บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยว เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างขนาดเล็ก มีลักษณะพองและไม่พอง มีความกรอบเฉพาะตัว ใช้กรรมวิธีต่างๆ ในการผลิต เช่น การอบ (baking) ปิ้งย่าง (roasting) การทอด (deep fry) หรือกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นต้น (กรมอนามัย, 2552) นิยมรับประทานเป็นอาหารว่าง หรือโอกาสต่างๆ ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ทำให้เกิดความพึงพอใจ และประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ได้ ซึ่งความนิยมดังกล่าวได้มีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันบวกกับความเจริญของเทคโนโลยี ทำให้มีการผลิตขนมขบเคี้ยวจากวัตถุดิบและกรรมวิธีที่แตกต่างกันออกวางจำหน่ายในท้องตลาด ส่งผลให้ชนิดและรูปแบบของขนมขบเคี้ยวมีความหลากหลายมากขึ้น (รองรัตน์, 2546)

2.1.1 ประเภทของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท ดังนี้

1) จำแนกตามการวางจำหน่ายในท้องตลาด แบ่งออกเป็น 6 ประเภท (กรมประชาสัมพันธ์, 2550) คือ

1.1) ขนมขบเคี้ยวประเภทขึ้นรูป (Extruded snack)

1.2) มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (Potato chip)

1.3) ปลาเส้น (Fish snack)

1.4) ข้าวเกรียบกุ้ง (Prawn cracker)

1.5) ถั่ว (Peanut)

1.6) ปลาหมึก (Cuttle fish)

2) จำแนกตามพฤติกรรมการรับประทานของเด็ก แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (อาณดี, 2544) ดังนี้

2.1) ขนมประเภทพองกรอบ มีหลายรูปแบบ เช่น แบบแผ่น แท่ง และสอดไส้ รวมทั้งข้าวเกรียบ และมันฝรั่งทอด ส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด หรืออาจเป็นข้าวหัก ข้าวโพดบดหยาบ นำมาผสมกับส่วนผสมอื่นผ่านกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ออกมาได้ขนมที่พองและกรอบ บางชนิดอาจต้องนำไปอบให้แห้งลงอีก หรือต้องนำไปทอดในน้ำมันจึงจะพองสวยงาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2) ขนมประเภทปลาเส้น และถั่วชนิดต่างๆ เป็นขนมขบเคี้ยวที่ค่อนข้างจะยังคงรูปลักษณ์ของวัตถุดิบตั้งต้นอยู่มาก สำหรับปลาเส้นนั้นจะนำปลาไปผสมแป้งและส่วนผสมอื่น รีดให้เป็นแผ่นแล้วตัดเป็นเส้น ถูกทำให้สุกด้วยการนึ่งและอบแห้ง ส่วนถั่วอาจจะนำมาอบคั่ว หรือทอด ผสมเกลือและเครื่องปรุงรสอื่น

2.3) เยลลี่พร้อมบริโภค มีส่วนประกอบที่ให้ลักษณะของเยลลี่ซึ่งเป็นส่วนผสมที่สกัดมาจากส่วนของพืชบางชนิดหรือสาหร่าย อาจมีการเติมน้ำตาล หรือผสมน้ำผลไม้ ลงในผลิตภัณฑ์

2.4) ลูกอมทั้งแบบอมและแบบเคี้ยว มีส่วนประกอบหลักคือน้ำตาลไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

3) จำแนกตามการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (อารีรัตน์, 2544) คือ

3.1) ขนมขบเคี้ยวประเภทดั้งเดิม ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เช่น ข้าวโพดคั่ว (popcorn) มันฝรั่งทอด (conventional potato chips) และขนมปังกรอบแข็ง แครกเกอร์ (baked crackers)

3.2) ขนมขบเคี้ยวประเภทพองตัวโดยตรง ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวที่สุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

3.3) ขนมขบเคี้ยวประเภทพองตัวทางอ้อม ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้สุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้พองตัวอีกครั้งหนึ่ง

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตซึ่งให้พลังงานแก่ร่างกาย ถ้ารับประทานมากเกินไปอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคอ้วน โรคฟันผุ โรคขาดสารอาหาร และโรคท้องผูก เป็นต้น ถ้าในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวมีการทอดในน้ำมันก็จะได้รับพลังงานจากไขมันเพิ่มขึ้น (อาณดี, 2544) โดยไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fat) กรดไขมันทรานส์ (trans fat) และคอเลสเตอรอล (cholesterol) ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันในเลือดสูง ขนมบางชนิดพบว่าให้สัดส่วนของไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 60 อาจทำให้ร่างกายได้รับไขมันมากเกินไป จากข้อกำหนดของสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ควรได้รับพลังงานจากไขมันคุณภาพดีมากกว่าร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมด ขนมขบเคี้ยวจึงจัดเป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง แต่ให้คุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางอาหารน้อยจะทำให้เกิดปัญหาทางโภชนาการได้ นอกจากนี้ขนมขบเคี้ยวยังมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารปรุงแต่งรสชาติ เช่น ผงชูรส และเกลือผสมอยู่ในปริมาณมาก สารเหล่านี้ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นแหล่งของโซเดียมปริมาณ 22.44 - 1,171.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของขนมขบเคี้ยว ซึ่งไม่มีความเหมาะสมต่อการบริโภค เนื่องจากข้อกำหนดปริมาณโซเดียมที่ร่างกายได้รับนั้นไม่ควรเกิน 2,400 มิลลิกรัมต่อวัน (ประไพศรี, 2547) และหากรับประทานเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้กระหายน้ำ เนื่องจากสมองส่วนที่เกี่ยวกับความกระหายจะถูกกระตุ้นให้มีการดื่มน้ำในปริมาณเพิ่มขึ้นเพื่อให้สัดส่วนของโซเดียมต่อน้ำในร่างกายคงที่ (ปฏิมา, 2547)

2.1.3 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

1) ข้าวโพดบดหยาบ (Corn grit) เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวโพด (*Zea mays* L.) โดยการโม่ข้าวโพดแบบแห้ง (dry milling) ซึ่งเป็นการบดส่วนต่างๆ รวมกัน อาจแยกคัพภะออกเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น หรือนำคัพภะไปสกัดน้ำมันข้าวโพด ส่วนใหญ่ข้าวโพดเกล็ดที่ผลิตได้นิยมนำมาทำเป็นขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัว มีเนื้อสัมผัสกรอบ และมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนขึ้นกับชนิดข้าวโพด แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของข้าวโพดเกล็ดเพียงอย่างเดียวจะทำให้มีเนื้อสัมผัสแข็ง และมีความหนาแน่นสูง (รองรัตน์, 2546)

2) ปลายข้าวหอมมะลิ (Broken jasmine rice) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวหอมมะลิ (*Oryza Sativa* L.) ซึ่งเป็นข้าวคุณภาพดีของไทย จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เนื่องจากมีเปลือกสีขาวหรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ สามารถปลูกได้ทั่วประเทศ โดยเมื่อข้าวผ่านการสีจะได้ส่วนของปลายข้าวประมาณร้อยละ 15 เมล็ดมีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว ซึ่งรวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ดด้วย (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) ปลายข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี คือ คาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 79.2 โปรตีนประมาณร้อยละ 7.0 ไขมันประมาณร้อยละ 0.4 เถ้าประมาณร้อยละ 0.5 และความชื้นประมาณร้อยละ 12 (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) นอกจากนี้ยังมีปริมาณเยื่อใยประมาณร้อยละ 1 (ชนิดา และคณะ, 2549) โดยทั่วไปนิยมนำปลายข้าวไปแปรรูปเป็นแป้งโดยการโม่แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย คือ ป้อนข้าวเข้าเข้าเครื่องโม่ก็จะได้แป้งออกมา ต่อจากนั้นก็ร่อนเอาแต่แป้งที่ละเอียด ส่วนแป้งหยาบก็นำกลับไปป้อนเข้าเครื่องโม่ซ้ำอีกครั้งแต่ได้แป้งที่มีคุณภาพต่ำ คือ สีไม่ขาว แห้ง ไม่ละเอียด และเก็บไม่ได้นาน (รองรัตน์, 2546) เมื่อนำปลายข้าวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแต่เปราะกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดเกล็ด มีความหนาแน่น และการพองตัวดี ให้สีและกลิ่นรสที่อ่อน เหมาะแก่การใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบกลิ่นรสต่างๆ อีกทั้งยังมีความคงตัวในการเก็บรักษาที่ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดเกล็ดด้วย (รุ่งนภา และประชา, 2541) นอกจากนี้ปลายข้าวยังมีราคาถูกและให้พลังงานสูง ดังนั้นหากนำมาเสริมในส่วนผสมขนมขบเคี้ยวพองกรอบ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านความหนาแน่น การพองตัว สี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งยังสามารถนำไปปรุงรสเพื่อเพิ่มความหลากหลายและสร้างความน่าสนใจให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้มากยิ่งขึ้น (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ก)

สำหรับตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยปี 2550 จากรายงานของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) พบว่า มีมูลค่า 14,000 ล้านบาท โดยร้อยละ 33.8 ของมูลค่าทางการตลาดทั้งหมดนี้เป็นขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากแป้งข้าว ที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2550) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ได้รับความนิยมในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมีอัตราการผลิตที่สูง และประหยัดพลังงาน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และมีชนิดและรูปร่างที่หลากหลาย เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค

2.2 การผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

2.2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันหรือการอัดพอง มีพื้นฐานมาจากการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดลูกสูบที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการทำท่อตะกั่วแบบไร้รอยตะเข็บในอุตสาหกรรมถลุงแร่ในปี พ.ศ. 2340 จากนั้นได้มีการพัฒนานำไปใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นครั้งแรกในการผลิตไส้กรอกในปี พ.ศ. 2473 ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่สามารถผลิตอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยการทำให้สุก และทำรูปร่างอย่างต่อเนื่องภายในเครื่องเดียวกันได้ในปี พ.ศ. 2503 (Harper, 1981) ซึ่งหลักการของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันนั้นเป็นการทำให้เกิดการพองตัวของแป้งที่ได้รับความร้อนจากขดลวด และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียวภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงกระทันหัน ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันทีและดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เทคโนโลยีนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นแผ่นเล็กๆ (flake) หรือขึ้นรูปเป็นเหลี่ยม กลม หรือเกลียว คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับความชื้นของส่วนผสมก่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ระยะเวลาทำให้สุก (cooking time) ความดัน และอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาจมีการเติมสารปรุงรส (flavoring

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

material) วิตามิน แร่ธาตุ โปรตีน ธัญชาติ หรือสารอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการได้อีกด้วย (ชนิดา และคณะ, 2549)

2.2.2 ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ได้มีการจำแนกประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตามรูปแบบของสกรูออกเป็น 4 ประเภท (Frame, 1993) คือ

1) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 1 อัน ขับเคลื่อนอยู่ภายในบาร์เรล โดย สกรูมีลักษณะเป็นฟันเกลียวหมุนรอบแกนโลหะที่อยู่ภายในบาร์เรลทรงกระบอก ทำหน้าที่ในการลำเลียง ให้ความร้อนแก่ส่วนผสม และทำให้ส่วนผสมนั้นเป็นเนื้อเดียวกัน

2) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบนวดผสม (Co-kneaders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ถูกออกแบบมาสำหรับส่วนผสมที่ไวต่ออุณหภูมิและแรงเฉือน และป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรล โดยมีการติดตั้งใบนวดในผนังบาร์เรล ทำให้ส่วนผสมได้รับแรงเฉือนต่ำและเคลื่อนที่แบบขึ้นลง เกิดการผสมที่ทั่วถึงและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

3) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน (Counter-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางตรงข้ามกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูช่วยในการผสม และป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรล เหมาะในการแปรรูปอาหารที่ไม่ข้นหนืด โดยใช้ความเร็วรอบต่ำ และต้องการเวลาอยู่ภายในบาร์เรลนานๆ

4) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูทำให้ส่วนผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ดี มีการผสมอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ นอกจากนั้นยังมีระบบการทำความสะอาดด้วยตัวเอง จัดเป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถผลิตอาหารได้หลากหลายชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยระหว่างเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวกับแบบสกรูคู่

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์	ข้อดี	ข้อด้อย
แบบสกรูเดี่ยว	1. เครื่องมีราคาไม่แพง 2. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องน้อย 3. การใช้งานและการบำรุงรักษาทำได้ง่าย	1. ต้องมีการเติมวัตถุดิบให้เต็มเสมอเพื่อให้การทำงานของเครื่องมีประสิทธิภาพ 2. มีขีดจำกัดในการใช้กับวัตถุดิบที่มันเหนียวหรือเปียกลื่นมาก 3. ไม่เหมาะที่จะใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดละเอียดเป็นผง 4. ทำความสะอาดยาก
แบบสกรูคู่	1. ผลผลิตที่ได้ไม่ขึ้นกับอัตราการส่งวัตถุดิบเข้ามา 2. สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มันเหนียวหรือเปียกมากลื่นมากได้ 3. เหมาะที่จะใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดตั้งแต่ละเอียดเป็นผงถึงขนาดเม็ดถั่วได้ 4. มีระบบทำความสะอาดด้วยตนเอง	1. เครื่องมีราคาแพง 2. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องมาก 3. การใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องทำได้ยาก

ที่มา: Dziezak (1989)

2.2.3 กรรมวิธีการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสม ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสม เสร็จแล้วนำออกมาจากเครื่องผสม บรรจุลงในถุงพลาสติกหรือภาชนะที่ใช้บรรจุ จากนั้นป้อนวัตถุดิบผสมเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตรงส่วนที่รับวัตถุดิบ วัตถุดิบจะถูกพาเข้าสู่ช่วงของการผลิต ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง (Bouvier, 2008) ดังนี้

1) ช่วงการป้อนและการผสม (Feeding zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องตามร่องเกลียวสกรู และช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนังบาร์เรลด้านใน ซึ่งในระหว่างนี้ส่วนผสมจะถูกนวด บด และอัดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน อุณหภูมิในช่วงนี้จะยังไม่สูงมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ช่วงการนวด (Kneading zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกอัด นวด และเสียดสีมากขึ้น เนื่องจากสกรูส่วนนี้ถูกออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียวและความลึกที่แคบและตื้นกว่าสกรูช่วงแรก ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีและอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ส่วนผสมมีความเหนียว หนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

3) ช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (Final cooking zone) สกรูส่วนนี้จะมีร่องเกลียวตื้น และมีจำนวนเส้นเกลียวมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จะทำให้ส่วนผสมที่เหนียว หนืด หยุ่น เปลี่ยนเป็นเจล (gel) เมื่อถูกอัดผ่านหน้าแปลนออกมา ความแตกต่างของความดันบรรยากาศระหว่างภายนอกและภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์จะทำให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมที่เป็นเจล ระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นเจลนี้ยืดขยายตัวออก และคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้นหรือท่อนด้วยใบมีด จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วเคลือบปรุงแต่งรสชาติจะได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบตามที่ต้องการ

2.2.4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

คุณภาพของขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่ การพองตัว ความหนาแน่น และความแข็ง ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ด้าน ได้แก่

1) ด้านวัตถุดิบ

1.1) สตาร์ช (Starch) ในส่วนผสมของวัตถุดิบต้องมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น เพราะสตาร์ชมีความสำคัญต่อการขยายตัว ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปริมาณสตาร์ชที่น้อยกว่าร้อยละ 60 จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อย มีเนื้อสัมผัสแข็งและแน่น (Sunderland, 1996)

1.2) อะไมโลส (Amylase) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) สำหรับในแป้งข้าวโพดนั้นอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยอะไมโลเพคตินช่วยในการพองตัวทำให้น้ำหนักเบา แต่ถ้ามีอะไมโลสมากจะทำให้การพองตัวลดลง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสต่ำ จะมีการขยายตัวสูงและความหนาแน่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว จะมีความเหนียวสูง และการขยายตัวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (Pan *et al*., 1991)

1.3) ไขมัน (Fat) ปริมาณไขมันในวัตถุดิบมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณไขมันสูงขึ้น ไขมันจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น และไปลดความหนืดของโดที่อยู่ภายในบาร์เรล ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หนาแน่นและแรงที่ใช้ในการตัดมีค่าสูงขึ้น สำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 4 จะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณไขมันสูงขึ้น เนื่องมาจากไขมันมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Mohamed, 1990)

1.4) ความชื้น (Moisture) น้ำหรือความชื้นมีผลอย่างมากต่อการสุกของผลิตภัณฑ์ทั้งในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอ และระบบที่มีน้ำน้อยหรือจำกัดในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน น้ำทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนและเป็นสารหล่อลื่น ช่วยในการควบคุมความดันและแรงเฉือนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สำหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวลดลง ส่วนวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ จะส่งผลให้แรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลสูงขึ้น มีผลให้โดภายในบาร์เรลมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้แรงดันสูง ดังนั้นอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้นตามด้วย อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบต่ำเกินไป ส่งผลให้สตาร์ชแตกตัวจากแรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรู ทำให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (Chinnaswamy and Hanna, 1988)

1.5) ขนาดอนุภาค (Particle size) การใช้แป้งข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการขยายตัวต่างกัน เมื่อขนาดอนุภาคของแป้งข้าวโพดใหญ่ขึ้น จะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคต่ออนุภาคลดลง ทำให้มีแรงเสียดทานต่อกันต่ำลง อุณหภูมิของโดจึงลดลง ส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยโพรงอากาศภายในโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่จำนวนของโพรงอากาศลดลง อีกทั้งการผสมใยอาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงในแป้งข้าวโพดก็มีผลต่อการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านยาวและแนวรัศมี (Mohamed, 1990)

2) ด้านกระบวนการผลิต

2.1) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (Feed rate) เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบสูงขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการขยายตัวในแนวรัศมีมากขึ้น ในขณะที่การป้อนวัตถุดิบในอัตราลดลงโดยที่ความเร็วรอบของสกรูมีค่าคงที่ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการขยายตัวลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสร้อยละ 25 มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ อัตราการป้อนวัตถุดิบที่เหมาะสมคือ 60 กรัมต่อนาที แต่อย่างไรก็ตามอัตราการพองตัวจะลดลงเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบมากเกินกว่า 60 กรัมต่อนาที (Pan *et al*., 1991)

2.2) ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) ความเร็วรอบสกรูส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยการเพิ่มความเร็วรอบจาก 80 เป็น 150 รอบต่อนาที ส่งผลให้อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นไปอีกจะทำให้การขยายตัวลดลง และขนาดโพรงอากาศจะเล็กลงด้วย เนื่องจากที่ความเร็วรอบสกรูสูงๆ ทำให้โดมีเวลาอยู่ภายในบาร์เรลสั้นลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดเจลได้ไม่ดี เนื่องมาจากการสุกที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้เกิดการทำลายเม็ดแป้งมากขึ้นด้วย (Chinnaswamy and Hanna, 1988)

2.3) อุณหภูมิของบาร์เรล (Barrel temperature) อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันที เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำและการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกจากเครื่อง เกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส (Pan *et al*., 1991)

การผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน นิยมใช้วัตถุดิบหลักที่เป็นพวกแป้งที่ได้มาจากเมล็ดธัญชาติ พืชหัว และถั่วชนิดต่างๆ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ก) ทำให้ขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ผลิตออกจำหน่ายในปัจจุบันมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ดีพอ ประกอบกับผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความใส่ใจกับสุขภาพมากขึ้น (สถาบันอาหาร, 2551) ทำให้ผู้บริโภคไม่เพียงต้องการขนมขบเคี้ยวที่มีรสชาติอร่อย กรอบใหม่เท่านั้น แต่ยังต้องการขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมสารอาหารจากธรรมชาติลงไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสริมสมุนไพรที่นอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

2.3 บัวบก

บัวบก เป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่สำคัญของไทยที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย บัวบกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (Linn.) Urban อยู่ในวงศ์ Apiaceae (Umbelliferae) มีชื่อเรียกทั่วไปว่า Centella หรือ Pennywort ชื่อพื้นเมืองคือ ผักแว่น (ภาคตะวันออกและใต้) หรือผักหนอก (ภาคเหนือ) บัวบกเป็นพืชล้มลุก เจริญเติบโตได้ดีในที่ชุ่มชื้น ปลูกได้ตลอดปี ลำต้นเลื้อยตามพื้นดิน มีรากฝอย และใบออกมาตามข้อ เป็นใบเดี่ยวรูปไต ขอบใบหยัก ดอกเป็นช่อขนาดเล็กสีม่วง มีผลสีเขียวค่อนข้างกลม (รัตนา, 2551; สมพร และคณะ, 2548) บัวบกมีสรรพคุณทางยาต่างๆ มากมาย เช่น รักษาโรคผิวหนัง บิด ท้องร่วง วัณโรค หลอดลมอักเสบ กระเพาะอาหารอักเสบ ตับอักเสบ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ ไขข้ออักเสบ และร้อนใน นอกจากนั้นยังทำให้จิตใจสงบ บำรุงหัวใจ กระตุ้นการเรียนรู้และความจำ ช่วยลดความดันโลหิต น้ำตาลในเลือด และความเปราะของเส้นเลือด เป็นต้น (Brinkhaus *et al*., 2000)

2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของบัวบก

บัวบกมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย ได้แก่ วิตามินบี 1 2 3 และซี ปริมาณ 0.24 0.09 0.8 และ 4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ และมีสารเบต้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคโรทีน (β-carotene) สูงถึง 238.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งสารนี้สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอที่มีความสำคัญในการบำรุงรักษาดวงตา นอกจากนี้บัวบกยังมีใยอาหารมากถึง 26 กรัมต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักเปียก ให้พลังงานต่ำเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ซึ่งการได้รับใยอาหารจากผักเป็นประจำจะช่วยควบคุมระดับไขมันในเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจจากเส้นเลือดหัวใจอุดตัน และลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ นอกจากนี้บัวบกยังมีแร่ธาตุที่สำคัญคือ เหล็ก ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ปริมาณ 3.9 30 และ 146 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยแร่ธาตุแคลเซียมที่พบมากในบัวบกมีหน้าที่ในการส่งความรู้สึกในระบบประสาท และการเต้นของหัวใจ รวมทั้งควบคุมความสมดุลของกรดและด่างในร่างกายอีกด้วย (สถาบันวิจัยโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล, 2541)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของใบบัวบกแห้งบด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
องค์ประกอบทางเคมี (ต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักสด)	
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	52
ความชื้น (กรัม)	88
โปรตีน (กรัม)	3
ไขมัน (กรัม)	2.7
เยื่อใย (กรัม)	1.92
เถ้า (กรัม)	2.54
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	3.81
แร่ธาตุ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)	
แคลเซียม	2,425
ฟอสฟอรัส	327
โซเดียม	16
แมงกานีส	23
คอปเปอร์	7
สังกะสี	20
แมกนีเซียม	271
เหล็ก	18

ที่มา: Odhav *et al*. (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระในบัวบก

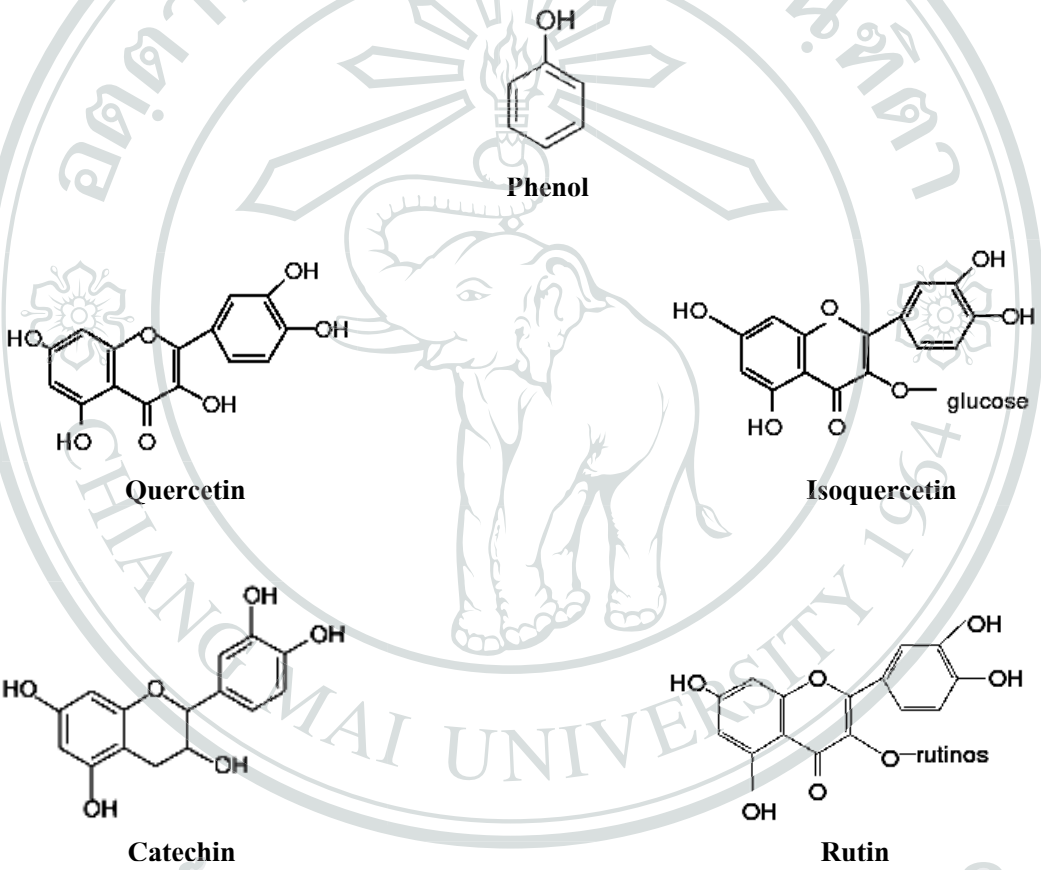
นอกจากคุณค่าทางโภชนาการที่มากมายของบัวบกแล้ว บัวบกยังเป็นสมุนไพรไทยที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ สารดังกล่าวนี้ไปมีผลในการทำลายหรือต้านอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย โดยทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ รวมทั้งสามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อีกด้วย จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ (Catherine *et al*., 1997) นอกจากนั้นยังซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากตัวอนุมูลอิสระที่ไปทำลายเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย อีกทั้งกำจัดและแทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลาย เพราะสารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อร่างกายได้ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจขาดเลือด และโรคความจำเสื่อม เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในบัวบก ได้แก่ สารประกอบฟีนอล และสารเอเชียติโคไซด์ (นฤมล และศศิธร, 2550) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) สารประกอบฟีนอล เป็นสารประกอบที่มีองค์ประกอบสำคัญ คือ ฟีนอล ประกอบด้วยวงอะโรมาติก (aromatic ring) 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) 1 หมู่ (ภาพที่ 2.1) ส่วนมากมักเชื่อมอยู่กับ mono- และ polysaccharides เกิดเป็นโครงสร้างที่หลากหลาย สารประกอบฟีนอลในธรรมชาติจึงมีอยู่หลายชนิด โดยเฉพาะในผักและผลไม้ ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลที่มีความความหลากหลายมากระหว่างปริมาณและชนิดของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผักหรือผลไม้ที่ต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ผักหรือผลไม้ชนิดเดียวกันยังถูกรายงานโดยผู้เขียนแตกต่างกันไป ความแตกต่างเหล่านี้อาจเนื่องมาจากความยุ่งยากซับซ้อนของกลุ่มของสารประกอบเหล่านี้ วิธีการสกัด และการวิเคราะห์ นอกจากนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกุล ชนิด และพันธุ์ รวมทั้งปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา (Catherine, 1997)

สารประกอบฟีนอลในพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา มีการสังเคราะห์ และมีการสลายตัว อัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไป นับเป็นจำนวนชั่วโมง หรือบางกรณีอาจเป็นสัปดาห์ การสลายตัวอาจมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของสารประกอบฟีนอล ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลที่มีโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อน จะเกิดจากเอนไซม์จำเพาะที่เข้าตัดวงอะโรมาติกหรือเปิดวงอะโรมาติก ส่วนสารประกอบฟีนอลที่มีโมเลกุลง่ายๆ ไม่ซับซ้อน อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล (browning) ของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการบาดแผลของเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นในขณะเก็บเกี่ยว การจัดการผลผลิตตลอดจนการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้องค์ประกอบของเซลล์ถูกทำลาย และมีเอนไซม์หลุดลอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกมาทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น เช่น การบอบช้ำเสียหายของผักผลไม้หรือการแตกหักของปลายฝักของถั่วแขก (snap beans) ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น โดยสารประกอบฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบจะถูกออกซิไดซ์เป็นควิโนน (quinine) หรือสารที่คล้ายกับควิโนน ซึ่งจะรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล (brown pigments) ซึ่งเรียกว่าเมลานิน (melanins) หรือเมลานอยดิน (melanoidins) (Shi *et al*., 2005)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลบางชนิด

ที่มา: Dzyubak (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟีนอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลจะหน่วงเหนี่ยวหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ การให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน หรือจับกับไอออนบวกของโลหะ โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลเป็นตัวกำหนดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และการจับกับโลหะ สารประกอบฟีนอลยัง

ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ เป็นตัวให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ (Catherine *et al*., 1997) ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอลในการรักษาโรค เช่น ช่วยยับยั้งการแข็งตัวของเกร็ดเลือด ต่อต้านอาการอักเสบและบวม รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ต่อต้านการแพ้จากการหลั่งของฮีสตามีน และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Middleton and Kandaswami, 1994)

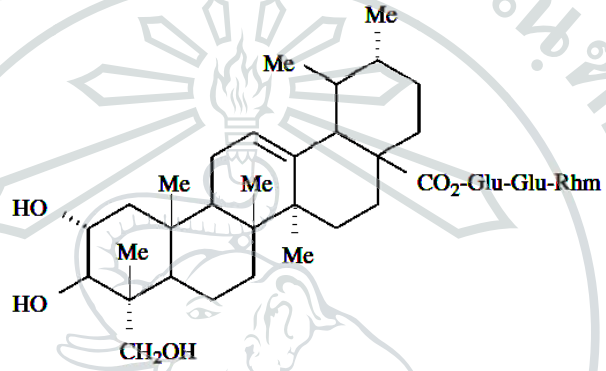
2) สารเอเซียติโคไซด์ เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้รับความสนใจมากในทางการแพทย์ และพบว่ามีมากในบัวบก เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มซาโปนินไกลโคไซด์ (saponin glycosides) ชนิดไตรเทอร์ปีนอยด์ซาโปนิน (triterpenoid saponin) มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.2 ในโมเลกุลเดียวกันประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาล (glycone) และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาล (aglycone) เชื่อมกันด้วยพันธะอะซิตอล (acetal linkage) สำหรับส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลนั้นถูกแบ่งออกได้เป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ ซาโปนิน (saponin) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟีนอล (phenol) แทนนิน (tannins) และแลคโตน (lactone) (Aziz *et al.*, 2007)

สารเอเซียติโคไซด์มีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ดี แต่ละลายในน้ำมันได้ไม่ดี ความสามารถในการละลายน้ำได้ของสารนี้เนื่องจากภายในโครงสร้างทางเคมีมีส่วนที่เป็นน้ำตาลมาจับอยู่นั้น นอกจากนี้สารเอเซียติโคไซด์ยังไม่มีความเสถียรในอากาศและสารละลาย เนื่องจากพันธะและลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่ง่ายต่อการถูกออกซิไดซ์ และสลายตัวไปโดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) จะได้เป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) 2 โมเลกุล น้ำตาลแรมโนส (rhamnose) 1 โมเลกุล และซาโปเจนิน (sapogenins) ที่มีชื่อว่ากรดเอเซียติก (asiatic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่ใช่น้ำตาล 1 โมเลกุล (Aziz *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2004) และยังมีรายงานการวิจัยของ ชาญณรงค์ (2550) ที่พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาบัวบกเพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารเอเซียติโคไซด์ในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคความดันโลหิตสูงนั้น สารเอเซียติโคไซด์ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดเอเซียติกโดยเอนไซม์ที่อยู่ในบัวบกเอง ทำให้ปริมาณของสารเอเซียติโคไซด์ลดลงจนไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้

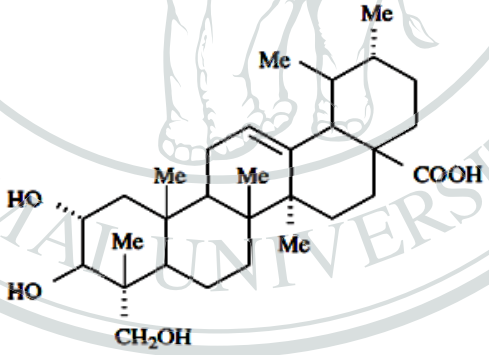
นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยของ Kormin (2005) ที่ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเอเซียติโคไซด์ในน้ำคั้นบัวบกสดและน้ำคั้นบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า ในน้ำคั้นบัวบกสดมีความเข้มข้นของสารเอเซียติโคไซด์ต่ำกว่าน้ำคั้นบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แต่สูงกว่าน้ำคั้นบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของสารเอเซียติโคไซด์สูงขึ้น แต่หากมีการใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารนี้ลดลงเนื่องจากเกิดการสลายตัวทางเคมี และเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารตัวอื่น และยังพบว่าน้ำคั้นบัวบกทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การค้ามีปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ต่ำกว่าน้ำคั้นบัวบกสด และน้ำคั้นบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 65-80 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณของสารเอเซียติโคไซด์ในน้ำคั้นบัวบกที่แตกต่างกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่หลากหลาย เช่น พันธุ์ของบัวบก แหล่งที่ปลูก การปลูก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และวิธีการผลิต เป็นต้น



สารเอเซียติโคไซด์



กรดเอเซียติก

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของสารเอเซียติโคไซด์และกรดเอเซียติก

ที่มา: Barbosa *et al.* (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารเอเซียติโซด์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารต้านจุลินทรีย์ และต้านการอักเสบของแผล สำหรับการใช้สารสกัดบัวบกที่มีสารเอเซียติโคไซด์อยู่ร้อยละ 0.2 ทาที่ผิวหนังของหนูที่เป็นแผล วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 7 วัน จะมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ เช่น คะตะเลส (catalase) กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) วิตามินอี (vitamin E) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) มีระดับที่สูงขึ้น นอกจากนั้นสาร

เอเซียติโคไซด์ที่พบในบัวบก ยังได้ชื่อว่าเป็นสารอาหารสำหรับสมอง เนื่องจากมีฤทธิ์ในการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและสมอง ช่วยให้ระบบความจำทำงานดีขึ้น และป้องกันการเสื่อมของเซลล์สมอง (Shukla, *et al.*, 1999)

สารเอเซียติโคไซด์ในบัวบกมีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ (Barbosa *et al*., 2008) ได้แก่

1) ฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Anticancer activity) มีรายงานว่าการทำงานร่วมกันของสารเอเซียติโคไซด์ที่สกัดได้จากบัวบกกับสารวินคริสตีน (vincristine) ที่สกัดได้จากแพงพวยฝรั่งมีผลในการยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง โดยที่สารเอเซียติโคไซด์เป็นตัวปรับเปลี่ยนทางชีวเคมีที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิส (apoptosis) ของเซลล์มะเร็ง

2) ฤทธิ์ในการสมานแผล (Wound healing) ได้มีการศึกษาที่บ่งชี้ว่าสารเอเซียติโคไซด์เหนี่ยวนำการสร้างคอลลาเจนได้ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับความเข้าใจทางโมเลกุลของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของบัวบกต่อคุณสมบัติการสมานแผล

3) ฤทธิ์ในการรักษาแผลในกระเพาะอาหาร (Gastric ulcer) มีงานวิจัยที่แสดงว่าสารเอเซียติโคไซด์มีผลลดการอักเสบในหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารด้วยกรดเอเซียติก

4) ฤทธิ์ในการกระตุ้นสมอง โดยสารเอเซียติโคไซด์มีผลทำให้การไหลเวียนของโลหิตไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ปลายมือ ปลายเท้า และสมองเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยในการบรรเทาและรักษาโรคสมองเสื่อม และแผลของผู้ป่วยเบาหวานได้

นอกจากรายงานการวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพของสารเอเซียติโคไซด์แล้ว ยังมีรายงานการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารเอเซียติโคไซด์ในบัวบกโดยใช้เทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ด้วย ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ในบัวบกด้วยเทคนิค HPLC จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนของบัวบก	การเตรียมตัวอย่าง	สารสกัดที่ใช้	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์	เอกสารอ้างอิง
ราก ลำต้น ใบ	เก็บรักษาไว้โดยการแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบเป็นเวลา 80 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	เมทานอลกับน้ำ (9:1 โดยปริมาตร)	**บัวบกเมืองพอนเทียน** - สายพันธุ์ที่ 1 - สายพันธุ์ที่ 2 **บัวบกเมืองสกุได** - สายพันธุ์ที่ 1 - สายพันธุ์ที่ 2	ราก ลำต้น และใบบัวบก (ไม่ได้รายงาน 0.00 และ 0.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) ราก ลำต้น และใบบัวบก (0.00 0.49 และ 2.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) ราก ลำต้น และใบบัวบก (ไม่ได้รายงาน 0.17 และ 1.14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) ราก ลำต้น และใบบัวบก (ตรวจไม่พบ)	Zainol *et al.* (2008)
ทุกส่วน	ทำให้แห้ง และบดเป็นผง	น้ำ เมทานอล และเอทานอล 100 มิลลิลิตร	**บัวบกสกัดด้วย** - น้ำ - เมทานอล - เอทานอล	อุณหภูมิ 25 และ 100 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 0.10 และ 0.13 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ) อุณหภูมิ 25 และ 65 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 0.82 และ 1.24 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ) อุณหภูมิ 25 และ 65 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 0.52 และ 1.77 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ)	Kim *et al.* (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ในบัวบกด้วยเทคนิค HPLC จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนของบัวบก	การเตรียมตัวอย่าง	สารสกัดที่ใช้	ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์	เอกสารอ้างอิง
ทุกส่วน	ทำให้แห้ง และบดเป็นผง	ไม่ได้รายงาน	**บัวบกจากจังหวัด** - ปราจีนบุรี - ระยอง - นครศรีธรรมราช - อุบลราชธานี	 ร้อยละ 1.83 โดยน้ำหนักเปียก ร้อยละ 1.04 โดยน้ำหนักเปียก ร้อยละ 0.98 โดยน้ำหนักเปียก ร้อยละ 0.79 โดยน้ำหนักเปียก	อนันต์ (2551)
ทุกส่วน	ทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งเป็นเวลาข้ามคืน บดให้เป็นผง เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส	เมทานอลกับน้ำ (9:1 โดยปริมาตร)	บัวบกขอบใบหยัก บัวบกขอบใบเรียบ	ราก ลำต้น และใบบัวบก (ร้อยละ 0.12 ไม่ได้รายงาน และ 0.79 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ราก ลำต้น และใบบัวบก (ไม่ได้รายงาน ร้อยละ 0.16 และ 1.15 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ)	Aziz *et al.* (2007)
ราก ลำต้น ใบ ปุ่ม และทุกส่วน	ทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	เอทานอลกับน้ำ (70:30 โดยปริมาตร)	ราก ลำต้น ใบ ปุ่ม ทั้งต้น	0.17 มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง 1.85 มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง 9.56 มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตรวจไม่พบ 4.32 มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง	Kim *et al.* (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved