บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาสมบัติวัตถุดิบ

5.1.1 ศึกษาสมบัติด้านความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย

จากรูปที่ 3 พบว่าแบบแผนความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดคล้ายคลึงกัน และสอดคล้องกับแป้งโดยทั่วๆไป กล่าวคือความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากเม็ดแป้งเริ่มพองมีขนาดใหญ่ขึ้น โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างภายในเม็ดแป้ง อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวเรียก อุณหภูมิในการเกิดเจล ซึ่งเม็ดแป้งจะขยายตัวเต็มที่ ความหนืดปรากฏในช่วงนี้จะมีค่าสูงสุด (peak) หลังจากให้ความร้อนต่อไป โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ไว้ เม็ดแป้งที่พองเต็มที่จะแตกออก ค่าความหนืดจึงลด ต่อมาเมื่ออุณหภูมิลดลงความหนืดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะโครงร่างของแป้งจะปรับสภาพ จัดเรียงตัวกันใหม่ มีความหนืดข้นและขุ่นกลับคืนมา เกิดการคืนตัวของเม็ดแป้ง (retrogradation, Fennema, 1985)

อุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในงานวิจัยมีค่า 79.5°C ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้าที่รายงานในเอกสารอ้างอิงว่ามีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 71-74°C (Sharp, 1991) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า แป้งที่มาจากข้าวต่างพันธุ์กันจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลไม่เท่ากัน ทั้งนี้น่าจะเกี่ยวข้องกับปริมาณอะไมโลสที่มีแตกต่างกันด้วยซึ่ง Sharp (1991) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอะไมโลสกับอุณหภูมิในการเกิดเจลว่า แป้งที่มีอะไมโลสสูง อุณหภูมิในการเกิดเจลจะสูงขึ้น เช่นเดียวกับแป้งข้าวโพด โดยพบว่าแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงประมาณ 50% จะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่าแป้งข้าวโพดที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งเป็นแป้งข้าวโพดชนิดทั่วๆไปที่มีอะไมโลส 20-24% (Becker and Hanners, 1991) สำหรับแป้งลูกเดือยและแป้งถั่วเหลือง เป็นแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจนสุกแล้ว จึงไม่ปรากฏอุณหภูมิในการเกิดเจลและไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1..2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย

การพิจารณาเลือกแป้งมาใช้ผลิตอาหารเช้าธัญชาติ ในเบื้องต้นจะพิจารณาจากราคา การจัดหา คุณค่าทางโภชนาการ และผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ จึงเลือกแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือยมาใช้ในการผลิต เพราะแป้งข้าวเจ้าหาได้ง่าย มีราคาถูก แป้งข้าวโพด ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดี แป้งถั่วเหลืองและแป้งลูกเดือย อุดมไปด้วยโปรตีนและเกลือแร่จึงให้คุณค่าทางโภชนาการ แม้ว่าจะมีราคาค่อนข้างสูง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของแป้งทั้ง 4 ชนิด อาจวิเคราะห์แนวคิด

ในการเลือกใช้แป้งสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติได้ดีขึ้น องค์ประกอบที่มีผลอย่างยิ่งต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน โดยคาร์โบไฮเดรตเป็นโครงสร้างหลักของผลิตภัณฑ์ และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ ขณะที่โปรตีนให้คุณค่าทางโภชนาการ ทำให้เกิดสีแก่ผลิตภัณฑ์โดยปฏิกิริยา Maillard ดังนั้นการนำแป้งทั้ง 4 ชนิดมาใช้ผลิตอาหารเช้าธัญชาติ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการ จึงต้องมีการจัดกลุ่มของแป้งตามองค์ประกอบทางเคมีที่กล่าวถึงนี้เป็นเกณฑ์ เพื่อช่วยให้สะดวกในการปรับสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในสูตรแป้งผสมที่จะพัฒนาต่อไป จากตารางที่ 1 พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีคาร์โบไฮเดรต 78.73% โปรตีน 8.71% และแป้งข้าวโพดมีคาร์โบไฮเดรต 87.31% โปรตีน 1.60% จัดเป็นกลุ่มที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ส่วนแป้งถั่วเหลืองมีคาร์โบไฮเดรต 31.77% โปรตีน 40.51% และแป้งลูกเดือยมีคาร์โบไฮเดรต 70.14% โปรตีน 17.11% จัดเป็นกลุ่มที่มีโปรตีนสูง เมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่นในที่นี้ และจากข้อมูลของยุพดี (2526) ยังพบว่าแป้งลูกเดือยมีแร่ธาตุที่จำเป็นแก่ร่างกาย โดยมีโปแตสเซียม 0.48% ฟอสฟอรัส 0.3% และเหล็ก 80 ppm นับเป็นองค์ประกอบที่ช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ สำหรับเส้นใยหยาบ จากตารางที่ 1 แสดงว่ามีอยู่น้อยมากในแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งถั่วเหลือง ขณะที่แป้งลูกเดือยมีเพียง 1.37% แป้งทั้ง 4 ชนิดจึงเป็นแหล่งของเส้นใยในผลิตภัณฑ์ไม่ได้ เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน ปรากฏว่าแป้งข้าวโพดมีน้อยมาก แป้งข้าวเจ้ามี 0.23% และแป้งลูกเดือยมี 5.82% ซึ่งถือว่ามีไขมันต่ำ ขณะที่แป้งถั่วเหลืองมีไขมันค่อนข้างสูงคือ 18.90% เพราะเป็นชนิดไขมันเต็ม แต่ใช้ในปริมาณที่ทดลองไม่เกิน 7 กรัม ต่อน้ำหนักแป้งทั้งหมด 70 กรัม จึงไม่ก่อปัญหาในกระบวนการผลิต ส่วนความชื้น แป้งข้าวเจ้ามีความชื้น 11.70% แป้งข้าวโพด 10.96% แป้งลูกเดือย 3.79% และแป้งถั่วเหลือง 4.58% ซึ่งค่าความชื้นเหล่านี้จะนำไปคำนวณปริมาณน้ำที่จะเติมในขั้นตอนการเตรียมแป้งผสมเพื่อให้ได้อัตราการไหลตามต้องการ ปริมาณเถ้าในแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 0.63% แป้งข้าวโพด 0.13% แป้งลูกเดือย1.77% และแป้งถั่วเหลือง 4.24% ซึ่งแสดงว่าแป้งลูกเดือยและแป้งถั่วเหลืองมีเกลือแร่อยู่ในปริมาณสูง เมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด

5.1.3 วิเคราะห์สารพิษตกค้างในรำสกัด

รำข้าวสกัดน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภคที่หาได้ง่าย มีราคาถูก มีเส้นใยอาหารสูง จึงมีศักยภาพทางโภชนาการ แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย เพราะมีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Carroll, 1990) จากตารางที่ 1 รำข้าวสกัดน้ำมันมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงถึง 28.29% จึงเป็นแหล่งของเส้นใยในผลิตภัณฑ์ได้ดี ไขมันมีเพียง 1.70% และเพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์จึงได้วิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง (ตารางที่ 2) ซึ่งพบว่ามี DDT 0.007 ppm., aldrin 0.001 ppm.และ heptachlor 0.007 ppm. เมื่อเทียบกับค่าสูงสุดที่ FAO/WHO (1993) ยอมให้ DDT มีได้ไม่เกิน 0.1 ppm. สำหรับ aldrin มีได้ไม่เกิน 0.02 ppm. และ heptachlor มีได้ไม่เกิน 0.02 ppm. จะเห็นว่าปริมาณสารตกค้างในรำสกัดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งเส้นใย

อาหารสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ส่วนสารอื่นๆที่วิเคราะห์คือ กลุ่ม carbamate ได้แก่ MIPC, carbofuran และ carbaryl สำหรับกลุ่ม organophosphate ที่ตรวจได้แก่ diazinon, dichlorvos, malathion, fenitrothion, methyl-parathion, monocrotophos, mevinphos, methamidophos และ dimethoate ซึ่งตรวจไม่พบ

5.2 ศึกษาอัตราส่วนแป้งที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์

เนื่องจากแป้งที่นำมาใช้มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันดังกล่าวมาแล้ว อาจส่งผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ โดยพิจารณาจากแบบแผนความหนืด สมบัติทางกายภาพ และทดสอบทางประสาทสัมผัส

ในการศึกษาสูตรแป้งสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ ได้กำหนดปริมาณแป้งทั้งสองกลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง และกลุ่มที่มีโปรตีนสูงเป็นอัตราส่วนคงที่ ทำให้แป้งกลุ่มแรกคือแป้งข้าวเจ้ากับแป้งข้าวโพด ต้องแปรปริมาณในลักษณะผกผันกัน เช่นเดียวกับแป้งกลุ่มหลังคือถั่วเหลืองและแป้งลูกเดือย ที่ต้องแปรผกผันกันด้วย เมื่อวิเคราะห์หน้าที่ของแป้งแต่ละกลุ่มแล้ว จึงพิจารณาถึงปริมาณที่จะใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีเมื่อผลิตโดยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เนื่องจากแป้งถั่วเหลืองเป็นแป้งที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากที่สุด เพราะมีไขมันสูงถึง 19 % และมีสีเข้มที่สุด จึงคิดว่าแป้งถั่วเหลืองน่าจะเป็นส่วนผสมที่มีข้อจำกัดด้านปริมาณมากที่สุด จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่อาจใช้ได้มากที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ยังมีสีเข้มไม่มากเกินไป และแป้งถั่วเหลืองกระจายตัวได้ดีในน้ำแป้งผสม (slurry) คือ 7 กรัมต่อน้ำหนักของแป้งผสมทั้งหมด 70 กรัม จึงกำหนดปริมาณสูงสุดเพียงเท่านี้ และต่ำสุดกำหนดไว้ 1 กรัม ต่อน้ำหนักทั้งหมด 70 กรัม ซึ่งเมื่อทำแห้งแล้ว จะทำให้มีโปรตีนในผลิตภัณฑ์ประมาณ 6-11% ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายมีอยู่ในช่วง 5-8 % (Holland, 1991)

องค์ประกอบชนิดต่อมาที่มีข้อจำกัดในด้านปริมาณเป็นอันดับสอง คือแป้งลูกเดือย เพราะมีราคาสูงถึง 80 บาทต่อกิโลกรัม จึงกำหนดปริมาณฟอสฟอรัสเป็นเกณฑ์ โดยให้ปริมาณต่ำสุดในสูตรเมื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว มีฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.26-0.27 % ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายมีปริมาณอย่างต่ำ 0.25 %

แป้งข้าวโพดเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะผิวมันไม่ด้านและโปร่งแสงเล็กน้อย ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ดี นอกจากนั้นยังช่วยให้แห้งร่วนและเบาฟู เนื่องจากมีโปรตีนต่ำ (Hui, 1992) แต่แป้งข้าวโพดมีราคาสูง และจากการศึกษาข้อมูลทางเอกสารถึงปริมาณที่ควรใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว พบว่าใช้แป้งข้าวโพดเพียง 29 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดก็ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏดังที่กล่าวไว้ จึงกำหนดไว้เป็นช่วงจาก 7-51 กรัมต่อน้ำหนักของผสมทั้งหมด 70 กรัม ในส่วนที่เหลือซึ่งเป็นแป้งข้าวเจ้าจึงแปรผันกับแป้งข้าวโพด

หลังจากกำหนดสูตรแป้งทั้ง 7 สูตรแล้ว จึงทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยทดลองทำแห้งแป้งสูตรที่ 1 และ 7 ที่ได้ปรับปริมาณน้ำจนน้ำแป้งที่ได้มีอัตราการไหลที่เหมาะสมคือ 26-34 ซม./นาที ซึ่งเป็นอัตราที่เกาะติดลูกกลิ้งได้เป็นอย่างดี (ข้อมูลจากทดลองผลิตเบื้องต้น โดยใช้ Boswick Viscometer วิเคราะห์อัตราการไหล) จากนั้นจึงทำแห้งน้ำแป้งทั้ง 7 สูตรตามภาวะที่เหมาะสม (ข้อ 3.2.2) ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในภาคผนวก ง

5.2.1 ศึกษาสมบัติด้านความหนืด และอุณหภูมิในการเกิดเจล

ผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแล้วทั้ง 7 สูตร นำมาศึกษาสมบัติด้านความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจล จากรูป 4-5 เมื่อเปรียบเทียบแบบแผนความหนืดของแป้งผสมทั้ง 7 สูตร กับแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งผสมทั้ง 7 สูตร อยู่ในช่วง 76.2-78.7 °C ขณะที่อุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งข้าวเจ้าเป็น 79.5 °C และแป้งข้าวโพด 72.5 °C โดยอิทธิพลจากปริมาณแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเกิดเจล ดังนั้นแป้งสูตรที่1 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้าน้อยที่สุดแต่แป้งข้าวโพดสูงสุด จึงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่าสูตรอื่นๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเกิดเจลตั้งแต่สูตรที่ 2 จนถึง 7 จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ต่อจากนั้นมาพิจารณาด้านความหนืด พบว่าแตกต่างกันในช่วงเพิ่มอุณหภูมิโดยผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 สูตร มีค่าเท่ากับ 600-680 BU. และช่วงลดอุณหภูมิลง เท่ากับ 800-1020 BU. แล้วนำผลความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดมาประกอบการอธิบาย จะเห็นว่าในช่วงเพิ่มอุณหภูมิแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสูงกว่า แต่ในช่วงลดอุณหภูมิกลับกลายเป็นว่าแป้งข้าวโพดมีความหนืดสูงกว่า แสดงว่าแป้งข้าวโพดมีการคืนตัวมากกว่า โดยแนวโน้มของความหนืดจากแป้งผสมตั้งแต่สูตรที่ 1 จนถึงสูตรที่ 7 จะสัมพันธ์กับปริมาณแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าที่มีในสูตร ตัวอย่างเช่นสูตรที่ 1 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้าน้อยที่สุดแต่แป้งข้าวโพดสูงสุด มีความหนืดมากกว่าสูตรอื่นในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ แต่ความหนืดในช่วงลดอุณหภูมิจะต่ำกว่าแป้งสูตรอื่น ดังนั้นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่สูตรที่ 2 จนถึง 7 จึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงเพิ่มอุณหภูมิและความหนืดจะลดลงในช่วงลดอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าความหนืดในช่วงลดอุณหภูมิลงจะมีค่าต่ำลงก็ตาม แต่ยังคงมีการคืนตัวของแป้งอยู่ โดยโครงสร้างของเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของแป้งเข้ามาจับกันเองแทนที่โมเลกุลของน้ำซึ่งเดิมแทรกจับกับหมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้ (Fennema, 1985)

5.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติจากแป้งผสมทั้ง 7 สูตร

ลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ คือมีสีสรรที่น่ารับประทาน มีความกรอบ และเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธัญชาติที่มีความชื้นต่ำ ดังนั้นหากเติมในเครื่องดื่มจะลอยอยู่ส่วนบน และอุ้มน้ำไว้ได้โดยยังคงสภาพเป็นแผ่นไม่เละเป็นยางเหนียว (Hui, 1992) ลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ค่าสี water activity ความชื้น bulk density และการดูดกลืนน้ำ โดยค่าสีของ

ผลิตภัณฑ์จากเครื่องวัดบอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆในผลิตภัณฑ์ และช่วยยืนยันผลของคุณภาพด้านสีจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส สำหรับ water activity และความชื้น หากมีการจำแนกประเภทของน้ำในอาหาร (degree of water binding) ตามที่ Fennema (1976) กล่าวถึงประเภทของน้ำที่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงของค่า water activity มากคือ water binding type 2 กับความชื้นของผลิตภัณฑ์คือ water binding type 2 และ type 3 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้ง 2 อาจจะแตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องศึกษาทั้ง 2 ค่า โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบ จะมีค่าทั้ง 2 ต่ำ และและนอกจากนั้นยังควรมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ซึ่งทำให้ลอยตัวได้เมื่อเติมในเครื่องดื่ม นอกจากนี้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำอย่างเหมาะสม ช่วยให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์อุ้มน้ำไว้ได้โดยยังไม่เละ จึงจำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางกายภาพทุกปัจจัยที่กล่าวมา เพื่อประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และคัดเลือกสูตรได้อย่างถูกต้องต่อไป

ผลจากการประเมินสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆ พบว่าสูตรแป้งมีผลต่อค่าสี คือ L, a และ b อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองในสูตร ค่าความสว่าง (L) ลดลง ขณะที่ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกิดสารประกอบสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จาก Maillard reaction ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของหมู่อะมิโน (amino group) ในกรดอะมิโนของโปรตีนถั่วเหลือง และน้ำตาลในมอลต์สกัด ที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ได้สารประกอบสุดท้ายเป็น melanoidin ซึ่งมีสีน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีสีเข้มขึ้น (Fennema, 1985)

สูตรแป้งไม่มีผลต่อค่า water activity และความชื้น ($p>0.05$) แม้ว่าจะใช้แป้งจากวัตถุดิบในอัตราส่วนต่างๆกันซึ่งเป็นผลให้แป้งสูตรต่างๆ มีปริมาณอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินต่างกันจึงน่าจะทำให้ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันเนื่องจากอะไมโลเพคตินมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ข้างเคียงจึงน่าจะมีหมู่ hydroxyl ที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำมากขึ้น แต่ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีอาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นบาง จึงทำให้น้ำระเหยออกไปได้ดีระหว่างการทำแห้ง จนอิทธิพลของความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินไม่มีผลต่อค่า water activity และเมื่อกล่าวถึงความชื้น ซึ่งหมายถึง water binding type 2 และ type 3 หรือปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแล้ว เมื่อค่า water activity ในผลิตภัณฑ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับ water binding type 2 ไม่ต่างกันจึงหันมาพิจารณา water binding type 3 ซึ่งน่าจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างกันได้ โดยในการเตรียมผลิตภัณฑ์ได้ใช้น้ำทำให้แป้งอยู่ในรูป slurry เพื่อให้ไหลได้ น้ำจำนวนนี้มากจนเกินความสามารถของเม็ดแป้งจะดึงไว้ได้ทั้งหมด เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิต จึงระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่า water binding type 2 (Fennema, 1976) สูตรแป้งจึงไม่มีผลต่อความชื้นเช่นกัน

ค่า bulk density หาได้จากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยปริมาตร จึงมีความเกี่ยวข้องกับความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย กล่าวคือถ้าความชื้นในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ระดับหนึ่งโดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ความหนาแน่นจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อความชื้นไม่แตกต่างกัน โดย

ที่ปริมาณรวมของแป้งในผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 สูตรใกล้เคียงกัน ค่า bulk density จึงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5) ส่วนการดูดกลืนน้ำของผลิตภัณฑ์ เกิดจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเล็กๆภายในผลิตภัณฑ์จากการระเหยของน้ำกลายเป็นไออย่างรวดเร็วบนผิวลูกกลิ้ง รูพรุนเหล่านี้สามารถดึงน้ำเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้ด้วยแรง capillary (Fennema, 1976) ทั้งนี้แป้งผสมทั้ง 7 สูตร จะต้องผ่านการอบแห้งแบบสัมผัสกับผิวลูกกลิ้งโดยตรงในลักษณะที่แป้งผสมแผ่เป็นแผ่นบาง ซึ่งเป็นภาวะที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วมาก โครงสร้างรูพรุนที่เกิดจึงน่าจะคล้ายกัน ทำให้การดูดกลืนน้ำไม่แตกต่างกัน แม้ว่าสูตรที่มีแป้งข้าวโพดสูงควรจะมีการดูดกลืนน้ำดีกว่า เนื่องจากแป้งข้าวโพดจะให้ลักษณะพองฟูได้ดีแก่ผลิตภัณฑ์ แต่การอบแห้งแบบสัมผัสกับผิวลูกกลิ้งโดยตรงเป็นภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพดี เกิดโครงสร้างรูพรุนลักษณะเดียวกันอย่างรวดเร็ว จึงไม่เห็นอิทธิพลจากแป้งข้าวโพดอย่างชัดเจนเมื่อเทียบแป้งผสมแต่ละสูตร

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส สูตรแป้งมีผลต่อคะแนนด้านสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความสม่ำเสมอของสี และเนื้อสัมผัสจากการขบหรือกัด ($p > 0.05$) (ตารางที่ 5) ผู้ทดสอบประเมินลักษณะด้านสี ของตัวอย่างที่มีแป้งข้าวโพดสูงที่สุด (สูตรที่ 1) ว่ามีสีน้ำตาลเหมาะสมมากที่สุด (คะแนน 8.35) พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลือง มีผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นในสูตรที่ 7 และผู้ทดสอบมีความเห็นว่า สูตรที่มีความเหมาะสมด้านสีรองลงมาคือ สูตรที่ 5 (คะแนน 7.76) ส่วนสูตรที่ 2, 3 และ 4 มีความเหมาะสมในระดับที่ไม่ต่างกัน พบว่าผลจากการวัดด้วยเครื่อง colorimeter มีความสอดคล้องกับผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 1 มีค่า L, a และ b ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรอื่นๆ และแนวโน้มค่าสีจากสูตรที่ 2-7 มีค่า L ลดลง ค่า a และ b เพิ่มขึ้นหรือกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 2-7 มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น จะเห็นว่าแนวโน้มคะแนนสีของผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 2-7 ลดลง อาจสรุปได้ว่าผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีสีอ่อนมากกว่าสีคล้ำ ในด้านความสม่ำเสมอของสี (คะแนน 7.11-7.61) และเนื้อสัมผัส (คะแนน 7.65-8.15) ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ดี และประเมินลักษณะทั้งสองของผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 สูตรไม่แตกต่างกัน เพราะผลิตภัณฑ์เป็นแผ่นหนาเพียง 0.7 มม. แตกได้ง่าย แม้ออกแรงกัดเพียงเล็กน้อย ผู้ทดสอบจึงประเมินว่าทุกตัวอย่างสามารถกัดให้แตกได้ง่ายไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงถึงภาวะการทำแห้งมีความเหมาะสม ส่วนด้านความสม่ำเสมอของสี ผู้ทดสอบประเมินว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งทั้ง 7 สูตรมีความสม่ำเสมอของสีดี แม้ว่าแป้งถั่วเหลืองที่ใช้เป็นชนิดไขมันเต็มซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากที่สุดเพราะมีไขมันสูงถึง 19% จึงน่าจะมีปัญหาเรื่องการกระจายตัวของแป้ง แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่ใช้ได้มากที่สุดคือ 7 กรัม ต่อน้ำหนักแป้งทั้งหมด 70 กรัม ดังนั้นปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่เลือกใช้ (1-7 กรัม) จึงอยู่ในระดับที่กระจายตัวได้ดีในน้ำแป้งผสม และให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอทั่วถึงกันตลอดทั้งแผ่น

ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ความสม่ำเสมอของสี และเนื้อสัมผัส รวมทั้งผลทางกายภาพได้แก่ ค่าสี water activity ความชื้น bulk density และการดูดกลืนน้ำ จึงสรุปได้ว่า

แป้งสูตรที่ 1 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 25:35:1:8 และสูตรที่ 5 มีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 45:15:5:4 มีความเหมาะสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ แม้ว่าสูตรที่ 5 จะมีความเหมาะสมน้อยกว่า เมื่อดูจากลักษณะต่างๆที่ทดสอบ แต่ถ้าพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตจะเห็นว่า แป้งสูตรที่ 5 มีศักยภาพที่ดี เพราะต้นทุนด้านวัตถุดิบต่ำเนื่องจากใช้แป้งข้าวเจ้าแป้งถั่วเหลืองสูงกว่า หากเปรียบเทียบด้านราคาวัตถุดิบ แป้งข้าวเจ้าราคาจะถูกกว่าแป้งข้าวโพด ขณะที่แป้งถั่วเหลืองราคาใกล้เคียงกับแป้งลูกเดือย จึงเลือกแป้งทั้งสองสูตรไปศึกษาในขั้นต่อไป

5.3 ศึกษาปริมาณรำสกัดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์

ผลจากการรวบรวมข้อมูลโดย Holland (1991) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่วางจำหน่ายมีเส้นใยอาหารในปริมาณค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากมีการเติมรำสกัดไขมัน ซึ่งมีปริมาณเส้นใยอาหารถึง 28 % และหาได้ง่าย จะช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติได้ แต่ความพยายามที่จะเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดนั้นก็มีขีดจำกัดเช่นกัน เพราะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่พึงประสงค์ มีกลิ่นรสไม่น่ารับประทาน จึงต้องศึกษาปริมาณรำข้าวในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้

ในการทดลองได้นำแป้งผสมสูตรที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 25:35:1:8 และสูตรที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 45:15:5:4 มาเติมรำสกัดในปริมาณ 25, 50, 75 และ 100% ของน้ำหนักแป้ง แล้วผลิตอาหารเช้าธัญชาติและวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองพบว่าสูตรแป้งที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าสี water activity ความชื้น bulk density และการดูดกลืนน้ำ ($P>0.05$) แต่ปริมาณรำมีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าการดูดกลืนน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 10) โดยปริมาณรำที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความสว่างลดลง สีแดงเพิ่มขึ้น และการดูดกลืนน้ำลดลง จากข้อมูลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ตารางที่ 1) พบว่ามีโปรตีนสูงถึง 18% จึงน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นเนื่องจากกรดอะมิโนของโปรตีนในรำข้าว เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction กับน้ำตาลในมอลต์สกัด (Fennema, 1985) ส่วนการดูดกลืนน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อรำข้าวเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะเส้นใยอาหารในรำข้าวประกอบด้วยเซลลูโลส 9.6-12.8% เฮมิเซลลูโลส 8.7-11.4% และลิกนิน 7.1-13.11% โดยน้ำหนักของรำซึ่งมีเส้นใยอาหารทั้งหมดประมาณ 40% (Kahlon et al., 1989) เส้นใยเหล่านี้มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ซึ่ง Kamel and Stauffer (1993) อธิบายว่าโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยมีลักษณะเฉพาะคือ เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นใยย่อยๆ (fibril) เกิดจากการเรียงต่อกันเป็นสายของ β-glucose ซึ่งเชื่อมต่อจากตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลแรกไปยังตำแหน่งที่ 4 ของโมเลกุลถัดไป และมีพันธะไฮโดรเจนโยงเชื่อมระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นเหล่านั้น ซึ่งมีลักษณะเป็นระเบียบ ส่วนเฮมิเซลลูโลสมีการ

เชื่อมต่อเหมือนเซลลูโลส แต่โมเลกุลที่มาเรียงต่อกัน ประกอบด้วยสายย่อยของน้ำตาลหลายๆชนิด มาเรียงต่อกันอีกที นอกจากนี้ยังมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเซลลูโลสอีกประการหนึ่งคือ มีแขนงแยกย่อย คล้ายกิ่งไม้ จึงมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำแตกต่างกัน ตามจำนวนของสายที่เป็นแขนงย่อยนั้น ถ้ามีจำนวนมาก การละลายจะดี และลิกนินเป็นสายของอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) ที่โมเลกุลมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ลิกนินจะทำหน้าที่คล้ายกาวคือเป็นตัวเชื่อม สายหรือมัดของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเอาไว้ให้ อยู่ในลักษณะที่เป็น matrix คือมีการจัดเรียงในลักษณะ 3 มิติ ปกติลิกนินอุ้มน้ำน้อยมาก เนื่องจากลักษณะโมเลกุลที่เป็นอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอน จากเหตุผลที่กล่าวมา ค่าการดูดกลืนน้ำของผลิตภัณฑ์จึงลดลง เมื่อปริมาณรำสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อบริโภครำ โครงสร้างที่น้ำตาลเป็นองค์ประกอบในสายของโพลิเมอร์คือเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารย่อยสลาย ทำให้รูปทรง 3 มิติ (matrix) ที่เคยอัดแน่นด้วยเส้นใยกลับมีลักษณะกลวงลงพอให้โมเลกุลของน้ำ แทรกตัวเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากขึ้นทำให้เกิดการอุ้มน้ำ จึงเพิ่มปริมาณของเส้นใยในทางเดินอาหาร

หากมีการจำแนกประเภทของน้ำในอาหาร (degree of water binding) ตามที่ Fennema (1976) กล่าวถึง ประเภทของน้ำที่เกี่ยวข้องกับค่า water activity คือ water binding type 2 ซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของน้ำเป็นชั้นซ้อนกัน (multilayer) ล้อมรอบตัวถูกละลาย โดยยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันหรือโมเลกุลของน้ำกับตัวถูกละลาย ทั้งนี้โมเลกุลของน้ำที่ยึดไว้นั้นไม่ได้หยุดนิ่งอยู่กับที่ แต่มีโอกาสเคลื่อนที่ได้จึงยังมี activity อยู่ แต่องค์ประกอบในรำข้าวส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหาร โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ จัดเรียงอย่างซับซ้อน และมี functional group อิสระที่จะตรึงโมเลกุลของน้ำอยู่น้อย จึงมีความสามารถในการดึงน้ำประเภทที่ 2 ได้น้อย ทำให้ค่า water activity ไม่เปลี่ยนแปลง ($p>0.05$) สำหรับความชื้นตามที่ Fennema (1976) กล่าวไว้ จะหมายถึง water binding type 2 และ type 3 เมื่อรำข้าวไม่มีผลต่อค่า water activity ซึ่งค่านี้เกี่ยวข้องกับ water binding type 2 จึงหันมาพิจารณา water binding type 3 ซึ่งน่าจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างกันได้ แม้ว่าในการเตรียมผลิตภัณฑ์จะต้องใช้น้ำทำให้แป้งอยู่ในรูป slurry เพื่อให้ไหลได้ โดยน้ำที่เพิ่มขึ้นจะแทรกอยู่ระหว่างส่วนที่เป็น fibril ในรำข้าว แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำประเภทนี้กับรำข้าวไม่แข็งแรงพอ เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิต จะทำให้น้ำประเภทนี้ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่า water binding type 2 (Fennema, 1976) จึงเป็นเหตุให้ปริมาณรำข้าวไม่มีผลต่อความชื้น

เนื่องจากกระบวนการผลิตสามารถระเหยน้ำที่รำข้าวอาจสามารถอุ้มอยู่ได้บ้าง ออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าน้ำบางส่วนยังไม่ถูกระเหยออกไปเนื่องจากสามารถก่อพันธะเคมีเช่น พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ได้ (Fennema, 1976) แต่จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่ารำข้าวมี functional group ที่จะก่อพันธะเคมีอยู่น้อย (Kamel and Stauffer, 1993) รำข้าวจึงไม่มีผลต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้น และไม่มีผลต่อ bulk density ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย เพราะค่า bulk density หาได้จากน้ำหนัก

ของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยปริมาตร หากความชื้นไม่เพิ่มขึ้นน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะไม่เพิ่มขึ้น จึงไม่มีผลต่อ bulk density ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส สูตรแป้งผสมไม่มีผลต่อลักษณะ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความสากลิ้น และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ ($P>0.05$) (ตารางที่ 13) แต่ปริมาณรำเพิ่มขึ้นมีผลต่อสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความสากลิ้นและการยอมรับรวม ($P\leq0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะด้านสี ผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณรำ และผลจากการวัดค่าสีดังกล่าวมาแล้วข้างต้นช่วยยืนยันผลจาการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาด้านกลิ่นรส การเพิ่มปริมาณรำถึง 50% ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวมีกลิ่นหอมคล้ายถั่วอยู่ในตัวเอง แต่หากเพิ่มปริมาณมากเกินไป (มากกว่า 50% ของน้ำหนักแป้ง) จะมีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์คือ จะมีกลิ่นรสไม่ชวนบริโภคเพราะกลิ่นของรำซึ่งคล้ายกับถั่วจะแรงเกินไปจนรู้สึกเป็นกลิ่นแปลกปลอม ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับ Carroll (1990) ที่อธิบายไว้ว่า การเติมรำในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวโอ๊ต ใช้ได้ในปริมาณจำกัดเพราะจะเกิดกลิ่นรสแปลกปลอม และมีความสากลิ้น เมื่อพิจารณาด้านเนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์ยังคงมีความกรอบดีอยู่หากเติมรำไม่เกิน 75% แต่ถ้ามากกว่า 75% ผลิตภัณฑ์จะเปราะร่วน แตกเป็นผงได้ง่าย ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะของรำเองเป็นผงร่วนไม่เกาะกัน เมื่อมีปริมาณมากจะเข้าไปแทรกระหว่างเม็ดแป้งทำให้ความแข็งแรงของพันธะที่เม็ดแป้งเชื่อมกันไว้ลดลง เมื่อพิจารณาด้านความสากลิ้นซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเติมเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะมีผงจับอยู่ที่ลิ้นหรือในช่องปากทำให้รู้สึกสากและกลืนยาก พบว่าปริมาณรำไม่เกิน 50% จะทำให้รู้สึกบ้างเล็กน้อย ถ้าเพิ่มมากกว่า 50% จะมีความสากลิ้นมากขึ้นอย่างชัดเจนมีผลให้การยอมรับลดลง ($p\leq0.05$)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความสากลิ้นและการยอมรับรวม ร่วมกับการทดสอบทางกายภาพได้แก่ ค่าสี water activity ความชื้น bulk density และการดูดกลืนน้ำ จึงสรุปว่า ปริมาณรำข้าวที่เหมาะสมคือ 50% ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับแป้งผสมจำนวน 2 สูตร คือสูตรที่ 1 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย เท่ากับ 25:35:1:8 และสูตรที่ 5 มีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 45:15:5:4 ตามลำดับ นำไปศึกษาตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติม

5.4 ศึกษาปริมาณสารแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์

แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์บริโภคได้แต่หากพิจารณาคะแนนการยอมรับรวม พบว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (คะแนน 6.96) เท่านั้น (ตารางที่ 4) วิธีหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะที่ดีน่ารับประทานและมีการยอมรับมากขึ้น คือการเติมสารแต่งกลิ่นรส จากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคอาหารเช้าธัญชาติของนิรมล (2536) พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบผลิตภัณฑ์ที่แต่งกลิ่นรสโกโก้มากที่สุดถึง

ร้อยละ 34 รองลงมาคือรสธรรมชาติ หรือไม่เติมกลิ่นรสร้อยละ 26 จึงตัดสินใจเลือกโกโก้เป็นสารแต่งกลิ่นรส และใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานเพื่อกลบรสขมจากโกโก้ ในงานวิจัยนี้ โดยแปรปริมาณสารแต่งกลิ่นรสคือ ผงโกโก้เป็น 5, 7 และ 9% และน้ำตาลเป็น 20, 24 และ 28% ของน้ำหนักแป้ง

ผลการทดลองทางกายภาพพบว่า สูตรแป้งมีผลต่อค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 17) โดยผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่มีแป้งถั่วเหลืองมากกว่า มีค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ดังได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น แต่สูตรแป้งไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ($p>0.05$) เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้จาก color difference equations (Anonym, 1992) ที่มีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$L = 116Y(Y/Y_o)^{1/3}-16$$
$$a = 500[(X/X_o)^{1/3}-(Y/Y_o)^{1/3}]$$
$$b = 200[(Y/Y_o)^{1/3}-(Z/Z_o)^{1/3}]$$

จะเห็นว่า L สัมพันธ์กับสีเขียว (Y) a สัมพันธ์กับสีแดง (X) และสีเขียว (Y) กล่าวคือหากผลต่างระหว่างสีแดงกับสีเขียวมากขึ้น ค่า a จะเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าผลต่างระหว่างค่าทั้งสองน้อยลง ค่า a จะลดลง ขณะที่ b สัมพันธ์กับสีเขียว (Y) และสีน้ำเงิน (Z) โดยหากผลต่างระหว่างสีเขียวกับสีน้ำเงินมากขึ้น ค่า b จะเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าผลต่างระหว่างค่าทั้งสองน้อยลง ค่า b จะลดลง แม้ว่าสารสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยา Maillard ของสูตรแป้งจะทำให้ค่า a และ b เพิ่มขึ้น ส่วน L ลดลง อาจเป็นไปได้ว่าเพราะผลิตภัณฑ์ที่เติมโกโก้มีสีน้ำตาลเข้มมากอยู่แล้ว ดังนั้นสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard ของสูตรแป้งไม่อาจทำให้ค่า L ลดลงไปมากกว่านี้ ค่า L จึงไม่เปลี่ยนแปลง

ปริมาณโกโก้มีผลต่อค่าความสว่าง (L) และการดูดกลืนน้ำ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 16 และตารางที่ 21) กล่าวคือปริมาณโกโก้ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่างลดลง Reineccius (1994) กล่าวถึงสาร tannin ว่าเป็นสารให้สีที่สำคัญในโกโก้นอกเหนือไปจากสารสีน้ำตาลเข้มที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดในช่วงการบ่มและคั่วเมล็ดโกโก้ ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเมื่อโกโก้เพิ่มขึ้นถึง 5-9% พบว่าค่า a และ b ไม่ต่างกัน ($p>0.05$) อาจเป็นเพราะการเติมโกโก้ปริมาณดังกล่าวจะทำให้ tannin ซึ่งเป็นสารมีสีน้ำตาลออกไปทางสีดำ มีมากพอจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นอย่างเดียวเท่านั้น สำหรับการดูดกลืนน้ำที่ลดลงเมื่อปริมาณโกโก้สูงขึ้น เกิดเนื่องจากโกโก้มีลักษณะคล้ายร่ำอยู่อย่างหนึ่ง คือเป็นผงร่วน มีน้ำหนักน้อยแต่มี bulk มาก และองค์ประกอบของโกโก้ส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่ดูดกลืนน้ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีโกโก้เพิ่มขึ้น มีการดูดกลืนน้ำน้อยลง หากมีการจำแนกประเภทของน้ำในอาหาร (degree of water binding) ตามที่ Fennema (1976) กล่าวถึง ประเภทของน้ำที่เกี่ยวข้องกับค่า water activity คือ water binding type 2 ซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของน้ำเป็นชั้นซ้อนกัน (multilayer) ล้อมรอบตัวถูกละลาย โดยยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันหรือโมเลกุลของน้ำกับตัวถูกละลาย ทั้งนี้โมเลกุลของน้ำที่ยึดไว้นั้นไม่ได้หยุดนิ่งอยู่กับที่ แต่มีโอกาสเคลื่อนที่ได้จึงยังมี activity อยู่ เนื่องจากองค์ประกอบในโกโก้ซึ่งมีความ

สามารถในการดึงน้ำประเภทที่ 2 ได้น้อย ทำให้ค่า water activity ไม่เปลี่ยนแปลง (p>0.05) สำหรับความชื้นของผลิตภัณฑ์จะหมายถึง water binding type 2 และ type 3 ตามที่ Fennema (1976) กล่าวถึง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่า water activity และความชื้น อาจไม่ต้องเปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันเสมอไป เมื่อค่า water activity ในผลิตภัณฑ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับ water binding type 2 ไม่ต่างกัน จึงหันมาพิจารณา water binding type 3 ซึ่งน่าจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างกันได้ แม้ว่าในการเตรียมผลิตภัณฑ์จะต้องใช้น้ำเพื่อให้แป้งอยู่ในรูป slurry ซึ่งสามารถไหลได้ แต่ปริมาณน้ำที่มากขึ้นนี้ เกินความสามารถของโกโก้ที่จะดึงไว้ได้ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิต น้ำประเภทนี้จะระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่า water binding type 2 จึงเป็นเหตุให้ปริมาณโกโก้ไม่มีผลต่อความชื้น ส่วนค่า bulk density หาได้จากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยปริมาตร หากความชื้นในผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลง จะไม่ทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์เปลี่ยนด้วย ค่า bulk density จึงไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

น้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า water activity ความชื้น และ bulk density เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 20) สามารถอธิบายได้ดังนี้ การเพิ่มปริมาณน้ำตาลมีผลต่อ water binding type 2 โดยน้ำประเภทนี้จะจัดเรียงเป็นชั้นซ้อนกันหลายชั้น (multilayer) ล้อมรอบโมเลกุลของน้ำตาลโดยยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเอง และโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่ง bound water ในลักษณะนี้ไม่ได้ถือว่าถูกตรึงไว้ทั้งหมดโดยสมบูรณ์แต่ยังมีการเคลื่อนที่ หรือเคลื่อนไหวได้ (Fennema, 1976) ด้วยเหตุที่น้ำตาลแต่ละโมเลกุลมีโมเลกุลของน้ำซ้อนเรียงกันหลายชั้นอยู่แล้วดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำที่มีการเรียงในลักษณะดังกล่าวเมื่อรวมกันเข้าเท่ากับว่ามีน้ำเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้ค่า water activity จึงสูงขึ้น ในขณะที่ความชื้น จะเกี่ยวข้องกับน้ำที่มีอยู่คือ water binding type 2 และ type 3 โดยในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โมเลกุลน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป water binding type 2 ซึ่งเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาล ดังนั้นจึงทำให้ความชื้นสูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ค่า bulk density จึงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ตีป่นแล้ว บริโภคพร้อมนมสด (whole milk) ปริมาณ 12 เท่าโดยน้ำหนักพบว่า การเติมสารแต่งกลิ่นรสมีผลต่อลักษณะด้านสี กลิ่นรส และการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 22)

การเพิ่มปริมาณโกโก้ ทำให้ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะด้านสีดีขึ้น ทั้งที่มีค่าความสว่างลดลง (เข้มขึ้น) และจากการวิเคราะห์ค่า correlation ระหว่างค่าความสว่าง และลักษณะด้านสี พบว่ามีค่าเท่ากับ -0.87 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันแต่เป็นในทิศทางตรงข้าม ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าผู้บริโภคโดยทั่วไปคุ้นเคยดีกับ ผลิตภัณฑ์ที่เติมโกโก้แล้วและผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ถ้ามีสีน้ำตาลเข้มมาก จะสร้างความรู้สึกว่ามีกลิ่นรสโกโก้อยู่จริงในปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อนกว่า เมื่อพิจารณาด้านกลิ่นรส ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสดีขึ้น เมื่อปริมาณโกโก้เพิ่มขึ้นเป็น 7% (ตารางที่ 24) แต่ถ้าเพิ่มโกโก้ถึง 9% ผลิตภัณฑ์เริ่มมีรสขมมากขึ้น ซึ่งไม่เป็นที่พึงประสงค์

ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาล 20% มีคะแนนด้านกลิ่นรสเท่ากับ 7.30 และ 28% มีคะแนนเท่ากับ 7.26 ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาล 24% คะแนนด้านกลิ่นรสคือ 7.77 สูงกว่าระดับอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้ทดสอบเห็นว่าปริมาณน้ำตาล 20% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานน้อยเกินไป และ 28% ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมากไป ส่งผลให้คะแนนจากผู้ทดสอบลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าโกโก้ 7% มีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าระดับอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้ทดสอบให้ความสำคัญต่อกลิ่นรสมากกว่าสีของผลิตภัณฑ์ และพบว่าน้ำตาล 24% มีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าระดับอื่น (ตารางที่ 24-26) เนื่องจากน้ำตาลมีผลเฉพาะกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ผู้ทดสอบจึงใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมิน

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และการยอมรับรวม ร่วมกับผลทางกายภาพได้แก่ ค่าสี water activity ความชื้น bulk density และการดูดกลืนน้ำ จึงสรุปได้ว่า ปริมาณโกโก้ที่เหมาะสมคือ 7% และน้ำตาล 24% ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับแป้งผสมที่มีรำ 50% ของน้ำหนักแป้ง ในผลิตภัณฑ์ 2 สูตร คือสูตรที่ 1 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 25:35:1:8 และสูตรที่ 5 ซึ่งมีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 45:15:5:4 ซึ่งจะนำไปศึกษาอายุการเก็บต่อไป

5.5 วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมเส้นใยจากรำสกัด

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งผสมสูตรที่ 1 และ 5 จะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน ผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 1 ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย เป็น 25:35:1:8 มีโปรตีน 8.04% ไขมัน 0.90% เถ้า 3.20% และเส้นใยอาหาร 9.13% ขณะที่ผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 5 ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย เป็น 45:15:5:4 มีโปรตีน 9.68% ไขมัน 1.40% เถ้า 3.70% และเส้นใยอาหาร 10.80% จากข้อมูลหากนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Ensminger (1993); Holland (1991) เกี่ยวกับองค์ประกอบโดยประมาณของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติในท้องตลาด ซึ่งมีโปรตีน 5-8% ไขมัน 0.6-4% เถ้า 0.3-3.2% และเส้นใยอาหาร 1-4% พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นทั้ง 2 ตัวอย่าง มีเส้นใยอาหารสูงกว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติในท้องตลาดแล้ว ยังพบว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 5 มีโปรตีน และเถ้า สูงกว่าด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 1 มีโปรตีน ไขมัน และเถ้าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด จากข้อมูลอาจสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นทั้ง 2 ตัวอย่าง ให้คุณค่าของโปรตีนและเกลือแร่ทัดเทียมผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด แล้วยังให้คุณค่าของเส้นใยอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อการทำงานของระบบทางเดินอาหารในร่างกายอีกด้วย จึงควรนำไปผลิตเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพสำหรับผู้มีรายได้ทุกระดับสามารถซื้อมาบริโภคได้

ผลการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ ยีสต์ รา พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสูตรที่ 1 เท่ากับ 400 และสูตรที่ 5 เท่ากับ 350 CFU/g ส่วนยีสต์ รา ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสูตรที่ 1 เท่ากับ 35 และสูตรที่ 5 เท่ากับ 32 CFU/g เนื่องจากไม่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอาหารเช้าธัญชาติ จึงเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันคือ ขนมปังกรอบ และบะหมี่สำเร็จรูป ซึ่งกำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์ไม่เกิน 10,000 CFU/g และมียีสต์และราได้ไม่เกิน 10 CFU/g (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2530) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งทั้ง 2 สูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีจำนวนยีสต์ รา สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อยทั้งนี้อาจมีสปอร์ของยีสต์ และราปนเปื้อนในวัตถุดิบ หรืออาจเกิดการปนเปื้อนหลังอบแห้งแล้ว ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้เนื่องจากไม่ได้ทำการผลิตและบรรจุในระบบปิดซึ่งใช้ในระดับอุตสาหกรรม

5.6 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมเส้นใยจากรำสกัด

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติโดยทั่วไป เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี ซึ่งมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Fennema, 1996) ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญได้แก่ ค่า water activity ค่านี้มีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ โดยความกรอบของผลิตภัณฑ์จะลดลง หากค่า water activity สูงกว่า 0.45 (Hui, 1992) และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ด้วย โดยปกติผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติจะมีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้จนกว่าค่า water activity จะสูงขึ้นถึง 0.7 (Fennema, 1996) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับ non-enzymatic browning reaction ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้จะสัมพันธ์กับค่า water activity และจะเกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่า water activity มากกว่า 0.25 โดยหมู่อะมิโนอิสระในโปรตีนทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาล เกิดเป็นสารสีน้ำตาลคือ melanoidin ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะมีสีเข้มขึ้นด้วย เหตุที่ค่า water activity สูงขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากบรรยากาศไว้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเปลี่ยนแปลงไปและทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สั้นลง

ปฏิกิริยา lipid oxidation นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เกิดขึ้นได้โดยมีแสง และ ออกซิเจน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีไขมันประมาณ 1% ก็ตาม หากมีสารที่เกิดจากการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากปฏิกิริยา oxidation เช่น hexanal ในปริมาณเพียง 2-3 ppm ก็อาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสไม่เป็นที่ยอมรับได้ (Fennema, 1996)

จะเห็นว่าอิทธิพลสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คือ แสง ความชื้น และออกซิเจน ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมจะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ควรมีสมบัติป้องกันผลิตภัณฑ์จากอิทธิพลดังกล่าว พบว่า aluminium foil มีความเหมาะสม เนื่องจากกันแสง ป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้น และออกซิเจน

ทนความร้อนดี จนปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ จึงต้อง laminate กับ polyethylene ที่ปิดผนึกด้วยความร้อนได้

แม้ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแล้วก็ตามแต่ในทางปฏิบัติผลิตภัณฑ์ที่ผลิตไม่สามารถถึงมือผู้บริโภคได้ทันที เพราะจะต้องใช้เวลาในการกระจายสินค้า ดังนั้นในช่วงเวลาตั้งแต่ผลิตจนถึงมือผู้บริโภค คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจลดลงได้ หากเลือกบรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสม ที่ไม่สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากผลของวิธีบรรจุเก็บรักษาและเวลาในการเก็บ เพื่อให้ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมของการเก็บผลิตภัณฑ์ โดยยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

จากการเปรียบเทียบค่าสีของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 29-31) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติจำนวน 2 ตัวอย่าง มีค่า L ไม่ต่างกัน ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสูตรที่ 5 ซึ่งมีแป้งถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบมากกว่า จะมีค่า a และ b สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 1 ที่มีแป้งถั่วเหลืองน้อยกว่า เนื่องจากหมู่อะมิโนอิสระในโปรตีนเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning กับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาล แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสูตรที่ 5 จะมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากสีแดงและสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น แต่ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบไม่เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่ผลิตจากแป้งทั้ง 2 สูตร มีลักษณะด้านสีต่างกัน ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสีของโกโก้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มอยู่แล้ว แม้จะเข้มได้อีกบ้างก็สังเกตเห็นได้ไม่ชัดเจน อิทธิพลของอายุการเก็บในช่วง 0-12 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อค่า L, a และ b อาจเป็นเพราะปฏิกิริยา non-enzymatic browning จะเกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่า water activity มากกว่า 0.25 (Fennema, 1996) แต่ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บนาน 12 สัปดาห์ต่ำกว่าค่าดังกล่าว ดังนั้นค่า L , a และ b ของผลิตภัณฑ์จึงไม่เปลี่ยน($p>0.05$)

สูตรแป้งที่ใช้ไม่มีผลต่อค่า water activity ความชื้น และการดูดกลืนน้ำ ($p>0.05$) ซึ่งช่วยยืนยันผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.4 ส่วนเวลาเก็บผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่า water activity ความชื้น ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 33) แต่ไม่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำ ($p>0.05$) (ตารางที่ 31) หากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า water activity และความชื้น พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 สัปดาห์แรกแต่ต่อจากนั้นอัตราการเพิ่มจึงสูงขึ้น (ตารางที่ 33) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้ความดันบรรยากาศ จึงมีความชื้นส่วนหนึ่งอยู่ในบรรจุภัณฑ์ เป็นสาเหตุให้ค่า water activity และความชื้นสูงขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก จากการที่ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าความชื้นต่ำกว่าดูดกลืนความชื้นจากบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์จนถึงภาวะสมดุลต่อจากนั้นอัตราการเปลี่ยนความชื้นช้าลงเพราะ Al foil/PE มีสมบัติป้องกันไอน้ำผ่านเข้าไปได้ดีคือ 0.1 gm-mils/m^2-day (Gray, Harte and Miltz, 1986) (ตารางที่ 33)

อายุการเก็บไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนน้ำ ($p>0.05$) ของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 31) Fennema (1996) รายงานว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งบดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นมีโอกาสดูดกลืนความชื้นจากบรรยากาศมากขึ้น สมบัติการดูดกลืนน้ำของผลิตภัณฑ์จึงลดลง แต่ผลจากการ

ทดลองนี้ไม่เป็นไปตามรายงาน เพราะบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มีสมบัติป้องกันไอน้ำผ่านเข้าออกได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายในจึงดูดกลืนเฉพาะความชื้นซึ่งมีจำกัดจากบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์

สูตรแป้งต่างกันทำให้ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ต่างกัน ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 33) ผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 5 มีค่า TBA สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 1 อาจเป็นเพราะภาวะที่ใช้อบแห้งมีอุณหภูมิสูง ประมาณ 130 $^{\circ}$C ภายใต้ความดันบรรยากาศ ทำให้ไขมันบางส่วนในผลิตภัณฑ์สลายตัว เกิดอนุมูลอิสระ เมื่อบรรจุภายใต้ความดันบรรยากาศ จะยังมีออกซิเจนอย่างจำกัดในบรรจุภัณฑ์ เข้ามาทำให้ปฏิกิริยา lipid oxidation ดำเนินต่อไปจนกว่าจะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่จนหมด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์จากแป้งสูตรที่ 5 ซึ่งมีไขมัน 1.4% มีโอกาสเกิด lipid oxidation สูงกว่าสูตรที่ 1 ที่มีเพียง 0.9% สำหรับเวลาในการเก็บมีผลต่อค่า TBA ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 33) เวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บเข้าสัปดาห์ที่ 6 ($p \leq 0.05$) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเริ่มเก็บ ทั้งนี้เพราะภาวะการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงถึง 130 $^{\circ}$C และผลิตภายใต้ความดันบรรยากาศ ทำให้ไขมันบางส่วนของผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ และเป็นเหตุให้เกิดอนุมูลอิสระแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นๆเช่น สารประกอบ aldehyde เป็นต้น (Fennema, 1996) โดยปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปจนกว่าจะใช้ออกซิเจนจากบรรยากาศที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์จนหมด ปฏิกิริยาจึงยุติ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ก่อนเติมในนมสด โดยประเมินผลด้านสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ แล้วเติมในนมสด ประเมินผลด้านลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 35-37 เหตุที่ต้องประเมินคุณภาพทั้งก่อนและหลังเติมนมสด ทั้งที่น่าจะประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกลักษณะหลังเติมนมสดแล้ว เนื่องจากคุณภาพของกลิ่นจำเป็นต้องดมจากผลิตภัณฑ์โดยตรง เช่นเดียวกันการประเมินคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์จะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าหากไม่มีสีขาวจากน้ำนมรบกวนการประเมิน สำหรับผลการทดสอบพบว่าสูตรแป้งไม่มีผลต่อคะแนนสี กลิ่น ลักษณะปรากฏและกลิ่นรส ($p>0.05$) (ตารางที่ 36) เวลาเก็บไม่มีผลต่อคะแนนสี และลักษณะปรากฏ ($p>0.05$) (ตารางที่ 36) แต่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นและกลิ่นรส ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 36) เมื่อพิจารณาลักษณะด้านสี เหตุที่ทั้งสูตรและเวลาเก็บไม่มีผลต่อคะแนนสีอาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บ 12 สัปดาห์ มีค่า water activity ต่ำกว่า 0.25 ซึ่งเป็นช่วงที่ Maillard reaction ไม่เกิดขึ้น สีของผลิตภัณฑ์จึงไม่เปลี่ยนแปลง

ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในช่วงเวลา 0-12 สัปดาห์ มีลักษณะปรากฏไม่ต่างกัน ($p>0.05$) ลักษณะปรากฏที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ควรจะไม่พองตัวหรืออุ้มน้ำมากจนเละ หรือเป็นแผ่นแต่กลับจมน้ำ ซึ่งการที่ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะดังกล่าวนี้ได้ ระหว่างเก็บต้องไม่ดูดกลืนความชื้นจากบรรยากาศ เพราะจะมีผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมในน้ำจะเป็นแผ่นจมลง จากผลการทดสอบโดยเติมผลิตภัณฑ์ลงในนมแล้ว พบว่าจะมีคะแนนตลอดอายุการเก็บอยู่ในช่วง 7.52-7.68 คือยังมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับ

เมื่อพิจารณากลิ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่าเวลาเก็บเพิ่มขึ้น คุณภาพของกลิ่นลดลง ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บเข้าสัปดาห์ที่ 8 จะมีคุณภาพของกลิ่นลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มต้น (ตารางที่ 37)

อย่างไรก็ตามคุณภาพของกลิ่นในช่วงสัปดาห์ที่ 8-12 ไม่ต่างกัน (p>0.05) (ตารางที่ 37) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากภาวะการอบแห้ง ที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 130 °C และผลิตภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยในช่วงเริ่มต้นไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดอนุมูลอิสระซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นๆ เช่น สารประกอบ aldehydes หากสารนี้มีปริมาณมากจะมีกลิ่นแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ โดยปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปจนกว่าจะใช้ออกซิเจนที่มีอย่างจำกัดจากบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์จนหมด และจากการวิเคราะห์ correlation coefficient ระหว่างคะแนนกลิ่นกับค่า TBA พบว่ามีค่าเท่ากับ -0.90 แสดงว่าทั้ง 2 ค่านี้มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงข้ามซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายที่ให้ไว้ อย่างไรก็ตามคะแนนกลิ่นตลอดอายุการเก็บอยู่ในช่วง 7.46-8.04 (ตารางที่ 37) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับ คือ ยังมีกลิ่นหอมทั้งจากโกโก้และผลิตภัณฑ์

ผลของอายุการเก็บต่อคุณภาพของกลิ่นรส เมื่อเติมผลิตภัณฑ์ในนม ผู้ทดสอบประเมินว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บเข้าสัปดาห์ที่ 10 จะมีคุณภาพของกลิ่นรสลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะที่คุณภาพของกลิ่นจากการทดสอบโดยไม่เติมนมสดจะด้อยลง เมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บเข้าสัปดาห์ที่ 8 ทั้งนี้เพราะกลิ่นหอมจากน้ำนมอาจจะรบกวนการทดสอบ จึงทำให้ผู้ทดสอบประเมินคุณภาพของกลิ่นรสยากกว่าการดมกลิ่นจากผลิตภัณฑ์โดยตรง สำหรับคุณภาพของกลิ่นรสสัปดาห์ที่ 12 จะไม่ต่างจากสัปดาห์ที่ 10 (p>0.05) อาจเนื่องจากออกซิเจนที่เหลือในบรรจุภัณฑ์ทำปฏิกิริยาจนหมด คุณภาพด้านกลิ่นรสจึงไม่เปลี่ยนอีก (ตารางที่ 37) และพบว่า correlation coeffficient ระหว่างคะแนนกลิ่นรสกับค่า TBA เท่ากับ -0.98 แสดงว่าทั้ง 2 ค่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างสูง อย่างไรก็ตามคะแนนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บนาน 12 สัปดาห์อยู่ในช่วง 7.55-7.98 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับ โดยยังมีลักษณะกลิ่นรสปกติของโกโก้และนม

จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมเส้นใยอาหารจากรำสกัด ที่ใช้แป้งสูตรที่ 1 ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเหลือง และแป้งลูกเดือย 25:35:1:8 และสูตรที่ 5 มีอัตราส่วนเป็น 45:15:5:4 บรรจุในถุง Al foil/PE เก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บ 12 สัปดาห์ โดยมีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส เป็นที่ยอมรับ