



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่ม Flavonoids และ Anthocyanins ของส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิมสยาม ที่ปลูกในประเทศไทย

โดย
เสาวภา ไชยวงศ์

พฤษภาคม 2553

สัญญาเลขที่ RDG5120073

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่ม
Flavonoids และ Anthocyanins ของส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์
ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิม
สยาม ที่ปลูกในประเทศไทย

คณะผู้วิจัย
เสาวภา ไชยวงศ์
ธีรพงษ์ เทพกรณ์
สุจิตต์ ส่วนไพโรจน์
โรมรัน ชูศรี
อุไรวรรณ ขุนจันทร์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พฤษภาคม 2553

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ส้มโอเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีศักยภาพในการส่งออกและนิยมบริโภคภายในประเทศ ซึ่งพืชตระกูลส้มเป็นแหล่งของสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ด้านการอักเสบและอาการแพ้ ลด LDL คอเลสเตอรอล และสามารถลดการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจและโรคหลอดเลือดหัวใจ อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในส้มโอของไทยยังมิได้มีการศึกษาและวิจัยกันอย่างจริงจังโดยเฉพาะส้มโอไทยนั้นมีความหลากหลายของพันธุ์ตามลักษณะสีเนื้อที่แตกต่างกัน เช่น เนื้อสีขาวเหลือง สีชมพู และสีแดง อีกทั้งปัจจัยของความแก่ของส้มโอยังมีอิทธิพลต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญเช่นกัน ซึ่งส่วนมากพบว่าปริมาณสารสำคัญลดลงเมื่อความอายุผลส้มโอมากขึ้น โดยชนิดสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมากในส้มโอหรือเกรฟฟรุทได้แก่ สารฟลาโวนอน (flavanones) และสารในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานิน ของส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) จากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

จากการวิเคราะห์สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค high-performance liquid chromatography (HPLC) แสดงให้เห็นว่าสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญและพบมากที่สุด ในส้มโอไทยถึง 40-60% แต่อย่างไรก็ตามยังพบสารอื่นที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ (unknown) แตกต่างตามพันธุ์ของส้มโอ อีกทั้งไม่พบสารฟลาโวนอยด์ดังต่อไปนี้ rutin hesperidin neohesperidin quercetin apigenin kaempferol และ naringenin ในส้มโอทั้งห้าพันธุ์ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสาร naringin พบว่าส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณสาร naringin มากที่สุดและมากกว่าถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโออีกสี่พันธุ์ซึ่งมีปริมาณสารดังกล่าวไม่แตกต่างกัน ขณะที่ส้มโอแก่มากขึ้นปริมาณสาร naringin ลดลง อีกทั้งพบว่าพันธุ์ส้มโอและความแก่นั้นมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin นอกจากนี้ส้มโอที่ปลูกในแต่ละพื้นที่มีผลต่อปริมาณสารดังกล่าว ดังเช่นในส้มโอพันธุ์ทองดีที่ปลูกในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณสาร naringin มากกว่าถึง 2-3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ทองดีจากจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายกและปราจีนบุรี อาจกล่าวได้ว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม การปลูกและการดูแลรักษา มีผลต่อปริมาณสาร naringin เช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่พบสารสำคัญในกลุ่มแอนโทไซยานินในส้มโอไทย โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีเนื้อสีชมพูและสีแดง (พันธุ์ทองดีและทับทิมสยาม) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่งที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของส้มโอไทยในด้านโภชนาการและสุขภาพ

อย่างไรก็ตามยังพบสาร unknown มากถึง 40-60% ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อไปโดยอาจใช้เทคนิคขั้นสูงหรือเพิ่มชนิดของสารมาตรฐานโดยเฉพาะสารกลุ่มฟลาโวน (flavone) เพื่อระบุชนิดและปริมาณของสาร unknown ซึ่งอาจเป็นการค้นพบสารใหม่ที่แตกต่างจากส้มโอต่างประเทศหรือเป็นสารชนิดเดียวกับส้มโอต่างประเทศแต่มีปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านปัจจัยการผลิตและสภาพแวดล้อมของการปลูกส้มโอในจังหวัดนครศรีธรรมราชทั้งพันธุ์ทับทิมสยามและทองดี เพื่อใช้เป็นส้มโอดันแบบที่มีปริมาณสาร naringin สูง ในการประยุกต์ใช้กับการผลิตส้มโอพันธุ์อื่นๆ และพันธุ์ทองดีในจังหวัดอื่นๆ และควรการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันว่าไม่พบสารสำคัญในกลุ่มแอนโทไซยานินในส้มโอที่มีสีชมพูหรือสีแดงในระหว่างการเจริญเติบโต

นอกจากนี้ส้มโอยังประกอบด้วยสารอื่นๆ ที่มีผลต่อรสชาติความขม นอกเหนือจากสาร naringin โดยเฉพาะสารในกลุ่ม limonoids ที่มีคุณสมบัติในด้านสุขภาพได้แก่ฤทธิ์การต้านมะเร็ง ต้านไวรัส HIV และลดคอเลสเตอรอล เป็นต้น และสารสีชมพูหรือสีแดงที่พบส้มโอนั้นเป็นส่วนใหญ่เป็นสารไลโคปีน (lycopene) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ (carotenoids) มีคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน ลดการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากและโรคหัวใจ เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมของสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่ม limonoids และ carotenoids ต่อไปในอนาคต เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของสารออกฤทธิ์สำคัญทั้งหมดของส้มโอไทย ในการบ่งบอกและเป็นข้อมูลสนับสนุนคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอไทยในการเปรียบเทียบกับส้มโอจากต่างประเทศหรือผลเกรฟฟรุต อันจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและพัฒนาคุณภาพของส้มโอไทยต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณ ศ.ดร.นันทวัน บุญยะประสงค์ ผู้ประสานงานโครงการ “สมุนไพรเพื่อชีวิต” ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และประสานงานโครงการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยประเมิน ตรวจสอบ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ดีเพื่อการแก้ไขงานวิจัย ทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ดร.กรกช ชันจิรกุล อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยประสานงานกับเกษตรกรและจัดส่งตัวอย่างส้มโอมายังมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง อีกทั้งขอขอบคุณ คุณสมศักดิ์ บุญยวง ที่ให้ความอนุเคราะห์สวนส้มโอมในการทดลอง และเกษตรกรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างส้มโอ นักศึกษาจากสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร นักวิทยาศาสตร์จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง และจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำงานและมีส่วนสำคัญให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2553

บทคัดย่อ

การประเมินสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส่วนที่รับประทานของส้มโอห้าพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ทองดี (สีชมพูอ่อน) พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (สีขาวเหลือง) พันธุ์ขาวแตงกวา (สีขาวเหลือง) พันธุ์ขาวใหญ่ (สีขาวเหลือง) และพันธุ์ทับทิมสยาม (สีแดง) เพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) ส้มโอพันธุ์ทองดีถูกเก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช อีกทั้งพันธุ์ขาวน้ำผึ้งถูกเก็บเกี่ยวจากจังหวัดนครปฐม ราชบุรี และสมุทรสงคราม พันธุ์ขาวแตงกวาจากจังหวัดพิจิตร และชัยนาท พันธุ์ขาวใหญ่จากจังหวัดเชียงรายและสมุทรสงคราม และพันธุ์ทับทิมสยามจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ทำการประเมินสารฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินของส้มโอทั้งห้าพันธุ์โดยวิธี high-performance liquid chromatography (HPLC) นอกจากนี้ประเมินความแก่ของส้มโอด้วยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%TA) และอัตราส่วน TSS:TA สำหรับการศึกษาเพิ่มเติมได้แก่การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ในจังหวัดเชียงรายที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน (MAFB) ผลการทดลองพบว่า สาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดคิดเป็นประมาณ 40-60% ของฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามไม่พบสารฟลาโวนอยด์ทั้ง 7 ชนิดในส้มโอไทยได้แก่ สาร hasperidin neohesperidin kaempferol rutin apigenin quercetin และ naringenin โดยพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณสาร naringin มากที่สุด (76.81 mg/100g FW) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโออีกสี่พันธุ์ (36.40-41.52 mg/100g FW) อีกทั้งพบสารฟลาโวนอยด์อื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ในส้มโอทั้งห้าพันธุ์จำนวน 4-6 ชนิด โดยเฉพาะเป็นที่น่าสนใจว่าส้มโอที่ปลูกในจังหวัดนครศรีธรรมราชทั้งพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามมีปริมาณสาร naringin มากที่สุด ส้มโอเนื้อสีขาวเหลืองที่ความแก่ 70% มีปริมาณสาร naringin มากกว่าความแก่ 80% นอกจากนี้ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณ TSS:TA มากที่สุด (34:1) และน้อยที่สุดในพันธุ์ขาวใหญ่และขาวน้ำผึ้ง (15:1) จากการศึกษาพบว่าพันธุ์และความแก่ของส้มโอมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณสาร naringin สำหรับผลการทดลองเพิ่มเติมนั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ลดลงอย่างรวดเร็วที่อายุผล 5-6 เดือนหลังดอกบานและไม่มี ความแตกต่างของสารนี้ในส้มโออายุผล 7 และ 8 เดือนหลังดอกบาน โดยที่อัตราส่วน TSS:TA สัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณสาร naringin ($r=-0.6912$) และสัมพันธ์มากกว่าค่า TSS ($r=-0.3736$) อย่างไรก็ตามไม่พบสารแอนโทไซยานินในส้มโอไทยโดยเฉพาะพันธุ์ทับทิมสยาม และทองดี ซึ่งเป็นการรายงานผลครั้งแรกในเรื่องสารแอนโทไซยานินในส้มโอไทย ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในเรื่ององค์ประกอบของสารฟลาโวนอยด์และสารแอนโทไซยานินในส้มโอไทยในการนำไปใช้ทั้งตลาดส่งออกและการบริโภคในประเทศ

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the flavonoids and anthocyanins in edible portion of five pummelo cultivars i.e. “Thong Dee” (light pink), “Kao Nam Pheung” (pale-yellow), “Kao Tang Gwa” (pale-yellow), “Kao Yai” (pale-yellow), and “Tub Tim Siam” (red) for domestic (70%) and export (80%) consumes. “Thong Dee” pummelos were harvested from Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST). In addition, “Kao Nam Pheung” pummelos were also harvested from NP, Ratchaburi (RB), Samut Song Khram (SMK); “Kao Tang Gwa” pummelos from Pichit (PC) and Chainat (CN); “Kao Yai” pummelos from CR and SMK; “Tub Tim Siam” pummelos from NST. Five pummelo cultivars were evaluated to flavonoids and anthocyanins by the high-performance liquid chromatography (HPLC) method. Furthermore, the pummelo maturity was determined by total soluble solids (%TSS), titratable acidity (%TA), and TSS:TA ratio. In the other study, “Tong Dee” and “Kao Yai” cultivars at CR province were also investigated only the flavonoids during 5-8 months after full bloom (MAFB). The results showed that naringin was the major flavonoids which were about 40-60% of total flavonoids. However, seven flavonoids including hasperidin, neohesperidin, kaempferol, rutin, apigenin, quercitin and naringenin were not detectable in Thai pummelos. “Tub Tib Saim” cultivar achieved the highest naringin content (76.81 mg/100g FW) when compared to four cultivars (36.40-41.52 mg/100g FW). Furthermore, unknown flavonoids about 4-6 peaks could not indentified in five pummelos. Interestingly, naringin contents varied on the cultivation areas, in which the highest naringin contents were found in pummelos from Nakhon Si Thammarat province (‘Thong Dee’ and ‘Tub Tim Siam’ cultivars). The yellow-white pummelos at 70% maturity had naringin content more than at 80% maturity. In addition, Tub Tim Siam’ cultivar had also the highest TSS:TA ratio level (34:1) whereas ‘Kao Yai’ and ‘Kao Nam Phueng’ cultivars had the lowest levels (15:1). It was found in this study that the fruit maturity and cultivar significantly influenced to naringin content. In the other results, the naringin content of “Tong Dee” and “Kao Yai” cutivars had reduced sharply from 5 to 6 MAFB and no difference between 7 and 8 MAFB. The TSS:TA ratio highly correlated to naringin content ($r=-0.6912$) and was higher than TSS value ($r=-0.3736$). However, anthocyanins were not detected in Thai pummelos, especially “Tub Tim Siam” and “Thong Dee” cultivars. This is the first report on anthocyanins in Thai pummelos. Therefore, this study provides valuable information on flavonoid and anthocyanin compositions of Thai pummelos commonly available in the both domestic and export markets.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	I
กิตติกรรมประกาศ	III
บทคัดย่อ	IV
ABSTRACT	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 แนวทางการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ผลลัพธ์ที่ได้ของการดำเนินโครงการ	3
1.6 ระยะเวลาการวิจัย	4
1.7 งบประมาณทั้งหมด	4
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	5
2.1 สัมโอและการแบ่งกลุ่มสัมโอ	5
2.2 พันธุ์สัมโอ	6
2.3 คุณค่าทางโภชนาการของสัมโอ	8
2.4 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของสัมโอในระหว่างการเจริญเติบโต	9
2.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยวสัมโอ	10
2.6 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์	11
2.7 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์ในพืชตระกูลส้ม (Citrus)	15
2.8 สารฟลาโวนอยด์ในสัมโอและเกรฟฟรุท	20
2.9 สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์	24
2.10 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์ต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ	25
2.11 สมบัติของสาร naringin ในทางเภสัชวิทยา	26
2.12 ชนิดและประเภทของสารแอนโทไซยานิน	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 ชนิดและและประเภทของสารแอนโทไซยานินในพืชตระกูลส้ม(<i>Citrus</i>)	28
2.14 สารแอนโทไซยานินในส้มโอและเกรฟฟรุต	29
2.15 สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารแอนโทไซยานิน	30
2.16 สมบัติของสารแอนโทไซยานินต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
การทดลองที่ 3.1 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่	31
3.1.1 การประเมินความแก่ของส้มโอ	31
3.1.2 การสกัดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ	31
3.1.3 การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC	32
3.1.4 การเปรียบเทียบสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่	33
การทดลองที่ 3.2 การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ เพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศ	34
3.2.1 การเก็บตัวอย่างส้มโอ	34
3.2.2 การสกัดและวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอด้วยวิธี HPLC	35
3.2.3 การเปรียบเทียบสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ 5 พันธุ์และที่ระดับความแก่ 2 ระดับ	35
3.2.4 การสกัดสารแอนโทไซยานินในส้มโอ	36
3.2.5 การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินในส้มโอ	37
3.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	37
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	38
การทดลองที่ 4.1 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่	39
4.1.1 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์มาตรฐาน	39
4.1.2 ชนิดของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่	41
4.1.3 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโออายุ 5-8 เดือน	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.4 ปริมาณ TSS, TA อัตราส่วน TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอ อายุ 5-8 เดือน	49
4.1.5 ปริมาณสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่	51
การทดลองที่ 4.2 การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และ แอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ เพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศ	53
4.2.1 การเก็บตัวอย่างและปริมาณ TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์	53
4.2.2 ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ 5 พันธุ์	57
4.2.3 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ในส้มโอ 5 พันธุ์	60
4.2.4 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์	69
4.2.5 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ ระดับความแก่ 2 ระดับ	72
4.2.6 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอเนื้อผลสีขาว เหลือง	74
4.2.7 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี จาก 5 จังหวัด	74
4.2.8 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ ขาวน้ำผึ้งจาก 3 จังหวัด	75
4.2.9 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ขาว แตงกวาจาก 2 จังหวัด	76
4.2.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน TSS:TA กับสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์	77
4.2.11 การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินในส้มโอ	77
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก	94
ภาคผนวกที่ 1	95
ภาคผนวกที่ 2	98
ภาคผนวกที่ 3	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอพันธุ์ทองดี	8
2.2	การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอโดยสมบัติทางกายภาพ	10
2.3	การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอโดยสมบัติทางเคมี	10
2.4	ชนิดของสาร Flavanone aglycone	15
2.5	ชนิดของสาร Flavone aglycone	16
2.6	ชนิดของสาร Polymethoxyflavone	16
2.7	ชนิดของสาร Flavanone-O-glycosides	17
2.8	Flavone-C-glucoside และ Flavone-O-glycosides	18
2.9	สารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในพืชตระกูล <i>Citrus</i>	20
2.10	สาร flavanones ในผลเกรฟฟรุต	21
2.11	ชนิดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของไต้หวันพันธุ์ “Wendun” และ “Peiyou”	22
2.12	ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของประเทศไทย ไต้หวัน จีนและญี่ปุ่น	23
2.13	ชนิดของสารสารแอนโทไซนิน 6 ชนิด	28
2.13	ชนิดและปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลไม้	28
3.1	สภาวะการไหลของเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์	32
3.2	พันธุ์ส้มโอที่ใช้ในการทดลองจากจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทย	35
3.3	สภาวะการไหลของเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารแอนโทไซยานิน	37
4.1	Retention time และ λ_{max} ของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 8 ชนิด	39
4.2	ค่า retention time และ λ_{max} ของพืชที่ปรากฏในส้มโอพันธุ์ทองดี และชาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน	42
4.3	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอพันธุ์ทองดีและชาวใหญ่ ที่อายุ 5-8 เดือน	46
4.4	ปริมาณ TSS, TA, TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดี และชาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน	50
4.5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่า TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA กับสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและชาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและ ขาวใหญ่	52
4.7	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและ ขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน	52
4.8	ปริมาณ TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่ 70% และ 80%	54
4.9	ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของประเทศไทย ใต้หวัน จีนและญี่ปุ่น	59
4.10	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามราย จังหวัดที่ระดับความแก่ 70%	60
4.11	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามราย จังหวัดที่ระดับความแก่ 80%	61
4.12	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามราย จังหวัดที่ระดับความแก่ 70-80%	62
4.13	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามระดับ ความแก่ 70%, 80% และ 70-80%	63
4.14	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์	70
4.15	ปริมาณสาร naringin ในส้มโอและเกรฟฟรุตของประเทศไทยและ ต่างประเทศ	71
4.16	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์และ ความแก่ 2 ระดับ	72
4.17	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอความแก่ 2 ระดับ	72
4.18	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin แยกพันธุ์ที่ระดับความแก่ 2 ระดับ (70% และ 80%)	73
4.19	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอกลุ่มสีขาวเหลือง 3 พันธุ์	74
4.20	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีจาก 5 จังหวัด	75
4.21	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ขาวผึ้งจาก 3 จังหวัด	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.22	ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจาก 2 จังหวัด	76
4.23	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราส่วน TSS:TA กับสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่ 70-80%	77
ภาคผนวกที่ 1.1	เปรียบเทียบการดำเนินกิจกรรม	95
ภาคผนวกที่ 1.2	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	96
ภาคผนวกที่ 1.2	ผลลัพธ์ (Output)	97
ภาคผนวกที่ 2.1	ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูก ส้มโอพันธุ์ทองดีในจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายกปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช	98
ภาคผนวกที่ 2.2	ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูก ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในจังหวัดนครปฐม ราชบุรี และสมุทรสงคราม	100
ภาคผนวกที่ 2.3	ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูก ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาในจังหวัดพิจิตรและชัยนาท	102
ภาคผนวกที่ 2.4	ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูก ส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ในจังหวัดเชียงรายและสมุทรสงคราม	104
ภาคผนวกที่ 2.5	ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูก ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามในจังหวัดนครศรีธรรมราช	106

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์	12
2.2	การสังเคราะห์สารกลุ่มฟลาโวนอยด์จากสารตั้งต้นฟีนิลอะลานีน	13
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ	14
2.4	โครงสร้างพื้นฐานของ Flavanone aglycone	15
2.5	โครงสร้างพื้นฐานของ Flavone aglycone	15
2.6	โครงสร้างพื้นฐาน Polymethoxyflavone	16
2.7	โครงสร้างพื้นฐาน Flavanone-O-glycosides	17
2.8	โครงสร้างพื้นฐาน Flavone-C-glucoside และ Flavone-O-glycosides	18
2.9	โครงสร้างของ naringin และ naringenin	24
4.1	โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 7 ชนิด	38
4.2	โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Naringenin	39
4.3	สเปกตรัมของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 8 ชนิด	41
4.4	โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร unknown UN1 (A), UN3 (B), UN4 (C), UN5 (E), UN6 (F), UN7 (G) และสาร naringin (NAR) (D) ในตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดี	45
4.5	โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 5 (A) 6 (B) 7 (C) และ 8 เดือน (D) หลังจากดอกบาน	48
4.6	โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ที่อายุ 5 (A) 6 (B) 7 (C) และ 8 เดือน (D) หลังจากดอกบาน	49
4.7	การเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดี (บน) และ ขาวใหญ่ (ล่าง) ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน	51
4.8	ส้มโอพันธุ์ทองดีเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช	55
4.9	ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัด นครปฐม ราชบุรี และสมุทรสงคราม	55
4.10	ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัด พิจิตรและชัยนาท	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.11	ส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่เกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดเชียงราย และสมุทรสงคราม	56
4.12	ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัด นครศรีธรรมราช	56
4.13	โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร naringin ของสารมาตรฐาน (A) และของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดี (B)	58
4.14	โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร unknown (UN2) ในส้มโอพันธุ์ ทับทิมสยาม	58
4.15	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีจากจังหวัดเชียงราย (A) นครปฐม (B) นครนายก (C) ปราจีนบุรี (D) และนครศรีธรรมราช (E) ที่ระดับความแก่ 70%	59
4.16	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจากจังหวัดนครปฐม (A) ราชบุรี (B) และสมุทรสงคราม (C) ที่ระดับความแก่ 70%	66
4.17	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจากจังหวัดพิจิตร (A) และ ชัยนาท (B) ที่ระดับความแก่ 70%	67
4.18	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่จากจังหวัดเชียงราย (A) และ สมุทรสงคราม (B) ที่ระดับความแก่ 70%	68
4.19	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม จ.นครศรีธรรมราช ที่ระดับความแก่ 70%	69
4.20	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีตามวิธีที่ 1 ไม่เติม สารมาตรฐาน (A) เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมตัวอย่างส้มโอ (B) และเติมสารละลายพร้อมปรับปริมาตร (C)	78
4.21	โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีตามวิธีที่ 2 ไม่เติมสาร มาตรฐาน (A) เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมตัวอย่างส้มโอ (B) และ เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมปรับปริมาตร (C)	78
4.22	โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามโดยสกัดตามวิธีที่ 1 ตัวอย่างสด (A) ตัวอย่างแช่แข็ง (B) และตัวอย่าง freeze dried (C)	79
4.23	โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามโดยสกัดตามวิธีที่ 2 ตัวอย่างสด (A) ตัวอย่างแช่แข็ง (B) และตัวอย่าง freeze dried (C)	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.24	โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามแสดง broad peak ที่ประมาณ 24 นาที (carotene และ lycopene มี retention time เท่ากับ 24.23 และ 27 นาที ตามลำดับ) (A) และสเปกตรัมของพีคใหญ่ (A) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ carotene (B)	81
ภาคผนวกที่ 1	กราฟมาตรฐานของสาร rutin	108
ภาคผนวกที่ 2	กราฟมาตรฐานของสาร naringin	108
ภาคผนวกที่ 3	กราฟมาตรฐานของสาร hesperidin	109
ภาคผนวกที่ 4	กราฟมาตรฐานของสาร neohesperidin	109
ภาคผนวกที่ 5	กราฟมาตรฐานของสาร quercetin	110
ภาคผนวกที่ 6	กราฟมาตรฐานของสาร apigenin	110
ภาคผนวกที่ 7	กราฟมาตรฐานของสาร kaempferol	111
ภาคผนวกที่ 8	กราฟมาตรฐานของสาร Cyanidin 3-glucoside	111
ภาคผนวกที่ 9	กราฟมาตรฐานของสาร Delphinidin 3-glucoside	112

บทที่ 1

คำนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr. [syn. *C. grandis* (L.) Osbeck]) เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออกของประเทศไทย เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว ขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนาทำให้เก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่งได้ในระยะทางไกลโดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกส้มโอในปี 2552 ประเทศไทยสามารถส่งออกส้มโอเป็นมูลค่าถึง 115.54 ล้านบาท โดยประเทศที่นำเข้าส้มโอจากประเทศไทยมากที่สุดได้แก่ ประเทศจีน (62.43 ล้านบาท) รองลงมาได้แก่ฮ่องกง (32.27 ล้านบาท) สิงคโปร์ (7.61 ล้านบาท) เนเธอร์แลนด์ (6.64 ล้านบาท) และแคนาดา (2.8 ล้านบาท) ตามลำดับ (กรมศุลกากร, 2553) อีกทั้งส้มโอยังเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันในประเทศ และมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคของประเทศไทย จากสถานการณ์การผลิตส้มโอปี 2547 พบว่า พื้นที่ปลูกส้มโอที่สำคัญของประเทศไทยได้แก่ จังหวัดเชียงราย (22,190 ไร่) รองลงมาได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (18,034 ไร่) จังหวัดพิจิตร (15,485 ไร่) และจังหวัดชุมพร (12,169 ไร่) ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) ซึ่งพันธุ์ส้มโอที่นิยมปลูกเพื่อการค้าได้แก่ พันธุ์ทองดีเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายมากที่สุดและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ขาวใหญ่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ทับทิมสยาม พันธุ์ขาวพวง เป็นต้น

ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจต่อสุขภาพมากขึ้น การรับประทานผักและผลไม้สดเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคเพื่อให้ตนเองมีสุขภาพและชีวิตที่ดี ส้มโอเป็นผลไม้ทางเลือกหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีความโดดเด่นไม่แพ้ผลไม้อื่น เนื่องจากพืชตระกูลส้มเป็นแหล่งของสารต่างๆ ที่มีประโยชน์ของร่างกาย โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) วิตามินซี และคาโรทีนอยด์ (carotenoids) ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และสามารถลดการเกิดโรคเรื้อรังเช่น โรคเมเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ (Tripoli et al., 2007) ดังตัวอย่างรายงานการสำรวจการบริโภคอาหารที่มีสารฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบของประชากรผู้ใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1999-2002 พบว่า มีการบริโภคปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 189.7 mg/day ซึ่งประกอบด้วยสารในกลุ่มฟลาโวนอล (flavanols) มากที่สุด 83.5% รองลงมาได้แก่ สารฟลาโวนอน (flavanones) 7.6%, สารฟลาโวนอล (flavonols) 6.8%, สารแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) 1.6%, สารฟลาโวน (flavones) 0.8% และสาร

ไอโซฟลาโวน (isoflavones) 0.6% โดยเครื่องดื่มและผลไม้เป็นแหล่งของสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญมากที่สุด ได้แก่ น้ำชา (157 mg/day) รองลงมาคือ น้ำผลไม้จากพืชตระกูลส้ม (8 mg/day) ไวน์ (4 mg/day) และผลไม้ในพืชตระกูลส้ม (3 mg/day) (Chun et al., 2006)

ปัจจัยต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวนั้นมีผลต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์สำคัญในผักและผลไม้สด อาทิเช่น พันธุ์ ความแก่ สภาพสิ่งแวดล้อม ความเครียด การเก็บรักษาและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะส้มโอของไทยมีความหลากหลายของพันธุ์ตามลักษณะสีเนื้อที่แตกต่างกัน เช่น เนื้อสีขาว สีชมพู และสีแดง ซึ่งสารสีที่ให้สีชมพูหรือสีแดงในส้มโอและเกรฟฟรุต (grapefruit) ประกอบด้วยสารไลโคปีน (lycopene) ซึ่งพบมากและเป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังพบสารสีในกลุ่มแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกัน (Tsai et al., 2007) จากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในผลเกรฟฟรุตหรือส้มโอในต่างประเทศ อาทิเช่น ประเทศจีน ไต้หวัน และญี่ปุ่น โดยเฉพาะสาร naringin ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวน (flavanones) ที่พบมากที่สุดทั้งสองชนิดนี้

นอกจากนี้ความแก่ของผลไม้มีอิทธิพลต่อปริมาณสารสำคัญเช่นเดียวกัน ดังตัวอย่างการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในส้มโอพันธุ์ “Hoyou” ของประเทศจีน ได้แก่สาร naringin และ neohesperidin พบว่าในระยะผลอ่อนมีปริมาณสารทั้งสองชนิดมากที่สุดและลดลงเมื่อผลส้มโอแก่มากขึ้น (Xu et al., 2009) และการศึกษาในผล Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. and Zucc.) ในพันธุ์สีขาว สีชมพู สีแดง และสีแดงเข้ม พบว่าปริมาณสาร Cyanidin 3-glucoside และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด ในพันธุ์สีแดงเข้ม (Zhang et al., 2008) อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ของส้มโอของไทยยังมิได้มีการศึกษาและวิจัยกันอย่างจริงจังในเรื่องปัจจัยของพันธุ์และความแก่ของผล อีกทั้งยังไม่เคยมีการศึกษาชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มแอนโทไซยานินในส้มโอไทยเช่นกัน

ดังนั้นการศึกษาระดับสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพโดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิมสยาม เพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) ในแต่ละพื้นที่การผลิตของประเทศไทย ทำให้ได้ข้อมูลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้ยืนยันคุณค่าทางโภชนาการและความสำคัญของการบริโภคส้มโอไทย เพื่อส่งเสริมให้ผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ อีกทั้งเพื่อเพิ่มศักยภาพในการส่งออก การขยายโอกาสและเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกในระดับสากล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้ทราบผลของพันธุ์และความแก่ต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน
2. เพื่อให้ทราบชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออกและการบริโภคภายในประเทศจากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

1.3 แนวทางการวิจัย

1. ศึกษาผลของพันธุ์และอายุผลต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) จากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย
3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานิน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน
2. ทราบความแตกต่างของชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และเพื่อการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) จากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านโภชนาการ เกษตวิทยา การแพทย์ การเกษตร เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเทคโนโลยีการอาหาร
4. เสนอผลงานในงานประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการในระดับชาติ
5. จัดทำเอกสารเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัย

1.5 ผลลัพธ์ที่ได้ของการดำเนินโครงการ

1. ทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน

2. ทราบความแตกต่างของชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) จากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

3. ได้เผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติ/นานาชาติและแผ่นพับ ได้แก่

3.1 ได้นำเสนอผลงานทางวิชาการ (poster presentation) ในงานประชุมระดับชาติ ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 35 หัวข้อเรื่อง “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่ออนาคตที่ดีขึ้น” ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม 2552 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

3.2 ได้นำเสนอผลงานทางวิชาการ (poster presentation) ในงานประชุมระดับนานาชาติ ในการประชุม The International Society for Southeast Asian Agriculture Sciences (ISSASS) หัวข้อเรื่อง “Agriculture for Better Living and Global Economy” ระหว่างวันที่ 11-15 มกราคม 2553 ณ สวนนงนุช จ.ชลบุรี

3.3 ได้เสนอและรับรางวัลเสนอผลงานทางวิชาการ (oral presentation) รองชนะเลิศ (ระดับดีมาก) ของกลุ่มไม้ผล/ไม้ยืนต้น ในงานประชุมระดับชาติในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 11-14 พฤษภาคม 2553 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.พระนครศรีอยุธยา

3.4 จัดทำแผ่นพับเรื่อง “ส้มโอไทย...ผลไม้เพื่อสุขภาพ” “Thai Pummelo...A Fruit for Health” จำนวน 1,100 แผ่น สำหรับเผยแพร่ให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอและผู้ร่วมงานประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ 9

1.6 ระยะเวลาการวิจัย

1 สิงหาคม 2551 – 31 มกราคม 2553

1.7 งบประมาณทั้งหมด

วงเงิน 772,200 (เจ็ดแสนเจ็ดหมื่นสองพันสองร้อยบาทถ้วน)

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ส้มโอและการแบ่งกลุ่มส้มโอ

ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr. [syn. *C. grandis* (L.) Osbeck]) เป็นพืชในสกุล *Citrus* ผลส้มโอเป็นแบบ berry ที่มีชื่อพิเศษเรียกว่า hesperidium ผลมีเนื้อเยื่อแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นนอกสุด (exocarp) มีชื่อพิเศษว่า flavedo เป็นชั้นนอกสุดผลมีสีเขียว มีต่อมน้ำมันเล็กๆ มากมาย เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ชั้นที่ 2 คือ mesocarp เป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มมีสีขาวมีชื่อพิเศษที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นถัดเข้ามาจากชั้นแรกและหนากว่าชั้นแรก ชั้นที่ 3 คือ endocarp เป็นเนื้อเยื่อของพืชมส้มโอมีสีขาวหรือสีชมพูขึ้นอยู่กับพันธุ์ส้มโอ (รวี, 2523)

การแบ่งกลุ่มส้มโอตามแหล่งปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มไทย (Thailand group) มีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม ราชบุรี สมุทรสาคร ชัยนาท พิจิตร ปราจีนบุรี ตราด ชุมพร และสงขลา ได้แก่พันธุ์ขาวแป้น ขาวพวง ขาวหอม ขาวทองดี ขาวใหญ่ ขาวแดงกวาง หอมหาดใหญ่ ทำข่อย ปัตตาเวีย เป็นต้น

สายพันธุ์เหล่านี้มีสีเนื้อแตกต่างกันไป สามารถจัดกลุ่มตามลักษณะของรสชาติหรือสีเนื้อผลดังนี้

1.1 แบ่งส้มโอตามกลุ่มของรสชาติสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีรสเปรี้ยวปานกลางถึงเปรี้ยวจัด มีประมาณกรด 1.02-1.93% ได้แก่พันธุ์ขาวพวง กลุ่มที่สองได้แก่ กลุ่มที่มีรสหวานหรือมีกรดต่ำ ส้มโอกลุ่มนี้มีรสเปรี้ยวน้อย มีประมาณกรด 0.08-0.10% ได้แก่พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทองดี

1.2 แบ่งตามชนิดของสีเนื้อสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกันได้แก่ กลุ่มที่เนื้อไม่มีสีหรือมีสีขาว ได้แก่พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแป้น พันธุ์ขาวพวง พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ขาวแดงกวาง กลุ่มที่สองได้แก่กลุ่มที่มีเนื้อมีสีแดงหรือสีชมพู ซึ่งเกิดจาก pigment พวกแคโรทีนอยด์ (ไลโคปีน) ได้แก่ พันธุ์ทองดี พันธุ์ทับทิม พันธุ์ทำข่อย และพันธุ์หอมหาดใหญ่ (รวี, 2542)

1.3 แบ่งตามลักษณะเดิมของทรงผล จัดออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มไม่มีจุก ผลทรงกลมแบนหรือเกือบกลม เช่น พันธุ์ทองดี พันธุ์ทำข่อย พันธุ์ขาวใหญ่ กลุ่มที่สองได้แก่ กลุ่มมีจุกผลทรงสูง ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง

2. กลุ่มจีน (Chinese group) เป็นกลุ่มส้มโอที่ปลูกในแถบจีนตอนใต้ กวางสี กวางตุ้ง พูเกี้ยน ไต้หวัน และแหล่งปลูกของญี่ปุ่นเช่น Sha Tin Yau, Song Ma Yau, Meto Butan, Shanyuan

3. กลุ่มอินโดนีเซีย (Indonesian group) ส้มโอกลุ่มนี้จะรวมถึงส้มโอที่ปลูกในมาเลเซีย อินเดีย ได้แก่ พันธุ์ Pandan Wangi, Pedan Bener, Seeloompang, Bali Merah, Deleema Merch, Deleema Kopjor, Banpeiye (ปัญญา, 2541)

2.2 พันธุ์ส้มโอ

2.2.1 พันธุ์ทองดี

ลักษณะส้มโอพันธุ์ทองดีคือ ผลมีขนาดโตปานกลางทรงกลมแป้นไม่มีจัก น้ำหนักผล 940-1,060 กรัม ความสูงผล 12-14 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางผล 14-16 ซม. เส้นรอบวงบริเวณกลางผลประมาณ 40 ซม. น้ำหนักเปลือก 320-400 กรัม น้ำหนักเนื้อ 520-670 กรัม (ปัญญา, 2541) ต้นข้าวผลมีสีเขียวเข้ม ต่อม้าน้ำมันละเอียดอยู่ชิดกัน เปลือกค่อนข้างบางด้านในของเปลือกด้านในเปลือกมีสีชมพูเรื่อๆ ผลหนึ่งมีกลีบผลประมาณ 14-16 กลีบ ผงกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมีสีชมพูเบียดกันแน่น นุ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมีขนาดเล็กเป็นพันธุ์ที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปและส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ (ทวีศักดิ์, 2549) มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS) เท่ากับ 10% มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) เท่ากับ 0.83% และอัตราส่วน TSS: TA เท่ากับ 12.06: 1 (เยาวรัตน์, 2545) เป็นส้มโอที่ทนทานต่อโรคแคงเกอร์ โดยเฉพาะที่ผิวผลแทบไม่พบแต่อาจมีการทำลายของเพลี้ยไฟ (พานิชย์, 2545) จากข้อมูลพื้นที่ปลูกส้มโอพันธุ์ทองดีของกรมส่งเสริมการเกษตร 2547 พบว่า แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดเชียงราย (31,897 ไร่) รองลงมาได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (12,330 ไร่) จังหวัดนครนายก (5,322 ไร่) จังหวัดนครปฐม (5,188 ไร่) และจังหวัดสระแก้ว (4,214 ไร่) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552)

2.2.2 พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 1,800 กรัม ความสูงผล 18 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณกลางผลเฉลี่ย 17 ซม. เส้นรอบวงบริเวณกลางผลประมาณ 56 ซม. น้ำหนักเปลือก 300-780 กรัม น้ำหนักเนื้อ 700-1,000 กรัม (ปัญญา, 2541) ผิวผลเรียบมีสีเขียวเข้ม ต่อม้าน้ำมันที่ผิวเปลือกมีขนาดใหญ่อยู่กันห่างๆ เปลือกค่อนข้างหนา สีของเปลือกในและผงกลีบมีสีขาวอมชมพู จำนวนกลีบ 13-15 กลีบ กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย กุ้งมีสีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีน้ำผึ้งขนาดกึ่งค่อนข้างใหญ่เบียดกันแน่น มีน้ำมากแต่ไม่ฉ่ำ มีรสหวานอมเปรี้ยว (สมคิด, 2548) ซึ่งปริมาณ TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA ของพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเท่ากับ 11.32%

0.72% และ 15.72:1 ตามลำดับ (เยาวรัตน์, 2545) แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ อำเภอสามพราณ และนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม, อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร, อำเภอกระทุ่มแบนและดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี (ปัญญา, 2541)

2.2.3 พันธุ์ขาวแตงกวา

เป็นพันธุ์ที่เกิดในจังหวัดชัยนาท มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 816-1,580 กรัม ความสูงผล 12-16 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณกลางผลเฉลี่ย 14-16 ซม. เส้นรอบวงบริเวณกลางผลประมาณ 44-53 ซม. น้ำหนักเปลือก 420-446 กรัม น้ำหนักเนื้อ 516-972 กรัม (ปัญญา, 2541) ผิวเรียบสีเขียว มีต่อมน้ำมันละเอียด ผิวของผลมีลักษณะค่อนข้างเป็นมันติดเข้าไปเป็นเปลือกชั้นในมีสีขาว มีจำนวนกลีบ 12-15 กลีบต่อผล กุ้งมีขนาดใหญ่ อยู่ในลักษณะเบียดกันไม่แตกจากกันง่าย รสหวานแหลม ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียวและขมติดลิ้น (สมคิด, 2548) แหล่งปลูกที่สำคัญคือ อำเภอสรรคบุรี วัดสิงห์และมโนรมย์ จังหวัดชัยนาท, จังหวัดนครสวรรค์และอุทัยธานี (ปัญญา, 2541)

2.2.4 พันธุ์ขาวใหญ่

เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในจังหวัดสมุทรสงคราม (พานิชย์, 2545) มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 1,200-2,300 กรัม ความสูงผล 14-19 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณกลางผลเฉลี่ย 14-19 ซม. เส้นรอบวงบริเวณกลางผลประมาณ 45-60 ซม. น้ำหนักเปลือก 369-790 กรัม น้ำหนักเนื้อ 756-1,090 กรัม (ปัญญา, 2541) จำนวนกลีบ 12-16 กลีบต่อผล กุ้งสีขาวอมเหลืองจนถึงสีน้ำตาลอ่อนออกชมพูเล็กน้อย กุ้งเกาะตัวกันแน่น ไม่หลุดร่วงง่าย รสชาติหวานมีอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งมีค่า TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA เท่ากับ 9.1% 0.76% และ 11.92:1 ตามลำดับ (เยาวรัตน์, 2545)

2.2.5 พันธุ์ทับทิมสยาม

เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในอำเภopakพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลขนาดใหญ่ หัวจีบ (คล้ายชาวพวง) ผิวผลมีขนอ่อนนุ่มคล้ายกำมะหยี่ปกคลุมทั่วทั้งผล ผิวเปลือกนูน เปลือกบาง เส้นรอบวงบริเวณกลางผลประมาณ 40-55 ซม. กุ้งสีแดงถึงแดงจัด กุ้งเกาะตัวกันแน่น รสชาติหวาน มีอมเปรี้ยวเล็กน้อย พันธุ์นี้พัฒนามาจากการผสมเกสรข้ามต้นแล้วเพาะเมล็ดจากส้มโอพันธุ์พื้นเมืองจากอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี คล้ายพันธุ์ชาวพวง เนื้อสีชมพู ผลมีขนาดใหญ่ แต่มีรสขม คัดเลือกต้นที่ให้ผลผลิตรสชาติดีเวลา 4 ปี ได้พันธุ์ทับทิมสยาม เริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น

2.3 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ

จากตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอพันธุ์ทองดี พบว่าส้มโอพันธุ์ทองดีเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงและมีปริมาณ 60 mg/100g edible portion (กองโภชนาการ, 2544) ซึ่งมากกว่าผลเกรฟฟรุตที่มีปริมาณวิตามินซี 20-50 mg/100g โดยความต้องการปริมาณวิตามินซีสำหรับการบริโภคต่อวันเท่ากับ 30-60 มิลลิกรัม/คน/วัน (Ladaniya, 2008)

ตารางที่ 2.1 : คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอพันธุ์ทองดี (กองโภชนาการ, 2544)

Constitution	Value	Unit
<i>Proximate composition</i>		
Energy	44	Kcal
Water	89.2	g/100g
Protein	0.5	g/100g
Fat	0.4	g/100g
Carbohydrate	9.5	g/100g
Diet fiber (Crude fiber)	0.7	g/100g
Ash	0.4	g/100g
<i>Minerals</i>		
Calcium	9	mg/100g
Phosphorous	21	mg/100g
Iron	Tr.	mg/100g
<i>Vitamins</i>		
Retinol	-	μg/100g
β-carotene	26	μg/100g
Total vitamin A	4	μg/100g
Vitamin E	-	mg/100g
Thiamine	0.07	mg/100g
Riboflavin	0.02	mg/100g
Niacin	0.4	mg/100g
Vitamin C	60	mg/100g

Remark : 100g edible portion

2.4 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของส้มในระหว่างการเจริญเติบโต

2.4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) และอัตราส่วน TSS:TA

ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อผลส้มมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นเริ่มคงที่ หรืออาจเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบิบูรณ์ ตรงกันข้ามกับปริมาณ TA ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต หลังจากการนั้นเมื่อผลโตขึ้นพบว่า ปริมาณน้ำคั้นเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณ TA ลดลงเนื่องจากการเจือจางของกรด และปริมาณ TSS:TA ค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบิบูรณ์ (Ladaniya, 2008) สำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS TA และ TSS:TA ในระหว่างการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีในเขต อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย พบว่า ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นจาก 7.2% เป็น 8.3% ตรงกันข้ามปริมาณ TA ลดลงจาก 0.82% เป็น 0.7% เมื่อผลอายุ 6-8 เดือนหลังดอกบาน ทำให้อัตราส่วน TSS:TA เพิ่มขึ้นเมื่อผลส้มโอพันธุ์ทองดีเข้าสู่ระยะความบิบูรณ์ (ณัฐดีและภาวิณี, 2551)

2.4.2 น้ำตาล

การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในระหว่างการเจริญเติบโตส่วนใหญ่ 75-85% ของปริมาณ TSS มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลรีดิคัล น้ำตาลนอนรีดิคัล และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบิบูรณ์ โดยปริมาณน้ำตาลในเกรฟฟรุทซึ่งเป็นส้มที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับส้มโอนั้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิคัล 2-5% และน้ำตาลนอนรีดิคัล 2-3% (Baldwin, 1993) จากการศึกษาของณัฐดีและภาวิณี (2551) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิคัลและน้ำตาลนอนรีดิคัลส้มโอพันธุ์ทองดีในระหว่างการเจริญเติบโตที่อายุ 7 เดือนหลังดอกบาน มีค่าเท่ากับ 0.86% และ 4.00% ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุผล 8 เดือนมีค่าเป็น 0.92% และ 4.86% ตามลำดับ

2.4.3 วิตามินซี

โดยปกติปริมาณวิตามินซีมีมากในผลส้มอ่อนและมีปริมาณลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะบิบูรณ์ (Ladaniya, 2008) สอดคล้องกับรายงานของพรศิริ (2552) ที่พบว่า เมื่อผลส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 5 เดือนหลังดอกบานมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด (56.68 mg/100ml) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลส้มโออายุ 6 เดือน (39.55 mg/100ml) และเมื่อผลอายุมากขึ้นปริมาณวิตามินซีคงที่

2.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอ

การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอสำหรับการส่งออกนั้นแบ่งได้ตามสมบัติทางกายภาพและเคมีดังต่อไปนี้

2.5.1 สมบัติทางกายภาพของส้มโอ

จากการกำหนดมาตรฐานส้มโอของสำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ปี 2550 ได้กำหนดความแก่ของส้มโอจากสีผิวผลส้มโอซึ่งควรจางลงอย่างน้อยสองส่วนในสามส่วนของผิวผล สำหรับการกำหนดความแก่ส้มโอประเทศฟิลิปปินส์โดยใช้เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นระบุไว้ว่าควรมีปริมาณน้ำคั้นอย่างน้อย 50% (นิธิยาและदनัย, 2548) (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 : การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอโดยสมบัติทางกายภาพ

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	ข้อกำหนดมาตรฐาน	เอกสารอ้างอิง
สีเปลือก	สีผิวผลส้มโอควรจางลงอย่างน้อยสองส่วนในสามส่วนของผิวผล	(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)
% น้ำคั้น	50%	(นิธิยาและदनัย, 2548)

2.5.2 สมบัติทางเคมีของส้มโอ

จากการกำหนดมาตรฐานส้มโอของ มกอช. ปี 2550 นั้นได้กำหนดปริมาณ TSS ของส้มโอของประเทศไทยเพื่อการส่งออกควรมีปริมาณ TSS อย่างน้อย 8% สำหรับส้มโอของประเทศไทยฟิลิปปินส์ควรมีปริมาณ TSS อย่างน้อย 9% (นิธิยาและदनัย, 2548) (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 : การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอโดยสมบัติทางเคมี

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	ข้อกำหนดมาตรฐาน	เอกสารอ้างอิง
TSS (%) ประเทศไทย	8%	(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)
TSS (%) ฟิลิปปินส์	9%	
TA (%)	0.6%	(นิธิยาและदनัย, 2548)
อัตราส่วน TSS:TA	10:1	

2.6 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์

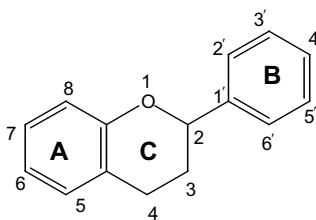
ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารกลุ่มหลักในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ และเป็นสารที่มีผู้นิยมศึกษากันมากในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก มีโครงสร้างหลักเป็นไดฟีนิลโพรเพน (diphenylpropane) ประกอบด้วยคาร์บอนทั้งหมด 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงเบนซีน 2 วง และเชื่อมต่อกันด้วย ออกซิเจน 1 อะตอมและคาร์บอน 3 อะตอม กลายเป็นวงแหวน 3 วงเรียงต่อกัน (C6-C3-C6) ชื่อว่า วงแหวน A, วงแหวน B, และวงแหวน C (ภาพที่ 2.1) ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้น 2 ชนิดคือ malonyl-CoA และ *p*-cumaroyl-CoA วงแหวน A เกิดจากการส่วของโมเลกุล malonyl-CoA ส่งผลให้ในฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่มีหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนวงแหวน A เกาะแบบ meta-dihydroxylated วงแหวน B พัฒนามาจาก *p*-cumaroyl-CoA หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลสามารถกะได้ทั้งแบบหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลสามารถเกาะได้ทั้งแบบ mono-hydroxylated, ortho-dihydroxylated หรือ vic-trihydroxylated นอกจากนี้ยังสามารถจับกับหมู่ฟังก์ชันอื่นอีก เช่น methylethers (Vermerris and Nicholson, 2006) วงแหวน C เกิดการทำงานของเอนไซม์และจากแรงของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) ของอะตอมออกซิเจนจากระหว่างวงแหวน A และ B ทำให้อะตอมคาร์บอน 3 อะตอมของโครงสร้างในวงแหวน C เกิดการโค้งเข้ามาเป็นวง heterocyclic เรียกโครงสร้างพื้นฐานนี้ว่า ฟลาวันนิวเคลียส (flavan nucleus) (Häkkinen, 2000)

ภาพที่ 2.2 แสดงสาร naringenin chalcone เป็นโครงสร้างเริ่มต้นที่จะพัฒนาไปสู่ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเกิดจากสาร 4-Coumaroyl-CoA เกิดปฏิกิริยา decarboxylation รวมกับสาร malonyl-CoA จำนวน 3 โมเลกุล เกิดปฏิกิริยา condensation ร่วมกัน เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ CHS (chalcone synthase) จากนั้นเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เกิดวง six atom-heterocycle ที่มีอะตอมออกซิเจนเป็นองค์ประกอบโดยการทำงานของเอนไซม์ CHI (chalcone isomerase) ได้สารกลุ่ม ฟลาวาโนน (flavanone) ซึ่งเป็นโครงสร้างสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ชนิดแรก นอกจากนี้ naringenin chalcone ยังสามารถเปลี่ยนเป็นสารกลุ่ม aurone จากการการทำงานของเอนไซม์ AUS (aureusidin synthase) ฟลาวาโนนสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารกลุ่มฟลาโวน (flavone) ด้วยการทำงานของเอนไซม์ FNSI หรือ FNSII (flavone syntase I, flavone syntase II) โดยจะสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่ง C₂ และ C₃ บนวงแหวน C หรือเปลี่ยนเป็นสาร dihydrohaempferol โดยเติมหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C₃ บนวงแหวน C จากการกระตุ้นของเอนไซม์ F3H (flavanone 3β-hydroxylase) และเปลี่ยนเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอล (flavonol) โดยการสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่ง C₂ และ C₃ บนวงแหวน C จากการการทำงานของเอนไซม์ FLS (flavonoid syntase) เมื่อ dihydrohaempferol ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ DFR (dihydroflavonol 4-reductase) จะเปลี่ยนเป็นสาร leucopelagonidin ก่อนจะเปลี่ยนสารกลุ่มแอนโทไซยานิดิน

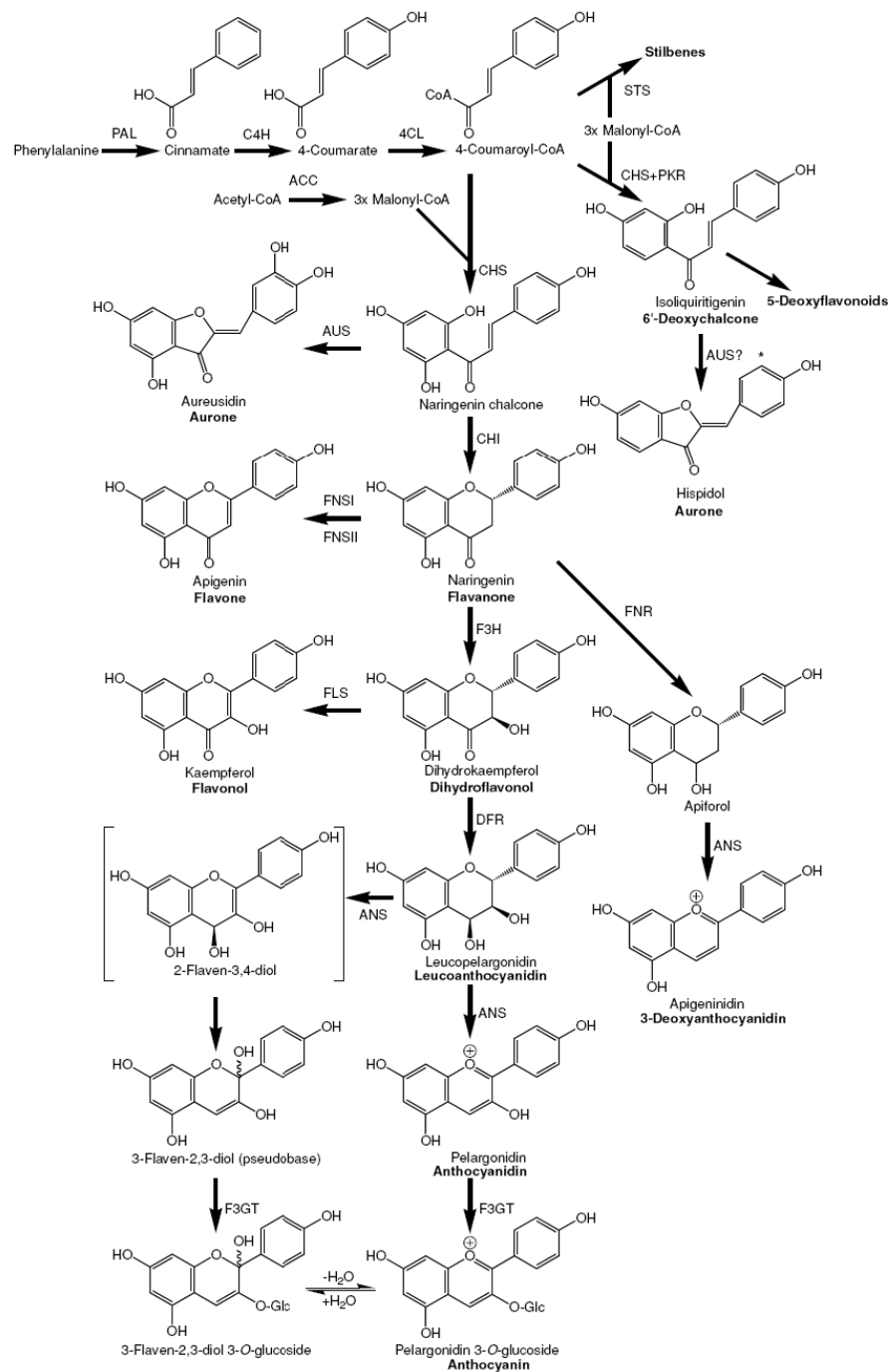
(anthocyanidin) ด้วยเอนไซม์ ANS (anthocyanin syntase) และสุดท้ายเปลี่ยนเป็นสารแอนโทไซยานิน ด้วยเอนไซม์ 3-O-glucosyltransferase (Anderson and Markham, 2006)

โครงสร้างของฟลาโวนอยด์จะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของพันธะคู่ และหมู่แทนที่ ทำให้ได้ฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ หลายชนิด ฟลาโวนอยด์กลุ่มที่พบได้ทั่วไปและพบในปริมาณค่อนข้างมากในผักและผลไม้จำแนกได้ประมาณ 5,000 ชนิด (Kris-Etherton et al., 2002) ฟลาโวนอยด์ ที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษากันมากมีด้วยกัน 6 กลุ่ม (ภาพที่ 2.3) สารฟลาโวนอยด์ในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถพบได้ในผักและผลไม้ต่างชนิดกัน โดยส่วนมากตามธรรมชาติที่พบจะพบในรูปที่มีน้ำตาลมาเกาะอยู่ด้วย (glycosylated derivatives) ฟลาโวนอยด์ทั้ง 6 กลุ่มที่นิยมศึกษาได้แก่

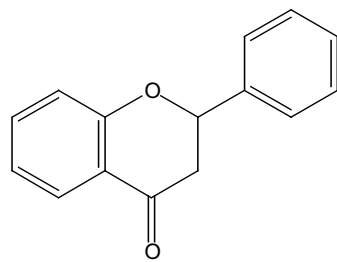
1. ฟลาโวน (flavones) ได้แก่ luteolin และ apigenin สามารถพบได้มากในพวกเมล็ดพืช และพืชสมุนไพรต่างๆ เช่น parsley, celery, rosemary และ thyme เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น พบได้ในน้ำมันผิวส้ม
2. ฟลาโวนอล (flavonols) ได้แก่ quercetin, kaempferol และ myricetin กลุ่มนี้เป็นสารที่สามารถพบได้ทั่วไป และพบได้ในปริมาณมากในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล บร็อคโคลี่ กระเทียมต้น หัวหอมใหญ่ แครนเบอร์รี่ เป็นต้น
3. ฟลาวานอล หรือ ฟลาวาน-3-อล (flavanols or flavan-3-ols) ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin และ (-)-epigallocatechin สามารถพบได้มากที่สุดใบบชา ในผลไม้เช่น องุ่น แอปเปิ้ล และสาลี่ รวมทั้งไวน์แดง
4. ฟลาวานอน (flavanones) ได้แก่ hesperetin และ naringenin สามารถพบได้มากในพืชตระกูลส้ม ทั้งในผลส้มและผิวส้ม และพบได้ในมะเขือเทศเช่นกัน
5. แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ได้แก่ anthocyanin สามารถพบมากในผลไม้ที่มีสีแดง เช่น แอปเปิ้ล องุ่นแดง และในเบอร์รี่ชนิดต่างๆ ได้แก่ สตรอเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และเชอร์รี่ เป็นต้น
6. ไอโซฟลาโวน (isoflavones) ได้แก่ genistein, genistin, daidzein และ daidzin สามารถพบได้มากใน alfalfa, clover ผักตระกูล Brassica เช่น บร็อคโคลี่ นอกจากนี้เมล็ดพืชต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง และถั่วเขียว ยังเป็นแหล่งสำคัญที่สามารถพบสารในกลุ่มนี้ได้อีกด้วย (Pietta, 2000)



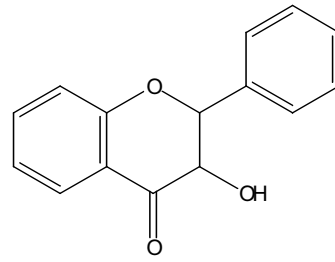
ภาพที่ 2.1 : โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์



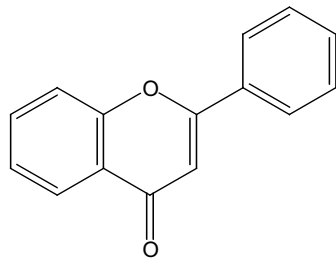
ภาพที่ 2.2 : การสังเคราะห์สารกลุ่มฟลาโวนอยด์จากสารตั้งต้นฟีนิลอะลานีน
ที่มา : Vermerris and Nicholso (2006)



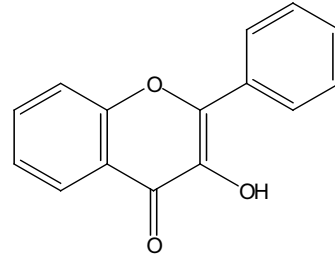
Flavanones



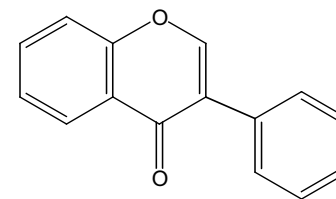
Flavanols



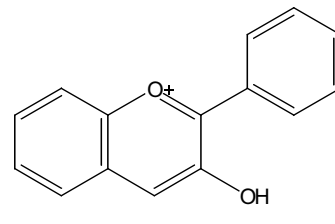
Flavones



Flavonols



Isoflavones

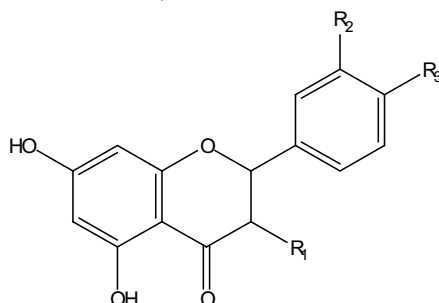


Anthocyanidin

ภาพที่ 2.3 : โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ
ที่มา : Pietta (2000)

2.7 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์ในพืชตระกูลส้ม (*Citrus*)

ฟลาโวนอยด์ในพืชตระกูลส้มประกอบด้วยส่วนที่เป็นฟลาโวนอยด์อย่างเดียวเรียกว่า aglycone และส่วนที่เป็นโมเลกุลของน้ำตาล ฟลาโวนอยด์ที่พบอาจเป็น aglycone อย่างเดียว หรือเป็นโมเลกุลที่ประกอบไปด้วย aglycone และน้ำตาล โมเลกุลของน้ำตาลเชื่อมต่อกับ aglycone ด้วยพันธะไกลโคไซด์ ไกลโคไซด์ที่พบโดยมากเป็น *O*-glycoside ที่โมเลกุลของน้ำตาลเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 7 หรือ 3 ของ aglycone นอกจากนี้ยังพบ C-glycoside ในเนื้อและน้ำของพืชตระกูลส้ม ชนิดของฟลาโวนอยด์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของ aglycone ชนิดของน้ำตาลและตำแหน่งของน้ำตาลที่สร้างพันธะกับ aglycone ดังแสดงในตารางที่ 2.4-2.8 และภาพที่ 2.4-2.8 (Gattuso et al., 2007)

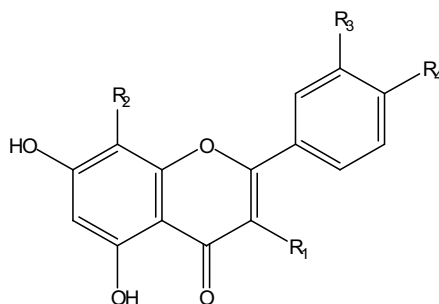


ภาพที่ 2.4 : โครงสร้างพื้นฐานของ Flavanone aglycone

ตารางที่ 2.4 : ชนิดของสาร Flavanone aglycone

	Compound name	λ max ^a	R ₁	R ₂	R ₃
1	Hesperetin	229sh, 286, 333sh	H	OH	OMe
2	Naringenin	226sh, 288, 331sh	H	H	OH
3	Taxifolin	229sh, 287, 333sh	OH	OH	OH
4	Isosakuranetin	-	H	H	OMe
5	Eriodictyol	227sh, 286, 332sh	H	OH	OH

ที่มา : ^a Sakakibara et al. (2003)

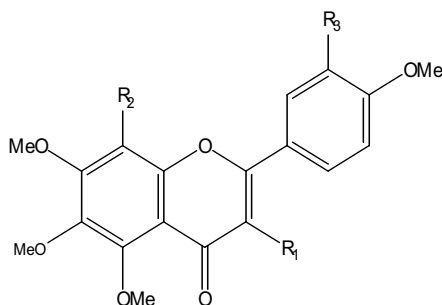


ภาพที่ 2.5 : โครงสร้างพื้นฐานของ Flavone aglycone

ตารางที่ 2.5 : ชนิดของสาร Flavone aglycone

	Compound name	$\lambda_{\max}^a$	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
6	Acacetin	-	H	H	H	OMe
7	Isoscutellarein	-	H	OH	H	OH
8	Luteolin		H	H	OH	OH
9	Kaempferol	264, 292sh, 318sh, 363	OH	H	H	OH
10	Quercetin	253, 268sh, 297sh, 368	OH	H	OH	OH
11	Apigenin	265, 290sh, 336	H	H	H	OH
12	Diosmetin	250, 265, 344	H	H	OH	OMe
13	Chrysoeriol	249, 266, 287sh, 344	H	H	OMe	OH

ที่มา : ^a Sakakibara et al. (2003)

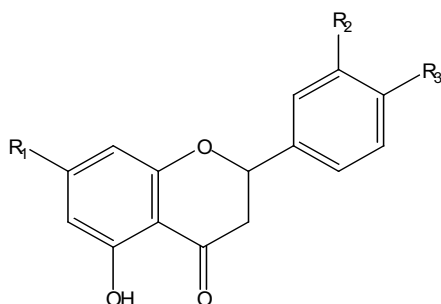


ภาพที่ 2.6 : โครงสร้างพื้นฐาน Polymethoxyflavone

ตารางที่ 2.6 : ชนิดของสาร Polymethoxyflavone

	Compound name	$\lambda_{\max}^a$	R ₁	R ₂	R ₃
14	Quercetogetin	-	OMe	H	OMe
15	3,3',4',5,6,7,8-Heptamethoxyflavone	-	OMe	OMe	OMe
16	Natsudaidin	-	OH	OMe	OMe
17	Nobiletin	-	H	OMe	OMe
18	Sinensetin	240sh, 267, 329	H	H	OMe
19	Tangeretin	269, 323	H	OMe	H
20	Tetramethylscutellarein	-	H	H	H

ที่มา : ^a Sakakibara et al. (2003)



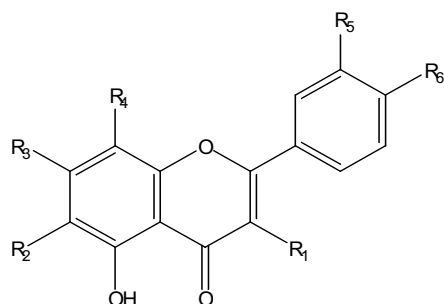
ภาพที่ 2.7 : โครงสร้างพื้นฐาน Flavanone-O-glycosides

ตารางที่ 2.7 : ชนิดของสาร Flavanone-O-glycosides

	Compound name	$\lambda_{\max}^a$	R ₁	R ₂	R ₃
21	Isosakuranetin 7-O-rutinoside (Didymin, Neoponcirin)	-	O-Ru ^a	H	OMe
22	Eriodictyol 7-O-rutinoside (Eriocitrin)	-	O-Ru ^a	OH	OH
23	Hesperetin 7-O-rutinoside (Hesperidin)	224sh, 281, 334sh	O-Ru ^a	OH	OMe
24	Naringenin 7-O-neohesperidoside (Naringin)	281, 326sh	O-Nh ^b	H	OH
25	Naringenin 7-O-rutinoside (Narirutin)	-	O-Ru ^a	H	OH
26	Hesperetin 7-O-neohesperidoside (Neohesperidin)	-	O-Nh ^b	OH	OMe
27	Eriodictyol 7-O-neohesperidoside (Neoeriodictin)	-	O-Nh ^b	OH	OH
28	Isosakuranetin 7-O-neohesperidoside (Poncirin)	-	O-Nh ^b	H	OMe

^a = O-Rutinoside; ^b O-Neohesperidoside.

ที่มา : ^a Sakakibara et al. (2003)



ภาพที่ 2.8 : โครงสร้างพื้นฐาน Flavone-C-glucoside และ Flavone-O-glycosides

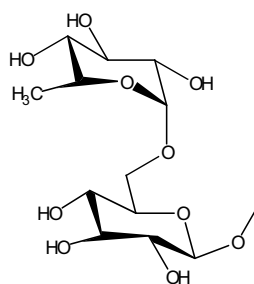
ตารางที่ 2.8 : Flavone-C-glucoside และ Flavone-O-glycosides

	Compound name	$\lambda_{\max}^a$	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
29	Luteolin 6,8-di-C-glucoside (Lucenin-2)	-	H	Glu	OH	Glu	OH	OH
30	Apigenin 6,8-di-C-glucoside (Vicenin-2)	-	H	Glu	OH	Glu	H	OH
31	Chrysoeriol 6,8-di-C-glucoside (Stellarin-2)	-	H	Glu	OH	Glu	OMe	OH
32	Diosmetin 6,8-di-C-glucoside (Lucenin-2 4'-methyl ether)	-	H	Glu	OH	Glu	OH	OMe
33	Apigenin 7-O-neohesperidoside- 4'-glucoside (Rhoifolin 4'-glucoside)	-	H	H	O-Nh	H	OH	O-Glu
34	Chrysoeriol 7-O- neohesperidoside- 4'-glucoside	-	H	H	O-Nh	H	OMe	OH
35	Apigenin 6-C-glucoside (Isovitexin)	269, 334	H	Glu	OH	H	H	OH
36	Luteolin 7-O-rutinoside	-	H	H	O-Ru	H	OH	OH
37	Chrysoeriol 8-C-glucoside (Scoparin)		H	H	OH	Glu	OMe	OH
38	Diosmetin 8-C-glucoside (Orientin 4'-methyl ether)	-	H	H	OH	Glu	OH	OMe

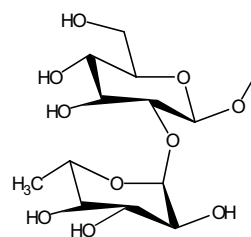
	Compound name	$\lambda_{\max}^a$	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
39	Quercetin 3-O-rutinoside (Rutin)	255, 265sh, 294sh, 352	O-Ru	H	OH	H	OH	OH
40	Apigenin 7-O-neohesperidoside (Rhoifolin)	255, 265sh, 294sh, 352	H	H	O-Nh	H	OH	OH
41	Apigenin 7-O-rutinoside (Isorhoifolin)	-	H	H	O-Ru	H	OH	OH
42	Chrysoeriol 7-O- neohesperidoside	-	H	H	O-Nh	H	OMe	OH
43	Diosmetin 7-O-rutinoside (Diosmin)	251, 265, 344	H	H	O-Ru	H	OH	OMe
44	Diosmetin 7-O- neohesperidoside (Neodiosmin)	-	H	H	O-Nh	H	OH	OMe

^a = O-Rutinoside; ^b O-Neohesperidoside.

ที่มา : ^a Sakakibara et al. (2003)



Rutinose



Neohesperidose

โครงสร้างของ Rutinose และ Nehesperidose

ตารางที่ 2.9 แสดงชนิดของฟลาโวนอยด์ที่สำคัญพืชตระกูลส้มแตกต่างกันไปตามชนิดของส้มเช่น *C. sinensis* พบสารสำคัญได้แก่ hesperidin diosmin hesperetin และ diosmetin เป็นต้น (Baghurst, 2003)

ตารางที่ 2.9 : สารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในพืชตระกูล *Citrus* (Baghurst, 2003)

Flavonoid	Type	<i>Citrus</i> species
Naringin	Flavanone	<i>C. paradisi</i>
		<i>C. aurantium</i>
Neohesperidin	Flavanone	<i>C. aurantium</i>
Hesperidin	Flavanone	<i>C. sinensis</i>
Diosmin	Flavone	<i>C. sinensis</i>
		<i>C. limonia</i>
Rutin	Flavonol	<i>C. limonia</i>
Narigenin	Flavanone	<i>C. paradisi</i>
Eriodictyol	Flavanone	<i>C. aurantium</i>
Hesperetin	Flavanone	<i>C. sinensis</i>
Apigenin	Flavone	<i>C. paradisi</i>
Luteolin	Flavone	<i>C. limonia</i>
		<i>C. aurantium</i>
Diosmetin	Flavone	<i>C. sinensis</i>
Kameferol	Flavonol	<i>C. paradisi</i>
Quercetin	Flavonol	<i>C. limonia</i>
Tangeretin	Flavone	<i>C. aurantium</i>
		<i>C. paradise</i>
		<i>C. limonia</i>

2.8 สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอและเกรฟฟรุต

สารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในการฟรุทจากการศึกษาก่อนหน้านี้ได้แก่ สารในกลุ่มฟลาโวนอน (flavanones) ประกอบด้วยสาร naringin, hesperidin, narirutin และ neohesperidin (Xu et al., 2009) หากพิจารณาปัจจัยของพันธุ์แบ่งตามประเภทสีเนื้อผล ดังตัวอย่างการศึกษาในการศึกษาในผลเกรฟฟรุทได้แก่ พันธุ์เนื้อสีแดง ชมพู และขาว ตามปริมาณไลโคพีนที่มีในเนื้อผล ฟลาโวนอนที่พบในเกรฟฟรุทแสดงดังตารางที่ 2.10 พบว่าในเนื้อ

ของเกรฟฟรุตประกอบด้วยฟลาโวนทั้งหมดประมาณ 27 mg/100g fresh weight (FW) ชนิดของฟลาโวนที่พบมากที่สุดคือสาร naringin (16.60 ± 9.6 mg/100g FW) รองลงมาคือ สาร narirutin (4.90 ± 3.41 mg/100g FW) และ hesperidin (2.78 ± 5.37 mg/100g FW) ส่วน เกรฟฟรุตสายพันธุ์สีชมพูและสีแดงมีปริมาณฟลาโวนทั้งหมดน้อยกว่าเกรฟฟรุตพันธุ์สีขาว และปริมาณสารแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเกรฟฟรุตสีต่างๆ (Peterson et al., 2006)

ตารางที่ 2.10 : สาร flavanones ในผลเกรฟฟรุต (Peterson et al., 2006)

Citrus type	Compound	Mean	SD
Grapefruit	Didymin	0.07	0.21
	Eriocitrin	0.45	1.30
	Hesperidin	2.78	5.37
	Naringin	16.60	9.61
	Narirutin	4.90	3.41
	Neoeriocitrin	0.35	1.39
	Neohesperidin	1.4	5.87
	Poncirin	0.17	0.22
	Total	26.72	
Grapefruit White	Didymin	0.09	0.23
	Eriocitrin	0.16	0.39
	Hesperidin	3.95	6.46
	Naringin	16.90	8.26
	Narirutin	5.36	3.47
	Neoeriocitrin	0.05	0.10
	Neohesperidin	0.25	0.20
	Poncirin	0.20	0.22
	Total	26.96	
Grapefruit Red and Pink	Didymin	0.00	0.00
	Eriocitrin	0.00	0.00
	Hesperidin	0.27	0.26
	Naringin	13.87	17.42
	Narirutin	3.34	3.26
	Neoeriocitrin	0.00	0.00
	Neohesperidin	0.42	0.47
	Poncirin	0.00	0.00
	Total	17.90	

ส่วนการศึกษาสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอนั้นได้มีการศึกษาในหลายประเทศ อาทิเช่น ประเทศจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และไทย จากรายงานของ Xu et al. (2008) ได้ศึกษาปริมาณสารในกลุ่มฟลาโวนในส้มโอของประเทศจีน (*Citrus grandis* (L.)) พันธุ์ “Miyou” และ “Sijiyu” พบว่า มีปริมาณสาร naringin มากที่สุด (108-125 mg/l) รองลงมาได้แก่ สาร hesperidin (21-42 mg/l) และมีสาร neohesperidin น้อยที่สุด เช่นเดียวกับส้มโอของไต้หวันพันธุ์ “Wendun” และ “Peiyu” ที่พบสาร naringin มากที่สุด (2205-1250 µg/g dried basis (db)) เช่นกัน แต่กลับพบสาร neohesperidin (6.15-17.3 µg/g db) มากกว่าสาร hesperidin (0.695-0.964 µg/g db) อีกทั้งพบสารในกลุ่มฟลาโวน เช่น sinensetin (24.6-42.8 µg/g db) ซึ่งมากกว่าสาร neohesperidin ประมาณ 2-4 เท่า และยังพบสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ในปริมาณที่น้อยมาก (ตารางที่ 2.11) (Wang et al., 2007) ส่วนส้มโอประเทศญี่ปุ่นพันธุ์ “Hirado buntan” และ “Shaten yu” พบปริมาณสาร naringin มากที่สุดเช่นกัน (78.5- 184 mg/100g FW) และพบสาร hesperidin และ neohesperidin ในปริมาณน้อย (1.5-1.7 mg/100g FW) (Nagoya et al., 2006)

ตารางที่ 2.11 : ชนิดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของไต้หวันพันธุ์ “Wendun” และ “Peiyu” (Wang et al., 2007)

Flavonoids (µg/g db) ^a	Cultivars	
	Wendo	Peiyu
<i>Flavanone</i>		
Naringin	1250 ±0.28	2250±11.07
Hesperidin	0.696±0.006	0.964±0.018
Neohesperidin	17.3±2.47	6.15±1.23
<i>Flavone</i>		
Diosmin	0.132±0.002	0.087±0.002
Luteolin	ND ^c	ND ^c
Sinensetin	42.8±0.82	24.6±0.37
<i>Flavovol</i>		
Rutin	0.090±0.004	0.073±0.001
Quercetin	0.061±0.001	0.087±0.007
Kampferol	0.012±0.001	0.009±0.001

^a Dried basis

^b Data persented are in are means ± standard deviation (n=3)

^c Not detectable

โดยเฉพาะการศึกษาสารฟลาโวนอยด์ในพันธุ์ส้มโอของประเทศไทยเบื้องต้น ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอพันธุ์ทองดี (Rouseff et al., 1987) สอดคล้องกับรายงานของลัดดาและคณะ (2548) ที่ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอไทยเช่นกัน โดยตรวจพบปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ทองดี (26.10 mg/100g FW) ขาวใหญ่ (34.96 mg/100g FW) ขาวน้ำผึ้ง (44.37 mg/100g FW) และขาวแตงกวา (24.08 mg/100g FW) จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปัจจัยของพันธุ์มีผลต่อปริมาณและชนิดของสารฟลาโวนอยด์ที่พบในส้มโอและเบื้องต้นทำให้ทราบว่าสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในส้มโอ (ภาพที่ 2.9)

ตารางที่ 2.12 สรุปชนิดของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในส้มโอไทยและต่างประเทศ จะเห็นได้ว่าต่างประเทศมีการศึกษาชนิดของสารฟลาโวนอยด์และพบสารในกลุ่มดังกล่าวมากกว่าประเทศไทย

ตารางที่ 2.12 : ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของประเทศไทย ได้หวัน จีนและญี่ปุ่น

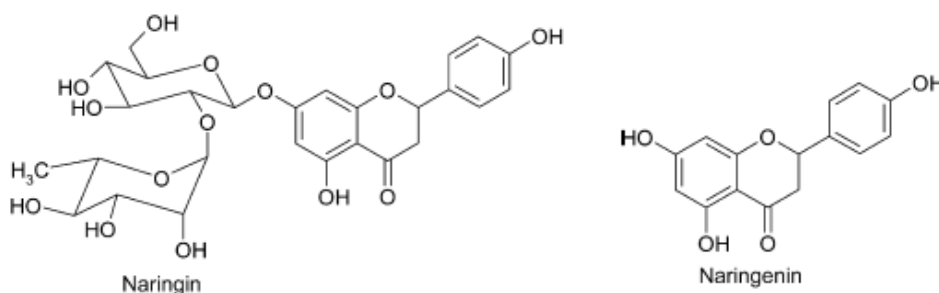
Flavonoids	Thailand	Taiwan	China	Japan
	Wattanasiritham et al. (2005)	Wang et al. (2007)	Xu et al. (2008)	Nagata et al. (2006)
<i>Flavanone</i>				
Naringin	√	√	√	√
Hesperidin	X	√	√	√
Neohesperidin	X	√	√	√
<i>Flavone</i>				
Rhoifolin	ND	ND	ND	√
Diosmin	ND	√	ND	√
Neodiosmin	ND	ND	ND	√
Lutolin	ND	X	ND	ND
Sinisetin	ND	√	ND	ND
<i>Flavonol</i>				
Rutin	ND	√	ND	√
Quercetin	ND	√	ND	ND
Kaempferol	ND	√	ND	ND

√ = detectable

X = not detectable

ND = not determined

นอกจากนี้ปัจจัยของความแก่ของผลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสาร naringin ในส้มโอหรือเกรฟฟรุต ดังตัวอย่างการศึกษาปริมาณสาร naringin ของเกรฟฟรุตพันธุ์ “Star Ruby” พบว่าในระยะผลอ่อน (12102 mg/100 g FW) มีปริมาณสาร naringin มากกว่าระยะผลแก่ (2195 mg/100 g FW) ถึง 6 เท่า (Ortuno et al., 1995) เช่นเดียวกับเกรฟฟรุตพันธุ์ “Huyou” ที่พบปริมาณสาร naringin มากที่สุดเมื่อผลอ่อน (849.01 mg/100g FW) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่มากขึ้น (62.43 mg/100 g FW) (Xu et al., 2009) อีกทั้งมีการศึกษาปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ “Chandler” เมื่อผลแก่พบว่า ปริมาณสาร naringin ลดลงเกือบ 3 เท่า (Ortuno et al., 1995) ซึ่งแตกต่างกับส้ม Yuzu (*Citrus junos Sieb ex Tanka*) ที่ความแก่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยพิจารณาจากสีของเปลือกส้ม ได้แก่ เปลือกสีเขียว สีเหลือง และสีเหลืองเข้ม พบว่า ปริมาณสาร hesperidin และ naringin ไม่แตกต่างกัน (Yoo et al., 2004)



ภาพที่ 2.9 : โครงสร้างของ naringin และ naringenin

2.9 สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์

คุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์เกิดจากการที่โครงสร้างประกอบไปด้วยวง benzene และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่สามารถให้อิเล็กตรอนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ แล้วเกิดโครงสร้างที่เสถียรเนื่องจากเกิด delocalization ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันแตกต่างกันเนื่องจากมีพันธะบนวงแหวน C และตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่ต่างกัน ดังแสดงในงานวิจัยของ Rice-evan et al. (1995) ซึ่งทดสอบคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยให้ฟลาโวนอยด์ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (ABTS^{•+}) และวัด total antioxidant activity (TAA) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับชนิดของฟลาโวนอยด์ ซึ่งฟลาโวนอยด์ต่างชนิดกันจะมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ตำแหน่ง และจำนวนพันธะคู่ในโครงสร้างแตกต่างกัน โดย quercetin จะเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้าน

ออกซิเดชันสูงสุดซึ่งประกอบไปด้วย หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3, 5, 7 บนวงแหวน A และ B และตำแหน่ง 3' และ 4' บนวงแหวน B ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่เรียกว่า *o*-diphenol และพันธะคู่กับออกซิเจนที่ตำแหน่ง 4 บนวงแหวน C ตำแหน่งเหล่านี้จะช่วยในเรื่องของการเกิด delocalization ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมให้แก่อนุมูลอิสระ การสูญเสียหมู่ไฮดรอกซิลและพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2,3 บนวงแหวน C ในการเกิดโครงสร้างไกลโคไซด์กับน้ำตาลทำให้คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันลดลงเนื่องจากขาดไฮโดรเจนอะตอมในการจับกับอนุมูลอิสระ 1 ตำแหน่ง และการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลจาก 1 หมู่ เป็น 2 หมู่ แบบ *o*-diphenol บนวงแหวน B มีผลทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเป็น 3 หมู่จะมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันลดลงเนื่องจากโครงสร้างขัดขวางการเกิด delocalization

จากการศึกษาของ Amić et al. (2003) ทดสอบคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยให้ฟลาโวนอยด์ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (DPPH) และวัด radical scavenging activity (%) พบว่าคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันขึ้นของสารฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลวงแหวน B ตำแหน่งที่ 3' และ 4' รองลงมาได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่ง 3 บนวงแหวน C และการมีพันธะคู่ของวงแหวน C ตรงตำแหน่งที่ C₂ และ C₃ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสาร taxifolin kaempferol rutin และ quercetin มีคุณสมบัติดังกล่าวมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารชนิดอื่นๆ อีกทั้งมีรายงานเพิ่มเติมซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับของ Yu et al. (2005) ที่ทดสอบสารต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในพืชตระกูล *Citrus* กับสารอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสาร scutellarein kaempferol และ rutin มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมากถึง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับสารอื่นๆ เช่น naringin naringenin neohesperidin ซึ่งมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันน้อยกว่าถึง 5 เท่า (ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน 10%)

2.10 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์ต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ

การที่ฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันส่งผลให้มีประโยชน์ทางเภสัชวิทยาต่อร่างกายดังนี้ คือ

1. สมบัติป้องกันมะเร็ง (Anti-cancer properties) ฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการต้านการเกิดมะเร็ง โดยมีหน้าที่หลักคือ ทำลายอนุมูลอิสระ ยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเนื้องอก และทำหน้าที่ยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง พบว่า สารฟลาโวนอยด์พวก hesperidin และ naringenin สามารถยับยั้งการแบ่งตัวและการเติบโตของมะเร็ง (Hertog et al., 1992) เนื่องจากในผลส้มโอและเกรฟฟรุตมีสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของสาร naringin (naringenin-7-rhamnoglucoside) คล้ายกับสาร naringenin ตรงที่สาร naringin มีน้ำตาลโมเลกุลของ

น้ำตาลไกลโคไซด์อยู่ตรงตำแหน่งที่ 7 บนวงแหวน A (ภาพที่ 2.9) ซึ่งเมื่อรับประทาน naringin ทำให้เกิดการ hydrolyzed ของเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ได้สาร naringenin ที่อยู่ในรูปที่สามารถดูดซึมได้ (Ameer et al., 1996) นอกจากนี้ได้มีการทดลองบ่อน้ำส้มและน้ำเกรฟฟรุตเข้มข้นให้หนูที่เป็นมะเร็งเต้านมกิน จะป้องกันมะเร็งเต้านมได้ดี รวมทั้งทำให้ก้อนมะเร็งเล็กลงได้และพบว่าหากใช้น้ำส้มกับ naringin ให้ผลดีที่สุด (ปรีชาติ, 2543)

2. สมบัติป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (Anti-candiovascular properties) มีความสามารถในการป้องกันการแตกของเส้นเลือดและป้องกันการแข็งตัวของเส้นเลือด
3. Metal cation chelators ทำหน้าที่ในการจับไอออนของโลหะไว้ เนื่องจากไอออนของโลหะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้เกิดการทำลายเซลล์ร่างกาย
4. สมบัติต้านอาการอักเสบ (Anti-inflammatory properties) ทำหน้าที่ยับยั้งการอักเสบเนื่องจากเมื่อเกิดอาการอักเสบจะเป็นการเพิ่มอนุมูลอิสระ และเร่งการพัฒนาอนุมูลอิสระ ซึ่งสารที่มีคุณสมบัตินี้มากคือ สารในกลุ่มฟลาโวนอล
5. ลดปริมาณ LDL cholesterol (Low-Density Lipoprotein Cholesterol) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่เป็นผลเสียต่อร่างกาย ซึ่งหากร่างกายมีปริมาณ LDL cholesterol มากจะส่งผลให้เกิดอาการหลอดเลือดแดงตีบตัน (Davies et al., 2003)

2.11 สมบัติของสาร naringin ในทางเภสัชวิทยา

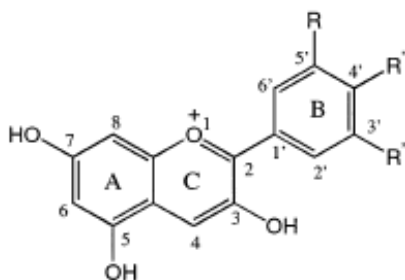
สำหรับการทดลองผลของสาร naringin และ naringenin ทางเภสัชวิทยาในผลไม้เกรฟฟรุตหรือส้มโอ พบว่า สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ cytochrome P450 isoform 3A (CYP3A) แบบ *in vitro* ซึ่ง CYP3A พบมากในตับและลำไส้ทำหน้าที่ในกระบวนการออกซิเดชันของยาที่ให้โดยวิธีรับประทานและเอนไซม์ดังกล่าวเป็นผลให้เกิดการกระตุ้นสารก่อมะเร็ง เช่น aflatoxin B1 ดังนั้นการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ CYP3A อาจมีผลทำให้เพิ่มค่า bioavailability ของยา และอาจป้องกันการเกิดมะเร็งได้ (Edwards and Bernier, 1996) แต่อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาของนุศรา (2551) ในน้ำส้มโอพันธุ์ขาวแป้นยังพบสารในกลุ่ม limonoids ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ส้มโอมีรสขมเช่นเดียวกับสาร naringin ได้แก่ limonin deepoxy และ nomillin สามารถยับยั้งการทำงานของ CYP3A4 ได้ ในขณะที่ nomillin เท่านั้นยับยั้งการทำงานของ P-gp (P-glycoprotein) ซึ่งเป็น transmembrane protein ที่เกี่ยวข้องกับ การดื้อยาหลายชนิดในเซลล์มะเร็งซึ่งเรียกว่า multidrug resistance protein โดย P-gp น่าจะมีบทบาทในการกำจัดสารออกจากร่างกาย การขับยาออกจากเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้โดย P-gp ส่งผลให้ยาที่ให้ในรูปแบบยารับประทานมีค่า bioavailability ต่ำ ดังนั้นสารที่พบในน้ำส้มโอมีผล

ต่อการทำงานของ CYP3A4 และ Pgp ซึ่งการบริโภคส้มโอร่วมกับยาที่เป็น substrates ของ CYP3A4 และ/หรือ Pgp อาจก่อให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างยาและอาหารได้ ซึ่งอาจมีผลต่อระดับยาในเลือดส่งผลต่อการรักษาหรือผลข้างเคียงจากยาได้ อย่างไรก็ตามก็ควรมีการศึกษาผลของน้ำคั้นจากส้มโอต่อการทำงานของ CYP3A4 และ Pgp ในร่างกายมนุษย์เพื่อยืนยันผล

2.12 ชนิดและประเภทของสารแอนโทไซยานิน

สารแอนโทไซยานินเป็นที่ทำให้พืชดอกไม้และผลไม้มีสี (Dugo et al., 2003) โดยสารแอนโทไซยานินให้สีแดง-ม่วง-น้ำเงิน สารแอนโทไซยานิน เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานินมีรากศัพท์จากภาษากรีก คือ anthos หมายถึง ดอกไม้ และ Kyanos หมายถึง สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม ประกอบด้วยวงแหวนของ phenol 2 วง เรียกววงแหวน A และ B เชื่อมต่อกันด้วยหมู่คาร์บอนเกิดเป็นวงแหวน C (ภาพที่ 2.10) โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานินมักถูกเรียกว่าแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) หรือ aglycone เนื่องจากส่วนดังกล่าวไม่มีส่วนของน้ำตาลมาเชื่อมกับ aromatic ring อื่น ๆ

สารแอนโทไซยานินแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ สารแอนโทไซยานินหลัก (Major anthocyanidin) มี 2 ชนิด ได้แก่ Cyanidin 3- glucoside และ Cyanidin 3-(6''-malonyl glucoside) และสารแอนโทไซยานินรอง (Minor anthocyanin) ได้แก่ Delphinidin 3-glucoside, Peonidin 3-glucoside, Cyanidin 3-rutinoside, 6''-malonyl glucose ester ของ delphinidin, 6''-malonyl glucose ester ของ peonidin และ 6''-malonyl glucose ester ของ petunidin (Kalebek et al., 2008) โดยโครงสร้างทางเคมีของสารแอนโทไซยานินทุกชนิดประกอบด้วยโครงสร้างหลักของ 3,5,7,4'-tetrahydroxyflavilium ion และอนุพันธ์ของหมู่ไฮดรอกซิลและเมทอกซีที่ต่างกันตามชนิดของสาร ดังภาพที่ 2.10 และตารางที่ 2.13



ภาพที่ 2.10 : โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ตารางที่ 2.13 : ชนิดของสารสารแอนโทไซยานิน 6 ชนิด (Dugo et al., 2003)

ชนิดของสารแอนโทไซยานิน	หมู่อนุพันธ์			น้ำหนักโมเลกุล
	R	R'	R''	
Delphinidin	OH	OH	OH	303
Cyanidin	OH	OH	H	287
Petunidin	OH	OH	OCH ₃	17
Pelargonidin	H	OH	H	71
Peonidin	OCH ₃	OH	H	301
Malvidin	OCH ₃	OH	OCH ₃	331

ชนิดของสารแอนโทไซยานินที่พบมากในผลไม้คือ สาร cyanidin-3-glucoside ดังตัวอย่างแสดงชนิดและปริมาณสารแอนโทไซยานินที่พบในผลไม้ (Koponen et al., 2007) (ตารางที่ 2.14)

ตารางที่ 2.14 : ชนิดและปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลไม้ (Koponen et al., 2007)

Fruit	mg/100g FW						Total
	Cy	Dp	Pg	Pn	Pt	MV	
apple, Red Delicious	1.7						1.7
grapefruit, red	5.9						5.9
grape, red	11.8	0.7		3.6	1.0	20.5	37.6
plum, dark	25.1						25.1
cherry	64.4			2.0			66.4

Abbreviations: Cy, cyanidin; Dp, delphinidin; Pg, pelargonidin; Pn, peonidin; Pt, petunidin; Mv, malvidin; total, sum of the individual aglycones.

2.13 ชนิดและประเภทของสารแอนโทไซยานินในพืชตระกูลส้ม (*Citrus*)

จากการศึกษาของ Kalebek et al. (2008) โดยทำการศึกษาสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก ในน้ำส้มตราเนื้อสีแดงพันธุ์ “Moro” และ “Sanguinello” (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) ในประเทศตุรกี พบสารแอนโทไซยานิน 6 ชนิด ได้แก่ Delphinidin 3-glucoside, Cyanidin 3-glucoside, Delphinidin 3-(6"-malonyl glucoside), Cyanidin 3-(6"-malonyl glucoside), Cyanidin 3-O-(6"-malonyl glucoside) และ Peonidin 3-(6"-malonyl glucoside) โดยตรวจพบปริมาณของ Cyanidin 3- glucoside และ Cyanidin 3-(6"-malonyl glucoside) มากที่สุดทั้ง 2

พันธุ์ แต่พบว่าในพันธุ์ “Moro” พบปริมาณของสารแอนโทไซยานินทุกชนิดมากกว่าพันธุ์ “Sanguinello”

2.14 สารแอนโทไซยานินในส้มโอและเกรฟฟรุต

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Tsai et al. (2007) พบว่าในผลส้มโอที่มีเนื้อแดงซึ่งเป็นผลจากการสะสมของสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน มีเพียงสารคาโรทีนอยด์ทั้งหมดมากกว่าผลที่มีเนื้อสีขาวเหลืองถึง 4 เท่า แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาในผลเกรฟฟรุตที่มีสีขาวและลูกผสมระหว่างส้มโอและเกรฟฟรุตมีชื่อทางการค้าว่า Jaffa Sweetie ซึ่งมีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดมีค่า 0.5 และ 0.8 $\mu\text{g/g}$ wet weight (Gorinstein et al., 2004) ซึ่งจากรายงานก่อนหน้านี้ทั้งหมดวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential แต่ก็มีรายงานชนิดและปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลเกรฟฟรุตมีค่าเท่ากับ 5.9 mg/100g FW ซึ่งพบเฉพาะสาร cyanidin เท่านั้นเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เช่นกัน (ตารางที่ 2.13) (Koponen et al., 2007)

พันธุ์เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสารประกอบแอนโทไซยานิน โดยปกติแล้วพืชตระกูลส้มพบสารสีแดงของสารแอนโทไซยานินในพืชหลายชนิดและพันธุ์ในส้มตรา (*C. sinensis*) ในกลุ่ม blood orange จะมีการสะสมของแอนโทไซยานินที่มีชนิดและปริมาณของสารที่แตกต่างกัน เช่น พันธุ์ “Moro” มีปริมาณสูงกว่าพันธุ์ “Sanguinello” และมีการสะสมแอนโทไซยานินชนิด hydroxycinnamic acid (Rapisarda et. al., 1998) นอกจากพันธุ์กรรมที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์สารแล้วยังพบว่ามีผลต่อการคงอยู่และสลายตัวของสารด้วยเช่นกัน Burn (1990) พบว่า β -glucosidase เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแอนโทไซยานินในผลไม้หลายชนิด และพบว่าเอนไซม์นี้มีน้อยมากในส้มกลุ่ม sweet orange และไม่พบในเกรฟฟรุต

อีกทั้งปัจจัยของความความแก่ของผลนั้นมีผลต่อสารแอนโทไซยานินเช่นกัน ดังตัวอย่างเช่น ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผลมีการสะสมของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจนเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลแก่เต็มที่แล้วเริ่มลดลง เมื่ออายุมากขึ้นพบการทำงานของ anthocyanase (anthocyanin- β -glucosidase) และ polyphenol oxidase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และออกซิเดชันตามลำดับ ซึ่งจะตัดกลูโคสออกจากโมเลกุลทำให้ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้และสลายตัวไปในที่สุด และพบว่ามีการกิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase อีกทั้งการสะสมน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่เพิ่มมากขึ้นจะช่วยให้สารแอนโทไซยานินคงตัวมากขึ้น และเมื่อผลส้มมีอายุมากขึ้นสภาพทางสรีรวิทยาเปลี่ยนแปลงไป อาทิเช่นผนังของแวคิวโอล (intravacuolar) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และสารสีอื่นที่อยู่รวมกัน (copigmentation) จะมีผลต่อการคงตัวของสารสี (Barbagallo et al., 2007) นอกจากนี้สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ในระยะก่อนเก็บเกี่ยวจะสร้างสารสีน้อยลงหากได้รับแสงมาก เช่นในผลแอปเปิ้ล พันธุ์ “Rosemar” และสาเล่ พันธุ์ “Forelle” (Oren-Shamir, 2009)

2.15 สมบัติต้านออกซิเดชันของสารแอนโทไซยานิน

ในส้มตรา (*C. sinensis*) ในกลุ่ม blood orange พันธุ์ “Moro” และ “Sanguinello” พบสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก 18 ชนิด แสดงสมบัติต้านออกซิเดชัน โดยพบว่า Cyanidin 3-glucoside มีปริมาณมากที่สุด และพบว่าพันธุ์ ‘Moro’ มีความสามารถในการสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าพันธุ์อื่นในกลุ่ม blood orange ซึ่งมี hydroxycinnamic acid และ flavanone มากกว่ากลุ่มอื่นๆ (Kelebek et al., 2008)ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่พบในส้มโอจากเปลือกและเนื้อผลสีแดงที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dried) แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล พบว่า น้ำคั้นจากเนื้อส้มมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่อสาร DPPH, superoxide anion, and hydrogen peroxide ได้ดีมาก (Tsai et al., 2007)

2.16 สมบัติของสารแอนโทไซยานินต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ

อาหารหลายชนิดเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระใน สมุนไพร ผลไม้ และ ผัก อาทิเช่น สารในกลุ่ม bioflavonoids (flavones, tannins และ anthocyanin) สำหรับแอนโทไซยานิน มีสมบัติในลดการอักเสบและการป้องกันสารเคมีที่มีผลต่อการเติบโตของเซลล์และวงจรของเซลล์ในหลอดทดลอง อีกทั้งแอนโทไซยานินมีบทบาทในการกระตุ้นการต้านทานโรค ช่วยลดความผิดปกติทางเดินอาหารต่างๆ รวมทั้งโรคกระเพาะและมะเร็งกระเพาะอาหาร หรือลำไส้ ช่วยขับพิษในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Pascual-Teresa and Sanchez-Ballesta, 2008) Jayaprakasam et al. (2005) พบว่าแอนโทไซยานินกระตุ้นการหลั่งของสาร insulin จากเซลล์เบต้าในหนูทดลอง แอนโทไซยานินในกลุ่มของอนุพันธ์ (monoglucosides) ของ cyanidin และ delphinidin มีประสิทธิภาพมากที่สุด มีรายงานถึงสารแอนโทไซยานินและเพลาโกนินดิน (pelargonidin) ช่วยป้องกันความเสียหายจาก hepatic damage ลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองที่ 3.1 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

ทำเครื่องหมายบนก้านช่อผลของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 3 เดือนหลังดอกบาน โดยต้นส้มโอที่ใช้ในการทดลองมีอายุต้นประมาณ 6 ปีจำนวน 6 ต้น/พันธุ์ จากสวนเกษตรกร (คุณสมศักดิ์ บุญยวง) ที่ได้รับการรับรอง Global GAP ใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย หลังจากนั้นสุ่มเก็บเกี่ยวผลส้มโอทั้งสองพันธุ์ตั้งแต่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน จำนวน 4 ซ้ำ (3 ผล/ซ้ำ) หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างส้มโอเพื่อประเมินความแก่และหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ โดยแช่แข็งตัวอย่างส้มโอด้วยไนโตรเจนเหลว นำไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอต่อไป

3.1.1 การประเมินความแก่ของส้มโอ

นำตัวอย่างส้มโอที่ได้มาประเมินความแก่ โดยการคั้นน้ำส้มโอเพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS) ด้วยเครื่อง Hand refractometer (ATAGO, Japan) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA) ด้วยสารละลาย NaOH 0.1 M และรายงานผลเป็น % citric acid และอัตราส่วน TSS:TA

3.1.2 การสกัดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ

ชั่งเนื้อส้มโอที่แช่แข็ง 10 กรัม บดทีก้นน้ำหนักที่แน่นอน เติมนิโคติลฟอร์มมาไมด์ (dimethylformamide; DMF) 20 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที วัดปริมาตรสารละลายทั้งหมด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายส่วนใส นำไปกรองผ่าน syringe filter (PTFE, 0.40 μm) ใส่ใน vial 2.0 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC (High-performance liquid chromatography)

3.1.3 การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC

การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Mouly et al. (1998) เตรียมสารละลายมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดได้แก่ neohesperidin (hesperitin 7-neohesperidoside, NEH), kaempferol (3,5,7,4'-tetrahydroxyflavone, KAP), rutin trihydrate (RUT), apigenin (5,7,4'-trihydroxyflavone, APG) และ quercetin dihydrate (3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavone dihydrate, QUE) อย่างละ 140 µg/ml naringin (naringenine-7-rhamnosidoglucoside, NAR) ความเข้มข้น 1,400 µg/ml hesperidin (hesperetin-7-rutinoside, HES) ความเข้มข้น 700 µg/ml และ naringenin ความเข้มข้น 200 µg/ml ใน 30%v/v DMF บันทึกน้ำหนักและความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐาน คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารมาตรฐานแต่ละชนิด ผสมสารละลายมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด จะได้สารละลายผสมของสารมาตรฐานเข้มข้น เตรียมสารละลายผสมของสารมาตรฐานให้มีความเข้มข้นต่างๆ โดยเจือจางจาก stock 1, 1.5, 2, 4, 10 และ 15 เท่า ด้วย 30%v/v DMF นำไปกรอง syringe filter (PTFE, 0.40 µm) ใส่ใน vial 2.0 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC (Water 2695) ใช้คอลัมน์ Altima C-18 column (Alltech Associates; 250 mm x 4.6 mm) ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 35°C ใช้อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 1.0 ml/min เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยอะซิโตนไตรัต (A) และกรดอะซิติก 4%v/v (B) ปรับอัตราการไหลแบบ gradient ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เวลาในการ run 70 นาที/ตัวอย่าง ตรวจวัดด้วย PDA-detector ที่ความยาวคลื่น 280 nm วิเคราะห์ชนิดของสารกับสารมาตรฐานโดยเทียบ retention time และ spectrum ของสารมาตรฐานกับตัวอย่าง ซึ่งทดสอบการดูดกลืนคลื่นแสง UV-Visible ที่ความยาวคลื่น 220-380 nm หาปริมาณโดยวิธี external standard method ควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยฉีดสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และทำ spiked sample ในทุกๆ 10 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 : สภาวะการไหลของเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์

Time (min)	อัตราส่วน A:B					
	0	12	43	44	65	70
%A (Acetonitrile)	0	8	34	70	70	0
%B (4%acetic acid)	100	92	66	30	30	100

วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดโดยวิธี external standard method สร้างกราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดระหว่างความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์และพื้นที่ใต้พีค (ภาพภาคผนวกที่ 1-8) คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด ดังนี้

$$\text{Flavonoid content (mg/100g fresh weight)} = \frac{C \times V \times 100}{W \times 1000}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจากกราฟมาตรฐาน (µg/ml)
 V = ปริมาตรของตัวอย่างที่สกัดได้ (ml)
 W = น้ำหนักตัวอย่างส้มโอที่ชั่งมา (g)

3.1.4 การเปรียบเทียบสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

- เปรียบเทียบผลของอายุผลส้มโอ 4 ระดับได้แก่อายุ 5, 6, 7, 8 เดือนหลังดอกบาน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)
- เปรียบเทียบความแตกต่างของส้มโอ 2 พันธุ์ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ t-test
- ศึกษาอิทธิพลร่วมของพันธุ์และความแก่ส้มโอต่อปริมาณสาร naringin ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial แบ่งเป็น 2 ปัจจัยได้แก่
 ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ส้มโอได้แก่ พันธุ์ทองดีและขาวใหญ่
 ปัจจัยที่ 2 อายุผลส้มโอได้แก่ อายุ 5, 6, 7, 8 เดือนหลังจากดอกบาน
 และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT

การทดลองที่ 3.2 การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ เพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศ

3.2.1 การเก็บตัวอย่างส้มโอ

ประสานงานกับผู้นำกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกส้มโอในแต่ละจังหวัดเพื่อขอความร่วมมือในการเก็บเกี่ยวส้มโอที่มีความแก่ 2 ระดับในสวนเดียวกัน โดยแบ่งความแก่ของผลส้มโอออกเป็น 2 ระดับได้แก่ ความแก่ที่ผลิตเพื่อการส่งออก (ความแก่ 70%) และเพื่อการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) หลังจากนั้นทำการเก็บเกี่ยวส้มโอทั้งหมด 5 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม พันธุ์ละ 20 สวน (ซ้ำ)/ความแก่/พันธุ์ เป็นจำนวน 4 ผล/ความแก่/สวน(ซ้ำ)/พันธุ์

จากตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนสวนและจังหวัดต่างๆ ที่เป็นแหล่งปลูกส้มโอที่สำคัญของประเทศที่ใช้ในการทดลอง โดยได้มีการบันทึกชื่อเกษตรกรในแต่ละสวน (ตารางภาคผนวกที่ 2.1-2.5) เพื่อการทวนสอบที่มาของตัวอย่างส้มโอ หลังจากนั้นทำการขนส่งส้มโอด้วยยานพาหนะต่างๆ เช่น รถกระบะ รถไฟ รถทัวร์ รถขนส่ง และไปรษณีย์ มายังมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงภายในระยะเวลา 7 วันหลังการเก็บเกี่ยว หลังการนั้นนำตัวอย่างส้มโอมาประเมินความแก่และแช่แข็งตัวอย่างส้มโอด้วยไนโตรเจนเหลว และเก็บไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอต่อไป เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 : พันธุ์ส้มโอที่ใช้ในการทดลองจากจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทย

พื้นที่ทำการทดลอง	พันธุ์ส้มโอ				
	พันธุ์ทองดี	พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	พันธุ์ขาวแตงกวา	พันธุ์ขาวใหญ่	พันธุ์ทับทิมสยาม
ภาคเหนือ					
- เชียงราย	4			4	
ภาคกลาง					
- พิจิตร			10		
- ชัยนาท			10		
- นครปฐม	4	8			
- ราชบุรี		6			
- นครนายก	4				
- สมุทรสงคราม		6		16	
ภาคตะวันออก					
- ปราจีนบุรี	4				
ภาคใต้					
- นครศรีธรรมราช	4				19
รวมทั้งหมด (สวน)	20	20	20	20	19

หมายเหตุ : หมายเลขหมายถึง จำนวนสวนที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การสกัดและวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอด้วยวิธี HPLC

อ้างอิงจากวิธีการทั้งหมดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 (ข้อที่ 3.1.3)

3.2.3 การเปรียบเทียบสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ 5 พันธุ์และที่ระดับความแก่ 2 ระดับ

- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (% พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์ แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT
- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของส้มโอ 5 พันธุ์ แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT
- ศึกษาอิทธิพลร่วมของพันธุ์และความแก่ส้มโอต่อปริมาณสาร naringin ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial แบ่งเป็น 2 ปัจจัยได้แก่
ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ส้มโอได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ ทับทิมสยาม
ปัจจัยที่ 2 ความแก่ของส้มโอได้แก่ ความแก่ 70% และความแก่ 80%
และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT

- เปรียบเทียบความแก่ของส้มโอต่อปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับได้แก่ ความแก่ 70% และ 80% ของแต่ละพันธุ์ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ t-test
- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอที่มีเนื้อสีขาวเหลืองได้แก่ พันธุ์ ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา และขาวใหญ่ แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Fisher's Least Significant Differences (LSD)
- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีจาก 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT
- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ในจังหวัดต่างๆ ได้แก่ จังหวัดราชบุรี นครปฐม และสมุทรสงคราม แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD
- เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ในจังหวัด พิจิตรและชัยนาท แยกตามระดับความแก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ t-test

3.2.4 การสกัดสารแอนโทไซยานินในส้มโอ

ทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการที่ 1 และ 2 ดัดแปลงตามวิธีของ (Kelebek et al., 2008)

การเตรียมสารตัวอย่างวิธีที่ 1

ชั่งตัวอย่างส้มโอแช่แข็ง 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 5 กรัม โฮโมจีไนซ์ที่ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที กรองหยาบโดยกระดาษกรอง Whatman No.1 ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร และกรองอีกครั้งผ่าน 0.45- μ m PTFE membrane ก่อนจะฉีดเข้าสู่ระบบ HPLC

การเตรียมสารตัวอย่างวิธีที่ 2

ชั่งตัวอย่างส้มโอแช่แข็ง 5 กรัม เติมสารละลาย 1% กรดไฮโดรคลอริกในเมทานอล 5 กรัม โฮโมจีไนซ์ที่ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที กรองหยาบโดยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ระเหยตัวทำละลายออกที่ 35°C เป็นเวลา 5 นาที ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร กรองผ่าน 0.45- μ m PTFE membrane ก่อนจะฉีดเข้าสู่ระบบ HPLC

ในทั้งสองวิธี ได้เตรียม spiked sample ซึ่งเติมสารละลายมาตรฐาน cyanidin 3-glucoside และ delphinidin 3-glucoside สองรูปแบบได้แก่ เติมสารมาตรฐานพร้อมส้มโอแห้ง และเติมพร้อมปรับปริมาตร

3.2.5 การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินในส้มโอ

คอลัมน์ที่ใช้คือ Pinnacle II C-18 column (Alltech Associates; 5 μ m, 250 x 4.6 mm) เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยสารละลาย 2 ชนิด ได้แก่ A และ B สารละลาย A คือน้ำปราศจากไอออน (DI) : กรดฟอร์มิก (95:5 %v/v) ส่วนสารละลาย B เป็นอะซิโตนไตริล : สารละลาย A (60:40 %v/v) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที สภาวะการไหลของเฟสเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 3.3 เวลาในการวิเคราะห์ 120 นาทีต่อตัวอย่าง ปริมาตรสารตัวอย่างในการวิเคราะห์ 10 ไมโครลิตร ตรวจวัดด้วย Diode Array detector ที่ความยาวคลื่น 280, 320 และ 580 nm ณ อุณหภูมิ 25°C

ตารางที่ 3.3 : สภาวะการไหลของเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารแอนโทไซยานิน

Time (min)	0	10	40	58	72	103	106
%A	100	100	95	85	75	50	0
DI : Formic acid (95:5 %v/v)							
%B	0	0	5	15	25	50	100
Acetonitrile : Solvent A							

3.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอตามข้อที่ 3.1.4 และ 3.2.4 โดยโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS) version 8.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha=0.05$)

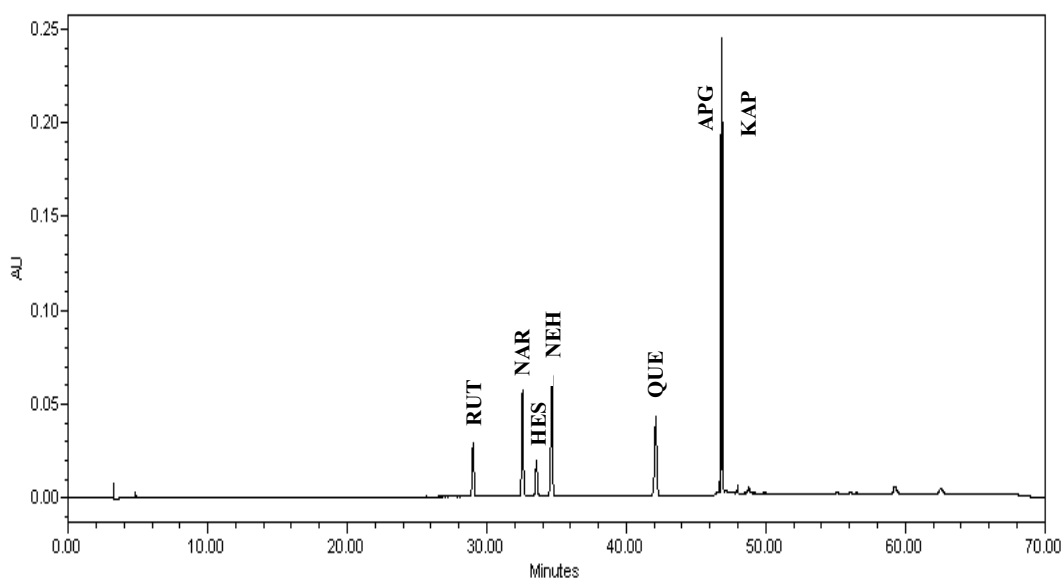
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

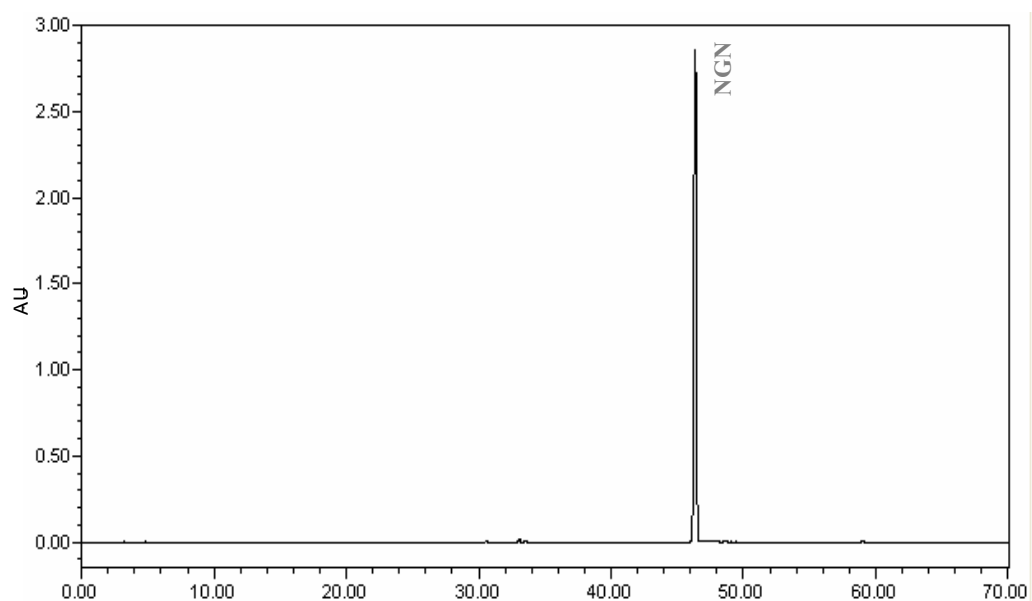
การทดลองที่ 4.1 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในระหว่างการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

4.1.1 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์มาตรฐาน

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์จำนวน 7 ชนิดในครั้งแรก ได้แก่ rutin trihydrate (RUT), naringin (naringenine-7-rhamnosidoglucoside, NAR), hesperidin (hesperetin-7-rutinoside, HES), neohesperidin (hesperitin 7-neohesperidoside, NEH), quercetin dihydrate (3, 5, 7, 3', 4'-pentahydroxyflavone dihydrate, QUE), apigenin (5, 7, 4'-trihydroxyflavone, APG), kaempferol (3, 5, 7, 4'-tetrahydroxyflavone, KAP) ได้โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานดังแสดงในภาพที่ 4.1 และได้วิเคราะห์สารมาตรฐานเพิ่มเติมคือ naringenin (NGN) ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งมีค่า retention time และค่าการดูดกลืนแสงของฟลาโวนอยด์ต่างๆ (ตารางที่ 4.1) และสเปกตรัมของสารมาตรฐานแต่ละชนิด (ภาพที่ 4.3)



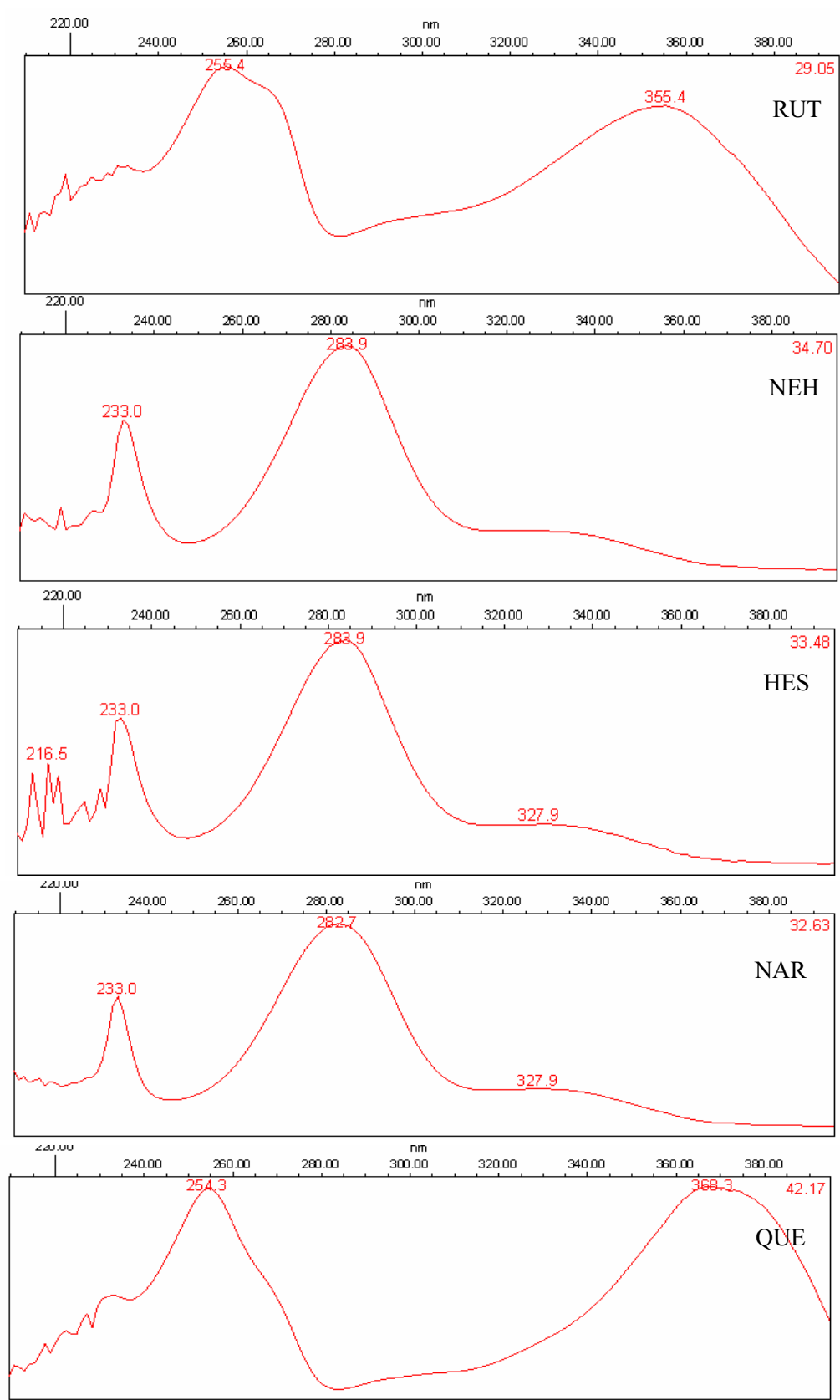
ภาพที่ 4.1 : โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 7 ชนิด

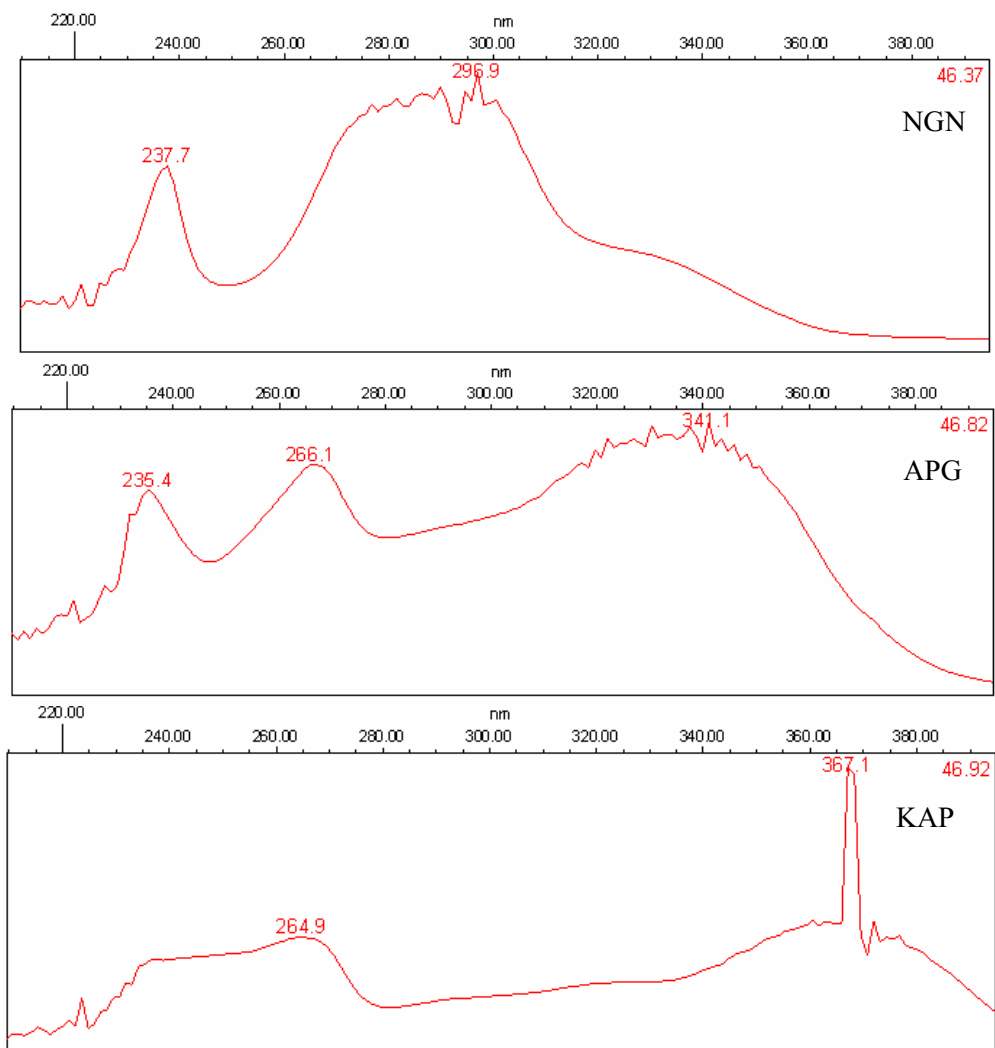


ภาพที่ 4.2 : โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Naringenin

ตารางที่ 4.1 : Retention time และ $\lambda_{\max}$ ของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 8 ชนิด

พีคที่	สารมาตรฐาน	RT (min)	$\lambda_{\max}$ (nm)		
1	RUT (rutin)	29.05	255.4	355.4	
2	NAR (naringin)	32.63	233.0	282.7	327.9
3	HES (hesperidin)	33.48	233.0	283.9	327.9
4	NEH (neohesperidin)	34.70	233.0	283.9	
5	QUE (quercetin)	42.17	254.3	368.3	
6	NGN (naringenin)	46.37	237.7	296.9	
7	APG (apigenin)	46.82	236.6	266.1	341.1
8	KAP (kaempferol)	46.92	264.9	367.1	





ภาพที่ 4.3 : สเปกตรัมของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ 8 ชนิด

4.1.2 ชนิดของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

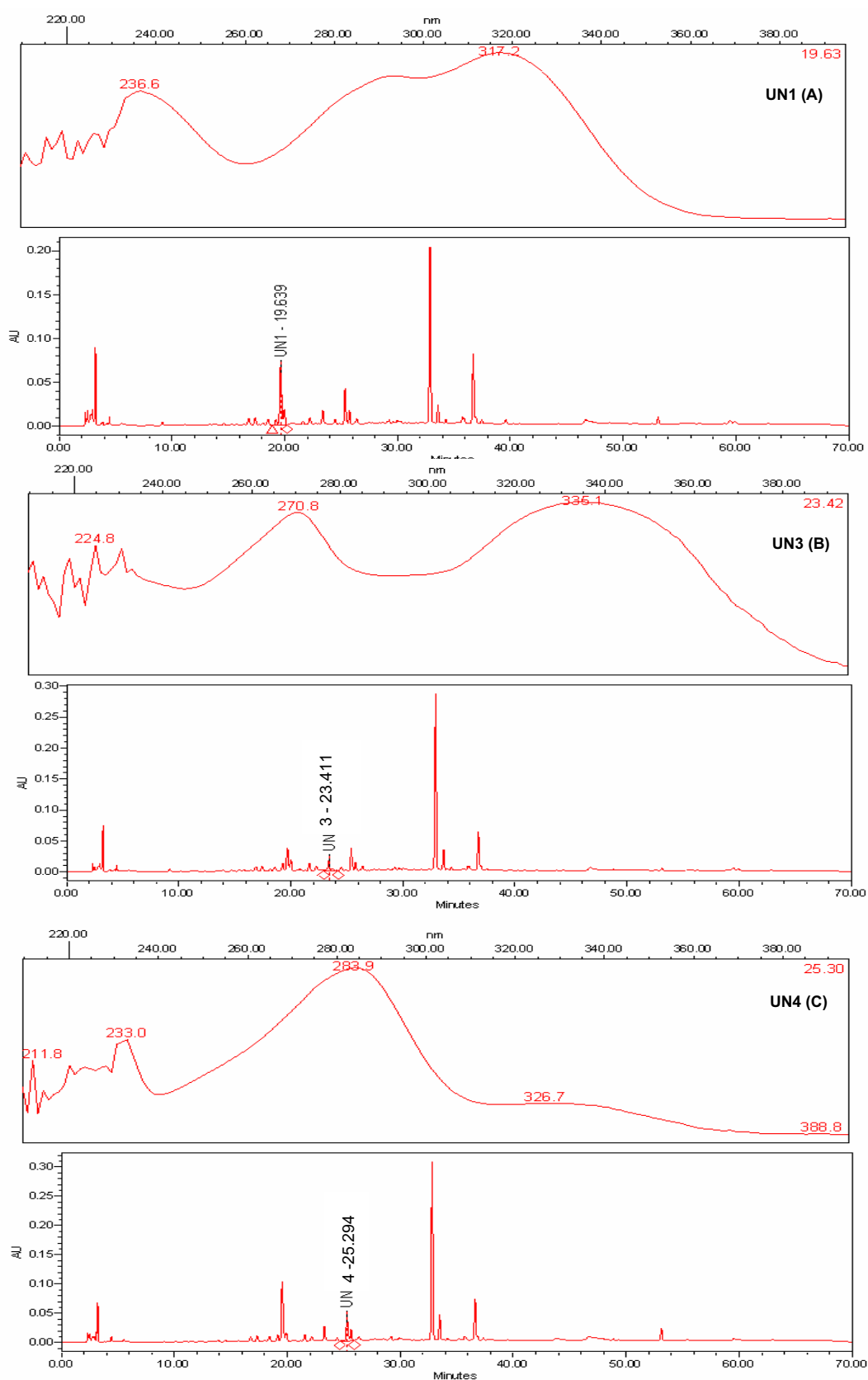
จากโครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ในระหว่างการเจริญเติบโต 5-8 เดือนหลังดอกบาน เมื่อเปรียบเทียบค่า retention time และสเปกตรัมของสารมาตรฐาน 8 ชนิด ได้แก่ RUT (rutin), NAR (naringin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin), KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) พบโครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทองดีประกอบด้วยพีคหลักๆ 7 พีค และในส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ประกอบด้วยพีคหลักๆ 5 พีค โดยเฉพาะพบฟลาโวนอยด์ที่เด่นชัดและมีปริมาณมากที่สุดในส้มโอทั้งสองพันธุ์คือ NAR (naringin) สอดคล้องกับสารมาตรฐานที่มีค่า retention time, λ_{max} (ตารางที่ 4.1) และสเปกตรัม (ภาพที่ 4.3) และให้ผลเช่นเดียวกับรายงานก่อนหน้านี้พบว่าค่า λ_{max} ของสาร

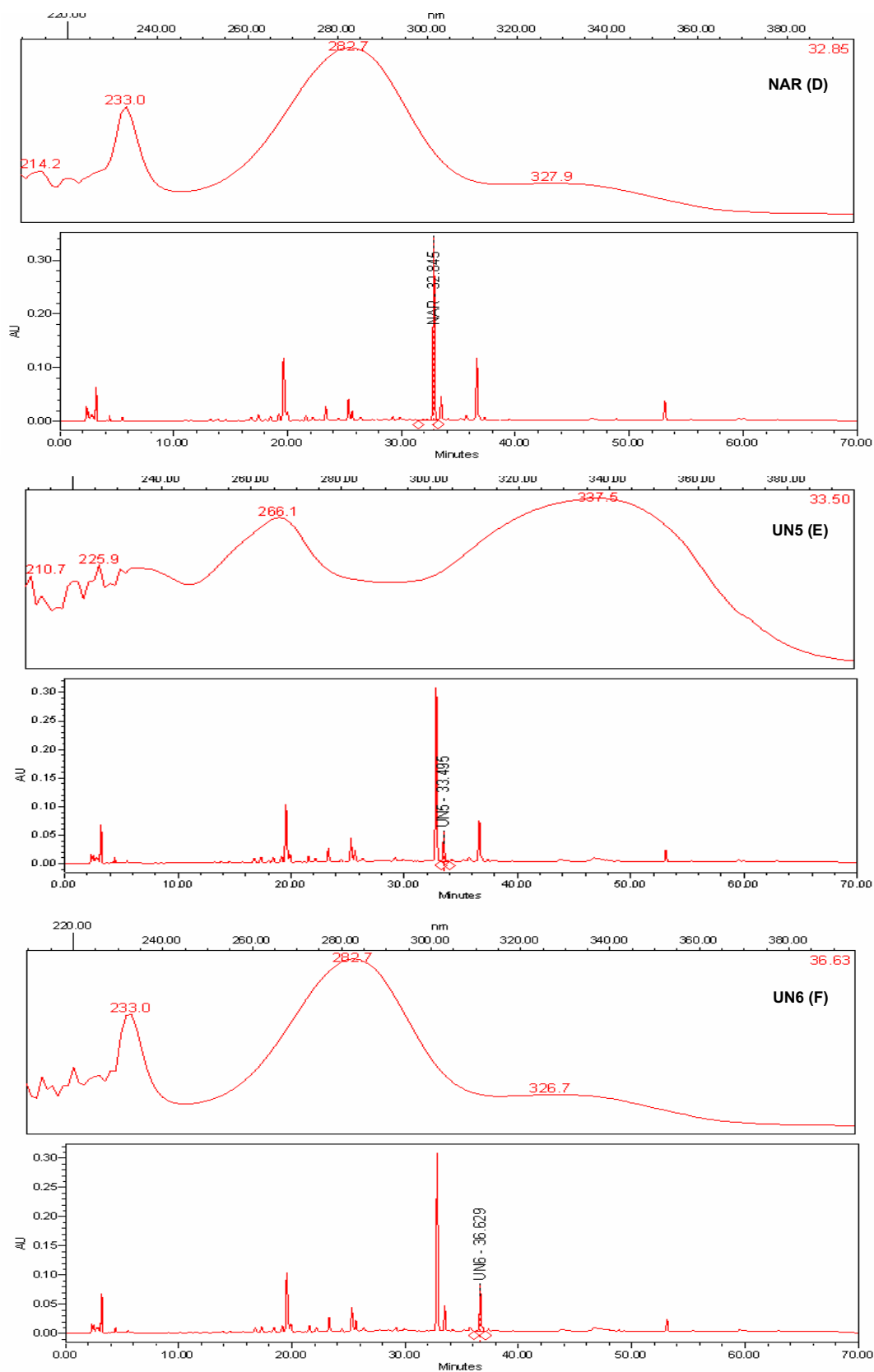
naringin เท่ากับ 281, 328 nm (Sakakibara et al., 2003) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบสาร ฟลาโวนอยด์ชนิด RUT (rutin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin) KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) เช่นเดียวกับรายงานของลัดดา และคณะ (2548) ที่ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ สำหรับในตัวอย่างส้มโอที่เหลืออีก 6 พันธุ์ (พันธุ์ทองดี) และ 4 พันธุ์ (พันธุ์ขาวใหญ่) นั้นเป็นพันธุ์ที่ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นสารสำคัญตัวใด (unknown) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 รายงานชื่อ สารประกอบ, ค่า retention time, λ_{max} และสเปกตรัมของสาร (ภาพที่ 4.4) ซึ่งจากผล ดังกล่าวทำให้ทราบว่าในส้มโอไทยนั้นมีสารสำคัญอื่นๆ ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ไม่สามารถระบุ ชนิดได้ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปในอนาคต จากผลการทดลองดังกล่าวแตกต่างกับ ส้มโอของประเทศไต้หวันและประเทศจีน โดยที่ส้มโอของไต้หวันพันธุ์ “Wendo” และ “Peiyou” พบสาร naringin, hesperidin, rutin, quercetin, neohesperidin และ kaempferol (Wang et al., 2007) เช่นเดียวกับส้มโอของจีนพันธุ์ “Miyou” และ “Sijiyu” ที่พบสาร naringin, hesperidin, neohesperidin (Xu et al., 2008)

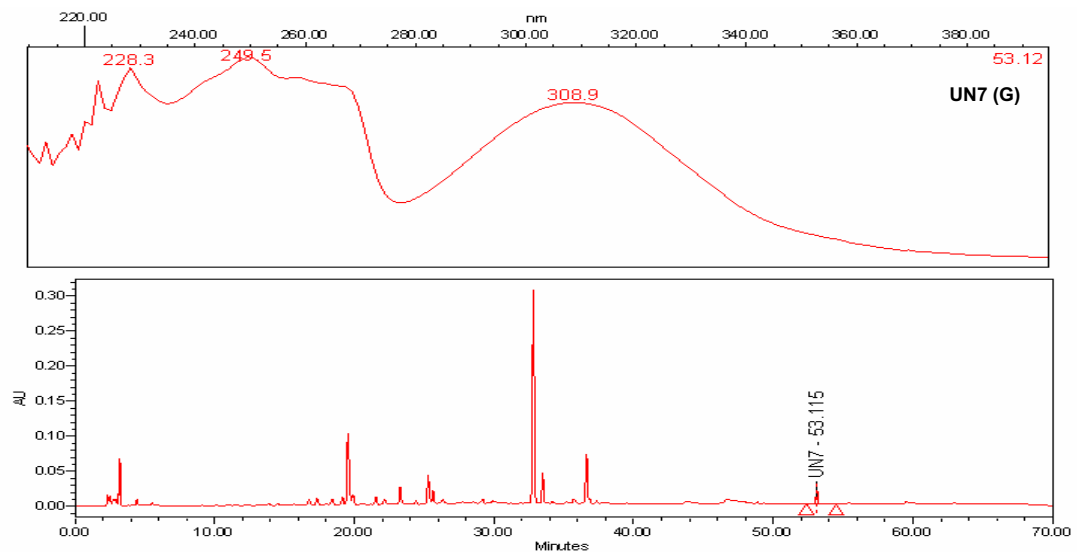
ตารางที่ 4.2 : ค่า retention time และ λ_{max} ของพืชที่ปรากฏในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน

สารประกอบ	Retention time (min)	λ_{max} (nm)
UN1	19.63	236.6, 317.2
UN3	23.42	224.8, 270.8, 335.1
UN4	25.30	211.8, 233.0, 283.9, 326.7
Naringin (NAR)	32.85	233.0, 282.7, 327.9
UN5	33.50	210.7, 225.9, 266.1, 337.5
UN6	36.63	233.0, 282.7, 326.7
UN7	53.12	228.3, 294.5, 308.9

UN หมายถึง Unknown







ภาพที่ 4.4 : โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร unknown UN1 (A), UN3 (B), UN4 (C), UN5 (E), UN6 (F), UN7 (G) และสาร naringin (NAR) (D) ในตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดี

4.1.3 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโออายุ 5-8 เดือน

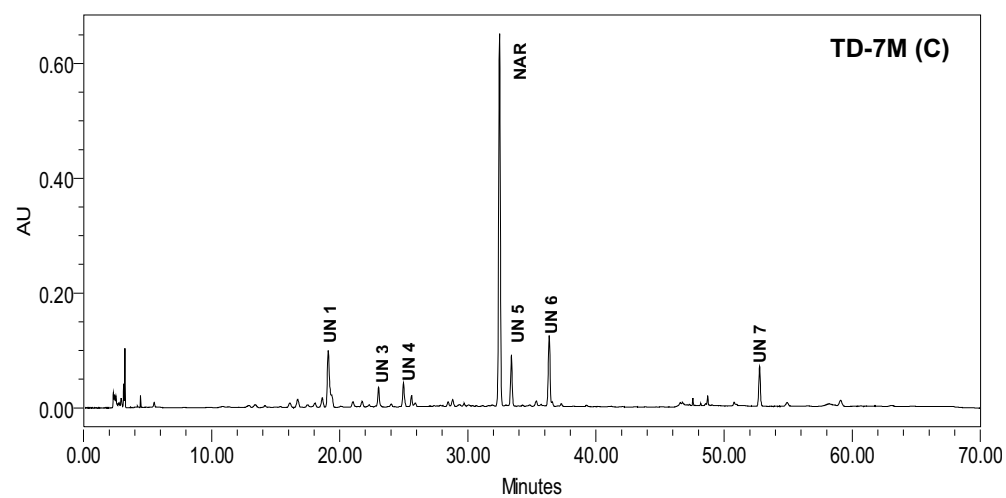
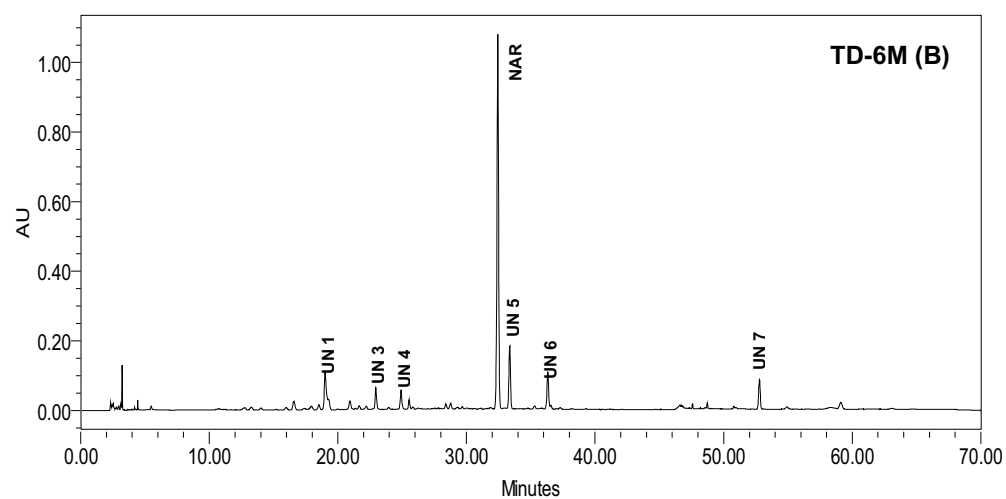
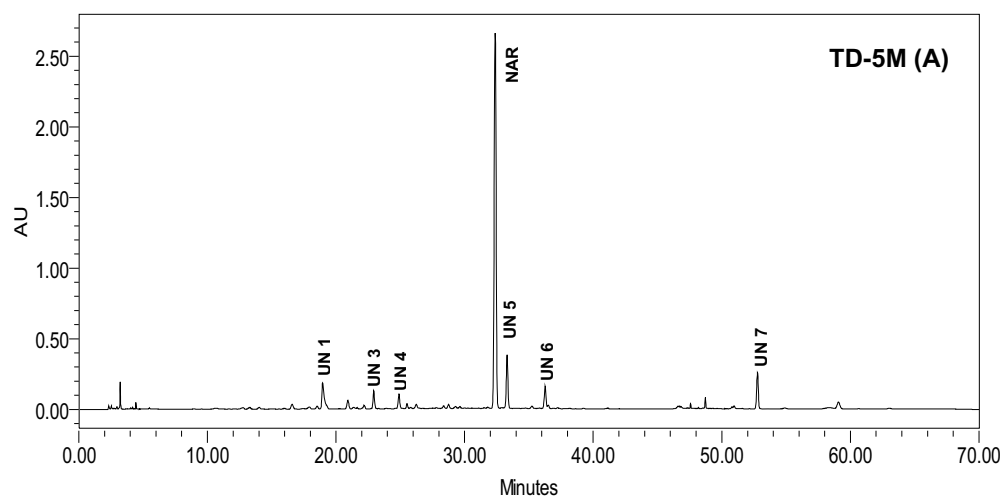
เมื่อนำค่าพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้พีคในโครมาโตแกรม ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือน หลังดอกบาน เปรียบเทียบเฉพาะส้มโอพันธุ์เดียวกัน พบว่าสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ ที่พบมากที่สุดในส่วนส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ ในส้มโอพันธุ์ทองดีพบสาร naringin มากถึง 50-58% และ พันธุ์ขาวใหญ่ 61-69% สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าสาร naringin เป็นสาร ฟลาโวนอยด์ที่สำคัญของส้มโอทั้งประเทศจีน ไต้หวันและไทย (Xu et al., 2008; Wang et al., 2007; ลัดดาและคณะ, 2548) นอกจากนี้ยังพบชนิดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ใน ส้มโอทั้ง 2 พันธุ์แตกต่างกันซึ่งส้มโอพันธุ์ทองดีมีสาร unknown (UN1 และ UN3-7) แต่ในส้มโอ พันธุ์ขาวใหญ่ไม่พบสาร unknown (UN3 และ UN5) โดยสาร naringin และ unknown ส่วนใหญ่ มีค่าลดลงเมื่อผลส้มโอแก่มากขึ้น ยกเว้น UN4 และ UN6 ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลส้มโอมีอายุ มากขึ้น (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5-4.6)

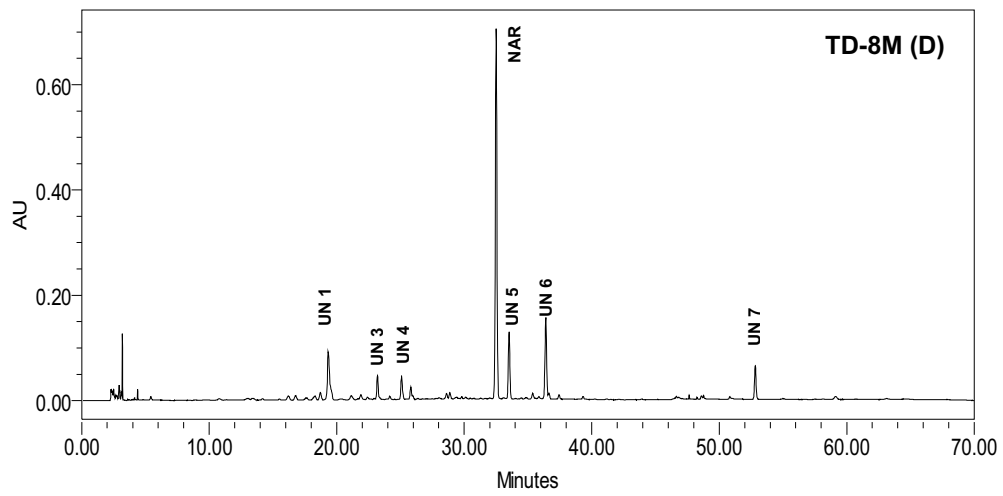
ตารางที่ 4.3 : ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือน

พันธุ์	ความแก่	Peak area (%) / Retention time (min)						
		UN 1/ 19.6 min	UN 3/ 23.3 min	UN 4/ 25.3 min	Naringin/ 32.8 min	UN 5/ 33.5 min	UN 6/ 36.6 min	UN 7/ 53.1 min
ทองดี	5	11.36±0.95 ^a	3.34±0.01 ^b	2.85±0.14 ^c	58.33±3.69 ^a	10.34±0.57 ^a	6.04±0.21 ^a	7.74±1.82 ^a
	6	11.11±0.84 ^a	3.54±0.07 ^b	3.22±0.20 ^{bc}	58.61±1.78 ^a	10.38±0.12 ^a	7.32±0.22 ^a	5.83±0.57 ^a
	7	9.71±3.57 ^a	3.64±0.26 ^b	5.41±0.70 ^a	56.68±4.11 ^a	7.09±3.01 ^a	12.24±0.95 ^a	5.22±0.75 ^a
	8	14.34±0.95 ^a	4.66±0.24 ^a	4.49±0.19 ^{ab}	50.18±3.14 ^a	11.25±0.62 ^a	10.22±3.94 ^a	4.86±0.71 ^a
ขาวใหญ่	5	10.71±0.57 ^b	nd	3.46±0.31 ^c	69.72±2.46 ^a	nd	5.76± 0.03 ^d	10.37±1.56 ^a
	6	16.06±0.89 ^a	nd	5.23±0.19 ^b	60.87±1.52 ^b	nd	8.44±0.06 ^c	9.41±0.83 ^{ab}
	7	15.29±1.02 ^a	nd	7.81±0.46 ^a	58.22±2.20 ^b	nd	11.60±0.75 ^b	7.08±0.74 ^b
	8	13.26±0.64 ^{ab}	nd	8.99±0.49 ^a	61.08±1.03 ^b	nd	13.60±0.61 ^a	3.08±0.27 ^c

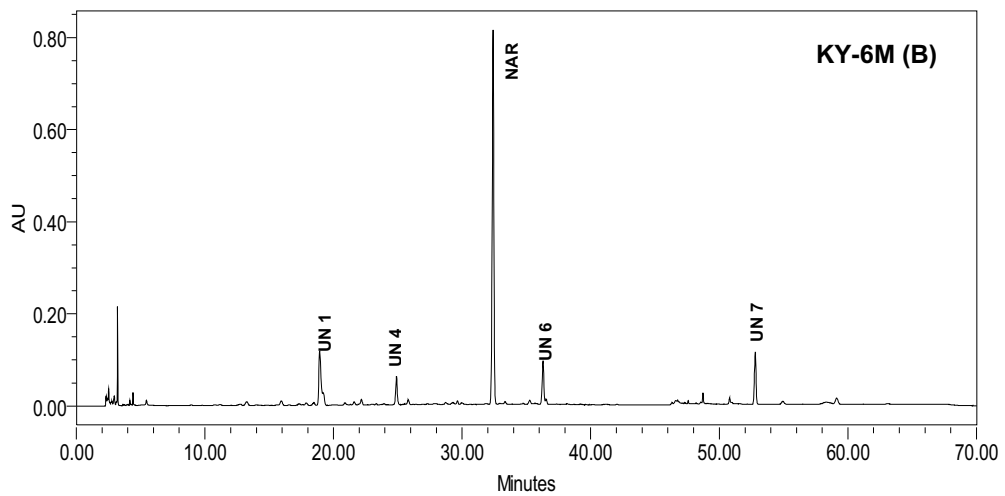
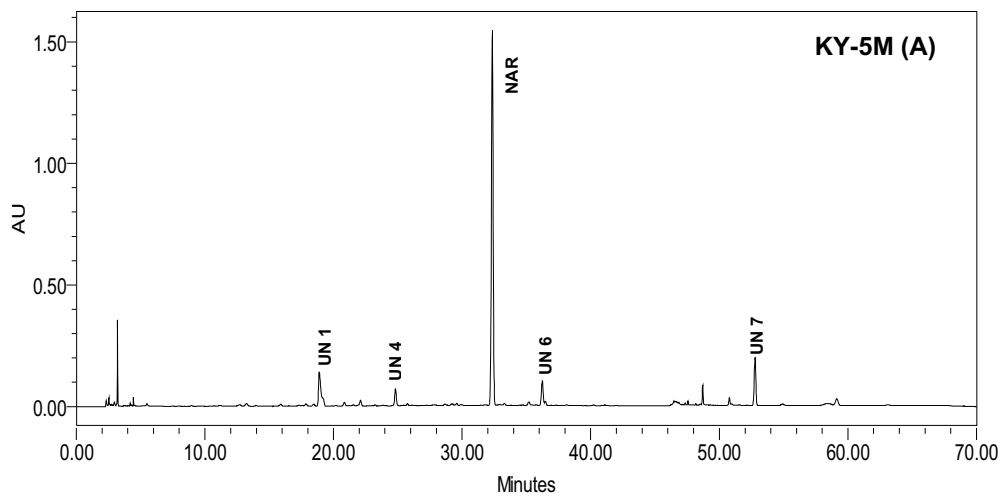
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งในแต่ละพันธุ์หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

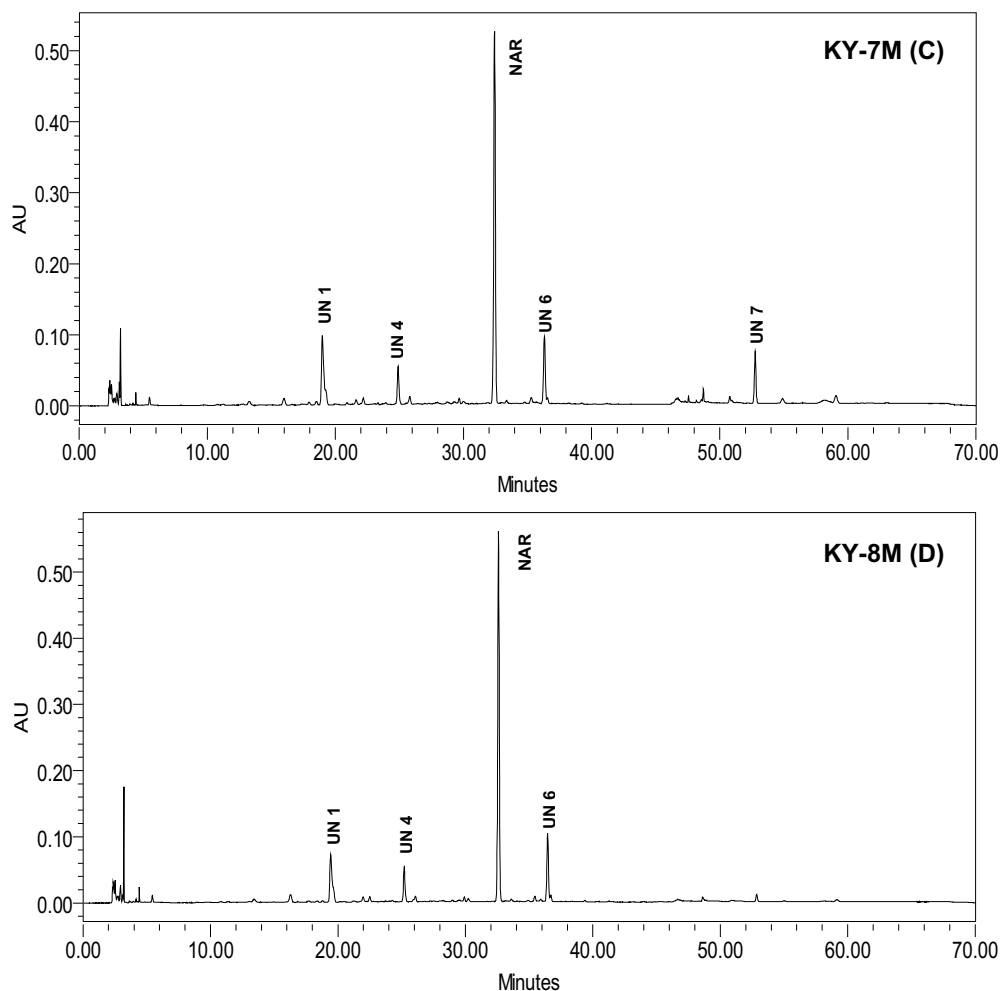
nd = not detectable, S/N<3 , Mean ± Standard Error





ภาพที่ 4.5 : โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 5 (A) 6 (B) 7 (C) และ 8 เดือน (D)





ภาพที่ 4.6 : โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ที่อายุ 5 (A) 6 (B) 7 (C) และ 8 เดือน (D) หลังดอกบาน

4.1.4 ปริมาณ TSS, TA อัตราส่วน TSS:TA และสาร naringin ของส้มโออายุ 5-8 เดือน

ส้มโออายุผลมากขึ้นปริมาณ TSS และอัตราส่วน TSS:TA เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของส้มโดยทั่วไปเมื่อเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (Ladaniya, 2008) แต่หลังจากนั้นในเดือนที่ 6-8 ปริมาณ TSS ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TA และ TSS:TA สอดคล้องกับปริมาณ naringin ที่ลดลงมากกว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS เมื่อผลส้มโออายุผลมากขึ้น (ตารางที่ 4.4) จากการทดลองนี้พบว่าปริมาณสาร naringin ในส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างเดือนที่ 5-6 (93.0 เป็น 62.7 mg/100g FW) สอดคล้องรายงานของ Ontuno et al. (1985) ที่พบว่า ปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ “Chandler” ลดลงเกือบสามเท่าเมื่อผลแก่มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์พบว่า

ปริมาณสาร naringin ของส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ที่อายุ 7 เดือน (ความแก่ 70%) และ 8 เดือน (ความแก่ 80%) ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.4)

โดยทั่วไปดัชนีการเก็บเกี่ยวของส้มโอกำหนดได้จากปริมาณ TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA จากการทดลองนี้ได้นำวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient ; r) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA กับปริมาณสาร naringin ของส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ที่อายุผลตั้งแต่ 5-8 เดือน พบว่า การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวของส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ด้วยค่า TA ($r=0.7206$) หรือ TSS:TA ($r=-0.6912$) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าค่า TSS ($r=-0.3736$) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) แต่อย่างไรก็ตามก็มีความจำเป็นในการประเมินค่า TSS เนื่องจากการกำหนดมาตรฐานการส่งออกส้มโอของ มกอช. ปี 2550 ที่ระบุไว้ว่า ปริมาณ TSS ควรมีความมากกว่า 8% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550) ในงานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นในวิเคราะห์ค่า TSS ด้วย ดังนั้นในการกำหนดความแก่ของส้มโอด้วยค่าอัตราส่วน TSS:TA มีความเหมาะสมมากกว่าค่า TSS หรือ TA อย่างใดอย่างหนึ่ง (ตารางที่ 4.5) และเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ระบุถึงความแก่ของส้มโอที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในการทดลองที่ 4.2 ต่อไป สำหรับการเจริญเติบโตของส้มโอโดยทั้ง 2 พันธุ์พบว่าการสร้างเนื้อผลมากขึ้นและเปลือกส้มโอบางลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะความสุก (ภาพที่ 4.7)

ตารางที่ 4.4 : ปริมาณ TSS, TA, TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน

สมบัติทางเคมี	ความแก่ (เดือนหลังดอกบาน)			
	5	6	7	8
TSS (%)	8.75±0.34 ^b	9.85±0.12 ^a	10.1±0.17 ^a	9.92±0.24 ^a
TA (%)	1.07±0.05 ^a	1.00±0.05 ^a	0.86±0.03 ^b	0.72±0.01 ^c
TSS:TA ratio	8.37±0.44 ^d	10.09±0.51 ^c	11.85±0.42 ^b	13.73±0.50 ^a
Naringin (mg/100g FW)	93.00±10.71 ^a	62.75±5.22 ^b	49.32±3.88 ^b	40.46±2.57 ^c

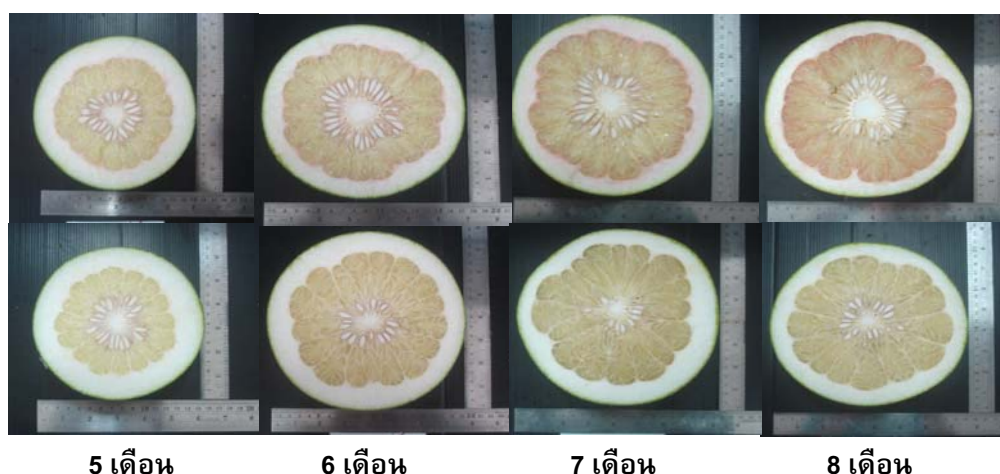
Mean ± Standard Error

ตารางที่ 4.5 : ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่า TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA กับ สาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน

สมบัติทางเคมี	Correlation coefficient (r) (Naringin)		
	รวมพันธุ์	ทองดี	ขาวใหญ่
TSS (%)	-0.3736	-0.2153	-0.6320*
TA (%)	0.7206**	0.9117**	0.6910*
TSS:TA ratio	-0.6912**	-0.8552**	-0.7133**

** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.01$)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)



5 เดือน

6 เดือน

7 เดือน

8 เดือน

ภาพที่ 4.7 : การเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดี (บน) และ ขาวใหญ่ (ล่าง) ที่อายุ 5-8 เดือน หลังดอกบาน

4.1.5 ปริมาณสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

จากตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ทองดี (สีชมพูอ่อน) และ ขาวใหญ่ (สีขาวเหลือง) พบว่าส้มโอทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกันที่อายุผล 5-8 เดือน ($p > 0.05$) เมื่อศึกษาผลของอิทธิพลของพันธุ์และอายุของส้มโอต่อปริมาณสาร naringin พบว่าพันธุ์และความแก่ของส้มโอมีผลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5 เดือนมีสาร naringin มากที่สุด และส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ที่อายุผล 7 และ 8 เดือนมีปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.4 และ 4.7) นอกจากนี้พบว่าพันธุ์และความแก่ของส้มโอไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณ TSS:TA (ตารางที่ 4.7) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณสาร naringin จึงขึ้นอยู่กับทั้งชนิดพันธุ์และความแก่ของส้มโอ

ตารางที่ 4.6 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่

ความแก่	พันธุ์	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
5 เดือน	ทองดี	6.74±0.39 ^b	84.96±13.03 ^a
	ขาวใหญ่	10.01±0.49 ^a	101.04±8.39 ^a
6 เดือน	ทองดี	8.80±0.13 ^a	72.89±6.51 ^a
	ขาวใหญ่	11.38±0.89 ^a	52.62±3.92 ^a
7 เดือน	ทองดี	10.53±0.32 ^b	51.64±4.15 ^a
	ขาวใหญ่	13.16±0.52 ^a	47.00±3.61 ^a
8 เดือน	ทองดี	13.18±0.51 ^a	37.29±2.16 ^a
	ขาวใหญ่	14.28±0.50 ^a	43.63±2.98 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

ตารางที่ 4.7 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน

พันธุ์	ความแก่	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ทองดี	5 เดือน	6.74±0.39 ^c	84.97±13.04 ^{ab}
	6 เดือน	8.80±0.13 ^c	72.89±6.51 ^b
	7 เดือน	10.53±0.32 ^b	51.64±4.15 ^c
	8 เดือน	13.18±0.51 ^a	37.75±2.17 ^c
ขาวใหญ่	5 เดือน	10.01±0.49 ^{bc}	101.0±8.40 ^a
	6 เดือน	11.39±0.89 ^b	52.62±3.92 ^c
	7 เดือน	13.16±0.52 ^a	47.00±3.61 ^c
	8 เดือน	14.28±0.50 ^a	43.63±2.98 ^c
พันธุ์		*	ns
ความแก่		*	*
พันธุ์ x ความแก่		ns	*

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

การทดลองที่ 4.2 การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่เพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศ

4.2.1 การเก็บตัวอย่างและปริมาณ TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์

นำส้มโอดังตัวอย่างภาพที่ 4.8-4.12 ที่ได้มาวิเคราะห์หาอัตราส่วน TSS:TA เพื่อประเมินความแก่ของส้มโออีกครั้ง โดยผลส้มโอเกรดบริโภคในประเทศ (ความแก่ 80%) มีค่าอัตราส่วน TSS:TA มากกว่าส้มโอเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) เมื่อเปรียบเทียบการประเมินความแก่ของเกษตรกรพบว่ามีความถูกต้องประมาณ 65-75% จากตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณ TSS:TA ของส้มโอทั้ง 5 พันธุ์ในแต่ละจังหวัดที่ทำการผลิตที่สำคัญของประเทศ โดยปริมาณค่า TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ทองดีความแก่ 70% มีค่า 12-19:1 และ 80% มีค่าเท่ากับ 13-26:1 เป็นพันธุ์ที่ผันแปรตามสภาพพื้นที่ปลูกมากที่สุด นอกจากนี้ปริมาณ TSS:TA ของพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและพันธุ์ขาวใหญ่เพื่อการส่งออกมีค่าเท่ากับ 12-15:1 และ 11-15:1 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเกรดบริโภคภายในประเทศมีค่า 16-17:1 และ 12-16:1 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพันธุ์ขาวแตงกวา (จ.พิจิตร) ที่ระดับความแก่ทั้ง 2 ระดับมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับพันธุ์ทับทิมสยามมีค่า TSS:TA มากที่สุดเมื่อเปรียบกับส้มโอทั้ง 4 พันธุ์ (32-37:1) หลังจากนั้นทำการแช่แข็งตัวอย่างส้มโอด้วยไนโตรเจนเหลวและเก็บไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิต่ำ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์และสารแอนโทไซยานินในส้มโอต่อไป

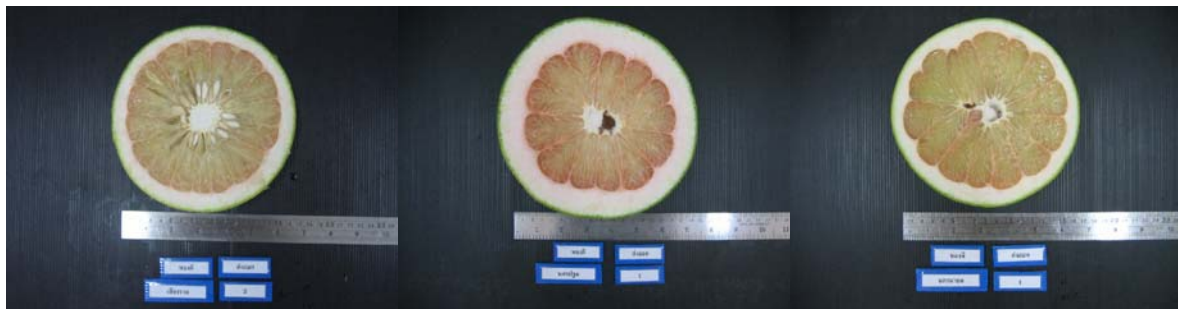
ตารางที่ 4.8 : ปริมาณ TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่ 70% และ 80%

พันธุ์	จังหวัด	ความแก่	วันเก็บเกี่ยว	TSS:TA	ชื่อเกษตรกร
ทองดี	เชียงราย	70%	7/9/2551	12.24 $\pm$ 1.25	คุณอัสนี สันติวรพิพัฒน์
		80%	7/9/2551	13.62 $\pm$ 1.86	
	นครปฐม	70%	9/10/2551	18.99 $\pm$ 4.90	คุณสมปอง จันทร์รัมย์เย็น
		80%	9/10/2551	26.12 $\pm$ 1.38	
	นครนายก	70%	26/9/2551	14.52 $\pm$ 3.75	คุณสไว สียา
		80%	26/9/2551	19.44 $\pm$ 0.59	
	ปราจีนบุรี	70%	28/9/2551	13.89 $\pm$ 0.48	คุณวีระ บุญโต
		80%	28/9/2551	21.29 $\pm$ 1.15	
ขาน้ำผึ้ง	นครปฐม	70%	26/9/2551	17.63 $\pm$ 1.56	คุณวิรัตน์ สุขแสง
		80%	26/9/2551	20.56 $\pm$ 1.01	
	ราชบุรี	70%	19/10/2551	11.92 $\pm$ 1.35	คุณสมปอง จันทร์รัมย์เย็น
		80%	19/10/2551	16.59 $\pm$ 1.13	
	สมุทรสงคราม	70%	18/10/2551	14.73 $\pm$ 0.65	คุณกอบกุล อมตวง
		80%	18/10/2551	16.35 $\pm$ 0.42	
	สมุทรสงคราม	70%	18/10/2551	13.87 $\pm$ 1.20	คุณฉวีล แสงตะวัน
		80%	18/10/2551	17.22 $\pm$ 1.15	
ขาวแดงกาวา	พิจิตร	70%	14/1/2552	11.03 $\pm$ 1.27	คุณสมเจตน์ ชิมประดิษฐ์
		80%	14/1/2552	12.61 $\pm$ 0.96	
	ชัยนาท	70%	26/1/2552	11.74 $\pm$ 0.86	คุณเกรียงกมล เหมือนกรุด
		80%	14/2/2552	15.71 $\pm$ 0.94	
ขาวใหญ่	เชียงราย	70%	7/9/2551	10.11 $\pm$ 0.96	คุณอัสนี สันติวรพิพัฒน์
		80%	7/9/2551	12.01 $\pm$ 0.66	
	สมุทรสงคราม	70%	11/10/2551	14.55 $\pm$ 1.29	คุณฉวีล แสงตะวัน
		80%	11/10/2551	18.59 $\pm$ 1.85	
ทับทิมสยาม	นครศรีธรรมราช	70%	4/6/2552	31.86 $\pm$ 2.98	คุณวิรัตน์ สุขแสง
		80%	4/6/2552	36.60 $\pm$ 3.68	

Mean $\pm$ Standard deviation

ตัวอย่างส้มโอ 5 พันธุ์เกรดส่งออก (ความแก่ 70%)

พันธุ์ทองดี



จ. เชียงราย

จ. นครปฐม

จ. นครนายก



จ. ปราจีนบุรี

จ. นครศรีธรรมราช

ภาพที่ 4.8 : ส้มโอพันธุ์ทองดีเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช

พันธุ์ขาวผึ้ง



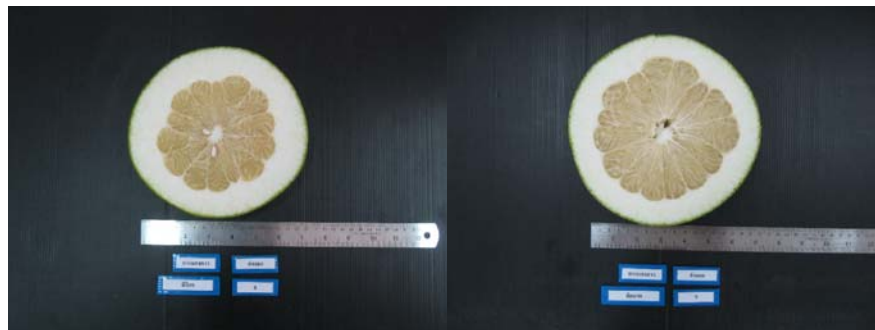
จ. นครปฐม

จ. ราชบุรี

จ. สมุทรสงคราม

ภาพที่ 4.9 : ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดนครปฐม ราชบุรี และสมุทรสงคราม

พันธุ์ขาวแตงกวา



จ. พิจิตร

จ. ชัยนาท

ภาพที่ 4.10 : ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดพิจิตรและชัยนาท

พันธุ์ขาวใหญ่



จ. เชียงราย

จ. สมุทรสงคราม

ภาพที่ 4.11 : ส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่เกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดเชียงรายและสมุทรสงคราม

พันธุ์ทับทิมสยาม

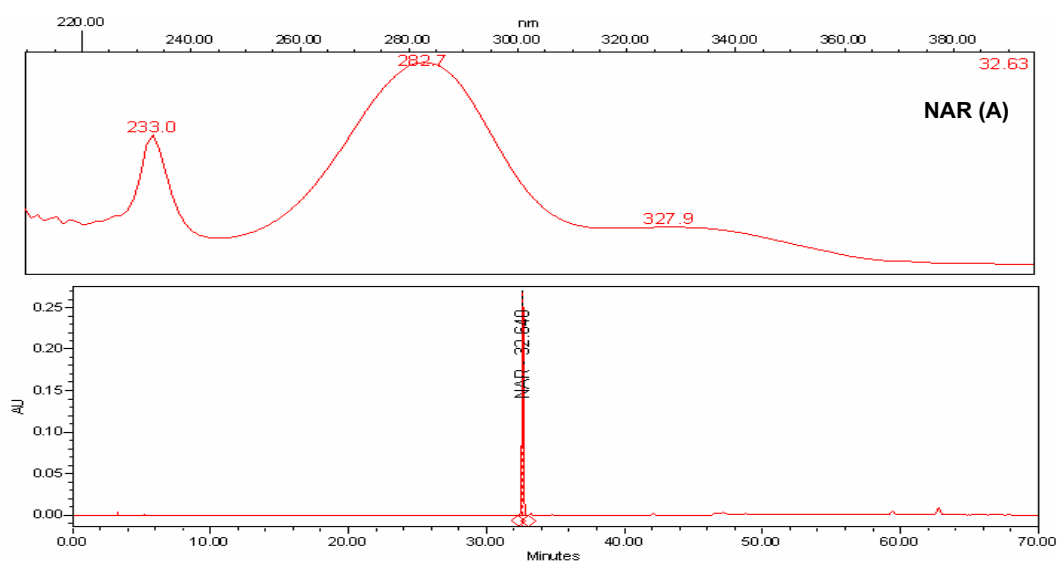


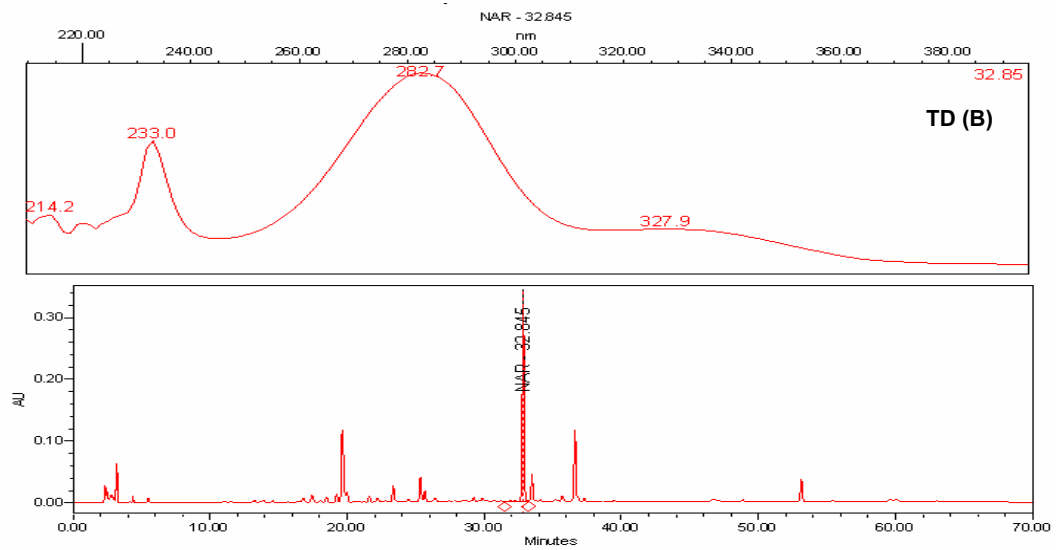
จ. นครศรีธรรมราช

ภาพที่ 4.12 : ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) จากจังหวัดนครศรีธรรมราช

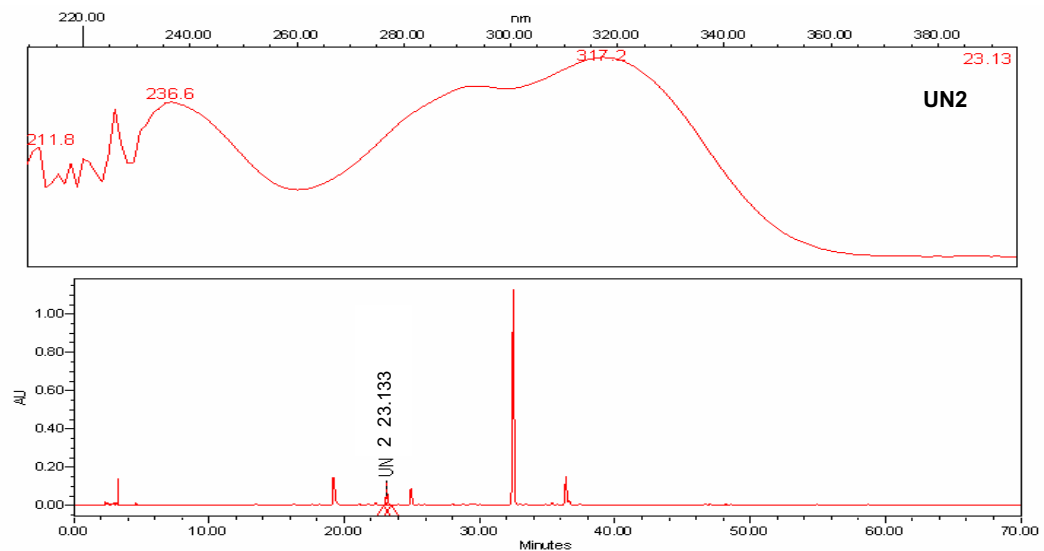
4.2.2 ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ 5 พันธุ์

จากโครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอ ความแก่ 70% และ 80% ที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดต่างๆ ทั้ง 5 พันธุ์ โดยค่า retention time และสเปกตรัมของส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม พบสาร naringin ที่เด่นชัดและมากที่สุด คือ retention time (19.6 นาที) λ_{max} (233.0, 282.7, 327.9 nm) และสเปกตรัม (ภาพที่ 4.13) แต่อย่างไรก็ตามพบฟีดที่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นสารสำคัญตัวใด (unknown) ซึ่งแตกต่างกันไปตามพันธุ์ของส้มโอ จากค่า retention time ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 พบว่า ส้มโอที่มีเนื้อผลสีชมพูอ่อนได้แก่ ส้มโอพันธุ์ทองดีพบฟีด unknown (UN) จำนวน 6 ฟีด ได้แก่ UN1 และ UN3-UN7 เช่นเดียวกับส้มโอพันธุ์ทองดีในการทดลองที่ 4.1 ส่วนส้มโอที่มีเนื้อผลสีขาวเหลืองได้แก่ พันธุ์ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา และขาวน้ำผึ้ง พบฟีด unknown จำนวน 4 ฟีดเหมือนกัน ได้แก่ UN1 UN4 UN6 และ UN7 สำหรับพันธุ์ทับทิมสยามที่มีเนื้อสีชมพูเข้มพบฟีด unknown จำนวน 4 ฟีด ได้แก่ UN1 UN2 UN4 และ UN6 แต่โดยเฉพาะพันธุ์ทับทิมสยามพบฟีด UN2 เพิ่มเติมซึ่งมีค่า retention time (23.13 นาที) λ_{max} (211.8, 236.6, 317.2 nm) และสเปกตรัมดังภาพที่ 4.14





ภาพที่ 4.13 : โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร naringin ของสารมาตรฐาน (A) และของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดี (B)



ภาพที่ 4.14 : โครมาโตแกรมและสเปกตรัมของสาร Unknown (UN2) ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม

จากการวิเคราะห์ส้มโอทั้งห้าพันธุ์ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ชนิด RUT (rutin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin), KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1 ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้พบเพียงสารฟลาโวนอยด์ที่สามารถระบุชนิดได้เพียงชนิดเดียวคือ naringin ในส้มโอไทย ดังนั้นควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมของสารที่ไม่ระบุชนิดได้ (unknown) และโดยเฉพาะของสารในกลุ่ม Flavone เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอไทยกับต่างประเทศได้ (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 : ชนิดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอของประเทศไทย ไต้หวัน จีนและญี่ปุ่น

Flavonoids	Thailand		Taiwan	China	Japan
	Wattanasiritham et al. (2005)	This study	Wang et al. (2007)	Xu et al. (2008)	Nagata et al. (2006)
<i>Flavanone</i>					
Naringin	√	√	√	√	√
Hesperidin	X	X	√	√	√
Neohesperidin	X	X	√	√	√
Naringenin	ND	X	ND	ND	ND
<i>Flavone</i>					
Rhoifolin	ND	ND	ND	ND	√
Diosmin	ND	ND	√	ND	√
Neodiosmin	ND	ND	ND	ND	√
Lutetolin	ND	ND	X	ND	ND
Sinensetin	ND	ND	√	ND	ND
Apigenin	ND	X	ND	ND	ND
<i>Flavonol</i>					
Rutin	ND	X	√	ND	√
Quercetin	ND	X	√	ND	ND
Kaempferol	ND	X	√	ND	ND

√ = detectable

X = not detectable

ND = not determined

4.2.3 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ในส้มโอ 5 พันธุ์

จากผลการวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ในส้มโอทั้ง 5 พันธุ์พบว่า โครมาโตแกรมมีพีคหลักๆ จำนวน 5-8 พีค เมื่อนำค่าพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้พีคในโครมาโตแกรม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.10-4.13 และภาพที่ 4.15-4.19 โดยส้มโอที่ปลูกในจังหวัดต่างๆ มีอิทธิพลต่อ %พื้นที่ของสาร naringin และสาร unknown ของส้มโอไทยทั้งความแก่ 70% และ 80% ซึ่งพบสารออกฤทธิ์สำคัญคือ naringin ที่มีมากที่สุดถึง 40-60% (ค่าเฉลี่ย 54%) ของสารออกฤทธิ์สำคัญที่พบในส้มโอ รองลงมาคือ UN1 (retention time 19.6 นาที) คิดเป็น 12-22% (ค่าเฉลี่ย 18%) และ UN6 (retention time 36.6 นาที) คิดเป็น 8-17% (ค่าเฉลี่ย 12%) ตามลำดับ จากตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบกับปริมาณสาร (%พื้นที่) ของสาร naringin และ unknown ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ความแก่เดียวกันพบว่า ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณ naringin (%พื้นที่) มากที่สุดถึง 64-66% และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดี (46-48%) ส่วนส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา และขาวใหญ่ มีปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาปริมาณสาร UN1 พบมากที่สุดในส่วนส้มโอที่มีเนื้อสีขาว (พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา และขาวใหญ่) คิดเป็น 20% รองลงมาได้แก่พันธุ์ทองดีและพันธุ์ทับทิมสยาม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 : ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามรายจังหวัด ที่ระดับความแก่ 70%

พันธุ์ 70%	จังหวัด	Peak area (%) / Retention time (min)							
		UN 1/ 19.6 min	UN 2/ 23.1 min	UN 3/ 23.3 min	UN 4/ 25.3 min	Naringin/ 32.8 min	UN 5/ 33.5 min	UN 6/ 36.6 min	UN 7/ 53.1 min
ทองดี	เขียงราย	21.32±3.16	nd	3.70±0.91	7.02±1.82	39.64±7.96	7.31±2.11	17.11±0.56	3.88±0.99
	นครปฐม	19.46±5.02	nd	4.97±0.61	9.14±1.45	44.43±6.22	8.72±1.16	13.27±0.44	nd*
	นครนายก	19.95±2.06	nd	5.07±0.71	9.40±0.59	43.13±1.30	7.66±1.72	14.80±3.65	nd*
	ปราจีนบุรี	20.02±0.28	nd	3.21±0.06	10.74±1.53	42.77±2.51	6.07±1.96	17.20±2.73	nd*
	นครศรีธรรมราช	10.99±0.39	nd	3.89±0.35	6.97±0.40	59.50±2.08	7.99±0.69	10.66±0.83	nd*
ขาว น้ำผึ้ง	นครปฐม	20.16±2.18	nd	nd	5.68±1.12	62.69±2.31	nd	8.28±1.75	5.31±1.13
	ราชบุรี	20.20±3.14	nd	nd	7.24±0.83	55.96±4.84	nd	12.39±1.90	4.22±2.76
	สมุทรสงคราม	18.67±2.43	nd	nd	6.37±0.93	61.96±1.38	nd	8.49±0.93	4.52±2.34
ขาว แตงกวา	พิจิตร	18.74±3.49	nd	nd	4.73±0.64	61.52±4.53	nd	12.29±1.69	4.10±0.52
	ชัยนาท	19.65±1.94	nd	nd	5.45±0.85	57.50±3.76	nd	13.83±2.08	4.76±1.28
ขาวใหญ่	เขียงราย	21.74±2.80	nd	nd	7.21±0.49	48.60±4.31	nd	14.54±0.66	7.91±2.12
	สมุทรสงคราม	19.75±2.17	nd	nd	6.98±0.68	62.13±3.00	nd	10.53±1.42	2.48±0.99
ทับทิม สยาม	นครศรีธรรมราช	12.57±1.80	5.70±1.33	nd	5.33±0.65	64.04±4.16	nd	12.16±1.70	nd

nd = not detectable, S/N<3 , nd* = not detectable, S/N<10

Mean ± Standard deviation

ตารางที่ 4.11 : ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามรายจังหวัด
ที่ระดับความแก่ 80%

พันธุ์ 80%	จังหวัด	Peak area (%) / Retention time (min)							
		UN 1/	UN 2/	UN 3/	UN 4/	Naringin/	UN 5/	UN 6/	UN 7/
		19.6 min	23.1 min	23.3 min	25.3 min	32.8 min	33.5 min	36.6 min	53.1 min
ทองดี	เขียงราย	19.07±2.73	nd	5.27±1.16	8.47±1.49	39.25±4.79	9.16±2.29	13.76±2.52	5.02±1.63
	นครปฐม	16.01±1.21	nd	4.49±0.21	10.01±1.20	50.68±2.55	5.27±1.15	13.54±0.86	nd*
	นครนายก	17.97±3.61	nd	4.41±1.09	8.06±1.48	43.63±1.21	6.50±0.60	19.44±1.37	nd*
	ปราจีนบุรี	16.23±2.84	nd	4.69±1.27	9.64±0.86	45.22±6.23	6.50±0.52	15.38±1.33	3.14±0.61
	นครศรีธรรมราช	10.91±0.62	nd	3.92±0.57	6.11±0.27	60.66±1.79	8.04±0.75	10.37±0.30	nd*
ขาว น้ำผึ้ง	นครปฐม	21.76±0.79	nd	nd	7.99±0.91	60.44±3.24	nd	9.90±1.90	nd*
	ราชบุรี	24.03±4.71	nd	nd	9.55±1.36	51.62±5.19	nd	14.80±1.85	nd*
	สมุทรสงคราม	19.28±5.90	nd	nd	8.69±2.03	60.12±5.89	nd	11.91±1.22	nd*
ขาว	พิจิตร	19.60±3.33	nd	nd	5.46±1.17	57.63±5.31	nd	15.93±3.16	3.11±0.47
แดงกว่า	ชัยนาท	21.78±4.32	nd	nd	5.40±0.96	57.97±6.15	nd	14.85±2.03	nd*
ขาวใหญ่	เขียงราย	22.20±2.89	nd	nd	7.44±0.67	50.82±2.70	nd	14.70±0.61	6.44±1.65
	สมุทรสงคราม	18.71±3.34	nd	nd	9.34±0.80	58.80±4.91	nd	13.15±1.10	nd*
ทับทิม สยาม	นครศรีธรรมราช	12.19±1.60	5.50±1.05	nd	5.46±0.62	66.44±2.94	nd	10.42±1.28	nd

nd = not detectable, S/N<3 , nd* = not detectable, S/N<10

Mean ± Standard deviation

ตารางที่ 4.12 : ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามรายจังหวัด
ที่ระดับความแก่ 70-80%

พันธุ์ 70-80%	จังหวัด	Peak area (%) / Retention time (min)							
		UN 1/	UN 2/	UN 3/	UN 4/	Naringin/	UN 5/	UN 6/	UN 7/
		19.6 min	23.1 min	23.3 min	25.3 min	32.8 min	33.5 min	36.6 min	53.1 min
ทองดี	เขียงราย	20.05±2.92	nd	4.60±1.26	7.85±1.68	39.42±5.71	8.37±2.26	15.19±2.55	4.53±1.42
	นครปฐม	17.74±3.85	nd	4.73±0.49	9.57±1.31	47.56±5.52	7.00±2.13	13.40±0.65	nd*
	นครนายก	18.86±2.84	nd	4.74±0.90	8.73±1.25	43.38±1.16	7.08±1.32	17.12±3.54	nd*
	ปราจีนบุรี	17.39±2.86	nd	4.18±1.26	9.95±1.14	44.18±5.14	6.32±0.94	15.91±1.90	3.10±0.50
	นครศรีธรรมราช	10.95±0.48	nd	3.90±0.44	6.54±0.56	60.08±1.90	8.02±0.67	10.51±0.60	nd*
ขาว น้ำผึ้ง	นครปฐม	20.83±1.80	nd	nd	6.71±1.55	61.69±2.83	nd	9.00±1.90	5.31±1.13
	ราชบุรี	22.12±4.28	nd	nd	8.39±1.62	53.79±5.26	nd	13.60±2.18	4.22±2.76
	สมุทรสงคราม	18.97±4.32	nd	nd	7.53±1.93	61.04±4.19	nd	10.20±2.06	4.25±2.34
ขาว	พิจิตร	19.17±3.34	nd	nd	5.09±0.99	59.57±5.19	nd	14.11±3.09	3.70±0.70
แดงกว่า	ชัยนาท	20.78±3.49	nd	nd	5.42±0.88	57.75±5.01	nd	14.37±2.06	4.46±1.28
ขาวใหญ่	เขียงราย	21.97±2.64	nd	nd	7.32±0.56	49.71±3.53	nd	14.62±0.60	7.28±1.94
	สมุทรสงคราม	19.21±2.83	nd	nd	8.21±1.40	60.40±4.38	nd	11.89±1.82	2.48±0.99
ทับทิม สยาม	นครศรีธรรมราช	12.38±1.69	5.60±1.18	nd	5.50±0.63	65.24±3.75	nd	11.29±1.73	nd

nd = not detectable, S/N<3 , nd* = not detectable, S/N<10

Mean ± Standard deviation

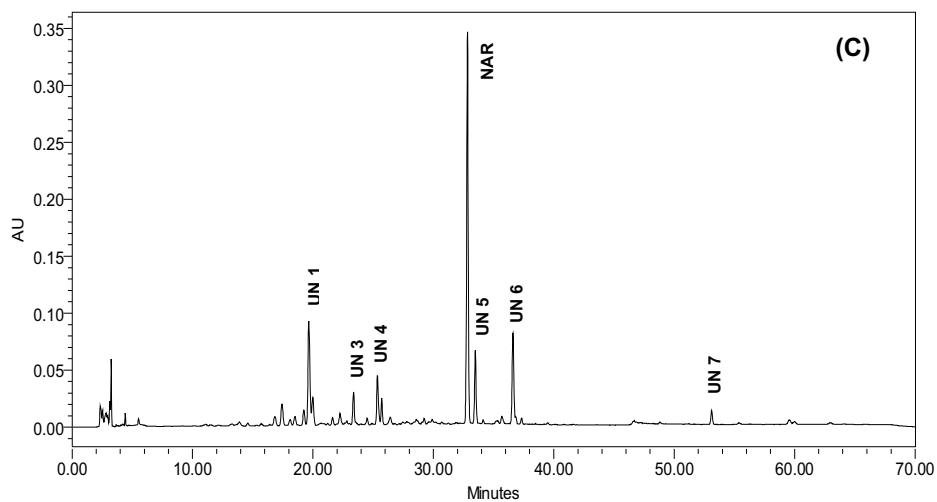
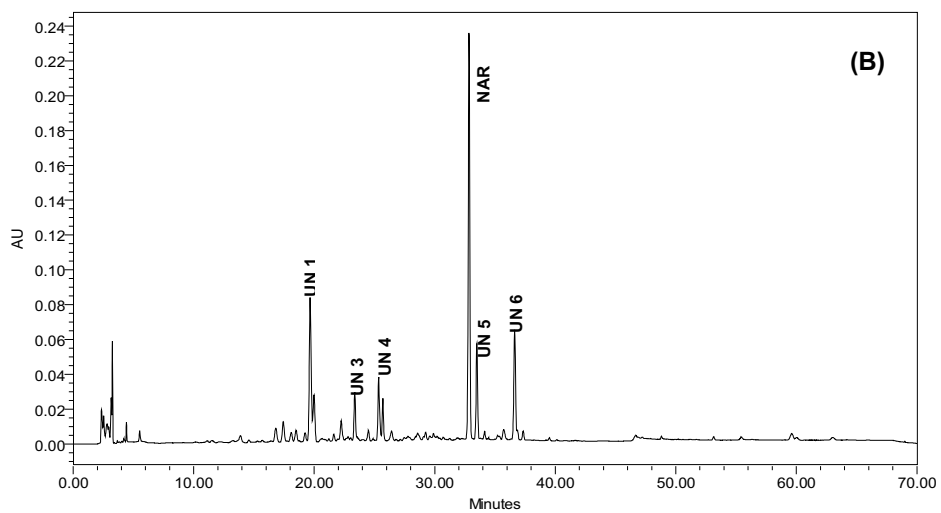
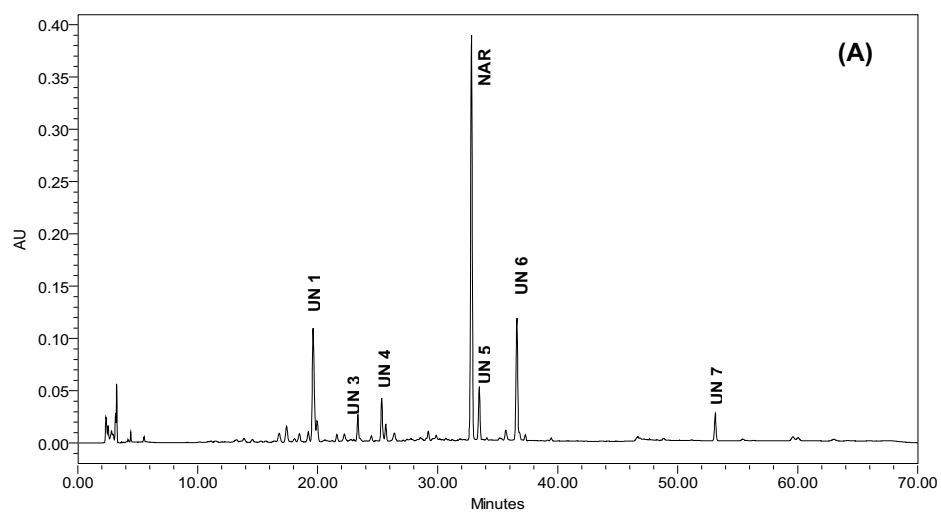
ตารางที่ 4.13 : ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (%พื้นที่) ของส้มโอ 5 พันธุ์แบ่งตามระดับความแก่ 70%, 80% และ 70-80%

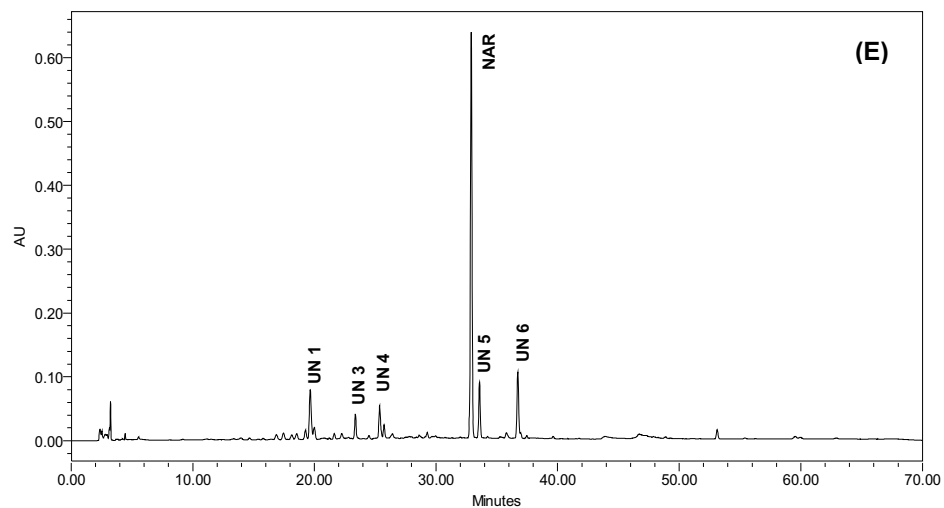
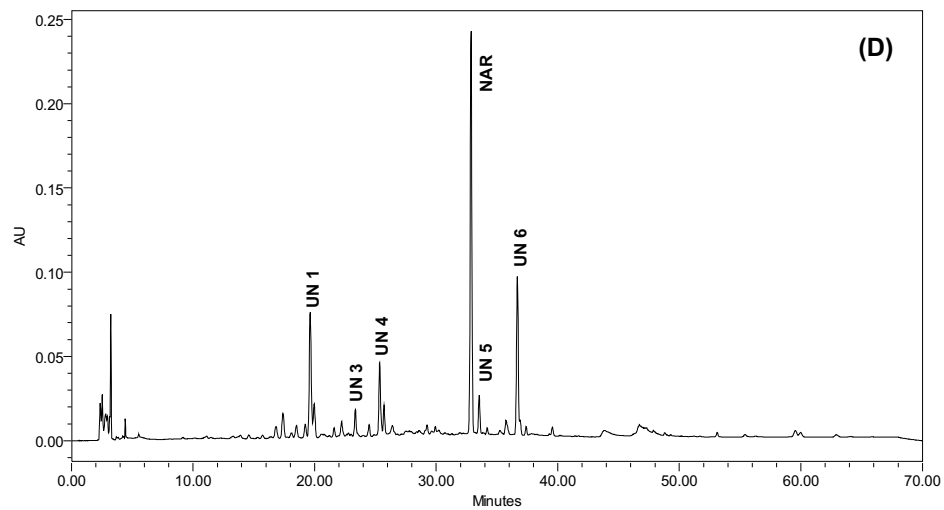
ความแก่	พันธุ์	Peak area (%) / Retention time (min)									
		UN 1/ 19.6 min	UN 2/ 23.1 min	UN 3/ 23.3 min	UN 4/ 25.3 min	Naringin/ 32.8 min	UN 5/ 33.5 min	UN 6/ 36.6 min	UN 7/ 53.1 min		
ส่งออก (70%)	ทองดี	17.85±1.22 ^b	nd	4.25±0.22	8.44±0.43 ^a	46.84±2.19 ^c	7.74±0.37	14.11±0.75 ^a	3.87±0.56 ^a		
	ขาน้ำผึ้ง	19.61±0.63 ^{ab}	nd	nd	6.42±0.27 ^b	60.31±1.04 ^{ab}	nd	9.64±0.59 ^c	4.58±0.58 ^a		
	ขาวแดงขาว	19.16±0.68 ^{ab}	nd	nd	5.07±0.19 ^c	59.62±1.10 ^b	nd	13.01±0.48 ^{ab}	4.42±0.28 ^a		
	ขาวใหญ่	20.41±0.61 ^a	nd	nd	7.05±0.61 ^b	58.39±1.79 ^b	nd	14.06±0.75 ^b	3.55±0.37 ^a		
	ทับทิมสยาม	12.56±0.43 ^c	5.69±0.32	nd	5.53±0.15 ^c	64.03±1.00 ^a	nd	12.16±0.41 ^b	nd		
ในประเทศ (80%)	ทองดี	15.96±0.82 ^b	nd	4.53±0.21	8.47±0.40 ^a	48.11±1.93 ^c	7.10±0.41	14.23±0.72 ^{ab}	4.21±0.59 ^b		
	ขาน้ำผึ้ง	21.50±1.24 ^a	nd	nd	8.79±0.41 ^a	57.37±1.63 ^b	nd	12.33±0.64 ^c	nd*		
	ขาวแดงขาว	20.66±0.92 ^a	nd	nd	5.43±0.24 ^b	57.79±1.31 ^b	nd	15.39±0.62 ^a	3.11±0.23 ^b		
	ขาวใหญ่	19.53±0.84 ^a	nd	nd	8.89±0.27 ^a	56.92±1.36 ^b	nd	13.51±0.29 ^{bc}	6.44±0.95 ^a		
	ทับทิมสยาม	12.18±0.38 ^c	5.50±0.25	nd	5.45±0.15 ^b	66.43±0.71 ^a	nd	10.41±0.31 ^d	nd		
รวม (70-80%)	ทองดี	16.81±0.72 ^b	nd	4.42±0.15	8.46±0.29 ^a	47.53±1.43 ^c	7.40±0.28	14.18±0.51 ^a	4.11±0.43 ^b		
	ขาน้ำผึ้ง	20.52±0.69 ^a	nd	nd	7.57±0.32 ^b	58.88±0.97 ^b	nd	10.94±0.49 ^c	4.58±0.58 ^b		
	ขาวแดงขาว	19.94±0.58 ^a	nd	nd	5.25±0.15 ^c	58.68±0.86 ^b	nd	14.23±0.44 ^a	4.26±0.26 ^b		
	ขาวใหญ่	19.94±0.53 ^a	nd	nd	8.03±0.23 ^{ab}	57.61±1.09 ^b	nd	12.65±0.34 ^b	6.24±0.89 ^a		
	ทับทิมสยาม	12.37±0.29 ^c	5.59±0.20	nd	5.49±0.10 ^c	65.23±0.64 ^a	nd	11.29±0.29 ^c	nd		

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

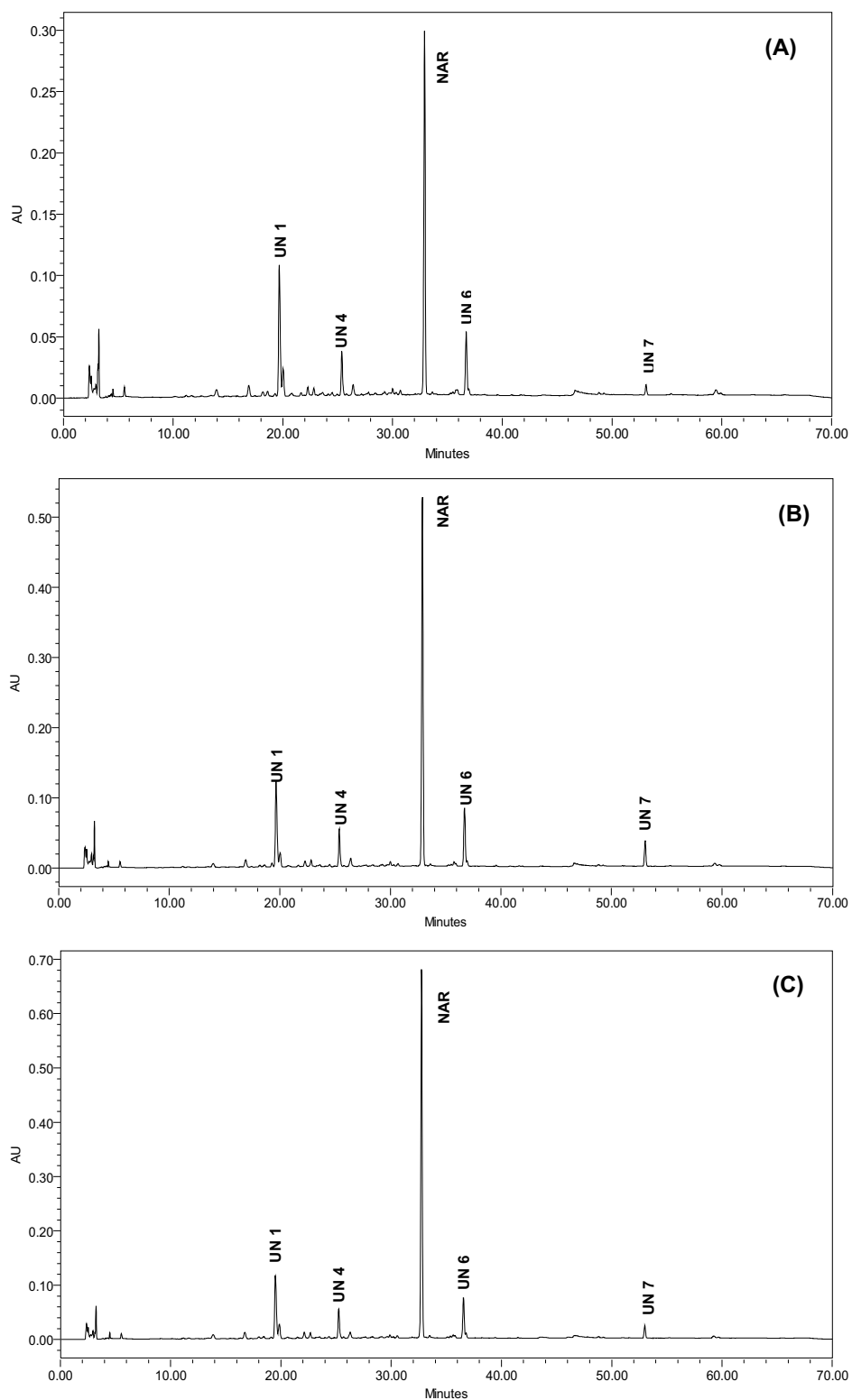
nd = not detectable, S/N<3 , nd* = not detectable, S/N<10

Mean ± Standard Error

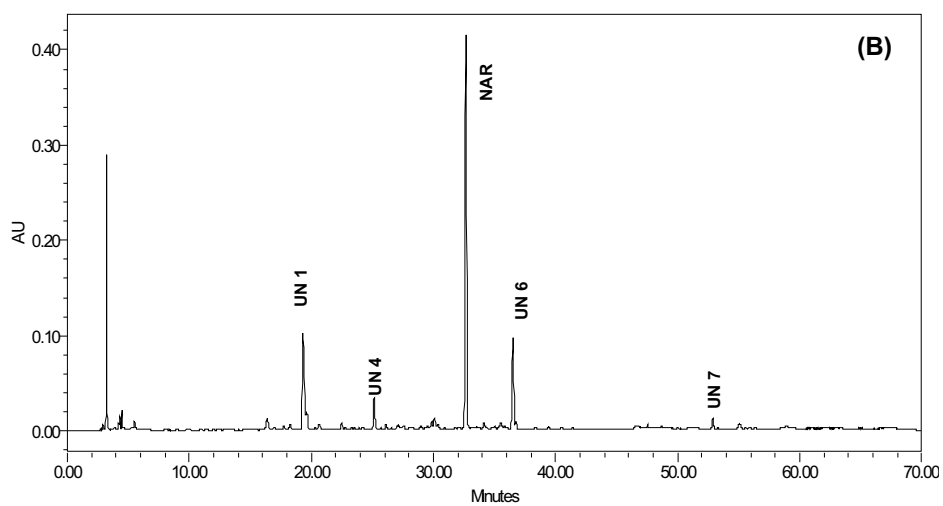
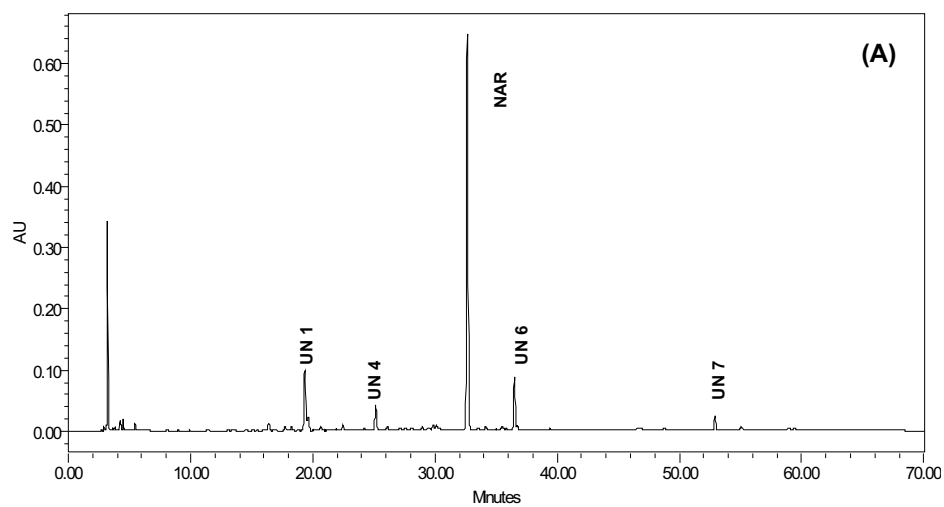




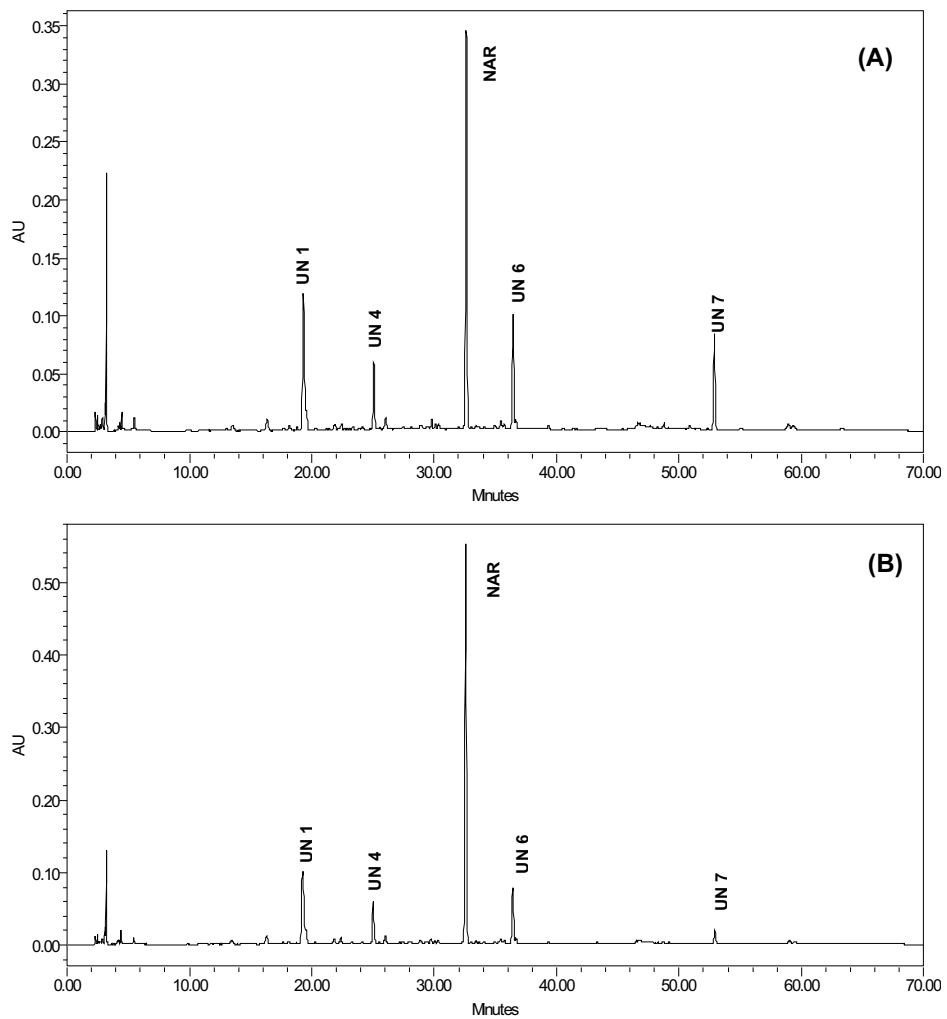
ภาพที่ 4.15 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีจากจังหวัดเชียงราย (A) นครปฐม (B) นครนายก (C) ปราจีนบุรี (D) และนครศรีธรรมราช (E) ที่ระดับความแก่ 70%



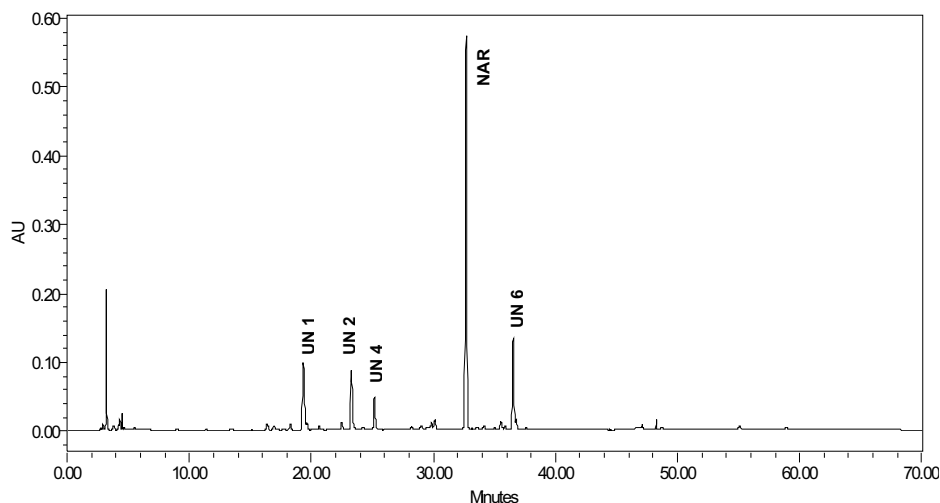
ภาพที่ 4.16 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจากจังหวัดนครปฐม (A) ราชบุรี (B) และสมุทรสงคราม (C) ที่ระดับความแก่ 70%



ภาพที่ 4.17 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจากจังหวัดพิจิตร (A) และ
 ชัยนาท (B) ที่ระดับความแก่ 70%



ภาพที่ 4.18 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่จากจังหวัดเชียงราย (A) และ สมุทรสงคราม (B) ที่ระดับความแก่ 70%



ภาพที่ 4.19 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม จ.นครศรีธรรมราช ที่ระดับความแก่ 70%

4.2.4 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์

จากตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวแดงขาว ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม พบว่าปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ถึง 2 เท่า มีค่าปริมาณสาร naringin เท่ากับ 69.70 mg/100 FW (ความแก่ 70%) 84.55 mg/100g FW (ความแก่ 80%) และ 76.81 mg/100 FW (ความแก่ 70-80%) ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอ 4 พันธุ์พบว่า ปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ระหว่าง 36-41 mg/100g FW สำหรับการศึกษาก่อนหน้านี้ของลัดดาและคณะ (2548) ได้ทำการเก็บตัวอย่างของส้มโอพันธุ์ต่างๆ จาก อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยไม่ได้กำหนดความแก่ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแดงขาว และขาวใหญ่ พบปริมาณสาร naringin มีค่าอยู่ในช่วง 26-44 mg/100g FW ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.10, 44.37, 24.08 และ 37.49 mg/100g FW ตามลำดับ

ตารางที่ 14.15 แสดงปริมาณสาร naringin ส้มโอ/เกรฟฟรุตต่างประเทศพบว่า ส้มโอไทยมีปริมาณสาร naringin มากกว่าทั้งส้มโอประเทศจีน (10-12 mg/100ml) (Xu et al., 2007) และได้หวัน (~18-33 mg/100g FW) (Wang et al., 2007) แต่น้อยกว่าประเทศญี่ปุ่น (78.8-184 mg/100g FW) (Nagoya et al., 2006) อีกทั้งส้มโอไทยมีปริมาณสารมากกว่าผลเกรฟฟรุตของประเทศสหรัฐอเมริกา (13-17mg/100g FW) แต่น้อยกว่าประเทศจีน (62-175 mg/100g FW) (Xu et al., 2009)

ตารางที่ 4.14 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์

ความแก่	พันธุ์	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	ทองดี	15.85±0.91 ^b	34.22±4.27 ^c
	ขาวน้ำผึ้ง	13.53±0.39 ^c	48.39±2.69 ^b
	ขาวแดงกวา	11.34±0.27 ^d	46.80±3.40 ^b
	ขาวใหญ่	13.50±0.55 ^c	42.90±2.54 ^{bc}
	ทับทิมสยาม	32.80±0.69 ^a	69.07±4.40 ^a
ในประเทศ (80%)	ทองดี	20.09±1.02 ^b	38.25±4.49 ^b
	ขาวน้ำผึ้ง	16.75±0.25 ^c	34.64±3.50 ^b
	ขาวแดงกวา	14.20±0.42 ^d	35.65±1.76 ^b
	ขาวใหญ่	17.14±0.85 ^c	35.18±2.00 ^b
	ทับทิมสยาม	35.67±1.14 ^a	84.55±3.95 ^a
รวม (70-80%)	ทองดี	18.09±0.77 ^b	36.40±3.10 ^b
	ขาวน้ำผึ้ง	15.14±0.37 ^c	41.52±2.50 ^b
	ขาวแดงกวา	12.81±0.35 ^d	41.07±2.09 ^b
	ขาวใหญ่	15.26±0.59 ^c	39.16±1.74 ^b
	ทับทิมสยาม	34.23±0.70 ^a	76.81±3.21 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละความแก่ หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

จากลักษณะสีเนื้อผลที่ต่างกัน Peterson et al. (2006) รายงานว่าเกรฟฟรุทสายพันธุ์สีชมพูและแดงมีปริมาณสาร naringin (13.87 mg aglycone/100g FW) น้อยกว่าเกรฟฟรุทสีขาวเพียงเล็กน้อย (16.90 mg aglycone/100g FW) ซึ่งตรงกันข้ามกับผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าส้มโอเนื้อสีชมพูเข้ม (พันธุ์ทับทิมสยาม) มีปริมาณสาร naringin มากที่สุด นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่า ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามมีค่าอัตราส่วน TSS:TA มากที่สุด (34:1) และมากกว่าส้มโออีก 4 พันธุ์ถึง 2 เท่า แสดงว่าพันธุ์ทับทิมสยามมีรสชาติดีหวานกว่าพันธุ์อื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามสารให้รสชาติขมในผลเกรฟฟรุทซึ่งเป็นผลไม้กลุ่มเดียวกับส้มโอนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสาร naringin เพียงอย่างเดียว ยังรวมถึงสารในกลุ่ม limonin ซึ่งมีรสชาติขมมากกว่า naringin ด้วย (Hasegawa et al., 1986)

ตารางที่ 4.15 : ปริมาณสาร naringin ในส้มโอและเกรฟฟรุทของประเทศไทยและต่างประเทศ

Pummelo	Naringin content	Reference
Thailand	34-85 mg/100g FW	This study
	26-44 mg/100g FW	Wattanasiritham et al. (2005)
Taiwan	~18-33 mg/100g FW ^a	Wang et al. (2007)
China	10-12 mg/100 ml	Xu et al. (2008)
Japan	78.5-184 mg/100g FW	Nagata et al. (2006)
Grapefruit		
USA	13-17 mg/100g FW	Peterson et al. (2006)
China	62-175 mg/100g FW	Xu et al. (2009)

^a % moisture=85%

จากตารางที่ 4.16 แสดงอิทธิพลของพันธุ์และความแก่ของส้มโอต่อปริมาณ TSS:TA และสาร naringin พบว่าทั้งพันธุ์และความแก่ของส้มโอมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสาร naringin ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณ TSS:TA ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรีทเมนต์พบว่า พันธุ์ทับทิมสยามที่ความแก่ 80% มีสาร naringin มากที่สุด และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดีที่ความแก่ 70% รวมทั้งพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ที่ระดับความแก่ 80% ดังนั้นปริมาณสาร naringin จึงขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์และความแก่ของส้มโอเช่นเดียวกับผลการทดลองที่ 4.1 (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.16 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์และความแก่ 2 ระดับ

ความแก่	พันธุ์	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	ทองดี	15.85±0.90 ^{de}	34.21±4.27 ^d
	ขาวน้ำผึ้ง	15.53±0.40 ^f	48.39±2.69 ^c
	ขาวแตงกวา	11.34±0.27 ^f	46.80±3.40 ^c
	ขาวใหญ่	13.50±0.55 ^g	42.90±2.54 ^{cd}
	ทับทิมสยาม	32.80±0.69 ^b	69.07±4.40 ^b
ในประเทศ (80%)	ทองดี	20.09±1.02 ^c	38.25±4.49 ^{cd}
	ขาวน้ำผึ้ง	16.75±0.25 ^d	34.61±3.50 ^d
	ขาวแตงกวา	14.20±0.42 ^{ef}	35.65±7.48 ^d
	ขาวใหญ่	17.14±0.85 ^d	35.18±2.00 ^d
	ทับทิมสยาม	35.67±1.13 ^a	84.55±3.95 ^a
ความแก่		*	ns
พันธุ์		*	*
ความแก่ x พันธุ์		ns	*

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละพันธุ์และความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

4.2.5 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่ 2 ระดับ

ปริมาณสาร naringin ของส้มโอทั้งสองเกรดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ส้มโอเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) มีปริมาณ TSS:TA น้อยกว่าเกรดที่บริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) (ตารางที่ 4.17)

ตารางที่ 4.17 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอความแก่ 2 ระดับ

ความแก่	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	17.45±0.90 ^b	48.44±2.00 ^a
ในประเทศ (80%)	20.76±0.90 ^a	45.62±2.57 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

จากตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าส้มโอที่มีเนื้อสีขาวเหลืองได้แก่ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ที่ระดับความแก่ 70% มีปริมาณสาร naringin มากกว่าที่ระดับความแก่ 80% ($p \leq 0.05$) ปริมาณ 10 mg/100g FW แต่อย่างไรก็ตามส้มโอพันธุ์ทองดีที่ความแก่ 2 ระดับไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับส้มโอพันธุ์ทองดีในการทดลองที่ 4.1 ที่พบปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกันที่อายุผล 7 เดือน (ความแก่ 70%) และ 8 เดือน (ความแก่ 70%) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.18 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin แยกพันธุ์ที่ระดับความแก่ 2 ระดับ (70% และ 80%)

สมบัติทางเคมี	พันธุ์								
	ทองดี			ขาวน้ำผึ้ง			ขาวแตงกวา		
	70%	80%		70%	80%		70%	80%	หับทิมสยาม
TSS:TA ratio	15.85±0.90 ^b	20.09±1.02 ^a	13.53±0.39 ^b	16.75±0.25 ^a	11.34±0.27 ^b	14.20±0.42 ^a	13.50±0.55 ^b	17.13±0.85 ^a	32.79±0.39 ^b
Naringin	34.21±4.27 ^a	38.25±4.49 ^a	48.39±2.69 ^a	34.64±3.50 ^b	46.80±3.40 ^a	35.65±1.76 ^b	42.90±2.54 ^a	35.18±2.00 ^b	69.07±4.40 ^b
(mg/100g FW)									84.55±3.94 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละความแก่แยกพันธุ์หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

4.2.6 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอเนื้อผลสีขาวเหลือง

ส้มโอสีขาวเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา และขาวใหญ่ พบปริมาณสาร naringin ของส้มโอทั้ง 3 พันธุ์ไม่แตกต่างกัน มีค่าประมาณ 35-45 mg/100g FW แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณ TSS:TA น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและขาวใหญ่ (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอกลุ่มสีขาวเหลือง 3 พันธุ์

ความแก่	พันธุ์	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	ขาวน้ำผึ้ง	13.53±0.39 ^a	48.39±2.69 ^a
	ขาวแตงกวา	11.34±0.27 ^b	46.80±1.18 ^a
	ขาวใหญ่	13.50±0.55 ^a	42.90±2.54 ^a
ในประเทศ (80%)	ขาวน้ำผึ้ง	16.75±0.25 ^a	34.64±3.50 ^a
	ขาวแตงกวา	14.20±0.42 ^b	35.65±1.76 ^a
	ขาวใหญ่	17.14±0.85 ^a	35.18±2.00 ^a
รวม (70-80%)	ขาวน้ำผึ้ง	15.14±0.36 ^a	41.52±2.50 ^a
	ขาวแตงกวา	12.81±0.35 ^b	41.07±2.09 ^a
	ขาวใหญ่	15.26±0.58 ^a	39.16±1.74 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Mean ± Standard Error

4.2.7 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ทองดีจาก 5 จังหวัด

พื้นที่การปลูกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญ จากตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีที่มาจากแหล่งปลูกต่างๆ ที่สำคัญของประเทศไทยเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละภูมิภาค ได้แก่ จังหวัดเชียงราย (ภาคเหนือ) นครปฐมและนครนายก (ภาคกลาง) ปราจีนบุรี (ภาคตะวันออก) และนครศรีธรรมราช (ภาคใต้) พบว่ามีผลต่อปริมาณสาร naringin โดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ทองดีจากจังหวัดนครศรีธรรมราชพบปริมาณสาร naringin มากที่สุด (66.65 mg/100g FW) ซึ่งมากกว่าจังหวัดอื่นๆ ถึง 3 เท่า ส่วนจังหวัดอื่นๆ มีปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกัน (~ 25 mg/100g FW) และเป็นที่น่าสังเกตว่าส้มโอที่ปลูกในจังหวัดนครศรีธรรมราชทั้งพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามมีปริมาณสาร naringin มากกว่าจังหวัดอื่นๆ (~77 mg/100g FW) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการปฏิบัติและดูแลรักษาก่อนการเก็บเกี่ยว และสภาพสิ่งแวดล้อมของการปลูกส้มโอในพื้นที่ อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลต่อปริมาณสาร naringin นอกจากนี้ปริมาณ TSS:TA ส้มโอพันธุ์ทองดีจากจังหวัดนครปฐมพบว่า มีปริมาณ TSS:TA มากที่สุด

(22:1) และน้อยที่สุดในส้มโอจากจังหวัดเชียงราย (13:1) แสดงว่าส้มโอจากจังหวัดนครปฐมมีรสชาติหวานมากกว่าส้มโอจากจังหวัดเชียงราย (ตารางที่ 4.14 และ 4.20)

ตารางที่ 4.20 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ทองดีจาก 5 จังหวัด

ความแก่	จังหวัด	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	เชียงราย	12.24±0.63 ^b	26.10±5.40 ^b
	นครปฐม	18.99±2.45 ^a	23.73±1.88 ^b
	นครนายก	14.53±2.17 ^{ab}	26.45±1.85 ^b
	ปราจีนบุรี	15.22±0.34 ^{ab}	24.66±4.76 ^b
	นครศรีธรรมราช	17.63±0.78 ^{ab}	61.40±3.41 ^a
ในประเทศ (80%)	เชียงราย	13.62±0.93 ^d	32.36±5.76 ^b
	นครปฐม	26.12±0.69 ^a	32.20±2.68 ^b
	นครนายก	18.46±0.65 ^c	26.45±0.88 ^b
	ปราจีนบุรี	21.29±0.58 ^b	25.37±3.72 ^b
	นครศรีธรรมราช	20.56±0.51 ^{bc}	71.91±5.45 ^a
รวม (70-80%)	เชียงราย	12.93±0.58 ^c	29.67±3.91 ^b
	นครปฐม	22.56±1.79 ^a	27.97±2.20 ^b
	นครนายก	16.49±1.34 ^{bc}	26.45±0.92 ^b
	ปราจีนบุรี	19.27±1.34 ^{ab}	25.13±2.66 ^b
	นครศรีธรรมราช	19.09±0.70 ^{ab}	66.65±3.57 ^a

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวในแนวนอนหมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

4.2.8 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจาก 3 จังหวัด

จากตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจากจังหวัดราชบุรี นครปฐม และสมุทรสงคราม แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ระดับความแก่รวมเท่านั้น (70-80%) จากจังหวัดราชบุรี มีปริมาณสาร naringin น้อยที่สุด (32.23 mg/100g FW) ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ TSS:TA ของส้มโอจาก 3 จังหวัดนี้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.21)

ตารางที่ 4.21 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ขาวผึ้งจาก 3 จังหวัด

ความแก่	จังหวัด	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	ราชบุรี	14.73± 0.29 ^a	40.26± 4.97 ^a
	นครปฐม	11.92 ±0.61 ^b	51.30 ±5.17 ^a
	สมุทรสงคราม	13.87 ±0.49 ^a	52.74± 2.72 ^a
ในประเทศ (80%)	ราชบุรี	16.34±0.19 ^a	24.21±2.55 ^a
	นครปฐม	16.59±0.51 ^a	41.19±3.83 ^a
	สมุทรสงคราม	17.22±0.47 ^a	37.88±7.51 ^a
รวม (70-80%)	ราชบุรี	15.54±0.31 ^a	32.23±3.75 ^b
	นครปฐม	14.26±0.86 ^a	46.25±3.47 ^a
	สมุทรสงคราม	15.54±0.60 ^a	45.31±4.42 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard Error

4.2.9 ปริมาณสาร naringin และอัตราส่วน TSS:TA ของส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจาก 2 จังหวัด

ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่ปลูกในจังหวัดชัยนาทมีอัตราส่วน TSS:TA มากกว่าจังหวัดพิจิตร แต่พบว่าปริมาณสาร naringin ในส้มโอทั้งสองแหล่งปลูกมีปริมาณไม่แตกต่างกันที่อายุผลต่างๆ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.22 : ปริมาณ TSS:TA และสาร naringin ของส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจาก 2 จังหวัด

ความแก่	จังหวัด	TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ส่งออก (70%)	พิจิตร	10.97±0.40 ^a	48.99±5.43 ^a
	ชัยนาท	11.75±0.30 ^a	44.34±4.07 ^a
ในประเทศ (80%)	พิจิตร	12.68±0.30 ^b	36.59±2.34 ^a
	ชัยนาท	15.71±0.31 ^a	34.72±2.74 ^a
รวม (70-80%)	พิจิตร	11.82±0.32 ^b	42.79±3.24 ^a
	ชัยนาท	13.85±0.54 ^a	39.25±2.61 ^a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งในแต่ละความแก่หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Mean ± Standard

4.2.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน TSS:TA กับสาร naringin ของส้มโอ 5

พันธุ์

จากตารางที่ 4.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของปริมาณสาร naringin กับอัตราส่วน TSS:TA ในส้มโอทั้ง 5 พันธุ์ที่ความแก่ 70-80% พบว่าส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งมีค่า r มากที่สุดแบบทิศทางตรงกันข้าม ($r=-0.6239$) แสดงว่าปริมาณสาร naringin ในตัวอย่างส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งลดลงเมื่อความแก่เพิ่มมากขึ้น รองลงมาได้แก่พันธุ์ขาวแตงกวา แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่า r ของส้มโอตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวใหญ่ และทับทิมสยามมีค่า r น้อยมาก แสดงว่าความแก่ของตัวอย่างส้มโอทั้ง 3 พันธุ์จากการทดลองนี้ไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร naringin

ตารางที่ 4.23 : ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราส่วน TSS:TA กับสาร naringin ของส้มโอ 5 พันธุ์ที่ระดับความแก่ 70-80%

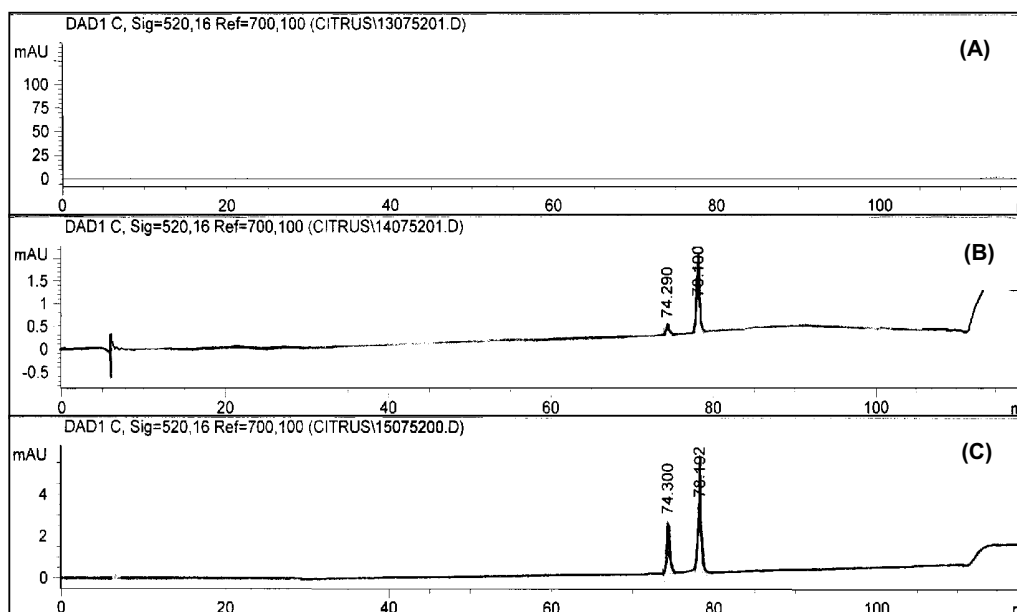
Bioactive compound	Correlation coefficient (r) (TSS:TA)					
	รวมพันธุ์	ทองดี	ขาวน้ำผึ้ง	ขาวแตงกวา	ขาวใหญ่	ทับทิมสยาม
Naringin	0.5965*	0.1554	-0.6239**	-0.5821*	0.0575	-0.0069

** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.01$)

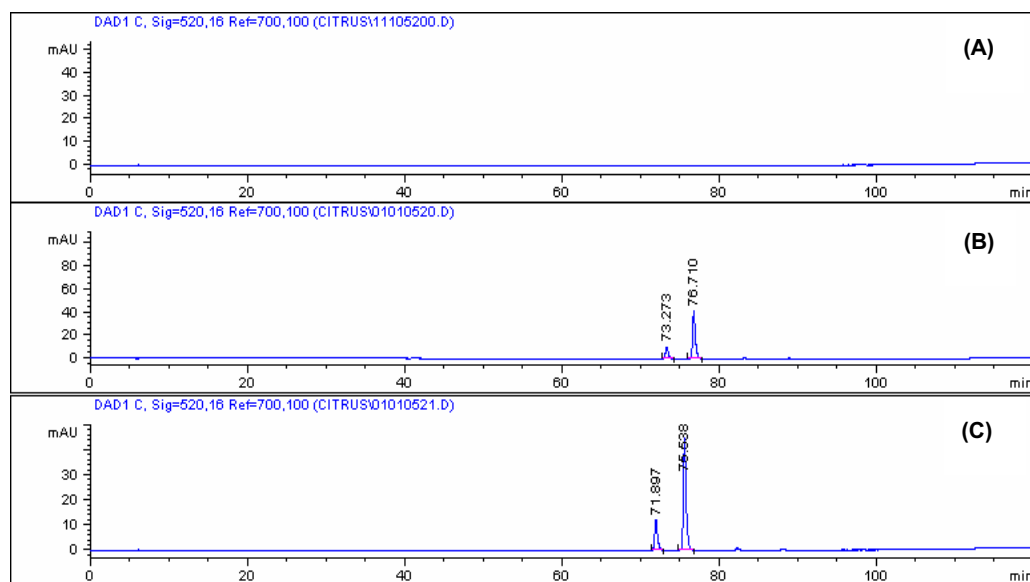
* หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

4.2.11 การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินในส้มโอ

จากการพิจารณาสีของเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ได้ทำการเลือกเนื้อของผลส้มโอพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามเป็นตัวแทน ซึ่งมีสีชมพูอ่อน และสีแดงมาเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์สารแอนโทไซยานิน สำหรับการวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินได้เลือกใช้วิธีการของ Kelebek et al. (2008) โดยใช้ความยาวคลื่นที่ 520 นาโนเมตรในการแยกและระบุชนิดของแอนโทไซยานิน ผลการทดลองเบื้องต้นจากการวิเคราะห์น้ำที่ได้จากสกัดตัวอย่าง (ที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ) โดยวิธีการ HPLC จากผลส้มโอพันธุ์ทองดี แล้วไม่พบสารแอนโทไซยานิน (ภาพที่ 4.20A) ในเบื้องต้นนี้สันนิษฐานว่า เนื้อผลส้มโอพันธุ์ทองดีมีสารแอนโทไซยานินน้อยมาก จึงได้เตรียมตัวอย่างตามวิธีการที่ 2 ซึ่งเพิ่มระเหยตัวทำละลายออกที่ 35°C เป็นเวลา 5 นาที อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตได้ว่าเมื่อเตรียมตัวอย่างตามวิธีที่ 1 และ 2 สารสกัดที่ได้ไม่มีสี แต่สารมาตรฐาน delphinidin 3-glucoside และ cyanidin 3-glucoside มีชมพู ผลการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC ไม่พบแอนโทไซยานินในตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีและนำเนื้อผลส้มโออีก 3 พันธุ์ในกลุ่มที่เนื้อสีเหลือง (พันธุ์ขาวใหญ่และขาวน้ำผึ้ง) เปรียบเทียบกับพันธุ์ทับทิมสยามยังคงไม่พบแอนโทไซยานินในตัวอย่างส้มโอ ตัวอย่างโครมาโทแกรมแสดงดังภาพที่ 4.20 และ 4.21



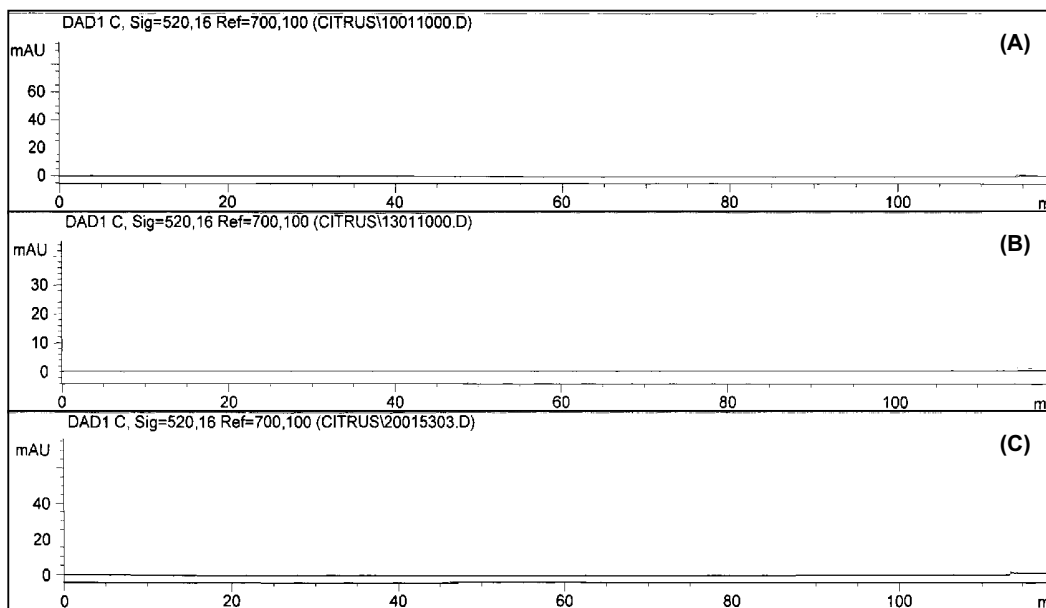
ภาพที่ 4.20 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีตามวิธีที่ 1 ไม่เติมสารมาตรฐาน (A) เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมตัวอย่างส้มโอ (B) และ เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมปรับปริมาตร (C)



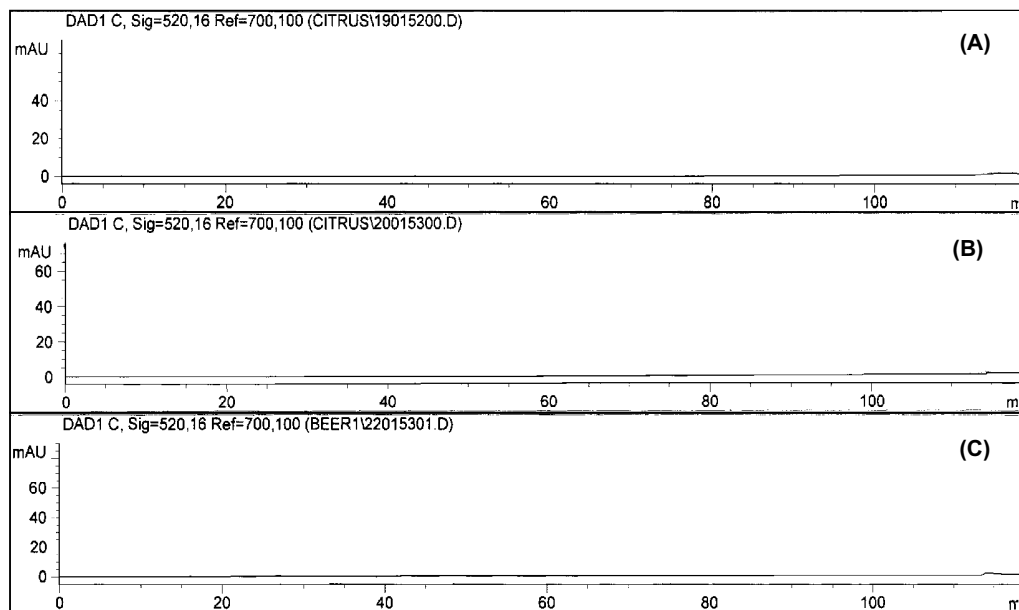
ภาพที่ 4.21 : โครมาโตแกรมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีตามวิธีที่ 2 ไม่เติมสารมาตรฐาน (A) เติมสารละลายมาตรฐานพร้อมตัวอย่างส้มโอ (B) และเติมสารละลายมาตรฐานพร้อมปรับปริมาตร (C)

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.20 (A) และ 4.21 (A) พบว่า ไม่ว่าจะเตรียมตัวอย่างตามวิธีที่ 1 หรือ 2 โครมาโทแกรมของส้มโอพันธุ์ทองดีไม่ปรากฏพีคของแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ส้มโอพันธุ์อื่น ๆ ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน แต่เมื่อเติมสารละลายมาตรฐาน delphinidin 3-glucoside และ cyanidin 3-glucoside ในการสกัดทั้งสองวิธีพบพีคที่ retention time ประมาณ 74 และ 76 นาที ตามลำดับ

นอกจากตัวอย่างส้มโอแช่แข็งแล้ว ยังได้วิเคราะห์ตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามเพิ่มเติม โดยใช้แหล่งตัวอย่างใหม่และเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างไปแช่แข็งและ freeze dried เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวอย่างสด ซึ่งจัดซื้อจากสวนเกษตรกร ตัวอย่างผลส้มโอทับทิมสยามที่ได้มามีอายุแก่และแก่จัด (จำนวน 2 ผล) เนื่องจากเป็นปลายฤดูการ จากการวิเคราะห์พบว่าทั้งตัวอย่างสด แช่แข็ง และ freeze dried ไม่ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ไม่ว่าจะสกัดแอนโทไซยานินด้วยวิธีใด ดังภาพที่ 4.22 และ 4.23

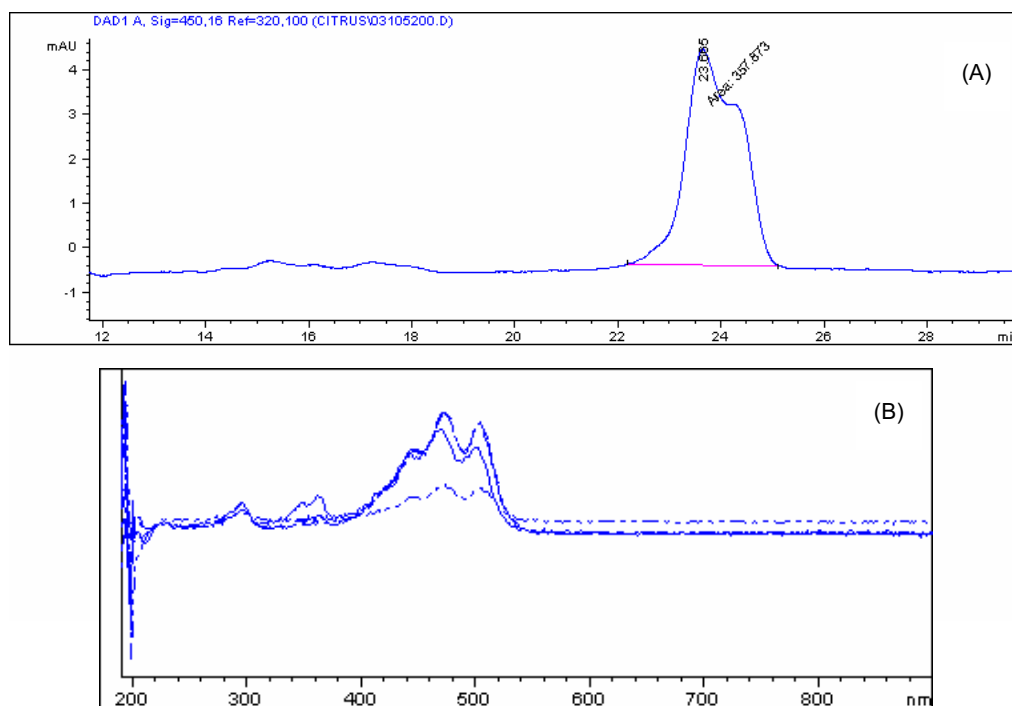


ภาพที่ 4.22 : โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามโดยสกัดตามวิธีที่ 1 ตัวอย่างสด (A) ตัวอย่างแช่แข็ง (B) และตัวอย่าง freeze dried (C)



ภาพที่ 4.23 : โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามโดยสกัดตามวิธีที่ 2 ตัวอย่างสด (A) ตัวอย่างแช่แข็ง (B) และตัวอย่าง freeze dried (C)

หากสารสีแดงที่อยู่ในเนื้อผลส้มโอพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน จึงได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่าอาจจะเป็นสารสีในกลุ่มคาโรทีนอยด์ โดยเฉพาะสาร lycopene จึงได้ทดสอบขั้นต้นจากการสกัด (หยาบ) สีแดงส้มไวต่อแสง หากได้รับแสงจะเปลี่ยนสีเป็นเหลือง นำมาตรวจวัดการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยการสแกนที่ความยาวคลื่นในช่วง UV-Visible เทียบกับสารมาตรฐาน พบว่าสารสกัดหยาบมีการดูดซับแสงมากที่สุดในช่วงเดียวกันกับสาร lycopene และ carotene ผสมรวมกัน ($\lambda_{max} = 480-500 \text{ nm}$) ภาพที่ 4.24 แสดงโครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามซึ่งมี broad peak ที่ประมาณ 24 นาที สอดคล้องกับรายงานสมบัติในการดูดซับแสงของสารมาตรฐานของสาร lycopene ($\lambda_{max} = 448, 474, 506 \text{ nm}$) ส่วนสาร β -carotene ($\lambda_{max} = 429, 451, 479 \text{ nm}$) และ α -carotene ($\lambda_{max} = 419, 449, 476 \text{ nm}$) (Lee, 2001) ซึ่งอาจเป็นการผสมของสาร lycopene และ carotene และยังมีรายงานว่าพบสาร lycopene และ β -carotene ในส้มโอประเทศจีนพันธุ์ “Hirado Buntan” ที่มีเนื้อสีชมพูและพันธุ์ “Feng Du” เนื้อสีแดง (Xu et al., 2006) เช่นเดียวกันที่พบในส้มโอพันธุ์ “Chuzhou Early Red” และเกรฟฟรุทพันธุ์ “Ruby Red” และ “Star Ruby” (Xu et al., 2006) จากผลดังกล่าวจึงเป็นที่น่าสนใจศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4.24 : โครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามแสดง broad peak ที่ประมาณ 24 นาที (carotene และ lycopene มี retention time เท่ากับ 23 และ 27 นาที ตามลำดับ) (A) และ สเปกตรัมของพีคในรูป (A) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ carotene (B)

เมื่อพิจารณาการสังเคราะห์แอนโทไซยานินของส้มโอ ซึ่งอาจจะแตกต่างแตกต่างจากพืชอื่นและน่าจะคล้ายกับพืชในตระกูลส้ม แต่อย่างไรก็ตามพืชตระกูลส้มเป็นกลุ่มใหญ่มีความแตกต่างและหลากหลายเช่นกัน ดังจะเห็นว่ามียางานพบสารแอนโทไซยานินในส้มตรา ในกลุ่มย่อย blood orange พันธุ์ "Budd" (Florida) และ 'Sicilian'(Italy) (Lee, 2002; Paola et al., 2003; Barbagallo et al., 2007) ซึ่งเป็นพืชตระกูลส้มในกลุ่ม "Sourless" แต่อย่างไรก็ตามมียางานการพบสารแอนโทไซยานินในส้มโอ (Tsai et al., 2007) และใกล้เคียงอย่างเช่นเกรฟฟรุท (Gorinstein et al., 2004) ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ pH differential และยังคงเป็นวิธีการที่มีข้อสงสัยและไม่แน่ชัดว่าเป็นแอนโทไซยานินหรือไม่ แต่ก็มีรายงานเฉพาะในผลเกรฟฟรุทที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 5.9 mg/100g FW ซึ่งพบเฉพาะสาร cyanidin เท่านั้นเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เช่นกัน (Koponen et al., 2007) ทั้งนี้ยังไม่เคยมีรายงานทั้งชนิดและปริมาณสารแอนโทไซยานินในส้มโอที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ของสารแอนโทไซยานินจะรวมกับการสังเคราะห์สาร naringin ซึ่งเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบส่วนต่างๆของผลส้มโอ และอาจจะแบ่งบางส่วนมาสร้างสารแอนโทไซยานินไม่มากนัก หากส้มโอมีการสังเคราะห์สารแอนโทไซยานินก็อาจเป็นการสังเคราะห์และเก็บไว้ในส่วนของกั้ว (juice sac) และน้ำคั้น จากการศึกษานี้ของ Barbagallo et al. (2007) รายงานในส้มตรา "Sicilian" ว่ามีการสร้างแอนโทไซยานินเพิ่มในระหว่างการเจริญพัฒนาและลดลงในระยะผลแก่ ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล ภายในผลจะมีการปรับสภาพภายในเซลล์ให้มีสภาพเสถียรของสารแอนโทไซยานิน โดยการเก็บรวมกับกลุ่มของสารตัวเองและสารอื่นๆ ตลอดจนปรับสภาพความเป็นกรดต่างของผล สำหรับการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินพบอาจเกิดออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส เช่น β -glucosidase เอนไซม์นี้มักพบในเปลือกของผลส้มทั้งสองชั้นและน้ำคั้นของส้มตรา แต่ไม่พบเลยในผลเกรฟฟรุท สำหรับส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่นำมาตรวจสอบและใช้เทคนิคต่างๆ เป็นผลที่มีอายุแก่จัด เนื่องจากเป็นปลายฤดูการ สสารแอนโทไซยานินอาจย่อยสลายตัวไปมากจึงไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ซึ่งควรศึกษาเพิ่มเติมในผลส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่กำหนดอายุผลแน่นอนในระหว่าง 5-8 เดือน และนอกจากนี้สภาพและสมบัติทางเคมีของผลภายในส้มโอมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน หากเปรียบเทียบกันระหว่างส้มตรา (Barbagallo et al., 2007) และส้มโอหลายๆ พันธุ์ พบว่าปริมาณ TSS และ TA ไม่แตกต่างกัน ซึ่งส้มตรามีอัตราส่วน TSS:TA เท่ากับ 11:1 แต่อัตราส่วนของ TSS:TA ในส้มโอไทยมีแนวโน้มสูงกว่า เช่นในพันธุ์ทับทิมสยามมีค่าสูงถึง 34:1 (ตารางที่ 4.6) ส่วนกรดแอสคอร์บิกพบในส้มตราสูงกว่า (48.46-68.09 mg%) อาจเห็นแนวโน้มว่าสารแอนโทไซยานินสามารถที่สลายตัวได้ง่ายกว่าในเนื้อของผลส้มโอไทย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินในส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิมสยาม ที่ผลิตเพื่อการส่งออกและการบริโภคภายในประเทศจากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย สามารถสรุปได้ว่า

1) สาร naringin เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดที่ส้มโอไทยคิดเป็น 40-60% ของสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และพบสารสำคัญที่ไม่สามารถระบุชนิดของสารได้ (unknown) ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ส้มโอ โดยพบสาร unknown ในส้มโอพันธุ์ทองดีจำนวน 6 ชนิด ส่วนพันธุ์ขาวแตงกวา ขาวน้ำผึ้งและขาวใหญ่ และพันธุ์ทับทิมสยามจำนวน 4 ชนิด

2) ในส้มโอไทยทั้ง 5 พันธุ์แบ่งเป็นเกรดส่งออก (ความแก่ 70%) และการบริโภคภายในประเทศ (ความแก่ 80%) ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ดังต่อไปนี้ rutin hesperidin neohesperidin, quercetin apigenin kaempferol และ naringenin

3) ส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 5 เดือนหลังดอกบานพบสาร naringin มากที่สุด (93 mg/100g FW) และลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบิบูรณ์ การใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวของส้มโอที่อายุผล 5-8 เดือนหลังจากดอกบาน ด้วยค่า TSS:TA มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสาร naringin ($r=-0.6912$) และมากกว่าค่า TSS ($r=-0.3736$)

4) อายุผล (ความแก่) และพันธุ์ของส้มโอมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin แต่ไม่พบว่าอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณ TSS:TA

5) ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามจากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบปริมาณสาร naringin มากที่สุดมีค่า 69-84 mg/100g FW เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอพันธุ์อื่นๆ ที่มีค่า 34-48 mg/100g FW อีกทั้งพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณ TSS:TA (34:1) มากที่สุดเช่นกันส่วนส้มโอพันธุ์อื่นๆ ที่มีค่าเพียง 12-18:1 นอกจากนี้ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ ที่ความแก่ 70% มีปริมาณสาร naringin มากกว่าที่ความแก่ 80% ประมาณ 10 mg/100g FW

6) ส้มโอพันธุ์ทองดีจากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบปริมาณสาร naringin มากที่สุด (61-71 mg/100g FW) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอพันธุ์ดังกล่าวจากจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก และปราจีนบุรี ซึ่งมีปริมาณสาร naringin ไม่แตกต่างกัน ส่วนส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจากจังหวัดราชบุรี นครปฐม และสมุทรสงคราม และส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาจากจังหวัดพิจิตรและชัยนาทพบว่า พื้นที่ปลูกไม่มีผลต่อปริมาณสาร naringin

7) ไม่พบสารแอนโทไซยานินในตัวอย่างสด แช่แข็งและเหี่ยวแห้งแข็ง (freeze dried) ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม และไม่พบสารแอนโทไซยานินตัวอย่างแช่แข็งในส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวใหญ่ และขาวน้ำผึ้ง ตลอดจนการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลของการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าส้มโอไทยมีสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์อีกหลายชนิดที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นชนิดใด (unknown) คิดเป็น 40-60% โดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ทองดีที่พบสาร unknown มากที่สุด ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อไปโดยอาจใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) หรือเพิ่มชนิดสารมาตรฐาน โดยเฉพาะสารในกลุ่ม flavone เพื่อระบุชนิดและปริมาณของสาร unknown ซึ่งอาจทำให้ทราบและอาจพบสารชนิดใหม่หรือสารชนิดเดียวกันที่มีปริมาณแตกต่างจากส้มโอของประเทศจีน ได้หวันและญี่ปุ่น นอกจากนี้ปัจจัยของสภาพแวดล้อมและพื้นที่การปลูกมีผลต่อปริมาณ naringin ดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งส้มโอพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามที่ผลิตจาก อำเภอปากพะนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชที่พบสาร naringin มากที่สุด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวซึ่งมีผลต่อปริมาณสาร naringin อาจมีการสำรวจเพิ่มเติมของข้อมูลด้านการปลูกและดูแลรักษา สภาพพื้นที่ สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและอาจประยุกต์พัฒนาเป็นส้มโอต้นแบบในการปรับปรุงพัฒนาการผลิตส้มโอพันธุ์อื่นๆ และพันธุ์ทองดีในจังหวัดอื่นๆ เพื่อการผลิตส้มโอที่มีสาร naringin ให้มากขึ้น นอกจากนี้เพื่อยืนยันว่าไม่พบสารแอนโทไซยานินในส้มโอที่มีสีแดงหรือสีชมพูควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอ

นอกจากนี้ส้มโอยังประกอบด้วยสารอื่นๆ ที่มีผลต่อรสชาติความขม นอกเหนือจากสาร naringin โดยเฉพาะสารในกลุ่ม limonoids เช่น limonins และ nomilin ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม terpene ที่มีคุณสมบัติในด้านสุขภาพได้แก่ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง ต้านไวรัส HIV และลดคลอเรสเตอรอล เป็นต้น (Breksa and Manners, 2006) และสารสีชมพูเข้มที่พบส้มโอนั้นเป็นส่วนใหญ่เป็นสารไลโคปีน (lycopene) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ (carotenoids) มีคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน ลดการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากและโรคหัวใจ เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมของสารในกลุ่ม limonoids และ carotenoids จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อให้ทราบทั้งชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์สำคัญดังกล่าวเพื่อให้ได้ข้อมูลสารสำคัญทั้งหมดของส้มโอไทย หากได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมดจะช่วยสนับสนุนคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอไทยในการเปรียบเทียบกับส้มโอจากต่างประเทศหรือผลเกรฟฟรุต โดยมุ่งเน้นให้ผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศได้รับทราบข้อมูลดังกล่าวเพื่อใช้สนับสนุนการส่งออกและการบริโภคภายในประเทศ อีกทั้งในเพิ่มศักยภาพในการส่งออกในระดับสากล การขยายโอกาสและเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตร นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการพัฒนา

งานวิจัยของสัโมที่เกี่ยวข้องด้านโภชนาการ เภสัชวิทยา การแพทย์ การเกษตร เทคโนโลยีหลัง
การเก็บเกี่ยวและเทคโนโลยีการอาหาร

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2553. ข้อมูลนำเข้า-ส่งออกปี 2552. แหล่งที่มา:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp> (6 เมษายน 2553)

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. สถิติการปลูกส้มโอปี 2547.

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2544. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่าศึก, กรุงเทพฯ.

ณัฐวดี ทองจันทร์ และภาวิณี พิทักษ์วงศ์. 2551. การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ-เคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์เซนเลอร์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 76 หน้า.

นิธยา รัตนพนนท์ และดนัย บุญเกียรติ. 2548. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5 โอ.เอส.พรินต์ติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 236 หน้า.

นุสรา ปิยะพลรุ่งโรจน์. 2551. ผลของการสกัดจากน้ำคั้นของพืชสกุลส้มต่อการทำงานของ cytochrom P450 3A4 และ P-glycoprotein. จุลสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีที่ 17 ฉบับที่ 6 พ.ย.-ธ.ค. 14-22 น.

ทวีศักดิ์ ด่วงทอง. 2549. การปลูกส้มโอ. แหล่งที่มา: <http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/fruit.html>. (26 พฤศจิกายน, 2549).

ปัญญา ชยามานนท์. 2541. เอกสารวิชาการที่ 21 เรื่อง ส้มโอ. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2543. ส้มเม็ด ฟลาโวนอยด์และวิตามินซีเสริมสุขภาพ. สำนักพิมพ์รวมบรรณกิจ, กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

พรศิริ ศิลปสร. 2552. อิทธิพลของพันธุ์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอสามสายพันธุ์ในระยะความบิบูรณ์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 53 หน้า.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2545. ส้มโอ ไม้ผลอมตะ. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.

เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว. 2545. การเจริญเติบโตพัฒนาของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและลักษณะสำคัญของผลพันธุ์อื่นๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 54 หน้า.

รวี เสธฐภักดี. 2523. เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชสวน 542. ภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 180 หน้า.

รวี เสธฐภักดี. 2542. The pummelos and grapefruits, น. 24-25. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “วิทยาการส้ม: ทางเลือกปัจจุบันสู่อนาคต” 7-11 กรกฎาคม 2540. โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรุงเทพฯ.

ลัดดา วัฒนศิริธรรม, กาญจนรัตน์ ทวีสุข และเบญจมาศ รัตนชินกร. 2548. ลิโมนินและนารินจินในส้มโอพันธุ์ต่างๆ. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 31 (วทท. 31) วันที่ 18-20 ตุลาคม 2548. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

สมคิด เทียมรัศมี. 2548. การปลูกส้มโอ. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 112 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2550. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส้มโอ. แหล่งที่มา: http://www.acfs.go.th/standard/download/std_pomelo.pdf (3 มีนาคม 2551).

Ameer, B., Weintraub, R.A., Johnson, J.V., Yost, R.A., Rouseff, R.L., Rouseff, R.L. 1996. Flavonone absorption after naringin, hesperidin, and citrus administration. Clinical Pharmacology & Therapeutics. 60: 34-40.

- Amić, D., Davidović-Amić, D., Bešlo, D. and Trijanajstić, N. 2003. Structure-Radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta*. 76 (1): 55-61.
- Andersen., O. M. and K. R. Markham. 2006. *Flavonoids*. CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America.
- Barbagallo, R.N., Palmeri, R., Fabiano, S., Rapisarda, P., Spagna, G. 2007. Characteristic of β -glucosidase from Sicilian blood oranges in relation to anthocyanin degradation. *Enzyme and Microbial Technology*. 41(5): 570-575.
- Baghurst, K. 2003. The health benefits of Citrus fruits. Available: <http://www.afja.com.au/publications/db/Health%20Benefits%20of%20Citrus%20Fruits%20%20CSIRO%20Full%20Report.pdf>. (January 15, 2010).
- Bresksa, P.A. and Manners, G.D. 2006. Evaluation of the antioxidant capacity of limonin, nomilin, and limonin glucoside. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 3827-3831.
- Burns, J.K. 1990. α - and β -glucosidase activities in juice vesicles of stored Valencia oranges. *Phytochemistry*. 29: 2425–2429.
- Chun, O.K., Chung, S.J. and Song, W.O. 2007. Estimated dietary flavonoids intake and major food sources of U.S. adults. *Journal of Nutrition*. 1244-1252.
- Davies, M.J., Judd J.T., Baer, D.J., Clevidence B. A., Paul D.R., Edwards, A.J., Wiseman S.A., Muesing, R.A. and Chen S.C. 2003. Black tea consumption reduces total and LDL cholesterol in mildly hypercholesterolemic adults. *Journal of Nutrition* 133(10): 3298s-3302s.
- Dugo, P, Mondello, L., Mondello, L., Morabito, D., and Dugo G. 2003. Characterization of the anthocyanin fraction of sicilian blood orange juice by micro-HPLC-ESI/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 1173-1176.

- Edward, D.J. and Bernier, S.M. 1996. Naringin and narigenin are not the primary CYP3A inhibitors in grapefruit juice. *Life Science*. 59 (13): 1025-1030.
- Gattuso, G., Barreca, D., Gargiulli, C. Leuzzi, U and Caristi, C. 2007. Review : Flavonoid composition of *Citrus* juices. *Molecules*. 12: 1641-1673.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Katrich. E., Pewelzik, E., Haruenkit, R., Trakhtenberg, S. and Martin-Belloso, O. 2004. Comparison of the contents of the main antioxidant compounds and the antioxidant activity of white grapefruit and his new hybrid. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*. 37: 337-343.
- Hasagewa, S., Herman, Z., Orme, E. and Ou, P. 1986. Biosynthesis of limonoids in citrus: site and translocation. *Phytochemistry*. 25: 2783-2785.
- Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H. and Venema, D. P.. 1992. Optimization of a quantitative HPLC determination of potentially anticarcinogenic flavonoids in vegetables and fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40: 1591-1598.
- Häkkinen, S. 2000. Flavonols and phenolic acids in berries and berry product. Ph.D thesis. Kuopio university.
- Jayaprakasam, B., Vareed S.K, Olson, L.K. and Nair, M.G. 2005. Insulin secretion by bioactive anthocyanins and anthocyanidins present in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:28–31.
- Kelebek, H., Canbas, A. and Selli. 2008. Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chemistry*. 17(4): 1710-1716.

- Koponen, J.M., Happonen, A.M., Mattila, P.H. and Törrönen, A.R. 2007. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 1612-1619.
- Kris-Etherton, P.M., Hecker, K.D., Bonanome, A., Coval, S.M., Binkoski, A.E., Hilpert, K.F., Griel, A.E., and Etherton, T.D. 2002. Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*. 113: 71-88.
- Ladaniya, M.S. 2008. Citrus fruit, 1st ed., USA: Academic press, pp. 340.
- Lee, H.S. 2001. Characterization of carotenoids in juice of red navel orange (Cara Cara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 2563-2568.
- Oren-Shamir, M. 2009. Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants?. *Plant Science*. 177: 310-316.
- Ortuno, A., García-Puig, D., Fuster, M.D., Pérez, M.L., Sabater, F., Porras, I., García Lindón, A., Del Río, J.A. 1995. Flavonone and nootkatone levels in different varieties of grapefruit and pummelo. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43 (1): 1-5.
- Mouly, P., Gaydou, E.M., and Auffray, A. 1998. Simultaneous separation of flavanone glycosides and polymethoxylated flavones in citrus juices using liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 800: 171–179.
- Nagata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M. and Ohta, H. 2006. Flavonoid composition of fruit tissue of Citrus species. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 70(1): 178-192.
- Pascual-Teresa, S.D. and Sanchez-Ballesta, M.T. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews*. 7: 281-299.

- Peterson, J.J., Beecher, G.R., Bhagwat, S.A., Dwyer, J.T., Gebhardt, S.E., Haytowitz, D.B. and Holden J.M. 2006. Flavanones in grapefruit, lemons and limes: A compilation and review of the data from the analytical literature. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: S74-S80.
- Pietta, P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*. 63: 1035-1042.
- Rice-evans, C. A., Miller, N. J. and Paganga, G.. 1995. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*. 20: 933-956.
- Rouseff, R., Martin, S.F. and Youtsey, C.O. 1987. Quantitative survey of aarirutin, naringin, hesperidin, and neoheperidin in *Citrus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 35: 1027-1030.
- Rapisarda, P., Carollo, G., Fallico, B., Tomaselli.F., and Maccarone, E. 1998. Hydroxycinnamic acid as markers of Italian blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 464-470.
- Sakakibara, H., Honda Yoshinori, Nakagawa, S. Ashida, H. and Kanazawa, K. 2003. Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 571-581.
- Tripoli, E., Guardia, M. L., Giammanco, S., Majo, D.D. and Giammanco, M. 2007. *Citrus* flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food Chemistry*. 104: 466-479.
- Tsai, H.L., Chang S.K.C. and Chang, S-J. 2007. Antioxidant content and free radical scavenging ability of fresh Red pummelo [*Citrus grandis* (L.) Osbeck] juice and freeze-dried products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 2867-2872.

- Vermeris, W. and Nicholson, R.. 2006. Phenolic compound biochemistry. Springer, Netherlands.
- Wang, Y-C., Chuang, Y-C. and Ku, Y-H. 2007. Quantitation of bioactive compounds in Citrus fruits cultivated in Taiwan. Food Chemistry. 102: 1163-1171.
- Yoo, M.K., Lee, K.W., Park, J.B., Lee, H.J. and Hwang, I.K. 2004. Variation in major antioxidants and total antioxidant activity of Yuzu (*Citrus junos Sieb ex Tanaka*) during maturation and between cultivar. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 5907-5913.
- Xu, C-J., Fraser, P.D., Wang, W-J., and Bramley, P.M. 2006. Differences in the carotenoid content of ordinary citrus and lycopene-accumulating mutants. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 5474-5481.
- Xu, G., Liu, D, Chen, J. Ye, X., Ma, Y. and Shi, J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. Food Chemistry. 106: 545-551.
- Xu, G, Liu, D, Chen, J. Ye, X. and Shi, J. 2009. Composition of major flavonone glycosides and antioxidant capacity of three citrus varieties. Journal of Food Biochemistry. 33: 453-469.
- Xu, G., Ye X., Liu D. and Chen J. 2008. Composition and distribution of phenolic acids in Ponkan (*Citrus poonensis* Hort. Ex Tanaka) and Huyou (*Citrus paradise* Macf. Changshan Huyou) during maturity. Journal of Food Composition and Analysis. 21: 382-389.
- Xu, J., Tao, N., Liu, Q., and Deng, X.X. 2006. Presence of diverse ratios of lycopene/ β -carotene in five pink or red-fleshed citrus cultivars. Scientia Horticulturae. 108: 181-184.

- Yu, J., Wang, L., Walzem, R.L., Miller, E.G., Pike, L.M., and Patil, B.S. 2005.
Antioxidant activity of citrus limonoids, flavonoids, and coumarins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 2009-2014.
- Zhang, W.S., Li, X., Zheng, J.T., Wang, G.Y., Sun, C.D., Ferguson, I.B. and Chen, K.S.
2008. Bioactive components and antioxidant capacity of Chinese bayberry
(*Myrica rubra* Sieb. and Zucc.) fruit in relation to fruit maturity and postharvest
storage. *European Food Research and Technology*. 227: 1091-1097.

ภาคผนวกที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 : เปรียบเทียบการดำเนินงานกิจกรรม

กิจกรรม	เดือนที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. ติดต่อประสานงานกับเกษตรกรเพื่อเก็บเกี่ยวส้มโอและวิเคราะห์ความแก่ของส้มโอทั้ง 5 พันธุ์	↔	↔	↔	↔	↔	↔			↔	↔								
2. การกำหนดอายุและเก็บเกี่ยวผลส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุ 5-8 เดือนหลังดอกบาน ในจังหวัดเชียงราย					↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔					
3. วิเคราะห์สารสำคัญในกลุ่ม Flavonoids ในส้มโอทั้ง 5 พันธุ์		↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔					
4. วิเคราะห์สารสำคัญในกลุ่ม Flavonoids ในส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ อายุ 5-8 เดือน										↔	↔	↔	↔	↔				
5. วิเคราะห์สารสำคัญในกลุ่ม Anthocyanins ในส้มโอทั้ง 5 พันธุ์			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
6. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ															↔	↔	↔	↔
7. จัดทำรายงานแบบสมบูรณ์และเอกสารเผยแพร่														↔	↔	↔	↔	↔

↔ กิจกรรมที่เสนอในโครงการ
↔ กิจกรรมที่ได้ทำจริง

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 : ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เดือนที่	กิจกรรม (activities)	ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ (outputs)
6 เดือนที่ 1	1. ติดต่อประสานงานกับเกษตรกรเพื่อกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างส้มโอในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย 2. เก็บเกี่ยวผลส้มโอที่ความแก่ 70% และ 80% ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม ในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงราย นครนายก ปราจีนบุรี นครปฐม ราชบุรี สมุทรสงคราม และนครศรีธรรมราช 3. หาสภาพที่เหมาะสมในวิเคราะห์สารในกลุ่ม Flavonoids และ Anthocyanins ในส้มโอ 4. ทำเครื่องหมายบนผลส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ ในเขตจังหวัดเชียงราย	1. เก็บเกี่ยวส้มโอทั้ง 4 พันธุ์ จากแต่ละภูมิภาค 2. ได้ข้อมูลปริมาณ TSS:TA เพื่อประเมินความแก่ของส้มโอทั้ง 4 พันธุ์ 3. ได้สภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารในกลุ่ม Flavonoids และ Anthocyanins ของส้มโอ 4. ได้ผลส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่ทราบอายุผลแน่นอน
6 เดือนที่ 2	1. เก็บเกี่ยวผลส้มโอที่ความแก่ 70% และ 80% ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวาและทับทิมสยาม ในเขตพื้นที่จังหวัดชัยนาท พิจิตร และนครศรีธรรมราช 2. วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารสำคัญในกลุ่ม Flavonoids และ Anthocyanins ในส้มโอ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา และทับทิมสยาม จากแต่ละภูมิภาค 3. เก็บเกี่ยวและวิเคราะห์ส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 5-6 เดือนหลังดอกบาน 4. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 5. ดำเนินการและเอกสารเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัย	1. เก็บเกี่ยวส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ จากแต่ละภูมิภาค 2. ได้ข้อมูลปริมาณ TSS:TA เพื่อประเมินความแก่ของส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ 3. ได้ข้อมูลชนิดและปริมาณสารในกลุ่ม Flavonoids ของส้มโอ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และขาวแตงกวา ที่ความแก่ 70% และ 80% จากแต่ละภูมิภาค 4. ทราบผลการวิเคราะห์สารในกลุ่ม Anthocyanins ในส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม 5. ได้ข้อมูลชนิดและปริมาณสารในกลุ่ม Flavonoids ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 5-6 เดือนหลังดอกบาน 6. เสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ
6 เดือนที่ 3	1. วิเคราะห์ชนิดและสารสำคัญในกลุ่ม Anthocyanins ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม (เพิ่มเติม) 2. เก็บเกี่ยวและวิเคราะห์ส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 7-8 เดือนหลังดอกบาน 3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 4. จัดทำรายงานผลการดำเนินการ และเอกสารเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัย	1. ทราบผลการวิเคราะห์สารในกลุ่ม Anthocyanins ในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม (เพิ่มเติม) 2. ได้ข้อมูลชนิดและปริมาณสารในกลุ่ม Flavonoids ของส้มโอพันธุ์ทองดีและขาวใหญ่ที่อายุผล 7-8 เดือนหลังดอกบาน 3. รายงานฉบับสมบูรณ์และนำเสนอผลงานในประชุมวิชาการและแผ่นพับ

ตารางภาคผนวกที่ 1.3 : ผลลัพธ์ (output)

Output		ในกรณีที่ผลสำเร็จไม่ถึง 100% ให้ทำระบุสาเหตุและการ แก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ /หรือจากการปรับ แผน	ผลสำเร็จ	
1.ติดต่อประสานงานกับเกษตรกรเพื่อเก็บเกี่ยวส้มโอ ทั้ง 5 พันธุ์	100%	-
2. วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารในกลุ่ม Flavonoids ในส้มโอทั้ง 5 พันธุ์	100%	-
3. วิเคราะห์สารในกลุ่ม Anthocyanins ในส้มโอพันธุ์ ทองดี ขาวใหญ่ ขาวน้ำผึ้ง และทับทิมสยาม	100%	-
4. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลดำเนินการ จัดทำรายงาน ฉบับสมบูรณ์ และเผยแพร่ข้อมูล	100%	-

ลงนาม.....

(นางสาวเสาวภา ไชยวงศ์)
(หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)

วันที่ 26 พฤษภาคม 2553

ภาคผนวกที่ 2

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 : ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูกส้มโอพันธุ์ทองดีในจังหวัดเชียงราย นครปฐม นครนายก ปราจีนบุรี และ นครศรีธรรมราช

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ทองดี ส่งออก (70%)	เชียงราย	1	นายทรง	8.2	11.14	25.37
		2	นายเจริญ	8.4	12.40	17.12
		3	นายทวี	8.0	14.04	34.15
		4	นายอัสนี สันติวรพัฒน์	8.8	11.75	35.80
นครปฐม		1	นางละมัย พรสุวงศ์	10.0	17.56	19.54
		2	นายวราวุธ กันทะดุลย์	11.0	16.06	16.92
		3	นางสมปอง จันทรัมย์เย็น	11.6	26.27	26.92
		4	นายประสิทธิ์ เรือนวอน	11.0	16.06	51.54
นครนายก		1	นางประหยัด	10.0	14.47	28.80
		2	นายสไเว สียา	9.0	15.29	47.35
		3	นางสวาท มั่งคั่ง	10.0	18.17	27.74
		4	นายถวิล พันศรีอ	8.4	10.67	22.80
ปราจีนบุรี		1	นายนิกร ศรีศิริ	8.9	15.56	19.90
		2	นายนิมิต หนงกระทุ่ม	9.8	14.87	29.41
		3	นางวรินทร์ ชาญกิจ	-	-	-
		4	นายสำเนา ทิพย์สุข	-	-	-
นครศรีธรรมราช		1	นายฉวย วงศ์มหากิจ	10.0	19.05	55.37
		2	นางนาดยา จันทร์ศรีดัง	10.2	15.63	66.72
		3	นายสำเริง กุลดง	11.0	17.17	67.86
		4	นายวิรัตน์ สุขแสง	11.0	20.96	55.63

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ทองดี ในประเทศ (80%)	เชียงราย	1	นายทรง	9.2	15.80	39.90
		2	นายเจริญ	9.0	11.25	20.65
		3	นายทวี	9.6	13.64	24.56
		4	นายอัสสี สันติวรพัฒน์	9.0	13.79	44.34
นครปฐม		1	นางละมัย พรศุภวงศ์	11.2	27.34	28.31
		2	นายวราเวช กันหะดุลย์	11.4	26.19	29.87
		3	นางสมปอง จันทรัมย์เย็น	12.0	26.79	30.50
		4	นายประสิทธิ์ เรือนวอน	11.6	24.17	40.13
นครนายก		1	นางประหยัด	11.2	20.11	75.74
		2	นายสไวก์ สียา	10.0	17.17	28.22
		3	นางสวาท มั่งคั่ง	10.2	19.20	25.56
		4	นายถวิล พันเครือ	9.0	19.00	25.58
ปราจีนบุรี		1	นายนิกร ศรีศิริ	11.0	22.04	17.66
		2	นายนิมิต หนองกระทุ่ม	11.0	22.32	34.97
		3	นางวรินทร์ ชาญกิจ	11.0	19.76	21.92
		4	นายสำเนา ทิพย์สุข	9.7	21.05	26.93
นครศรีธรรมราช		1	นายฉลวย วงศ์มหากิจ	11.0	20.96	84.59
		2	นางนาคยา จันทร์ศรีคง	10.2	21.25	61.27
		3	นายสำเริง กุลคง	11.0	20.96	54.54
		4	นายวิรัตน์ สุขแสง	11.0	19.05	77.22

ตารางภาคผนวกที่ 2.2 : ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในจังหวัดนครปฐมราชบุรี และสมุทรสงคราม

พันธุ์/เกรด ขาวน้ำผึ้ง ส่งออก (70%)	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
	นครปฐม	1	นางละมัย พรสุภางค์	9.0	13.79	29.32
		2	นางสมปอง จันทรัมย์เย็น	9.2	13.96	35.23
		3	นายบัณฑิต กิตตะดุลย์	9.2	11.98	24.04
		4	นายสุเทพ ไทยทวี	9.2	11.14	67.38
		5	นายภักดี โกษา	9.4	10.34	51.66
		6	นางนิภา พงทอง	10.0	13.83	39.98
		7	นายเหรียญ อ่อนสัมฤทธิ์	9.4	14.12	32.18
		8	นายณภดล นิพนธ์พิทยา	9.2	12.18	48.19
	ราชบุรี	1	นายกอบกุล อมดวง	10.2	13.74	50.62
		2	นางสุดใจ หงส์สิง	10.6	14.92	50.78
		3	นางสมพร ชันทอง	10.0	14.88	17.55
		4	นางแจลัม เนื่อนวล	10.2	15.47	28.20
		5	นายวีระ เปลี่ยนสถาน	10.4	14.51	42.62
		6	นายพิทักษ์ ชันทอง	9.6	15.00	29.09
	สมุทรสงคราม	1	นายพรเทพ กลิ่นหอม	10.2	14.23	53.53
		2	นายทวี พร้อมพันธุ์	10.6	12.94	57.10
		3	นายวินัย หุ่นเขียว	10.0	12.60	44.59
		4	นายประเสริฐ สิ้นสมรส	10.0	15.78	50.63
		5	นายประสงค์ อุนศิริ	10.4	14.51	47.62
		6	นายประกอบ ภารา	9.6	13.61	62.97

พันธุ์/เกรด ข้าว/ฝักร	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ข้าว/ฝักร ในประทศ (80%)	นตรปฐม	1	นางละมัย พรตูกางค์	9.0	15.29	37.52
		2	นางสมปอง จัทรธรมเยน	8.2	18.05	34.70
		3	นายบณฑิต กัณหะดุษย์	11.2	16.67	49.11
		4	นายสุเทพ ไทยทวี	11.2	16.51	47.93
		5	นายภักดี โกษา	12.0	14.88	44.54
		6	นางนิภา พงทอง	11.2	14.96	52.49
		7	นายเหรียญ อ่อนสมกฤษ	11.0	16.21	41.47
		8	นายนภดล นิพนธ์พิทยา	11.0	16.85	29.68
ราชบุรี		1	นายกอบกุล อดวง	11.0	16.69	31.82
		2	นางสุดใจ หงส์สิง	11.2	16.51	17.12
		3	นางสมพร ชันทอง	9.0	15.29	23.63
		4	นางเฉลิม นื่อนวล	11.0	15.63	21.83
		5	นายวีระ เปลี่ยนสถาน	10.8	16.54	27.80
		6	นายพิทักษ์ ชันทอง	11.0	16.37	22.46
สมุทรสงคราม		1	นายพรเทพ กลิ่นหอม	10.0	16.12	34.83
		2	นายทวี พร้อมพันธุ์	10.2	17.14	25.76
		3	นายวินัย หนูเขียว	10.0	18.38	28.15
		4	นายประเสริฐ สินสมรส	10.2	16.43	50.18
		5	นายประสงต์ อุนศิริ	11.2	18.82	19.56
		6	นายประกอบ ภารา	10.6	15.93	68.80

ตารางภาคผนวกที่ 2.3 : ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูกส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาในจังหวัดพิจิตรและชัยนาท

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ขาวแตงกวา ส่งออก (70%)	พิจิตร	1	-	10.4	10.48	60.99
		2	-	9.2	9.46	62.28
		3	-	10.4	10.62	51.47
		4	-	11.8	11.60	35.37
		5	-	10.0	11.49	58.21
		6	-	10.4	11.86	36.67
		7	-	11.06	12.67	24.27
		8	-	12.0	11.65	37.21
		9	-	9.0	8.90	74.18
		10	-	11.0	10.95	43.12
ชัยนาท						
		1	นางสมพิศ สุโขโต	10.8	12.98	42.96
		2	นายกลีน เหมือนกรุด	11.0	12.28	50.01
		3	นายทวาย มณีอ่วม	10.2	11.47	58.14
		4	นายฉลอง พลายทรัพย์	10.8	12.78	22.89
		5	นายชวน บุญมี	10.0	11.41	53.22
		6	นายสำเริง ปานชัย	10.0	11.41	33.81
		7	นายทวี อิมรัง	10.0	10.42	51.43
		8	นางอำพันธ์ พุดแห้ว	10.0	11.24	42.27
		9	นายเฉลียว บุญปริก	-	-	-
		10	-	-	-	-

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ขาวแดงกว่า ใหม่ประเทศ (80%)	พิจิตร	1	-	11.6	14.05	33.11
		2	-	11.8	13.66	27.52
		3	-	11.0	12.28	37.78
		4	-	12.2	13.06	34.89
		5	-	11.0	12.10	52.06
		6	-	11.2	12.77	40.32
		7	-	12.0	12.93	30.05
		8	-	12.4	12.26	37.57
		9	-	10.2	10.99	36.00
		10	-	10.2	11.55	72.51
ชยันนาท	พิจิตร	1	นางสมพิษ สุโขโต	10.0	17.66	42.60
		2	นายกมลื่น เหมือนนาคุด	10.2	15.18	20.71
		3	นายทวาย มณีอ่วม	10.2	15.18	41.77
		4	นายฉลอง พลายทรัพย์	10.1	15.94	24.40
		5	นายชวน บุญมี	9.2	14.52	38.63
		6	นายสำเริง ปานชัย	10.0	15.94	27.79
		7	นายทวี อิมรัง	10.0	16.19	39.87
		8	นางอำพันธ์ พุฒแก้ว	9.2	16.06	40.41
		9	นายเฉลียว บุญปรีก	10.2	14.76	36.28
		10	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ 2.4 : ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูกส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ในจังหวัดเชียงรายและสมุทรสงคราม

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ขาวใหญ่ ส่งออก (70%)	เชียงราย	1	นายประสิทธิ์	8.4	9.51	31.80
		2	นายอัสดี สันติวรพัฒน์	7.2	11.24	21.54
		3	นายเจริญ	8.0	10.42	41.75
		4	นายสุชาติ	7.6	9.28	47.24
	สมุทรสงคราม	1	นายสัญญา แยมดวง	11.0	13.53	52.24
		2	นายวินัย เวชกิจ	10.8	13.72	38.48
		3	นายสุวรรณ ทองมา	11.2	14.34	51.09
		4	นายประยงค์ เกียนศิริ	9.0	15.63	51.42
		5	นายชัยนัต เกียนศิริ	11.8	15.63	65.88
		6	นายปราโมทย์ สันติพัฒน์	11.2	13.78	36.34
		7	นายสมทรง แสงตะวัน	11.0	15.63	42.91
		8	นายชลอ มีดง	11.1	13.04	41.19
		9	นายสุโรจน์ อึ้งพลชัย	11.0	15.08	44.42
		10	นายทวี น้อยสกุล	11.0	14.69	29.49
		11	นายสมโภชน์ หนูเขียว	9.3	11.91	62.19
		12	นายสหัส อยู่กำเหนิด	11.0	16.06	43.42
		13	นายธงชัย อินทร์พันธ์	11.0	15.21	39.42
		14	นายแผน กลั่นกลิ่นหอม	11.3	15.63	45.48
		15	นายสุทิน สุวานนท์	11.2	16.20	44.31
		16	นายเสียง อินทร์ประเสริฐ	11.3	14.96	41.74

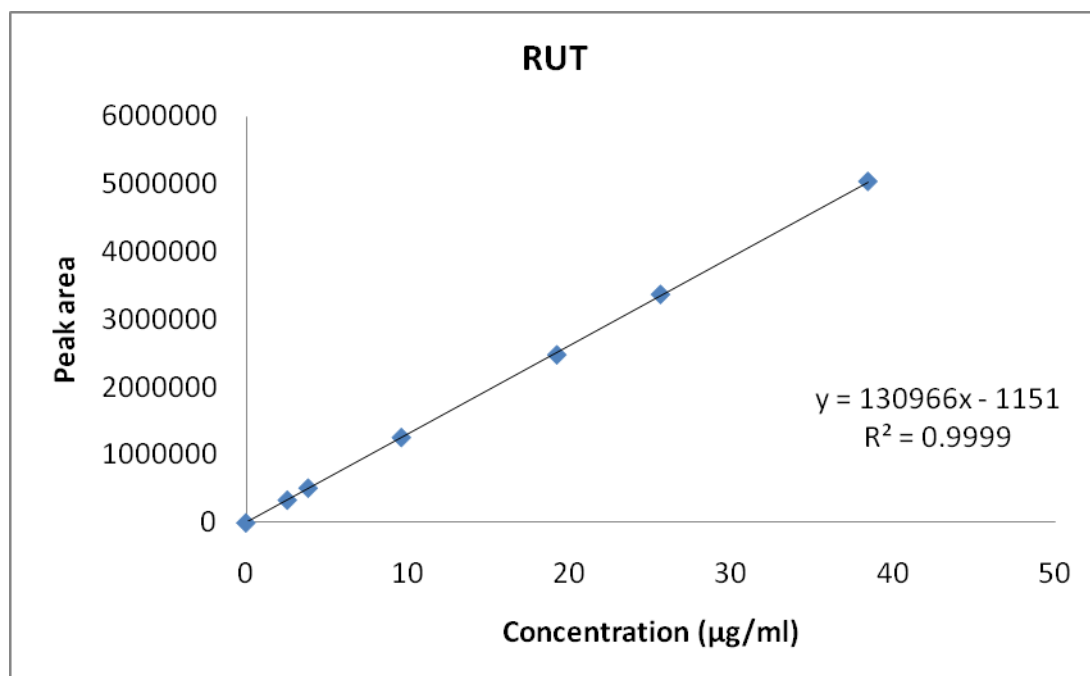
พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ขาวใหญ่ ในประเทศ (80%)	เชียงราย	1	นายประสิทธิ์	8.8	12.61	27.14
		2	นายอัสสี สันติวรพัฒน์	8.8	12.50	18.19
		3	นายเจริญ	8.4	11.22	28.22
		4	นายสุชาติ	8.4	11.72	36.12
สมุทรสงคราม						
		1	นายสัญญา แยมดวง	10.2	15.63	33.13
		2	นายวินัย เวชกิจ	10.4	16.58	23.66
		3	นายสุวรรณ ทองมา	10.2	17.32	60.00
		4	นายประยงค์ เทียนศิริ	11.0	17.36	54.76
		5	นายชัยยันต์ เทียนศิริ	12.2	19.06	43.87
		6	นายปราโมทย์ สันต์ดีพร้อม	11.0	16.21	46.58
		7	นายสมทรง แสงตะวัน	11.0	19.76	31.58
		8	นายชลอ มีคง	11.0	19.53	39.25
		9	นายสุโรจน์ อึ้งพลชัย	10.2	17.32	45.25
		10	นายทวี น้อยสกุล	11.0	18.89	35.93
		11	นายสมโภชน์ หนูเขียว	11.0	18.48	38.78
		12	นายสหส อยู่กำเหนิด	11.0	19.99	38.45
		13	นายธงชัย อินทร์พันธ์	10.3	19.63	32.74
		14	นายแผน กลั่นกลิ่นหอม	11.0	19.76	47.53
		15	นายสุทิน สุธานนท์	11.2	21.88	38.41
		16	นายเสียง อินทร์ประเสริฐ	11.2	20.35	40.85

ตารางภาคผนวกที่ 2.5 : ปริมาณ TSS, TSS:TA และสาร naringin ตามรายชื่อเกษตรกรปลูกส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามในจังหวัดนครศรีธรรมราช

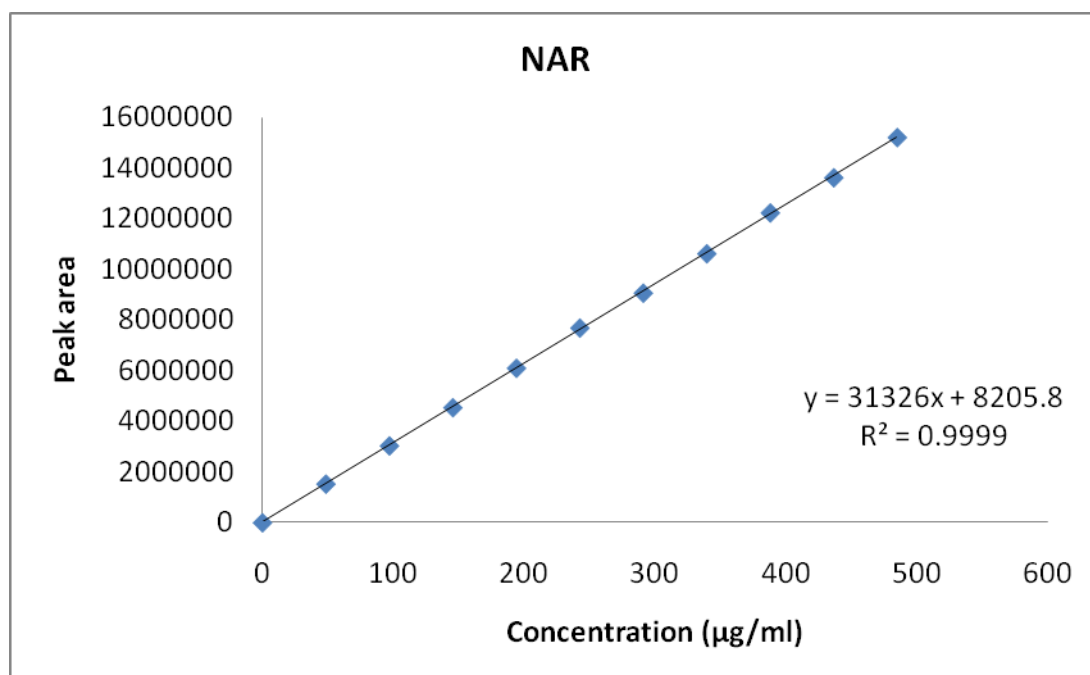
พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ทับทิมสยาม ส่งออก (70%)	นครศรีธรรมราช	1	นายสนั่น นาคงาม	10.0	32.89	80.13
		2	นายเฉลิม มาศทอง	10.0	31.25	74.52
		3	นายเพียน ถิ่นพระบาท	10.2	30.36	80.15
		4	นายไกรทิ นาคงาม	10.6	33.13	51.53
		5	นายณรงค์ กิจปาโล	10.8	38.79	64.29
		6	นายวันชัย ศีลธรรม	10.0	29.21	116.24
		7	นายสำเริง กุลคง	10.0	30.64	55.18
		8	นายวิรัตน์ สุขแสง	10.2	27.48	45.74
		9	นางมยุรี นาคงาม	10.0	32.22	81.73
		10	นายสุเทพ นาคงาม	9.8	34.80	62.88
		11	นางเพียว สุวรรณรัตน์	11.6	33.88	95.02
		12	นางกัลยา จันทศรีคง	10.2	35.42	78.49
		13	นายวันชัย เย็นใส	10.4	36.52	52.36
		14	นางสมใจ นาคงาม	10.6	33.43	66.11
		15	นางอัมพร สวัสดิ์สุข	10.4	32.18	66.54
		16	นายวิเชียร ศรีหิรัญ	10.8	35.90	75.02
		17	นายเจริญ โคมทอง	11.2	35.00	49.67
		18	นายสถิต กุลคง	10.6	30.64	65.94
		19	นางสาวกมลทิพย์ กุลคง	11.2	33.02	65.47
		20	-	-	-	-

พันธุ์/เกรด	จังหวัด	สวน	ชื่อเกษตรกร	%TSS	อัตราส่วน TSS:TA	Naringin (mg/100g FW)
ทับทิมสยาม ในประเทศ (80%)	นครศรีธรรมราช	1	นายสนั่น นาคงาม	10.4	34.95	71.38
		2	นายเฉลิม มาศทอง	10.0	26.04	91.16
		3	นายเพี้ยน ถิ่นพระบาท	10.6	30.67	72.13
		4	นายโกวิท นาคงาม	11.2	36.46	66.72
		5	นายณรงค์ กิจปาโล	11.0	28.18	80.99
		6	นายวันชัย ศีลธรรม	11.8	30.73	92.04
		7	นายสำเริง กุลคง	11.6	35.19	68.46
		8	นายวิรัตน์ สุขแสง	12.0	39.89	60.29
		9	นางมยุรี นาคงาม	12.0	36.76	88.88
		10	นายสุเทพ นาคงาม	12.4	34.60	59.49
		11	นางเพียร สุวรรณรัตน์	12.2	38.90	78.30
		12	นางกัลยา จันทศรีคง	13.0	40.22	66.74
		13	นายวันชัย เย็นใส	12.4	41.67	104.86
		14	นางสมใจ นาคงาม	11.6	33.26	74.18
		15	นางอมพร สวัสดิ์สุข	12.8	41.67	82.73
		16	นายวิเชียร ศรีทรัพย์	12.4	39.95	100.28
		17	นายเจริญ โฉมทอง	12.4	39.54	85.77
		18	นายสถิต กุลคง	12.8	40.00	80.55
		19	นางสาวกมลทิพย์ กุลคง	11.8	36.88	70.70
		20	-	-	-	-

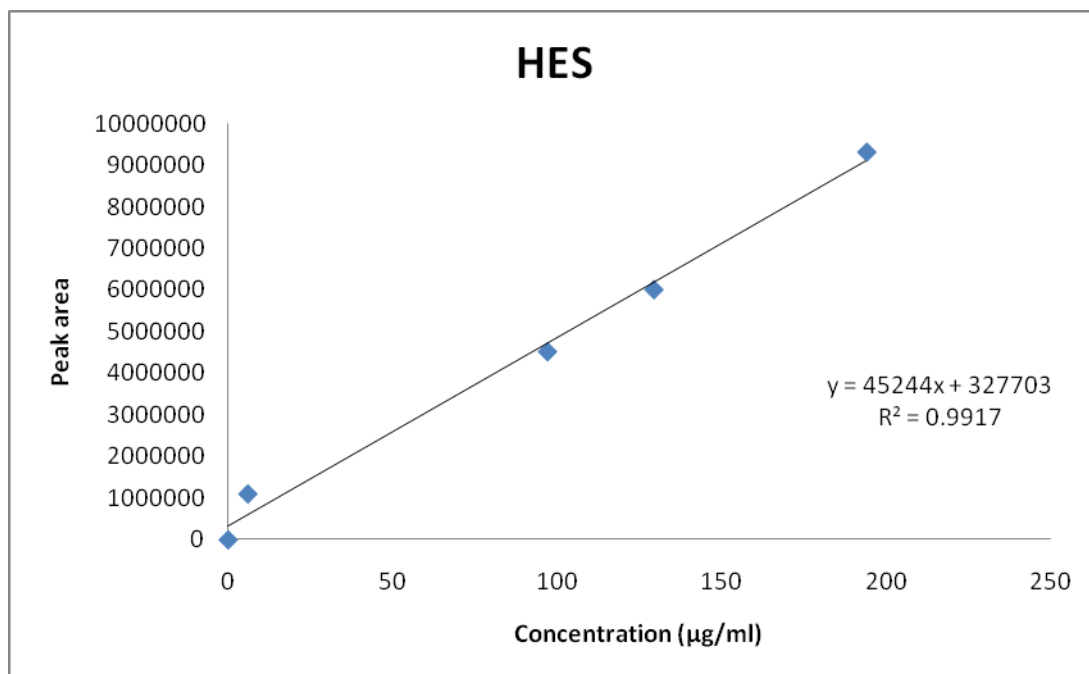
ภาคผนวกที่ 3



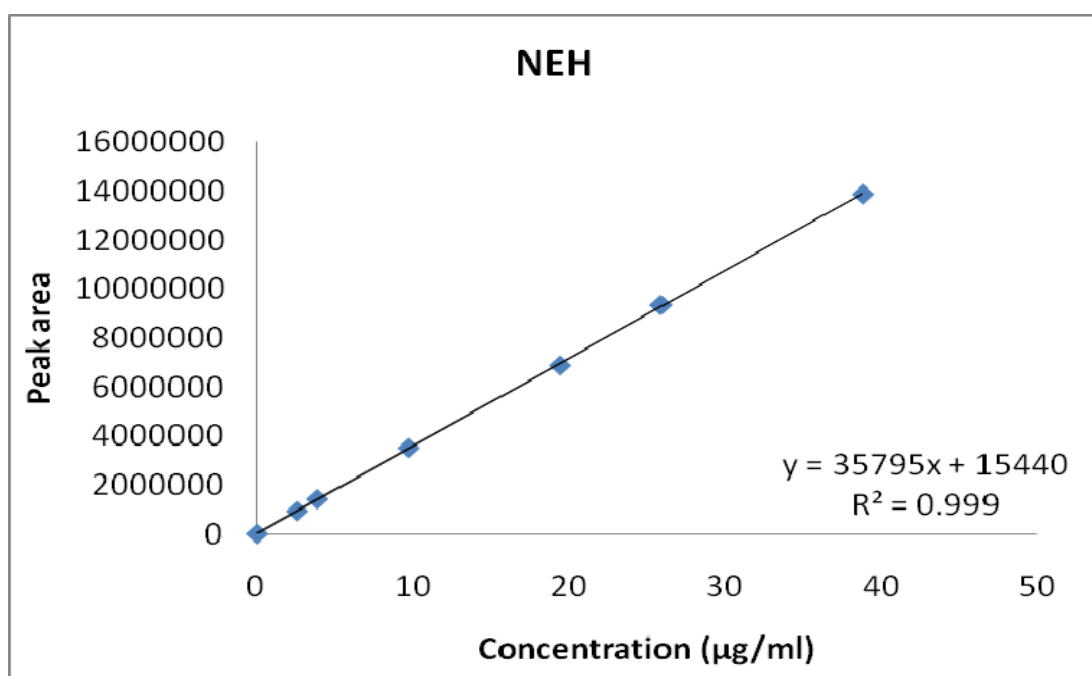
ภาพภาคผนวกที่ 1 : กราฟมาตรฐานของสาร rutin



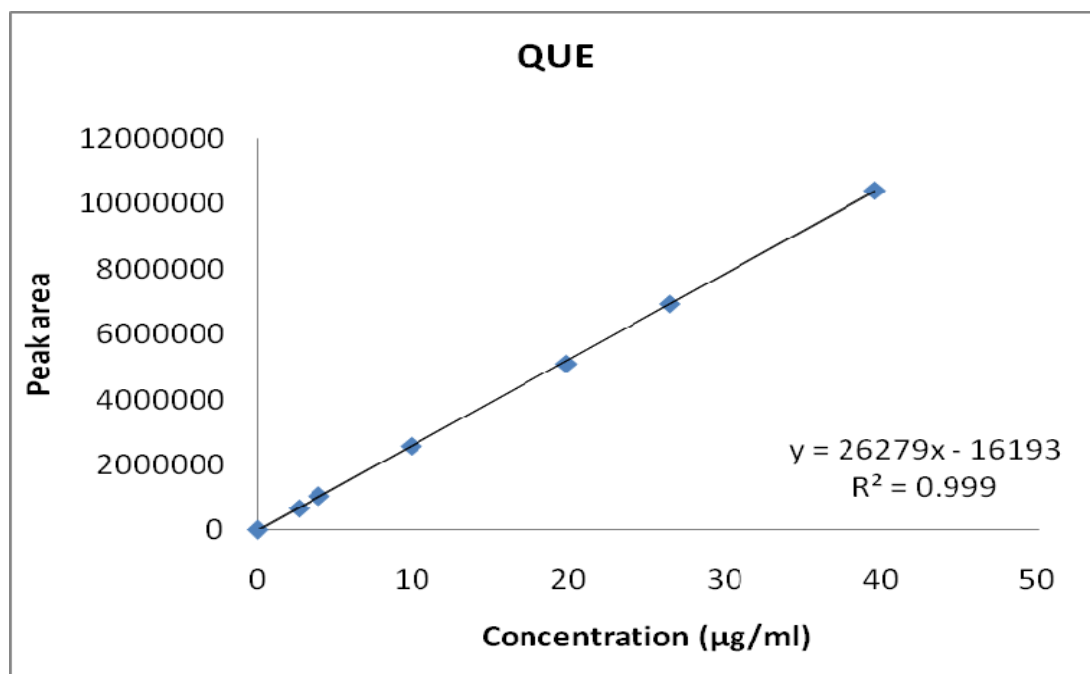
ภาพภาคผนวกที่ 2 : กราฟมาตรฐานของสาร naringin



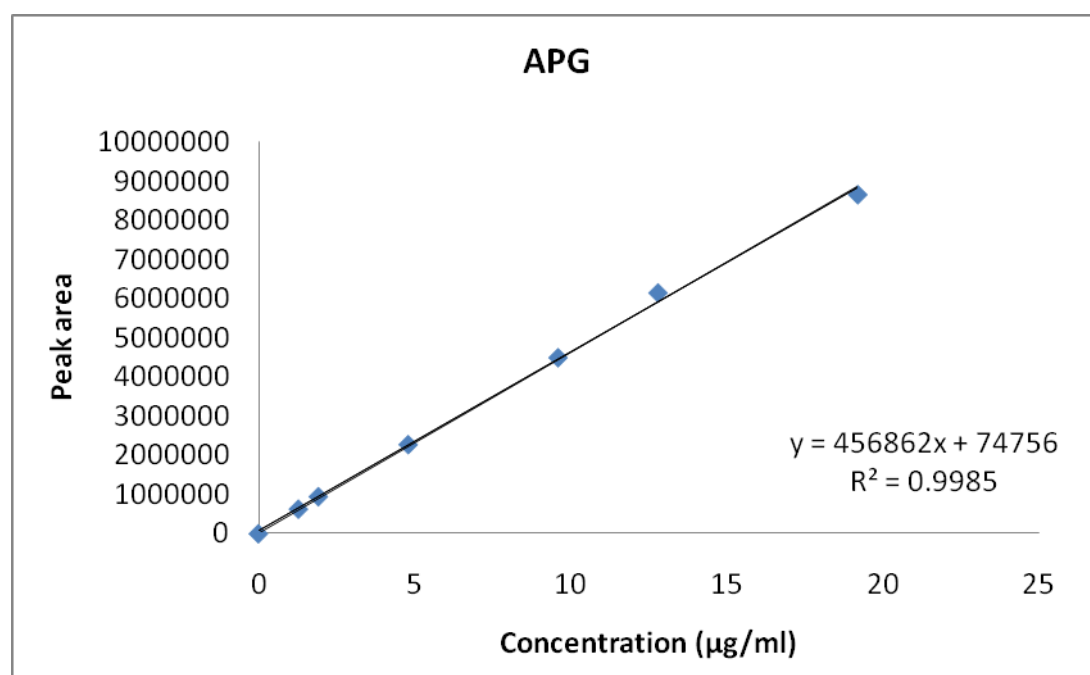
ภาพภาคผนวกที่ 3 : กราฟมาตรฐานของสาร hesperidin



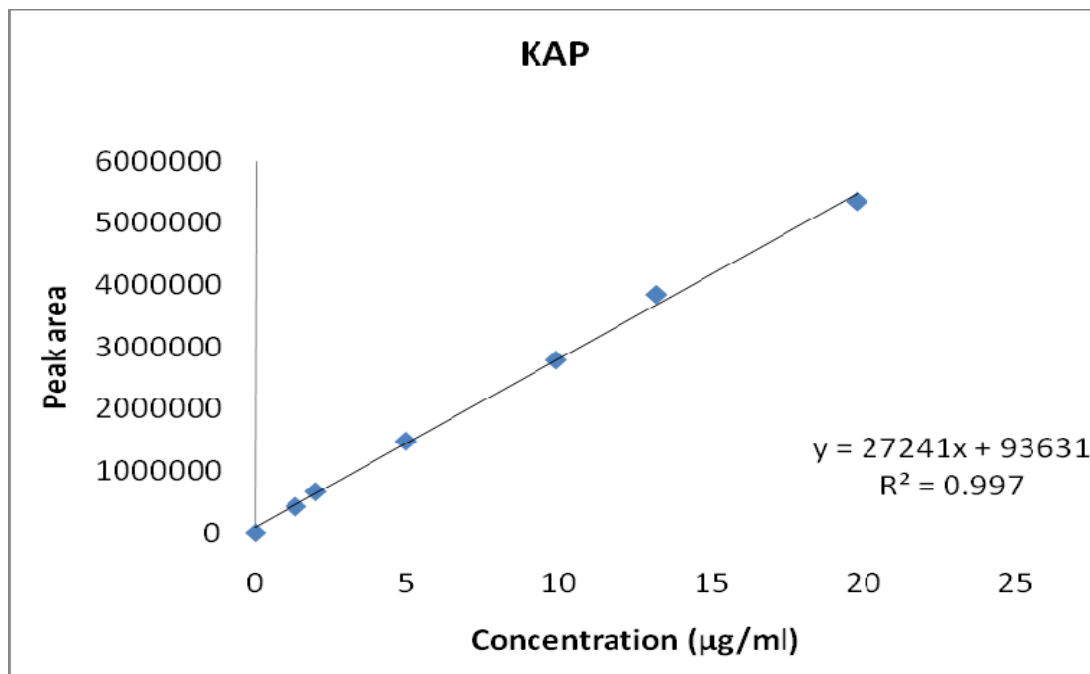
ภาพภาคผนวกที่ 4 : กราฟมาตรฐานของสาร neohesperidin



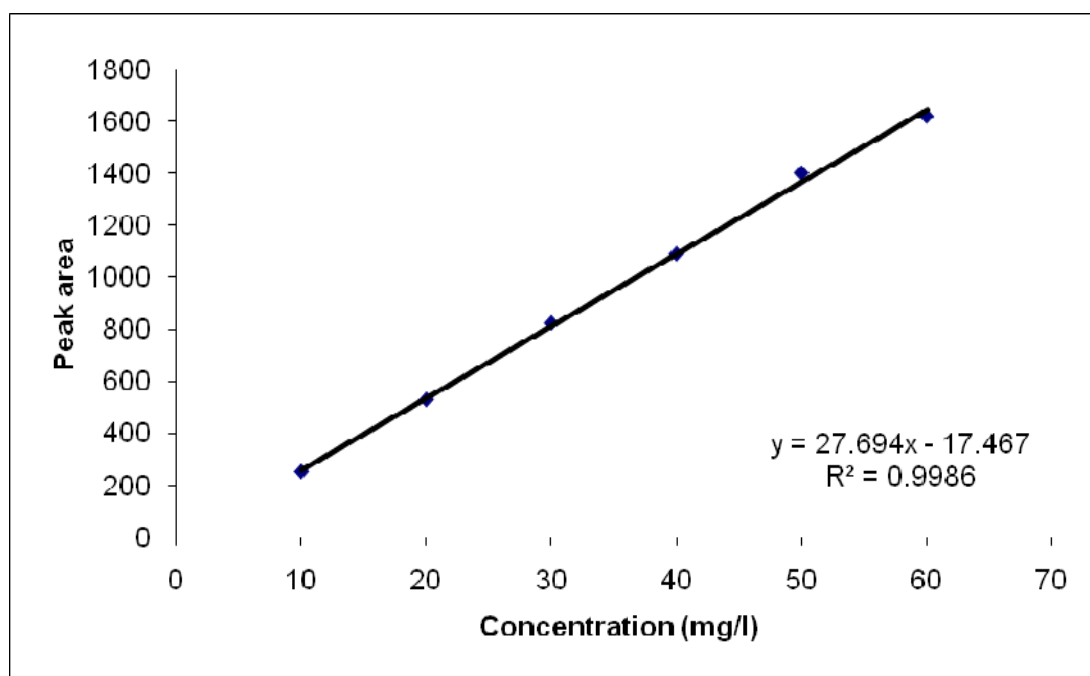
ภาพภาคผนวกที่ 5 : กราฟมาตรฐานของสาร quercetin



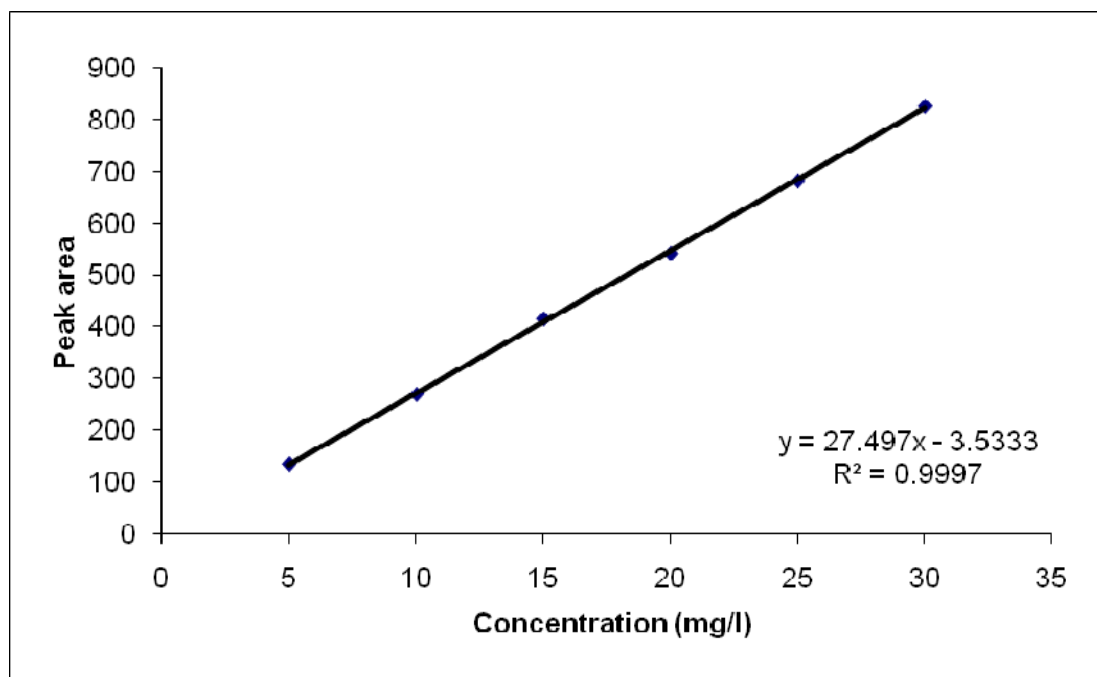
ภาพภาคผนวกที่ 6 : กราฟมาตรฐานของสาร apigenin



ภาพภาคผนวกที่ 7 : กราฟมาตรฐานของสาร kaempferol



ภาพภาคผนวกที่ 8 : กราฟมาตรฐานของสาร Cyanidin 3-glucoside



ภาพภาคผนวกที่ 9 : กราฟมาตรฐานของสาร Delphinidin 3-glucoside

ภาคผนวกที่ 4

การประเมินสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอพันธุ์ทองดีในประเทศไทยเพื่อการส่งออก

EVALUATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT CAPACITIES OF PUMMELO CV. “THONG DEE” IN THAILAND FOR EXPORT

ธีรพงษ์ เทพกรณ์ และ เสาวภา ไชยวงศ์

Theerapong Theppakorn and Saowapa Chaiwong

School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, 333 Moo. 1, Tasud, Muang, Chiang Rai

57100 e-mail: theerapong@mfu.ac.th

บทคัดย่อ: ตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีที่ระยะความแก่เพื่อการส่งออกได้ถูกเก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงราย นครพนม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช นำมาวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ 6 ชนิด พร้อมทั้งประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยตรวจวัดความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) และความสามารถในการรีดิวซ์ (FRAP-assay) พบว่าส้มโอจากนครศรีธรรมราช มีปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด 71.37 มิลลิกรัม/100 มิลลิตร และ 67.15 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ชนิดของฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดที่ส้มโอพันธุ์ทองดีคือ นารินจิน ซึ่งพบปริมาณสารนารินจินมากที่สุดในส้มโอจากนครศรีธรรมราช การประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าส้มโอมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ในช่วง 148.44-231.98 $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ ในขณะที่ความสามารถในการรีดิวซ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และนารินจิน) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและนารินจินมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการรีดิวซ์ของส้มโอพันธุ์ทองดี

Abstract: The pummelos cv. “Thong Dee” (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) were harvested from Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST) provinces at optimum maturity for export. The contents of vitamin C, total phenolic compounds and 6 flavonoids were determined. The antioxidant capacities were evaluated by DPPH-radical scavenging activity (DPPH-assay) and ferric reducing power activity (FRAP-assay). Among pummelos collected, the pummelo from NST had the highest vitamin C and phenolic compounds (71.37 mg/100ml and 67.15 mgGAE/100g, respectively). The major flavonoid in pummelos cv. “Thong Dee was naringin in which the highest value was found in samples from NST. The evaluation of antioxidant capacities showed that the DPPH-radical scavenging activity varied from 148.44-231.98 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ whereas the FRAP-assay had no significant difference among the samples collected. The determination of correlation coefficient (r) between the bioactive compounds (vitamin C, total phenolic compounds and naringin) and antioxidant capacities indicated that phenolic compounds and naringin played a major role in reducing power activity of pummelo cv. “Thong Dee” flesh.

Introduction: Pummelo cv. “Thong Dee” (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) is an economical fruit and the most popular pummelo cultivar in Thailand. The main production areas are Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST) [1]. In recent years, the pummelo has received much attention because of its nutritional and antioxidant properties [2-4]. Besides ascorbic acid, it also contains abundant flavonoids which appears to impact human health. In previous reports, pummelo cv. “Thong Dee” flesh had naringin (26.11 mg/100g) and had no hesperidin and neohesperidin [4]. Generally, the quality and bioactive compounds of pummelo depend on environment, production area, cultivation, and cultural practices. However, there has been no detailed research on bioactive compounds and antioxidant capacity of pummelo flesh cv. “Thong Dee” obtained from all cultivar regions in Thailand. Thus, the main objective of this study was to evaluate bioactive compounds and antioxidant capacity of exported pummelos cv. “Thong Dee” in Thailand.

Methodology: The pummelos cv. “Thong Dee” were harvested from Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST) provinces in September 2008 at optimum maturity for export (70%). The pummelos were harvested from four orchards in each province. The samples were peeled and the flesh was subjected to color determination (Hunter Lab/color Quest XE, USA). The total acidity (TA) was assessed by titration with sodium hydroxide (0.1 N) and expressed as % citric acid. Total soluble solids (TSS) were measured as °Brix using a refractometer. Ascorbic acid was determined by visual titration, using 2, 6-dichlorophenolindophenol [6]. The total polyphenol was measured using Folin-Ciocalteu’s reagent [7]. The result was reported as milligram gallic acid equivalent (GAE) per 100 g flesh. Seven flavonoids in pummelo flesh were analyzed using the method of Mouly et al. [8] with some modifications. Fresh pulp (10 g) was homogenized (10,000 rpm for 1.5 min) with 20 mL of DMF and centrifuged at 7500 g for 30 min. The supernatant was filtered through syringe filter (0.45 µm, PTFE) and then injected into the high-performance liquid chromatography (HPLC) system by an autosampler. Separation of flavonoid compounds was performed using a stainless-steel column (250 x 4.6mm I.D.) packed with C18 Altima, 5 µm (Alltech, USA), equipped with a pre-column (7.5 x 4.6mm I.D.) A binary solvent system of ACN and water with 4% acetic acid was programmed to start at 0% and end at 70% ACN concentration for a 70 min period. The flavonoid peaks were detected at 280 nm and were identified by matching spectra and retention times with those of commercially obtained standards. The antioxidant capacities were evaluated with 2 methods. The radical scavenging activity was measured by using the DPPH-assay [9]. The DPPH-radical scavenging activity was expressed in terms of micromole equivalents of Trolox (TE) per 100 grams of pummelo (fresh weight basis). The ferric reducing power activity (FRAP-assay) was measured and the result was expressed as micromole equivalents of ascorbic acid per 100 grams of sample (fresh weight basis) [10]. The data were subjected to statistical analysis using the Statistical Analysis Software (SAS, 2000). Significant differences between different pummelo cv. “Thong Dee” provinces were tested by the general liner model (GLM). Pummelo samples means were compared by Duncan Multiple Range Test (DMRT) at the 5% level of significance.

Results, Discussion and Conclusion: The pummelos cv. “Thong Dee” were harvested at the maturity for export from Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST) provinces. The quality parameters including TSS, TA, TSS/TA ratio, color values and some chemical compositions are shown in Table 1. The TSS varied slightly among provinces (ranging from 8.3-10.90). Normally, TSS level of exported pummelo should be more than 8% to indicate fruit maturity for export according to National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards [11]. The TSS/TA ratios varied slightly among provinces (ranging from 12.24-17.63). The content of vitamin C varied significantly in which the lowest was found in NP and the highest was found in NST. The pummelos collected from NST had the highest phenolic content (67.15 mgGAE/100g) when compared to other provinces.

Seven flavonoids in pummelo flesh (cv. “Thong Dee”) were determined. Standard and typical chromatograms obtained from pummelo flesh are shown in Fig. 1a and 1b. Six flavonoids including hesperidin, neohesperidin, kaempferol, rutin, apigenin and quercetin were not detectable. Only naringin was found and was the most predominant flavonoid in pummelo flesh (cv. “Thong Dee”). Interestingly, there were unknown peaks which cannot be identified. It might be that there are other flavonoids and/or bioactive compounds in pummelo flesh (cv. “Thong Dee”). Our results were in accordance with previous reports that hesperidin and neohesperidin were absence in pummelo flesh. In this study we found that the highest naringin content was found in NST (61.39 mg/100g). The naringin contents in pummelo flesh (cv. “Thong Dee”) collected from CR, NP, NY and PB ranged from 23.73-28.10 mg/100g. In previous report, 26.11 mg/100g of naringin was detected in Tong Dee pummelo flesh (no data of cultivation areas and fruit maturity).

Generally, grapefruits in abroad contained approximately 27 mg total flavonoids per 100 g edible fruit. The flavonoid pattern consisted predominantly of naringin followed by small amount of hesperidin, naringin and neohesperidin [12]. The result obtained in this study revealed that only flavonoid found was naringin. The flavonoids in pummelo flesh (cv. “Thong Dee”) were in the usual range as reported previously except the pummelo cultivated in NST.

Table 1. Quality parameters and some chemical compositions¹

Analysis	CR	NP	NY	PB	NST
TA (%)	0.69+0.08	0.59+0.12	0.67+0.12	0.60+0.09	0.58+0.05
TSS (°Brix)	8.35+0.34c	10.90+0.66a	9.46+0.92bc	9.35+0.64bc	10.30+0.48ab
TSS:TA ratio	12.24+1.26b	18.98+4.90a	14.52+8.57ab	15.21+0.49ab	17.63+1.57a
L*	43.98+2.32a	31.62+4.97b	40.55+4.25a	39.80+6.65a	44.24+2.73a
a*	0.89+0.85b	2.95+1.34a	2.79+1.47a	1.20+0.54b	1.81+0.54ab
b*	10.23+1.26c	28.75+6.55a	9.34+1.28c	17.27+3.10b	13.98+1.26c
Vitamin C (mg/100ml)	50.91+2.51c	30.30+3.51e	54.33+4.91b	45.78+1.54d	71.37+2.57a
Total polyphenol (mgGAE/100g)	52.65+7.38b	58.55+3.77b	49.83+7.69b	53.49+1.48b	67.15+5.07a
Naringin (mg/100g)	28.10+8.66b	23.73+3.77b	26.44+3.21b	24.65+6.73b	61.39+6.82a

¹ Different letters in the same row for DMRT test indicate significant differences (p<0.05)

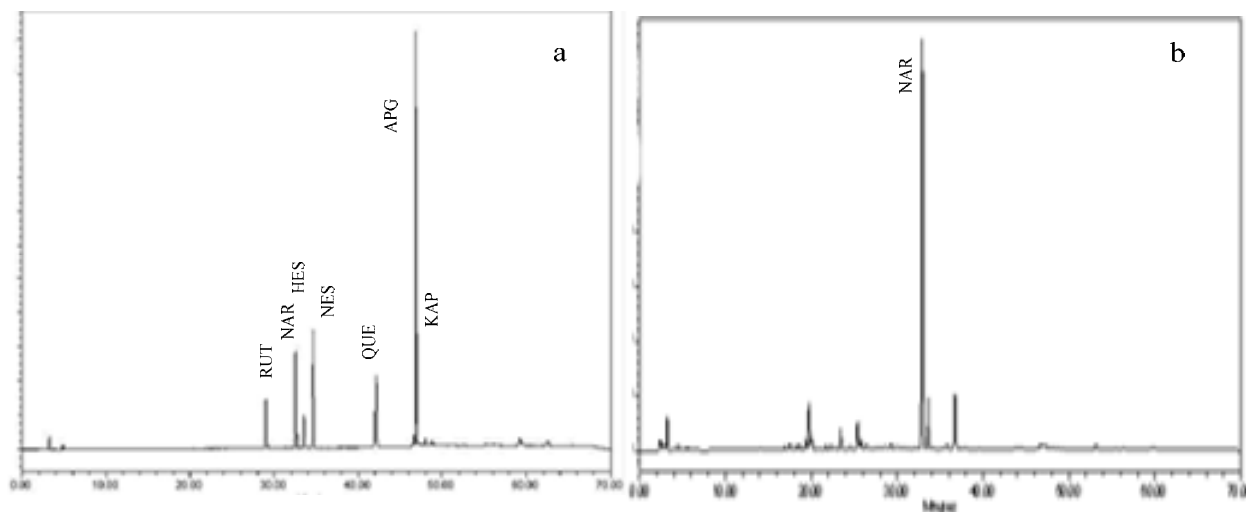


Figure 1. HPLC chromatograms of flavonoid standards (a) and typical pummelo flesh cv. “Thong Dee” (b)

The antioxidant activities of pummelos were evaluated using DPPH-assay and FRAP-assay (Table 2). DPPH and FRAP-assay of pummelos were in a range from 148.44-231.98 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$ and 168.77-251.77 $\mu\text{mol ascorbic acid}/100\text{ g}$. The highest DPPH value and FRAP value were observed in NST. However, these values were not clearly different from others as found in vitamin C, total polyphenol and naringin contents (Table 1).

Table 2. Total antioxidant capacity of pummelo cv. ‘Thong Dee’ flesh from five provinces¹

Analysis	CR	NP	NY	PB	NST
DPPH-assay	231.98 $\pm$ 17.45a	200.82 $\pm$ 9.52ab	148.44 $\pm$ 34.58c	176.59 $\pm$ 4.95bc	226.08 $\pm$ 16.68a
FRAP -assay	168.77 $\pm$ 10.86	213.36 $\pm$ 32.60	197.18 $\pm$ 32.26	206.46 $\pm$ 16.65	251.77 $\pm$ 15.42

¹ Different letters in the same row for DMRT test indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

Correlation coefficients (r) between the bioactive compounds (vitamin C, total phenolic compounds and naringin) and antioxidant capacities were determined and shown in Table 3. It was found that vitamin C had weak correlated to DPPH-assay ($r = 0.1784$) and moderately correlated to FRAP-assay ($r = 0.4535$). The naringin and total polyphenol were fairly correlated to DPPH-assay and FRAP-assay. However, significant correlations were found only FRAP-assay. According to Gorinstein *et al* (2001), the antioxidant activity of citrus fruits such as oranges, lemons, and limes is mainly attributable to vitamin C and phenolic substances [13]. Our results indicated that phenolic compounds and naringin played a major role in antioxidant activity (FRAP-assay) of pummelo cv. ‘Thong Dee’.

Table 3. Correlation coefficients of linear regression between the bioactive compounds and the antioxidant capacity of pummelo cv. ‘Thong Dee’ flesh from five provinces

Antioxidant component	Correlation coefficients (r)	
	DPPH assay ($\mu\text{mol}/\text{TE}$ 100g FW)	FRAP assay ($\mu\text{mol}/\text{AA}$ 100g FW)
Vitamin C (mg/100 ml)	0.1784	0.4535
Naringin (mg/100g)	0.4187	0.6257*
Totalpolyphenol (mgGAE/100g)	0.4905	0.8721**

* Correlation is significant at the 5% level.

** Correlation is significant at the 1% level.

References:

1. Department of Agricultural Extension (2008) Pummelo cv. “Thond Dee” cultivation area in Thailand.
2. Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y. and Shi, J. (2008) Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China, Food Chemistry, 106 : 545–551
3. Wang, Y., Chuang, Y. and KuQ, Y. (2007) Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan, Food Chemistry, 102 : 1163–1171
4. Wattanasiritham, L., Taweek, K. and Ratanachinakorn, B. (2005). Limonin and Naringin in Pummelos (*Citrus grandis* (L.) Osbeck). 31st Congress on Science and Technology at Suranaree University of Technology, 18-20 October 2005.
5. Kelebek, H., Canbas, A. and Serkan Selli, S. (2008) Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey Food Chemistry , 107 :1710–1716
6. Rapisarda, P. and Intelisano, S. (1996). Sample preparation for vitamin C analysis of pigmented orange juices. Italian Journal of Food Science, 8, 251–256.
7. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. Jr., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144–158.
8. Mouly, P., Gaydou, E. M., & Auffray, A. (1998). Simultaneous separation of flavanone glycosides and polymethoxylated flavones in citrus juices using liquid chromatography. Journal of Chromatography A, 800, 171–179.
9. Yen, G. H., & Chen, H. Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 43, 27–32.
10. Yen, G. C., & Duh, P. D. (1994). Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active oxygen species. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42, 629–632
11. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2009). Pummelo. Available: (<http://www.acfs.go.th/standard/download/eng/pummelo.pdf>) (17 July 2009)
12. Petersona, J.J., Beecherb, G. R., Bhagwatc, S. A., Dwyera, J. T. Gebhardt, S. E. , Haytowitzc, D. B. and Holdenc, J. M. (2006) Flavanones in grapefruit, lemons, and

limes: A compilation and review of the data from the analytical literature , Journal of Food Composition and Analysis, 19 : S74–S80

13. Gorinstein, S., Martijn, B. O., Park, Y. S., Haruenkit, R., Lojek, A., Cö ıjz˘, M., Caspi, A., Libman, I. and Trakhtenberg, S. (2001) Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. Food Chemistry, 74, 309-315.

Keywords: Antioxidant capacities, Bioactive compound, Naringin, and Pummelo



ISSAAS 2009

INTERNATIONAL CONGRESS

**AGRICULTURE FOR BETTER LIVING
AND GLOBAL ECONOMY**



The International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences
in collaboration with
Kasetsart University, Thailand
January 11 - 15, 2010
Nong Nooch Tropical Botanical Garden & Resort, Pattaya, Thailand

**Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pink Pummelo
cv. "Thong Dee" (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) in Thailand**

Saowapa Chaisong and Theerapong Theppakorn
School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University
333 Moo. 1, Tasud, Muang, Chiang Rai 57100 Thailand
* Corresponding author. E-mail address: saowapa@mflu.ac.th*

Abstract

The pink pummelos cv. "Thong Dee" (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) at 80% maturity were harvested from Chiang Rai (CR), Nakhon Pathom (NP), Nakhon Nayok (NY), Prachin Buri (PB), and Nakhon Si Thammarat (NST) provinces for consuming in domestic market. The contents of vitamin C, total phenolic compounds and seven flavonoids were determined. The total antioxidant capacities were also determined by both the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay. The highest contents of vitamin C (74.63 mg/100 ml) and total phenolic compounds (94.93 mgGAE/100g FW) were found in pummelos from NST and CR, respectively. Naringin was the major flavonoid compounds in pummelo and had the highest content in sample from NST (71.90 mg/100g FW). The highest antioxidant capacities (DPPH-assay) were found in pummelo from NST and CR whereas there was no significant difference among samples in FRAP-assay. Overall, pummelo from NP had the lowest vitamin C (32.94 mg/100 ml), total phenolic compounds (54.87 mgGAE/100g FW), and antioxidant capacity (DPPH-assay) (164.23 μ molTrolox/100 g FW).

Keywords

pummelo, antioxidant capacity, naringin, total phenolic compounds, vitamin C

References

- Benavete-Garcia, O., Castillo, J., Martin, F.R., Ortuno, A. and Del Rio, J.A. 1997. Use and properties of Citrus flavonoids. *J. Agr. Food Chem.* 45 : 45055-4515.
- Mouly, P., Gaydou, E. M., & Auffray, A. 1998. Simultaneous separation of flavanone glycosides and polymethoxylated flavones in citrus juices using liquid chromatography. *J. Chromatogra A* 800, 171-179.
- Wang, Y., Chuang, Y. and Ku, Q. Y. 2007. Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan. *Food Chem.* 102 : 1163-1171.
- Wattanasiritham, L., Taweek, K. and Ratanachinakorn, B. 2005. Limonin and Naringin in Pummelos (*Citrus grandis* (L.) Osbeck). In *Proc. 31st Congress on Science and Technology*, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.
- Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y. and Shi, J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chem.* 106 : 545-551.



Abstracts

การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ ๙
The 9th National Horticultural Congress 2010
พัฒนาพืชสวนไทยเพื่อไทยเข้มแข็ง

11 – 14 พฤษภาคม 2553

ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา

จัดโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



ความแปรปรวนของสารออกฤทธิ์กลุ่มฟลาโวนอยด์ในส้มโอไทย
Variation of Bioactive Flavonoids in Thai Pummelos

เสาวภา ไชยวงศ์¹ อธิพงษ์ เทพกรณ์² และ กรกช ชันจิรกุล³
Saowapa Chaiwong¹ Therapong Theepakorn² and Korakot Chanjirakul³

Abstract

Citrus flavonoids have been shown to possess biological activities such as anti-inflammatory properties, cholesterol lowering, and anti-cardiovascular properties. In this study, the five pummelo cultivars including 'Thong Dee', 'Kao Nam Pheung', 'Kao Tang Gwa', 'Kao Yai', and 'Tub Tim Siam' were collected from major cultivation areas in Thailand (20 orchards/cultivar). The pummelos were harvested at 80% maturity level (domestic consume). The pummelo maturity was determined by the ratio of total soluble solids (TSS) to titratable acidity (TA). The flavonoid contents were analyzed by the high-performance liquid chromatography (HPLC). The result showed that naringin (NAR) was found to be the major flavonoid in Thai pummelos. However, rutin (RUT), hesperidin (HES), neohesperidin (NEH), quercetin (QUE), apigenin (APG), kaempferol (KAP) and naringenin (NGN) did not found in five pummelo cultivars. 'Tub Tim Siam' cultivar had the highest naringin content (84.55 mg/100g FW) when compared to four cultivars (34.64-38.25 mg/100g FW). In addition, Tub Tim Siam' cultivar had also the highest TSS:TA ratio level (35:1) whereas 'Kao Yai' and 'Kao Nam Pheung' cultivars had the lowest levels (17:1). Interestingly, the highest naringin contents were found in pummelos from Nakhon Si Thammarat province ('Thong Dee' and 'Tub Tim Siam' cultivars). This study provides valuable information on flavonoid composition of Thai pummelos commonly available in domestic market.

Key words: Pummelo, Flavonoids, Naringin

บทคัดย่อ

สารฟลาโวนอยด์ของพืชตระกูลส้มมีผลควบคุมทางชีวภาพต่อสุขภาพเช่น สมบัติการต้านการอักเสบ ลดระดับคอเลสเตอรอล และสมบัติป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมส้มโอห้าพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม จากแหล่งปลูกส้มโอที่สำคัญของประเทศไทย (20 สวน/พันธุ์) โดยเก็บเกี่ยวส้มโอที่ระดับความสุก 80% เพื่อการบริโภคภายในประเทศ และประเมินความบริสุทธิ์ของส้มโอจากค่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) สำหรับการวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์โดยใช้วิธี high-performance liquid chromatography (HPLC) ผลการทดลองพบว่าสารนารินจินเป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญของส้มโอไทย อย่างไรก็ตามไม่ตรวจพบสาร rutin (RUT) hesperidin (HES) neohesperidin (NEH) quercetin (QUE) apigenin (APG) kaempferol (KAP) และ naringenin (NGN) ในส้มโอทั้งห้าพันธุ์โดยพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณสารนารินจินมากที่สุด (84.55 mg/100g FW) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโออีกสี่พันธุ์ (34.64-38.25 mg/100g FW) นอกจากนี้พันธุ์ทับทิมสยามมีค่าอัตราส่วน TSS:TA มากที่สุดเช่นกัน (35:1) ขณะที่พันธุ์ขาวใหญ่และขาวน้ำผึ้งมีปริมาณน้อยที่สุด (17:1) และเป็นที่น่าสนใจว่าส้มโอทั้งห้าพันธุ์ทองดีและทับทิมสยามจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณสารนารินจินมากที่สุดใน การศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลองค์ประกอบของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอไทยสำหรับตลาดภายในประเทศ

คำสำคัญ: ส้มโอ ฟลาโวนอยด์ นารินจิน

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการผลิตเกษตรและการบรรจุ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100

² Technology Management of Agricultural Products and Packaging Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai 57100

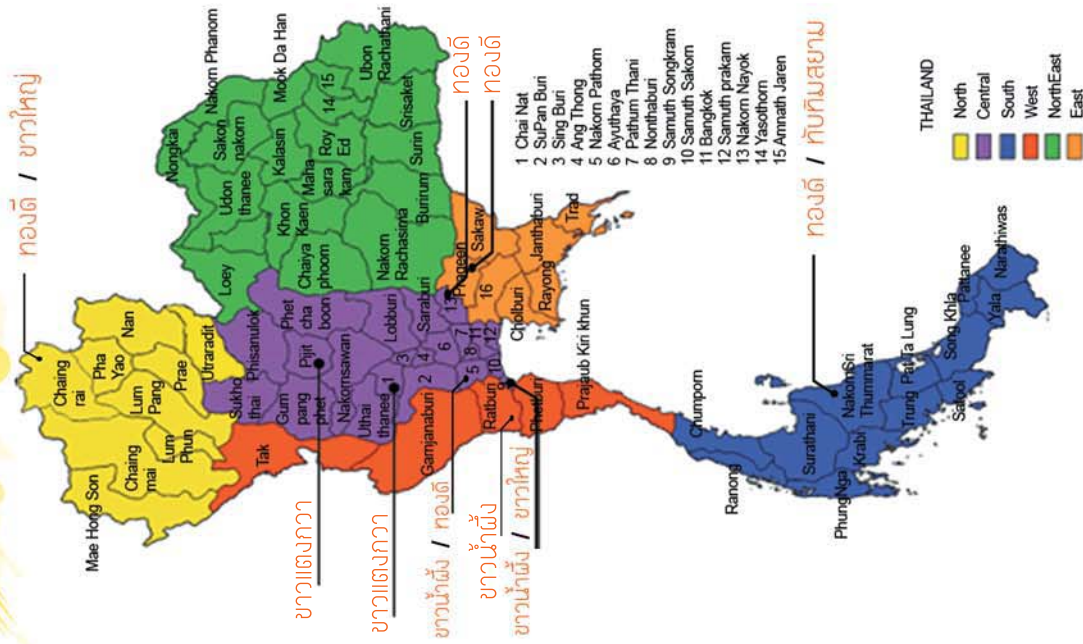
³ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100

² Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai 57100

³ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม 73000

³ Department of Biology, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Nakhon Pathom 73000

แหล่งปลูกส้มโอที่สำคัญ
ของประเทศไทย



สนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ชุดโครงการ Thai Fruits-Funtional Fruits



ดำเนินการโดย

อาจารย์เสาวภา ไชยวงศ์
ดร.ธีรพงษ์ เทพกรณ์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

พศ.ดร.สุรjit ส่วนไพโรจน์
ดร.โรมรัน ชูศรี
อาจารย์อรรณ ขนกันทร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม

อาจารย์สาวกา ไชยวงศ์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
333 หมู่.1 ตำบลท่าสัด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

โทรศัพท์ : 053-916738 โทรสาร : 053-916739

www.mfu.ac.th/school/agro/web

ส้มไทย...
ผลไม้สุขภาพ
Thai Pummelo...
A Fruit for Health



ព្រះបាទជ័យវរ្ម័នទី៧

២១ ឆ្នាំ ១ ឆ្នាំ

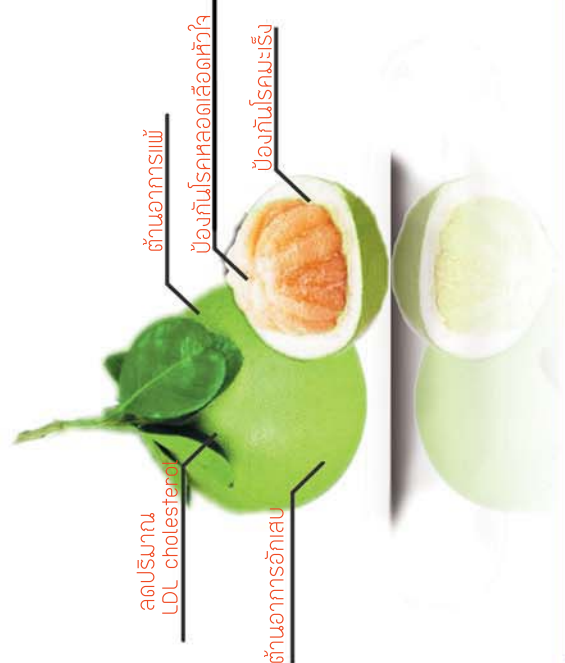
១) ក្នុងករណីនេះ យើងបានឃើញពីការប្រែប្រួលនៃស្ថានភាពសេដ្ឋកិច្ច

ՅԱՅԻՄԱՆՏՐՈՇԵՆԻԼԵՔՈՂՈՍԵՐՈՒՄ

កម្រិតការងារដែលបានបំពេញ

ส้มโอไทย... ผลไม้เพื่อสุขภาพ

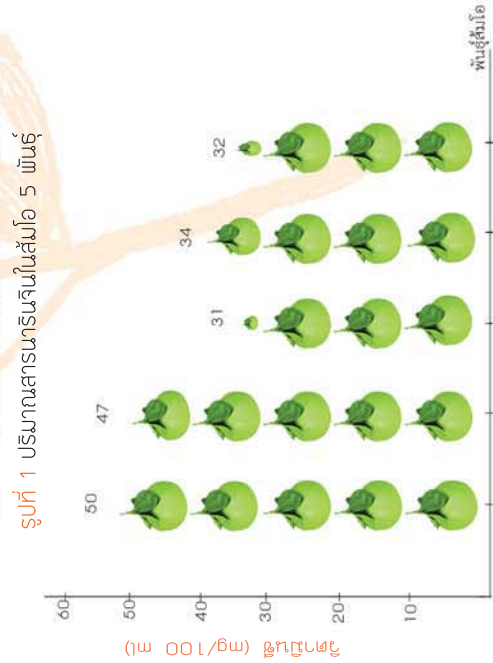
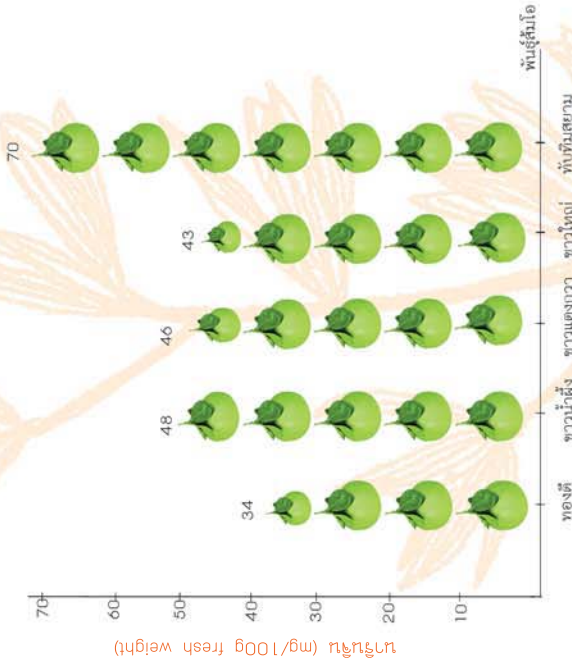
ส้มโอ (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) เป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีศักยภาพในการส่งออกและนิยมบริโภคภายในประเทศ จากข้อมูลการส่งออกส้มโอใน 5 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยสามารถส่งออกส้มโอไปต่างประเทศมากถึง 120 ล้านบาท/ปี โดยประโยชน์ของพืชตระกูลส้มนอกเหนือจากเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงแล้วยังเป็นแหล่งของสารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งการป้องกันและรักษาโรคต่างๆ โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวิตามินซี ซึ่งมีคุณสมบัติต่อสุขภาพดังนี้



ส้มโอพันธุ์การค้าของประเทศไทยที่นิยมปลูกในปัจจุบันได้แก่ พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวาขาวใหญ่ และทับทิมสยาม เป็นต้น

- 1. พันธุ์ทองดี :** ผลมีขนาดโตปานกลางในเปลือกมีสีชมพูเรื่อๆ ผนังกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมีสีชมพู เบียดกันแน่น นุ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมีขนาดเล็กเป็นพันธุ์ที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปและส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ
- 2. พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง :** เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาวอมชมพู กุ้งมีสีเหลืองอมน้ำตาล หรือสีน้ำผึ้งขนาดกุ้งค่อนข้างใหญ่เบียดกันแน่น มีน้ำมากแต่ไม่ฉ่ำ มีรสหวานอมเปรี้ยว แผลงปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี
- 3. พันธุ์ขาวแตงกวา :** เป็นพันธุ์ที่กำเนิดใน จ.ชัยนาท มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ เปลือกชั้นในมีสีขาว กุ้งมีขนาดใหญ่ อยู่ในลักษณะเบียดกันไม่แตกจากกันง่าย รสหวานแหลม ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียวและขมติดลิ้น
- 4. พันธุ์ขาวใหญ่ :** เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในจังหวัดสมุทรสงคราม มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ กุ้งสีขาวอมเหลืองจนถึงสีน้ำตาลอ่อนออกชมพูเล็กน้อย กุ้งเกาะตัวกันแน่น ไม่หลุดร่วงง่าย รสชาติหวาน มีอมเปรี้ยวเล็กน้อย
- 5. พันธุ์ทับทิมสยาม :** เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในอำเภอปากพะมึง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลขนาดใหญ่ หัวจับ กุ้งสีแดงถึงแดงจัด กุ้งเกาะตัวกันแน่น รสชาติหวาน มีอมเปรี้ยวเล็กน้อย

ส้มโอไทยเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงและมีสารสำคัญกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่เรียกว่าสาร "นารินจิน" (naringin) ซึ่งพบในปริมาณมากที่สุดถึง 40-60% ของสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณสารนารินจินมากที่สุด (70 mg/100g FW) สำหรับพันธุ์ทองดีและขาวน้ำผึ้งมีปริมาณวิตามินซีสูงสุด (50 mg/100ml)



รูปที่ 1 ปริมาณสารนารินจินในส้มโอ 5 พันธุ์

รูปที่ 2 ปริมาณวิตามินซีในส้มโอ 5 พันธุ์