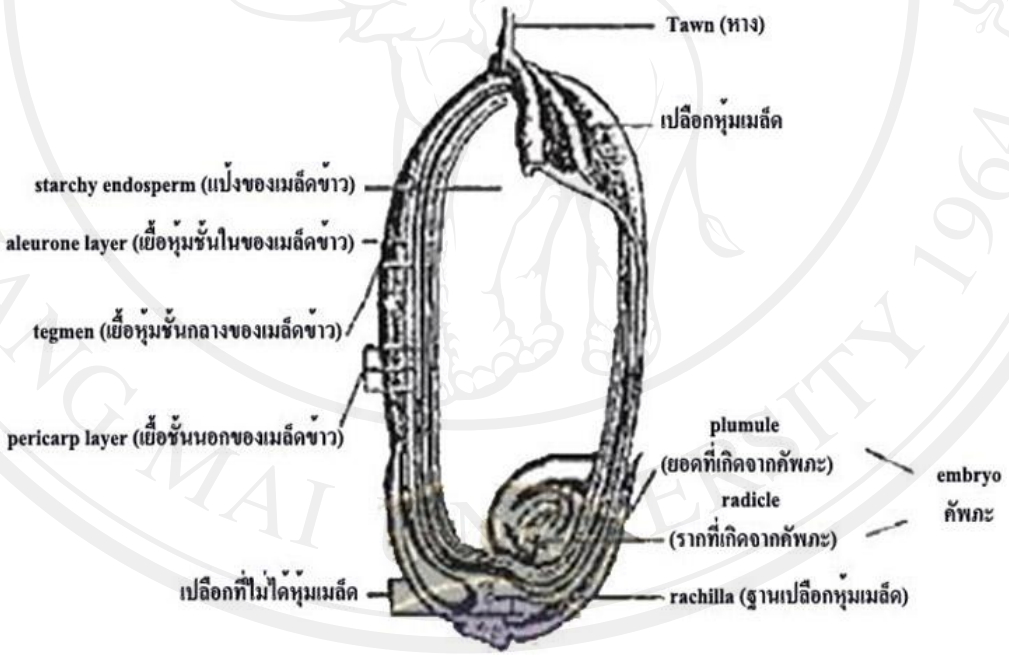
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็น"ธัญชาติ" ชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากเมล็ดของธัญพืชพวกหญ้า วงค์แกรมินีอี (Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุเพียงหนึ่งปี (annual grass) มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) มีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และเขตอบอุ่น (temperate zone) (พลกฤษณ์, 2547) โดยองค์ประกอบของเมล็ดข้าวแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา: (อรอนงค์, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

แบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ คือ (งามชื่น, 2542)

2.2.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ดหรือแกลบ (hull) ทำหน้าที่หุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ประมาณร้อยละ 68 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 19.2-24.5 แพนโทแซน (pantosans) ประมาณร้อยละ 15 และเถ้า (ash) ร้อยละ 13.2-29.0 (ประกอบด้วย ซิลิกา (silica) ประมาณร้อยละ 86.9-97.3)

2.2.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มรอบเมล็ด มีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังเซลล์บางอยู่ชั้นนอกสุด มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ

2.2.3 เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

2.2.3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อุดมไปด้วยไขมัน จึงทำให้มีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด

2.2.3.2 ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด ลักษณะโปร่งใส ประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

2.2.3.3 ชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) มีลักษณะเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และมีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ชั้นนี้ 1 ถึง 7 ชั้น

2.2.4 คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าวเป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวต้นใหม่ คัพภะเป็นส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) และส่วนที่จะงอกเป็นรากกำเนิด (radicle) ทั้งสองส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่า มีโซคอททิล (mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มลักษณะที่คล้ายใบเรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ส่วนของคัพภะทั้งหมดอยู่ในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะอยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด (ventral side) ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือ โปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) ไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) วิตามินที่มากคือ วิตามินบี (thiamine) วิตามินอี (tocopheral)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.5 เนื้อเมล็ด (endosperm) มีประมาณร้อยละ 68-70 ของเมล็ดข้าวภายในเซลล์ ประกอบด้วยสตาร์ช (starch) และโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสตาร์ชของข้าวมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ลักษณะเม็ดส่วนใหญ่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม โปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ช โดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนใหญ่

2.3 ประเภทของข้าว (วราภรณ์, 2551)

การจำแนกประเภทของข้าวทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับมาตรการที่ใช้ในการแบ่งดังต่อไปนี้

2.3.1 แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร แบ่งได้เป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ซึ่งมีต้นและลักษณะอย่างอื่นเหมือนกันทุกอย่าง แตกต่างกันที่ประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งแอมิเลส (amylase) ประมาณร้อยละ 15-30 ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งแอมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีแป้งแอมิโลสเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5-7 เท่านั้น

2.3.2 แบ่งตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก แบ่งตามพื้นที่ปลูกได้ 3 แบบ

2.3.2.1 ข้าวไร่ (upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชันไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

2.3.2.2 ข้าวนาสวนหรือนาดำ (lowland rice) ปลูกในพื้นที่ลุ่มทั่วๆ ไปมีน้ำขังระดับตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร จนถึง 70-80 เซนติเมตร เพื่อให้มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยที่สามารถรักษาระดับน้ำได้และระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศคิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูก ประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

2.3.2.3 ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงกว่า 80 เซนติเมตร จนถึง 3-4 เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอย หรือข้าวฟ่างลอย ส่วนมากปลูกแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาทและสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.3 แบ่งตามฤดูปลูก ได้ 2 ประเภท

2.3.3.1 ข้าวนาปี เป็นข้าวที่ปลูกได้เฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น เป็นฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมและเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นล่าสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากข้าวพวกนี้ต้องอาศัยช่วงแสงที่สั้นลงในต้นฤดูหนาว เป็นกลไกบังคับให้ออกดอกหรือออกรวง พันธุ์ข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่จะเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง

2.3.3.2 ข้าวนาปรัง เป็นนาข้าวที่ต้องทำนอกฤดูทำนา เพราะในฤดูทำนาน้ำมักจะมากเกินไป ซึ่งข้าวที่ใช้ทำนาปรังจะเป็นข้าวที่แสงไม่มีอิทธิพลต่อการออกดอก เป็นข้าวที่ออกตามอายุ ไม่ว่าจะปลูกเมื่อใดพอครบอายุก็จะเก็บเกี่ยวได้ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ในบางท้องที่จะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ที่มีการชลประทานดี เช่น ในภาคกลาง

2.3.4 แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว แบ่งได้เป็นข้าวเบา ข้าวกลางและข้าวหนัก โดยอายุการเก็บเกี่ยวจะนับตั้งแต่วันเพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนถึงเก็บเกี่ยว

2.3.4.1 ข้าวเบา (early variety) คือ ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 90 –100 วัน

2.3.4.2 ข้าวกลาง (medium variety) คือ ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 100-120 วัน

2.3.4.3 ข้าวหนัก (late variety) คือ ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป

2.3.5 แบ่งตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

2.3.5.1 ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร

2.3.5.2 ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร

2.3.5.3 ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร

2.3.5.3 ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป

2.3.6 แบ่งตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน คือไม่เป็นไปตามอายุของต้นข้าว เพราะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กว่ากลางคืน ในประเทศไทยช่วงดังกล่าวเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม ดังนั้นข้าวลักษณะนี้จึงต้องปลูกในฤดูนาปี (ฤดูฝน) เท่านั้น ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล

2.4 สายพันธุ์ข้าวที่นิยมเพาะปลูกและบริโภคในประเทศไทย (วราภรณ์, 2551)

สายพันธุ์ข้าวที่เพาะปลูกในประเทศไทยพบว่า มีอยู่ประมาณ 17,000 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกมากและนิยมบริโภคได้แก่

2.4.1 ข้าวสายพันธุ์ กข5 (RD5) เป็นข้าวสายพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์พวงนาค 16 ของไทยกับพันธุ์ซิกาดิสของอินโดนีเซีย ได้ผสมพันธุ์และคัดพันธุ์แบบสืบตระกูลที่สถานีทดลองข้าวบางเขน เมื่อปี พ.ศ.2508 จนได้สายพันธุ์ BKN6517-9-2-2 ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเจ้าต้นสูงประมาณ 145 เซนติเมตร เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสงเล็กน้อย เหมาะที่จะปลูกเป็นข้าวนาปี ถ้าปลูกตามฤดูกาลจะเก็บเกี่ยวได้ปลายเดือนพฤศจิกายน แต่ถ้าปลูกในฤดูนาปรังหรือไม่ปลูกตามฤดูกาล อายุอยู่ระหว่าง 140-160 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเดือนที่ลำต้นสีม่วง มีรวงยาว ต้นแข็งไม่ล้มง่าย

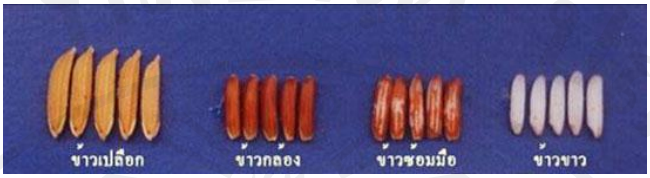
2.4.2 ข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 140 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสงลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาวข้าวเปลือกสีฟางอายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 25 พฤศจิกายนเมล็ดข้าวกล้องกว้าง 2.1มิลลิเมตร ยาว 7.5 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 12-17 คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม

2.4.3 ข้าวสายพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (Niaw San-pah-tawng) ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเหนียว สูงประมาณ 150 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ต้นค่อนข้างแข็ง รวงยาว เมล็ดยาวเรียว เมล็ดข้าวกล้องกว้าง 2.1 มิลลิเมตร ยาว 7.2 มิลลิเมตร หนา 1.3 มิลลิเมตร ข้าวเปลือกมีสีน้ำตาล คุณภาพข้าวสุกมีลักษณะเหนียวนุ่ม

2.4.4 ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 60 (Pathum Thani 60) เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 159 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายน ลำต้นและใบมีสีเขียว มีขนบนใบ รวงแน่นระแง้ถี่ คอรวงยาว เมล็ดเรียวยาวท้องไข่น้อยเมล็ดข้าวเปลือกสีฟางระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง 2.3 มิลลิเมตรยาว 7.5 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 27-32คุณภาพข้าวสุก ค่อนข้างร่วน มีกลิ่นหอม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง (อัสวิน, 2550)



ภาพที่ 2.2 ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ที่มา: http://kkn-rsc.ricethailand.go.th/rice/pedigree/rice-var-bank.html

ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง (*Oryza sativa* L.) เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุงมีลักษณะแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นๆ คือ บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีขาวปนสีแดงอ่อนๆจนถึงแดงเข้มในเมล็ดเดียวกัน เมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะนิ่ม ค่อนข้างเหนียว ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นพันธุ์ข้าวนาสวนไวต่อช่วงแสง (ปลูกได้เฉพาะนาปี) หากตกกล้ากลางเดือนสิงหาคม ข้าวจะออกดอกในต้นเดือนมกราคม และจะเก็บเกี่ยวได้ในเดือนกุมภาพันธ์ (ตามฤดูกาลทำนาเดิมของจังหวัดพัทลุง) มีการแตกกอเฉลี่ย 8 ต้นต่อกอ ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 140 เซนติเมตร การเพาะปลูกปี 2550/51 มีผลผลิตเฉลี่ย 817.2 ตัน (พิชาญ, 2554)

พันธุ์ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง (KGTC82239-2) มีคุณสมบัติของเมล็ดข้าวทางกายภาพ เปลือกเมล็ดมีสีฟางข้าวกล้อง ข้าวกล้องมีสีขาวปนแดง เมล็ดเรียว ยาว 6.5 มิลลิเมตร กว้าง 1.9 มิลลิเมตร เมล็ดข้าว 100 เมล็ด หนัก 1.98 กรัม มีคุณภาพการสีดี สำหรับคุณสมบัติทางเคมี มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 4.81 ถือว่าต่ำที่สุดในบรรดาข้าวพื้นเมือง ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติของข้าวเมื่อหุงสุกมีความอ่อนนุ่ม ค่อนข้างเหนียวทำให้ย่อยง่ายเหมาะกับผู้สูงอายุ ณัฐวรรณและมณฑิรา (2554) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง โดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 20 ทดแทนแป้งสาลีเสริมธัญพืชชนิดข้าวตอกพบว่า สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของคุกกี้ได้ และผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ นุชรีและยุพาวรรณ (2551) ทำการพัฒนาไอศกรีมข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงพบว่า ไอศกรีมข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีเอกลักษณ์โดดเด่น คือมีสีแดงซึ่งสารสีแดงนี้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และไอศกรีมยังมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว แตกต่างจากไอศกรีมทั่วไป ซึ่งไอศกรีมข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเหมาะสมที่จะเป็นไอศกรีมสำหรับคนรักสุขภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

คุณค่าทางโภชนาการข้าวพันธุ์สังข์หยดเมืองพัทลุงแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการข้าวพันธุ์สังข์หยดเมืองพัทลุง

โภชนาการ (ตัวอย่างข้าว 100 กรัม)	**ปริมาณ**
ไขมัน (กรัม)	2.42
คาร์โบไฮเดรท (กรัม)	78.31
ใยอาหาร (กรัม)	4.81
เถ้า (กรัม)	1.26
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.32
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	6.46
โปรตีน (กรัม)	7.30
ความชื้น (กรัม)	10.71
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	364.22

ที่มา. จากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง, โดย สำเริง แซ่ตัน, 2550, พัทลุง: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมการข้าว, ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง (จังหวัดพัทลุง).

2.6 กระบวนการสีข้าว (อรอนงค์, 2547)

ในปี 2553 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้สูงเป็นอันดับ 6 ของเอเชีย สามารถผลิตข้าวเปลือกได้ 19 ล้านตัน และข้าวเปลือกเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ข้าวประมาณร้อยละ 65-75 ปลายข้าวร้อยละ 15 และรำข้าวร้อยละ 10 ที่เหลือร้อยละ 1 เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตข้าวสารที่ผลิตได้ในประเทศ พบว่าประเทศไทยมีผลพลอยได้จากการสีข้าวสูงถึง 5.82 ล้านตัน เป็นรำข้าว 1.9 ล้านตัน และแกลบ 3.92 ล้านตัน ซึ่งถือได้ว่ารำข้าวที่ประเทศไทยสามารถผลิตได้มีปริมาณสูง (กอบสุข, 2553)

กระบวนการสีข้าว ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ได้แก่

2.6.1 การทำความสะอาด เพื่อกำจัดระแง้ใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดิน ทราย เมล็ดวัชพืชและสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากข้าวเปลือก

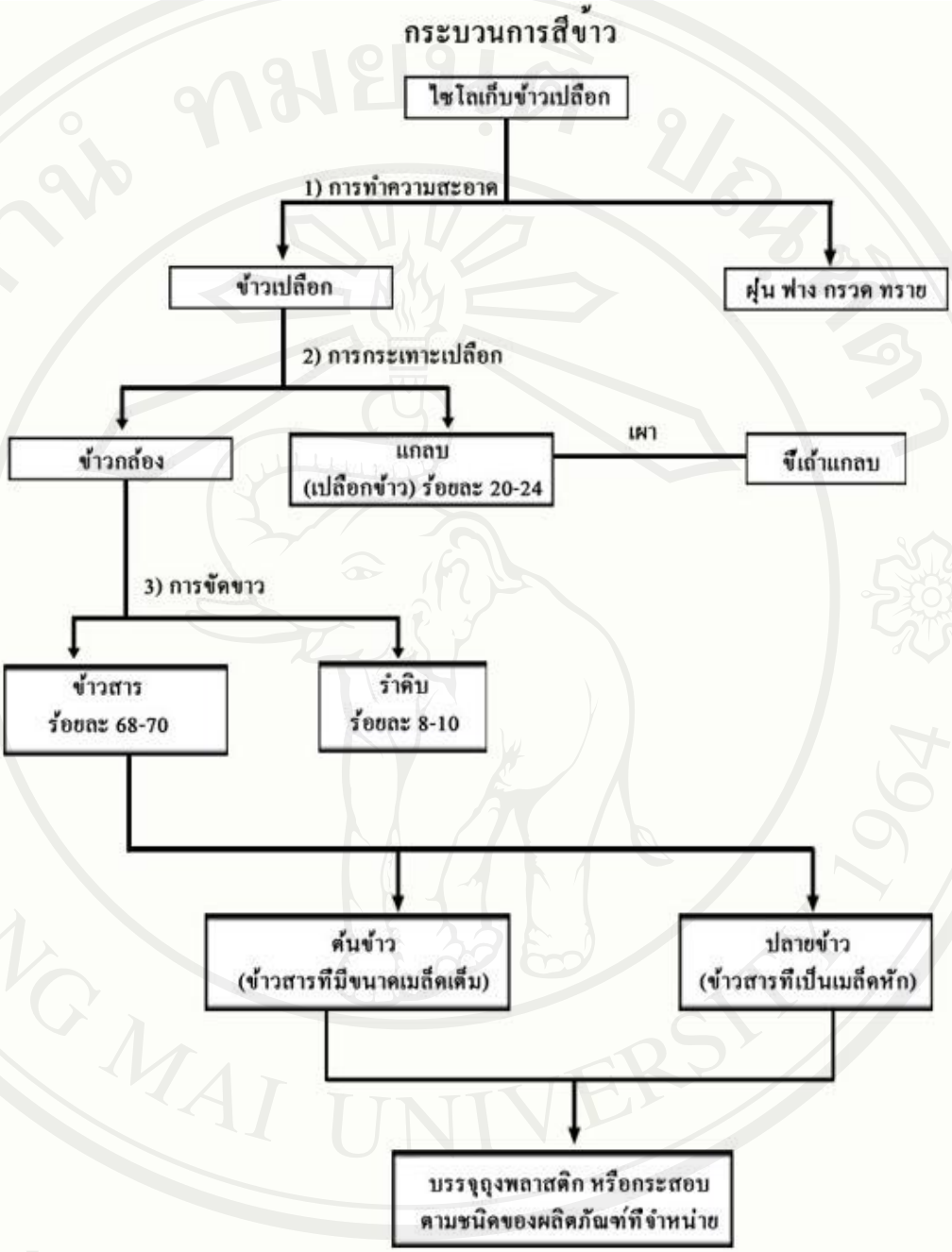
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การกะเทาะ เพื่อแยกเปลือกหุ้มแข็งออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้รับคือ แกลบ เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด หาง กลีบเลี้ยง และขั้วเมล็ด มีประมาณร้อยละ 20-24 ของข้าวเปลือก และข้าวกล้องซึ่งมีเยื่อหุ้มชั้นนอกติดอยู่

2.6.3 การขัดขาว เพื่อขัดเยื่อหุ้มเมล็ด และทำให้คัพภะหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้รับคือ รำเป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด คัพภะ และผิวนอกของข้าวสารมีประมาณร้อยละ 8-10 ของข้าวเปลือก และข้าวสารมีประมาณร้อยละ 68-70 ของข้าวเปลือก

2.6.4 การคัดแยก เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ซึ่งแต่ละส่วนอาจมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้าวเปลือกก่อนสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.3 กระบวนการสีข้าว

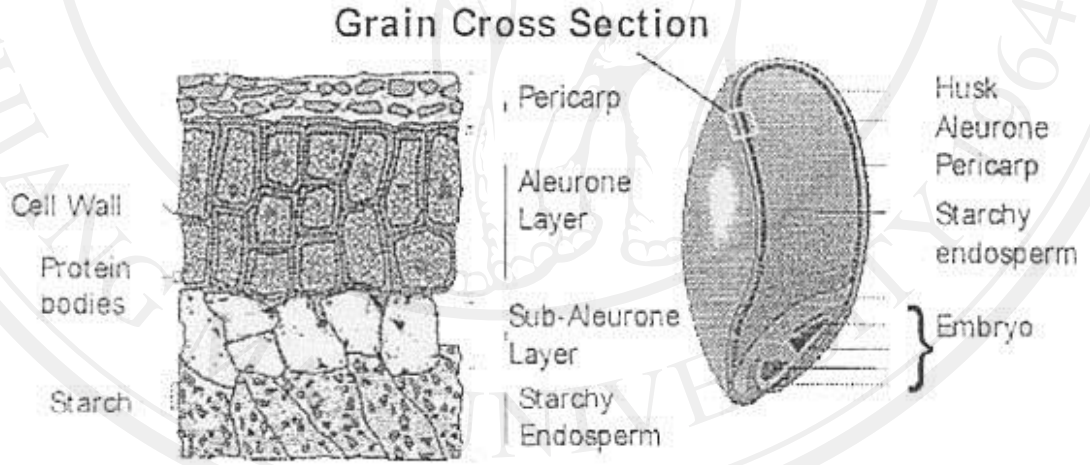
ที่มา: ประยุกต์จากอรอนงค์ (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 รำข้าว

รำข้าวคือ เยื่อสีน้ำตาลอ่อนที่หุ้มด้านในติดกับเมล็ดข้าว เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่ออลูโรน จมูกข้าว และผิวส่วนนอกของข้าว ซึ่งจะแบ่งเป็นรำข้าวหยาบ (coarse bran) และรำข้าวละเอียด (rice bran) คิดเป็นปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักเมล็ด เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน

รำข้าวเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยวิตามินอีและโอรีซานอล (oryzanol) โดยเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดไขมันในเลือดและช่วยต้านอนุมูลอิสระ รำข้าวที่ได้จากการขัดสีข้าวกล้องนั้นประกอบด้วยเปลือกหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ด ชั้นเยื่อโปร่งใส ชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด คัพภะ และส่วนที่ถัดจากชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดของเนื้อเมล็ดและยังมีส่วนของแกลบและปลายข้าวปะปน ซึ่งปริมาณของส่วนประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวิธีการและระดับของการขัดสีข้าว (จันทร์สม, 2546) โดยที่รำข้าวมีองค์ประกอบดังนี้ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใยอาหารและเถ้าร้อยละ 15.0-22.5, 34.1-53, 12.0-15.6, 7.0-11.4 และ 6.6-9.0 ตามลำดับ (Juliano, 1985) โครงสร้างของรำข้าวแสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของรำข้าว

ที่มา: (จารุดา, 2545)

สำหรับโปรตีนในรำข้าว Hamada (1997) ได้รายงานโปรตีนชนิดต่างๆในรำข้าวซึ่งผ่านการสกัดน้ำมันว่าข้าวสายพันธุ์ Bengal, Cypress, Della, Mars และ Maybelle ประกอบด้วย แอลบูมิน (albumin), โกลบูลิน (globulin), โปรลามิน (prolamin), กลูเตลิน (glutelin) และกลูเตลินที่ละลายได้ในกรด (acid-soluble glutelins) ร้อยละ 34, 15, 6 และ 11 ตามลำดับ นอกจากนี้ Betschart *et al.* (1977) ได้ทำการจำแนกโปรตีนชนิดต่างๆในรำข้าว โดยใช้สมบัติการละลายซึ่งใช้ตัวทำละลายคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 เอทานอลร้อยละ 60 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 พบว่าสามารถสกัดโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน โปรลามิน และกลูเตลินจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนได้ร้อยละ 26.5, 13.6, 1.8, 24.4 และจากรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนร้อยละ 8.7, 4.7, 1.5 และ 18.8 ตามลำดับ Prakash and Ramanatham (1995) ได้ทำการจำแนกโปรตีนชนิดต่างๆที่อยู่ในรำข้าวที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ตามลำดับ คือ น้ำกลั่นที่พีเอช 6.8 สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลาร์ที่พีเอช 6.8 เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 75 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 11 ผลการทดลองพบว่า รำข้าวมีโปรตีนแอลบูมินและโกลบูลิน เป็นโปรตีนหลักเมื่อจำแนกตามสมบัติการละลาย

2.7.1 ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว (อภิวัน, 2554)

รำข้าวส่วนใหญ่ยังคงใช้เป็นอาหารสัตว์เนื่องจากรำข้าวมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็วและมีกลิ่นหืน ซึ่งการสูญเสียคุณภาพของรำข้าวเกิดจากส่วนที่เป็นไขมันซึ่งมีปริมาณร้อยละ 15-20 โดยธรรมชาติ เมื่อเอนไซม์ไปย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระ กรดไขมันเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเติมออกซิเจนกับก๊าซออกซิเจนในอากาศกลายเป็นสาร catbonyl ที่มีกลิ่นหืน ปฏิกิริยาต่อเนื่องดังกล่าวสามารถชะลอให้ช้าลงโดยใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ รำละเอียดที่สกัดน้ำมันออก (defatted polish) จะมีคุณภาพดีขึ้นเนื่องจากไม่มีกลิ่นหืน

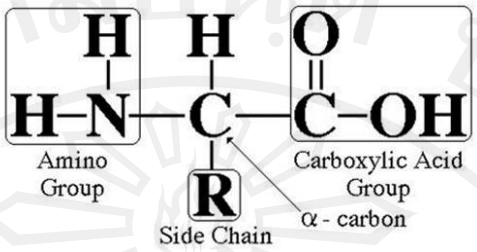
อาหารและเครื่องดื่มที่ทำจากผลพลอยได้ของข้าว

- รำข้าวที่มีโปรตีนอยู่ร้อยละ 15-17 สามารถนำมาสกัดเป็นโปรตีนจากรำข้าวเพื่อผลิตเป็นโปรตีนเข้มข้น ผสมลงในเครื่องดื่ม เช่น เครื่องดื่มจากผักและผลไม้เสริมโปรตีน หรือใช้แทนโปรตีนจากนมถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังใช้แทนข้าวสาลีที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำซีอิ้ว (koji) ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารเด็กอ่อน
- ผสมรำข้าวในขนมปังยีสต์สด
- ทำขนมอบต่างๆ

2.8 โปรตีน

โปรตีนเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุด (monomer) มาเรียงต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น โดยหากมีกรดอะมิโน 2 ตัวมาต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์เรียกว่า ไดเปปไทด์ (dipeptide) ส่วนโมเลกุลที่มีการเชื่อมโยงของกรดอะมิโนมากกว่า 2-50 เรียกว่า เปปไทด์ (peptide) และโมเลกุลที่มีการเชื่อมมากกว่า 50 เรียกว่า โปรตีนหรือโพลีเปปไทด์ (polypeptide) โดยกรดอะมิโนมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างกรดอะมิโน

ที่มา : http://philomath.exteen.com/20070910/entry-5

2.8.1 กรดอะมิโน

กรดอะมิโนประกอบไปด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) อย่างละ 1 หมู่ และมีหมู่สายแขนง (R) ต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอม ซึ่งหมู่ R แตกต่างกันไปตามชนิดของกรดอะมิโน โดยพบว่ามีกรดอะมิโนที่สำคัญ 20 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งกรดอะมิโนตามสมบัติออกเป็น 4 กลุ่ม (นิธิยา, 2545)

2.8.1.1 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง เรียกว่า neutral amino acid หมายถึง กรดอะมิโนที่มีหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโนอย่างละ 1 หมู่ และหมู่ R เป็นไฮโดรฟีลิก สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี ได้แก่ กลูตามีน เซรีน แอสพาราจีน และทรีโอนีน

2.8.1.2 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง หมายถึง กรดอะมิโนที่มีหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโนอย่างละ 1 หมู่ และหมู่ R เป็นไฮโดรโฟบิก ได้แก่ วาลีน ลูซีน ไอโซลูซีน ซิสตีน อะลานีน ฟีนิลอะลานีน ไทโรซีน ซิสเตอีน โพรลีน เมไทโอนีน และไกลซีน

2.8.1.3 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรด หมายถึง กรดอะมิโนที่มีหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่และมีหมู่อะมิโน 1 หมู่ได้แก่ กรดกลูตามิก และกรดแอสพาร์ติก

2.8.1.4 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง หมายถึง กรดอะมิโนที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่และมีหมู่อะมิโน 2 หมู่ได้แก่ ไลซีน ฮิสติดีน อาร์จีนีน และทริฟโตเฟน

2.8.2 สมบัติของโปรตีน (นิธิยา, 2545)

2.8.2.1 สมบัติทางประจุของโมเลกุลโปรตีน

กรดอะมิโนและโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งกับกรดและด่างเพราะโครงสร้างของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนซึ่งมีคุณสมบัติเป็น amphoteric ดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า ประจุสุทธิของโมเลกุลเป็นตัวบ่งบอกทิศทางของการเคลื่อนที่ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุล โปรตีนแต่ละชนิดมีค่าไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point, pI) หรือค่าพีไอแตกต่างกัน ณ ค่าพีเอชเท่ากับค่าพีไอนี้ เป็นจุดที่โปรตีนมีประจุบวกเท่ากับประจุลบ นั่นคือมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ ดังนั้นโปรตีนจะไม่มีการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า หากพีเอชของอาหารต่ำกว่าค่าพีไอ โปรตีนมีประจุรวมเป็นบวก ทำให้โปรตีนมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (cathode) แต่หากพีเอชของอาหารสูงกว่าค่าพีไอ โปรตีนมีประจุรวมเป็นลบ และมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก (anode)

2.8.2.2 การละลายและการตกตะกอนของโปรตีน

โปรตีนเมื่อผสมกับน้ำเป็นสารพวกคอลลอยด์ (colloid) ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้นการละลายน้ำของโปรตีนมีความหมายว่าโปรตีนกระจายตัวในน้ำ การละลายน้ำของโปรตีนขึ้นอยู่กับพีเอช กำลังไอออนิก และอุณหภูมิ โปรตีนสามารถละลายน้ำได้น้อยที่สุดที่จุดไอโซอิเล็กตริก (pI) เพราะโปรตีนมีประจุบวกเท่ากับประจุลบ แรงผลักกันระหว่างโมเลกุลจึงไม่มี แต่ถ้าระดับความเป็นกรด-ด่างสูงหรือต่ำกว่าจุด pI โปรตีนมีประจุบวกหรือประจุลบ จึงผลักกัน ไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ จึงมีการกระจายตัวของโปรตีนในน้ำได้ดี โปรตีนตกตะกอนได้ง่าย เมื่อถูกความร้อน กรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ ปกติโปรตีนในสารละลายที่มีน้ำอยู่ด้วย โมเลกุลของโปรตีนจะจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าจับกับโมเลกุลของโปรตีนด้วยกันเอง ทำให้โปรตีนสามารถละลายได้ ถ้าทำให้โปรตีนจับกับน้ำได้น้อยลงโปรตีนจะตกตะกอน แต่ถ้าใช้วิธีเติมกรดหรือด่าง ให้ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ pI ของโปรตีน หรือเติมเกลือที่เป็นกลาง จะทำให้โปรตีนตกตะกอนได้โดยไม่เสียสภาพธรรมชาติ จึงใช้วิธีนี้แยกโปรตีนหรือเอนไซม์ในธรรมชาติจากเนื้อเยื่อได้ ซึ่งการตกตะกอนโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนโปรตีนโดยใช้ความร้อน การตกตะกอนโดยเติมเกลือ (neutral salt) เป็นต้น

2.8.2.3 การจับกับอิออน

เมื่อโปรตีนมีหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโนที่อิสระจะสามารถรวมตัวกับอิออนในสารละลายได้ ซึ่งถ้าโปรตีนประจุเป็นบวกสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนประจุลบได้ การมีประจุเป็นบวกหรือลบของโปรตีนขึ้นอยู่กับความเป็นกรดหรือด่างว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าพีไอ

2.8.2.4 การจับกับน้ำของโปรตีน

โปรตีนสามารถจับตัวกับน้ำได้ โดยการจับตัวกับน้ำของโปรตีนเกิดจากไนโตรเจนและออกซิเจนมีอิเลกตรอนอิสระ 1 คู่ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ โดยไนโตรเจนของหมู่อะมิโนอิสระและหมู่คาร์บอกซิลของกรดที่อยู่ปลายสุดของโมเลกุลของโปรตีนจับกับไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.2.5 สมบัติเชิงหน้าที่ในอาหาร (วราทิพย์, 2552)

2.8.2.5.1 การละลาย (solubility)

เป็นสมบัติที่สำคัญของโปรตีน ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในอาหารที่เป็นของเหลว และเครื่องดื่ม เนื่องจากการละลายของโปรตีนมีผลต่อการเกิดเจล การเกิดอิมัลชัน และการเกิดโฟม โดยการละลายของโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ(hydrophobic) โดยส่วนที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำ จะอยู่บริเวณพื้นผิวของโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ และส่วนที่เป็นส่วนไม่ชอบน้ำ มักจะอยู่ภายในโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นหากโปรตีนมีส่วนที่ชอบน้ำมาก และมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำน้อย โปรตีนจะมีสมบัติในการละลายที่ดี

2.8.2.5.2 การเกิดอิมัลชัน (emulsification)

อิมัลชัน คือ ระบบของอาหารที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสม โดยทั้งตัวกระจายและตัวทำละลายเป็นของเหลว มีของเหลวอย่างน้อย 1 ชนิดที่รวมตัวกับของเหลวอื่นไม่ได้ ซึ่งเรียกว่าตัวกระจาย โดยจะอยู่ในรูปของ droplets

การทำให้เกิดอิมัลชัน พบว่าเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนไม่มีขั้วบนผิวของโมเลกุล โดยการเกิดอิมัลชันเป็นผลมากจากการดูดซับโมเลกุลโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดอะมิโนไม่มีขั้วจะทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วจะแทรกตัวเข้าไปอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมัน และหันส่วนที่มีขั้วออกมาสัมผัสกับน้ำ ทำให้เม็ดน้ำมันมีประจุชนิดเดียวกัน ไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ ดังนั้นโปรตีนที่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีขั้วสูงจะทำให้เม็ดน้ำมันดูดซับได้มาก อิมัลชันจึงเกิดได้ดี อย่างไรก็ตามโปรตีนที่จะทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีจะต้องละลายน้ำได้ดีด้วย

2.8.2.5.3 การเกิดโฟม (foamation)

โปรตีนมีสมบัติที่สามารถทำให้เกิดพื้นผิวสัมผัส หรือฟิล์มขึ้นระหว่างอากาศกับของเหลวซึ่งโปรตีนจะทำหน้าที่ในการลดแรงตึงผิวระหว่างอากาศกับของเหลว โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนจะเป็นส่วนที่สำคัญในการเกิดพื้นที่ผิวสัมผัส โดยจะเป็นส่วนที่ถูกดูดซับที่ผิวสัมผัส อีกทั้งยังพบว่าการเกิดโฟมของโปรตีนพบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของโปรตีน ถ้าโปรตีนละลายได้มากนั้นหมายถึงเกิดการกระจายตัวของโปรตีนในน้ำได้ดีเช่นกัน จึงส่งผลให้โมเลกุลของโปรตีนที่สามารถละลายได้ในส่วนที่เป็นของเหลวจะสามารถแพร่กระจายไปยังผิวหน้าระหว่างน้ำและอากาศได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการจับกับอากาศของโปรตีนส่งผลให้เกิดโครงสร้างฟิล์มล้อมรอบฟองอากาศไว้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 การผลิตโปรตีนสกัด (พรรณวดี, 2552)

ในกระบวนการผลิตโปรตีนสกัดมี 2 ขั้นตอน คือ การสกัดโปรตีนและการตกตะกอนโปรตีน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของโปรตีนนั้น โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีน ดังนี้ คือ

2.9.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

โปรตีนในพืชเป็นโปรตีนประเภทโกลบูลิน (globulin) ซึ่งปกติโมเลกุลรอบนอกของโปรตีนเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) แต่ที่ isoelectric pH (IEpH) โมเลกุลรอบนอกของโปรตีนมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน ทำให้โปรตีนสูญเสียความมีขั้วจึงทำให้แรง electrostatic และแรงในการดูดซับน้ำลดลง โปรตีนเกิดการจับตัวและตกตะกอน หากมีการเพิ่มหรือลด pH ให้มากหรือน้อยกว่า IEpH โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น เนื่องจากแรง electrostatic และเกิดประจุในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้โปรตีนเกิดการละลาย โดยการละลายของโปรตีนที่ pH ต่างๆ ในอาหารโปรตีนส่วนใหญ่เป็นรูปตัวยู (U-shaped curve)

หากมีการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลรอบนอกของโปรตีนมีส่วนที่ไม่มีประจุเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนเกิดการคลายตัวและเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ความสามารถในการละลายจึงลดลง

Lianqing *et al.* (2008) ทำการสกัดโปรตีนจากเยื่อใบชาโดยวิธีสกัดด้วยด่างที่สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของเยื่อใบชาและสารละลายด่างเท่ากับ 1:35 เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.04-1.5 โมลาร์พบว่า อัตราการสกัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ Wan (2010) ทำการสกัดรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน โดยวิธีการสกัดด้วยด่างที่สภาวะอุณหภูมิในการสกัดระหว่าง 60 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 4 ชั่วโมง อัตราส่วนของรำข้าวและสารละลายด่างเท่ากับ 20:1 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-2.5 พบว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น

2.9.2 กำลังไอออนิก

การละลายของโปรตีนโกลบูลินมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ โดยโปรตีนและไอออนของเกลือแย่งกันจับน้ำทำให้ความสามารถในการละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Salting in ซึ่งความเข้มข้นของเกลือที่ใช้อยู่ในช่วง 0.1-1.0 โมลาร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ โปรตีน เกลือ พีเอช และอุณหภูมิ

ไอออนของเกลือจับกับประจุตรงข้ามของโปรตีนเกิดเป็นชั้นของหมู่ไอออนิกซึ่งไปลดแรง electrostatic ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน เป็นเหตุให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ salting in เกิดขึ้นจะขึ้นกับชนิดไอออนตาม hofmeister series และเมื่อเติมเกลือลงไปในสารละลายโปรตีนผสม เพื่อเพิ่มความแรงอิออน (ionic strength) ของสารละลายให้สูงขึ้น จนกระทั่งอิออนของเกลือไปแย่งโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีนออกมาล้อมรอบโมเลกุลของเกลือ เป็นการแข่งขันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและโมเลกุลของเกลือในการเกิดแรงกริยาทางไฟฟ้ากับโมเลกุลของน้ำ เมื่อแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำมีค่าเหลือน้อยกว□าแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับโปรตีน โปรตีนจึงจับตัวกันตกตะกอนลงมา เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า salting out

แต่การสกัดโปรตีนด้วยสารละลายเกลือมีข้อเสียคือ โปรตีนที่ได้มีปริมาณเกลือปนอยู่เป็นจำนวนมาก ต้องนำโปรตีนที่สกัดได้ไปผ่านขั้นตอนการกรองด้วยวิธี dialysis หรือ ultrafiltration ก่อนนำโปรตีนมาตกตะกอน

2.9.3 อุณหภูมิ

ที่ pH และกำลังไอออนิกคงที่ ความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นในช่วง 0-40 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสทำให้เกิดพลังเทอร์มอลไคนิติก (thermal kinetic) เป็นเหตุให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โดยเกิดการคลายตัวทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำออกมาอยู่ภายนอก โปรตีนเกิดการจับตัวกันเองและตกตะกอนลงมา ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดลง จากการทดลองของ Lianqing *et al*. (2008) ซึ่งทำการสกัดโปรตีนจากเยื่อใบชาโดยวิธีสกัดด้วยด่างที่สภาวะ เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง อัตราส่วนของเยื่อใบชาและสารละลายด่างเท่ากับ 1:35 ที่ความเข้มข้นโซเดียม ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.06 โมลาร์ อุณหภูมิช่วง 25-30 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการสกัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มสูงขึ้น

2.9.4 องค์ประกอบอื่นๆ

องค์ประกอบอื่นๆในสารละลายเช่น ไอออน หรือสารละลายอินทรีย์ มีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอออนของโลหะหนัก เช่น ซิงค์ แคดเมียม และแบเรียม หรือแอนไอออนของสารอินทรีย์ เช่น แทนเนต ทังสแตน โมลิบเดต ไตรคลอโรอะซิเตรท เปอร์คลอเรต และซัลโฟซาลิไซเลต ทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน ขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิ และกำลังไอออน

หากมีการเติมสารละลายอินทรีย์ (oganic solvent) เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โดยโปรตีนมีการเพิ่มแรง electrostatic ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน โดยแรง electrostatic ภายในโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนของหมู่เปปไทด์ และแรง electrostatic ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมีประจุเหมือนกันเป็นตัวชักนำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนในสารละลาย

ไขมันทำปฏิกิริยากับโปรตีนโดยนำส่วนที่ไม่มีขั้วของโซ่อะลิฟาติกมาจับกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่รอบนอกโมเลกุลของโปรตีน ทำให้การเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำลดลง ส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดลง

2.10 โปรตีนไฮโดรไลเสต

โปรตีนไฮโดรไลเสต คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยโปรตีนโดยการตัดสายพอลิเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนอิสระหรือเปปไทด์สายสั้นๆ โดยใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการหรือปรับปรุงสมบัติบางประการของโปรตีน เช่น สมบัติการละลาย สมบัติการเกิดโฟม และสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น

2.10.1 วิธีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต

โดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี คือ

2.10.1.1 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยสารเคมี

เป็นการทำให้พันธะเปปไทด์แตกออกโดยใช้สารละลายกรดหรือด่าง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่ควบคุมระดับการย่อยโปรตีนได้ยากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่คงที่และมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

2.10.1.2 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเอนไซม์

เป็นการตัดพันธะในโมเลกุลของโปรตีนให้เป็นพันธะที่สั้นลงและเกิดกรดอะมิ-โนอิสระ การย่อยโปรตีนด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นสูง จึงไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในปริมาณมาก และสามารถย่อยโปรตีนได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรง และการใช้เอนไซม์มีอัตราการย่อยโปรตีนสูงเมื่อเทียบกับกรดหรือด่าง (Kristinsson and Rasco 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเอนไซม์ เริ่มจากนำวัตถุดิบมาบดให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำ และเอนไซม์ย่อยที่อุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ไม่ควรใช้เวลาในการย่อยมากเกินไปเพราะอาจทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีรสขม จากนั้นหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนสูงเพียงพอทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ แล้วนำไปแยกกากออก ส่วนที่เป็นของเหลวนำไปทำแห้งได้เป็นโปรตีนไฮโดรไลเสต (Gildberg, 1993)

2.10.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต (ธันยพร, 2550)

2.10.2.1 ชนิดของเอนไซม์

การย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ต่างชนิดกันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ต่างกัน ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพเนื่องจากเอนไซม์แต่ละชนิดมีความสามารถในการตัดสายโปรตีนที่ตำแหน่งกรดอะมิโนจำเพาะแตกต่างกันไป จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือสายเปปไทด์ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป

2.10.2.2 ปริมาณของเอนไซม์

การใช้เอนไซม์ในปริมาณมากทำให้ระดับการย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นระดับหนึ่ง ซึ่งอัตราการเข้าทำปฏิกิริยาต่อกันของเอนไซม์และสารตั้งต้นถึงจุดสมดุล จากนั้นระดับการย่อยโปรตีนคงที่

2.10.2.3 สภาวะการย่อย

เอนไซม์โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาที่ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ต่างกัน แต่มีช่วงความเป็นกรดด่างหนึ่งที่เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีที่สุด ดังนั้นในการนำเอนไซม์มาใช้งานจึงต้องมีการควบคุมความเป็นกรดด่างให้เหมาะสม และเนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง อุณหภูมิในการย่อยโปรตีนจึงมีบทบาทสำคัญ เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงเกินไป ทำให้โครงสร้างของเอนไซม์เสียสภาพ ส่งผลให้เอนไซม์สูญเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิในการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์แต่ละชนิดควรคำนึงถึงความเสถียรของเอนไซม์ต่ออุณหภูมิ นอกจากนี้ระยะเวลาในการย่อยยังมีผลต่อการย่อยโปรตีนเช่นกัน โดยในช่วงแรกของการย่อยโปรตีน เอนไซม์เข้าจับกับโปรตีนอย่างรวดเร็วเกิดการย่อยโปรตีนจนทำให้เกิดเปปไทด์ขึ้น จากนั้นเมื่อใช้เวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจึงคงที่

2.11 การสกัดโปรตีนจากรำข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยวิธีกรดและด่างนั้นเป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อสกัดโปรตีนจากรำข้าว โดย Sudarat *et al*. (2005) ได้ทำการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวโดยวิธีสกัดด้วยด่าง โดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดและใช้โปรตีนที่สกัดได้เป็นส่วนผสมในสูตรขนมปังเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปังให้เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค โดยแสดงผลแบบวิธีการตอบสนองโครงร่างพื้นผิว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอยู่ที่พีเอช 11 และระยะเวลาในการสกัดที่ 45 นาที ได้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 69.16 ของโปรตีนทั้งหมดในรำข้าว นอกจากนี้มีการศึกษาสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยน้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) Ketmanee *et al*. (2008) ทำการสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยวิธีสกัดโดยใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤติ โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 200-220 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ระหว่าง 10-30 นาที อัตราส่วนน้ำต่อรำข้าวที่ 1:5 ถึง 2:5 โดยหาปริมาณโปรตีนที่ได้ กรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนคือ 30 นาที อัตราส่วนของน้ำต่อรำข้าวอยู่ที่ 1:5 อุณหภูมิที่เหมาะสมของรำข้าวคือ 220 องศาเซลเซียส Issara *et al*. (2008) ทำการสกัดโปรตีนและกรดอะมิโนจากรำข้าวสกัดน้ำมันโดยวิธีการสกัดโดยใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤติเปรียบเทียบกับวิธีสกัดด้วยด่างที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-30 นาที พบว่าการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยวิธีใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤติ ได้ปริมาณโปรตีนที่มากกว่าการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยวิธีสกัดด้วยด่าง โดยปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนที่สกัดได้สูงสุดอยู่ที่ 219$\pm$26 และ 8.0$\pm$1.6 มิลลิกรัมต่อกรัมของรำข้าว ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที และปริมาณโปรตีนที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสกัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ พรรณนภาและคณะ (2549) ทำการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายด่าง ได้สภาวะในการสกัดที่สามารถสกัดโปรตีนได้สูงที่สุด คือ การสกัดรำข้าวที่ผ่านการบดและผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช สกัดไขมันในห้องปฏิบัติการโดยใช้อัตราส่วนระหว่างรำข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) สามารถสกัดโปรตีนได้ร้อยละ 44.4 สำหรับการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดโปรตีนจากรำข้าว พบว่าที่พีเอช 9 ความสามารถในการละลายของโปรตีน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และดัชนีความคงตัวของอิมัลชันมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับที่พีเอชอื่นๆ นอกจากนี้ Silvestre *et al*. (2009) ได้ทำการสกัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ปาเปน (papain) โดยหาสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณโปรตีน พบว่า ปริมาณโปรตีนสูงสุดที่สามารถสกัดได้อยู่ที่ร้อยละ 63.4 โดยใช้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นที่ 1:10 ระยะเวลาในการสกัดที่ 5 ชั่วโมง

2.12 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวโดยใช้เอนไซม์อย่างกว้างขวาง โดยที่ Koolawadee *et al.* (2010) ได้ศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดของการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 โดยใช้เอนไซม์อัลคาเลส (alcalase) พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียสอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นที่ร้อยละ 1 และเวลาในการสกัดที่ 340 นาที สามารถผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวได้มากที่สุดคือ 1,876.2 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 15.63 ของโปรตีนทั้งหมดในรำข้าว นอกจากนี้หทัยกาญจน์ (2550) ได้หาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต จากรำข้าวหอมมะลิ 105 ที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์โพรเทค 6 แอล เพื่อหาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและผลผลิตสูงสุด พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต คือพีเอช 7.94 อัตราส่วนเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นที่ร้อยละ 3 ใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ร้อยละ 27.08 นอกจากนี้ Hamada (2000) ได้ทำการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันโดยใช้เอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์ (flavourzyme) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้โดยใช้เอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีค่าประมาณร้อยละ 81 และ 88 ที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 7.5 และ 8.8 ตามลำดับ และพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์มีสมบัติการละลายที่สูงกว่าการสกัดโดยเอนไซม์อัลคาเลสที่พีเอช 5, 7 และ 9 เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีปริมาณพอลิเปปไทด์โมเลกุลใหญ่ที่ละลายน้ำได้ และพอลิเปปไทด์ขนาดเล็กมากกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเอนไซม์อัลคาเลส 50

2.12.1 การใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต (ไพลิน, 2548)

เอนไซม์ Flavourzyme® เป็นเอนไซม์ที่ประกอบด้วยเอนไซม์โปรติเอสสองชนิด คือ เอนโดเปปติเดสและเอกโซเปปติเดสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus oryzae* สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ คือระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0–7.0 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เอนไซม์ชนิดนี้นิยมนำมาใช้ย่อยสลายโปรตีนภายใต้สภาวะเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย รวมทั้งนำมาใช้ลดความขมของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับการย่อยสลายต่ำ โดยผลของการย่อยสลายทำให้ได้สารปรุงแต่งกลิ่นรสขึ้น

Suthasinee *et al.* (2004) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต จากปลาโดยใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไสตด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ คืออัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรทเท่ากับ 50 LAPU/g ความเข้มข้นของสับสเตรทร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) อุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 66 อีกทั้งขณะย่อยสลายโปรตีนจากปลาไม่เกิดกรดอะมิโนที่ให้รสขม นอกจากนี้พรอริยา (2548) ได้ทำการย่อยโปรตีนในเห็ดแห้งด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 2.5 อัตราส่วนเห็ดต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (กรัม:มิลลิลิตร) นอกจากนี้ยังให้ความร้อนที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีกับเห็ดก่อนการเติมเอนไซม์ พบว่าได้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีระดับการย่อยสลายร้อยละ 53.91

2.13 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าว

Hamada (2000) รายงานการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตซึ่งเตรียมจากรำข้าวโดยใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์อัลคาเลส 24 แอลและเอนไซม์ฟลาโวไซม์ ซึ่งเอนไซม์ฟลาโวไซม์เป็นเอนไซม์ผสมระหว่างเอนโดโปรตีเอส (endoproteases) และเอกโซโปตีเอส (exoproteases) เนื่องจากโปรตีนรำข้าวไม่สามารถละลายได้ในสภาวะที่ใช้ตัวทำละลายอย่างอ่อน (mild solvent) แต่เมื่อใช้เอนไซม์อัลคาเลสทำการย่อยทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ทำลายพันธะเปปไทด์ในบริเวณสายพอลิเปปไทด์ของโปรตีนให้เป็นสายสั้นๆ ได้กรดอะมิโนและเปปไทด์เป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถในการละลายได้เพิ่มขึ้น ส่วนเอนไซม์เอกโซโปรตีเอสมีกลไกในการตัดพันธะเปปไทด์ที่แตกต่างออกไป ซึ่งตัดสายพอลิเปปไทด์ที่บริเวณกรดอะมิโนที่บริเวณปลายสายของแต่ละเปปไทด์ ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า การใช้เอนไซม์ที่มีส่วนผสมของเอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์ช่วยให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีคุณสมบัติด้านความสามารถในการละลาย และการเกิดอิมัลชันมีค่าสูงกว่าการใช้เอนไซม์อัลคาเลสเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Kakali *et al.* (2008) ได้ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวที่เตรียมโดยใช้เอนไซม์ปาเปนพบว่า โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีสมบัติเชิงหน้าที่ทั้งความสามารถด้านการละลาย สมบัติการเกิดอิมัลชัน และความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าโปรตีนก่อนการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวและช่วยให้ได้สมบัติของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น ใช้ประโยชน์ทางด้านเครื่องสำอาง หรือผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไป

2.14 การใช้ประโยชน์ โปรตีนไฮโดรไลเสต (ธันยพร, 2550)

2.14.1 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยที่ระดับการย่อยโปรตีนสูงจะประกอบด้วยกรดอะมิโนอิสระและเปปไทด์ขนาดเล็กจำนวนมาก เป็นแหล่งของไนโตรเจนที่ดีและเหมาะแก่การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ได้

2.14.2 อาหารสัตว์

โปรตีนไฮโดรไลเสตมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน จึงมีการนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ที่อยู่ในระยะแรกเกิดและระยะเจริญเติบโต เช่น ลูกแกะ ลูกวัว และลูกหมู เป็นต้น

2.14.3 อาหารมนุษย์

ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีและเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารของมนุษย์ เช่น ขนมอบ เป็นต้น

2.14.4 ด้านเครื่องสำอาง

โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนอิสระและเปปไทด์ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเปปไทด์สามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังชั้นที่ลึกลงไปได้ ช่วยกระตุ้นการสมานแผล ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า นอกจากนี้เปปไทด์ยังสามารถกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนและยับยั้งการทำลายคอลลาเจนได้อีกด้วย จึงมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

2.15 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลหรืออนุภาคที่อิเล็กตรอนวงนอกมีสภาพอิสระเนื่องจากการรับเพิ่มหรือขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัว ทำให้โมเลกุลหรืออนุภาคนั้นไม่เสถียรและมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงมาก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเสถียร โมเลกุลหรืออนุภาคนั้นต้องแย่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นไปเรื่อยๆ หากปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นกับร่างกายมนุษย์จะก่อให้เกิดการทำลายสารชีวะโมเลกุล เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และดีเอ็นเอ (Wiseman and Halliwell, 1996) ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ พบอนุมูลอิสระของออกซิเจนชนิดต่างๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ มีสาเหตุจากปัจจัยต่างๆทั้งภายในและภายนอกร่างกาย (เจนจิรา, 2554)

2.15.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.15.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (นิธิยา, 2548)

2.15.1.1.1 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น

ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น เป็นขั้นตอนที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น (R•) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว (RH) และออกซิเจน (O_2) โดยมีความร้อน แสง รังสี ไอออนของโลหะ หรือฮีม (heam) เป็นตัวเร่ง ดังสมการที่ 2.1

$$RH + O_2 \xrightarrow{\text{initiator}} R\bullet + H\bullet \qquad (2.1)$$

ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น อาจเกิดขึ้นโดยไม่อาศัยออกซิเจน เพียงแค่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แสง หรือความร้อนหรืออนุมูลโลหะ ก็เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้

2.15.1.1.2 ปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่อง

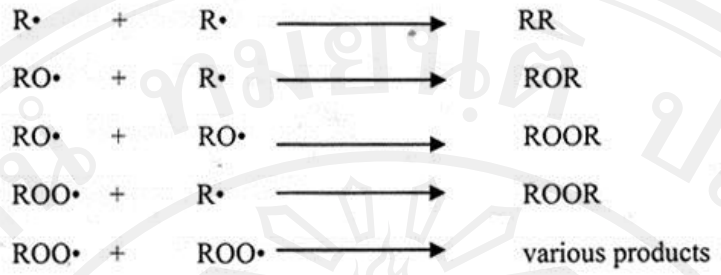
ปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่อง เป็นขั้นที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขึ้นต้น ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ (Peroxide radical; ROO•) และอนุมูลเปอร์ออกไซด์ที่ได้นี้ จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตัวอื่น ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลอิสระ (R•) ขึ้น ซึ่งสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ ถ้าหากมีแสง หรือความร้อน หรือโลหะเป็นตัวเร่ง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็จะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่เกิดอนุมูลเปอร์ออกไซด์ขึ้นอีก และปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการที่ 2.2

$$\left.\begin{aligned} R\bullet + O_2 &\longrightarrow ROO\bullet \\ ROO\bullet + RH &\longrightarrow ROOH + R\bullet \\ 2ROOH &\longrightarrow RO\bullet + ROO + H_2O \end{aligned}\right\} \qquad (2.2)$$

2.15.1.1.3 ปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย

ปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย เป็นขั้นที่อนุมูลอิสระเกิดขึ้น เกิดการรวมตัวกันในรูปต่างๆทำให้เกิดสารที่มีความคงตัว และทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไป ดังแสดงในสมการที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(2.3)

2.16 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน หมายถึง สารที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระชนิดต่างๆได้ โดยสารเหล่านี้มีกลไกการทำงานเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น การดักจับอนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ และป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ เป็นต้น (โอภาและคณะ, 2550) นอกจากนี้สารต้านออกซิเดชันสามารถช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ โดยการขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Kinsella *et al*., 1993) United States Department of Agriculture ได้ให้คำนิยามของสารต้านออกซิเดชันว่า เป็นสารที่ใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร โดยชะลอการเสื่อมเสีย การเกิดกลิ่นหืนหรือการเปลี่ยนแปลงสี อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi and Wannasundara, 1996)

ศุภวรรณ (2552) ทำการสกัดโปรตีนจากรำข้าวหอมมะลิสกัดน้ำมันโดยใช้สารละลายด่าง เริ่มจากการนำรำข้าวไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน 4:1 จากนั้นปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 11 ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมากรองได้สารละลายที่มีองค์ประกอบของเปปไทด์ โดยรำข้าว 1 กิโลกรัม สกัดเปปไทด์ได้ประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ซึ่งเปปไทด์ช่วยกระตุ้นการสมานแผล ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างและยับยั้งการทำลายคอลลาเจน นอกจากนี้ยังช่วยลดความดันและต้านอนุมูลอิสระนอกจากนี้ สุวลี (2549) ยังกล่าวไว้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนท์ เป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชันได้ดี หรือกล่าวได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีผลในการทำลายเซลล์ที่ดี ทั้งนี้ การบริโภคอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีผลดีต่อร่างกาย คือ

- ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้หลายชนิดและช่วยยับยั้งการกลายพันธุ์
- ลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง
- ลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคต้อกระจกในผู้สูงอายุ
- ชะลอความเสื่อมของเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ Samuel *et al*. (2010) ทำการศึกษาผลของเอนไซม์และสภาวะในการย่อยสลายที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนหางนม พบว่า โปรตีนหางนมที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ ที่ปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 2 เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 72.60 ทั้งนี้เนื่องจากเปปไทด์มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระเกิดเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆได้

2.16.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ (ปิยาภัทร, 2550)

สารต้านอนุมูลอิสระ มีทั้งสารที่มาจากธรรมชาติ (natural antioxidants) และสารสังเคราะห์(synthetic antioxidants) สารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ กรดอะมิโน (amino acid) วิตามินซี (ascorbic acid) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เมลานอยดิน (melanoidin) โทโคฟีรอล (tocopherol) แทนนิน (tannins) เปปไทด์ (peptides) และกรดอินทรีย์อื่นๆ ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารสังเคราะห์นั้นมีมากมายหลายชนิด ตัวอย่างเช่น Tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) และ Tert-butylthioquinone (TBHQ) เป็นต้น โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

2.16.1.1 Primary antioxidant

ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compound) และโทโคฟีรอล (tocopherol) รวมถึงสารโทโคฟีรอลสังเคราะห์บางชนิด เช่น alkyl gallate, BHA, BHT และ TBHQ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยการให้อิเล็กตรอนแก่โมเลกุลของอนุมูลอิสระให้เป็นสารที่มีความเสถียร

2.16.1.2 Oxygen scavenger

ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) และอนุพันธ์ เช่น ascorbyl palmitate, erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้เข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งจะเป็นการกำจัดโมเลกุลของออกซิเจนส่วนเกินในระบบปิด

2.16.1.3 Secondary antioxidant

ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropinic acid เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่สลาย lipid hydroperoxide ให้กลายเป็นสารที่มีความเสถียร

2.16.1.4 Enzymic antioxidant

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ เอนไซม์เหล่านี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme ซึ่งสารเหล่านี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนและอนุพันธ์ โดยเฉพาะไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

2.16.1.5 Chelating agent หรือ Sequestrant

ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดอะมิโน (amino acid) และ ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะเช่น เหล็กและทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียร

2.16.2 วิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ (ปิยาภัทร, 2550)

เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท และมีกลไกในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติเฉพาะตัวดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การวิเคราะห์หรือทดสอบความสามารถในการยับยั้งหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจึงไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงวิธีเดียว เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติย่อมมีความซับซ้อนของคุณสมบัติในทางเคมี

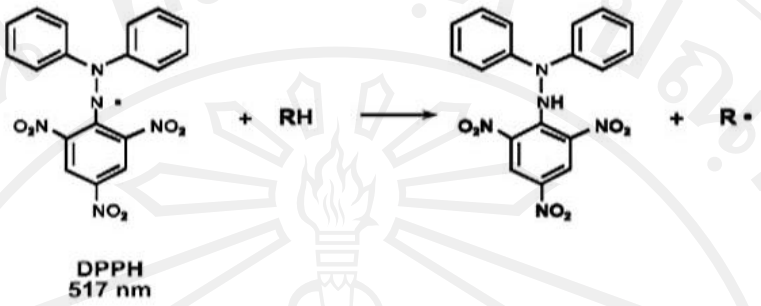
วิธีการทดสอบปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ ปัจจุบันมีหลายวิธี โดยทั่วไปอาศัยหลักการของการเกิดเรโซแนนซ์ (Electron Spin Resonance : ESR) และความสามารถในการปลดปล่อยพลังงานแสงของสารเคมี (chemiluminescence) เพื่อวัดปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระต่ออนุมูลอิสระและ ROS โดยต่อไปนี้ คือ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่

2.16.2.1 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay (DPPH assay)

วิธี DPPH เป็นวิธีการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็วและประหยัด นอกจากนั้นยังสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่มีสถานะเป็นของแข็งและเป็นของเหลว วิธี DPPH มีหลักการคือ อิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ (unpaired electron) ในโมเลกุลของอนุมูล DPPH สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 517 นาโนเมตร ทำให้มองเห็นเป็นสีม่วง และเมื่ออนุมูล DPPH ถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณสมบัติเป็น hydrogen donor อนุมูล DPPH จะเปลี่ยนเป็น DPPH-H (ภาพที่ 2.6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งการสูญเสียอิเล็กตรอนดังกล่าวทำให้อนุมูล DPPH สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้น้อยลง สารดังกล่าวจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล DPPH และสารต้านอนุมูลอิสระ (ปิยาภัทร, 2550)

2.16.2.2 Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

FRAP เป็นวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของอนุมูลอิสระที่คิดค้นขึ้นมาในครั้งแรกเพื่อทดสอบประสิทธิภาพดังกล่าวของพลาสม่า อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังสามารถใช้เพื่อทดสอบของเหลวประเภทอื่นได้ด้วย หลักการของ FRAP คือการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ ferrictripyridyltriazine (Fe_3+-TPTZ) ให้อยู่ในรูป Fe^{2+} โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

2.17 การประยุกต์ใช้วิธีโครงร่างพื้นผิวตอบสนองในงานวิจัย (Response Surface Methodology, RSM) (กัลยาณี, 2554)

วิธีโครงร่างพื้นผิวตอบสนองหรือ RSM เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น

2.17.1 การใช้โครงร่างพื้นผิวตอบสนองในอุตสาหกรรมอาหาร

2.17.1.1 ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต (process optimization)

2.17.1.2 ใช้ในการหาสมการที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ (food formulation or product optimization) ในงานทางด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์

2.17.2 หลักการสำคัญของการทำโครงร่างพื้นผิวตอบสนองเพื่อนำเสนอผลการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีหลักการดังนี้

2.17.2.1 การนำเสนอโครงร่างพื้นผิวตอบสนองต้องมีแผนการทดลองที่เหมาะสม อย่างน้อยต้องมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวขึ้นไป และต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ต้องมีตัวแปรตามอย่างน้อย 1 ตัวขึ้นไปและต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณด้วย ดังนั้นแผนการทดลองที่สามารถสร้างพื้นที่ผิวผลตอบสนองได้ คือ Factorial Design, Mixture Design, Central Composite Design (CCD) และ Plackett & Burman Design และ Box – Behnken Design

2.17.2.2 ระดับของตัวแปรอิสระที่ต้องผันแปรไปนั้นจำเป็นต้องครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษา

2.17.2.3 ข้อมูลของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (Xi) ต้องสัมพันธ์กับข้อมูลของตัวแปรตาม (Yi) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (model) ซึ่งอาจมีทั้งความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง (linear model) ความสัมพันธ์ในเชิงปฏิสัมพันธ์ (interaction model) ความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นโค้ง (quadratic model)

2.17.2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นภาพสามมิติ หรือที่เรียกว่าสร้างพื้นผิวผลตอบสนอง

Linear effect : $Y = a_0 + a_1X_1 + £$

Quadratic effect : $Y = a_0 + a_1X_1 + a_{11}X_{12} + £$

Interaction effect : $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_1X_2 + a_{11}X_{12} + a_{22}X_{22} + £$

ดังนั้นสมการทางคณิตศาสตร์พจน์ทั่วไปไปจึงเขียนได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \Sigma \beta_i X_i + \Sigma \beta_{ii} X_i^2 + \Sigma\Sigma \beta_{ij} X_i X_j + £$$

2.18 รูปแบบการวางแผนการทดลองสำหรับวิธีโครงร่างพื้นผิวสัมผัส (กัลยาณี, 2554)

2.18.1 Factorial design

แผนการทดลองแบบ Factorial Design ประกอบด้วยตำแหน่งการทดลอง ของ 2^n Factorial Design (ถ้า n ในที่นี้คือตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนั้น 2^2 มีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (-1,-1) (+1,-1) (+1, +1) (-1, +1) ดังภาพที่ 2.7a

2.18.2 Box – Behnken Design

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แผนการทดลองแบบ Box – Behnken Design ประกอบด้วย

2.16.2.1 ตำแหน่งการทดลอง ของ 2^n Factorial Design (ถ้า n ในที่นี้คือตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนั้น 2^2 มีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (-1,-1) (+1,-1) (+1, +1) (-1, +1)

2.16.2.2 ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่เป็นแนวระนาบ (+1, 0) (-1, 0) (0, +1) (0, -1)

2.16.2.3 ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่การทดลองอีก 1 ตำแหน่ง คือ central point (ตำแหน่ง 0, 0) แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับคือ -1, 0, 1 ดังภาพที่ 2.7b

2.18.3 Central Composite Design

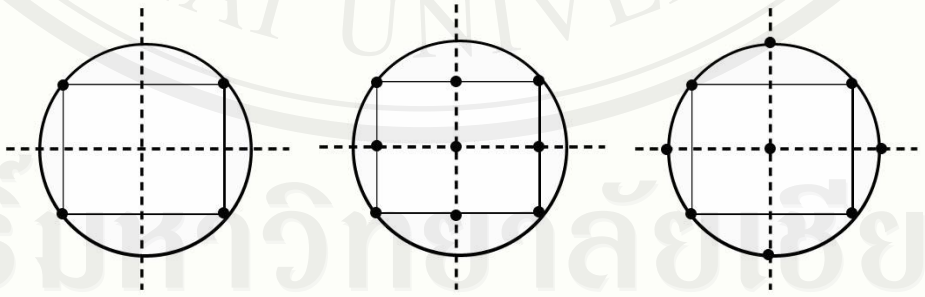
แผนการทดลองนี้คล้ายกับแผนการทดลองแบบ Factorial Design และ Box – Behnken Design โดย CCD ประกอบด้วย

2.18.3.1 ตำแหน่งการทดลอง ของ 2^n Factorial Design (ถ้า n ในที่นี้คือตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนั้น 2^2 มีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (-1,-1) (+1,-1) (+1, +1) (-1, +1)

2.18.3.2 ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่เป็น แนว $+\alpha$ หรือ $-\alpha$ ในแนวแกน $(+\alpha, 0)$ $(-\alpha, 0)$ $(0, +\alpha)$ $(0, -\alpha)$

2.18.3.3 ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่การทดลองอีก 1 ตำแหน่ง คือ central point (ตำแหน่ง 0,0) แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับคือ -1.414, -1, 0, 1, +1.414 ดังภาพที่ 2.7c

ดังนั้นการทดลองแบบ CCD จึงเป็นการทดลองแบบที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษาได้มากกว่า Factorial Design และ Box – Behnken Design สำหรับการทดลอง แบบ CCD นั้น สามารถกำหนดตำแหน่งของการทดลองได้ดังตารางที่ 2.2



(a) (b) (c)

ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งการทดลอง Factorial Design (a) Box – Behnken Design (b) และ Central Composite Design (c)

ตารางที่ 2.2 ตำแหน่งของการทดลองแบบ CCD

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำนวนตัวแปรอิสระ(X_i) = n	2	3	4	5
จำนวนตำแหน่งการทดลองทั้งหมด ใน CCD	9	15	25	43
ระดับของ ค่า $\alpha = 2^{n/4}$	1.4142	1.6818	2	2.3784

2.19 ลำไย (อรรณพและวรรณภา, 2550)

ภาพที่ 2.8 ลำไย

ที่มา: http://longanchiangmai.blogspot.com/2010/08/blog-post.html

ลำไย (ภาพที่ 2.8) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอันดับหนึ่งของภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่าง ยิ่งในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ผลผลิตของลำไยสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั้งในรูปของผลสด แช่แข็ง อบแห้ง และลำไยกระป๋อง ซึ่งทำรายได้ในแต่ละปีหลายพันล้านบาท และมีแนวโน้มการส่งออกที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งลำไยอบแห้ง ลำไยเป็นผลไม้ให้พลังงานแก่ผู้บริโภคสูง เนื่องจากมีน้ำตาลอยู่มากในส่วนเนื้อลำไย โดยมีน้ำตาลอยู่ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส เนื้อผลลำไยสดให้คุณค่าทางอาหารต่าง ๆ รวมทั้งแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในด้านการแพทย์แผนโบราณ ลำไยแห้งเป็นยามีคุณสมบัติบำรุงหัวใจ บำรุงเลือด บำรุงประสาท ช่วยย่อยอาหารและเป็นอาหาร บำรุงกำลัง เหมาะสำหรับผู้ที่มีร่างกายอ่อนแอ เกศรา (2555) กล่าวว่า ลำไยมีสารกลุ่มโพลีฟีนอลิกคือ กรดแกลลิก โคริลาจินและกรดอีลลาจิก สารทั้ง 3 ชนิดนี้มีปริมาณแตกต่างกันตามส่วนต่างๆของผลลำไยและสายพันธุ์ โดยในเมล็ดลำไยพบมากที่สุดและเนื้อลำไยพบน้อยที่สุด สารดังกล่าวช่วยการหดตัวของหลอดเลือด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านการเกิดมะเร็งและมีแนวโน้มป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ นอกจากนี้ บุศรากรณ์ (2551) ได้ศึกษาผลของสภาวะในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกในลำไยอบแห้งทั้งผลพร้อมเปลือก พบว่า การอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งที่สูงที่สุด (อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส/19 ชั่วโมง) พบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด โดยคิดเป็นปริมาณ 1.23-1.28 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณสูงที่สุดด้วยเช่นกัน

2.20 กระบวนการผลิตลำไยอบแห้ง

กระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อของผู้ประกอบการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน ดังนี้ (รัตนาและคณะ, 2541)

1. การแปรรูปลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อ เป็นการนำลำไยสดมาคว้านเอาเมล็ดในออกด้วยตุ๊ดตู่หรือด้วยปลายช้อนสแตนเลสที่ลับจนคม แกะเปลือกออกนำเนื้อลำไยมาแช่ในสารละลาย จากนั้นเรียงบนตะแกรงโปร่งหรือกระด้ง นำเข้าอบด้วยความร้อนจนเนื้อลำไยแห้ง อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเนื้อลำไยแตกต่างกันไปตามชนิดของเตาหรือตู้อบ เช่นเดียวกับสีของเนื้อลำไยอบแห้งที่มีตั้งแต่สีเหลืองทองจนไปถึงสีดำ

2. การแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือก เป็นการนำลำไยทั้งเปลือกมาอบด้วยความร้อน กรรมวิธีการอบลำไยทั้งเปลือกยังไม่มีการกำหนดกรรมวิธีมาตรฐาน และไม่มีการให้การฝึกอบรม จากหน่วยงานของรัฐเหมือนกรรมวิธีการทำเนื้อลำไยสีทอง ดังนั้นกรรมวิธีการอบลำไยทั้งเปลือกที่ทำกันจึงมีหลายวิธีซึ่งได้จากการทดลองดัดแปลงเองตามคำแนะนำทั้งจากทีมงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากพ่อค้าคนจีนจากบริษัทผู้จำหน่ายเตาและจากผู้ที่เคยทำมาก่อน จากกรรมวิธีการอบที่แตกต่างกันจึงเป็นเหตุให้คุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งเปลือกมีสีตั้งแต่สีน้ำตาลแดงไปจนถึงสีดำ ความแห้งของเนื้อลำไยมีตั้งแต่ไม่ค่อยแห้งจนไปถึงแห้งมากจนติดเนื้อเมล็ดในกลิ่นของลำไยมีตั้งแต่กลิ่นลำไยไปจนถึงกลิ่นน้ำตาลไหม้

2.20.1 ส่วนประกอบที่มีอยู่ในเนื้อลำไยสด และเนื้อลำไยอบแห้ง

จากการศึกษาส่วนประกอบที่มีอยู่ในเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้งพบว่า เนื้อลำไยมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์หลายชนิดด้วยกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้ง

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	81.10	17.80
ไขมัน (ร้อยละ)	0.11	0.40
เส้นใย (ร้อยละ)	0.28	1.60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

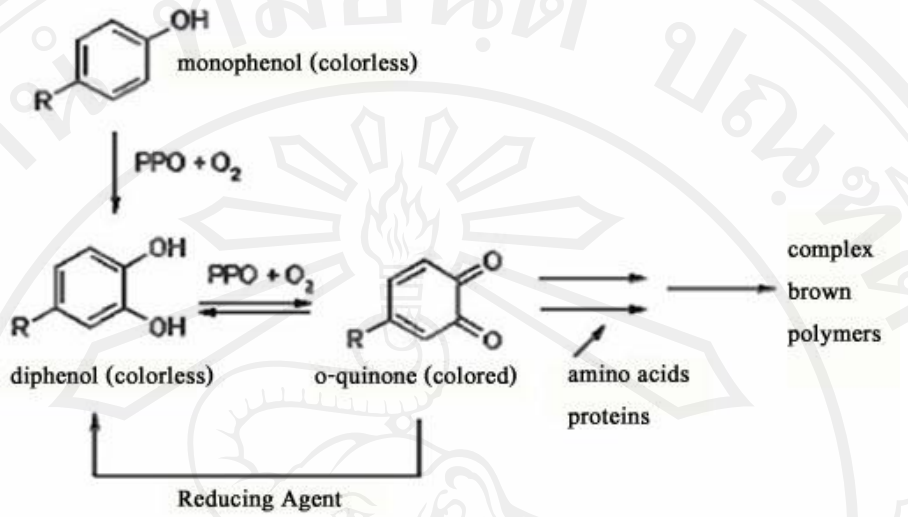
โปรตีน (ร้อยละ)	0.97	4.60
เถ้า (ร้อยละ)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	16.98	72.70
พลังงานความร้อน(กิโลแคลอรี่/100 กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
กรดแพนโทธินิค (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.57
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.375

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ อ้างโดย เมย์ (2552)

2.21 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในลำไยอบแห้ง (เมย์, 2552)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเริ่มจากปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ของสารประกอบโมโนฟีนอลกลายเป็นไดฟีนอลโดยอาศัยออกซิเจนและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) จากนั้นสารประกอบออร์โธไดฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป โดยจะถูกเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นออร์โธควิโนนซึ่งจะถูกควบแน่นและเกิดปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์กับสารประกอบอื่นๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโน ต่อไป เพื่อผลิตรงควัตถุที่ให้สีน้ำตาลเข้มหรือดำ (melanin pigment) ดังแสดงในภาพ 2.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของสารประกอบฟีนอลิก

2.22 การใช้สารเคมีในการลดการเกิดสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง

ปัจจุบันนิยมใช้สารเคมีในการอบแห้งผักและผลไม้เพื่อสงวนคุณค่าทาง โภชนาการของอาหาร และปรับปรุงคุณภาพในด้านสี กลิ่น รส ลักษณะสัมผัสและลักษณะปรากฏ พงษ์ศักดิ์ (2553) ได้ศึกษาผลของสารเจืออาหารที่มีผลต่อสีของเนื้อลำไยอบแห้งพันธุ์อีดอ ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 13 ชั่วโมง โดยแช่เนื้อลำไยเป็นเวลา 5 นาทีในสารละลายกรดซิตริก สารละลายกรดแอสคอร์บิก สารละลายโซเดียมอิริทอร์เบตที่ความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.1-0.5 และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.5-2.0 พบว่าการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ให้ค่าสีที่ดีที่สุด ส่วนการแช่ในสารละลายผสมพบว่า สารละลายกรดซิตริกร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 จะให้ค่าสีของเนื้อลำไยอบแห้งที่ดีที่สุด อรรณพและวรรณภา (2552) ได้การศึกษาผลของสารเคมีต่อคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้ง โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิคและกรดซิตริก เป็นเวลา 10 นาที อบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมงพบว่า การใช้สารประกอบซัลไฟท์ในรูปสารละลายเพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับสารชนิดอื่นในรูปของสารละลายผสมแช่ผลลำไยสดเป็นเวลานาน 10 นาทีก่อนนำไปอบแห้ง สามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้งได้ นอกจากนี้ เบ็ญจวรรณและประสิทธิ์ (2541) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพลำไยอบแห้ง โดยการแช่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อลำไยในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง พบว่า เนื้อลำไยที่แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลและการดำเนินกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองทองซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับสูงสุด การใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีการตกค้างของซัลไฟต์ในอาหารก่อให้เกิดอาการแพ้ (allergic) เช่น การเกิดโรคหอบหืด จึงพยายามหาทางเลือกอื่นแทนการใช้สารประกอบซัลไฟต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสารเหล่านั้นควรมีสมบัติคล้ายคลึงกับซัลไฟต์และต้องมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่ในขณะนี้ยังไม่มีสารเคมีใดหรือวิธีการใดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับซัลไฟต์ วิธีการที่ดีที่สุดในขณะนี้คือ การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ได้จากธรรมชาติ เช่น กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น ดังนั้นการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากธรรมชาติจึงเป็นที่สนใจเพราะเป็นการป้องกันการตกค้างของสารเคมีในผลิตภัณฑ์อาหาร (เบ็ญจวรรณและประสิทธิ์, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved