามารถใช้แป้งกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการได้ หรือจะนำกล้วยสายพันธุ์ที่มีในท้องถิ่นมาทำแป้งกล้วยพร้อมเปลือก เพื่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

[1] สรจักร ศิริบริรักษ์. 2544. เภสัชโภชนา 4. สำนักพิมพ์ โรงพิมพ์กรุงเทพ. หน้า 323-325.

[2] ปิยวรรณ บุญโพธิ์. 2557. โภชนาการเพื่อป้องกันโรคหลอดเลือดและหัวใจ. คณะเทคนิคการแพทย์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[3] Poltanov, E. A., Shikov, A. N., Dorman, H. J., Pozharitskaya, O. N., Makarov, V. G., Tikhonov, V. P., and Hiltunen, R. 2009. Chemical and antioxidant evaluation of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* Gaertn., syn. *Phyllanthus emblica* L.) supplements. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, USA.

[4] จิรนาถ บุญคง ทิพวรรณ บุญมี และพัชราวรรณ เรือนแก้ว. 2557. การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2557 - กันยายน 2558.

[5] ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2557. กล้วย. คุณค่าล้นหวี ผลไม้ดีคู่สุขภาพ. อาหาร, มกราคม-มีนาคม, ปีที่ 44, ฉบับที่ 1, หน้า 15-18. (แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 64), A17).

[6] กรมศุลกากร, 2558, สถิติการนำเข้า – ส่งออก [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 15 สิงหาคม 2561] เข้าถึงจาก : http://www.customsclinic.org/index.php?option=com_phocadownload & view=category&id=4%3Aimport-andexport-statistic-&Itemid=222&lang=th.

[7] เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2538. กล้วย. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บริษัทประชาชน จำกัด, กรุงเทพฯ. 290 หน้า.

[8] สารานุกรมไทย: เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2559. กล้วย. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. เล่ม 39, กรุงเทพฯ : โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2559, 24 หน้า. (อ้างอิง 039.95911 ส679 ล30).

[9] Heslop-Harrison, J. S. and Schwarzacher, T. 2007. Domestication, genomics and the future for banana. Annals of Botany 100(5):1073-1084.

[10] เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2548. กล้วย. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. เล่ม 30, กรุงเทพฯ : โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2548, หน้า 170-197. (อ้างอิง 039.95911055 ส27 ล30).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] สุธิดา อัญญะโพธิ์. 2548, กล้วย ผลไม้มากคุณประโยชน์. UPDATE, พฤศจิกายน, ปีที่ 20, ฉบับที่ 218, หน้า 45-56. (แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 64), A46).

[12] เบญจมาศ ศิลาย้อย. (ตุลาคม 2561). ภาพลักษณะของเหง้ากล้วย และใบธงของกล้วย. สืบค้นจาก http://storyofbananas.blogspot.com/2014/05/blog-post_13.html.

[13] เบญจมาศ ศิลาย้อย. (ตุลาคม 2561). ภาพลักษณะของหัวปลี และผลของกล้วย. สืบค้นจาก http://www.thaikasetsart.com.

[14] Simmonds, N. W. 1966. Bananas. Longman, London, UK.

[15] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. การผลิตกล้วย *Musa spp.* (Musaceae). [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 15 สิงหาคม 2561] เข้าถึงจาก: lms.mju.ac.th/courses/121/locker/1กล้วย.doc

[16] กรมวิชาการเกษตร. 2559 ยุทธศาสตร์การพัฒนาวิจัยกล้วย พ.ศ. 2559-2563. [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 15 สิงหาคม 2561] เข้าถึงจาก: www.doa.go.th/hortold/images/stories/strategyplanthort/strategybanana.doc.

[17] เบญจมาศ ศิลาย้อย. (ตุลาคม 2561). ภาพกล้วยน้ำว้า. สืบค้นจาก https://www.technologychaoban.com/news_detail.php? tnid=684.

[18] เบญจมาศ ศิลาย้อย. (ตุลาคม 2561). ภาพแหล่งปลูกกล้วยไข่ที่สำคัญของประเทศไทย. สืบค้นจาก http://m.matichon.co.th/readnews.php?newsid=1441855587.

[19] เบญจมาศ ศิลาย้อย. (ตุลาคม 2561). ภาพแหล่งปลูกกล้วยหอมที่สำคัญของประเทศไทย. กล้วย-การปลูกกล้วย/กล้วยหอมทอง. สืบค้นจาก http://bighealthyplant.com.

[20] Adao, R. C. and Gloria, M. B. A. 2005. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of 'Prata' banana (Musa acuminata x Musa balbisiana) Food. Chem. 90: 705-711.

[21] Bugaud, C., Chillet, M., Beaute, M. P. and Dubois, C. 2006. Physicochemical analysis of mountainbananas from the French West Indies. Scientia Hort. 108:167–172.

[22] Kotecha, P. M. and Desai, B. B. 1995. Banana. In: Handbook of Fruit Science and Technology: production, composition, storage and processing (D. K. Salunkhe and S. S. Kadam, eds.), Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 67-90.

[23] Wade, N. L., O'Connell, P. B. H. and Brady, C. J. 1972. Content of RNA and protein of the ripeningbanana. Phytochemistry, 11, 975-979.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[24] Goldstein, J. L., and Wick, E. L. 1969. Lipids in ripening banana fruit. J. Food Sci. 34, 482.

[25] Palmer, J. K. 1971. The banana. In “The Biochemistry of Fruits and Their Products” (A. C. Hulme, ed.), Vol. 2, pp 65-105. Academic Press, London and New York.

[26] Simmonds, N. W. 1970. Banana. London: Longman.

[27] Prabha, T. N. and Bhagyalakshmi, N. 1998. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. Phytochemistry 48, 915 -919.

[28] Kanazawa, K. and Sakakibara, H. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendishbanana. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48(3): 844–848.

[29] Mendoza, F. and Aguilera, J. M. 2004. Application of image analysis for classification of ripeningbananas. Journal of Food Science, 69(9), E471-E477

[30] เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

[31] สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. (2545) การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง/กรุงเทพฯ.

[32] จันทร์เพ็ญ บุตรใส และ เสน่ห์ บัวสนิท. 2555. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกล้วยอบม้วน. สาขาวิชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

[33] กรมวิชาการเกษตร. กล้วย. 2552 [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 15 สิงหาคม 2561] เข้าถึงจาก: http://www.doa.go.th/hort/images/stories/statushort/hy2557/banana.pdf.

[34] Lii Cheng-yi, Chang Shuh-ming and Young Ya-lan. 1982. Investigation of the Physical and Chemical Properties of Banana Starches. Journal of Food Science. 47(5):1493 – 1497.

[35] De Sotillo, D. R., Hadley, M. and Holm, E. T.1994. Potato peel waste; stability and antioxidant activity of a freeze-dried extract. J. Food Sci., 59, 1031-1033.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[36] Subagio, A., Morita, N. and Sawada, S. 1996. Carotenoids and their fatty-acid esters in banana peel. Journal of Nutritional Science and Vitamin ology 42(6): 553–566.

[37] Larrauri, J. A., Rupérez, P., and Saura-Calixto, F. 1997. Mango peel fibres with antioxidant activity. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 205(1), 39-42doi: 10.1007/s002170050120.

[38] สุรัตน์ โคมินทร์. 2534. ผลกระทบของใยอาหารและไฟเตต์ต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ, (หน้า 339-349). ในเอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่องก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ, 13-15 ธันวาคม 2532.สถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

[39] อรพิน ภูมิภมร. 2523. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร: โพลีแซคคาไรด์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[40] สตางค์ ภูมิสุทธาผล. 2543. ผลของการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมต่อกระบวนการหมักและคุณค่าทางโภชนาของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักในโคนม. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[41] ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2539. คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสรรพโรค. กรุงเทพฯ.

[42] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. Cellulose. [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 15 สิงหาคม 2561] เข้าถึงจาก:http://www.foodnetworksolution.com/cellulose.

[43] นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

[44] Prosky, L., and Devries J.W. 1992. Controlling Dietary Fiber in Food Products. Van Nostrand Reinhold, New York. 161 p.

[45] Baessler H. and Killesreiter H. 1973. Bandgap-Determination from Autoionization Data in Molecular Crystals. Journal. Fachbereich Physikalische Chemie der Universität , Marburg Biegenstrasse 12 D, 3550, Marburg/Lahn, West Germany. pp 21-31.

[46] Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[47] พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ. 2544. ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้3 พืชที่ให้สีย้อม และแทนนิน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.

[48] Amelot, M. A. , Bastidas, A. O. and Pisarelli, M. C. 2007. Phenolics and condensedtannins of highaltitude Pteridium arachnoideum in relation to sunlight exposure, elevationand rain regime. Biochemical Systematics and Ecology. 35, 1 -10.

[49] Naczyk, M. and Shahidi, F. 2004. Extraction and analysis of Phenolics. Food Journal of Chromatography A. 1054, 95 - 111.

[50] O' Connell, J. E. 2000. Food Chemistry. University College, Cork, lreland : Product Technology Department, NIZO Food Research.

[51] วิภา สุโรจนเมธากุล และชิดชม ฮิรางะ. 2537. การสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

[52] Von Elbe, J. H. and Schwartz, S. J. 1996. Colorants. Food Chemistry. 3rd. ed. (Fennema, O.R. ed.). Marcel Dekker, Inc., New York.

[53] Deshpande, S. S., Cheryan, M. and Salunkhe, D. K. 1986. Tannin analysis of food product. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 24, 401 – 449.

[54] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2555. การทำแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-การทำแห้ง. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2560).

[55] Jacobs, J. 2011. What foods have tannic acid. [Online] . Available Source: http:// www. livestrong. com/ article/ 433531-what-foods-have-tannic-acid/ . (02 July 2018).

[56] Shifko, R. 2011. Foods containing tannic acid. [Online] . Available Source: http:/ / www. livestrong. com/ article/ 299312-foods-containing-tannic-acid/ (02 July 2018).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[57] Labieniec, M and Gabryelak, T. 2003. Image of Chemistry structure tannic acid. [Online]. Available Source: http://www.themodernembalmer.com/tannin.html (02 July 2018).

[58] แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2554. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, บริษัทชวนพิมพ์ 50 จำกัด, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

[59] กมณชนก วงศ์สุขสิน. 2560. การวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ทองแดง และสังกะสีของข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิดำ และข้าวสังข์หยดโคราช ในพื้นที่อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา. สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

[60] Lin, D., Huang D. and Wang S. 2004. Effect of Potassium Levels on Fruit Quality of Muskmelon in Soilless Medium Culture. Scientia Horticulturae, Vol. 102 (1), pp. 53 – 60.

[61] นฤมล วชิรปทมา ฑิตฐิตา ศรีภุมมา และสุทธินี ไมตรีสรสันต. 2554. การหาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรดในน้ำมะพร้าวด้วยเทคนิค Capillary Electrophoresis. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

[62] ปรียนันท์ บัวสด. 2549. การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชา โดยวิธีไซคลิก -โวลแทมเมตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[63] อัญมณี ปิณฑะบุตร. 2540. การสกัดสารแทนนินจากเปลือกลูกตาล. ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.

[64] ชุติกาญจน์ ศักดิ์สิงห์. 2551. การศึกษาต้านอนุมูลอิสระในผักพื้นบ้าน. การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีวเคมีสำหรับครู คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[65] ธีรวุฒิ เลิศสุทธิ์ชวาล และคณะ. 2552. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝาดดอกแดง ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp.* วารสารการวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 1, 97 -103.

[66] กมณชนก วงศ์สุขสิน และปนัดดา ผ่านสำแดง. 2557. การสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[67] Comanidini, P., Lerma - García, M. J., Simó - Alfonso, E. F. and Toschi, T. G. 2014. Tannin analysis of chestnut bark samples (Castanea sativa Mill.) by HPLC - DAD - MS. Food Chemistry, 157, 290 – 295.

[68] กนกวรรณ เสรีภาพ. 2555. เอทิลีน. คู่มือวิชาวิทยาศาสตร์. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

[69] จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ. 2543. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[70] บุหลัน พิทักษ์ผล. 2556. การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://guru.sanook.com/encyclopedia/การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 8 กุมภาพันธ์ 2561).

[71] จุฑา พีรพัชระ ธานี สุคนธะชาติ อรอุมา มุ่งเจียกกลาง ชนิดา ประจักษ์จิตร เจนจิรา สูงเนิน และแสงแข สพันธุพงศ. 2554. แป้งกล้วย. ศูนย์คลินิกเทคโนโลยีวิจัยและพัฒนา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพมหานคร.

[72] วิภาวัน จุลยา. 2552. การประยุกต์ใช้มอลต์สกัดในผลิตภัณฑ์คุกกี้. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

[73] กองบรรณาธิการ ; บรรณาธิการ, ธนวัฒน์ ช่างสาร. 2552. คุกกี้ ทำง่ายๆ ขายแล้วรวย สูตรเด็ดสู่ความสำเร็จธุรกิจคุกกี้. พีเพิล มีเดีย. กรุงเทพมหานคร. 641.8654 ค241ก.

[74] เศรษฐพงศ์ อัปมะเย. 2552. สารพัดคุกกี้. ปีที่ 1. วาดศิลป์, กรุงเทพมหานคร.

[75] กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2544. สื่อการให้ความรู้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. นนทบุรี.

[76] ภัณฑิลา อุดร. 2557. การใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายเอทิลีนบ่มผลไม้. สาขาชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพมหานคร.

[77] A.O.A.C. 2020. Official method of analysis. (16th ed.). Arillington. The Association of Official Analytical Chemists.

[78] Solangi, A. H. and Iqbal, M. Z., 2011. Chemical Composition of Meat (Kernel) and Nut Water of Major Coconut (*Cocos nucifera* L.) Cultivars at Coastal Area of Pakistan, Pak. J. Bot. 43: 357-363.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[79] Hou, W. C., Lin R. D., Cheng K. T., Hung Y. T., Cho C. H., Chen C. H., Hwang S. Y. and Lee M. H.. 2003. Free radical- scavenging activity of Taiwanese native plants. Phytomedicine. 10: 170.

[80] Ye, S., Lu, J., He, S., Chen, L. and Hu, L. 1999. Studies on tannin and hydrolysate in three species of Chinese Caesalpiniaceae plants (Article in Chinese). [Online]. Available Source: http://www.users.muohio.edu/hagermae/tannin.pdf. (02 July 2018).

[81] Miller G.L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugars. Anal Chem V. 31: 426-429.

[82] พักตร์ประไพ ประจำเมือง . 2546. การผลิตกลูโคสไซรัปจากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพระดับโรงงานต้นแบบ. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[83] โรงเรียนการอาหารนานาชาติสวนดุสิต. 2553. สูตรคุกกี้เนยสด. โรงเรียนการอาหารนานาชาติสวนดุสิต. มหาวิทยาลัยสวนดุสิต. กรุงเทพมหานคร.

[84] Guillaume, Y. R. F., Dawson, J. F., Woods, S. A., Sacramento, C. A., West, M. A. 2013. Getting diversity at work to work: What we know and what we still don't know. Journal of Occupational and Organizational Psychology, 86, 123–141. http://dx.doi.org/10.1111/joop.12009.

[85] Bugaud, C., Daribo, M., Beauté, M., Telle, N. and Dubois, C. 2009. Relative importance of location and period of banana bunch growth in carbohydrate content and mineral composition of fruit. Fruits 64:63–74.

[86] สายชล เกตุมา. 2549. การบ่มผลไม้ให้สุก. วารสารราชบัณฑิตยสถาน. ปีที่ 31. ฉบับที่ 4.

[87] นวลกมล อำนวยสิน. 2550. เพกตินและแอกติวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกตินในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[88] Ali, M., Chin, L. H. and Lazan, H. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. Plant Science 167: 317 – 327.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[89] จริงแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. (พิมพ์ครั้งที่6). กรุงเทพฯ:ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[90] สุนทรีย์ แสงสีโสต. กล้วย : ผลไม้สารพัดประโยชน์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, พฤษภาคม 2543, ปีที่ 48, ฉบับที่ 153, หน้า 3-5. (แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 64), A47).

[91] เทวี โพธิผละ. กล้วยและผลิตภัณฑ์. ยาน่ารู้, สิงหาคม-กันยายน 2531, ปีที่ 38, ฉบับที่ 3, หน้า 61-67. (แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 64), A20).

[92] Yingqiang Wang, Min Zhang and Arun S. Mujumdar. 2012. Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. Food Science and Technology. 175-182.

[93] Anhwange, B. A., Ugye, T. J. and Nyiaatagher, T. D. 2009. Chemical composition of Musa sapientum (banana) peels. EJEAFChe 8 (6), 437–442.

[94] Mount, D. B. and Zandi – Nejad, K. 2012. Disorders of potassium balance. In: Taal MW, Chertow GM, Marsden PA, Brenner BM (eds) The kidney, 9th edn. Elserier, Philadelphia, pp 640 – 688.

[95] Malnic, G., Giebisch, G., Muto, S., Wang, W., Bailey, M. A. and Sathin, L. M. 2013. Regulation of K^+ excretion. In: Alpern RJ, Caplan MJ, Moc OW (eds) Seldin and Giebisch' s kidney. 8th edn. Saunders, Philadelphia, pp 181 – 183.

[96] Weiner, T. D., Linus, S. and Wingo, C. S. 2014. Disorders of potassium metabolism. In: Freehally J, Johnson RJ, Floege J, eds. Comperhensive clinical nephrology. St Louis (5th ed), Saunders: 118p.

[97] ถวัลย์ ฤกษ์งาม, อรชุมา ล่อใจ, ดวงเนตร พิพัฒน์สถิตพงศ์ และสุดาวดี คงขำ. 2561. การศึกษาระดับทองแดง แมกนีเซียม ซีลิเนียม และสังกะสีในผู้สูงอายุชาวไทยที่มีภาวะเมแทบอลิซิน-โดรม และระดับน้ำตาลในเลือดสูง. สาขาเทคนิคการแพทย์, ภาควิชาเทคนิคการแพทย์, คณะสหเวชศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ศูนย์รังสิต. ปทุมธานี.

[98] Emaga, T. H., Andrianaivo, R. H., Wathelet, B.J., Tchango T. and Paquot, M. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. Food Chem 103: 590-600.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[99] สิริรัฐ สุดประเสริฐ. 2546. การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์กล้วย *Musa sapientum* L. ตาก. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

[100] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, ณัฐภาส ทองมาก, ภวินท์ ชลเกษม และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. 2562. การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน. วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

[101] Tasara, J. 2011. Optimum drying of standard Thai rubber (STR). Ph.D. Thesis in Chemical Engineering. Prince of Songkla University, Songkhla.

[102] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[103] Shayma Thyab Gddoa Al-Sahlany and Alaa Mohammed Salih Al-musafer. 2018. Effect of substitution percentage of banana peels flour in chemical composition, rheological characteristics of wheat flour and the viability of yeast during dough time. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.

[104] Ramli, S., Alkarkhi, A.F., Shin Yong, Y., Min-Tze, L., Easa, A.M., 2009. Effect of banana pulp and peel flour on physicochemical properties and in vitro starch digestibility of yellow alkaline noodles. Int. J. Food Sci. Nutrit. 60 (suppl. 4), 326–340. https://doi.org/10.1080/09637480903183503.

[105] Futeri, R., Pharmayeni, P. 2014. Substituting wheat flour with banana skin flour from mixture various skin types of banana on making donuts. Int. J. Adv. Sci., Eng. Inform. Technol. 4 (2), 76–80.

[106] BorgesIJr, Moreira, E. A., Filho, D. W., de, Oliveira, T. B., da Silva, M. B., Frode, T. S. 2007. Proinflammatory and oxidative stress markers in patients with periodontal disease. Mediators Inflamm: 1-5. (doi:10.1155/2007/45794).

[107] Gondim, M. A. J., Moura, V. F. M., Dantas, S. A., Medeiros, S. L. R. and Santos, M. K.. 2005. Centesimal composition and minerals in fruit peel. Journal of Food Science and Technology 25 (4), 825–827.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[108] วราภรณ์ สกลไชย. 2551. การเกิด Resistant Starch โดยการใช้กระบวนการความร้อน และการใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์คุกกี้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[109] Nareman S. and Eshak. 2016. Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. Annals of Agricultural Science. Faculty of Agriculture, Ain Shams University. Annals of Agricultural Science (2016) 61(2), 229–235.

[110] Vatanasuchart, N., Miyomwit, B. and Wongkrojang, K. 2009. Resistant starch contents and the in vitro starch digestibility of Thai foods. Starchy Foods. 178-186.

[111] ธิดารัตน์ เปรมประสพโชค ศศิธร จานเก่า และประไพรภัส ทาน้อย. 2558. การทดแทนน้ำตาลทรายในคุกกี้ด้วยกล้วยน้ำว้า. วารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. เชียงใหม่.

[112] ณนนท์ แดงสังวาลย์, น้องนุช ศิริวงศ์ และศิริพร เรียบร้อย. 2554. การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[113] อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[114] Bello-Perez, L.A., Agama-Acevedo, E.,Sanchez-Hernandez, l. and Perdes-Lopez, O.1999. Isolation and Partial Characterization of Banana Starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47: 854-857.

[115] วราทิพย์ วงษ์เอี่ยม. 2552. การเสริมคุกกี้แป้งข้าวเจ้าด้วยโปรตีนที่สกัดจากกากงาด้า. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[116] ศศิวิมล บุญยิ่ง, สุนทรี สุวรรณสิชณน์, และวรางคณา สมพงษ์. 2550. สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้ง สาคูและผลของการใช้แป้งสาคูทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของคุกกี้. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบสอบถาม

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์คุกกี้ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่..... .เพศ.....

คำแนะนำ: ทดสอบตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ตามคำอธิบายคะแนนต่อไปนี้และกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ							
ลักษณะปรากฏ							
สี							
กลิ่น							
รสชาติ							
เนื้อสัมผัส(ความกรอบ)							
ความชอบโดยรวม							

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข
วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การบ่มแก๊สอะซิทีลีน

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองดิบ มาทำการบ่มโดยทุบถ่านแก๊สให้มีขนาดเล็กประมาณ 10 กรัม แล้วห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับผลกล้วย นำถ่านแก๊สใส่ในภาชนะที่บรรจุผลกล้วย โดยใช้ในอัตราส่วน ผลกล้วย 1 กิโลกรัม ต่อ ถ่านแก๊ส 10 กรัม หลังจากนั้นปิดฝาภาชนะบรรจุผลกล้วย ทำการบ่มเป็นเวลา 3-4 วัน จนได้ผลกล้วยที่สุกสีเหลือง (ระยะที่ 6) ดังแสดงในภาพที่ ข1

ภาพผนวกที่ ข1 แสดงการบ่มแก๊สอะซิทีลีนของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ในภาชนะปิดสนิท

2. การวัดค่าสีของผิวเปลือก และเนื้อของกล้วย

นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดค่าสี โดยวัดจากตัวอย่างที่ผ่านการสับผสมของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยทั้ง 2 ชนิด ทำการวัดสี โดยทำการเซ็ตค่าสีขาว และสีดำของเครื่องก่อน และนำตัวอย่างใส่ในโถ วางบนเครื่องวัดค่าสี จากนั้นจึงกดปุ่ม เพื่อให้เครื่องคำนวณค่าสี ด้วยเครื่องวัด Color Flex EZ ดังแสดงในภาพที่ ข2

ภาพผนวกที่ ข2 แสดงการวัดค่าสีเปลือก และเนื้อของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง

รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* ดังนี้

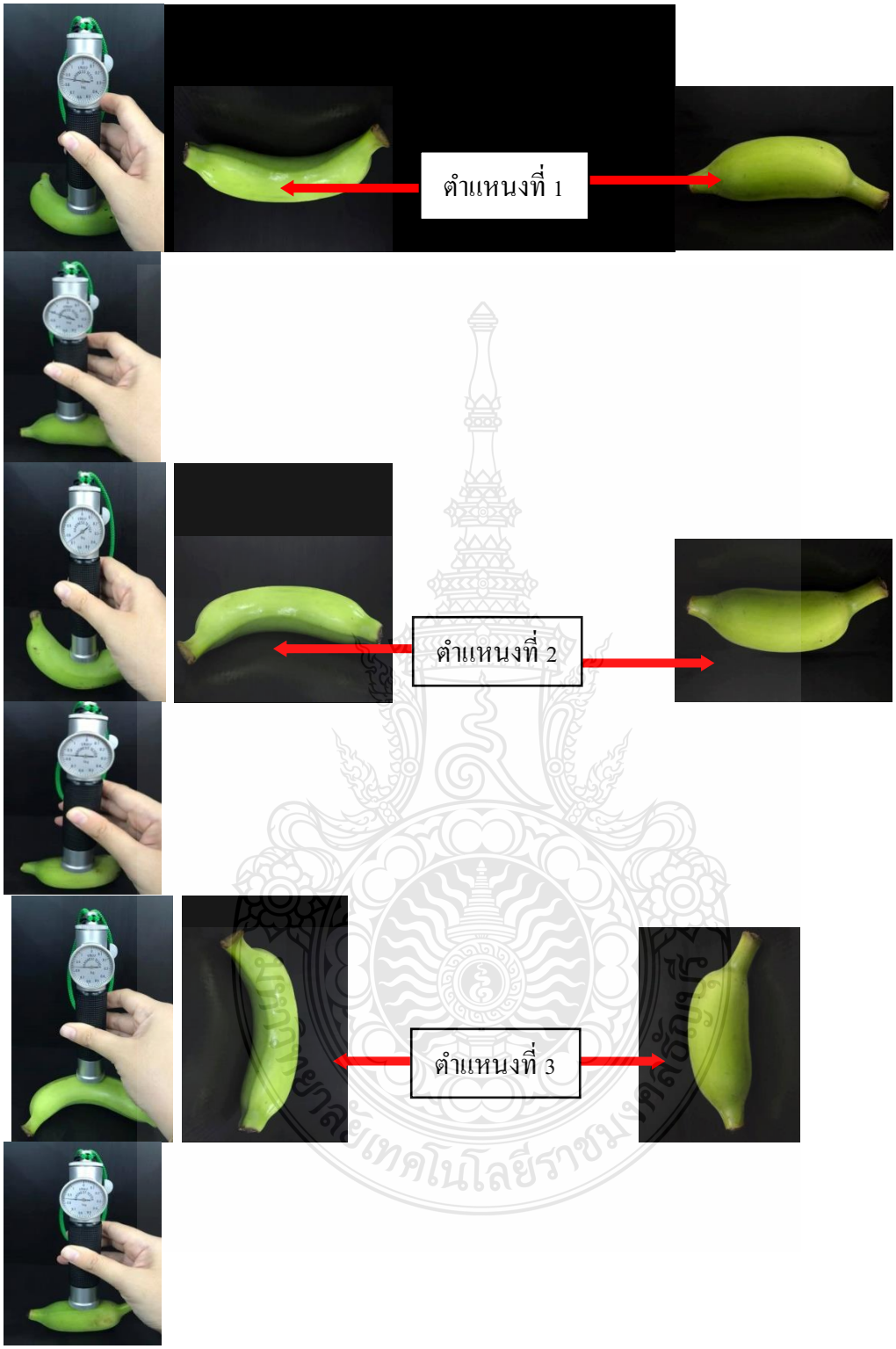
ค่า L^* คือ ค่าแสดงความเข้มสว่างของสี ซึ่งมีตั้งแต่ค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า L^* เท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ และค่า L^* เท่ากับ 100 หมายถึง ค่าความสว่าง

ค่า a^* คือ ค่าแสดงระดับ สีแดง – เขียว ในแกนนอน กรณีที่ค่า a^* มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะ สีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดง หรือสีเขียวมากขึ้น

ค่า b^* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง - น้ำเงิน ในแกนตั้ง กรณีที่ค่า b^* มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีเหลืองถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีเขียว หรือสีน้ำเงินมากขึ้น (McGuire, 1992)

3. การวัดค่าความแน่นเนื้อของกล้วย

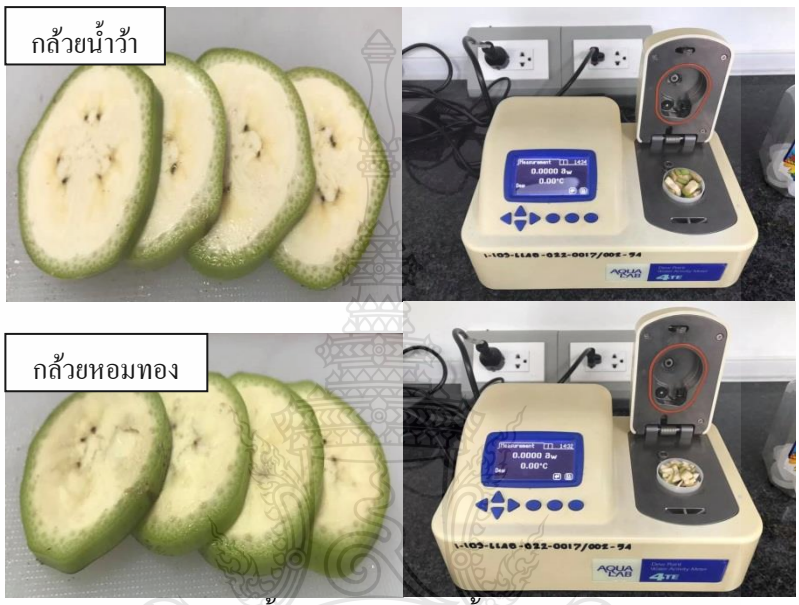
นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่องตรวจสอบความแน่นเนื้อผลไม้ (Fruit Pressure Tester) กดบริเวณผลกล้วยตรงกลางผลทั้ง 3 ด้าน ทำการกดให้หัวกดลงไปจนสุด อ่านค่าบนมาตรวัด จากนั้นนำมาคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) ดังแสดงในภาพที่ ข3



ภาพผนวกที่ ข3 แสดงการวัดความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง โดยเครื่อง Fruit Pressure Tester

4. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของกล้วย

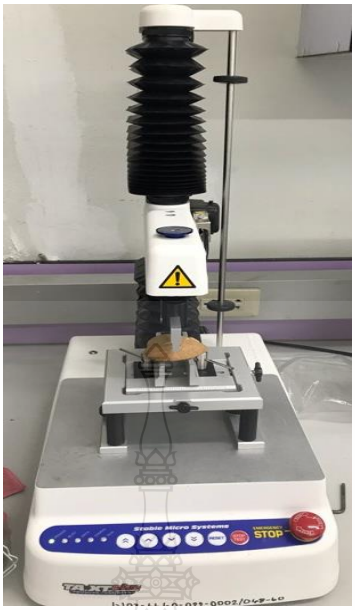
นำกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองทั้ง 3 ระยะ มาวัดปริมาณน้ำอิสระ โดยวัดจากตัวอย่างที่ผ่านการสับผสมของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยทั้ง 2 ชนิด จำนวน 3 กรัม วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดแบบพลวัต (Aqua Lab Model : Series 4 TE) โดยเครื่องจะใช้เวลาในการวัดค่า a_w ภายใน 5 นาที จากนั้นเครื่องจะแสดงผลบนหน้าจอพร้อมบันทึกค่า ดังแสดงในภาพที่ ข4



ภาพผนวกที่ ข4 แสดงการวัดปริมาณน้ำอิสระของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทอง ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (Aqua Lab Model : Series 4 TE)

5. การวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile) ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าการแตกหัก (Fracturability) และ**ค่าความกรอบ (Crispness)** ตามวิธีการของตามวิธีการของ (วราทิพย์ (2552)) และ (ศศิวิมล และคณะ (2550)) [115] [116]

เตรียมคุกกี้ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าดิบพร้อมเปลือก และแป้งกล้วยหอมทองดิบพร้อมเปลือก นำมาวัดเค้าโครงเนื้อสัมผัส (texture profile) โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) ด้วยหัววัดทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ขนาดโหลดเซลล์(load cell) 25 kg การทำงานของเครื่องใช้ความเร็วก่อน และความเร็วหลังทดสอบที่ 2.05 และ 10 mm/min ระยะทางที่หัววัดเคลื่อนที่ผ่านผลิตภัณฑ์ 10 mm แรงกระทบ เริ่มต้น 5 g โดยจะท้าการวัด 10 ครั้งต่อตัวอย่าง โดยค่า hardness คือ จุดที่วัดแรงกดเป็นบวกสูงที่สุด [115] ค่าการแตกหัก (fracturability) และค่าความกรอบ (crispness) ของชิ้นคุกกี้ [116]



ภาพผนวกที่ ข5 แสดงการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile) ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าการแตกหัก (Fracturability) และค่าความกรอบ (Crispness)

ภาคผนวก ค
วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2020) [77]

1) อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน Desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3) นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 ถึง 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำเอามาใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4) นำไปชั่งน้ำหนักอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียม และน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2020) [77]

ขั้นตอนการย่อย

1) การชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน

2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม

3) เติมกรดซัลฟูริก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

4) วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่าง และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

5) เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรด และเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

6) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่น และไตเตรท

1) จัดอุปกรณ์กลั่นแล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2) นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

3) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

4) กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

5) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน จากสูตร

$$\text{โปรตีน (\%)} = \frac{\mathbf{(A - B)\ x\ N\ 1.4007\ x\ F}}{\mathbf{W}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (5.85)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2020) [77]

1) นำตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วประมาณ 3 กรัม ใส่บนกระดาษกรอง และห่อมิดชิด

2) นำตัวอย่างที่ห่ออยู่ในกระดาษกรองใส่ลงในทิมเบิล

3) นำทิมเบิลใส่ใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง Adapter แล้วนำ Extraction Cup ไปอบแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

4) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดกลั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 150 มิลลิลิตร ประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน

5) ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก Condenser มีอัตรา 150 หยดต่อนาที

6) กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน นำขวดกลั่น และไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก

7) อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน จากสูตร

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}\ \mathbf{x\ 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารโดยใช้วิธีการสกัดด้วยกรด-ด่าง (AOAC, 2020) [77]

1) นำกระดาษกรองอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก

2) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออก และนำมาใส่ในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์ใยอาหาร

3) เติมกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

4) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่น และเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที

5) กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อน จนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด

6) ถ่ายกากที่ได้ในบีกเกอร์ใบเดิมเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

7) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่น และเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที

8) กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองแผ่นเดิมล้างด้วยน้ำร้อน จนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นด่าง

9) ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

10) นำกระดาษกรองพร้อมกากใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ และอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น

11) ชั่งน้ำหนักซ้ำ จนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณหาปริมาณเส้นใย ตามสูตรดังนี้

$$\text{ใยอาหาร (\%)} = \frac{(\mathbf{M2 - M1)\ x\ 100}}{\mathbf{S}}$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

M_2 คือ ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2020) [77]

1) อบ Crucible ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน Desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) นำตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ชั่งใส่ Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน

3) นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

4) นำออกมาใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า จากสูตร

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

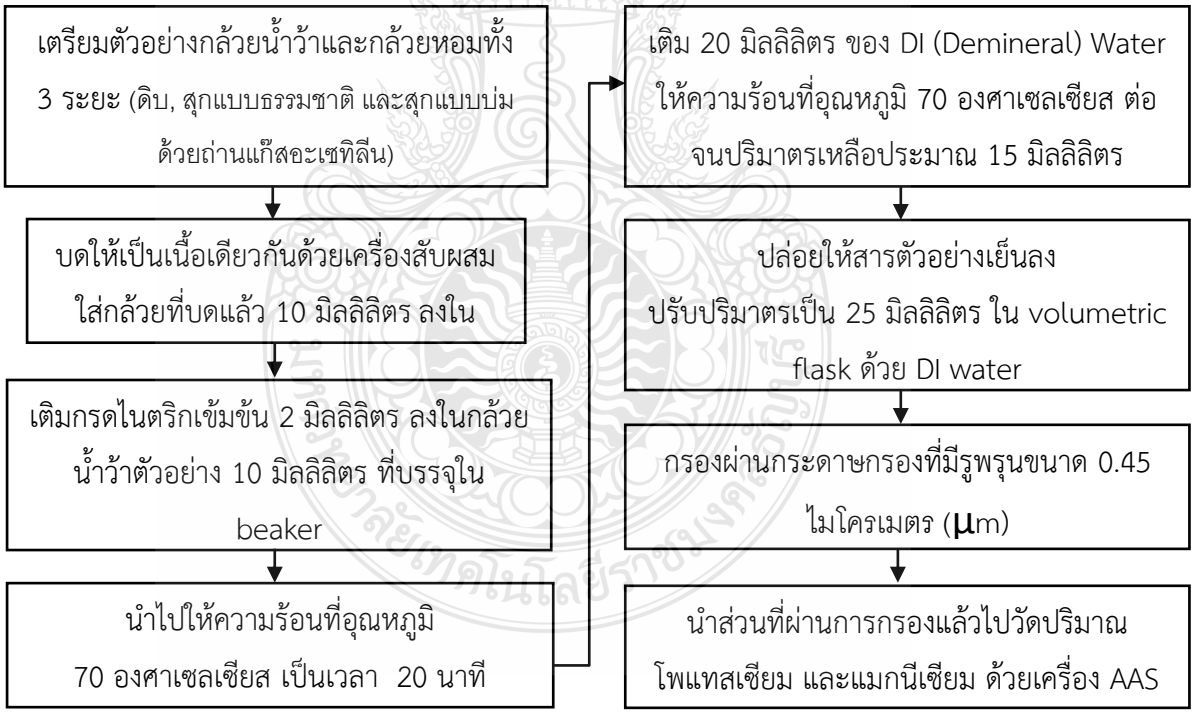
1.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2020) [77]

โดยวิธีการคำนวณจากสูตร เมื่อทราบว่า %ความชื้น %โปรตีน %ไขมัน %เถ้า และ %เส้นใย นำค่าดังกล่าวนี้มาคำนวณตามสูตร

คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 - (%ความชื้น + %โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เส้นใย)

2. วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณแมกนีเซียม

การวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำตามวิธีของ Solangi and Iqbal (2011) [78] โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ ค.1



ภาพผนวกที่ ค.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3. วิเคราะห์ปริมาณแทนนิน (ดัดแปลงจากวิธีของ Hou et al. (2003) และ Ye et al. (1999)) [79] [80]

3.1 การเตรียมสารสกัด นำตัวอย่างผงกล้วยพร้อมเปลือก สกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำกลั่น ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:30 (w/v) เขย่าสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารสกัดที่ได้ใส่ขวดสีชาเก็บตัวอย่างในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2 วิเคราะห์หาปริมาณแทนนินทั้งหมดเทียบกับกรดแทนนิก โดยดัดแปลงจากวิธีของ Hou et al. (2003) โดยให้สารประกอบแทนนินทำปฏิกิริยากับ Folin Ciocalteu Reagent (FCR) โดยใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐานมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 1000 ppm และ 100 ppm สารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 1000 ppm ทำโดยชั่งแทนนิก 0.025 กรัม ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์ และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จากนั้นเจือจางสิบเท่าให้ได้สารมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 100 ppm ด้วยการปิเปตมา 2.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเอทานอลให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก

3.2.2.1 นำสารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 100 ppm มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 20, 40, 60 และ 80 ppm ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร โดยแยกแต่ละหลอดการทดลอง

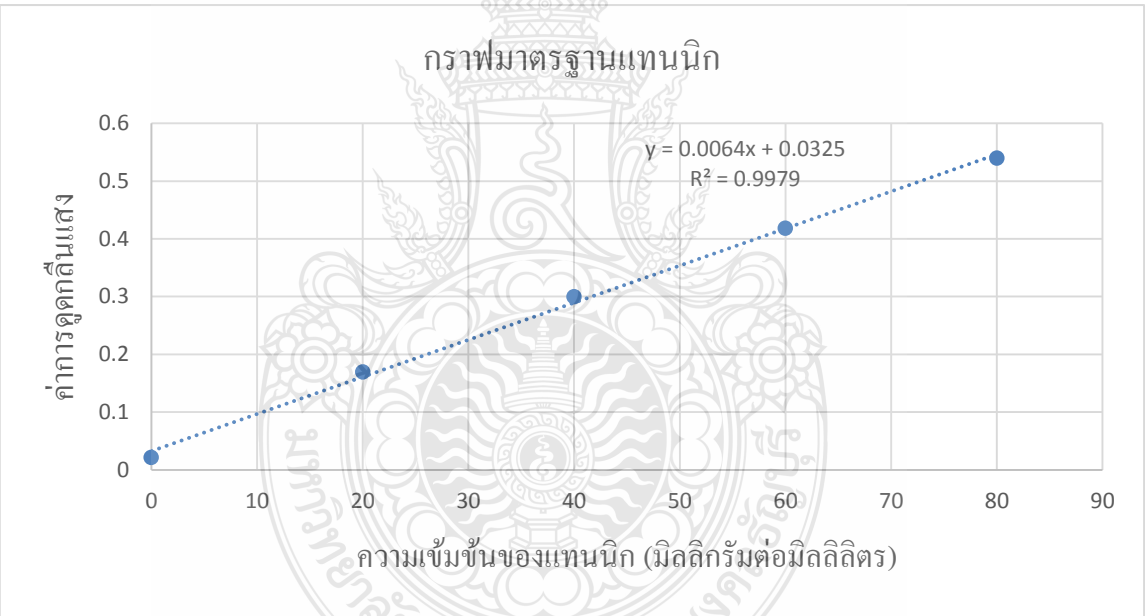
3.2.2.2 จากนั้นนำทุกหลอดมาเติมน้ำ 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี และเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้น 7.5 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

3.2.2.3 นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที

3.2.2.4 วัดค่าวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร (A750) จากนั้นนำค่า A750 และความเข้มข้นของสารมาตรฐานแทนนิกมาเขียนกราฟมาตรฐาน และหาค่าความชัน (m) เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสารสกัดต่อไป

ตารางผนวกที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแทนนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นำโนเมตร

ความเข้มข้น Tannic acid (mg/ml)	OD_{750}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.021	0.022	0.021	0.021
20	0.169	0.169	0.169	0.169
40	0.299	0.301	0.299	0.299
60	0.418	0.418	0.417	0.418
80	0.542	0.539	0.537	0.539



ภาพผนวกที่ ค.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิกจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบแทนนิน

3.2.3.1 เตรียมตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:30 (w/v)

3.2.3.2 นำสารสกัดที่เตรียมได้มาปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย Folin ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี และเติม 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

3.2.3.3 นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที

3.2.3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

3.2.3.5 หาปริมาณสารประกอบแทนนินจากกราฟมาตรฐานแทนนิกที่ทาในวันเดียวกัน โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

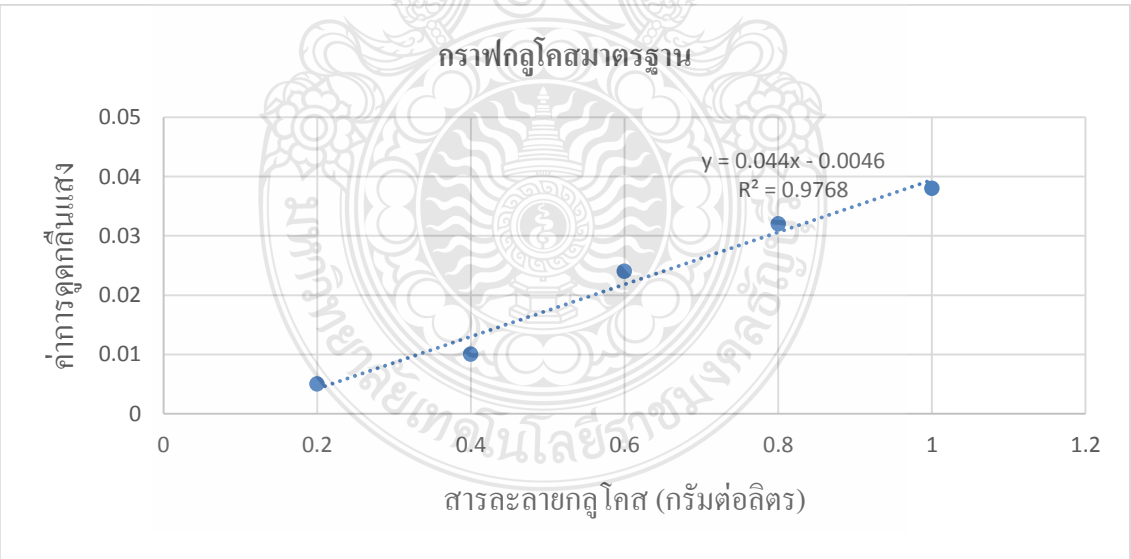
3.2.3.6 คำนวณหาปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดในสารสกัด

4. การวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสด้วยวิธี DNS (Miller, 1959) [81]

เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส โดยใช้สารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0-1 กรัมต่อลิตร แทนตัวอย่าง

เตรียมสารละลาย DNS โดยใช้สารละลาย Sodium hydroxide 1.6 กรัม, 3,5-dinitrosalycylic acid 0.9 กรัม, Potassium sodium tartate 28.22 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยการเก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

การวิเคราะห์ทำได้โดยการดูดตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNS 0.5 มิลลิลิตร ลงไปผสมกับตัวอย่าง ต้มหลอดทดลองในน้ำเดือด 10 นาที เพื่อทำปฏิกิริยา และหยุดปฏิกิริยา โดยจุ่มหลอดทดลองในน้ำเย็นทันที เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับค่าในกราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ค.3 กราฟมาตรฐานของกลูโคสจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

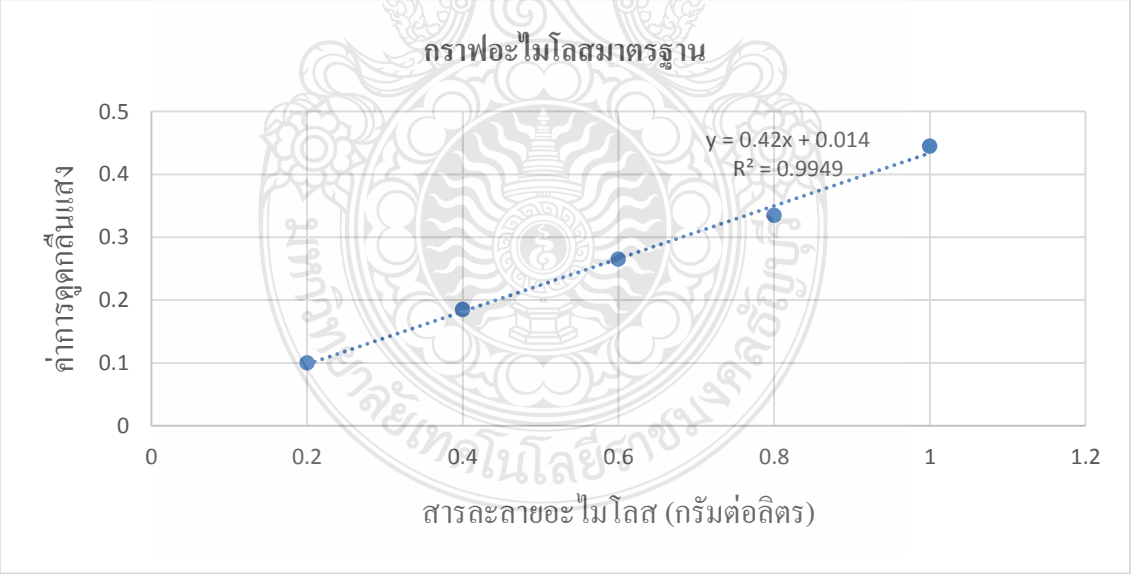
5. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสด้วยวิธีไอโอดีน (ดัดแปลงวิธีการจากพักตร์ประไพ ประจำเมือง, 2546) [82]

การเตรียมสารละลายแป้งมาตรฐาน โดยการผสม Na_2HPO_4 1.33 กรัม กับ Benzoic acid 0.43 กรัม ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปต้มให้เดือด จากนั้นเติมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง 0.1 กรัม ในน้ำเย็น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแป้งที่มีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร

การเตรียมสารละลาย Stock Iodine ผสม Iodine 5 กรัม กับ KI 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้ในขวดสีชา ก่อนนำมาวิเคราะห์ปริมาณแป้งให้เจือจาง Stock Iodine กับน้ำกลั่น 1:9

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแป้ง

1. ดูดตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายไอโอดีน 2.4 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันผสมให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาเทียบกับค่าในกราฟมาตรฐานที่แปรผันความเข้มข้นของแป้งระหว่าง 0.2-1 กรัมต่อลิตร



ภาพผนวกที่ ค.4 กราฟมาตรฐานของอะไมโลสจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

ภาคผนวก ง
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ง.1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.940	2	1.470	1.470	.302
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	8.940	8			

ตารางผนวกที่ ง.2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.267	2	2.134	2.134	.200
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	10.267	8			

ตารางผนวกที่ ง.3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	28.779	2	14.389	143893.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	28.779	8			

ตารางผนวกที่ ง.4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.669	2	2.335	23347.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	4.670	8			

ตารางผนวกที่ ง.5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	249.773	2	124.887	1248867.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	249.774	8			

ตารางผนวกที่ ง.6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	128.367	2	64.183	641833.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	128.367	8			

ตารางผนวกที่ ง.7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแน่นเนื้อของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25.306	2	12.653	126532.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	25.307	8			

ตารางผนวกที่ ง.8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแน่นเนื้อของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.807	2	8.404	84037.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	16.808	8			

ตารางผนวกที่ ง.9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	2	.000	12.000	.008
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.001	8			

ตารางผนวกที่ ง.10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	3.000	.125
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

ตารางผนวกที่ ง.11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.207	2	.104	1036.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.208	8			

ตารางผนวกที่ ง.12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.135	2	.068	676.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.136	8			

ตารางผนวกที่ ง.13 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.012	2	.006	61.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.013	8			

ตารางผนวกที่ ง.14 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.021	2	.010	103.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.021	8			

ตารางผนวกที่ ง.15 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.469	2	.235	2347.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.470	8			

ตารางผนวกที่ ง.16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.421	2	.211	2107.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.422	8			

ตารางผนวกที่ ง.17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.016	2	.008	79.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.016	8			

ตารางผนวกที่ ง.18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.062	2	.031	309.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.062	8			

ตารางผนวกที่ ง.19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	125.986	2	62.993	629932.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	125.987	8			

ตารางผนวกที่ ง.20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	180.135	2	90.068	900676.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	180.136	8			

ตารางผนวกที่ ง.21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	130.890	2	65.445	654451.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	130.891	8			

ตารางผนวกที่ ง.22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	185.098	2	92.549	925492.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	185.099	8			

ตารางผนวกที่ ง.23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5892.713	2	2946.356	2946.356	.000
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	5898.713	8			

ตารางผนวกที่ ง.24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1504.381	2	752.190	752.190	.000
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	1510.381	8			

ตารางผนวกที่ ง.25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	173.115	2	86.557	86.557	.000
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	179.115	8			

ตารางผนวกที่ ง.26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.049	2	1.524	1.524	.292
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	9.049	8			

ตารางผนวกที่ ง.27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	119.992	2	59.996	59.996	.000
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	125.992	8			

ตารางผนวกที่ ง.28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	509.322	2	254.661	254.661	.000
Within Groups	6.000	6	1.000		
Total	515.322	8			

ตารางผนวกที่ ง.29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอะไมโลสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.386	2	.193	1929.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.386	8			

ตารางผนวกที่ ง.30 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอะไมโลสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.407	2	.204	2037.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	.408	8			

ตารางผนวกที่ ง.31 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณกลูโคสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.700	2	9.350	93499.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	18.700	8			

ตารางผนวกที่ ง.32 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณกลูโคสของเนื้อพร้อมเปลือกกล้วยหอมทองที่ระยะแตกต่างกัน

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30.313	2	15.156	151564.000	.000
Within Groups	.001	6	.000		
Total	30.313	8			

ตารางผนวกที่ ง.33 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorLNw1	49.1200	3	1.00000	.57735
	ColorLNw2	51.3100	3	1.00000	.57735

ตารางผนวกที่ ง.34 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorLHt1	43.7300[a]	3	1.00000	.57735
	ColorLHt2	45.1200[a]	3	1.00000	.57735

ตารางผนวกที่ ง.35 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorANw1	4.1000	3	.01000	.00577
	ColorANw2	4.0200	3	.01000	.00577

ตารางผนวกที่ ง.36 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorAHt1	4.3500[a]	3	.01000	.00577
	ColorAHt2	4.5100[a]	3	.01000	.00577

ตารางผนวกที่ ง.37 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยน้ำว้าพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorBNw1	19.7100	3	.01000	.00577
	ColorBNw2	19.8300	3	.01000	.00577

ตารางผนวกที่ ง.38 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในการอบแห้งและการตากแดดของกล้วยหอมทองพร้อมเปลือกที่ระยะดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ColorBHt1	18.5400	3	.01000	.00577
	ColorBHt2	18.7300	3	.01000	.00577

ตารางผนวกที่ ง.39 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีความสว่าง L^* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	897.981	4	224.495	2244953.100	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	897.982	14			

ตารางผนวกที่ ง.40 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเขียวจนถึงสีแดง a* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.690	4	.423	4226.100	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	1.691	14			

ตารางผนวกที่ ง.41 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง b* ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32.247	4	8.062	80616.900	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	32.248	14			

ตารางผนวกที่ ง.42 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.012	4	.003	.293	.876
Within Groups	.100	10	.010		
Total	.112	14			

ตารางผนวกที่ ง.43 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.707	4	.177	1767.600	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	.708	14			

ตารางผนวกที่ ง.44 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการแตกหักในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	65.229	4	16.307	291.721	.000
Within Groups	.559	10	.056		
Total	65.788	14			

ตารางผนวกที่ ง.45 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความกรอบในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.496	4	6.124	61241.100	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	24.497	14			

ตารางผนวกที่ ง.46 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.128	4	5.532	55320.600	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	22.129	14			

ตารางผนวกที่ ง.47 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.477	4	2.369	23692.500	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	9.478	14			

ตารางผนวกที่ ง.48 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	19.208	4	4.802	48018.900	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	19.209	14			

ตารางผนวกที่ ง.49 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.342	4	.586	5855.400	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	2.343	14			

ตารางผนวกที่ ง.50 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.827	4	1.207	12067.500	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	4.828	14			

ตารางผนวกที่ ง.51 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.735	4	3.184	31838.400	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	12.736	14			

ตารางผนวกที่ ง.52 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	128430.486	4	32107.621	321076214.100	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	128430.487	14			

ตารางผนวกที่ ง.53 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	381.239	4	95.310	953097.900	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	381.240	14			

ตารางผนวกที่ ง.54 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	608.567	4	152.142	1521416.400	.000
Within Groups	.001	10	.000		
Total	608.568	14			

ตารางผนวกที่ ง.55 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.060[a]	104	.472	30572706438801534 0000000.000	.000
Intercept	1631.289	1	1631.289	10572324024022785 00000000000.000	.000
Treatment	49.060	5	9.812	63591229392718260 00000000.000	.000
Block	.000	99	.000	.000	1.000
Error	1.000E-013	395	1.000E-013		
Total	29157.510	500			
Corrected Total	49.060	499			

ตารางผนวกที่ ง.56 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสสีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	158.152[a]	104	1.521	64313240195379700 00000000.000	.000
Intercept	1596.660	1	1596.660	67526080118075540 00000000000.000	.000
Treatment	158.152	5	31.630	13377153960639875 0000000000.000	.000
Block	.000	99	.000	.000	1.000
Error	1.000E-013	395	1.000E-013		
Total	29373.520	500			
Corrected Total	158.152	499			

ตารางผนวกที่ ง.57 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสกลิ่นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.072[a]	104	.366	28637217036993698 0000000.000	.000
Intercept	1853.670	1	1853.670	14500763697905284 00000000000.000	.000
Treatment	38.072	5	7.614	59565411436951410 00000000.000	.000
Block	.000	99	.000	.000	1.000
Error	1.000E-013	395	1.000E-013		
Total	33200.440	500			
Corrected Total	38.072	499			

ตารางผนวกที่ ง.58 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสรสชาติในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	28.072[a]	104	.270	272997169264721600 000000.000	.000
Intercept	1877.985	1	1877.985	189937307430558320 0000000000.000	.000
Treatment	28.072	5	5.614	567834112070669400 0000000.000	.000
Block	.000	99	.000	.000	1.000
Error	1.000E-013	395	1.000E-013		
Total	33615.280	500			
Corrected Total	28.072	499			

ตารางผนวกที่ ง.59 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.708[a]	104	.026	.	.
Intercept	1853.670	1	1853.670	.	.
Treatment	2.708	5	.542	.	.
Block	.000	99	.000	.	.
Error	.000	395	.000		
Total	33360.820	500			
Corrected Total	2.708	499			

ตารางผนวกที่ ง.60 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองพร้อมเปลือก

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	165.148[a]	104	1.588	521545281537195400000000.000	.000
Intercept	1679.960	1	1679.960	551760872059253760000000000.000	.000
Treatment	165.148	5	33.030	108481418559734510000000000.000	.000
Block	.000	99	.000	.000	1.000
Error	1.000E-013	395	1.000E-013		
Total	30258.430	500			
Corrected Total	165.148	499			

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุวนันท์ ยอดสาร
วัน เดือน ปีเกิด	23 ธันวาคม 2536
ที่อยู่	510 ซอยรังสิต-นครนายก51 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ประสบการณ์การทำงาน	หัวหน้าควบคุมงานฝ่ายผลิต (Production Supervisor) บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สระบุรี ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท ซีพีเอฟ ฟู้ด แอนด์ เบฟเวอร์เรจ จำกัด สระบุรี พ.ศ. 2559 ถึง 2560
เบอร์โทรศัพท์	084-6417276
อีเมล์	suwanan_y@mail.rmutt.ac.th Y23suwanan@gmail.com