บทที่ 2
เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หอมหัวใหญ่

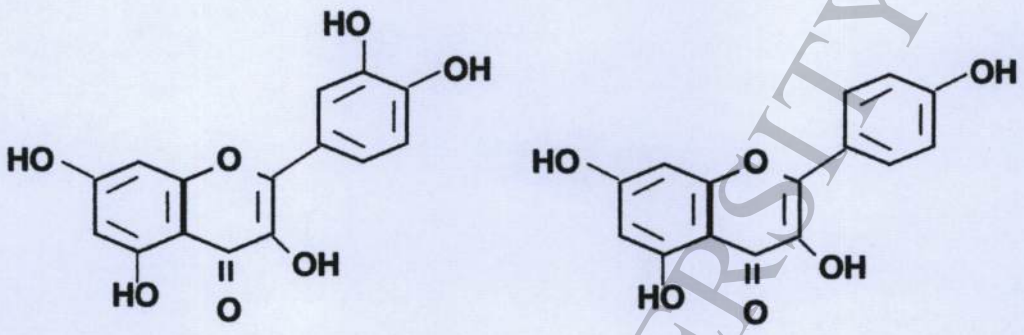
หอมหัวใหญ่ (*AIlium cepa* Linn .) เป็นพืชพื้นเมืองของทวีปเอเชียตะวันตก มีหัวใต้ดิน หัวมีลักษณะค้อนข้างกลม เปลือกสีน้ำตาลปนเหลือง และ เนื้อข้างในมีสีขาว ปลูกโดยตรงโดยใช้เมล็ดหยอดหลุมในแปลงหรือเพาะเป็นต้นกล้าก่อนแล้วย้ายปลูก อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วัน หอมหัวใหญ่ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้หลายชนิดเช่นน้ำพริกแกง ปลากระป๋อง และสลัดผัก เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดรสชาติในอาหารแล้วยังมีสมบัติเป็นพืชสมุนไพรโดยมีสรรพคุณทางยาเช่นลดอาการของโรคหัวใจและหลอดเลือด ลดน้ำตาลในเลือด ลดการกระตุกของกล้ามเนื้อ และช่วยเพิ่มคอเลสเตอรอลชนิดดีหรือ high density lipoproteins (HDL) เป็นต้น

ภาพที่2.1 หอมหัวใหญ่

หอมหัวใหญ่ประกอบด้วยความชื้น 86.8 % คาร์โบไฮเดรท 11.6 % โปรตีน 1.2 % และไขมัน 0.1 % สารเคมีที่สำคัญในหัวหอมที่มีผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และ alk(en)yl cysteine sulfoxides (Park *et al.*, 2007) กลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่พบมากในหัวหอมอยู่ในรูปของฟลาโวนอล (flavonols) ได้แก่ quercetin และ kaempferol (Dorant *et al.*, 1991) ซึ่ง quercetin มีอยู่ประมาณ 347 mg/kg (Lachman *et al.*, 2007) ส่วนกลุ่ม alk(en)yl cysteine sulfoxides เป็นสารที่มีกำมะถัน ได้แก่ cepaenes และ thiosulfinates (Goldman *et al.*,

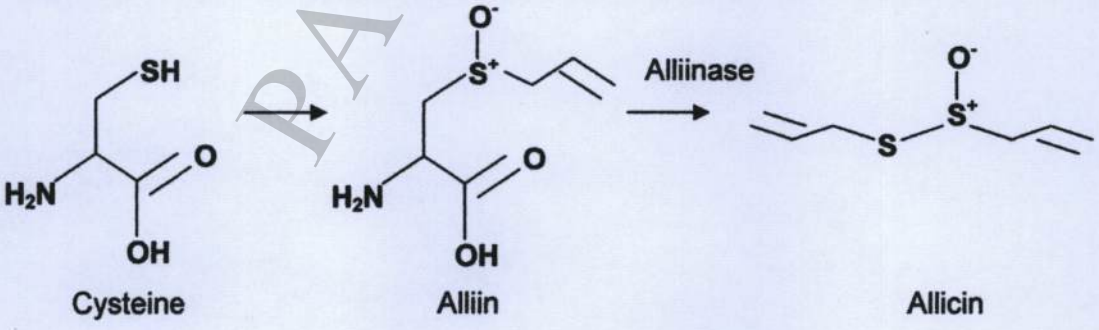
PAYAP UNIVERSITY

1996) ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยจะกำจัดอนุมูลเคมีที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (Lachman *et al.*, 2003) เช่น superoxides, hydroxyl radicals, peroxyl radicals, hypochlorous acid, และ peroxynitrous acid เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นสาร chelating agents จับไอออนของโลหะจึงลดการเกิดออกซิเดชันของลิพิด (Anonymous, 1995) ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีฟลาโวนอยด์มากๆ เช่น อาหารที่มีหัวหอมเป็นส่วนประกอบ จึงลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็ง



ภาพที่2.2 สูตรโครงสร้างของ quercetin และ kaempferol

สารกลุ่ม alk(en)yl cysteine sulfoxides เป็นสารตั้งต้นที่จะทำให้เกิดกลิ่นและรสเฉพาะของหัวหอมเมื่อหั่นหรือทุบจะทำให้เนื้อเยื่อแตก เอนไซม์ alliinases (Griffiths *et al.*, 2002) จะปล่อยออกมาพร้อมกับไปเร่งการเปลี่ยน alliin (a cysteine sulfoxide) เป็น allicin (a thiosulfinate) ให้กลิ่นฉุนของหัวหอมและกระเทียม สาร allicin หรือเรียกว่า diallyl disulphide-oxide มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและลบ ลดการอักเสบและลดอาการเบาหวาน เมื่อหั่นหัวหอมแล้วรู้สึกแสบตาและมีน้ำตาออกมานั้นเนื่องมาจาก alk(en)yl cysteine sulfoxides จะถูกเปลี่ยนเป็น sulferic acid ระเหยไปในอากาศเมื่อถูกความชื้นจะกลายเป็นกรดซัลฟิวริกจึงระคายเคืองต่อตา



ภาพที่2.3 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ alliinase

PAYAP UNIVERSITY

สารสกัดจากหอมหัวใหญ่สามารถป้องกันการสลายตัวของเนื้อกระดูก (Muhlbauer and Li, 1999) ซึ่งจะช่วยให้กระดูกมีความแข็งแรงและป้องกันโรคกระดูกพรุน หรือ โรคกระดูกโปร่งบาง นอกจากนี้ยังพบว่าสกัดจากหอมหัวใหญ่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ในลูกสาลี่ (Kim *et al.*, 2005) ดังนั้นการนำเอาหอมหัวใหญ่มาเป็นเครื่องปรุง หรือ เป็นส่วนประกอบของอาหารจึงมีประโยชน์ต่อร่างกาย ควรที่จะมีการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมให้มีการบริโภคหอมหัวใหญ่กันมากขึ้น

ฟรักแทน (fructans) เป็นพอลิเมอร์ของฟรักโทสแบ่งออกเป็นสามประเภทได้แก่ inulin, levan, และ graminan พบในพืชผักหลายชนิดเช่นหัวหอม(1.1-10.1 %) หน่อไม้ฝรั่ง(1.4-4.1 %) และ artichokes (16.0 -20.0 %) เป็นต้น (Shepherd and Gibson, 2006) ฟรักแทนละลายน้ำและไม่ย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารแต่จะเป็นอาหารของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ซึ่งจะทำให้แบคทีเรียที่เป็นโทษมีจำนวนลดลง (Roberfroid, 2007) ฟรักแทนถูกย่อยจะได้ฟรักโทสซึ่งทำให้หัวหอมมีรสหวาน การวิจัยทางด้านสุขภาพพบว่าฟรักแทนทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลฟอสโฟลิพิดและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง (Moshfegh *et al.*, 1999) น้ำตาลอื่นๆ ที่พบในหัวหอมได้แก่กลูโคสและซูโครส (Davis *et al.*, 2007)

2.2 น้ำในอาหาร

น้ำเป็นส่วนประกอบของอาหารทุกชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่าอาหารสดจะมีน้ำมากกว่าชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักและผลไม้สด เช่น กะหล่ำปลีมีน้ำประมาณ 98 % มะเขือเทศ ประมาณ 95 % และแอปเปิลประมาณ 84 % เป็นต้น ส่วนเนื้อสัตว์เช่น เนื้อวัวมีน้ำประมาณ60 % และ เนื้อไก่ประมาณ 70 % เป็นต้น อย่างไรก็ตามในอาหารแห้งก็ยังพบว่ามีน้ำอยู่จำนวนหนึ่งแต่เป็นปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่นนมผงมีน้ำ 4 % เป็นต้น น้ำมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหารหลายประการเช่น ความกรอบ และ นุ่มของอาหาร การกำหนดราคา การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมี และการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น (Coultate, 2002)

น้ำที่ถูกโมเลกุลอื่นยึดเอาไว้นี้เรียกว่า น้ำเกาะยึด (bound water) ซึ่งการเกาะยึดกันนั้นอาจเป็นแบบอย่างแน่นหรือแบบอย่างอ่อนก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของแรงยึดเหนี่ยว ส่วนน้ำที่ไม่ได้ยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลอื่นๆ นั้นเรียกว่า น้ำอิสระ (free water) ซึ่งจะถูกล้อมรอบและยึดเหนี่ยวอยู่กับเฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นจึงทำให้น้ำเหล่านี้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่นเดียวกับน้ำบริสุทธิ์โดยที่ระเหยออกมาจากอาหารได้ง่าย ทำให้แข็งตัวได้และยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย

ความชื้น (moisture content) มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในอาหารซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของอาหารในด้านต่าง ๆ อาหารที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดราคาจำเป็นจะต้องควบคุมความชื้นให้คงที่ในระหว่างการเก็บและรอจำหน่าย หากน้ำระเหยออกไปน้ำหนักของอาหารก็จะลดลงทำให้

PAYAP UNIVERSITY

ราคาที่จำหน่ายได้ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การสูญเสียน้ำหรือดูดน้ำของอาหารยังทำให้ลักษณะของอาหารเปลี่ยนไปได้ เช่นผิวของผักและผลไม้เหี่ยว ความกรอบลดลง และ ความตึงเพิ่มขึ้น เป็นต้น

เทอม water activity (a_w) ของอาหารหมายถึง อัตราส่วนความดันไอของไอน้ำที่ผิวอาหาร (P) ต่อความดันไอของไอน้ำที่อยู่เหนือน้ำบริสุทธิ์ (P°) ที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากความดันไอของน้ำในอาหารจะน้อยกว่าความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ จึงทำให้ a_w ของอาหารมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ส่วนน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า a_w เท่ากับ 1 ค่า a_w มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และมีความหมายแตกต่างจากความชื้นของอาหาร น้ำอิสระเป็นน้ำที่เป็นน้ำที่ยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำเท่านั้นจึงระเหยได้ง่ายและแข็งตัวเมื่อนำอาหารไปแช่แข็ง น้ำอิสระที่มีอยู่ในอาหารจะใช้ในการเจริญของจุลินทรีย์ และเข้าไปเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมี ดังนั้นค่า a_w จึงมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของอาหารค่า a_w แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$a_w = \frac{P}{P^o}$$

ค่า a_w ของอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์และรา จึงนำมาใช้ในการทำนายการเสื่อมเสียของอาหารโดยจุลินทรีย์ โดยทั่วๆไปแล้วแบคทีเรียจะเจริญในอาหารที่มีค่า a_w มากกว่า 0.9 และที่ค่า a_w น้อยกว่า 0.7 ป้องกันการเจริญของยีสต์และรา การลดค่า a_w ของอาหารให้น้อยกว่า 0.87 ของอาหารจะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ เช่น *Clostridium botulinum* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น กลุ่ม osmophilic yeasts จะไม่เจริญในอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 , *Clostridium botulinum* จะเจริญในอาหารที่มีค่า a_w สูงกว่า 0.93 ส่วน *Staphylococcus aureus* จะเจริญในอาหารที่มีค่า a_w สูงกว่า 0.83 และ ค่า pH ต่ำกว่า 4.5 เป็นต้น

2.3 การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) เป็นวิธีการถนอมอาหารโดยการลดความชื้นในอาหารลงมาให้อยู่ในระดับที่ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และชะลอปฏิกิริยาของเอนไซม์ จึงทำให้อาหารที่ผ่านการทำแห้งเก็บไว้ได้นาน มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบา การทำแห้งประกอบด้วยการถ่ายเทมวลและความร้อนโดยความร้อนจะทำให้น้ำระเหยออกมาจากอาหาร ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และการหมุนเวียนของอากาศ ผักอบแห้งเช่นเห็ด แครอท หัวหอม กระเทียม และข้าวโพด นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารหลายชนิดเช่น เครื่องปรุง ซุบ และ สลัดต่างๆ เป็นต้น

PAYAP UNIVERSITY

การทำแห้งอาหารมีอยู่หลายวิธีเช่น sun drying, oven drying, และ dehydrator drying เป็นต้น วิธี sun drying ใช้ได้ดีกับอาหารที่มีน้ำตาลและกรดมากเช่นผลไม้ทั่ว ๆ ไป เพราะในระหว่างตากแดดจะช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ ส่วนผักและเนื้อซึ่งมีน้ำตาลและกรดต่ำจะเน่าเสียได้ง่าย อาหารจะวางบนถาดซึ่งยกสูงจากพื้นดินและคุมด้วยผ้าขาวบาง หรือตาข่ายเพื่อป้องกันนกและแมลง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมต้องต่ำกว่า 60 % วิธี oven drying เป็นตู้อบที่ใช้ความร้อนจากไฟฟ้า แก๊สหรือคลื่นไมโครเวฟเวลาในการอบจะสั้นกว่าการตากแดด วิธี dehydrator drying ใช้เครื่องอบที่มีขนาดใหญ่กว่าตู้อบจึงอบแห้งได้มากกว่า มีการหมุนเวียนของอากาศที่ดีจึงอบแห้งได้เร็ว

การอบแห้งโดยวิธี oven drying ใช้อุณหภูมิระหว่าง 60 - 70 °C ส่วนเวลาขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ชาตรีและภาราได (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C โดยวิธี hot air oven drying และเวลาในการอบแห้งเป็น 6, 9, 12 และ 15 ชั่วโมง พบว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 12 ชั่วโมง มีสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากที่สุด Waewsak และ คณะ (2006) ใช้วิธี hot air oven drying ที่ความเร็วลม 1.34 m/s ศึกษาการอบผลิตผลทางการเกษตรบางชนิด ได้แก่ พริกชี้ฟ้าแดงที่อุณหภูมิ 80 °C ตะไคร้ที่อุณหภูมิ 70 °C และ ใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่า mathematical drying model ของ พริกชี้ฟ้าแดง และใบมะกรูดสอดคล้องกับ Midilli *et al.* model ส่วนตะไคร้สอดคล้องกับ Wangh and Singh model

การศึกษาผลของสารละลายในด่างของ ethyl oleate (2% ethyl oleate + 4% potassium carbonate) ต่อการอบแห้งมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 °C ความเร็วลม 1.5 m/s โดยความชื้นของมะเขือเทศลดลงจาก 94.5 % เป็น 11 % (wb) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 55- 70 °C ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น (Doymaz, 2007)

ปฏิกิริยาของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในผักหรือผลไม้ระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนสีของคลอโรฟิลล์ การปลี่ยนกลิ่นและรสไปในทางที่ไม่ต้องการ เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะอบแห้งต้องยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าวโดยการลวก สำหรับผัก ส่วนผลไม้ใช้การแช่ในสารละลายบางชนิด เช่น สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ สารละลายกรดซิตริก สารละลายกรดแอสคอร์บิก น้ำผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงๆ และน้ำผึ้ง เป็นต้น เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลหรือยับยั้งจุลินทรีย์ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีและเก็บไว้ได้นาน Akissoe′ และคณะ (2003) ศึกษาผลของการลวกและการทำแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งจากมันเทศโดยพบว่าการลวกมันเทศที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาทีสามารถลดกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์ peroxidase ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 วันสามารถลดกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์ polyphenoloxidase การศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บมะละกอ สับปะรดและกล้วยอบแห้ง (Soleha et al., 1991) โดยอบที่อุณหภูมิ

PAYAP UNIVERSITY

65-75 °C เป็นเวลา 5-10 ชั่วโมง พบว่า มะละกอและสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 60 % ซึ่งมี 0.4 % sodium metabisulfite และ 20 % glycerol จะมีสีที่ดีกว่าและมีปริมาณแบคทีเรียและราต่ำกว่าควบคุม

ผักหรือผลไม้ที่ทำแห้งจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการบ้างโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำ เช่นวิตามินซี ไทเอมีน ไรโบฟลาวิน และ ไนอาซีน เป็นต้น จะสูญเสียในขั้นตอนการลวก ส่วนวิตามินเอสูญเสียน้อย ค่าพลังงานและเส้นใยอาหารไม่เปลี่ยนแปลง

2.4 ผลิตภัณฑ์จากหอมหัวใหญ่อบแห้ง

หอมหัวใหญ่มีอยู่สามสีได้แก่ สีขาว สีเหลือง และ สีแดง เมื่อนำมาอบแห้งแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น หอมผง (onion powder), onion flake, onion minced, และ onion granules เป็นต้น จีนและอินเดียเป็นประเทศที่ผลิตหอมหัวใหญ่อบแห้งออกสู่ท้องตลาดมากที่สุดซึ่งอยู่หลายแห่ง เช่น บริษัท XINJIANG RED LIFE FOOD CO., LTD. (จีน), FUYANG GREEN FOODS CO., LTD.(จีน) และ บริษัท Shree Ram Export (อินเดีย) เป็นต้น ส่วนในประเทศไทยก็มีบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งเช่นกันได้แก่ บริษัท KINGFOOD ENTERPRISE COMPANY LIMITED (Alibaba.com, 1999)

ภาพที่ 2.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้ง
(ที่มา : Alden, L. 1996)

หอมผงทำมาจากหอมที่อบแห้งจนกรอบแล้วนำมาบดให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงเพื่อให้ได้ผงที่มีขนาดประมาณ 100-120 mesh เก็บรักษาในที่เย็นและแห้งอุณหภูมิไม่เกิน 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60 % ในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันความชื้น อากาศและแสง โดยไม่เติม

PAYAP UNIVERSITY

วัตถุเจือปนอาหาร สมบัติทั่วๆไปของหอมผงเช่นความชื้นประมาณ 4-7 % เถ้าประมาณ 3 % เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกิน 0.5 % ของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำร้อนไม่เกิน 20 % ขนาดหนึ่งช้อนชามีมวล 2.1 กรัม และมีกลิ่นของหอมสด เป็นต้น หอมผงดูดความชื้นได้ดีจึงทำให้เกิดการจับกันเป็นก้อน ดังนั้นเมื่อนำหอมผงมาเป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงต่าง ๆ จึงต้องเติมสารที่ป้องกันการจับกันเป็นก้อน (anti-caking agents)ในปริมาณไม่เกิน 2 % เช่น magnesium carbonate, silicon dioxide, calcium silicate, calcium stearate, และ sodium aluminosilicate เป็นต้น การเติมสารป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อนในหอมผงเก็บที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นของหอมผงไม่เกิน 4 % จะทำให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาหอมผงได้นานขึ้น (Peleg and Mannheim, 1969)

คุณค่าทางอาหารของหอมผงแสดงไว้ในตาราง 2.1 (Nutrition Analyser, 2002) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรทรองลงมาเป็นโปรตีนและไขมันตามลำดับ ไม่มีคอเลสเตอรอล กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว และหอมผง 100 กรัมจะให้พลังงาน 347 แคลอรี

ตาราง 2.1 ค่า nutrition facts ของหอมผง 100 กรัม

สมบัติ	ปริมาณ
พลังงาน	347 แคลอรี
ปริมาณไขมันทั้งหมด	1.05 กรัม
- ไขมันอิ่มตัว	0.183 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัวสูง	0.439 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัว	0.158 กรัม
คอเลสเตอรอล	0 กรัม
โซเดียม	54 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	934 มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรททั้งหมด	80.67 กรัม
- เส้นใยอาหาร	5.7 กรัม
- น้ำตาล	35.48 กรัม
โปรตีน	10.12 กรัม
แคลเซียม	363.00 มิลลิกรัม
เหล็ก	2.56 มิลลิกรัม
ซีลีเนียม	2.10 มิลลิกรัม

(ที่มา: Nutrition Analyser, 2002)

PAYAP UNIVERSITY

2.5 การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reactions) ที่เกิดขึ้นในอาหารจะมีผลต่อคุณภาพของอาหารทั้งในด้านที่ต้องการหรือไม่ต้องการ เช่น สี กลิ่น รส และคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น ปฏิกิริยาดังกล่าว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

2.4.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์

ผักหรือผลไม้เช่นข้าวโพด กระท้อน มันฝรั่ง กล้วยและแอปเปิล เป็นต้น เมื่อถูกหั่น ปอกเปลือก หรือ แตกหัก บริเวณที่สัมผัสกับอากาศจะปรากฏสีคล้ำหรือน้ำตาล ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในสภาวะที่มีอากาศหรือออกซิเจนโดยเอนไซม์กลุ่ม polyphenol oxidases (EC 1.14.18.1; PPO) เช่น catechol oxidase ในกล้วย องุ่น และมันฝรั่ง เป็นต้น เอนไซม์ PPO จะเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ของ monophenols เป็น *o*-diphenol และ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ *o*-diphenol เป็น *o*-quinones ต่อเนื่องไปยังการเกิดพอลิเมอไรเซชันจนได้เมลานินซึ่งมีสีน้ำตาล (Kermasha *et al.*, 1993) แม้ว่าการลวกจะยับยั้งกิจกรรมของ PPO ได้ แต่ไม่เหมาะสมในบางกรณีโดยเฉพาะผลไม้ ดังนั้นการใช้สารเคมีเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร สารเคมีที่นำมาใช้เช่น sulfites, chlorogenic acid, benzoic acid, และ ascorbic acid เป็นต้น

ภาพที่2.5 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ catechol oxidase

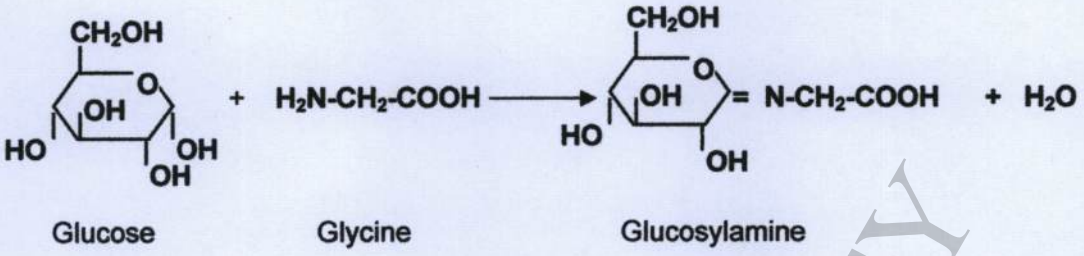
2.4.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดสีน้ำตาลในอาหารโดยไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องซึ่งจะพบในอาหารที่ผ่านความร้อนหรือระหว่างการเก็บรักษา การเกิดสีน้ำตาลมีผลต่อคุณภาพของอาหารในด้านสี กลิ่น รสและคุณค่าทางอาหาร ลักษณะมีทั้งข้อดีและข้อเสียขึ้นอยู่กับอาหารเช่น ไข่ขาวผง ขนมปัง เนื้อย่าง กาแฟคั่ว มันฝรั่งแผ่นทอด และผลไม้อบแห้ง เป็นต้น

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิล (- C= O) ของน้ำตาลรีดิวซ์ กับหมู่อะมิโน (-NH_2) ของกรดแอมิโน เพ็บไทด์หรือโปรตีน ได้ไกลโคซิลอะมีน (glycosylamines)

PAYAP UNIVERSITY

ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงต่อไปจนได้เมลานอยดิน (melanoidins) ทำให้อาหารมีสีน้ำตาล ปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้นแสดงไว้ตามภาพที่ 2.5



ภาพที่2.6 ปฏิกิริยาระหว่างกลูโคสกับไกลซีน

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำตาลและกรดแอมิโน ความชื้นและอุณหภูมิ (Gogus *et al.*, 1998) ระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิและความชื้นด้านนอกและด้านในอาหารแตกต่างกันจึงทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่างกันด้วย ดังนั้นสีน้ำตาลด้านนอกหรือด้านในจึงขึ้นอยู่กับสภาวะในการอบแห้ง (Mason, 2000)

2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (proximate analysis) ของอาหารมีหลักการดังต่อไปนี้

2.5.1 การวิเคราะห์ความชื้น

น้ำเป็นองค์ประกอบของอาหารที่มีความสำคัญต่อคุณภาพ การแปรรูปและกำหนดมาตรฐานอาหาร เพราะว่าน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี สามารถเกาะกับโมเลกุลอื่นๆในอาหารได้ดีและจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น มะเขือเทศสดมีความชื้นประมาณ 94% เมื่ออบแห้งจนมีความชื้น 7 % จะทำให้ค่า a_w ลดลงด้วย ช่วยให้มีอายุการเก็บนานขึ้น การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในอาหารทำได้หลายวิธีเช่น hot air oven, vacuum oven, reflux distillation, Moisture balance และ Karl Fisher Titration เป็นต้น

2.5.2 การวิเคราะห์เถ้า

องค์ประกอบของอาหารนอกจากจะมีสารอินทรีย์แล้วยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุโลหะต่าง ๆ อีกหลายชนิดเช่น เหล็ก โซเดียม และ แคลเซียม เป็นต้น เมื่อนำอาหารไปเผาจนสมบูรณ์ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะสลายตัวไปเหลือไว้ของแข็งสีขาวหรือสีเทาเรียกว่า เถ้า (ash) เถ้าเป็นสารประกอบออกไซด์ (O^{2-}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) คลอไรด์ (Cl^-)

PAYAP UNIVERSITY

ซิลิเกต หรือ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ของธาตุโลหะ สารประกอบดังกล่าวนี้อาจจะละลายในน้ำ กรด หรือ ด่าง ปริมาณเถ้าเป็นตัวบงบอกปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในอาหารซึ่งถ้ามีเถ้ามากก็แสดงว่าในอาหารนั้นมีแร่ธาตุมากด้วย

การหาปริมาณเถ้า (ashing) มีอยู่สามวิธี คือ dry ashing , wet ashing และ low-temperature plasma dry ashing หรือ plasma ashing โดยในแต่ละวิธีใช้ได้ดีกับตัวอย่างอาหารแตกต่างกัน เช่น วิธี wet ashing เหมาะสำหรับอาหารที่มีไขมันมากและยังเป็นวิธีที่ใช้สำหรับเตรียมสารละลายแร่ธาตุเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้านปริมาณต่อไป

2.5.3 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรท

น้ำตาลเป็นคาร์โบไฮเดรทโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ดีและมีรสหวานเช่น กลูโคส ฟรักโทส และซูโครส เป็นต้น น้ำตาลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟห์ลิงเรียกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) เช่นกลูโคสและฟรักโทส เป็นต้น ส่วนน้ำตาลที่ไม่ทำปฏิกิริยาเรียกว่า น้ำตาลนอนรีดิวซ์ (non-reducing sugars) เช่น ซูโครส โมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์จะมีหมู่ -CHO หรือ CH_2OHCO- ซึ่งถูกออกซิไดส์ได้ด้วยตัวออกซิไดส์เช่นเมื่อทำปฏิกิริยากับ 3, 5 - dinitrosalicylic acid (DNS) ในสภาวะที่เป็นเบสจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น 3-amino-5- nitrosalicylic acid มีสีน้ำตาลแดงและความยาวคลื่นที่ดูดกลืนมากที่สุดเท่ากับ 540 nm

วิธี Phenol-sulfuric acid เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วสามารถหาปริมาณคาร์โบไฮเดรทได้ทุกประเภทเช่นน้ำตาลต่างๆ และสตาร์ช เป็นต้น แต่หาเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ไม่ได้ กรดซัลฟิวริกเข้มข้นจะย่อยคาร์โบไฮเดรทอื่นๆ ในอาหารให้กลายเป็นมอนอแซคคาไรด์ จากนั้นจะเกิดการดึงน้ำออกจากโมเลกุลเพนโตส (pentose) และ เฮกโซส (hexose) เป็นสาร furfural และ hydroxymethyl furfural ตามลำดับ ซึ่งสารดังกล่าวนี้จะทำปฏิกิริยากับฟีนอลจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบสีเหลืองทองและมีค่า λ_{max} ที่ความยาวคลื่น 490 nm

2.5.4 การวิเคราะห์โปรตีน

โปรตีนเป็นสารพอลิเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยกรดแอมิโนจำนวนหลายโมเลกุลมาต่อกันด้วยพันธะเพ็บไทด์เรียกว่า พอลิเพ็บไทด์ โปรตีนมีมวลโมกุลประมาณ 5000 ขึ้นไป กรดแอมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนมีอยู่ 20 ชนิด ดังนั้นโปรตีนจึงมีกรดแอมิโนชนิดเดียวกันมีซ้ำกันหลายโมเลกุล การเรียงลำดับของกรดแอมิโนในพอลิเพ็บไทด์ของโปรตีนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันจึงทำให้โปรตีนมีโครงสร้างและหน้าที่ต่างกันด้วย ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ กำมะถัน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วโปรตีนในอาหารมีธาตุไนโตรเจนประมาณ 13.4 % ถึง 19.1 % (Nielsen ,1998)

PAYAP UNIVERSITY

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดในอาหารมีอยู่หลายวิธี เช่น Kjeldahl method, Bradford method, Bicinchoninic acid method, Biuret method, และ Lowry method เป็นต้น โปรตีนที่จะมีประโยชน์ต่อร่างกายนั้น จะต้องย่อยง่ายและมีกรดแอมิโนจำเป็นครบในปริมาณที่ไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นปริมาณมากหรือน้อยจึงไม่ใช่สิ่งที่บ่งบอกคุณภาพของโปรตีน กรดแอมิโนจำเป็นร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้หรือสังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอ จึงต้องได้รับจากอาหาร เท่านั้นมี 10 ชนิดได้แก่ arginine (เฉพาะเด็ก), histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan, และ valine. โปรตีนมีผลต่อคุณภาพของอาหารในหลาย ๆ ด้าน เช่น สี กลิ่นและรส เกิดเป็นเจลหรือโฟม และเป็นอีมัลซิฟายเออร์ เป็นต้น

2.5.5 การวิเคราะห์ไขมัน

ลิพิดเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น petroleum ether, acetone , ether ,ethanolและ methanol เป็นต้น ลิพิดแบ่งเป็นสามประเภทคือ simple lipids , compound lipids และ derive lipids เช่นไขมัน น้ำมัน ไข กรดไขมัน เลซิทิน วิตามินที่ละลายในน้ำมัน แคโรทีนและคอเลสเตอรอลเป็นต้น การหาปริมาณไขมันมีหลายวิธีเช่น Soxhlet method , Goldfish method, Babcok method, Mojonnier method , Refractive index และ spectrophotometry เป็นต้น

PAYAP UNIVERSITY