



สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่มีผลมาจาก  
ระยะการเจริญของผลและการอบแห้งแบบลมร้อนของส้มควาย (*Garcinia  
pedunculata*) และ ส้มแขก (*Garcinia atroviridis*)

**Physical, Chemical and Antioxidant Properties as Affected by Fruit Developmental  
Stages and Hot-Air Dehydration of *Garcinia pedunculata* and *Garcinia atroviridis***

อภันตรี มีบุญ

Apantree Meeboon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Food Science and Technology**

**Prince of Songkla University**

**2560**

**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

ชื่อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่มีผลมาจากกระบวนการเจริญของผลและการอบแห้งแบบลมร้อนของส้มควาย ( <i>Garcinia pedunculata</i> ) และส้มแขก ( <i>Garcinia atroviridis</i> )
ผู้เขียน	นางสาวอภันตรี มีบุญ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ศิริโชติ)	.....ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ศิริโชติ)
..... (ศาสตราจารย์ ดร. ศุภยงค์ วรวิมลคุณชัย)	.....กรรมการ (ศาสตราจารย์ ดร.ศุภยงค์ วรวิมลคุณชัย)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี มนุรักษ์ชินากร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้ นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ศิริโชค)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(นางสาวอภันตรี มีบุญ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวอภันตรี มีบุญ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่มีผลมาจากระยะเวลาการเจริญของผลและการอบแห้งแบบลมร้อนของส้มควาย ( <i>Garcinia pedunculata</i> ) และส้มแขก ( <i>Garcinia atroviridis</i> )
ผู้เขียน	นางสาวกัญฉรี มีบุญ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

ส้มควาย (*Garcinia pedunculata* Roxb., *G. pedunculata*) และ ส้มแขก (*G. atroviridis* Griffith ex T. Anderson., *G. atroviridis*) เป็นพืชสมุนไพร พบในท้องถิ่นภาคใต้ของประเทศไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาระยะเวลาการเจริญของผลที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขก และ (2) เวลาการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขก ซึ่งบางพบว่าผลส้มควายสดและส้มแขกสดจากระยะที่ 5 มีความแน่นเนื้อเท่ากับ  $11.47 \pm 1.71$  นิวตัน และ  $7.64 \pm 0.33$  นิวตัน และค่ามุมของสี (hue angle,  $h^\circ$ ) มีค่าเท่ากับ  $84.03 \pm 2.31$  องศา และ  $92.54 \pm 1.13$  องศา ตามลำดับและมีค่าต่ำกว่าผลจากระยะการเจริญอื่นๆ ( $p < 0.05$ ) ผลส้มควายสดจากระยะการเจริญของผลระยะที่ 5 ยังพบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูล DPPH สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ  $5.34 \pm 0.10$  มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง และ  $0.53 \pm 0.07$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริก แล็กโตน มีค่าเท่ากับ  $531.26 \pm 4.49$  และ  $396.79 \pm 4.30$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ ส่วนผลส้มแขกจากระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูล DPPH มากเป็นอันดับรองลงมาจากผลส้มแขกจากระยะที่ 1 โดยมีปริมาณและคุณสมบัติเท่ากับ  $1.50 \pm 0.09$  มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง และ  $0.91 \pm 0.10$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแล็กโตน มีค่าเท่ากับ  $348.19 \pm 1.70$  และ  $199.20 \pm 0.89$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ

เมื่อนำผลส้มควายและส้มแขกจากแต่ละระยะเวลาการเจริญตัดเป็นชิ้นบาง (ความหนาเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร) อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 51 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นสุดท้ายประมาณ 9% ในระหว่างการอบแห้ง พบว่าอัตราการอบแห้งของทั้งส้มควายและส้มแขกชิ้นบางจากทุกระยะการเจริญมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่คล้ายคลึงกัน โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นใน

ระหว่าง 0 ถึง 4 ชั่วโมง และอัตราการลดลงในระหว่าง 4 ถึง 8 ชั่วโมง ยกเว้นสัมควายจากระยะการเจริญที่ 3 ที่อัตราการอบแห้งค่อนข้างคงที่ในช่วง 4 ชั่วโมงแรกแล้วลดลงในช่วง 4 ชั่วโมงหลังตามลำดับระยะการเจริญของผลมีผลต่อค่าแรงตัด สี ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูล DPPH ของสัมควายและสัมแขกขึ้นบางอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่ออบแห้งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสัมควายขึ้นบางแห้งจากระยะที่ 5 มีค่า  $h^{\circ}$  ต่ำที่สุด โดยมีค่า  $h^{\circ}$  อยู่ในช่วง 45-90 องศา และมีค่าแรงตัดต่ำที่สุด เท่ากับ 37.20 นิวตัน ขณะที่สัมแขกขึ้นบางอบแห้งจากระยะที่ 5 มีค่าแรงตัดสูงที่สุด เท่ากับ 42.81 นิวตัน และมี ค่าสี  $C^*$  สูงกว่าสัมแขกขึ้นบางอบแห้งจากระยะอื่นๆ และมีค่า  $h^{\circ}$  ต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 90-135 องศา เมื่อเวลาการอบแห้งสัมควายและสัมแขกขึ้นบางจากแต่ละระยะการเจริญเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูล DPPH มีแนวโน้มลดลง ( $p < 0.05$ ) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation number; r) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูลอิสระ DPPH ( $EC_{50}$ ) ของสัมควายและสัมแขกขึ้นบางอบแห้ง เท่ากับ -0.531 และ -0.247 ตามลำดับ และยังพบว่าการอบแห้งลมร้อนส่งผลให้ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนของสัมควายขึ้นบางอบแห้งจากระยะการเจริญทั้งที่ 4 และ 5 มีค่าลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สัมควายขึ้นบางอบแห้งจากระยะทั้งสอง มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $254.39 \pm 1.06$  และ  $221.63 \pm 1.26$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $222.06 \pm 0.30$  และ  $196.55 \pm 0.61$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ สัมแขกขึ้นบางอบแห้งจากระยะการเจริญที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนลดลง มีค่าเท่ากับ  $160.41 \pm 1.70$  และ  $111.46 \pm 0.46$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ แต่สัมแขกขึ้นบางอบแห้งจากระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ  $398.60 \pm 0.80$  และ  $270.86 \pm 3.11$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ

จากงานวิจัยนี้ผลสัมควายสดในระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการจับอนุมูล DPPH ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนสูงที่สุด ในขณะที่ผลสัมแขกในระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนสูงที่สุด ส่วนขึ้นสัมควายอบแห้งจากระยะการเจริญที่ 5 เมื่ออบแห้งลมร้อนระยะเวลาอบแห้ง 8 ชั่วโมง พบว่ามีทั้งปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนลดลง อย่างไรก็ตามขึ้นสัมแขกอบแห้งจากระยะการเจริญและระยะเวลาอบแห้งเดียวกันให้ปริมาณสารทั้งสองชนิดดังกล่าวที่เพิ่มขึ้น

<b>Thesis Title</b>	Physical, chemical and antioxidant properties as affected by fruit developmental stages and hot-air dehydration of <i>Garcinia pedunculata</i> and <i>Garcinia atroviridis</i>
<b>Author</b>	Miss Apantree Meeboon
<b>Major Program</b>	Food Science and Technology
<b>Academic Year</b>	2016

### ABSTRACT

Somkhwai (*Garcinia pedunculata* Roxb., *G. pedunculata*) and Somkhaek (*G. atroviridis* Griffith ex T. Anderson., *G. atroviridis*) are Thai medicinal plants found most in the southern area of Thailand. This research aimed to study (1) growth developmental stages on the physical, chemical and antioxidant properties of Somkhwai and Somkhaek fruits. and (2) hot-air dehydration time on the physical, chemical and antioxidant properties of Somkhwai and Somkhaek slices. It was found that Somkhwai and Somkhaek fruits from the 5<sup>th</sup> developmental stage (maturity stage) had the firmness of  $11.47 \pm 1.71$  N and  $7.64 \pm 0.33$  N, and hue angle ( $h^\circ$ ) of  $84.03 \pm 2.31$  degree and  $92.54 \pm 1.13$  degree, respectively, which both values were significantly ( $p < 0.05$ ) lower than those of other stages. The Somkhwai fruit at this stage also contained highest in the total phenolic content (TPC) of  $5.34 \pm 0.10$  mg GAE/g (db) and DPPH scavenging activity of  $0.53 \pm 0.07$   $\mu$ g/ml. Also, the contents of hydroxycitric acid (HCA) and hydroxycitric acid lactone (HCAL) were  $531.26 \pm 4.49$  and  $396.79 \pm 4.30$  mg/g (db), respectively. Whereas the Somkhaek fruit from the 5<sup>th</sup> maturity stage contained both TPC of  $1.50 \pm 0.09$  mg GAE/g (db) and DPPH scavenging activity of  $0.91 \pm 0.10$  mg/ml, gradually lower than those of the 1<sup>st</sup> maturity stage. While the contents of HCA and HCAL were  $348.19 \pm 1.70$  and  $199.20 \pm 0.89$  mg/g (db), respectively.

In addition, the hot-air drying at  $51^\circ\text{C}$  of each stage of Somkhwai and Somkhaek slices (1.0 mm average thickness) until obtaining the final moisture content of proximately 9% was performed. During dehydration, drying rates of both Somkhwai and Somkhaek slices from each maturity stage showed changes in similar trends with increasing in the rate during 0 to 4 hours and decreasing during 4 to 8 hours except Somkhwai slices from the 3<sup>rd</sup> maturity stage had quite constant in the dryings rate at the beginning of 4 hours and great

reduction in the later of 4 hours. It was found that the maturity stage of fruits significantly effected ( $p < 0.05$ ) on the cutting force, color values, TA, TPC and DPPH scavenging activity. Somkhwai and Somkhaek slices during dehydration had the moisture contents great tentatively reduction in every maturity stage at drying time of 4 hours. And at the dehydration time of 8 hours, it was found that dried Somkhwai slices from the 5<sup>th</sup> maturity stage had the least of  $h^{\circ}$  value. Which were in the range from 45 to 90 degree, while the cutting force was the least of 37.20 N. Furthermore, dried Somkhaek slices from the 5<sup>th</sup> maturity stage had the greatest in cutting force of 42.81 N and  $C^*$  higher than those of other stage dried ones. Also, the least  $h^{\circ}$  value was in the range of 90 to 135 degree. As the dehydration times of both Somkhwai and Somkhaek slices from each maturity stage increased, the TPC and DPPH scavenging activity trended to significantly reduce. Moreover, the correlation number ( $r$ ) of TPC and DPPH scavenging activity ( $EC_{50}$ ) of dried Somkhwai and Somkhaek slices were -0.531 and -0.247, respectively. It was also found that hot-air dehydration effected on the reduction in contents of HCA and HCAL of dried Somkhwai slices obtaining from the maturity stage of 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup>. At the end of dehydration process of 8 hours, it was found that dried Somkhwai slices from both maturity stages contained HCA and HCAL of  $254.39 \pm 1.06$  and  $221.63 \pm 1.26$  mg/g (db), and of  $222.06 \pm 0.30$  and  $196.55 \pm 0.61$  mg/g (db), respectively. Dried Somkhaek slices from the 4<sup>th</sup> maturity stage had the decrease in HCA and HCAL contents of  $160.41 \pm 0.45$  and  $111.46 \pm 0.46$  mg/g (db), respectively. While the observed dried Somkhaek slices from the 5<sup>th</sup> maturity stage contained greater in HCA and HCAL contents of  $398.60 \pm 0.80$  and  $270.86 \pm 3.11$  mg/g (db), respectively.

This research showed that fresh Somkhwai fruit from the 5<sup>th</sup> maturity stage provided the highest in the contents of TPC, DPPH scavenging activity, HCA and HCAL. Whereas fresh Somkhaek fruit from the 5<sup>th</sup> maturity had highest only HCA and HCAL contents. While dried Somkhwai slices from the 5<sup>th</sup> maturity stage at drying time of 8 hours had decrease in contents of both hydroxycitric and hydroxycitric lactone. However, dried Somkhaek slices from the same maturity stage and drying time had greater in both amounts of two compounds.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี ศิริโชติ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการค้นคว้าเพื่อทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ศุภยงค์ วรวิฑูคุณชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรัส สิริตวงส์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการแยกลักษณะ โครงสร้างทางพฤกษศาสตร์ของส้มควายและส้มแขก ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี มนุรักษ์ชินากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาใช้เวลาในการสอบให้คำแนะนำ และแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ และห่วงใยเสมอมา ขอขอบคุณ คุณชัยรัตน์ พิงเพียร คุณกษิเดช นันทกุล เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกคน ที่คอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

อภันตรี มีบุญ

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(10)
LIST OF TABLE.....	(11)
LIST OF FIGURE.....	(12)
LIST OF APPENDIX TABLES.....	(13)
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
บทนำตั้งเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	3
วัตถุประสงค์.....	37
2 วัตถุประสงค์ และวิธีการวิจัย.....	38
วัตถุประสงค์.....	38
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	40
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	73
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	107

## LIST OF TABLES

<b>Table</b>	<b>Page</b>
1. A list of <i>Garcinia</i> species found in Thailand.....	4
2. Botanical information of <i>G. pedunculata</i> and <i>G. atroviridis</i> .....	8
3. Properties of the fresh fruits from <i>G. pedunculata</i> and <i>G. atroviridis</i> .....	16
4. The chemical compounds from different parts of <i>G. pedunculata</i> .....	18
5. The chemical compounds from different plant parts of <i>G. atroviridis</i> .....	20
6. Botanical information of <i>G. pedunculata</i> and <i>G. atroviridis</i> .....	46
7. Physical properties of each maturity stage of fresh <i>G. pedunculata</i> fruit.....	50
8. Physical properties of each maturity stage of fresh <i>G. atroviridis</i> fruit.....	52
9. Chemical properties of each maturity stage of fresh <i>G. pedunculata</i> fruit.....	55
10. Chemical properties of each maturity stage of fresh <i>G. atroviridis</i> fruit.....	57
11. Physical and chemical properties of each maturity stage of <i>G. pedunculata</i> slices after drying at 51°C for 8 hours.....	62
12. Physical and chemical properties of each maturity stage of <i>G. atroviridis</i> fruit after drying at 51°C for 8 hours.....	63
13. Changes of total phenolic content (mg GAE/g db) of each maturity stage from <i>G. pedunculata</i> slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours.....	65
14. Changes of antioxidant property (by DPPH assay) of each maturity stage from <i>G. pedunculata</i> slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours.....	66
15. Changes of total phenolic content (mg GAE/g db) of each maturity stage from <i>G. atroviridis</i> slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours.....	68
16. Changes of antioxidant property (by DPPH assay) of each maturity stage from <i>G. atroviridis</i> slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours.....	69
17. HCA and HCAL contents of the initial fresh and dried slices of <i>G. pedunculata</i> .....	71
18. HCA and HCAL contents of the initial fresh and dried slices of <i>G. atroviridis</i> .....	72

## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
1. The fruit of <i>G. pedunculata</i> (a), Cross section of the fruit from <i>G. pedunculata</i> (b)	7
2. The fruit of <i>G. atroviridis</i> (a), Cross section of the fruit from <i>G. atroviridis</i> (b)....	7
3. Structures of HCA (a) and HCAL (b). .....	17
4. Hot-air drying curve .....	34
5. <i>G. pedunculata</i> fruits of each maturity stage; 1 <sup>st</sup> maturity stage (a), 2 <sup>nd</sup> maturity stage (b), 3 <sup>rd</sup> maturity stage (c), 4 <sup>th</sup> maturity stage (d) and 5 <sup>th</sup> maturity stage (e).....	51
6. <i>G. atroviridis</i> fruits of each maturity stage; 1 <sup>st</sup> maturity stage (a), 2 <sup>nd</sup> maturity stage (b), 3 <sup>rd</sup> maturity stage (c), 4 <sup>th</sup> maturity stage (d) and 5 <sup>th</sup> maturity stage (e).....	53
7. Changes in moisture contents of Som khwai (a) and Som khaek (b) slices during dehydration.....	59
8. Drying rate of <i>G. pedunculata</i> (a) and <i>G. atroviridis</i> (b) slices during dehydration..	60

**LIST OF APPENDIX TABLES**

<b>Table</b>		<b>Page</b>
1.	L*, a* and b* values of fresh <i>G. pedunculata</i> fruit each maturity stage.....	103
2.	L*, a* and b* values of fresh <i>G. atroviridis</i> fruit each maturity stage.....	104
3.	L*, a* and b* values of <i>G. pedunculata</i> slices after drying at 51 °C for 8 hours.....	105
4.	L*, a* and b* values of <i>G. atroviridis</i> slices after drying at 51 °C for 8 hours.....	106

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ส้มควาย หรือ *Garcinia pedunculata* Roxb. (*G. pedunculata*) เป็นไม้ยืนต้น ไม้ผลัดใบ ขนาดใหญ่จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae พบทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียและหมู่เกาะอันดามัน (Negi *et al.*, 2008) และพบทางภาคใต้ของประเทศไทยบริเวณจังหวัดตรัง พังงา กระบี่ นครศรีธรรมราช (ชนิดย์ หนูยิ้ม และ คณะ, 2543) ผลมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 เซนติเมตร เมื่อผลแก่จัดสามารถนำมาบริโภคหรือประกอบเป็นอาหารและสามารถใช้รักษาโรคตับปิดกักเปิด (Antiscorbutic) สมานแผล (Astringent) บำรุงหัวใจ (Cardiotonic) บำรุงผิว (Emollient) [Mudoi *et al.*, 2012]

ส้มแขก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *G. atroviridis* Griffith ex T. Anderson. เป็นไม้ยืนต้น ขนาดกลาง จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae พบในประเทศมาเลเซีย พม่า อินเดีย และภาคใต้ของประเทศไทย (Lim, 2012) ผลส้มแขกมีลักษณะกลมเมื่อสุกจะมีสีเหลืองถึงส้ม มีความเป็นกรดสูง (Dweck, 2009; Jena *et al.*, 2002b) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร และโดยทั่วไปนำไปหั่นเป็นชิ้นบางๆ แล้วทำให้แห้งใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหาร ผลส้มแขกประกอบด้วยกรดผลไม้หลายชนิด เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทริก กรดมาลิก กรดแอสคอร์บิก และ กรดไฮดรอกซีซิตริก สามารถใช้ส่วนต่างๆ ของส้มแขกเป็นยาสมุนไพรรักษาอาการปวดหู ปวดท้อง ไอ และการระคายเคืองในลำคอ นอกจากนี้มีหลายงานวิจัยพบว่าส้มแขกมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Antimicrobial) ต้านเนื้องอกในระยะส่งเสริม (Antitumour-promoting) ต้านการอักเสบ (Anti-inflammation) ต้านเชื้อเอชไอวี (Anti-HIV) ลดไขมัน (Antihyperlipidemic) และต้านอาการแพ้ (Anti-allergic effects) [Lim, 2012; Amran *et al.*, 2009]

โดยทั่วไประยะเวลาเจริญของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีต่อคุณภาพของผลไม้ การเก็บเกี่ยวผลไม้ในระยะก่อนสุกหรือก่อนบิรูรณ์นั้นเพื่อป้องกันการเหี่ยวและการเสียหายจากการขนส่ง (Kader, 1999) การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์และการอบแห้งด้วยลมร้อนยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาส้มควายและส้มแขกกันอย่างแพร่หลาย แต่การทำแห้งนั้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มควายและส้มแขกในด้านกายภาพทั้งทางด้านสีและเนื้อ สัมผัส สมบัติทางเคมี และคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์อบแห้ง (Rittirut and Siripatana, 2006; Fellows, 2000) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันผลของระยะเวลาเจริญของผลและการทำแห้งด้วยลมร้อนของผลส้มควายและส้มแขกยังไม่มีรายงานปรากฏมาก่อน

ส้มควายและส้มแขกยังประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวเคมีและเภสัชวิทยา เช่น มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และต้านการอักเสบอีกด้วย (Al-Mansoub *et al.*, 2013; Lim, 2012; Jantan *et al.*, 2011a; Jantan *et al.*, 2011b; Amran *et al.*, 2009; Mackeen *et al.*, 2000) นอกจากนี้ส้มควายและส้มแขกยังเป็นแหล่งของ กรดไฮดรอกซีซิตริกซึ่งมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่น่าสนใจต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย (Kumar *et al.*, 2013a; Jena *et al.*, 2002b) ส่วนกรดไฮดรอกซีซิตริกแลกโตนเป็นกรดที่พบตามธรรมชาติในส้มควายและส้มแขกหรือพบได้จากกระบวนการแลกโตนในเซลล์ของกรดไฮดรอกซีซิตริกที่เกิดขึ้นในระหว่างการต้มหรือการทำแห้งผลิตภัณฑ์ (Jayaprakasha and Sakariah, 2002) แต่กรดไฮดรอกซีซิตริกแลกโตนมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่ำกว่ากรดไฮดรอกซีซิตริกมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไฮดรอกซีซิตริกและกรดไฮดรอกซีซิตริกแลกโตน ในผลิตภัณฑ์จึงสามารถนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพเพื่อประโยชน์ในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้ (Yamada *et al.*, 2007)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาระยะเวลาการเจริญของผลที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมีและการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขกชิ้นบาง และ (2) เวลาการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขกชิ้นบาง ความรู้จากงานวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกสำหรับการเลือกระยะเวลาการเจริญของผล ระยะเวลาทำแห้ง รวมถึงทราบผลของการทำแห้งส้มควายและส้มแขกชิ้นบางเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด

## การตรวจเอกสาร

### 1. พืชสกุลการ์ซีเนีย (Garcinia)

พืชสกุลการ์ซีเนีย เป็นพืชยืนต้นสกุลใหญ่ มีทั้งที่เป็นไม้พุ่ม ไม้ขนาดกลางและขนาดใหญ่ พบการกระจายตัวอยู่ในแถบทวีปเอเชีย บริเวณเส้นศูนย์สูตร ทวีปแอฟริกา และเกาะ โพลินีเซีย ซึ่งมีทั้งหมด 180 สปีชีส์ โดยทั่วไปมีการใช้งานพืชสกุลการ์ซีเนียอย่างแพร่หลายในส่วนของผล ลำต้น ฝัก ไม้เป็นต้น ส่วนผลของหลายสปีชีส์สามารถกินได้และผลของบางสปีชีส์สามารถใช้เป็นยารักษาโรคต่างๆ ได้ (Jantan *et al.*, 2011b; Yapwattanaphun *et al.*, 2002) มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับสารที่พบในส่วนต่างๆ ของพืชในหลายๆ สปีชีส์ ประกอบด้วยอนุพันธ์ของ Oxygenated และ Prenylated phenol ซึ่งประกอบด้วย Xanthones, Flavonoids, Benzophenones, Lactones and Phenolic acids (Ji *et al.*, 2007) สารเหล่านี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ เช่น ฆ่าเชื้อโรค ด้านมะเร็ง ด้านการอักเสบ ด้านเกล็ดเลือด และต้านอนุมูลอิสระ (Jantan *et al.*, 2009, Kolodziejczyk *et al.*, 2009) ในประเทศไทยมีการสำรวจและรายงานว่าพบพืชสกุลการ์ซีเนียจำนวน 22 สปีชีส์ กระจายอยู่ในทั่วทุกภาคของประเทศดังแสดงใน Table 1 ขณะที่ Ritthiwigrom และคณะ (2013) รายงานว่าพบพืชสกุลการ์ซีเนีย 29 สปีชีส์ในประเทศไทย โดยมีพืชสกุลการ์ซีเนีย 20 สปีชีส์ที่พบทางภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ *G. acuminata* *G. atroviridis* *G. bancana* *G. cambogia* *G. costata* *G. cowa* *G. dulcis* *G. forbesii* *G. hanburyi* *G. hombroniana* *G. mangostana* *G. merguensis* *G. nervosa* *G. nigrolineata* *G. parvifolia* *G. prainiana* *G. rostrata* *G. scortechinii* *G. speciosa* และ *G. vilersiana* นอกจากนี้ Phongpaichit และคณะ (2006) รายงานว่าพบการ์ซีเนีย 5 สปีชีส์ ในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ *G. atroviridis* *G. ducis* *G. mangostana* *G. nigrolineata* และ *G. scortechinii* ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น *G. pedunculata* เป็นพืชสกุลการ์ซีเนียที่ไม่ค่อยเป็นที่รู้จัก แต่พบได้ในบางพื้นที่ของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคใต้ซึ่งมีชื่อเรียกตามท้องถิ่นว่าส้มควาย นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัย รายงานว่า ชื่อเรียก ส้มควายเป็นชื่อเรียกตามท้องถิ่นของ *G. atroviridis* ด้วยเช่นกัน โดยมีการ รายงานว่า *G. atroviridis* เป็นไม้ยืนต้นที่รู้จักโดยทั่วไปในประเทศไทย มีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น ส้มมะวน ส้มพะงุน มะขามแขก ส้มมะอัน อาแซกะลูด และ ส้มควาย ดังนั้นในขั้นต้นของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นทางลักษณะสัณฐานวิทยาของใบ ดอก และผล ของ *G. pedunculata* และ *G. atroviridis* เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ต้องการในการระบุชนิดและสปีชีส์ที่ชัดเจนจากการมีชื่อเรียกตามท้องถิ่นที่ซ้ำกันของพืชทั้งสองชนิดนี้ก่อนทำการวิจัย (Lim, 2012; Kerddonfaek, 2010; Boonyaprapatsorn and Chokchaicharoenporn, 1996; Jantadate, 1995; Smitinand, 1979)



**Table 1** A list of *Garcinia* species found in Thailand

Scientific Name	Common Name	Habit	Antioxidant activity	HCA content	References
<i>G. acuminata</i> Planch.&Triana	Rong thong	Tree	-	-	-
<i>G. atroviridis</i> Griff.ex T. Ander	Som khaek	Tree	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical-scavenging activity (50% Effective Concentration: EC <sub>50</sub> ) = 166.53±1.52 µg/ml	10-30%	Al-Mansoub <i>et al.</i> (2013) Roongpisuthipong <i>et al.</i> (2007)
<i>G. costata</i> Hemsl.	Mangkhut paa	Tree	-	-	-
<i>G. cowa</i> Roxb.	Cha muang	Shrubby tree	DPPH radical-scavenging activity (EC <sub>50</sub> ) = 1597.5 ± 99.3 µg extract/ mg DPPH	5.6 g/100 g extract	Nanasombat and Teckchuen (2009); Parthasarathi <i>et al.</i> (2013)
<i>G. dulcis</i> (Roxb.) Kurz	Ma phuut	Tree	76.5 ± 2.1% at concentration 9.75 µg/ml based on DPPH assay	-	Suwantong <i>et al.</i> (2013)

**Table 1** A list of *Garcinia* species found in Thailand (Continued)

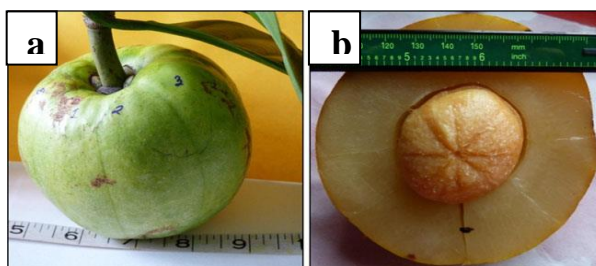
Scientific Name	Common Name	Habit	Antioxidant activity	HCA content	References
<i>G. fusca</i> Pierre.	Madan paa	Shrubby tree	-	-	-
<i>G. gracilis</i> Pierre.	Mak paem	Tree	-	-	-
<i>G. hanburyi</i> Hook.f.	Rong	Tree	-	-	-
<i>G. hombroniana</i> Pierre.	Waa	Tree	DPPH radical-scavenging activity (IC <sub>50</sub> ) = 116.8±66.8 µg/ml	-	Acuna <i>et al.</i> (2012)
<i>G. lanessanii</i> Pierre.	Somkung yai	Shrubby tree	-	-	-
<i>G. mackeaniana</i> Craib.	Mada	Tree	-	-	-
<i>G. mangostana</i> Linn.	Mangkhut	Tree	DPPH activity (IC <sub>50</sub> ) = 39.42 µg/ml	0.26%	Parthasarathy and Nandakishore (2014) Parthasarathy and Nandakishore (2014)
<i>G. merguensis</i> Wight.	Nuan	Shrubby tree	-	-	-
<i>G. nervosa</i> Miq.	Ma phuut paa	Tree	98.73% at concentration 200 µg/ml based on DPPH assay	-	Seruji <i>et al.</i> (2013)
<i>G. nigrolineata</i> Planch.	Cha muang	Tree	-	-	-

**Table 1.** A list of *Garcinia* species found in Thailand (Continued)

Scientific Name	Common Name	Habit	Antioxidant activity	HCA content	References
<i>G. rostrata</i> Benth.&Hook.f.	Muang laai	Tree	-	-	-
<i>G. scomburgkiana</i> Pierre.	Madan	Shrubby tree	ABTS radical-scavenging activity (IC <sub>50</sub> ) = 658.92 µg/ml	-	Wetwitayaklung <i>et al.</i> (2012)
<i>G. speciosa</i> Wall.	Phawaa	Tree	-	-	-
<i>G. succifolia</i> Kurz.	Mapongton	Tree	-	-	-
<i>G. thorelii</i> Pierre.	Mada kheenon	Tree	-	-	-
<i>G. vilersiana</i> Pierre.	Phawaa baiyai	Shrubby tree	-	-	-
<i>G. xanthochymus</i> Hook.f. ex T. Anderson	Madaluang	Tree	DPPH activity (IC <sub>50</sub> ) = 35.75 µg/ml	0.10%	Parthasarathy and Nandakishore (2014) Parthasarathy and Nandakishore (2014)

### 1.1 ส้มควาย (*G. pedunculata*)

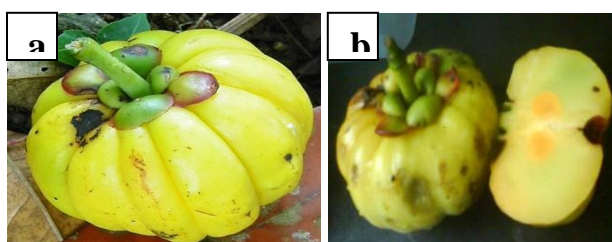
ส้มควาย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia pedunculata* Roxb. เป็นไม้ยืนต้นจัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae ลำต้นมีร่องแตกกิ่งสั้น มีใบรูปร่างแผ่นคล้ายรูปใบหอก (Lanceolate) เส้นกลางใบชัดเจน ใบสีเขียวอ่อน ดอกตัวเมียเป็นดอกเดี่ยวสีเขียวอ่อน ผลมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 เซนติเมตร (Figure 1) เมื่อแก่จัดสามารถนำมาบริโภคหรือประกอบเป็นอาหารได้ (Mudoj *et al.*, 2012) ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของส้มควายดังแสดงใน Table 2



**Figure 1.** The fruit of *G. pedunculata* (a), Cross section of the fruit from *G. pedunculata* (b)  
ที่มา : Sharma และคณะ (2013)

### 1.2 ส้มแขก (*G. atroviridis*)

ส้มแขก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *G. atroviridis* Griffith ex T. Anderson. เป็นไม้ยืนต้นจัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae มีความสูง 6-12 เมตร ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยวออกตรงข้ามกันเป็นคู่ กว้าง 3-5 เซนติเมตร ยาว 12-20 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม โคนใบรูปปลีมีสีเขียวเข้มใบอ่อนสีแดง เส้นใบละเอียดมองเห็นชัดทางด้านบน ลำต้นยาว มีกิ่งก้านห้อยต่ำ ดอกแยกเพศ ดอกตัวผู้เป็นช่อกระจุก 2-3 ดอก ดอกตัวเมียเป็นดอกเดี่ยวที่ปลายกิ่ง กลีบเลี้ยงด้านในสีแดงเลื้อยดก กลีบดอกมีขนาดใหญ่กว่ากลีบเลี้ยง ผลเป็นแบบผลเดี่ยว ผลแก่สีเขียว ผลสุกสีเหลือง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร (Figure 2) มีสันร่องตามแนวขั้วผลไปยังปลายผล มี 12-16 ร่อง มีเมล็ดอยู่ในช่องว่างภายในผล เมล็ดแก่จะแข็ง (Jena *et al.*, 2002b และ นันทวัน บุญยะประภัศร และ อรุณช โสภชัยเจริญพร, 2543). ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของส้มควายดังแสดงใน Table 2



**Figure 2.** The fruit of *G. atroviridis* (a), Cross section of the fruit from *G. atroviridis* (b)  
ที่มา : Mahilia และคณะ (2012)

**Table 2.** Botanical information of *G. pedunculata* and *G. atroviridis*

	<i>G. pedunculata</i>	<i>G. atroviridis</i>
Scientific name	<i>Garcinia pedunculata</i> Roxb.	<i>Garcinia atroviridis</i> Griff. ex T. Anderson
Family	Guttiferae	Guttiferae
Common name	Som khwai	Som khaek, Som ma won
Source	Trang, Nakon Si Thammarat, Phangnga and Phuket Provinces, Thailand	Songkhla, Yala, Pattani and Narathiwat Provinces, Thailand
Elevation	<i>G. pedunculata</i> is a medium-sized tree.	<i>G. atroviridis</i> tree (a lofty tree) grows to a height of 6-12 m high
Habitat	Tropical plants, large evergreen tree	Tropical plants, large evergreen tree, medium-sized fruit tree
Trunk / branche / rod	Short spreading branches	Long trunk, smooth grey bark and drooping branches
Leaf	Leaves lanceolate, midrib stout	Dark green, Shiny, Broad, Thickly coriaceous, Glabrous, Abruptly acuminate.
Flower	The female flowers are solitary.	The female flower are solitary.
Fruit	Fruit is yellow to orange, globose, 8-12 cm in diameter with fleshy aril	The round yellow to orange fruits are 7-10 cm in diameter, heavy, longitudinally grooved by 12 to 16 and flattened at the apex., thin translucent pulp surrounding the seeds
Usability	Ripe or raw fruits are sliced, sun-dried and preserved. The mature fruit is eaten cooked or raw with other vegetable mixing	Sun-dried slices of the fruits are commercially available used as a seasoning in curries, sour relish and also for dressing fish. The young leaves are used for culinary purposes and as a traditional vegetable.

## 1.3 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

### 1.3.1 ใบ (Leaves)

ใบ (Leaf) คือ อวัยวะของพืชหรือรยางค์ที่เจริญออกมาจากข้อของลำต้นและกิ่ง ใบส่วนใหญ่จะมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

#### 1.3.1.1 ชนิดของใบ

1) ใบแท้ คือ ใบปกติของพืชทั่วไป อาจเป็นแผ่นแบนหรือเรียวยาวเล็ก มีสีเขียว จำแนกได้เป็นใบเดี่ยวและใบประกอบ

1.1) ใบเดี่ยว (Simple leaf) คือ ใบที่มีแผ่นใบเพียงแผ่นเดียวติดอยู่บนก้านใบที่แตกออกจากกิ่งหรือลำต้น เช่น ใบมะม่วง ชมพู กัลย มะละกอ เป็นต้น

1.2) ใบประกอบ (Compound leaf) สามารถจำแนกย่อยได้ดังนี้

- ใบประกอบแบบฝ่ามือ เช่น ใบยางพารา ใบถั่วฝักยาว ใบนุ่น ใบถั่วเหลือง ใบผักแว่น

- ใบประกอบแบบขนนก เช่น ใบกุหลาบ ใบมะขาม ใบจามจุรี

2) ใบเลี้ยง (Cotyledon) คือ ใบของต้นอ่อนหรือเอ็มบริโอและเป็นใบแรกที่งอกออกมาจากเมล็ด

3) ใบดอก (Bract หรือ Floral leaf) คือ ใบที่เปลี่ยนไปเป็นส่วนของดอกเพื่อทำหน้าที่ล่อแมลงในการผสมเกสรหรือการขยายสืบพันธุ์

4) ใบเกล็ด (Scale leaf หรือ Cataphyll) คือ ใบที่เจริญมาเพื่อทำหน้าที่ห่อหุ้มป้องกันตาและใบอ่อนไม่ได้ได้รับอันตราย (Sawasdee, 2017)

#### 1.3.1.2 การจัดเรียงของใบ

1) แบบสลับ (Alternate) เป็นการจัดระเบียบของใบ โดยแต่ละข้อของลำต้นจะมีใบเพียงใบเดียวติดอยู่ ใบในข้อหนึ่งจะอยู่ตรงกันข้ามกับอีกข้อหนึ่งสลับเช่นนี้เรื่อยไป

2) แบบเกลียว (Spiral) เป็นการจัดระเบียบของใบคล้ายกับแบบสลับ แต่ตำแหน่งของใบแต่ละข้อจะเอียงกันเล็กน้อย ไม่ถึงกับอยู่ตรงข้ามเหมือนแบบสลับ

3) แบบตรงกันข้าม (Opposite) เป็นการจัดระเบียบของใบ โดยแต่ละข้อจะมีใบติดอยู่เป็นคู่ในทิศทางตรงกันข้ามและทุกๆ ข้อจะมีใบอยู่ในแนวเดียวกันหมด

4) แบบวง (Whorled หรือ Verticillate) เป็นการจัดระเบียบของใบ โดยที่แต่ละข้อของลำต้นหรือกิ่งมีใบตั้งแต่สามใบขึ้นไป

5) แบบกระจุก (Fascicle) เป็นการจัดระเบียบของใบ โดยแต่ละข้อของลำต้นหรือกิ่งจะมีใบติดเป็นกระจุกและมีเชื้อบางๆ หุ้มอยู่ที่โคนกระจุกนี้

6) แบบกระดูกพื้นฐาน (Basal) เป็นการจัดระเบียบของใบ โดยใบจะติดกับลำต้นเป็นกระดูกที่บริเวณผิวดิน (Sawasdee, 2017)

### 1.3.1.3 ลักษณะพื้นฐานของแผ่นใบ (Leaf morphology)

#### 1) รูปร่างแผ่นใบ แบ่งออกตามลักษณะที่ปรากฏได้ ดังนี้

1.1) รูปไข่ (Ovate) รูปร่างแผ่นใบคล้ายรูปไข่ มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวประมาณ 1:2 ถึง 2:3 ส่วนกว้างที่สุดบริเวณโคนใบ

1.2) รูปไข่กลับ (Obovate) ลักษณะใบตรงกันข้ามกับใบรูปไข่

1.3) รูปใบหอก (Lanceolate) รูปร่างแผ่นใบคล้ายรูปใบหอก อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวประมาณ 1:5 ถึง 1:3 ส่วนกว้างที่สุดบริเวณโคนใบ

1.4) รูปใบหอกกลับ (Oblanceolate) ลักษณะใบตรงกันข้ามกับใบรูปใบหอก

1.5) รูปรี (Elliptic) รูปร่างแผ่นใบรูปรี อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวประมาณ 1:2 ถึง 2:3 ส่วนกว้างที่สุดอยู่บริเวณกึ่งกลางใบ

1.6) รูปขอบขนาน (Oblong) รูปร่างแผ่นใบรูปขอบขนาน อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวประมาณ 1:2 ถึง 2:3 ส่วนกว้างที่สุดอยู่บริเวณกึ่งกลางใบ

1.7) รูปแถบ (Linear) รูปร่างแผ่นใบรูปแถบ อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวมากกว่า 1:12

1.8) รูปกลม (Orbicular) รูปร่างแผ่นใบกลม อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1:1

1.9) รูปหัวใจ (Cordate) รูปร่างแผ่นใบคล้ายรูปหัวใจ ส่วนโคนใบหยักเว้าคล้ายรูปหัวใจ ส่วนโคนใบทั้งสองด้านกลมมน

1.10) รูปสามเหลี่ยม (Deltoid) รูปร่างแผ่นใบเป็นรูปสามเหลี่ยม ส่วนโคนใบตัดค่อนข้างตรง ขอบใบสอบขึ้นไปหาปลายใบ

1.11) รูปไต (Reniform) รูปร่างแผ่นใบคล้ายรูปไต โคนใบหยักเว้าเล็กน้อย ขอบใบมักจะโค้งมนไปบรรจบกัน

1.12) รูปช้อน (Spathulate) รูปร่างแผ่นใบคล้ายรูปช้อน ขอบใบคอดแคบเรียวเข้ามาหาเส้นกลางใบไปสู่ส่วนโคนใบ

#### 2) ปลายใบ รูปแบบที่พบได้บ่อย ได้แก่

2.1) ปลายแหลม (Acute) ขอบใบบรรจบกันที่ปลาย ทำมุม 90 องศา

- 2.2) ปลายเรียวแหลม (Acuminate) ลักษณะคล้ายปลายแหลม แต่ขอบใบเว้า สอบที่ปลายยอด
- 2.3) ปลายยาวคล้ายหาง (Caudate) ปลายใบลักษณะเรียวแหลม แฉก แต่ไม่แข็ง
- 2.4) ปลายแหลมแข็งหรือปลายมีรยางค์แข็ง (Aristate) ปลายใบลักษณะเรียว แหลม แฉก ยาว และค่อนข้างแข็ง
- 2.5) ปลายเป็นดิ่งแหลม (Cuspidate) ขอบใบโค้งเว้าและ สอบเข้ามา เป็นมุมแหลม สั้น และแข็ง
- 2.6) ปลายเป็นดิ่งหนาม (Macronate) ปลายใบแหลมเป็นดิ่งสั้น ต่อเนื่องจากเส้นกลางใบ แข็ง
- 2.7) ปลายมนหรือป้าน (Obtuse) ปลายใบโค้ง มน ทำมุมมากกว่า 90 องศา
- 2.8) ปลายเว้ามุม (Retuse) ลักษณะคล้ายปลายมน แต่หักเว้าตื้นๆ ตรงเส้นกลางใบ
- 2.9) ปลายเว้าตื้น (Emarginate) ลักษณะคล้ายปลายเว้ามุม แต่หักเว้าลึก
- 2.10) ปลายตัด (Truncate) ปลายใบลักษณะตัดตรง
- 3) โคนใบ รูปแบบที่พบได้บ่อย ได้แก่
- 3.1) โคนใบรูปปลี (Cuneate) ขอบใบบรรจบกันที่โคน ทำมุมน้อยกว่า 90 องศา
- 3.2) โคนใบมนหรือป้าน (Obtuse) ขอบใบโค้งมน ทำมุมมากกว่า 90 องศา
- 3.3) โคนใบรูปหัวใจ (Cordate) โคนใบหักเว้าคล้ายรูปหัวใจ
- 3.4) โคนใบตัด (Truncate) โคนใบตัดตรงหรือเกือบตรง
- 3.5) โคนใบเฉียงหรือเอียง (Oblique) โคนใบแต่ละข้างไม่สมมาตร เนื่องจากขอบใบแต่ละข้างสอบเข้ามาไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงกัน
- 3.6) โคนใบแบบก้นปัด (Peltate)
- 4) เนื้อใบ
- 4.1) คล้ายเยื่อ (Membranaceous) เนื้อใบบางหรืออาจโปร่งแสง



4.2) คล้ายกระดาษ (Chartaceous) เนื้อใบคล้ายกระดาษ ทึบแสง ไม่หนาหรือบางมาก

4.3) คล้ายแผ่นหนัง (Coriaceous) เนื้อใบหนาหรือเหนียวคล้ายแผ่นหนัง

4.4) บางและแห้ง (Scarious) เนื้อใบบางและแห้ง โปร่งแสง มักไม่มีสีเขียว

4.5) อวบน้ำ (Succulent) เนื้อใบหนา อวบน้ำ

### 5) เส้นใบ

5.1) เส้นกลางใบ (Midrib) กลุ่มเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านล่างที่ต่อมาจากส่วนก้านใบ มักมีขนาดใหญ่ เห็นชัดเจน

5.2) เส้นแขนงใบ (Lateral vein) กลุ่มเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านล่างที่แยกออกจากเส้นกลางใบ

5.3) เส้นใบย่อย (Veinlet) กลุ่มเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านล่างที่แยกออกจากเส้นแขนงใบ (วรคตต์ แจ่มจำรูญ, 2558)

## 1.3.2 ดอก

ดอก คือ อวัยวะสืบพันธุ์ของพืชชั้นสูง ทำหน้าที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ กำเนิดมาจากตาชนิดตาดอกหรือตาผสมที่อยู่ตรงบริเวณปลายยอด ปลายกิ่ง บริเวณลำต้นหรือมุมระหว่างใบกับลำต้นหรือกิ่งตามแต่ชนิดของพืช ดอกของพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไป ใช้เป็นหลักฐานสำคัญในการจำแนกหมวดหมู่พืชตามหลักทางพฤกษศาสตร์ (Sawasdee, 2017)

### 1.3.2.1 ส่วนประกอบของดอก

ดอกประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วน แต่ละส่วนจะเรียงเป็นชั้นเป็นวงตามลำดับจากนอกสุดเข้าสู่ด้านใน คือ กลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย

1) กลีบเลี้ยง (Sepal) อยู่ชั้นนอกสุดเรียงกันเป็นวง เรียกว่า วงกลีบเลี้ยงหรือเคลิกซ์ (Calyx) ส่วนมากมีสีเขียวเจริญเปลี่ยนแปลงมาจากใบ ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายต่างๆ จากสิ่งแวดล้อม แผลงและศัตรูอื่นๆ

2) กลีบดอก (Petal) อยู่เรียงกันเป็นวง เรียกว่า โครอลลา (Corolla) มีสีต่างๆ สวยงาม กลีบดอกของพืชบางชนิดสามารถเปลี่ยนสีได้ บางชนิดกลีบดอกอาจมีกลิ่นหอมหรือโคนกลีบดอกมีต่อมน้ำหวานเพื่อช่วยล่อแมลงมาช่วยผสมเกสร

3) เกสรตัวผู้ (Stamen) และก้านเกสรตัว (Filament) จัดเรียงตัวเป็นวง ภายในอับเรณูเป็นโพรงอับเรณู 4 ช่อง แต่ละช่องมีเรณูจำนวนมากเพื่อทำหน้าที่สร้าง Sperm ต่อไป

4) เกสรตัวเมีย (Carpel) จัดเรียงตัวเป็นวงอยู่ใจกลางของดอก ประกอบด้วยส่วนฐานที่สร้างอวูล (Ovule) เรียกว่า รังไข่ (Ovary) มีก้านเกสรตัวเมีย (Style) ยื่นออกไปและปลายเกสรตัวเมียอยู่ปลายสุด

#### 1.3.2.2 ชนิดของดอก

##### 1) จำแนกตามส่วนประกอบของดอก 'ได้แก่'

1.1) ดอกครบส่วน (Complete flower) คือ ดอกที่มีส่วนประกอบของดอกทั้ง 4 คือ กลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ครบทุกส่วนในดอกเดียวกัน

1.2) ดอกไม่ครบส่วน (Incomplete flower) ดอกที่ขาดส่วนประกอบส่วนใดส่วนหนึ่ง

##### 2) จำแนกตามลักษณะเพศดอก 'ได้แก่'

2.1) ดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect flower หรือ Bisexual flower) คือ ดอกที่มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน

2.2) ดอกไม่สมบูรณ์เพศ (Imperfect flower หรือ Unisexual flower) คือ ดอกที่มีเฉพาะเกสรตัวผู้หรือเกสรตัวเมียเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งในแต่ละดอก

2.3) ดอกไม่มีเพศ (Sterile flower) คือ ดอกที่ไม่มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ดอกทั้งดอกจะมีเฉพาะกลีบเลี้ยงและกลีบดอกเท่านั้น

##### 3) จำแนกตามจำนวนดอก 'ได้แก่'

3.1) ดอกเดี่ยว (Solitary flower) คือ ดอกที่เกิดขึ้นบนก้านดอกเป็นดอกเดี่ยวโดดๆ

3.2) ช่อดอก (Inflorescence) คือ ดอกที่เกิดเป็นกลุ่มบนก้านดอก

#### 1.3.3 ผล (Fruit)

ผล คือ รังไข่ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว รังไข่ดังกล่าวอาจเจริญเปลี่ยนแปลงมาภายหลังการปฏิสนธิ ซึ่งจะมีเมล็ดอยู่ภายในหรือเจริญมาโดยไม่ได้รับการปฏิสนธิ

##### ประเภทของผล

1) ผลเดี่ยว (Simple fruit) คือ ผลที่เจริญมาจากรังไข่อันเดียวภายในดอกหนึ่งๆ ดอกเป็นชนิดดอกเดี่ยวหรือช่อดอกก็ได้

2) ผลกลุ่ม (Aggregate fruit) คือ ผลที่เจริญมาจากหลายๆ รังไข่ที่อยู่ในดอกเดียวกัน โดยอยู่บนรากฐานดอกเดียวกัน รังไข่แต่ละอันจะเจริญเป็นผลย่อยหลายๆ ผล

3) ผลรวม (Multiple fruit) คือ ผลที่เจริญมาจากกลุ่มรังไข่ของช่อดอก ซึ่งเชื่อมรวมกันแน่นจนเป็นผลรวมหนึ่งผล (Sawasdee, 2017)

## 2. คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางยาของส้มควายและส้มแขก

การชันเยียรจีนี่สประกอบด้วยกลุ่มของพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการรักษาโรค ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ผล เปลือกผล ดอก ใบ และลำต้น เป็นต้น ถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคต่างๆ ทางการแพทย์พื้นบ้าน (Ethnomedicine) เช่น การรักษาการอักเสบ ภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน การติดเชื้อจากจุลินทรีย์ มะเร็ง และ โรคอ้วน

### 2.1 ส้มควาย

ส้มควายมีกรดไฮดรอกซีซิตริก เป็น สารสำคัญและมีกรดอินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดไฮดรอกซีซิตริก แลกลอน กรดออกซาลิก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก และกรดซิตริก (Parthasarathy and Nandakishore, 2014; Jayaprakasha *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุ เช่น เหล็ก ทองแดง และสังกะสี (Mudoi *et al.*, 2015; Mudoi *et al.*, 2012) ส้มควายถูกนำมาใช้เป็นยารักษาอาการของโรคบิด ท้องร่วง ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องผูก ดีซ่าน ลักปิดลักเปิด บำรุงหัวใจ (Hazarika *et al.*, 2015; Kichu *et al.*, 2015; Sarma and Devi, 2015; Mudoi *et al.*, 2012; Kagyung *et al.*, 2010) และมีสมบัติการต้านจุลชีพ (antimicrobial) และเบาหวาน (Antidiabetic) [Tarak *et al.*, 2011; Negi *et al.* 2008; Marles and Farnsworth, 1995] สารสกัดจากผลส้มควายยังมีฤทธิ์ในการปกป้องเซลล์ตับจากสารพิษ (Hepatoprotective activity) และต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) [Mundugaru *et al.* 2014ab] นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าสารสกัดจากส้มควายที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สามารถกระตุ้นให้เกิดการตายของเซลล์มะเร็ง (HeLa cells) ได้ (Xu *et al.*, 2015) ทั้งนี้สารอาหารต่างๆในผลส้มควายดังแสดงใน Table 3

### 2.2 ส้มแขก

ส้มแขกสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน สามารถใช้ทุกส่วนต้มเป็นยาสมุนไพรขับฟอกโลหิต และขับเสมหะ ผลใช้ระบายท้อง ลดไขมัน และต้านการเกิดมะเร็ง (วุฒิ วุฒิชรรณเวช, 2548; Yapwattanaphun, 2002) ใบและรากใช้ต้มกับน้ำ ใช้หยอดหูเพื่อแก้อาการปวดหู (อรุณพร อัฐรัตน์ และคณะ, 2543) นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณตามตำรายาพื้นบ้าน คือ บรรเทาอาการปวดท้องในสตรีมีครรภ์ เป็นยาระบายอ่อนๆ ทางด้านชีวภาพและเภสัชวิทยามีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Antimicrobial) ต้านเนื้องอกในระยะส่งเสริม (Antitumour-promoting) ต้านการอักเสบ (Anti-inflammation) ต้านเกล็ดเลือด (Antiplatelet) ต้านเชื้อเอชไอวี (Anti-HIV) ลดไขมัน (Antihyperlipidemic) และต้านอาการแพ้ (Anti-allergic effects) [Alsarhan *et al.*, 2014; Sulaiman and Ooi, 2014; Al-Mansoub *et al.*, 2013; Lim, 2012; Jantan *et al.*, 2011a; Jantan *et al.*, 2011b; Amran *et al.*, 2009; Mackeen *et al.*, 2000]

ผลส้มแขกมีความเป็นกรดสูง มักใช้เป็นเครื่องปรุงรสในการประกอบอาหารโดยการหั่นเป็นชิ้นบางและทำให้แห้ง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาส้มแขกเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ หลากหลาย เช่น ส้มแขกบดผง เครื่องดื่มน้ำส้มแขก ส้มแขกกวน ส้มแขกแก้ว แยมส้มแขก ชาซงส้มแขก ส้มแขกเชื่อมอบแห้ง ส้มแขกเชื่อมอบน้ำผึ้ง และเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น สบู่ส้มแขก ครีมอาบน้ำส้มแขก น้ำยาล้างจานส้มแขก เป็นต้น (ปิยกุลฤษฎ์ ทองบุญ, 2556)

นอกจากนี้ส้มแขกมีกรดไฮดรอกซีซิทริกเป็นสารสำคัญและมีกรดอินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน กรดออกซาลิก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก และกรดซิตริก (Amran *et al.*, 2009) ได้มีการศึกษาพบว่า กรดไฮดรอกซีซิทริกมีคุณสมบัติในการยับยั้งการสังเคราะห์กรดไขมัน นอกจากนี้ Hasani-Fanjbar และคณะ (2009) และ Roongpisuthipong และคณะ (2007) ยังรายงานว่ กรดไฮดรอกซีซิทริกในผลส้มแขกมีผลควบคุมน้ำหนักตัวของมนุษย์อีกด้วย สารอาหารต่างๆ ในผลส้มควายและส้มแขกดังแสดงใน Table 3

**Table 3.** Properties of the fresh fruits from *G. pedunculata* and *G. atroviridis*

Chemical properties	<i>G. pedunculata</i>		<i>G. atroviridis</i>	
	Values	References	Values	References
Ash content	1.37%	Sharma <i>et al.</i> (2013)	0.18%	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Crude fat content	0.44%	Sharma <i>et al.</i> (2013)	0.18%	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Crude fiber content	3.40%	Sharma <i>et al.</i> (2013)	1.44%	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Crude protein	3.16%	Sharma <i>et al.</i> (2013)	0.56%	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Iron content	7.00 mg/100 g dried sample	Mudoj <i>et al.</i> (2012)	6.65 mg/ 100 g wet sample	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Moisture content	85.00%	Sharma <i>et al.</i> (2013)	89.48%	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Potassium content	127.72 mg/100 g dried sample	Mudoj <i>et al.</i> (2012)	1.14 mg/ 100 g wet sample	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Sodium content	3.70 mg/100 g dried sample	Mudoj <i>et al.</i> (2012)	0.32 mg/ 100 g wet sample	Rabeta and Nur-Faraniza (2013)
Total phenolic content	88.20 mg gallic acid equivalents [GAE ]/ g dried sample	Gogoi <i>et al.</i> (2012)	36.76 mg GAE/ g dried sample	Kruwan and Kangsadalampai (2006)
Vitamin C	3,400 µg/100 g dried sample	Jin <i>et al.</i> (1999)	280.91 µg/100 g wet sample	Sulaiman and Ooi (2014)

### 3. สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในส้มควายและส้มแขก

#### 3.1 สารสำคัญชนิดต่างๆ ในส้มควายและส้มแขก

มีการศึกษาสารที่เป็นองค์ประกอบในส้มควายและส้มแขกมานานกว่า 10 ปี โดยพบกลุ่มสารที่เป็นองค์ประกอบในส้มควายและส้มแขก ดังนี้ Xanthones, Flavonoids, Benzoquinones, Depsidones, Organic acids และสารประกอบอื่นๆ โดยสารที่เป็นองค์ประกอบในส่วนต่างๆ ของส้มควายและส้มแขกดังแสดงใน Table 4 และ Table 5

#### 3.2 ฤทธิ์ทางชีวภาพของกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน

สารสำคัญที่สกัดได้จากส้มควายและส้มแขก คือ กรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากส่วนผลและเปลือกของผลส้มควายและส้มแขก สารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Kumar *et al.*, 2013a; Mudoi *et al.*, 2012; Jena *et al.*, 2002) กรดไฮดรอกซีซิทริก คือ กรด 1,2-dihydroxy propane 1,2,3-tricarboxylic acid ซึ่งเป็นกรด  $\gamma$ -hydroxy acid และสามารถถูกแลกโตนในส้มอยู่ในรูปของกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน [(2S,3S)-tetra-hydro-3-hydroxy-5-oxo-2,3-furandicarboxylic acid] (Rao *et al.*, 2010) [Figure 3] ได้โดยง่าย เพราะกรดไฮดรอกซีซิทริกไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแลกโตนในเซชัน (Lactonization) โดยเฉพาะในระหว่างกระบวนการระเหย (Evaporation) และการทำให้เข้มข้น (Concentration) ซึ่งกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนจะมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกรดไฮดรอกซีซิทริกอิสระ (Jena *et al.*, 2002b) Vinh (2012) รายงานว่าผล *G. oblongifolia* ในระยะสุก ส่วนเนื้อผลจะพบปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดซิทริกค่อนข้างมาก กรดไฮดรอกซีซิทริกอิสระละลายน้ำได้ง่ายตลอดจนกรดอินทรีย์อื่นๆ ในเนื้อผลอาจช่วยป้องกันการเกิดแลกโตนในเซชันได้ (Anthony, 2003) นอกจากนี้ Rao และคณะ (2010) ยังรายงานว่า ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (acidic condition) หรือใน aqueous medium กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน จะรักษาสมดุลของโครงสร้างโมเลกุลกับกรดไฮดรอกซีซิทริก

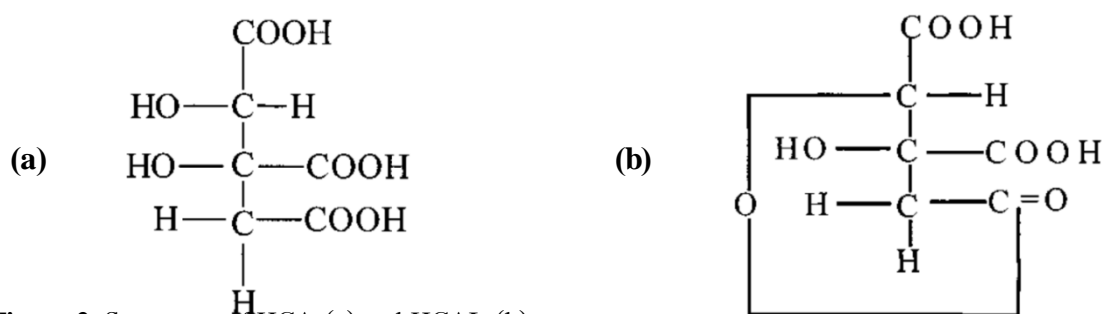


Figure 3. Structures of HCA (a) and HCAL (b).

ที่มา : Jena และคณะ (2002b)

**Table 4.** The chemical compounds from different parts of *G. pedunculata*

Chemical compounds	Category	Plant part	References
Benzophenones	Benzenoid	Heartwood	Rao <i>et al.</i> (1974)
Biflavanone GB-la	Flavonoid	Heartwood	Rao <i>et al.</i> (1974)
Cambogin	Benzenoid	Pericarp	Rao <i>et al.</i> (1974)
Citric acid	Organic acid	Fruit, leaves and fruit rind	Parthsarathy and Nandakishore, 2014; Jayaprakasha <i>et al.</i> (2003)
Garbogiol	Xanthone	Bark	Vo <i>et al.</i> (2012)
Garcinol	Benzenoid	Pericarp	Sahu <i>et al.</i> (1989)
HCA, HCAL	Organic acid	Fruit, leaves and fruit rind	Parthsarathy and Nandakishore (2014); Jayaprakasha <i>et al.</i> (2003)
Malic acid	Organic acid	Fruit rind	Parthsarathy and Nandakishore (2014)
Oleanolic acid	Triterpenoid	Bark	Vo <i>et al.</i> (2012)
Oxalic acid	Organic acid	Fruit, leaves and fruit rind	Parthsarathy and Nandakishore (2014)
Pedunculol	Benzenoid	Pericarp	Sahu <i>et al.</i> (1989)
2, 4, 6, 3', 5'- Pentahydroxy-benzophenone	Benzenoid	Heartwood	Rao <i>et al.</i> (1974)
Tartaric acid	Organic acid	Fruit rind	Parthsarathy and Nandakishore (2014)

**Table 4.** The chemical compounds from different parts of *G. pedunculata* (Continued)

Chemical compounds	Category	Plant part	References
1, 3, 6, 7- Tetrahydroxyxanthone	Xanthone	Heartwood	Rao <i>et al.</i> (1974)
Volkensiflavone	Flavonoid	Heartwood	Rao <i>et al.</i> (1974)



**Table 5.** The chemical compounds from different plant parts of *G. atroviridis*

Chemical compounds	Category	Plant part	References
Ascorbic acid	Organic acid	Fruit	Amran <i>et al.</i> (2009)
Atroviridin	Xanthone	Stem bark	Kosin, <i>et al.</i> (1998)
Atrovirinone	Benzoquinone	Root	Permana <i>et al.</i> (2001)
Atrovirisidone	Depsidone	Root	Permana <i>et al.</i> (2001)
Atrovirisidone B	Depsidone	Root	Permana <i>et al.</i> (2005)
3,8''-binaringenin	Flavonoid	Root	Permana <i>et al.</i> (2005)
2-(butoxycarbonylmethyl)-3-butoxycarbonyl- 2-hydroxy-3-propanolide	Organic acid	Fruit	Mackeen <i>et al.</i> (2002)
14-cis-docosenoic acid	Hydroquinone	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Citric acid	Organic acid	Fruit	Amran <i>et al.</i> (2009)
1',1''-dibutyl methyl hydroxycitrate	Organic acid	Fruit	Mackeen <i>et al.</i> (2002)
Dodecanoic acid	Fatty acid	Fruit	Abdullah <i>et al.</i> (1994)
Fukugiside	Flavonoid	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Garcineflavanone A	Triflavanone	Stem bark	Tan <i>et al.</i> (2014)
Garcineflavonol A	Biflavonol	Stem bark	Tan <i>et al.</i> (2014)
HCA, HCAL	Organic acid	Fruit rind and fruit	Amran <i>et al.</i> (2009) and Jena <i>et al.</i> (2002b)

**Table 5.** The chemical compounds from different plant parts of *G. atroviridis* (Continued)

Chemical compounds	Chemical compounds	Chemical compounds	Chemical compounds
Hydroxycinnamic acid	Hydroxycin-namic acid	Fruit	Wong <i>et al.</i> (2014)
Luteolin	Flavonoid	Fruit	Miean and Mohamed (2001)
Malic acid	Organic acid	Fruit	Amran <i>et al.</i> (2009)
4-methylhydroatrovirinone	Hydroquinone	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Morelloflavone	Flavonoid	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Morelloflavone 7-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	Flavonoid	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Myricetin	Flavonoid	Fruit	Miean and Mohamed (2001)
Naringenin	Flavonoid	Root	Permana <i>et al.</i> (2003)
Nonadecanoic acid	Fatty acid	Fruit	Abdullah <i>et al.</i> (1994)
Octadecanoic acid	Fatty acid	Fruit	Abdullah <i>et al.</i> (1994)
Pentadecanoic acid	Fatty acid	Fruit	Abdullah <i>et al.</i> (1994)
Quercetin	Flavonoid	Fruit	Miean and Mohamed (2001)
Tartaric acid	Organic acid	Fruit	Amran <i>et al.</i> (2009)

Clouatre และ Rosenbaum (1994) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของกรดไฮดรอกซีซีตริกที่มีผลต่อการควบคุมน้ำหนัก ระดับไขมันในเลือดและกระบวนการสร้างพลังงานภายในร่างกาย ตามที่สรุปไว้ดังนี้

1. ผลต่อการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นไขมันหรือมีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างไขมันในร่างกาย โดยพบว่ากรดไฮดรอกซีซีตริกช่วยลดการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่สารอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลให้กลายเป็นไขมันน้อยลง โดยกรดไฮดรอกซีซีตริกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ATP-citrate lyase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จะเปลี่ยน Citrate ให้กลายเป็นกรดไขมันและโคเลสเตอรอลในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์ไขมันในร่างกาย โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นใน Krebs/ Citric acid Cycle

2. ผลต่อการสร้าง Low-density lipoprotein (LDL) และ Triglyceride พบว่าจากกระบวนการยับยั้งการสร้างไขมันขึ้นต้นอาจส่งผลให้กรดไฮดรอกซีซีตริกมีส่วนช่วยในการลดโคเลสเตอรอลและกรดไขมัน

3. ผลต่อระดับพลังงานและการสร้างไกลโคเจน พบว่ากรดไฮดรอกซีซีตริกช่วยเพิ่มการสร้างไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ ทำให้ร่างกายมีพลังงานมากขึ้น

4. ผลต่อการควบคุมความอยากอาหาร พบว่ากรดไฮดรอกซีซีตริกช่วยยับยั้งความอยากอาหารได้จากการช่วยลดการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นไขมันจึงสามารถลดปริมาณอาหารที่รับประทานได้

5. ผลต่อกระบวนการ Thermogenesis โดยกรดไฮดรอกซีซีตริกช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันให้เป็นพลังงาน ทำให้ไขมันที่สะสมตามส่วนต่างๆ ของร่างกายถูกนำออกมาใช้

### 3.3 กลไกการยับยั้งเอนไซม์ ATP-citrate lyase ของกรดไฮดรอกซีซีตริก

เอนไซม์ ATP-citrate lyase เป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการ Krebs/Citric acid cycle โดยเมื่ออาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเพื่อให้สร้างเป็นพลังงาน Pyruvic acid ก็จะถูกสร้างขึ้นและจับกับ Coenzyme A หรือ CoA เพื่อสร้างเป็น Acetyl-CoA อยู่ใน Mitochondria ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ เมื่อความต้องการพลังงานของร่างกายลดลง Acetyl-CoA ก็จะถูกเคลื่อนย้ายออกนอก Mitochondria ไปยัง Cytosol (ซึ่งเป็นส่วน Protoplasm ของเซลล์) โดยอยู่ในรูปของ Citrate และจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันและโคเลสเตอรอลโดยเอนไซม์ ATP-citrate lyase นั่นเอง กรดไฮดรอกซีซีตริกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้เนื่องจากกรดไฮดรอกซีซีตริกมีโครงสร้างคล้ายกับ Citrate จึงสามารถแย่ง Citrate จับกับเอนไซม์ ATP-citrate lyase ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเปลี่ยน Citrate เป็นกรดไขมันและโคเลสเตอรอลได้ ผลคือ ทำให้กรดไขมันและ

โคเลสเตอรอลลดลงได้ นอกจากนี้กรดไฮดรอกซีซิทริกไม่เพียงแต่ยับยั้งการสร้างไขมันเท่านั้น กรดไฮดรอกซีซิทริก ยังสามารถลดความอยากอาหารและช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันในร่างกายให้เป็นพลังงานอีกด้วย (อรุณพร อธิรัตน์ และคณะ, 2543)

### 3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lewis และ Neelakantan (1965) แยกกรดไฮดรอกซีซิทริกจำนวนมากจากเปลือกผล *G. cambogia* แห่ง โดยนำไปต้มในน้ำภายใต้ความดัน 10 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> เป็นเวลา 15 นาที สารสกัดที่ได้ถูกทำให้เข้มข้นและกำจัดเพคตินออกโดยการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol precipitation) กรองสารละลายที่ได้ผ่าน Cation exchange resin และทำให้เป็นกลางด้วยด่าง จากนั้นนำไปทำให้เข้มข้นและทำแห้ง สารสกัดหยาบที่ได้ถูกนำไปสกัดด้วยอีเทอร์ (Ether) และทำให้เป็นผลึกอีกครั้ง เพื่อให้ได้ผลึกรูปเข็มของแลกโตน

Lewis (1969) ได้รายงานวิธีการแยกกรดไฮดรอกซีซิทริก จาก *G. cambogia* อีกวิธีหนึ่งคือการแยกโดยใช้อะซิโตน (Actone) สารสกัดอะซิโตนที่ได้ถูกทำให้เข้มข้นและละลายรวมกับน้ำ จากนั้นนำไประเหยน้ำออกจนได้แลกโตน Moffett (1996) ได้มีการพัฒนาวิธีการสกัดกรดไฮดรอกซีซิทริกจากเปลือกผลของพืชตระกูลการ์ซีเนีย (*G. cambogia*, *G. atroviridis*, and *G. indica*) โดยสารสกัดถูกรองผ่าน Anion exchange column สำหรับดูดซับกรดไฮดรอกซีซิทริก และชะกรดไฮดรอกซีซิทริกออกจากคอลัมน์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อมา Moffett และคณะ (1997) รายงานว่าสารสกัดกรดไฮดรอกซีซิทริกเข้มข้นที่เตรียมจากวิธีการข้างต้น ประกอบด้วยกรดไฮดรอกซีซิทริกอิสระ 54% แลกโตนของกรดไฮดรอกซีซิทริก 6-20% กรดซิทริก 0.001-8% และน้ำ 32-70%

Muensritharam และคณะ (2008) รายงานว่า วิธีอะซิโตนหรือเล็กโทรฟอริซิสเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับหาปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน และกรดอินทรีย์อื่นๆ โดยพบว่าปริมาณรวมของกรดไฮดรอกซีซิทริกในใบและผลของพืชสกุลการ์ซีเนียแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น ส้มแขก ชะมวงใต้ ชะมวงตะวันออก และมะดัน โดยที่มีปริมาณรวมของกรดไฮดรอกซีซิทริกมากที่สุด เท่ากับ 21% และ 24% โดยน้ำหนักของใบแก่ของชะมวงใต้และผลแก่ของส้มแขกตามลำดับ

## 4. สารประกอบฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นสารในกลุ่มเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์

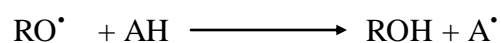
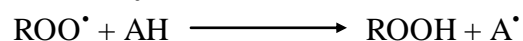
ของพืช และการป้องกันจากเชื้อก่อโรค นอกจากนี้อาจเป็นสารที่ให้สีหรือกลิ่นรสในผักและผลไม้ (Balasundram *et, al.*, 2006) ซึ่งปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในอาหารและเครื่องดื่มที่มาจากพืชผักและผลไม้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช วิธีการปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูปและการเก็บ การให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง และสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (เนตรนภา เมฆกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่เป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) และมีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่รวมไปถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ ลิกนิน กรดซินนามิก และ โคอเอนไซม์คิวเทน (เนตรนภา เมฆกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)

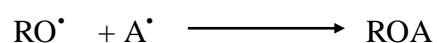
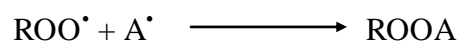
#### 4.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

อนุมูลอิสระ เป็นสารที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนเดี่ยว 1 ตัวหรือมากกว่าซึ่งถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ถ้ากระบวนการนี้ไม่ถูกยับยั้งโดยสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) อนุมูลอิสระจะไปทำลายเซลล์และทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายเปลี่ยนแปลงไป และถ้าหากปล่อยให้อนุมูลอิสระมีมากในเซลล์จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์มากขึ้นและเมื่อเซลล์เสื่อมสภาพจนเสียหายอย่างถาวรจนไม่สามารถทำงานได้ตามปกติจะส่งผลให้เกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เป็นต้น (ประสงค์ เทียนบุญ, 2553)

สารประกอบฟีนอลิก (AH) ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ



เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีความเสถียร เนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนในวงแหวนเบนซีน และทำให้ไม่มีตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเข้าจับของโมเลกุลออกซิเจน (Shahidi and Naczki, 1995) นอกจากนี้อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย ดังสมการ



โดยความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่ง และ หมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน เช่น การมีหมู่ไฮดรอกซิลลำดับที่ 2 ที่ตำแหน่งออร์โท (Ortho-) และพารา (Para-) ของสารประกอบฟีนอลิก จะไปเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการแทนที่ตรงตำแหน่งของออร์โท และพารา หมายถึง หมู่แทนที่ทั้งสองหมู่นั้นอยู่ที่ตำแหน่ง 1,2- และ 1,4- ของกันและกันในวงแหวนเบนซีน ตามลำดับ นอกจากนี้การแทนที่ของหมู่แอลคิลที่ตำแหน่งออร์โท และพาราก็มีผลต่อการเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน (Shahidi and Naczk, 1995)

#### 4.2 กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ DPPH ของสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระ DPPH เปลี่ยนแปลงเป็นอนุมูลที่มีความเสถียร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรจึงลดลง (Perez-Jimenez and Saura-Calixto, 2006) โดยในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระ DPPH กับสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระไม่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้น จึงรายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ในรูป  $EC_{50}$  ซึ่งหมายถึง ปริมาณของสารตัวอย่างต่อ 1 มิลลิลิตร (ของสารละลาย DPPH และสารละลายตัวอย่าง) ที่ไปลดความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH ลง 50% จากความเข้มข้นของสารละลาย DPPH เริ่มต้น (Huang *et al.*, 2007)

#### 4.3 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มควาย

ส้มควายเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเนื่องจากมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ สูงอย่างมีนัยสำคัญ (Deb *et al.*, 2015; Mundugaru *et al.*, 2014a; Mundugaru *et al.*, 2014b; Modoi *et al.*, 2012) ผลส้มควายถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประโยชน์ต่อร่างกายและอาจช่วยป้องกัน หรือชะลอภาวะถูกออกซิไดซ์เกิน สมดุล (Oxidative stress) ที่ก่อให้เกิดโรค (Gogoi *et al.*, 2012; Guneshwor *et al.*, 2007) ในส่วนของการแพทย์พื้นบ้าน (Folk medicine) ส้มควายมีสรรพคุณทางยาและใช้ต่อต้านโรคต่างๆ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อส้มควายแห้งด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าประกอบด้วยกรดคาร์บอกซิลิก เอมีน เอไมด์ แลคโตน ฟีนอล และคาร์โบไฮเดรต (Mudoi *et al.*, 2012) สารสกัดจากเนื้อส้มควายสามารถต้านอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ  $H_2O_2$  free radicals ได้ และยังสามารถเป็น Reducing power ด้วย มีรายงานว่าสารสกัดจากเนื้อส้มควายมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิด Lipid peroxidation จากการเหนี่ยวนำของ  $Fe^{2+}$ -ascorbate ในตับหนู โดยประสิทธิภาพการยับยั้งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ได้รับ (Mudoi *et al.*, 2012)

Chowdhury (2014b) รายงานว่าการใช้สารละลาย 70% เมทานอล เป็นตัวทำละลายในการสกัดผลส้มควายให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ (น้ำ 80% เอทานอล อะซิโตน ไคคลอโรมีเทน) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ  $32.23 \pm 0.98$  กรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสารสกัดจากตัวทำละลายชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกับ Das และคณะ (2012) ซึ่งรายงานว่าสารสกัดเมทานอลจากผลส้มควายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดที่ได้จากน้ำและปิโตรเลียมอีเทอร์ และมีค่า 50% Inhibitory Concentration ( $IC_{50}$ ) ในการตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ออกซิเจน และไนตริกออกไซด์ เท่ากับ 50.23 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร 66.06 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และ 63.02 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ Sharma *et al.* (2013) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มควายมีความสัมพันธ์กันในทางบวก (สหสัมพันธ์ทางบวก) [ $R^2 = 0.96$ ] ขณะที่ Islam *et al.* (2015) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลส้มควายมีความสัมพันธ์กันในทางบวกน้อยมาก มีรายงานการใช้สารสกัดจากส้มควายเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในฟิล์มสำหรับเคลือบหน่อไม้ฝรั่ง (Badwaik *et al.*, 2014a) นอกจากนี้การเติมชั้นส้มควายในหน่อไม้ฝรั่งคงสามารถเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ได้ (Badwaik *et al.*, 2014b)

นอกจากนี้เปลือกผล ลำต้น และเปลือกไม้ของส้มควายยังเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นเดียวกัน Joseph และคณะ (2005) ตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเฮกเซนและคลอโรฟอร์มจากเปลือกผลส้มควายโดยวัดความสามารถในการจับอนุมูลอิสระด้วยวิธี Phosphomolybdenum พบว่าสารสกัดเฮกเซนและคลอโรฟอร์มที่ 100 ppm มีฤทธิ์ในการจับอนุมูลอิสระเท่ากับ  $1189 \pm 32.0$  และ  $1267 \pm 15.2$  มิลลิโมลาร์สมมูลย์กรดแอสคอร์บิก/กรัมของสารสกัด ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Jayaprakash และคณะ (2006) ที่รายงานว่าสารสกัดเฮกเซนและคลอโรฟอร์มจากเปลือกผลส้มควายมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจากการตรวจสอบด้วยวิธี  $\beta$ -carotene-linoleate model system พบว่า สารสกัดเฮกเซนและคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้น 500 ppm มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 60% และ 67% ตามลำดับ และเมื่อตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า สารสกัดเฮกเซนและคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้น 500 ppm มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH 45% และ 65% ตามลำดับ

ในส่วนของเปลือกไม้ส้มควายพบว่า สารสกัดอะซิโตนของเปลือกไม้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอื่นๆ (เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เมทานอล และ 90% เมทานอล) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

60% โดยน้ำหนัก และจากการตรวจสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี  $\beta$ -carotene-linoleate model system และ Superoxide radical scavenging activity พบว่าที่ความเข้มข้น 25 ppm มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 86.23% และ 62.15% ตามลำดับ (Sharma *et al.* 2014)

#### 4.4 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มแขก

ส่วนต่างๆ ของส้มแขกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน สารสกัดที่ได้จากส่วนใบ ลำต้น เปลือกไม้ ราก ผลแก่ ผลสุก และน้ำคั้นจากผลส้มแขก มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Xopchéll, 2014; Al-Mansoub *et al.*, 2013, Rabeta and Nur-Faraniza, 2013; Sangkitikomol, 2012; Nursakinah *et al.*, 2012; Chan, *et al.*, 2010; Jayaprakasha *et al.*, 2006; Μοκβελ.αυδ Ηασηναγα, 2006; Μαχκεεν *et al.*, 2000) สารสกัดในส่วนของใบ ลำต้น เปลือกไม้ และราก มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารมาตรฐาน  $\alpha$ -tocopherol โดยเมื่อวัดสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric thiocyanate method (FTC) มีฤทธิ์ยับยั้งในช่วง 64-90% และวัดด้วยวิธี Thiobarbituric acid method (TBA) มีฤทธิ์อยู่ในช่วง 87-93% (Μαχκεεν *et al.*, 2000) Abdullah (2013) รายงานว่าสารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตทจากใบส้มแขกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 113.16 มิลลิกรัมของเคอควิซิน (Quercetin)/กรัมตัวอย่างแห้ง และ มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) เท่ากับ 59.18% ซึ่งสูงกว่าสารสกัดจากลำต้นที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 20 มิลลิกรัมของเคอควิซิน/กรัมฐานแห้ง และ 54.96% ตามลำดับ ขณะที่ Jantan และคณะ (2011b) รายงานว่าสารสกัดหยาบ เมทานอลจากส่วนกิ่งของส้มแขกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าส่วนของใบและผล โดยมีปริมาณเท่ากับ 45.50 29.10 และ 4.40 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ตามลำดับ และกิ่งของส้มแขกยังมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) สูงที่สุดเท่ากับ 72.50% รองลงมาคือส่วนของผลและใบซึ่งมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 53.00% และ 46.00% ตามลำดับ จากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอลจากส้มแขกมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก

นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Rabeta และ Nur-Faraniza (2013) ที่ตรวจหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ของใบและผลส้มแขก พบว่า สารสกัดเมทานอลจากผลส้มแขกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 62.34 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100 กรัมฐานแห้ง และมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 624.17 ไมโครโมลาร์/กรัมฐานแห้ง ซึ่งสูงกว่าสารสกัดที่ได้จากใบที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 29.93 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100 กรัมฐานแห้ง และ 325.85 ไมโครโมลาร์/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ Ikram และคณะ



(2009) รายงานว่าสารสกัดเมทานอลของผลส้มแขกมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Scavenging activity) เท่ากับ 86.40% ซึ่งคิดว่าเป็นผลของพืช *Maipighia punicea*, *Flacourtia rukam*, *Psidium guajava*, *Carissa carandas*, *Ziziphus mauritiana*, *Pouteria campechiana*, *Mangifera odorata*, *Syzygium malaccense* อย่างไรก็ตามมีบางงานวิจัยรายงานว่าสารสกัดจากส้มแขกมีสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพืชสมุนไพรชนิดอื่นๆ (Abdullah, 2013; Rabeta and Nur-Faraniza, 2013; Gorinstein, *et al.*, 2011; Povichit *et al.*, 2010; Siripongvutikorn *et al.*, 2009; Kruawan and Kangsadalampai, 2006)

นอกจากนี้การเติมชั้นผลส้มแขกลงในแกงเหลืองทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Promjiam *et al.*, 2013) และการเติมสารสกัดจากผลส้มแขกในเค้กเนยสดส่งผลให้เค้กเนยสดมีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ในระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าเค้กเนยสดที่ไม่เติมสารสกัดจากผลส้มแขก (Lean and Mohamed, 1999)

## 5. ระยะเวลาเจริญของผลไม้

ในวงจรชีวิตของพืช (หรือส่วนของพืช) ตั้งแต่เกิดจนตายมีการเจริญ (Development) อยู่ตลอดเวลาทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็น เราอาจแบ่งวงจรชีวิตของพืช (หรือส่วนของพืช) ออกเป็นช่วงต่างๆ เริ่มตั้งแต่การเกิดหรือการเริ่มต้น (Initiation) ซึ่งอาจจะเป็นการปฏิสนธิ (Fertilization) ระหว่างสเปิร์มกับไข่หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพ (Differentiation) จากเนื้อเยื่อเจริญ (Meristem) ก็ได้ จากนั้นการเจริญส่วนใหญ่จะเป็นการเติบโต (Growth) หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นทางกายภาพอย่างไม่มีการกลับคืน (Irreversible) และมีการเจริญเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งการบริบูรณ์ (Maturation) จนกระทั่งพืชหรือส่วนของพืชนั้นมีความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา (Physiologically mature) ซึ่งหมายถึงช่วงหรือวัยของพืช (หรือส่วนของพืช) ที่แม้ว่าจะตัดออกจากต้นแล้วก็ยังสามารถเจริญไปเหมือนกับที่ยังอยู่บนต้นได้ หลังจากนั้นกระบวนการชราภาพก็เริ่มขึ้น การชราภาพเป็นกระบวนการที่มีการควบคุมเป็นการเจริญอย่างหนึ่ง แต่เป็นการเจริญชีวิตของพืชหรือส่วนของพืชไปสู่ความตายเป็นกระบวนการที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยบังเอิญหากแต่มีการควบคุม ในผลไม้หลายชนิดกระบวนการชราภาพนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด เช่น มีการสุก (Ripening) เกิดขึ้น ประกอบด้วย การเปลี่ยนสี การอ่อนตัว และการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล เป็นต้น (จริงแท้ สิริพานิช, 2550)

### 5.1 ดัชนีความบริบูรณ์แบบต่างๆ

ดัชนีความบริบูรณ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธี โดยทั่วไปเกษตรกรใช้ดัชนีหลายอย่างประกอบการตัดสินใจในการเก็บเกี่ยว ซึ่งทำให้เก็บเกี่ยวได้ถูกต้องตามความบริบูรณ์ของผลิตผลมากขึ้น วิธีต่างๆ นี้แยกได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ 4 กลุ่ม คือ 1. การนับระยะเวลา 2. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 3. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี 4. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งแต่ละกลุ่มมีวิธีการและความเหมาะสมกับผลิตผลแต่ละอย่างแตกต่างกันไปดังนี้

### 5.1.1 การนับระยะเวลา

การนับเวลาจากจุดใดจุดหนึ่งของการเจริญของพืชหรือส่วนของพืชจึงนำมาใช้เป็นดัชนีความบริบูรณ์ได้ ข้อดีสำหรับวิธีนี้คือ สามารถคาดคะเนล่วงหน้าได้นานว่าจะเก็บเกี่ยวเมื่อไร อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของพืชยังขึ้นกับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมเป็นอันมาก ช่วงที่มีอากาศเย็นการเจริญเติบโตเกิดขึ้นได้ช้ากว่าช่วงที่มีอากาศร้อน ดังนั้นในแต่ละฤดูกาลปลูกอายุเก็บเกี่ยวจึงอาจแตกต่างกันได้มาก การนับระยะเวลาที่นำมาใช้เป็นดัชนีความบริบูรณ์ของพืช ได้แก่ ข้าวโพดหวานพันธุ์ซูเปอร์สวีทใช้เวลาประมาณ 18 วันนับจากออกไหมก็สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวได้ ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย #4 ใช้เวลาประมาณ 100 วันนับจากดอกบานเต็มที่ก็เก็บเกี่ยวได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

### 5.1.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลายอย่างที่ยังบอกถึงความบริบูรณ์ได้ดังนี้

**5.1.2.1 สี** การเปลี่ยนสีของผลไม้เป็นดัชนีความบริบูรณ์ตามธรรมชาติที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด แต่ส่วนใหญ่การเปลี่ยนสีของผลไม้มักเกิดขึ้นเมื่อผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกแล้วและมีอายุการเก็บรักษาสั้น สีจึงเป็นดัชนีที่เหมาะสมกับผลไม้ที่ใช้ในการบริโภคใกล้กับแหล่งปลูกเท่านั้น การเปลี่ยนสีขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย ในช่วงอากาศเย็นการเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองเกิดขึ้นได้ดีกว่าในช่วงอากาศร้อน ดังนั้นการใช้สีเป็นดัชนีจึงต้องปรับเปลี่ยนไปตามฤดูกาลด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) โดยทั่วไป เมื่อผลแก่จัดหรือเริ่มสุก สีพื้นเดิม (Ground color) จะเริ่มซีดจางลงจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวยellow และเกิดสีทับ (Over color) สีต่าง ๆ เช่น สีเหลือง แดงม่วง ฯลฯ ขึ้นแทนที่ ปรากรูการณเช่นนี้เกิดจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll degradation) เป็นผลให้แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) หรือรงควัตถุอื่น แสดงความเด่นขึ้นมาทำให้ผลไม้มีสีเหลือง ซึ่งเป็นอาการของการชรา ผลไม้บางอย่างอาจมีสีแดงของแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) หรือ สีแดงของไลโคปีน (Lycopene) การเปลี่ยนแปลงสีของผลจะมีความเกี่ยวข้องกับการลดความเข้มข้นหรือปริมาณของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ภายในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ในระหว่างการสุก คลอโรพลาสต์จะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นโครโมพลาสต์ (Chromoplast) โดยจะ

เกิดการเปลี่ยนแปลงบนผนังชั้นในของคลอโรพลาสต์และเกิดการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่ทำให้เกิดเป็นสีเหลืองถึงแดง การสูญเสียคลอโรฟิลล์อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มกิจกรรมการย่อยสลายโมเลกุลของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) แต่อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ก็ไม่ได้เกิดขึ้นตลอดทั่วทั้งผล ผลไม้บางอย่างการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดจากการสูญเสียของคลอโรฟิลล์พร้อมกับการปรากฏของแคโรทีนอยด์ที่ถูกสร้างขึ้นมาก่อนแล้ว (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2552)

วิธีการบอกค่าของสีเป็นแบบ  $L^*a^*b^*$  color space หรือ อาจ เรียกว่า CIE วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน และมีการใช้ในหลากหลายสาขา โดยวิธีการนี้ค่า  $L^*$  บอกถึงค่าความสว่าง ส่วนค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เป็นค่าพิกัดของความสดใส (Chromaticity coordinates) ใน Chromaticity diagram ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  แสดงทิศทางของสี ค่า  $+a^*$  สีจะมีทิศทางไปทางสีแดง ค่า  $-a^*$  สีจะมีทิศทางไปทางสีเขียว ค่า  $+b^*$  สีจะมีทิศทางไปทางสีเหลือง และค่า  $-b^*$  สีจะมีทิศทางไปทางสีน้ำเงิน สีไม่มีความสดใสนั้น จุดศูนย์กลาง ความสดใสจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าของ  $a^*$  และ  $b^*$  ที่ห่างจากจุดศูนย์กลางมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีวิธีบอกค่าของสีเป็นแบบ  $L^*C^*h^\circ$  color space ซึ่งใช้ Diagram เดียวกับ  $L^*a^*b^*$  color space แต่ใช้จุดเริ่มเป็นแบบ Cylindrical coordinates แทนที่จะเป็นแบบ Rectangular coordinates โดยค่า  $L^*$  หมายถึงค่าความสว่างเช่นเดียวกับค่า  $L^*$  ของ  $L^*a^*b^*$  color space ค่า  $C^*$  หมายถึง ค่าความสดใส (Chroma) และค่า  $h^\circ$  เป็นค่ามุมของสี (Hue angle) โดยที่ค่าความสดใส (Chroma value) ที่จุดศูนย์กลาง มีค่าเป็น 0 และมีค่าสดใสขึ้นตามระยะที่ห่างจากศูนย์กลาง ค่ามุมของสี  $h^\circ$  เป็นมุมบนแกน  $+a^*$  มีค่าเป็นองศา โดยที่ 0 องศา แทนค่าด้วย  $+a^*$  เป็นสีแดง 90 องศา แทนค่าด้วย  $+b^*$  เป็นสีเหลือง 180 องศา แทนค่าด้วย  $-a^*$  เป็นสีเขียว และ 270 องศา แทนค่าด้วย  $-b^*$  เป็นสีน้ำเงิน (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2552)

**5.1.2.2 รูปร่าง ผลไม้หลายอย่างมีรูปร่างลักษณะเปลี่ยนไประหว่างการเจริญเติบโต เช่น กล้วย เมื่อยังเล็กรอบผิวผลจะมองเห็นเป็นเหลี่ยม 4-5 เหลี่ยมชัดเจน เหลี่ยมนี้ จะค่อยๆ หายไป จนกระทั่งเมื่อผลมีความบริบูรณ์เต็มที่ผลจึงมีลักษณะกลมมน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)**

**5.1.2.3 ขนาด** สำหรับผลไม้ขนาดเป็นดัชนีที่ไม่ดีนักเพราะขนาดของผลขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้นและปริมาณการติดผล และไม่ว่าผลเล็กหรือใหญ่ต่างก็ใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนถึงวัยบริบูรณ์ใกล้เคียงกัน ขนาดมักใช้เป็นตัวชี้ในผักหลายชนิด เช่น หน่อไม้ฝรั่ง และข้าวโพดฝักอ่อน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) โดยการเจริญของผลจะเริ่มจากการที่รังไข่ได้รับการผสม ไข่อ่อนจะพัฒนาไปเป็นเมล็ดและมีการสร้างฮอร์โมนกลุ่ม Cytokinnins ทำให้

ผนังรังไข่มีการแบ่งเซลล์ ทำให้ผลที่กำลังเจริญมีเปลือกหนาขึ้นในระยะแรก แต่ในบางครั้งขณะที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ก็มีการขยายขนาดของเซลล์ควบคู่ไปด้วยเป็นผลให้มีการเจริญมากขึ้น ในระยะต่อมาจะมีการสร้างฮอร์โมน Gibberellins ทำให้เซลล์มีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว การที่เซลล์มีจำนวนมากขึ้นและมีการขยายขนาดส่งผลให้รังไข่มีขนาดใหญ่ขึ้น (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2552)

**5.1.2.4 ความแน่น** ในผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนเนื้อแข็งมาก แต่เมื่อใกล้ความบริบูรณ์เนื้อเริ่มอ่อนตัวลง และอ่อนตัวลงมากเมื่อผลสุก ในเขตอบอุ่น (Temperate zone) เกษตรกรใช้วิธีวัดความแน่นเนื้อผลแอปเปิ้ลและสาลี่เพื่อเป็นดัชนีบอกเวลาเก็บเกี่ยวที่ได้ผลดี (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) การอ่อนตัวของผลไม้เกิดจากการสลายตัวของเพกตินบริเวณมิดเดิลลามลลาและผนังเซลล์ชั้นแรก ในขณะที่ผลไม้ยังไม่สุกเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble pectin) จะมียู่มาก เมื่อผลไม้เริ่มสุกเพกตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงและเพกตินที่ละลายน้ำ (Soluble pectin) จะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นโดยเอนไซม์ Pectin methylesterase (Pectin esterase: PE or PME) และ Polygalacturonase (PG) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลงด้วยการแยก Methyl group ออกจาก Polymer (Deesterification) จากกิจกรรมดังกล่าวจะทำให้สาย Polymer สั้นลง (Depolymerization) ส่งผลให้เพกตินที่ไม่ละลายน้ำ (Protopectin) เปลี่ยนรูปไปเป็น Galacturonic acid ซึ่งเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ เซลล์ที่เคยยึดเกาะกันแน่นในขณะที่ผลไม้ยังดิบจึงอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆ ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลง นอกจากนี้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยปกติเซลลูโลสจะสลายตัวได้ยาก เพราะผลไม้มันยังไม่สุกมักขาดเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulolytic enzyme: Cellulase) (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2552)

**5.1.2.5 การหลุดร่วงออกจากต้น** ผลไม้หลายอย่างเมื่อถึงวัยบริบูรณ์มีการสร้างเนื้อเยื่อพิเศษขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผลกับกิ่ง เนื้อเยื่อบริเวณนี้มักบอบบาง ยึดเกาะกันหลวมๆ ทำให้ผลหลุดออกจากกิ่งได้ง่ายเมื่อมีแรงจากภายนอกมาผลักดัน เช่น แคนตาลูป (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

**5.1.2.6 ปริมาณน้ำคั้น** ในระหว่างการเจริญเติบโตปริมาณน้ำในแวคิวโอล (Vacuole) ก็เพิ่มขึ้นตามอายุของผลไม้ เห็นได้ชัดในผลไม้ประเภทส้ม ทั้งนี้เพราะนอกจากปริมาณน้ำสะสมในเซลล์จะมากขึ้นแล้ว ผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้ยังอ่อนตัวลงทำให้คั้นน้ำได้มากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

**5.1.2.7 ความฉ่ำจำเพาะ** การเจริญเติบโตของผลไม้มักเริ่มต้นด้วยการขยายขนาดของเซลล์จนถึงระยะหนึ่งจึงเริ่มมีการสะสมอาหารในรูปต่างๆ เช่น น้ำตาลและแป้ง ซึ่งถูกลำเลียงมาสะสมในผลมากขึ้น น้ำหนักแห้งของผลสูงขึ้น ทำให้ความฉ่ำจำเพาะของผลสูงขึ้นและใช้เป็นดัชนีความบริบูรณ์ได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

### 5.1.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ผลไม้เมื่อมีการเจริญเติบโตปริมาณสารอาหารยังเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้ง น้ำตาล ไขมัน กรด สารสี และสารประกอบฟีนอลิก จึงมีการใช้ปริมาณสารอาหารเหล่านี้เป็นดัชนี ความบริบูรณ์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) ในระหว่างการสุกปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่จะลดลง จากการถูกใช้ไปเป็นสารประกอบของการหายใจ (Respiratory substrates) และการนำไปเป็น โครงสร้างคาร์บอน (Carbon skeleton) ของการสังเคราะห์สารชนิดใหม่ในระหว่างการสุก การลดลงของปริมาณกรดในองุ่น มีความเกี่ยวข้องกับการเข้าสู่ระยะการสุกและการสะสมน้ำตาล แต่การลดลงของปริมาณกรดในระหว่างการสุกไม่ได้เกิดขึ้นกับผลไม้ทุกชนิด ในกล้วยมีการเพิ่ม ปริมาณกรดมาลิก และลดความเป็นกรดต่าง (pH) ลง จาก 5.4 เป็น 4.5 (สังคม เตชะวงค์เสถียร, 2552)

### 5.1.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

เมตาบอลิซึมของผักและผลไม้ที่มีวัยต่างกันย่อมไม่เท่ากัน ที่เห็นได้ชัดได้แก่ ผลไม้ประเภท Climacteric เมื่อผลบริบูรณ์มีการสร้างเอทิลีนและมีการหายใจสูงขึ้น เอทิลีนภายใน ผลมีความเข้มข้นสูงขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยานี้จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ใน การตรวจสอบความบริบูรณ์ของผลไม้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

## 6. กระบวนการทำแห้ง (Dehydration process)

การทำแห้ง (Dehydration) เป็นการลดความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารลง จนทำให้อาหารสามารถเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิห้องได้ (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2543) โดยกลไก การทำแห้ง คือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารซึ่งมีความชื้นสูง ความร้อนจะถูกถ่ายเท ไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะ แพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ทั้งนี้สภาวะในการทำแห้งอาหารด้วย ลมร้อนก็มีผลต่อสมบัติของอาหาร ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น การเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำและทำให้การแพร่ของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย (Fellows, 2000)

### 6.1 การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

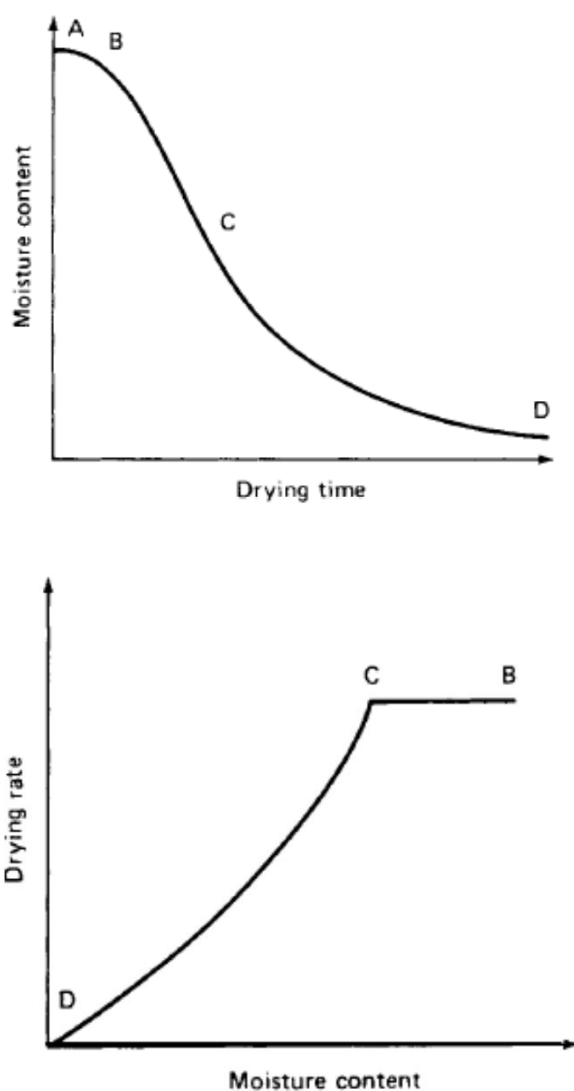
การทำแห้งอาหารด้วยลมร้อนเป็นการใช้ความร้อนในสภาวะควบคุม เพื่อกำจัดน้ำที่อยู่ใน อาหารออก โดยการระเหยซึ่งมีเป้าหมายหลักเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลด ค่า วอเตอร์แอกติวิตีจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารไม่สามารถ เจริญเติบโตได้ รวมทั้งปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาจากเอนไซม์ในอาหารไม่สามารถเกิดกิจกรรมได้ ทำให้อาหารมีการเสื่อมเสียช้าลง (Fellows, 2000)

ตามทฤษฎีการทำแห้งอาหารด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะอุณหภูมิและทิศทางการไหลของอากาศผ่านผิวหน้าอาหารคงที่ เมื่อนำข้อมูลปริมาณความชื้นของอาหารและเวลาในการทำแห้ง มาเขียนกราฟการทำแห้ง (Drying curve) จะแสดงกระบวนการทำแห้งแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

(1) ช่วงเริ่มต้นการทำแห้ง (Setting down period) หรือช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period) (ช่วง AB Figure 4) เป็นช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อเริ่มนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง อาหารปรับตัวให้มีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน ทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศในการทำแห้ง อัตราการทำแห้งจะต่ำและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

(2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant rate period) (ช่วง BC ภาพที่ 5) เป็นช่วงที่ความชื้นที่ผิวหน้าอาหารอยู่ในสภาวะอิ่มตัว อุณหภูมิผิวหน้าอาหารมีค่าคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ปริมาณความร้อนที่อาหารได้รับเท่ากับที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากอาหาร น้ำจากด้านในของอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าอาหารจึงยังเปียกอยู่ความชื้นในอาหารจะลดลงอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) คือความชื้นสุดท้ายของอาหารก่อนการเปลี่ยนแปลงอัตราการทำแห้งไปสู่ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (จุด C Figure 4)

(3) ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling rate period) (ช่วง CD Figure 4) เมื่อความชื้นที่อยู่ในอาหารเหลือน้อยและเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าอาหารช้าลง ในขณะที่อากาศยังคงถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารในปริมาณคงที่ ทำให้อุณหภูมิจึงผิวหน้าอาหารสูงขึ้น รูปทรงบนผิวหน้าอาหารเริ่มแห้งตึบลง ทำให้ความชื้นที่เหลือในอาหารเคลื่อนที่ออกมาได้ยากขึ้น ประกอบกับตัวถูกละลายในอาหารที่ความชื้นขึ้นมาที่ผิวหน้าอุดรูอาหาร ทำให้เกิดเปลือกแข็ง อัตราการทำแห้งจะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) คือความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นของอากาศแห้ง ซึ่งจะไม่สามารถลดความชื้นในอาหารต่อไปได้ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งขณะนั้น ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงอัตราเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าอาหารจึงแห้ง (สุธีรา เสาวภาคย์ และคณะ, 2553)



**Figure 4.** Hot-air drying curve

ที่มา : Fellows (2000)

Ruttirut และ Siripatana (2006) รายงานว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1.2 เมตร/วินาที เหมาะสมต่อการทำแห้งผลส้มแขกขนาด ชั้นหนา 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร ซึ่งใช้เวลาในการทำแห้ง 199, 256, 427 นาที ตามลำดับ

อัญชลี ศิริโชติ และบุปผา จงปัญญาเลิศ (2560) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง ด้วยตู้อบแบบสูญญากาศต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยนำชิ้นส้มแขกจากผลสีเขียว (90 วัน หลังติดผล) และผลสีเหลือง (102 วัน หลังติดผล) ที่ผ่านการแช่และไม่แช่สารละลาย 0.5%  $\text{CaCl}_2$

แต่ละชุดการทดลองนำมาอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส (22 มิลลิเมตรปรอท) อบแห้งจนมีปริมาณความชื้นเป้าหมายเป็น 7% พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งขึ้นสัมชกแห้ง มีปริมาณความชื้นประมาณ 7% ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 14.8 10.0 และ 5.4 ชั่วโมง ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ให้ขึ้นสัมชกอบแห้งที่ได้มีปริมาณของกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนที่เหมาะสมกว่าชุดการทดลองอื่น โดยมีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนอยู่ในช่วง 15.07-24.99 กรัม/100 กรัม, ฐานแห้ง และ 3.99-6.19 กรัม/ 100 กรัม, ฐานแห้ง ตามลำดับ งานวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดอุณหภูมิในการอบแห้ง เท่ากับ 51 องศาเซลเซียส

## 6.2 ผลของการทำแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

กระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อน นอกจากทำให้ผลไม้ไม่มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลง ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้สด การเปลี่ยนแปลงหลักที่เกิดขึ้นกับผลไม้ที่ทำแห้งด้วยลมร้อน ดังนี้

**6.2.1 เนื้อสัมผัส** ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อน จะมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นและเหนียวขึ้น โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออาหารมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและอัตราการแห้งที่ต่ำกว่า

**6.2.2 สี** ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนมักมีสีคล้ำ มีสีน้ำตาลมากขึ้น ทั้งนี้มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้จากการทำแห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่า (วิลโลว์ รังสาทอง, 2543) สำหรับอาหารอบแห้งส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวของน้ำตาลรีดิวซ์กับสารอะมิโนที่เป็นอิสระของกรดอะมิโนเปปไทด์หรือโปรตีน เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นจะเกิดอย่างต่อเนื่องและซับซ้อนมากขึ้น โดยเริ่มจากการเกิดสารประกอบ Sugar amine จากนั้นมีการสูญเสียน้ำเกิดการจัดโครงสร้างเป็นวง เกิดการแตกสลายของพันธะจนกระทั่งถึงขั้นสุดท้ายซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดสารพอลิเมอร์หลายชนิด จะได้สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีสีน้ำตาลเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidin) (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2557)

**6.2.3 กลิ่นรส** ความร้อนในการทำแห้งผลไม้ทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการสูญเสียสารหอมระเหยได้ (วิลโลว์ รังสาทอง, 2543)

**6.2.4 คุณค่าทางโภชนาการ** คุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของผลไม้คือ วิตามินและเกลือแร่ โดยเฉพาะวิตามินซีจะสูญเสียได้ง่ายเพราะไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน



การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เวลาสั้น และป้องกันการออกซิเดชันของอาหาร ช่วยลดการสูญเสียวิตามินในผลไม้แห้งได้ (วิไล รังสาตทอง, 2545)

### 6.3 ผลของการทำแห้งต่อความคงตัวของสารต้านออกซิเดชันในพืช

Larrauri และคณะ (1997) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการคงตัวของ โพลีฟีนอล และการต้านออกซิเดชันขององุ่นแดงโดยใช้การทำแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60, 100 และ 140 องศาเซลเซียส พบว่าผลจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และ 140 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลและแทนนินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ยังรายงานว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยวิธี freeze dry

## 7. โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

เทคนิค HPLC สามารถใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ทั้งในรูป โมเลกุลและ ไอออน สามารถวิเคราะห์สาร โมเลกุลขนาดใหญ่ โดยสารที่วิเคราะห์ต้องสามารถละลายได้ในสารละลายตัวชะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านต่างๆ เช่น ด้านผลิตภัณฑ์ยา ด้านชีวเคมี ผลิตภัณฑ์อาหาร เคมีภัณฑ์ ด้านสิ่งแวดล้อม สารพิษตกค้าง สารเสพติด และด้านการตรวจทางคลินิก เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่อง HPLC เป็นวิธีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถวิเคราะห์สารหลายชนิดที่ผสมกันได้พร้อมกัน (แมน อมรสิทธิ์ และคณะ, 2553)

อรรถพล กิจวิวัฒนาชัย และ อภิศักดิ์ นุ่มนาม (2538) ศึกษาปริมาณกรดทั้งหมดที่มีในผล ส้มแขกโดยใช้ HPLC ในการตรวจสอบ ด้วยคอลัมน์ Dowex 1 formate มีกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) เป็นโมบายเฟส ที่อัตราเร็ว 0.80 มิลลิลิตร/ นาที ความดัน 1000 Psi พบว่ามีกรดอินทรีย์ในสารสกัด ส้มแขก 5 ชนิด ได้แก่ Citric acid liked substance 73.97%, Succinic acid 8.97%, Tartaric acid 8.38%, Malic acid 3.75% และกรดอินทรีย์อื่นๆ 4.92%

Vinh และคณะ (2011) สกัดกรด (-)(-) ไฮดรอกซีซิตรีค จากเปลือกผลแห้งของ *Garcinia oblongifolia* และใช้ HPLC ในการตรวจวิเคราะห์ โดยใช้คอลัมน์ RP18 analytical column มีสารละลาย 0.1% กรดฟอสฟอริกเป็น โมบายเฟส ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที และตรวจวัดด้วย UV detector ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร พบว่าในตัวอย่าง 100 กรัม เปลือกผลแห้งมีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิตรีค อยู่ 10.137 กรัม

Kumar และคณะ (2013) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กรดไฮดรอกซีซิทริก แลกโตน ใน *Garcinia indica* โดยใช้ HPLC ในการตรวจสอบ ด้วยคอลัมน์ Water Sunfire C<sub>18</sub> โมบายเฟส คือ 30% สารละลาย A (อะซีโตนในไตรล์ : น้ำ, 90:10 v/v) และ 70% สารละลาย B (เมทานอล : กรดแอสซิติค, 99.5:0.5 v/v) ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตร/นาที ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร ด้วย Photo diode array (PDA) detector พบว่า ในส่วนเปลือกผลมีกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน มากที่สุด คือ  $191.28 \pm 5.98$  มิลลิกรัม/กรัม รองลงมาคือ ใบ เมล็ด และเปลือกลำต้น โดยมีปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $75.44 \pm 4.46$ ,  $61.56 \pm 3.92$  และ  $55.68 \pm 2.41$  มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเจริญของผลที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขกขึ้นบางอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาเวลาการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและส้มแขกขึ้นบาง

## บทที่ 2

### วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

#### วัสดุอุปกรณ์

#### วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้แบ่งระยะการเจริญของผลส้มควายและส้มแขกโดยกำหนดระยะการเจริญจากข้อมูลศึกษาเบื้องต้นและใช้วิธีนับจำนวนวันหลังติดผลเป็นเกณฑ์

#### 1. ส้มควาย

ทำการผูกป้ายเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลส้มควายจากสวนในเขต ตำบล เทพษัตรี อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต โดยเริ่มนับวันหลังส้มควายติดผลเป็นเวลา 15, 45, 75, 105 และ 120 วัน (ระยะที่ 1, 2, 3, 4 และ 5) วัดขนาดและสุ่มเก็บตัวอย่างผลส้มควายในแต่ละระยะ ( $n = 20$ ,  $5 \times 20 = 100$ ) บรรจุลงกล่อง โฟมที่ให้ความเย็นด้วยน้ำแข็ง ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

#### 2. ส้มแขก

ทำการผูกป้ายเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลส้มแขกจากสวนในเขต ตำบลทุ่งตำเสา อำเภอลำดวน จังหวัดสงขลา โดยเริ่มนับวันหลังส้มแขกติดผลเป็นเวลา 15, 45, 75, 105 และ 120 วัน (ระยะที่ 1, 2, 3, 4 และ 5) วัดขนาดและสุ่มเก็บตัวอย่างผลส้มแขกในแต่ละระยะ ( $n = 20$ ,  $5 \times 20 = 100$ ) บรรจุลงกล่อง โฟมที่ให้ความเย็นด้วยน้ำแข็ง ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

#### วัสดุและสารเคมี

- ขวดแก้วสีชา ฝาเกลียว ปริมาตรบรรจุ 4 มิลลิลิตร สำหรับบรรจุสารสกัด
- Absolute ethanol (Merck, Germany)
- Methanol HPLC grade (Lab Scan, Thailand)
- Water HPLC grade (Prolabo, France)
- (-)-Hydroxycitric Acid Calcium Salt Standard (Wako Pure, Japan)
- (+)-Garcinia acid, (-)(-)hydroxycitric lactone standard (Sigma-Aldrich, USA)
- DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) [Sigma, Germany]
- BHT (Butylhydroxytoluene) (Fluka, Germany)
- Folin-Ciocalteu phenol reagent (Merck, Germany)
- Sodium carbonate anhydrous (Ajax Finechem, Australia)
- Gallic acid (Sigma-Aldrich, Germany)

## อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ
  - 1.1 ตู้อบลมร้อน ชนิดถาดหมุน (Rotary air dryer) คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
  - 1.2 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน ยี่ห้อ Brother ประเทศไทย
  - 1.3 อุปกรณ์เครื่องครัว
2. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ
  - 2.1 เครื่องวัดขนาด (Vernier caliper) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CD-15CP ประเทศญี่ปุ่น
  - 2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver instrument รุ่น S-6002 ประเทศเยอรมัน
  - 2.3 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-10 ประเทศญี่ปุ่น
  - 2.4 เครื่องวัดแรงดึงแรงกดแบบดิจิทัล (*Digital force gauge*) ยี่ห้อ Chatillon® รุ่น DFX-100 ประเทศสหรัฐอเมริกา พร้อมเครื่องยึดเครื่องตรวจวัด ยี่ห้อ Nextech® รุ่น SMD IKN ประเทศไทย
  - 2.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ
3. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมี
  - 3.1 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM 100-800 ประเทศเยอรมนี
  - 3.2 เครื่องเซนตริฟิวส์ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ยี่ห้อ Beckman Coulter รุ่น Avanti J-E ประเทศสหรัฐอเมริกา
  - 3.3 เครื่องไมโครเพลทริคเตอร์ ยี่ห้อ Biotek รุ่น Power Wave X ประเทศสหรัฐอเมริกา
  - 3.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver instrument รุ่น TP214 ประเทศเยอรมัน
  - 3.5 เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi รุ่น R-205 ประเทศไทย
  - 3.6 เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Agilent รุ่น Agilent 1100 Series HPLC ประเทศเยอรมนี
  - 3.7 เครื่องโฮโมจีไนซ์ (*Homogenizer*) ยี่ห้อ Yellow Line รุ่น DI 18 B ประเทศเยอรมนี

## วิธีการ

### 1. ศึกษาผลของระยะเจริญของผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการ

#### 1.1 ลักษณะใบ ดอก และผล ของส้มควายและส้มแขก

ส้มควายและ ส้มแขกจะถูกจำแนกลักษณะ โครงสร้าง ทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น เพื่อแยกความแตกต่างของแต่ละสายพันธุ์จากลักษณะของ ใบ ดอก และผล ตามข้อมูลของ Dweck (2014) และ Patiri และ Borah (2007)

#### 1.2 สมบัติทางกายภาพ

##### 1.2.1 น้ำหนัก (กรัม) ของผลส้มควายและส้มแขกแต่ละระยะเจริญ

1.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร) ของผลส้มควายและส้มแขกแต่ละระยะเจริญ

##### 1.2.3 ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของผลส้มควายและส้มแขกแต่ละระยะเจริญ

ด้วยเครื่องวัดแรงดึงแรงกดแบบดิจิทัล วัดค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของผลสด โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตร/วินาที

1.2.4 ค่าสีของผลในระบบ CIE รายงานในรูปค่า  $L^* a^* b^*$  และคำนวณค่า hue angle ( $h^\circ$ ) และ chroma ( $C^*$ ) ตามวิธีการของ Guine and Barroca (2012) ดังนี้:

$$h^\circ = \arctg(b^*/a^*), \text{ for } a^* > 0; b^* > 0$$

$$h^\circ = 180 + \arctg(b^*/a^*), \text{ for } a^* < 0; b^* > 0$$

$$h^\circ = 270 + \arctg(b^*/a^*), \text{ for } a^* < 0; b^* < 0$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

#### 1.3 สมบัติทางเคมี

##### 1.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผลส้มควายและส้มแขกแต่ละระยะเจริญ ไปล้างด้วยน้ำประปา ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นตามยาวความหนา 0.60-1.76 มิลลิเมตร จากนั้นบดให้เป็นผงด้วยลิกวิดไนโตรเจน (liquid nitrogen) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส นานไม่เกิน 60 วัน เพื่อรอนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

##### 1.3.2 ปริมาณความชื้น (%) [A.O.A.C., 2000]

##### 1.3.3 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (%) [A.O.A.C., 2000]

เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิตร ในตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้นแล้วนำไปปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ แล้วกรองด้วยตะแกรงขนาด 32 เมช จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล และใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.1% เป็นอินดิเคเตอร์ รายงานค่าในรูปกรดซิตริก (%)

### 1.3.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ดัดแปลงวิธีการของ Miliauskas และคณะ (2004) โดยใช้ Folin–Ciocalteu reagent วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานรายงานค่าในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง (mg GAE/g db)

### 1.3.5 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูล DPPH

โดยดัดแปลงวิธีการของ Yamasaki และคณะ (1994) ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร และใช้ Butylated hydroxytoluene (BHT) เป็นสารมาตรฐาน รายงานค่าในรูป  $EC_{50}$  ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (mg/ml) ที่ไปลดความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลง 50% จากความเข้มข้นของสารละลาย DPPH เริ่มต้น

### 1.3.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

นำผลการทดลองจากข้อ 1.3.4 และ 1.3.5 มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient; r) ตามวิธีการของ Al-Mansoub และคณะ (2013)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH ดังแสดงในภาคผนวก

### 1.3.7 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการทดลองในข้อ 1.2 และ 1.3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลอง แต่ละชุดการทดลอง วิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรม SPSS for Windows version 17

## 2. การศึกษาผลของระยะเวลาเจริญของผลและเวลาอบแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพเคมี และการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มควายและส้มแขกสดและชิ้นบางแห้ง

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผลส้มควายและส้มแขกในแต่ละระยะการเจริญมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นบาง (ความหนาเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร) เรียงชั้นส้มควายชั้นเดียว (Single layer) น้ำหนัก 500 กรัม ต่อถาด (ขนาด 60×60 เซนติเมตร) นำอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนที่ อุณหภูมิ 51 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก อัญชลี ศิริโชติ และ นุปผา จงปัญญาเลิศ, 2560) สุ่มตัวอย่างที่เวลาอบแห้ง 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ

สมบัติการต้านอนุมูล DPPH และ สุ่มตัวอย่างขึ้น ส้มควายและ ส้มแขกที่อบแห้งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง วัดค่าสี ค่าแรงตัด ปริมาณความชื้น และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขึ้น ส้มควายและ ส้มแขกระหว่างการอบแห้ง

สุ่มวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของขึ้น ส้มควายและ ส้มแขกแห้งทุก 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง โดยวิธีการของ A.O.A.C. (2000) นำผลความชื้นที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างความชื้นกับเวลาอบแห้ง แล้วหาอัตราการอบแห้งจากค่าความชื้นของกราฟ

## 2.3 สมบัติทางกายภาพของผลส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง

### 2.3.1 ค่าแรงตัด

นำขึ้น ส้มควายและ ส้มแขกบางหลังอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง มาวัดค่าแรงตัด (นิวตัน) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA-XT2i, Stable Micro System, UK) โดยใช้ใบมีด Warner-Bratzler อัตราเร็ว 2 มิลลิเมตร/วินาที

### 2.3.2 ค่าสี

วัดค่าสีของส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่ 8 ชั่วโมงในระบบ CIE รายงานในรูปค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  และคำนวณค่า hue angle ( $h^\circ$ ) และ chroma ( $C^*$ ) ตามที่แสดงไว้ในข้อ 1.2.4

## 2.4 สมบัติทางเคมีของส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้ง

### 2.4.1 ปริมาณความชื้น (%) [A.O.A.C., 2000]

หาปริมาณความชื้นของส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่เวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามวิธีการในข้อ 1.3.2

### 2.4.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (%) [A.O.A.C., 2000]

หาปริมาณความกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของ ส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่เวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามวิธีการในข้อ 1.3.3

### 2.4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ ส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่เวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามวิธีการในข้อ 1.3.4

### 2.4.4 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูล DPPH

วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูล DPPH ของส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่เวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามวิธีการในข้อ 1.3.5

2.4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มควายและ ส้มแขกขึ้นบางอบแห้ง

นำผลการทดลองจากข้อ 2.4.3 และ 2.4.4 มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient;  $r$ ) ตามวิธีการในข้อ 1.3.6

### 2.5 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการทดลองในข้อ 2.2, 2.3 และ 2.4 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลองแต่ละชุด การทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรม SPSS for Windows version 17

**3. ศึกษาปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนของผลส้มควายและ ส้มแขกสดและชิ้นบางอบแห้ง** (ดัดแปลงจาก Jayaprakasha *et al.*, 2003 และ Jena *et al.*, 2002 อ้างโดย อัญชลี ศิริโชค และบุปผา จงปัญญาเลิศ, 2560)

#### 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผลส้มควายและส้มแขกในระยะเจริญที่ 4 และ 5 มาทำการศึกษาในขั้นตอนนี้ เนื่องจากระยะเวลาเจริญอื่นๆ มียางของผลจำนวนมาก ทำให้ยากต่อการนำไปสกัดเพื่อศึกษาปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน โดยเริ่มจากเตรียมและอบแห้งตามวิธีการในข้อ 2.1 จนได้ปริมาณความชื้นประมาณ 12% นำตัวอย่างส้มควายและส้มแขกทั้งชิ้นสดและอบแห้งในระยะเจริญที่ 4 และ 5 ไปกำจัดน้ำออกด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) และบดให้เป็นผงโดยใช้ลิกวิดไนโตรเจน สกัดตัวอย่างด้วย Soxhlet extractor นาน 8 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายเมทานอลเป็นตัวทำละลาย และใช้อัตราการสกัดที่ 60-80 หยด/นาที่ นำสารสกัดที่ได้กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ จากนั้นเตรียมสารละลายเข้มข้นที่ได้ตามวิธีการของ Jana *et al.* (2002a) และนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ด้วยเครื่อง HPLC ต่อไป

#### 3.2 การหาปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 3.1 1 มิลลิลิตร มาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่าน syringe filter nylon 0.22 ไมโครเมตร นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ปริมาณ HCA และ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ด้วยเครื่อง reversed-phase HPLC โดยใช้คอลัมน์ C18 (a LiChroCART® 250-4 HPLC-Cartridge) ตามวิธีการของ Jena *et al.* (2002a) เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานของกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ดังแสดงในภาคผนวก



### 3.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการทดลองในข้อ 3.2 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลอง แต่ละชุดการทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรม SPSS for Windows version 17

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 3. ผลของระยะเจริญของผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการ

##### 3.1 ลักษณะใบ ดอก และผล ของส้มควายและส้มแขก

ส้มควายและส้มแขกเป็นพืชตระกูลคาร์ซีเนียที่พบได้ทางภาคใต้ของประเทศไทยซึ่งมีลักษณะของ ใบ ดอก และผล ที่แตกต่างกันตามแต่ละสายพันธุ์ โดยส้มควายมีลักษณะของ ใบ ดอก และผล ดังนี้ ใบมีสีเขียวอ่อน รูปร่างแผ่นใบรูปใบหอก มีเส้นกลางใบขนาดใหญ่เห็นชัดเจน ดอกไม่สมบูรณ์เพศ ดอกตัวเมียเป็นดอกเดี่ยวสีเขียวอ่อน ผลมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 เซนติเมตร มีร่องตามแนวขั้วผล ไปยังปลายผล ส่วนส้มแขกมีลักษณะของใบ ดอก และผลดังนี้ ใบมีสีเขียวเข้ม ลักษณะเป็นใบเดี่ยวออกตรงข้ามกันเป็นคู่ ปลายใบเรียวแหลม โคนใบรูปลิ้ม เส้นใบละเอียด กลีบดอกไม่สมบูรณ์เพศ มีสีแดง มีขนาดใหญ่กว่ากลีบเลี้ยง ผลเป็นแบบผลเดี่ยว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร มีร่องตามแนวขั้วผล ไปยังปลายผล ดังแสดงใน Table 6

##### 3.2 สมบัติทางกายภาพ

###### 3.2.1 ผลส้มควาย





จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลสดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้มควายในระยะการเจริญที่แตกต่างกัน (Table 7, Figure 5) พบว่า เมื่อระยะการเจริญของผลเพิ่มขึ้นน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ( $p < 0.05$ ) โดยผลส้มควายในระยะที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด เท่ากับ 608.64 กรัม และ 108.91 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าผลส้มควายระยะที่ 1 มีน้ำหนักคิดเป็น 28% ของน้ำหนักผลส้มควายระยะที่ 5 และยังพบว่าผลส้มควายระยะที่ 5 ระยะเริ่มสุกจะปรากฏร่องตามแนวขั้วผลไปยังปลายผลเด่นชัดกว่าระยะที่ 1

ค่าความแน่นเนื้อของผลส้มควายสดจากระยะการเจริญที่ 5 มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 11.47 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความแน่นเนื้อของผลส้มควายจากระยะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 7 แสดงให้เห็นว่าผลส้มควายเมื่อสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มลง เนื่องจากในระหว่างการสุกของผลไม่มีการเสื่อมสลายของผนังเซลล์หรือของสารที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริเวณของ middle lamella จากการย่อยของเอนไซม์ชนิดต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)



**Table 6.** Botanical information of *G. pedunculata* and *G. atroviridis*

	<i>G. pedunculata</i>		<i>G. atroviridis</i>	
	Literature review	Research result	Literature review	Research result
Botanical name	<i>Garcinia pedunculata</i>	<i>Garcinia pedunculata</i> Roxb.	<i>Garcinia atroviridis</i>	<i>Garcinia atroviridis</i> Griff. ex T. Anderson
Family	Guttiferae	Guttiferae	Guttiferae	Guttiferae
Common name	Somkhaek, Somkhwai	Somkhwai	Ma Khaam Khaek, Som Ma Won, Som Pha Ngun, Aa-Sae Ka-Luu-Ko, Somkhaek and Somkhwai	Somkhaek
Source	Trang, Nakon Si Thammarat, Phangnga and Phuket Provinces	Phuket Provinces, Thailand	Songkhla, Yala, Pattani and Narathiwat Provinces, Thailand	Songkhla Provinces
Elevation	-	~10 m high.	6-12 m high.	~16 m high.
Habitat	Tropical plants, large evergreen tree	Tropical plants, large evergreen tree	Tropical plants, large evergreen tree	Tropical plants, large evergreen tree
Leaf	Leaves lanceolate, midrib stout	Bright greenish leaves of lanceolate structure containing quite large principal vein (Midrib), obvious lateral vein	Dark green leaves, shinny, long narrow with a pointed tip and upturned edges	Dark greenish and oblong leaves, quite obvious midrib, quite thin lateral vein

**Table 6.** Botanical information of *G. pedunculata* and *G. atroviridis* (continued)

		<i>G. pedunculata</i>		<i>G. atroviridis</i>	
		Literature review	Research result	Literature review	Research result
Leaf	(Not present)			(Not present)	
Flower	The female flowers are solitary.		<p>Imperfect flower, light greenish female solitary flower</p> 	<p>The flowers are terminal, dark red, solitary female flower.</p> 	<p>Imperfect flower, dark red female solitary flower</p>

**Table 6.** Botanical information of *G. pedunculata* and *G. atroviridis* (continued)

		<i>G. pedunculata</i>		<i>G. atroviridis</i>	
		Literature review	Research result	Literature review	Research result
			Simple fruit and round shape with 10-12 cm in diameter, no sepal on fruit, slight longitudinally grooved by 5 to 6.	The round yellow to orange fruit with 7-10 cm in diameter, heavy, longitudinally grooved by 12 to 16 and flattened at the apex., thin translucent pulp surrounding the seeds	Simple fruit and round shape with 9-10 cm in diameter, having sepal on fruit, heavy longitudinally grooved by 10-12
Fruit	Yellow to orange fruit, globose, 8-12 cm in diameter with fleshy aril.				

เมื่อพิจารณาค่าสีของผลส้มควายสด พบว่าเมื่อระยะเวลาการเจริญของผลเพิ่มขึ้น ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยส้มควายจากระยะที่ 5 มีค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  มากที่สุด ( $p < 0.05$ ) คือ 64.72, 3.33, 31.81 และ 32.00 ตามลำดับ (Appendix Table 1, Figure 5) และมีค่า  $h^\circ$  เท่ากับ 84.03 ซึ่งน้อยกว่าค่า  $h^\circ$  ของผลส้มควายจากระยะอื่นๆ (Table 7, Figure 5) สอดคล้องกับค่าสีระบบ CIE ที่แสดงความเข้มของสีเหลืองเมื่อค่า  $b^*$  แสดงเป็นค่าบวกหรือ  $C^*$  มีค่ามาก หรือ  $h^\circ$  มีค่าน้อย (Mashabela *et al.*, 2015) ผลส้มควายจากระยะที่ 5 จึงมีสีเหลืองมากกว่าสีของผลส้มควายจากระยะอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงของค่าสีแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเจริญของผลเพิ่มขึ้นผลส้มควายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวเหลืองและสีเหลืองเข้มจากระยะที่ 5 ซึ่งบ่งบอกการสุกของผลส้มควาย ทั้งนี้ในระหว่างการสุกของผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเป็นผลมาจากระหว่างการสลายตัวของคลอโรฟิลล์สลายตัวไปในขณะที่แคโรทีนอยด์ถูกสังเคราะห์มากขึ้นหรือมีปริมาณคงเดิม (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

### 1.2.2 ผลส้มแขก

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลสดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้มแขกในระยะเวลาเจริญที่แตกต่างกัน (Table 8, Figure 6) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเจริญของผลเพิ่มขึ้นน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลส้มควาย ( $p < 0.05$ ) โดยผลส้มแขกในระยะเวลาเจริญที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด เท่ากับ 394.19 กรัม และ 97.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าผลส้มควายระยะที่ 1 มีน้ำหนักคิดเป็น 13% ของน้ำหนักผลส้มแขกระยะที่ 5 ผลส้มแขกสดจากระยะการเจริญที่ 5 มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 7.64 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความแน่นเนื้อของผลส้มแขกจากระยะอื่นๆ ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 8 แสดงให้เห็นว่าผลส้มแขกเมื่อสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มลง เช่นเดียวกับผลส้มควาย ค่าสีของผลส้มแขกสด (Appendix Table 2, Table 8, Figure 6) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเจริญของผลเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า  $h^\circ$  มีแนวโน้มลดลง และสังเกตได้ว่าผลส้มแขกสดระยะเจริญที่ 5 มีค่า  $b^*$  มากที่สุด และค่า  $h^\circ$  น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มแขกในระยะเวลาเจริญอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 30.84 และ 92.54 ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าสีระบบ CIE ที่แสดงความเข้มของสีเหลือง

## 1.3 สมบัติทางเคมี

### 1.3.1 ผลส้มควาย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของผลส้มควายสด พบว่า ผลส้มควายสดแต่ละระยะการเจริญมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 88.59-90.51% และมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 9 ในแต่ละระยะเจริญ โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มควายระยะที่ 1 มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 17.03-

**Table 7.** Physical properties of each maturity stage of fresh *G. pedunculata* fruit

Maturity stages	Weight (g)	Diameter (mm)	Firmness (N)	Colour values	
				Hue angle (h <sup>o</sup> )	Chroma (C*)
1	167.88±33.57 <sup>d</sup>	71.01±4.81 <sup>d</sup>	15.14±0.66 <sup>a</sup>	116.22±2.85 <sup>ab</sup>	25.78±2.80 <sup>b</sup>
2	315.11±51.04 <sup>c</sup>	88.93±4.81 <sup>c</sup>	15.17±0.77 <sup>a</sup>	117.17±1.67 <sup>a</sup>	23.33±1.68 <sup>c</sup>
3	468.34±64.55 <sup>b</sup>	98.32±6.57 <sup>b</sup>	15.61±0.99 <sup>a</sup>	115.46±2.20 <sup>b</sup>	20.40±1.75 <sup>d</sup>
4	512.26±145.60 <sup>b</sup>	106.20±10.19 <sup>a</sup>	15.30±1.34 <sup>a</sup>	101.04±2.58 <sup>c</sup>	24.40±1.60 <sup>c</sup>
5	608.64±65.05 <sup>a</sup>	108.91±8.48 <sup>a</sup>	11.47±1.71 <sup>b</sup>	84.03±2.31 <sup>d</sup>	32.00±1.56 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

The hue angle is expressed in degrees and is a measure of color that, for example, from 45-90° spans from reddish-orange to yellow, from 90-135° spans from yellow to yellow-greenish.

The chroma is a degree of departure from gray toward pure chromatic color.



**Figure 5** *G. pedunculata* fruits of each maturity stage; 1<sup>st</sup> maturity stage (a), 2<sup>nd</sup> maturity stage (b), 3<sup>rd</sup> maturity stage (c), 4<sup>th</sup> maturity stage (d) and 5<sup>th</sup> maturity stage (e)



**Table 8.** Physical properties of each maturity stage of fresh *G. atroviridis* fruit

Maturity stages	Weight (g)	Diameter (mm)	Firmness (N)	Color values	
				Hue value (h <sup>o</sup> )	Chroma (C*)
1	50.28±8.01 <sup>c</sup>	49.43±3.15 <sup>c</sup>	11.83±0.71 <sup>b</sup>	110.85±1.03 <sup>b</sup>	32.30±1.04 <sup>a</sup>
2	154.07±17.89 <sup>b</sup>	73.61±2.51 <sup>b</sup>	12.22±0.81 <sup>a</sup>	115.15±2.71 <sup>a</sup>	25.49±2.36 <sup>b</sup>
3	312.95±25.00 <sup>a</sup>	96.77±3.11 <sup>a</sup>	11.33±0.38 <sup>c</sup>	116.76±2.99 <sup>a</sup>	20.10±2.05 <sup>c</sup>
4	328.79±88.47 <sup>a</sup>	95.56±10.17 <sup>a</sup>	11.81±0.55 <sup>b</sup>	109.72±2.88 <sup>b</sup>	25.23±2.84 <sup>b</sup>
5	394.19±80.80 <sup>a</sup>	97.12±5.67 <sup>a</sup>	7.64±0.33 <sup>d</sup>	92.54±1.13 <sup>c</sup>	30.87±1.15 <sup>a</sup>

<sup>a-e</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different (p<0.05).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

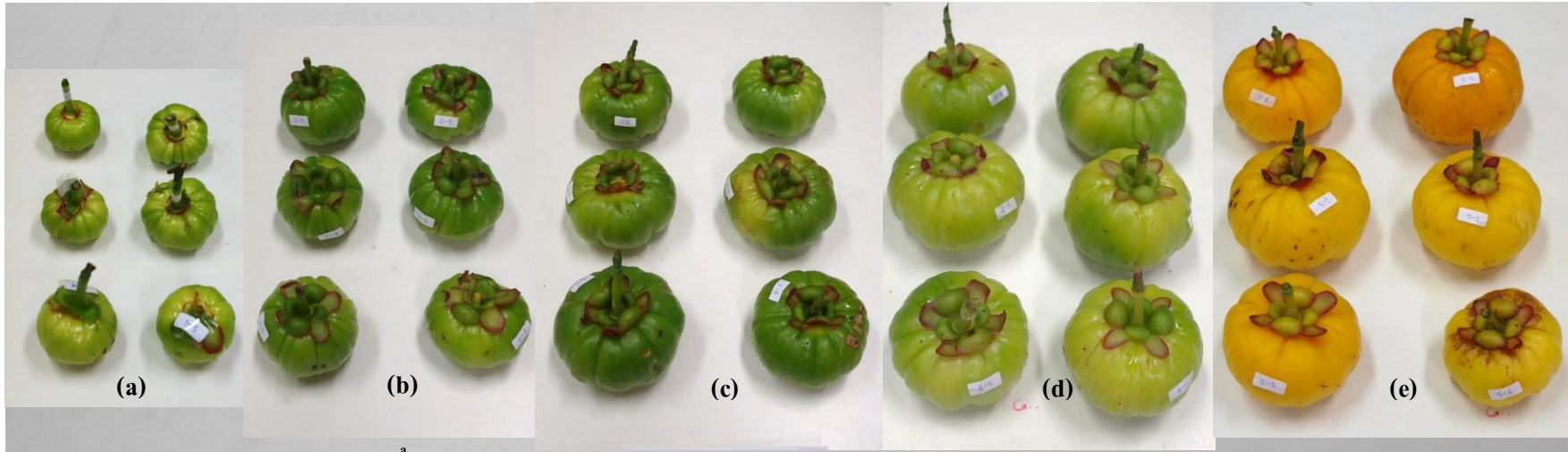


Figure 6 *G. atroviridis* fruits of each maturity stage; 1<sup>st</sup> maturity stage (a), 2<sup>nd</sup> maturity stage (b), 3<sup>rd</sup> maturity stage (c), 4<sup>th</sup> maturity stage (d) and 5<sup>th</sup> maturity stage (e)

20.24% ซึ่งโดยทั่วไปผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนมักมีรสเปรี้ยวเนื่องจากการสะสมกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ใน แวกิวโอล (vacuole) เมื่อพัฒนาจนผลสุกจะมีปริมาณกรดลดลง แต่ผลไม้บางชนิดมีปริมาณกรดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสุก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการสังเคราะห์ malic enzyme มากขึ้นระหว่างการสุก (จริงแท้ศิริพานิช, 2550) ซึ่งสั้มควายมีกรดหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น ไฮดรอกซีซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดมาลิก (Mahlia *et al.* 2012)

จากผลการทดลองพบว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในผลสั้มควายสด ( $p < 0.05$ ) [Table 9] โดยภายหลังเก็บเกี่ยวผลสั้มควายจากระยะที่ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลสั้มควายจากระยะที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ  $5.34 \pm 0.10$  และ  $4.69 \pm 0.05$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสมบัติการจับอนุมูล DPPH (Table 9) พบว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อสมบัติการจับอนุมูล DPPH ของผลสั้มควาย ( $p < 0.05$ ) โดยผลสั้มควายสดภายหลังเก็บเกี่ยวจากระยะที่ 4 และ 5 มีค่า  $EC_{50}$  ต่ำกว่าระยะอื่น ( $p < 0.05$ ) หรือใช้สารตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่ำในการลดความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลง 50% จากความเข้มข้นของสารละลาย DPPH เริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าสั้มควายในระยะที่ 4 และ 5 มีสมบัติในการจับอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าสั้มควายในระยะอื่น และเมื่อนำปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ ) มาหาค่าความสัมพันธ์กันจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation numbers;  $r$ ) พบว่ามีค่าเท่ากับ  $-0.962$  ซึ่งเป็นลักษณะสหสัมพันธ์ทางลบ (Negative correlation) หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ หรือมีสมบัติในการจับอนุมูลโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Balasundram *et al.*, 2006) โดยในสั้มควายพบสารประกอบฟีนอลิก จำพวก Biflavanone GB-la และ Volkensiflavone (Rao *et al.*, 1974)

### 1.3.2 ผลสั้มแขก

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของผลสั้มแขกสด พบว่า ผลสั้มแขกสดแต่ละระยะการเจริญมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 88.60-89.27% และพบว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลสั้มแขกสดในระยะที่ 1 มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลสั้มแขกสดในระยะการเจริญอื่นๆ โดยผลสั้มแขกสดมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 20.33-23.83% (Table 10) โดยในสั้มแขกมีกรดหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซิตริก กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก (Amran *et al.*, 2009)

ระยะการเจริญของผลสั้มแขกมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยภายหลังเก็บเกี่ยวผลสั้มแขกจากระยะที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ ผล

**Table 9.** Chemical properties of each maturity stage of fresh *G. pedunculata* fruit

Maturity stages	Moisture content (%)	Total acidity (% as citric acid)	Total phenolic content (mg GAE/g db)	DPPH, EC <sub>50</sub> (mg/ml)
1	88.59±0.18 <sup>b</sup>	17.03±0.05 <sup>d</sup>	3.36±0.10 <sup>d</sup>	0.98±0.14 <sup>b</sup>
2	90.45±0.28 <sup>a</sup>	19.27±0.04 <sup>bc</sup>	4.16±0.16 <sup>c</sup>	0.78±0.07 <sup>bc</sup>
3	90.51±0.12 <sup>a</sup>	20.24±0.03 <sup>a</sup>	2.67±0.14 <sup>e</sup>	1.39±0.64 <sup>a</sup>
4	90.30±0.63 <sup>a</sup>	18.56±0.02 <sup>c</sup>	4.69±0.05 <sup>b</sup>	0.54±0.01 <sup>c</sup>
5	90.17±0.40 <sup>a</sup>	19.48±0.02 <sup>ab</sup>	5.34±0.10 <sup>a</sup>	0.53±0.07 <sup>c</sup>

<sup>a-e</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

GAE, Gallic acid equivalents

DPPH radical scavenging activity

EC<sub>50</sub>, Efficient concentration, the amount of sample (µg) needed for 50% decreasing in the initial DPPH concentration per 1.0 ml of tested solution (mixture solutions of DPPH and sample solution)

The EC<sub>50</sub> of BHT standard = 14.98±0.51 µg/ml

ส้มแขกจากระยะที่ 5 โดยมีค่าเท่ากับ  $1.61 \pm 0.09$  และ  $1.50 \pm 0.09$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ (Table 10) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการจับอนุมูล DPPH มีเท่ากับ  $-0.959$  ซึ่งมีความสอดคล้องเช่นเดียวกันกับในผลส้มควาย โดยผลส้มแขกสดในระยะเจริญที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการจับอนุมูล DPPH สูงที่สุดเท่ากับ  $1.61$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง และ  $0.84$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) โดยใน ส้มควายพบสารประกอบฟีนอลิก จำพวก Luteolin, Myricetin, Quercetin (Miean and Mohamed, 2001)

## 2. ผลของระยะการเจริญของผลและเวลาอบแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพเคมี และการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มควายและส้มแขกสดและชิ้นบางแห้ง

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายและส้มแขกระหว่างการอบแห้ง

#### 2.1.1 ชื้นส้มควาย

เมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายมีค่าลดลงในทุก ระยะการเจริญ โดยปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายทุกระยะการเจริญมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง (Figure 7a) หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายสดทุกระยะเจริญเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $88.59-90.51\%$  เมื่อระยะเวลาอบแห้งผ่านไป 4 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายมีค่าเท่ากับ  $12.41-38.06\%$  และที่ระยะเวลาอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มควายมีค่าเท่ากับ  $9.00-9.72\%$  อัตราการอบแห้งตั้งแต่ 0 ถึง 8 ชั่วโมงของระยะเวลาการอบแห้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยอัตราการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 4 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนแปลงลดลงในช่วง 4 ถึง 8 ชั่วโมง ยกเว้นส้มควายจากระยะการเจริญที่ 3 ที่มีอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกันในช่วงระยะเวลาการอบแห้ง 0 ถึง 4 ชั่วโมง ( $19.01-19.38\%/ชั่วโมง$ ) และ 4 ถึง 8 ชั่วโมง ( $19.37-1.51\%/ชั่วโมง$ ) ดังแสดงใน Figure 8(a) ทั้งนี้เนื่องจากช่วง 4 ชั่วโมงแรกในการอบแห้งเป็นช่วงที่น้ำจากด้านในของอาหารเคลื่อนที่ออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าอาหาร ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จากนั้นเมื่อความชื้นในอาหารลดน้อยลงทำให้ความชื้นที่เหลือในอาหารเคลื่อนที่ออกมาได้ยากขึ้น อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล ([equilibrium moisture content](#)) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น (Fellow, 2000)

**Table 10.** Chemical properties of each maturity stage of fresh *G. atroviridis* fruit

Maturity stages	Moisture content (%)	Total acidity (as citric acid)	Total phenolic content (mg GAE/g db)	DPPH, EC <sub>50</sub> (mg/ml)
1	89.27±0.53 <sup>a</sup>	23.83±0.88 <sup>a</sup>	1.61±0.09 <sup>a</sup>	0.84±0.14 <sup>c</sup>
2	88.60±0.49 <sup>b</sup>	20.33±0.57 <sup>c</sup>	1.04±0.05 <sup>e</sup>	1.34±0.05 <sup>a</sup>
3	88.87±0.54 <sup>ab</sup>	21.12±0.06 <sup>b</sup>	1.13±0.05 <sup>d</sup>	1.19±0.04 <sup>a</sup>
4	88.84±0.34 <sup>ab</sup>	21.08±0.02 <sup>b</sup>	1.23±0.06 <sup>c</sup>	1.00±0.11 <sup>b</sup>
5	89.04±0.28 <sup>ab</sup>	21.68±0.31 <sup>b</sup>	1.50±0.09 <sup>b</sup>	0.91±0.10 <sup>b</sup>

<sup>a-e</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

GAE, Gallic acid equivalents

DPPH radical scavenging activity

EC<sub>50</sub>, Efficient concentration, the amount of sample (µg) needed for 50% decreasing in the initial DPPH concentration per 1.0 ml of solution

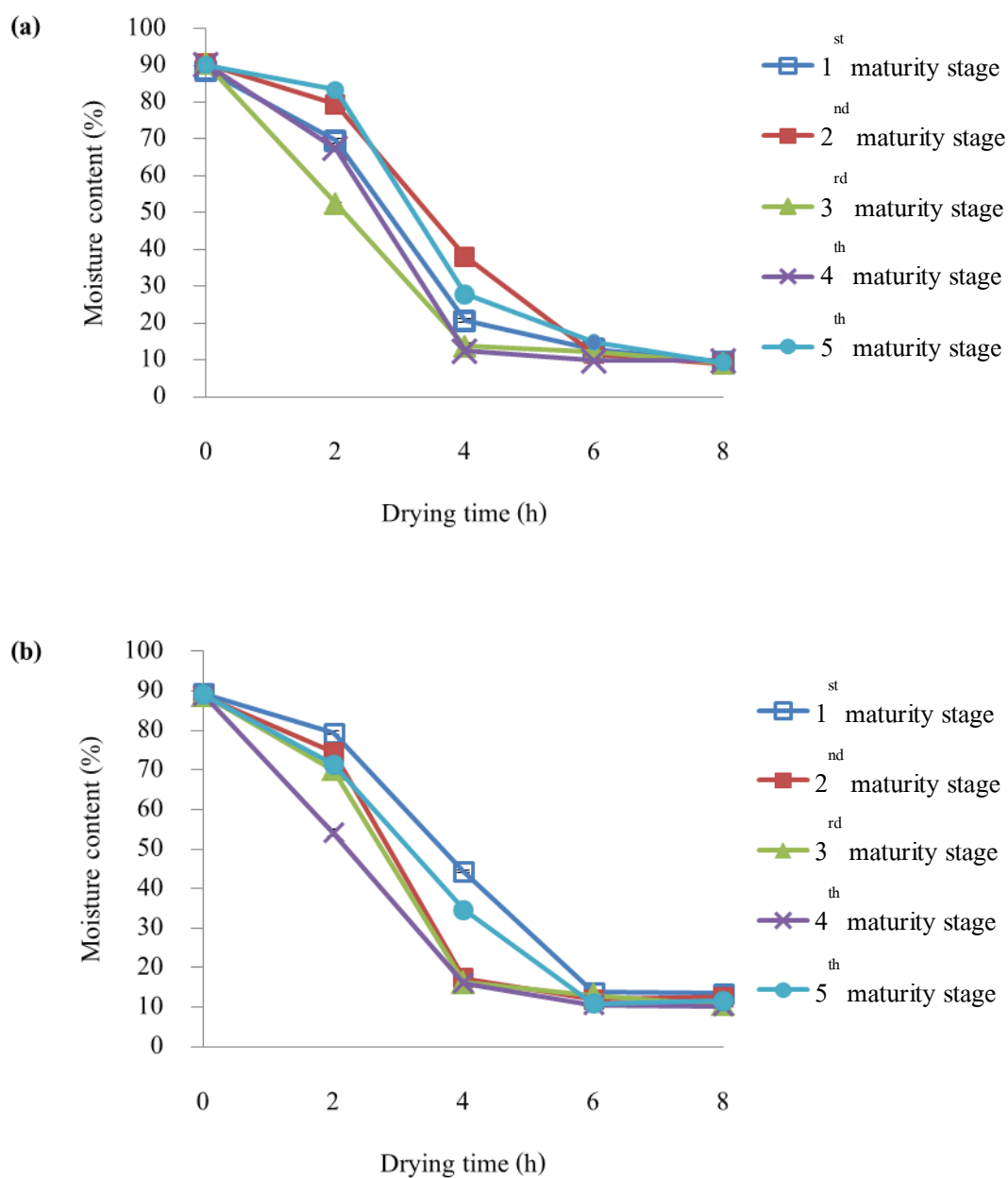
## 2.1.2 ชั้นสั้มแขก

ปริมาณความชื้นของชั้นสั้มแขกมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นของชั้นสั้มแขกทุกระยะการเจริญมีค่าลดลงอย่างชัดเจนที่ระยะเวลาอบแห้ง 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับชั้นสั้มควาย (Figure 7b) ซ้ำๆ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของชั้นสั้มแขกสดทุกระยะเจริญเท่ากับ 88.60-89.27% ที่ระยะเวลาอบแห้ง 4 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของชั้นสั้มแขกเท่ากับ 16.06-44.34% และที่ระยะเวลาอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของชั้นสั้มแขกเท่ากับ 10.27-13.44% อัตราการอบแห้งสั้มแขกทุกระยะการเจริญ พบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งตั้งแต่ 0 ถึง 8 ชั่วโมง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยอัตราการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 4 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนแปลงลดลงในช่วง 4 ถึง 8 ชั่วโมง เช่นกัน ดังแสดงใน Figure 8(b)

## 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลสั้มควายและสั้มแขกชั้นบางอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง

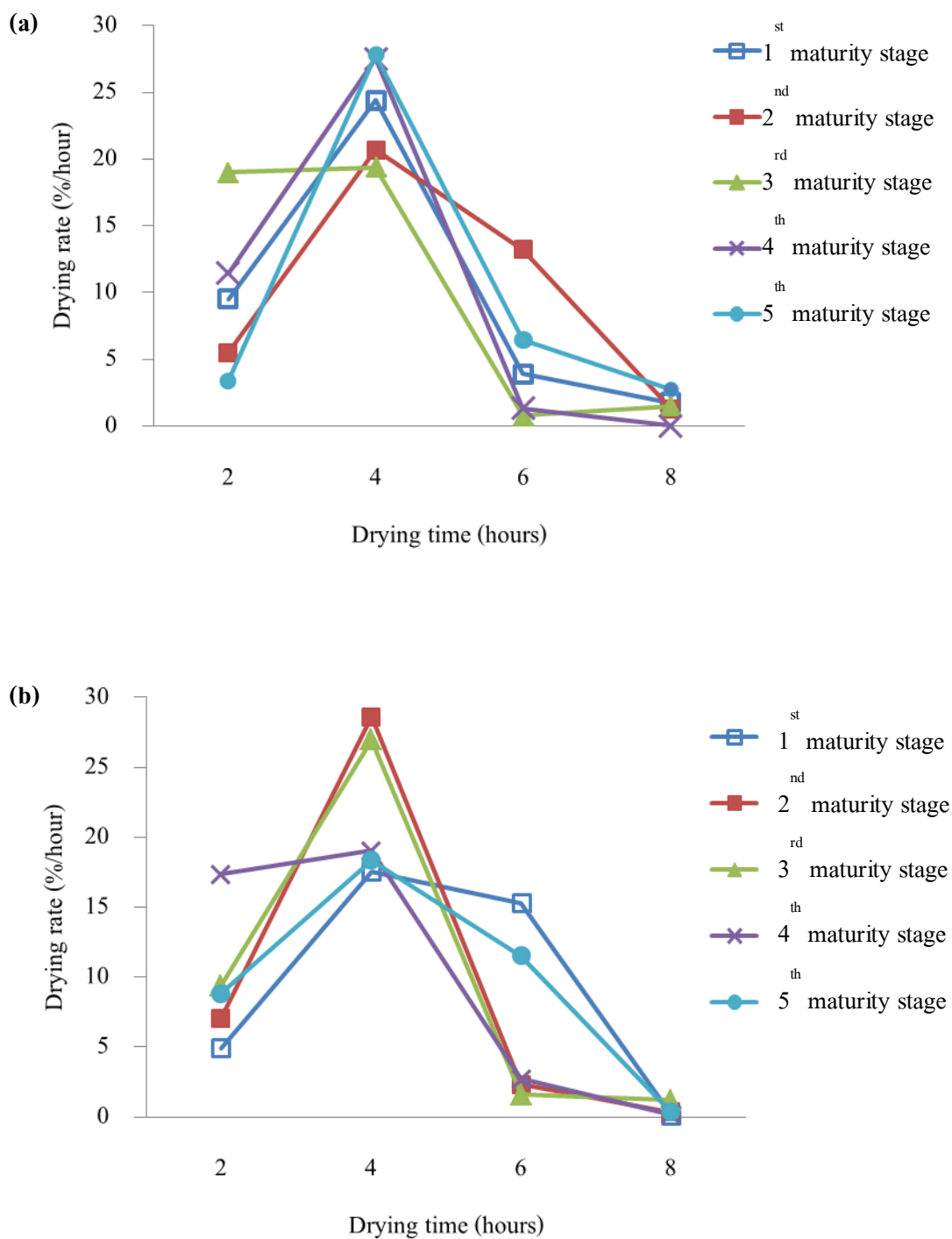
### 2.2.1 สั้มควายชั้นบางอบแห้ง

ชั้นสั้มควายอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง ทุกระยะเจริญมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 9.00-9.72 % และจากการตรวจวัดค่าสีและค่าแรงตัดของผลสั้มควายชั้นบางอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง พบว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $h^\circ$  ของสั้มควายชั้นบางแห้ง (Appendix Table 3, Table 11) โดยสั้มควายชั้นบางแห้งจากระยะที่ 5 มีค่า  $L^*$  และ  $h^\circ$  ต่ำกว่า แต่มี  $a^*$  สูงกว่าสั้มควายชั้นบางแห้งจากระยะอื่น ( $p < 0.05$ ) ค่า  $h^\circ$  ของสั้มควายชั้นบางแห้งทั้ง 5 ระยะ มีค่าอยู่ในช่วง 45-90 องศา ซึ่งแสดงถึงสีส้มแดงถึงสีเหลือง (วรรณ สาขแก้ว, 2558) และยังพบว่า สั้มควายชั้นบางแห้งจากระยะการเจริญของผลภายหลังการอบแห้งมีค่า  $b^*$ ,  $h^\circ$  และ  $C^*$  ที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ระยะการเจริญเดียวกันจากผลสดก่อนอบแห้ง (Table 7) ทั้งนี้การอบแห้งผักมีผลทำให้ค่า  $b^*$  และ  $C^*$  ลดลง บ่งบอกความเข้มของสีเหลืองลดลงอาจมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของรงควัตถุ 'ได้แก่' แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (นิธิยา รัตนานนท์, 2557) ส่วนค่าแรงตัดของสั้มควายชั้นบางแห้ง พบว่าชั้นสั้มควายอบแห้งจากระยะที่ 5 หรือระยะผลสุก มีค่าแรงตัดต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 37.20 นิวตัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผลไม้สุกจะเกิดการสลายตัวของเพคตินบริเวณมิดเซลลามลตา และผนังเซลล์ชั้นแรก โดยเมื่อผลไม้เริ่มสุกเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงและเพคตินที่ละลายน้ำ (Soluble pectin) จะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้น โดยเอนไซม์ Pectin methylesterase (Pectin esterase: PE or PME) และ Polygalacturonase (PG) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ ทั้งสองชนิดนี้ ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลงด้วยการแยก methyl group ออกจาก Polymer (Deesterification) จากกิจกรรมของ PME และ PG จะตัดให้ Polymer สั้นลง (Depolymerization) ส่งผลให้เพคตินที่ไม่ละลายน้ำ (Protopectin) เปลี่ยนรูปไปเป็น Galacturonic acid ซึ่งเป็นเพคติน



**Figure 7.** Changes in moisture contents of *G. pedunculata* (a) and *G. atroviridis* (b) slices during dehydration.





**Figure 8.** Drying rate of *G. pedunculata* (a) and *G. atroviridis* (b) slices during dehydration

ที่ละลายน้ำ เซลล์ที่เคยยึดเกาะกันแน่น ในขณะที่ผลไม้ยังดิบจึงอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆ ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลง (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2552) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผล ส้มควายจากแต่ละระยะการเจริญอยู่ในช่วง 16.80-19.29% โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ของส้มควายขึ้นบางแห่งจากระยะการเจริญที่ 3 มีปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรด ทั้งหมดที่ไทเทรตได้จากระยะอื่นๆ อย่างไรก็ตามปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของส้มควายขึ้น บางแห่งจากระยะที่ 3 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างจากระยะการเจริญที่ 5

### 2.2.2 ส้มแขกขึ้นบางอบแห้ง

ผลการทดลองพบว่าส้มแขกขึ้นบางอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง ทุกระยะการเจริญมีปริมาณ ความชื้นอยู่ในช่วง 10.60-13.44% ค่าแรงตึงของขึ้นส้มแขกอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการ เจริญเพิ่มขึ้น โดยขึ้นส้มแขกอบแห้งในระยะที่ 5 มีค่าแรงตึงมากที่สุด เท่ากับ 42.81 นิวตัน (Table 12) ค่าสีของขึ้นส้มแขกอบแห้งแต่ละระยะการเจริญใกล้เคียงกัน แต่ขึ้นส้มแขกในระยะที่ 5 มีค่า  $a^*$   $b^*$   $C^*$  สูงที่สุด และมีค่า  $h^\circ$  ต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 90-135 องศา (Appendix Table 4, Table 12) ซึ่งแสดง สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว (วรรณสาวยแก้ว, 2558) และยังพบว่า ส้มแขกขึ้นบางแห่งจากแต่ละระยะ การเจริญของผลภายหลังการอบแห้งมีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น และมีค่า  $b^*$  และ  $h^\circ$  ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างที่ระยะการเจริญเดียวกันจากผลสดก่อนอบแห้ง (Table 8) โดยการอบแห้งจะทำให้ ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยามเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดจากการทำ ปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซิงกับ เอมีนหรือกรดอะมิโน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลหรือเมลานอยดิน (Melanoidin) โดย กรดอะมิโนที่พบในผล *Garcinia cambogia* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Guttiferae เช่นเดียวกับส้มควายและ ส้มแขก ได้แก่ Arginine, Asparagine, Threonine, Glycine, Proline,  $\gamma$ -Aminobutyric acid, Isoleucine, Leucine, Ornithine และ Lysine (Carratu *et al.*, 2008) นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกที่มีใน ส้มแขกอาจถูกออกซิไดส์เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกแล้วทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโน ทำให้เกิด สารสีน้ำตาลได้โดยอาศัยปฏิกิริยามเมลลาร์ด (นิธิยา รัตนานนท์, 2557) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ ไทเทรตได้ของผลส้มแขกจากแต่ละระยะการเจริญอยู่ในช่วง 20.32-21.03% โดยปริมาณกรด ทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของส้มแขกขึ้นบางแห่งจากระยะการเจริญที่ 1 มีปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จากระยะอื่นๆ อย่างไรก็ตามปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ของส้มควายขึ้นบางแห่งจากระยะที่ 1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างจากระยะการเจริญที่ 4 และ 5

**Table 11.** Physical and chemical properties of each maturity stage of *G. pedunculata* slices after drying at 51°C for 8 hours

Maturity stages	Cutting force (N)	Colour		Total acidity (% as citric acid)
		Hue angle (h <sup>0</sup> )	Chroma (C*)	
1	42.35±4.29 <sup>b</sup>	90.16±5.80 <sup>a</sup>	11.67±1.63 <sup>c</sup>	16.80±0.53 <sup>c</sup>
2	42.95±2.55 <sup>b</sup>	89.50±5.08 <sup>a</sup>	13.10±1.90 <sup>ab</sup>	16.90±0.86 <sup>c</sup>
3	50.20±5.17 <sup>a</sup>	81.83±4.97 <sup>b</sup>	11.94±0.94 <sup>bc</sup>	19.29±0.70 <sup>a</sup>
4	46.51±2.93 <sup>ab</sup>	77.85±5.82 <sup>b</sup>	11.72±1.18 <sup>c</sup>	17.94±0.55 <sup>b</sup>
5	37.20±5.31 <sup>c</sup>	70.00±2.80 <sup>c</sup>	14.20±1.93 <sup>a</sup>	18.72±0.33 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

**Table 12.** Physical and chemical properties of each maturity stage of *G. atroviridis* fruit after drying at 51 °C for 8 hours

Maturity stages	Cutting force (N)	Colour		Total acidity (% as citric acid)
		Hue value (h°)	Chroma (C*)	
1	32.76±4.31 <sup>c</sup>	93.01±2.34 <sup>b</sup>	17.37±2.94 <sup>a</sup>	21.03±0.59 <sup>a</sup>
2	35.41±4.17 <sup>c</sup>	104.79±3.90 <sup>a</sup>	14.22±2.17 <sup>c</sup>	20.38±0.48 <sup>bc</sup>
3	37.32±3.92 <sup>bc</sup>	102.71±4.75 <sup>a</sup>	15.01±2.35 <sup>bc</sup>	20.32±0.07 <sup>c</sup>
4	40.13±3.91 <sup>ab</sup>	101.95±4.49 <sup>a</sup>	16.99±2.22 <sup>ab</sup>	20.97±0.55 <sup>a</sup>
5	42.81±1.57 <sup>a</sup>	91.35±1.15 <sup>b</sup>	18.51±2.68 <sup>a</sup>	20.89±0.35 <sup>ab</sup>

<sup>a-c</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

## 2.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มควายและส้มแขกสดและชิ้นบางแห้ง

### 2.3.1 ส้มควาย

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลส้มควายชิ้นบางทุกระยะการเจริญมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Table 13) ทั้งนี้การอบแห้งเป็นเวลานานทำให้เกิดการออกซิเดชันและการสลายตัวเนื่องมาจากความร้อน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (Wojdylo *et al.*, 2007) นอกจากนี้ในระหว่างการอบแห้งยังเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดส ซึ่งมีผลต่อการสลายของสารประกอบฟีนอลิกได้เช่นกัน (Lim and Murtijaya, 2007) จากงานวิจัยของ Mican และ Mohamed (2001) ยังพบว่า การอบแห้งพืชที่รับประทานได้จำนวน 62 ชนิด ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ตัวอย่างคงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส อาจเกิดการสลายตัวหรือไปรวมตัวกับองค์ประกอบอื่นของพืชได้ จึงทำให้มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาสมบัติการจับอนุมูล DPPH (Table 14) พบว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อสมบัติการจับอนุมูล DPPH ของผลส้มควาย ( $p < 0.05$ ) โดยชิ้นส้มควายภายหลังการอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง จากระยะที่ 1 และ 5 มีค่า  $EC_{50}$  ต่ำกว่าระยะอื่น ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 15 แสดงให้เห็นว่ามีสมบัติในการจับอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าในระยะอื่น ซึ่ง และเมื่อนำปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ ) มาหาค่าความสัมพันธ์กันจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation numbers;  $r$ ) พบว่ามีค่าเท่ากับ -0.531 ซึ่งเป็นลักษณะสหสัมพันธ์ทางลบ (Negative correlations) หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระหรือสมบัติในการจับอนุมูลโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นกัน (Balasundram *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามในระหว่างการอบแห้ง พบว่า เมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้ค่า  $EC_{50}$  ของส้มควายแต่ละระยะการเจริญของผลมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีสมบัติในการจับอนุมูล DPPH ที่ลดลง สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ลดลงเช่นกัน

### 2.3.2 ส้มแขก

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลส้มแขกชิ้นบางทุกระยะการเจริญลดลงเล็กน้อยเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง (Table 15) และเมื่อพิจารณาสมบัติการจับอนุมูล DPPH พบว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อสมบัติการจับอนุมูล DPPH ของผลส้มแขก ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 16 โดยผลส้มแขกสดภายหลังเก็บเกี่ยวจากระยะที่ 1 และ 5 มีค่า  $EC_{50}$  ต่ำกว่าระยะ

**Table 13.** Changes of total phenolic content (mg GAE/g db) of each maturity stage from *G. pedunculata* slices during the drying process at 51 °C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours

Maturity stages	Dehydration times / Total phenolic content (mg GAE/g db)				
	0 hours	2 hours	4 hours	6 hours	8 hours
1	3.36±0.10 <sup>Ad</sup>	3.17±0.06 <sup>Bc</sup>	2.22±0.14 <sup>Cc</sup>	2.23±0.11 <sup>Cb</sup>	2.19±0.06 <sup>Cc</sup>
2	4.16±0.16 <sup>Bc</sup>	4.35±0.16 <sup>Ab</sup>	2.03±0.02 <sup>Cd</sup>	1.87±0.02 <sup>De</sup>	1.86±0.01 <sup>De</sup>
3	2.67±0.14 <sup>Ae</sup>	2.49±0.64 <sup>Bd</sup>	2.73±0.03 <sup>Ab</sup>	1.91±0.03 <sup>Cc</sup>	1.96±0.04 <sup>Cd</sup>
4	4.69±0.05 <sup>Ab</sup>	3.20±0.16 <sup>Bc</sup>	2.79±0.79 <sup>Cc</sup>	2.25±0.02 <sup>Cb</sup>	2.33±0.04 <sup>Cb</sup>
5	5.34±0.10 <sup>Ba</sup>	5.69±0.45 <sup>Aa</sup>	3.23±0.13 <sup>Ca</sup>	2.83±0.08 <sup>Ca</sup>	3.15±0.03 <sup>Da</sup>

<sup>A-D</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same row from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

<sup>a-e</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

GAE, Gallic acid equivalents

**Table 14.** Changes of antioxidant property (by DPPH assay) of each maturity stage from *G. pedunculata* slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours

Maturity stages	Dehydration times / DPPH, EC <sub>50</sub> (mg/ml)				
	0 hours	2 hours	4 hours	6 hours	8 hours
1	0.98±0.14 <sup>Cb</sup>	1.24±0.14 <sup>Ba</sup>	1.00±0.06 <sup>BCc</sup>	1.19±0.06 <sup>BCc</sup>	1.70±0.32 <sup>Ab</sup>
2	0.78±0.07 <sup>Dbc</sup>	1.25±0.14 <sup>Ca</sup>	1.28±0.02 <sup>Ca</sup>	1.48±0.07 <sup>Bb</sup>	2.36±0.19 <sup>Aa</sup>
3	1.39±0.64 <sup>Ba</sup>	0.99±0.03 <sup>Cb</sup>	1.10±0.11 <sup>BCb</sup>	1.46±0.10 <sup>Bbc</sup>	2.32±0.21 <sup>Aa</sup>
4	0.54±0.01 <sup>Ec</sup>	0.92±0.07 <sup>Db</sup>	1.21±0.07 <sup>Ca</sup>	1.46±0.05 <sup>Bbc</sup>	2.33±0.18 <sup>Aa</sup>
5	0.53±0.07 <sup>Cc</sup>	0.82±0.07 <sup>Bbc</sup>	0.90±0.04 <sup>Bd</sup>	1.99±0.49 <sup>Aa</sup>	1.72±0.16 <sup>Ab</sup>

<sup>A-E</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same row from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

<sup>a-c</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

DPPH radical scavenging activity

EC<sub>50</sub>, Efficient concentration, the amount of sample (µg) needed for 50% decreasing in the initial DPPH concentration per 1.0 ml of solution

อื่น ( $p < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่ามีสมบัติในการจับอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าในระยะอื่น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยเมื่อนำปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ ) มาหาค่าความสัมพันธ์กันจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation numbers;  $r$ ) พบว่ามีค่าเท่ากับ  $-0.247$  ซึ่งเป็นลักษณะสหสัมพันธ์ทางลบ (negative correlations)

### 3. ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ของผลส้มควายและส้มแขกสดและขึ้นบางอบแห้ง

#### 3.1 ส้มควาย

ผลการทดลองพบว่าผลส้มควายสดในระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน มากกว่าผลส้มควายสดในระยะที่ 4 โดยผลส้มควายสดในระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ 348.19 และ 199.20 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ และผลส้มควายสดในระยะที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ 240.68 และ 145.76 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง (Table 17) แสดงให้เห็นว่าระยะการเจริญของผลมีผลต่อปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน และพบว่าผลส้มควายในระยะการเจริญที่ 4 และ 5 เมื่อผ่านการอบแห้งที่ 51 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนลง แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งมีผลต่อปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ทั้งนี้กรดไฮดรอกซีซิทริก มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแลกโตนไนเซชัน (lactonization) ได้เป็นกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนจะมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกรดไฮดรอกซีซิทริกอิสระ (Jena *et al.*, 2002b)

#### 3.2 ส้มแขก

ระยะการเจริญมีผลต่อปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนของผลส้มแขกสด โดยส้มแขกสดในระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน มากกว่าผลสดในระยะที่ 4 และเมื่อนำผลส้มแขกขึ้นบางจากระยะเจริญที่ 4 และ 5 ไปอบแห้งที่ 51 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง พบว่าขึ้นส้มแขกจากระยะเจริญที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนลดลงเมื่อเทียบกับผลสด โดยกรดไฮดรอกซีซิทริก ลดลงจาก 240.68 เป็น 160.41 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ลดลงจาก 145.76 เป็น 111.46 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ส่วนส้มแขกขึ้นบางอบแห้งจากระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลสด โดยกรดไฮดรอกซีซิทริกเพิ่มขึ้นจาก 348.19 เป็น 398.60 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง



**Table 15.** Changes of total phenolic content (mg GAE/g db) of each maturity stage from *G. atroviridis* slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours

Maturity stage	Dehydration times / Total phenolic content (mg GAE/g db)				
	0 hours	2 hours	4 hours	6 hours	8 hours
1	1.61±0.09 <sup>Aa</sup>	1.44±0.07 <sup>Bb</sup>	1.57±0.04 <sup>Aa</sup>	1.55±0.04 <sup>Aa</sup>	1.54±0.02 <sup>Aa</sup>
2	1.04±0.05 <sup>Be</sup>	1.02±0.06 <sup>Be</sup>	1.01±0.03 <sup>Bd</sup>	1.00±0.02 <sup>Be</sup>	1.13±0.02 <sup>Ad</sup>
3	1.13±0.05 <sup>Ad</sup>	1.10±0.02 <sup>ABd</sup>	1.10±0.08 <sup>ABc</sup>	1.05±0.05 <sup>Bd</sup>	1.05±0.03 <sup>Be</sup>
4	1.23±0.06 <sup>Ac</sup>	1.19±0.02 <sup>ABc</sup>	1.22±0.04 <sup>ABb</sup>	1.21±0.03 <sup>ABc</sup>	1.17±0.05 <sup>Bc</sup>
5	1.50±0.09 <sup>Nsb</sup>	1.49±0.03 <sup>Nsa</sup>	1.52±0.06 <sup>Nsa</sup>	1.47±0.03 <sup>Nsb</sup>	1.47±0.03 <sup>Nsb</sup>

<sup>A-B</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same row from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

<sup>a-e</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

NS = not significant difference among dehydration times ( $p\geq 0.05$ )

GAE, Gallic acid equivalents

**Table 16.** Changes of antioxidant property (by DPPH assay) of each maturity stage from *G. atroviridis* slices during the drying process at 51°C for 0, 2, 4, 6 and 8 hours

Maturity stage	Dehydration times / DPPH, EC <sub>50</sub> (mg/ml)				
	0 hours	2 hours	4 hours	6 hours	8 hours
1	0.74±0.14 <sup>Cc</sup>	1.44±0.07 <sup>Bd</sup>	1.45±0.18 <sup>Bd</sup>	1.38±0.08 <sup>Bd</sup>	2.09±0.11 <sup>Ac</sup>
2	1.14±0.05 <sup>Ea</sup>	1.32±0.03 <sup>Da</sup>	2.05±0.10 <sup>Ca</sup>	2.24±0.05 <sup>Ba</sup>	2.42±0.05 <sup>Aa</sup>
3	1.19±0.04 <sup>Ca</sup>	1.12±0.06 <sup>Cc</sup>	1.68±0.10 <sup>BCc</sup>	1.60±0.09 <sup>Bc</sup>	2.25±0.10 <sup>Ab</sup>
4	1.00±0.11 <sup>Db</sup>	1.31±0.10 <sup>Cb</sup>	1.90±0.04 <sup>Bb</sup>	1.89±0.20 <sup>Bb</sup>	2.40±0.10 <sup>Aa</sup>
5	0.91±0.10 <sup>Eb</sup>	1.16±0.03 <sup>Dd</sup>	1.33±0.06 <sup>Cd</sup>	1.72±0.06 <sup>Bc</sup>	2.00±0.14 <sup>Ac</sup>

<sup>A-E</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same row from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

<sup>a-d</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

DPPH radical scavenging activity

EC<sub>50</sub>, Efficient concentration, the amount of sample (µg) needed for 50% decreasing in the initial DPPH concentration per 1.0 ml of solution

และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เพิ่มขึ้นจาก 199.20 เป็น 270.86 มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง (Table 18) ทั้งนี้การเกิดแลคโตนเซชันจะเกิดได้ดีภายใต้สภาวะการให้ความร้อน (Jena *et al.*, 2002) Vinh (2012) ยังรายงานว่าผล *G. oblongifolia* ในระยะสุก ส่วนเนื้อผลจะพบปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดซิทริกค่อนข้างมาก กรดไฮดรอกซีซิทริกอิสระละลายน้ำได้ง่ายตลอดจนกรดอินทรีย์อื่นๆ ในเนื้อผลอาจช่วยป้องกันการเกิดแลคโตนเซชันได้ (Anthony, 2003) นอกจากนี้ Rao และคณะ (2010) ยังรายงานว่า ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (acidic condition) หรือใน aqueous medium กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน จะรักษาสมดุลของโครงสร้างโมเลกุลกับกรดไฮดรอกซีซิทริก ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ที่วิเคราะห์ได้

**Table 17.** HCA and HCAL contents of the initial fresh and dried slices of *G. pedunculata*

Samples	Group	HCA	HCAL
		(mg/ g Som khwai db)	(mg/ g Som khwai db)
The 4 <sup>th</sup> fully green maturing stage	Fresh fruit	354.11±12.60 <sup>b</sup>	250.90±12.13 <sup>b</sup>
	Dried slices	254.39±1.06 <sup>c</sup>	221.63±1.26 <sup>c</sup>
The 5 <sup>th</sup> yellowish ripening stage	Fresh fruit	531.26±4.49 <sup>a</sup>	396.79±4.30 <sup>a</sup>
	Dried slices	222.06±0.30 <sup>d</sup>	196.55±0.61 <sup>d</sup>

<sup>a-d</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

**Table 18.** HCA and HCAL contents of the initial fresh and dried slices of *G. atroviridis*

Samples	Group	HCA	HCAL
		(mg / g Som khaek db)	(mg / g Som khaek db)
The 4 <sup>th</sup> fully green maturing stage	Fresh fruit	240.68±0.91 <sup>c</sup>	145.76±1.19 <sup>c</sup>
	Dried slices	160.41±0.45 <sup>d</sup>	111.46±0.46 <sup>d</sup>
The 5 <sup>th</sup> yellowish ripening stage	Fresh fruit	348.19±1.70 <sup>b</sup>	199.20±0.89 <sup>b</sup>
	Dried slices	398.60±0.80 <sup>a</sup>	270.86±3.11 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ส้มควายและส้มแขกเป็นพืชตระกูลคาร์ซีเนียที่มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะใบ ดอกและผล โดยส้มควายมีลักษณะของ ใบ ดอกและผล ดังนี้ ใบมีสีเขียวอ่อน รูปร่างแผ่นใบรูปใบหอก มีเส้นกลางใบขนาดใหญ่เห็นชัดเจน ดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวเมียเป็นดอกเดี่ยวสีเขียวอ่อน ผลมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 เซนติเมตร มีร่องตามแนวขั้วผลไปยังปลายผล จำนวน 5-6 ร่อง ส่วนส้มแขกมีลักษณะของใบ ดอกและผลดังนี้ ใบมีสีเขียวเข้ม ลักษณะเป็นใบเดี่ยวออกตรงข้ามกันเป็นคู่ ปลายใบเรียวแหลม โคนใบรูปลิ้ม เส้นใบละเอียด กลีบดอกไม้สมบูรณ์เพศ มีสีแดง มีขนาดใหญ่กว่ากลีบเลี้ยง ผลเป็นแบบผลเดี่ยว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร มีร่องตามแนวขั้วผลไปยังปลายผล จำนวน 10-12 ร่อง

เมื่อระยะเวลาการเจริญของผลส้มควายและส้มแขกเพิ่มขึ้น น้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยผลส้มควายระยะที่ 1 มีน้ำหนักคิดเป็น 28% ของน้ำหนักผลส้มควายระยะที่ 5 และผลส้มแขกระยะที่ 1 มีน้ำหนักคิดเป็น 13% ของน้ำหนักผลส้มควายระยะที่ 5 และผลส้มควายและส้มแขกในระยะที่ 5 มีค่าความแน่นเนื้อของผลน้อยกว่าค่าความแน่นเนื้อของผลในระยะอื่นๆ เมื่อระยะเวลาการเจริญของผลเพิ่มขึ้นผลส้มควายและส้มแขกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวเหลืองและสีเหลืองเข้มจากระยะที่ 5 ซึ่งบ่งบอกการสุกของผลส้มควาย โดยผลส้มควายและส้มแขกมี ค่ามุมของสี (Hue angle,  $h^\circ$ ) มีค่าเท่ากับ  $84.03 \pm 2.31$  องศา และ  $92.54 \pm 1.13$  องศา ตามลำดับ ผลส้มควายสดแต่ละระยะการเจริญมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 88.59-90.51% และมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มควายระยะที่ 1 มีค่าต่ำสุด อยู่ใน ช่วง 17.03-20.24% ส่วนผลส้มแขกสดแต่ละระยะการเจริญมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 88.60-89.27% และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มแขกสดในระยะที่ 1 มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลส้มแขกสดในระยะการเจริญอื่นๆ โดยผลส้มแขกสดมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 20.33-23.83%

ระยะเวลาการเจริญของผลมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลส้มควายและส้มแขกสด โดยภายหลังเก็บเกี่ยวผลส้มควายสดจากระยะที่ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลส้มควายจากระยะที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ  $5.34 \pm 0.10$  และ  $4.69 \pm 0.05$  มิลลิกรัม

สมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ และผลสัมแยกสดจากระยะที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลสัมแยกจากระยะที่ 5 โดยมีค่าเท่ากับ  $1.61 \pm 0.09$  และ  $1.50 \pm 0.09$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ และระยะการเจริญของผลยังมีผลต่อสมบัติการจับอนุมูล DPPH ของผล สัมควายและ สัมแยกสด ซึ่ง สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเมื่อผลสัมควายและ สัมแยกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น สมบัติการจับอนุมูล DPPH ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ระยะการเจริญมีผลต่อปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน ของผลสัมควายและ สัมแยกสด ผลสัมควายและ สัมแยกสดจากระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริก และกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน มากกว่าผลสดในระยะที่ 4 โดยผลสัมควายสดในระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $531.26 \pm 4.49$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $396.79 \pm 4.30$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ผลสัมควายสดในระยะที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $354.11 \pm 12.60$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $250.90 \pm 12.13$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ ส่วนผลสัมแยกสดในระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $348.19 \pm 1.70$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $199.20 \pm 0.89$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ผลสัมแยกสดในระยะที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและ กรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตน เท่ากับ  $240.68 \pm 0.91$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $145.76 \pm 1.19$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ

เมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของชิ้น สัมควายและ สัมแยกมีค่าลดลงในทุกระยะการเจริญ โดยปริมาณความชื้นของชิ้น สัมควายและ สัมแยกทุกระยะการเจริญจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และระยะการเจริญของผลมีผลต่อค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $h^\circ$  ของสัมควายชิ้นบางแห้ง โดยสัมควายชิ้นบางแห้งจากระยะที่ 5 มีค่า  $L^*$  และ  $h^\circ$  ต่ำกว่า แต่มี  $a^*$  สูงกว่าสัมควายชิ้นบางแห้งจากระยะอื่น ค่า  $h^\circ$  ของสัมควายชิ้นบางแห้งทั้ง 5 ระยะ มีค่าอยู่ในช่วง 45-90 องศา ซึ่งแสดงถึงสีส้มแดงถึงสีเหลือง และยังพบว่า สัมควายชิ้นบางแห้งจากแต่ละระยะการเจริญของผลภายหลังการอบแห้งมีค่า  $b^*$ ,  $h^\circ$  และ  $C^*$  ที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ระยะการเจริญเดียวกัน บ่งบอกความเข้มของสีเหลืองลดลง ส่วนค่าแรงตัดของสัมควายชิ้นบางแห้งพบว่าชิ้นสัมควายอบแห้งจากระยะที่ 5 หรือระยะผลสุกมีค่าแรงตัดต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 37.20 นิวตัน ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลสัมควายจากแต่ละระยะการเจริญอยู่ในช่วง 16.80-19.29% ค่าแรงตัดของชิ้นสัมแยกอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการเจริญเพิ่มขึ้น โดยชิ้นสัมแยกอบแห้งในระยะที่ 5 มีค่าแรงตัดมากที่สุดเท่ากับ 42.81 นิวตัน ค่าสีของชิ้นสัมแยกอบแห้งในระยะที่ 5 มีค่า  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  สูงที่สุด และมีค่า  $h^\circ$  ต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 90-135 องศา ซึ่งแสดงสีเหลืองถึง

สีเหลืองเขียว และ ส้มแซกขึ้นบางแห้งจากแต่ละระยะการเจริญของผลภายหลังการอบแห้งมีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น และมีค่า  $b^*$  และ  $h^\circ$  ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ระยะการเจริญเดียวกันจากผลสดก่อนอบแห้ง

ระยะเวลาอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลส้มควายและ ส้มแซกขึ้นบางอบแห้งทุกระยะการเจริญ โดยขึ้นส้มควายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผล ส้มแซกขึ้นบางทุกระยะการเจริญมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดย ส้มควายขึ้นบางอบแห้งที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ทุกระยะการเจริญมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ลดลงอยู่ในช่วง  $1.86 \pm 0.01 - 3.15 \pm 0.03$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง ขณะที่ ส้มแซกขึ้นบางอบแห้งที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ทุกระยะการเจริญมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง อยู่ในช่วง  $1.05 \pm 0.03 - 1.54 \pm 0.02$  มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง และเมื่อเวลา อบแห้งเพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ค่า  $EC_{50}$  ของผลส้มควายและ ส้มแซกแต่ละระยะการเจริญมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีสมบัติในการจับอนุมูล DPPH ที่ลดลง สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ที่ลดลงเช่นกัน เมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ส้มควายขึ้นบางอบแห้งจากระยะทั้งสอง มีปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิตรีค และกรดไฮดรอกซีซิตรีคแลกโตน เท่ากับ  $254.39 \pm 1.06$  และ  $221.63 \pm 1.26$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง และ  $222.06 \pm 0.30$  และ  $196.55 \pm 0.61$  มิลลิกรัมต่อกรัมฐานแห้ง ตามลำดับ ส้มแซกขึ้นบางอบแห้งจากระยะการเจริญที่ 4 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิตรีคและกรดไฮดรอกซี ซิตรีคแลกโตน ลดลง มีค่าเท่ากับ  $160.41 \pm 1.70$  และ  $111.46 \pm 0.46$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ แต่ส้มแซกขึ้นบางอบแห้งจากระยะที่ 5 มีปริมาณกรดไฮดรอกซีซิตรีคและกรดไฮดรอกซีซิตรีค แลกโตน เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ  $398.60 \pm 0.80$  และ  $270.86 \pm 3.11$  มิลลิกรัม/กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ

ผลส้มควายในระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิตรีคและกรดไฮดรอกซีซิตรีคแลกโตน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าผลส้มแซกจากระยะเจริญเดียวกัน และระยะเวลาการอบแห้งที่ 8 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณ กรดไฮดรอกซีซิตรีคและไฮดรอกซีซิตรีคแลกโตนของขึ้นส้มควายจากระยะการเจริญที่ 5 มีปริมาณ ลดลง ในขณะที่ส้มแซกอบแห้งจากระยะการเจริญเดียวกันมีปริมาณทั้งกรดไฮดรอกซีซิตรีคและ ไฮดรอกซีซิตรีคแลกโตน มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น

#### ข้อเสนอแนะ

ส้มควายและส้มแซกเป็นผลไม้ชนิด Non-climacteric ไม่สามารถนำมาบ่มสุกได้ จึงต้องเก็บ เกี่ยวเมื่อสุกแล้วเท่านั้น และควรแช่ตัวอย่างส้มควายและ ส้มแซกด้วย โขเคียวคลอไรด์ แคลเซียม คลอไรด์ หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ก่อนการอบแห้ง เนื่องจากการปรับกรดไฮดรอกซีซิตรีคให้อยู่



ในรูปของเกลือโซเดียม แคลเซียม หรือโพแทสเซียม จะทำให้กรดไฮดรอกซีซิทริกมีความคงตัว ลดการเกิดปฏิกิริยาแลกโตนในเซชันระหว่างการทำแห้งได้ (Jena *et al.*, 2002b) การทำให้กรดไฮดรอกซีซิทริกมีความคงตัวจะช่วยให้การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮดรอกซีซิทริกและกรดไฮดรอกซีซิทริกแลกโตนมีความแม่นยำมากขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- จิ่งแท้ ศิริพานิช. ชีวิตวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: โรงพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2550.
- ธนิตย์ หนูยิ้ม, สุวิทย์ ไทยนุกุล, อุบล รักษาศรี และ อรดา เจราหวัง. 2543. ไม้ส้มแขก. ศูนย์วิจัยและศึกษาระบบชาดป่าพรุสิรินธร: ฉบับที่ 2 เมษายน 2543.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์; 2557.
- เนตรนภา เมฆกลาง และ เฉลิม เรื่องวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระ ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. วารสารวิจัย มข. 14: 69-79.
- ปิยฤกษ์ ทงบุญ. 2556. ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดส้มแขกและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ ล้างมือ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประสงค์ เทียนบุญ. 2553. บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ. ว. คลินิกอาหารและ โภชนาการ 4: 69-76.
- วุฒิ วุฒิชรรมาเวช. 2548. ย่อเกสรกรรมไทยและสรรพคุณสมุนไพรร (ครั้งที่ 2). ศิลป์สยามบรรจุกัญจน์ และการพิมพ์. กรุงเทพฯ
- วรลดต์ แจ่มจำรูญ. 2558. คู่มือการจำแนกชนิดพรรณไม้แบบลักษณะเด่นเฉพาะ. โอเมก้า พรินติ้ง. กรุงเทพฯ
- วรรณสา สายแก้ว. 2558. การใช้เทคโนโลยีสะอาดในการป้องกันมลพิษทางน้ำสำหรับกระบวนการ ย้อมสีผ้าในครัวเรือนบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558.
- วิไล รั้งสาตทอง. 2543. การกำจัดน้ำ. ใน เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 226-250.
- สังคม เตชะ วงศ์เสถียร. 2552. สรีรวิทยาของผล (ออนไลน์). สืบค้นจาก : [http://ag.kku.ac.th/suntec/113401/HortPhysiol-Chapter%203\\_TXT.pdf](http://ag.kku.ac.th/suntec/113401/HortPhysiol-Chapter%203_TXT.pdf) (20 กันยายน 2557)
- สุธีราเสาวภาคย์, ชรรมรัตน์ สัมมะวัฒนาและศิริพร อาจณรงค์. 2553. ผลของการเตรียมขั้นต้นและ อุณหภูมิอบแห้งต่อสมบัติของส้มแขกแห้ง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- อัญชลี ศิริโชค และบุปผา จงปัญญาเลิศ. 2556. ผลของความแก่อ่อนและสภาวะการอบแห้งด้วย  
 ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกแห้ง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อรุณพร อัฐรัตน์, ถนอมจิต สุภาวิตา, ปราณีย์ รัตน์สุวรรณ และเบญจวรรณ ขวัญแก้ว. 2543.  
 การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพและการศึกษาทางเภสัชเวทของสารสกัดจากผลส้มแขก *Garcinia  
 atroviridis*. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Abdillah, S., Tambunan, R. M., Sinaga, Y.M. and Farida, Y. 2014. Ethno-botanical survey of  
 plants used in the traditional treatment of malaria in Sei Kepayang, Asahan of North  
 Sumatera. Asian. Pac. J. Trop. Med. 7: S104-S107.
- Abdullah, A.R. 2013. Study on the relationship of the phenolic, flavonoid and tannin content to  
 the antioxidant activity of *Garcinia Atroviridis* (online) . Available  
<http://www.hrpub.org/download/20131107/UJAS4-12901295.pdf> (18 August 2014).
- Abdullah, N. 1994. Pengasingan dan pencirian asid organic dalam Asam Gelugor (*Garcinia  
 atroviridis*). B.Sc. Thesis, University Pertanian Malaysia.
- Acuna, U.M., Dastmalchi, K., Basile, M.J. and Kennelly, E.J. 2012. Quantitative high-  
 performance liquid chromatography photo-diode array (HPLC-PDA) analysis of  
 benzophenones and biflavonoids in eight *Garcinia* species. J. Food Compos. Anal. 25:  
 215–220.
- Aghbashlo, M., Hosseinpour, S. and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2014. Computer vision  
 technology for real-time food quality assurance during drying process. Trends Food Sci.  
 Tech. 39: 76-84.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S. and Madadlou, A. 2013. A review on energy analysis of  
 drying processes and systems. Renew. Sust. Energ. Rev. 22: 1-22.
- Akoh, C.C. and Min, D.B. 1998. Food lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology.  
*In* Lipid-Based Synthetic Fat Substitutes (Akoh, C.C. and Min, D.B. eds.) p. 559-588.  
 Marcel Dekker. New York.
- Al-Mansoub, M.A., Asmawi, M.Z. and Murugaiyah, V. 2013. Effect of extraction solvents and  
 plant parts used on the antihyperlipidemic and antioxidant effects of *Garcinia atroviridis*:  
 a comparative study. J. Sci. Food Agric. 94: 1552-1558.
- Alsarhan, A., Sultana, N., Al-Khatib, A. and Kadir, M.R.A. 2014. Review on some Malaysia  
 traditional medicinal plants with therapeutic properties. J. Basic. Appl. Sci. 10: 149-159.

- Amran, A.A., Zakaria, Z., Othman, F. and Morat, P. 2010. Effect of *Garcinia atroviridis* on oxidative stress and atherosclerotic changes in experimental guinea pigs. *Am. J. Pharmacol. Toxicol.* 5: 65-70.
- Amran, A.A., Zaiton, Z., Faizah, O. and Morat, P. 2009. Effects of *Garcinia atroviridis* on serum profiles and atherosclerotic lesions in the aorta of guinea pigs fed a high cholesterol diet. *Singapore Med. J.* 50: 295-299.
- A.O.A.C. 2000. Official Method of Analysis of Association of Official Analysis Chemists. 17<sup>th</sup> ed. Virginia: the Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Badwaik, L.S., Borah, P.K. And Deka, S.C. 2014a. Antimicrobial and enzymatic antibrowning film used as coating for bamboo shoot quality improvement. *Carbohydr. Polym.* 103: 213-220.
- Badwaik, L.S., Borah, P.K., Borah, K., Das, A.J., Deka, S.C. and Sharma, H.K. 2014b. Influence of fermentation on nutritional compositions, antioxidant activity, total phenolic and microbial load of bamboo shoot. *Food Sci. Technol. Res.* 20: 255-262.
- Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem.* 99: 191-203.
- Boonyaprapatsorn, N. and Chokchaicharnporn, O. 1996. Som Khaek. *In Medicinal Plants.* p. 452. Faculty of Pharmacy. Mahidol University. Bangkok.
- Boudet, A.M. 2007. Evolution and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry* 68: 2722-2735.
- Brummell, D. 2014. **Fruit growth, ripening and post-harvest physiology** (online). Available <http://plantsinaction.science.uq.edu.au/book/export/html/70> (12 December 2014).
- Carratu, B., Boniglia, C., Giammarioli, S., Mosca, M. and Sanzini, E. 2008. Free amino acids in botanicals and botanical preparations. *J Food Sci.* 75: c323-c328.
- Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Chong, K.L., Tan, J.B.L. and Wong, S.K. 2010. Antioxidant properties of tropical and temperate herbal teas. *J. Food Compos. Anal.* 23: 185-189.
- Chowdhury, T. 2014a. Virtual screening of compounds derived from *Garcinia pedunculata* as an inhibitor of gamma hemolysin component A of *Staphylococcus aureus*. *Bangladesh. J. Pharmacol.* 9: 67-71.

- Chowdhury, T. 2014b. Comparison of total phenolic content of some selected indigenous *Garcinia* species found in Assam. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2: 598-601.
- Chuah, L.O., Ho, W.Y., Beh, B.K. and Yeap, S.K. 2013. Updates on antiobesity effect of *Garcinia* Origin (-)-HCA. *Evid. Based. Complement. Alternat. Med.* 2013: 1-17.
- Clouatre, D and Rosenbaum, M. 1994. The Good Health Guide Series. *In* The diet and Health Benefits of HCA. P. 1-43. Keats Publishing, Connecticut.
- Cordell, G.A. 2014. Phytochemistry and traditional medicine-The revolution continues. *Phytochem. Lett.* 10: 29-40.
- Daglia, M. 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23: 174-181.
- Das, M., Sarma, B.P., Ahmed, G., Nirmala, C.B. and Choudhury, M.K. 2012. *In vitro* antioxidant activity and total phenolic content of *Dillenia indica* and *Garcinia pedunculata*, commonly used fruits in Assamese cuisine. *Free Rad. Antiox.* 2: 30-36.
- Deb, L., Surbala, L., Nongalleima, K., Dhaneshwor, N., Singh, N.S., Dey, A., Singh, M.D., Talukdar, N.C. and Raj, N.T. 2015. Past, present and perspectives of Manipur traditional medicine: A major health care system available for rural population in the North-East India. *J. Ethnopharmacol.* *In press.*
- Decker, A.E. 1998. Antioxidant Mechanism. *In* Food Lipid: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. (Akoh, C.C. and Min, D.B., ed.). p. 397-448. Marcel Decker. New York.
- Dweck Data. 2009. A review of Asam Gelugor (*Garcinia atroviridis*) Griff. ex T. Aders (online). Available [http://www.dweckdata.com/Research\\_files/Garcinia\\_atroviridis.pdf](http://www.dweckdata.com/Research_files/Garcinia_atroviridis.pdf) (23 January 2014).
- Escarpa, A. and Gonzalez, M.C. 2008. An overview of analytical chemistry of phenolic compounds in foods. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 75: 57-139.
- Ezzat, M.A., Zare, D., Karim, R. and Ghazali, H.M. 2015. Trans- and cis-urocanic acid, biogenic amine and amino acid contents in ikan pekasam (fermented fish) produced from Javanese carp (*Puntius gonionotus*) and black tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Food Chem.* 172: 893-899.
- Fellows, P. 2000. Dehydration. *In* Food Processing Technology. 2<sup>nd</sup> ed. p 335-339. CRC Press. Boca Raton.

- Ferreres, F., Gomes, D., Valental, P., Goncalves, R., Pio, R., Alves, E., Seabra, R.M. and Andrade, P.B. 2009. Improved loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars: variation of phenolics and antioxidative potential. *Food Chem.* 114: 1019-1027.
- Gogoi, B.J., Tsering, J., Tag, H. and Veer, Vijay. 2012. Antioxidant potential of *Garcinia* species from Sonitpur district, Assam, North East India. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 3: 3472-3475.
- Gorinstein, S., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Vearasilp, S., Haruenkit, R., Ruamsuke, P., Katrich, E. and Tashma, Z. 2011. Antioxidant properties and bioactive constituents of some rare exotic Thai fruits and comparison with conventional fruits *in vitro* and *in vivo* studies. *Food Res. Int.* 44: 2222-2232.
- Grosvenor, P.W., Gothard, P.K., Mcwilliam, N. C., Supriono, A. and Gray, D.O. 1995. Medicinal plants from Riau province, Sumatra, Indonesia. Part 1: Uses. *J. Ethnopharmacol.* 45: 75-95.
- Guine, R.P.F. and Barroca, M.J. 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprod. Process.* 90: 58-63.
- Guneshwor, K., Haripyaree, A. and Damayanti, M. 2007. Evaluation of antioxidant and antifungal activities of the fruit hull of *Garcinia pedunculata* Roxb. *J. Food Agric. Environ.* 5: 22-25.
- Han, Q.B., Yang, N.Y., Tian, H.L., Qiao, C.F., Song, J.Z., Chang, D.C., Chen, S.L., Luo, K.Q. and Xu, H.X. 2008. Xanthenes with growth inhibition against HeLa cells from *Garcinia xipshuanbannaensis*. *Phytochemistry* 69: 2187-2192.
- Hansen, S.H., Pedersen-Bjergaard, S. and Rasmussen, K.E. 2012. High Performance Liquid Chromatography. *In* Introduction to Pharmaceutical Chemical Analysis. p. 245-246. Ho Printing, Malaysia.
- Hasani-Ranjbar, S., Bayebi, N., Larijani, B. and Abdollahi, M. 2009. A systematic review of the efficacy and safety of herbal medicines used in the treatment of obesity. *World J. Gastroenterol.* 15: 3073-3085.
- Harun, N.H., Septama, A.W. and Jantan, I. 2015. Immunomodulatory effects of selected Malaysian plants on the CD18/11a expression and phagocytosis activities of leukocytes. *Asian. Pac. J. Trop. Biomed.* 5: 48-53.

- Hazarika, T.K., Marak, S., Mandal, D., Upadhyaya, K., Nautiyal, B.P. and Shukla, A.C. 2015. Underutilized and unexploited fruits of Indo-Burma hot spot, Meghalaya, North-East India: ethno-medicinal evaluation, socio-economic importance and conservation strategies (Online). Available <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10722-015-0248-0> (17 April 2015)
- Huang, Z., Wang, B., Eaves, D.H., Shikany, J.M. and Pace, R.D. 2007. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast US. *Food Chem.* 103: 1395-1402.
- Ikram, E.H.K., Eng, K.H., Jalil, A.M.M., Ismail, A., Idris, S., Azlan, A., Nazri, H.S.M., Diton, N.A.M. and Mokhtar, R.A.M. 2009. Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. *J. Food. Comp. Anal.* 22: 388-393.
- Islam, M.Z., Hoque, M.M., Asif-Ul-Alam, S.M. and Monalisa, K. 2015. Chemical composition, antioxidant capacities and storage stability of *Citrus macroptera* and *Garcinia pedunculata* fruits. *Emir. J. Food Agric.* 27: 275-282.
- Jantadate, S. 1995. Som Khaek. Faculty of Science and Technology. Pattani Campus. Prince of Songkla University.
- Jantan, I., Harun, N.H., Septama, A.W., Murad, S. and Mesaik, M.A. 2011a. Inhibition of chemiluminescence and chemotactic activity of phagocytes *in vitro* by the extracts of selected medicinal plants. *J. Nat. Med.* 65: 400-405.
- Jantan, I., Jumuddin, F.A., Saputri, F.C. and Rahman, K. 2011b. Inhibitory effects of the extracts of *Garcinia* species on human low-density lipoprotein peroxidation and platelet aggregation in relation to their total phenolic contents. *J. Med. Plants Res.* 5: 2699-2709.
- Jantan, I., Mohd Yasin, YH., Jalil, J., Murad, S. and Idris, M.S. 2009. Antiplatelet aggregation activity of compound isolated from Guttiferae species in human whole blood. *Pharm. Biol.* 47: 1090-1095.
- Jayaprakasha, G.K., Nehi, P.S. and Jena, B.S. 2006. Antioxidative and antimutagenic activities of the extracts from the rinds of *Garcinia pedunculata*. *Innov. Food Sci. Emerg.* 7: 246-250.
- Jayaprakasha, G.K., Jena, B.S. and Sakariah, K.K. 2003. Improved liquid chromatographic method for determination of organic acids in leaves, pulp, fruits, and rinds of *Garcinia*. *J. AOAC. Int.* 86: 1063-1068.

- Jena, B.S., Jayaprakasha, G.K. and Sakariah, K.K. 2002a. Organic acids from leaves, fruits, and rinds of *Garcinia cowa*. J. Agric. Food Chem. 50: 3431-3434.
- Jena, B.S., Jayaprakasha, G.K., Singh, R.P. and Sakariah, K.K. 2002b. Chemistry and biochemistry of (-)-hydroxycitric acid from *Garcinia*. J. Agric. Food Chem. 50: 10-22.
- Ji, X., Avula, B. and Khan, I.A. 2007. Quantitative and qualitative determination of six xanthenes in *Garcinia mangostana* L. by LP-PDA and LC-ESI-MS. J. Pharmaceut. Biomed. 43: 1270-1276.
- Jin, C., Yin-Chun, S., Gui-Qin, C. and Wen-Dun, W. 1999. Ethnobotanical studies on wild edible fruits in southern Yunnan: folk names; nutritional value and uses. Econ. Bot. 53: 2-14.
- Joseph, G.S., Jayaprakasha, G.K., Selvi, A.T., Jena, B.S. and Sakariah, K.K. 2005. Antiaflatoxic and antioxidant activities of *Garcinia* extracts. Int. J. Food Microbiol. 101: 154-160.
- Kader, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Hort. 485: 203-208.
- Kagyung, R., Gajurel, P.R., Rethy, P. and Singh, B. 2010. Ethnomedicinal plants used for gastrointestinal diseases by Adi tribes of Dehang-Debang Biosphere Reserve in Arunachal Pradesh. Indian J. Tradit. Know. 9: 496-501.
- Kerddonfaek, J. 2010. 140 Medicinal plant species reduce cholesterol in blood. p. 176-177. Seven Printing. Bangkok.
- Kichu, M., Malewska, T., Akter, K., Imchen, I., Harrington, D., Kohen, J., Vemulpad S.R., and Jamie, J.F. 2015. An ethnobotanical study of medicinal plants of Chungtia village, Nagaland, India. J. Ethnopharmacol. 166: 5-17.
- Kolodziejczyk, J., Masullo, M., Olas, B., Piacente, S. and Wachowicz, B. 2009. Effects of garcinol and guttiferone K isolated from *Garcinia cambogia* on oxidative/nitrative modifications in blood platelets and plasma. Platelets 20: 487-492.
- Kosin, J., Ruangrunsi, C., Ito, C. and Furukawa, H. 1998. A xanthone from *Garcinia atroviridis*. Phytochemistry 47: 1167-1168.
- Kruawan, K. and Kangsadalampai, K. 2006. Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. Thai. J. Pharm. Sci. 30: 28-35.



- Kumar, S., Sharma, S., Chattopadhyay, S.K. 2013. The potential health benefit of polyisoprenylated benzophenones from *Garcinia* and related genera: Ethnobotanical and therapeutic importance. *Fitoterapia* 89: 86-125.
- Lean, L.P. and Mohamed, S. 1999. Antioxidative and antimycotic effects of turmeric, lemon-grass, betel leaves, clove, black pepper leaves and *Garcinia atroviridis* on butter cakes. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1817-1822.
- Lenart, A. 1996. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Dry. Technol.* 14: 319-413.
- Lewis, Y. S. 1969. Isolation and Properties of Hydroxycitric Acid. *In Methods in Enzymology*. Vol. 13. (Colowick, S. P., Kaplan, N. O., eds). p. 613-619. Academic Press. New York.
- Lewis, Y. S. and Neelakantan, S. 1965. (-)-Hydroxycitric acids the principal acid in the fruits of *Garcinia cambogia*. *Phytochemistry* 4: 619-625.
- [Lim](#), T. K. 2012. *Garcinia atroviridis*. *In [Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants](#)*. Vol.2. p. 21-28. Springer Dordrecht. Heidelberg. New York.
- Lin, T.M., Durance, D.T. and Scaman, C.H. 1998 Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Res. Int.* 31: 111-117.
- Mackeen, N.M., Mooi, L.Y., Amran, M., Mat, N., Lajis, N.H. and Ali, A.M. 2012. Noncytotoxic and antitumor-promoting activities of garcinia acid esters from *Garcinia atroviridis* griff. *Ex T. Anders, (Guttiferae). Evid-Based. Compl. Alt.* 1-5.
- Mackeen, M.M., Ali, A.M., Lajis, N. H., Kawazu, K., Kikuzaki, H. and Nakatani, N. 2002. Antifungal garcinia acid esters from the fruits of *Garcinia atroviridis*. *Z. Naturforsch.* 57: 291-295.
- Mackeen, M.M., Ali, A.M., Lajis, N.H., Kawazu, K., Hassan, Z., Amran, M., Habsah, M., Mooi, L.Y. and Mohamed, S.M. 2000. Antimicrobial, antioxidant, antitumour-promoting and cytotoxic activities of different plant part extracts of *Garcinia atroviridis* Griff. *Ex T. Anders. J. Ethnopharmacol.* 72: 395-402.
- Mackeen, M.M., Ali, A.M., El-Sharkawy, S.H., Manap, M.Y., Salleh, K.M., Lajis, N.H. and Kawazu, K. 1997b. Antimicrobial and cytotoxic properties of some Malaysian traditional vegetables (Ulam). *Int. J. Pharmacogn.* 35: 174-178.

- Maisuthisakul, P., Suttajit, M. and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chem.* 100: 1409-1418.
- Mahlia, T.M.I., Cheng, L.W., Salikka, L.C.S., Lim, C.L., Hasan, M.H. and Hamdani, U. 2012. Drying *garcinia atroviridis* using waste heat from condenser of a split room air conditioner. *Int. J. Mech. Mat. Eng.* 7: 171-176.
- Magalhaes, A.S., Silva, B.M., Pereira, J.A., Andrade, P.B., Valentao, P. and Carvalho, M. 2009. Protective effect of quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit against oxidative hemolysis of human erythrocytes. *Food Chem. Toxicol.* 47: 1372-1377.
- Marles, R.J. and Farnsworth, N.R. 1995. Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2: 137-189.
- Miean, K.H. and Mohamed, S. 2001.  $\eta$  content of edible tropical plants. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3106-3112.
- Miliauskas G., Venskutonis P.R and Beek T.A.V. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem.* 85: 231–237.
- Miranda, M., Vega-Galvez, A., Lopez, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, E. and Scala, K.D. 2010. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ind. Crop. Prod.* 32: 258-263.
- Moffett, S. A., Bhandari, A. K., Ravindranath, B. and Balasubramanvam, K. 1997. Hydroxycitric acid concentrate and food products prepared therefrom. U.S. Patent 5656314.
- Moffett, S. A., Bhandari, A. K., Ravindranath, B. and Balasubramanvam, K. 1996. Hydroxycitric acid concentrate and food products prepared therefrom. U.S. Patent 5656316.
- Mokbel, M.S. and Hashinaga, F. 2006. Evaluation of the antioxidant activity of extracts from buntan (*Citrus grandis* Osbeck) fruit tissues. *Food Chem.* 94: 529-534.
- Mudoj, T., Deka, D.C. and Devi, R. 2015. Determination of macro and trace element contents of some indigenous fruits of north eastern region of India. *Asian J. Chem.* 27: 169-172.

- Mudoi, T., Deka, D.C. and Devi, R. 2012. *In vitro* antioxidant activity of *Garcinia pedunculata*, an indigenous fruit of North Eastern (NE) region of India. *Int. J. PharmTech. Res.* 4: 334-342.
- Muensritharam, L., Tolieng, V., Chaichantipyuth, C., Petsom, A. and Nhujak, T. 2008. Capillary zone electrophoresis for separation and analysis of hydroxycitric acid and hydroxycitric acid lactone: Application to herbal products of *Garcinia atroviridis* Griff. *J. Pharmaceut. Biomed.* 46: 577-582.
- Mukherjee, S., Mandal, N., Dey, A. and Mondal, B. 2012. An approach towards optimization of the extraction of polyphenolic antioxidants from ginger (*Zingiber officinale*). *J. Food Sci. Technol.* 1-8.
- Mundugaru, R., Joy, F., Shrimidhi, R., Das, L., Sudhakara. And Ravishankar, B. 2014a. Anti inflammatory activity of aqueous extract of fruits of *garcinia pedunculata* in experimental animals. *Am. J. PharmTech. Res.* 4: 278-283.
- Mundugaru, R., Varadharajan, M.C. and Basavaiah, R. 2014b. Hepatoprotective activity of fruit extract of *Garcinia pedunculata*. *Bangladesh. J. Pharmacol.* 9: 483-487.
- Naczki, M. and Shahidi, F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 41: 1523-1542.
- Naldoni, F.J., Claudino, A.L.R., Cruz, J.W., Chavasco, J.K., Faria, E., Silva, P.M., Veloso, M.P. and Dos Santos, M.H. 2009. Antimicrobial activity of benzophenones and extracts from the fruits of *Garcinia brasiliensis*. *J. Med. Food.* 12: 403-405.
- Namiki, M. 1990. Antioxidant/ antimutagens in food. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 29: 273-300.
- Nanasombat, S. and Teckchuen, N. 2009. Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of Thai local vegetables. *J. Med. Plants Res.* 3: 443-449.
- Nanditha, B.R., Jena, B.S. and Prabhasankar, P. 2008. Influence of natural antioxidants and their carry-through property in biscuit processing. *J. Sci. Food Agric.* 89: 288-298.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C. and Martinez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by dalinity. *Food Chem.* 96: 66-73.

- Negi, P.S., Jayaprakasha, G.K. and Jena, B.S. 2008. Antibacterial activity of the extracts from the fruit rinds of *Garcinia cowa* and *Garcinia pedunculata* against food borne pathogens and spoilage bacteria. *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 1857-1861.
- Nursakinah, I., Zulkhairi, H.A., Norhafizah, M., Hasnah, B., Zamree, M.S., Farrah, S.I., Razif, D. and Hamzah, F.H. 2012. Nutritional content and *in vitro* antioxidant potential of *Garcinia atroviridis* (Asam gelugor) leaves and fruits. *Malays. J. Nutr.* 18: 363-371.
- Obolskiy, D., Pischel, I., Siriwatanametanon, N. and Heinrich, M. 2009. *Garcinia mangostana* L.: A phytochemical and pharmacological review. *Phytother. Res.* 23: 1047-1065.
- Okoko, T. 2009. *In vitro* antioxidant and free radical scavenging activities of *Garcinia kola* seeds. *Food Chem. Toxicol.* 47: 2620-2623.
- Ong, H.C. and Nordiana, M. 1999. Malay ethno-medico botany in Machang, Kelantan, Malaysia. *Fitoterapia* 70: 502-513.
- Osawa, T. 1994. Novel Natural Antioxidants for Utilization in Food and Biological System. *In Postharvest Biochemical of Plant Food-Material in the Tropics.* (Uritani, I. *et al.*, ed.). p. 241-251. Japan Scientific Societies Press. Japan.
- Parthasarathi, S., Ezhilarasi, P.N. Jena, B.S. and Anandharamakrishnan, C. 2013. A comparative study on conventional and microwave-assisted extraction for microencapsulation of *Garcinia* fruit extract. *Food Bioprod. Process.* 9I: 103–110.
- Parthasarathy, U. and Nandakishore, O.P. 2014. A study on nutrient and medicinal compositions of selected Indian *Garcinia* species. *Curr. Bioact. Compd.* 10: 55-61.
- Patiri, B. and Borah, A. 2007. *Garcinia pedunculata* Roxb. *In Wild Edible Plants of Assam.* p. 12. Geetakhi Printers & Publishers. Assam.
- Peres, V., Nagem, T.J. and Oliveira, F.F. 2000. Tetraoxygenated naturally occurring xanthenes. *Phytochemistry* 55: 683-710.
- Perez-Jimenez, J. and Saura-Calixto, F. 2006. *In vitro* efficacy of 75 essential oils against *Aspergillus niger*. *Mycoses.* 49: 316-323.
- Permana, D., Abas, F., Maulidiani, Shaari, K., Stanslas, J., Ali, A.M. and Lajis, N.H. 2005. Atroviridone B, a new prenylated depsidone with cytotoxic property from the roots of *Garcinia atroviridis*. *Z. Naturforsch.* 60: 523-526.

- Permana, D., Lajis, N.H., Shaari, K., Ali, A.M., Mackeen, M.M., Kitajima, M., Takayama, H. and Aimi, N. 2003. A new prenylated hydroquinone from the roots of *Garcinia atroviridis* Griff ex T. Anders (Guttiferae). *Z. Naturforsch.* 58: 332-335.
- Permana, D., Lajis, N.H., Mackeen, M.M., Ali, A.M. and Aimi, N. 2001. Isolation and Bioactivities of constituents of the roots of *Garcinia atroviridis*. *J. Nat. Prod.* 64: 976-979.
- Phongpaichit, S., Rungjindama, N., Rukachaisirikul, V. and Saka-yaroj, J. 2006. Antimicrobial activity in cultures of endophytic fungi isolated from *Garcinia* species. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 48: 367-372.
- Povichit, N., Phrutivorapongkul, A., Suttajit, M., Chaiyasut, C. and Leelapornpisid, P. 2010. Phenolic content and *In vitro* inhibitory effects on oxidation and protein glycation of some Thai medicinal plants. *Pak. J. Pharm. Sci.* 23: 403-408.
- Prakash, A., Rigelhof, F. and Eugene Miller. 2015. Antioxidant activity (Online). Available [http://www.medlabs.com/Downloads/Antiox\\_acti\\_.pdf](http://www.medlabs.com/Downloads/Antiox_acti_.pdf) (1 May 2015)
- Promjiam, P., Siripongvutikorn, S., Usawakesmanee, W. and Wichienchot, S. 2013. Effect of added *Garcinia* fruit on total phenolic compound content, antioxidant properties and quality changes of the southern sour curry paste, Keang-hleung, during storage. *Food Nutr. Sci.* 4: 812-820.
- Rabeta, M.S. and Nur-Faraniza, R. 2013. Total phenolic content and ferric reducing antioxidant power of the leaves and fruits of *Garcinia atroviridis* and *Cynometra cauliflora*. *Int. Food Res. J.* 20: 1691-1696.
- Rao, G.V., Karunakara, A.C., Babu, R.R.S., Ranjit, D. and Reddy, G.C. 2010. Hydroxycitric acid lactone and its salts: preparation and appetite suppression studies. *Food Chem.* 120: 235-239.
- Rao, A.V.R., Sarma, M.R., Venkataraman, K. and Yemul, S.S. 1974. A benzophenone and xanthone with unusual hydroxylation patterns from the heartwood of *Garcinia pedunculata*. *Phytochemistry* 13: 1241-1244.
- Reid, M.S. 2002. Maturation and Maturity Indices. *In* *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3<sup>rd</sup> ed. (Kader, A.A., ed.). p. 55-62. University of California Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. USA.

- Ritthiwigrom, T., Laphookhieo, S. and Pyne, S.P. 2013. Chemical constituents and biological activities of *Garcinia cowa* Roxb. Maejo Int. J. Sci. Technol. 7: 212-231.
- Rittirut, W. and Siripatana, C. 2006. Drying Characteristics of *Garcinia atroviridis*. Walailak J. Sci. & Tech. 3: 13-32.
- Roongpisuthipong, C., Kantawan, R. and Roongpisuthipong, W. 2007. Reduction of adipose tissue and body weight: effect of water soluble calcium hydroxycitrate in *Garcinia atroviridis* on the short term treatment of obese women in Thailand. Asia. Pac. J. Clin. Nutr. 16: 25-29.
- Ross, K.A., Beta, T. and Arntfield, S.D. 2009. A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. Food Chem. 113: 336-344.
- Sahu, A., Das, B. and Chatterjee, A. 1989. Polyisoprenylated benzophenones from *Garcinia pedunculata*. Phytochemistry 24: 1233-1235.
- Sangkitikomol, W. 2012. Antioxidants in Thai herb, vegetable and fruit inhibit hemolysis and Heinz body formation in human erythrocytes. In Oxidative Stress-Environmental Induction and Dietary Antioxidant. (Lushchak, V.I., ed.). p. 289-306. InTech Open Access. Rijeka.
- Santacatalina, J. V., Ozuna, C., Carcel, J. A., Garcia-Perez, J. V. and Mulet, A. 2014. Quality assessment of dried eggplant using different drying methods: hot air drying, vacuum freeze drying and atmospheric freeze drying (online). Available <http://www.icef11.org/content/papers/aft/AFT870.pdf> (3 November 2014).
- Sarma, R. and Devi, R. 2015. Ethnopharmacological survey of *Garcinia pedunculata* Roxb. Fruit in six different districts of Assam, India. Int. J. Pharm. Sci. Invent. 4: 20-28.
- Sawasdee, P. 2017. Morphology of plants (Online). Available [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302571/2.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302571/2.pdf) (1 March 2017)
- Serrano, M., Zapata, P.J., Castillo, S., Guillen, F., Martinez-Romero, D. and Valero, D. 2010. Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. Food Chem. 118: 497-503.
- Seruji, N.M.U., Khong, H.Y. and Kutoi, C. J. 2013. Antioxidant, Anti-Inflammatory, and cytotoxic activities of *Garcinia nervosa* (Clusiaceae). 1-5.

- Shalaby, A.R. 1996. Significance of biogenic amines to food safety and human health. *Food Res. Int.* 29: 675-690.
- Sharma, A., Joseph, G.S. and Singh, R.P. 2014. Antioxidant and antiplatelet aggregation properties of bark extracts of *Garcinia pedunculata* and *Garcinia cowa*. *J. Food Sci. Technol.* 51: 1626-1631.
- Sharma, B., Handique, P.J. and Devi, H.S.J *Food Sci Technol.* 2013. Antioxidant properties, physico-chemical characteristics and proximate composition of five wild fruits of Manipur, India (Online). Available <http://link.springer.com/article/10.1007/s13197-013-1128-2> (22 August 2013).
- Shahidi, F. and Naczki, M. 1995. *Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects, Applications.* Technomic Publishing Company, Inc.: Lancaster, PA.
- Siegler, B.C. 2011. Current trends in drying and dehydration of foods. *In Food Engineering.* (Mohapatra, D and Mishra, S., ed.). p. 311-352. Nova science publishers, Inc.
- Siriphanich, J. 2001. *Physiology and Postharvest Technology of Vegetables and Fruits.* Kasetsart University.
- Siripongvutikorn, S., Thongraung, C., Usawakesmanee, W., Buatoom, T. and Thammarutwasik, P. 2009. Development of instant garcinia (*Garcinia atroviridis*) Tom-Yam mix as a high acid seasoning. *J. Compilation.* 33: 74-86.
- Smitinand, T. 1979. *Thai Plant Names (Botanical names-vernacular names).* p.158. Funny Publishing . Bangkok.
- Subhadrabandhu, S. 2001. *Under-Utilized Tropical Fruits of Thailand.* FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok.
- Sulaiman, S.F. and Ooi, K.L. 2014. Antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of 40 tropical juices from Malaysia and identification of phenolics from the bioactive fruit juices of *Barringtonia racemosa* and *Phyllanthus acidus*. *J. Agric. Food Chem.* 62: 9576-9585.
- Suwantong, O., Pankongadisak, P., Deachathai, S. and Supaphol, P. 2013. The potential of electrospun poly (L-lactic acid) fiber mats containing a crude *Garcinia dulcis* extract for use as wound dressings. *Chiang Mai J. Sci.* 40: 517-533.

- Tembe, R.P. and Deodhar, M.A. 2011. Clonal propagation and hydroxycitric acid production from *in vitro* shoot cultures of *Garcinia indica* using root suckers as explant. *In vitro Cell. Dev.-Pl.* 47: 399-409.
- Tan, W.N., Khairuddean, M., Wong, K.C., Khaw, K.Y. and Vikneswaran, M. 2014. New cholinesterase inhibitors from *Garcinia atroviridis*. *Fitoterapia* 97: 261-267.
- Tan, W.N., Wong, K.C., Khairuddean, M., Eldeen, I.M., Asmawi, M.Z. and Sulaiman, B. 2013. Volatile constituents of the fruit of *Garcinia atroviridis* and their antibacterial and anti-inflammatory activities. *Flavoru. Fragr. J.* 28: 2-9.
- Tarak, D., Namsa, N.D., Tangiang, S., Arya, S.C. and Rajbonshi, B., Samal, P.K. and Mandal, M. 2011. An inventory of the ethnobotanicals used as anti-diabetic by a rural community of Dhemaji district of Assam, Northeast India. *J. Ethnopharmacol.* 138: 345-350.
- Vo, H.T., Nguyen, N.T.T., Maas, G., Werz, U.R., Pham, H.D. and Nguyen, L.H.D. 2012. Xanthenes from the bark of *Garcinia pedunculata*. *Phytochem. Lett.* 5: 766-769.
- Waterman, P.G. and Hussain, R.A. 1983. Systematic significance of xanthenes, benzophenones and bioflavonoids in *Garcinia*. *Biochem. Syst. Ecol.* 11: 21-28.
- Wetwitayaklung, P., Charoenteeraboon, J., Limmatvapirat, C., and Phaechamud, T. 2012. Antioxidant activities of some Thai and exotic fruits cultivated in Thailand. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 3: 12-21.
- Wojdylo A, Figiel A, Oszmianski J. Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. *Pol J Food Nutr Sci* 2007; 4: 601-605.
- Wong, F.C., Yap, Y.V. and Chai, T.T. 2014. Comparative bioactivities study of five dietary used in Malaysia. *Asian J. Chem.* 26: 755-757.
- Xu, D., Lao, Y., Xu, N., Hu, H., Fu, W., Tan, H., Gu, Y., Song, Z., Cao, P. and Xu, H. 2015. Identification and characterization of anticancer compounds targeting apoptosis and autophagy from chinese native *Garcinia* species. *Planta. Med.* 81: 79-89.
- Yamada, T., Hida, H. and Yamada, Y. 2007. Chemistry, physiological properties, and microbial production of hydroxycitric acid. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 75: 977-982.



- Yamasaki, K., Hashimoto, A., Kokusenya, Y., Miyamoto, T. and Sato, T. 1994. Electrochemical method for estimating the antioxidative effects of methanol extracts of crude drugs. *Chem. Pharm. Bull.* 42: 1663-1665.
- Yapwattanaphun, C., Subhadrabandhu, S., Sugiura, A. and Yonemori, K. 2002. Utilization of some *Garcinia* species in Thailand. *Acta. Hort.* 575: 563-570.
- Ye, P., Cheah, I.K. and Halliwell, B. 2013. High fat diets and pathology in the guinea pig. atherosclerosis or liver damage. *Biochim. Biophys. Acta.* 1832: 355-364.
- Zhang, B., Xi, W.P., Wei, W.W., Shen, J.Y., Ferguson, I. and Chen, K.S. 2011. Changes in aroma-related volatiles and gene expression during low temperature storage and subsequent shelf-life of peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 60: 7-16.

## ภาคผนวก

1. การหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซัลฟิวริก (A.O.A.C., 2000)

### อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.

### สารเคมี

1. ฟีนอล์ฟทาลีน
2. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

### การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

1. นำโพแทสเซียมแอสซิเตท (KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>) ใส่กระจกนาฬิกาไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน desiccator
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้แน่นอน 0.8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่นต้ม 25 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ขวด)
4. ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

### วิธีการ

1. นำน้ำส้มแขกที่ได้กรองผ่านผ้าขาวบาง
2. บีบส่วนที่กรองได้ 5 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด เขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ไตเตอร์} \times N \times n \times 100}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad N &= \text{ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)} \\ n &= \text{มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดซิตริก} = 0.07 \text{ (กรดซิตริก)} \end{aligned}$$

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบสุญญากาศ
2. ภาชนะหาความชื้น
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

### วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105.0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถดูดความชื้น ปล่อยให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. บดตัวอย่างให้ละเอียด และชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนโดยประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105.0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
4. อบซ้ำเช่นเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
5. คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร  

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Miliauskas *et al.*, 2004)

## สารเคมี

1. สารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent
2. กรดแกลลิก (Gallic acid)
3. โซเดียมคาร์บอเนต แอนไฮไดรอส (Sodium carbonate anhydrous;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
4. เอทานอล

## อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไมโครปิเปตขนาด 10-200 และ 20-1000 ไมโครลิตร
2. หลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร (สำหรับเจือจางตัวอย่าง)
3. ไมโครเพลท (Microplate) ขนาด 96 หลุม
4. เครื่อง Microplate reader

## วิธีการ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในผลส้มควายและส้มแขก (ดัดแปลงวิธีการจาก Cai *et al.*, 2004 และ Zaeoung, 2004)

1. บดชิ้น ส้มแขก ให้ละเอียด โดยการบดใน โกร่งร่วมกับการใช้ลิวิดใน โตรเจน ชั่งตัวอย่างให้ได้ 10 กรัม ใส่ลงใน โบกี้ เติมน้ำเอทานอลลงไป ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
2. บดด้วยความเร็วระดับกลาง และตั้งสกัดไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปเซนตริฟิวส์ ที่ความเร็วรอบ 7,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent และโซเดียมคาร์บอเนต

1. เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ความเข้มข้น 10% โดย Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
  2. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.71 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 กรัม จากนั้นละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
- การเตรียมสารละลายมาตรฐาน กรดแกลลิก

เตรียมสารละลายกรดแกลลิกให้มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 80, 40, 20, 16, 8 และ 4 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

## การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ลงในหลุมของไมโครเพลท
2. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 80 ไมโครลิตร
4. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในที่มืด จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
5. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก โดยนำสารละลายกรดแกลลิกที่แต่ละความเข้มข้น ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-7
6. กำหนดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานค่าในรูปแบบ มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมฐานแห้ง (gallic acid equivalents (GAE)/ g, db)

#### 4. การวิเคราะห์กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity) [Yamasaki *et al.*, 1994]

##### สารเคมี

1. เมททานอล
2. เอทานอล
3. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)
4. บีเอชที (Butylhydroxytoluene; BHT)

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไมโครปิเปตขนาด 10-200 และ 20-1000 ไมโครลิตร
2. หลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร (สำหรับเจือจางตัวอย่าง)
3. ไมโครเพลท (Microplate) ขนาด 96 หลุม
4. เครื่อง Microplate reader

##### วิธีการ

##### การเตรียมสารละลาย DPPH

การเตรียมสารละลาย DPPH ให้มีความเข้มข้น  $6 \times 10^{-5}$  โมลาร์ โดยชั่ง DPPH ให้ได้น้ำหนักแน่นอน 2.4 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สารละลายที่เตรียมแล้วเก็บได้ไม่เกิน 3 วัน

##### การเตรียมสารละลายบีเอชที

เตรียมสารละลายบีเอชที ให้มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งบีเอชทีให้ได้น้ำหนักแน่นอน 10 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิกรัม จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้น 200, 100, 10 และ 2 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

#### การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างของแต่ละความเข้มข้น 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมของไมโครเพลท
2. เติมสารละลายของ DPPH ลงไป 100 ไมโครลิตร (ความเข้มข้นสุดท้ายของสารตัวอย่างเท่ากับ 100, 50, 10, 5 และ 1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ)
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในที่มืด จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
4. สำหรับสารละลายมาตรฐานบีเอชที ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนจากตัวอย่างเป็นสารละลายบีเอชที ที่ความเข้มข้นต่างๆ
5. คำนวณค่า % Inhibition ดังสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{(\text{OD}_{\text{Control}} - \text{OD}_{\text{Blank control}}) - (\text{OD}_{\text{Sample}} - \text{OD}_{\text{Blank sample}})}{(\text{OD}_{\text{Control}} - \text{OD}_{\text{Blank control}})} \times 100$$

**หมายเหตุ**  $\text{OD}_{\text{Control}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH 100 ไมโครลิตร กับน้ำกลั่น 100 ไมโครลิตร

$\text{OD}_{\text{Blank control}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่น 100 ไมโครลิตร กับเอทานอล 100 ไมโครลิตร

$\text{OD}_{\text{Sample}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ 100 ไมโครลิตร กับเอทานอล 100 ไมโครลิตร

$\text{OD}_{\text{Blank sample}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ 100 ไมโครลิตร กับเอทานอล

6. นำค่า %Inhibition ที่ได้ไปคำนวณหาค่า  $\text{EC}_{50}$  (ปริมาณของสารตัวอย่างในหน่วยไมโครกรัมที่ไปลดความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลง 50% ต่อ 1 มิลลิลิตร สารละลายตัวอย่างเริ่มต้น)

5. การวิเคราะห์ปริมาณ HCA และ HCAL (ดัดแปลงจาก Jayaprakasha *et al.*, 2003 และ Jena *et al.*, 2002 อ้างโดย อัญชลี ศิริโชติ และบุปผา จงปัญญาเลิศ, 2560)

สารเคมี

1. เมทานอล
2. สารมาตรฐาน HCA [Hydroxycitric acid calcium salt,  $(C_6H_5O_8)_2Ca_3$ ] และ HCAL (Garcinia acid,  $C_6H_6O_7$ )
3. น้ำ HPLC grade
4. ผงถ่าน
5. Resin
6. กรดไฮโดรคลอริก

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กระจกกรองเบอร์ 1
2. ขวดกั้นกลม
3. Nylon membrane
4. ขวดสีชา
5. คอลัมน์แก้ว
6. ชุด Soxhlet apparatus และเตาควบคุมอุณหภูมิ
7. เครื่อง Rotary vacuum evaporator
8. เครื่อง Stirrer
9. เครื่องมือ HPLC

ขั้นตอนการสกัด

1. บดตัวอย่างส้มแขกแห้งด้วยไนโตรเจนเหลว ซึ่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระจกกรองเบอร์ 1 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร) และห่อตามวิธีการเช่นเดียวกับการสกัดไขมัน
2. เติมเมทานอล ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดกั้นกลม
3. ทำการสกัดด้วยชุด Soxhlet apparatus บนเตาควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมให้เมทานอลชะผ่านตัวอย่างด้วยอัตรา 60-80 หยด/นาที ใช้เวลาในการสกัดนาน 8 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างที่สกัดได้ไประเหยเมทานอลด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 337 มิลลิบาร์



### ขั้นตอนการผ่านผงถ่าน

1. ปิเปิดตัวอย่างสารสกัดที่ผ่านการระเหยเมทานอลออกแล้ว ปริมาตร 1 มิลลิลิตร พร้อมกับชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 4 ตำแหน่ง ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว จากนั้นเติมน้ำ HPLC grade ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
2. เติมผงถ่านน้ำหนัก 0.02 กรัม จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 95 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนนาน 30 นาที จากนั้นนำมาหล่อเย็นในน้ำจนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิจนอากาศปกติ
3. กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41 และชะหลอดทดลองด้วยน้ำ HPLC grade 2 มิลลิลิตร ผ่านกระดาษกรองเช่นเดียวกัน
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ได้

### ขั้นตอนการ Activated resin

1. ชั่งตัวอย่าง Resin น้ำหนัก 1.50 กรัมลงในบีกเกอร์
2. เติม 5% HCl ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ตั้งกวนบนเครื่อง Stirrer นาน 45 นาที จากนั้นจึงดูดเอาส่วน HCl ออก
3. เติมน้ำ HPLC grade ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ตั้งกวนบนเครื่อง Stirrer นาน 45 นาที
4. บรรจุ Activated resin ลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (วงใน) 13.0 มิลลิเมตร โดยปรับอัตราการไหลของน้ำให้อยู่ในช่วง 1.5 มิลลิลิตร/นาที เพื่อควบคุมความสูงของ Resin ภายในคอลัมน์ โดยความสูงของ Resin ประมาณ 5.0-6.5 เซนติเมตร
5. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade ประมาณ 10 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร หรือจนค่า pH ของน้ำที่ชะผ่านมีค่าประมาณ 4.5-4.8 จึงนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทันที

### การชะตัวอย่างผ่านคอลัมน์

1. ปิเปิดตัวอย่างที่ผ่านผงถ่าน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำ HPLC grade 2 มิลลิลิตร
2. บรรจุตัวอย่างลงในคอลัมน์ที่มี Activated resin ซึ่งปรับอัตราการไหลอยู่ในช่วง 1.5 มิลลิลิตร/นาที ชะตัวอย่างผ่าน Resin จำนวน 3 รอบ จากนั้นเก็บตัวอย่างในขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade 4 มิลลิลิตรและเก็บน้ำที่ชะผ่านลงในขวดปรับปริมาตรในข้อ 2 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ HPLC grade ให้ครบ 10 มิลลิลิตร

4. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่าน Nylon Membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา (Amber vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่านำไปวิเคราะห์ (ไม่เกิน 20 ชั่วโมงโดยประมาณ)

#### การเตรียมสารมาตรฐาน HCA

1. ชั่ง HCA [(-)-Hydroxycitric acid calcium salt,  $(C_6H_5O_8)_2Ca_3$ ] ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.0250 กรัม ละลายในน้ำ HPLC grade 4 มิลลิลิตร
2. บรรจุตัวอย่างลงในคอลัมน์ที่มี Activated resin นานาที่ ชะตัวอย่างผ่าน Resin จำนวน 3 รอบ จากนั้นเก็บตัวอย่างในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade 6 มิลลิลิตรและเก็บน้ำที่ชะผ่านลงในขวดปรับปริมาตร ในข้อ 2 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ HPLC grade ให้ครบ 10 มิลลิลิตร
4. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่าน Nylon membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ทันที

#### การเตรียมสารมาตรฐาน HCAL

ทำการเจือจาง HCAL ด้วยเอทานอล และกรองผ่าน Nylon membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ทันที

#### การวิเคราะห์ HCA และ HCAL ในเชิงปริมาณด้วย HPLC

1. ทำการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมด้วยน้ำ HPLC grade
2. ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ด้วยสภาวะที่กำหนดดังนี้

เครื่องมือ HPLC รุ่น 1100, Agilent Technologies, Germany

เทคนิคการทดสอบ Reverse phase high performance liquid chromatography

คอลัมน์ : LiChrospher ® 100 RP-18 4.0×250 มิลลิเมตร,  
5 ไมโครเมตร

อัตราการไหล : 0.8 มิลลิลิตร/นาที

อุณหภูมิคอลัมน์ : 25 องศาเซลเซียส

เฟสเคลื่อนที่ :  $H_2O$  (+HClO<sub>4</sub> pH 2.5)

ดีเทกเตอร์ : Variable wavelength detector ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น  
210 นาโนเมตร

ปริมาตรที่วิเคราะห์ : 20 ไมโครลิตร

สารมาตรฐาน HCA ความเข้มข้นในช่วง 125-2000 พีพีเอ็ม

สารมาตรฐาน HCAL ความเข้มข้นในช่วง 100-1000 พีพีเอ็ม

3. คำนวณปริมาณ HCA และ HCAL โดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟที่วิเคราะห์ได้กับกราฟมาตรฐานของ HCA และ HCAL ตามลำดับ และรายงานค่าในหน่วย มิลลิกรัม/ กรัมฐานแห้ง

**Appendix Table 1.** L\*, a\* and b\* values of fresh *G. pedunculata* fruit each maturity stage

Maturity stages	Colour values		
	L*	a*	b*
1	53.22±1.51 <sup>c</sup>	-11.29±0.95 <sup>e</sup>	23.13±2.93 <sup>b</sup>
2	53.63±1.28 <sup>c</sup>	-10.62±0.53 <sup>d</sup>	20.77±1.82 <sup>c</sup>
3	52.72±1.53 <sup>c</sup>	-8.72±0.60 <sup>c</sup>	18.42±1.81 <sup>d</sup>
4	57.83±1.88 <sup>b</sup>	-4.64±1.00 <sup>b</sup>	23.93±1.55 <sup>b</sup>
5	64.72±1.37 <sup>a</sup>	3.33±1.33 <sup>a</sup>	31.81±1.55 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

**Appendix Table 2.** L\*, a\* and b\* values of fresh *G. atroviridis* fruit each maturity stage

Maturity stages	Colour values		
	L*	a*	b*
1	64.01±1.24 <sup>a</sup>	-11.48±0.45 <sup>e</sup>	30.17±1.09 <sup>a</sup>
2	57.62±3.24 <sup>c</sup>	-10.73±0.15 <sup>d</sup>	23.09±2.61 <sup>b</sup>
3	53.61±2.21 <sup>d</sup>	-8.96±0.25 <sup>c</sup>	17.98±2.27 <sup>c</sup>
4	59.88±2.98 <sup>b</sup>	-8.39±0.25 <sup>b</sup>	23.77±3.01 <sup>b</sup>
5	63.97±1.28 <sup>a</sup>	-1.37±0.61 <sup>a</sup>	30.84±1.15 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

**Appendix Table 3.** L\*, a\* and b\* values of *G. pedunculata* slices after drying at 51°C for 8 hours

Maturity stages	Colour values		
	L*	a*	b*
1	65.21±4.07 <sup>a</sup>	0.06±1.15 <sup>c</sup>	11.61±1.64 <sup>c</sup>
2	65.08±3.64 <sup>a</sup>	0.23±1.17 <sup>c</sup>	13.05±1.94 <sup>ab</sup>
3	63.22±2.29 <sup>ab</sup>	1.71±1.05 <sup>b</sup>	11.79±0.90 <sup>bc</sup>
4	62.44±2.98 <sup>ab</sup>	2.50±1.31 <sup>b</sup>	11.38±1.37 <sup>c</sup>
5	61.55±3.29 <sup>b</sup>	4.84±1.01 <sup>a</sup>	13.28±1.95 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

**Appendix Table 4.** L\*, a\* and b\* values of *G. atroviridis* slices after drying at 51°C for 8 hours

Maturity stages	Colour values		
	L*	a*	b*
1	67.17±2.44 <sup>bc</sup>	-0.91±0.68 <sup>a</sup>	17.34±2.94 <sup>a</sup>
2	65.67±2.71 <sup>c</sup>	-3.55±0.70 <sup>b</sup>	13.75±2.23 <sup>c</sup>
3	69.57±4.85 <sup>ab</sup>	-3.24±1.14 <sup>b</sup>	14.63±2.38 <sup>bc</sup>
4	70.05±3.04 <sup>a</sup>	-3.47±1.15 <sup>b</sup>	16.61±2.20 <sup>ab</sup>
5	66.59±2.43 <sup>c</sup>	-0.42±0.45 <sup>a</sup>	18.50±2.67 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>Means±standard deviations with the different superscripts in the same column from each attribute were significantly different ( $p<0.05$ ).

Each maturity using 6 fruits for measurements.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวอภันตรี มีบุญ	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5511020036	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2560

(อุตสาหกรรมเกษตร)

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

อภันตรี มีบุญ, ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, อัญชลี ศิริโชติ และศุภยงค์ วร วุฒิกุลชัย. 2559. ผลของระยะการเจริญของผลและเวลาอบแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของส้มควาย (*Garcinia pedunculata* Roxb.) . การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 15 มกราคม 2559. หน้า 420-427.

Meeboon, A, Sirichote, A. and Voravuthikunchai, S.P. 2014. Chemical and antioxidant properties of *Garcinia atroviridis* as affected by the maturity and hot-air dehydration. In Proceedings of the Fifth International Conference on Natural Products for Health and Beauty. Thailand. 6-8 May 2014. P. 100