



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อ
สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อการ
พยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด

Extraction and Utilization of Dietary Fiber and Cellulose from
Coconut Residue for Value Creation of Agricultural By-products and
Mass Transfer Prediction Models during Frying Process

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร

ผู้ร่วมโครงการ นายกฤษณะ ชินสาร

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2557A10802195

สัญญาเลขที่ 47/2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกาก
มะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัว
แบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด

Extraction and Utilization of Dietary Fiber and Cellulose from
Coconut Residue for Value Creation of Agricultural By-products
and Mass Transfer Prediction Models during Frying Process

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร

ผู้ร่วมโครงการ นายกฤษณะ ชินสาร

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์

กรกฎาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 47/2557

คณะผู้วิจัย
กรกฎาคม 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวและการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด ขั้นตอนแรกศึกษาผลของวิธีการเตรียมกากมะพร้าว 3 วิธี ได้แก่ การอบแห้ง การบดเปียก และการล้างน้ำ ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหารและเซลลูโลส พบว่า ใยอาหารที่ได้จากวิธีบดเปียก มีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (51.76 g/100 g sample) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (54.29 g/100 g sample) และค่าการอุ้มน้ำ (3.76 g water/ g dried sample) สูงที่สุด แต่มีค่าความเป็นสีเหลือง (4.97) และค่า a_w (0.37) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) วิธีการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี มีผลต่อค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง pH และค่าการอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับเซลลูโลส พบว่า การเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเซลลูโลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยได้ผลผลิตของเซลลูโลสร้อยละ 95.21 97.27 และ 98.86 สำหรับเซลลูโลสที่เตรียมด้วยวิธีการอบแห้ง การบดเปียก และการล้างน้ำ ตามลำดับ แต่เซลลูโลสทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีการบดเปียก และการล้างน้ำ เซลลูโลสมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด ($p < 0.05$) ขั้นตอนที่สอง ศึกษาผลของใยอาหารและเซลลูโลส (ร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ต่อการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัท พบว่า การเติมใยอาหารมีผลต่อปริมาณความชื้นและการดูดซับน้ำมันของโดนัทในระหว่างการทอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยโดนัทยีสต์ที่เติมใยอาหารที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกปริมาณร้อยละ 3 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด โดยได้รับคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับการใส่เซลลูโลส พบว่า โดนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีการบดเปียก ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงเท่ากับ 38.23 ค่าความแน่นเนื้อและความสามารถในการคืนตัวเท่ากับ 450.30 และ 50.57 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม โดยได้รับคะแนนในระดับชอบเล็กน้อย และสามารถลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์โดนัทยีสต์ได้ร้อยละ 20.94 ขั้นสุดท้าย เป็นการสร้างตัวแบบเพื่อพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสามารถใช้พยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอดได้ดี

ABSTRACT

This research was to study the extraction and utilization of dietary fiber and cellulose from coconut residue and mass transfer prediction models during frying process. First step, the effect of 3 coconut residue preparation methods (drying, grinding and water washing method) on chemical and physical properties of dietary fiber and cellulose was investigated. Results revealed that dietary fiber from grinding method had the highest insoluble dietary fiber content (51.76 g/100 g sample), total dietary fiber content (54.29 g/100 g sample) and water holding capacity (3.76 g water/g dried sample) but lowest b^* value (4.97) and a_w value (0.37) with significant difference ($p < 0.05$). All 3 preparation methods affected in L^* value, a^* value, pH and oil holding capacity with no significant difference ($p \geq 0.05$). For the properties of cellulose, it was found that the 3 preparation methods affected in cellulose yield value with significant difference ($p < 0.05$). Cellulose yield values were 95.21, 97.27 and 98.86% for drying, grinding and water washing method, respectively. There were no significant difference on water retention capacity and fat retention capacity ($p \geq 0.05$). Cellulose from the grinding method and water washing method had the highest L^* value ($p < 0.05$). Second step, the effect of dietary fiber and cellulose (0, 3 and 6% of all ingredients basis) on the reduction of oil uptake in doughnut was studied. Results showed that the dietary fiber adding affected in moisture content and oil uptake in doughnut during frying with no significant difference ($p \geq 0.05$). The liking score in term of appearance, color and overall liking of doughnut which added with 3% dietary fiber from grinding method were closed to those score of control at the level of slightly to moderately like. For cellulose added sample, it was found that doughnut added with 3% cellulose from the grinding method had the high b^* value as 38.23. It also had firmness and springiness value as 450.30 and 50.57, respectively. The overall-liking score of this product was close to the score of control at the level of slightly like. The oil uptake of product could be reduced for 20.94%. Final step, mass transfer prediction models during frying process was developed. The models demonstrated that the Back-propagation Neural Network gave a good prediction for mass transfer during frying process.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญเรื่อง.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
มะพร้าว.....	4
การผลิตเซลลูโลส.....	8
ใยอาหาร.....	9
ทฤษฎีการทอด.....	16
การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น.....	18
ระบบโครงข่ายประสาทเทียม.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
วัตถุประสงค์ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	31
วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
สรุปผลการทดลอง.....	83
ข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	7
2-2	20
3-1	35
4-1	40
4-2	41
4-3	42
4-4	44
4-5	45
4-6	48
4-7	49
4-8	51
4-9	52
4-10	53
4-11	56
4-12	57
4-13	60
4-14	61
4-15	62
4-16	65
4-17	66
4-18	67
4-19	68
4-20	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

4-21	หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	70
4-22	หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	72
4-23	หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	73
4-24	หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	74
4-25	หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	75
4-26	หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	76
4-27	เปรียบเทียบการทำนายปริมาณไขมัน.....	77
4-28	เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำนาย Fat ด้วยเกณฑ์วัดประสิทธิภาพ.....	79
4-29	เปรียบเทียบการทำนาย Moisture.....	80
4-30	เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำนาย Moisture ด้วยเกณฑ์วัดประสิทธิภาพ.....	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส.....	5
2-2 ระบบโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย.....	20
2-3 ตัวอย่างโครงข่ายงานประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	21
2-4 เครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐาน.....	23
3-1 ขั้นตอนการพยากรณ์.....	37
4-1 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	67
4-2 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	68
4-3 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	69
4-4 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	70
4-5 หาค่า C ของ SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat.....	71
4-6 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	72
4-7 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	73
4-8 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	74
4-9 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	75
4-10 หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture.....	76
4-11 การทำนาย Fat ด้วย BPNN.....	78
4-12 การทำนาย Fat ด้วย RBF.....	78
4-13 การทำนาย Fat ด้วย SVM.....	79
4-14 การทำนาย Moisture ด้วย BPNN.....	81
4-15 การทำนาย Moisture ด้วย RBF.....	81
4-16 การทำนาย Moisture ด้วย SVM.....	82

บทที่ 1

บทนำ

ใยอาหารและเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของใยอาหารได้มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งตามปกติแหล่งของใยอาหารมักจะได้จากไม้ ฝ้าย ผัก ผลไม้ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กากมะพร้าวจัดเป็นผลพลอยได้จากการคั้นกะทิหรือสกัดน้ำมันซึ่งมีปริมาณมากและมูลค่าต่ำ โดยมะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่มีการปลูกทั่วไปในประเทศไทย และมีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและในระดับครัวเรือน เช่น การนำมาสกัดน้ำมันมะพร้าว คั้นกะทิ และเป็นส่วนประกอบในอาหารทั้งคาวและหวาน ส่วนของกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิหรือสกัดน้ำมันมีการใช้ประโยชน์อยู่อย่างจำกัดแค่เพียงใช้เป็นปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ แต่จากงานวิจัยของวีโลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย (2545) ที่ได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดจากกากมะพร้าว พบว่า กากมะพร้าวมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ร้อยละ 86.73 โดยน้ำหนักแห้ง ประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 8.26 โดยน้ำหนักแห้ง และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 78.47 โดยน้ำหนักแห้ง จากค่าปริมาณใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการสกัดใยอาหารและแยกเซลลูโลสออกจากวัตถุดิบ เพื่อใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในน้ำผลไม้ ช่วยเพิ่มการพองตัวของขนมขบเคี้ยว และช่วยลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด เป็นต้น (สันทนา อมรไชย, 2539) และจากการสอบถามชาวชุมชนตำบลวันยาว จังหวัดจันทบุรีซึ่งเป็นผู้ให้โจทย์วิจัย พบว่าปริมาณกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิในการทำผลิตภัณฑ์ขนมต่างๆ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ OTOP ของชาวชุมชนมีปริมาณมาก และไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ใดๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำกากมะพร้าวเหล่านี้มาสกัดใยอาหารและเซลลูโลส และนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะ สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุเหลือใช้ของชาวชุมชน ยังจะส่งผลดีต่อสุขภาพผู้บริโภค ทั้งการได้รับประโยชน์จากการบริโภคใยอาหาร และได้บริโภคผลิตภัณฑ์ทอดที่มีการดูดซับน้ำมันต่ำลง

เนื่องจากกระบวนการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อทั้งคุณภาพของอาหารและสุขภาพของผู้บริโภคหากเราสามารถสร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายกระบวนการดังกล่าวได้ จะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับสูง หรือการพัฒนาต่อยอดเป็นระดับอุตสาหกรรม จากการศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น พบว่า มีรายงานการวิจัยหลายฉบับที่ได้สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายกลไกการถ่ายโอนมวลสารของกระบวนการทอด แต่ปัญหาสำคัญที่พบ คือ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนมวลสารของกระบวนการทอดแต่ละกระบวนการมักจะมีหลายๆ ปัจจัยร่วมกัน จึงเป็นการยากในการสร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ซับซ้อนได้ดี อีกทั้ง Empirical model ที่สร้างขึ้น เป็นการสร้างจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดของการนำแบบจำลองเหล่านั้นไปใช้ ที่จะต้องควบคุมสภาวะของการทดลองหรือการผลิตให้เป็นสภาวะเช่นเดียวกับสภาวะที่ได้ทำการสร้างแบบจำลองขึ้น ซึ่งโมเดลเหล่านั้นจะนำไปสู่การต่อยอดในระบบผลิตที่ใหญ่ขึ้นได้ยาก ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยในการสร้างโมเดลเพื่อให้โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถตอบสนองต่อการนำไปใช้งานในระบบอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network หรือ ANN) เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลข้อมูลที่มีแนวคิดพื้นฐานมาจากการพยายามเลียนแบบการทำงานของระบบประสาททางชีววิทยาของมนุษย์ มีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ มีความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวได้ จุดสำคัญของกระบวนการประมวลผลข้อมูลโดยโครงข่ายประสาทเทียม คือ โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายเชื่อมต่อถึงกันอย่างทั่วถึงระหว่างหน่วยประมวลผล ซึ่งเป็นการจำลองแบบโครงสร้างระบบประสาทของมนุษย์ที่มีเซลล์ประสาทเชื่อมต่อถึงกันอย่างทั่วถึงดังกล่าว ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถที่จะเรียนรู้และตอบปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สลับซับซ้อนมากๆ หรือสร้างแบบจำลอง (model) ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดี ดังนั้นจึงได้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น การเรียนรู้รูปแบบ (pattern recognition) การแยกประเภท (classification) การพยากรณ์ (forecasting) หรือการทำ optimization เป็นต้น (พิชญา บุญประสม, 2548; ธัญนันท์ ฤทธิมณี และคณะ, 2549)

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีคุณลักษณะที่สามารถจัดการแก้ปัญหาที่มีความสัมพันธ์ซับซ้อนได้ดีเมื่อเทียบกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นด้วยคุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมในการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีความซับซ้อน โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นเครื่องมือที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้สร้างแบบจำลองสำหรับทำนายการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการทอด อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างแบบจำลองสำหรับกระบวนการทอดยังมีไม่มากนัก การศึกษาวิจัยนี้จึงน่าจะเป็นการช่วยเพิ่มฐานข้อมูลและแนวทางในการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทอดเพื่อเพิ่มศักยภาพของการนำองค์ความรู้จากงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดไขมันและเซลลูโลสจากกากมะพร้าว
2. เพื่อศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดด้วยไขมันและเซลลูโลสจากกากมะพร้าว
3. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารในอาหารระหว่างกระบวนการทอด ด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical Method) และ เทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร (Machine Learning Methods)

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการสกัดไขมันและเซลลูโลสจากกากมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตอาหารและผลิตภัณฑ์ OTOP ในชุมชนตำบลวันยาว จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นผู้ให้โจทย์วิจัย ทำการพัฒนาระบบการผลิตโดยศึกษาขั้นตอนของการสกัดไขมันและเซลลูโลสที่เหมาะสม ทำการทดสอบคุณสมบัติของไขมันและเซลลูโลสที่ผลิตได้ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ศึกษาสมบัติการอุ้มน้ำ และอุ้มน้ำมัน รวมทั้งการทดลองใช้ประโยชน์ด้วยการเติมไขมันและเซลลูโลสลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อใช้เป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่ได้มีคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งมีปริมาณไขมันสูง และการดูดซับน้ำมันน้อยรวมทั้งมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้นด้วย

สำหรับการวิจัยตอนที่ 2 ผู้วิจัยมุ่งที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารในอาหารที่เติมไขมันและเซลลูโลสระหว่างกระบวนการทอด โดยอาศัยระบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบการผลิตในระดับสูง หรือการพัฒนาต่อยอดในระบบการผลิตระดับอุตสาหกรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสมบัติของไขมันและเซลลูโลสที่สกัดได้จากกากมะพร้าว
2. เป็นการเพิ่มไขมันและสามารถลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะพร้าว (โอวาท จุฑานนท์, 2519)

มะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์มชนิดหนึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos mucifera* Linn. เป็นพืชยืนต้นขนาดปานกลางในตระกูลเดียวกับต้นจาก มะพร้าวจะเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่เขตร้อนซึ่งมีลักษณะเป็นดินทรายหรือในบริเวณชายทะเล โดยส่วนลำต้นของมะพร้าวจะมีเปลือกแข็งหุ้มอยู่โดยรอบ ส่วนใบมีลักษณะเป็นทางยาวแยกออกไปจากแกนกลางของใบ ผลอ่อนจะมีสีเขียวและเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ผลมะพร้าวจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีเส้นใยอยู่ภายในและมีเปลือกแข็งห่อหุ้มอยู่ภายนอก มะพร้าวนั้นสามารถที่จะนำส่วนต่างๆมารับประทานได้ทั้งน้ำและเนื้อของผล นอกจากนี้แล้วส่วนของลำต้นอ่อนในบริเวณยอดของลำต้นก็ยังสามารถที่จะนำมารับประทานได้เช่นเดียวกัน (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) ส่วนของมะพร้าวที่มีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมอาหารคือ ส่วนของเมล็ดที่เรียกว่า Seed, Kernal หรือ Meat ซึ่งก็คือส่วนของเนื้อมะพร้าวที่อยู่ใต้กะลา ประกอบด้วย Seed coat ซึ่งอยู่ระหว่างเนื้อมะพร้าวกับกะลา ส่วนนี้จะติดแน่นกับเอนโดสเปิร์ม สำหรับเอนโดสเปิร์มจะมีความหนาประมาณ 4-20 มิลลิเมตร

มะพร้าวเป็นพืชสารพัดประโยชน์ โดยประโยชน์ข้อแรกคือ ด้านอาหาร มนุษย์นำส่วนต่างๆของมะพร้าวมาใช้เป็นอาหารได้มากมาย เช่น เนื้อในผลทั้งอ่อนและแก่นนำมาเป็นอาหารโดยตรงหรือนำไปประกอบเป็นอาหารชนิดต่างๆ อีกมากมาย น้ำในผล (อ่อนและแก่) ก็ใช้ดื่มได้โดยตรง หรือนำไปหมักเป็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่นๆได้อีก (เช่น น้ำส้มสายชู และวุ้นน้ำมะพร้าว) มะพร้าวบางผลมีลักษณะพิเศษคือ ไม่แบ่งเป็นเนื้อและน้ำ แต่จะรวมกันคล้ายๆครีมข้นๆ เรียกว่า “มะพร้าวกะทิ” เป็นที่นิยมนำมากินและมีราคาแพงกว่ามะพร้าวธรรมดา

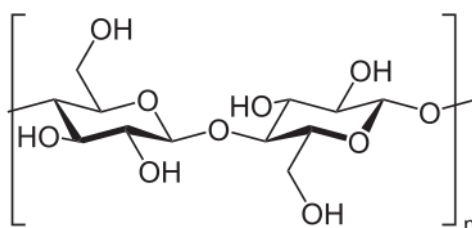
กากมะพร้าวเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันมะพร้าวของโรงงานผลิตน้ำมันพืช มีโปรตีนประมาณ 18-21 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิจะมีโปรตีนต่ำมากแค่ 1-2 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกากมะพร้าว

1. เซลลูโลส (Cellulose) (ลักษณะ อินทร์กลับ, 2543)

เซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช เซลลูโลสแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 3,000 หน่วยต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -D-1,4

linkage ต่างจากโครงสร้างของสตาร์ชที่มีน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -D-1,4 linkage จึงไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยอะไมเลส (amylase) และเซลลูโลสไม่ละลายในน้ำ และในต่าง แต่ละลายในกรดเข้มข้น โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีสายแขน สายยาวเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เมื่อศึกษาเส้นใยเซลลูโลสโดยเอ็กซ์เรย์ (x-ray) พบว่าประกอบด้วยใยอาหารที่หยาบและหนา แต่ละโมเลกุลของใยอาหารเรียงตัวไปทางเดียวกันเชื่อมต่อกับเส้นใยที่เรียงตัวในทิศทางตรงข้ามกันอย่างเป็นระเบียบด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ทำให้พืชมีความแข็งแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของโพลีเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิดผลึกนี้มีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนต่อการถูกแยกสลายด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ และพบโมเลกุลที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบจับกันไม่แน่นหรือส่วนที่ไม่เกิดผลึกสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำเข้ามาในโมเลกุลส่วนที่ไม่เป็นระเบียบส่วนนี้จึงพองออกเมื่อได้รับความร้อน ทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลายการดูดน้ำจึงเพิ่มขึ้น และส่วนที่เป็นผลึกลดลงด้วย ทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสมีลักษณะทั้งแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ จึงโค้งงอได้โดยไม่แตกหัก โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส

ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>

สมบัติของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในต่าง และตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ (Deveries and Reinhold, 1992) เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาที่บเป็นเส้นหยาบ มีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรง ไม่เปราะง่าย แต่มีบางส่วนของโมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จับกันไม่แน่น ส่วนที่เองที่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้จึงเกิดการพองตัว (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2539) ซึ่งความสามารถในการพองตัวทั้งในน้ำและสารละลายจะแตกต่างกันไป โดยเมื่อเรียงลำดับตามความสามารถในการพอง

ตัวของเซลลูโลสในสารละลาย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ได้ดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < กลีเซอ < กรด < ต่าง (Mark, 1985)

การละลายของเซลลูโลส

เซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่าง อ่อน แต่จะละลายในกรดแก่และต่างแก่ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือต่าง ได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

ก. แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %

ข. เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %

ค. แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 % และสารละลายกรดเจือจาง

ความหนืดของเซลลูโลส

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ เซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

การดูดซับความชื้นของเซลลูโลส

เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับหรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศ รอบตัว จนกระทั่งถึงจุดสมมูล โดยสมมูลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่า tensile strength จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ความหนาแน่นของเซลลูโลส

เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าความหนาแน่นที่ไม่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามที่มาหรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

เซลลูโลสผง (powdered cellulose)

เซลลูโลสผงมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส (วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ, 2541) ได้จากการนำเซลลูโลสจากพืช เช่น ไม้หรือฝ้าย มาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และฟอกสี (Robinson, 1981) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 17 ไมครอน ความยาวของเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แต่เซลลูโลสผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมีความยาวเส้นใยในช่วง 22-290 ไมครอน (Ang, 1991)

คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลส

ร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเซลลูโลส ดังนั้นเซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยสลาย และไม่ให้พลังงาน จึงเหลือกากอาหารสำหรับขับถ่าย ทำให้มีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มปริมาณกากในอุจจาระ ทำให้ขับถ่ายสะดวก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Prosky, 1995) คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผงแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผง

Component	Typical Value
Calories (Kcal/g)	0
Total dietary fiber (%db)	>99
Total fat (%)	0
Cholesterol (%)	0
Protein (%)	0
Ash (% , 800 °C)	0.1
Moisture (%)	3-5
Sodium (ppm)	500-700
Calcium (ppm)	100
Iron (ppm)	100

ที่มา : Ang (2001)

การสกัดเซลลูโลส

เซลลูโลสทางการค้ามักผลิตจากไม้และฝ้าย วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกสกัดโดยใช้กรดหรือด่าง ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นนำกากที่ได้มาฟอกสี และล้างน้ำหลายๆ ครั้ง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Ang, 2001) ซึ่งกรดและด่างที่ใช้ คือ สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ช่วยทำลายลิกนินและส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป โดยเซลลูโลสยังอยู่เหมือนเดิม (Wallis, 1971)

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซกคาไรด์ โมโนเมอร์ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือ น้ำตาลไซโลส และอะราบิโนส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย

(Prosky and Devries, 1992) เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายต่าง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

3. ลิกนิน (Lignin)

ซึ่งประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของออกซิเจนเตเตเพนนิลโพรเพน (oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 สันเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และไซนาพิล (sinapyl) ลิกนินไม่ละลายทั้งในกรด และด่างแก่ และไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ (Anderson and Chen, 1979; Heaton, 1983; Lanza and Butrum, 1986; Schneeman, 1986; Slavin, 1987) ลิกนินพบมากในพืชที่ค่อนข้างแก่ ผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ โดยเฉพาะผลไม้ที่บริโภคได้ทั้งเมล็ด เช่น สตอเบอร์รี่ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดี (bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหาร บางชนิดในลำไส้เล็ก (ไฟโรจีน หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธรรักษ์, 2538; ปทุม พุทธิวินิช และพิมพ์ภรณ์ ไตรณรงค์สกุล, 2540; Prosky and DeVries, 1992)

4. สารอนินทรีย์ (Inorganic constituents) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์มักอยู่ในรูปของเถ้า (ash) และซิลิกา (silica) เป็นต้น

5. แวกซ์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

แวกซ์พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืชโดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติพบในปริมาณน้อย

การผลิตเซลลูโลส (มนตรี รัตนวิจิตร, 2537)

การผลิตเซลลูโลสมักจะคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของเซลลูโลส ได้แก่ ความเหนียวและความขาวเป็นหลัก แต่การผลิตเยื่อเซลลูโลสเพื่อทำอนุพันธ์นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นประการสำคัญก็คือ ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส ซึ่งจะพิจารณาจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเป็นสำคัญ ดังนั้นเพื่อให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูง การเตรียมเซลลูโลสจึงต้องผ่านขั้นตอนที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. การกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลลูโลส

กรรมวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากวัตถุดิบประเภทพืชไร่ วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมหรือแม้กระทั่งไม้ยืนต้น เพื่อให้ได้เยื่อที่มีความบริสุทธิ์สูง เหมาะแก่การนำไปใช้เตรียมเป็นอนุพันธ์ต่อไปนั้น มักใช้วิธีแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) กรรมวิธีพรีไฮโดรไลซิส (Prehydrolysis)

กระบวนการนี้ทำโดยนำวัตถุดิบต้มกับน้ำ หรืออาจเติมสารละลายกรดเจือจาง (กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก) ลงไปด้วยเล็กน้อยก็ได้ โดยกรดดังกล่าวจะไปไฮโดรไลซ์โมเลกุลเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและละลายไปกับน้ำ จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และคณะ (2521) รายงานว่า ปริมาณของกรดที่เติมจะน้อยลงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น ที่ 105 องศาเซลเซียส ใช้กรดความเข้มข้นร้อยละ 1.20 แต่ที่ 130 องศาเซลเซียส ใช้กรดเพียงความเข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยกรดที่เติมลงไปจะไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นสารประเภทน้ำตาล และ uronic acid

2) กรรมวิธีคราฟท์ (Kraft) หรือกรรมวิธีโซดา (Soda process)

กระบวนการนี้จะนำเยื่อมาต้มกับสารละลายด่าง (alkali boiling) ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงเหมาะแก่การใช้ทำอนุพันธ์ต่อไปได้ดีมาก เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใน Kraft process จะมีการเติมสารอื่นๆ เช่น โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมซัลไฟด์ ลงไปด้วย การต้มเซลลูโลสในขั้นนี้จะสิ้นเปลืองสารเคมีน้อยลง เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตตัวอื่นๆ ถูกกำจัดออกไปมากแล้วในขั้น prehydrolysis นอกจากนี้เซลลูโลสที่ได้ยังมีแอลฟา-เซลลูโลสในปริมาณสูง และมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาดี จึงเหมาะแก่การเตรียมเป็นอนุพันธ์ต่อไป

ใยอาหาร

ความหมายของเส้นใยอาหาร (ผกาวัต นารอง, 2543)

เส้นใยอาหาร หรือศัพท์ภาษาอังกฤษเรียกว่า “ไดเอทารีไฟเบอร์” (Dietary Fiber) หมายถึง ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืชที่ไม่ใช่อาหารและไม่สามารถถูกย่อยสลายต่อไปได้อีกภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ (enzyme) หรือน้ำย่อยที่สามารถย่อยสลายเส้นใยอาหารเหล่านี้ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน หรือที่เรียกว่า “สารโพลีแซคคาไรด์” (Polysaccharide) ได้ จึงทำให้เส้นใยเหล่านี้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อยมากหรือแทบไม่ได้เลย และเหลืออยู่ในระบบทางเดินอาหารพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา

ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายเป็น 2 ประเภท คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ (water soluble) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (water insoluble)

1. โยอาหารที่ละลายน้ำ

โยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ โยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ โยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ โยอาหารชนิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่น ทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545) ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534)

2. โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่าย จะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534)

สมบัติของโยอาหารที่สำคัญ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ คือ ความสามารถของโยอาหารที่จะตรึงน้ำไว้ภายในโครงสร้างของมันในภาวะใดภาวะหนึ่ง สามารถหาค่าเป็นตัวเลขได้โดยคิดจากปริมาณน้ำที่ถูกตรึงไว้ภายในโครงสร้างของมัน คิดเป็นมิลลิลิตรต่อหนึ่งหน่วยของน้ำหนักแห้งจากการศึกษา พบว่าโยอาหารที่มีเพคตินและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถดูดซึมน้ำเข้าเซลล์ได้มากจนเกิดลักษณะเป็นวุ้นในขณะที่โยอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะไม่สามารถเกิดลักษณะเช่นนี้ จึงทำให้มีการประยุกต์ไปใช้ในอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก เพื่อให้อาหารที่รับประทานไปขยายตัวเพิ่มปริมาตร (Bulking volume) ในกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มนานกว่าปกติ ซึ่งเป็นการลดทั้งปริมาณอาหารที่รับประทานและพลังงานที่ร่างกายจะได้รับ นอกจากนี้การอุ้มน้ำได้ดีของโยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารอันจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้กากอาหารนุ่ม มีปริมาตรมาก ถ่ายสะดวก โยอาหารที่ให้ประโยชน์ในลักษณะเช่นนี้มักเป็นพวกที่หยาบและละลายน้ำไม่ได้ เช่น รำข้าวสาลี (wheat bran) รำข้าวหยาบ เป็นต้น สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของโยอาหารนี้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดโยอาหาร ปริมาณอิเล็กโทรไลต์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายนั้นๆ

2. ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คอเลสเตอรอล ยา สารก่อมะเร็ง และ สารพิษต่างๆ จากโครงสร้างของใยอาหารที่เป็นที่ยึดเกาะของสารอินทรีย์เหล่านี้ ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกาย โดยเมื่อภายหลังจากที่ใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้ สารอินทรีย์ที่เกาะกับใยอาหารก็จะขับออกจากร่างกายด้วยพร้อมๆ กัน ทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลง เช่น ลดระดับของคอเลสเตอรอลและซีรัมที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อการยึดเกาะของสารเหล่านี้ เช่น ลิกนิน เพคติน และโพลีแซคคาไรด์ ที่มีความเป็นกรดจะสามารถดูดซึมกรดน้ำดีได้ดี ส่วนเซลลูโลสสามารถยึดเกาะสารเคมี 1, 2 ไดมethylไฮโดรราซินที่เป็นสารก่อมะเร็งได้ดีกว่าเพคติน จากผลการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่นๆ ที่มากับอาหารพวกสารพิษและอนุมูลอิสระต่างๆ ทำให้ใยอาหารสามารถดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกจากอาหารรวมทั้งการที่ใยอาหารสามารถลดความหนืดของกากอาหารในลำไส้ด้วย จึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้จะสัมผัสกับผนังลำไส้ได้

3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ใยอาหารประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอกซีอิสระ ทำให้โมเลกุลมีความเป็นกรด เช่น เพคติน ลิกนิน จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับเกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ต่างๆ ดังนั้นเมื่อใยอาหารขับออกจากร่างกาย จึงให้เกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ที่เกาะกับโครงสร้างใยอาหารมากเกินไป มันก็อาจไปจับกับเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญของกระดูก เหล็ก และสังกะสี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกายได้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอนหรือมีข้อมูลจากการวิจัยที่สนับสนุนในเรื่องของผลเสียที่มีต่อร่างกายหากมีการบริโภคใยอาหารในปริมาณที่มากเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลเสียที่มีต่อการดูดซึมและการนำไปใช้ของเกลือแร่ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งอาจจะทำให้เป็นการลดการนำเกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ไปใช้ ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถนี้ได้แก่สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟีนอลสารที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard) และวิธีการเตรียมใยอาหาร เป็นต้น

4. ความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

สมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของใยอาหาร คือ ความสามารถในการเป็นสารตั้งต้นหรือเป็นสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ การย่อยสลายนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีแซคคาไรด์ โดยที่ความสามารถในการอุ้มน้ำและโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ มีผลต่ออัตราการย่อยสลาย เช่น เพคติน มิวซีเลจส์ และกัม สามารถย่อยได้ดีในขณะที่เซลลูโลสสามารถย่อยได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ผลที่ได้จากการย่อยสลาย คือ กรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายนี้จะทำให้สภาพ

ความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ใหญ่เปลี่ยนไป โดยจะมีความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ การทำงานของระบบลำไส้ที่ปกติ เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์นั่นเอง ดังนั้นในอาหารที่รับประทานจึงควรพิจารณาถึงชนิดและองค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหารนั้นๆ เช่น ผักกาดขาวและกะหล่ำปลีสามารถย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 90 ในขณะที่ข้าวสาลีจะไม่ย่อยสลายและองค์ประกอบที่เป็นเอมิเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะย่อยสลายได้มากกว่าเซลลูโลส

แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถพบในอาหารจากพืชเท่านั้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้

1. ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2. พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

3. ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกันจะมีปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกันแล้ว ยังพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นกับส่วนต่างๆ ของผัก พันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูป

4. ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้มักจะมีปริมาณน้ำและน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ได้โดยใช้กระบวนการกำจัดน้ำ ส่วนต่างๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แขน เมล็ด ฯลฯ เป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ (ปารีชาติ สักกะทานุ, 2540)

ประโยชน์ของใยอาหาร

1. ประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักตัว

ใยอาหารจากพืชที่มีเพคติน เฮมิเซลลูโลส และกลูโคแมนแนน เป็นองค์ประกอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้มาก ดังนั้นผู้รับประทานอาหารที่มีใยอาหารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบอาหารจะขยายตัวและเพิ่มปริมาตรในกระเพาะอาหาร จึงทำให้เกิดความรู้สึกว่าอิ่มนานกว่าปกติ ทั้งๆ ที่ปริมาณที่เข้าไปไม่ได้เพิ่มมากกว่าที่เคยรับประทาน

2. ประโยชน์ในการเสริมสร้างระบบการทำงานของลำไส้ในร่างกายมนุษย์

การรับประทานอาหารที่มีกากใยจำนวนมาก จะเป็นการช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารในลำไส้ ส่งผลให้ไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ให้ทำงานมากขึ้น ทำให้ความดันในลำไส้ลดลง หลอดเลือดดำที่ผนังลำไส้ไม่โป่งพอง ช่วยป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวารได้ นอกจากนี้

ยังทำให้กากอาหารที่ผ่านการย่อยมีความนุ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบการดูดซึม การขับถ่าย ตลอดจนการป้องกันและรักษาอาการโรคท้องผูกได้

3. ประโยชน์ทางด้านการแพทย์

เนื่องจากเส้นใยอาหารมีโครงสร้างที่คล้ายกับฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย ดังนั้นจึงสามารถยึดจับกับสารอาหารและน้ำได้ดี ดังนั้นจึงช่วยยับยั้ง ดูดซึม และต้านการเกิดพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหารได้ นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดโรคหลายชนิด และป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ โรคเบาหวาน ตลอดจนป้องกันการเกิดภาวะก้อนนิ่วในระบบทางเดินอาหารได้ เป็นต้น

4. เส้นใยอาหารต่อระบบเมแทบอลิซึมของร่างกาย (ปีนมณี ขวัญเมือง, 2547)

นอกเหนือจากประโยชน์ของเส้นใยอาหารในการช่วยทำให้ระบบขับถ่ายสะดวกขึ้นและช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้แล้ว ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ความสำคัญต่อระบบเมแทบอลิซึมของสารอาหารในร่างกาย ได้แก่ ระบบเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน กลีโกลิและวิตามิน

- ระบบเมแทบอลิซึมของไขมัน

มีการศึกษาโดย Gore และคณะ (1994) อ้างถึงใน ปีนมณี ขวัญเมือง (2547) รายงานว่า เส้นใยที่ละลายน้ำมีศักยภาพต่อการลดระดับของคอเลสเตอรอลทั้งหมดและลด low density lipoprotein cholesterol ในเลือดการดูดซึมกรดเกลือของเส้นใยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของคอเลสเตอรอล ทำให้เกิดการสูญเสียคอเลสเตอรอลออกจากร่างกายโดยขั้นแรกเพิ่มการขับกรดเกลือทำให้การสังเคราะห์กรดเกลือจากคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น จากนั้นกรดเกลือที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในลำไส้จะเกิดเป็นไมเซลล์ ซึ่งไมเซลล์จะไปยับยั้งการดูดซึมไขมันและคอเลสเตอรอล นอกจากนี้เส้นใยจากข้าวบาร์เลย์ และซูการ์บีท จะสามารถเพิ่มปริมาณของอุจจาระได้ ทำให้กรดเกลือในลำไส้เจือจางลง นอกจากนี้แบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้จะย่อยเส้นใยอาหารเป็น short chain fatty acid (SCFA) ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้

- ระบบเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

ในส่วนของเส้นใยที่ละลายน้ำและอาหารเส้นใยที่มีความหนืดสูง มีศักยภาพในการดูดซึมกลูโคสและคอเลสเตอรอล จึงช่วยลดระดับของคอเลสเตอรอลหลังอาหารได้ดี

- คุณสมบัติของเส้นใยอาหารต่อการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของแร่ธาตุ

ในอาหารเมื่อผ่านการย่อยจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย การดูดซึมแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน และการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุ

บางประการขึ้นอยู่กับเส้นใยอาหาร โดยมีการศึกษาที่ค้นพบว่าเส้นใยมีผลต่อการยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็กและสังกะสี เนื่องจากว่าในเส้นใยมีองค์ประกอบของไฟเทต (phytate) อยู่ด้วย ดังนั้นแนวทางแก้ปัญหาส่วนนี้ทำได้โดยการกำจัดไฟเทตออกจากเส้นใยในระหว่างกระบวนการแปรรูป ซึ่งจะช่วยให้ร่างกายมีการดูดซึมธาตุเหล็กสังกะสีและแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

- คุณสมบัติของเส้นใยต่อการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของวิตามิน

อาหารส่วนใหญ่ที่บริโภคมักจะช่วยให้มีการดูดซึมวิตามินได้ดี เช่น อาหารประเภทไขมัน ช่วยวิตามินเอ ดี อี เค เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้มากขึ้น วิตามินบางชนิดช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และช่วยขับน้ำดีออกมาช่วยในระบบการย่อยอาหาร แต่อาหารบางชนิดมีองค์ประกอบที่ขัดขวางการใช้ประโยชน์ของวิตามิน เช่น proteinase inhibitors ที่พบในผักและผลไม้สดบางชนิด มีผลต่อการดูดซึมวิตามิน โดยทำหน้าที่เป็นตัวลดการดูดซึมกรดเกลือแบบ reabsorption อาหารที่มีเส้นใยบางชนิดอาจยับยั้งหรือทำลายวิตามินดีและทำให้ร่างกายเกิดภาวะวิตามินดีต่ำได้ซึ่งพบได้ในอาหารมังสวิรัต

การใช้ใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในทางกฎหมายเซลลูโลสผงได้รับอนุญาตจากองค์การร่วมทางเศรษฐกิจแห่งยุโรป (EEC) ให้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 และได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ใช้เป็นสารเติมแต่งได้ในอาหารบางชนิด ในทวีปยุโรปและอเมริกาได้มีการนำเซลลูโลสผงมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ และในผลิตภัณฑ์เค้ก คุกกี้ เนยเทียม พาสต้า และซูปต่างๆ (วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ, 2541)

ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของใยอาหารที่มีต่อสุขภาพมากขึ้น Vetter (1984) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ทำโดยการเติมเซลลูโลสผงหรือธัญพืชและสามารถทำได้ในอาหารจำพวกขนมอบ อาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมขบเคี้ยว การเพิ่มใยอาหารในปริมาณมากจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง อาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ Pomeranz (1977) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ระดับมากกว่าร้อยละ 7 จะมีผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนของกลูเตนมีปริมาณน้อยลง ดังนั้น ในการเลือกชนิดของใยอาหารจึงควรเลือกชนิดที่มีปริมาณ Total Dietary Fiber (TDF) สูงๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณใยอาหารในระดับที่ต้องการ โดยมีการเติมสารที่ให้ใยอาหารลงไป ปริมาณน้อยที่สุด

ด้วยเหตุนี้เซลลูโลสผงจึงเป็นสารที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณ TDF สูงมาก การเติมเซลลูโลสลงในขนมอบไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณใยอาหาร ยังลดปริมาณแคลอรีลงด้วย (Bry and Zabik, 1976)

1. การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการทดลองเติมใยอาหารจากแหล่งต่างๆ เพื่อศึกษาผลของใยอาหารต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (วิภา สุโรจนะเมธกุลและคณะ, 2542) Mcconnell et al. (1974) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้น จะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต (yield) ให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บเพราะว่าเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ผลิตภัณฑ์ขนมอบต้อง

2. การใช้เซลลูโลสเพื่อเพิ่มปริมาตรเค้ก

เซลลูโลสผงทำให้ส่วนผสมเหลวของแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น เพราะเซลลูโลสมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ส่วนผสมมีปริมาณของแข็งต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียดทานภายในของเหลว สาเหตุที่ทำให้เกิดโครงสร้างเก็บกักก๊าซที่แข็งแรงขึ้น เนื่องจากผนังฟองอากาศมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้ฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของส่วนผสมเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีฟองละเอียด มีปริมาตรและความคงตัวมากขึ้น Ang and Miller (1989) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงมากกว่าร้อยละ 4 ของส่วนผสมเหลวเซลลูโลสผงจะไปขัดขวางการเกิดฟองอากาศมากกว่าจะทำให้ฟองอากาศเสถียร

3. การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้ก

Ang and Miller (1989) ได้ทดลองเติมผงเซลลูโลสลงในเค้ก เพื่อศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron) พบว่าเค้กที่เติมเซลลูโลสในระดับที่ต่ำกว่าจะมีเนื้อแข็งกว่า เนื่องจากเซลลูโลสมีขนาดเส้นใยยาวจะทำให้เค้กมีเนื้อนุ่ม และพบว่าการเติมเซลลูโลสผง ที่ระดับร้อยละ 2-4 จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเค้กให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ลักษณะปรากฏของเค้กและความสูญเสียจากการแตกของเค้ก เค้กที่เติมเซลลูโลสผงจะมีความชื้นสูงกว่า เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและสามารถเก็บได้นานโดยไม่แห้งแข็ง

4. การใช้เซลลูโลสผงเป็น noncaloric bulking agent

จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ และคณะ (2544) กล่าวว่า เซลลูโลสผงถูกนำไปใช้เป็น bulking agent ในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ เครื่องดื่ม น้ำสลัด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญชาติชนิดต่างๆ เพราะเซลลูโลสผงไม่ให้พลังงานและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี จึงสามารถใช้เป็น bulking agent ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบไขมันต่ำได้ โดยที่ไม่ทำให้คุณสมบัติผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

5. การใช้เซลลูโลสผงในอาหารทอด

เซลลูโลสผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอดลดลง ปริมาณน้ำมันที่เข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจึงลดลงด้วย

ทฤษฎีการทอด

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆถึง 100 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันร้อนและอาหารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อคาปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากคาปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีทำแห้งด้วยลมร้อน

กลไกการดูดซับน้ำมัน (Mellema, 2003)

ในระหว่างการทอด น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ไปที่เปลือกนอก (crust) ของอาหารและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ทำให้เกิดช่องว่างซึ่งน้ำมันสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ ดังนั้นการดูดซับน้ำมันของอาหารส่วนมากจึงพิจารณาจากปริมาณความชื้นในอาหาร (Lamberg, Hallstrom, & Olesson, 1990; Saguy & Pinthus, 1995) และเพราะว่าน้ำมันจะซึมผ่านอาหารได้ในบริเวณที่มีการระเหยของน้ำนั่นคือที่เปลือกนอก การเกิดเปลือกนอกจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมัน (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1995) ในขณะเดียวกันเราสามารถศึกษาการดูดซับน้ำมันโดยทางอ้อมจากค่าความเป็นรูพรุน (porosity) ซึ่งระหว่างการทอด การดูดซับน้ำมันจะแปรผันตรงกับค่าการเป็นรูพรุนและปริมาณความชื้นในอาหาร (moreira, Sun, and Chen, 1997) นอกจากนี้การดูดซับน้ำมันยังเกิดได้ที่บริเวณผิวหน้า (surface) ของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด หากน้ำมันนั้นมีปริมาณไขมันที่เป็นของแข็ง (solid fat) มากจะ

ทำให้กำจัดออกจากผิวอาหารได้ยาก จากที่กล่าวมาอาจสรุปได้ว่าการดูดซับน้ำมันของอาหารเกิดได้ 2 ส่วนคือที่บริเวณผิวเปลือกนอก และที่ผิวหน้าอาหาร

การลดการดูดซับน้ำมัน

เทคนิคการทอด

เนื่องจากการดูดซับไขมันส่วนใหญ่ของอาหารทอดเกิดขึ้นหลังจากการนำอาหารขึ้นจากน้ำมันที่ใช้ทอด การควบคุมสภาวะหลังจากการทอดจึงมีความสำคัญ การทอดอาหารในอุณหภูมิการทอดที่เหมาะสม พฤติกรรมของผู้บริโภคโดยทั่วไปที่มีการเขย่าและซับน้ำมันส่วนเกินที่ผิวอาหารออกไปหลังจากที่นำอาหารขึ้นจากน้ำมัน ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของอาหารหลังการทอด

ตัวกลางที่ใช้ในการทอด

ถึงแม้ว่าชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการทอดจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการดูดซับน้ำมันจากกลไกการควบแน่น และการเกิดเปลือกนอก แต่คุณสมบัติของตัวกลาง (เช่น ความหนืด) ที่ใช้ในการทอดก็มีผลต่อกลไกการเกิดแรงดันแบบคาปิลารี และมีผลต่อคุณภาพของอาหารทอด เช่น เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ

การเคลือบ (coating and batters)

สารที่ใช้เคลือบอาหารจะทำให้อาหารมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ มีปริมาณความชื้นต่ำ มีการเคลื่อนที่ของความชื้นต่ำ สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง (thermogelling) หรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinks) ซึ่งล้วนเป็นคุณสมบัติหลักในการลดการดูดซับน้ำมันโดยการลดการสูญเสียความชื้นและ/หรือการปรับปรุงโครงสร้างที่ผิวหน้าในระหว่างการทอด ทำให้สารเคลือบที่เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่นิยมใช้ในทางการค้าคือสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากอาหารในระหว่างการทอด จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ สารเคลือบบางชนิดทำให้เกิดความแข็งแรง (firm) โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง และยังทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่ จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการเกิดแรงดันคาปิลารีได้ ส่วนการเคลือบแบบหนา (thick coating or batter) สามารถทำได้ง่ายและลดปัญหาการเกิดรูรั่วที่มักพบในการเคลือบแบบบาง (thin coatings)

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression)

เมื่อมีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการถดถอยเชิงซ้อน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1, X_2, \dots, X_k ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$$

โดยที่ β_0 = ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงซ้อน (Partial Regression Coefficient) โดยที่ค่า β_i เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปรอิสระ X ตัวอื่น ๆ มีค่าคงที่

จากสมการความถดถอยเชิงซ้อน ซึ่งมีพารามิเตอร์ $k+1$ ตัวคือ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ จะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของตัวแปร Y, X_1, X_2, \dots, X_k โดยใช้ตัวอย่างขนาด n จากสมการความถดถอยเชิงซ้อน และ จะสามารถประมาณค่า Y จากสมการ

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki}$$

หรือ
$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}$$

โดยที่
$$\hat{\beta}_0 = a, \hat{\beta}_1 = b_1, \hat{\beta}_2 = b_2, \dots, \hat{\beta}_k = b_k$$

ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า Y_i และ \hat{Y}_i คือ $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$ ซึ่งค่าเป้าหมายของการประมาณค่า คือ $\min(\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2)$

ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks)

หลายกิจกรรมในชีวิตประจำวันของเราเกี่ยวข้องกับงานปัญญาประดิษฐ์ หรือการรู้จำ ซึ่งปัญหาการรู้จำเป็นปัญหาที่มีความยากและมีความซับซ้อนมากถ้าจะพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติในเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ในทางตรงกันข้ามงานดังกล่าวนี้กลับสามารถดำเนินการได้โดยง่ายโดยมนุษย์ กล่าวคือ มนุษย์สามารถรู้จำหรือแยกแยะวัตถุต่างๆ ได้อย่างมากมาย ทั้งที่วัตถุดังกล่าวนั้นกำลังอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีความหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น นายขาวจะมีความสามารถในการจำเสียงของนายดำ และไม่ว่าในคำจะโทรศัพท์มาคุยกับนายขาวจากสภาพแวดล้อมใดๆ ก็ตาม นายขาวยังคงจำเสียงนายดำได้เสมอ เป็นต้น ดังนั้น จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญที่เราต้องพัฒนาระบบการคำนวณ (Computing system) ที่สามารถเข้าใจและเลียนแบบการทำงานของมนุษย์ระบบดังกล่าวนี้ เราเรียกว่าระบบโครงข่ายประสาท (Neural Networks)

ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) หรือ บางครั้งอาจสั้นๆ เรียกว่า ระบบโครงข่ายประสาท (Neural Networks) ก็ได้ เกิดมาจากแรงบันดาลใจเกี่ยวกับความต้องการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างระบบคอมพิวเตอร์แบบใหม่ที่มีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งแตกต่างจากระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ที่ต้องทำงานตามชุดคำสั่งที่มนุษย์เขียนสั่งไว้ล่วงหน้า (Software/Program) เท่านั้น และ ก็เป็นที่ทราบทั่วไปว่าการประมวลผลของสมองมนุษย์เรานั้น มีความซับซ้อน มีความไม่เป็นเชิงเส้น และ เป็นแบบขนานอย่างมาก นอกจากนี้ สมองมนุษย์เรานั้นยังมีความสามารถทางการคำนวณ (เช่น การรู้จำ การรับรู้ และการควบคุมเครื่องจักร) ได้อย่างรวดเร็วกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เราใช้ในปัจจุบันเราเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งถือว่าเป็นการประมวลผลสารสนเทศแบบหนึ่ง ในระบบการมองเห็นของมนุษย์เรานั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนการแทนข้อมูลสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ได้รับ (Data Representation) และ รวมไปถึงความสามารถในการติดต่อกับสภาพแวดล้อมต่างๆ เหล่านั้นด้วย กล่าวคือ ทันทีที่เรามองเห็น เราจะสามารถแทนข้อมูลที่มองเห็นได้แทบจะทันที และหลังจากนั้นเราจะยังสามารถจะรู้จำสภาพแวดล้อมต่างๆ นั้นได้ (การรู้จำ หมายถึง ความสามารถในการจดจำ และ บรรยายสิ่งต่างๆ ที่มองเห็นให้กับผู้อื่นได้ทราบ) กล่าวกันว่า สมองมนุษย์เรานั้น มี

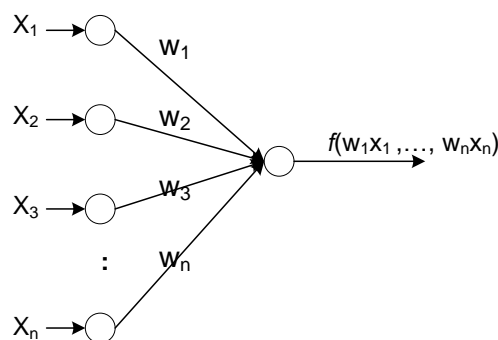
ความสามารถในการรู้จำสิ่งต่างๆ ที่มองเห็นภายในเวลาประมาณ 100 - 200 มิลลิวินาที ซึ่งไม่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ใดสามารถทำได้

แบบจำลองอย่างง่ายของระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะมีความคล้ายกับโครงสร้างทางชีววิทยาทางสมองของมนุษย์อย่างมาก ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 1 โดยมีข้อกำหนดเบื้องต้น ดังนี้

1. ตำแหน่งของค่าน้ำหนักบนโครงข่ายไม่มีความสัมพันธ์กัน
2. ค่าตอบของแต่ละโหนดจะมีเพียงค่าเดียว ซึ่งจะกระจายไปยังโหนดต่างๆ ที่มีการเชื่อมโยงถึง โดยตำแหน่งของการเชื่อมก็ไม่มีความสัมพันธ์กัน
3. ข้อมูลที่เข้ามายังแต่ละโหนดในเวลาเดียวกันนั้นจะต้องคงสถานะเดิมไปจนกว่าการคำนวณของฟังก์ชัน $f(w_1x_1, \dots, w_nx_n)$ จะเสร็จสิ้นลง

ตารางที่ 2-2 คำศัพท์เฉพาะเพื่อเทียบเคียง (ที่มา : K. Mehrotra et al., Element of Artificial Neural Network)

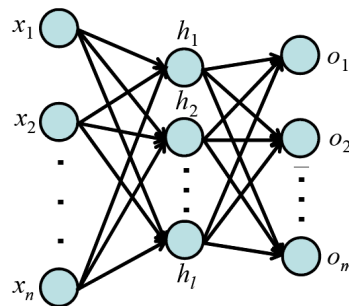
คำศัพท์เฉพาะชีววิทยาทางสมองของมนุษย์	คำศัพท์เฉพาะของโครงข่ายประสาทเทียม
Neuron	Node/Unit/Cell/Neurode
Synapse	Connection/Edge/Link
Synaptic Efficiency	Connection Strength/Weight
Firing Frequency	Node Output



ภาพที่ 2-2 ระบบโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย

ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบวิธีการแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation Algorithm)

ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายย้อนกลับ เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multilayer neural network) เพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณารูปต่อไปนี้ประกอบ



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างโครงข่ายงานประสาทเทียมแบบหลายชั้น

ตัวอย่างในรูปด้านบนแสดงข่ายงานป้อนไปหน้าแบบหลายชั้นซึ่งประกอบไปด้วยชั้นอินพุต ชั้นฮิดเดนหรือชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต ในรูปแสดงชั้นฮิดเดนเพียงชั้นเดียวแต่อาจมีมากกว่าหนึ่งชั้นก็ได้ เส้นเชื่อมจะเชื่อมต่อเป็นชั้น ๆ ไม่ข้ามชั้นจากชั้นอินพุตไปชั้นฮิดเดน ถ้ามีชั้นฮิดเดนมากกว่าหนึ่งชั้นก็เชื่อมต่อกันไป และสุดท้ายจากชั้นฮิดเดนไปชั้นเอาต์พุต

ในการปรับค่าน้ำหนักโดยขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายย้อนกลับนั้น เราต้องนิยามค่าผิดพลาดการสอนสำหรับข่ายงาน $E(\vec{w})$ จากนั้นจะหาค่าน้ำหนักที่ให้ค่าผิดพลาดต่ำสุด นิยามค่าผิดพลาดดังนี้

$$E(\vec{w}) = \frac{1}{2} \sum_{d \in D} \sum_{k \in \text{outputs}} (t_{kd} - o_{kd})^2$$

โดยที่ *Outputs* คือเซตของเอาต์พุตโหนดในข่ายงานประสาทเทียม t_{kd} และ o_{kd} เป็นค่าเอาต์พุตเป้าหมายและเอาต์พุตที่ได้จากข่ายงานประสาทเทียมตามลำดับของเอาต์พุตโหนดที่ k ของตัวอย่างที่ d ขั้นตอนการแพร่กระจายย้อนกลับจะค้นหาค่าน้ำหนักที่ให้ค่าผิดพลาดต่ำสุด

ขั้นตอนของ Back-propagation Algorithm มีดังนี้

1. กำหนดค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (Learning rate parameter: r)

2. สำหรับแต่ละตัวอย่างอินพุตให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จะดีกว่าได้ระดับ performance ที่ต้องการ

- คำนวณหาค่าเอาต์พุตโดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้นซึ่งอาจได้จากการสุ่ม
- คำนวณหาค่า β ซึ่งแทนประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตของแต่ละ

โหนด

- ในชั้นเอาต์พุต

$$\beta_z = t_z - o_z$$

เมื่อ $t_z =$ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

$o_z =$ ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้

- ในชั้นฮิดเดน

$$\beta_j = \sum_k w_{jk} o_k (1 - o_k) \beta_k$$

เมื่อ $w_{jk} =$ น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นที่ j กับ k

- คำนวณค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับในทุกน้ำหนัก ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta w_{ij} = r o_i o_j (1 - o_j) \beta_j$$

- เพิ่มค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างอินพุตทั้งหมด และเปลี่ยนค่า

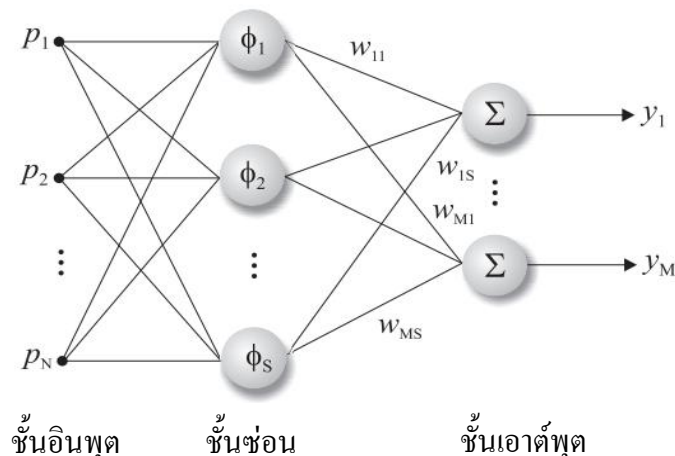
น้ำหนัก

ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชันรัศมีฐาน (Radial Basis Function neural network)

โครงข่ายฟังก์ชันรัศมีฐาน (Radial Basis Function network หรือ RBF) เป็นโครงข่ายไปข้างหน้าประเภทหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูง โครงข่ายหนึ่งโครงข่ายฟังก์ชันรัศมีฐาน

แตกต่างไปจากเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (Multi-layer perceptron) ตรงที่เครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานนั้นมีชั้นซ่อนเพียงชั้นเดียว (Broomhead and Lowe, 1988) สถาปัตยกรรมของเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ชั้นดังนี้

- **ชั้นอินพุต** แต่ละอินพุตจะแทนคุณลักษณะของเวกเตอร์อินพุต เหมือนกับในเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้นทั่ว ๆ ไป ในที่นี้เวกเตอร์อินพุตมีขนาดเท่ากับ N
- **ชั้นซ่อน** แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งมีลักษณะพิเศษ ที่ซึ่งให้ผลตอบสนองของฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอินพุตกับจุดศูนย์กลางของฟังก์ชัน กล่าวคือถ้าเวกเตอร์อินพุตอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางมากเอาต์พุตที่ได้จะมาก ถ้าเวกเตอร์อินพุตอยู่ห่างออกจากจุดศูนย์กลางเอาต์พุตที่ได้จะลดลงตามลำดับ ในที่นี้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมีขนาดเท่ากับ S
- **ชั้นเอาต์พุต** มีหน้าที่รวบรวมเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนเครือข่ายให้เอาต์พุตในรูปของเวกเตอร์ขนาดเท่ากับ M



ภาพที่ 2-4 เครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐาน

ดังนั้นเราสามารถพิจารณาเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานเป็นฟังก์ชันการส่งระหว่างปริภูมิของอินพุต $p \in R^{N \times 1}$ ไปยังปริภูมิของเอาต์พุต $y \in R^{M \times 1}$ ได้จากเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานในรูปข้างต้น จะได้เอาต์พุตของเครือข่ายมีค่าเท่ากับ

$$y_i = \sum_{k=1}^S w_{ik} \phi_k(p, c_k)$$

$$= \sum_{k=1}^S w_{ik} \phi_k \left(\|p - c_k\|_2 \right)$$

โดยที่ $\phi_k(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันส่งค่าจาก R^+ ไปยัง R

$\| \cdot \|_2$ คือ ฟังก์ชันระยะทางแบบยูคลิด

w_{ik} คือ ค่าน้ำหนักประสาทในชั้นซ่อน

S คือ จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน

$c_k \in R^{N \times 1}$ คือ เวกเตอร์จุดศูนย์กลางของฟังก์ชันมีฐานในปริภูมิของเวกเตอร์อินพุต

สำหรับแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนค่าระยะทางยูคลิดระหว่างเวกเตอร์จุดศูนย์กลาง c_k กับเวกเตอร์อินพุต p จะถูกคำนวณ เอาต์พุตของนิวรอนในชั้นซ่อนนี้จะได้จากฟังก์ชัน $\phi_k(\cdot)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นสุดท้ายแล้วเอาต์พุตของเครือข่ายจะได้จากผลรวมของค่าน้ำหนักประสาทกับเอาต์พุตของนิวรอนจากชั้นซ่อน

ส่วนหนึ่งของฟังก์ชัน $\phi_k(\cdot)$ ที่นำมาใช้ในชั้นซ่อน

- ฟังก์ชัน thin-plate-spline $\phi(p) = p^2 \ln p$
- ฟังก์ชันเกาส์เซียน $\phi(p) = e^{-p^2/\sigma^2}$
- ฟังก์ชันรากกำลังสอง $\phi(p) = \sqrt{p^2 + \sigma^2}$
- ฟังก์ชันรากกำลังสองผกผัน $\phi(p) = \frac{1}{\sqrt{p^2 + \sigma^2}}$

ฟังก์ชันที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ก็จะเป็ฟังก์ชันเกาส์เซียนการฝึกสอนเครือข่ายฟังก์ชันมีฐาน

ก็คือการค้นหาพารามิเตอร์ของเครือข่ายซึ่งประกอบด้วย

- ค่าน้ำหนักประสาท w_{ik} , $i=1..M, k=1..S$

- เวกเตอร์จุดศูนย์กลางของนิวรอนในชั้นซ่อน $c_k, k=1..S$
- ค่าพารามิเตอร์การกระจาย $\sigma_k, k=1..S$

สำหรับการฝึกสอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการฝึกสอนแบบจุดศูนย์กลางคงที่ (fixed center) ซึ่งเป็นการฝึกสอนที่สุ่มเวกเตอร์จุดศูนย์กลางมาจากเวกเตอร์อินพุต และจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางในระหว่างการฝึกสอน

พิจารณาความสัมพันธ์เอาต์พุตของเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐาน ต่อไปนี้

$$y_i = \sum_{k=1}^S w_{ik} \phi_k(p, c_k)$$

$$= \sum_{k=1}^S w_{ik} \phi_k(\|p - c_k\|_2)$$

จะเห็นว่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมการส่งค่าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของเครือข่ายก็คือค่า น้ำหนักประสาท w_{ik} ในชั้น เอาต์พุต และเวกเตอร์จุดศูนย์กลาง c_k ของฟังก์ชันรัศมีฐาน(ในที่นี้คือ ฟังก์ชันเกาส์เซียน) ดังนั้นการฝึกสอนเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานที่ง่ายที่สุดก็คือกำหนดให้เวกเตอร์จุด ศูนย์กลางมีค่าคงที่ โดยปกติแล้วในขั้นตอนการฝึกสอนจะทำการสุ่มเลือกเอาเวกเตอร์จุดศูนย์กลาง จากเวกเตอร์อินพุต สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการฝึกสอนแบบนี้ก็คือ จำนวนเวกเตอร์จุดศูนย์กลางที่สุ่ม เลือกมาจะต้องมีจำนวนเพียงพอที่จะครอบคลุมปริภูมิของอินพุตที่ซึ่งไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการหาว่า จำนวนของเวกเตอร์ดังกล่าวควรมีค่าเป็นเท่าไร หลักการอย่างหนึ่งก็คือเลือกเวกเตอร์จุดศูนย์กลาง มากพอที่จะครอบคลุมปริภูมิของอินพุต แล้วในขณะที่ฝึกสอนเราสามารถกำจัดเวกเตอร์จุดศูนย์กลาง (นั่นก็คือนิวรอนในชั้นซ่อน) ออกจากเครือข่าย โดยที่ไม่ทำให้เครือข่ายลดประสิทธิภาพแต่อย่างใด

อัลกอริทึมการฝึกสอนเครือข่ายฟังก์ชันรัศมีฐานแบบจุดศูนย์กลางคงที่

1. กำหนดให้จำนวนคู่เวกเตอร์อินพุต/เอาต์พุตมีทั้งหมด Q คู่ จะได้เอาต์พุตของ แต่ละนิวรอนคือ

$$\tilde{y}^q = \sum_{k=1}^S w_{ik} \phi(p^q, c_k), q=1, \dots, Q$$

2. เขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \tilde{y}^1 \\ \vdots \\ \tilde{y}^Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi(p^1, c_1) & \cdots & \phi(p^1, c_S) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(p^Q, c_1) & \cdots & \phi(p^Q, c_S) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_S \end{bmatrix}$$

หรือ

$$\tilde{y} = \phi W$$

โดยที่ $\tilde{y} \in R^{Q \times 1}$ คือ เวกเตอร์ของเครือข่าย

$w \in R^{S \times 1}$ คือ เวกเตอร์น้ำหนักประสาทในชั้นซ่อน

$\phi \in R^{Q \times S}$ คือ เมตริกซ์ของฟังก์ชันรัศมีฐานในชั้นซ่อน

3. เนื่องจากจุดศูนย์กลางของฟังก์ชันรัศมีฐานถูกกำหนดให้คงที่ ดังนั้นการฝึกสอนจะทำการคำนวณหาเพียงน้ำหนักประสาท โดยใช้ค่าวัตถุประสงค์เป็นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (mean-square error) ระหว่างเอาต์พุตของเครือข่าย \tilde{y} กับข้อมูลอินพุตจริง y_d ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการฝึกสอนเครือข่ายคือ

$$J(w) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q [y_d^q - \tilde{y}^q]^2$$

$$= \frac{1}{2} (y_d - \tilde{y})^T (y_d - \tilde{y})$$

โดยที่ $y_d \in R^{Q \times 1}$ คือเวกเตอร์ของเอาต์พุตที่ต้องการ (จากค่าอินพุต/เอาต์พุต)

4. แทนสมการที่ 2.39 ลงในสมการที่ 2.41 จะได้

$$J(w) = \frac{1}{2} (y_d - \phi w)^T (y_d - \phi w)$$

5. ทำการอนุพันธ์เพื่อหาค่าน้อยที่สุดของ $J(w)$

$$\frac{\partial J(w)}{\partial w} = 0$$

จะได้

$$-\phi^T y_d + \phi^T \phi w = 0$$

แก้สมการข้างต้นด้วยเมตริกซ์ผกผันเทียม จะได้ค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่ายจากค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดคือ

$$w = (\phi^T \phi)^{-1} \phi^T y_d$$

$$= \phi^+ y_d$$

โดยที่ ϕ^+ คือเมตริกซ์ผกผันเทียมของฟังก์ชัน ϕ

การตั้งค่าพารามิเตอร์การกระจาย

ในกรณีที่ใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนเป็นฟังก์ชันรัศมีฐานพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ พารามิเตอร์การกระจาย σ ซึ่งโดยปกติแล้วจะกำหนดด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{d_{\max}}{\sqrt{K}}$$

โดยที่ d_{\max} คือค่าระยะทางยูคลิดที่มากที่สุดระหว่างจุดศูนย์กลางที่กำลังพิจารณา และ K คือจำนวนของจุดศูนย์กลาง ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันรัศมีฐานของนิวรอนในชั้นซ่อนคือ

$$\phi(P, c_k) = e^{-\frac{K}{d_{\max}^2} \|p - c_k\|^2}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิธิมา อรรถวานิช. (2544) สกัดใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวาน โดยใช้ใยอาหารผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งแบบสุญญากาศของเปลือกส้มเขียวหวาน นำมาลดความขมในเปลือกส้มเขียวหวานโดยวิธีการสกัดด้วยน้ำ การสกัดโดยการปรับ pH ตัวอย่าง และการสกัดด้วยเอทานอล ได้ใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 76.09 จากนั้นทำการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารออก ทำให้ได้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 52.22 ใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 23.87 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 8.23 4.05 6.78 และ 4.85 นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เค้กกล้วย ซึ่งจากการทดสอบการยอมรับแล้วได้รับการยอมรับรวมอยู่ในช่วง 6.95 - 7.91

สิขรินทร์ ก้อนในเมือง และปราณี อานเป็รื่อง (2003) สกัดใยอาหารจากหัวกระเทียมพันธุ์ *Allium sativum* โดยการแยกไขมันและแบ่งในหัวกระเทียม โดยใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ในการกำจัดไขมัน และใช้เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส (Termamyl 120 L) ย่อยสลายแป้ง ซึ่งใยอาหารที่สกัดได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และเส้นใยอาหารทั้งหมด ในปริมาณร้อยละ 28.32 และ 85.77 ตามลำดับ

Prakongpan และคณะ (2002) ศึกษาการสกัดและการประยุกต์ใช้ใยอาหารจากแกนสับปะรด โดยใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (1:5 w/v) ได้ Pineapple core dietary fiber (PDF) และสกัดเซลลูโลส ได้เป็น Pineapple core cellulose (PC) โดยใช้สารแอลคาลอยด์ จากนั้นนำสารที่สกัดได้ไปผ่านกระบวนการฟอกสี (Bleaching process) จากการสกัดด้วยสารดังกล่าวข้างต้นได้ปริมาณ Dietary fiber 99.8% และ 95.2% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพและนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัทเค้ก เค้ก และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ จากการทดสอบประสิทธิภาพสัมพัทธ์คะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์ดี

Larrauri และคณะ (1996) ศึกษากระบวนการเตรียมและลักษณะของใยอาหารจากเปลือกมะม่วงที่เป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิตไซรัป นำมาไม่เปียก ล้างและทำให้แห้ง ได้ใยอาหารที่มีใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 281 กรัม/กก. และมีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำสูง 11.4 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งจัดว่าเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี

ฉันทนา นันทิวัฒน์วงศ์ (2537) ศึกษาการลดการร่อนน้ำมันในแป้งชุบทอดและโดนัท โดยใช้เซลลูโลสจากกากอ้อยและเซลลูโลสทางการค้า (Solka floc^R และ Methocel^R) โดยเลือกชนิดและปริมาณเซลลูโลสที่เหมาะสมที่สุด และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่ใช้ Methocel ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักแป้งผสมทั้งหมด ทอดที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที สามารถลดการร่อนน้ำมันได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

Khalil (1999) ศึกษาคุณภาพของเฟรนช์ฟรายที่เคลือบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ คือ โซเดียมแอลจีเนต เพกติน และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยเคลือบสารชั้นเดียวและสองชั้นพบว่า เฟรนช์ฟรายที่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 สองชั้น มีประสิทธิภาพในการลดการร่อนน้ำมันได้ดีกว่าการเคลือบด้วยเพกตินและโซเดียมแอลจีเนต โดยสามารถลดการร่อนน้ำมันได้ถึงร้อยละ 54 นอกจากนี้การเคลือบเฟรนช์ฟรายด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์สองชั้นพบว่าสามารถเก็บความชื้นและมีโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่าการเคลือบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ชั้นเดียว

Garcia และคณะ (2002) ศึกษาการใช้ฟิล์มที่ผลิตจากเมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropylmethylcellulose) เคลือบมันฝรั่งแห้งและโดขนมปัง (Dough discs) ก่อนนำไปทอดเพื่อลดการร่อนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า เมทิลเซลลูโลส มีประสิทธิภาพในการลดการร่อนน้ำมันได้ดีกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่ใช้เคลือบมันฝรั่งแห้งและโดขนมปังคือ ใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และ 0.75 ตามลำดับ ซึ่งการเคลือบฟิล์มสามารถลดการร่อนน้ำมันในมันฝรั่งทอดและโดขนมปังได้ร้อยละ 40.6 และ 35.2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบฟิล์ม นอกจากนี้การ

เคลือบฟิล์มยังทำให้มันฝรั่งทอดและขนมอบมีปริมาตรความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.3 และ 25.7 ตามลำดับ

Jonas S. Almeida และ Eberhard O. Voit (2003) ศึกษาการใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสำหรับการประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบระบบ S (S-System Model) ในโครงข่ายทางชีววิทยา (Biological networks) ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ Biological Systems Theory, การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการปรับเรียบตัวแบบคณิตศาสตร์ที่กล่าวมา และ การแปรความหมายสมการเชิงอนุพันธ์ที่ได้ให้อยู่ในรูปของการประมาณค่าพารามิเตอร์ จากผลการทดลอง พบว่าต้นแบบที่นำเสนอมีศักยภาพในการพยากรณ์แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเสนอว่ายังต้องการงานวิจัยอีกจำนวนมากเพื่อใช้ในการปรับปรุงการพยากรณ์เพื่อหาจุดที่เหมาะสม

Rawtani, Rana, และ Tiwari (2005) ศึกษาการประมาณเส้นโค้ง (Curve fitting) ของสมการ polynomials, splines และ Hermites เป็นต้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทั่วไป จากการวิจัยพบว่าวิธีการทั้งสองให้คำตอบได้ดีเช่นเดียวกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. กากมะพร้าวจากการคั้นน้ำกะทิ จากตลาดหนองมน
2. แป้งเค้ก ตรา พัดโบก บริษัท ยูโนเด็ตฟลาวมิลล์จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรปราการ
3. แป้งขนมปัง ตรา หงส์ขาว บริษัท ยูโนเด็ตฟลาวมิลล์จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรปราการ
4. น้ำตาลทรายขาว ตรา ลูกใจ บริษัท เซ็นทรัลฟู๊ด รีเทล จำกัด จ.นนทบุรี
5. เกลือ ตรา ประจักษ์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด จ.นครราชสีมา
6. นมผง ตลาดหนองมน จ.ชลบุรี
7. ผงฟู ตรา imperial baker' choice บริษัท ยูโนเด็ตแคร์ฟู๊ดส์ จำกัด กรุงเทพมหานคร
8. ยีสต์ผง ตรา perfect แบ่งบรรจุโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด เกรทฮิลล์ กรุงเทพมหานคร
9. ไข่ไก่ตรา CP บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จ.ชลบุรี
10. เนยขาว บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรปราการ
11. น้ำมันปาล์ม ตรา มรกต บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรปราการ

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท QRec ประเทศนิวซีแลนด์
2. เอทานอล Labscan ประเทศไทย
3. ไฮโดรคลอริก บริษัท Lobalchemie ประเทศอินเดีย
4. กรดซัลฟิวริก บริษัท QRec ประเทศนิวซีแลนด์
5. โซเดียมไดโคเมต บริษัท Fluka chemika ประเทศสวีตเซอร์แลนด์
6. เพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศนิวซีแลนด์
7. 1,10 ฟีนานโทลีน โมโนไฮเดรต บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศนิวซีแลนด์
8. เครื่องชั่งชนิดละเอียด รุ่น AC 2115-00 MS จากบริษัท Sartorius ประเทศเยอรมนี
9. เครื่องบด Coarse beater mill รุ่น D-73265 จากบริษัท Dietz-mtoren GmbH&Co.KG ประเทศเยอรมนี
10. ตู้อบลมร้อน รุ่น ULE600 จากบริษัท Memmert ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. เครื่องวัดสี (Handy colorimeter) รุ่น BYK จากบริษัท Garhner ประเทศเยอรมนี
12. เครื่องร่อน (Sieving machine) รุ่น VE 1000 จากบริษัท Retch ประเทศเยอรมนี

13. เครื่องกวน รุ่น M21/1 จากบริษัท Framo-Geratenik
14. เครื่องผสมไฟฟ้า Kitchen Aid รุ่น K5SS หัวผสมรูปตะขอ
15. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifugal Machine) รุ่น RC 5C Plus จากบริษัท Sorvall ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. เครื่องวิเคราะห์ water activity (a_w) Novasina Thermoconstante TH200
17. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
18. อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การสกัดใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวและการใช้ประโยชน์ในการเป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

1.1 การสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าว

เนื่องจากขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบจะมีผลต่อคุณภาพและสมบัติของใยอาหารและเซลลูโลสรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารและเซลลูโลสที่ผลิตได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงแปรวิธีการในการเตรียมกากมะพร้าวเพื่อศึกษาหาวิธีการในการเตรียมที่เหมาะสมต่อการสกัดใยอาหารและเซลลูโลสมากที่สุด โดยแปรวิธีการในการเตรียมกากมะพร้าวเป็น 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีอบแห้ง

กระบวนการทำแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตใยอาหาร สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาใยอาหารได้โดยไม่ต้องมีการเติมสารวัตถุกันเสีย หรือสารเจือปนอื่นๆ ซึ่งการทำแห้งเป็นวิธีโดยทั่วไปในการเตรียมวัตถุดิบ โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

นำกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อน 1 กิโลกรัม มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray drier) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นร้อยละ 5 ± 1 ได้เป็นกากมะพร้าวอบแห้ง เก็บตัวอย่างใส่ขวดโหลที่สะอาดและปิดสนิท

วิธีที่ 2 การเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีบดเปียก

นำกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อน 1 กิโลกรัม มาปั่นกับน้ำในอัตราส่วน 1:5 (กากมะพร้าว:น้ำ) ด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 20 วินาที กรองแยกกากและบีบน้ำออก นำกากที่แยกได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray drier) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นร้อยละ 5 ± 1 ได้เป็นกากมะพร้าวอบแห้ง เก็บตัวอย่างใส่ขวดโหลที่สะอาดและปิดสนิท

วิธีที่ 3 การเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีการล้างน้ำ

วิธีการล้างน้ำ เป็นการแยกส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาลอิสระ และลดจุลินทรีย์ ที่ทำให้เกิดโรค ขั้นตอนนี้จะมีการสูญเสียส่วนของใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้บางส่วน เช่น เพคติน ซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะด้านประสิทธิภาพความอ้วนน้ำของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่อย่างไรก็ดี ขั้นตอนนี้สามารถแยกน้ำตาลอิสระออกจากวัตถุดิบ หลีกเลี่ยงการเกิดสีดำในวัตถุดิบที่ผ่านการทำแห้ง และช่วยให้ใยอาหารนั้นให้พลังงานต่ำ (Larrauri, 1999)

วิธีการล้างน้ำดัดแปลงจากวิธีของ วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลย์ไชย (2545) โดยนำกากมะพร้าว จากการคั้นกะทิ ที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อน 1 กิโลกรัม มาล้างทำความสะอาดแบบแช่ด้วยน้ำสะอาดครั้ง ละ 5000 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที และล้างด้วยน้ำร้อนครั้งละ 5000 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที จากนั้นบีบน้ำออกนำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมี ความชื้นร้อยละ 5 ± 1 ได้เป็นกากมะพร้าวอบแห้ง เก็บตัวอย่างใส่ขวดโหลที่สะอาดและปิดสนิท

นำกากมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มาสกัดไขมันโดยใช้เฮกเซนเป็นตัว ทำละลาย ด้วยวิธีเขย่า ใช้อัตราส่วน 1:5 (กากมะพร้าว:เฮกเซน) ทำการสกัด 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งไล่เฮกเซนในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบด ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ได้เป็นใยอาหารจากกาก มะพร้าว

1.2 การวิเคราะห์สมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว

- ปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) (AOAC, 1997)
- ความชื้น ด้วยเครื่องวัดความชื้น
- ค่าสี L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดสี
- ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ water activity (a_w) Novasina Thermoconstanter TH200
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดย pH meter
- ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) และความสามารถในการ อุ้มน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) ตามวิธีของ Ang (1990)

1.3 การสกัดเซลลูโลสจากกากมะพร้าว

การผลิตเซลลูโลสมักจะคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความขาวเป็นหลัก แต่สิ่งที่ต้อง คำนึงถึงเป็นประการสำคัญคือ ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่มีคุณภาพสูง การ เตรียมเซลลูโลสจึงต้องผ่านขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

วิธีการเตรียมเซลลูโลสตัดแปลงจากวิธีของ วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลย์ไชย (2545) โดยนำตัวอย่างกากมะพร้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วทั้ง 3 วิธี ปริมาณ 75 กรัมแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เพื่อช่วยในการกำจัดสารสีของเอมิเซลลูโลสและสารไขมันออกไป) ปริมาตร 1500 มิลลิลิตร ความเข้มข้นร้อยละ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนส่วนผสมตลอดระยะเวลาการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยมอเตอร์กวนไฟฟ้า จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง (pH ประมาณ 7.0) แล้วล้างด้วยเอทานอลปริมาตร 75 มิลลิลิตร (เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ตกค้างอยู่) จากนั้นระเหยเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง นำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จะได้เป็นเซลลูโลสผง

1.4 การศึกษาสมบัติของเซลลูโลสจากกากมะพร้าว

- การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสตามวิธีของ Food Chemical Codex method (1996)
- ความชื้น ด้วยเครื่องวัดความชื้น
- ค่าสี L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี
- ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ water activity (a_w) Novasina Thermoconstanter TH200
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดย pH meter
- ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) ตามวิธีของ Ang (1990)

1.5 การประยุกต์ใช้เป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

การใช้โยอาหาร

นำโยอาหารที่สกัดได้มาเติมลงในส่วนผสมของโดนัทยีสต์ โดยแปรปริมาณที่เติมเป็น 0, 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งจะได้จำนวนตัวอย่างในการทดลองทั้งหมด 7 ตัวอย่าง คือ โดนัทสูตรต้นแบบ (โยอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์) โดนัทที่เติมโยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีที่ 1, 2 หรือ 3 ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดนัทที่เติมโยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีที่ 1, 2 หรือ 3 ปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ นำโดนัทที่เตรียมได้มาทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บตัวอย่างโดนัททุก 30 วินาที เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำมัน (AOAC, 1990)

นำตัวอย่างโดนัทยีสต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง ที่ผ่านการทอดเป็นเวลา 1 นาที 20 วินาที (เนื้อโดนัทสุกพอดี) ไปวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ประเมินความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

การใช้เซลลูโลส

นำเซลลูโลสเติมลงในส่วนผสมของโดนัทยีสต์ โดยแปรปริมาณที่เติมเป็น 0, 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทำการทอดและวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับการใช้โยอาหาร

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมโดนัทยีสต์สูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	ร้อยละ (น้ำหนักต่อปริมาตร)
แป้งขนมปัง	62.5
แป้งเค้ก	37.5
น้ำตาล	6.2
เกลือ	1.5
นมผง	6.2
ผงฟู	1.5
ยีสต์ผง	2.0
ไข่ไก่	12.5
เนยขาว	18.5
น้ำ	50.0

การผลิตโดนัทยีสต์

ควบคุมการผลิตโดนัทยีสต์ตามขั้นตอน ดังนี้คือ

1) การผสม ทำโดยการชั่งส่วนผสมของแห้ง ได้แก่ แป้งขนมปัง แป้งเค้ก ยีสต์ ผงฟู นมผง และเซลลูโลสผงจากกากมะพร้าว ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม จากนั้นใส่ไข่ไก่ลงไปผสมให้เข้ากัน

2) ละลายเกลือและน้ำตาลในน้ำ จากนั้นใส่ลงไปผสมกับแป้งและส่วนผสมอื่นๆ ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ความเร็วในการผสมระดับปานกลาง (เบอร์ 2) เติมน้ำมันลงไป ผสมต่อจนได้โดที่เรียบเนียน

3) หมักโดไว้ประมาณ 45 นาที โดยคลุมด้วยผ้าขาวบางที่ชุบน้ำพอหมาด ในสภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4) นำมาตัด ชั่งน้ำหนักก้อนละ 25 กรัม คลึงให้ผิวเรียบ พักไว้ 15 นาที แล้วเจาะตรงกลางก้อน ทำรูตรงกลาง แล้ววางบนถาดที่ทาไขมันไว้ หมักต่ออีกประมาณ 45 นาที

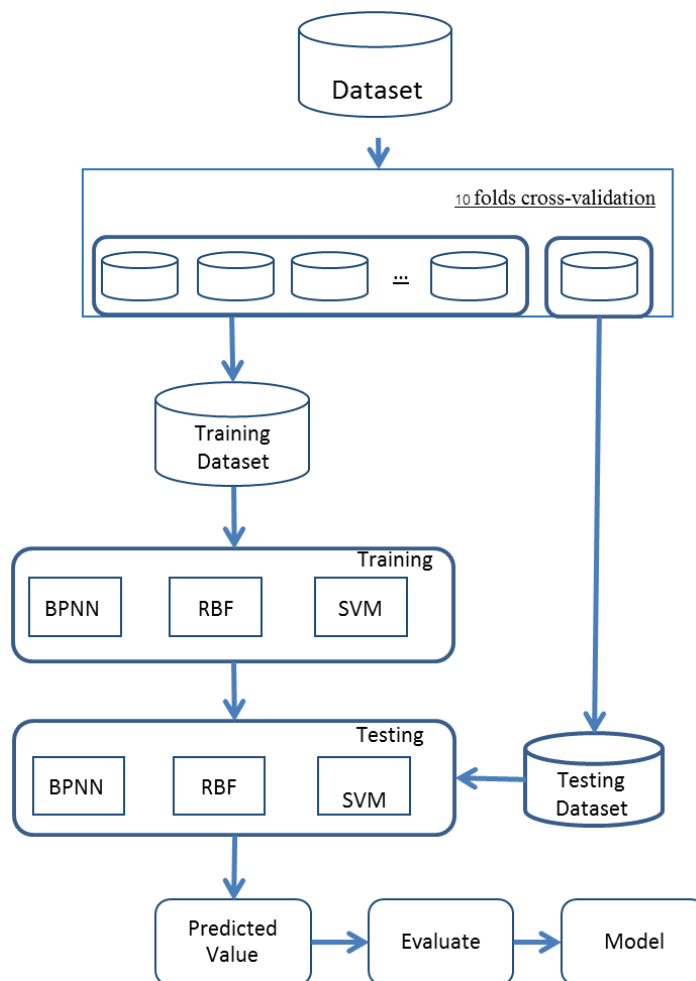
การวิเคราะห์คุณภาพ

นำโดหน้าที่เตรียมได้มาทอดแบบน้ำมันท่วม โดยใช้น้ำมันปริมาณ 3,000 มิลลิลิตร ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บตัวอย่างโดนัททุก 30 วินาที และซับน้ำมันที่ผิวโดนัทออกทันทีเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นเก็บตัวอย่างใส่ขวดโหลที่สะอาดและปิดสนิท โดยมีการเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ในการทอดทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตัวอย่างแต่ละสิ่งทดลอง

ปริมาณใยอาหารและเซลลูโลสที่เหมาะสมต่อการเติมลงในโดนัทยีสต์จะประเมินจากคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภค และปริมาณการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 2 การสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารในโดนัทยีสต์ระหว่างการทอด

สำหรับขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายคือสร้างตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งใช้ในการคำนวณค่าตัวเลขของการพยากรณ์และสามารถนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทมวลจริงโดยผู้วิจัยได้นำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) แบบแพร่ย้อนกลับ (Back-propagation) แบบฟังก์ชันรัศมีฐาน (Radial Basis Function) และ Support Vector Machine มาพยากรณ์ค่าการถ่ายเทมวลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสองโครงข่ายในข้อมูลชุดนี้ ดังแสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการพยากรณ์

1. การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการทดสอบ

นำชุดข้อมูลมาแบ่งออกเป็น 10 ชุดโดยการสุ่ม เป็นข้อมูลสำหรับเรียนรู้ 9 ชุด และข้อมูลสำหรับทดสอบ 1 ชุด เพื่อใช้ในการหาโมเดลทำนายที่เหมาะสม ซึ่งจะเรียนรู้และทดสอบจำนวน 10 โดยรอบแรกนำข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลทดสอบ ข้อมูลชุดที่ 2 ถึง 10 เป็นข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ รอบที่สอง ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลทดสอบ ข้อมูลชุดที่ 1 และ ชุดที่ 3 ถึง 10 เป็นข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ จะมีลักษณะการทำงานแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงรอบที่ 10

2. การหาโมเดลสำหรับการทำนายที่เหมาะสม

นำชุดข้อมูลที่แบ่งออกเป็น 10 ชุดนั้น มาทำการเรียนรู้ และทดสอบด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน 3 วิธีเพื่อเปรียบเทียบหาวิธีที่เหมาะสมได้แก่ BPNN RBF และ SVM โดยจะใช้

weka tool เป็นเครื่องมือในการทดลอง ซึ่งในแต่ละวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกันนี้จะถูกปรับโครงสร้างและพารามิเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลนั้นๆ โดยดูจากค่า RMSE ที่น้อยที่สุด

3. การวัดประสิทธิภาพ

เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ *MAE*, *RMSE*, *RAE* และ *RRSE* ดังนี้

เมื่อ P คือ ค่าที่ทำนายได้
 A คือ ค่าจริง
 A_m คือ ค่าเฉลี่ยของค่าจริงทั้งหมด

1. Mean absolute error

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - A_i|$$

2. Root mean squared error

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}$$

3. Relative absolute error

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - A_i|}{\sum_{i=1}^n |A_i - A_m|}$$

4. Root relative squared error

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n (A_i - A_m)^2}}$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวและการใช้ประโยชน์ในการเป็นสารช่วยลดการดูดซึมน้ำมันในอาหารทอด

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว

การสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าวมีวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกจากส่วนใยอาหาร อาทิ ไขมัน โปรตีน และแป้ง (starch) เพื่อให้ใยอาหารที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ที่มีผลต่อคุณสมบัติของใยอาหารที่ได้ ได้แก่ วิธีที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง วิธีที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก และวิธีที่ 3 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างน้ำ วัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีที่แตกต่างกันข้างต้น ได้นำมากำจัดไขมันออกโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายก่อนนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เป็นใยอาหารจากกากมะพร้าว ใยอาหารที่ได้จากแต่ละวิธีถูกสุ่มไป 100 กรัมเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) และ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่าปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำที่ได้จากการเตรียมแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกจะให้ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงสุด รองลงมาคือการเตรียมด้วยวิธีล้างน้ำ และ วิธีอบแห้งตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมด้วยวิธีการบดเปียกจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กและแตกออก น้ำที่ใช้ในการบดจะเข้าไปจับกับอนุภาคที่แตกออก เมื่อมีการบีบน้ำออกอนุภาคที่จับกับน้ำจะหลุดออกไปกับน้ำ และการล้างที่อุณหภูมิสูงจะเป็นการแยกองค์ประกอบต่างๆ เช่น โปรตีน เกิดการเสียสภาพและถูกชะล้างออกมา (พัชราภรณ์ วชิรศิริ , 2550) จึงทำให้วิธีการเตรียมโดยการบดเปียกและวิธีการเตรียมโดยวิธีล้างน้ำ ได้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าวิธีการเตรียมโดยวิธีอบแห้ง ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พัทธราภรณ์ วชิรศิริ (2550) ที่ศึกษากระบวนการสกัดใยอาหาร (dietary fiber) จากเปลือกกล้วยน้ำว่าโดยใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การบดแห้ง การบดเปียก การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำอุณหภูมิห้อง และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน โดยพบว่าใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าการเตรียมด้วยวิธีอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ที่ได้จากการเตรียมแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเตรียมด้วยวิธีการอบแห้งให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมากที่สุด รองลงมาคือการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกและการเตรียมด้วยวิธีล้างน้ำตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเตรียมด้วยวิธีการอบแห้งจะให้ค่าที่แตกต่างจากการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกและการเตรียมด้วยวิธีล้างน้ำ เนื่องจากการเตรียมด้วยวิธีอบแห้งไม่มีการใช้น้ำในการเตรียมทำให้ปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำยังคงอยู่ แต่การเตรียมด้วยวิธีการบดเปียกและวิธีการเตรียมด้วยวิธีล้างน้ำ มีการใช้น้ำในขั้นตอนการเตรียม การบดเปียกและการล้างน้ำจะทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (หยาดฝน ทะนงการกิจ , 2556)

ปริมาณเส้นใยอาหารรวม ที่ได้จากการเตรียมแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณใยอาหารรวมได้จากผลรวมของปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ เมื่อนำปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมารวมกับปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของแต่ละวิธีการเตรียม พบว่าการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกให้ปริมาณเส้นใยอาหารรวมมากที่สุด รองลงมาคือ การเตรียมด้วยวิธีอบแห้งและการเตรียมด้วยวิธีล้างน้ำตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณที่ละลายน้ำจากกากมะพร้าวจากวิธีการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี

วิธีการเตรียม	Total dietary fiber (g/100 g sample)	Insoluble dietary fiber (g/100 g sample)	Soluble dietary fiber (g/100 g sample)
1	50.84±0.06 ^b	46.55±0.27 ^c	4.29±0.37 ^a
2	54.29±0.43 ^a	51.76±0.31 ^a	2.53±0.15 ^b
3	50.06±0.22 ^c	48.49±0.25 ^b	2.11±0.08 ^c

^{a,b,c} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิธีที่1 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการอบแห้ง วิธีที่2 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการบดเปียก วิธีที่3 คือการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการล้างน้ำ

ตารางที่ 4-2 ค่าสีของโยอาหารจากกากมะพร้าวจากวิธีการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี

วิธีการเตรียม	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b*
1	93.28±0.15	-0.36±0.16	6.22±0.16 ^a
2	94.10±0.35	-0.30±0.05	4.97±0.35 ^c
3	93.34±0.58	-0.37±0.07	5.26±0.26 ^b

^{ns} หมายถึง ตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{a,b,c} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิธีที่1 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการอบแห้ง วิธีที่2 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการบดเปียก วิธีที่3 คือการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการล้างน้ำ

จากการตารางที่ 4-2 ตรวจสอบลักษณะปรากฏของโยอาหารที่สกัดได้พบว่า การเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้โยอาหารที่ได้มีลักษณะปรากฏแตกต่างกันในระดับที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนโดยโยอาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาว แต่เมื่อนำโยอาหารไปตรวจด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab) ซึ่งแสดงผลเป็นค่าตัวแปร L* a* และ b* พบว่าโยอาหารที่ได้จากการเตรียมทั้ง 3 วิธี มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นที่แดง (a*) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการเตรียมทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงและโยอาหารที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีอบแห้งมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด เท่ากับ 6.22 ในขณะที่โยอาหารจากการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกและล้างน้ำมีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำกว่า เท่ากับ 4.97 และ 5.26 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ โสรดา วัลภา และคณะ, (2552) ผลของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีอบแห้งและบดเปียกและระยะเวลาที่ใช้ในการลวกต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารจากเปลือกมะม่วงแก้ว พบว่าค่า L* ไม่ได้รับผลจากทั้งวิธีการเตรียมและระยะเวลาในการลวกอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า b* ของโยอาหารที่เตรียมด้วยวิธีการบดเปียกต่ำกว่าโยอาหารที่เตรียมด้วยวิธีการบดแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) บ่งชี้ว่าโยอาหารที่เตรียมด้วยวิธีการบดแห้งจะมีสีเหลืองมากกว่า เนื่องจากวิธีการอบแห้งเป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้น้ำในการเตรียม จึงหลงเหลือองค์ประกอบต่างๆ และยังคงหลงเหลือการทำงานของเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์ออกซิเดสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (หยาดฝน ทะนงการกิจ, 2556)

ตารางที่ 4-3 สมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าวจากวิธีการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี

วิธีการเตรียม	%MC ^{ns}	a _w	pH ^{ns}	WHC ^{ns}	OHC ^{ns}
				(g water / g dry sample)	(g oil / g dry sample)
1	4.05±0.01	0.49±0.01 ^a	6.10±0.01	2.43±0.01	1.49±0.03
2	4.18±0.02	0.37±0.01 ^c	5.69±0.03	3.76±0.24	1.43±0.10
3	4.32±0.02	0.42±0.01 ^b	5.99±0.04	2.94±0.06	1.45±0.09

^{ns} หมายถึง ตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{a,b,c} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิธีที่1 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการอบแห้ง วิธีที่2 คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการบดเปียก วิธีที่3 คือการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการล้างน้ำ

ตารางที่ 4-3 พบว่าปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.05 4.18 และ 4.32 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น มีการควบคุมปริมาณความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5±1 ทำให้ผลผลิตสุดท้ายของใยอาหารที่ได้มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันสำหรับการเตรียมทั้ง 3 วิธี

ใยอาหารที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบวิธีบดเปียกและวิธีล้างน้ำ มีปริมาณน้ำอิสระแตกต่างจากวิธีอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใยอาหารที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบวิธีบดเปียก มีปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ใยอาหารที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบวิธีล้างน้ำ และ อบแห้งตามลำดับ เนื่องมาจากการเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีบดเปียกกากมะพร้าวที่ได้ ใยอาหารที่มีสมบัติในการจับน้ำได้ดีทำให้ปริมาณน้ำอิสระเหลือน้อย ค่าแอกติวิตีของน้ำในตัวอย่างจะต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2546) อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำอิสระที่วัดได้จากใยอาหารทั้ง 3 วิธี มีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 ซึ่งเป็นขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (วิไล รังสาดทอง, 2543) ดังนั้น ปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ใยอาหารทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

ค่าความเป็นกรด-ต่างของใยอาหารที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความเป็นกรด-ต่างค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งมีค่า 6.10 5.69 และ 5.99 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดใยอาหารนี้ไม่มีการนำสารเคมีที่เป็นกรดต่างมาใช้ จึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างมีค่าเป็นกลางค่อนข้างไปทางกรดเล็กน้อย ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดต่างจากมะพร้าว ซึ่งเนื้อมะพร้าวที่นำมาคั้นกะทิมีค่าความเป็นกรดต่างไม่ต่ำกว่า 5.5 (สุภารัตน์ ตรีเพชร กุล และคณะ, 2554)

สมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของใยอาหาร เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้เพิ่มปริมาณเนื้ออุจจาระและทำให้อุจจาระนิ่ม ขับถ่ายได้สะดวก (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) จากการศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารผงที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 2.43 3.76 และ 2.94 ตามลำดับ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 1.49 1.43 และ 1.45 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมใยอาหารทั้ง 3 วิธี ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันไม่ต่างกัน ผลที่ได้จะเห็นได้ว่ามีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่ไม่มาก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้แก่ การบดใยอาหาร และการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้โครงสร้างของเซลล์แตกและเกิดการสูญเสียความคงตัวของโพลีแซคคาไรด์ เช่น เพคติน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารลดลง (หยาดฝน ทะนงการกิจ, 2556) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavendva et al. (2006) ที่ศึกษาผลของการบดต่อสมบัติการอุ้มน้ำของกากมะพร้าว และพบว่า กากมะพร้าวจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดเมื่อมีขนาดอนุภาค 550 ไมโครเมตร (30-35 เมช) แต่เมื่อลดขนาดอนุภาคให้เล็กลง ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลง เนื่องจากกากมะพร้าวที่ขนาดอนุภาค 550 ไมโครเมตร โครงสร้างของใยอาหารจะถูกทำลายและเกิดการพับ ทำให้เกิดช่องว่างที่สามารถอุ้มน้ำเอาไว้ได้ แต่เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง กากมะพร้าวจะเกิดเกาะตัวกันแน่น ทำให้มีความหนาแน่นของอนุภาคสูง น้ำจึงแทรกตัวเข้าไปได้น้อยลง ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจึงมีค่าลดลง

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเซลลูโลสจากกากมะพร้าว

การสกัดเซลลูโลสจากกากมะพร้าวมีวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกจากส่วนของเซลลูโลส อาทิ ไขมัน โปรตีน และแป้ง (starch) เพื่อให้เซลลูโลสที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการที่ต่างกัน 3 วิธี ที่มีต่อคุณสมบัติของเซลลูโลสที่ได้ ได้แก่ วิธีที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง วิธีที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก และวิธีที่ 3 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างน้ำ วัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีที่ต่างกันข้างต้น ได้นำมากำจัดไขมันออกโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ก่อนนำมา

อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เป็นใยอาหารจากกากมะพร้าว จากนั้นนำใยอาหารจากกากมะพร้าวที่ได้จากการเตรียมทั้ง 3 วิธี มาสกัดเซลลูโลสโดยแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้องค์ประกอบของกากมะพร้าวที่ไม่ทนต่อต่าง เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ละลายออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย (ปราณี รัตนวลิตี โรจน์ และศรีไฉล ชุณห, 2541) จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นกรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง นำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วบดละเอียดเซลลูโลสที่ได้จะเป็นผงละเอียดสีขาว และมีน้ำหนักเบา นำเซลลูโลสที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ได้ปริมาณร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสผง แสดงดังตารางที่ 4-4 ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเตรียมแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธีที่ 3 ให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าทุกวิธี ทั้งนี้ เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และล้างด้วยน้ำร้อน 2 ครั้ง ทำให้สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนและองค์ประกอบที่ละลายน้ำและไม่ทนความร้อน เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลอิสระบางส่วน (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550) ได้มากกว่าการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 และ 2 จึงทำให้กระบวนการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายต่างเกิดปฏิกิริยาได้ดี และได้ร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสสูง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พัชรภรณ์ วชิรศิริ (2550) ที่ศึกษากระบวนการสกัดใยอาหาร (dietary fiber) จากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี การอบแห้ง การบดเปียก การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำอุณหภูมิห้อง และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน โดยพบว่า ใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าการเตรียมด้วยวิธีอื่น ซึ่งผลที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4-4 ร้อยละผลผลิตของเซลลูโลส

วิธีการเตรียม	ร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง
1	95.21 ^c ± 0.34
2	97.27 ^b ± 0.85
3	98.86 ^a ± 0.61

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิธีการเตรียม 1 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง, 2 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก, 3 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างน้ำ

ตารางที่ 4-5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเซลลูโลสจากกากมะพร้าว

คุณสมบัติ	วิธีการเตรียม		
	1	2	3
ปริมาณความชื้น ^{ns}	6.24 ± 0.03	6.16 ± 0.12	6.12 ± 0.07
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ^{ns}	3.87 ± 0.48	3.60 ± 0.16	3.82 ± 0.24
ความสามารถในการอุ้มน้ำ ^{ns}	10.26 ± 0.84	10.76 ± 1.43	10.46 ± 0.71
ค่า a _w ^{ns}	0.369 ± 0.02	0.363 ± 0.02	0.358 ± 0.01
ค่าสี L*	86.26 ^b ± 0.52	89.50 ^a ± 1.36	89.58 ^a ± 1.83
ค่าสี a* ^{ns}	0.69 ± 0.32	0.69 ± 0.15	0.60 ± 0.12
ค่าสี b*	5.77 ^a ± 0.38	5.30 ^b ± 0.38	4.32 ^c ± 0.16
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}	7.00 ± 0.01	7.01 ± 0.01	7.01 ± 0.01

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

วิธีการเตรียม 1 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง, 2 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการปั่นเปียก, 3 คือ การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างน้ำ

จากตารางที่ 4-5 พบว่าปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า เท่ากับ 6.24 6.16 และ 6.12 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น มีการควบคุมปริมาณความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5±1 ทำให้ผลผลิตสุดท้ายของเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าไม่แตกต่างกันสำหรับการเตรียมทั้ง 3 วิธี

คุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของเซลลูโลสจัดเป็นคุณสมบัติทางเทคโนโลยีอย่างหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อการส่งเสริมคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยคุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลส หมายถึง ความสามารถในการจับน้ำได้ดี จะสามารถเพิ่มมวลของอุจจาระ ลดอัตราการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก และเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ได้ (Figuerola et al., 2005) จากการศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของเซลลูโลสผงที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี ในสภาวะต่าง พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 10.26 10.76 และ 10.46

ตามลำดับ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 3.87 3.60 และ 3.82 ตามลำดับ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อัตราส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ ขนาดของอนุภาค สภาวะกระบวนการสกัดใยอาหาร แหล่งของใยอาหารที่นำมาสกัด (Figuerola et al., 2005) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลในขั้นตอนการสกัดใยอาหาร แต่ไม่มีผลในกระบวนการสกัดเซลลูโลส เพราะเซลลูโลสเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ อีกทั้งการสกัดเซลลูโลสในสภาวะต่างยังสามารถกำจัดใยอาหารที่ละลายน้ำและองค์ประกอบอื่นที่ไม่ทนต่างได้ เช่น เฮมิเซลลูโลส (มนตรี รัตนวิจิตร, 2537) ทำให้การเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกัน และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย (2545) ที่ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสผงที่สกัดได้จากกากมะพร้าว พบว่า การเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีการล้างน้ำ ทำให้เซลลูโลสที่สกัดได้ มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 10.65 และ 3.31 ตามลำดับ

เซลลูโลสที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (ไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) ดังนั้น ค่า a_w ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เซลลูโลสทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

จากตารางที่ 4-5 เห็นได้ว่า ผลของการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีผลต่อค่าสี ระบบ CIE (L^* a^* b^*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ซึ่งทำการล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และล้างด้วยน้ำร้อน 2 ครั้ง และการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ด้วยการปั่นเปียก มีระดับความสว่างของผลิตภัณฑ์สูงสุด ในขณะที่เซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 มีค่าความสว่างอยู่ในระดับต่ำกว่า เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 เป็นการให้ความร้อนในการอบแห้งโดยไม่ผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อนขั้นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างต่ำกว่าการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 และ 3 และผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของพัชราภรณ์ วชิรศิริ (2550) ที่ศึกษากระบวนการสกัดใยอาหาร (dietary fiber) จากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี การอบแห้ง การอบเปียก การอบเปียกร่วมกับการล้างน้ำอุณหภูมิห้อง และการอบเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน โดยพบว่าการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน มีระดับความสว่างของผลิตภัณฑ์สูงสุด และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเซลลูโลส พบว่า การเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด และการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของเซลลูโลสที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสกัดเซลลูโลสขั้นตอนสุดท้ายมีการล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีค่า

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง คือ มีค่าประมาณ 7 เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อาหารและปลอดภัยต่อการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550)

4.3 ผลการใช้โยอาหารจากการมะพร้าวเป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของการเติมโยอาหารผงที่ได้จากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ต่อปริมาณความชื้น และปริมาณไขมัน ของผลิตภัณฑ์โดนัทยีสต์ในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมนำโดนัทที่เตรียมได้ มาทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บตัวอย่างโดนัททุก 30 วินาที สุ่มตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 และ 4-7

จากตารางที่ 4-6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดนัทระหว่างการทอด เวลา 0-180 วินาที เมื่อเติมโยอาหารในปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาดา สุกกระ (2541) ที่ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรโดนัทเสริมโยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองและผลต่อการอมน้ำมันที่ใช้ทอด พบว่า เมื่อมีการเติมโยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดนัทมีปริมาณความชื้นหลังจากทอดร้อยละ 23.70 24.34 24.61 และ 23.80 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นของโดนัททุกตัวอย่างใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันนี้ เนื่องมาจากโยอาหารที่สกัดได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ คือ มีค่าระหว่าง 2.43 – 3.76 g water /g sample (ตารางที่ 4-3) เมื่อมีการนำโยอาหารมาเติมลงในโดนัท จึงไม่ได้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-6 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของโดนัททอดที่เติมใยอาหารจากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ที่เวลาการทอดต่างๆ

เวลาทอด (วินาที)	control	trt1 3%	trt1 6%	trt2 3%	trt2 6%	trt3 3%	trt3 6%
0 ^{ns}	33.83±0.90	33.82±0.80	33.71±0.97	32.96±0.97	32.09±0.67	32.49±0.22	31.65±0.85
30 ^{ns}	26.21±0.20	25.51±0.57	25.48±0.53	25.83±3.16	25.27±2.28	25.49±0.25	24.26±1.64
60 ^{ns}	23.92±0.26	23.00±0.62	22.38±0.25	23.27±3.01	22.53±1.04	24.14±1.56	22.87±0.74
90 ^{ns}	23.93±1.00	21.39±1.07	20.47±0.24	22.22±2.17	22.40±1.52	23.03±1.54	21.49±0.60
120 ^{ns}	22.79±0.60	20.74±0.18	20.00±0.87	20.11±3.20	19.83±0.12	21.33±0.93	20.67±2.01
150 ^{ns}	21.80±0.27	19.01±0.48	18.39±0.39	20.21±2.20	17.95±0.03	19.98±1.55	17.52±1.30
180 ^{ns}	22.00±0.16	17.38±0.48	16.89±0.20	17.74±0.97	18.64±2.43	17.80±0.82	18.84±0.72

^{ns} หมายถึง ตามแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม trt1 3%, trt1 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt2 3%, trt2 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt3 3%, trt3 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-7 ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) ในโดนต์ทอดที่เติมใยอาหารจากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ที่เวลาการทอดต่างๆ

เวลาทอด (วินาที)	control	trt1 3%	trt1 6%	trt2 3%	trt2 6%	trt3 3%	trt3 6%
0 ^{ns}	15.94±0.40	17.02±0.46	18.15±2.22	16.88±1.22	19.03±0.29	16.18±1.33	18.46±1.12
30 ^{ns}	25.29±1.69	26.85±0.71	28.96±1.33	24.32±2.77	26.22±0.65	24.98±0.34	25.20±0.52
60 ^{ns}	26.74±3.03	26.98±2.95	30.15±2.04	24.44±0.89	27.56±0.66	25.04±1.30	26.45±1.19
90 ^{ns}	25.67±3.08	26.69±0.79	30.61±0.69	25.30±1.11	26.40±0.75	26.72±2.29	27.06±0.05
120 ^{ns}	27.21±4.29	28.38±1.31	30.90±1.31	27.23±1.96	27.68±0.72	26.61±0.22	25.43±0.74
150 ^{ns}	27.79±3.52	29.75±0.91	29.98±0.28	25.10±0.38	25.83±0.16	25.52±1.07	28.09±0.12
180 ^{ns}	26.74±5.32	29.86±1.48	31.68±0.06	28.04±4.13	27.08±1.00	27.18±1.31	27.95±0.88

^{ns} หมายถึง ตามแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม trt1 3%, trt1 6% =เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt2 3%, trt2 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt3 3%, trt3 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-7 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์โดนัทในระหว่างการทอดที่เวลา 0 - 180 วินาที เมื่อเติมโยอาหารที่ได้จากการเตรียมทั้ง 3 วิธีเพิ่มขึ้นร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์โดนัทไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมโยอาหาร เนื่องจากโยอาหารที่ได้จากการเตรียมในแต่ละวิธีมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อมีการเติมโยอาหารลงในโดนัท โยอาหารจะไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันจากการทอด เนื่องจากโยอาหารไม่มีการดูดซับน้ำไว้เมื่อมีการทอดไอน้ำจะระเหยออกมา การระเหยของน้ำทำให้เกิดรูพรุนที่บริเวณเปลือกนอก น้ำมันจึงสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ (สิริมา ชินสาร , 2552) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาดา สุกกระ (2541) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาสูตรโดนัทเสริมโยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองและผลต่อการอมน้ำมันที่ใช้ทอด พบว่า เมื่อเติมโยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์โดนัทยีสต์ที่ปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันร้อยละ 9.25 9.20 10.56 และ 12.31 ซึ่งไม่สามารถลดการลดการอมน้ำมันลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

เมื่อนำโดนัทยีสต์ที่มีการเติมโยอาหารที่ได้จากการเตรียมจากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี และผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที 20 วินาที (เนื้อโดนัทสุกพอดี) มาวิเคราะห์ค่าสีผิวของโดนัทยีสต์ ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความสามารถในการคืนตัวของตัวของโดนัทยีสต์ (Springiness) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-8 4-9 และ 4-10

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์โดนัท ดังแสดงในตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L^*) ของสีผิวของโดนัท พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมโยอาหารปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อปริมาณโยอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่างลดลง โดยค่าความสว่างของผิวของโดนัทที่เติมโยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธีที่ปริมาณร้อยละ 6 จะมีค่าความสว่างมากกว่า คือ 51.38 53.04 และ 50.86 ตามลำดับ ในขณะที่โดนัทที่เติมโยอาหารจากเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธีที่ปริมาณร้อยละ 3 มีค่าความสว่างต่ำกว่า คือ 48.55 46.23 และ 48.98 ตามลำดับ เนื่องจากโยอาหจากมะพร้าวทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเกิดจากน้ำตาลรีดิวส์ เช่น น้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนในโปรตีนที่ยังหลงเหลืออยู่ในกากมะพร้าวโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) เมื่อมีการเติมโยอาหารมากขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น สีของโดนัทจึงเข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไตรดา และคณะ, (2553) ที่ศึกษาผลของการเสริมโยอาหารจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาว พบว่า การเติมโยอาหารจากเปลือก ทุเรียนมีผลทำให้ค่า L^* ของเนื้อในขนมปังลดลง ในขณะที่มีค่า b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้มีการเติมโยอาหาร บ่งชี้ว่าขนมปังที่มีการเติมโยอาหารจากเปลือกทุเรียนมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของสีผิวของโคนัท พบว่าผลิตภัณฑ์โคนัทที่เติมใยอาหารปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเติมใยอาหารจากการเตรียมใยอาหารทั้ง 3 วิธี ปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบตัวอย่างที่ไม่ได้เติมใยอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่างที่ลดลง บ่งชี้ได้ว่าผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น

ตารางที่ 4-8 ค่าสีผิวของโคนัททอดที่เติมใยอาหารจากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ที่เวลาการทอดต่างๆ

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*
control	50.53±0.27 ^d	13.10±0.26 ^g	36.60±0.43 ^g
trt1 3%	51.38±0.23 ^b	16.40±0.13 ^e	39.24±0.28 ^d
trt1 6%	48.55±0.38 ^f	16.97±0.17 ^a	38.41±0.39 ^f
trt2 3%	53.04±0.26 ^a	16.88±0.20 ^b	41.96±0.19 ^a
trt2 6%	46.23±0.07 ^g	16.77±0.07 ^c	38.45±0.32 ^e
trt3 3%	50.86±0.09 ^c	16.66±0.21 ^d	40.34±0.29 ^b
trt3 6%	48.98±0.96 ^e	16.31±0.88 ^f	39.77±0.41 ^c

^{a-g} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม trt1 3%, trt1 6% =เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt2 3%, trt2 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt3 3%, trt3 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโดนัททอดที่เติมใยอาหารจากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ที่เวลาการทอดต่างๆ

ตัวอย่าง	Firmness (N)	Springiness (%)
control	262.25±5.73 ^g	49.24±0.24 ^b
trt1 3%	281.48±13.74 ^d	48.74±0.10 ^d
trt1 6%	374.55±19.59 ^a	45.91±2.25 ^g
trt2 3%	264.87±15.47 ^f	51.50±1.72 ^a
trt2 6%	273.48±18.16 ^e	48.25±0.80 ^e
trt3 3%	311.71±17.74 ^c	48.77±1.20 ^c
trt3 6%	336.14±22.16 ^b	46.24±1.89 ^f

^{a-g} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม trt1 3%, trt1 6% =เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt2 3%, trt2 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด trt3 3%, trt3 6% = เติมใยอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-10 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสในโดนัททอดที่เติมโยอาหารจากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ที่เวลาการทอดต่างๆ

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม
control	6.70±1.53 ^a	6.90±1.35 ^a	6.37±1.30	6.50±1.28	7.00±1.17 ^a
trt1 3%	6.53±0.97 ^d	6.33±1.54 ^f	6.63±1.50	5.40±1.48	6.40±1.45 ^f
trt1 6%	5.90±1.21 ^e	6.63±1.45 ^e	6.23±1.36	5.93±1.41	6.17±1.21 ^g
trt2 3%	6.60±1.22 ^b	6.87±1.33 ^b	6.37±1.27	6.40±1.35	6.77±1.22 ^b
trt2 6%	5.73±1.55 ^f	6.07±1.68 ^g	6.20±1.37	6.13±1.22	6.50±1.22 ^e
trt3 3%	6.60±1.33 ^b	6.67±1.49 ^d	6.60±1.33	6.73±1.41	6.57±1.17 ^c
trt3 6%	6.53±1.25 ^d	6.87±1.20 ^b	6.43±1.30	6.33±1.09	6.53±1.14 ^d

^{a-g} หมายถึง ตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4-9 พบว่าค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าการคืนตัว (Springiness) ของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมโยอาหารปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยโดนัทที่เติมโยอาหารจากการเตรียมทั้ง 3 วิธี ปริมาณร้อยละ 6 มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่า คือ 374.55 273.48 และ 336.14 ตามลำดับ ในขณะที่โดนัทที่เติมโยอาหารจากการเตรียมทั้ง 3 วิธี ปริมาณร้อยละ 3 มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่า คือ 281.48 264.87 และ 311.71 ตามลำดับ เนื่องจากในขั้นตอนการทำโดนัทยีสต์ต้องใช้ปริมาณน้ำในการละลายส่วนผสมต่างๆและแป้งจะดูดซับน้ำไว้ โปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินในแป้งจะรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตนที่มีความสามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ หรือผงฟูเอาไว้ได้ ทำให้รักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง โดนัท (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545) เมื่อมีการเติมโยอาหารเข้าไปทำให้สัดส่วนของส่วนผสมต่างๆเปลี่ยนแปลงและโยอาหารเข้าไปแทรกในโครงสร้างของกลูเตนทำให้เกิดโครงสร้างกลูเตนที่ไม่สมบูรณ์จึงกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยลง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อขึ้น ดังที่ Pomeranz (1977) กล่าวว่า การเพิ่มโยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ระดับมากกว่า 7% จะมีผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนของกลูเตนมีปริมาณน้อยลง ซึ่งค่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการคืนตัว โดยค่าความแน่นเนื้อ

มากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการคืนตัวลดลง ซึ่งมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของมุกดา เจริญสินทรัพย์ (2546) ที่ศึกษาการผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากข้าวฟ่างในเค้กเนย พบว่าค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เค้กเนยที่เติมเซลลูโลสในปริมาณที่ต่างกันคือ ร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นร้อยละ 36 เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความสามารถในการคืนตัวมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 5 เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแป้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการเติมเซลลูโลสในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เค้กเนยมีความแน่นเนื้อสูงขึ้นจึงทำให้ค่าความสามารถในการคืนตัวลดลง

การทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส โดยนำโดนัทที่ผ่านการทอดในแต่ละกลุ่มสิ่งทดลองมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale ตารางที่ 4-10 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโดนัททอดเสริมโยอาอาหารจากกากมะพร้าวที่การเติมโยอาอาหารในปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่าผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมโยอาอาหารที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบด้วยบดเปียกและวิธีล้างน้ำปริมาณร้อยละ 3 ได้รับการยอมรับมากที่สุด เท่ากับ 6.60 คะแนน (ชอบเล็กน้อย) เท่ากัน

ความชอบด้านสี พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมโยอาอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีบดเปียกปริมาณร้อยละ 3 เท่ากับ 6.87 คะแนน (ชอบเล็กน้อย) ซึ่งคะแนนความชอบด้านสียังมีผลไปในทางเดียวกันกับค่าสีที่วัดได้ ซึ่งมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุด

ความชอบด้านกลิ่นรสและด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมโยอาอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากโยอาอาหารที่ได้จากการเตรียมกากมะพร้าวในแต่ละวิธีไม่มีผลต่อกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของโดนัท

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โดนัทเติมโยอาอาหาร พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทเติมโยอาอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีบดเปียกปริมาณร้อยละ 3 ได้รับการยอมรับมากที่สุด เท่ากับ 6.77 คะแนน (ชอบเล็กน้อย)

ดังนั้นสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมโยอาอาหารจากการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีบดเปียกร้อยละ 3 มีคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคในด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และความชอบโดยรวมดีที่สุด ในขณะที่ความชอบด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4 ผลการใช้เซลล์โลสจากการมะพร้าวเป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของการเติมเซลล์โลสผงที่ได้จากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี ต่อปริมาณความชื้น และปริมาณไขมัน ของผลิตภัณฑ์โดนัทยีสต์ในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมนำโดนัทที่เตรียมได้ มาทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บตัวอย่างโดนัททุก 30 วินาที สุ่มตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-11 และ 4-12

ตารางที่ 4-11 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสในระดับต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทอดต่างกัน

เวลา (วินาที)	ความชื้น (ร้อยละ)						
	control	T1 3%	T1 6%	T2 3%	T2 6%	T3 3%	T3 6%
0 ^{ns}	33.50±0.225	33.22±1.05	32.98±0.46	33.36±0.52	32.79±0.67	33.65±0.05	34.04±0.25
30	25.47±0.32 ^d	29.02±0.27 ^{ab}	27.14±0.29 ^{bcd}	29.09±0.14 ^a	26.79±1.20 ^{cd}	28.66±0.34 ^{abc}	27.34±0.40 ^{abcd}
60	22.50±0.16 ^d	26.76±0.28 ^{abc}	25.11±0.05 ^{bc}	27.55±0.04 ^a	24.97±1.24 ^c	26.94±0.06 ^{ab}	25.61±0.58 ^{bc}
90	21.58±0.36 ^c	25.53±0.05 ^a	23.55±0.02 ^b	25.16±0.16 ^a	23.65±0.55 ^b	24.95±0.46 ^a	23.47±0.46 ^b
120	19.73±0.17 ^c	22.76±0.49 ^{ab}	21.79±0.39 ^b	23.82±0.70 ^a	22.19±0.92 ^{ab}	23.76±0.14 ^a	22.73±0.28 ^{ab}
150	18.22±0.02 ^e	22.06±0.02 ^{bc}	21.06±0.63 ^{cd}	23.49±0.34 ^a	20.02±0.12 ^d	22.66±0.15 ^{ab}	20.80±0.62 ^{cd}
180	17.34±0.20 ^c	21.14±0.09 ^a	19.21±0.04 ^b	21.39±0.28 ^a	19.13±0.24 ^b	21.04±0.08 ^a	19.60±0.44 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม T1 3%, T1 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T2 3%, T2 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T3 3%, T3 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-12 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสในระดับต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทอดต่างกัน

เวลา (วินาที)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)						
	control	T1 3%	T1 6%	T2 3%	T2 6%	T3 3%	T3 6%
0 ^{ns}	15.28±0.28	15.66±0.13	16.06±0.47	15.50±0.08	15.44±0.14	15.19±0.32	15.67±0.28
30	25.63±0.31 ^b	20.10±1.07 ^a	24.38±0.16 ^b	20.54±0.48 ^a	24.30±0.23 ^b	21.21±0.69 ^a	23.97±0.24 ^b
60	26.54±0.27 ^c	22.46±0.22 ^a	24.93±0.02 ^b	22.27±0.16 ^a	24.79±0.05 ^b	22.49±0.27 ^a	24.45±0.32 ^b
90	28.69±0.14 ^d	22.93±0.02 ^a	25.39±0.16 ^{bc}	22.68±0.37 ^a	25.52±0.11 ^c	22.99±0.08 ^a	24.78±0.26 ^b
120	29.57±0.60 ^c	23.48±0.21 ^a	25.53±0.14 ^b	23.61±0.25 ^a	26.00±0.30 ^b	23.71±0.06 ^a	25.71±0.12 ^b
150	30.59±0.40 ^c	23.90±0.11 ^a	26.87±0.01 ^b	24.21±0.07 ^a	26.57±0.10 ^b	24.44±0.32 ^a	26.29±0.12 ^b
180	32.02±0.12 ^d	24.59±0.21 ^a	28.27±0.38 ^c	24.82±0.19 ^a	27.68±0.27 ^{bc}	25.05±0.21 ^a	27.11±0.14 ^b

a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม T1 3%, T1 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T2 3%, T2 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T3 3%, T3 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

จากตารางที่ 4-11 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดนัทระหว่างการทอด เวลา 0-180 วินาที เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมเซลลูโลสทำให้โดนัทสามารถรักษาปริมาณความชื้นในระหว่างการทอดได้มากกว่าโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม) เนื่องจากเซลลูโลสมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี โดยจะไปเพิ่มปริมาณ bound water ในอาหาร ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระที่จะระเหยออกไปในระหว่างการทอดลดลง (Saguy and Pinthus, 1995) เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 3 โมเลกุลของเซลลูโลสจะสามารถดูดซับน้ำได้ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์โดนัทหลังการทอดสามารถรักษาปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย (Ang, 1990) โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของขวัญจิต ดิษธรรม (2551) ที่ได้ศึกษาการเติมเซลลูโลสและซีเอ็มซีลงในผลิตภัณฑ์โรตีสื่อลัดการร่อนน้ำมัน พบว่า การเติมเซลลูโลสและซีเอ็มซีลงในผลิตภัณฑ์โรตีสื่อลัดการร่อนน้ำมันทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถรักษาปริมาณความชื้นได้มากกว่าที่ไม่เติมเซลลูโลส และสามารถลดปริมาณการร่อนน้ำมันในขณะทอดได้

แต่การเติมเซลลูโลสในปริมาณที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดนัทลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเติมเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมเซลลูโลสในปริมาณมากเกินไป เส้นใยของเซลลูโลสจะไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของโดนัท ทำให้โครงสร้างตาข่ายของกลูเตนเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้โดนัทมีผิวนอกที่แห้งแข็ง ขรุขระ ไม่เรียบเนียน ซึ่งผิวนอกของอาหารที่แห้งแข็งจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดต่างๆ ในระหว่างการทอดอาหาร น้ำและไอน้ำจึงสามารถระเหยออกมาได้ทางรูพรุนเหล่านั้น (วิไล รังสาดทอง, 2543) ผลที่ได้เป็นไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Funami และคณะ (1999) ได้ศึกษาการใช้เคิร์ดแลนและอนุพันธ์ของเซลลูโลสในการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัท โดยใช้เคิร์ดแลนที่ระดับตั้งแต่ร้อยละ 0-1 แต่พบว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะทำให้ได้ผลในการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด ผลเหล่านี้ทำให้ทราบว่า กลไกของการดูดซับน้ำมันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับในการเติม โดยพบว่า ที่ระดับเซลลูโลสร้อยละ 3 จะเหมาะสมที่สุดในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และกลูเตนเกิดโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ในการป้องกันการแทนที่ความชื้นโดยน้ำมัน ทำให้สามารถลดการดูดซับน้ำมันและลดการสูญเสียความชื้นได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของโดนัทที่มีการเติมเซลลูโลสร้อยละ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ยังคงมีปริมาณความชื้นมากกว่าโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส และเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เพราะเวลาในการทอดมากขึ้นจะมีผลทำให้น้ำมันสามารถซึมผ่านเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำในเซลล์ลดลง ปริมาณความชื้นจึงลดลงด้วย (วิไล รังสาดทอง, 2546) และการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก โดยเติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทำให้ผลิตภัณฑ์โดนัทสามารถ

รักษาความชื้นในระหว่างการทอดได้มากกว่าการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้งและวิธีการล้างน้ำรวมทั้งโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม)

จากตารางที่ 4-12 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์โดนัทระหว่างการทอด เวลา 0-180 วินาที เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมเซลลูโลสทำให้โดนัทลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้มากกว่าโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม) เนื่องจากเซลลูโลสมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอดลดลง ปริมาณน้ำมันที่เข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจึงลดลง (Ang, 1991) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรทิพา สีนาม (2547) ที่ศึกษาการผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากซังข้าวโพด เพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ พบว่า การเติมเซลลูโลสลงในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋มีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือเมื่อเติมเซลลูโลสในปาท่องโก๋จากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 15 ของน้ำหนักแป้ง มีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงประมาณร้อยละ 35 และจากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น น้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารจะระเหยออกมาภายนอก ทำให้มีปริมาณความชื้นลดลง น้ำมันจะเข้าไปแทนที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสกับผลิตภัณฑ์โดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม) ที่เวลาในการทอดเดียวกัน ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยในผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสมีปริมาณความชื้นสูงคือ มีปริมาณน้ำอยู่ในชิ้นผลิตภัณฑ์มาก ปริมาณในการดูดซับน้ำมันน้อยลง จึงเกิดความสัมพันธ์แบบผกผันกันระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน นั่นคือ การเติมเซลลูโลสในโดนัทจะมีผลทำให้การดูดซับน้ำมันลดลง เป็นผลของปฏิกิริยาที่มีความแข็งแรง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำในแป้งและเซลลูโลส โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลทำให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากเกิดแรงดันคาปิลลารีได้ (Mellema, 2003)

แต่การเติมเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีผลทำให้ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์โดนัทเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมเซลลูโลสในปริมาณเพิ่มขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำจะสูงขึ้น เซลลูโลสจะเข้าไปแย่งจับน้ำในแป้งที่ใช้ในการเกิดโด พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำในแป้งและเซลลูโลสจึงไม่แข็งแรง เมื่อได้รับความร้อนสูงพันธะของโครงสร้างจึงถูกทำลายได้ง่าย ทำให้มีปริมาณความชื้นลดลง น้ำมันจึงเข้าไปแทนที่ ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของไพลิน พันธุ์ (2543) ที่ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันของโดนัทเค้กในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสและไอโอต้า-คาร์ราจีแนน โดยแปร

ระดับของไอโอดีน-คาร์ราจีแนนที่ใช้ตั้งแต่ร้อยละ 0-0.25 พบว่าการเติมไอโอดีน-คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.15 จะเป็นระดับที่สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด

และเมื่อพิจารณาวิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัดเซลลูโลสเพื่อเติมในผลิตภัณฑ์โดนัทต่อปริมาณไขมันพบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดจากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี ทำให้ผลิตภัณฑ์โดนัทสามารถลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้มากกว่าผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี รวมทั้งโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม)

เมื่อนำโดนัทที่ยีสต์ที่มีการเติมใยอาหารที่ได้จากการเตรียมกากมะพร้าวทั้ง 3 วิธี และผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที 20 วินาที (เนื้อโดนัทสุกพอดี) มาวิเคราะห์ค่าสีผิวของโดนัทที่ยีสต์ ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความสามารถในการคืนตัวของตัวของโดนัทที่ยีสต์ (Springiness) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-13 4-14 และ 4-15

ตารางที่ 4-13 ค่าสีผิวของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสในระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
Control	47.65±2.39 ^b	13.96±0.90 ^c	34.11±1.96 ^c
T1 3%	48.53±2.12 ^b	15.46±1.48 ^{ab}	34.83±2.67 ^{bc}
T1 6%	48.83±3.59 ^b	14.85±1.58 ^{bc}	34.61±0.80 ^{bc}
T2 3%	51.91±1.06 ^a	16.43±0.43 ^a	38.23±1.31 ^a
T2 6%	51.92±0.50 ^a	16.32±1.09 ^a	38.68±1.92 ^a
T3 3%	52.20±1.66 ^a	15.05±1.22 ^{bc}	35.15±3.02 ^{bc}
T3 6%	52.86±0.79 ^a	14.70±1.04 ^{bc}	36.66±2.37 ^{ab}

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม T1 3%, T1 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T2 3%, T2 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T3 3%, T3 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์โดนัท ดังแสดงในตารางที่ 4-13 เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L*) ของสีผิวของโดนัท พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสจะไม่เกิดปฏิกิริยา non-

enzymatic browning reaction (Ang, 1990) โดยโดนนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 และ 3 ในปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ให้ค่าความสว่างของสีผิวออกมากที่สุด เท่ากับ 51.91 51.92 52.20 และ 52.86 ตามลำดับ และโดนนัทที่ไม่เติมเซลลูโลสให้ค่าความสว่างของสีผิวออกน้อยที่สุด เท่ากับ 47.65 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสีของเซลลูโลส ดังแสดงในตารางที่ 4-5 โดยพบว่า การเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 และ 3 ให้ค่าความสว่างสูงสุด โดยแตกต่างจากเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของสีผิวออกของโดนนัท พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโดนนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 ให้ค่าความเป็นสีแดงของสีผิวออกมากที่สุดและการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 6 ให้ค่าความเป็นสีเหลืองของสีผิวออกมากที่สุด เท่ากับ 16.43 และ 38.68 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-14 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความสามารถในการคืนตัว (Springiness) ของผลิตภัณฑ์โดนนัทที่เติมเซลลูโลสในระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	Firmness (g)	Springiness (%)
Control	92.51±3.71 ^s	51.39±1.40 ^a
T1 3%	397.17±8.56 ^e	52.58±1.17 ^a
T1 6%	743.85±7.84 ^c	45.89±1.79 ^c
T2 3%	450.30±10.66 ^d	50.57±3.46 ^{ab}
T2 6%	853.77±6.93 ^a	46.70±2.18 ^c
T3 3%	365.91±8.06 ^f	52.15±0.78 ^a
T3 6%	825.49±5.85 ^b	47.78±1.37 ^{bc}

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม T1 3%, T1 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T2 3%, T2 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T3 3%, T3 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตารางที่ 4-15 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำมัน และ ความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสในระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชุ่ม น้ำมัน	ความชอบ โดยรวม
Control	7.47±1.36 ^a	7.33±1.12 ^a	7.63±0.61 ^a	6.53±1.74 ^a	7.63±0.96 ^a
T1 3%	5.90±1.32 ^{bc}	5.90±1.16 ^{cd}	5.50±1.48 ^c	5.93±1.34 ^b	5.83±1.29 ^c
T1 6%	5.43±1.61 ^{cd}	5.53±1.22 ^d	5.00±1.76 ^{cd}	5.87±1.43 ^b	5.40±1.40 ^c
T2 3%	6.07±1.37 ^b	6.70±1.24 ^b	6.57±1.28 ^b	6.53±1.17 ^a	6.47±0.97 ^b
T2 6%	6.43±1.10 ^b	5.53±1.28 ^d	4.90±1.40 ^d	6.07±1.31 ^{ab}	5.53±1.10 ^c
T3 3%	5.97±1.59 ^{bc}	6.40±0.89 ^{bc}	6.53±1.01 ^b	6.37±1.03 ^{ab}	6.60±1.00 ^b
T3 6%	5.30±1.39 ^d	6.00±0.98 ^{cd}	5.20±1.35 ^{cd}	6.00±1.39 ^{ab}	5.40±1.40 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

control = ตัวอย่างควบคุม T1 3%, T1 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 1 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T2 3%, T2 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด T3 3%, T3 6% = เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 3 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ความแน่นเนื้อเป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งแสดงถึงความนุ่มของผลิตภัณฑ์ หากมีค่าความแน่นเนื้อน้อย ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแน่นเนื้อมาก และความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ แสดงถึงการคืนตัวอย่างยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นหลังการกดครั้งแรก จากตารางที่ 4-14 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความสามารถในการคืนตัว (Springiness) ของผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโดนัทที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 1 2 และ 3 มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด เท่ากับ 743.85 853.77 และ 825.49 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อนำเซลลูโลสที่ผลิตได้จากกากมะพร้าวเติมลงในผลิตภัณฑ์โดนัทปริมาณมากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เซลลูโลสจะไปแย่งน้ำในแป้งที่ใช้ในการเกิดโด ทำให้ปริมาตรของโดลดลง และค่าความแน่นเนื้อมากขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการคืนตัว โดยค่าความแน่นเนื้อมากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งมีผลไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของมุกดา เจริญสินทรัพย์ (2546) ที่ศึกษาการ

ผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากฟางข้าวในเค้กเนย พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เค้กเนยที่เติมเซลลูโลสในปริมาณที่ต่างกันคือ ร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าความแน่นเนื้อ เพิ่มขึ้นร้อยละ 36 เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนค่าความสามารถในการคั้นตัวมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 5 เมื่อเติมเซลลูโลสในปริมาณเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากการเติมเซลลูโลสในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เค้กเนยมีความแน่นเนื้อสูงขึ้นจึงทำให้ค่าความสามารถในการคั้นตัวลดลง

การทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส นำโดนท์ที่ผ่านการทอดในแต่ละกลุ่มสิ่งทดลองมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-15 ซึ่งพบว่า คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำมัน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โดนท์ที่เติมเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเมื่อพิจารณาความชอบด้านสี พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนท์ที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.07 ถึง 6.43 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย เนื่องจากการสังเกตพบว่าผลิตภัณฑ์โดนท์มีสีใกล้เคียงกับโดนท์ที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม) และคะแนนความชอบด้านสียังมีผลไปในทางเดียวกันกับค่าสีที่วัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-13 ซึ่งมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุด

ดังนั้นการทดลองนี้ จึงเลือกพิจารณาเฉพาะค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพียงอย่างเดียว เนื่องจากค่าความเป็นสีเหลือง คือ สีผิวนอกของโดนท์ และพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะของสีที่ดีที่สุด (มีค่าความเป็นสีเหลืองสูง) คือ ผลิตภัณฑ์โดนท์ที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธีที่ 2 ปริมาณร้อยละ 3 และ 6 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนท์ที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 6.70 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย และเมื่อเติมเซลลูโลสปริมาณมากขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โดนท์มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากข้อคิดเห็นของผู้ทดสอบ พบว่าโดนท์ที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 ปริมาณร้อยละ 3 มีกลิ่นรสใกล้เคียงกับโดนท์ที่ไม่เติมเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม)

ความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนท์ที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 และ 3 ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบ

เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.53 ถึง 6.57 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อย และเมื่อเติมเซลลูโลส ปริมาณมากขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดนัทมีแวนิล้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสยังมีผลไปในทางเดียวกันกับค่าความแน่นเนื้อและค่าความสามารถในการคั้นตัว ดังแสดงในตารางที่ 4-14 โดยมีค่าเท่ากับ 450.30 365.91 50.57 และ 52.15 ตามลำดับ ซึ่งค่าความแน่นเนื้อมากแสดงถึงความนุ่มของผลิตภัณฑ์น้อย และค่าความสามารถในการคั้นตัวมากแสดงถึงความนุ่มของผลิตภัณฑ์มาก

ความชอบด้านความชุ่มน้ำมัน พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อย และเมื่อเติมเซลลูโลสปริมาณมากขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำมันของผลิตภัณฑ์โดนัทมีแวนิล้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โดนัท พบว่าผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 และ 3 ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.47 ถึง 6.60 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อย และเมื่อเติมเซลลูโลสปริมาณมากขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ยโดยรวมของผลิตภัณฑ์โดนัทมีแวนิล้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ดังนั้นสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบวิธี 2 ปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสต่างๆ ดีที่สุด และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังสามารถลดการอมน้ำมันได้ร้อยละ 20.94 เมื่อเปรียบเทียบกับโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลส

ตอนที่ 2 การสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารในโดนนํ้ายีสต์ระหว่างการทอด

1. ชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลที่ใช้คือชุดข้อมูล coconut มีจำนวน 21 จุดข้อมูล 4 ลักษณะ ได้แก่ Time Cellulose Fat และ Moisture โดย Fat และ Moisture เป็นค่าที่ต้องการทำนาย ดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ชุดข้อมูล coconut

No.	Time	Cellulose	Fat	Moisture
1	0	0	15.28	33.5
2	30	0	25.63	25.47
3	60	0	26.54	22.5
4	90	0	28.69	21.58
5	120	0	29.57	19.73
6	150	0	30.59	18.22
7	180	0	32.02	17.34
8	0	3	15.5	33.36
9	30	3	20.54	29.09
10	60	3	22.27	27.55
11	90	3	22.68	25.16
12	120	3	23.61	23.82
13	150	3	24.21	23.49
14	180	3	24.82	21.39
15	0	6	15.44	32.79
16	30	6	24.3	26.79
17	60	6	24.79	24.97
18	90	6	25.52	23.65
19	120	6	26	22.19
20	150	6	26.57	20.02
21	180	6	27.68	19.13

ในการทดลองหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับทำนายจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทำนายค่า Fat และ ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทำนายค่า Moisture

2. การทดลองหาโมเดลที่เหมาะสมสำหรับการทำนาย

2.1 การทดลองหาโมเดลสำหรับทำนายค่า Fat

การทดลองหาโมเดลสำหรับทำนายค่า Fat จะทำการเปรียบเทียบ 3 ขั้นตอนวิธีคือ BPNN RBF และ SVM โดยแต่ละวิธีมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่า RMSE น้อยที่สุด ซึ่งมีการทดลองดังนี้

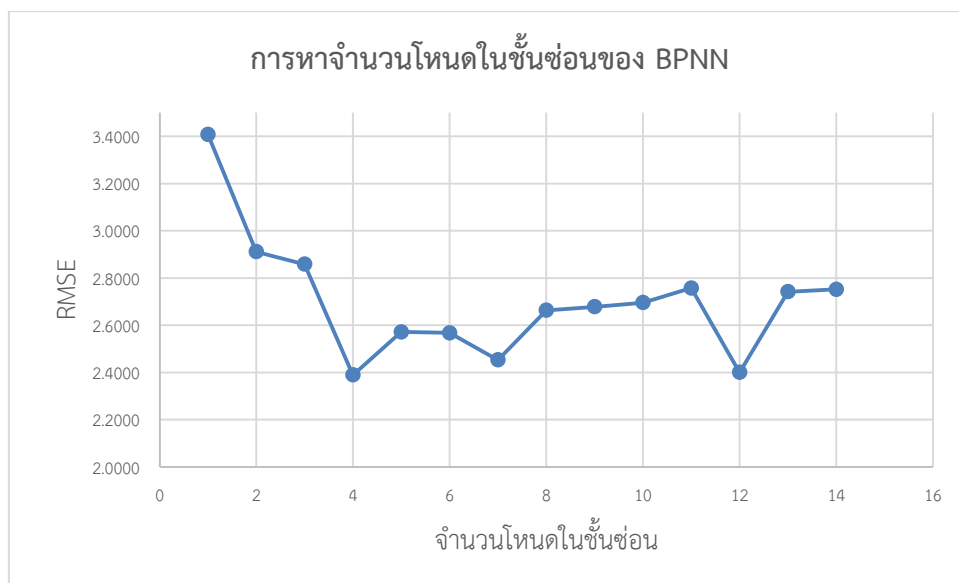
2.2.1 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี BPNN

ขั้นตอนวิธี BPNN จะทดสอบหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน อัตราการเรียนรู้ และค่าโมเมนตัม

2.2.1.1 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน โดยกำหนดให้อัตราการเรียนรู้กับ 0.1 และ ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-17 จะเห็นว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 2.3889 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-17 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	<i>RMSE</i>
1	3.4079
2	2.9109
3	2.8583
4	2.3889
5	2.5713
6	2.5676
7	2.4529
8	2.6631
9	2.6782
10	2.6953
11	2.7574
12	2.4000
13	2.7414
14	2.7521

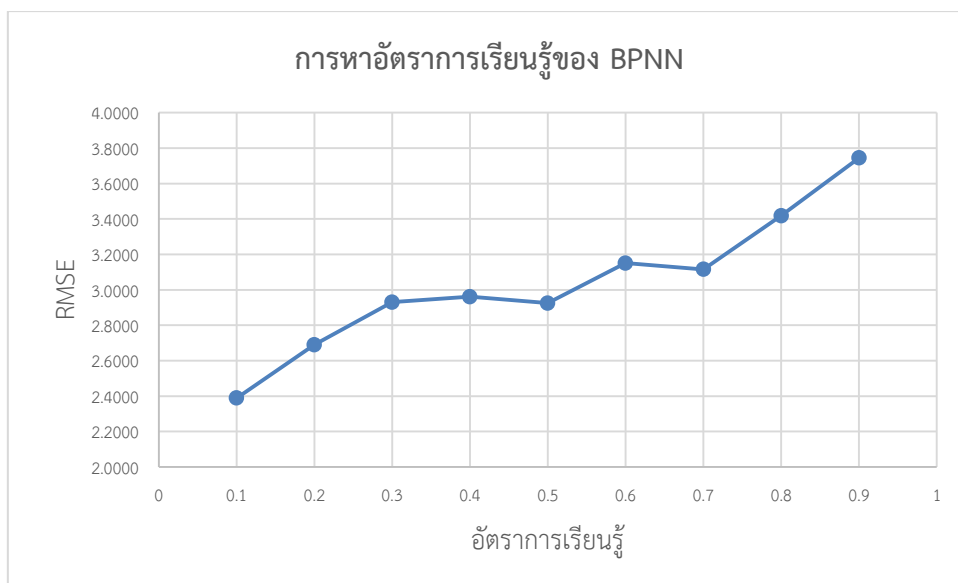


ภาพที่ 4-1 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

2.2.1.2 หาอัตราการเรียนรู้ โดยกำหนดให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-18 จะเห็นว่าอัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.1 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 2.3889 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-18 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

อัตราการเรียนรู้	<i>RMSE</i>
0.1	2.3889
0.2	2.6898
0.3	2.9299
0.4	2.9607
0.5	2.9251
0.6	3.1503
0.7	3.1158
0.8	3.4184
0.9	3.7444

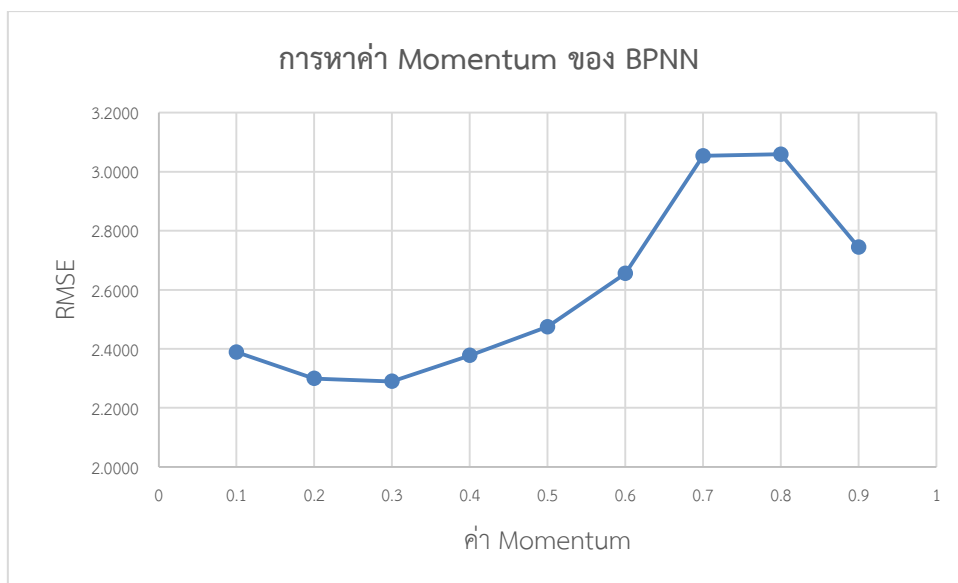


ภาพที่ 4-2 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

2.2.1.3 หาค่าโมเมนตัม โดยกำหนดให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-19 จะเห็นว่าอัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.2 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 2.6898 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-19 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

อัตราการเรียนรู้	<i>RMSE</i>
0.1	2.3889
0.2	2.6898
0.3	2.9299
0.4	2.9607
0.5	2.9251
0.6	3.1503
0.7	3.1158
0.8	3.4184
0.9	3.7444



ภาพที่ 4-3 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

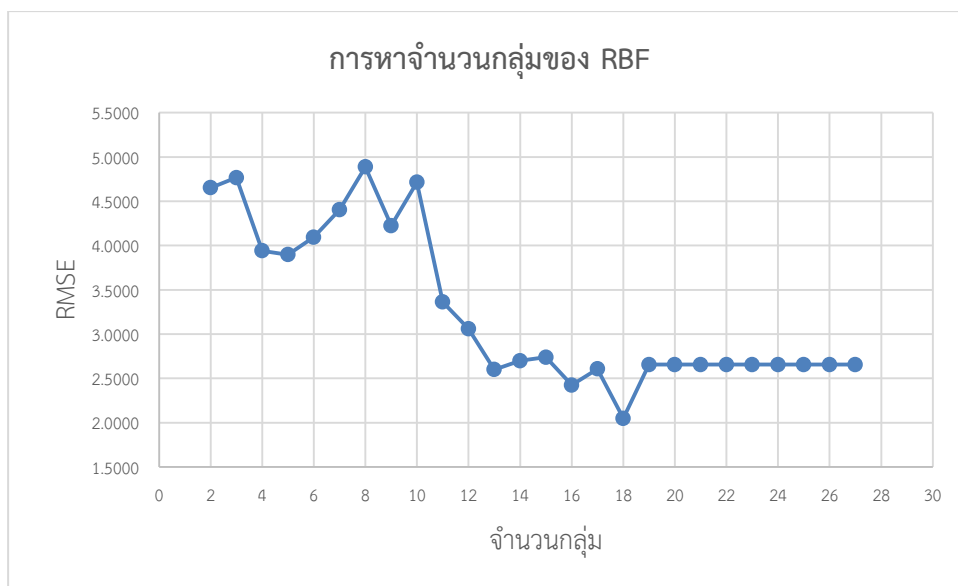
ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี BPNN เพื่อใช้สำหรับทำนาย Fat คือจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.1 และค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.2

2.2.2 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี RBF

ขั้นตอนวิธี RBF จะทดสอบหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม (numCluster) สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยกำหนดให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด (minStdDev) เท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-20 จะเห็นว่าจำนวนกลุ่มเท่ากับ 18 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 2.0485 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-20 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

numCluster	<i>RMSE</i>	numCluster	<i>RMSE</i>	numCluster	<i>RMSE</i>
2	4.6529	11	3.3626	20	2.6545
3	4.7661	12	3.0597	21	2.6545
4	3.9405	13	2.5989	22	2.6545
5	3.8966	14	2.6987	23	2.6545
6	4.0933	15	2.7382	24	2.6545
7	4.4054	16	2.4239	25	2.6545
8	4.8877	17	2.6056	26	2.6545
9	4.2240	18	2.0485	27	2.6545
10	4.7143	19	2.6545		



ภาพที่ 4-4 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

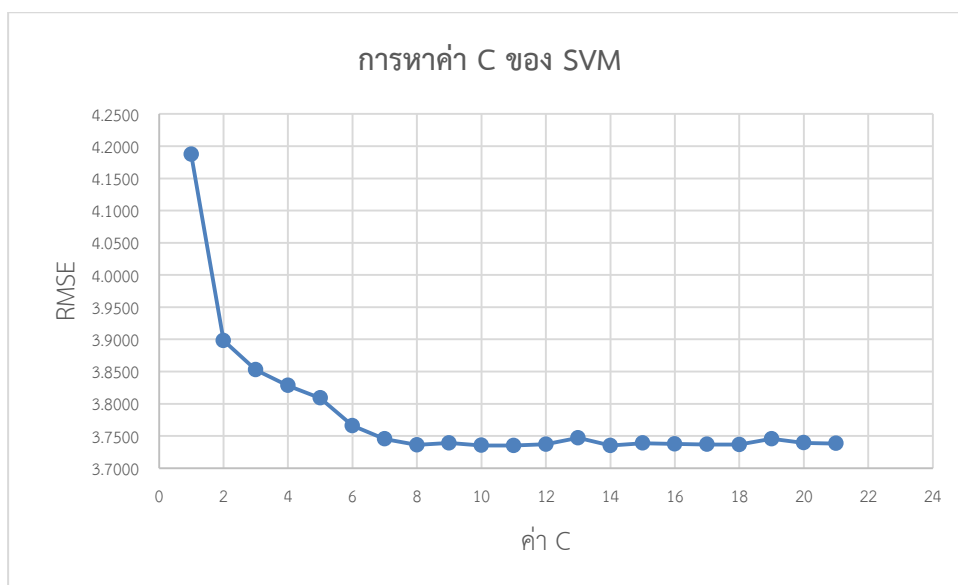
ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี RBF เพื่อใช้สำหรับทำนาย Fat คือจำนวนกลุ่มเท่ากับ 18 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด (minStdDev) เท่ากับ 0.1

2.2.3 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี SVM

ขั้นตอนวิธี SVM จะทดสอบหาค่า C (The complexity parameter C) โดยกำหนดให้ kernel คือ Polykernel และ regOptimizer คือ RegSMOImproved จากการทดลองดังตารางที่ 4-21 จะเห็นว่าจำนวนกลุ่มเท่ากับ 11 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 3.7350 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-21 หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

C	<i>RMSE</i>	C	<i>RMSE</i>
1	4.1871	12	3.7370
2	3.8982	13	3.7470
3	3.8526	14	3.7352
4	3.8283	15	3.7388
5	3.8090	16	3.7375
6	3.7659	17	3.7367
7	3.7453	18	3.7365
8	3.7360	19	3.7456
9	3.7391	20	3.7393
10	3.7353	21	3.7383
11	3.7350		



ภาพที่ 4-5 หาค่า C ของ SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Fat

ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี SVM เพื่อใช้สำหรับทำนาย Fat คือค่า C เท่ากับ 11 kernel คือ Polykernel และ regOptimizer คือ RegSMOImproved

2.2 การทดลองหาโมเดลสำหรับทำนาย Moisture

การทดลองโมเดลสำหรับทำนาย Moisture จะทำการเปรียบเทียบ 3 ขั้นตอนวิธีคือ BPNN, RBF และ SVM โดยแต่ละวิธีมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่า *RMSE* น้อยที่สุด มีการทดลองดังนี้

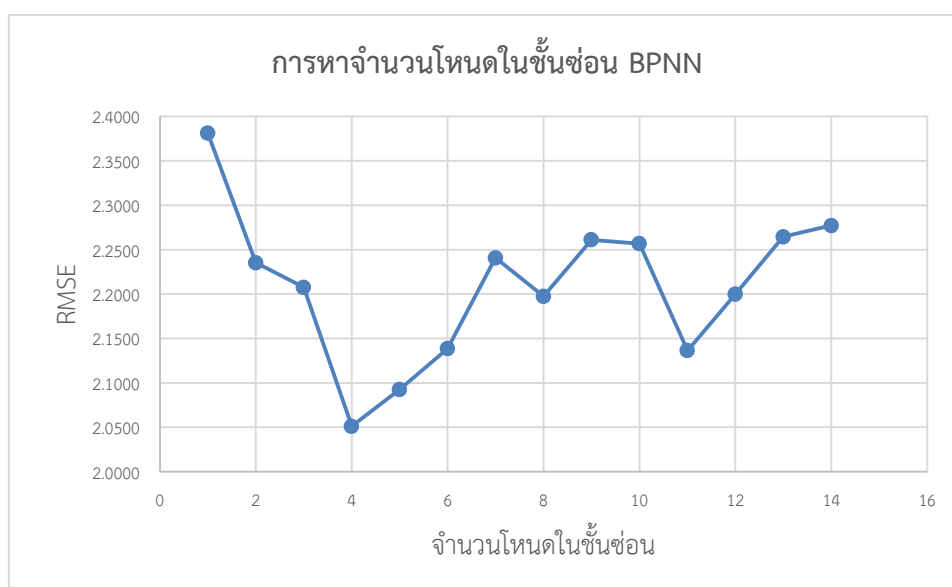
2.2.1 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี BPNN

ขั้นตอนวิธี BPNN จะทดสอบหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน อัตราการเรียนรู้ และค่าโมเมนตัม

2.2.1.1 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน โดยกำหนดให้อัตราการเรียนรู้กับ 0.1 และ ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-22 จะเห็นว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 2.0512 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-22 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	<i>RMSE</i>	จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	<i>RMSE</i>
1	2.3812	8	2.1974
2	2.2353	9	2.2611
3	2.2076	10	2.2568
4	2.0512	11	2.1363
5	2.0926	12	2.1998
6	2.1385	13	2.2646
7	2.2407	14	2.2772

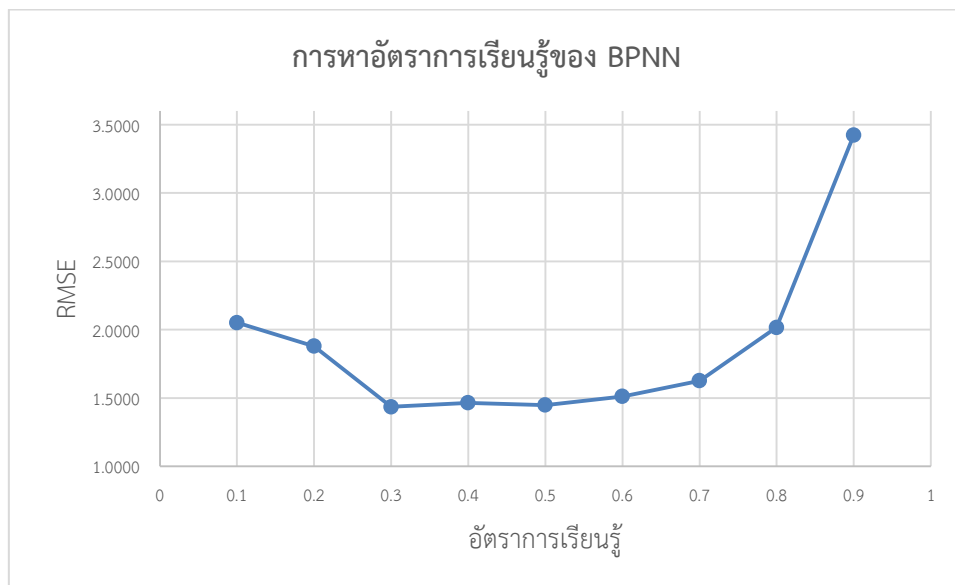


ภาพที่ 4-6 หาจำนวนโหนดในชั้นซ่อน BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

2.2.1.2 หาอัตราการเรียนรู้ โดยกำหนดให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-23 จะเห็นว่าอัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.3 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 1.4353 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-23 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

อัตราการเรียนรู้	<i>RMSE</i>
0.1	2.0512
0.2	1.8796
0.3	1.4353
0.4	1.4643
0.5	1.4489
0.6	1.5114
0.7	1.6261
0.8	2.0165
0.9	3.4232

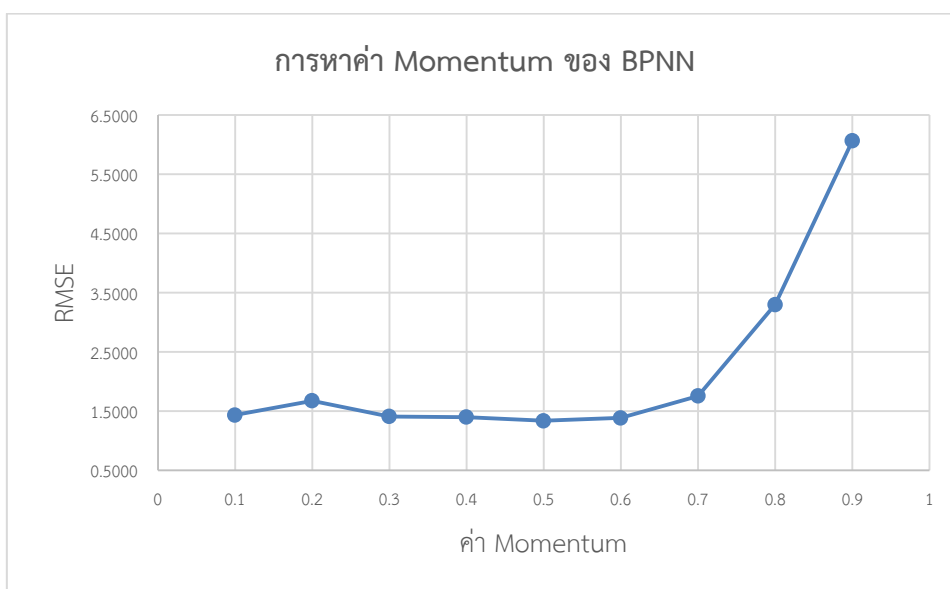


ภาพที่ 4-7 หาอัตราการเรียนรู้ BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

2.2.1.3 หาค่าโมเมนตัม โดยกำหนดให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการ เรียนรู้ เท่ากับ 0.3 จากการทดลองดังตารางที่ 4-24 จะเห็นว่าอัตราการการเรียนรู้ เท่ากับ 0.5 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 1.3381 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-24 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

อัตราการเรียนรู้	<i>RMSE</i>
0.1	1.4353
0.2	1.6765
0.3	1.4095
0.4	1.4007
0.5	1.3381
0.6	1.3856
0.7	1.7576
0.8	3.3006
0.9	6.0648



ภาพที่ 4-8 หาค่าโมเมนตัม BPNN ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

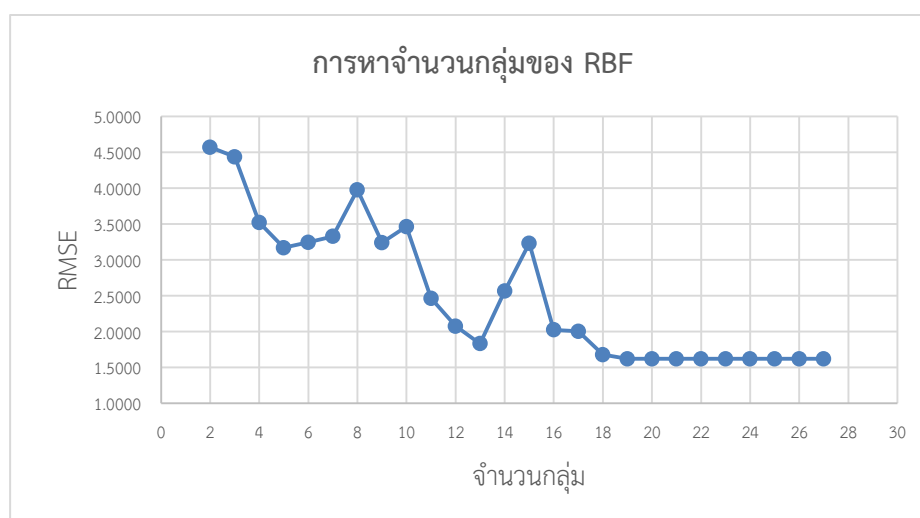
ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี BPNN เพื่อใช้สำหรับทำนาย Moisture คือจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.3 และค่าโมเมนตัม เท่ากับ 0.5

2.2.2 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี RBF

ขั้นตอนวิธี RBF จะทดสอบหาจำนวนกลุ่ม (numCluster) โดยกำหนดให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด (minStdDev) เท่ากับ 0.1 จากการทดลองดังตารางที่ 4-25 จะเห็นว่าจำนวนกลุ่ม เท่ากับ 19 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 1.6202 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-25 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

numCluster	<i>RMSE</i>	numCluster	<i>RMSE</i>	numCluster	<i>RMSE</i>
2	4.5723	11	2.4643	20	1.6202
3	4.4367	12	2.0742	21	1.6202
4	3.5228	13	1.8308	22	1.6202
5	3.1683	14	2.5653	23	1.6202
6	3.2460	15	3.2310	24	1.6202
7	3.3275	16	2.0239	25	1.6202
8	3.9771	17	2.0027	26	1.6202
9	3.2408	18	1.6772	27	1.6202
10	3.4640	19	1.6202	28	1.6202



ภาพที่ 4-9 หาจำนวนกลุ่ม RBF ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

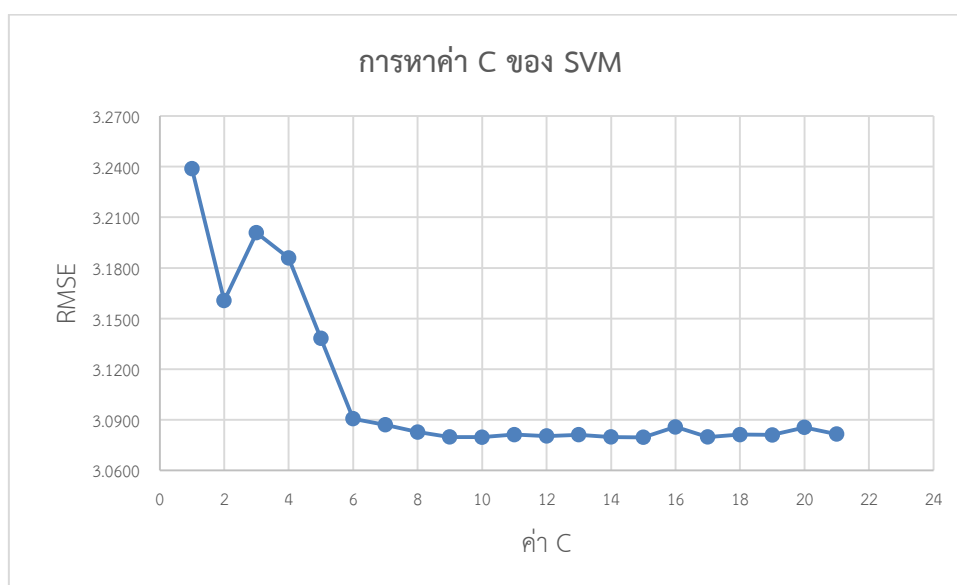
ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี RBF เพื่อใช้สำหรับทำนาย Fat ของชุด คือจำนวนกลุ่มเท่ากับ 19 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด (minStdDev) เท่ากับ 0.1

2.2.3 การหาโครงสร้างและพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธี SVM

ขั้นตอนวิธี SVM จะทดสอบหาค่า C ที่เหมาะสม (The complexity parameter C) โดยกำหนดให้ kernel คือ Polykernel และ regOptimizer คือ RegSMOImproved จากการทดลองดังตารางที่ 4-26 จะเห็นว่าจำนวนกลุ่มเท่ากับ 15 ได้ค่า *RMSE* เท่ากับ 3.0796 ซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-26 หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

C	<i>RMSE</i>	C	<i>RMSE</i>	C	<i>RMSE</i>
1	3.2389	9	3.0798	17	3.0798
2	3.1606	10	3.0797	18	3.0812
3	3.2008	11	3.0812	19	3.081
4	3.1859	12	3.0803	20	3.0854
5	3.1382	13	3.0811	21	3.0815
6	3.0906	14	3.0798	22	3.0812
7	3.0870	15	3.0796	23	3.0787
8	3.0827	16	3.0857	24	3.0807



ภาพที่ 4-10 หาค่า C ของวิธี SVM ที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่า Moisture

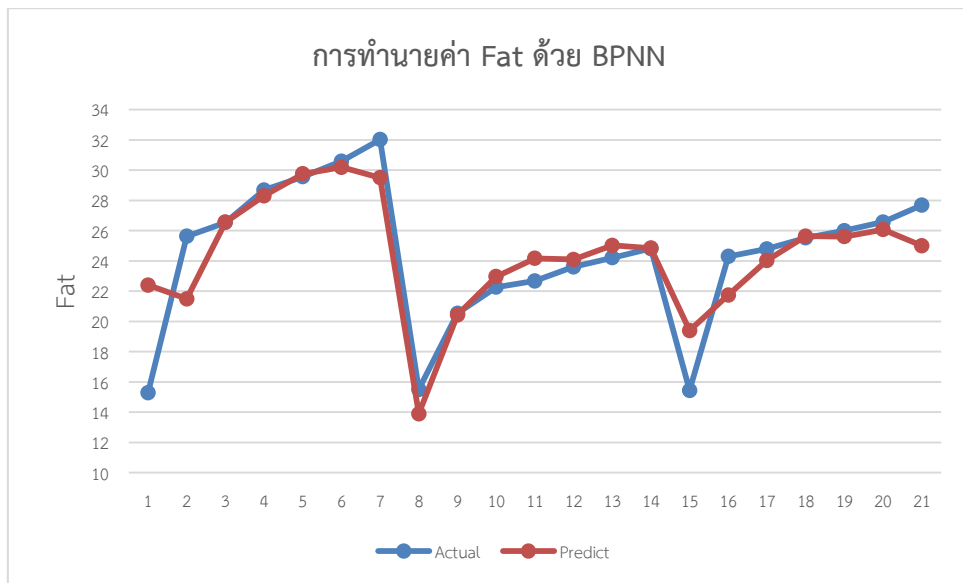
ดังนั้นโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธี SVM เพื่อใช้สำหรับทำนาย Moisture คือค่า C เท่ากับ 15 kernel คือ Polykernel และ regOptimizer คือ RegSMOImproved

3. การทดลองสำหรับทำนายปริมาณไขมัน (Fat)

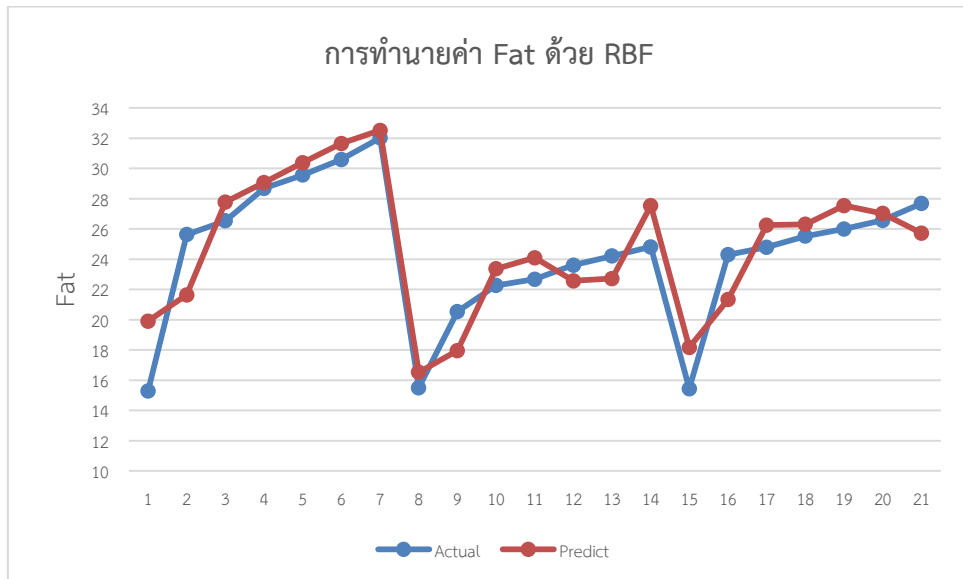
การทดลองสำหรับทำนายปริมาณไขมัน (Fat) เปรียบเทียบผลการพยากรณ์จากทั้ง 3 วิธี คือ BPNN, SVM และ RBF โดยแต่ละวิธีมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น ปรากฏผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 เปรียบเทียบการทำนายปริมาณไขมัน

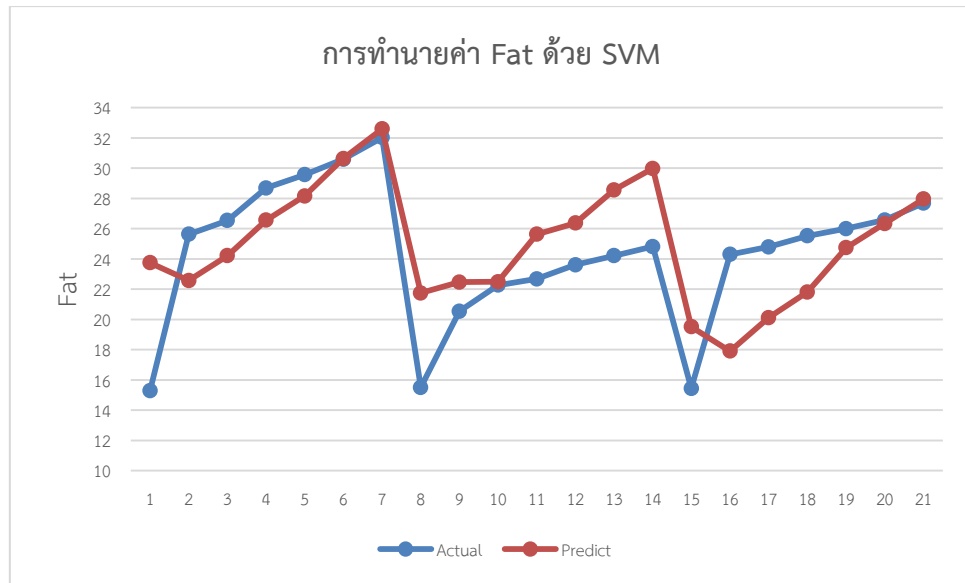
No.	Time	Cellulose	Fat	Fat_BPNN	Fat_RBF	Fat_SVM
1	0	0	15.28	22.405	19.908	23.751
2	30	0	25.63	21.491	21.643	22.574
3	60	0	26.54	26.564	27.774	24.217
4	90	0	28.69	28.31	29.075	26.557
5	120	0	29.57	29.757	30.379	28.16
6	150	0	30.59	30.188	31.654	30.636
7	180	0	32.02	29.509	32.516	32.59
8	0	3	15.5	13.895	16.53	21.751
9	30	3	20.54	20.437	17.953	22.471
10	60	3	22.27	22.968	23.364	22.489
11	90	3	22.68	24.166	24.099	25.636
12	120	3	23.61	24.099	22.573	26.367
13	150	3	24.21	25.028	22.72	28.563
14	180	3	24.82	24.844	27.547	29.984
15	0	6	15.44	19.397	18.165	19.51
16	30	6	24.3	21.752	21.332	17.906
17	60	6	24.79	24.03	26.251	20.117
18	90	6	25.52	25.639	26.308	21.807
19	120	6	26.00	25.611	27.541	24.744
20	150	6	26.57	26.077	27.023	26.338
21	180	6	27.68	25.007	25.723	27.964



ภาพที่ 4-11 การทำนาย Fat ด้วย BPNN



ภาพที่ 4-12 การทำนาย Fat ด้วย RBF



ภาพที่ 4-13 การทำนาย Fat ด้วย SVM

ตารางที่ 4-28 เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำนาย Fat ด้วยเกณฑ์วัดประสิทธิภาพ

	BPNN	RBF	SVM
<i>MAE</i>	1.4728	1.7086	2.9649
<i>RMSE</i>	2.2992	2.0485	3.735
<i>RAE (%)</i>	42.2928	49.0638	85.138
<i>RRSE (%)</i>	48.8715	43.5415	79.3901

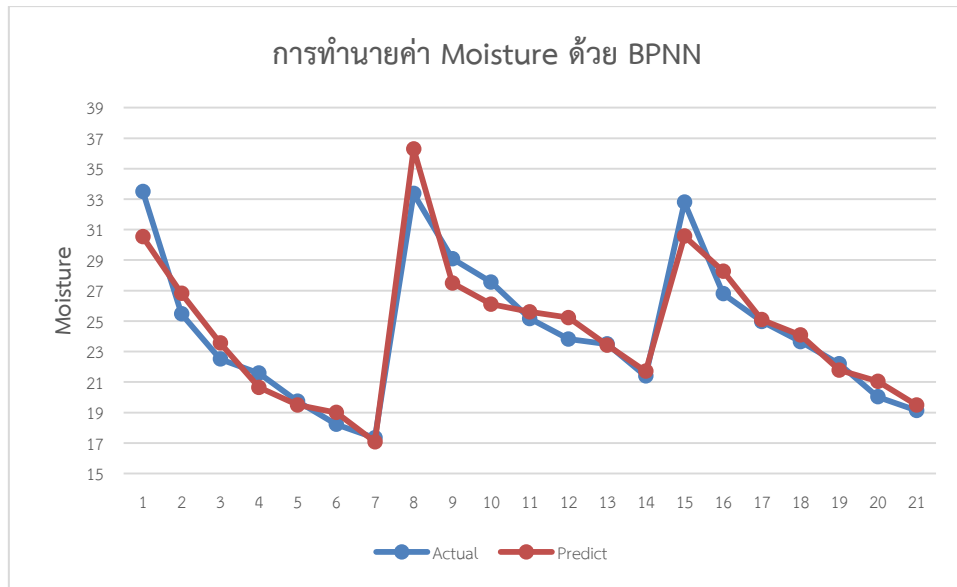
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับการทดลองทำนายปริมาณไขมัน (Fat) ด้วยการเรียนรู้ BPNN จะได้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าวิธีของ RBF และ SVM

3. การทดลองสำหรับทำนายปริมาณความชื้น (Moisture Content)

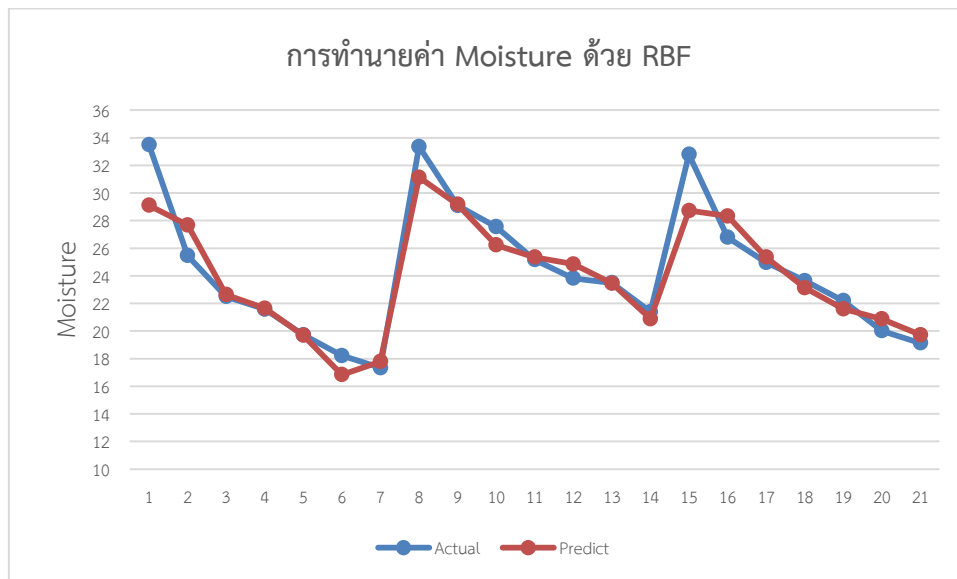
การทดลองสำหรับทำนายปริมาณความชื้น (Moisture Content) เปรียบเทียบ 3 ขั้นตอนวิธี คือ BPNN, SVM และ RBF โดยแต่ละวิธีมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น ปรากฏผล ดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 เปรียบเทียบการทำนาย Moisture

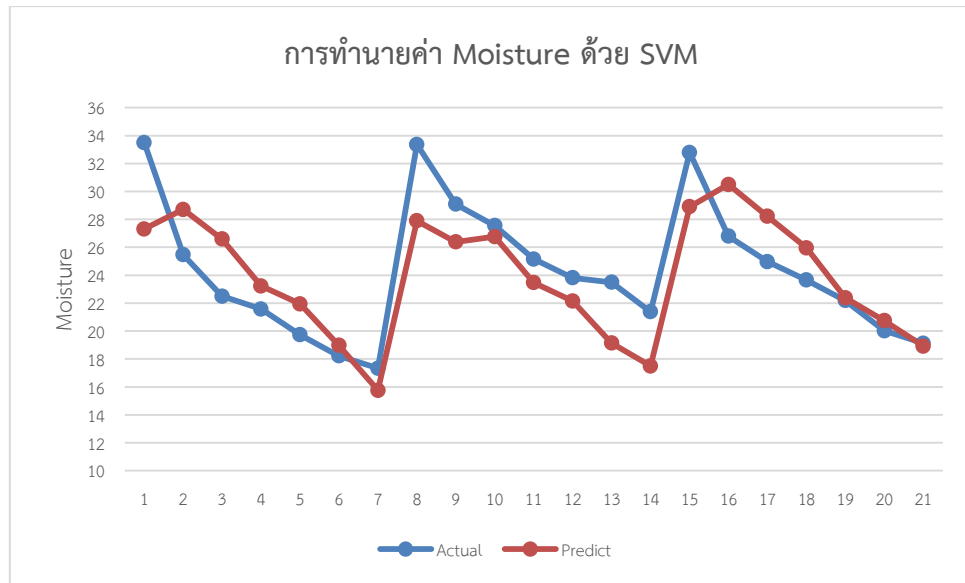
No.	Time	Cellulose	Moisture	Moisture_BPNN	Moisture_RBF	Moisture_SVM
1	0	0	33.5	30.522	27.307	29.109
2	30	0	25.47	26.811	28.707	27.684
3	60	0	22.5	23.556	26.593	22.638
4	90	0	21.58	20.649	23.235	21.65
5	120	0	19.73	19.485	21.945	19.69
6	150	0	18.22	18.999	18.979	16.836
7	180	0	17.34	17.072	15.75	17.786
8	0	3	33.36	36.297	27.895	31.135
9	30	3	29.09	27.493	26.381	29.174
10	60	3	27.55	26.106	26.758	26.227
11	90	3	25.16	25.599	23.476	25.347
12	120	3	23.82	25.224	22.152	24.847
13	150	3	23.49	23.422	19.136	23.463
14	180	3	21.39	21.71	17.502	20.888
15	0	6	32.79	30.569	28.909	28.724
16	30	6	26.79	28.274	30.496	28.33
17	60	6	24.97	25.083	28.221	25.343
18	90	6	23.65	24.083	25.96	23.13
19	120	6	22.19	21.779	22.379	21.602
20	150	6	20.02	21.046	20.746	20.875
21	180	6	19.13	19.487	18.925	19.726



ภาพที่ 4-14 การทำนาย Moisture ด้วย BPNN



ภาพที่ 4-15 การทำนาย Moisture ด้วย RBF



ภาพที่ 4-16 การทำนาย Moisture ด้วย SVM

ตารางที่ 4-30 เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำนาย Moisture ด้วยเกณฑ์วัดประสิทธิภาพ

	BPNN	RBF	SVM
<i>MAE</i>	1.0405	1.7086	2.5985
<i>RMSE</i>	1.3381	2.0485	3.0796
<i>RAE (%)</i>	27.2028	49.0638	67.9336
<i>RRSE (%)</i>	28.0824	43.5415	64.6281

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับการทดลองทำนายปริมาณความชื้น (Moisture Content) ด้วยการเรียนรู้ BPNN จะได้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าวิธีของ RBF และ SVM

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

วิธีการเตรียมกากมะพร้าวมีผลต่อปริมาณใยอาหารและเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบ รวมทั้งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของใยอาหารและเซลลูโลสผงที่สกัดได้ โดยใยอาหารที่ผ่านการเตรียมกากมะพร้าวด้วยวิธีบดเปียก มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 54.29 g / 100g sample ปริมาณความชื้น 4.18% a_w 0.37 pH 5.69 Water holding capacity (WHC) 3.76 g water / g dry sample และ Oil holding capacity 1.43 g oil / g dry sample มีสีขาว ($L^* = 94.10$, $a^* = -0.30$, $b^* = 4.97$) รองลงมาเป็นปริมาณใยอาหารจากวิธีอบแห้ง และวิธีล้างน้ำ ตามลำดับ ส่วนสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส พบว่า การเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าปริมาณความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ไม่แตกต่างกัน การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก และการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการล้างน้ำ เซลลูโลสมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุดเท่ากับ 89.50 และ 89.58 ตามลำดับ และการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสเท่ากับ 95.21 97.27 และ 98.86 ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของใยอาหารและเซลลูโลสผงต่อการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัทยีสต์ พบว่า ใยอาหารไม่มีผลในการช่วยลดการดูดซับน้ำมันเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างควบคุม แต่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวม คือโดนัทที่เติมใยอาหารจากการเตรียมด้วยวิธีบดเปียกปริมาณร้อยละ 3 ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และความชอบโดยรวมมากที่สุด ส่วนการใช้เซลลูโลสผงต่อการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัทยีสต์ พบว่า ผลิตภัณฑ์โดนัทที่เติมเซลลูโลสจากการเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีบดเปียกปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีค่าความเป็นสีเหลืองสูง ค่าความแน่นเนื้อและค่าความสามารถในการคืนตัวเท่ากับ 450.30 และ 50.57 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยมีคะแนนความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับโดนัทที่ไม่มีการเติมเซลลูโลส และสามารถลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์โดนัทยีสต์ได้ร้อยละ 20.94

สำหรับการทำนาย Fat เหมาะสมกับวิธีการเรียนรู้ BPNN โดยมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ดังนี้ จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.1 และค่าโมเมนตัม เท่ากับ 0.2

สำหรับการทำนาย Moisture เหมาะสมกับวิธีการเรียนรู้ BPNN โดยมีโครงสร้างและพารามิเตอร์ดังนี้ จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 4 และ อัตราการเรียนรู้ เท่ากับ 0.3 และค่าโมเมนตัม เท่ากับ 0.5

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการปรับปริมาณน้ำในโดนท์ยีสต์หรือผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ต้องการเติมใยอาหารหรือเซลลูโลสผง เนื่องจากเซลลูโลสมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงจึงไปแย่งจับกับน้ำในส่วนผสมทำให้แป้งเกิดเป็นโด้ได้ไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

รายการอ้างอิง

- กระยาทิพย์ เรือนใจ. (2543). *ผลไม้ คุณค่านานาเพื่อสุขภาพ*. กรุงเทพฯ: ต้นธรรม.
- กรมการฝึกหัดครู. (2528). *เบเกอร์รี่*. เอกสารนิเทศการศึกษาระดับที่ 276, หน่วยศึกษานิเทศก์, ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ, กรุงเทพมหานคร.
- กองโภชนาการกรมอนามัย. (2530). *ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม*. มปท.
- กุลยา ลีรุ่งเรืองรัตน์. (2556). บทปฏิบัติการ 311471 เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เกสร สุนทรเสรี. (2542). *มะพร้าว ต้นไม้แห่งชีวิต* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- แก้ว กังสดาลอำไพ. (2529). *ไขมัน โยอาหาร และมะเร็ง*, น.191-200. ใน สมใจ วิชัยดิษฐ์, วิชัย ต้นไพจิตร และ ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาติ (ผู้รวบรวม). *โภชนศาสตร์ประยุกต์*. บริษัทประยูรวงศ์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- ขวัญจิต ดิษธรรม. (2551). *การเติมเซลลูโลสและซีเอ็มซีลงในผลิตภัณฑ์โรตีสีเพื่อลดการอมน้ำมัน*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เกริก รัตนาบดี. (2543). *การสกัดเซลลูโลสจากแกลบเพื่อใช้ในการผลิตไส้กรอกเวียดนาม*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- งามจิตร วิฑูรณัฐศิลป์. (2520). ซี.เอ็ม.ซี. (C.M.C.). *อุตสาหกรรมสาร*, 20(6), 1-18.
- จิตนาแจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2539). *เบเกอร์รี่เทคโนโลยีเบื้องต้น*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 290 น.
- จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ, รุติสิริ โขวัฒน์กุล และบุญญาสิทธิ์ ดุลยศักดิ์. (2544). *การใช้เซลลูโลสผงที่ผลิตได้จากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวเพื่อลดการอมน้ำมันในปาต่องโก๋*. ปัญหาพิเศษ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉวีวรรณ แจ่มกิจ. (2537). *รูปแบบการบริโภคอาหารและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารวัยรุ่นในกรุงเทพมหานคร*. สาขาเกษตรศาสตร์, ภาควิชาเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชมภู ยิ้มโต. (2550). *การถนอมอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

- ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. (2545). โยอาหารเพื่อสุขภาพ. *อาหาร*, 32(3), 157-159.
- ถิรนนท์ คุณานพรัตน์, ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ และสุวิษ ศิริวัฒน์โยธิน. (2543). *อิทธิพลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดนัททอดแบบจุ่ม*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทิพาวรรณ เฟื่องเรือง. (2543). *ขนมอบ*. วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร, กรมอาชีวศึกษา, กรุงเทพมหานคร: กระทรวงศึกษาธิการ.
- ธีรนนท์ ประคองพันธ์. (2542). *การสกัดและการใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากแกนสับประรด*. วิทยานิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นพพร สายัมพล. (2542). มะพร้าว, น. 233-249. ใน นพพร สายัมพล, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, รังสฤษฎ์ กาวีตะ และสนธิชัย จันท์เปรม, บรรณาธิการ. *พืชเศรษฐกิจ*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวรรตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ. (2543). *แม่บ้านฉบับวิชาชีพ*. กรุงเทพมหานคร: แม่บ้าน.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมี้อาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2546). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- ปทุม พุทธิวิช และพิมพ์ภากรณ์ ไตรณรงค์สกุล. (2540). *โยอาหาร สารที่ไม่มีคุณค่าแต่น่าสนใจ*. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 45(145), 26-32.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2540). *คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพมหานคร: รวมทรรศน์.
- ปราณี รัตนวลีโรจน์ และศรีเฉล ขุนทนต์. (2541). *การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากขานอ้อย*. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ประภาศรี ภูเสถียร, (2534). โยอาหาร : ชนิด, คุณสมบัติของโยอาหารและแหล่งอาหาร, น.303-320. ในเอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ, 13-15 ธันวาคม 2532. สถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- ปิยวรรณ สุขุมลนันท. (2537). *การใช้แป้งคัพทะข้าวโพดและแป้งชนิดอื่นแทนแป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง*. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2547). คุณสมบัติของเส้นใยอาหารในการเป็น functional foods. *จารย์พา*, 11(76), 50-54
- เปรมปรี ฌ สงขลา. (2542). *การลงทุนทำสวนมะพร้าวน้ำหอมอย่างมืออาชีพ*. กรุงเทพมหานคร: เจริญรัฐการพิมพ์.

- ผกาวดี นารอง. (2543). เส้นใยอาหาร (Dietary Fiber): บทบาทสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม. *ศูนย์บริการวิชาการ*, (1), 23-25.
- พรทิพา สีนาม. (2547). *การผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากชั่งข้าวโพดเพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์พายท้องโก้*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พัชรภรณ์ วชิรศิริ. (2550). *การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า*. การค้นคว้าอิสระ, ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพชรลดา รัตนวิจิตร. (2545). ผลของการใช้รำข้าวสาคูไขมันเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิล. ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์ว่าสิก, รุ่งนภา ประกอบกิจ และพิทยา อุดลยธรรม. (2540). การสกัดใยอาหารจากเปลือกโกโก้และการใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้. *สงขลานครินทร์*, 19(4), 462-467.
- ไพลิน พันธุ์. (2543). *การลดการดูดซับน้ำมันของโดนัทเค้กในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมโดยใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสและไอโอดีน-คาร์ราจีแนน*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. ร่วมจัดทำโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถาบันอาหาร, ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, 51-53.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารอาหารและยา*, 2, 28-33.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2538)ก. เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารอาหารและยา*, 2(8), 63-68.
- มนตรี รัตนวิจิตร. (2537). การประยุกต์ใช้ซีเอ็มซีในอุตสาหกรรมต่างๆ. *TTIS Textile Digest*. 2(14), 22-23.
- มุกดา เจริญสินทรัพย์. (2546). *การผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากฟางข้าวในเค้กเนย*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ลักขณา สิริรัตนพลกุล. (2547). ไฟเบอร์เส้นใยอาหารสายใยชีวิต. *ฟอร์ควอลิตี้*, 10(76), 115-117.
- ลักขณา อินทร์กลีบ. (2543). *โภชนศาสตร์เชิงชีวเคมีวิตามินเกลือแร่และใยอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: มีเดียการพิมพ์.
- วิจิตร วังใน. (2529). *ผลไม้เมืองเบื่องต้น*. แผนกวิชาพืชศาสตร์.

- วิภา สุโรจน์เมธกุล และคณะ. (2541). การใช้ดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลลูโลส ผง. *อาหาร*, 28(47), 255-267.
- วีไล รังสาดทอง. (2543). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.
- วีไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.
- วีไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย. (2545). *การใช้กากมะพร้าวเพื่อผลิตเป็นเซลลูโลสผง*. ปัญหาพิเศษ, ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอาง และ จิตติชญา สุวรรณทัฬห. (2552). ผลของกระบวนการเตรียมต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกมะม่วง. *วารสารวิทยาศาสตร์ กษ.* 40(3): 141-144.
- โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอาง และ จิตติชญา สุวรรณทัฬห. (2553). ผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาว. *วารสารวิทยาศาสตร์ กษ.* 40(3/1) : 205-208.
- สิริมา ชินสาร. (2552). การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม. *วิทยาศาสตร์บูรพา*, มหาวิทยาลัยบูรพา, 14(2), 138-145.
- สุภาวดี ภัทรโกศล. (2542). *การปลูกมะพร้าว*. กรุงเทพมหานคร: กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.
- สุรัตน์ โคมินทร์. (2534). ผลกระทบของใยอาหารและไฟเตตต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ, น. 339-349. ใน เอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่องก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ, 13-15 ธันวาคม 2532. สถาบันวิจัยโภชนาการและคณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล.
- หยาดฝน ทะนงการกิจ. (2556). *การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง*. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม* 9(1) : 31-38.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2538). คุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และการคำนวณเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมอบ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2540). *ข้าวสาลี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Anderson, J. W. and Chen, W. J. L., (1979). Plant fiber. Carbohydrate and Lipid metabolism. *Amer. J. Clin Nutr*, 32, 346-363.
- Ang, J. F. (2001). Fowored cellulose and the development of new generation healthierfood. *Cereal Foods World*, 46(3), 107-111.
- Ang, J. F. (1991). Water retention capacity and viscosity effect of powered cellulose. *J. Food Sci*, 56(2), 1682-1684.
- Ang, J.F., Miller, W. B. and Dunha, K.M. (1990). Reduced of fat in donuts containing a new from of powdered cellulose. Presented at the Annual Meeting of the Institute of Food Technologists. Anaheim, CA: Janes River.
- AOAC. (2005). *Official Method of Analysis (15th ed.)*: Inhouse method based: The Association of official Analysis Chemists.
- AOAC. (1990). *Method of analysis. Association of Official Chemisis*. Washington, DC.
- Baumann, B., & Escher, F. (1995). Mass and heat transfer during deeo-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. *Lebensmittle-Wissenschaft und-Technologie*, 28, 395-403.
- Bouchon, P.A. (2002). Modelling oil uptake during frying. Ph.D. Dissertation, The University of Reading, Reading, UK.
- Bouchon, P.A., & Pyle, D.L. (2004). Studying oil absorption in restructured potato chips. *Journal of Food Science*, 69(3), 115-122.
- Bry, K. V. and Zabik, M. E. (1976). Microcrystalline cellulose replacements in cake and transit time and its role in the causation of disease. *J. Am. Diet Assoc*, 69(2), 50-54.
- Ceniza, M.S., S. Ueda and Y. Sugimura.(1993). *In vitro* culture of coconut endsperm:callus induction and its fatty acid. *Phil. J. Coconut Studies*, 18(2), 16-19.
- Deveries, L. J. and Reinhold, V. N. (1992). Controlling dietary fiber in food products. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Farkas, B.E. (1994). Modeling immersion frying as a moving boundary problem. Ph.D. dissertation, University of California, Davis. Cited in Singh, R.P. (1995). Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. *Food Technology*, 49, 134-137.

- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, (9), 395-401.
- Food chemical codex. (1996). *Committee on food chemicals codex*. 4th ed. Washington, D.C.: National academy press.
- Funami, T., Funami, M. Tawada, T., & Nakao, Y. (1999). Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of Food Science*, 64(5), 883-888.
- Haaland, P. D. (1998). *Experimental Design in Biotechnology*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Heaton, K. W. (1983). Dietary fiber in perspective. *Hum. Nutr.: Clin. Nutr*, 37, 151-170.
- Hu, R. (1999). *Food Product Design: A Computer-Aided Statistical Approach*. Technomic Publishing Co., Ltd. Pennsylvania, USA.
- Gamble, M.H., Rice, P., & Selman. J.D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. record U.K. tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22, 233-241.
- Garcia, M. A., Perrero, C., Bertola, N., Martino, M., Zaritzky, N. (2002). Edible coating from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative food science & Emerging technologies*, 3, 391-397.
- John, X., Shi, Marc Le Maguer, Samuel L. Wang and Albert Liptay. (1997). Application of osmotic treatment in tomato processing-effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomato. *Food Research International*, 30(9), 669-674.
- Kita, A. Lisinska, G., & Golubowska, G. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry*, 102, 1-5.
- Lanza, E. and Butrum, P. R. (1986). A critical review of food fiber analysis and data. *J. Amer. Diet. Ass*, 86, 732-740.
- Math, R.G., V. Velu., A. Nagender., D.G. Rao.(2003). Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *J. of Food Engineering*, 64, 429-434.

- Mark, H. F. 1985. Encyclopedia of polymer science and engineering (vol. 3) New York: John Wiley and sons.
- McConnell, A. A. Eastwood, M. A. and Mitchell, W. D. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *J. Food Agricc*, 25(4), 1457-1461.
- Mehta, U., & Swinburn, B. (2001). A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41, 133-154.
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 364-373.
- Mohamed, S., Lajis, S.M.M., & Hamid, N.A. (1995). Effects of protein from different sources on the characteristics of sponge cakes, rice cakes (apam), doughnuts and frying batters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68, 271-277.
- Pedreschi, F., Aguilera, J.M., & Pyle, L. (2001). Texture characterization and kinetics of potato strips during frying. *Journal of Food Science*, 66(2), 314-318.
- Pinthus, E.J. and Isrealsamsaguy (1992). Gel strength in restructure potato product affects oil uptake during deep fat frying. *J. of Food Sci*, 57, 1359-1360.
- Pinthus, E.J., Pnina Weinberg. And Saguy, I.S. (1993). Criterion for oil uptake during deep fat frying. *J. of Food Sci*, 58, 204-205.
- Pinthus, E.J., Pnina Weinberg. And Saguy, I.S. (1994). Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried food. *J. of Food Sci*, 59, 804-807.
- Pinthus, E.J., Pnina Weinberg. And Saguy, I. S. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *J. of Food Sci*, 60(4), 767-772.
- Pomeranz, Y. (1977). Fiber in bread making-effects on functional properties. *Cereal Chem*, 54(1), 25-29.
- Prakongpan, T., Nittihamyong, A., & Luangpituksa, P. (2002). Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *Journal of Food Science*, 67(4), 1308-1313.
- Prosky, L. (1995). Controlling Dietary Fiber in Food Product. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Prosky, L., & Devries, J.W. (1992). Controlling Dietary Fiber in Food Products. Van Nostrand Reinhold, New York. 161 p.
- Rice, P. and Gamble, M.H. (1989). Technical note: modeling moisture loss during potato slice frying. *International J. Food Sci and Tech.* 24, 183-187.
- Robinson, W. B. (1981). Food Chemical Codex (3rd ed) Washington DC: National Academy Press.
- Saguy, I.S., & Pinthus, E.J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, 49, 142-145.
- Saguy, I.S., and Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, Health and consumer aspects. *Journal of food Engineering*, 56, 143-152.
- Schneeman, B.O. (1986). Dietary Fiber: physical and chemical properties, method of analysis and physiological effects. *Food Technol*, 40(2), 104-110.
- Singh, R.P. (1995). Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. *Food Technology*, 49, 134-137.
- Slavin, J.L. (1987). Dietary fiber: classification, chemical, analysis and food sources. *J. Amer. Diet. Ass*, 87, 1163-1171.
- Ufheil, G., & Escher, F. (1996). Dynamics of oil uptake during-fat frying of potato slices. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 29, 640-644.
- Vetter, J. L. (1984). Fiber as a food ingredient. *Food Technol*, 38(1), 64-66.
- Wallis, A. F. A. 1971. Solvolysis by acids and bases. New York: John Wiley and sons.