

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเกี๋ยงและการใช้ประโยชน์ของผลมะเกี๋ยง

มะเกี๋ยง เป็นผลไม้พื้นเมืองขึ้นตามภาคเหนือของประเทศไทย ผลผลิตเป็นสินค้าแปรรูปได้หลายชนิดมีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน มีกลิ่นหอมและสีตามธรรมชาติ โดยน้ำมะเกี๋ยงอุดมด้วยวิตามินและมีฤทธิ์ทางยาหลายๆ ด้าน มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) จัดเป็นสารประกอบฟีนอลิก ผลมะเกี๋ยงสดมีองค์ประกอบทางเคมี (ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม) ดังนี้ โปรตีนร้อยละ 6.64 กรดไขมันร้อยละ 2.41 เถ้าร้อยละ 4.57 โยอาหารร้อยละ 26.32 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 59.91 พลังงานทั้งหมด 297.58 กิโลแคลอรี แคลเซียม 408.60 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 87.32 มิลลิกรัม เหล็ก 3.50 มิลลิกรัม วิตามินเอ (beta carotene) 4574.80 หน่วยสากล (international unit: IU) วิตามินบี 2 717.30 ไมโครกรัม วิตามินบี 3 357.44 ไมโครกรัม วิตามินอี 14 IU วิตามินซี 12.80 มิลลิกรัม ผลมะเกี๋ยงจึงมีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย โดยมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการเสริมสร้างกระดูกและฟันให้แข็งแรง ควบคุมการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อรวมทั้งการเต้นของหัวใจ วิตามินเอ (beta carotene) ช่วยบำรุงสายตา วิตามินบี 1 ช่วยบำรุงประสาทและป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก และวิตามินอีช่วยในการลดหรือป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และต่อกระดูก ป้องกันโรคข้ออักเสบ ชะลอการแก่ก่อนวัย เสริมสร้างกระดูก โรคความจำเสื่อม โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โรคพาร์กินสัน อีกทั้งยังช่วยสังเคราะห์ acetylcholine ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการถ่ายทอดและส่งสัญญาณของเซลล์ประสาทนอกจากนี้ยังช่วยในการดูดซึมวิตามินบี 12 และช่วยให้เลือดแข็งตัวขณะที่เกิดบาดแผล (ศรีสุดา, 2546)

2.2 หม่อนและการใช้ประโยชน์ของผลหม่อน

หม่อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* เป็นพืชที่ปลูกในหลายประเทศ โดยใบหม่อนเป็นแหล่งที่สำคัญของอาหารสำหรับตัวไหม (*Bombyx Mori*) ส่วนผลหม่อน (mulberry fruit) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกหม่อนเพื่อเลี้ยงไหม มีลักษณะผลแบบผลรวม (collective fruit) ผลหม่อนสุกมีลักษณะอวบน้ำมีสัดส่วนความเปรี้ยวและหวานสมดุลกัน เป็นผลไม้อีกหนึ่งชนิดหนึ่งที่ได้รับการศึกษาแล้วว่ามีส่วนแอนโทไซยานิน (anthocyanin) สารประกอบเคออลิควิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางด้านยาสมุนไพร เช่น ใช้แก้โรคไขข้ออักเสบ โรคภูมิแพ้ โรคโลหิตจาง ซาตามเจนซา นอนไม่หลับ บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต บำรุงไต บำรุง

สาขาศึกษาการอักเสบของลำคอ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจอุดตัน รวมไปถึงโรคมะเร็ง (Du *et al.*, 2008) และในผลหม่อนสุกมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ เช่น คาร์โบไฮเดรต 21.35 กรัม/100 กรัม เหล็ก 43.48 มิลลิกรัม/100 กรัม วิตามินบีหนึ่ง 50.65 มิลลิกรัม/100 กรัม และวิตามินบีหก 390.10 มิลลิกรัม/100 กรัม เป็นต้น (วสันต์, 2546)

พันธุ์หม่อนรับประทานผลหรือหม่อนผลสดที่ปลูกในประเทศไทย (วสันต์, 2546)

1) พันธุ์เชียงใหม่ พบว่ามีปลูกในภาคเหนือ ปลูกกระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบนและในหมู่บ้านชาวไทยภูเขา เขตภูเขาสูงของภาคเหนือ ต้นหม่อนที่มีอายุ 3 ปี ให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณ 600 – 700 กิโลกรัม/ไร่/ปี และเมื่อต้นหม่อนมีอายุมากขึ้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นในช่วงฤดูฝนจะให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี ผลหม่อนพันธุ์เชียงใหม่จะมีลักษณะเด่น คือ มีผลขนาดใหญ่ อวบน้ำ รสชาติหวานกลมกล่อม เหมาะสำหรับบริโภคสด และการแปรรูป ขยายพันธุ์ได้ง่าย และสามารถกำหนดเวลาในการให้ผลผลิตได้ด้วยวิธีการบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดูกาล

2) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คือพันธุ์จินเบอร์ 44 ให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 3,500 กิโลกรัม/ไร่/ปี และให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่/ปี ใบหม่อนมีลักษณะนุ่มหนาปานกลาง เหี่ยวช้า และทนทานต่อโรคราแป้ง

3) พันธุ์ศรีสะเกษ 33 เป็นหม่อนลูกผสมเปิดของหม่อนพันธุ์ Jing Mulberry จากประเทศจีน มีคุณลักษณะต้านทานต่อโรคใบด่างได้ดีกว่าหม่อนพันธุ์อื่น ๆ มีผลค่อนข้างใหญ่สามารถนำผลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ดี และให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ ปีละ 1,500 กิโลกรัม/ไร่

2.3 กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ให้เข้มข้นโดยวิธีการระเหยภายใต้สูญญากาศ

ผลไม้สามารถนำไปแปรรูปเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม และน้ำผลไม้เข้มข้นได้ โดยน้ำผลไม้พร้อมดื่มมีจุดอ่อนคือ ปริมาณที่มาก ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ และไม่สะดวกในการขนส่ง แต่หากเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นแล้วช่วยลดพื้นที่ในการขนส่งได้ นอกจากนี้ น้ำผลไม้เข้มข้นมีความเสี่ยงต่อการสูญเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ต่ำ ซึ่งการทำให้เข้มข้นใช้หลักการการระเหยน้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือด แล้วคงไว้ ณ อุณหภูมิดังกล่าวในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ โดยทั่วไปในการระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้สามารถทำให้เข้มข้นได้ประมาณ 55-56 องศาบริกซ์ (ศรีศักดิ์, 2541)

ขั้นตอนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น เริ่มจากการสกัดน้ำผลไม้ก่อน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การบดหยาบ และการคั้นน้ำผลไม้ กรรมวิธีที่ใช้ในการสกัดน้ำผลไม้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ และลักษณะของน้ำผลไม้ที่ต้องการ โดยการบดหยาบ

เป็นขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวของผลไม้ให้มากขึ้น เพื่อง่ายต่อการคั้นน้ำผลไม้ โดยไม่ต้องใช้แรงอัดสูง ส่วนการคั้นน้ำผลไม้ เป็นขั้นตอนการสกัดของเหลวออกจากชิ้นส่วนของผลไม้โดยการคั้น ซึ่งทำได้หลายวิธี คือ การใช้ผ้าขาวบางห่อแล้วใช้ไม้กดทับไว้หรือใช้มือบีบ ใช้เครื่องมือกดแบบตะแกรง (basket press) หรือใช้เครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก หรืออาจมีการให้ความร้อนก่อนการสกัด นอกจากนี้อาจมีการใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน เพื่อเพิ่มปริมาณของเหลวที่สกัดออกมามากขึ้น

การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นซึ่งเป็นกระบวนการแยกหรือระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1) การทำให้เข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) เป็นการทำให้อาหารที่เป็นของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งมีหลักการ คือการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวให้ต่ำกว่าจนกระทั่งอาหารบางส่วนแข็งตัว อาหารในช่วงนี้มีลักษณะเป็นกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (slurry) เพราะในอาหารเหลวประกอบไปด้วยผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) อยู่รวมกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้อาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากน้ำในอาหารเหลวบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ถ้าผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในสภาวะที่เหมาะสมผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มาก เมื่ออาหารเหลวมีลักษณะเป็น slurry แล้วก็จะทำการแยกเอาผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้คืออาหารเหลวที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง คือ ความเข้มข้นของอาหารที่ได้ต่ำกว่าวิธีการระเหย ซึ่งถ้าใช้วิธีการระเหยจะทำให้ได้อาหารที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70-95 แต่ถ้าทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะได้อาหารที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 40-55 (Marcus and Daryl, 2003)

2) การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ (vacuum evaporation) วิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ (vacuum evaporation) วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารหรือผลไม้ที่มีสารที่ไม่ทนต่อความร้อน (heat sensitivity) การระเหยใช้สภาวะสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) ซึ่งจะสามารถกำจัดปริมาณน้ำออกจากอาหารเหลวได้มาก โดยไม่ทำลายคุณภาพของส่วนประกอบที่ไวต่อความร้อนมากนัก เนื่องจากในสภาพสุญญากาศ (vacuum) จะทำให้น้ำระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ (รุ่งนภา, 2535) เครื่องมือที่ใช้ในการทำเข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้เข้มข้นได้แก่เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบโรตารี (rotary vacuum evaporator) และเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบไหลเป็นฟิล์มบาง (climbing film evaporator) ซึ่งกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยเทคนิคนี้มีข้อดีคือ สามารถรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้ไว้ได้มาก เนื่องจากมีการใช้ความร้อนต่ำในการระเหย น้ำออกไป ส่วนข้อด้อยคือ ต้นทุนในการผลิตสูง

3) การระเหยโดยการต้มเดือด (high temperature evaporation) วิธีการนี้ใช้ความร้อนสูงในการระเหยน้ำออก เนื่องจากเป็นการต้มระเหยน้ำภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) วิธีการนี้สามารถทำได้ง่าย ได้น้ำผลไม้ที่มีความเข้มข้นตามต้องการ และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตต่ำ สามารถใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน จึงเหมาะสำหรับการผลิตในครัวเรือน เช่น การทำน้ำตาลปีบจากน้ำอ้อย เป็นต้น ส่วนข้อเสียนั้นมีผลต่อสารหอมระเหยหลายชนิดที่ระเหยง่าย เกิดการสูญเสียระหว่างการผลิต ทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นมีคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติต่ำ และมีการสูญเสียคุณค่าทางด้านโภชนาการของอาหารเหลือ อีกด้วย (รุ่งนภา, 2535)

2.4 อนุมูลอิสระ และสารต้านอนุมูลอิสระ

2.4.1 อนุมูลอิสระ (free radical) คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเล็กตรอนในวงโคจรของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร จึงพยายามจับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียงให้มีอิเล็กตรอนครบคู่เพื่อความเสถียร เมื่อโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงถูกดึงอิเล็กตรอนออกไป ต้องไปจับเอาอิเล็กตรอนจากอะตอมหรือโมเลกุลข้างเคียงตัวอื่นต่อ ๆ ไป เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปไม่มีที่สิ้นสุด และถ้าหากอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ 2 ตัวจับคู่กันพอดี เช่น อนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radical; H[•]) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical; HO[•]) และอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion radical; O₂^{•-}) เป็นต้น จะเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่เสถียร

อนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 4 ชนิด (สุวลี, 2549) ได้แก่

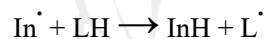
1. ซูเปอร์ออกไซด์ (super oxide) อนุมูลอิสระชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อโมโตคอนเดรียในเซลล์นำออกซิเจนมาใช้เป็นพลังงาน
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) เป็นสารที่มีความเสถียรพอประมาณ คือมากกว่าซิงเลทออกซิเจน และไฮดรอกซิล เรดิคัล จึงปล่อยอิเล็กตรอนออกมาซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์
3. ซิงเลทออกซิเจน (singlet oxygen) เป็นอนุมูลอิสระที่สามารถก่อปฏิกิริยาออกซิเดชันรุนแรง เกิดขึ้นได้ในร่างกายเมื่อได้รับรังสีเอ็กซ์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วจะเกิดซิงเลทออกซิเจน จำนวนมาก
4. ไฮดรอกซิล เรดิคัล (hydroxyl radical) เป็นอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ก่อปฏิกิริยาออกซิเดชันรุนแรงที่สุด ทำให้ร่างกายแก่เร็ว เกิดโรคมะเร็ง

เนื่องจากอนุมูลอิสระมีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่อยู่ในโมเลกุล จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในร่างกาย อนุมูลอิสระมีผลมากในการทำให้เกิดสถานะเสื่อม ทำให้ระดับเซลล์เสียหายได้หลายรูปแบบ เช่น อาจช่วยกระตุ้นให้สารก่อมะเร็งมีฤทธิ์เพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ ทำลายโครงสร้างทางเคมีของ DNA หรือ โครโมโซม ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) และการแบ่งเซลล์ผิดปกติ เป็นสาเหตุของโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคความจำเสื่อม โรคมะเร็ง ต้อกระจก และเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นบนใบหน้า รอบดวงตา ผิวพรรณ อนุมูลอิสระมีที่มาจากแหล่งภายนอกร่างกาย ได้แก่ มลพิษในอากาศ โอโซน ไนโตรสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่น ควันบุหรี่ อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสงแดด ความร้อน รังสีแกมมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยาบางชนิด สารปรุงแต่งอาหาร เป็นต้น (Gutteridge, 1993)

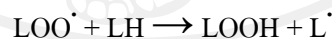
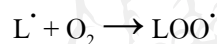
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจัดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (free radical chain reaction) ระหว่างไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและออกซิเจน การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวถูกเร่งให้เร็วขึ้นได้โดยตัวกระตุ้น (initiator) ได้แก่ ไอออนของโลหะ (metal ion) สารที่ไวต่อแสง (photosensitizers) แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet light) และเอนไซม์จำเพาะ กลไกทั้งหมดของปฏิกิริยาออกซิเดชันมี 3 ขั้นตอน (Chaiyasit *et al.*, 2007) คือ

1. ขั้นการเกิดอนุมูลอิสระ (Initiation)



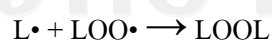
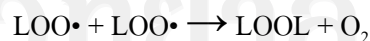
ขั้นตอนนี้เป็นการเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันหรืออนุมูลแอลคิล (alkyl radical; L^\bullet) ซึ่งเกิดจากการที่ไฮโดรเจนแตกออกจากกรดไขมัน (LH) ในสภาวะที่มีตัวกระตุ้น (In^\bullet)

2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (Propagation)



ขั้นตอนนี้เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับอนุมูลอัลคิล เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical; LOO^\bullet) ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอนุมูลอัลคิล ดังนั้นอนุมูลเปอร์ออกซิลจึงสามารถดึงเอาไฮโดรเจนมาจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวอื่นมาเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide; LOOH) และเกิดอนุมูลอัลคิลใหม่

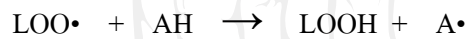
3. ขั้นการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (Termination)



ขั้นตอนนี้เกิดจากการที่อนุมูลอิสระ 2 ตัวทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาก็จะหยุดลง

2.4.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) คือ สารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้น หรือชะลอการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) หรือออโตออกซิเดชัน (autoxidation reaction) ของไขมันได้อย่างช้า ๆ กลไกการทำงานของ สารต้านอนุมูลอิสระ มีหลายแบบ เช่น การขนย้ายออกซิเจนออกไป การยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันมีทั้งสารธรรมชาติ และเป็นสารสังเคราะห์ เช่น วิตามินอี บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) วิตามินเหล่านี้จะพบมากในผัก และผลไม้หลายชนิด ผู้ที่บริโภคผักและผลไม้ที่มีวิตามินเหล่านี้ก็จะทำให้มีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) สารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่สังการ และควบคุมระบบภูมิคุ้มกันทางชีววิทยาที่สำคัญที่สุดของร่างกาย อีกทั้งช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกาย (Hudson, 1990) มักพบสารแอนติออกซิเดนต์ ในอาหารจำพวกผักและผลไม้ ได้แก่ วิตามินอี (vitamin E) ได้จากเมล็ดทานตะวัน วิตามินซี (vitamin C) ได้จากผักใบเขียวทั่วไป แคโรทีนอยด์ (carotenoids) พบในมะเขือเทศ สารประกอบฟีนอล (phenolic) พบในองุ่น สารประกอบเคอควิซีน (quercetin) พบในผลหม่อนและผักพืขึ้นบ้าน ได้แก่ กระถิน ชะพลู และผักชีล้อม เป็นต้น (นวลศรี และอัญญา, 2545)

สารต้านอนุมูลอิสระจะไปหยุดยั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ของอนุมูลอิสระทำให้คงตัว และหยุดการก่อตัวใหม่ มีกลไกการทำงานดังนี้



สารต้านอนุมูลอิสระ (AH) จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเป็นสารที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลสารต้านอนุมูลอิสระที่เสถียร ($\text{A}\cdot$) ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระหรือปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidants) มักพบในอาหารจำพวกผักและผลไม้ ได้แก่ phenolic compounds, amino acid, ascorbic acid, carotenoids, flavonoids, melanoidin, organic acids, reductions, peptides, tannins, quercetin และ tocopherols เป็นต้น (Huang *et al.*, 1992) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) ได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisole (BHA), tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) และ tert-butylhydroquinone (TBHQ) เป็นต้น มีรายงานการวิจัยว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีศักยภาพในการทำให้การเรียนรู้และความจำในภาวะสมองเสื่อมดีขึ้น (Auddy *et al.*, 2003) สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1) primary antioxidant ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ได้แก่ สารประกอบฟีนอล (phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลจากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์

2) oxygen scavenger สารกลุ่มนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซี, ascorbyl palmitate, erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น

3) secondary antioxidant ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร ได้แก่ dialkyl thiopropionate และ thiopropionic acid

4) enzymic antioxidant ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน หรืออนุพันธ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ได้แก่ เอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme

5) chelating agent หรือ sequestrant ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริม และเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร ได้แก่ กรดซิตริก กรดอะมิโน และ ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น

2.4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้มีการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพ ป้องกัน และรักษาโรคต่าง ๆ เพราะเชื่อว่าสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และต้านการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Molyneux, 2004) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญ เพื่อใช้บอกประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ หากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระสูงด้วยเช่นกัน วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธี เช่น oxygen radical absorbance capacity (ORAC), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay และ 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical decolorization assay เป็นต้น

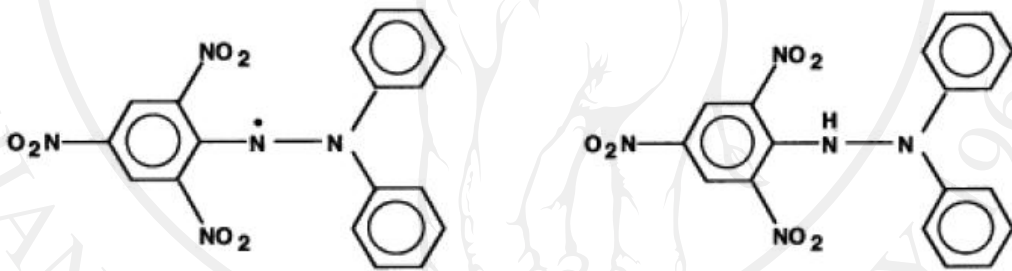
1) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH นี้ มีหลักการที่ สารเคมี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) นี้เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยผสม DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการทดสอบ (AH) ในหลอดทดลอง ซึ่งเกิดปฏิกิริยากันดังสมการนี้



อนุมูลอิสระใหม่ที่เกิดขึ้น ($\text{A}\cdot$) จะทำปฏิกิริยาต่อไป (radical-radical interaction) โดยกระบวนการ radical disproportionation จนกระทั่งได้เป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว (A-A) ดังสมการ



เมื่ออนุมูลอิสระ $\text{DPPH}\cdot$ ได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระที่นำมาทดสอบ สารละลาย DPPH ก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ลดลง



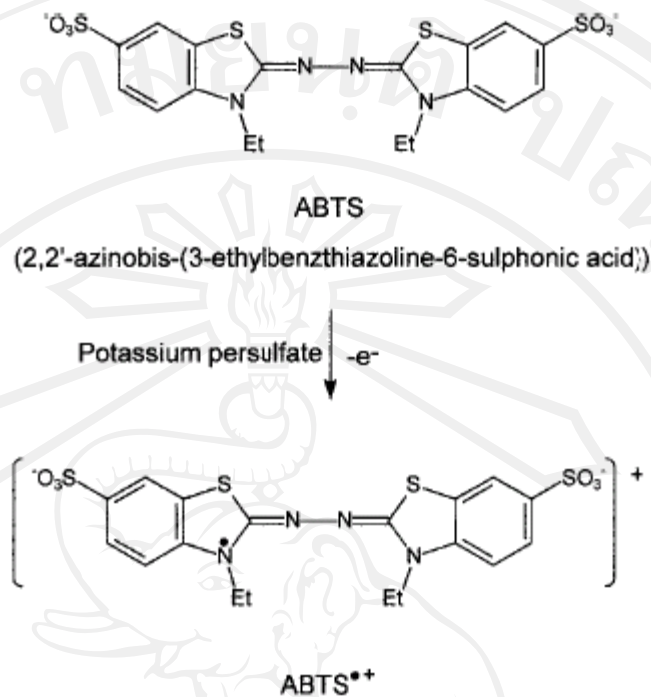
1: Diphenylpicrylhydrazyl (free radical)

2: Diphenylpicrylhydrazine (nonradical)

รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของ DPPH ที่เป็นอนุมูลอิสระ (A.) และไม่เป็นอนุมูลอิสระ (B.)

ที่มา : Molyneux (2004)

2) 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical decolorization assay เป็นการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการคล้ายกับวิธี DPPH คือ สร้างอนุมูลอิสระที่มีสีขึ้น โดยสร้างอนุมูลอิสระจากการทำปฏิกิริยาของสารละลาย ABTS กับ oxidizing agent คือ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) เมื่อ ABTS ถูกออกซิไดซ์ ด้วย oxidizing agent จะเกิด ABTS free radical ($\text{ABTS}\cdot+$) สารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการนำมาทดสอบจะขจัด $\text{ABTS}\cdot+$ ที่เกิดขึ้นแล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm (เฉลิมพงษ์ และ ไชยวัฒน์, 2547) โดยหากค่าการดูดกลืนแสงลดลงมาก หรือสีของสารละลายจางลงมากจะแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี (อนุพงษ์ และคณะ, 2547)



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ ABTS ที่อยู่ในรูปไม่ใช่ออนูคลิอิสระ (A.) และเป็นอนูคลิอิสระ (B.)

3) Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) เป็นการวัดความสามารถรวมในการรีดิวซ์ โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก เฟอร์ริก Fe^{3+} -TPTZ (ferric tripyridyltriazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมของเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านออกซิเดชั่น ได้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงิน คุณคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (Benzie and Strain, 1996)

4) วิธี Oxygen Radical Antioxidant Capacity (ORAC) เป็นปริมาณการจับอนุมูลออกซิเจน คือ การวัดศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ที่จะทำให้อนุมูลอิสระกลายเป็นกลาง (neutralize) ปริมาณค่า ORAC ที่สูงกว่าหรือมากกว่า จะมีผลต่อต้านการทำลายของอนุมูลอิสระได้มากกว่า (Prior *et al.* 2003)

5) วิธี Thiobarbituric Reactive Substances (TBARS) วิธีนี้เป็นการติดตามปริมาณสารประกอบ อัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein; LDL) กับโลหะไอออน เช่น Fe^{2+} Cu^{2+} โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (Pokorny *et al.*, 2001)

6) วิธี Antioxidant Activity ซึ่งการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระของกรดลิโนลิอิก วัดโดยเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงในสารละลายที่มีกรดลิโนลิอิกผสมอยู่ ทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จากนั้นใช้เครื่อง UV Spectrophotometer วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร ค่าที่ได้นี้แปรผันกับความเข้มข้นของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงบ่งบอกได้ถึงความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ ในการต่อต้านการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ (การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ, 2552)

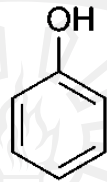
2.5 สารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้และผลหม่อน

ในผลไม้และผลหม่อนมีสารประกอบฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต่อต้านอาการอักเสบ และอาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและไวรัส (Duthie *et al.*, 2000) มีการวิจัยพบว่าในผลไม้และผลหม่อนมีสารเคอร์ซีทิน (quercetin) ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารนี้ก็มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง และป้องกันการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือด (Manach, 2005) รวมทั้งมีสารสี (pigment) ในกลุ่มของแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง (Lazze *et al.*, 2004)

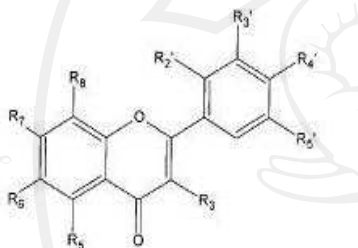
สารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญ และพบในผลไม้และผลหม่อนผลหม่อน คือ สารประกอบฟีนอล สารเคอร์ซีทิน และสารแอนโทไซยานิน

1) สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารที่พบได้ในผักและผลไม้ทั่วไปมีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวน hydroxyl group อย่างน้อยหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล (รูปที่ 2.3) ส่วนมากสารประกอบฟีนอลมักเชื่อมอยู่กับ mono- และ polysaccharides เกิดเป็นโครงสร้างที่หลากหลาย สารประกอบฟีนอลในธรรมชาติจึงมีอยู่หลายชนิด สามารถละลายได้ในน้ำ ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลมักพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่น ๆ นอกเหนือจากน้ำตาล สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และลิกนิน เป็นต้น นอกจากนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกฤต ชนิด และพันธุ์ และปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา ประโยชน์ของ

สารประกอบฟีนอลในการรักษาโรค เช่น มีฤทธิ์ต่อต้านอาการอักเสบ และอาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและไวรัส (Duthie *et al.*, 2000)



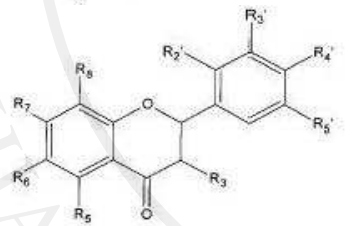
Phenol



A: flavone/ flavonol

quercetin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

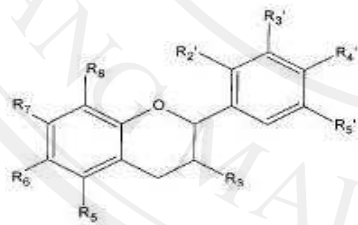
kaempferol = OH : 3, 5, 7, 4'



B: flavanone/ flavanonol

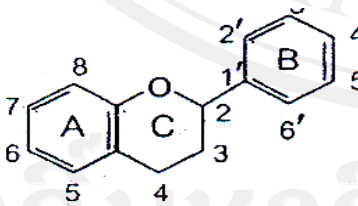
taxifolin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

naringenin = OH : 5, 7, 4'



C: flavanol

catechin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'



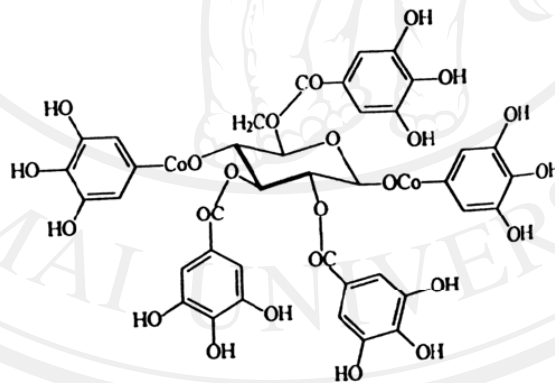
D: anthocyanidin

cyanidin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลบางชนิด
ที่มา: Dzyubak (2007)

2) สารแทนนิน (Tannins) เป็นกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่ได้จากธรรมชาติ พบอยู่ในเปลือกต้น และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ (condensed tannins) และพบได้ในส่วนอื่น ๆ ของพืช เช่น ใบ ฟัก และผลไม้ดิบบางชนิดที่มีรสฝาด (hydrolysable tannins) ได้แก่ พลับ ละมุด กัลยง อุ่น ท้อ แอปเปิ้ล และสาลี่ แทนนินเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน มีรสฝาด (astringency) และมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล คงตัวต่อความร้อน รวมทั้งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ด้วย (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติตกตะกอนโปรตีน จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง แทนนินมีฤทธิ์ฝาดจึงใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ แทนนินมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ แต่ในขณะเดียวกันแทนนินมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร หากรับประทานเข้าไปมากจะทำให้รู้สึกท้องอืด ท้องผูก อาการเหมือนกับดื่มน้ำชาเข้มข้น ๆ ในปริมาณมาก (สถาบันวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย, 2546) แทนนินสามารถจำแนกออกตามสมบัติได้ดังนี้

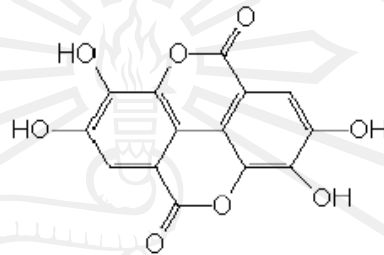
1. แทนนินที่ไฮโดรไลสได้ (hydrolysable tannin) หมายถึง กลุ่มสารประกอบแทนนินที่เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เช่น กรดแกลลิก (galli acid) และกรดเอลลาจิก (ellagic acid)



รูปที่ 2.4 แทนนินที่ถูกไฮโดรไลส

กรดเอลลาจิก (ellagic acid) เป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่พบในธรรมชาติ (รูปที่ 2.5) มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase โดยจับกับทองแดง มีการทดลองประสิทธิภาพของครีมกรดเอลลาจิกในการป้องกัน UV-induced pigmentation พบว่าได้ผลร้อยละ 86 มิ่งานวิจัยในไทยพบของประวีตร (2551) พบว่าในเมล็ดลำไย มีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่ม polyphenol และ bioflavonoids ค่อนข้างสูง และสารสำคัญตัวหนึ่งของการสกัดแยกเมล็ดลำไย

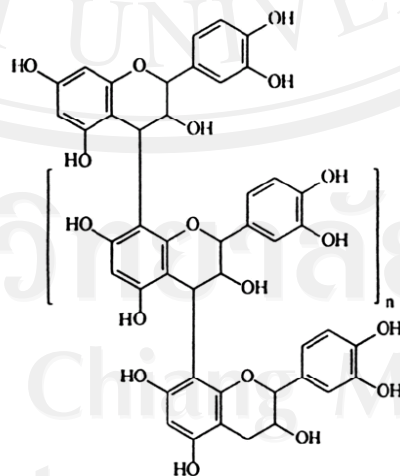
คือ กรดเอลลาจิก ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันมะเร็ง (anticarcinogenic agent) ป้องกันการกลายพันธุ์ (antimutagenic agent) ยับยั้งการสลายกระดูกอ่อน และทำให้ผิวขาว (Bhargava and Westfall, 1968; Khanduja *et al.*, 1999; Mandal and Stoner, 1990; Stoner and Gupta, 2001)



รูปที่ 2.5 กรดเอลลาจิก (ellagic acid)

2. แทนนินที่ไฮโดรไลสไม่ได้ (Nonhydrolysable tannin) คือ ลูโคแอนโทไซยานิน (leucoanthocyanin) เป็นรงควัตถุที่ไม่มีสี มีสูตรโครงสร้างคล้ายแอนโทไซยานิน เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดร้อนจะได้เป็นแอนโทไซยานิดิน ลูโคแอนโทไซยานินเป็นสารที่ทำให้ผลไม้ดิบมีรสฝาด เช่น องุ่น พลับ สาลี่ และแอปเปิ้ล

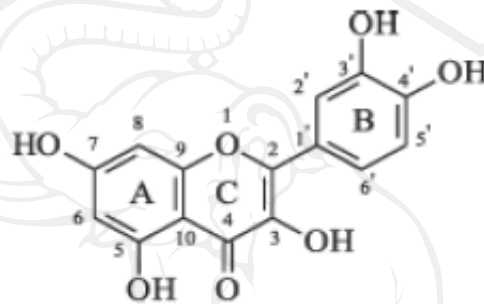
3. โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) หรือ คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannin) คือกลุ่มของสารประกอบแทนนินที่เป็นอนุพันธ์ของแคทีชิน (catechin) พอลิเมอร์เหล่านี้มีโครงสร้างไม่เป็นรูปแบบเดีวตลอด แต่โมเลกุลของแคทีชินจะมาเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง 4 และ 8 (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน

แทนนินยังมีประโยชน์ในการทำไวน์ แต่ถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้ไวน์มีรสชาติไม่ดี เช่น มีรสฝาด ดังนั้นในการทำไวน์องุ่นหากไม่ต้องการให้มีรสฝาด จะแยกเอาเมล็ดองุ่นออกทิ้งก่อน เพิ่มไม่ให้แทนนินถูกสกัดออกมาในไวน์ได้ (นิธิยา, 2545)

3) สารเคอร์ซีทิน (quercetin) เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ ในกลุ่มของฟลาโวนอล (flavonol) เกิดจากการที่สารประกอบฟลาโวนมีการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 3 (รูปที่ 2.7) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในหัวหอม แอปเปิล ใบบชา และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่



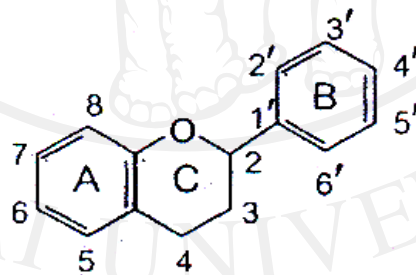
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเคอร์ซีทิน

ที่มา : Castaeda-Ovando *et al.*(2009)

รายงานการวิจัยพบว่า สารเคอร์ซีทินสามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ และเส้นเลือดสมองตีบ การเสริมสารเคอร์ซีทินช่วยลดความดันโลหิตในสัตว์ที่มีความดันโลหิตสูง (Manach, 2005) และได้มีการศึกษาการเสริมสารเคอร์ซีทินในผู้ป่วยทั้งชายและหญิงที่เริ่มมีความดันโลหิตสูง และเป็นความดันโลหิตสูงขั้นที่หนึ่ง โดยเสริมสารเคอร์ซีทินวันละ 730 มิลลิกรัม เป็นเวลา 28 วัน พบว่าหลังการเสริมสารเคอร์ซีทิน ความดันโลหิตในกลุ่มที่เริ่มมีความดันโลหิตสูงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งตรงข้ามกับกลุ่มที่มีความดันโลหิตสูงขั้นที่หนึ่งที่มีความดันโลหิตจะลดลง (Nutrition update, 2007) ได้มีการศึกษาปริมาณการดูดซึมของสารเคอร์ซีทินในอาสาสมัครที่ทำศัลยกรรมสร้างทางผ่านเข้าไปในลำไส้เล็กตอนปลาย โดยทางผนังช่องท้อง (ileostomy) เพื่อป้องกันการสูญเสียสารประกอบฟลาโวนอยด์ เนื่องจากแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ และได้รับสารเคอร์ซีทินจากหัวหอมทอด ซึ่งมีสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์ในปริมาณสูง (เทียบเท่ากับอะไกลโคน 89 มิลลิกรัม) สารเคอร์ซีทินรูตินโนไซด์บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นสารเคอร์ซีทินหลักในชา เทียบเท่ากับอะไกลโคน 10 มิลลิกรัม หรือสารเคอร์ซีทินอะไกลโคนบริสุทธิ์ 100 มิลลิกรัม พบว่าภายใน 13 ชั่วโมง สารเคอร์ซีทิน หรือไกลโคไซด์ของสารเคอร์ซีทินในของเหลวจากทางเดินอาหารมีการสลายตัวน้อยมาก มีการดูดซึมของสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์จากหัวหอมทอด

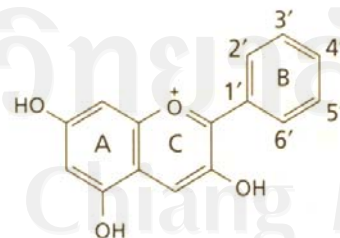
ร้อยละ 52 สารเคอร์ซีทินรูตินโนไซด์ ร้อยละ 17 และสารเคอร์ซีทินอะไกลโคนบริสุทธิ์ร้อยละ 24 การขับออกของสารเคอร์ซีทิน หรือไกลโคไซด์ของสารเคอร์ซีทินเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณที่ถูกดูดซึม แสดงว่าสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์จากหัวหอมถูกดูดซึมได้ในลำไส้เล็ก (Pietta and Simonetti, 1999)

3) สารแอนโทไซยานิน (anthocyanins) แอนโทไซยานินเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน จัดอยู่ในกลุ่มของรงควัตถุพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids) พบในแวคิวโอลของพืช ทำให้เกิดสีแดง ชมพู ม่วง และสีน้ำเงินในส่วนต่างๆ ของผล ดอก ลำต้น และใบพืช แอนโทไซยานินสามารถละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่น acetone, chloroform และ ether มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปตามค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Moskowitz and Hrazdina, 1981) มีโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญคือ flavan nucleus ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ring คือ ring A, ring B และ ring C (รูปที่ 2.8) โดยแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ (glycosides) ที่มีหมู่น้ำตาล (monosaccharide ได้แก่ glucose, rhamnose, galactose หรือ arabinose หรือพวก disaccharide หรือ trisaccharide) มาเกาะที่ตำแหน่งที่ 3 ของ ring C (รูปที่ 2.8) หรือบางครั้งอาจเป็นที่ตำแหน่งอื่น แอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่ น้ำตาลมาเกาะเรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) (รูปที่ 2.9) ซึ่งน้ำตาลในโมเลกุลของสารแอนโทไซยานินนั้นมีส่วนช่วยให้สารแอนโทไซยานินสามารถคงตัวได้ดี (นิธิยา, 2545)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Dzyubak (2007)



Anthocyanidin

รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างแอนโทไซยานิดิน

ที่มา: Mazza and Miniati (2000)

แอนโทไซยานินสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ตามชนิดของ side chain ของ ring โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของตำแหน่ง ring B (รูปที่ 2.8) ซึ่งจะมี functional group ชนิดต่าง ๆ มาเกาะ ทำให้ได้แอนโทไซยานินกลุ่มต่าง ๆ (Gross, 1987) โดยสีของแอนโทไซยานินมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของ functional group เช่น hydroxyl หรือ methoxyl ภายในโครงสร้างโมเลกุล ชนิด จำนวน ตำแหน่งของน้ำตาลที่เกาะกับโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ซึ่งบริเวณ ring B มักมีหมู่ต่างๆ เข้าเกาะจับแทนที่ในตำแหน่งต่างๆ ทำให้เกิดชนิดและสีของแอนโทไซยานินที่แตกต่างกันไป (ตารางที่ 2.1) (Dugald and Chistopher, 2003)

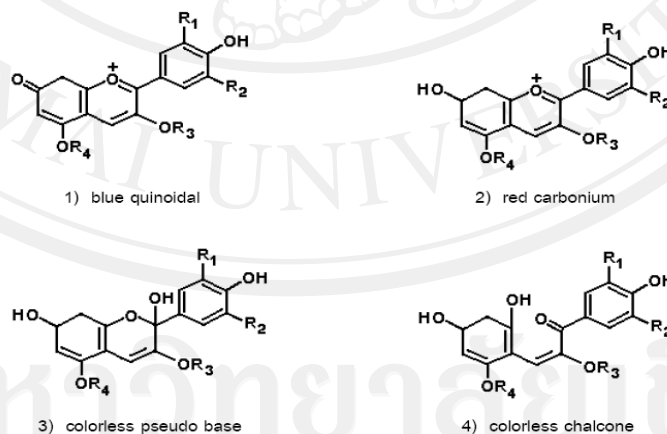
ตารางที่ 2.1 หมู่ต่างๆ ที่เข้าแทนที่ในโครงสร้างหลักของแอนโทไซยานินที่ตำแหน่งต่างๆ มีผลให้เกิดสีที่แตกต่างกัน

แอนโทไซยานิน	ตำแหน่งหมู่ต่าง ๆ ในโครงสร้างแอนโทไซยานิน							สี
	3	5	6	7	3'	4'	5'	
Apigeninidin	H	OH	H	H	H	OH	H	ส้ม
Aurantininidin	OH	OH	OH	OH	H	OH	H	ส้ม
Capensinidin	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OMe	น้ำเงิน-แดง
Cyanidin	OH	OH	H	OH	OH	OH	H	ส้ม - แดง
Delphinidin	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	น้ำเงิน-แดง
Europinidin	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OH	น้ำเงิน-แดง
Hirsutidin	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	OMe	น้ำเงิน-แดง
6-Hydroxycyanidin	OH	OH	OH	OH	OH	H		แดง
Luteolinidin	H	OH	H	OH	OH	OH	H	ส้ม
Malvidin	OH	OH	H	OH	OMe	OMe	OMe	น้ำเงิน-แดง
5-methylcyanidin	OH	OMe	H	OH	OH	H		ส้ม - แดง
Pelargonidin	OH	OH	H	OH	H	OH	H	ส้ม
Peonidin	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H	ส้ม - แดง
Petunidin	OH	OH	H	OH	OME	OH	OH	น้ำเงิน-แดง
Pulchellidin	OH	OMe	H	OH	OH	OH	H	น้ำเงิน-แดง
Rosinidin	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	H	แดง
Tricetinidin	H	OH	H	OH	OH	OH	OH	แดง

ที่มา : Mazza and Miniati (2000)

การสลายตัวของแอนโทไซยานิน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน เนื่องจากปัจจัยหลายประการทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่เข้ามาเกี่ยวข้อง และในบางปัจจัยก็มีความสัมพันธ์กันด้วย (Zhang *et al.*, 2001; Goboy-Hernandez and Lozoya-Gloria, 1999) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรงควัตถุของแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้ถูกทำลายได้ง่าย ได้แก่ การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง พีเอช เอนไซม์ และภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินเกิดได้เร็วขึ้น (นิธิยา, 2545) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อ การสังเคราะห์และการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีผลกระทบต่อ การคงตัว (stability) ของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มของสีที่ปรากฏเปลี่ยนแปลงไป (Gross, 1987)

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความกรด-ด่าง (pH) เปลี่ยนไป มีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 รูปแบบ เมื่อ pH สูงขึ้นจาก 3 เป็น 7 แอนโทไซยานินเปลี่ยนจากคาร์บอนเนียมสีแดง (red carbonium) ซึ่งมีสีแดงในสารละลายที่เป็นกรดไปเป็น colorless pseudo base ซึ่งไม่มีสีในสารละลายเป็นกลาง เนื่องจาก conjugated bond หายไป สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบสอ่อน pH ประมาณ 9 แอนโทไซยานินจะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ และที่ pH ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 11 แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ blue quinoidal ซึ่งมีสีน้ำเงิน (Brouillard and Delaporte, 1977) (รูปที่ 2.10) และถ้า pH เป็นต่างมากเกินไปจะทำให้แอนโทไซยานินเสียโครงสร้างได้ง่าย (Moskowitz and Hrazdina, 1981)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแอนโทไซยานินทั้ง 4 รูปแบบ ที่พบในสภาวะ pH ต่าง ๆ กัน

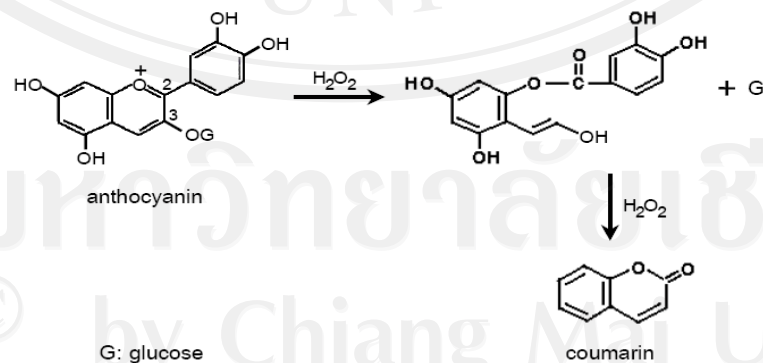
ที่มา : Brouillard and Delaporte (1977)

2. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน โดยมีการเปลี่ยนโครงสร้างสีจาก red carbonium ไปเป็น colorless pseudo base และ colorless chalcone ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเปลี่ยนไปทาง colorless chalcone มากขึ้น (Timberlake, 1980)

3. เอนไซม์ แอนโทไซยานินจะถูกทำลายลงอย่างรวดเร็วในระบบ anthocyanin-PPO-phenol โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) (Jiang, 2000) และถูกทำลายในระบบ POD-H₂O₂-anthocyanin-guaiacol โดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) (Lin *et al.*, 1988) ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดไม่สามารถออกซิไดส์แอนโทไซยานินได้โดยตรง แต่เกิดโดยเอนไซม์ anthocyanase ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับ catechol สามารถเป็นสับสเตรทของเอนไซม์ทั้งสองนี้และเกิดสารสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นได้ (Zhang *et al.*, 2001; Jiang *et al.*, 2004)

4. น้ำตาล เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานินมีทั้ง โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ และไตรแซคคาไรด์ (นิธิยา, 2545) และการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืชจำเป็นต้องอาศัยน้ำตาลอิสระ (free sugar) เป็นสารตั้งต้น โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลและแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลและชนิดพืช

5. ออกซิเจน แอนโทไซยานินมีแนวโน้มส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อัตราของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายในผลิตภัณฑ์อาหาร ค่าของอุณหภูมิ และค่าความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน แต่อัตราการออกซิไดส์ช้าลงเมื่ออยู่ในสภาวะของเหลว การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานินโดย hydrogen peroxide ทำให้พันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ของ pyrylium ring หายไป ส่งผลให้แอนโทไซยานินไม่มีสีและเกิดอนุพันธ์ของ coumarin (Kurt and Torssell, 1983; Arthey and Ashurst, 2001) (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน
ที่มา : Kurt and Torssell, 1983; Arthey and Ashurst (2001)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้หลากหลายเรื่อง จึงได้แบ่งกลุ่มของงานวิจัยดังกล่าวออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำผลไม้

กัลยา (2536) ได้รายงานถึงวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำละมุดจากเนื้อละมุดบดหยาบ ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้เอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้นเอนไซม์ร้อยละ 0.01 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทำให้ความหนืดของเนื้อละมุดบดหยาบลดลง และให้ผลผลิตน้ำละมุดร้อยละ 71 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดที่ไม่ใช้เอนไซม์ได้ผลผลิตน้ำละมุดร้อยละ 62 นอกจากนี้ได้มีรายงานการสกัดน้ำสาเกใส่สกัดก๊าซโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส ปริมาณ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที คั้นด้วยเครื่องไฮดรอลิก ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำสาเกภายหลังการคั้นเมื่อไม่เติมและเติมเอนไซม์เพคตินเนส เท่ากับร้อยละ 50.08 และ 60.72 ตามลำดับ (รุจิรา, 2542) ต่อจากนั้นอมรรัตน์ (2545) ได้รายงานผลการผลิตน้ำฝรั่งแช่ชนิดใสด้วยวิธีทางชีวเคมีโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส พบว่าการใช้เอนไซม์เพคตินเนส ปริมาณ ร้อยละ 0.14 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลผลิตกันท์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านสูง และได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด และจากรายงานของชิดชัย (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาไซรัปเข้มข้นจากกล้วยหอมทองโดยการใส่เอนไซม์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอม คือใช้เอนไซม์เพคตินเนสและเซลลูเลส ร้อยละ 0.06 และ 0.13 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการบ่ม 150 นาที โดยที่สภาวะดังกล่าวจะได้ปริมาณน้ำกล้วยหอมร้อยละ 75.22 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 15.71 นอกจากนี้ได้มีรายงานการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำส้มสายน้ำผึ้ง เพื่อเตรียมน้ำหมักสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ จากการใส่เอนไซม์เซลลูเลสทางการค้าสูงถึงระดับ 1500 ppm ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำส้ม แต่การใช้เอนไซม์เพคตินเนสทางการค้าที่ระดับ 1500 ppm สามารถช่วยในการบีบคั้นน้ำส้มออกมาได้เพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 20 (ศราวุธ, 2550) แต่จากรายงานของพีระวุฒิ และสิวะพร (2553) ซึ่งศึกษาผลการสกัดน้ำมะกึ่ง เพื่อผลิตน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้น พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ การต้มสกัดโดยการผสมน้ำอีกครึ่งส่วน แล้วนำไปต้มเดือดนาน 10 นาที แล้วคั้นแยกน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบไฮดรอลิก ได้ผลผลิตน้ำมะกึ่งร้อยละ 69.4 และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนสที่ความเข้มข้น 1,000 และ 1,500 ppm ได้ผลผลิตน้ำมะกึ่งร้อยละ 69.8 และ 71.6 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

ได้มีรายงานถึงวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยเข้มข้น โดยวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 83.27 องศาเซลเซียส ที่ความดัน -130 มิลลิบาร์ ใช้เวลา 30.35 นาที ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 75 ความชื้นร้อยละ 21.63 a_w 0.719 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.19 ค่าสี L, a*, b* Chroma and Hue angle เท่ากับ 63.22, 10.11, 39.31, 40.59 และ 75.57 องศา ตามลำดับ (ชนพล และศิริรักษ์, 2548) นอกจากนี้ได้มีรายงานการผลิตน้ำมะเขือเทศเข้มข้นโดยเทคนิคการระเหยแบบสุญญากาศ พบว่าวิธีที่เหมาะสมคือ การใช้ความดันคงที่ -0.94 บาร์ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 6.67 องศาบริกซ์ จากเดิม 5.00 องศาบริกซ์ ค่าดัชนีสารแอนติออกซิแดนซ์ 3.32 สารประกอบฟีนอลทั้งหมด 1,825.81 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แอนโทไซยานินทั้งหมด 407.67 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และผลผลิตร้อยละ 52.91 (พีระวุฒิ และสิวะพร, 2553) นอกจากนี้สมชาย และคณะ (2553) ได้ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการทำน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นเสริมเกสรดอกไม้จากผึ้ง พบว่าวิธีที่เหมาะสมคือ การระเหยภายใต้สุญญากาศที่ความดันคงที่ - 0.93 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที ได้น้ำหม่อนสกัดเข้มข้นร้อยละ 29.08 pH 3.90 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 39.44 องศาบริกซ์ จากเดิม 14.00 องศาบริกซ์

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระ ในน้ำผลไม้

Miller *et al.* (2000) ได้รายงานผลของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากราสพ์เบอร์รี่ มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ใช้ IC_{50} เป็นดัชนีวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ) จากการวัดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 5.10 มิลลิโมล/100 กรัม น้ำหนักสด และ Proeggente *et al.*, (2002) วัดด้วยวิธี ABTS เท่ากับ 1.85 มิลลิโมล/100 กรัม น้ำหนักสด นอกจากนี้ Blando *et al.*, (2004) ได้รายงานปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเชอร์รี่ (cherry) มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากการวัดด้วยวิธี ORAC เท่ากับ 1.8 มิลลิโมลของโทรออกซ์/100 กรัม น้ำหนักสด วิธี ABTS เท่ากับ 2.7 มิลลิโมลของโทรออกซ์/100 กรัม น้ำหนักสด ต่อจากนั้นได้มีรายงานการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลไม้บลูฮันนี่ชั๊กเกิล (blue honeysuckle) 10 พันธุ์ พบว่า ผลไม้บลูฮันนี่ชั๊กเกิลมีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 116-593 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 440-1142 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใช้โทรออกซ์ (trolox) เป็นสารมาตรฐาน ด้วยวิธี ORAC เท่ากับ 18-104 ไมโครโมลของโทรออกซ์/100 กรัม น้ำหนักสด และวิธี FRAP 38-ไมโครโมลของโทรออกซ์/100 กรัม น้ำหนักสด และได้หาความสัมพันธ์ของโดยใช้วิธีทางสถิติ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน และ

สารประกอบ ฟีนอลิก (Chaovanalikit, 2004) ต่อจากนั้นได้มีรายงานการตรวจหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และผลของการแปรรูปโดยใช้ความร้อนต่อคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ ในน้ำมะเข็ญที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในสภาวะต่าง ๆ กัน พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ในน้ำมะเข็ญคือ แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และวิตามินซี มีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ความร้อนที่สูงและระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการพาสเจอร์ไรส์แบบใช้ความร้อนต่ำเวลานาน (Low Temperature - Long Time; LTLT) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (อนุพงศ์ และคณะ, 2549)

2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลมะเข็ญและการใช้ประโยชน์

ทวีพร (2530) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของลูกมะเข็ญสุก โดยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี พบว่าสีของเปลือกผลมีสารกลุ่ม anthocyanin เป็นองค์ประกอบหลักคือ cyanidin 3-glucoside ส่วนเนื้อผลสุกพบว่ามีกรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่ให้รสเปรี้ยว นอกจากนี้ได้มีรายงานเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของมะเข็ญ พบว่าในมะเข็ญมีโปรตีน 7.18 กรัม ไขมัน 2.8 กรัม กาก 24.8 กรัม เถ้า 5.04 กรัม คาร์โบไฮเดรต 60.2 กรัม พลังงาน 294.6 กิโลแคลอรี และแคลเซียม 475.4 มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ไทยชนิดต่างๆ ได้แก่ มะไฟ มะเฟือง ละมุดไทย และมังคุด พบว่ามะเข็ญมีปริมาณโปรตีน กากและแคลเซียมสูงกว่าผลไม้ไทยชนิดต่างๆ โดยเฉพาะแคลเซียมมีปริมาณที่สูงกว่ามาก (ศรีสุดา, 2546) ต่อจากนั้น พิมพร (2547) ได้รายงานสารสกัดจากเมล็ดมะเข็ญ พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งจากการศึกษาพฤกษเคมีเบื้องต้นพบว่ามีองค์ประกอบของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ชนิดฟลาโวนอล และฟลาโวนซาโปนิน แทนนิน และแอนทราควิโนนไกลโคไซด์ นอกจากนี้พิชญ์อร (2552) ได้นำเมล็ดมะเข็ญมาสกัดเป็นสารให้กลิ่นในอาหาร เป็นสารในกลุ่ม terpene alcohol เมื่อทำการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดของเมล็ดมะเข็ญ ด้วยเอทานอลเปรียบเทียบกับแอลฟา-โทโคเฟอรอล และ BHT (Butylated hydroxytoluene) พบว่าสารสกัดเมล็ดมะเข็ญมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า แอลฟา-โทโคเฟอรอล และสารสกัดจากเมล็ดมะเข็ญยังสามารถเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติได้